Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou
Faculté de génie électrique et d'informatique

Département automatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de :

INGENIEUR D'ETAT EN AUTOMATIQUE

Thème :

Automatisation d'une chaufferie à base d'un API S7-300 à l'ENIEM.

Présenté par :

M. Hamid KAMOUR

M. Tahar TALEB

Encadré par:

M. Ahcène LAKHLEF

M. Dahais AIT-SLIMANE

Promotion : 2008-2009

Mémoire préparé au sein de l'entreprise nationale des industries de l'électroménager (ENIEM).

Remerciements

C'est avec humilité et gratitude que nous reconnaissons ce que nous devons :

Nous commencerons par remercier et rendre grâce à Dieu tout puissant pour nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.

Nos remerciements vont en particulier à Mr A.Lakhlef, notre promoteur, qui nous a dirigé et aidé afin de mener à bien ce travail.

Nos sincères remerciements à notre encadreur Mr D.Ait-Slimane, et ses collègues (Sofiane, Lakhdar et Mezred) du service de maintenance pour leurs aides inestimables et leurs précieux conseils.

Tous nos remerciements à l'ensemble du personnel de l'ENIEM pour leurs collaborations et leur accueil chaleureux.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici nos sincères reconnaissances.

Dédicaces

Pour que ma réussite soit complète, je la partage avec toutes les personnes que j'aime. Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents pour leur amour et pour le courage et la volonté qu'ils m'ont inculqué ;

A mes très chères sœurs et frères ;

A ma chère fiancée RAZIKA et sa famille ;

A ma grand-mère ;

A mon neveu Ghiles, mes nièces Maïssa, Lydia et leurs parents ;

A tous mes amis et collègues sans exception Farès, Mohand, Laidi, Samir, Djidji, Lyès, Lyla, Makhlouf…..

HAMID

Dédicaces

Pour que ma réussite soit complète, je la partage avec toutes les personnes que j'aime. Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents pour leur amour et pour le courage et la volonté qu'ils m'ont inculqué ;

A mes très chères sœurs et mon frère Nassim ;

A mes grand-mères ;

A.mon entraineur Sidi-Ali Cherif ;

A tous mes amis et collègues sans exception ;

Farès, Mohand, Laidi, Smail, Hocine, Hamid Mouhamed…..

TAHAR

SOMMAIRE

PREAMBULE

I. PRESENTATION DE L'ENIEM : 1

II. PRESENTATION DE L'UNITE DE PRESTATIONS TECHNIQUES: 1

INTRODUCTION GENERALE 2

CHAPITRE I : Description de la station et son fonctionnement :

I. Introduction ....

1-Cycle Traitement d'eau : 3

A. Adoucissement :....4
B. Régénération :....4
B.1 Détassage :....4
B.2 Saumurage :....4
B.3 Rinçage :....4

2- Cycle maintien de pression :....5

3-: Cycle chauffage 5

4- Cycle distribution :....5

II. Structure et fonctionnement de la station :....5

II.1 Structure et fonctionnement du cycle traitement d'eau :....5

II.1.1 Manomètre à tube de Bourdon (M):....6

II.1.2 Capteur de pression (pressostat) :....6

II.1.3 Adoucisseur :....6

II.1.3.a Motoréducteur :....7

II.1.3.b Capteur de fin de course :....7

II.1.3.c Pignon de commande :....8

II.1.3.d Vanne de distribution :....8

II.1.4 Bac à sel :....9

II.1.5 Groupe de dosage :....9

II.1.5.a Compteur émetteur d'impulsion :....10

II.1.5.b Pompe doseuse de précision :....10

i. Présentation :……10

ii. Fonctionnement :……11

iii. Caractéristiques techniques :……11
iv. Clapet de non retour :……11

II.1.5.c Electrovanne :……11

II.1.5.d Bac de préparation :……12

II.2 Structure et fonctionnement du cycle maintien de pression :……12

II.2.1 Bâche à eau :……13

- Capteur de niveau :……13

II.2.2 Deux pompes de débit moyen :……14

a) Caractéristiques techniques :……14
b) Moteur asynchrone :……14
c) Précaution de câblage :……14
d) Démarrage du moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un sens de rotation :……15
e) Fonctionnement de la commande du moteur asynchrone :……15

II.2.3 Pressostat :……15

- Pressostats de sécurité :……16

II.2.4 Reservoir tampon :……16

II.2.5 Déverseurs :……16

II.3 Structure et fonctionnement du cycle chauffage :……16

II.3.1 Eléments constituants la chaudière :……18

II.3.2 Rôle de chaque élément :……18

II.3.3 Fonctionnement du bruleur :……21

II.3.4 Schéma interne de la chaudière:……22

II.3.5 Thermostat :……22

II.3.6 Soupapes de sécurité :……23

II.4 Structure et fonctionnement du cycle de distribution :……23

II.4.1 Groupe des pompes de distribution (à distance):……23

- Caractéristiques techniques :……23

II.4.2 Refroidissement des corps des pompes de distribution :……23

A) Refroidissement par le groupe des pompes de refroidissement :……24

- Caractéristiques techniques :……24
  - II.4.2 Capteur de débit :……24

B) Refroidissement par de l'eau brute :……25

III. Conclusion :……25

CHAPITRE II : Modélisation de la station à automatiser :

I. Introduction :……26
II. Définition du GRAFCET :……26
III. Structure du GRAFCET :……27

III.1 Etape :……27

III.2 Actions associées à l'étape :……27

III.3 Transition :……28

III.4 Réceptivités associées à la transition :……29

III.5 Liaisons orientées :……29

III.6 Sélection de séquences et séquences simultanées :……29

III.7 Sélection de séquences :……29

III.8 Séquences simultanées :……30

III.9 Saut d'étapes (saut en avant) :……30

III.10 Reprise de séquence (saut en arrière) :……31

IV. Règles d'évolution d'un GRACET :……31
V. Modélisation de la chaufferie à eau surchauffée :……32
VI. Exemple : Cycle traitement d'eau :……32
VII. Conclusion :……33

CHAPITRE III : Présentation des API et programmation avec l'API S7-300 :

I. Introduction :……34
II. Présentation des automates programmables industriels (API) :……34
II.1 Définition d'un API :……34
II.2 Architecture des automates :……34
1) Aspect externe :……34
2) Structure interne :……35

II.3 Place de l'API dans le système automatisé de production (SAP) :……36

1. Le système automatisé de production (SAP) :……36

2. Structure d'un système automatisé:……37
II.4 Domaines d'utilisation des API :……38
II.5 Natures des informations traitées par l'automate :……38
II.6 Câblage des entrées/sorties d'un automate :……38
II.7 Traitement du programme automate :……40
II.8 Critères de choix d'un automate :……41
III. Présentation de l'API S7-300 :……42
III.1 Structure de l'API S7-300 :……42
III.2 Adresse absolue :……44

IV. Présentation du logiciel de programmation STEP 7 :……44
1. Création du projet sous STEP 7 :……45
2. Configuration matérielle :……45
3. Création de la table des mnémoniques :……46
4. Création du programme :……47
V. Simulation et visualisation du programme avec S7-PLCSIM :……48
1. Présentation du logiciel S7-PLCSIM :……48
2. Mise en route de S7-PLCSIM :……49
3. Exemple de simulation de programme : bloc FC1……49
VI. Conclusion :……51

CONCLUSION GENRALE :……52

BIBLIOGRAPHIE :

ANNEXE A :

ANNEXE B :

I. PRESENTATION DE L'ENIEM :

L'entreprise nationale des industries de l'électroménager (ENIEM), créée en 1977, est le leader de l'électroménager en Algérie, elle possède des capacités de production et une grande expérience dans le monde de l'industrie. Elle est la première entreprise du nord africain certifiée depuis juillet 1998 par les experts de l'association française de l'assurance de la qualité (AFAQ).

Ces unités de production sont implantées dans la zone industrielle Aissat Idir à Oued-Aissi, à 7 km du chef lieu de Tizi-Ouzou, son siège social est à Tizi-Ouzou.

L'entreprise a pour mission d'assurer la production, le montage, le développement et la recherche dans les différentes branches du domaine de l'électroménager dont :

- Les équipements de réfrigérateurs et de cuissons ;
- Les équipements de climatisation et de conservation ;
- Les lampes à incandescence.

L'entreprise est dotée de deux unités de production :

- ✓ Le complexe d'appareils ménagers (CAM) d'Oued Aissi avec ses extensions et l'unité de lampes de Mohammedia.
- ✓ L'unité commerciale pour la commercialisation des produits et la direction des projets.

II. PRESENTATION DE L'UNITE DE PRESTATIONS TECHNIQUES :

L'unité de prestations techniques (UPT) est l'un des moteurs essentiels du CAM, car elle assure la production de l'air comprimé, l'énergie calorifique (eau surchauffée à 160°C et vapeur à 105°C), la distribution de l'énergie électrique, ainsi la maintenance préventive et corrective de tous les équipements (électriques, mécaniques, pneumatiques…etc.), dans le but de satisfaire les besoins des autres unités et avoir des produits de bonne qualité dans les délais voulus. Pour cela on met en œuvre des nouvelles stratégies de travail, développer les systèmes automatisés et les rendre plus fiable, afin d'éviter les risques, réduire et repérer les pannes pour diminuer les temps d'arrêt.

Vue l'utilité de l'air comprimé, eau surchauffée et la vapeur dans les unités de production, l'UPT dispose de quatre groupes de générateurs pour les produire.

- **Compresseurs :** Fabriqués et installés par une entreprise belge.
- **Chaufferie A :** Fabriquée et installée par un partenaire allemand « DIAG » en 1977. Elle assure l'alimentation en eau surchauffée les ateliers : R1, atelier central et atelier des petits appareils ménagers.
- **Chaufferie B :** Fabriquée et installée par un partenaire français en 1985. Elle assure l'alimentation en eau surchauffée les ateliers : émaillage, peinture et le chauffage.
- **Chaufferie C :** Fabriquée et installée par un partenaire français en 1985. Elle assure l'alimentation en vapeur l'atelier de fabrication de polystyrène.

La compétition économique que nous connaissons et vivons impose à l'industrie une production en qualité et en quantité, afin de répondre à la demande dans un environnement très concurrentiel. Il s'agit, donc, de fournir les quantités nécessaires au bon moment, d'accroitre la productivité, la flexibilité et la fiabilité de l'outil.

De ce fait, les entreprises ont recours à une politique de gestion qui repose sur des équipements, c'est-à-dire, automatiser au maximum les chaines de production pour, à la fois, assurer une production abondante et éviter tous les accidents qui peuvent surgir dans le cas où l'assistance humaine serait prédominante par rapport aux machines.

Pour cela, elles cherchent l'amélioration de leurs performances, notamment l'amélioration de leurs systèmes de production. Autrement dit, l'automatisation de leurs systèmes. Aujourd'hui, l'automatisation tient une place très importante dans le domaine industriel. Pour cela, il serait difficile de concevoir un système de production sans avoir recours aux différentes technologies qui forment les systèmes automatisés de production (SAP).

Grâce à cette philosophie, dans le but d'atteindre ses objectifs et d'assurer la continuité de son existence sur le marché, l'ENIEM a procédé à l'automatisation de ses installations.

Dans ce contexte, le sujet qui nous a été proposé par le département technique de l'unité de prestations techniques (UPT) consiste à automatiser une chaufferie, en utilisant l'automate programmable industriel S7-300 de firme SIEMENS.

A cet effet, notre travail est présenté comme suit :

Le premier chapitre est consacré à la description et le fonctionnement de la station, le deuxième comprend la modélisation de la chaufferie B par l'outil GRAFCET et le dernier chapitre fait l'objet d'une présentation des automates programmables industriels (API), l'API S7-300 et son langage de programmation STEP7, puis on le termine par la programmation et simulation de la station. Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

I. Introduction :

Pour assurer une production d'eau surchauffée entre 150°C et 160°C pour les ateliers émaillage, peinture et le chauffage pendant des temps définis, et avant que cette température atteint la valeur voulue, en partant de l'alimentation de la station par l'eau brute à 3 bars de pression (assurée par l'algérienne des eaux "ADE" ou bien par une ressource privée propre à l'ENIEM). Afin d'aboutir ces exigences on doit suivre les cycles présentés sur figure I.1.

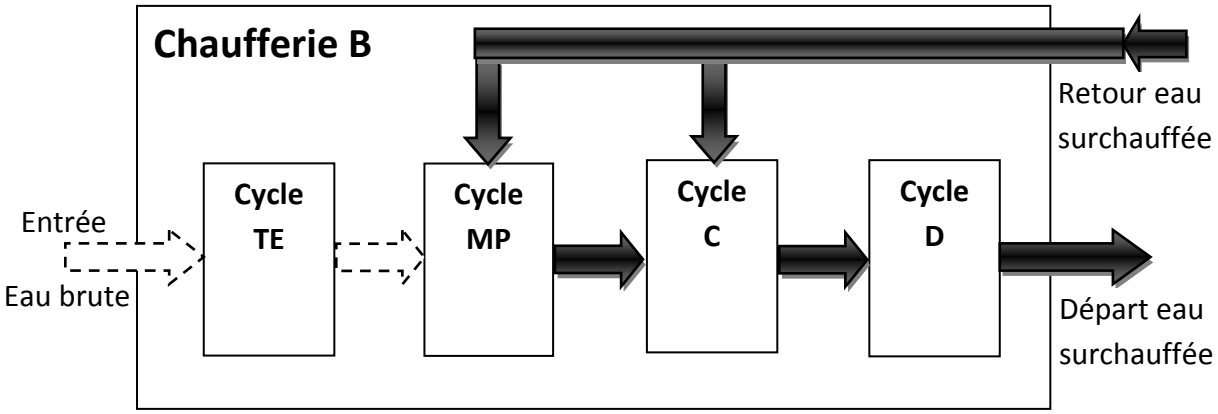


Figure I-1 : Cycles de production de l'eau surchauffée.

- Cycle : Traitement d'eau (TE);
- Cycle : Maintien de pression (MP);
- Cycle : Chauffage (C) par chaudières B1 et B2 ;
- Cycle : Distribution (D) par réseau des pompes.

1- Cycle traitement d'eau :

Afin de préserver et d`augmenter la durée de vie de la station, l`eau doit avoir une certaine qualité en annulant son TH et diminuer le taux de l'oxygène O_2 pour éviter les attaques du fer et assurer une contre corrosion avec la formation d'une couche de phosphate de fer protectrice. Pour cela, on fait un traitement d'eau, pour assurer une bonne fiabilité des éléments constituants la station.

Deux opérations sont assurées pendant ce cycle : l'adoucissement et la régénération de la résine.

A. Adoucissement :

Cette opération a pour but de réduire la dureté de l'eau brute (réduire le TH de 25°f à 0°f) par la résine qui capte les ions de calcium Ca^{++} et de magnésium Mg^{++} contenus dans l'eau brute et les remplacer par des ions de Na^{++}. Après le passage d'une quantité d'eau déterminée en fonction de la quantité de cette résine utilisée, cette dernière atteint son état de saturation, dans ce cas, 9 m^3 d'eau sont traités, alors la régénération sera impérative.

Pour protéger la tuyauterie et les chaudières contre la corrosion, il est recommandé d'augmenter la teneur du PH (PH↗11) et diminuer l'oxygène (↘O_2), pour former une couche de phosphate de fer protectrice sur la surface intérieure du réseau, pour cela on

injecte dans chaque passage de 100L d'eau adoucie, 2L de solution préparée avec des produits chimiques ($P_2 O_5$ et DEHA). Cette solution est préparée en fonction de la dureté de cette eau à traiter et aussi selon les caractéristiques de la chaudière.

$P_2 O_5$ (Kyllphose phosphatant) a pour but de capter les ions Ca^{++} et mg^{++} afin d'éviter leur dépôt sur les parois intérieures.

Le DEHA (Diethyl hydroxyl Aminine) a pour but de diminuer le taux d'O_2 qui provoque la corrosion.

B. Régénération :

Cette opération a pour but de régénérer la résine, par une solution de chlorure de sodium Na Cl avec l'échange des ions Ca^{++} et Mg^{++} par des ions Na^{++}, pour que la résine retrouve sa capacité d'échange, comme l'indiquent les schémas de la figure ci-après. Durant cette opération, pendant 90 minutes, trois fonctions sont déroulées :

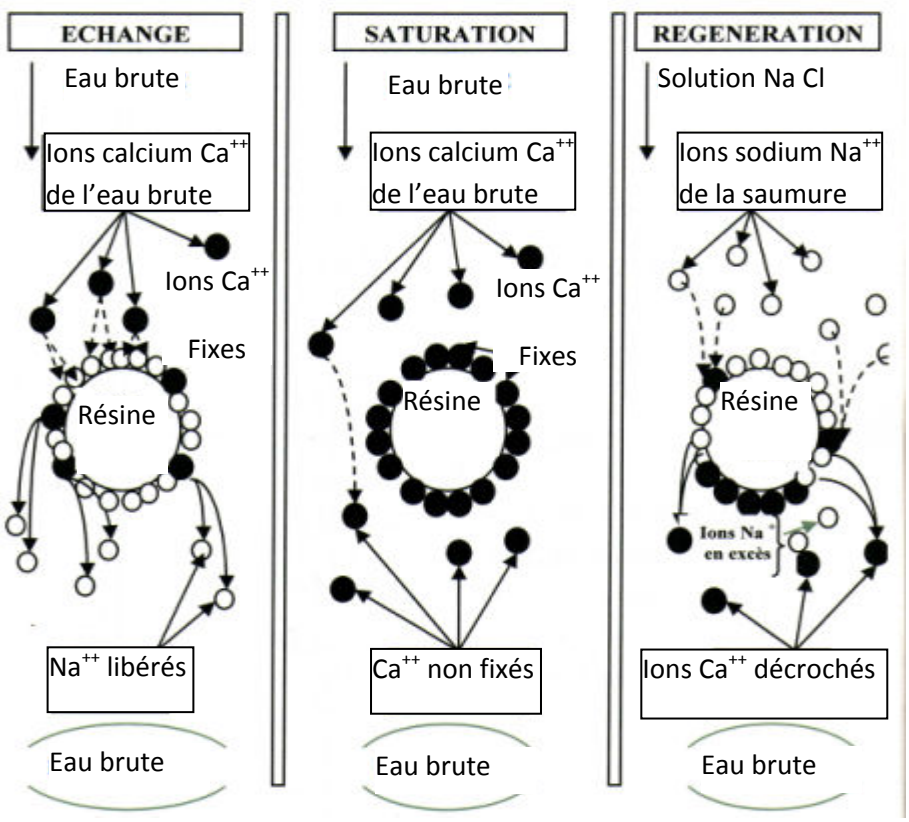


Figure I-2 : Schémas d'illustration d'échange, de saturation et de régénération de la résine.

B.1 Détassage : C'est de faire passer l'eau brute du bas vers le haut dans le bac à résine (l'adoucisseur), pour la faire remuer pendant 15 minutes.

B.2 Saumurage : C'est l'étape principale dans cette opération, qui consiste à régénérer la résine par le passage de la saumure du haut vers le bas du bac à résine pendant 60 minutes.

B.3 Rinçage : Faire passer l'eau brute du haut vers le bas dans le bac à résine pendant 15 minutes.

2-Cycle maintien de pression :

Vue la variation de la pression au retour de l'eau surchauffée vers la chaudière, un système de maintien de pression entre 9.5 bars et 10.5 bars est installé. La régulation de ce système est assurée par deux pompes, deux déverseurs qui se déclenche par une pression critique placés en parallèle afin d'augmenter la fiabilité de ce cycle.

L'enclenchement et l'arrêt de ces pompes qui fonctionnent séquentiellement sont assurés par deux pressostats.

3-Cycle chauffage:

Selon les capacités de production on peut monter plusieurs chaudières. Dans cette installation on utilise deux chaudières ne fonctionnent pas simultanément. Quand l'une d'elle fonctionne, l'autre est gardée pour secours. Ce sont elles qui assurent l'eau surchauffée à la température voulue par leurs bruleurs. Ces derniers marchent avec le gaz qui est le butane assuré par la SONELGAZ.

4-Cycle distribution :

Le circuit de distribution de l`eau surchauffé est assuré par deux groupes moteurs-pompes. Le premier contient trois pompes de puissance qui serrent à refouler l'eau surchauffée sur le parcours des ateliers avec une pression supérieure à 12 bars. Le deuxième contient deux pompes assurant le refroidissement des corps des trois premières pompes.

II. Structure et fonctionnement de la station :

Le fonctionnement détaillé de la station selon les quatre cycles, comme l'illustre le schéma en figure 1.3.

II.1 Structure et fonctionnement du cycle traitement d'eau :

Ce cycle est constitué essentiellement de trois parties comme le montre la figure suivante :

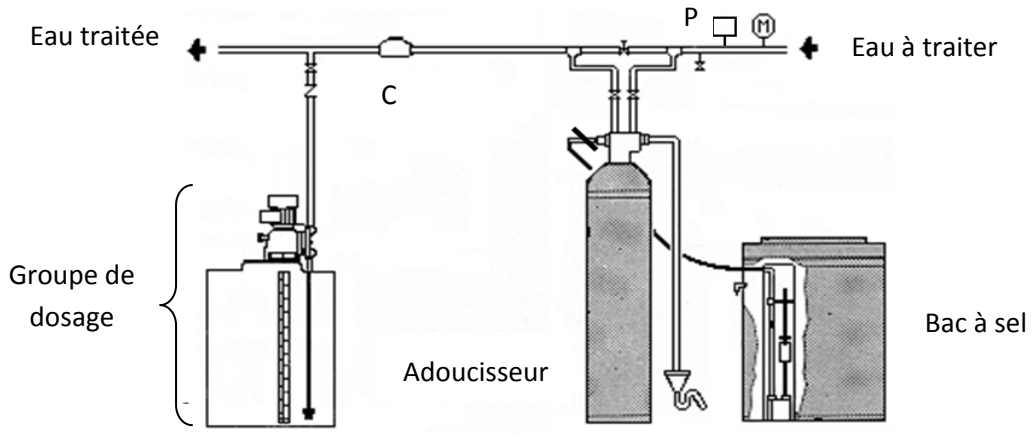


Figure I-4 : Structure du cycle traitement d'eau.

M : manomètre ; P : pressostat ; C : compteur émetteur d'impulsion.

L'ensemble est installé à proximité d'une canalisation sur laquelle est raccordé, sur un sol parfaitement horizontal, et est rapproché d'une conduite d'évacuation d'eau usée.

II.1.1 Manomètre à tube de Bourdon (M):

C'est un boitier en acier avec lunette en laiton. Il indique la valeur de pression. Son cadran est gradué. Citons que la station dispose de 11 manomètres de type à tube Bourdon présenté par la figure I-5.

Les tubes de Bourdon sont des tubes recourbés d'une section ovale. La pression s'applique à l'intérieur du tube et la section ovale devient plus ronde. La courbure du tube provoque des tensions circulaires qui redressent le tube. L'extrémité non fixée effectue alors un mouvement proportionnel à la pression. Pour les pressions jusqu'à 40 bars on utilise en général des tubes coudés à 270°.

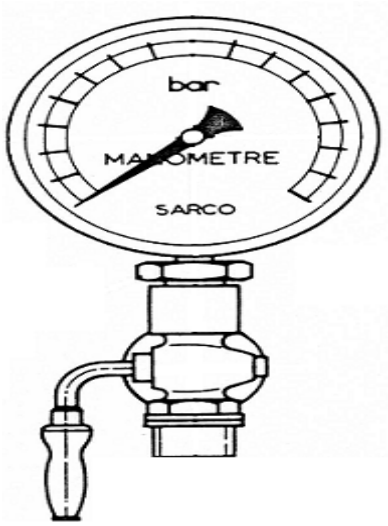


Figure I-5 : Manomètre à tube de Bourdon.

II.1.2 Capteur de pression (pressostat) :

C'est un capteur indiquant la pression minimale (2 bars) nécessaire d'eau brute à l'entrée de la station afin d'assurer une bonne régénération de la résine.

Schéma et principe de fonctionnement : voir II.2.3.

II.1.3 Adoucisseur :

Fabriqué en métal, contenant une quantité suffisante de la résine, dans lequel les opérations d'adoucissement et de régénération se passent, l'adoucisseur prend sur sa tête une vanne de distribution commandée par un moteur qui entraine un pignon de commande pour la régénération, selon le principe montré en figure I-6.

