

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique industrielle

Présenté par

FADLI Djouher

BOUSSAKOU Fatma

Thème

Automatisation d'une station de Nettoyage en place (NEP) pour Cuve de Caillage au sein de l'EURL STLD à Draa Ben Khedda.

Mémoire soutenu publiquement le 24 /06/ 2024 devant le jury composé de :

M ALLAD Mourad

MAA, UMMTO, Président

Mme BEDOUHENE Saida

MAA, UMMTO, Encadrant

M AZZOUG Malek

ING, EURL STLD, Co-Encadrant

Mme BOUKENDOUR Ouiza

MAA, UMMTO, Examineur

Mme LARABI Kahina

MAA, UMMTO, Examineur



Remerciements

Avant tout nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer nos vifs remerciements à Mme BEDOUHENE S, Mr. CHEMOUNE M et Mr. AZZOUG M, respectivement en qualité de promoteur et d'encadreurs, pour les conseils avisés qu'ils ont sus nous donner, le temps qu'ils nous ont accordé, leurs disponibilités sans faille et la rigueur dans l'accomplissement de ce travail.

Nous tenons aussi à remercier les jurés d'avoir accepté de juger ce modeste travail et de lui accorder l'attention nécessaire.

Sans oublier nos familles, nos amis et tous ce qui ont participés de loin ou de près pour la réalisation de ce travail.



Sommaire



Présentation de l'entreprise	1
1. Localisation géographique	1
2. Compartiments de l'unité	2
3. Plan de la laiterie	2
4. Principaux produits	3
Introduction générale	4

CHAPITRE I : Etude et instrumentation des équipements du système

I.1 Introduction	6
I.2 Définition de la NEP	6
I.3 Processus et configuration de la procédure	6
I.4 Nettoyage automatique.....	7
I.5 Conception du système de la NEP et compatibilité matériaux	7
I.5.1 Conception du matériel adaptée au NEP	8
I.5.2 Accessibilité des surfaces	8
I.5.3 Drainage efficace	8
I.5.4 Evitement des points de stagnation	8
I.5.5 Normes de sécurité alimentaire	8
I.6 Instrumentations	9
I.6.1 Capteurs.....	9
I.6.1.1 Capteur de niveau.....	9
I.6.1.2 Capteur de température PT100	10
I.6.1.3 Conductivimètre.....	10

I.6.2 Les actionneurs et les prés actionneurs	11
I.6.2.1 Les actionneurs	11
a) Vannes	11
b) Pompes	13
c) Moteur Asynchrone	15
d) Agitateurs	16
I.6.2.2 Les prés-actionneurs.....	17
a) Les électrovannes	17
b) Contacteurs	17
I.6.3 Echangeur thermique	18
I.6.4 Variateur de vitesse	19
I.6.5 Cuve de caillage	19
I.7 Problématique	21
I.8 Solutions proposées	21
I.9 Fonctionnement de NEP pour cuve de caillage	22
I.10 Description de La station de nettoyage et de la cuve de caillage	22
I.11 Subdivision du Processus	23
I.12 Conclusion	25

CHAPITRE II : Modélisation du système par l’outil Grafcet

II.1 Introduction	26
II.2 Définition du Grafcet	26
II.3 Concepts de base du GRAFCET	28
II.3.1 Etape	28
II.3.2 Actions associées aux étapes.....	29

II.3.3 Transition	29
II.3.4 Liaisons orientées	29
II.4 Structures de base	30
II.4.1 Notion de séquence.....	30
II.4.2 Saut étapes et reprise d'une séquence.....	30
II.4.3 Divergence et convergence en OU	31
II.4.4 Divergence et convergence en ET	31
II.5 Niveau d'un Grafcet	32
II.6 Modélisation du procédé par l'outil Grafcet et cahier des charges	33
II.6.1 Cahier des charges	33
II.6.2 Identification des entrées/sorties	35
II.6.3 Grafcet.....	39
II.7 Conclusion	43

CHAPITRE III : Adaptation d'un API S7 300

III.1 Introduction	44
III.2 Les systèmes automatisés	44
III.3 Automates programmables industriels (API)	45
III.3.1 Définition d'un API.....	45
III.3.2 Architecture des automates	45
III.4 Composition interne d'un automate programmable Industriel	46
III.5 Organisation modulaire de l'API et langage de programmation	47
III.5.1 Organisation modulaire de l'API	47
III.5.2 Langage de programmation	48
III.6 TIA Portal (totally integrated automation)	49

III.6.1 Description du logiciel TIA Portal	49
III.6.2 Avantages du logiciel TIA Portal	49
III.6.3 Conception d'un programme avec TIA Portal V14	49
III.7 Vue du portail et vue du projet	50
III.7.1 Vue du portail.....	50
III.7.2 Vue du projet	51
III.7.3 Choix du matériel	52
III.7.4 Tableau des variables.....	53
III.7.5 Extrait du programme	54
III.8 Conclusion	56

CHAPITRE IV : Développement de la solution supervisé

IV.1 Introduction	57
IV.2 Constitution d'un système de supervision.....	57
IV.2.1 Définition de la supervision.....	57
IV.2.2 Logiciel de supervision.....	58
IV.2.2.1 Interface Homme/Machine (IHM)	58
IV.2.3 Développement d'un système de supervision sous WinCC TIA PORTAL	58
IV.2.3.1 Le choix de l'HMI.....	59
IV.2.3.2 Création des vues	60
IV.3 Conclusion	62
Conclusion Générale.....	63

Bibliographie

Résumé

Liste des Figures

Titre de la Figure	N° Page
○ Présentation de l'entreprise EURL STLD	
Figure1 : Emplacement géographique	1
Figure 2 : Plan de l'EURL STLD	2
Figure 3 : Principaux produits de l'EURL STLD	3
○ CHAPITRE I : Etude et instrumentation des équipements du système	
Figure I.1: Mécanisme d'élimination des souillures	7
Figure I.2 : Capteur de température PT100	10
Figure I.3 : Conductivimètre	11
Figure I.4 : Schéma d'une Vanne modulante (régulatrice)	12
Figure I.5 : Schéma d'une vanne Papillon pneumatique TOR	12
Figure I.6 : Schéma d'une vanne manuelle	13
Figure I.7 : Schéma d'une pompe centrifuge	14
Figure I.8 : Schéma d'une pompe doseuse	15
Figure I.9 : Schéma d'un moteur asynchrone	16
Figure I.10: Schéma d'un agitateur	16
Figure I.11 : Électrovanne	17
Figure I.12 : Contacteur	18
Figure I.13 : Echangeur thermique	18
Figure I.14 : Variateur de vitesse	19
Figure I.15 : Cuve de caillage	20
○ CHAPITRE II : Modélisation du système par l'outil GRAFCET	
Figure II.1 : Principes fondamentaux d'un GRAFCET	27
Figure II.2 : Représentation des étapes	29
Figure II.3 : Représentation des actions	29
Figure II.4 : Représentation des transitions	29
Figure II.5 : Représentation des liaisons	30

Figure II.6: Représentation de notion de séquence	30
Figure II.7 : Saut d'étape et reprise d'une séquence	31
Figure II.8 : Représentation d'une divergence et convergence en OU	31
Figure II.9 : Représentation d'une divergence et convergence en ET	32
Figure II.10 : Grafcet principale	40
Figure II.11 : Préparation cuve soude	41
Figure II.12 : Préparation cuve acide	41
Figure II.13 : Nettoyage cuve de caillage	42
○ CHAPITRE III : Adaptation d'un API S7 300	
FigureIII.1 : Aspect interne d'un API	45
FigureIII.2 : Composition interne d'un API	46
Figure III.3 : Organisation modulaire de l'API	48
Figure III.4 : Vue du portail	51
Figure III.5 : Vue du projet	51
Figure III.6: Architecture du matériel (CPU et périphériques)	53
Figure III.7: Tableau variables	53
Figure III.8 : Bloc Main OB1 de programme principale	54
Figure III.9: début préparation	54
Figure III.10: Ouverture des vannes Ve1 Ve2 Ve3	55
Figure III.11: Activation des pompes Ps2, Ps et la vanne V_{VS}	55
Figure III.12: Capteur de température	56
○ CHAPITRE IV : Développement de la solution supervisé	
Figure IV.1: Choix de l'HMI	59
Figure IV.2: Vue Racine	60
Figure IV.3: Vue globale de l'HMI avant simulation	61
Figure IV.4: Vue globale de l'HMI après simulation	61
Figure IV.5: Vue des paramètres	62
Figure IV.6: S7-PLCSIM	62

Liste des Tableaux

Titre de la Figure	N° Page
○ CHAPITRE I : Etude et instrumentation des équipements du système	
Tableau I.1 : Les zones de la centrale de nettoyage en place pour cuve de caillage du lait	25
○ CHAPITRE II : Modélisation du système par l’outil GRAFCET	
Tableau II.1 : Identification des entrées / sorties.	39

Présentation de l'entreprise EURL STLD

Présentation de l'entreprise

La laiterie EURL STLD, connue sous le nom de « Société de Transformation du Lait et Dérivés », a été fondée le 16 avril 2004. Située à la rue des Frères Beggaz, Nouvelle Ville, Tizi-Ouzou, cette entreprise à caractère privé est engagée dans le secteur laitier. Depuis sa création, elle s'est établie comme un acteur majeur de l'industrie agroalimentaire.

Avec un effectif de 74 employés compétents, ambitieux et qualifiés, la laiterie STLD s'engage à produire une large gamme de produits à partir du lait cru fourni par les éleveurs locaux. Chaque jour, environ 35 000 litres de lait sont transformés dans ces installations.

La société a évolué au fil des années, passant d'une entreprise individuelle à une entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée (EURL). Elle a déménagé de son site d'origine pour s'installer dans la zone d'activité Draa Ben Khedda (DBK) le 10 janvier 2018. Sous la direction du Président-Directeur Général, Monsieur Smail Amyoud, elle emploie désormais 140 travailleurs permanents répartis en 7 départements.

La Laiterie EURL STLD s'engage à maintenir son excellence dans la production laitière tout en continuant à innover et à contribuer au développement de l'industrie agroalimentaire en Algérie [14].

1. Localisation géographique



Figure 1 : Emplacement géographique [14].

2. Compartiments de l'unité

L'unité compte un effectif de 104 employés compétents, ambitieux et qualifiés et bien formés aux pratiques indispensables dans une industrie agro-alimentaire qui sont composée de 7 compartiments

- Le service administratif.
- Le service commercial.
- La salle de réception des collectes de lait.
- Laboratoire d'analyse microbiologique et physico-chimique.
- La salle pasteurisation.
- Le magasin de stockage.
- La cantine.

3. Plan de la laiterie

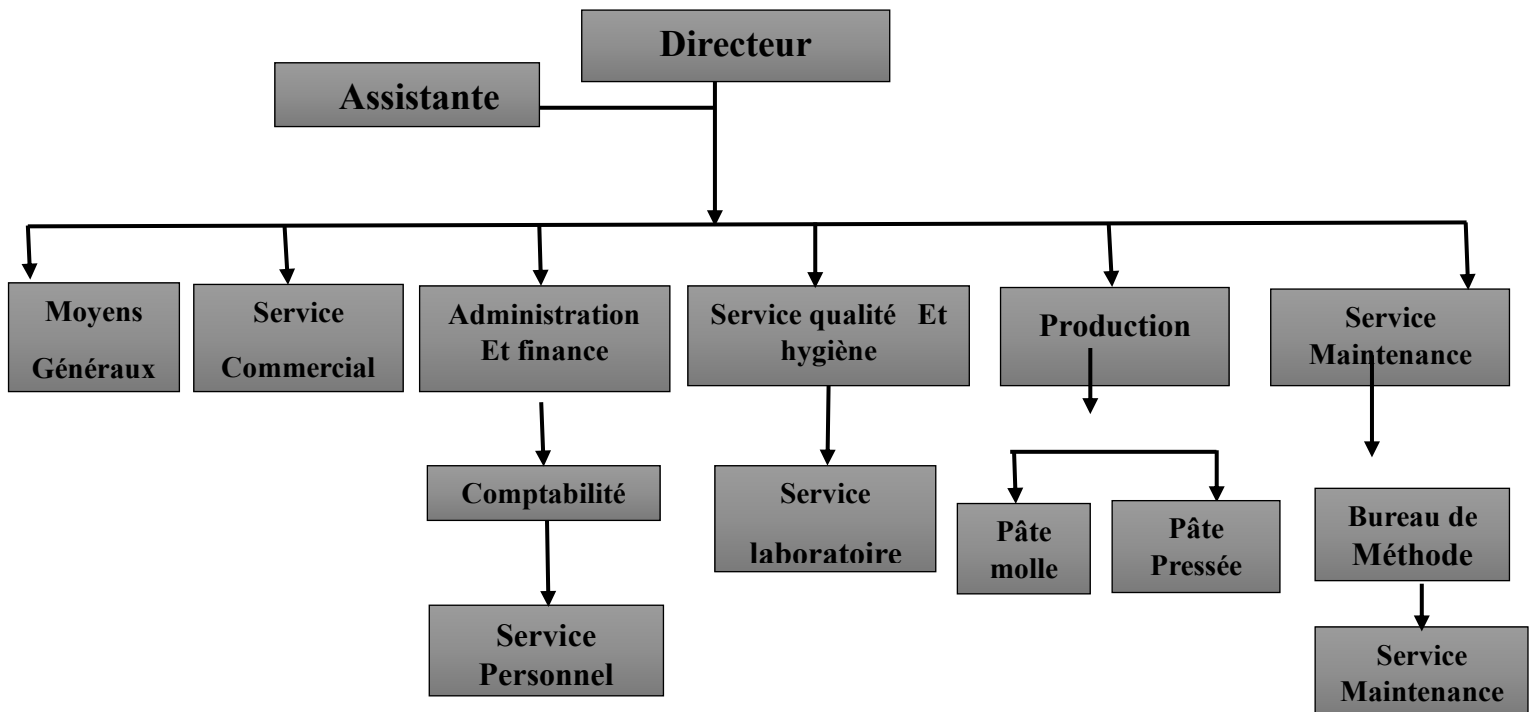


Figure 2 : Plan de l'EURL STLD [14].

4. Principaux produits :

La laiterie a pour fonction de produire une large gamme de produits à partir de lait cru collecté par des éleveurs locaux, environ 70000 litres sont transformés par jour en des produits :

- Fromage à pâte molle de type camembert à base.
- Fromage à pâte molle de type camembert à chèvre.
- Fromage à pâte pressée non cuite.
- Lait pasteurisé conditionné à 0% de matière grasse.
- Lait pasteurisé conditionné (L'ben, Raib)
- Beurre.



Figure 3 : Principaux produits de l'EURL STLD.

Introduction générale

Introduction générale

Nous avons réalisé notre projet de fin d'étude au sein de La laiterie EURL STLD « société de transformation de lait et dérivés » à la zone d'activité Draa Ben Khedda plus précisément dans un département de la chaîne de production du camembert.

L'objectif principal de l'automatisation est d'augmenter l'efficacité des processus industriels en réduisant la dépendance à la main-d'œuvre humaine, en améliorant la précision et la qualité des opérations, tout en assurant la sécurité des travailleurs et la fiabilité des systèmes.

Le nettoyage en place (**NEP**), également connu sous le nom **Cleaning In Place (CIP)**, est désormais la méthode conventionnelle de nettoyage dans les industries agroalimentaire et pharmaceutique. Il permet à des solutions de lavage et de désinfection de circuler à travers les circuits de production et d'embouteillage sans qu'il soit nécessaire de les démonter. En ajustant avec précision des paramètres tels que la chimie, la température, la mécanique et le temps, ce processus garantit un nettoyage fiable et reproductible, tout en réduisant les risques de contamination et en assurant en permanence la sécurité des produits.

Le lait et ses dérivés requièrent un niveau d'hygiène élevé pour maintenir leur qualité. Ainsi, un nettoyage minutieux des équipements et de l'environnement est indispensable pour préserver cette qualité. L'efficacité du nettoyage dépend de la méthode utilisée, des produits employés et de la fréquence de nettoyage des équipements.

La laiterie EURL STLD a adopté cette méthode et nous a confié la tâche d'automatiser la procédure de nettoyage en place pour son système de production. Notre objectif est de développer un programme spécifique et installer des tuyaux destinés pour le lavage la cuve de caillage afin d'optimiser les opérations de nettoyage et d'améliorer les normes d'hygiène dans notre unité de production fromagère afin de garantir un nettoyage optimal de cette cuve et d'assurer la propreté du produit fabriqué.

Ce rapport est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre décrit en détail la procédure de nettoyage en place à automatiser et présente les équipements nécessaires à cette étude.
- Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation de la station à l'aide du GRAFCET.

Introduction générale

- Le troisième chapitre présente l'API et propose des programmes de commande pour le nettoyage de la cuve de caillage.
- Le quatrième chapitre sera dédié à la supervision de notre système à l'aide du logiciel WINCC intégré dans TIA PORTAL qui nous a permis ainsi d'obtenir des vues synthétiques des équipements afin de visualiser leurs états.

Nous concluons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Etude et Instrumentation
des équipements du
système.

I.1 Introduction

Dans l'industrie des produits laitiers, il est impératif de maintenir tous les équipements utilisés dans la production dans un état d'hygiène optimale. Ainsi, un nettoyage après chaque utilisation est essentiel pour prévenir tout risque de contamination. Le nettoyage des équipements de production est effectué à l'aide de stations Clean-in-Place (CIP), qui fonctionnent de manière totalement indépendante du processus de production mais doivent assurer le nettoyage de tous les circuits et équipements de la laiterie concernés par la production.

I.2. Définition de la NEP

Un **Nettoyage en place (NEP)** ou **Clean-in-Place (CIP)** en anglais est un système automatique de nettoyage des installations sans démontage. Le plus souvent intégré à la machine lors de la conception, les cuves, tuyaux ou autres machines sont lavés à l'aide d'un circuit d'eau parallèle. Dans les systèmes les plus complexes, le nettoyage de circulation utilise différents cycles avec produits de lavage et de rinçage, pilotés automatiquement par un programmeur central. Le nettoyage en place a lieu tout de suite après la production, il évite la formation de produits de dégradation et de contamination pendant le fonctionnement des machines.

I.3. Processus et configuration de la procédure

La détergence consiste en un processus physico-chimique qui consiste à détacher les salissures ou les souillures de leur substrat ou support, puis à les faire dissoudre ou se disperser. De cette manière, un détergent chimique, combiné à des éléments physiques tels que le temps, la température et l'action mécanique, permet de supprimer la souillure d'une surface. Cela provoque l'émergence de trois interfaces :

- Surface - impuretés.
- Souillure - épurateur.
- Détergent - couche.

