

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA



FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département GENIE ELECTRIQUE

Projet de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme

De Master en électrotechnique

Option : électromécanique

**Etude Et Automatisation De La Nouvelle
Station De Préfiltration De L'unité De
Traitement Des Eaux CEVITAL**

Réalisé par :

BAOUCHE Latamen

MAZOUZI Fayçal

Encadré par :

Mr TAZERART Farid (Université de Bejaia)

Mr TAIB Nabil (Université de Bejaia)

Mr TOULOUM Nadir (Enterprise CEVITAL)

Promotion 2013

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères, tout d'abord au « BON DIEU » pour le courage, la patience et la santé qu'il nous a offerts tout au long de nos études.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos promoteurs M^r : TAZERART Farid, et M^r : TAIB Nabil pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous leur témoignons toute notre reconnaissance pour leurs conseils, leurs orientations et leur patience. Nous exprimons notre gratitude à M^r : TOULOUM Nadir, pour sa disponibilité, son aide, et d'avoir mis toute la documentation nécessaire, à notre disposition. Ainsi que tous le personnel de la direction technique de CEVITAL (unité énergie et utilités) en particulier : Nassim, et Seïff-eddine.

Nos vifs remerciements aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

DÉDICACES

*À Mes très chers **Parents** qui se sont toujours sacrifiés pour la réussite et le bonheur de leurs enfants, qui nous ont encouragé, aidé du mieux qu'il leur est possible de faire, et qui avec patience ont attendu ce joyeux événement. Que Dieu leur prête une très longue vie de paix et de bonheur.*

*À mes chers frères, **Sofiane, Menad, Nassim** à qui je souhaite la réussite, et tout le bonheur du monde.*

*À mon cher Ami et binôme **Latamen**, chez qui j'ai trouvé l'entente, la patience, et la compréhension qui ont fait que l'on puisse passer une formidable expérience.*

À mes camarades, et amis, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

M. Fayçal

DÉDICACES

Je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné la force et le savoir de réaliser ce mémoire.

Je tiens à dédier ce travail :

À Mon cher Père et à ma très chère mère qui se sont toujours sacrifiés à la réussite et au bonheur de leurs enfants et qui ont fait de moi aujourd'hui l'homme que je suis. Que Dieu leur prête une très longue vie de paix et de bonheur.

À mes cher(e)s frères et sœurs, Sofiane, Karim, Souhila ainsi qu'à leurs petites familles.

À mon cher Ami et binôme Fayçal, chez qui j'ai trouvé l'entente dont j'avais besoin.

À mes camarades, et amis, et surtout mon ange Y.B, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

B. Latamen

Liste des abréviations et symboles

- A:** Sortie.
- AFCET :** Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique.
- AI:** Analog Input.
- AO:** Analog Output.
- API :** Automate programmable industrielle.
- Bra :** Branche
- CEI :** Commission électrotechnique internationale.
- CONT :** Contact.
- Cos(ϕ) :** Facteur de puissance.
- CP :** Processeurs de communication.
- CPU :** Central Processing Unit.
- DB :** Bloc de données.
- DDR :** Disjoncteur différentiel résiduelle.
- DefP :** Pompe en défaut.
- DFA :** Filtre à sable.
- DI:** Digital Input.
- DO:** Digital Output.
- DP :** Pompe doseuse.
- DS :** Groupe de dosage.
- E/S :** Entrées/Sorties.
- E:** Entrée.
- EEPROM :** Electrically-Erasable Programmable Read Only Memory.
- EPROM :** Erasable Programmable Read Only Memory.
- f.e.m :** Force électromotrice.
- FB :** Bloc fonctionnel.
- FC :** Fonction.
- FI :** Fluxmètre.
- FIT :** Indicateur et transmetteur de débit.
- FM :** Modules fonctionnels.
- GRAFCET :** GRAPhe Fonctionnel de Commandes Etapes Transitions.
- I₁ :** Intensité du courant au primaire du transformateur.

I₂ : Intensité du courant au secondaire du transformateur.

I_a : Intensité du courant absorbé.

I_{b1} : Courant maximal dans la branche 1.

I_{b2} : Courant maximal dans la branche 2.

I_{b3} : Courant maximal dans la branche 3.

I_{cc} : Courant de court-circuit.

I_d : Courant de défaut.

IHM : Interface homme machine.

I_n : Courant assigné.

IP : Indice de protection.

K_e : Facteur d'extension.

K_s : Facteur de simultanéité.

K_u : Facteur d'utilisation.

LED : Light-emitting diode.

LIST : Liste.

LOG : Logigramme.

LT : Transmetteur de niveau.

m : Rapport de transformation.

MPI : Multipoint Interface.

MX : Mélangeur statique.

n : Nombre de récepteurs.

N₁ : Nombre de Spires au primaire du transformateur.

N₂ : Nombre de Spires au secondaire du transformateur.

OB : Bloc d'organisation.

P_a : Puissance active absorbée.

PC : Partie commande.

PdC : Pouvoir de coupure.

PG : Console de programmation.

PIT : Indicateur et transmetteur de pression.

PLC : Programmable Logic Controller.

PPM : Partir par million.

PS : Power Supply – (module d'alimentation).

PT : Transmetteur de pression.

PTM : Pression transmembranaire.

P_u : Puissance utilisée.

P_{ui} : Puissance utile d'une charge.

P_{uj} : Puissance utile dans une branche.

P_{ut} : Puissance utile totale.

Q_a : puissance réactive absorbée.

Q_{ui} : Puissance réactive utile d'une charge.

Q_{uj} : Puissance réactive utile dans une branche.

Q_{ut} : Puissance réactive utile totale.

RAM : Random Access Memory.

ROM : Read-only memory.

S_a : Puissance apparente absorbée.

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition.

SFB : Bloc fonctionnel système.

SFC : Fonction système.

SM : Modules Signaux.

S_{ui} : Puissance apparente utile d'une charge.

S_{uj} : Puissance apparente utile dans une branche.

S_{ut} : Puissance apparente utile totale.

TK : Réservoir d'eau filtrée.

TOR : Tout ou rien.

U_1 : Tension au primaire du transformateur.

U_2 : Tension au secondaire du transformateur.

U_a : Tension aux bornes d'un récepteur.

U_e : Tension assigné.

Va : Vanne TOR.

ΔPT : Transmetteur de pression différentielle.

η : Rendement.

Π : Pression osmotique.

Liste des figures

Présentation du complexe CEVITAL

Plan de masse du complexe CEVITAL.....	4
Organigramme du complexe CEVITAL	6
Organigramme du service Energie	7

Chapitre I

Figure I.1 : Classification des impuretés	9
Figure I.2 : Schéma d'un filtre a presse	10
Figure I.3 : Schéma explicatif du fonctionnement d'un filtre presse	11
Figure I.4 : Schéma d'un filtre à poche ou à panier	12
Figure I.5 : Coupe schématique d'un filtre à sable a pression	13
Figure I.6 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse	15
Figure I.7 : Exemple d'un osmoseur industriel	15

Chapitre II

Figure II.1 : Structure de la vanne.....	19
Figure II.2 : Schéma d'une vanne manuelle.....	20
Figure II.3 : Une vanne pneumatique TOR.....	20
Figure II.4 : Vannes non-retour.....	21
Figure II.5 : Filtre Régulateur	21
Figure II.6 : Un mélangeur statique.	22
Figure II.7 : Un débitmètre.....	23
Figure II.8 : Un débitmètre magnétique	23
Figure II.9 : Sonde de niveau	24
Figure II.10 : Un indicateur de pression.....	24
Figure II.11 : Un transmetteur et indicateur de pression.....	25

Figure II.12 : Un transmetteur de pression.....	25
Figure II.13 : Un transmetteur de pression différentielle	26
Figure II.14 : Schéma du média filtrant d'un filtre à sable.	28
Figure II.15 : Un réservoir de stockage d'eau	28
Figure II.16 : Schéma d'alimentation.....	31
Figure II.17 : Disjoncteur magnétothermique.	39
Figure II.18 : Symbole d'un disjoncteur tripolaire.....	39
Figure II.19 : Disjoncteur différentiel	40
Figure II.20 : Schéma général du disjoncteur magnétothermique.	42
Figure II.21 : Courbe de déclenchement du disjoncteur magnétothermique.	43
Figure II.22 : Schéma unifilaire de l'installation	46

Chapitre III

Figure III.1 : Structure d'un système automatisé	48
Figure III.2 : Etapes, active, initiale.....	49
Figure III.3 : Franchissement d'une transition.	49
Figure III.4 : Schéma global de la station	51
Figure III.5 : Schéma fonctionnel d'un filtre	52
Figure III.6 : Grafcet de temporisation (14h).....	59
Figure III.7 : Grafcet de permutation des pompes d'alimentation	59
Figure III.8 : Grafcet d'alimentation en eau brute	60

Chapitre IV

Figure IV.1 : Automate Programmable Industriel SIEMENS	63
Figure IV.2 : API S7300	63
Figure IV.3 : Structure interne d'un API.....	64
Figure IV.4 : Terminal CPX Festo (avec system pneumatique MPA1)	66
Figure IV.5 : Eléments de raccordement sur le nœud de bus de terrain CPX.....	66

Figure IV.6 : Exemple de connexion	68
Figure IV.7 : Mode de représentation des langages basiques de programmation STEP7	69
Figure IV.8 : Interface de simulation PLCSIM.....	70
Figure IV.9 : Vue d'ensemble du progiciel WinCC flexible	72

Chapitre V

Figure V.1 : Fenêtre de démarrage de STEP7.....	74
Figure V.2 : Configuration matériels	76
Figure V.3 : Hiérarchie du programme STEP7.....	76
Figure V.4 : Table des mnémoniques du projet	77
Figure V.5 : Blocs du projet.....	78
Figure V.6 : Architecture des blocs.....	79
Figure V.7 : Bloc de données DB5 « seuils »	82
Figure V.8 : Création d'une liaison.....	92
Figure V.9 : Table des variables.....	93
Figure V.10 : Boite à outils « objets simples » WinCC	94
Figure V.11 : Vues pupitre de la station de préfiltration.....	94
Figure V.12 : Vue initiale.....	95
Figure V.13 : Configuration du champ E/S.....	96
Figure V.15 : Vue général de la station de préfiltration.....	96
Figure V.16 : Vue de commande des pompes.....	97
Figure V.17 : Vue Tank.....	98
Figure V.18 : Paramétrage de la classe des alarmes	99
Figure V.19 : Table des alarmes.....	99
Figure V.20 : Vue des alarmes	100

Annexe

Grafcet de déclanchement du rétro-lavage.....	I
Grafcet de permutation de pompes de rétro-lavage	I
Grafcet de commande des pompes de rétro-lavage.....	II
Grafcet de commande des vannes.	III
Grafcet de basculement des vannes DFA 1-6	IV
Grafcet de basculement des vannes DFA 7-10	V
Grafcet d'arrêt d'urgence	VI