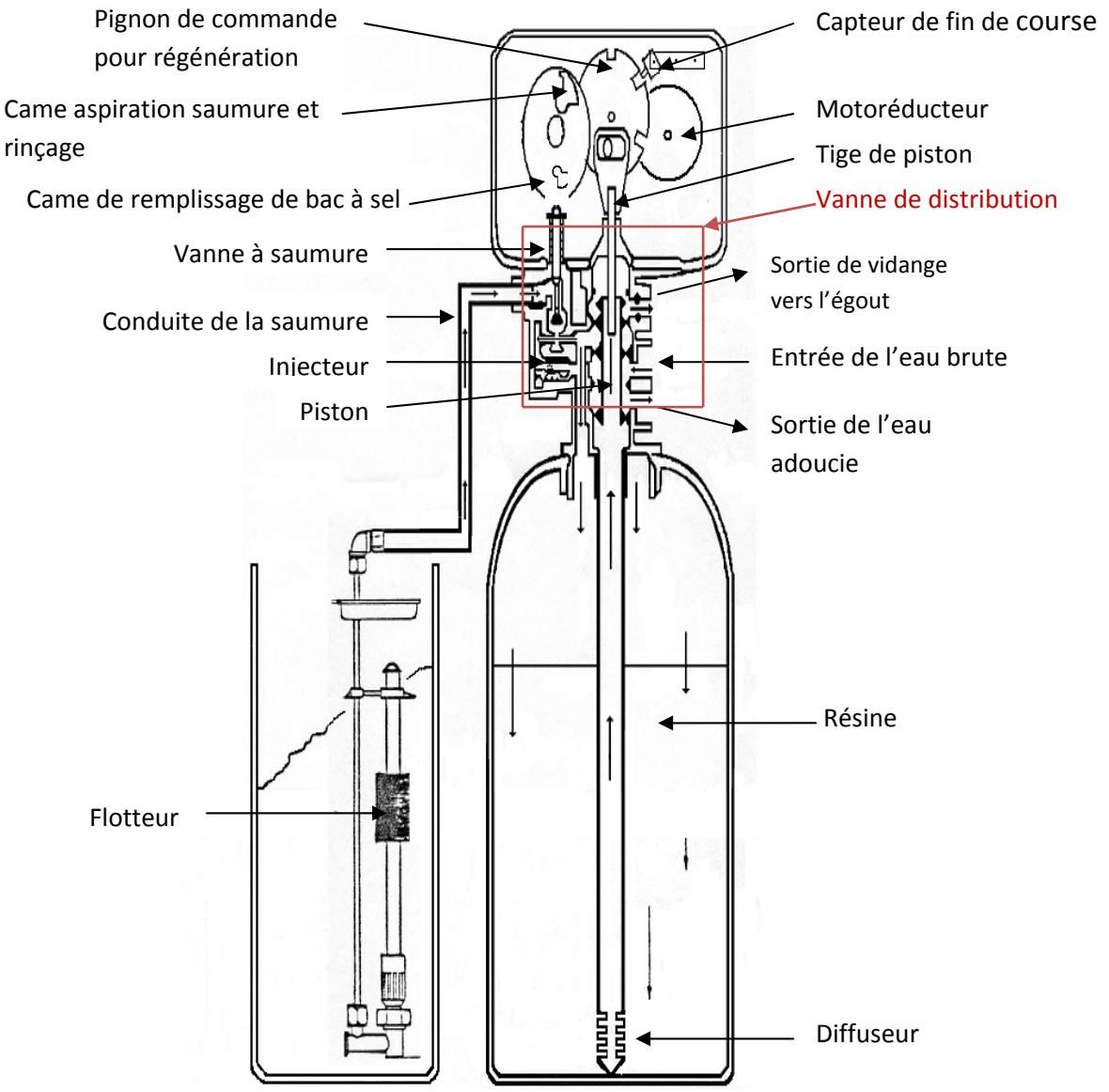


Figure I-6 : Structure de l'adoucisseur.

II.1.3.a Motoréducteur :

Le motoréducteur est un composant constitué d'un moteur à courant continu et d'un système à réduction de vitesse à base de pignons. Le motoréducteur est solidaire d'une came de temps et des capteurs de fin de course pour accomplir la fonction d'une vanne de distribution 6/4.

II.1.3.b Capteur de fin de course :

C'est un détecteur de position mécanique (TOR) qui est utilisé pour la détection des fins de courses du pignon de commande pour régénération.

Ses avantages sont :

- Sécurité de fonctionnement élevée ;
- Fiabilité des contacts et manœuvre positive d'ouverture ;
- Mise en œuvre simple, fonctionnement visualisé, grande résistance aux ambiances industrielles.

Symbole

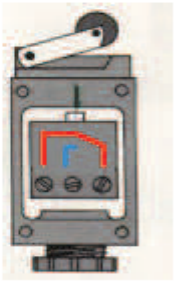


Figure I-7 : Capteur de fin de course.

II.1.3.c Pignon de commande :

C'est une petite roue dentée de façon à déterminer six positions dont quatre interviennent d'une manière directe sur les positions de la tige de piston, la cinquième intervient sur la came de remplissage du bac à sel et la sixième considérée additionnelle vue la nature du pignon de commande qui est standard.

II.1.3.d Vanne de distribution :

C'est une vanne 6/4 (six entrées/sorties et quatre positions), dont un injecteur et une vanne à saumure sont intégrés sur elle. Les cinq premières positions sont sélectionnées comme suit :

- **Position de service (adoucissement):**
  - **Position (1) :** L'eau brute pénètre par l'entrée de la vanne de distribution, coule le long de la gorge inférieure du piston, passe ensuite par le haut du réservoir, traverse la résine, remonte par le tube de distribution jusqu'à la sortie de la vanne.
- **Positions de régénération :**
  - **Position (2) (détassage) :** L'eau brute pénètre par l'entrée de la vanne, coule le long de la gorge et le cordon inférieur du piston, descend à l'intérieur du tube jusqu'au diffuseur, remonte à travers de la résine et la détasse, rejoint le haut du réservoir, traverse la gorge supérieur du piston et part à la vidange.
  - **Position (3) (saumurage) :** L'eau brute pénètre par l'entrée de la vanne, coule autour de la gorge inférieure du piston, traverse le tuyau et l'orifice de l'injecteur pour aspirer la saumure après l'enclenchement de la vanne à saumure par la came d'aspiration.
  - **Position (4) (rinçage) :** L'eau brute pénètre par l'entrée de la vanne, s'écoule autour de la gorge inférieure du piston, descend par le distributeur supérieur en traversant la résine, remonte dans le tube distributeur, traverse le trou central du piston, dépasse l'extrémité supérieur du piston et sort par la canalisation d'évacuation vers l'égout.

- **Position de remplissage du bac à sel :**
  - **Position (5) :** L'eau brute pénètre dans l'appareil par l'entrée de la vanne, coule autour de la gorge inférieure du piston, traverse la gorge de l'injecteur et la vanne de saumurage pour remplir le bac à sel. L'eau brute coule en outre autour de la gorge inférieure du piston pour traverser le passage vers la partie supérieure du réservoir à résine, passe à travers la résine et arrive dans le tube distributeur sous forme d'eau adoucie. Cette dernière remonte dans le tube distributeur et s'écoule par sortie vers une bâche à eau.

II.1.4 Bac à sel :

C'est un fut en plastique de 0.3 m^3 du volume contenant un flotteur de niveau d'eau. Il est remplit des petits morceaux du sel industriel (Na Cl) qui se dissocie lentement dans l'eau brute injectée juste après la régénération à travers la vanne de distribution. Cette solution est préparée pour la régénération de la résine.

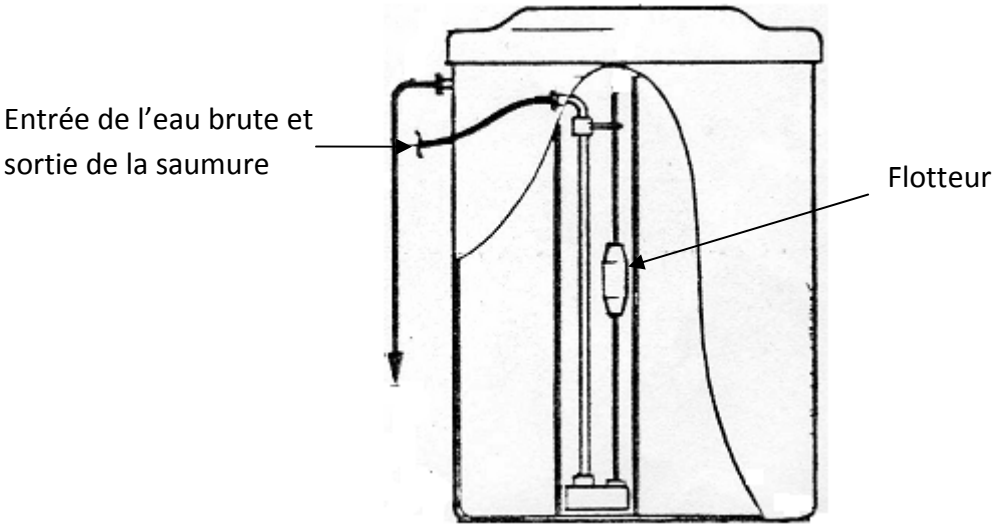


Figure I-8 : Bac à sel.

II.1.5 Groupe de dosage :

Ce groupe permet la distribution d'un réactif en solution (mélange des produits Kyllphose "phosphatant P_2O_5 " et Diethyl hydroxyl Aminine "DEHA") proportionnellement à la quantité d'eau adoucie sortante de l'adoucisseur. La concentration de la solution est déterminée selon les caractéristiques de l'eau de la station. Au passage de chaque 100L de l'eau adoucie, 2L de cette solution sont distribués pendant une minute. Voir la figure I-9.

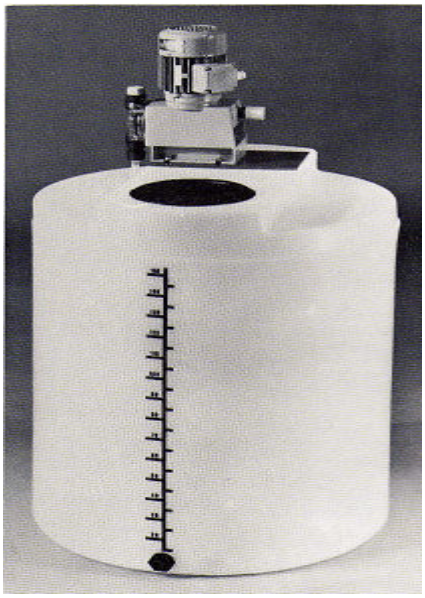


Figure I-9 : Groupe de dosage.

Le groupe de dosage comprend :

- Un compteur émetteur d'impulsion ;
- Une pompe doseuse de précision ;
- Une électrovanne ;
- Bac de préparation.

II.1.5.a Compteur émetteur d'impulsion :

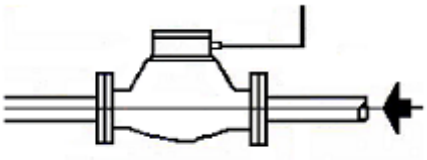


Figure I-10 : Compteur émetteur d'impulsion.

C'est un compteur indiquant la quantité d'eau passante à traves lui, en émettant un signal électrique d'un courant maximal de 100 mA au passage de chaque 100L d'eau, il est alimenté par une tension de 24V.

II.1.5.b Pompe doseuse de précision :

i. Présentation :

Volumétrique à membrane réglable en marche, simple, robuste et économique, alimentée d'un réseau de 220V, fonctionnelle à base d'un moteur asynchrone à un sens de rotation et à un démarrage directe, équipée d'un clapet de non-retour et d'une électrovanne.

ii. Fonctionnement :

Le compteur de volume d'eau (C) transmet une impulsion électrique émise après passage du volume d'eau adoucie bien déterminé (100L). Dès l'arrivée de cette impulsion, la pompe doseuse se met en marche pendant un temps préréglé de durée d'une minute. Durant ce temps de fonctionnement, la pompe doseuse distribue la quantité de réactif nécessaire (2L) au volume d'eau compris entre deux impulsions électriques. Figure I-11.

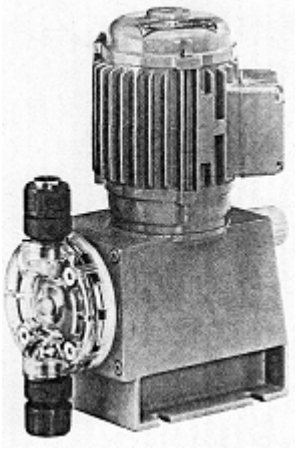


Figure I-11 : Pompe doseuse.

iii. Caractéristiques techniques :

- Tension : 220/240V ;
- Intensité : 0.40/0.42A ;
- Puissance moteur : 0.06/0.072Kw ;
- Vitesse de rotation : 1350/1625 Tr/min ;
- Fréquence : 50/60Hz ;
- Poids : 5.7Kg;

iv. Clapet de non retour :

Il a pour rôle de se fermer dès que la circulation du fluide change le sens. Le fonctionnement doit évidemment se faire sans provoquer de coup de bélier. On distingue deux types de clapet :

- ✓ Clapet à inertie très faible qui se ferme dès que la vitesse de circulation du fluide s'annule ;
- ✓ Clapet qui se ferme de façon lente dès que la circulation du fluide change le sens.

Citons que toute pompe, dans notre station, est équipée d'un clapet de non retour.

II.1.5.c Electrovanne :

C'est un actionneur qui permet de contrôler, à partir d'un courant électrique, le débit d'un liquide.

Figure I-12 : Electrovanne.

II.1.5.d Bac de préparation :

Fabriqué en polyéthylène à l'abri de toute corrosion, avec un indicateur de niveau visible comme indiqué sur la figure I-9, de 110L de volume, contenant la solution des deux produits chimiques (P_2O_5 et DEHA) avec de l'eau adoucie.

Cette solution est préparée en fonction de la dureté de cette eau à traitée et aussi selon les caractéristiques de la chaudière à alimenter, dont elle est conditionnée à une température ≤ 40°C. Dans notre cas, on prend le mélange de la solution comme suit :

- **5L** de Kyllphose (phosphatant P_2O_5) ;
- **3L** de Diethyl hydroxyl Aminine (DEHA) ;
- **90L** de l'eau adoucie.

II.2 Structure et fonctionnement du cycle maintien de pression :

Au retour de l'eau surchauffée des différents ateliers vers la chaufferie, la pression et la température de cette eau diminuent de valeurs importantes, vue les longues distances des conduites externes et leur exposée en air surtout en saison hivernale. Pour garder la valeur de pression de l'eau traitée entrante dans la chaudière, le cycle de maintien de pression est installé, comme l'indique la figure I-13.

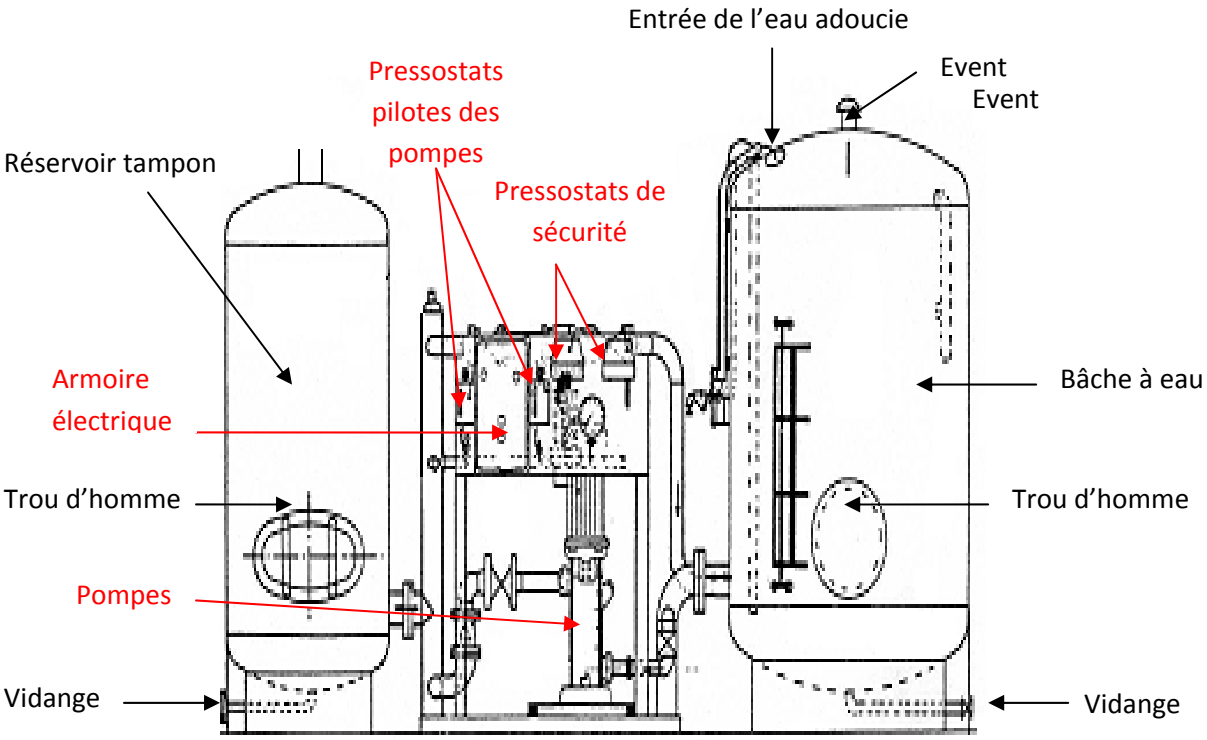


Figure I-13 : Structure du cycle de maintien de pression.

II.2.1 Bâche à eau :

Est un réservoir vertical de l'eau traitée en tôle noire et protection anticorrosive interne, de capacité de 3500L. Contenant les accessoires suivants :

- Une vanne de vidange manuelle ;
- Un évent ;
- Une garniture de niveau avec robinet de purge ;
- Trois capteurs de niveau à l'intérieur indiquant le minimum, le moyen et le maximum.
- Une électrovanne de remplissage.

➢ **Capteur de niveau :**

C'est un capteur qui permet de détecter le niveau d'un liquide dans l'emplacement le contenant. Placé horizontalement dans un réservoir dont le fluide à contrôler fait monter le flotteur du capteur en fermant le contact qui indique l'atteinte du niveau référencié.

Figure I-14 : Capteur de niveau.

II.2.2 Deux pompes de débit moyen :

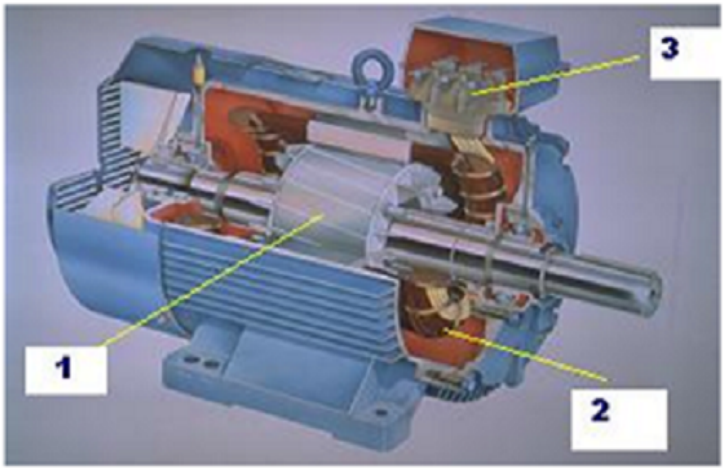
Elles permettent de contribuer au remplissage et de maintien de pression de l'installation. Ces deux pompes sont réglées en parallèle avec permutation automatique par horloge ou en cas de disjonction de celle en service.

Les deux pompes sont équipées de deux clapets de non-retour à soupapes de très bonne étanchéité, de robinets d'isolement sur l'aspiration et le refoulement, pressostats et des contacteurs avec relais thermiques pour chaque pompe. Ces deux pompes sont montées avec un équipement anti-vibratile et chacune d'elles est actionnée par un moteur triphasé asynchrone à un seul sens de rotation avec démarrage étoile-triangle.

a) Caractéristiques techniques :

- Fréquence : 50/60 Hz ;
- Puissance : 7.5/8.6 kW;
- Vitesse : 2885/3485 Tr/min ;
- En étoile : 8.7A, 660V ;
- En triangle : 15A, 380-420V.

b) Moteur asynchrone :



1 : rotor :circuit magnétique tournant
2 : stator : circuit magnétique fixe + 3 enroulements
3 : plaque à bornes pour l'alimentation et le couplage

Figure I-15 : Moteur asynchrone.

c) Précaution de câblage :

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 valeur (24V) puisqu'un opérateur humain intervient et la tension de circuit est de 380V.

d) Fonctionnement du moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un sens de rotation :

Pour ce démarrage, les enroulements du stator sont couplés sur le réseau, le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale.

Le démarrage s'effectue en deux étapes et dure entre 3 à 7 secondes :

- Première étape : couplage étoile (Y) du moteur :
  Le courant de démarrage est réduit par rapport au démarrage direct ;
  Le couple de démarrage est plus faible qu'en démarrage direct.
- Deuxième étape : couplage triangle du moteur :
  Quand le moteur est lancé, il passe au couplage après 3 à 7 secondes. La sur-intensité qui en résulte est moins importante qu'en démarrage direct et le moteur atteint sa vitesse nominale à plein tension.

Un schéma indiquant le circuit de puissance et le circuit de commande pour le démarrage d'un moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un sens de rotation est donné en annexe A.

e) Fonctionnement de la commande du moteur asynchrone :

Une impulsion sur S1 alimente le relais KM1 provoquant la fermeture du contacteur KM11, l'ouverture du contacteur KM12, alimentation de relais KM2 et le déclenchement de la temporisation KA1 de retard à la fermeture. Une fois le temps de retard est écoulé, le contacteur KA12 se ferme et le contacteur KA11 s'ouvre provoquant la désexcitation de KM1 qui va ouvrir le contacteur KM11 et la fermeture de contacteur KM12. KM3 et KM2 seront excités par KA12.

II.2.3 Pressostat :

Un pressostat est un capteur de pression qui permet l'envoi d'un signal électrique ou pneumatique en correspondant de la réalisation d'une pression préétablie en phase de réglage par l'utilisateur. Il est indiqué d'ajuster les vis de réglage VR et VE comme indiqué sur la figure ci-dessous d'une façon à obtenir un signal de 9.5 bars comme valeur minimale pour enclencher les pompes de maintien de pression ou de 10.5 bars comme valeur maximale pour leur arrêt.

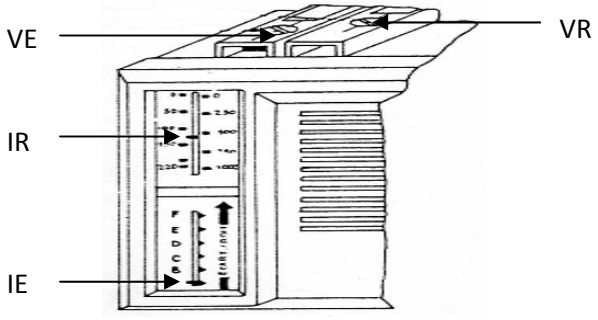


Figure I-16 : Pressostat.

a) Avec la vis « VE » mettre l'index « IE » pour choisir un écart ;
b) Avec la vis « VR » mettre l'index « IR » de l'appareil à la valeur pression voulue.

➢ **Pressostats de sécurité :**

Leur rôle est de détecter les pressions de sécurité maximale (11.5 bars) et minimale (8 bars) admissibles de l'eau de retour dans la chaufferie provoquant l'arrêt des bruleurs des chaudières.

II.2.4 Reservoir tampon :

Le réservoir tampon calorifique est mis en disposition pour que la stratification des températures soit telle que l'eau reversée dans la bâche à eau reste toujours inférieur à 100°C.

Ces caractéristiques sont :

- ✓ Volume : 1000 L ;
- ✓ Température maximale admissible : 130°C ;
- ✓ Pression admissible maximale : 18 bars.

II.2.5 Déverseurs :

La partie de maintien de pression est équipée de deux déverseurs hydrauliques assurant le passage de l'eau de retour du réservoir tampon vers la bâche à eau au cas de dépassement de 11 bars de pression dans le réseau.

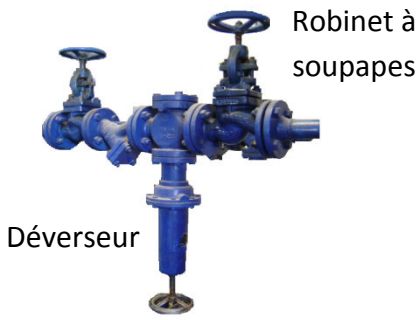


Figure I-17 : Déverseur.