Le détergent est donc présent dans toute opération de nettoyage :

- Une substance solide qui représente la surface contaminée.
- Un liquide ou une substance solide qui correspond à la souillure.
- Une solution liquide qui représente la solution de nettoyage.

I.5.1 Conception du matériel adaptée au NEP

Le matériel utilisé dans la production doit être conçu pour être intégré dans un circuit de nettoyage en place (NEP), les surfaces doivent être accessibles à la solution détergente, sans aucun endroit inaccessible où le détergent ne peut pas atteindre ou s'écouler et les matériaux de construction doivent être compatibles avec les produits chimiques de nettoyage utilisés et résistants à la corrosion.

I.5.2 Accessibilité des surfaces

Toutes les surfaces des équipements doivent être facilement accessibles pour le nettoyage, les conceptions complexes avec des creux, des coins difficiles à atteindre ou des recoins cachés doivent être évitées pour garantir une couverture uniforme par la solution détergente.

I.5.3 Drainage efficace

Les machines et les tuyauteries doivent être installées de manière à permettre un drainage efficace après le nettoyage et tout espace où l'eau résiduelle pourrait stagner doit être évité pour empêcher la formation de biofilms bactériens, qui pourraient contaminer les produits lors des cycles de production ultérieurs.

I.5.4 Évitement des points de stagnation

Les conceptions doivent éviter tout point de stagnation où les résidus pourraient s'accumuler. Les angles morts, les recoins difficiles d'accès et les surfaces rugueuses doivent être éliminés pour faciliter le nettoyage et réduire les risques de contamination.

I.5.5 Normes de sécurité alimentaire

Toutes les spécifications de conception doivent être conformes aux normes de sécurité alimentaire en vigueur dans l'industrie. Des tests réguliers de conception et de performance peuvent être effectués pour garantir que le matériel répond aux normes d'hygiène et de sécurité les plus strictes.

En intégrant ces principes de conception et d'installation dans la fabrication des équipements et des installations de production laitière, on peut assurer un processus de nettoyage en place efficace, réduisant ainsi les risques de contamination et garantissant la sécurité des produits finaux.

I.6. Instrumentations

Il est essentiel de bien maîtriser les instruments et équipements utilisés dans l'étude d'un processus. Dans ce contexte, nous allons décrire tous les instruments qui seront utilisés pour mettre en œuvre la station de nettoyage et la cuve de caillage.

I.6.1. Capteurs

Les capteurs sont les premiers éléments rencontrés dans une chaîne de mesure, ils jouent des rôles de plus en plus importants car ce sont eux qui permettent de transformer les grandeurs physiques ou chimiques d'un processus ou d'une installation en signaux électriques exploitables par la partie commande et proportionnels à la grandeur qu'ils surveillent.

Selon les signaux qu'ils génèrent on peut les classer en trois catégories :

- **Capteurs TOR** : Ce type de capteur est largement utilisé en automatisation. Il génère un signal binaire, il indique simplement la présence ou l'absence d'un objet ou d'un événement. Les détecteurs de niveau, les détecteurs de proximité sont des exemples courants.

- **Capteurs analogiques** : Ces capteurs convertissent des grandeurs physiques telles que la position, la pression ou la température en un signal électrique continu, généralement une tension ou un courant, variant de manière continue entre deux valeurs limites.

- **Capteurs numériques** : Ce type de capteur transmet des valeurs numériques spécifiques pour des grandeurs telles que la pression, la position, etc. Ces valeurs sont généralement exprimées en bits, pouvant être lues en parallèle sur plusieurs conducteurs ou en série sur un seul conducteur, selon le protocole de communication utilisé. Dans la station de nettoyage on trouve les capteurs indiqués ci-dessous :

I.6.1.1 Capteur de niveau

Le détecteur de niveau (**TOR**) est un dispositif vertical placé sur les cuves pour surveiller leur niveau de remplissage en détectant la présence de liquide à un emplacement spécifique. Ces capteurs utilisent des micro-ondes pour détecter la présence du liquide et sont largement utilisés en automatisme. Ils fournissent un signal binaire et sont des détecteurs de niveau et de proximité [11].

I.6.1.2. Capteur de température PT100

La sonde PT100 est un capteur de température utilisant la variation de résistance du platine en fonction de la température. À 0°C, sa résistance est de 100 ohms (d'où le nom "PT100").

Lorsque la température augmente, sa résistance augmente de manière linéaire. En mesurant cette résistance et en utilisant un courant constant, on peut déduire la température à partir de la tension mesurée. C'est un dispositif largement utilisé dans de nombreuses applications industrielles pour sa précision et sa fiabilité [5][6].

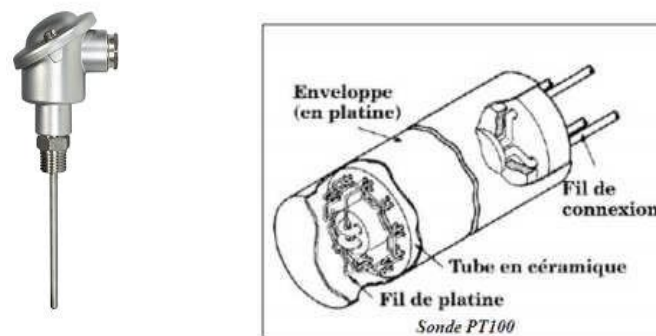


Figure I.2 : Capteur de température PT100.

I.6.1.3. Conductivimètre

Un conductivimètre est un instrument de mesure utilisé pour évaluer la conductivité électrique d'une solution. La conductivité électrique est une propriété physique qui caractérise la capacité d'un matériau à conduire un courant électrique.

Dans le cas d'un conductivimètre, il évalue la conductivité d'une solution en mesurant la capacité de cette solution à conduire un courant électrique. Cette mesure est souvent utilisée pour déterminer la concentration en ions dans une solution, ce qui peut être utile dans de nombreux domaines tels que la chimie, la biologie, l'industrie alimentaire et le contrôle de la qualité de l'eau.



Figure I.3 : Conductivimètre [4].

I.6.2 Les actionneurs et les près actionneurs

I.6.2.1 Les actionneurs

Un actionneur est un composant de la partie opérative d'un système qui transforme l'énergie reçue selon les instructions de la partie commande en une action physique pour réaliser une tâche spécifique.

a. Vannes

Une vanne de régulation est un appareil destiné à réguler le débit de divers fluides (liquides ou gaz) dans un système de contrôle de processus.

➤ Vanne modulante

La vanne modulante utilisée dans le système de régulation de la température à la sortie de l'échangeur est illustrée dans la **figure I.5** :

Un régulateur commande la vanne en utilisant l'air comme fluide d'asservissement. De cette manière, la vanne peut être ouverte, fermée ou modulée en fonction des fluctuations de pression de sortie d'un instrument de mesure et de contrôle. On actionne la vanne de manière mécanique en la reliant à un actionneur qui peut modifier la position d'un organe de fermeture dans la vanne. Une énergie pneumatique, électrique, hydraulique ou toute combinaison de ces énergies peut être utilisée pour faire fonctionner l'actionneur [3][4].



Figure I.4 : Schéma d'une Vanne modulante (régulatrice) [14].

➤ **Vanne Papillon pneumatique TOR**

Une vanne du type « Tout Ou Rien » est employée afin de gérer le débit des fluides de manière binaire, c'est-à-dire en ouvrant ou en fermant complètement. Elle opère de manière discontinue, adoptant deux positions ou états distincts, représentés par 0 et 1 (0 correspondant à 0% et 1 à 100%).

Ces vannes sont adaptées pour contrôler des systèmes à évolution lente où la précision de la régulation n'est pas essentielle [12].



Figure I.5 : Schéma d'une vanne Papillon pneumatique TOR [14].

➤ **Vanne manuelle**

Une vanne manuelle est un dispositif utilisé pour réguler le débit d'un fluide dans un système en étant actionnée manuellement par un opérateur. Elle peut être ouverte, fermée ou réglée à différents niveaux intermédiaires selon les besoins. Contrairement à certaines vannes

automatiques qui sont contrôlées par des systèmes automatisés, une vanne manuelle nécessite une intervention directe de la part de l'utilisateur pour ajuster le débit du fluide.



Figure I.6: Schéma d'une vanne manuelle.

b. Pompes

Les pompes assurent l'acheminement de l'eau stockée dans les réservoirs, tout en permettant la recirculation de l'eau vers les réservoirs de la salle CIP.

Dans la CIP on a utilisé deux types de pompes : pompe centrifuge et pompe doseuse.

➤ **Pompes centrifuge**

Une pompe centrifuge est une machine rotative utilisée pour pomper un liquide en le forçant à travers une roue à aubes ou une hélice appelée impulseur. Elle fonctionne en utilisant la force centrifuge pour accélérer le liquide et le propulser vers la sortie. Les pompes centrifuges sont couramment utilisées pour déplacer des liquides à haute pression et à grande vitesse, et sont souvent utilisées dans les industries pour des applications telles que le transfert de liquides, la circulation de fluides de refroidissement, et la lubrification. Elles peuvent être alimentées électriquement, à combustion interne ou hydrauliquement, mais les moteurs électriques sont les plus courants. Les pompes centrifuges sont disponibles dans une variété de tailles et de configurations, y compris des pompes de surface normalisées, et peuvent être utilisées pour une variété d'applications, y compris l'irrigation, le pompage d'eau de puits, et le transfert de liquides dans les processus industriels.

Il est important de dimensionner correctement la pompe en fonction des besoins en débit, pression de sortie et hauteur manométrique, et de prendre en compte les caractéristiques de l'installation, telles que la longueur et le diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement [2].

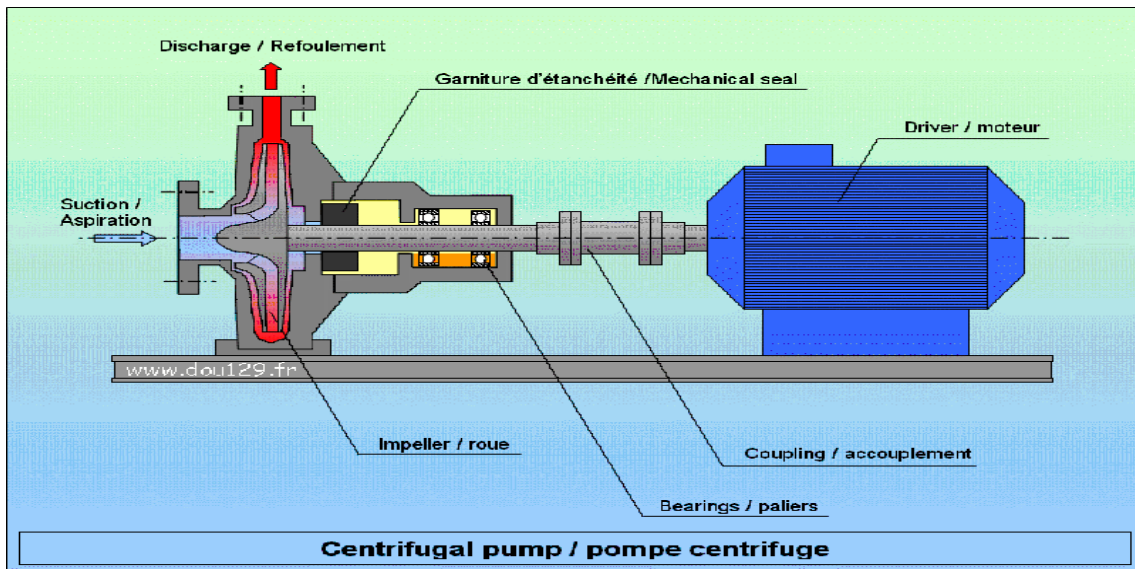


Figure I.7 : Schéma d'une pompe centrifuge.

➤ Pompe doseuse

Ces pompes, principalement à piston ou à membrane, fonctionnent grâce à un mécanisme complexe. Initialement, un moteur actionne un système de réduction de vitesse, souvent composé d'une roue et d'une vis sans fin, qui à son tour anime un élément excentrique. Une bielle relie cet excentrique à une membrane sèche, formant ainsi un ensemble bielle-manivelle. Lorsque l'excentrique tourne, il provoque un mouvement linéaire de la membrane, créant ainsi une variation de volume à l'intérieur de la pompe, appelée cylindrée.

Pour ajuster le débit de la pompe, un mécanisme agit sur la bielle, modifiant la cylindrée. Cet ajustement est réalisé en interrompant le déplacement de la bielle via un réglage de course, tandis que l'excentrique continue son mouvement le long du logement prévu à cet effet [4].

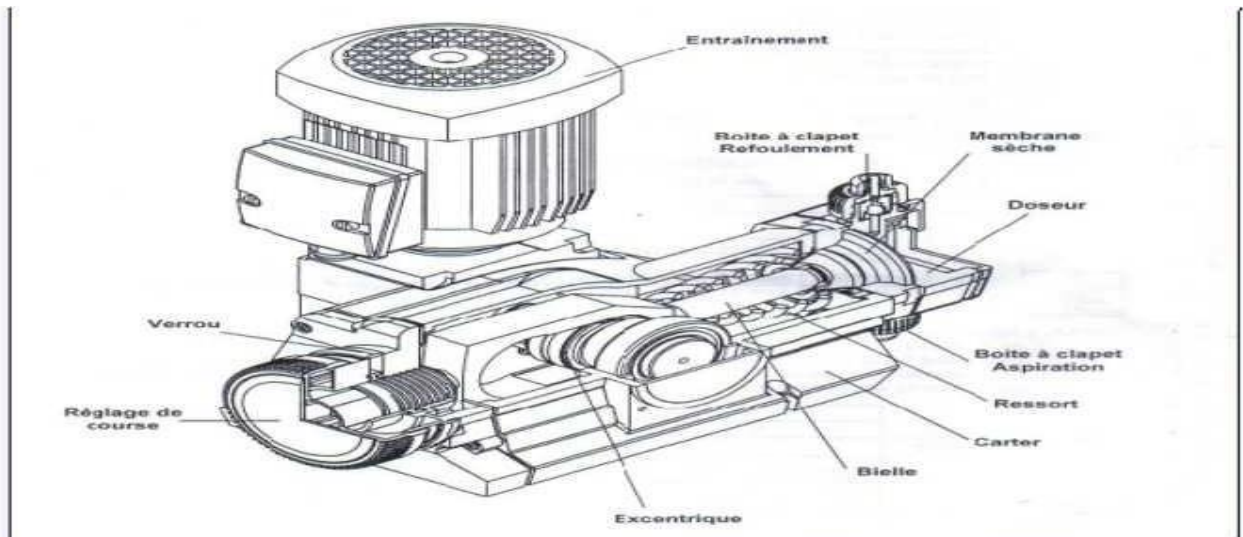


Figure I.8: Schéma d'une pompe doseuse [12].

c. Moteur asynchrone

Un moteur asynchrone, également connu sous le nom de moteur à induction, est un type de moteur électrique largement utilisé pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Il est composé d'un stator, d'un rotor et d'un système de refroidissement.

Le Stator est la partie fixe du moteur qui contient des enroulements de fils électriques alimentés par un courant alternatif. Ces enroulements produisent un champ magnétique tournant lorsqu'ils sont alimentés.

Le Rotor est la partie mobile du moteur, qui se trouve à l'intérieur du stator. Le rotor peut être de conception en cage d'écureuil ou bobiné. Lorsque le champ magnétique tournant du stator interagit avec le rotor, il induit des courants électriques dans celui-ci, créant ainsi un champ magnétique propre au rotor.

Les moteurs asynchrones sont utilisés dans une grande variété d'applications, y compris les systèmes de ventilation, les compresseurs, les pompes, les machines-outils, les convoyeurs, les ascenseurs, les ventilateurs, les climatiseurs et bien d'autres. Ils peuvent être monophasés ou triphasés, avec des vitesses de rotation variant en fonction du nombre de paires de pôles

magnétiques sur le rotor. Les moteurs asynchrones triphasés sont les plus répandus dans l'industrie [8][9].

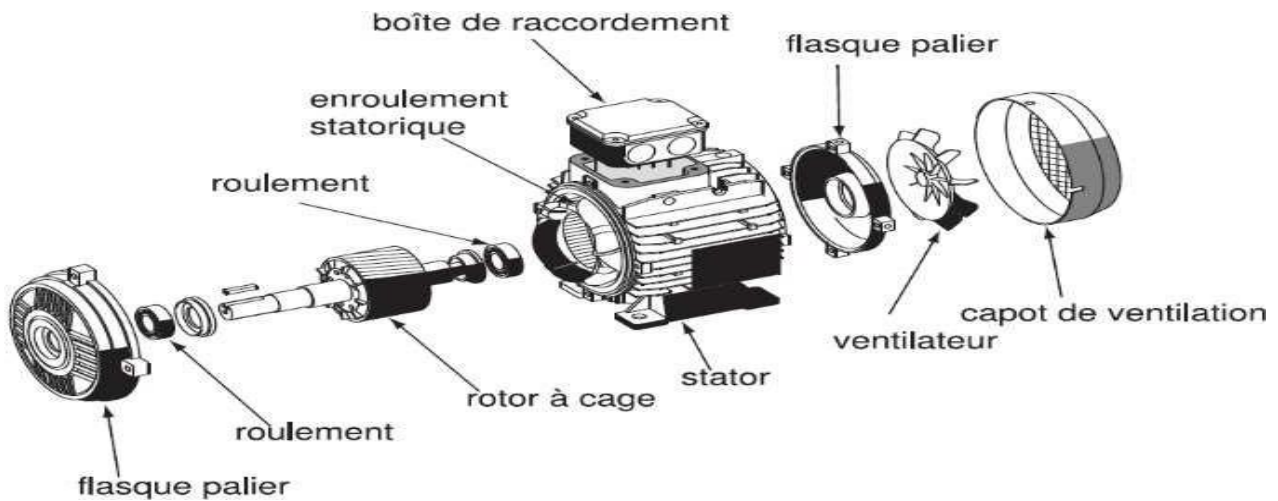


Figure I.9 : Schéma d'un moteur asynchrone [10].

d. Agitateurs

Ce sont des agitateurs à double ailette, équipés de moteurs asynchrones triphasés qui fonctionnent dans un seul sens de rotation et à une seule vitesse. Leur rôle est d'assurer une répartition uniforme des solutions de soude et d'acide.