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1 : Facteur d'utilisation.....	30
Tableau II.2 : Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs	30
Tableau II.3 : Bilan de puissance installée.....	34
Tableau II.4 : Bilan de puissance utilisé	36
Tableau II.5 : Bilan de puissance utile totale	36

Chapitre III

Tableau III.1 : Variables utilisées	55
---	----

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Présentation du complexe CEVITAL

Historique.....	3
Situation géographique.....	3
Activités de CEVITAL.....	5
Missions et objectifs.....	5
Différents organes constituant le complexe CEVITAL.....	6
Unité Energie et utilités.....	7

CHAPITRE I : Généralités sur le traitement des eaux

I.1 Introduction.....	8
I.2 Généralités	8
I.2.1 Notion sur l'eau.....	8
I.2.2 L'eau dans l'industrie.....	8
I.2.3 Les polluants	9
I.3 La filtration	9
I.3.1 Classification des types de filtres	9
I.3.2 Les différents types de filtres	10
I.3.2.1 Les filtres-presses	10
I.3.2.2 Les filtres à poche ou à panier.....	11
I.3.2.3 Les filtres à cartouches lavables et filtres autonettoyants	12
I.3.2.4 Les filtres à sable.....	13
I.3.2.5 Variantes des filtres à sables.....	14

I.4 Procédés membranaires	14
I.4.1 Principe des phénomènes d'osmose directe et d'osmose inverse	14
I.4.2 L'unité osmose de CEVITAL	15
I.5 Conclusion	16

CHAPITRE II : Identification des équipements et bilan d'énergie

II.1 Introduction	17
II.2 Identification des équipements de la station de pré-filtration.....	17
II.2.1 Identification des actionneurs	17
II.2.1.1 Les moteurs	17
II.2.1.2 Les pompes.....	18
II.2.1.3 Les vannes	18
II.2.1.4 Les événements.....	21
II.2.1.5 Filtre-régulateur.....	21
II.2.1.6 Les mélangeurs statiques.....	22
II.2.2 Identification des instruments	22
II.2.2.1 Débitmètre.....	23
II.2.2.2 Débitmètre magnétique	23
II.2.2.3 Transmetteur de niveau	24
II.2.2.4 Indicateur de pression	24
II.2.2.5 Indicateur et transmetteur de pression.....	25
II.2.2.6 Transmetteur de pression	25
II.2.2.7 Transmetteur de pression différentielle.....	25
II.2.3 Identification des récipients	26
II.2.3.1 Groupes de dosages.....	26
II.2.3.2 Bassins de filtration.....	27
II.2.3.3 Le réservoir d'eau filtrée.....	28
II.3 Introduction au bilan énergétique	29

II.4 Détermination de la puissance d'une installation	29
II.4.1 Puissance installée	29
II.4.2 Puissance Utilisée	29
II.5 Calcul des puissances	32
II.5 .1 Applications	32
II.5.2 Tableau récapitulatif des puissances de l'installation.....	34
II.6 Calcul de la puissance d'utilisation	35
II.6.1 la puissance utile d'une charge P_{ui}	35
II.6.2 Puissance utile dans une branche P_{uj}	35
II.6.3 Calcul du facteur de puissance de l'installation.....	37
II.7 Caractéristique du transformateur	37
II.7.1 Définition d'un transformateur	37
II.7.2 Choix et dimensionnement de transformateur	37
II.7.2.1 Calcul du rapport de transformation	38
II.7.2.2 Calcul du courant secondaire	38
II.7.2.3 Calcul du courant au primaire	38
II.8 Dimensionnement des disjoncteurs	39
II.8.1 Définition d'un disjoncteur	39
II.8.2 Protection par disjoncteur	39
II.8.3 Caractéristique d'un disjoncteur basse tension	39
II.8.4 Les différents types de disjoncteurs	40
II.8.4.1 Disjoncteur différentiel	40
II.8.4.2 Disjoncteur magnétothermique	41
II.8.5 Courbe de déclenchement du disjoncteur	43
II.9 Choix des disjoncteurs.....	43
II.9.1 Disjoncteur de tête	43
II.9.2 Disjoncteur de la branche 1	43

II.9.3 Disjoncteur de la branche 2	44
II.9.4 Disjoncteur de la branche 3	44
II.9.5 Disjoncteurs des récepteurs	44
II.9.5.1 Disjoncteur moteur d'alimentation	44
II.9.5.2 Disjoncteur moteur de rétro-lavage.....	44
II.9.5.3 Disjoncteur prise 380V	45
II.9.5.4 Disjoncteurs des récepteurs de la 3 ^{ème} branche	45
II.10 Schéma unifilaire de l'installation.....	46
II.11 Conclusion	46

Chapitre III : Description du process et élaboration de l'analyse fonctionnelle

III.1 Introduction	47
III.2 Systèmes automatisés.....	47
III.2.1 Définition de l'automatisation.....	47
III.2.2 Objectif de l'automatisation	47
III.2.3 Structure d'un système automatisé.....	47
III.3 GRAFCET.....	48
III.3.1 Définition.....	48
III.3.2 Bases du langage Grafcet	49
III.3.3 Règles d'évolution d'un GRAFCET	50
III.4 Description du processus de l'installation.....	50
III.4.1 Schéma global de la station	50
III.4.2 Fonctionnement d'un filtre	52
III.4.3 Procédure de filtration	52
III.4.4 Procédure du rétro-lavage.....	53
III.4.5 Procédure du lavage final (le rinçage).....	54
III.4.6 Mise en service de la station.....	54
III.4.7 Défauts de fonctionnement.....	55

III.5 Présentation du logiciel de programmation (AUTOMGEN) :	55
III.5.1 Élaboration du GRAFCET de la station	55
III.5.2 Présentation des Grafjets	59
III.6 Conclusion.....	67

Chapitre IV : Automates programmables et logiciels associés

IV.1 Introduction.....	62
IV.2 Présentation de l'automate.	62
IV.2.1 Structure interne des automates programmables.....	63
IV.2.1.1 Le processeur	64
IV.2.1.2 Les modules d'entrées/sorties.....	64
IV.2.1.3 Les mémoires.....	65
IV.2.1.4 L'alimentation	65
IV.2.1.5 Liaisons de communication	65
IV.3 Présentation de Terminal CPX festo avec système pneumatique MPA	66
IV.3.1 Description et structure	66
IV.4 Description du logiciel <i>STEP7</i>	68
IV.4.1 Gestionnaire de projets <i>SIMATIC Manager</i>	68
IV.4.2 Editeur de programme et les langages de programmation	69
IV.4.3 Paramétrage de l'interface PG-PC	69
IV.4.4 Le simulateur des programmes <i>PLCSIM</i>	70
IV.4.5 Stratégie pour la conception d'une structure programme complète et optimisée	70
IV.5 Description du logiciel <i>WinCC Flexible</i>	71
IV.5.1 Éléments du <i>WinCC Flexible</i>	72
IV.6 Conclusion	73

Chapitre V : Programmation et supervision

V.1 Introduction	74
V.2 Réalisation du programme de la station	74

V.2.1	Création du projet dans <i>SIMATIC Manager</i>	74
V.2.2	Configuration matérielle (Partie Hardware)	75
V.2.3	Création de la table des mnémoniques (Partie Software)	76
V.2.4	Elaboration du programme S7 (Partie Software).....	77
V.2.4.1	Les blocs de code	77
V.2.4.2	Création du programme de la station	78
V.2.4.2.1	Programmation des blocs	79
V.3	Réalisation de la supervision de la station.....	91
V.3.1	Introduction à la supervision	91
V.3.2	Outils de supervision	91
V.3.3	Etapas de mise en œuvre	91
V.3.3.1	Etablir une liaison directe	91
V.3.3.2	Création de la table des variables.....	92
V.3.3.3	Création de vues.....	93
V.4	Compilation et Simulation	100
V.5	Conclusion.....	101

Conclusion générale

Conclusion générale	102
---------------------------	-----

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Depuis plus de 14 ans le complexe CEVITAL affirme son savoir-faire, et innove pour maintenir la qualité de ses produits, et satisfaire une large clientèle, ce qui le pousse à étendre ses unités de production, élargissant par conséquent ses besoins en matières premières.

Tout le fonctionnement du complexe, et son système de production repose sur la possibilité de fournir de la vapeur d'eau à chaque unité de production. En effet, la vapeur est utilisée pour diverses raisons (stérilisation, conditionnement...etc.), et même pour la production de l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement, vue l'utilisation de deux turbines à vapeur présents au sein du complexe.

L'extension des besoins en eau fait que CEVITAL dispose de son propre forage, mais l'inconvénient de celui-ci est que l'eau brute est fortement polluée, ce qui nécessite une filtration avant son utilisation.

La filtration membranaire fait que l'on dispose d'une eau de qualité, mais les membranes utilisées se détériorent rapidement si l'eau est fortement polluée. L'eau arrivée du forage est chargée d'impuretés et surtout de fer qui contamine ces membranes, ce qui nécessite de les précédées par des filtres à sables. CEVITAL a opté pour l'installation d'une nouvelle station de préfiltration utilisant ces derniers, donc ce qui nous a été demandé, est de faire une étude détaillée afin de mettre en service la station en automatisant son processus, et en prévoyant l'alimentation nécessaire en énergie électrique.

A cet effet, le présent mémoire est réparti en cinq chapitres décrivant les volets principaux:

On parlera dans le premier chapitre des généralités sur le traitement des eaux et son importance dans les entreprises agro-alimentaires.

Le deuxième chapitre sera consacré à la description des différents éléments constituant la station de préfiltration, ainsi que l'étude du bilan énergétique afin de dimensionner son alimentation et sa protection électrique.

Le troisième chapitre sera consacré à la description des systèmes automatisés et l'élaboration de l'analyse fonctionnelle de la station.

On parlera dans le quatrième chapitre de l'automate programmable ainsi que les ressources logicielles utilisées pour l'automatisation de la station.

Le dernier chapitre de ce rapport (chapitre V) traitera la partie programmation et supervision de ce projet. Les étapes de la programmation de la station, qui sera l'objectif principale de notre travail, y seront détaillées et expliquées.

Enfin, on termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

**Présentation du complexe
CEVITAL**

❖ *Historique*

CEVITAL SPA, est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de Bejaia et s'étend sur une superficie de 45000m².

Le complexe contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité.

❖ *Situation géographique*

CEVITAL est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 Km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 26. Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet elle se trouve proche du port et l'aéroport.

❖ *Activités de CEVITAL*

Lancé en Mai 1998, le complexe CEVITAL a débuté son activité par le conditionnement d'huile en Décembre 1998.