II.3 Structure et fonctionnement du cycle chauffage :

Afin d'assurer une production de l'eau surchauffée entre 150°C et 160°C, deux chaudières identiques (B1 et B2) de type SN 160 sont installée en parallèle. Leurs caractéristiques sont comme suit :

- Puissance calorifique : 9 millions Kcal/h ;
- Température d'entrée d'eau : 100°C ;
- Température de sortie d'eau : 160°C ;
- Pression maximale admissible : 15 bars ;
- Volume : 32 m^3 ;

- Surface totale de chauffe : 408 m^3 ;
- Combustible : gaz algérien ;
- CO_2 sur fumée : 11% ;
- Température des fumées à la sortie : 186°C.

La sélection de fonctionnement entre ces deux chaudières est donnée de manière à ce que l'une d'elles travaille en hiver, l'autre en été ou en cas de défaillance de celle en service.

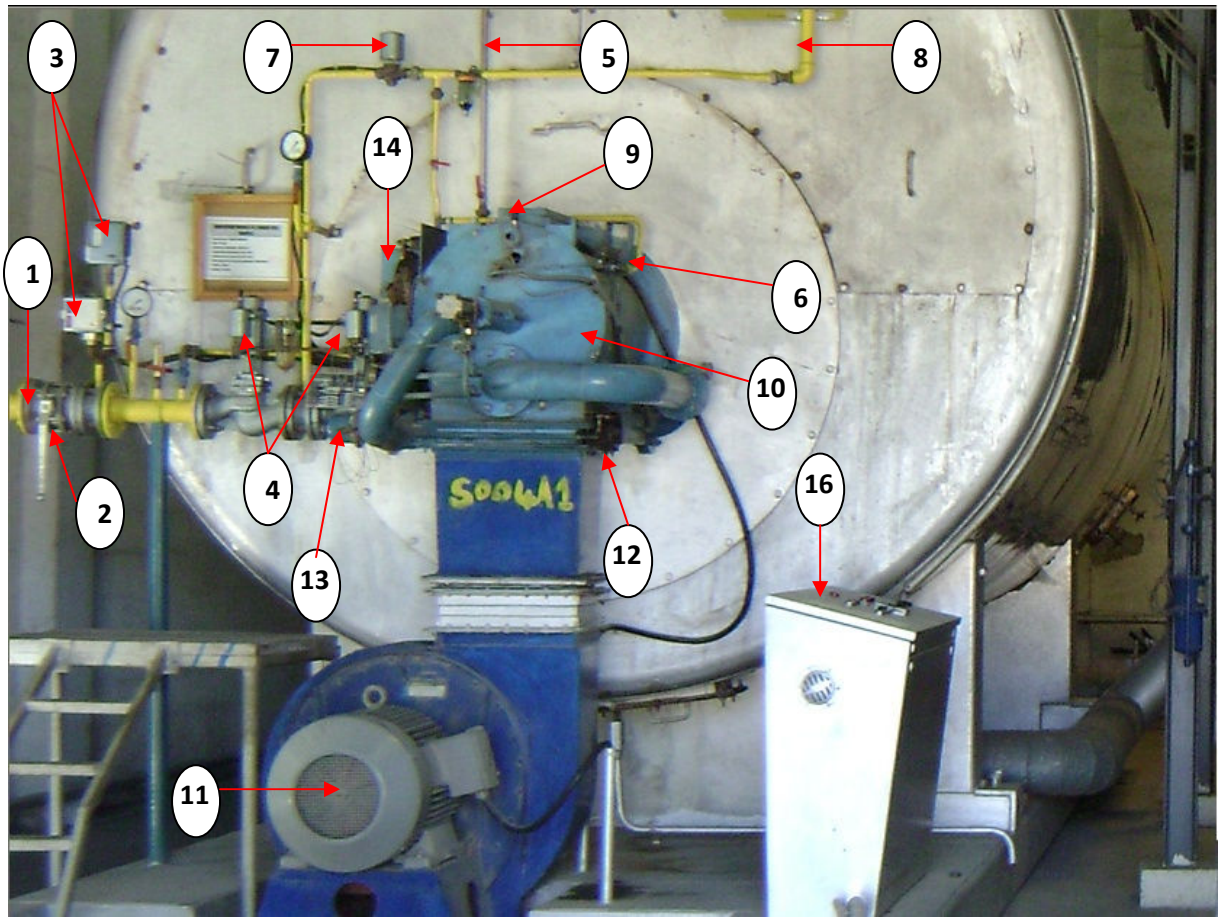


Figure I-18 : Vue extérieure de la chaudière.

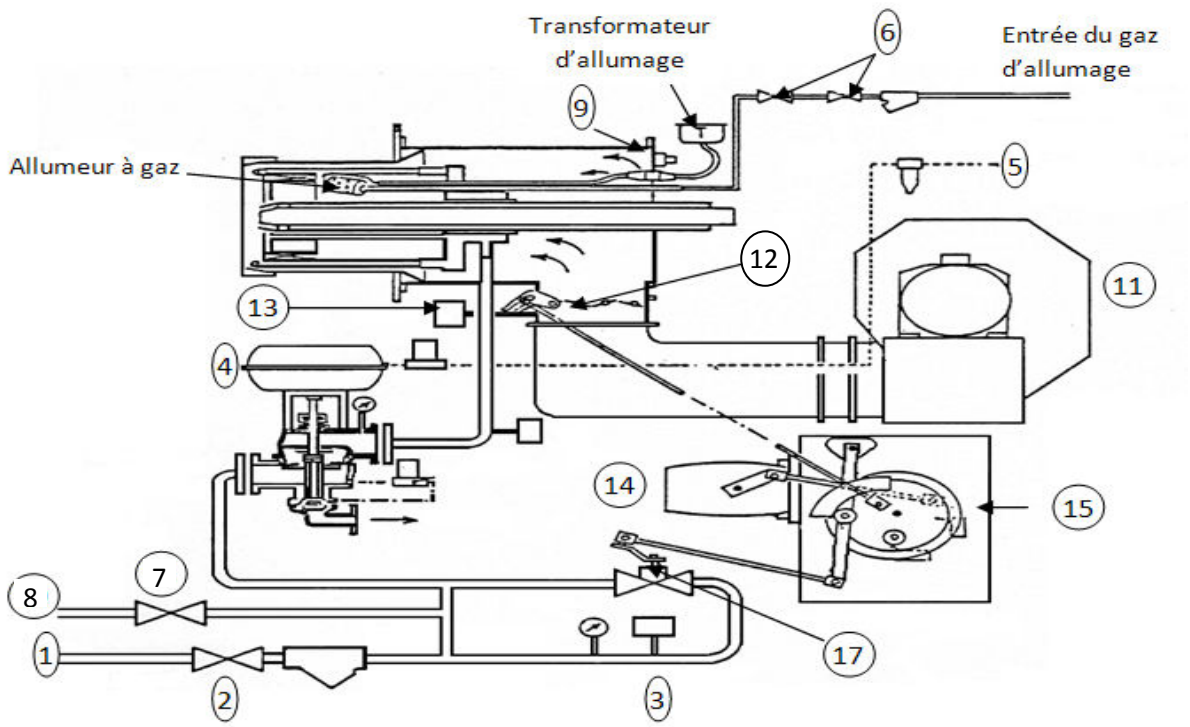


Figure I-19 : Schéma de fonctionnement du bruleur.

II.3.1 Eléments constituants la chaudière :

1 : Entrée du gaz ;

2 : Electrovanne d'entrée du grand gaz ;

3 : Pressostats pour gaz;

4 : Vannes à soupapes ;

5 : Entrée d'air comprimé ;

6 : Electrovannes de la torche ;

7 : Electrovanne d'échappement ;

8 : Sortie des gaz vers l'échappement ;

9 : Cellule photo-électrique ;

10 : Chambre du bruleur ;

11 : Moteur ventilateur ;

12 : Volet d'air ;

13 : Pressostat pour l'air de combustion ;

14 : Cerveau moteur ;

15 : Groupe modulant ;

16 : Table de contrôle ;

17 : Vanne régulatrice du gaz ;

II.3.2 Rôle de chaque élément :

1. **Entrée du gaz :** Où la pression est à un bar fournie par la SONELGAZ.
2. **Electrovanne d'entrée du gaz :** A travers cette électrovanne, la chaudière est alimentée par le gaz.

3. **Pressostats pour gaz :** le circuit est constitué de deux capteurs de pression de sécurité. Le premier indique la pression maximale admissible 1.5 bars, le deuxième indique la pression minimale nécessaire 0.5 bars pour la combustion.
4. **Vannes à soupapes :** pour assurer l'arrêt en urgence, deux vannes à soupapes sont placées en l'entrée du gaz et le bruleur qui se ferment par deux électrovannes à d'air comprimé à 8.5 bars.

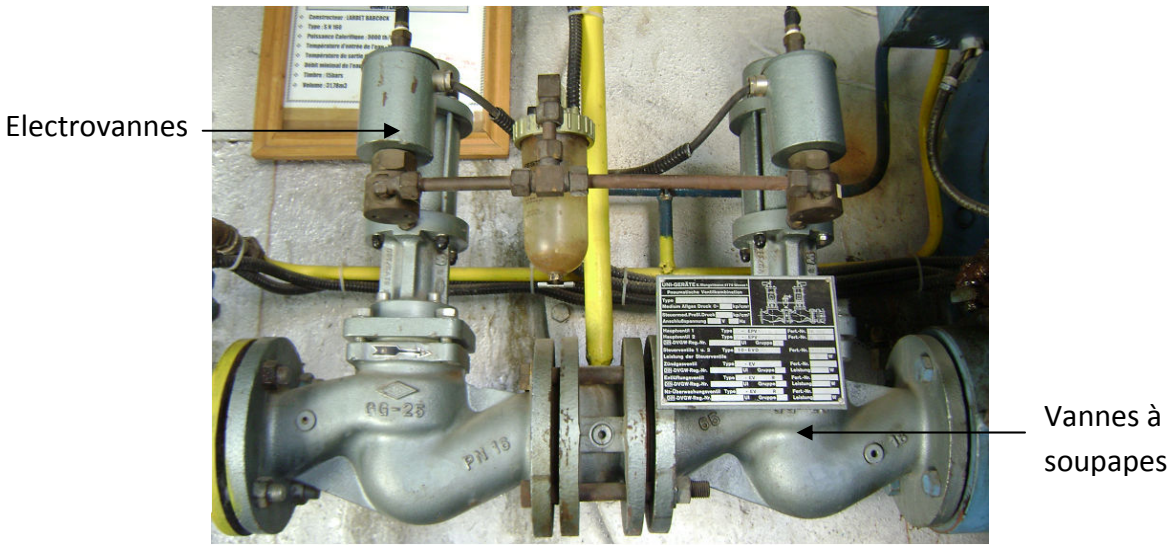


Figure I-20 : Vannes à soupapes.

5. **Entrée d'air comprimé :** Assuré par des compresseurs à l'extérieur de la station à 7 bars, l'air comprimé ferme les électrovannes à l'entrée du gaz brusquement en défaillance.
6. **Electrovannes de la torche :** Deux petites électrovannes assurant le passage du gaz de la torche.
7. **Electrovanne d'échappement :** A son ouverture l'échappement des gaz non brulés est assuré.
8. **Sortie des gaz vers l'échappement :** Tuyauterie par laquelle sortent les gaz non brulés.
9. **Capteur Photoélectrique :** Une cellule photoélectrique est un dispositif composé d'un capteur photosensible dont sa résistance électrique varie lorsqu'il est soumis à un rayonnement lumineux (telle une photorésistance) et d'un circuit électrique. L'importance de la variation de la résistance de la photorésistance étant proportionnelle à l'intensité du rayonnement lumineux. La cellule photoélectrique peut permettre d'actionner des dispositifs divers (éclairage automatique, volet électrique…etc.).

Figure I-21 : Capteurs photoélectriques.

10. **Chambre du bruleur :** A son intérieur se produit la combustion entre le gaz et l'air.
11. **Moteur ventilateur :** Son rôle est de pré ventiler la chambre du bruleur et de fournir l'air de combustion. Moteur triphasé asynchrone à un seul sens de rotation à démarrage étoile-triangle. Ces caractéristiques techniques sont les suivantes :
    - Tension : 380 V en Δ ;
    - Intensité : 83 A ;
    - Fréquence : 50 Hz ;
    - Puissance : 45 KW ;
    - Vitesse : 2960 Tr/min ;
    - Cos ϕ=0.89 ;
    - Poids : 320 Kg.
12. **Volet d'air :** Commandé par le cerveau moteur, le volet d'air sélectionne la quantité d'air produite par le moteur ventilateur.
13. **Pressostat pour l'air de combustion :** Il capte la présence de l'air de combustion.
14. **Servomoteur :** Le moteur M941 (sa référence) est un moteur modulant proportionnel réversible, à deux sens de rotation utilisé pour actionner des vannes ou équipements auxiliaires. Commandé d'une tension de 24V et alimenté de 220V, 50/60Hz.

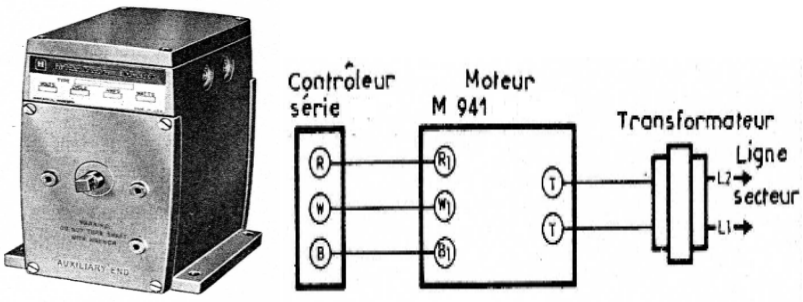


Figure I-22 : Cerveau moteur et son schéma de raccordement.

Assurant une rotation du bloc modulant d'un angle de 160° durant 36 secondes, à la fermeture du contact WR le moteur tourne au sens d'ouverture des vannes, et à la fermeture du contact WB il tourne au de fermeture des vannes.

15. **Bloc modulant :** Pivoté par le cerveau moteur, comprend deux cames réglables de bonne précision pour l'ouverture des voies d'air et du gaz pour avoir une bonne combustion lors du service.
16. **Table de contrôle :** Est une armoire de commande menue des boutons et d'indicateurs d'état d'actionnement des différents éléments de la chaudière.
17. **Vanne régulatrice du gaz :** Commandé par le cerveau moteur, la vanne sélectionne la quantité du gaz envoyée vers le bruleur.

La chaudière est équipée de quatre thermostats. Les trois thermostats indicateurs (80,150 et 160°C) interviennent dans la commande du bruleur et le thermostat de sécurité (165°C) intervient à son arrêt d'urgence.

II.3.3 Fonctionnement du bruleur :

Pour procéder à l'allumage du bruleur, on ouvre initialement l'électrovanne (7) d'échappement des gaz non brulés restants à l'intérieur de la tuyauterie du bruleur pour éviter tout incident, ensuite le cerveau moteur (14) est actionné pour l'ouverture totale du volet d'air (12) pour l'évacuation des gaz afin de préparer la chambre de combustion. A l'écoulement d'une minute le cerveau moteur est actionné dans le sens de fermeture du volet d'air. Ensuite on ouvre l'électrovanne (2) et on allume le transformateur d'allumage de l'étincelle. Dès que cette étincelle est détectée par la cellule photoélectrique, on ouvre l'électrovanne (6) pour l'allumage de la torche. Après quatre secondes le transformateur est désactivé, telle que la torche est maintenue, on ouvre les vannes à soupapes pour le passage du grand gaz vers le bruleur. Dix secondes après, l'électrovanne (6) sera fermée avec maintenance de détection par la cellule photoélectrique. A cet instant le bruleur est actionné par le cerveau moteur selon les besoins de température à l'intérieur de la chaudière.

II.3.4 Schéma interne de la chaudière :

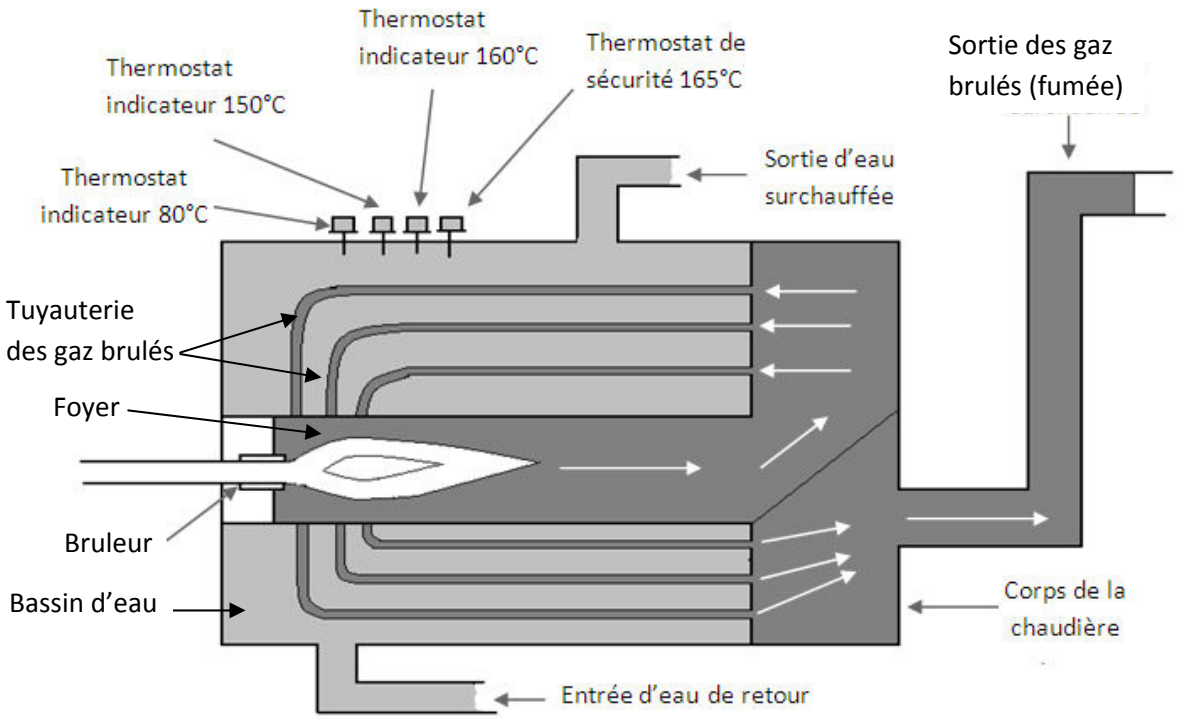


Figure I-23 : Schéma interne de la chaudière.

❖ **Interprétation :**

Lors de la combustion au niveau du foyer, les gaz brulés chauffés à une température élevée passent à travers la tuyauterie en faisant un circuit à l'intérieur du bassin d'eau afin d'avoir un rendement d'échange thermique maximal, ensuite ces gaz vont sortir à l'extérieur.

A l'entrée de l'eau de retour, l'eau traverse le bassin de bas en haut en faisant contact avec les parois externes de la tuyauterie des gaz brulés et la chambre du foyer en assurant un échange thermique. Par conséquence, la température de cette eau est augmentée. Cette eau sera transférée au cycle de distribution.

II.3.5 Thermostat :

Un thermostat est un capteur de température qui permet l'envoi d'un signal électrique en correspondant de la réalisation d'une température préétablie en phase de réglage par l'utilisateur.

II.3.6 Soupapes de sécurité :

La chaudière est équipée de deux soupapes de sécurité qui évacuent l'eau à l'extérieur du réseau lorsque la pression à l'intérieur dépasse la valeur réglée de douze bars. Voir la figure I-24.

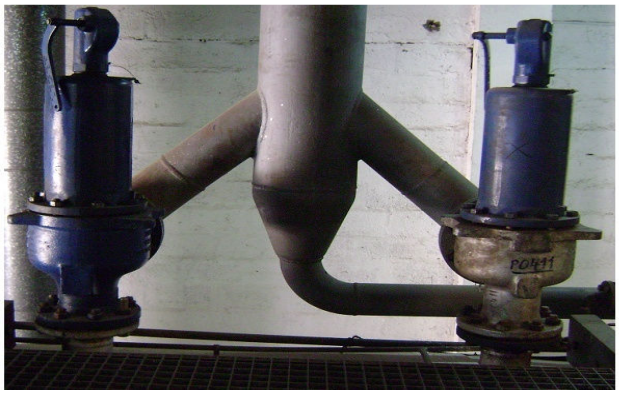


Figure I-24 : Soupapes de sécurité.

II.4 Structure et fonctionnement du cycle de distribution :

II.4.1 Groupe des pompes de distribution (à distance):

Pour assurer la distribution de l'eau surchauffée, avec 12 bars de pression, au profit des ateliers d'une manière continue, trois pompes de refoulement sont disponibles fonctionnant séquentiellement l'une après l'autre pendant six heures pour chacune afin d'augmenter la fiabilité du système de distribution.

Sachant que ces trois pompes sont identiques, chacune d'elle est actionnée par un moteur triphasé asynchrone à un seul sens de rotation avec démarrage étoile-triangle.

- **Caractéristiques techniques :**
  - Fréquence : 50 Hz ;
  - Tension : 380 V en Δ ;
  - Intensité : 72 A ;
  - Puissance : 37 KW ;
  - Déphasage : cos ϕ=0.85 ;
  - Poids : 300 Kg.

II.4.2 Refroidissement des corps des pompes de distribution :

En raison de protéger les corps des pompes de distribution, un sur échauffement du au passage de l'eau surchauffée à 160°C, leur refroidissement et inévitable pendant le temps de leur fonctionnement. Deux possibilités pour assurer ce refroidissement :

Première possibilité:

A) Refroidissement par le groupe des pompes de refroidissement :

Deux pompes assurent cette fonction, avec une pression minimale de 2 bars, travaillant successivement pendant six heures chacune ou le déclenchement de l'une d'elles est impératif en cas de disjonction de l'autre. L'eau de refroidissement est aspiré d'un réservoir remplit de l'eau adoucie. Notons que le refroidissement est un cycle fermé dans ce cas. Le remplissage de réservoir d'eau pour refroidissement, équipé de trois capteurs de niveau (29), (30) et (31), se fait automatiquement à travers l'électrovanne (33).

Chaque pompe est actionnée à base d'un moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation à démarrage étoile-triangle.

- **Caractéristiques techniques :**
  - Fréquence : 5O Hz ;
  - Tension : 220 V (Y), 380 V (Δ) ;
  - Intensité : 40/23 A ;
  - Vitesse : 2900 Tr/min ;
  - Déphasage : cos ϕ=0.86.

Sachant que chaque entrée des trois pompes de distribution par la voie de refroidissement porte un capteur de débit. Si aucun de ces trois capteurs n'indique pas la présence de débit dans les trois voies au cours de cette première possibilité (à la défaillance des deux pompes de refroidissement par exemple), l'opération sera assurée par de l'eau brute (deuxième possibilité).

- **II.4.2 Capteur de débit :**

Intercalé dans la tuyauterie, le capteur de débit est monté dans un manchon sur les passages d'eau. Le fluide à contrôler fait pression sur la palette du contrôleur, un levier solidaire de celui-ci pivote sans frottement en s'appuyant sur un ressort taré, l'autre extrémité du levier comporte un aiment permanant qui envoi un signal électrique indiquant la présence d'un débit.

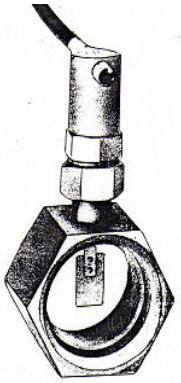


Figure I-25 : Capteur ce débit.