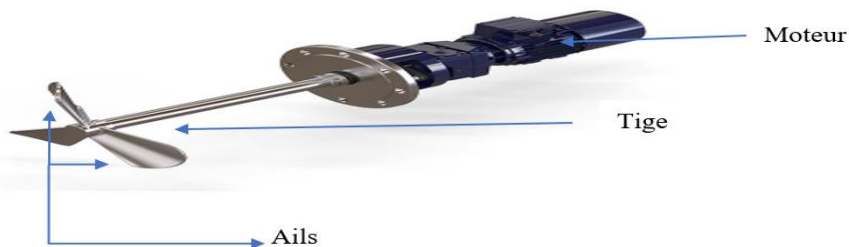


Figure I.10: Schéma d'un agitateur.

I.6.2.2 Les pré-actionneurs

a. Les électrovannes

Une électrovanne se compose de deux principales composantes :

- **Une tête magnétique**, essentiellement constituée d'une bobine, d'un tube, d'une culasse, d'une bague de déphasage et de ressort(s).
- **Un corps** qui comprend des orifices de raccordement. Ces orifices sont obturés par un clapet, une membrane, un piston, ou autre, selon la technologie utilisée. L'ouverture et la fermeture de l'électrovanne sont déterminées par la position du noyau mobile. Cette position est influencée par le champ magnétique créé lorsque la bobine est alimentée en courant électrique.



Figure I.11: Électrovanne.[14]

b. Contacteurs

Un contacteur est un dispositif électromécanique utilisé dans les systèmes de nettoyage en place industriels pour contrôler le fonctionnement des équipements et des processus associés à la NEP. Ces contacteurs sont utilisés pour activer ou désactiver les pompes, les vannes, les moteurs et autres composants électriques nécessaires au cycle de nettoyage en place.



Figure I.12 : Contacteur.

I.6.3 Echangeur thermique

Un échangeur thermique est un équipement industriel qui permet de transférer de l'énergie thermique d'un fluide à un autre sans les mélanger. Ce dispositif est utilisé pour refroidir, réchauffer ou condenser un liquide dans divers secteurs tels que l'agroalimentaire, la chimie, la pétrochimie, la pharmacie, etc.

Il existe différents types d'échangeurs thermiques, comme les échangeurs tubulaires, les échangeurs à plaques, et les échangeurs à tubes à ailettes. Ces appareils sont essentiels dans les systèmes de chauffage, de climatisation, et dans l'industrie pour optimiser les échanges de chaleur et améliorer les performances énergétiques.

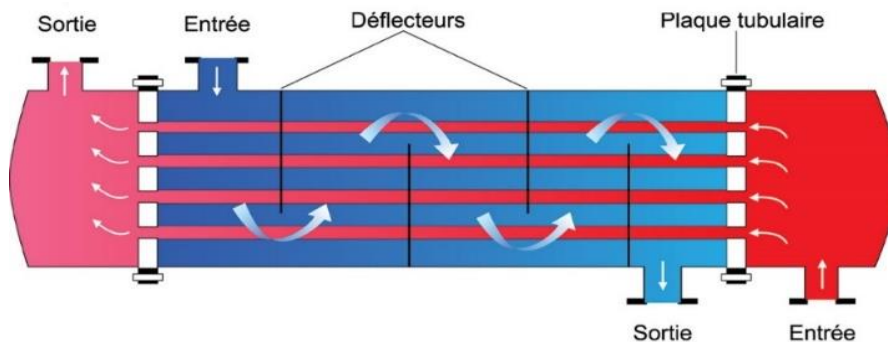


Figure I.13 : Echangeur thermique.

I.6.4 Variateur de vitesse

Le variateur de vitesse Siemens V20 105DR1 est un équipement utilisé pour contrôler la vitesse d'un moteur électrique. Il appartient à la série V20 de variateurs de vitesse de Siemens, conçue pour des applications simples dans les industries et les installations commerciales.

Ce variateur de vitesse est spécifiquement conçu pour fonctionner avec des moteurs triphasés. Il offre des fonctionnalités telles que le contrôle de la vitesse, la protection contre les surcharges et les courts-circuits, ainsi que des options de communication pour l'intégration dans des systèmes plus larges.



Figure I.14 : Variateur de vitesse.[14]

I.6.5 Cuve de caillage

La cuve de caillage double O est une cuve utilisée dans le processus de fabrication du fromage. Le "double O" fait référence à sa forme, qui ressemble à deux lettres "O" superposées ou à une cuve avec deux compartiments circulaires. Cette cuve est spécialement conçue pour le caillage du lait lors de la production de certains types de fromages, tels que le fromage à pâte molle comme le camembert ou la brie.

Dans une cuve de caillage double O, le lait est chauffé à une température spécifique, puis des enzymes coagulants ou des cultures bactériennes sont ajoutés pour provoquer le caillage. La double cuve permet généralement de maintenir deux températures différentes dans chaque compartiment, ce qui est essentiel pour le processus de caillage et de maturation du fromage.

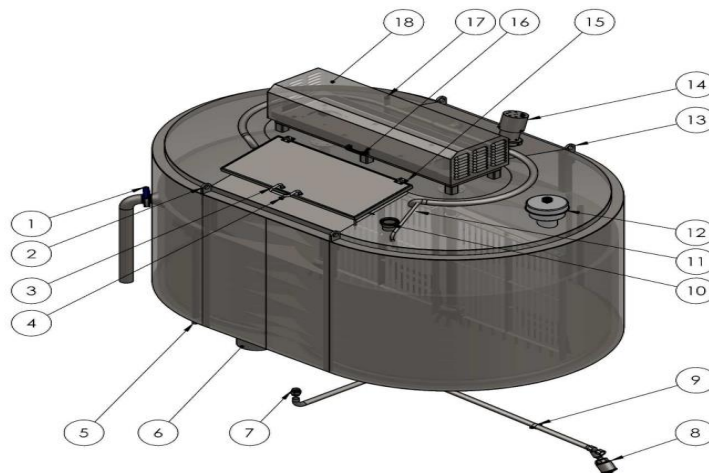


Figure I.15 : Cuve de caillage du lait [14].

- 1) Vanne papillon S/S NW-65 Fig.4000.
- 2) Poignée transport cuve.
- 3) Anse.
- 4) Positionneur Ref.617.1 Ø21mm M10x1.
- 5) Embranchement 149 1" Inox.
- 6) Déversement condensats.
- 7) Lien 340 1" Inox.
- 8) Vanne 1" BPG207 STY00 –NC-.
- 9) Serre-câble NW-32 Fig.8300.
- 10) Mâle ALÉSAGE NW-65 Fig.1001.
- 11) Boule de diffusion CD-16A Ø40 Inox.
- 12) Valve de sécurité ART E-23 DN-100.
- 13) Ensemble lampe.
- 14) Charnière 60x60 60015/1L.
- 15) Manette polyamide renforcée Cod.7809012
- 16) Pied polyamide et gomme NGI Tipo B Ref.B30-10- 025.
- 17) Protection motoréductrice.

Après le caillage, le contenu de la cuve est découpé en morceaux plus petits, puis ils sont égouttés et moulés pour former le fromage. La conception de la cuve de caillage double O permet un contrôle précis de la température et du processus de caillage, ce qui contribue à la qualité et à la consistance du fromage final [14].

I.7 Problématique

Face à l'absence d'un programme de nettoyage et de la tuyauterie dédié pour la cuve de caillage dans la station de nettoyage actuelle, notre objectif est de développer un programme spécifique et installer des tuyaux destinés pour le lavage de cette cuve afin d'optimiser les opérations de nettoyage et d'améliorer les normes d'hygiène dans notre unité de production fromagère.

I.8 Solutions proposées

Afin d'améliorer le mode opératoire et la qualité du produit nous allons intégrer à ce mode opératoire initiale un programme pour la cuve de caillage du lait.

Les avantages de maintenir une cuve de caillage propre et sécurisée sont multiples :

- Qualité du produit.
- Sécurité alimentaire.
- Durabilité des équipements.
- Efficacité opérationnelle.
- Conformité réglementaire.

En somme, assurer un nettoyage et une sécurité adéquats de la cuve de caillage est essentiel pour garantir la qualité, la sécurité, la durabilité et l'efficacité globale de l'unité de production fromagère.

Dans cette optique, notre première étape consistera à modéliser les contraintes fonctionnelles de la cuve de caillage. Cette modélisation sera intégrée dans un modèle GRAFCET niveau 2, qui servira de base à l'implémentation sous l'automate S7-300 programmé à l'aide du logiciel TIA Portal V14.

Enfin, le modèle proposé sera validé et simulé pour évaluer sa pertinence et sa faisabilité en vue d'une éventuelle mise en œuvre réelle de notre solution améliorée.

I.9 Fonctionnement de NEP pour cuve de caillage du lait

Pour garantir la qualité sanitaire dans les laiteries, il est impératif de respecter rigoureusement les normes d'hygiène. Cela permet d'éviter toute forme de dégradation ou de contamination des produits tout au long du processus de production.

Le processus de nettoyage en place (NEP) dans une laiterie est généralement organisé en plusieurs étapes distinctes. Chacune de ces étapes est conçue pour répondre aux exigences sanitaires spécifiques et garantir la propreté optimale des équipements, et pour le procédé de nettoyage de la cuve doit être établi en conformité avec l'entreprise distributrice des produits de nettoyage chimique on peut considérer comme normal le procédé décrit ci-dessous :

1. Rincer à l'eau froide pendant environ 19 minutes.
2. Circulation avec solutions alcaline entre 65° et 75° pendant environ 20 minutes.
3. Rinçage à l'eau pendant environ 5 minutes (ou jusqu'à ce que la solution alcaline ait été suffisamment rincé).
4. Circulation avec solution acide pendant environ 10 minutes.
5. Rinçage final jusqu'à ce que la solution acide ait été suffisamment rincée.

Vider ultérieurement en maintenant la valve de vidange ouverte pendant le même temps jusqu'à obtenir un drainage total.

I.10 Description de la station de nettoyage et de la cuve de caillage du lait

➤ La station de nettoyage de NEP actuelle est constituée comme suit :

a. Cuves

La station de nettoyage comporte 3 cuves de 2500L, chacune

- ❖ La 1ère cuve contient de l'eau neuve pour le rinçage,
- ❖ La 2ème cuve contient de la soude pour éliminer les souillures organiques,
- ❖ La 3ème cuve contient de l'acide pour éliminer les souillures minérales,

b. Pompes

- ❖ Deux pompes doseuses associées à des conteneurs de concentrés pour assurer la concentration des solutions acide et soude.
- ❖ Une pompe d'envoi, assure l'envoi de l'eau des solutions des cuves vers l'échangeur thermique.

c. Capteurs

1- Capteurs de niveau : un détecteur de niveau de type analogique placés verticalement sur chaque cuve, ce qui fait 3 capteurs en tout.

2- Capteurs de température : deux capteurs sur les deux cuves qui contiennent les solutions acide et basique (soude), et un PT100 sur la sortie de l'échangeur de chaleur.

d. Echangeur thermique

Un échangeur thermique pour le chauffage des solutions soude et acide.

e. Tableau de pointage de l'arrivée NEP

C'est un croisement d'un ensemble de chaines de lignes et de manchettes pour pouvoir les raccorder. Il contient l'arrivée principale des produits de nettoyage et les sorties vers les cuves et les lignes de l'ensemble de la chaine de production.

f. Vannes

- 3 vannes TOR,
- 11 vanne papillons.

g. Tuyauterie

Des tuyaux inox reliés à tout l'équipement de production et assure l'envoi et le retour des solutions de nettoyage.

h. Ligne d'arrivée d'eau

Alimente l'unité en eau.

i. Armoire de commande

Permet une gestion automatisée de l'installation en fonction des besoins.

➤ La station de caillage actuelle est constituée comme suite :**a. Vannes**

- 5 vannes papillons

b. Tuyauterie

Des tuyaux inox assurent l'envoi et le retour du produit.

I.11 Subdivision du processus

Un processus automatisé implique une variété de tâches, ce qui permet de définir des zones cohérentes au sein de ce processus. Ces zones peuvent ensuite être divisées en tâches plus

spécifiques et élémentaires. Cette approche structurée simplifie la gestion des différentes parties du processus, car les tâches nécessaires pour contrôler chaque zone sont souvent assez simples.

Zone fonctionnelle	Equipement associé
Alimentation d'eau	<ul style="list-style-type: none"> -Vanne automatique Tout ou Rien Ve1 pour remplissage de cuve d'eau. -Vanne automatique Tout ou Rien Ve2 pour remplissage de cuve de soude avec l'eau. -Vanne automatique tout ou Rien Ve3 pour remplissage de cuve d'acide avec l'eau.
Réservoir de soude	<ul style="list-style-type: none"> -Pompe doseuse pour l'alimentation en soude Ps, équipée d'une crépine d'aspiration. -Pompe de décharge de la soude Ps1 -Vanne automatique Tout ou Rien V5 qui sert à envoyer la solution soude vers la cuve de caillage pour la nettoyé. -Vanne égout Vego pour la vidange de la cuve soude. -Vanne de retour soude Vrs. -Vanne de vapeur soude Vvs. -Indicateur transmetteur de la température PT100₂. -sonde de niveau haut LS2. -sonde de niveau bas LS4.
Réservoir d'acide	<ul style="list-style-type: none"> -Pompe doseuse pour l'alimentation en acide Pa, équipée d'une crépine d'aspiration. -Pompe de décharge d'acide Pa1 -Vanne automatique Tout ou Rien V6 qui sert à envoyer la solution soude vers la cuve de caillage pour la nettoyé. -Vanne égout Vego pour la vidange de la cuve acide. -Vanne de retour acide Vra. -Vanne de vapeur acide Vva. -Indicateur transmetteur de la température PT100₃. -sonde de niveau haut LS3. -sonde de niveau bas LS5.
	<ul style="list-style-type: none"> -Vanne automatique Tout ou Rien Ve1 pour remplissage de cuve d'eau. -Vanne égout Vego pour la vidange de la cuve acide

Réservoir d'eau	<ul style="list-style-type: none"> -Indicateur transmetteur de la température PT100₁. -Vanne automatique Tout ou Rien V4 qui sert à envoyer de l'eau vers la cuve de caillage pour la nettoyer. -sonde de niveau haut (LS1). -sonde de niveau bas (LS3).
Echangeurs thermiques	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Echangeur thermique d'eau : <ul style="list-style-type: none"> -Vanne arrivé de vapeur eau Vvea. - Vanne retour de vapeur eau Vver -pompe de recirculation Pe. ➤ Echangeur thermique soude : <ul style="list-style-type: none"> -Vanne arrivé de vapeur eau Vvsa. - Vanne retour de vapeur eau Vvsr -Pompe de recirculation Ps2 ➤ Echangeur thermique soude : <ul style="list-style-type: none"> -Vanne arrivé de vapeur eau Vvaa. - Vanne retour de vapeur eau Vvar. -Pompe de recirculation Pa1
Cuve de caillage	<ul style="list-style-type: none"> -Vanne nettoyage Vn. -Vanne retour nettoyage Vrn. -Vanne d'égout Vego. -Vanne routeur acide Vra. -Vanne routeur soude Vrs.

Tableau I. 1 : Les zones de la centrale de nettoyage en place pour cuve de caillage du lait.

I.12 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons réalisé une étude approfondie sur les composants de la station NEP (nettoyage en place) et sur la cuve de caillage, examinant leurs fonctionnalités et leurs caractéristiques respectives. Comprendre pleinement le processus automatique nécessite une modélisation précise du système, une démarche que nous entreprendrons dans le chapitre suivant en utilisant le GRAFCET.

CHAPITRE II

Modélisation du système par
l'outil GRAFCET

II.1 Introduction

Afin de satisfaire les exigences du développement de la production automatisée, des techniques simples ont été développées afin de résoudre un problème d'automatisation en se basant sur un cahier des charges précis. En ce qui concerne la description du fonctionnement, il est nécessaire d'utiliser des méthodes pour créer diverses représentations, comme le Réseau de Pétri et le GRAFCET.

Le GRAFCET est un outil utilisé pour représenter les systèmes séquentiels, principalement dans les domaines des commandes d'automatismes. On peut décrire le fonctionnement de ces automatismes séquentiels en plusieurs étapes. La transition d'une étape à une autre se produit lorsque le système est confronté à un événement spécifique (réceptivité).

II.2 Définition du Grafcet

Le **GRAFCET** (**GRA**phe **F**onctionnel de **C**ommande par **E**tapes et **T**ransitions) ou **SFC** (**S**equential **F**onction **C**hart) est un outil **graphique** qui décrit les différents comportements de l'évolution d'un **automatisme** et établit une correspondance à caractère séquentiel et combinatoire entre :

- Les **ENTREES** : les transferts d'informations de la partie opérative vers la partie commande.
- Les **SORTIES** : transferts d'informations de la partie commande vers la partie opérative.

C'est un outil graphique puissant, directement exploitable, car c'est aussi un langage pour la plupart des **API** existants sur le marché. Lorsque le mot **GRAFCET** (*en lettre capitale*) est utilisé, il fait référence à l'outil de **modélisation**. Lorsque le mot **grafcet** est écrit en minuscule, il fait alors référence à **un modèle** obtenu à l'aide des règles du **GRAFCET**.

Le **GRAFCET** comprend :

- Des **étapes** associées à des actions ;
- Des **transitions** associées à des **réceptivités** ;
- Des **liaisons orientées** reliant étapes et transitions.

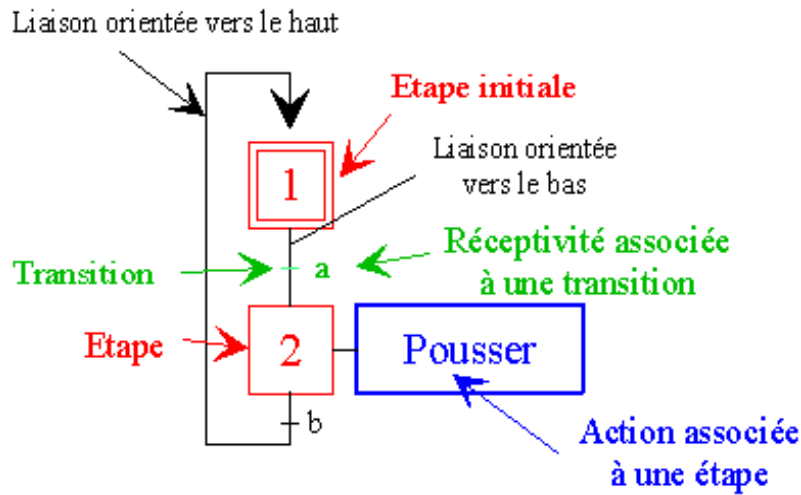




Figure II.1 : Principes fondamentaux d'un GRAFCET [12].

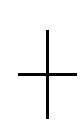
Etape initiale :

 ⇒ L'étape initiale caractérise l'état du système au début du fonctionnement.