En Février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie ont débutés, elle est devenue fonctionnelle en Août 1999.

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre, ainsi que la production de l'énergie électrique qui est en cours d'études, et ces dernières se présentent comme suit :

- Raffinage des huiles (1800 tonnes/jour);
- Conditionnement d'huile (1400 tonnes/heure);
- Production de margarine (600 tonnes/jour) ;
- Fabrication d'emballage (PET): Poly-Ethylène-Téréphtalate (9600 unités/heure) ;
- Raffinage du sucre (1600 tonnes/jour) et (3000 tonnes /jour);
- Stockage des céréales (120000 tonnes);
- Minoterie et savonnerie en cours d'étude.
- Cogénération (production de l'énergie électrique avec une capacité de 64MW et de la vapeur).

❖ *Missions et objectifs*

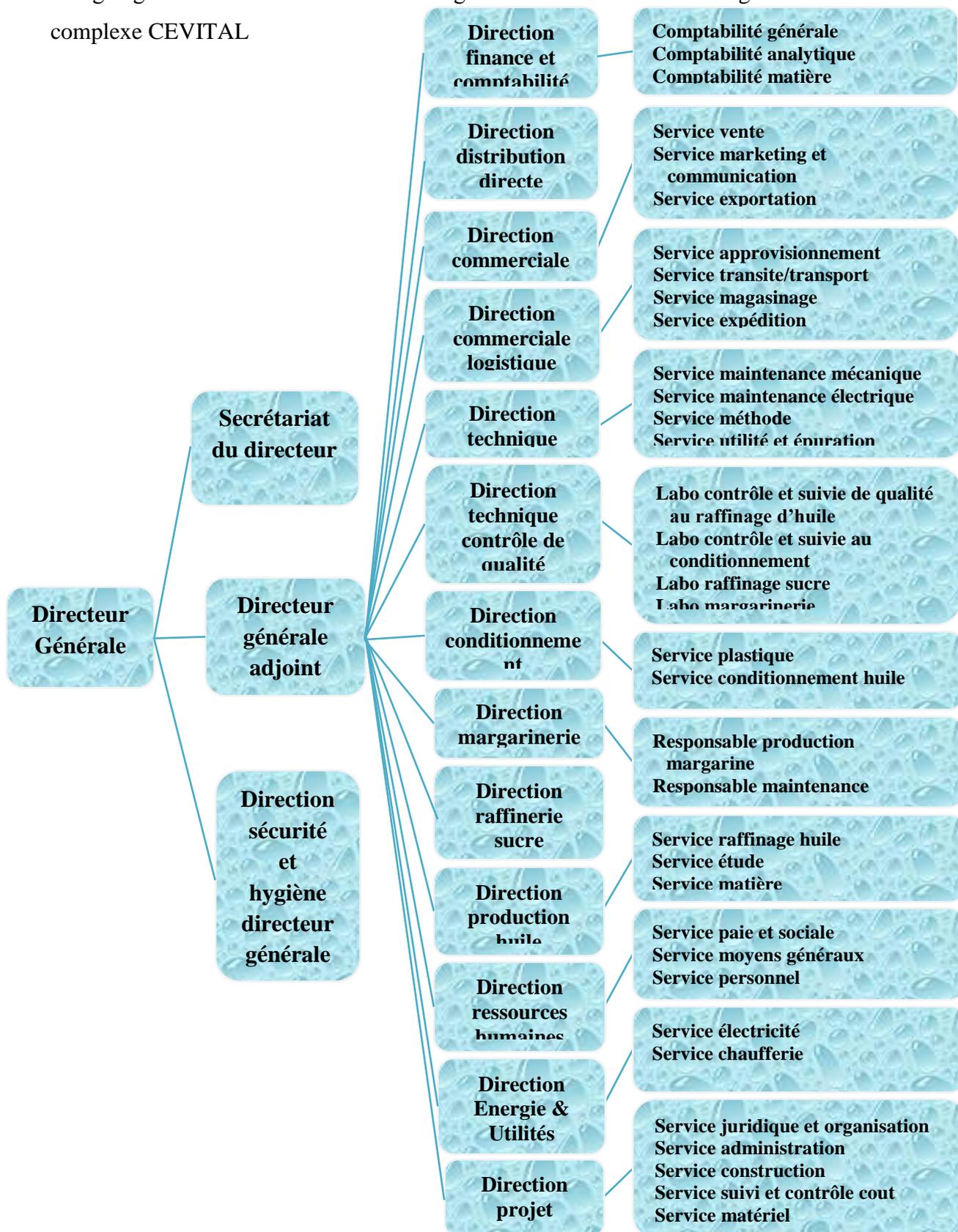
L'entreprise a pour mission principale de développer la production et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser.

Les objectifs visés par CEVITAL se présentent comme suit :

- L'extension de ses produits sur tout le territoire national.
- L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail.
- L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses
- La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production.
- Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations.

❖ *Différents organes constituant le complexe CEVITAL*

L'organigramme suivant donne une vue générale sur les différents organes constituant le complexe CEVITAL



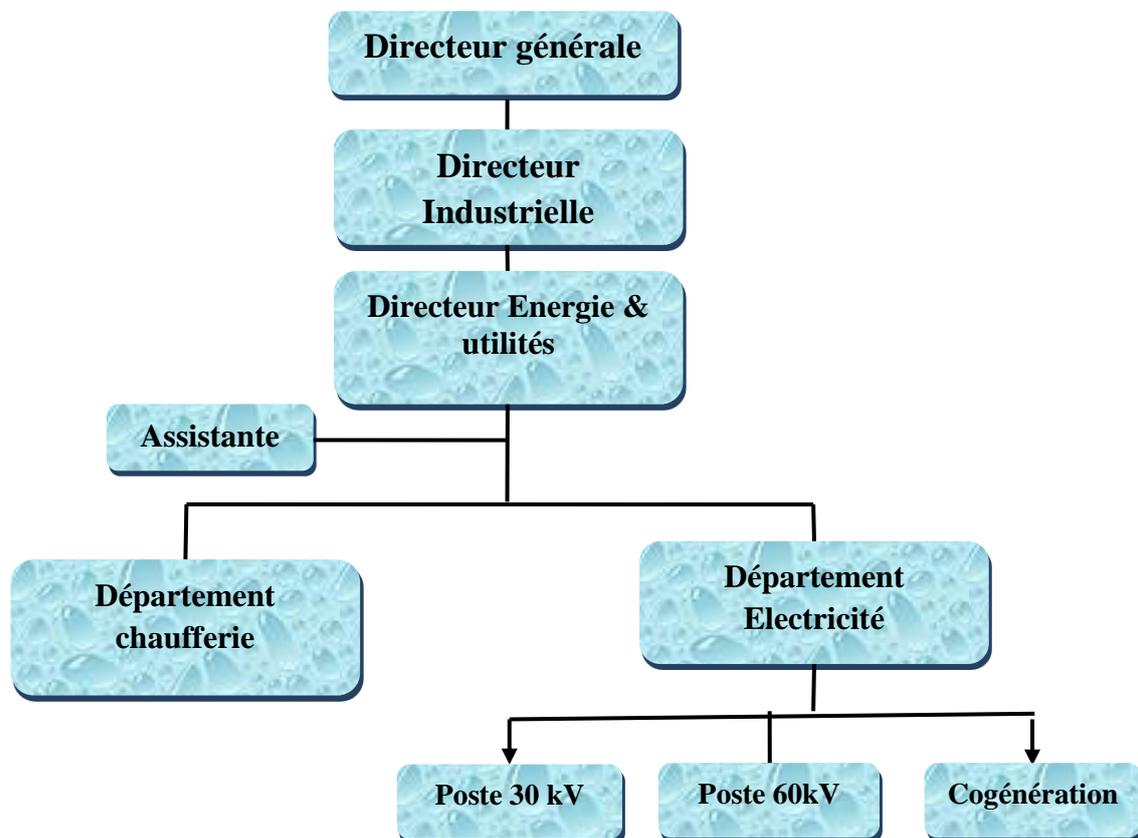
Organigramme du complexe CEVITAL

❖ **Unité Energie et utilités**

La direction Energie est constituée de deux départements qui sont :

- Département électricité (production et distribution de l'énergie électrique) : on distingue :
 - ✓ Le poste 60kV.
 - ✓ Le poste 30kV.
 - ✓ La cogénération.
- Département chaufferie (production et distribution de la vapeur)

Les différents départements de la direction Energie sont représentés dans l'organigramme suivant :



Organigramme du service Energie

Chapitre I

Généralités sur le traitement des eaux

I.1 Introduction

L'eau réunit un ensemble exceptionnel de propriétés physiques et chimiques, elle peut devenir solvant, fluide thermique ou simplement liquide facile à manipuler, mais elle peut causer des problèmes si elle est directement utilisée dans la fabrication de certains produits, ou pour la création de la vapeur.

Les producteurs de produits cosmétiques, pharmaceutiques, chimiques ou de produits agro-alimentaires sont de bons exemples d'industries qui exigent des traitements d'eau complémentaire, on parle alors d'eau process. Nous parlerons dans ce chapitre de l'importance de cette ressource, et les différents types de filtration.

I.2 Généralités**I.2.1 Notion sur l'eau**

Il est usuel de croire que l'eau est H_2O . Une description un peu plus précise de ce liquide pourrait être : l'eau, c'est H_2O plus une série d'impuretés. Le praticien du traitement de l'eau doit connaître ces impuretés, leurs conséquences sur les propriétés de l'eau, et aussi les unités de mesures employées pour exprimer ces impuretés afin de comprendre les analyses d'eau. L'eau est un fluide qui a des caractéristiques tout à fait remarquables [1] :

- Sa densité est plus faible à l'état solide qu'à l'état liquide
- La tension de surface est très élevée
- On l'appelle parfois le solvant universel, car elle dissout plus de substance que tout autre fluide connu.
- Sa chaleur de vaporisation élevée, ce qui en fait un fluide caloporteur de choix.

I.2.2 L'eau dans l'industrie

L'eau est omniprésente dans l'industrie. Il n'y a pas de produit qui n'est pas au moins rincé avec de l'eau au cours de sa production, et elle est une composante essentielle de la production de bien des produits alimentaires et chimiques, par exemple. Les qualités thermodynamiques de l'eau en font un fluide caloporteur de choix : elle a une enthalpie d'évaporation et une chaleur spécifique très élevée [1].

Dans certains cas, l'industrie doit utiliser de l'eau non potable, provenant de forages, de nappes phréatiques, de rivières, ou de lacs. Dans le cas de CEVITAL, l'eau provient d'un forage réalisé à la commune d'OUED-GHIR.

I.2.3 Les polluants

L'eau étant un solvant, n'existe pratiquement pas sous forme de H₂O. Afin de pouvoir analyser les traitements de purification envisageable, il est indispensable de classifier les impuretés.