Deuxième possibilité :

B) Refroidissement par de l'eau brute :

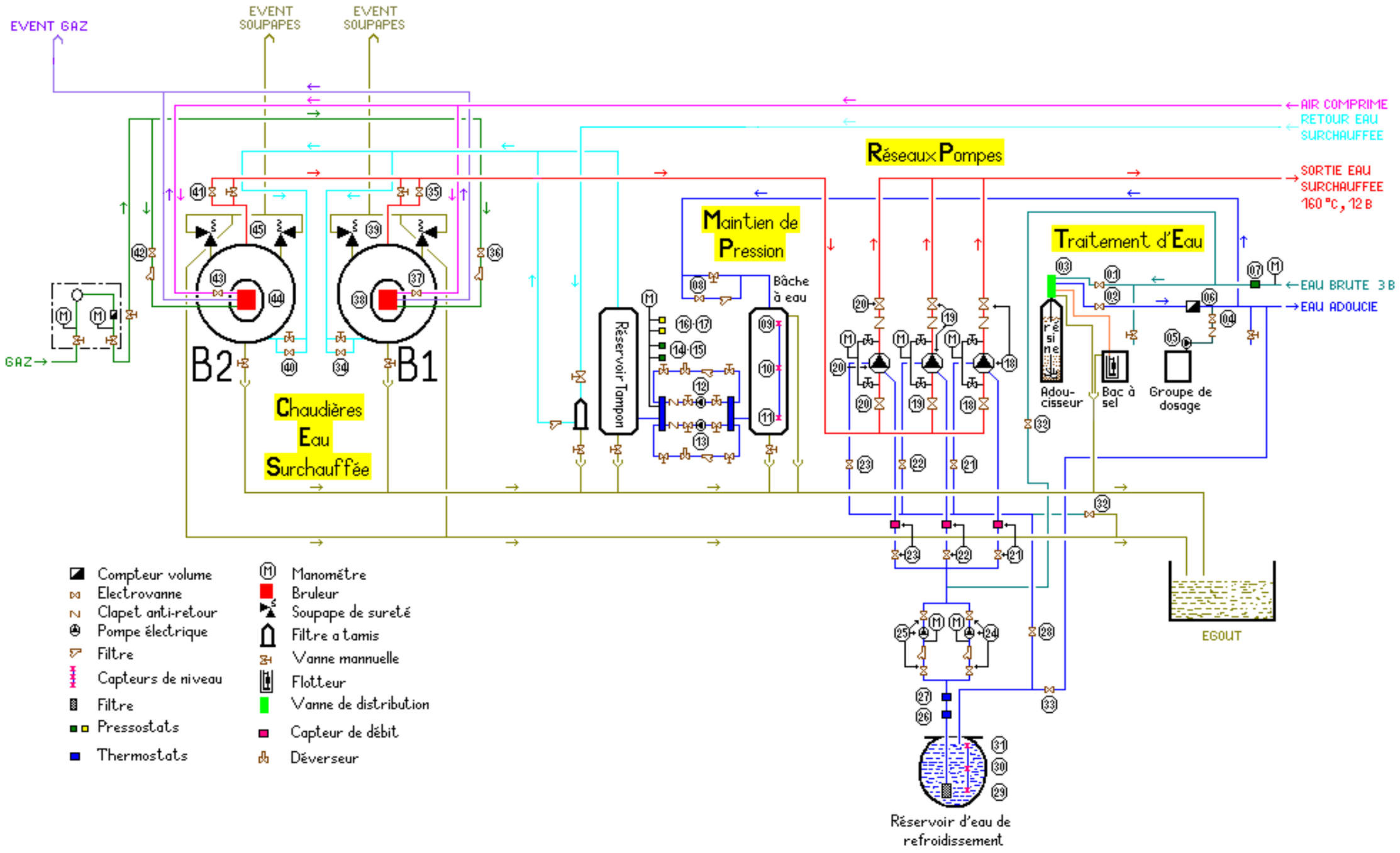
Par mesure de garder une température basse de l'eau adoucie dans le réservoir, deux thermostats sont insérés sur la conduite. L'un nous informe de la température de 35°C, l'autre nous informe de la valeur de 50°C. Hors cet intervalle, le refroidissement se fait par l'eau brute, et en cas de disjonction subite des deux pompes, l'action sera maintenue automatiquement à travers l'électrovanne (32).

III. Conclusion :

Nous avons fait l'étude et la description fonctionnelle de la station, où les entrées/sorties sont sélectionnées afin de modéliser son comportement.

L'apport de ce travail dans l'élaboration de la modélisation du processus est d'une importance capitale car une modélisation correcte passe par une bonne compréhension du fonctionnement de la station, ce qui implique l'élaboration d'un programme respectant le cahier des charges.

Figure I.3: Shcéma d'istallation de la chaufferie B à l'ENIEM.



Eléments de la chaufferie.

Partie : Traitement d'eau.		
Numéro sur la figure I	Notation	Désignation
01	EV_1	Electrovanne d'entrée d'eau brute vers l'adoucisseur
02	EV_2	Electrovanne de sortie de l'eau adoucie de l'adoucisseur
03	VD_3	Vanne de distribution
04	EV_4	Electrovanne de sortie de dosage
05	PD_5	Pompe de dosage
06	CMP_6	Compteur émetteur d'impulsion
07	PRE_7	Capteur de pression
Partie : Maintien de pression.		
08	EV_8	Electrovanne d'entrée de l'eau adoucie dans la bâche à eau
09	CAPNH_9	Capteur de niveau haut dans la bâche à eau
10	CAPNM_10	Capteur de niveau moyen dans la bâche à eau
11	CAPNB_11	Capteur de niveau bas dans la bâche à eau
12	PM_12	Pompe de maintien de pression 1
13	PM_13	Pompe de maintien de pression 2
14	PRSM_14	Pressostat de pilotage des pompes en pression max
15	PRSm_15	Pressostat de pilotage des pompes en pression min
16	PRSSM_16	Pressostat de sécurité en pression max
17	PRSSm_17	Pressostat de sécurité en pression min
Partie : Réseau des pompes.		
18	PDIS_18	Pompe à distance 1
”	EV_18	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la pompe à distance 1
19	PDIS_19	Pompe à distance 2
”	EV_19	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la pompe à distance 2
20	PDIS_20	Pompe à distance 3
”	EV_20	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la pompe à distance 3
21	EV_21	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement de la pompe à distance 1
”	CAPD_21	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à distance 1
22	EV_22	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement de la pompe à distance 2
”	CAPD_22	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à distance 2
23	EV_23	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement de la pompe à distance 3
”	CAPD_23	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à distance 3
24	PREF_24	Pompe de refroidissement 1
”	EV_24	Deux électrovannes d'entrée et sortie de la pompe de refroidissement 1
25	PREF_25	Pompe de refroidissement 2
”	EV_25	Deux électrovannes d'entrée et sortie de la pompe de refroidissement 2
26	THE_M26	Thermostat indicateur de température 50°C de l'eau adoucie de refroidissement
27	THE_m27	Thermostat indicateur de température 35°C de l'eau adoucie de refroidissement
28	EV_28	Electrovanne de retour d'eau adoucie de refroidissement vers le réservoir
29	CAPNB_29	Capteur de niveau bas dans le réservoir d'eau de refroidissement
30	CAPNM_30	Capteur de niveau moyen dans le réservoir d'eau de refroidissement
31	CAPNH_31	Capteur de niveau haut dans le réservoir d'eau de refroidissement
32	EV_32	Deux électrovannes de refroidissement avec l'eau brute
33	EV_33	Vanne de remplissage du réservoir d'eau de refroidissement
Partie : Deux chaudières B1 et B2 d'eau surchauffée.		
34	EV_34	Electrovanne d'entrée de l'eau de retour à la chaudière B1
35	EV_35	Electrovanne de sortie de l'eau surchauffée de la chaudière B1
36	EV_36	Vanne d'entrée du gaz vers la chaudière B1
37	EV_37	Vanne d'entrée d'air comprimé vers la chaudière B1
38	BR_38	Bruleur de la chaudière B1
39	SS_39	Soupapes de sécurité de la chaudière B1
40	EV_40	Electrovanne d'entrée de l'eau de retour à la chaudière B2
41	EV_41	Electrovanne de sortie de l'eau surchauffée de la chaudière B2
42	EV_42	Vanne d'entrée du gaz vers la chaudière B2
43	EV_43	Vanne d'entrée d'air comprimé vers la chaudière B2
44	BR_44	Bruleur de la chaudière B2
45	SS_45	Soupapes de sécurité de la chaudière B2

I. Introduction :

Afin d'établir une bonne automatisation d'un procédé, quelque soit sa complexité, selon son cahier des charges, sa modélisation suivant son cycle de fonctionnement nous permet d`extraire les composantes nécessaires pour mieux prendre en charge la modélisation de cette station.

Le fonctionnement d'un automatisme peut être modélisé par plusieurs méthodes. La représentation par GRAFCET est abordable, conçue pour être un bon outil de description des automatismes séquentiels tout en respectant ses règles d'évolution. C'est un langage clair, strict, permettant de traduire un fonctionnement sans ambiguïté.

II. Définition du GRAFCET :

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition) est un outil graphique de définition pour l'automatisme séquentiel, en tout ou rien. Il est également utilisé dans beaucoup de cas combinatoires, dans le cas où il y a une séquence à respecter où l'état des capteurs suffirait pour résoudre le problème en combinatoire. Il utilise une représentation graphique permettant, par exemple, au réalisateur de montrer au donneur d'ordre comment il a compris le cahier des charges. Langage universel, indépendant (dans un premier temps) de la réalisation pratique (peut se "câbler" par séquenceurs, être programmé sur automate).

La description du fonctionnement d'un automatisme peut alors être représentée graphiquement par un ensemble :

- D'étapes auxquelles sont associées des actions ;
- De transitions auxquelles sont associées des réceptivités ;
- De liaisons (ou arcs) orientées.

Un tel ensemble (graphe ou diagramme) est le GRAFCET.

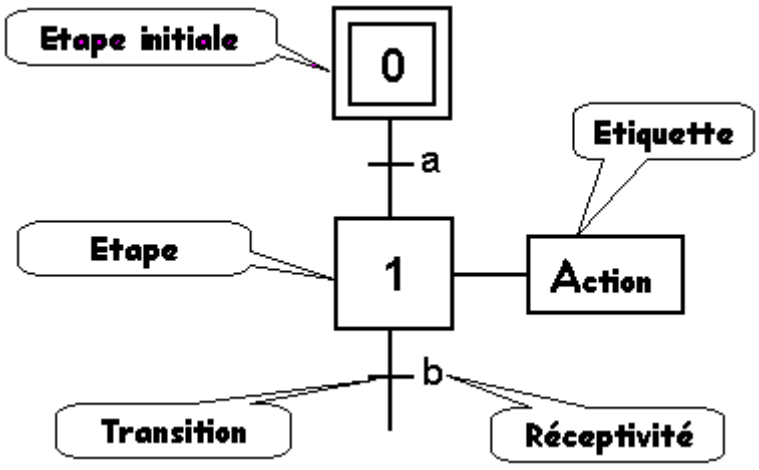


Figure II-1 : Composants du GRAFCET.

III. Structure du GRAFCET :

III.1 Etape :

Sur un GRAFCET, on peut rencontrer différents types d'étapes :

a. **Etape simple :** Une étape correspond à une phase durant laquelle on effectue une ou des actions pendant une certaine durée. Cette action doit être stable pendant toute la durée de l'étape.

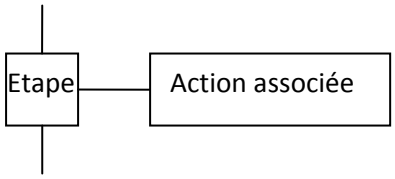


Figure II-2 : Etape du GRACET et son action.

b. **Etape initiale :** L'étape initiale est celle qui est active au début du fonctionnement. On la précise par un double carré.

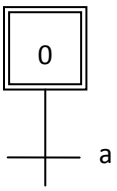


Figure II-3 : Etape initiale.

III.2 Actions associées à l'étape :

Une ou plusieurs actions élémentaires ou complexes peuvent être associées à une étape. Elles traduisent ce qui doit être fait chaque fois que l'étape à laquelle elles sont associées est active.

Les actions peuvent être externes (commander le processus, ...) ou internes (calcul, ...). Cela peut donc être des commandes, des propositions logiques composées de variables représentatives des entrées et des sorties de l'automatisme, mais aussi de certaines étapes du GRAFCET. Ces dernières sont appelées « actions de forçage », c'est-à-dire qu'une étape peut activer ou forcer, une autre étape du même ou d'un autre GRAFCET. Les actions sont inscrites de façon littérale ou symbolique dans un rectangle latéral relié à l'étape par un trait.

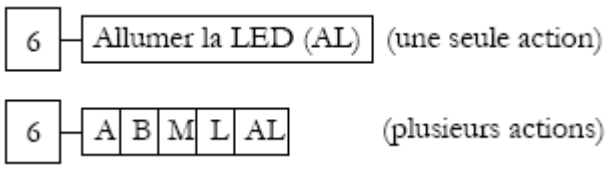
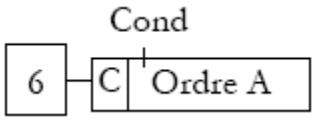


Figure 1: II-4 : Actions associées à une étape.

On distingue trois types d'actions :

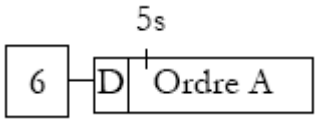
- **Action à niveau** (ou **continue**) **:** Qui s'exécute tant que l'étape à laquelle elle est associée reste active.
- **Action conditionnelle :** Qui elle même se décompose en trois cas particuliers :
  - ✓ **l'action conditionnelle simple :** Qui s'exécute sous condition logique :



$(A = Cond \,.\, X_6)$

Figure II-5 : Action conditionnelle simple.

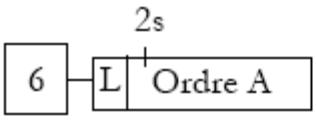
  - ✓ **Action retardée :**



$(A = t/6/5s \,.\, X_6)$

Figure II-5 : Action retardée.

  - ✓ **Action limitée dans le temps :**



$(A = \overline{t/6/2s} \,.\, X_6)$

Figure II-6 : Action limitée dans le temps.

- **Action mémorisée :** C'est une action qui reste active jusqu'à ce qu'une nouvelle action lui donne l'ordre de se désactiver.

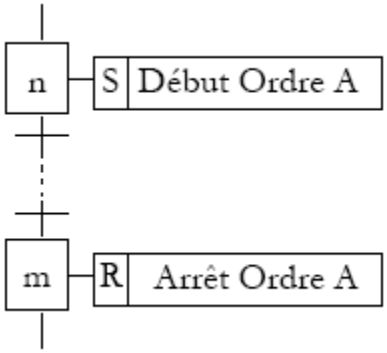


Figure II-7 : Action mémorisée.

III.3 Transition :

Représentée par un trait horizontal, la transition est placée entre une ou plusieurs étapes d'entrée situées en amont et une ou plusieurs étapes de sortie situées en aval.

Le franchissement d'une transition correspond au passage d'un événement dans le système à un événement suivant. C'est une fonction combinatoire d'informations booléennes telles que :

- Etats des capteurs ;
- Impulsion sur un bouton poussoir ;
- Action d'un temporisateur…etc.

On distingue deux cas particuliers :

- **Temporisation :** Pour faire intervenir le temps dans une réceptivité, on indique après le repère "T" son origine et sa durée. L'origine est l'instant de début de l'activation de l'étape à déclencher ou sur un état logique de variable (capteur).
  La notation « T/6/5s » nous indique que la réceptivité est vraie 5 secondes après l'activation de l'étape repérée 6.
- **Réceptivité toujours vraie :** Représentée par « =1 », cette transition est franchie dès que la ou les étapes juste avant sont actives sans autres conditions.

III.4 Réceptivités associées à la transition :

La réceptivité est une condition qui détermine la possibilité on non d'évolution du système par la transition.

Une réceptivité s'exprime comme étant une expression booléenne écrite à l'aide des variables d'entrée E_i, des variables d'étapes X_i, des opérateurs ET, OU, NON ainsi que l'opérateur à retard "t1/X_n/t2", auquel on peut rajouter les opérateurs front montant (↓) et front descendant(↓). Ces opérateurs permettent d'introduire le concept d'événement. Ils expriment le changement d'état d'une variable booléenne.

- ❖ **Remarque :** Deux étapes ne doivent jamais être reliées directement : elles doivent être séparées par une transition. De même, deux transitions ne doivent jamais être reliées directement entre elles : une étape doit les séparer.

III.5 Liaisons orientées :

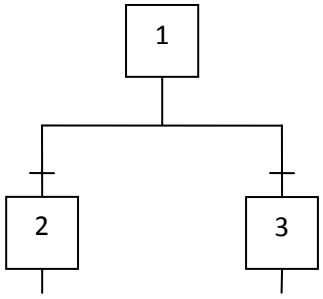
Représentées par des lignes verticales, les liaisons orientées relient les étapes aux transitions et vis-versa. Elles indiquent les sens suivant lesquels se font les évolutions.

III.6 Sélection de séquences et séquences simultanées :

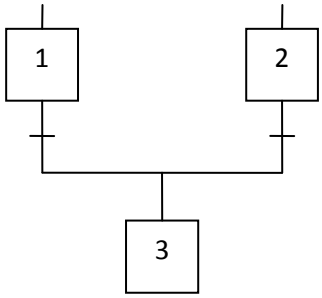
Deux structures particulières sont présentées par le GRAFCET : la sélection de séquence et les séquences simultanées.

III.7 Sélection de séquences :

La sélection de séquences dans un GRAFCET permet de choisir une suite d'étapes plutôt qu'une autre. Cette structure est composée d'une seule étape en amont et de plusieurs transitions en aval qui permettront le choix de la séquence. Elle est représentée par un trait horizontal.



Début de sélection de séquence « Divergence en OU »

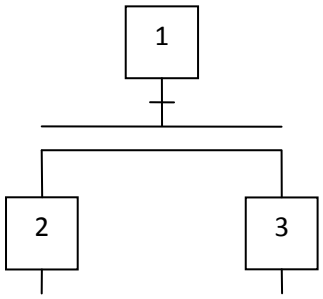


Fin de sélection de séquence « Convergence en OU »

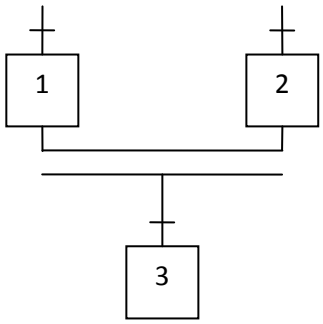
Figure II-8 : Sélection de séquences.

III.8 Séquences simultanées :

Cette structure est composée d'une seule transition en amont qui permet de déclencher simultanément plusieurs séquences d'étapes. Elle est d'un double trait horizontal.



a- Début de séquences simultanées « Divergence en ET »



b- Fin de séquences simultanées « Convergence en ET »

Figure II-9 : Séquences simultanées.

III.9 Saut d'étapes (saut en avant) :

Le saut permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions associées à ces étapes deviennent inutiles.

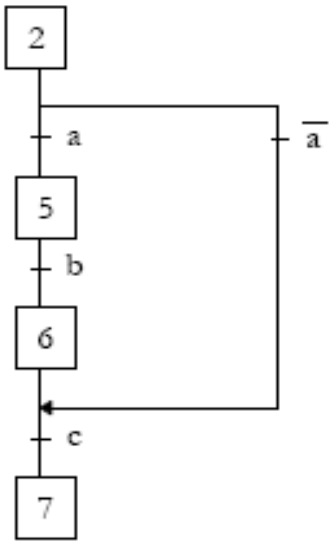


Figure II-10 : Saut d'étapes.

III.10 Reprise de séquence (saut en arrière) :

Le saut en arrière permet de reprendre une séquence lorsque les actions à réaliser sont répétitives tant que la condition fixée n'est pas obtenue.

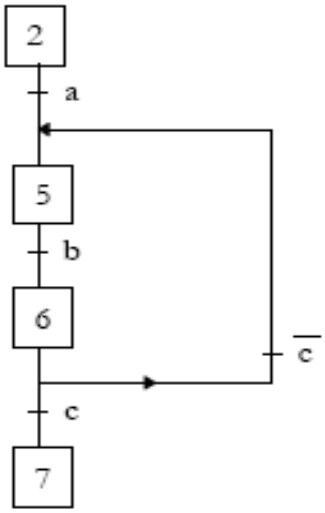


Figure II-11 : Reprise de séquence.

IV. Règles d'évolution d'un GRACET :

La modification de l'état d'un automatisme est appelée évolution, et est régie par différentes règles:

- **Règle 1 :** Les étapes initiales sont celles qui sont actives au début du fonctionnement. Elle est active inconditionnellement en début de cycle.
- **Règle 2 :** Une transition est soit validée, soit non validée.
  - ✓ Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives.
  - ✓ Elle ne peut être franchie que lorsqu'elle est validée et que sa réceptivité est vraie. Elle est alors obligatoirement franchie.

- **Règle 3 :** Le franchissement d'une transition entraîne :
  - ✓ L'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes.
  - ✓ La désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.
- **Règle 4 :** Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.
- **Règle 5 :** Si au cours de fonctionnement, une même étape doit être activée et désactivée simultanément, alors elle reste active. L'activation est prioritaire sur la désactivation.

V. Modélisation de la chaufferie à eau surchauffée :

Le travail qui nous a été demandé consiste à l'automatisation de la station par l'élaboration d'une modélisation du cycle de fonctionnement par le GRAFCET. Le modèle présenté ne tient compte que du mode automatique. Les opérations manuelles seront exécutées par l'opérateur avant le démarrage du cycle de production. En vue d'élaborer ce GRAFCET, nous avons recensé les différentes entrées/sorties intervenants dans le cycle de fonctionnement de la station (voir annexe B) et le GRAFCET de la station.

VI. Exemple : Cycle traitement d'eau :

Lorsque cette partie est mise en marche par un opérateur, en fermant un commutateur à clé (M1) sur le pupitre de commande et CAPNM_10 est ouvert ou CAPNM_30 est ouvert EV_1 et EV_2 s'ouvrent.

Une fois EV_1 et EV_2 sont ouvertes, CMP_6 émet une impulsion au passage de chaque V=100L provoquant l'ouverture d'EV_4 à T1=3s avant le démarrage de PD_5 pendant T2=1 minute.

Le compteur © compte le nombre d'impulsion de CMP_6 jusqu'à 90 et émet un signal de passage de $9m^3$.

Si CAPNM_10 est ouvert, EV_8 s'ouvre jusqu'à la fermeture de CAPNH_9.

Si CAPNM_30 est ouvert, alors EV_33 s'ouvre pour remplir le réservoir d'eau de refroidissement jusqu'à la fermeture de CAPNH_31.

Au passage de $9m^3$ d'eau traitée et PRS_7 est ouvert, EV_1 et EV_2 seront fermées vue de l'impossibilité de déroulement de la régénération à l'absence du débit.