Etape :

 ⇒ Une étape correspond à un comportement stable du system. Les étapes sont numérotées dans l'ordre croissant. A chaque étape on peut associer une ou plusieurs actions.

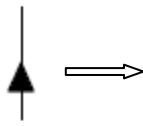
Transition :

 ⇒ Les transitions indiquent les possibilités d'évolution du cycle, à chaque transition est associée à une réceptivité.

Réceptivité :

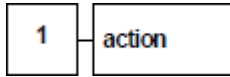
 ⇒ La réceptivité est la condition logique pour l'évolution du GRAFCET. Si la réceptivité est vrai (=1) le cycle peut évoluer. Les réceptivités proviennent du pupitre de commande, des fins de courses ou d'informations provenant de la partie opérative.

Liaisons orientées :



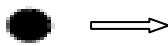
Le GRAFCET se lit de haut en bas, autrement il est nécessaire d'indiquer son évolution avec des liaisons orientées constituées de flèche indiquant le sens

Action :



L'action est associée à une étape, elle est active lorsque le cycle est arrivé sur l'étape. Il est possible de définir les actions conditionnelles, temporisé... (Électrovanne, enclenchement d'un contacteur...).

Etape active :



Le point indique que l'étape est active

II.3 Les concepts de base du GRAFCET

II.3.1 Etapes

Une **étape** symbolise un état ou une partie de l'état du système automatisé. L'étape possède deux états possibles : **active** représentée par un jeton dans l'étape ou **inactive**. L'étape *i*, représentée par un carré repéré numériquement, possède ainsi une variable d'état, appelée variable d'étape **X_i**. Cette variable est une variable booléenne valant **1** si l'étape est active, **0** sinon. La situation initiale d'un système automatisé est indiquée par une étape dite **étape initiale** et représentée par un carré double.

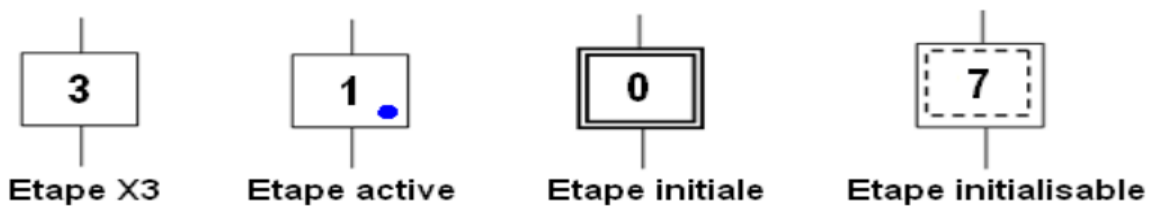


Figure II.2 : Représentation des étapes.

II.3.2 Actions associées aux étapes

A chaque étape est associée une **action** ou plusieurs, c'est-à-dire un ordre vers la partie opérative ou vers d'autres grafquets. Mais on peut rencontrer aussi une même action associée à plusieurs étapes ou une étape **vide**.

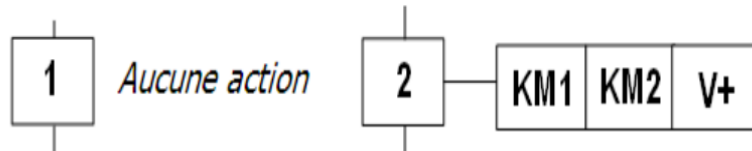


Figure II.3 : Représentation des actions

I.3.3 Transition

Une transition indique la possibilité d'évolution qui existe entre deux étapes et donc la succession de deux activités dans la partie opérative. Lors de son franchissement, elle va permettre l'évolution du système. A chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité qui exprime la condition nécessaire pour passer d'une étape à une autre.

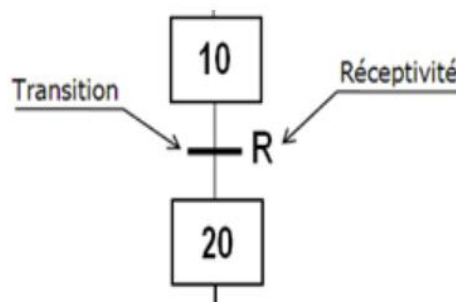


Figure II.4 : Représentation des transitions.

I.3.4 Liaisons orientées

Elles sont de simples traits verticaux qui relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Elles sont normalement orientées de haut vers le bas. Une flèche est nécessaire dans le cas contraire.

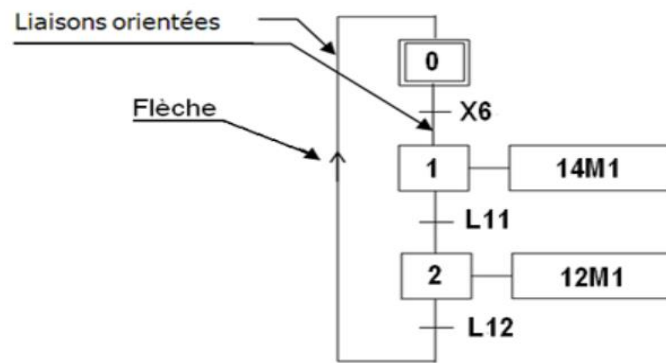


Figure II.5 : Représentations des liaisons.

II.4 Structures de base

II.4.1 Notion de séquence

Une séquence, dans un Grafcet, est une suite d'étapes à exécuter l'une après l'autre. Autrement dit chaque étape ne possède qu'une seule transition AVAL et une seule transition AMONT.

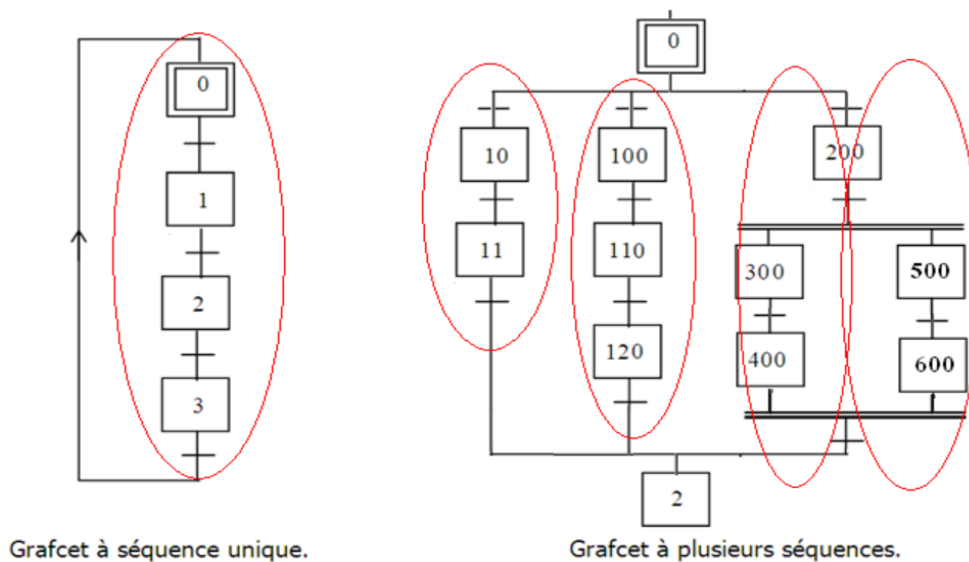


Figure II.6 : Représentation de notion de séquence.

II.4.2 Saut étapes et reprise d'une séquence

Le saut d'étapes permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions associées sont inutiles à réaliser, La reprise de séquence (ou boucle) permet de reprendre, une ou plusieurs fois, une séquence tant qu'une condition n'est pas obtenue.

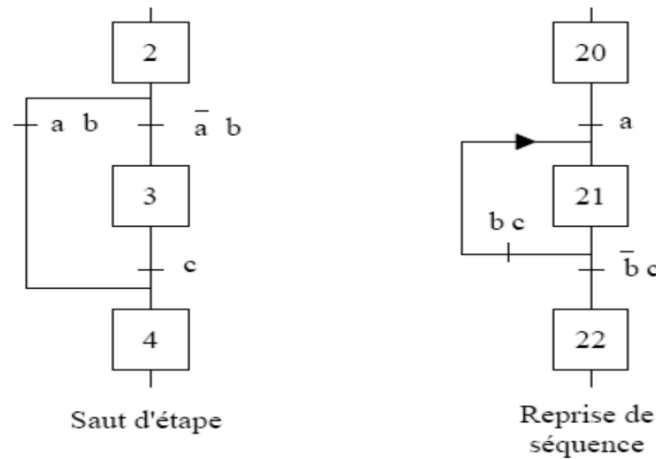


Figure II.7 : Saut d'étape et reprise d'une séquence [15].

II.4.3 Divergence et convergence en OU :

- **Divergence en OU** : l'évolution du système se dirige vers une des branches en fonction des réceptivités A1, B1 et de leurs transitions associées.
- **Convergence en OU** : après une divergence en OU on trouve une convergence en OU vers une étape commune ; dans l'exemple l'étape 35.[15]

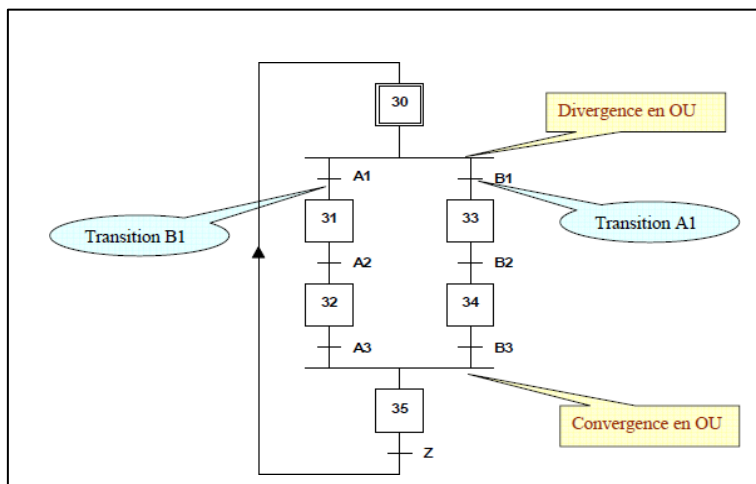


Figure II.8 : Représentation d'une divergence et convergence en OU.[15]

II.4.4 Divergence et convergence en ET :

- **Divergence en ET** : représentation par 2 traits identiques et parallèles ; lorsque la transition A est franchie les étapes 21 et 23 sont actives.
- **Convergence en ET** : Lorsque les étapes 22 et 24 seront actives, si la réceptivité associée à la transition D est vraie alors elle est franchie et l'étape 25 devient active et désactive les étapes 22 et 24.

Le nombre de branches peut être supérieur à 2 et après une divergence en ET on trouve une convergence en ET.[15]

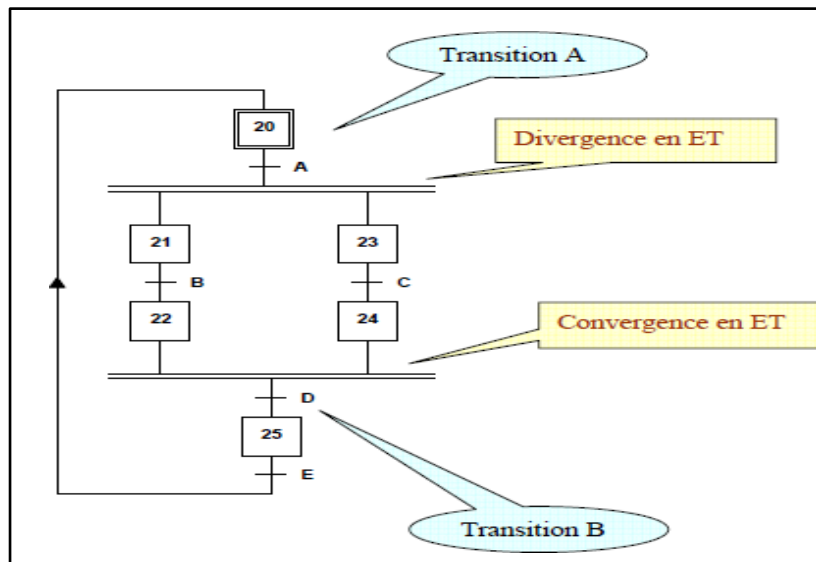


Figure II.9 : Représentation d'une divergence et convergence en ET.[16]

II.5 Niveau d'un grafcet

Il existe trois niveaux du grafcet :

- **Grafcet de niveau 1** : La partie commande, également connue sous le nom de niveau de commande, définit le fonctionnement du système et les actions à entreprendre par la partie commande en réponse aux informations provenant de la partie opérative, peu importe la technologie utilisée. On décrit les réceptivités en utilisant des mots plutôt que des abréviations.
- **Grafcet de niveau 2** : Le niveau opérationnel d'un GRAFCET est un niveau qui tient compte de plus de détails concernant les actionneurs, les pré-actionneurs et les capteurs du système. La représentation des actions et des réceptivités se fait à ce niveau par des abréviations et non par des mots. Une majuscule est liée à l'action et une minuscule à la réceptivité.
- **Grafcet de 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.

II.6 Modélisation du procédé par l'outil GRAFCET et cahier des charges

II.6.1 Cahier des charges

Avant de commencer la procédure de lavage, l'agent doit effectuer les vérifications suivantes :

- Assurez que le circuit d'alimentation d'eau de la station NEP est activé.
- La présence de produit à doser (acide et soude).
- Configurez les paramètres de consigne comme la température et la conductivité.

Après vérification des conditions initiales de démarrage du cycle de nettoyage, l'agent appuie sur le bouton départ préparation qui déclenche :

1.Activation des vannes :

- Le bouton digital **Bd** est enfoncé, les vannes **Ve1**, **Ve2** et **Ve3** s'ouvrent simultanément pour remplir les cuves d'eau correspondantes jusqu'à ce que les capteurs de niveau haut **LS1**, **LS2** et **LS3** soient atteints.
- À l'atteinte de chaque niveau haut, la vanne respective se ferme.

2.Amorçage des cuves de soude et d'acide :

La préparation démarre simultanément une fois la cuve soude et d'acide remplies.

➤ Pour la cuve soude :

- Le capteur de niveau haut **LS2** active la pompe **Ps2** et la pompe **Ps** pour la recirculation et l'échauffement de la solution.
- La vanne de vaporisation de l'échangeur thermique **Vvs** s'ouvre pour atteindre la température désirée.
- La vanne **Vvs** se ferme lorsque la température est atteinte.
- Une fois la conductivité désirée éteinte, la pompe **Ps** se ferme.
- La pompe **Ps2** reste toujours en marche jusqu'à ce que la conductivité et la température désirée atteinte.
- Préparation soude OK.

➤ **Pour la cuve d'acide :**

- Le capteur de niveau haut **LS3** active la pompe **Pa2** et la pompe **Pa** pour la recirculation et l'échauffement de la solution.
- La vanne de vaporisation de l'échangeur thermique **Vva** s'ouvre pour atteindre la température désirée.
- La vanne **Vva** se ferme lorsque la température désirée est atteinte.
- Une fois la conductivité désirée atteinte, la pompe **Pa** se ferme.
- La pompe **Pa2** reste toujours en marche jusqu'à ce que la conductivité et la température désirée atteinte.
- Préparation acide OK.

3. Nettoyage de la cuve de caillage : qui se déroule en cinq étapes :

Pour entamer le nettoyage l'agent clique sur le bouton démarrage nettoyage **DN** :

Etape 1 : Rinçage Avec l'eau froide :

- Activation de la pompe **Pe** et les vannes **V4**, **Vn**, **Vrn** et **Vego** pendant **T1= 19 minutes**.

Etape 2 : Nettoyage avec la soude :

- La fin de temporisation **T1**, enclenchera l'activation des pompes **Ps1** et **Ps2** et ouverture des vannes **V5**, **Vn**, **Vrn**. Pendant **T2= 20 minutes**.
- A la fin de la temporisation **T2**, les vannes **V5**, **Vn**, **Vrn** se ferment et la pompe **Ps1** se désactive.
- Si la conductivité dépasse **30 ms**, la vanne **Vrs** s'ouvre et la vanne **Vego** se ferme, sinon, c'est l'inverse.
- Si le capteur niveau bas **LS5** s'allume les vannes **V5**, **Vn**, **Vrn** se ferment et la pompe **Ps1** se désactive pour assurer la sécurité de la pompe **PS1**.

Etape 3 : Rinçage à l'eau chaude :

- Activation de la pompe **Pe** et ouverture des vannes **V4**, **Vn**, et **Vego** pendant **T3= 5 minutes**.
- Si la température est inférieure à la consigne désirée ouverture de la vanne **Vve**, sinon c'est l'inverse.

Etape 4 : Nettoyage avec l'acide :

- Activation des pompes **Pa1** et **Pa2** et ouverture des vannes **V6**, **Vn**, **Vrn** pendant **T4= 10 minutes**
- Fin de T4 causera, la fermeture des vannes **V6**, **Vn**, **Vrn** et désactivation des pompes **Pa1** et **Pa2**.
- Si la conductivité dépasse **30 ms**, la vanne **V_{RA}** s'ouvre et la vanne **Vego** se ferme, sinon, c'est l'inverse.

Etape 5 : Rinçage avec l'eau froide :

- Activation de la pompe **Pe** et les vannes **V4**, **Vn**, **Vrn**, **Vego** pendant **T6 =10 minutes**.

Une fois le nettoyage de la cuve de caillage terminé, le système est prêt pour la prochaine phase de production.