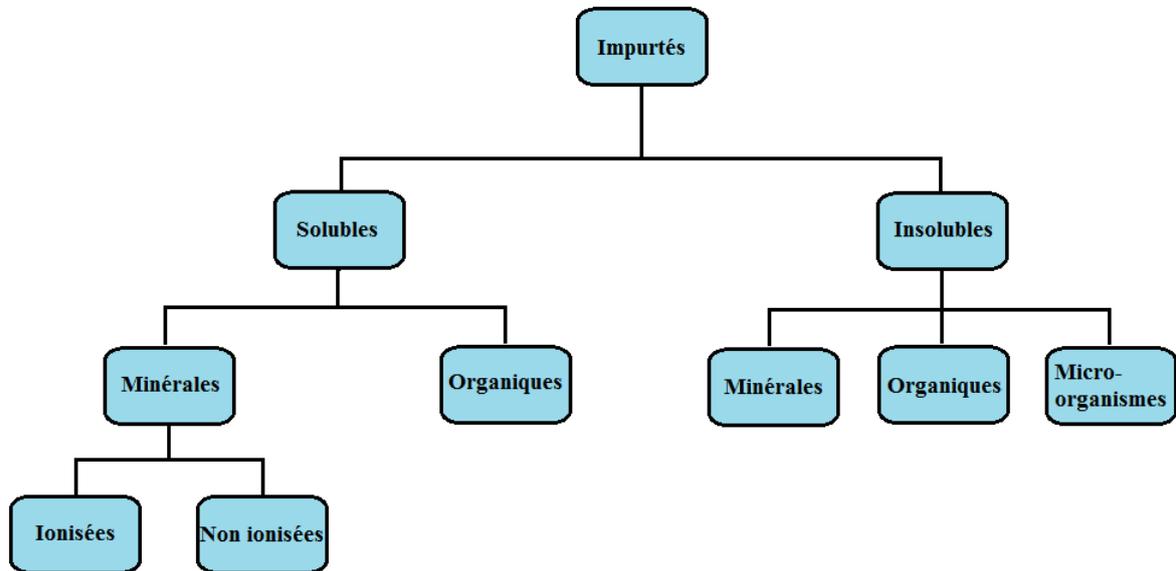


Figure I.1: Classification des impuretés.

I.3 La filtration

Par filtration on entend en principe une méthode pour éliminer des impuretés de l'eau en la faisant passer à travers un média filtrant. Aujourd'hui, la filtration regroupe un grand nombre de technologies, dont les technologies de filtrations membranaires qui permettent même de déminéraliser l'eau, et la filtration particulaire qui regroupe l'ensemble des méthodes de filtration permettant d'enlever de l'eau les particules d'une taille supérieure à environ 1 µm [1].

I.3.1 Classification des types de filtres

Il existe d'innombrables technologies pour séparer les particules solides d'une taille de 1 mm ou plus de l'eau. Or, dans plus de 90% des cas, un filtre à cartouche, éventuellement précédé d'un filtre à sable, est la solution optimale dans les applications de purification de l'eau. Il est toutefois important de connaître l'existence et les principaux avantages et inconvénients des autres solutions existantes.

Face aux grand nombre de technologies de filtration qui sont à la disposition de l'industrie, il est utile de tenter de les classer. On distingue ainsi :

- La filtration de surface par opposition à la filtration de profondeur. Dans la filtration de surface, les particules sont arrêtées lorsque l'eau entre dans le média filtrant, alors que dans la filtration de profondeur toute l'épaisseur du média est utilisée.

- La filtration par éléments consommables, par opposition aux éléments non consommables. Jusqu'aux années 1980, l'essentiel de la filtration industrielle était le fait d'éléments filtrants non consommables. Aujourd'hui, environ 80% de l'ensemble de l'eau filtrée l'est par des systèmes à cartouches consommables, essentiellement car le prix des cartouches a baissé alors que les coûts de main d'œuvre augmentent [1].

On peut aussi classer la filtration par objectif, on distingue ainsi deux types de filtration :

- Filtration de prétraitement.
- Filtration de finition.

Dans ce qui suit, nous passerons en revue les différents types de filtres employés en purification industrielle de l'eau.

I.3.2 Les différents types de filtres

L'industrie peut disposer de plusieurs types de filtres à savoir :

I.3.2.1 Les filtres-presses

Les filtres-presses assuraient le gros de la filtration industrielle jusqu'aux années 1980. Leur avantage principal était le coût d'investissement réduit. Le désavantage était par contre un coût de maintenance relativement élevé en particulier pour enlever les gâteaux de filtration. Ce travail était non seulement coûteux en temps de main d'œuvre, mais aussi il s'agit d'un travail très sale, il est donc difficile de trouver le personnel acceptant de faire ce travail. Ce problème est résolu par les filtres-presses automatiques, mais ceux-ci sont chers à l'achat, ce qui annule l'avantage principal de cette technologie.



Figure I.2 : Schéma d'un filtre à presse.

Aujourd'hui, les filtres-presses ne sont pratiquement plus utilisés pour la filtration de l'eau en entrées. Ils sont par contre encore fréquents dans le traitement des eaux usées et la filtration dans des procédés chimiques [1].

Cycle de filtration des filtres-presses :

Remplissage : Pendant cette phase de durée relativement courte (3 à 10 % du cycle total), les chambres de filtration limitées par les faces extérieures des toiles de deux plaques contiguës (rapprochées), sont remplies de boue à filtrer. Le temps de remplissage dépend du débit de la pompe d'alimentation.

Filtration : Une fois les chambres remplies, l'introduction continue de la suspension élève la pression à l'intérieur des chambres à cause de la fermeture des pores de la boue, qui s'y concentre.

Décharge : Cette opération consiste en ouvrir le filtre. Les plaques sont séparées les unes des autres, et les gâteaux formés entre deux plaques sont expulsés successivement [2].

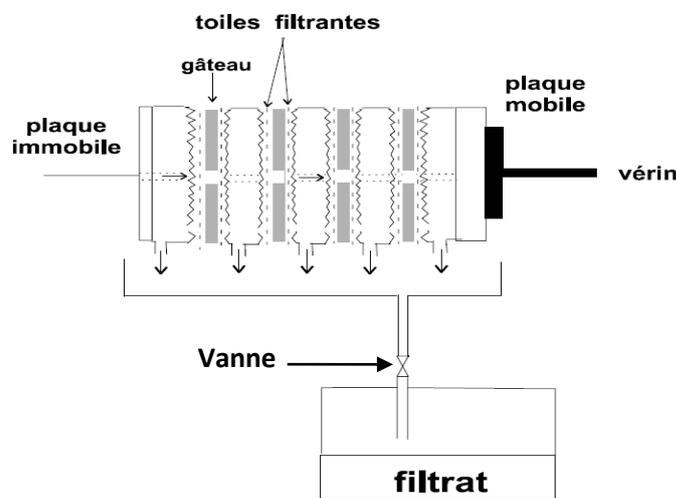


Figure I.3 : Schéma explicatif du fonctionnement d'un filtre presse.

I.3.2.2 Les filtres à poche ou à panier

Le filtre à poche est très utilisé comme dispositif de filtration parce qu'il offre de nombreux avantages. Dans l'option du filtre à poche, la finesse de filtration peut être facilement modifiée par le simple changement de la poche filtrante, de cette façon on a la possibilité d'adapter une poche filtrante de $0.5\mu\text{m}$ jusqu'à 1mm.

Les poches filtrante sont disponibles dans différents matériaux; comme le polypropylène, le nylon, le polyester, le téflon. Il est également possible de placer un panier filtrant à la place de la poche filtrante. Ceci permet de plus grandes finesses de filtration. On parle alors d'un filtre à panier [3].

Ils sont économiquement intéressants pour les eaux très chargées en particules. Ils posent par contre un problème sérieux fiabilité : il arrive qu'une poche ou un panier cède sous l'effet de la pression qui augmente lorsque le gâteau de filtration se développe, et l'on a donc un relâchement massif et soudain de particules dans l'eau traitée, ce qui peut avoir des conséquences catastrophiques sur le matériel que le filtre est sensé protéger [1].

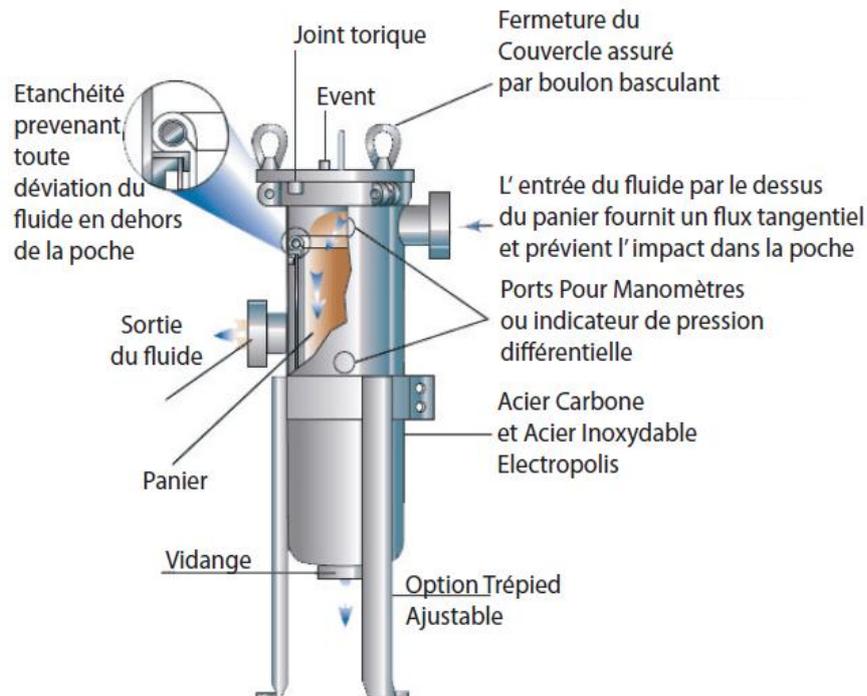


Figure I.4 : Schéma d'un filtre à poche ou à panier.

I.3.2.3 Les filtres à cartouches lavables et filtres autonettoyants

Sous tous ces noms, on trouve une très grande variété de technologies, et souvent des nouveaux filtres autonettoyants sont présentés comme la solution à tous les problèmes de filtration. S'ils présentent un avantage en termes de coûts de fonctionnement, il faut être conscient de leurs désavantages, qui limitent leurs applications :

- ✓ Le coût d'investissement est généralement élevé.
- ✓ Les filtres autonettoyants ont un seuil de filtration de quelques dizaines de mm, ce qui est insuffisant pour certaines applications, comme la préfiltration pour un osmoseur.
- ✓ L'installation est relativement complexe.
- ✓ Lors du nettoyage périodique, ces filtres rejettent une eau fortement chargée en particules, qu'il est souvent impossible de conduire à l'égout sans un traitement particulier : cela complique encore l'installation [1].