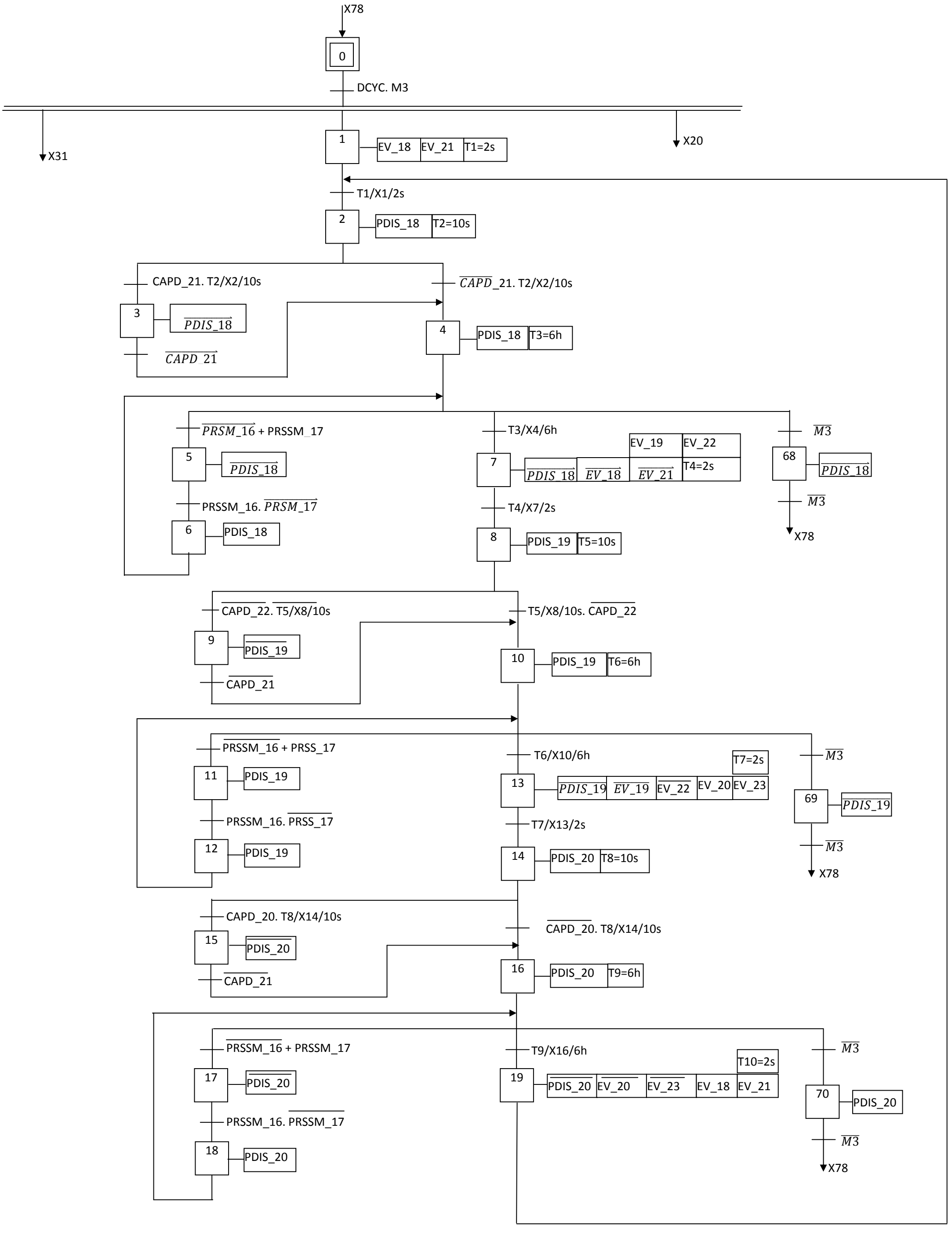
Une fois $9m^3$ de l'eau traitée sont produits et PRE_7 fermé, la régénération commence par l'enclenchement du MR qui s'arrêtera à la position 1 de l'ouverture de CAPFC pendant T3=15 minutes le temps de détassage. A la fin de T3, MR s'enclenche puis s'arrêtera à la position 2 de l'ouverture de CAPFC pendant T4=60 minutes le temps de saumurage. Une fois T4 est écoulée, MR s'enclenche une troisième fois et s'arrêtera à la position 3 de CAPFC pendant T5=15 minutes le temps de rinçage. MR s'enclenche après cette temporisation en s'arrêtant à la position 4 de CAPFC pendant T6=20 minutes le temps de remplissage du bac à sel avec l'eau brute. A l'écoulement de T6, MR s'enclenche de nouveau, puis s'arrête à la

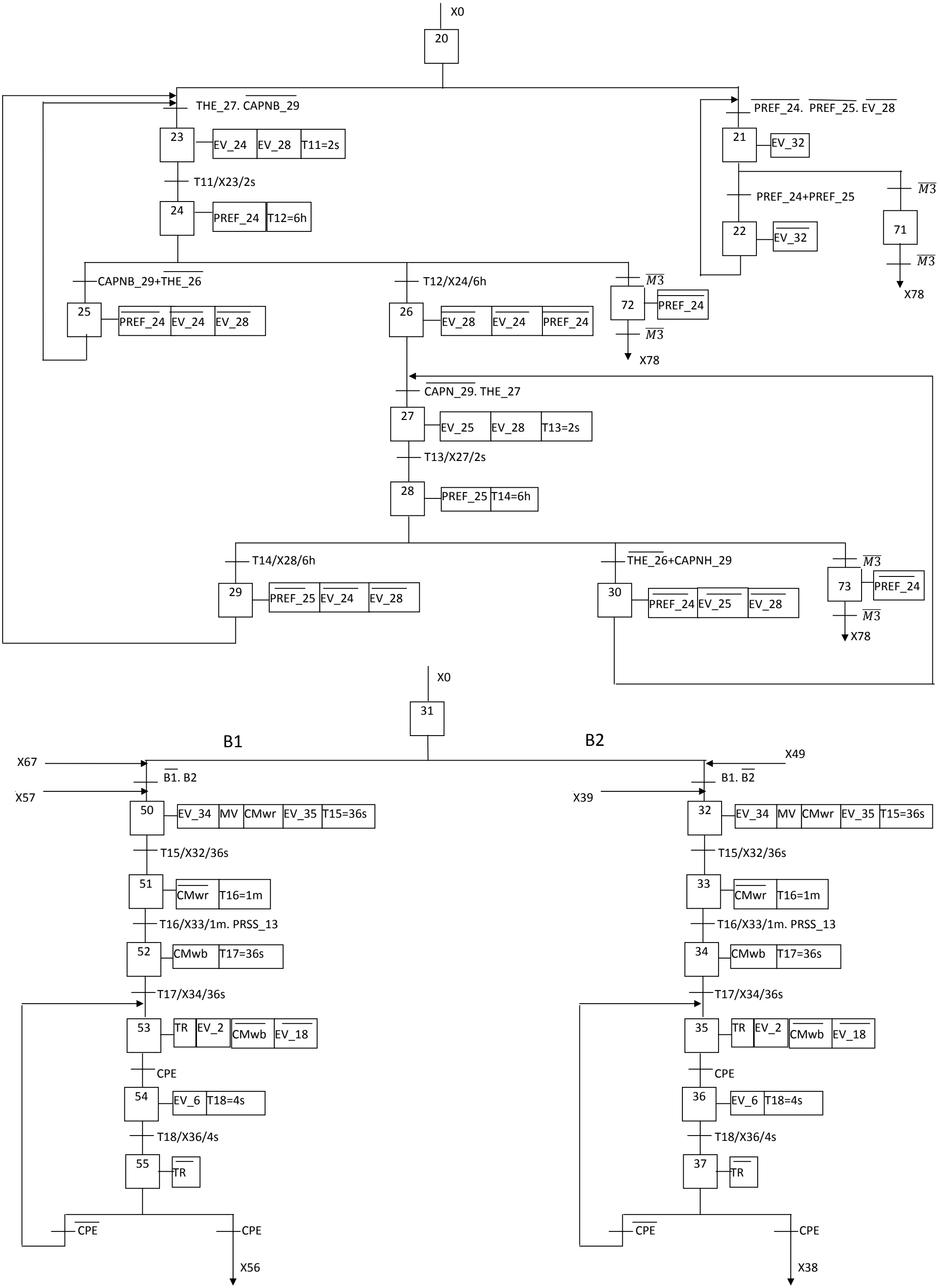
position 5 de CAPFC durant T7=1s vis-à-vis de la nature du pignon de commande. MR s'enclenchera à la fin de T7 et il s'arrête à l'ouverture de CAPFC. Cette position est l'état initial dans laquelle l'adoucisseur est prés de refaire le cycle d'adoucissement.

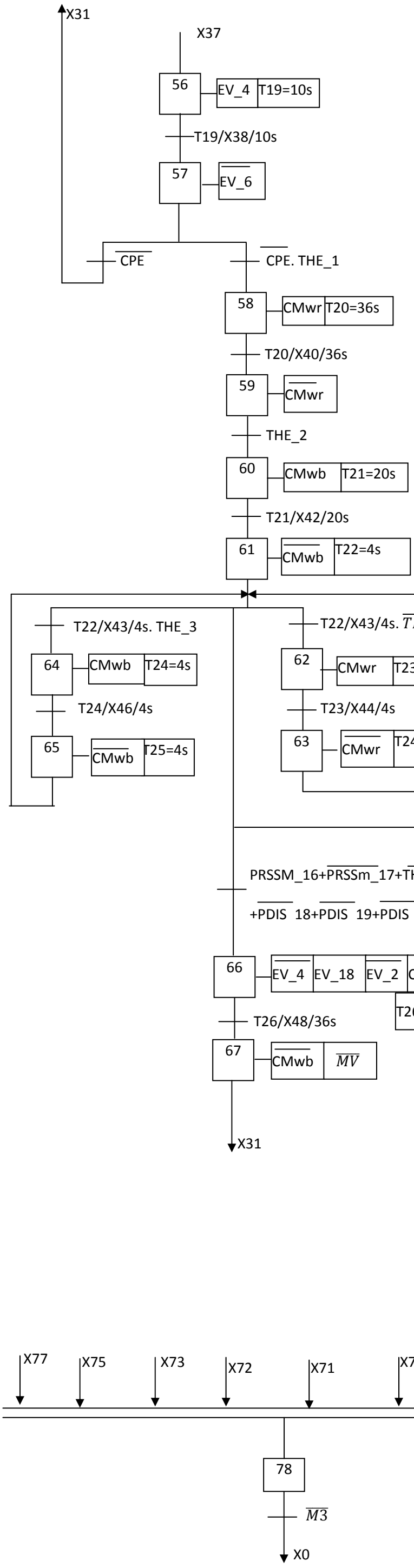
VII. Conclusion :

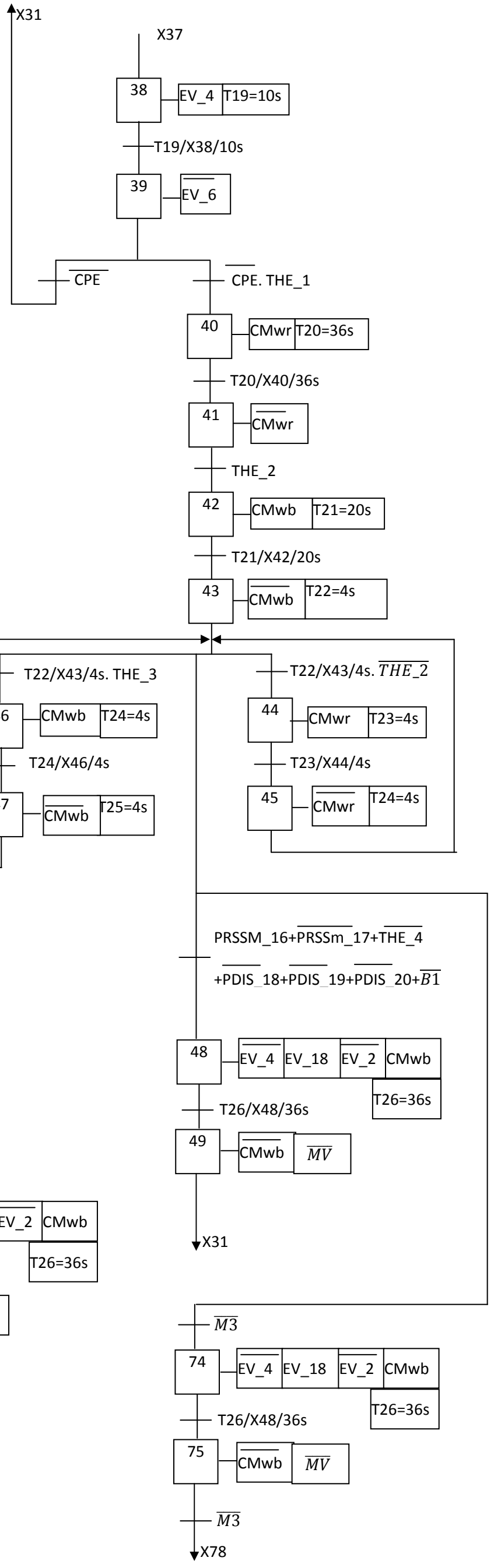
Par l'outil GRAFCET, qui est un moyen de modélisation favorable, et une éventuelle modification portée au système, nous avons aboutit à la réalisation du GRAFcet niveau 2. Notre GRAFcet ainsi réalisé nous permettra de programmer l'automatisme afin de l'implanter à l'aide du logiciel STEP7 sur un automate programmable industriel.

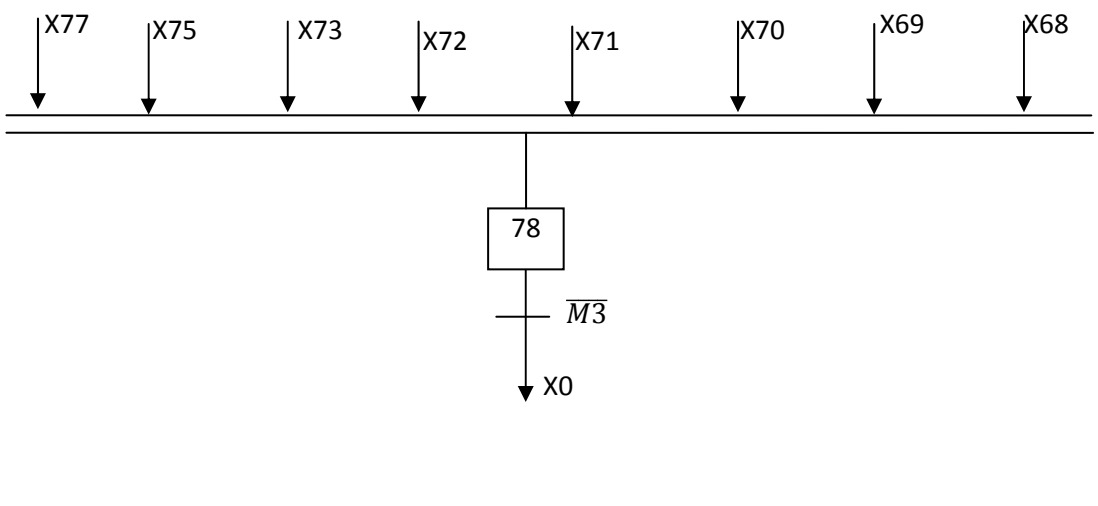
GRAFCET NIVEAU II : Cycles Chauffage et Distribution.



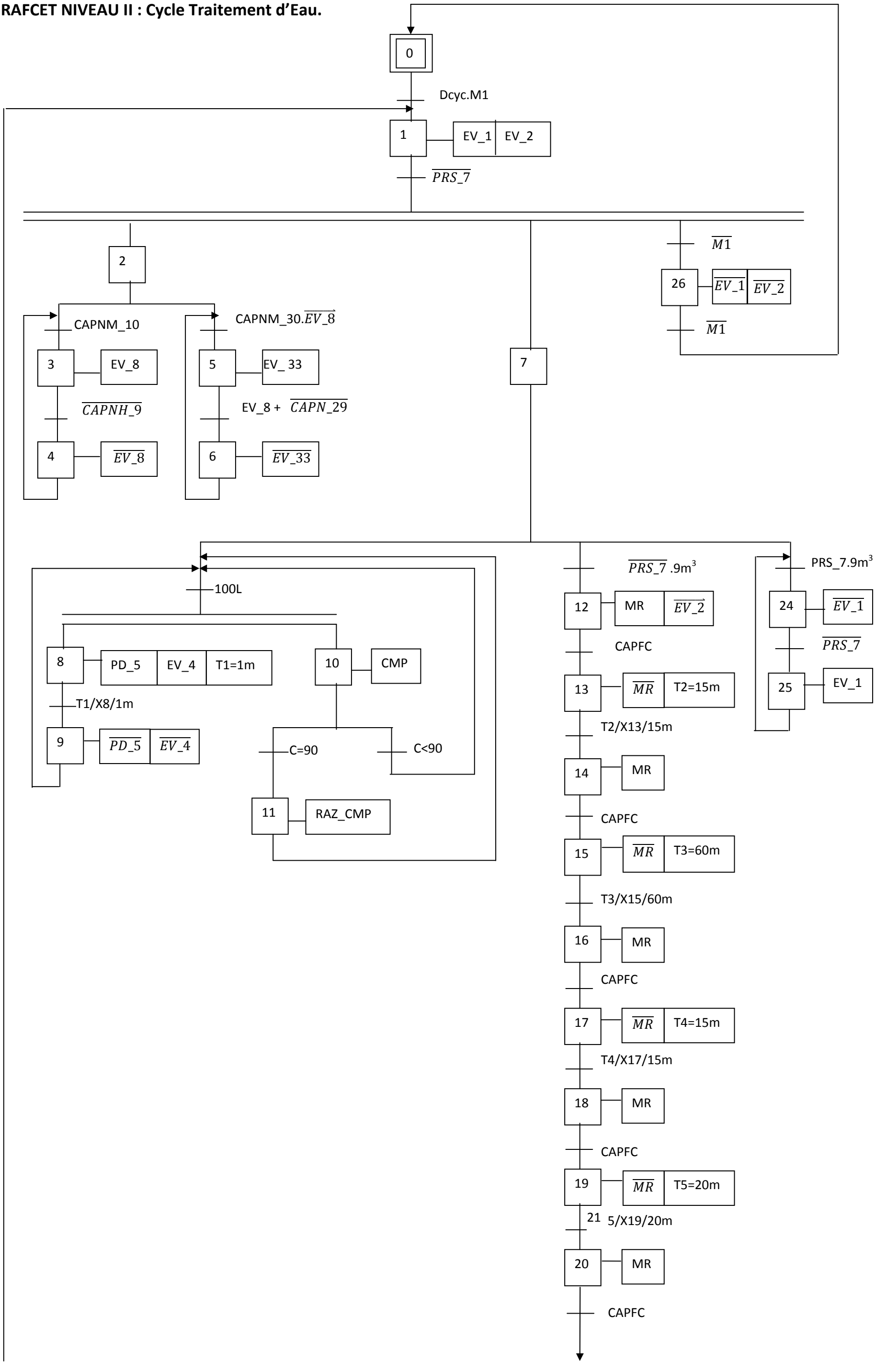

X0
20
THE_27. CAPNB_29
23
EV_24
EV_28
T11=2s
T11/X23/2s
24
PREF_24
T12=6h
CAPNB_29+THE_26
25
PREF_24
EV_24
EV_28
T12/X24/6h
26
EV_28
EV_24
PREF_24
PREF_24. PREF_25. EV_28
21
EV_32
PREF_24+PREF_25
22
EV_32
M3
71
M3
X78
M3
72
PREF_24
M3
X78
CAPN_29. THE_27
27
EV_25
EV_28
T13=2s
T13/X27/2s
28
PREF_25
T14=6h
T14/X28/6h
29
PREF_25
EV_24
EV_28
THE_26+CAPNH_29
30
PREF_24
EV_25
EV_28
M3
73
PREF_24
M3
X78
X0
31
B1
B2
X67
B1. B2
X57
50
EV_34
MV
CMwr
EV_35
T15=36s
T15/X32/36s
51
CMwr
T16=1m
T16/X33/1m. PRSS_13
52
CMwb
T17=36s
T17/X34/36s
53
TR
EV_2
CMwb
EV_18
CPE
54
EV_6
T18=4s
T18/X36/4s
55
TR
CPE
CPE
X56
X49
B1. B2
X39
32
EV_34
MV
CMwr
EV_35
T15=36s
T15/X32/36s
33
CMwr
T16=1m
T16/X33/1m. PRSS_13
34
CMwb
T17=36s
T17/X34/36s
35
TR
EV_2
CMwb
EV_18
CPE
36
EV_6
T18=4s
T18/X36/4s
37
TR
CPE
CPE
X38


X31
X37
56
EV_4
T19=10s
T19/X38/10s
57
EV_6
CPE
CPE. THE_1
58
CMwr
T20=36s
T20/X40/36s
59
CMwr
THE_2
60
CMwb
T21=20s
T21/X42/20s
61
CMwb
T22=4s
T22/X43/4s. THE_3
T22/X43/4s. $\overline{THE_2}$
64
CMwb
T24=4s
T24/X46/4s
65
CMwb
T25=4s
62
CMwr
T23=4s
T23/X44/4s
63
CMwr
T24=4s
PRSSM_16+PRSSm_17+THE_4
+PDIS 18+PDIS 19+PDIS 20+$\overline{B2}$
$\overline{M3}$
66
EV_4
EV_18
EV_2
CMwb
T26=36s
T26/X48/36s
67
CMwb
$\overline{MV}$
X31
76
EV_4
EV_18
EV_2
CMwb
T26=36s
T26/X48/36s
77
CMwb
$\overline{MV}$
$\overline{M3}$
X78

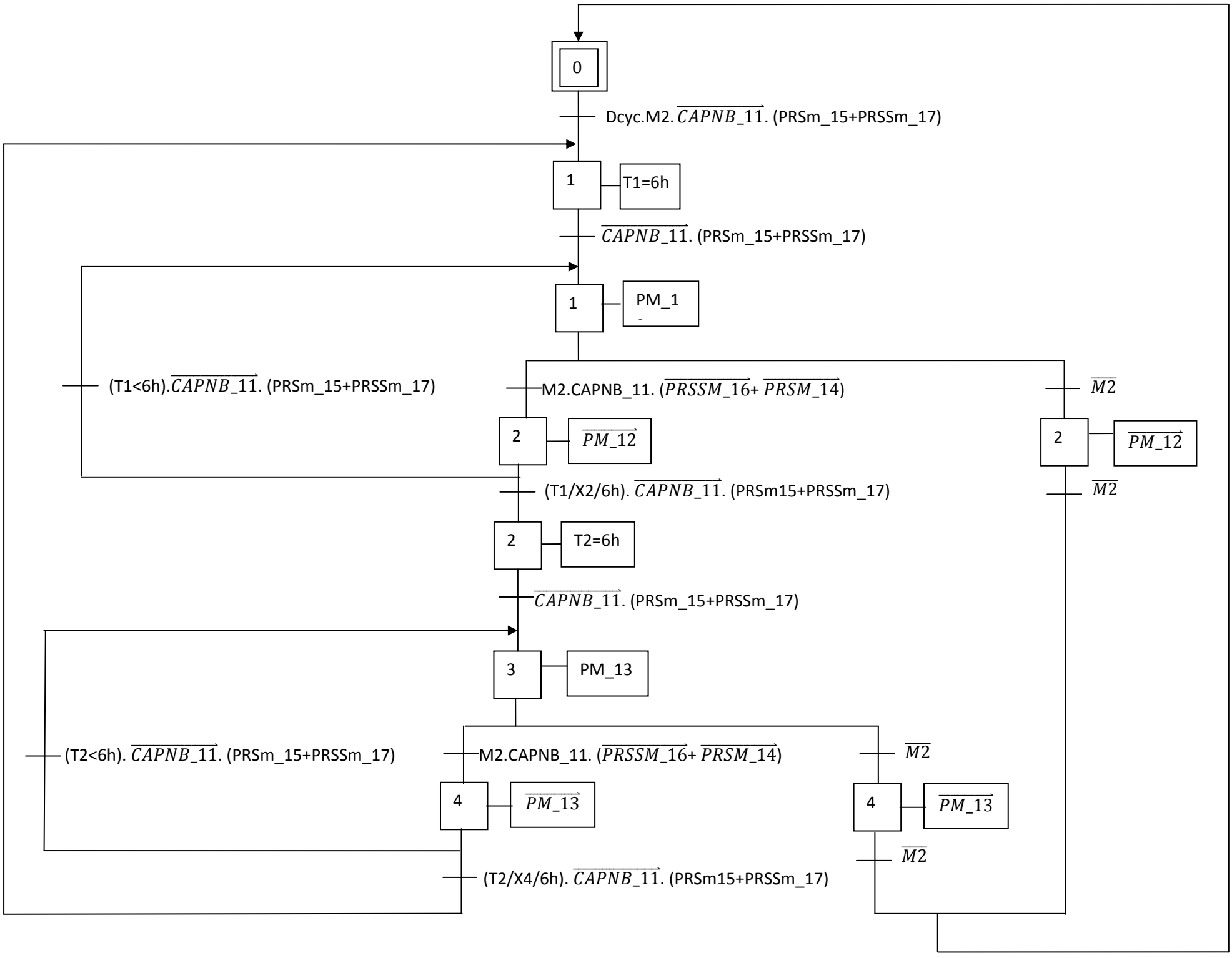

X31
X37
38
EV_4
T19=10s
T19/X38/10s
39
EV_6
CPE
CPE. THE_1
40
CMwr
T20=36s
T20/X40/36s
41
CMwr
THE_2
42
CMwb
T21=20s
T21/X42/20s
43
CMwb
T22=4s
T22/X43/4s. THE_3
T22/X43/4s. $\overline{THE_2}$
46
CMwb
T24=4s
T24/X46/4s
47
CMwb
T25=4s
44
CMwr
T23=4s
T23/X44/4s
45
CMwr
T24=4s
PRSSM_16+PRSSm_17+THE_4
+PDIS_18+PDIS_19+PDIS_20+$\overline{B1}$
48
EV_4
EV_18
EV_2
CMwb
T26=36s
T26/X48/36s
49
CMwb
$\overline{MV}$
X31
$\overline{M3}$
74
EV_4
EV_18
EV_2
CMwb
T26=36s
T26/X48/36s
75
CMwb
$\overline{MV}$
$\overline{M3}$
X78


X77
X75
X73
X72
X71
X70
X69
X68
78
$\overline{M3}$
X0

GRAFCET NIVEAU II : Cycle Traitement d'Eau.



GRAFCET NIVEAU II : Cycle Maintien de Pression.



I. Introduction :

L'automatisation par automate programmable consiste à simplifier la logique de l'automatisation, réaliser des fonctions plus complexes, utiliser moins d'appareils de commande, modifier et améliorer le système juste en modifiant le programme, câblage moins encombrant et moins de risques, puis la fiabilité est meilleure et possibilité de diagnostiquer les pannes pour éviter les temps d'arrêt.