II.6.2 Identification des entrées / sorties

Bd	Bouton digital
LS1	Sonde de niveau haut cuve eau
LS2	Sonde de niveau haut cuve soude
LS3	Sonde de niveau haut cuve acide
LS4	Sonde de niveau bas cuve soude
LS5	Sonde de niveau bas cuve acide
LS6	Sonde de niveau bas cuve eau
V_{E1}^+	Ouverture de la vanne d'eau V_{E1}
V_{E2}^+	Ouverture de la vanne d'eau V_{E2}
V_{E3}^+	Ouverture de la vanne d'eau V_{E3}
$\overline{B_{E1}}$	Capteur de la vanne V_{E1} position ouvert
$\overline{B_{E2}}$	Capteur de la vanne V_{E2} position ouvert
$\overline{B_{E3}}$	Capteur de la vanne V_{E3} position ouvert
V_{E1}^-	Fermeture de la vanne d'eau V_{E1}
V_{E2}^-	Fermeture de la vanne d'eau V_{E2}
V_{E3}^-	Fermeture de la vanne d'eau V_{E3}
B_{E1}	Capteur de la vanne V_{E1} position fermé

B_{E2}	Capteur de la vanne V_{E2} position fermé
B_{E3}	Capteur de la vanne V_{E3} position fermé
D-pré-cuve-soude	Demande préparation soude
Fin pré-cuve-soude	Fin préparation soude
D-pré-cuve-acide	Début préparation acide
Fin pré-cuve-acide	Fin préparation acide
D-C-R-R-T	Demande cycle CIP rinçage réservoir de caillage
Fin D-C-R-R-T	Fin cycle CIP rinçage réservoir de caillage
$Ps2^+$	Ouverture de la Pompe recirculation soude
Vvs^+	Ouverture de la Vanne de vapeur soude
Ps^+	Ouverture de la Pompe soude(produit)
$Vvsa^+$	Ouverture de la Vanne arrivée vapeur soude
$\overline{B_{Vvs}}$	Capteur Vanne de vapeur soude position ouvert
$\overline{B_{Vvsa}}$	Capteur Vanne arrivée vapeur soude position ouvert
Ps^-	Fermeture de la Pompe recirculation soude
Vvs^-	Fermeture de la Vanne de vapeur soude
Ps^-	Fermeture de la Pompe soude(produit)
$Vvsa^-$	Fermeture de la Vanne arrivée vapeur soude
PT100 ₁	Température préparation soude attente
Conds	Capteur conductivité préparation soude
B_{Vvs}	Capteur Vanne de vapeur soude position fermé
B_{Vvsa}	Capteur Vanne arrivée vapeur soude position fermé

Pa_2^+	Ouverture de la Pompe recirculation acide
Vva^+	Ouverture de la Vanne de vapeur acide
Pa^+	Ouverture de la Pompe acide (produit)
$Vvaa^+$	Ouverture de la Vanne arrivée vapeur acide
$\overline{B_{Vva}}$	Capteur Vanne de vapeur acide position ouvert
$\overline{B_{Vvaa}}$	Capteur Vanne arrivée vapeur acide position ouvert
Pa_2^-	Fermeture de la Pompe recirculation acide
Vva^-	Fermeture de la Vanne de vapeur acide
Pa^-	Fermeture de la Pompe acide (produit)
$Vvaa^-$	Fermeture de la Vanne arrivée vapeur acide
PT100 ₂	Température préparation acide attente
Conda	Capteur conductivité préparation acide
BVva	Capteur Vanne de vapeur acide position fermé
Bvaa	Capteur Vanne arrivée vapeur acide position fermé
D-N-C-T	Demande de nettoyage cuve de caillage
Pe^+	Ouverture de la pompe d'eau
$V4^+$	Ouverture de la vanne V4
Vn^+	Ouverture de la vanne de nettoyage pour la cuve de caillage
Vrn^+	Ouverture de la vanne de retour nettoyage
$Vego^+$	Ouverture de la vanne d'ego
$\overline{B_4}$	Capteur vanne V4 position ouvert
$\overline{B_n}$	Capteur vanne de nettoyage position ouvert

\overline{B}_{ego}	Capteur vanne d'ego position ouvert
\overline{B}_{rn}	Capteur vanne retour de nettoyage position ouvert
Pe^-	Fermeture de la pompe d'eau
$V4^-$	Fermeture de la vanne V4
Vn^-	Fermeture de la vanne de nettoyage pour la cuve de caillage
Vrn^-	Fermeture de la vanne de retour nettoyage
$Vego^-$	Fermeture de la vanne d'ego
B4	Capteur vanne V4 position ouvert
Bn	Capteur vanne de nettoyage position fermé
Bego	Capteur vanne d'ego position fermé
Brn	Capteur vanne retour de nettoyage position fermé
$V5^+$	Ouverture de la vanne v5
$Ps1^+$	Ouverture de la pompe soude 1
\overline{B}_5	Capteur de la vanne V5 position ouvert
$V5^-$	Fermeture de la vanne v5
B5	Capteur de la vanne V5 position fermé
Vrs^+	Ouverture vanne routeur soude
\overline{B}_{rs}	Capteur de vanne routeur soude position ouvert
Vrs^-	Fermeture vanne routeur soude
Brs	Capteur de vanne routeur soude position fermé
$V6^+$	Ouverture de la vanne v6
Pa1+	Ouverture de la pompe acide 1
\overline{B}_6	Capteur de la vanne v6 position ouvert
$V6^-$	Fermeture de la vanne v6
B6	Capteur de la vanne v6 position fermé
Vra^+	Ouverture de la vanne retour acide

\overline{Bra}	Capteur de la vanne retour acide position ouvert
Vra	Fermeture de la vanne retour acide
Bra	Capteur de la vanne retour acide position fermé

Tableau II.1 : Identification des entrées / sorties.

II.6.3 Grafcet

Selon les spécifications du cahier des charges, le Grafcet à développer doit permettre l'exécution des cycles suivants :

- Cycle de préparation du réservoir soude
- Cycle de préparation du réservoir d'acide
- Cycle CIP rinçage réservoir de caillage.

Les grafkets fonctionnels ci-dessous illustrent la conception qui satisfait à ces exigences.

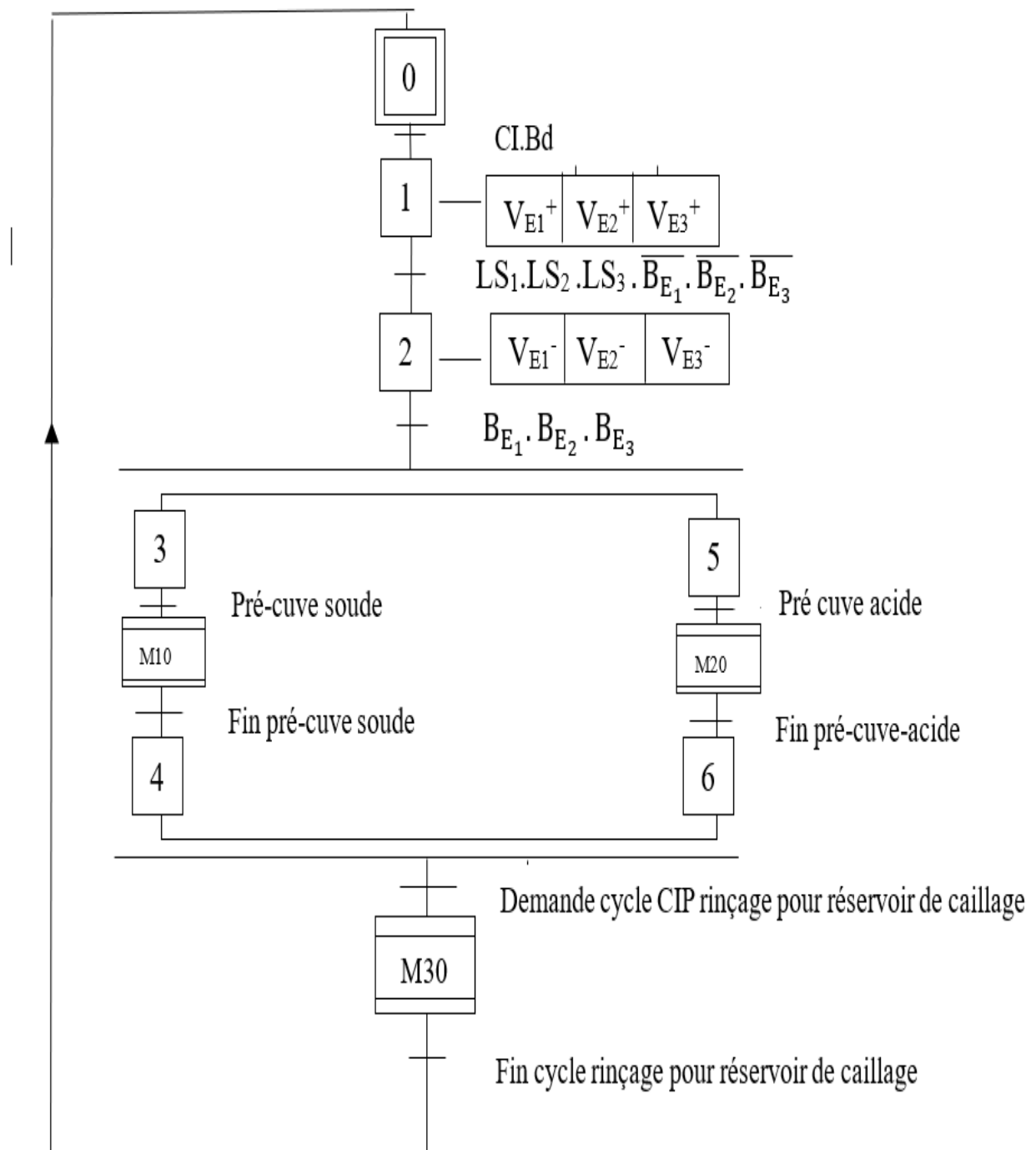


Figure II.10 : Grafcet principal.

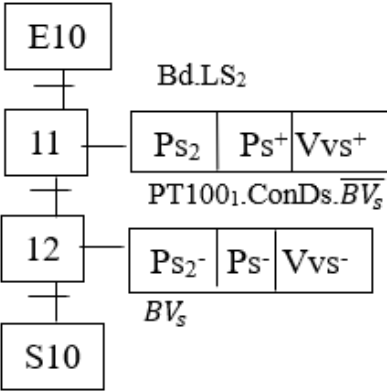


Figure II.11: Préparation cuve soude

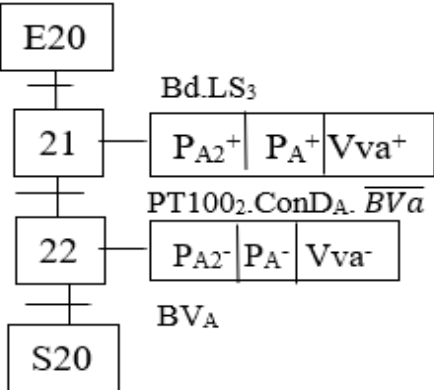


Figure II.12 : Préparation cuve acide

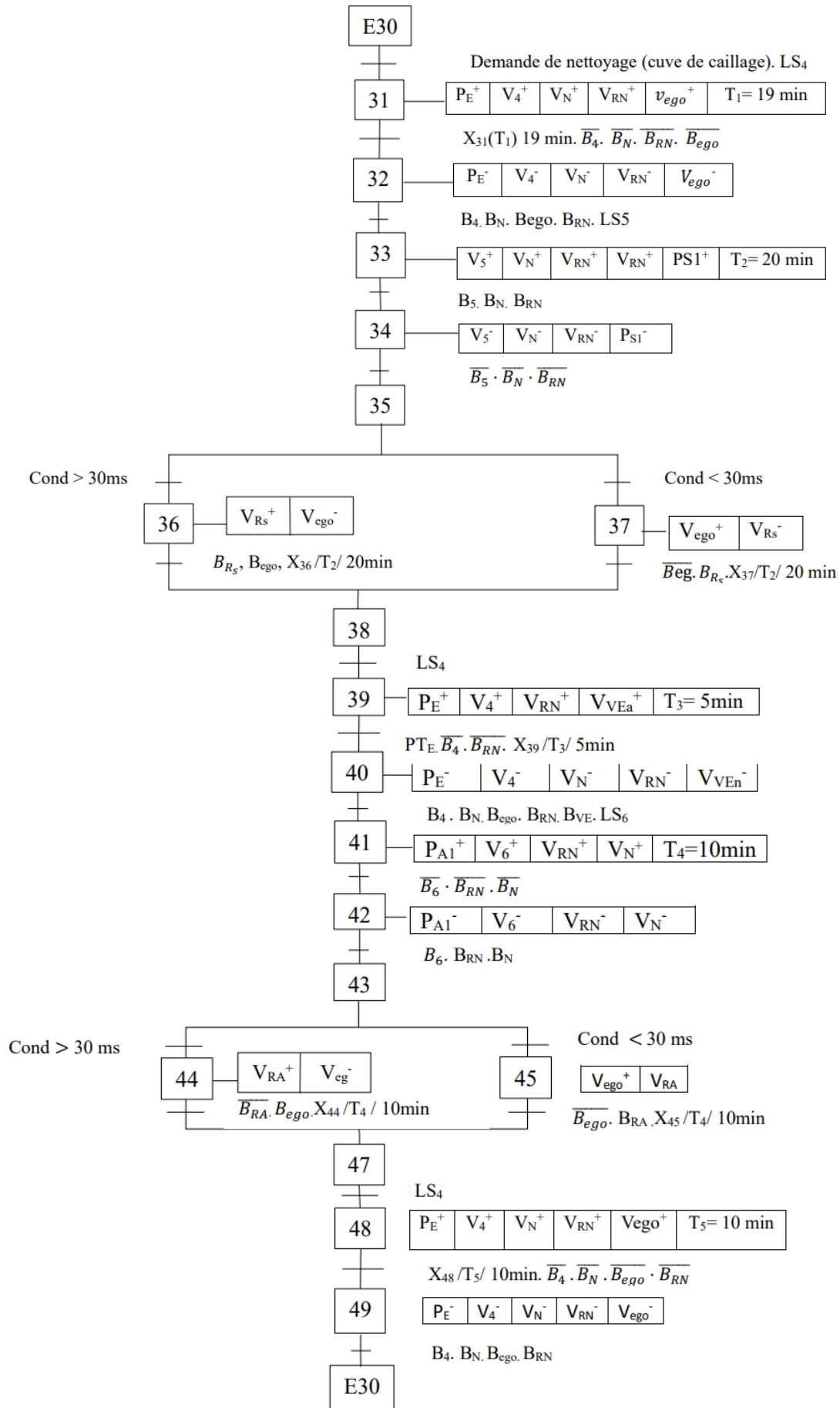


Figure II.13 : Nettoyage cuve de caillage.

II.7 Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons élaboré des GRAFCET pour décrire le processus de nettoyage de la cuve de caillage, ce qui a grandement facilité la transition d'un cahier des charges fonctionnel à un langage de programmation spécifique.

Dans le prochain chapitre, cette base solide nous permettra d'adapter un API S7-300 et de réaliser la simulation avec la supervision.

Chapitre III

Adaptation d'un API

S7 300

III.1. Introduction

L'automatisation des processus améliore la productivité, la fiabilité, la disponibilité et les performances au sein des entreprises, Un système automatisé comprend plusieurs composants, dont l'automate programmable industriel (API ou PLC en anglais) est central. Les API offrent des solutions simples, flexibles et adaptables aux évolutions des processus de production.

La programmation d'un automate nécessite une planification minutieuse de la séquence des tâches du procédé, avec des outils tels que le grafcet pour aider à cette organisation, ainsi que le choix d'un automate adapté à la solution envisagée. Dans ce chapitre, nous examinerons l'adaptation d'un automate programmable industriel (API) S7-300 avec TIA Portal V14. Le S7-300, une solution éprouvée de Siemens, est renommée pour sa robustesse et sa flexibilité dans les applications d'automatisation industrielle.

III.2. Les systèmes automatisés

Les systèmes automatisés sont des appareils capables de prendre en compte des signaux et de produire en conséquence des actions. Ils sont composés de deux parties distinctes :

➤ **Partie commande (PC) :**

Est responsable du traitement des informations et de la prise de décisions pour contrôler le fonctionnement du système. Elle comprend des composants électroniques, des capteurs, des actionneurs et un processeur qui analysent les données entrantes, exécutent des algorithmes et envoient des signaux de commande à la partie opérative. La partie commande joue un rôle crucial dans la supervision et la régulation des opérations du système automatisé, assurant ainsi son bon fonctionnement et sa performance optimale.

➤ **Partie opérative (PO) :**

Est la partie qui effectue le travail concret du système. Elle est responsable de réaliser les mouvements et les actions sur le produit en fonction des ordres reçus de la partie commande. Cette partie regroupe les effecteurs, les actionneurs, les pré-actionneurs et les capteurs nécessaires pour contrôler le déplacement des actionneurs et la présence des objets ou des personnes. Les actionneurs produisent des actions physiques telles que le mouvement, la chaleur, la lumière ou le son en utilisant l'énergie qu'ils reçoivent, tandis que les capteurs recueillent des informations et les transmettent à la partie commande pour permettre une interaction efficace entre les deux parties du système automatisé.

III.3. Automates programmables industriels (API)

III.3.1. Définition d'un API

Un API (ou PLC Programmable Logic Controller) est un appareil électronique adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogiques ou numériques[2].

III.3.2. Architecture des automates

Aspect extérieur : les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

- **Type compact :** il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide) et recevoir des extensions en nombre limité. Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.

- **Type modulaire :** le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs). Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires.

Aspect interne : La figure ci-dessous montre l'aspect interne d'un API :

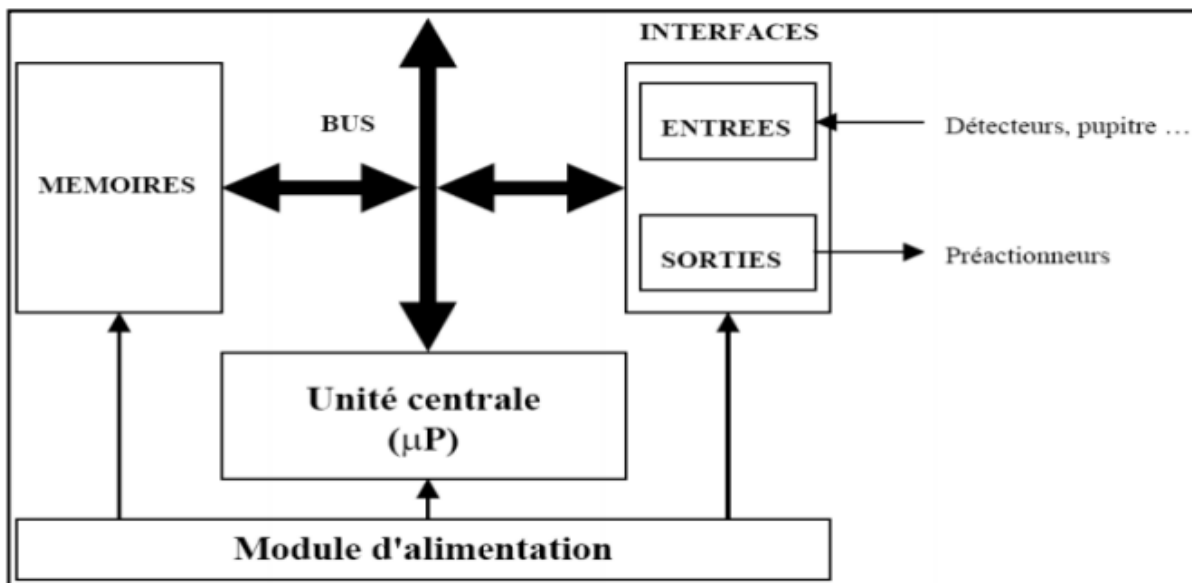


Figure III.1: Aspect interne d'un API [12].