I.3.2.4 Les filtres à sable

On parle généralement de filtres à sable même si le media filtrant n'est pas forcément du sable. Il peut aussi s'agir d'antracite ou de sable vert « Glauconite », ou un autre media filtrant. L'antracite est plus léger que le sable proprement dit et fournit une couche de Préfiltration. Le sable vert est un sable qui est recouvert d'une couche d'oxyde de manganèse et a la propriété d'oxyder le fer dissous dans l'eau, et aussi le manganèse et l'hydrogène sulfureux.

Une fois que ces impuretés ont été oxydées, elles tendent à rester, par adsorption, dans le sable vert. Les filtres avec une couche de sable vert permettent de réduire les concentrations de fer et de manganèse dissous, ainsi que d'hydrogène sulfuré à moins de 0.01 ppm.

Les filtres à sable contiennent aussi souvent du gravier. Celui-ci n'est en général pas un media filtrant, mais sert à former une couche poreuse au fond du filtre. Ils sont aussi économiquement intéressants pour des débits d'au moins quelques m^3/h d'eau très chargée en particules.

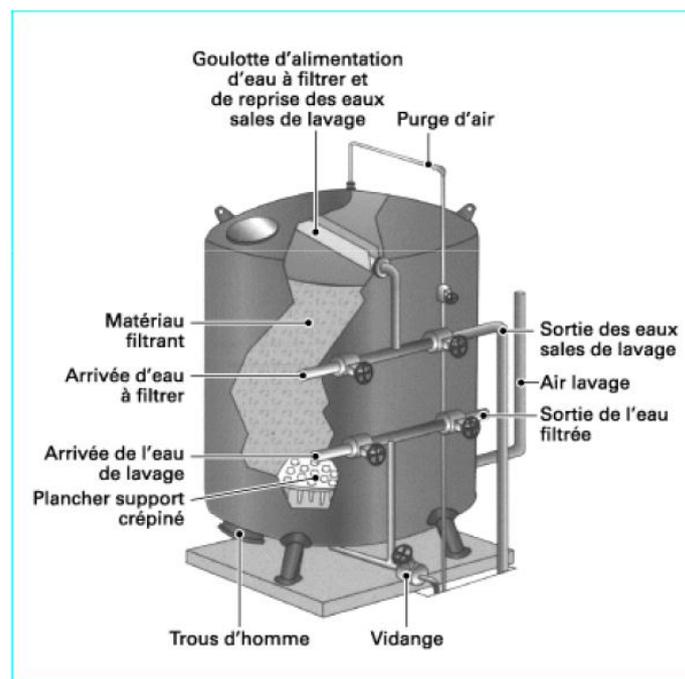


Figure I.5 : Coupe schématique d'un filtre à sable a pression.

D'autres points importants à connaître sur les filtres à sable sont :

- Le gâteau de filtration joue un rôle important : au début, le filtre à sable filtre assez mal, et au bout de quelques heures de fonctionnement l'efficacité de filtration s'améliore.

- Un rétro-lavage périodique est nécessaire. C'est une procédure automatique, qui dure environ 20 minutes. Le débit est important, largement supérieur au débit nominal du filtre. Il peut être fait avec de l'eau non filtrée. Le débit de rétro-lavage est fixé par les spécifications du producteur du média filtrant. Ici aussi, il est donc raisonnable de vérifier que le constructeur du filtre a bien prévu un débit de rétro-lavage conforme aux spécifications du producteur du média filtrant. Il faut prévoir au moins un rétro-lavage par semaine.
- Lorsque l'on achète un filtre à sable, on reçoit le filtre, avec les sacs de médias filtrants à côté : il faut alors mettre les différents médias filtrants dans le bon ordre dans le filtre: cela peut durer plusieurs heures.
- Lorsque le filtre à sable est en matériau composite, et qu'il faut mettre du gravier, on risque de l'endommager si l'on ne met pas de l'eau avant de mettre le gravier.

I.3.2.5 Variantes des filtres à sables

Un filtre à sable peut être construit de 2 façons :

- **Filtres à gravité** : peu utilisés en applications industrielles, à l'exception du cas de la filtration des eaux de surfaces. Leur débit surfacique est plus faible.
- **Filtres à pression** : ce sont généralement ceux que l'on trouve dans l'industrie.

La figure I.5 montre un tel filtre.

I.4 Procédés membranaires

Les procédés membranaires, ou de filtration par membrane, aussi appelés de filtration tangentielle, diffèrent de la filtration classique essentiellement par la présence d'une sortie de concentrât : seulement une partie de l'eau passe à travers le média filtrant, une partie, appelée le concentrât, ne passe pas à travers le média filtrant et sert à évacuer les impuretés qui, en filtration classique, restent sur le média filtrant.

I.4.1 Principe des phénomènes d'osmose directe et d'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression.

Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration (Figure I-6). Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux de solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution. Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse : c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression efficace correspond donc à la pression de part et d'autre de la membrane (pression transmembranaire, 'P_{tm}') diminuée de la différence de pression osmotique ($\Delta\Pi$) de part et d'autre de la membrane.

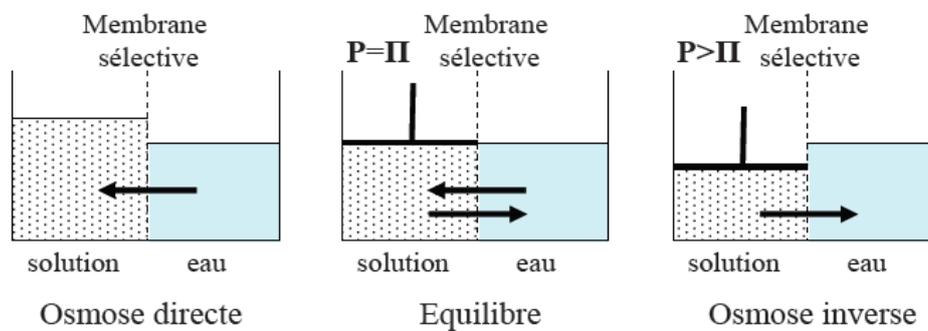


Figure I.6 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.

I.4.2 L'unité osmose de CEVITAL

La vapeur d'eau utilisée par la cogénération et les différentes unités de production du complexe, provient intégralement de l'unité osmose qui est constituée de quatre compartiments destinés à produire l'eau évaporée dans les chaudières.



Figure I.7 : Exemple d'un osmoseur industriel.

Cette unité utilise l'osmose inverse comme technique de filtration, ce qui nécessite l'utilisation des grand osmoseurs industriel (figure I.7) munis de membranes filtrantes, ces derniers représentent les quatre compartiments cités précédemment.

I.5 Conclusion

L'utilisation de l'eau dans l'industrie ne peut s'effectuer qu'après une filtration, en effet l'eau provenant des forages est fortement contaminée par la présence des polluants (sable, micro-organisme...). Dans notre cas l'eau brute arrivée d'OUED-GHIR est fortement concentrée en fer qui contamine les filtres des osmoseurs, détruisant les membranes qui les constituent.

Vue le coût élevé des membranes, CEVITAL a opté pour l'installation d'une nouvelle station de préfiltration qui utilise des filtres à sable pour diminuer la concentration du fer présent dans l'eau, qui sera la problématique posée, nous sommes donc chargé de faire l'étude et l'automatisation de celle-ci, ainsi que l'introduction d'une supervision dédiée à ce processus.

Chapitre II

Identification des équipements et bilan d'énergie

II.1 Introduction

Avant d'envisager de faire une automatisation d'une installation, il est indispensable de comprendre d'abord son fonctionnement et de connaître les différents types d'équipements qui la constituent.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord commencer par la description de notre station de préfiltration, en identifiant les différents éléments qui la constitue.

Ensuite nous procéderons au calcul du bilan d'énergie afin de dimensionner le poste de transformation adéquat, ainsi que les disjoncteurs pour la protection des récepteurs.

II.2 Identification des équipements de la station de préfiltration

II.2.1 Identification des actionneurs

Au niveau de la station, il existe plusieurs types d'actionneurs selon l'utilisation.

- Moteurs
- Pompes
- Les vannes
- Les événements
- Filtre-régulateur
- Les mélangeurs statiques

II.2.1.1 Les moteurs

Les fabrications industrielles font appel à une grande variété de machines alimentées par des énergies diverses. Toutefois, l'énergie électrique est prépondérante car, pour des raisons techniques la plupart des dispositifs mécaniques mis en œuvre dans l'industrie sont entraînés par des moteurs électriques [4].

Les moteurs existants dans la station sont destinés à entraîner des pompes, on en distingue donc deux types :

1. Deux moteurs asynchrones triphasés pour la filtration qui ont les caractéristiques :
 - Une tension d'alimentation 400/690 V.
 - Intensité de 98/57 A.
 - Puissance utile de 55 KW.
 - Facteur de puissance de 0.87.
 - Rendement de 93.58%.
 - Vitesse nominal 1459 tr/min.
 - Indice de protection IP55.

Et deux autres moteurs asynchrones triphasés pour le rétro-lavage :

- Une tension d'alimentation 380/660 V.
- Intensité de 20.8/12 A.
- Puissance utile de 11 KW.
- Facteur de puissance de 0.86.
- Rendement de 91.2%.
- Vitesse nominal 2940 tr/min.
- Indice de protection IP55.

2. Quatre moteurs monophasés pour les différents groupes de dosages :

- Une tension d'alimentation 100-240 V.
- Puissance maximal 24 W.
- Indice de protection IP65.

II.2.1.2 Les pompes

Pour refouler les différents liquides existants, on utilise des pompes différentes dont en cite les types suivants :

- Pompes d'alimentation : Ce type de pompe est utilisé pour alimenter la station (les filtres) en eau brute, ce sont des pompes centrifuges à un étage avec orifice d'aspiration axial avec un débit est de 537,4 m³/h.
- Pompes de dosages : Elles sont utilisées pour doser les produits chimiques (hypochlorite de sodium, floculant et coagulant) avec une pression maximale de 10 bars et un débit maximale de 7,5 x 10⁻³ m³/h.
- Pompes de refoulement : Ce type de pompe est utilisé pour envoyer de l'eau sous pression du réservoir d'eau filtré vers les filtres avec un débit est de 114,1 m³/h et une hauteur de 26.5 m.

II.2.1.3 Les vannes

Comme n'importe quel actionneur elle agit sur la grandeur replante qui sera toujours pour une vanne de deux voies, la grandeur réglée sera une pression, un débit, un niveau, une température, un rapport de concentration [5].

a) Structure

Quelque-soit le fabricant, le type de vanne ou sa génération, une vanne est toujours décomposable technologiquement en deux parties :

- La vanne (Corps de vanne, siège, clapet).
- L'actionneur (Arcade, servomoteur).