II. Présentation des automates programmables industriels (API) :

II.1 Définition d'un API :

On peut définir l'automate programmable industriel comme un appareil électronique programmable, 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 (mesures) logiques, analogiques ou numériques reçues à ses entrées. Nous distinguons les fonctions que l'automate doit remplir :

- Un rôle de commande où il est un composant d'automatisme, élaborant des actions, suivant un algorithme approprié à partir des informations que lui fournissent des détecteurs (tout ou rien) ou des capteurs (analogiques ou numériques).
- Un rôle de communication dans le cadre de la production :
  - ✓ Avec des opérateurs humains : c'est le dialogue d'exploitation.
  - ✓ Avec d'autre processeurs, hiérarchiquement supérieurs (calculateurs de gestion de production), égaux (autres automates intervenant dans la même chaîne) ou inférieurs (instrumentation intelligente).

II.2 Architecture des automates :

1) Aspect externe :

Les API peuvent être de type compact ou modulaire :

a. **Les API de type compact :** Ils intègrent le processeur, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, ces automates peuvent réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques…) et recevoir des extensions en nombre limité. Ces automates, de fonctionnement simple, sont destinés à la commande de petits automatismes permettant de commander des sorties en TOR.

Automate compact (Allen-bradley)

Figure III.1 : Automate programmable de type compact.

b. Les API de type modulaire : Dont le processeur, l'alimentation et les interfaces E/S résident dans des unités séparées (modules) et sont fixés sur un ou plusieurs racks. Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où la puissance, la capacité de traitement et la flexibilité sont nécessaires. Ils permettent de réaliser de nombreuses autres fonctions grâce à ces modules intelligents qui ont l'avantage de ne pas surcharger le travail de la CPU car ils disposent de leur propre processeur.

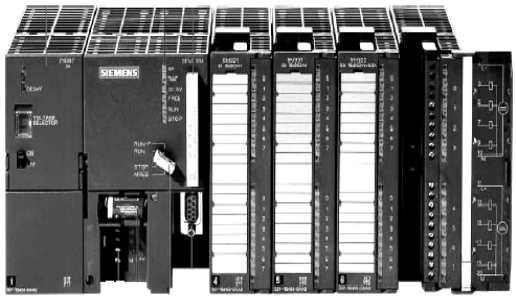


Figure III.2 : Automate programmable de type modulaire.

2) Structure interne :

La structure interne d'un API peut être présentée par le schéma donné sur la figure suivante :

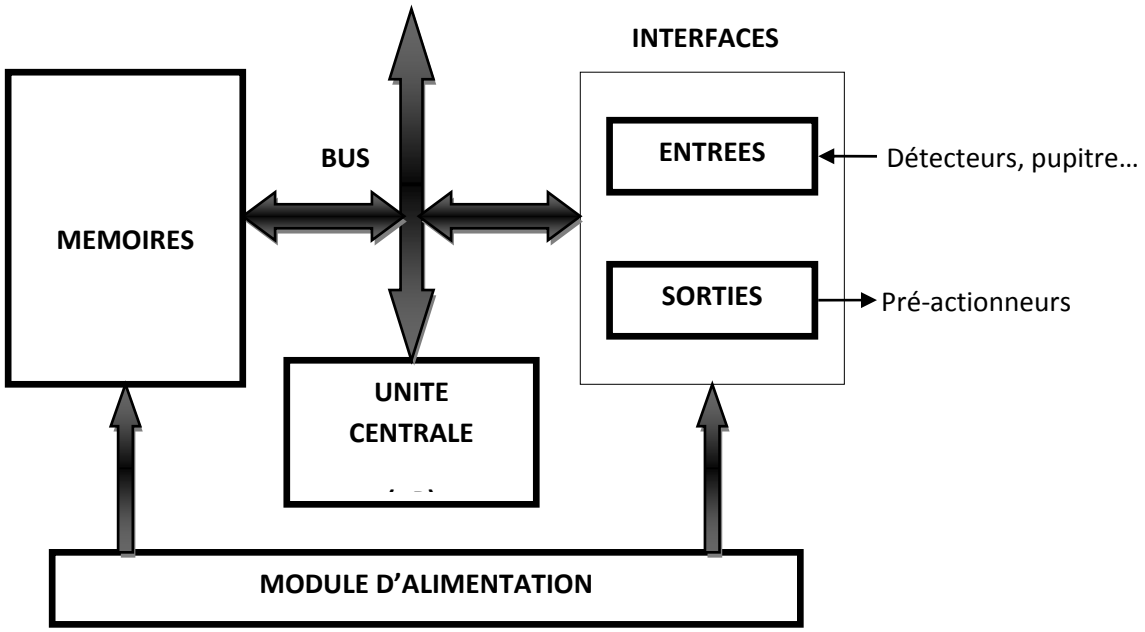


Figure III.3 : Structure interne d'un automate.

i. **Module d'alimentation :** Il assure la distribution de l'énergie aux différents modules.
ii. **Unité centrale :** A base de microprocesseur, elle réalise toute les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation…).
iii. **Le bus interne :** Il permet la communication de l'ensemble de blocs de l'automate et de l'éventuelle extension.
iv. **Mémoires :** Elles permettent de stocker le système d'exploitation (ROM ou PROM), le programme (EPROM), et les données système lors du fonctionnement (RAM).
v. **Interfaces d'entrées/sorties :**
   - **Interfaces d'entrées :** Elles permettent de recevoir les informations du système automatisé de production (SAP) ou du pupitre et de mettre en forme ce signal d'information tout en l'isolant électriquement.
   - **Interfaces de sorties :** Elles permettent de commander les divers pré-actionneurs et éléments de signalisation du SAP tout en assurant l'isolement électrique.

II.3 Place de l'API dans le système automatisé de production (SAP) :

1.Le système automatisé de production :

L'objectif de l'automatisation des systèmes est de produire, en ayant recours le moins possible à l'homme, des produits de qualité et ce pour un coût le plus faible possible.

Un système automatisé est un ensemble d'éléments en interaction, et organisés dans un but précis : agir sur une matière d'œuvre afin de lui donner une valeur ajoutée. Le système automatisé est soumis à des contraintes : énergétiques, de configuration, de réglage et d'exploitation qui interviennent dans tous les modes de marche et d'arrêt du système.

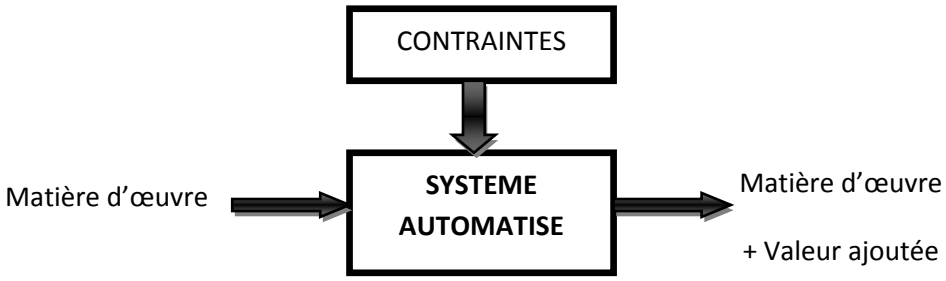


Figure III.4 : Influence de système automatisé sur la matière d'œuvre.

2.Structure d'un système automatisé :

Tout système automatisé peut être décomposé selon le schéma de la figure suivante :

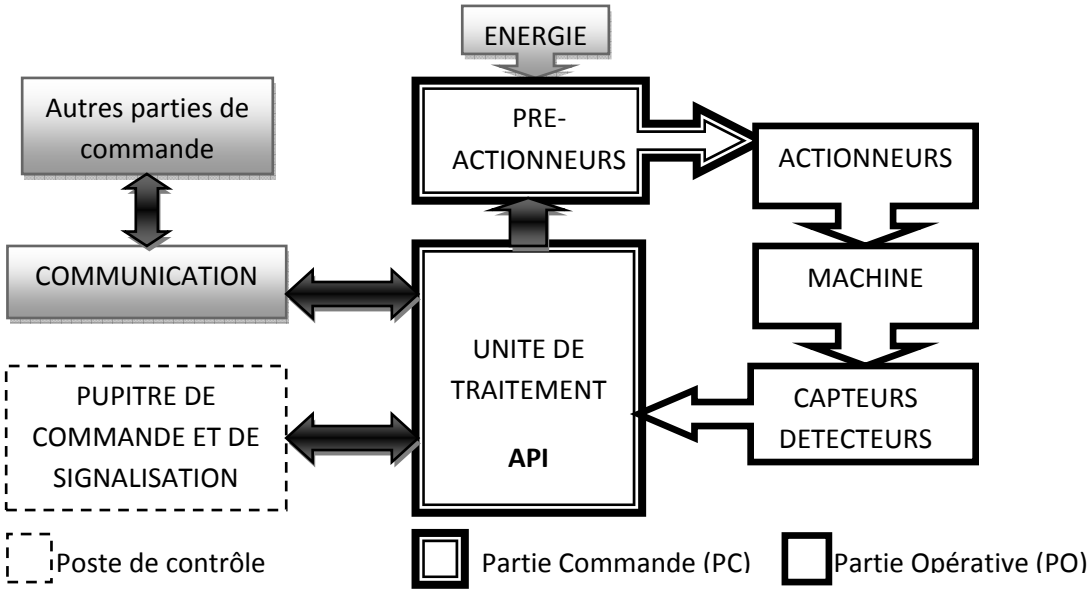


Figure III.5: Environnement de l'automate programmable.

i. **Partie Opérative (PO) :** Elle agit su la matière d'œuvre afin de lui donner sa valeur ajoutée. Les actionneurs agissent sur la partie mécanique du système qui agit à son tour sur la matière d'œuvre. Les capteurs et les détecteurs permettent d'acquérir les divers états du système.

ii. **Partie Commande :** Elle donne des ordres de fonctionnement à la partie opérative. Les pré-actionneurs permettent de commander les actionneurs. Ils assurent le transfert de l'anergie entre la source de puissance et les actionneurs. Ces pré-actionneurs sont commandés à leur tour par le bloc traitement des informations. Celui-ci reçoit les consignes du pupitre de commande (opérateur) et les informations de la partie opérative sont transmises par les capteurs et les détecteurs. En fonction de ces consignes et de son programme de gestion de tâches, la partie commande va commander les pré-actionneurs et renvoyer des informations au pupitre de signalisation ou à d'autres systèmes de commande et/ou de supervision en utilisant un réseau et un protocole de communication.

iii. **Poste de contrôle :** Composé de pupitres de commande et de signalisation, il permet à l'operateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle…). Il permet également de visualiser les différents états du système à l'aide de voyants.

II.4 Domaines d'utilisation des API :

On utilise les API dans tous les secteurs industriels pour la commande de machines (convoyage, emballage…) ou des chaines de production (automobiles, agroalimentaires…) ou il peut également assurer des fonctions de régulation de processus (métallurgie, chimie…). Il est même utilisé dans le domaine de bâtiment pour le contrôle de chauffage, de l'éclairage, de la sécurité ou des alarmes.

II.5 Natures des informations traitées par l'automate :

Les informations peuvent être de type :

- **Tout ou rien (TOR) :** L'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0/1…). C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir…
- **Analogique :** L'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température…).
- **Numérique :** L'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

II.6 Câblage des entrées/sorties d'un automate :

1. **Alimentation de l'automate :**

L'automate est généralement alimenté par le réseau monophasé 220V ; 50Hz, mais d'autres alimentations sont possibles comme 110V.

La protection est de type magnétothermique et selon les caractéristiques de l'automate et les préconisations du constructeur. Il est souhaitable d'asservir l'automate par un circuit de commande spécifique (le contacteur KM1) comme le montre la figure suivante :

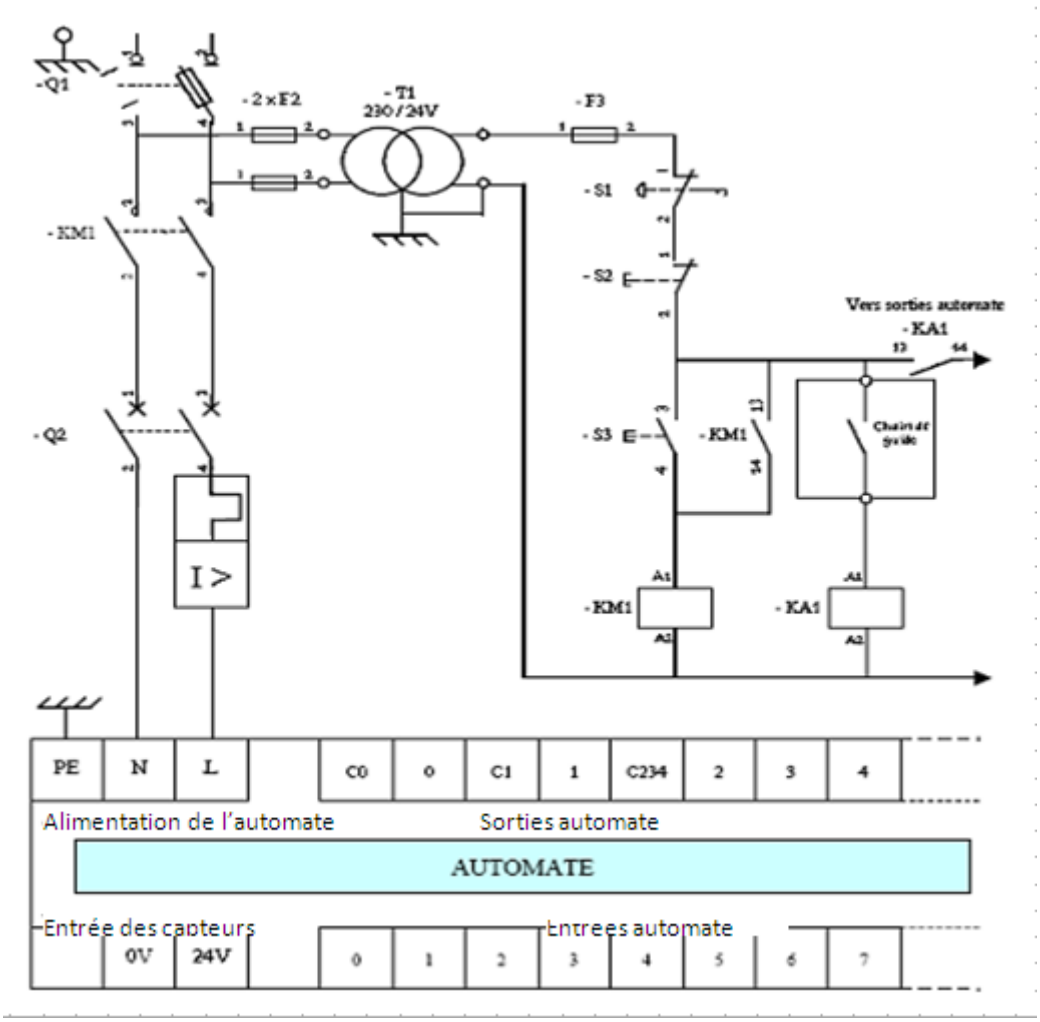


Figure III.6 : Alimentation de l'automate.

2. Alimentation des entrées de l'automate :

L'automate est prévu généralement d'une alimentation pour les capteurs/détecteurs. Les entrées sont connectées au 0V (commun) de cette alimentation. Les informations des capteurs/détecteurs sont traitées par les interfaces d'entrées.

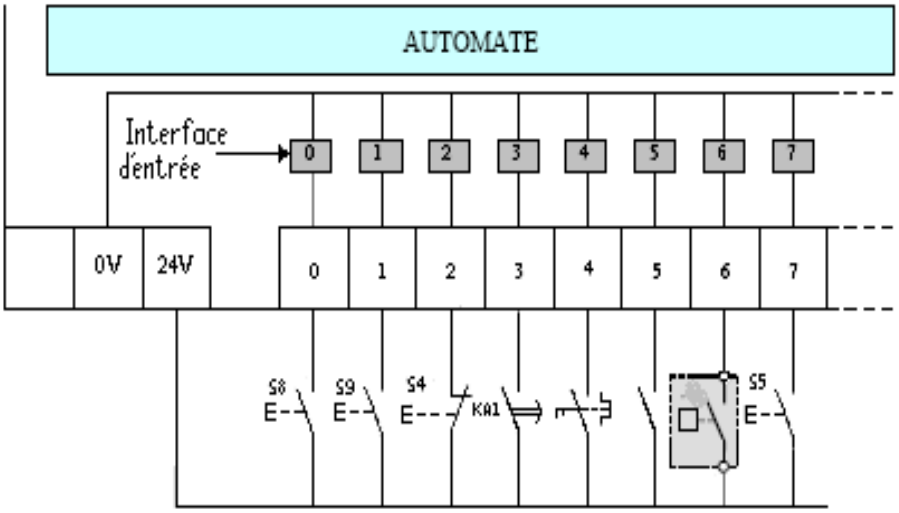


Figure III.7 : Alimentation des entrées de l'automate.

3. Alimentation des sorties de l'automate :

Les interfaces de sorties permettent d'alimenter les divers pré-actionneurs. Il est souhaitable d'équiper chaque pré-actionneur de circuit RC.

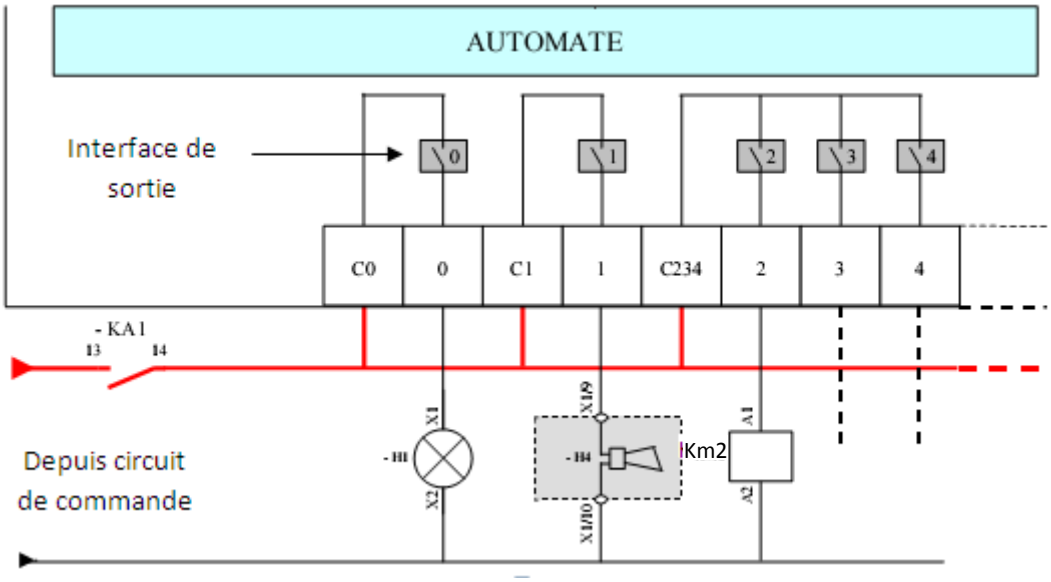


Figure III.8 : Alimentation des sorties de l'automate.

II.7 Traitement du programme automate :

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire :

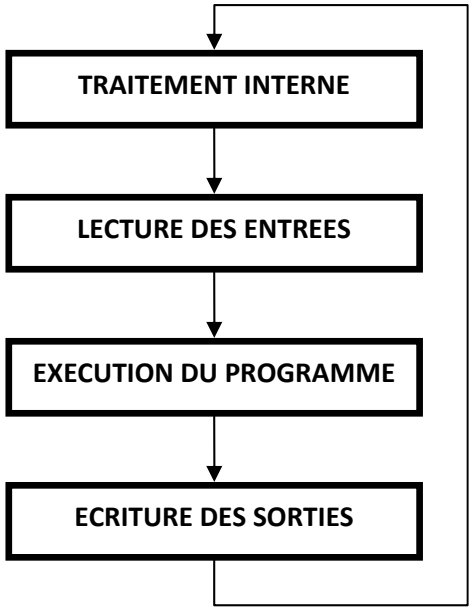


Figure III.9 : Le cycle de programmation de l'automate.

i. **Traitement interne :** L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres système (détection des passages en RUN/STOP, mises à jour des valeurs de l'horodateur, remises à 0 du chien de garde…).
   - ✓ **Chien de garde (Watch dog) :** C'est un mécanisme permettant à l'automate de surveiller en permanence la durée d'exécution du programme d'application où la CPU doit le réarmer, sinon, il exécute : la mise à 0 de toutes les sorties, arrêt de l'exécution du programme, signalisation de la défaillance… .

ii. **Lecture des entrées :** L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie en mémoire dans des emplacements accessibles au programme.

iii. **Exécution du programme :** L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans l'image des sorties (l'API calcule les nouvelles valeurs des variables de sorties).

iv. **Ecriture des sorties :** L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties, ainsi, les variables des sorties sont affectées à l'interface de sortie pour pouvoir être appliquées aux pré-actionneurs.

II.8 Critères de choix d'un automate :

Le choix d'un automate répond aux critères suivants :

- ❖ Le nombre et la nature d'entrées/sorties.
- ❖ Type de processeur : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- ❖ La fiabilité et la robustesse.
- ❖ Fonctions de communication : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision…) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés.

III. Présentation de l'API S7-300 :

L'API S7-300 est un automate de conception modulaire destiné à des tâches d'automatisation de moyenne et de haute gamme qui est caractérisée par :

- Une gamme diversifiée de la CPU.
- Une gamme complète de module.
- Une possibilité d'extension jusqu'à 32 modules.
- Une possibilité de mise en réseau avec :
  - ✓ Profibus.
  - ✓ L'interface multipoints.
  - ✓ Industriel Ethernet.
- Un raccordement central de la console programmation (PG) avec accès à tous les modules.
- La liberté de montage aux différents emplacements.

La figure suivante donne un aperçu de l'environnement matériel disponible pour l'API S7-300.

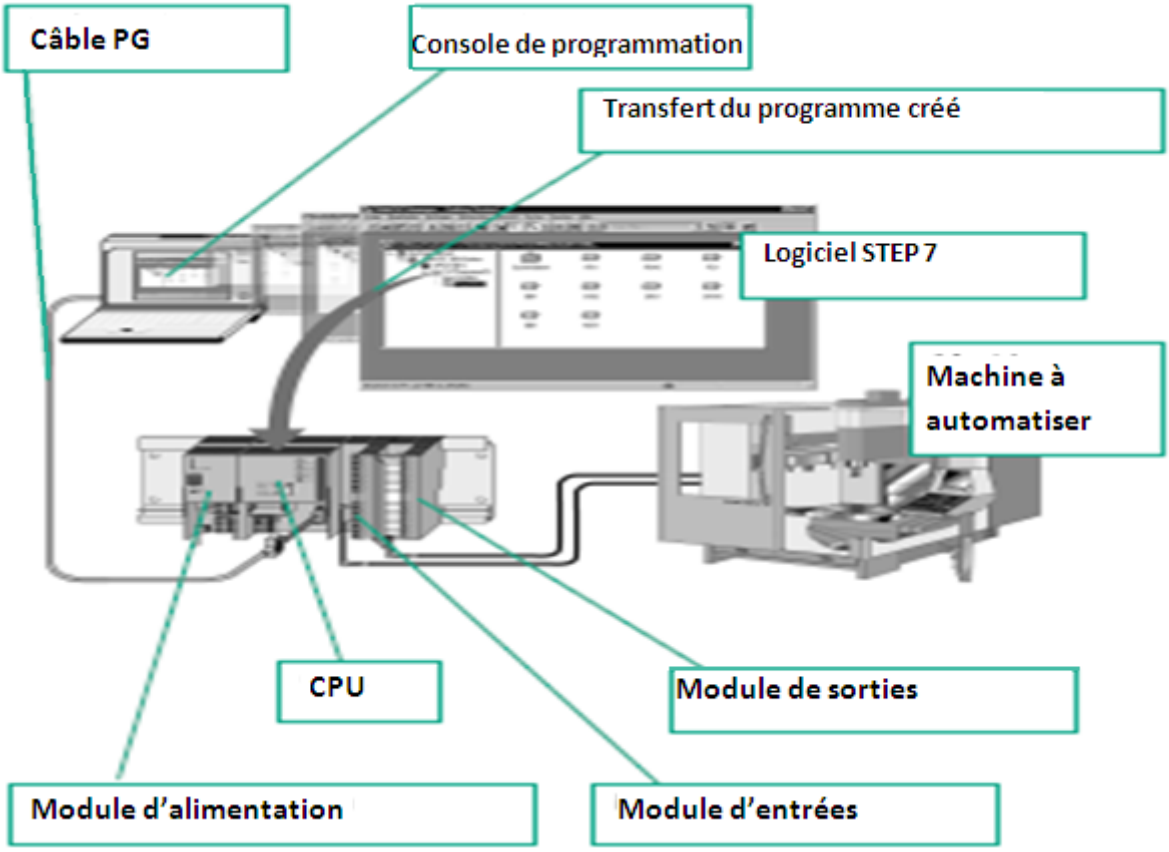


Figure III.10 : L'automate S7-300 et son environnement.