- **Module d'alimentation** : il assure la distribution d'énergie aux différents modules.
- **Unité centrale** : à base de microprocesseur, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...).
- **Le bus interne** : il permet la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions.
- **Mémoires** : Elles permettent de stocker le système d'exploitation (ROM ou PROM), le programme (EEPROM) et les données système lors du fonctionnement (RAM).
- **Interfaces d'entrées / sorties** :

Interface d'entrée : elle permet de recevoir les informations du Système automatisé ou du pupitre et de mettre en forme (filtrage, ...) ce signal.

Interface de sortie : elle permet de commander les divers pré actionneurs et éléments de signalisation du Système [12].

III.4. Composition interne d'un automate programmable industriel

De manière générale, l'automate programmable industriel est composé de plusieurs éléments de base décrite ci-dessous :

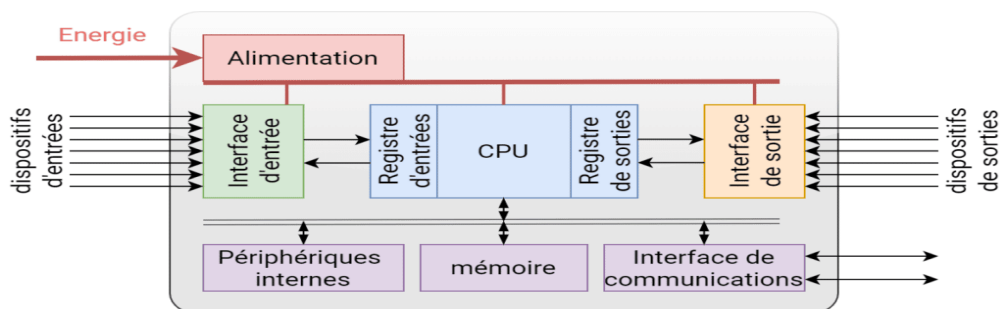


Figure III.2 : Composition interne d'un API [13].

- **Un processeur (ou Central Processing Unit, CPU)** : Son rôle consiste à traiter les instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'application, à gérer les entrées et sorties, à surveiller et diagnostiquer l'automate (par des tests lancés régulièrement), et à mettre en place un dialogue avec le terminal de programmation.

- **Une mémoire :** Elle permet le stockage des instructions constituant le programme de fonctionnement ainsi que diverses informations. Il peut s'agir de mémoire vive RAM (modifiable à volonté, mais perdue en cas de coupure de tension) ou de mémoire morte EEPROM (seule la lecture est possible).
- **Des interfaces entrées/sorties :** Elles permettent au processeur de recevoir et d'envoyer des informations. Ces dispositifs d'entrée et sortie peuvent produire des signaux discrets, numériques (ce sont des sorties de type « tout ou rien ») ou analogiques. Les dispositifs qui génèrent des signaux discrets ou numériques sont ceux dont les sorties sont de type tout ou rien. Par conséquent, un interrupteur est un dispositif qui produit un signal discret : présence ou absence de tension. Les dispositifs numériques peuvent être vus comme des dispositifs discrets qui produisent une suite de signaux tout ou rien. Les dispositifs analogiques créent des signaux dont l'amplitude est proportionnelle à la grandeur de la variable surveillée.
- **Alimentation :** est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une basse tension continue (24V) nécessaire au processeur et aux modules d'entrées-sorties. L'alimentation ne fait pas toujours partie de l'automate qui sera donc directement alimenté par une base tension.
- **Interface de communication :** est utilisée pour recevoir et transmettre des données sur des réseaux de communication qui relient l'API à d'autres APIs distants ou à des équipements en fonction des protocoles choisis. Elle est impliquée dans des opérations telles que la vérification d'un périphérique, l'acquisition de données, la synchronisation entre des applications et la gestion de la connexion.
- **Périphérique de programmation :** est utilisé pour entrer le programme dans la mémoire du processeur. Ce programme est développé sur le périphérique, puis transfère dans la mémoire de l'API.

III.5. Organisation modulaire de l'API et langage de programmation

III.5.1. Organisation modulaire de l'API

L'automate programmable se présente comme un ensemble de blocs fonctionnels s'articulant autour d'un canal de communication : le bus interne.

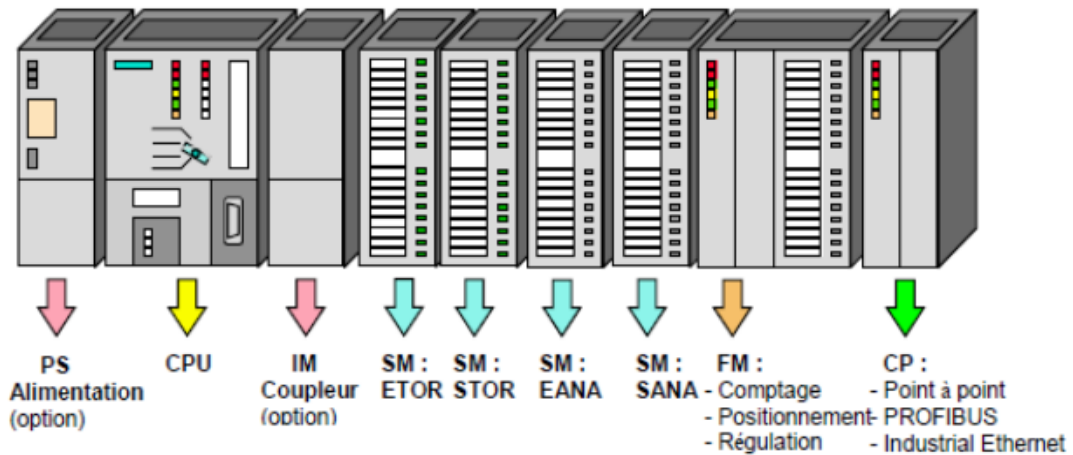


Figure III.3 : Organisation modulaire de l'API [12].

Les automates Siemens S7 -300 appartiennent à la gamme des automates modulaires. Ils sont programmés par l'intermédiaire du logiciel SIMATIC MANAGER STEP7 qui permet entre autres :

- La configuration et le paramétrage du matériel.
- Le paramétrage de la communication.
- La programmation.
- Le test, la mise en service et la maintenance.

III.5.2 Langages de programmation

Les langages de bases proposés dans l'éditeur de programme du logiciel STEP7 sont :

CONT, LIST et LOG.

a) CONT

Le langage CONT appelé aussi langage à contact ou LADDER est un langage dont la logique est inspirée des réseaux électriques. C'est un langage de programmation graphique.

b) LOG

Le LOG appelé aussi logigramme est un langage de programmation graphique qui utilise des portes logiques d'algèbre de BOOL, la base de ce langage est la logique binaire, mais on peut

aussi faire des opérations plus complexes telles que les opérations mathématiques qui peuvent être représentées directement combinées avec les portes logiques.

c) LIST

Le langage LIST figure parmi les langages de base du logiciel STEP7, sa syntaxe est similaire à celle de l'assembleur. C'est le langage le plus proche du langage machine, ce qui lui donne l'avantage d'être le langage le plus adapté pour la programmation avec optimisation d'espace mémoire et de temps d'exécution. Il dispose d'un jeu d'instruction très important permettant la création de programmes utilisateurs complets. Sachant que tout programme écrit en CONT ou en LOG peut être réécrit en LIST.

III.6. TIA Portal (Totally Integrated Automation)

III.6.1 Description du logiciel TIA Portal :

La plateforme « Totally Intergrated Automation Portal » est le nouvel environnement de travail Siemens qui permet de mettre en œuvre des solutions d'automatisation avec un système d'ingénierie intègre comprenant les logiciels SIMATIC Step7 et SIMATIC WinCC.

III.6.2 Avantages du logiciel TIA portal :

- Programmation intuitive et rapide : avec des éditeurs de programmation nouvellement développés SCL, CONT, LOG, LIST et GRAPH.
- Efficacité accrue grâce aux innovations linguistiques de STEP 7 : programmation symbolique uniforme, Calculate Box, ajout de blocs durant le fonctionnement, et bien plus encore.
- Performance augmentée grâce à des fonctions intégrées : simulation avec PLCSIM, télémaintenance avec Téléservice et diagnostic système cohérent.
- Environnement de configuration commun avec pupitres IHM et entraînements dans l'environnement d'ingénierie TIA Portal.

III.6.3 Conception d'un programme avec TIA PORTAL V14 :

La stratégie à suivre pour faire la conception d'un programme en utilisant la plateforme TIA PORTAL V14 est :

- La création d'un nouveau projet ;
- La configuration matérielle ;

- La compilation et le chargement de la configuration ;
- La création de la table des mnémoniques ;
- L'élaboration du programme ;
- La simulation avec le logiciel ;
- La visualisation d'état du programme (le test).

La conception d'une solution d'automatisation se fait par deux alternatives, soit-on commence par la programmation ou bien par la configuration matérielle, dans notre cas on a commencé par la configuration.

III.7. Vue du portail et vue du projet :

Lors du lancement de TIA Portal, l'environnement de travail se décompose en deux types de vue :

- **La vue du portail** : elle est axée sur les tâches à exécuter et sa prise en main est très rapide.
- **La vue du projet** : elle comporte une arborescence avec les différents éléments du projet, les éditeurs requis s'ouvrent en fonction des tâches à réaliser : données, paramètres et éditeurs, Ils peuvent être visualisés dans une seule et même vue.

III.7.1. Vue du portail

Chaque portail permet de traiter une catégorie de tâche (actions), la fenêtre affiche la liste des actions pouvant être réalisées pour la tâche sélectionnée, la figure ci-dessous représente une vue du portail.

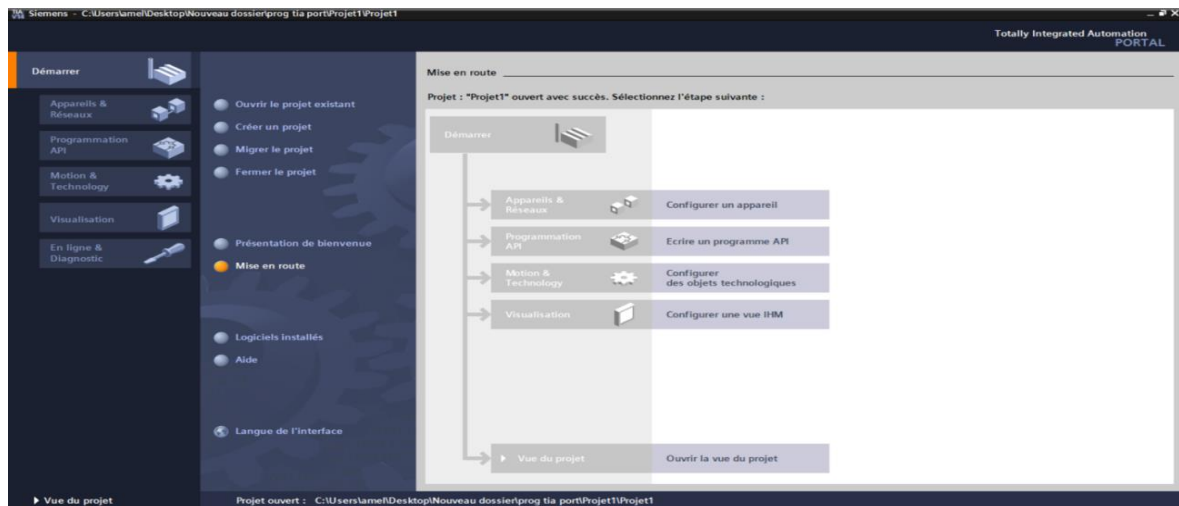


Figure III.4 : Vue du portail.

III.7.2 Vue du projet :

L'élément « Projet » contient l'ensemble des éléments et des données nécessaires pour mettre en œuvre la solution d'automatisation souhaitée, la figure ci-dessous représente la vue du projet.

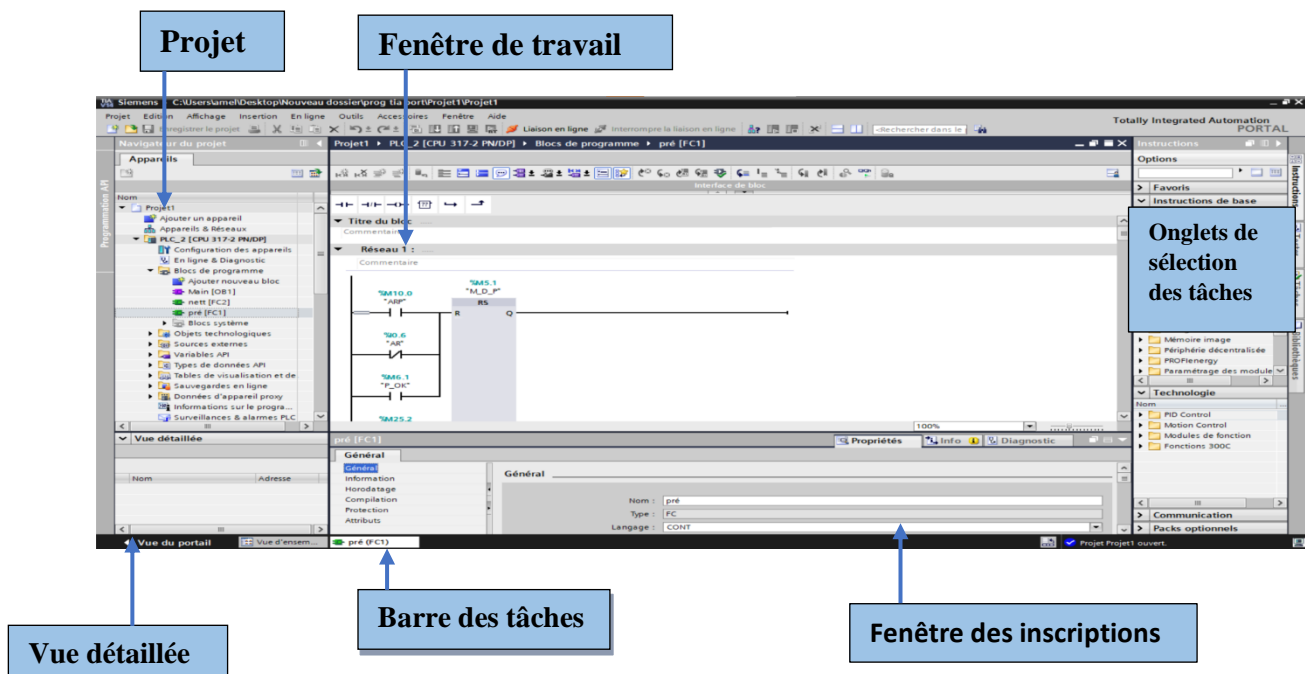


Figure III.5 : Vue du projet.

• **La fenêtre de travail** : permet de visualiser les objets sélectionnés dans le projet pour être traités. Il peut s'agir des composants matériels, des blocs de programme, des tables, des variables et des interfaces homme machine (IHM)

• **La fenêtre d'inspection** : permet de visualiser des informations complémentaires sur un objet sélectionné ou sur les actions en cours d'exécution (propriété du matériel sélectionné, message d'erreur lors de la compilation des blocs de programme...).

• **Les onglets de sélection** : des tâches ont un contenu qui varie en fonction de l'objet sélectionné (configuration matérielle → bibliothèques des composants, bloc de programme → instructions de programmation).

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

III.7.3 Choix du matériel

Le choix du matériel S7-300 nous conduit à introduire les paramètres suivants :

- L'alimentation "PS 307 5A_1" avec le n° "6ES7 307-1EA00-0AA0" du catalogue du matériel sur le premier emplacement du profile support.
- Faire glisser le CPU "CPU 317-2 PN/DP" du catalogue du matériel sur L'emplacement n° 2.
- L'emplacement n° 3 représente une case vide.
- L'emplacement n°4 "DI 16/DO 16x24VDC/0.5A" avec l'article "6ES7 323-1BL00-0AA0"
- L'emplacement n°5 "AI 8x12BIT_1" avec l'article "6ES7 331-7KF02-0AB0"



Figure III.6: Architecture du matériel : CPU et périphériques

III.7.4 Tableau des variables

Après avoir sélectionné les modules de l'API, nous allons créer un tableau des variables comprenant les entrées, les sorties et les variables internes, comme illustré ci-dessous.

Nom	Type de données	Adresse	Rema...	Acces...	Visibl...	Commentaire
1	A_U_Nett	Bool	%M6.4			
2	AR	Bool	%I0.6			
3	ARP	Bool	%MIO.0			
4	B4	Bool	%I1.2			
5	B5	Bool	%I1.6			
6	B6	Bool	%I1.7			
7	B_EGO	Bool	%I1.4			
8	BN	Bool	%I1.3			
9	Bra	Bool	%I2.1			
10	BRN	Bool	%I1.5			
11	Brs	Bool	%I2.2			
12	Bvea	Bool	%I2.0			
13	CA	Bool	%M6.6			
14	CPS	Bool	%M6.3			
15	DN	Bool	%M6.2			
16	DP	Bool	%M6S.2			
17	BVe1	Bool	%I0.3			
18	BVe2	Bool	%I0.4			
19	BVe3	Bool	%I0.5			
20	ETAP_1_Rim_EAU_F	Bool	%M6.5			
21	ETAP_2_Rim_5	Bool	%M6.6			
22	ETAP_3_Rim_EAU_CH	Bool	%M6.7			
23	ETAP_4_Rim_A	Bool	%M7.0			
24	ETAP_5_Rim_EAU_F	Bool	%M7.1			
25	F_Pne_A	Bool	%M6.0			

Figure III.7: Tableau des variables.