La figure II.1 décrit la structure générale d'une vanne.

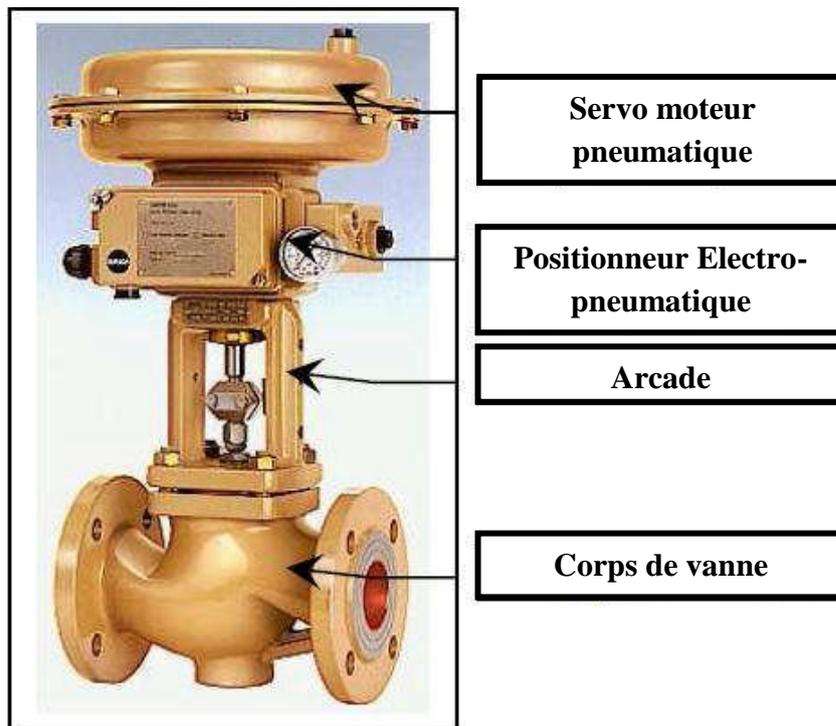


Figure II.1 : Structure de la vanne [5].

b) Le choix de la vanne

Le choix de la technologie de la vanne va faire intervenir de très nombreux critères [5]:

- La nature du fluide traité ;
- L'agressivité mécanique et/ou chimique du fluide ;
- La température de fonctionnement ;
- La pression du fluide en amont et en aval ;
- Les dispositifs anti cavitation ;
- Les dispositifs limitant le bruit ;
- Le niveau d'étanchéité souhaité entre siège et clapet ;
- Circulation du fluide en un seul sens ou deux sens ;
- La force ou le moment à développer pour mouvoir le clapet ;
- Le poids, l'encombrement ;
- Raccordement aux conduites ;
- La maintenance (facilité de montage démontage) ;
- Le prix.

La station de préfiltration est équipée de trois types de vannes selon leurs fonctions :

- **Vannes manuelles :**

Le robinet vanne est un appareil de robinetterie dont l'obturateur ou opercule se déplace perpendiculairement à l'axe de l'écoulement du fluide et conçu pour être utilisé en position ouverte ou fermée.

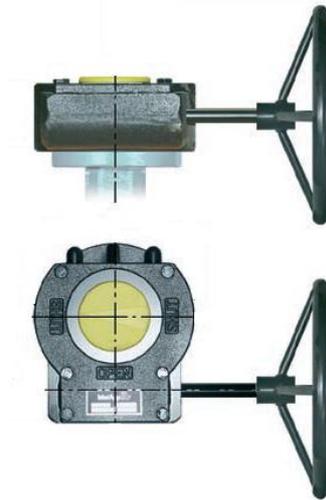


Figure II.2 : Schéma d'une vanne manuelle [6].

- **Vannes pneumatiques Tout Ou Rien (TOR) :**

Ces vannes sont utilisées pour contrôler le débit des fluides en tout ou rien. Elle exécute une action discontinue qui prend deux positions ou deux états 0 et 1(ou 0 et 100%), c'est-à-dire ouverte ou fermée.

Les vannes tout ou rien sont utilisées pour la commande des systèmes ayant une grande inertie où la précision de la régulation n'est pas importante.



Figure II.3 : Une vanne pneumatique TOR.

- **Vanne de non-retour :**

Est un dispositif permettant de contrôler le sens de circulation d'un fluide quelconque. Il permet le passage d'un liquide, d'un gaz, d'air comprimé, ... dans un sens et bloque le flux si celui-ci venait à s'inverser.



Figure II.4 : Vannes non-retour.

II.2.1.4 Les évènements

L'évènement est une soupape d'échappement située à la partie supérieure du filtre pour évacuation de secours.

II.2.1.5 Filtre-régulateur

Avant son entrée vers les différents actionneurs pneumatiques, l'air doit être filtré et séché, et sa pression régulée pour qu'il soit correctement utilisé, dans notre cas les actionneurs en question sont des vannes pneumatiques, dont l'air est issu du filtre régulateur.



Figure II.5 : Filtre Régulateur.

II.2.1.6 Les mélangeurs statiques

Les mélangeurs statiques sont conçus pour assurer les mélanges des liquides dans le traitement des eaux, des industries chimiques et agro-alimentaires. Ils sont utilisés dans les process en continu, et assurent des mélanges rapides et particulièrement efficaces entre les fluides, assurant ainsi une solution homogène à la sortie.



Figure II.6 : Un mélangeur statique.

II.2.2 Identification des instruments

L'installation est équipée d'un ensemble d'instruments qui jouent un rôle très important dans le fonctionnement, on trouve :

- Débitmètre ;
- débitmètre magnétique ;
- transmetteur de niveau ;
- indicateur de pression ;
- indicateur et transmetteur de pression ;
- transmetteur de pression ;
- transmetteur de pression différentielle.

II.2.2.1 Débitmètre

De manière générale les débitmètres sont utilisés pour la mesure du débit de vapeur, de gaz ou de liquide. Mais aussi dans la régulation et le dosage.

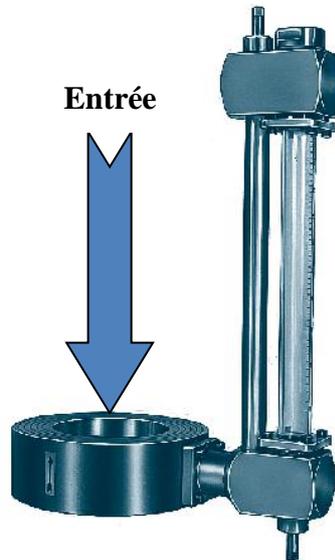


Figure II.7 : Un débitmètre.

II.2.2.2 Débitmètre magnétique

Un débitmètre magnétique est un débitmètre volumétrique qui ne possède pas de pièces mobiles, et qui est idéal pour utilisation avec les eaux usées, ou tout liquide sale qui est conducteur ou à base d'eau. Les débitmètres magnétiques, en général, ne fonctionnent pas avec les hydrocarbures, l'eau distillée et de nombreuses solutions non aqueuses. Les débitmètres magnétiques sont également idéals pour les appareils qui ont besoin d'une chute de pression faible et peu d'entretien [7].



Figure II.8 : Un débitmètre magnétique.

- **Principe de fonctionnement d'un débitmètre magnétique**

Le fonctionnement d'un débitmètre magnétique ou d'un capteur électromagnétique est basé sur la loi de Faraday, qui stipule que la tension induite dans un conducteur lorsqu'il se déplace à des angles droits à travers un champ magnétique est proportionnelle à la vitesse de ce conducteur [7]. Les principaux utilisateurs de ce principe de mesure sont les industries des eaux et eaux usées, de la chimie, de la pharmacie, de la papeterie, de l'agroalimentaire.

II.2.2.3 Transmetteur de niveau

C'est une sonde de niveau qui est utilisée pour la mesure hydrostatique de niveau dans des réservoirs. Lorsqu'on plonge la sonde de niveau dans un liquide, il se forme une colonne de liquide au-dessus de celle-ci. Cette colonne augmente lorsque la profondeur d'immersion augmente et elle exerce avec son poids une pression hydrostatique sur le système de mesure [8]. La figure II.9 illustre une sonde de niveau :



Figure II.9 : Sonde de niveau.

II.2.2.4 Indicateur de pression

Les indicateurs de pression sont employés pour la mesure de pression des liquides et des gaz dans le cas où ces derniers ne sont pas fortement visqueux ou cristallisés.



Figure II.10 : Un indicateur de pression.

On peut résumer son fonctionnement comme suit : La pression du milieu agit directement sur le tube du bourdon dont l'extrémité libre fait tourner l'indicateur [8].

II.2.2.5 Indicateur et transmetteur de pression

Ces capteurs sont employés pour la mesure et la transmission de pression. L'élément de bourdon rétréci sous pression, son mouvement est converti par un capteur inductif en signal électrique. Les transmetteurs de pression conviennent à tous les liquides et les gaz qui ne sont pas fortement visqueux, et sont appropriés aux médias et en atmosphères corrosives [8].



Figure II.11 : Un transmetteur et indicateur de pression [8].

II.2.2.6 Transmetteur de pression

Les transmetteurs de pression sont employés pour mesurer la pression d'un liquide ou d'un gaz, elles incorporent une jauge de contrainte d'une couche épaisse comme moyen de mesure. La pression est convertit en un signal électrique [8].



Figure II.12 : Un transmetteur de pression [8].

II.2.2.7 Transmetteur de pression différentielle

Ce type de transmetteur mesure une différence de pression d'un liquide ou gaz entre deux points donnés d'une canalisation.

La différence de pression est convertie en signal de sortie analogique [8].



Figure II.13 : Un transmetteur de pression différentielle [8].

II.2.3 Identification des réceptifs

II.2.3.1 Groupes de dosages

Sur chaque groupe de dosage désigné par (**DS1, DS2, et DS3**) on effectue un contrôle de niveau de produit à doser, et on s'assure du bon fonctionnement des pompes de dosages.

a) Groupe de dosage du coagulant (DS1)

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites colloïdales. Ces particules peuvent rester en suspension dans l'eau durant une très longue période, et peuvent même traverser un filtre, l'injection du coagulant a pour but principal de faciliter leur agglomération.

Le groupe de dosage **DS1** est composé de :

- Réservoir en polyéthylène de 250lt.
- Une pompe de dosage, qui fonctionne en permanence avec l'arrivée de l'eau brute.

b) Groupe de dosage de l'hypochlorite de sodium (DS2)

A l'entrée des filtres à sable, de l'hypochlorite de sodium est dosée et injecté à l'eau brute arrivée du forage, afin de prévenir toute prolifération de bactéries au niveau de l'unité. De même le dosage en continu du chlore permet la régénération du manganèse.