III.1 Structure de l'API S7-300 :

La figure III-11 présente les différents modules constituant l'API S7-300 :

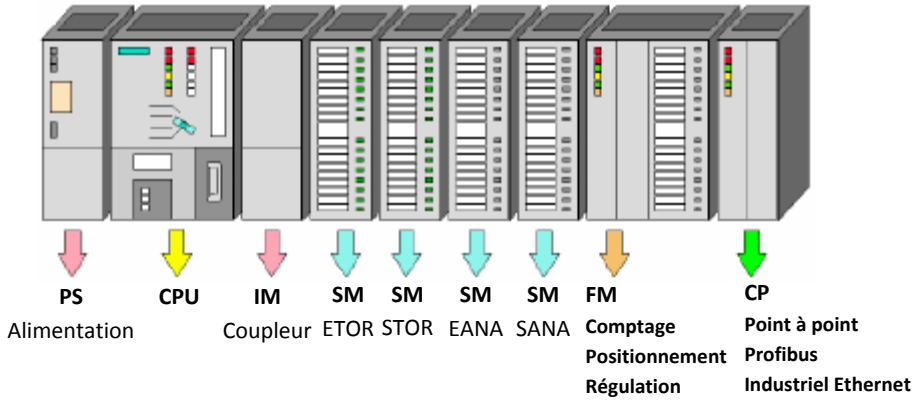


Figure III.11 : Les modules de l'API S7-300.

a. Module d'alimentation PS :

Ce module permet de fournir l'énergie nécessaire pour le fonctionnement de l'automate, à partir d'une alimentation de 220V alternative. Il délivre des tensions continues dont l'automate a besoin (5V, 12V, 24V). Un voyant est positionné sur la façade qui indique la mise sous tension de l'automate. Il assure la distribution d'énergie aux différents modules.

b. Unité centrale CPU :

A base de microprocesseur, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation...). Comme pour les ordinateurs, la CPU tient une place primordiale dans l'automate, c'est l'organe maitre. L'API S7-300 dispose de plusieurs modèles de CPU, offrant ainsi un choix diversifié à l'utilisateur.

Pour notre travail, nous avons choisi la CPU 314 qui offre les caractéristiques suivantes :

- Mémoire de travail : RAM 24Ko ;
- Mémoire de chargement intégrée : RAM 40Ko ;
- Langage de programmation : STEP 7 ;
- Organisation du programme : linéaire, structurée ;
- Temps d'exécution pour :
  - ✓ Opération sur bit : 0.3 à 0.6 µs ;
  - ✓ Opération sur mot : 1 µs ;
  - ✓ Opération de comptage/temporisation : 12µs.
- Temps de cycle : 150 ms (par défaut) ;
- Interface MPI ;
- Vitesse de transmission : 187.5 Bits/s.

c. Coupleur de périphériques :

Le coupleur de périphériques est un processeur qui assure la communication homme-machine. D'autres périphériques sont connectés à l'automate tels que : un mini automate, une console de programmation ou bien un micro-ordinateur. Il en existe plusieurs sortes

qu'on peut citer comme exemples : les coupleurs IM 360, IM 361 ou IM 365 permettant de réaliser des configurations à plusieurs châssis.

Etant donnée la nature des entrées/sorties de la station à automatiser, nous n'avons besoin que des modules **ETOR** et **STOR**.

d. Modules d'entrées ETOR :

Ils permettent à l'automate de recevoir des informations prévenantes soit de la part des capteurs (entrées logiques ou numériques) ou bien du pupitre de commande. Ces modules permettent l'adaptation, l'isolement, le filtrage et la mise en forme des signaux électriques. Le nombre d'entrées sur un module est de : 4, 8, 16 ou 32.

e. Modules de sorties STOR :

Ils permettent de raccorder l'automate avec les différents pré-actionneurs et actionneurs. Les sorties peuvent être logiques ou numériques. Ces modules possèdent soit des relais, soit des triacs. L'état de chaque sortie est visualisé par une diode électroluminescente. Le nombre de sorties sur un module est de : 4, 8, 16 ou 32.

III.2 Adresse absolue :

Chaque entrée et chaque sortie possède par défaut une adresse absolue déterminée par la configuration matérielle. Celle-ci est indiquée de manière directe, c'est-à-dire absolue. L'adresse absolue peut être remplacée par des noms symboliques pouvant être librement choisis.

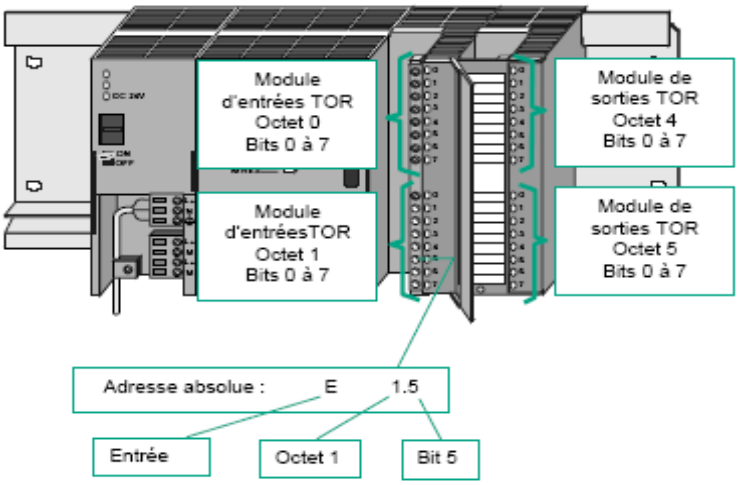


Figure III.12 : Choix d'adresses absolues.

IV. Présentation du logiciel de programmation STEP 7 :

STEP 7 est le logiciel de base pour la configuration et la programmation des systèmes d'automatisation SIMATIC. Il fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC et il présente les fonctionnalités suivantes :

- Possibilité d'extension grâce aux applications proposées par l'industrie logicielle SIMATIC.
- Possibilité de paramétrage de modules fonctionnels et de modules de communication.
- Forçage et fonctionnement multiprocesseur.
- Communication par données globales.
- Transfert de données commandées par événement à l'aide de blocs de communication et de blocs fonctionnels.
- Configuration de liaisons.

La mise en place d'une solution d'automatisation avec STEP 7 nécessite la réalisation de tâches fondamentales qui sont les suivantes :

1. Création du projet sous STEP 7 :

Le lancement de STEP 7 fait ouvrir le gestionnaire de projets SIMATIC Manager. L'assistant de STEP 7 est toujours activé par défaut. Celui-ci a pour but d'assister l'utilisateur dans la création de son projet. La structure du projet présenté à la figure III .13 sert à ordonner les données et les programmes créés au cours du projet.

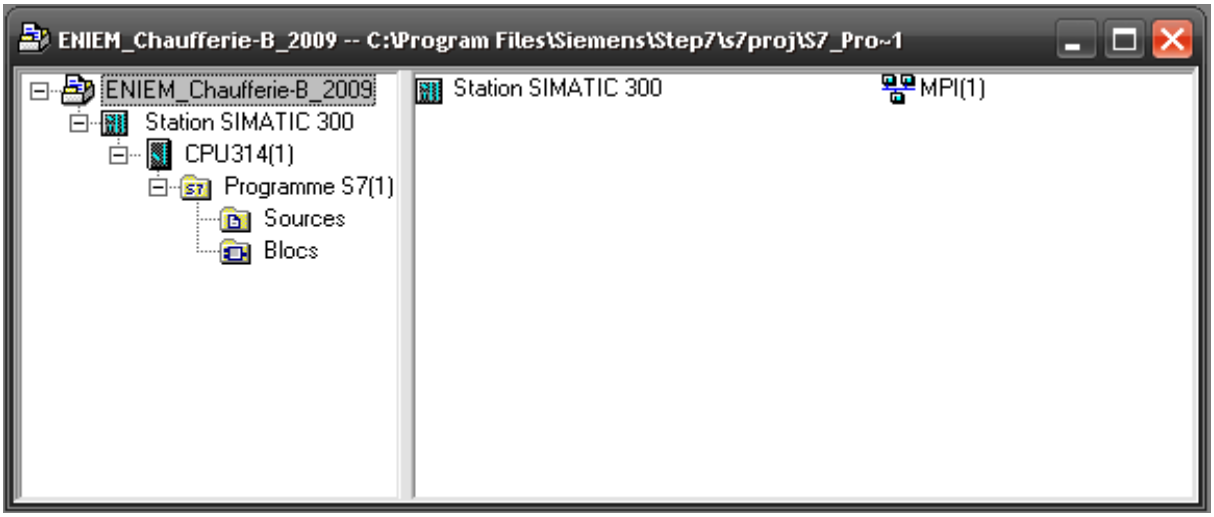


Figure III.13 : Structure du projet.

Le nom de notre projet est : **ENIEM_ Chaufferie-B_2009.**

2. Configuration matérielle :

La configuration matérielle consiste à la disposition des différents modules et appareils de la périphérie centralisée sur le châssis.

Dans notre configuration, nous avons opté pour l'utilisation d'un module d'alimentation PS 307 5A, une CPU 314, deux modules ETOR (32 entrées pour chacun) et deux modules STOR (32 sorties pour chacun).

Le choix de notre configuration matérielle est justifié par le nombre d'entées/sorties que possède la station (39 entrées et 42 sorties).

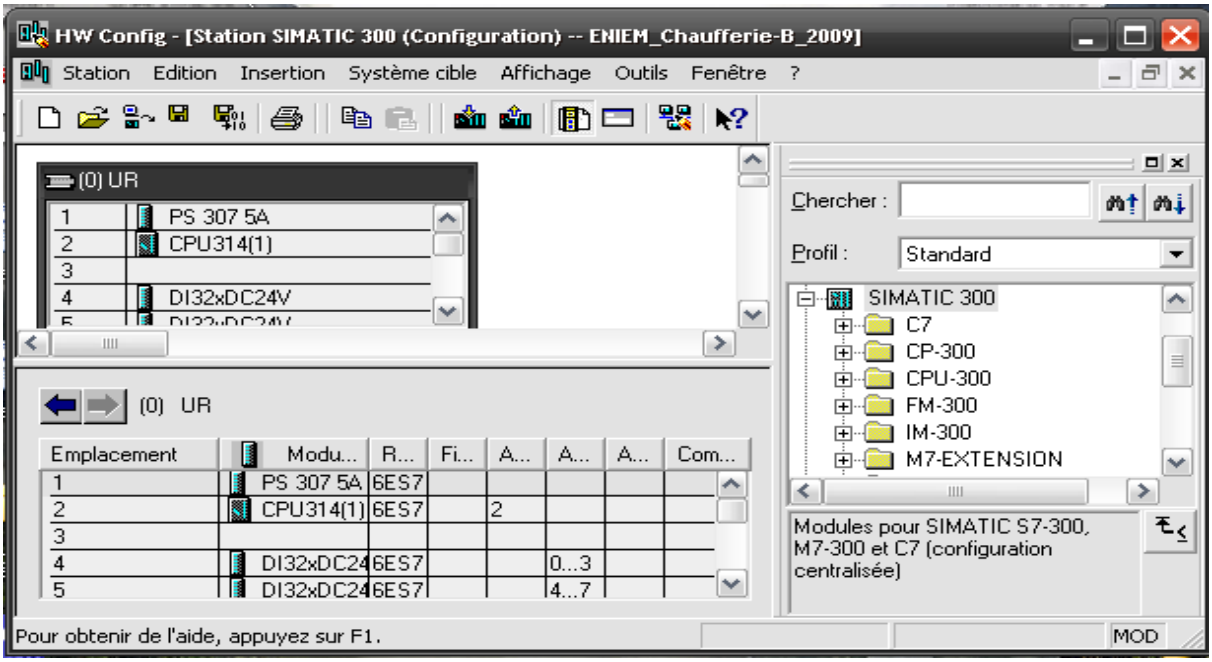
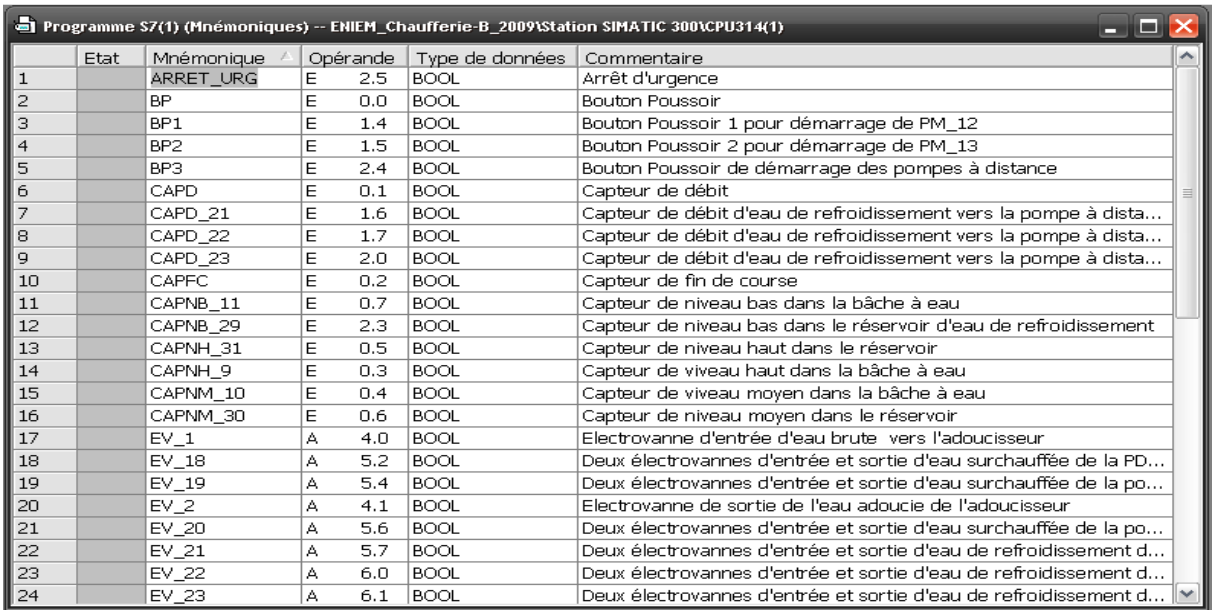


Figure III.14 : Configuration matérielle de l'API S7-300 choisi.

3. Création de la table des mnémoniques :

Les mnémoniques sont destinées à rendre le programme utilisateur lisible et à se retrouver facilement dans le cas de grand nombre de variables. Ces mnémoniques remplacent les entées et les sorties. Le type de données inscrit automatiquement dans la table des mnémoniques indique à la CPU le type de signale qu'elle a à traiter.



Programme S7(1) (Mnémoniques) -- ENIEM_Chaufferie-B_2009\Station SIMATIC 300\CPU314(1)

	Etat	Mnémonique	Opérande	Type de données	Commentaire
1		ARRET_URG	E 2.5	BOOL	Arrêt d'urgence
2		BP	E 0.0	BOOL	Bouton Poussoir
3		BP1	E 1.4	BOOL	Bouton Poussoir 1 pour démarrage de PM_12
4		BP2	E 1.5	BOOL	Bouton Poussoir 2 pour démarrage de PM_13
5		BP3	E 2.4	BOOL	Bouton Poussoir de démarrage des pompes à distance
6		CAPD	E 0.1	BOOL	Capteur de débit
7		CAPD_21	E 1.6	BOOL	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à dista...
8		CAPD_22	E 1.7	BOOL	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à dista...
9		CAPD_23	E 2.0	BOOL	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à dista...
10		CAPFC	E 0.2	BOOL	Capteur de fin de course
11		CAPNB_11	E 0.7	BOOL	Capteur de niveau bas dans la bâche à eau
12		CAPNB_29	E 2.3	BOOL	Capteur de niveau bas dans le réservoir d'eau de refroidissement
13		CAPNH_31	E 0.5	BOOL	Capteur de niveau haut dans le réservoir
14		CAPNH_9	E 0.3	BOOL	Capteur de viveau haut dans la bâche à eau
15		CAPNM_10	E 0.4	BOOL	Capteur de viveau moyen dans la bâche à eau
16		CAPNM_30	E 0.6	BOOL	Capteur de niveau moyen dans le réservoir
17		EV_1	A 4.0	BOOL	Electrovanne d'entrée d'eau brute vers l'adoucisseur
18		EV_18	A 5.2	BOOL	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la PD...
19		EV_19	A 5.4	BOOL	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la po...
20		EV_2	A 4.1	BOOL	Electrovanne de sortie de l'eau adoucie de l'adoucisseur
21		EV_20	A 5.6	BOOL	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la po...
22		EV_21	A 5.7	BOOL	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement d...
23		EV_22	A 6.0	BOOL	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement d...
24		EV_23	A 6.1	BOOL	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement d...

Figure III.15 : Table des mnémoniques.

4. Création du programme :

4.1 Langage de programmation :

Avec le logiciel STEP 7, le programme peut être représenté et programmé dans trois modes différents :

- Schéma à contacts « CONT » ;
- Logigramme « LOG » ;
- Liste d'instruction « LIST ».

❖ **Schéma à contacts « CONT » :** Le schéma à contacts est une représentation graphique de la tâche d'automatisation ayant recours aux symboles. C'est un langage des habitués des schémas électriques.

❖ **Logigramme « LOG » :** Le logigramme est une représentation graphique ayant recours aux symboles de la logique. Les différentes fonctions sont représentées par des symboles avec indicateurs de fonctions. Les entrées sont disposées à gauche et les sorties à droite du symbole.

❖ **Liste d'instruction « LIST » :** La tâche d'automatisation est écrite dans la liste d'instruction à l'aide de différentes instructions.

Parmi ces trois modes présentés, le programme de notre station est par le mode « CONT ».

4.2 Structure du programme :

Les automatismes complexes seront mieux traités si nous les subdivisons en parties plus petites qui correspondent aux fonctions technologiques du processus d'automatisation ou qui peuvent être utilisées plusieurs fois. Dans le programme utilisateur, ces tâches partielles sont représentées par des parties de programme correspondantes : qui sont des blocs (programmation structurée).

- **Programmation 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 sont chargées dans les différents blocs et l'OB1 fait appel à ces blocs qui délivrent les données correspondantes. On utilise souvent le programme structuré parce qu'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. La figure suivante présente la structure symbolique du programme de la station.

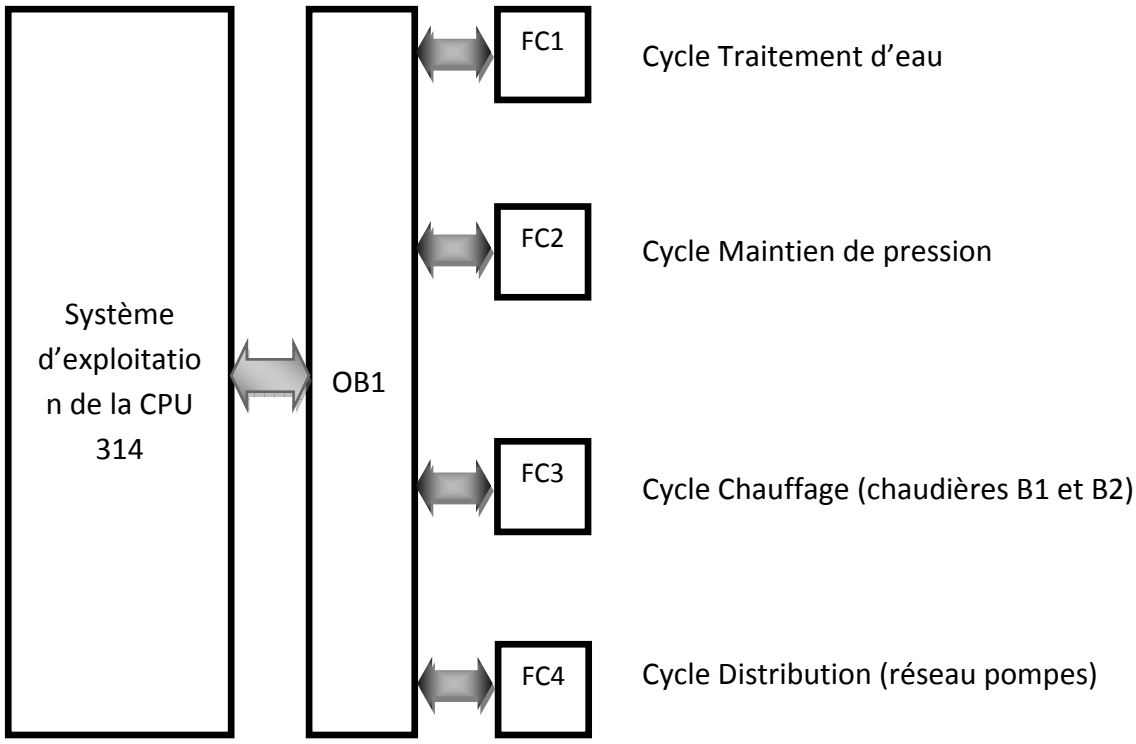


Figure III.16 : Structure symbolique du programme de la station.

L'OB1 et les différents FC sont des blocs mis à la disposition de l'utilisateur pour l'élaboration de son projet.

- ✓ **Bloc d'organisation OB1 :** Il constitue l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur. Il est appelé par le système d'exploitation et gère le traitement cyclique et déclenché par alarme, ainsi que le comportement à la mise en route de l'automate programmable et le traitement des erreurs.
- ✓ **Blocs fonctionnels (FC) :** Une fonction (FC) est un bloc sans mémoire dont les paramètres de sorties affichent en fin d'exécution les valeurs qu'elle a calculées. Le traitement ultérieur et la sauvegarde de ces résultats doivent donc être considérés par l'utilisateur lorsqu'il programme l'appel de la fonction.

V. Simulation et visualisation du programme avec S7-PLCSIM :

1. Présentation du logiciel S7-PLCSIM :

Le logiciel S7-PLCSIM est une application qui permet d'exécuter et de tester le programme développé dans un automate que l'on simulera dans l'ordinateur ou dans une console de programmation. La simulation étant complètement réalisée au sein du logiciel STEP 7, il n'est pas nécessaire qu'une liaison avec un matériel S7 quelconque soit établie.

S7-PLCSIM dispose d'une interface simple permettant de visualiser et de forcer les différents paramètres utilisés par le programme comme l'activation ou la désactivation des entrées. Tout en exécutant le programme dans la CPU simulée, on a également la possibilité de mettre en œuvre les diverses applications du logiciel STEP 7.

2. Mise en route de S7-PLCSIM :

La simulation du projet utilisateur passe par l'exécution des tâches suivantes :

1. Ouverture du simulateur ;
2. Chargement du programme créé dans le STEP 7 ;
3. Configuration du simulateur :
   a) **Création de fenêtres pour l'exemple de programme :** Nous avons utilisé plusieurs entrées, sorties et temporisations dans notre projet. Durant l'exécution du programme, on peut utiliser des fenêtres pour mettre les entrées à 1 ou à 0 et visualiser les valeurs des temporisations et changement de sorties.
   b) **Sélection du mode d'exécution :** Pour définir le mode d'exécution du programme, on choisit les commandes du menu **Exécution.** On a aussi la possibilité d'activer ces options à l'aide des boutons de la barre d'outils. Ces options déterminent le mode d'exécution du programme :
      - Cycle continu : la CPU exécute un cycle complet, puis en démarre un autre. A chaque cycle, la CPU lit les entrées, exécute le programme, puis inscrit les résultats dans les sorties.
      - Cycle unique : la CPU exécute un cycle, puis attend qu'on lui indique d'exécuter le cycle suivant. A chaque cycle, la CPU lit les entrées, exécute le programme, puis inscrit les résultats dans les sorties.
   c) **Mise en marche du simulateur :** Mettre la CPU de simulation en marche en cliquant sur la case à cocher **RUN.**

Après avoir réalisé ces opérations, on peut passer à la visualisation du programme.

3. Exemple de simulation de programme : bloc FC1

Dans le bloc FC1 dont on a programmé l'opération Traitement d'eau, on donne un exemple de simulation de la temporisation du motoréducteur pendant 1 heure.