III.7.5 Extrait du programme

- ✓ **OB1** : édité en CONT, dans notre exemple l'OB1 fait appel aux blocs FC1 et FC2 utilisés

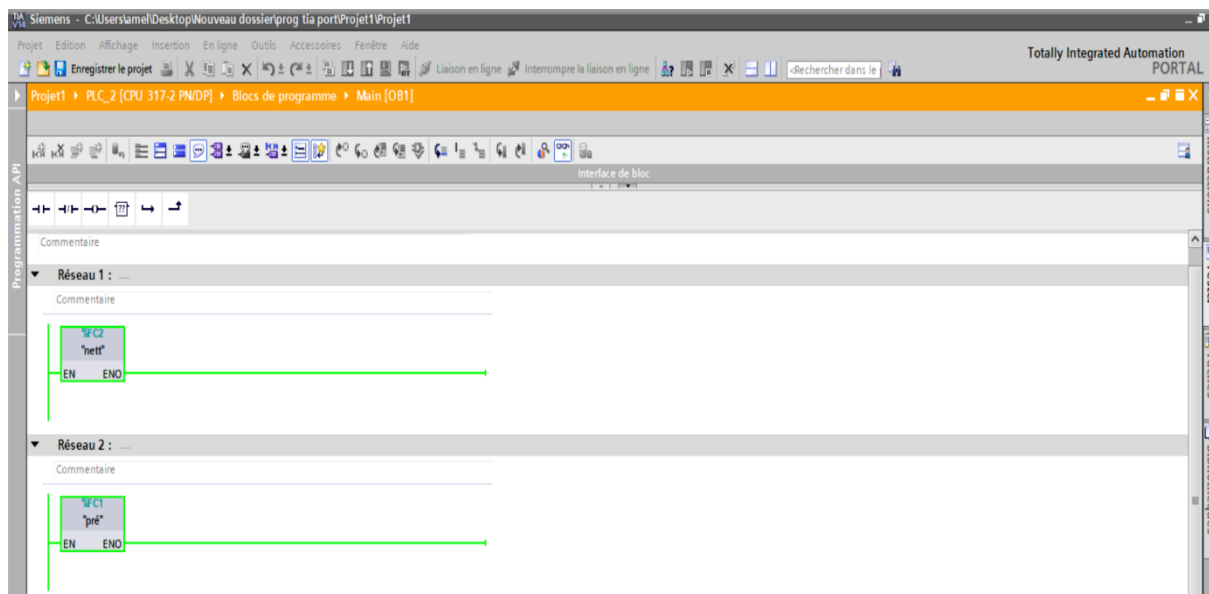


Figure III.8 : Bloc Main OB1 de programme principale.

- ✓ **FC1** : Le Bloc FC1 contient le programme préparation des Cuve d'eau, Soude et Acide.

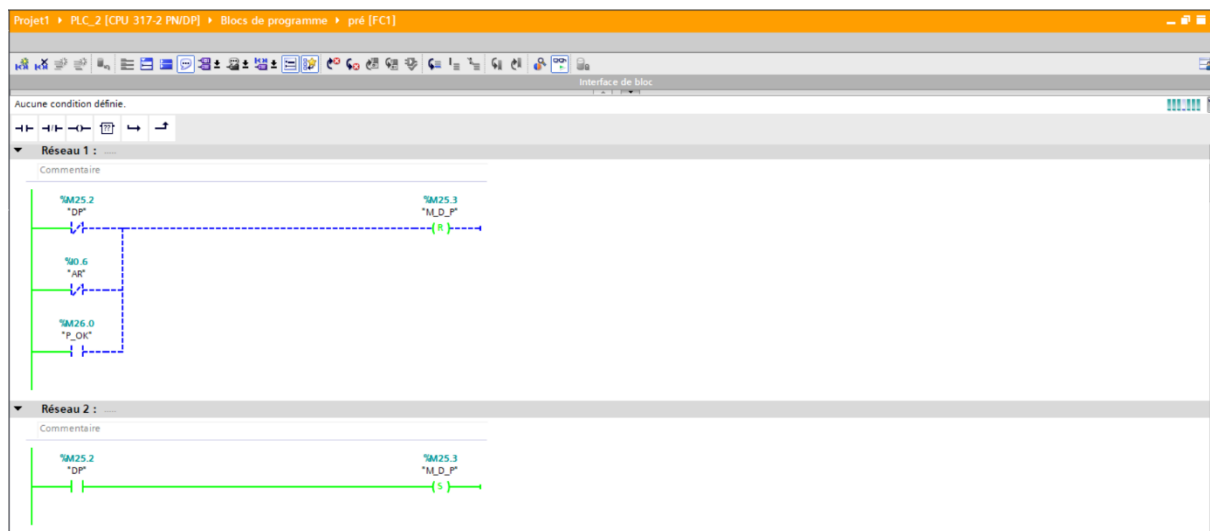


Figure III.9 : Début préparation

Pour garantir l'ouverture des vannes Ve1, Ve2, et Ve3, le memento M_D_P doit être activé

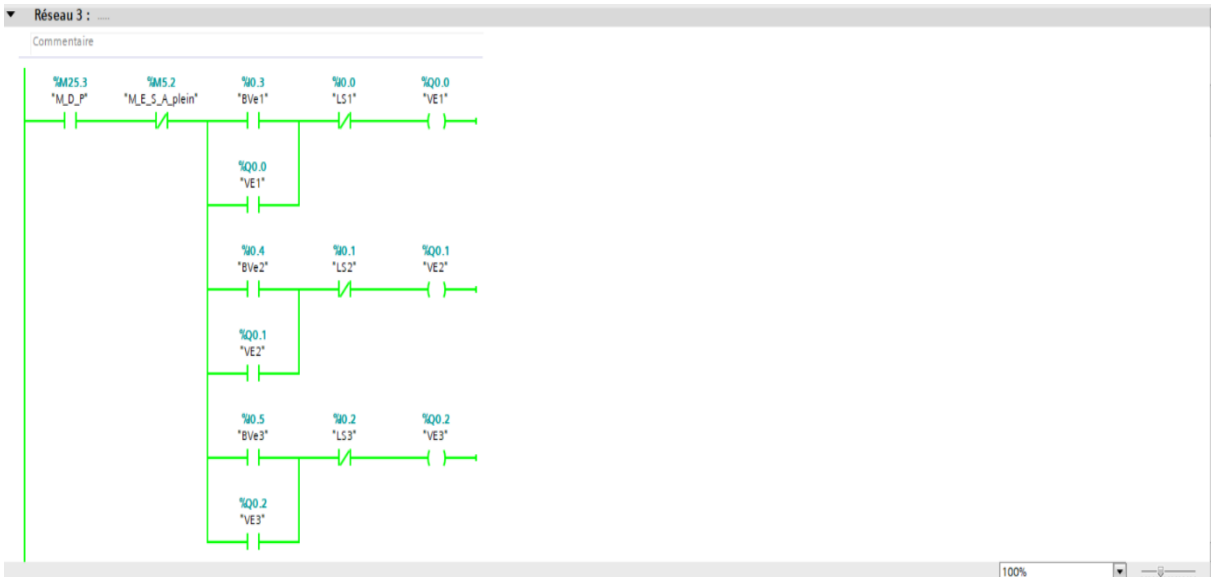


Figure III.10: Ouverture des vannes Ve1 Ve2 Ve3.

Ce réseau représente les trois vannes d'eau. La vanne Ve1 permet de remplir la cuve d'eau, la vanne Ve2 permet de remplir la cuve de soude, et la vanne Ve3 permet de remplir la cuve d'acide

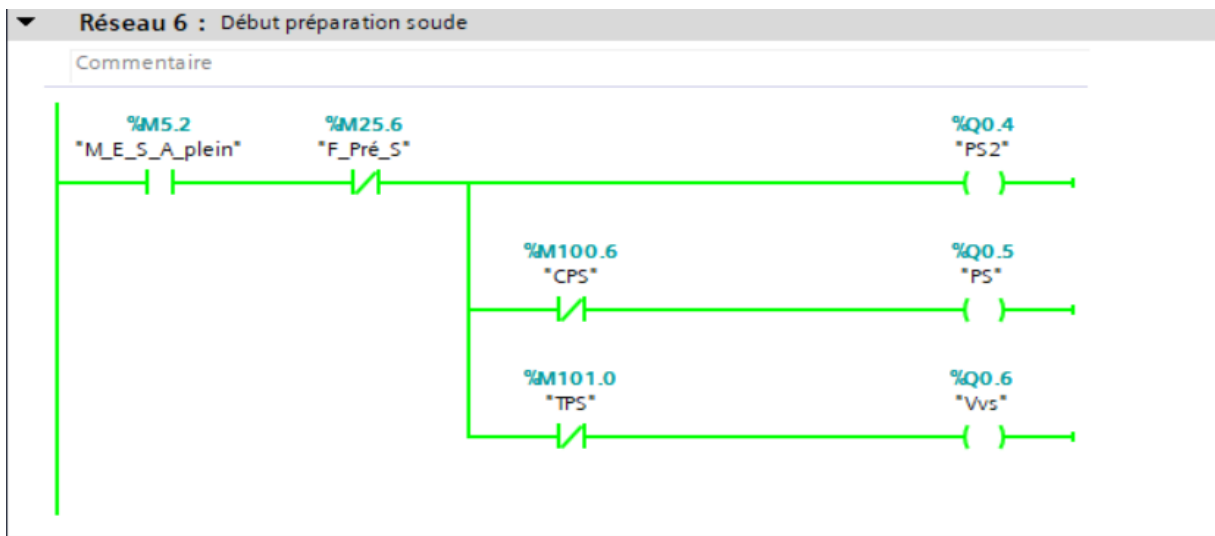


Figure III.11: Activation des pompes Ps2, Ps et la vanne Vvs.

Le réseau 6 représente l'activation des pompes Ps2, Ps et l'ouverture de la vanne Vvs. Pour les activer, il est nécessaire que le memento M-E-S-A-plein soit activé

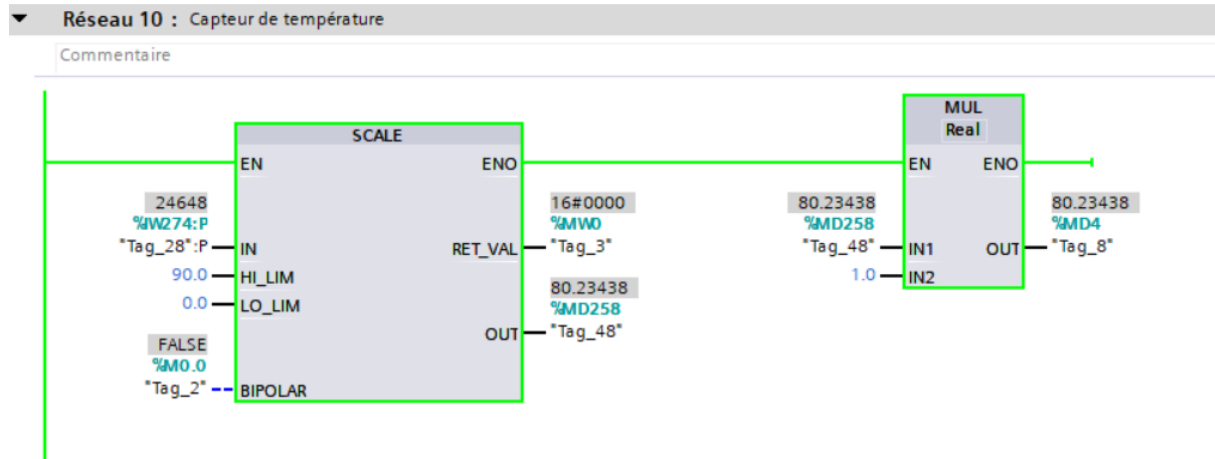


Figure III.12: Capteur de température

Le réseau 10 représente un capteur de température analogique, qui convertit la valeur numérique du capteur en une valeur réelle.

III.8. Conclusion :

Nous avons programmé l'automate programmable industriel (API) en utilisant l'outil « STEP7 » sur la plateforme TIA Portal V14. Cette programmation a été suivie par une validation rigoureuse de l'application pour garantir son bon fonctionnement. Dans le prochain chapitre, ce programme que nous avons proposé nous permettra de réaliser la supervision.

Chapitre IV

Développement de la solution supervisé

IV.1 Introduction

Lorsque la complexité des processus augmente et que les machines et les usines doivent respecter des spécifications fonctionnelles plus strictes, une transparence maximale devient indispensable pour l'opérateur. Cette transparence est assurée par l'Interface Homme-Machine (IHM). Avec l'avancée des technologies de l'information, le traitement des données devient possible dans le secteur industriel, permettant de bénéficier de vues préalablement créées et configurées à l'aide d'un logiciel spécialisé. Le logiciel de supervision a pour rôle de collecter les données (acquisition et stockage) et de les traiter pour les présenter à l'opérateur. Dans ce chapitre, notre objectif est d'utiliser le logiciel de supervision WinCC TIA pour intégrer un programme de nettoyage dans la cuve de caillage.

IV.2 Constitution d'un système de supervision

IV.2.1 Définition de la supervision

La supervision est une forme évoluée de dialogue Homme-Machine, elle présente beaucoup d'avantage pour les processus industriels de production. Elle facilite à l'opérateur la surveillance de l'état de fonctionnement d'un procédé. Un système de supervision est généralement composé d'un moteur central (logiciel), auquel se rattachent des données provenant des équipements (automates). Ce moteur central assure l'affichage, le traitement et l'archivage des données, ainsi que la communication avec d'autres périphériques.

- **Module de visualisation (affichage) :** Permet à l'opérateur la visualisation du procédé au cours de son déroulement
- **Module d'archivage :** Mémoire les données pendant le déroulement du cycle, pour une longue période
- **Module de traitement :** Permet de mettre en forme les données afin de les présenter via le module de visualisation aux opérateurs sous une forme prédéfinie.
- **Module de communication :** Assure l'acquisition et le transfert de données, ainsi qu'il gère la communication avec les automates programmables industriels [12].

IV.2.2. Logiciel de supervision

SIMATIC, le cœur du système Totally Integrated Automation, comprend une vaste gamme de produits et de systèmes standardisés, flexibles et évolutifs, comme la supervision des processus avec SIMATIC WinCC. Ce dernier est un logiciel dans TIA Portal conçu pour toutes les applications IHM, allant des solutions les plus simples avec des panneaux de base jusqu'aux applications SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sur des systèmes multi-utilisateurs sur PC. WinCC TIA Portal s'appuie sur la nouvelle architecture logicielle Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), offrant une solution cohérente, efficace et intuitive pour toutes les tâches d'automatisation [16].

IV.2.2.1. L'Interface Homme/Machine (IHM)

L'IHM est un ensemble de dispositifs matériels et logiciels permettant à un utilisateur d'interagir avec un système informatique. En quelques décennies, l'interface homme-machine a considérablement évolué, passant de simples boutons poussoirs et afficheurs à 7 segments aux écrans LCD de diverses gammes.

Parmi les diverses fonctions IHM destinées à l'industrie, on trouve :

- Visualisation entièrement graphique des processus et des états des process,
- Conduite de la machine ou de l'installation par le biais d'une interface utilisateur personnalisable avec ses propres menus et barres d'outils.
- Signalisation et acquittement d'événements.
- Archivage des valeurs de mesure et des messages dans une base de données process.
- Journalisation des données process et des données d'archive.
- Gestion des utilisateurs ainsi que de leurs droits d'accès [16].

IV.2.3. Développement d'un système de supervision sous WinCC TIA PORTAL

Pour développer l'IHM de supervision de notre système de nettoyage en place (NEP), nous avons utilisé WINCC TIA Portal V14, intégré au logiciel de programmation TIA Portal V14.

IV.2.3.1 Le choix de l'HMI

La réalisation de la supervision est faite grâce au logiciel de supervision WinCC intégré dans TIA PORTAL. La gestion de la supervision est débutée par le choix des IHM (interface homme-machine), nous avons choisi l'HMI de type basic panel et de référence 6AV2 123-2JB03-0AX0. Les caractéristiques de cet appareil sont : Écran 9" TFT, 800 x 480 pixels, Couleurs 64K ; Commande par touche et tactile, 8 touches de fonction ; 1 x PROFINET, 1 x USB.

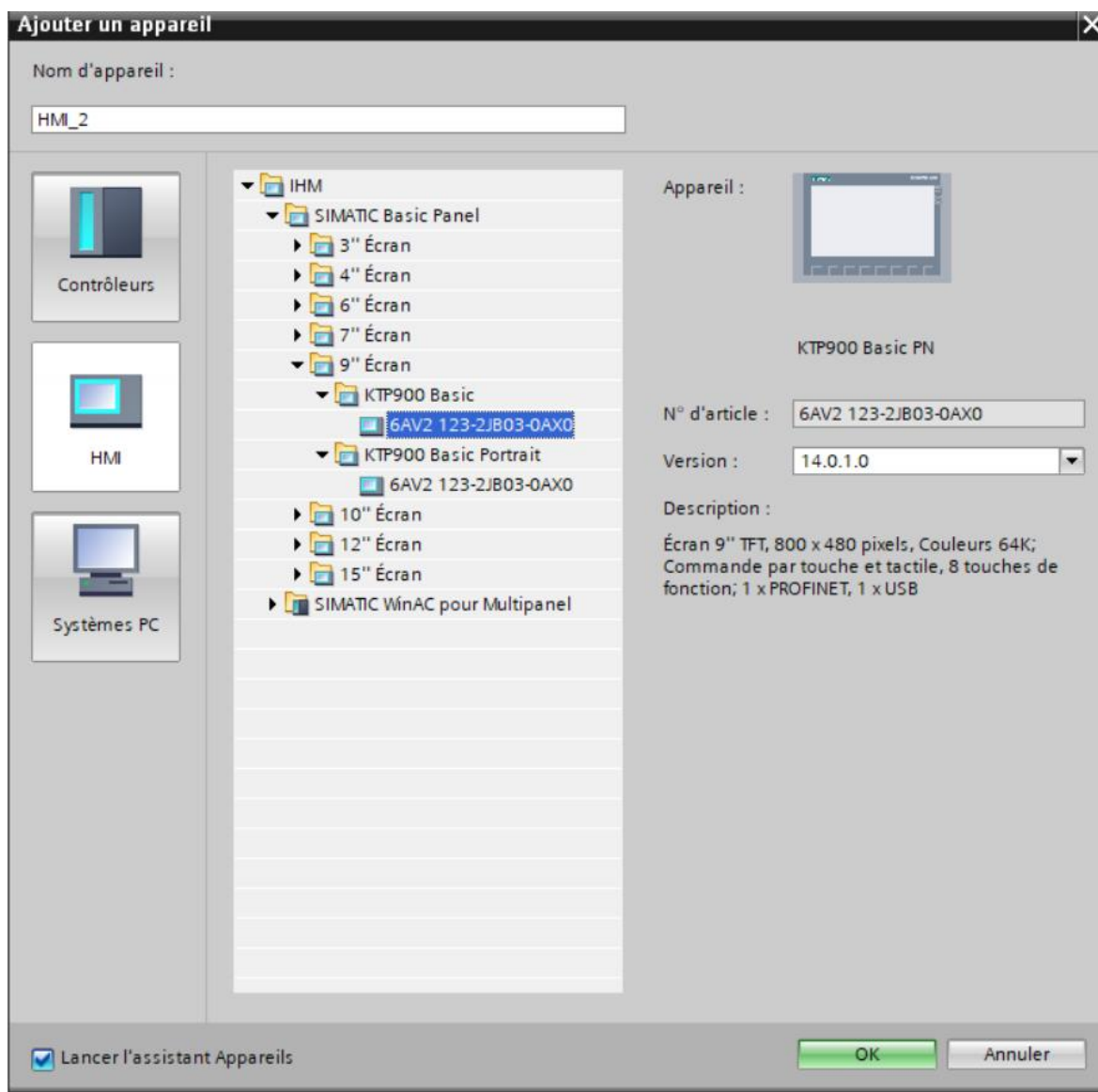


Figure IV.1: Choix de l'HMI.