Le groupe de dosage **DS2** est composé de :

- Réservoir en polyéthylène de 500lt.
- Deux pompes de dosage, l'une fonctionne en continu et l'autre est réglée selon la saison.

c) Groupe de dosage du floculant (DS3)

Le floculant améliore le rendement du filtre, facilite le nettoyage de l'eau, améliore l'efficacité de sa désinfection. Cette méthode de traitement est préconisée quand la filtration n'empêche pas la formation de particules flottantes (l'eau trouble). La floculation est un procédé chimique qui permet de rassembler toutes les particules les plus infimes pour qu'elles forment de plus grosses particules et qu'elles soient ensuite filtrées.

Le groupe de dosage **DS3** est composé de :

- Réservoir en polyéthylène de 250lt.
- Une pompe de dosage, qui fonctionne en permanence avec l'arrivée de l'eau brute.

II.2.3.2 Bassins de filtration

Dans le processus de filtration, l'élément clef est le filtre. Dans notre cas l'eau brute alimente dix bassins filtrants sous pression en acier de 2.4 m de diamètre et d'un volume de 8500 litres chacun.

La filtration se passe à travers un média qui est constitué de :

- Pyrolusite
- Le sable « quartz » : sert de support principal pour le premier lit.
- Le gravier : situé dans la partie inférieure du média, le gravier sert de support pour les deux lits (pyrolusite, sable) et constitue des ports par lesquels s'infiltrer l'eau.

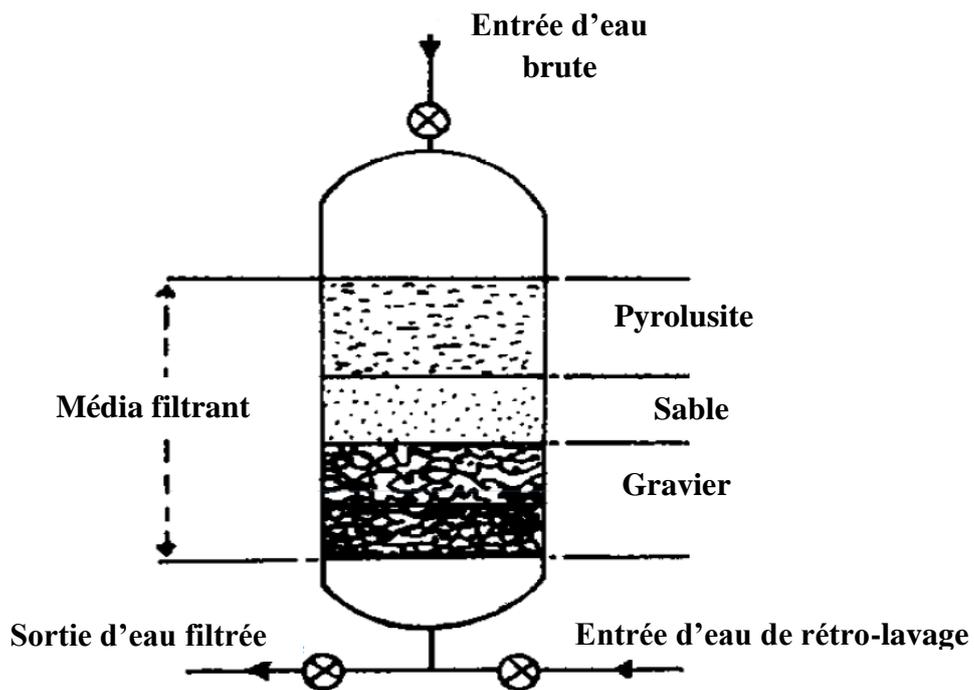


Figure II.14 : Schéma du média filtrant d'un filtre à sable.

II.2.3.3 Le réservoir d'eau filtrée

L'eau ainsi filtrée est stockée dans un réservoir en acier d'une capacité de 2000 m^3 . En fonctionnement normal de la station, le réservoir est rempli à raison de $475 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figure II.15 : Un réservoir de stockage d'eau.

II.3 Introduction au bilan énergétique

Afin de déterminer la puissance absorbée sur le réseau, nous devons établir un bilan de puissance. Pour cela on procède d'abord au calcul de la puissance totale de l'installation, dont on tire la puissance réellement utilisée, en tenant compte :

- Du coefficient d'utilisation des récepteurs, car ils ne sont généralement pas utilisés à pleine puissance.
- Du coefficient de simultanéité par groupes de récepteurs car ils ne fonctionnent pas tous ensemble.

II.4 Détermination de la puissance d'une installation

La puissance d'une installation n'est pas la somme arithmétique de celle de tous les récepteurs. Sa détermination nécessite de connaître les puissances et les localisations des récepteurs pour accéder à la puissance d'utilisation et à la détermination de la puissance du transformateur nécessaire [9].

On procède donc en général de la manière suivante, en déterminant :

II.4.1 Puissance installée

La puissance active installée, dans une entreprise représente la somme des puissances actives de tous les récepteurs [10]. Cette puissance servira ensuite, au calcul des puissances réellement consommées et ce, en utilisant le facteur d'utilisation et de simultanéité correspondant à chaque niveau de l'installation et dont les définitions sont données ci-après.

II.4.2 Puissance Utilisée

Du fait que les récepteurs ne fonctionnent pas tous ni en même temps ni à pleine charge, des facteurs de simultanéité (K_S) et d'utilisation (K_U) permettant de pondérer la puissance apparente maximale réellement absorbée par chaque récepteur et groupe de récepteur. La puissance d'utilisation P_U (KVA) est la somme arithmétique de ces puissances apparentes valorisées [9].

a) Facteur d'utilisation K_U

Le régime de fonctionnement normal d'un récepteur peut être tel que sa puissance utilisée soit inférieure à sa puissance nominale installée, d'où la notion du facteur d'utilisation. Le facteur d'utilisation s'applique individuellement à chaque récepteur. Ceci se vérifie pour des équipements comportant des moteurs susceptibles de fonctionner en dessous de leurs pleines charges.

Dans une installation industrielle, ce facteur peut être estimé en moyenne à 0.75 pour les moteurs. Pour l'éclairage et le chauffage, il sera toujours égal à 1, pour les prises de courant, tout dépend de leur destination (**Tableau II.1**).

b) Facteur de simultanéité K_S

Tous les récepteurs installés ne fonctionnent pas simultanément. C'est pourquoi il est permis d'appliquer aux différents ensembles de récepteurs (ou de circuits) des facteurs de simultanéité. Le facteur de simultanéité s'applique à chaque regroupement des récepteurs (exemple au niveau d'un tableau terminal, d'un tableau divisionnaire, d'une armoire...). La détermination de ces facteurs de simultanéité implique la connaissance détaillée de l'installation et de ses conditions d'exploitation. Des valeurs précises applicables à tous les cas ne peuvent donc pas être précisées [9].

Les normes NF C 14-100, NF C 63-410 et le guide UTEC 15-105 donnent des indications sur ces facteurs selon le nombre de récepteurs (**Tableau II.2**).

Tableau II.1 : Facteur d'utilisation.

Utilisation	Facteurs d'utilisation K_U
Eclairage	1
Moteur électrique	0.75
Prises de courant (n : nombre de prise de courant alimenté par le même circuit)	0.1+(0.9/n).....Si $n \leq 6$ 0.6..... Si $n > 6$

Tableau II.2 : Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs.

Nombre de récepteurs	Facteurs de simultanéité K_S
1 à 3	0.9
4 à 5	0.8
5 à 9	0.7
10 et plus	0.6

c) Facteur d'extension K_e

Le rôle du facteur d'extension, appelé aussi facteur de réserve, est de prévoir une augmentation de la puissance absorbée. Rarement utilisé sur des circuits terminaux, mais plutôt sur un ensemble de plusieurs départs comme un coffret ou une armoire électrique.

Le coefficient varie de 1 à 1,3. Pour les installations industrielles on prend généralement 1,2 qui sera le cas pour notre travail.

- Schéma de la station à alimenter

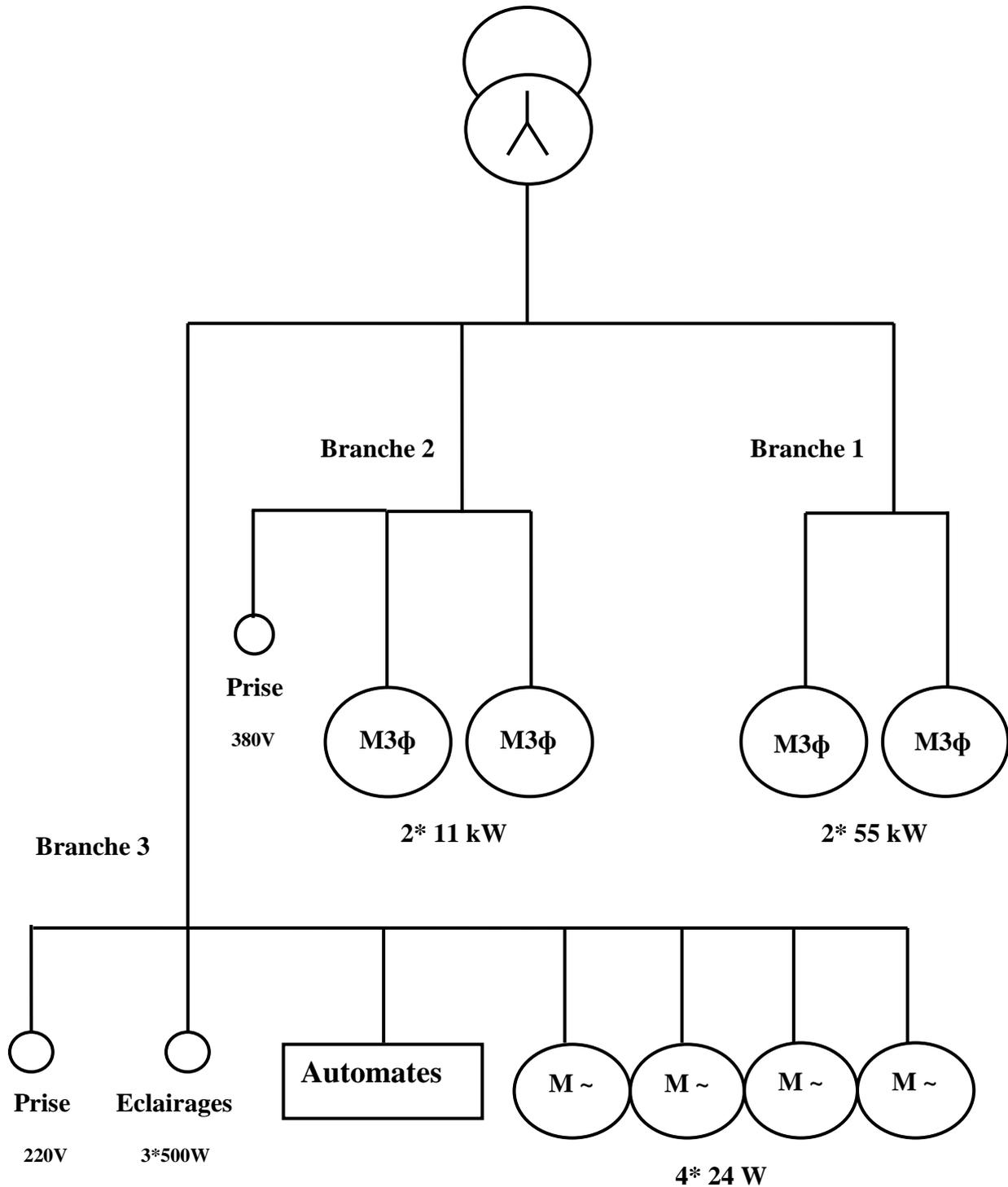


Figure II.16 : Schéma d'alimentation.