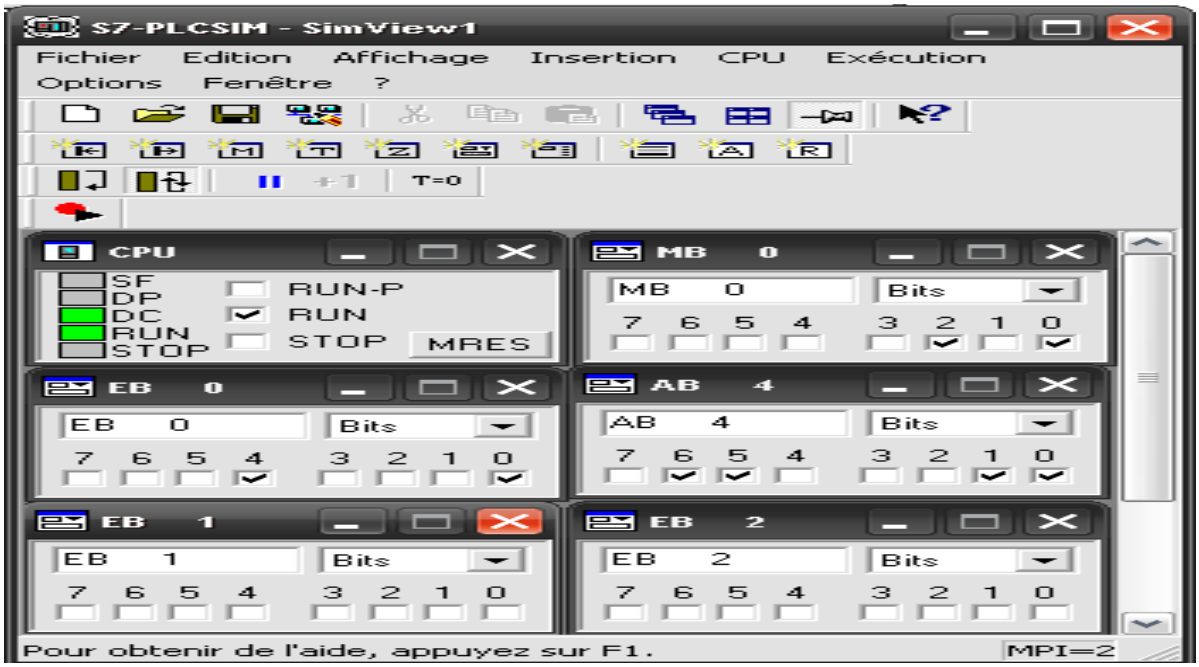


Figure III.17 : Fenêtre du simulateur S7-PLCSIM (Visualisation des entrées, sorties et mnémoniques).

La simulation dans le bloc FC1 est donnée par la figure ci-après illustrant la temporisation de l'arrêt du motoréducteur pendant 1 heure.

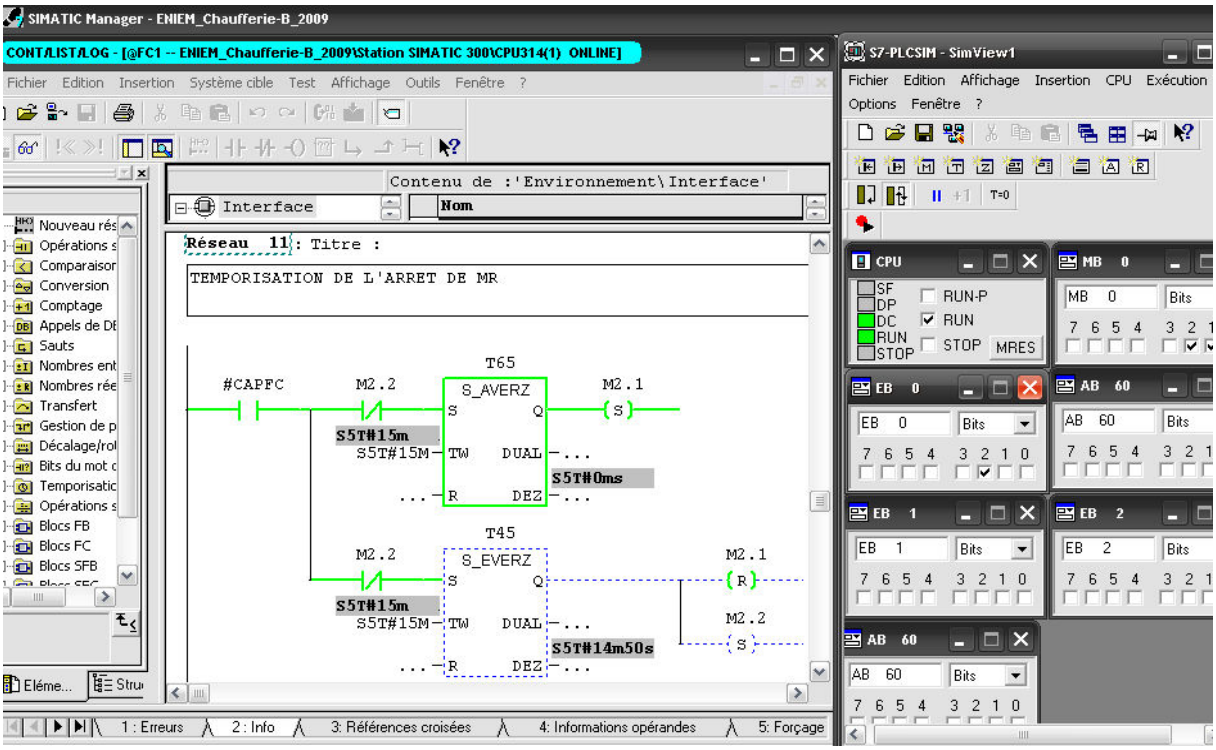


Figure III.18 : Exemple de simulation de la temporisation de l'arrêt du motoréducteur dans FC1. Visualisation de l'état du programme dans FC1.

En ouvrant le bloc OB1, on peut aussi visualiser le programme comme illustré par la figure suivante :

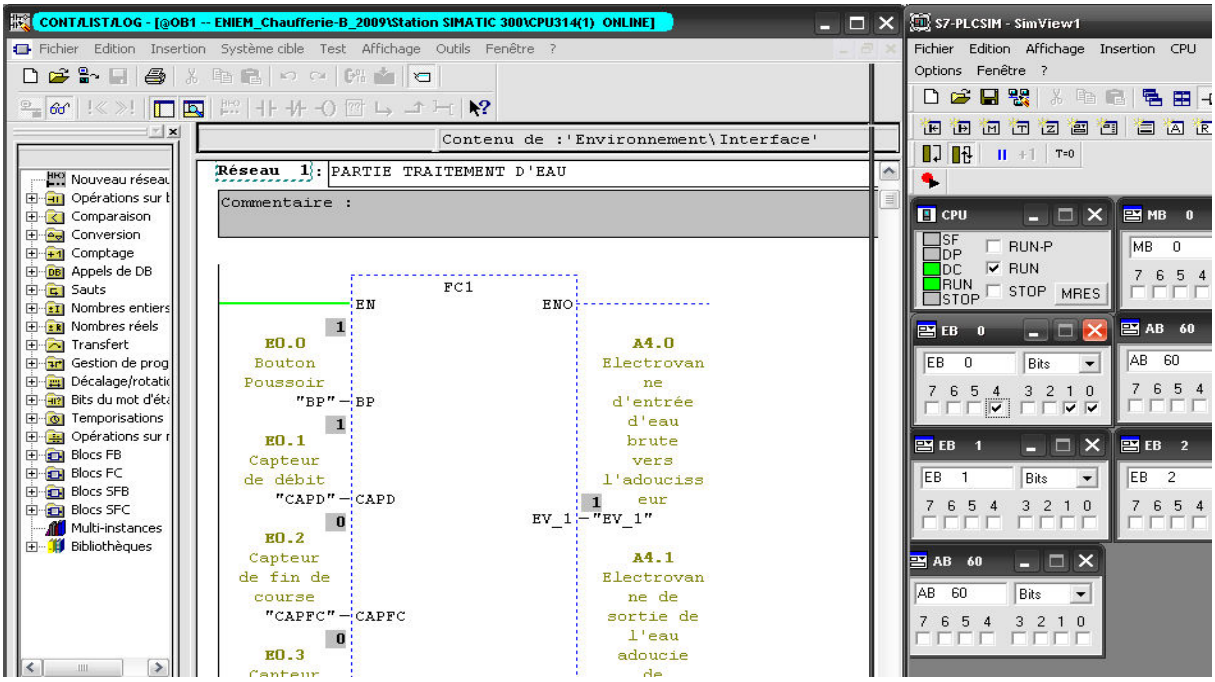


Figure III.19 : Visualisation de l'état de programme dans OB1.

VI. Conclusion :

Au terme de ce chapitre, on peut conclure que l'API S7-300 convient bien pour l'automatisation de la station vue les avantages suivants :

- ❖ Sa modularité lui permet de réaliser de diverses fonctions et la simplicité de câblage avec une énorme possibilité d'exploitation.
- ❖ Son langage de programmation STEP7 qui peut être représenté en trois modes, offre les possibilités suivantes :
  - Configuration et paramétrage du matériel ;
  - Facilité d'effectuer des modifications du programme.

Et dans le cas où on ne disposerait pas d'un automate réel, le logiciel S7-PLCSIM devient l'outil indispensable à la simulation des programmes et des concepts de commande automatisés avant les implanter sur système réel.

Conclusion générale :

Le travail que nous avons effectué au sein de l'ENIEM, dans le cadre de ce sujet de fin d'études, nous a permit de découvrir la réalité de l'activité d'un complexe industriel, de mettre ainsi en pratique nos connaissances théoriques et de nous familiariser avec les automates programmables industriels.

Après la description de la station (Chaufferie) et l'étude de son fonctionnement, nous avons proposé une solution automatisée à base d'API S7-300, en effectuant quelques amélioration et ce après l'avoir modélisée avec le GRAFCET qui est outil de modélisation constituant un guide pour la création d'un programme de simulation global du système considéré. Nous avons simulé le programme par le logiciel S7-PLCSIM.

La commande par les API est devenue une des meilleures solutions recherchées dans la vie industrielle vue la justesse des traitements qu'ils effectuent pour gérer la commande adéquate. Ils sont de plus en plus sollicités par l'industrie pour leur aspect flexible et extensible. Leur évolution ne cesse de continuer notamment leurs logiciels de programmation qui offrent de nouvelles options et perspectives de programmation. Ces progrès sont portés sur l'amélioration des interfaces pour une meilleure facilité d'exploitation par l'utilisateur.

Néanmoins, une bonne automatisation d'un procédé doit être performante et d'un coût optimal. Cela est assuré en passant par :

L'élaboration d'un cahier des charges ;
La modélisation du procédé selon son cahier des charges par un des outils de modélisation. Le GRAFCET par exemple ;
Le choix de l'API ;
La programmation de l'API.

Cependant, les inconvénients rencontrés au long de notre stage : le manque, d'une documentation industrielle à propos de la station d'une part et le manque d'une structure réelle d'encadrement et d'insertion d'autre part au sein de l'entreprise.

Toutefois, nous espérons que ce modeste travail puisse apporter un plus et constituer un support supplémentaire aux promotions à venir.

BIBLIOGRAPHIE

Sites Internet :

- SIEMENS : http://www.ad.siemens.de/support/html

  http://www.siemens.com/simatic-docu

- ENIEM: http://www.ENIEM-dz.com

Documentation technique:

- Documentation ENIEM;
- Techniques de l'ingénieur ;
- Documentation SIEMENS;
  - **«** Configuration matérielle dans STEP 7 ». Edition 01/2004 ;
  - « Programmation avec STEP 7 ». Edition 01/2004 ;
  - « Programmation avec S7-GRAPH ». Edition 01/2004 ;

Mémoires de fin d'études :

- **R.HAKIMA et Z.MASSINISSA, « Conception et développement d'une station de commande et de supervision à base d'un API S7-300 pour une soudeuse de condenseurs à l'ENIEM »,** projet de d'études, département automatique, faculté du génie électrique et d'informatique, 2006-2007.
- **D.MICHAEL et B.LOUNIS, « Automatisation d'une station de déminéralisation d'eau à l'ENIEM »,** projet de fin d'études, département automatique, faculté du génie électrique et d'informatique, 2007-2008.

ANNEXE A : Fonctionnement du moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un sens de rotation :

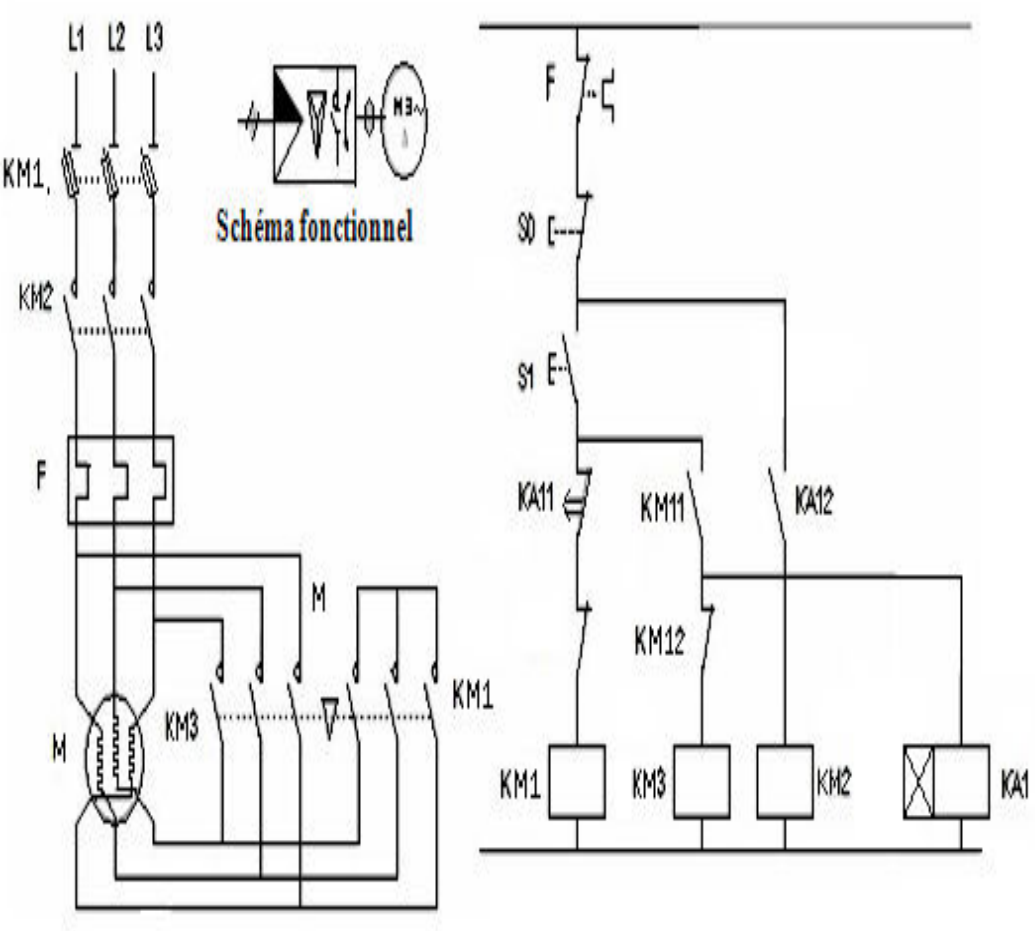


Figure A : Schéma de fonctionnement du moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un seul sens de rotation.

ANNEXE A : Fonctionnement du moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un sens de rotation :

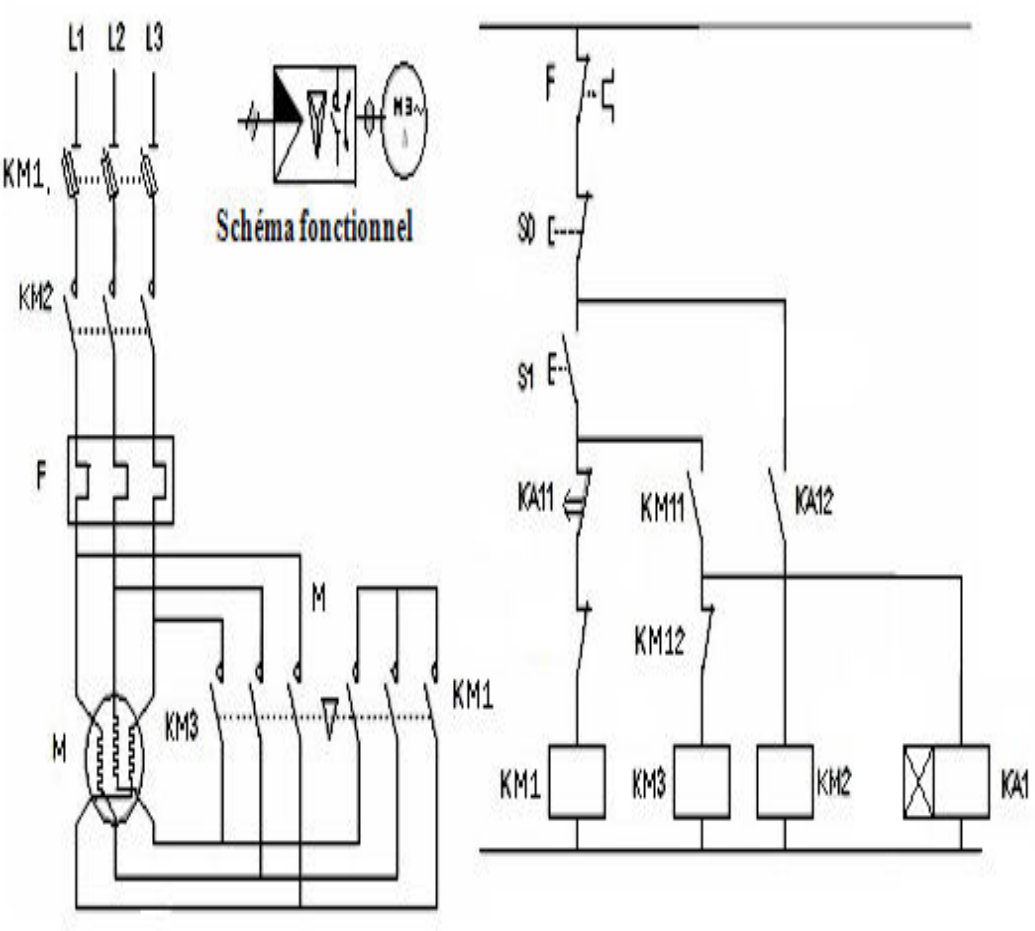


Figure A : Schéma de fonctionnement du moteur asynchrone avec démarrage étoile-triangle à un seul sens de rotation.

Liste des entrées/sorties du GRAFCET de la station :

Partie : Traitement d'eau.	
Notation	Désignation
M1	Commutateur à clé 1
EV_1	Electrovanne d'entrée d'eau brute vers l'adoucisseur
EV_2	Electrovanne de sortie de l'eau adoucie de l'adoucisseur
MR	Motoréducteur
CPFC	Capteur de fin de course
EV_4	Electrovanne de sortie de dosage
PD_5	Pompe de dosage
CMP_6	Compteur émetteur d'impulsion de 100L
PRE_7	Pressostat de pression d'eau de à la **r**égénération
EV_8	Electrovanne d'entrée de l'eau adoucie dans la bâche à eau
CAPNH_9	Capteur de niveau haut dans la bâche à eau
CAPNM_10	Capteur de niveau moyen dans la bâche à eau
EV_33	Electrovanne de remplissage du réservoir d'eau de refroidissement
TV	Test de validation de la qualité d'eau traitée

ANNEXE B : Liste des entrées/sorties du GRAFCET de la station

Partie : Maintien de pression.	
M2	Commutateur à clé 2
CAPNB_11	Capteur de niveau bas dans la bâche à eau
PM_12	Pompe de maintien de pression 1
PM_13	Pompe de maintien de pression 2
PRSM_14	Pressostat de pilotage des pompes en pression max
PRSm_15	Pressostat de pilotage des pompes en pression min
PRSSM_16	Pressostat de sécurité en pression max
PRSSm_17	Pressostat de sécurité en pression min

ANNEXE B : Liste des entrées/sorties du GRAFCET de la station

Cycles chauffage et distribution	
Notation	Désignation
M3	Commutateur à clé 3
B1	Commutateur de la chaudière B1
B2	Commutateur de la chaudière B2
PRSSM_16	Pressostat de sécurité en pression max
PRSSm_17	Pressostat de sécurité en pression min
PDIS_18	Pompe à distance 1
EV_18	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la pompe à distance 1
PDIS_19	Pompe à distance 2
EV_19	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la pompe à distance 2
PDIS_20	Pompe à distance 3
EV_20	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau surchauffée de la pompe à distance 3
EV_21	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement de la pompe à distance 1
CAPD_21	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à distance 1
EV_22	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement de la pompe à distance 2
CAPD_22	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à distance 2
EV_23	Deux électrovannes d'entrée et sortie d'eau de refroidissement de la pompe à distance 3
CAPD_23	Capteur de débit d'eau de refroidissement vers la pompe à distance 3
PREF_24	Pompe de refroidissement 1
EV_24	Deux électrovannes d'entrée et sortie de la pompe de refroidissement 1
PREF_25	Pompe de refroidissement 2
EV_25	Deux électrovannes d'entrée et sortie de la pompe de refroidissement 2

ANNEXE B : Liste des entrées/sorties du GRAFCET de la station

THE_M26	Thermostat indicateur de température 50°C de l'eau adoucie de refroidissement
THE_m27	Thermostat indicateur de température 35°C de l'eau adoucie de refroidissement
EV_28	Electrovanne de retour d'eau adoucie de refroidissement vers le réservoir
CAPNB_31	Capteur de niveau bas dans le réservoir d'eau de refroidissement
EV_32	Deux électrovannes de refroidissement avec l'eau brute
EV_34	Electrovanne d'entrée de l'eau de retour à la chaudière B1
EV_35	Electrovanne de sortie de l'eau surchauffée de la chaudière B1
EV_40	Electrovanne d'entrée de l'eau surchauffée de la chaudière B2
EV_41	Electrovanne de sortie de l'eau surchauffée de la chaudière B2
EV_36	Electrovanne d'entrée du gaz vers la chaudière B1
EV_42	Electrovanne d'entrée du gaz dans la chaudière B2
PRSS_3B1	Pressostat de sécurité de gaz admissible à la chaudière B1
PRSS_3B2	Pressostat de sécurité de gaz admissible à la chaudière B2
EV_18B1	Electrovanne de sortie du gaz vers l'échappement de la chaudière B1
EV_18B2	Electrovanne de sortie du gaz vers l'échappement de la chaudière B2
CMWR_B1	Cerveau moteur actionné dans le sens d'ouverture des vannes de la chaudière B1
CMWR_B2	Cerveau moteur actionné dans le sens d'ouverture des vannes de la chaudière B2
CMWB_B1	Cerveau moteur actionné dans le sens de fermeture des vannes de la chaudière B1
CMWB_B2	Cerveau moteur actionné dans le sens de fermeture des vannes de la chaudière B2
EV_4B1	Electrovanne d'entrée du gaz au bruleur de la chaudière B1
EV_4B2	Electrovanne d'entrée du gaz au bruleur de la chaudière B2
PRSS_13b1	Pressostat de sortie d'air de combustion dans la chaudière B1
PRSS_13b2	Pressostat d'air de combustion dans la chaudière B2

ANNEXE B : Liste des entrées/sorties du GRAFCET de la station

MV_B1	Moteur ventilateur de la chaudière B1
MV_B2	Moteur ventilateur de la chaudière B2
CPC_B1	Capteur Photo cellule de la chaudière B1
CPC_B2	Capteur Photo cellule de la chaudière B2
TR_B1	Transformateur d'allumage de la torche de la chaudière B1
TR_B2	Transformateur d'allumage de la torche de la chaudière B2
EV_6B1	Electrovanne d'entrée du gaz d'allumage de la torche chaudière B1
EV_6B2	Electrovanne d'entrée du gaz d'allumage de la torche chaudière B2
THE_1B1	Thermostat indicateur de température 80°C dans la chaudière B1
THE_1B2	Thermostat indicateur de température 80°C dans la chaudière B2
THE_2B1	Thermostat indicateur de température 150°C dans la chaudière B1
THE_2B2	Thermostat indicateur de température 150°C dans la chaudière B2
THE_3B1	Thermostat indicateur de température 160°C dans la chaudière B1
THE_3B2	Thermostat indicateur de température 160°C dans la chaudière B2
THE_4B1	Thermostat de sécurité à la température 165°C dans la chaudière B1
THE_4B2	Thermostat de sécurité à la température 165°C dans la chaudière B2

PREAMBULE

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I

❖ DESCRIPTION DE LA STATION ET SON FONCTIONNEMENT.

Chapitre II

❖ MODELISATION DE LA STATION A AUTOMATISER.

Chapitre III

❖ PRESENTATION DES API ET PROGRAMMATION DE LA STATION AVEC L'API S7-300.

CINCLUSION GENERALE

ANNEXE A

ANNEXE B

BIBLIOGRAPHIE