IV.2.3.2 Création des vues

Après avoir sélectionné l'appareil, nous pouvons maintenant créer les vues synoptiques en utilisant la vaste bibliothèque de WINCC de Siemens.

- **Vue Racine** : La Vue Racine constitue l'écran principal ou la page d'accueil de notre IHM. Elle présente deux boutons fonctionnels : le bouton "Démarrer" pour accéder directement à la vue système, et le bouton "EXIT" pour quitter complètement le système.



Figure IV.2: Vue Racine.

- **Vue Système** : La vue système (Figure IV. 3)(Figure IV.4) offre une représentation complète du processus de nettoyage en place pour la cuve de caillage. Cette vue permet de surveiller le fonctionnement global de l'installation et de naviguer vers d'autres vues spécifiques. Sur cette vue, deux boutons sont présents : le bouton (DP) pour initier le cycle de préparation et le bouton (DN) pour démarrer le cycle de nettoyage de la cuve de caillage en lui donnant une impulsion respective.

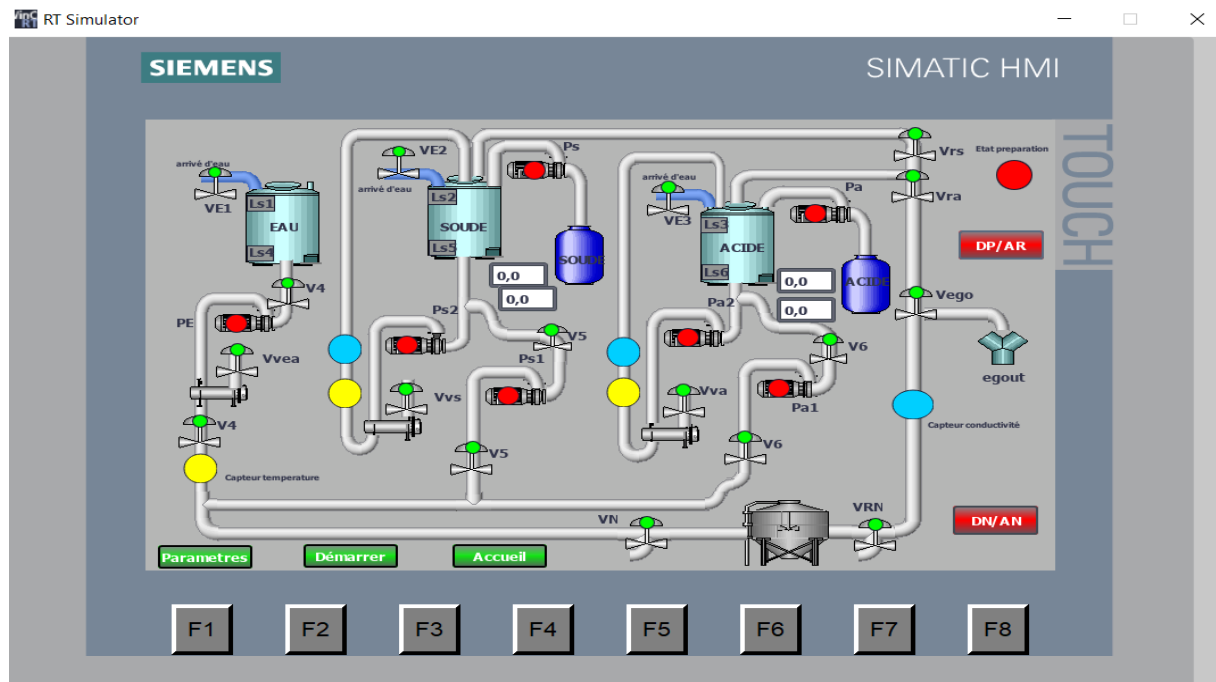


Figure IV.3: Vue globale de l’HMI avant simulation.

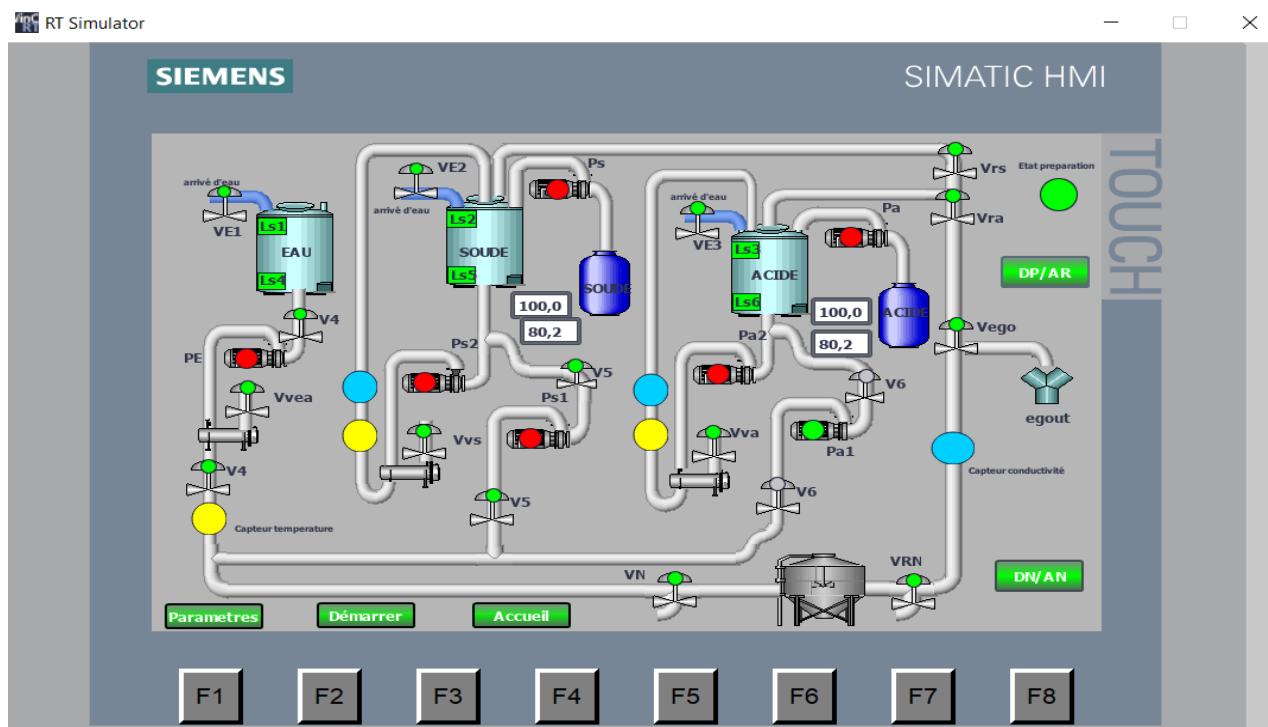


Figure IV.4: Vue globale de l’HMI après simulation

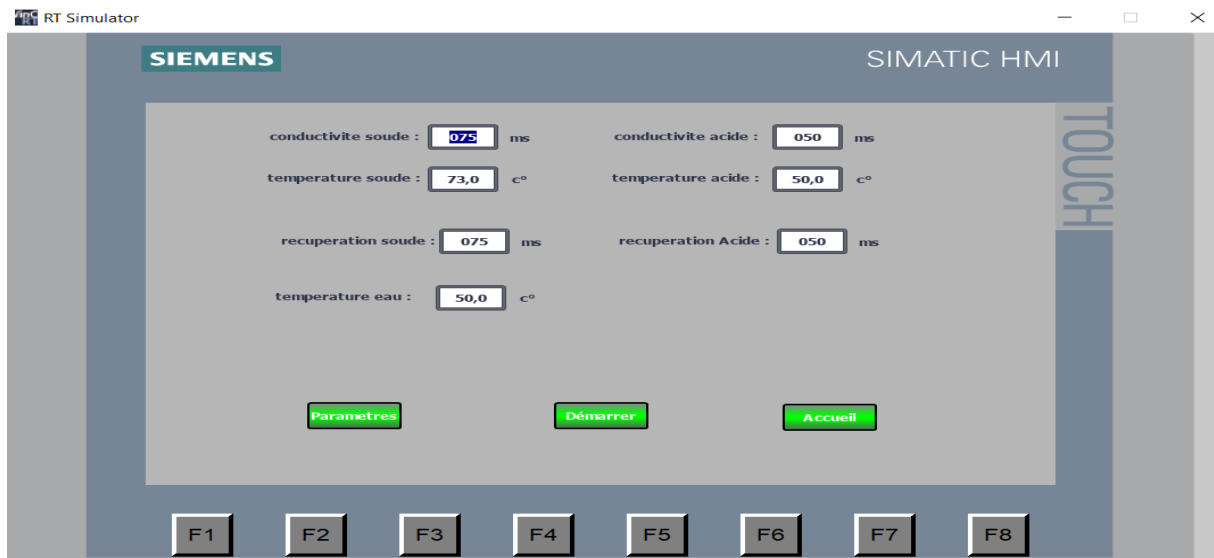


Figure IV.5: Vue des paramètres.

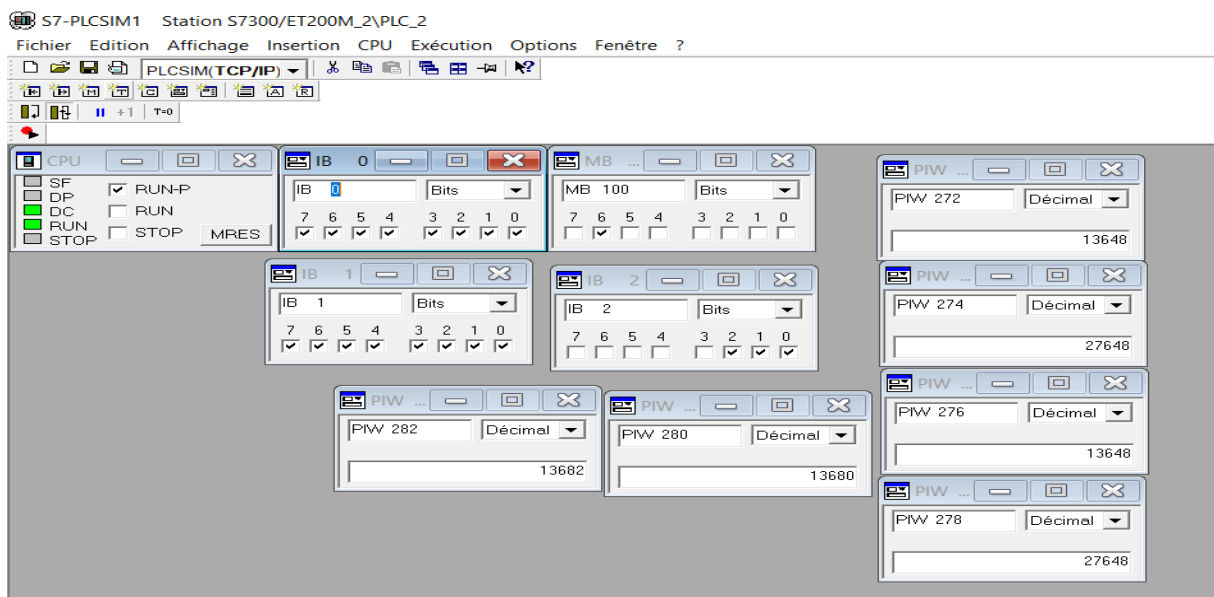


Figure IV.6 : S7-PLCSIM.

IV.3 Conclusion

Nous avons exposé l'environnement de développement comprenant les outils logiciels de programmation et de supervision, ainsi que les différentes technologies employées lors de la phase de mise en œuvre. Nous avons également donné un aperçu de l'Interface Homme-Machine (IHM) réalisée et créé les vues de contrôle et de supervision de la station de nettoyage en place (NEP), permettant ainsi de suivre en temps réel l'évolution du procédé

Conclusion Générale

Conclusion générale

Notre stage effectué au sein de la laiterie fromagerie de Draa Ben Khedda a été réalisé dans le but d'améliorer et consolider nos connaissances dans le domaine de l'automatique. Pour cette raison nous avons choisi de suivre notre stage pratique à l'entreprise EURL STLD « Société de Transformation du Lait et Dérivés », qui est une unité spécialisée dans la production du fromage.

Notre projet de fin d'études vise à créer une solution programmable avec un automate de type API S7-300 de la station CIP. Ce projet s'est avéré très bénéfique pour nous, offrant de nombreux avantages. Nous avons pu découvrir le monde industriel, mettre en pratique nos connaissances universitaires et acquérir de l'expérience en travaillant avec l'équipe d'ingénieurs.

De plus, nous avons appris les différentes étapes pour élaborer des projets d'automatisation. Après avoir étudié la station CIP, nous avons utilisé le GRAFCET, un outil efficace facilitant le passage du modèle à son implantation dans un automate programmable industriel. Le langage de programmation utilisé est le STEP7, nous permettant d'intégrer directement les entrées/sorties dans la table des mnémoniques pour les utiliser comme variables externes dans le logiciel de supervision WINCC.

En fin, ce projet nous a non seulement permis de développer des compétences techniques avancées en automatisation industrielle, mais il nous a également offert une expérience pratique enrichissante au sein de l'entreprise EURL STLD. Cette immersion nous a préparés à relever avec confiance les défis futurs de l'industrie et à faire progresser notre carrière professionnelle dans ce domaine dynamique et en constante évolution.

Bibliographie

- [1] F. Laban, C. Bouloumie, M. Bousquet-Bedu, J. Cavil, A. Dumant, F. Durand, Validation des procédés de nettoyage, S.T.P Pharma Pratiques 2000, 10 (5) 270- 27.
- [2] BOUAMARA Hassina « conception d'une station automatisée de nettoyage en place », mémoire master 2011, UMMTO.
- [3] KENIO TAKASHI «stepping and their microprocessor controls», 1995, Japan.
- [4] BOUKELLAL Djedjiga « conception d'une commande et de supervision », – mémoire master 2012, UMMTO.
- [5] J-L. FANCHON, « Automatisation Industrielle », 1996, édition Nathan.
- [6] Jean-Yves Fabert « Automatismes et automatique », 2003, Paris Ellipses.
- [7] Bensaad D. 3-Schéma d'une pompe centrifuge. In : Diagnostic de fuites dans une pompe à piston axiaux. Figure from thesis. Editor: Djihed Bensaad; sep 2019.
- [8] MULTI-MOTEUR. Moteur asynchrone. [Internet]. [cited 18/03/2024]. Available from: www.multi-moteur.com.
- [9] Structure et fonction du moteur asynchrone. [Internet]. [cited 10/03/2024]. Available from: <https://oswos.com/fr/>
- [10] Moteur asynchrone. Figure from guide Energie plus. energieplus-lesite.be
- [11] Direct Industry. Bien choisir un capteur de niveau. [Internet]. [cited 11/02/2024]. Available from: www.directindustry.fr
- [12] Yamouchene M, Ouzaid I. Etude et automatisation d'une station de nettoyage en place (CIP) au niveau de la SARL Tifra-Lait a base d'un automate Siemens S7 300. D space: Mouloud Mammeri 2015; 55.
- [13] Abderrahmani S, Kebiali N. Automatisation et supervision des systèmes de nettoyage en place (NEP) de la remplisseuse via water technology au niveau de Lalla Khedidja. UMMTO-BFGEI: Mouloud Mammeri 2022; 11.
- [14] Documentation technique de l'Enterprise EURL STLD.

- Manuel d'emploi et d'entretien ligne de Production et stockage de Lben, lait pasteurisé et crème
- Pol. Ind. Les Ferreries, à Camí de Riudellots, 1-3, 17457 Campllong (Girona-Espanya)
Téléphone : (34) 972 47 88 88, Fax : (34) 972 47 89 00 Adresse e-mail :
tecnic@tecnic.es Site Web : www.tecnic.es.
- CSF Inox S.p.A. Strada per Bibbiano, 7 - 42027 Montecchio E. (RE) - ITALY EU Ph
+39.0522.869911 r.a. - Fx +39.0522.865454 / 866758 - csfitalia@csf.it - www.csf.it
- ASEM S.p.A. Via Buia, 4 33011 Artegna (UD) Italy Tel. +39/0432-9671 Fax.
+39/0432-977465 Via Prealpi, 13/A 20034 Giussano (MI) Italy Tel. +39/0362-859111
Fax. +39/0362-859121 asem@asem.it www.asem.i

[15] BELAIDENE Hicheme « Automatisation et supervision d'une station de préparation de la matière par l'automate S7-1500 » mémoire master 2017, UMMTO.

[16] OKBA Hamza « Étude et simulation par Automate Siemens S7-300 d'un procédé potabilisateur. » mémoire master 2021, Université Kasdi Merbah Ouargla.

Résumé

Nous avons réalisé notre projet de fin d'études au sein de l'entreprise EURL STLD, située à Draa Ben Khedda. Notre mission consistait à proposer une solution programmable pour le système de désinfection NEP de la cuve de caillage, en englobant les aspects matériels et logiciels afin de créer un système de commande et de supervision pour cette partie du processus.

Ce projet s'est avéré particulièrement bénéfique pour nous à plusieurs égards. Il nous a permis de découvrir le monde industriel, d'appliquer les théories apprises tout au long de notre parcours universitaire, et d'acquérir une expérience précieuse grâce à notre collaboration avec l'équipe d'ingénieurs. De plus, nous avons développé une compréhension approfondie des différentes étapes nécessaires à l'élaboration de projets d'automatisation.

À l'issue de ce travail, il est clair que l'utilisation de la modélisation par GRAFCET a considérablement simplifié la représentation du système, facilitant ainsi la programmation du processus d'automatisation. Nous avons également acquis une expertise significative dans l'utilisation du logiciel TIA Portal, spécialement conçu pour la programmation des automates programmables, en particulier les S7-300 dans notre cas. Cela a renforcé notre maîtrise des outils nécessaires à l'automatisation des processus industriels, tout en consolidant notre expérience dans ce domaine.

Mots clés :

Nettoyage en place (NEP), variateur de vitesse, Subdivision du processus, L'étude et l'instrumentation des équipements, Modélisation du procédé par l'outil GRAFCET, cahier des charges, Le modèle GRAFCET. Automate programmable industriel (API), TIA portal V14, GRAFCET, S7-300, WinCC, IHM, supervision.