II.5 Calcul des puissances

La connaissance des paramètres du fonctionnement au régime nominal indiqué sur la plaque signalétique d'un moteur, sont nécessaire pour la détermination de sa puissance électrique nominale absorbée. Pour les moteurs ayant toute les plaques signalétiques, on utilise directement les formules suivantes :

La puissance active

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U_a \cdot I_a \cdot \cos(\varphi) \quad (1)$$

La puissance réactive

$$Q_a = \sqrt{3} \cdot U_a \cdot I_a \cdot \sin(\varphi) \quad (2)$$

La puissance apparente

$$S_a = \sqrt{P_a^2 + Q_a^2} \quad (3)$$

Le rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (4)$$

II.5 .1 Applications

1) Pour la pompe de filtration (P100, ou P101) :

D'après leur plaque signalétique on a :

$$\cos(\varphi) = 0.87$$

$$I = 98 \text{ A}$$

$$U = 400 \text{ V}$$

D'après l'équation (1) :

$$P_{a1} = P_{a2} = \sqrt{3} * 400 * 98 * 0.87$$

$$P_{a1} = P_{a2} = 59069.861 \text{ W}$$

D'après l'équation (2) :

$$Q_{a1} = Q_{a2} = \sqrt{3} * 400 * 98 * 0.49$$

$$Q_{a1} = Q_{a2} = 33269.232 \text{ VAR}$$

D'après l'équation (3) :

$$S_{a1} = S_{a1} = \sqrt{59069.861^2 + 33269.232^2}$$

$$S_{a1} = S_{a2} = 67794.314 \text{ VA}$$

2) Pour les pompes du rétro-lavage (P102, ou P103)

D'après leur plaque signalétique on a :

$$\cos(\varphi) = 0.86$$

$$I = 20.8 \text{ A}$$

$$U = 380 \text{ V}$$

D'après l'équation (1) :

$$P_{a3} = P_{a4} = \sqrt{3} * 380 * 20.8 * 0.86$$

$$P_{a3} = P_{a4} = 11773.511 \text{ W}$$

D'après l'équation (2) :

$$Q_{a3} = Q_{a4} = \sqrt{3} * 380 * 20.8 * 0.51$$

$$Q_{a3} = Q_{a4} = 6981.966 \text{ VAR}$$

D'après l'équation (3) :

$$S_{a3} = S_{a4} = \sqrt{11773.511^2 + 6981.966^2}$$

$$S_{a3} = S_{a4} = 13688.075 \text{ VA}$$

3) Pour les pompes doseuses (DP101, DP201, DP202, DP301)

Toutes les pompes doseuses sont identiques. D'après leur plaque signalétique on a :

$$\cos(\varphi) = 0.87$$

$$\eta = 94.3\%$$

$$Pu = 24 \text{ W}$$

D'après l'équation (4) :

$$P_{a5} = \frac{24}{0.943}$$

$$P_{a5} = 25.45 \text{ W}$$

On a:

$$Q_a = P_a \cdot \tan(\varphi) \tag{5}$$

$$Q_{a5} = 25.45 * 0.56$$

$$Q_{a5} = 14.25 \text{ VAR}$$

D'après l'équation (3)

$$S_{a5} = \sqrt{25.45^2 + 14.25^2}$$

$$S_{a5} = 29.17 \text{ VA}$$

II.5.2 Tableau récapitulatif des puissances de l'installation

Les résultats de calcul des puissances nominales des récepteurs de la station sont représentés dans le **tableau II.3**

Tableau II.3 : Bilan de puissance installée.

Pompes	P_a (W)	Q_a (VAR)	S_a (VA)
P100	59069.861	33269.232	67794.314
P101	59069.861	33269.232	67794.314
P102	11773.511	6981.966	13688.075
P103	11773.511	6981.966	13688.075
DP101	25.45	14.25	29.17
DP201	25.45	14.25	29.17
DP201	25.45	14.25	29.17
DP301	25.45	14.25	29.17
Automates	200	0	200
Eclairages	1500	0	1500
Prise 220V	2816	2112	3520
Prise 380V	17736.20	13302.15	22170.25
Total	164040.544	95973.546	190053.2

II.6 Calcul de la puissance d'utilisation

II.6.1 la puissance utile d'une charge P_{ui}

L'estimation de la puissance réellement absorbée par une charge électrique tient compte du taux de charge du récepteur par rapport à sa puissance nominale. Ainsi, la détermination de cette puissance nécessite une bonne connaissance du facteur d'utilisation [9].

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{ui} = K_u * P_n \quad (6)$$

Avec P_{ui} : Puissance utile demandée.

P_n : Puissance nominale.

K_u : Facteur d'utilisation.

II.6.2 Puissance utile dans une branche P_{uj}

Cette puissance est déterminée en établissant la somme de toutes les puissances utiles du groupe de récepteur alimentés par la même branche, multipliée par les facteurs de simultanéité correspondant [10].

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{uj} = K_{sj} * \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (7)$$

Avec P_{uj} : Puissance utile dans une branche.

K_{sj} : Facteur simultanéité.

n : Nombre de récepteurs

Cette puissance nous servira ensuite, au calcul de la puissance à prévoir au poste de transformation, et on prend en compte l'évolution de la charge.

$$P_{ut} = K_e * \sum_{j=1}^n P_{uj} \quad (8)$$

Avec P_{ut} : Puissance utile totale dans l'installation.

K_e : Facteur d'extension.

Les résultats de calcul de la puissance utilisée sont inscrits dans le **tableau II.4**

Tableau II.4 : Bilan de puissance utilisé.

N°	K_u	P_{ui} (w)	Q_{ui} (var)	S_{ui} (va)	P_{uj} (w)	Q_{uj} (var)	S_{uj} (va)
1	0.75	44302.39	24951.92	50845.75			
2	0.75	44302.39	24951.92	50845.75			
Bra 1	$K_s=0.9$	88604.79	49903.85	101691.71	79744.31	44913.46	91522.53
3	0.75	8830.13	5236.47	10266.05			
4	0.75	8830.13	5236.47	10266.05			
5	1	17736.20	13302.15	22170.25			
Bra 2	$K_s=0.9$	35396.46	23775.09	42639.94	31856.81	21397.59	38375.94
6	0.75	19.09	10.69	21.88			
7	0.75	19.09	10.69	21.88			
8	0.75	19.09	10.69	21.88			
9	0.75	19.09	10.69	21.88			
10	1	100	0	100			
11	1	100	0	100			
12	1	500	0	500			
13	1	500	0	500			
14	1	500	0	500			
15	1	2816	2112	3520			
Bra 3	$K_s=0.6$	4592.36	2154.76	5072.75	2755.42	1292.86	3043.65
TOTAL		128593.61	75833.7	149288.53	114356.54	67603.91	132844.67

On calcul la puissance utile totale de l'installation, en introduisant le facteur d'extension K_e qui est égal à 1,2 et on obtient les résultats dans le **tableau II.5** :

Tableau II.5 : Bilan de puissance utile totale.

Charges	P_{ut} (w)	Q_{ut} (var)	S_{ut} (va)
U.pré-filtraton	137227.85	81124.69	159413.61

On rajoute une marge de sécurité de 20% à la puissance calculée afin de dimensionner le transformateur

$$S_{ut} = (0.2 * 159413.61) + 159413.61$$

$$S_{ut} = 191296.33 \text{ VA}$$

II.6.3 Calcul du facteur de puissance de l'installation

Le facteur de puissance est le quotient de la puissance active totale consommée et de la puissance apparente totale fournie.

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (9)$$

D'après l'équation (9) : On trouve:

$$\cos(\varphi) = \frac{137227.85}{159413.61} = 0.861$$

II.7 Caractéristique du transformateur

Dans une entité de fabrication, il est nécessaire d'installer un transformateur d'énergie électrique, qui sera directement branché sur le réseau moyen tension de la SONALGAZ afin de transformer la tension et le courant pour un usage bien spécifique.

II.7.1 Définition d'un transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement.

II.7.2 Choix et dimensionnement de transformateur

Surdimensionné un transformateur entraîne un investissement excessif et des pertes à vide inutiles. Mais la réduction des pertes en charge peut être très importante.

Sous-dimensionner un transformateur entraîne un fonctionnement quasi permanent à pleine charge et souvent en surcharge avec des conséquences en chaîne :

- Rendement inférieur (c'est de 50 à 70% de sa charge nominale qu'un transformateur a le meilleur rendement)
- Echauffement des enroulements, entraînant l'ouverture des appareils de protection et l'arrêt plus ou moins prolongé de l'installation
- Vieillesse prématurée des isolants pouvant aller jusqu'à la mise hors service du transformateur.

Le réseau moyenne tension délivre 30 KV, et au sein du projet on a choisi un transformateur de puissance normalisée supérieure à 191.296 KVA qui est de 250 KVA avec une tension secondaire de 400V

II.7.2.1 Calcul du rapport de transformation

Pour le calcul du rapport de transformation, on utilise la formule suivante, tout en supposant que le primaire et le secondaire ont le même couplage :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (10)$$

Avec U_1, U_2 : tension primaire et secondaire respectivement du transformateur.

I_1, I_2 : courant primaire et secondaire respectivement du transformateur.

N_1, N_2 : nombre de spire au primaire et au secondaire du transformateur.

D'après l'équation (10) : On trouve

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{400}{30000} = \frac{1}{75} = 0.0133$$

II.7.2.2 Calcul du courant secondaire

On a:

$$S = \sqrt{3} * U_2 * I_2 \quad (11)$$

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{250000}{\sqrt{3} * 400} = 360.84 \text{ A}$$

II.7.2.3 Calcul du courant au primaire

D'après l'équation (10) : On trouve

$$I_1 = m * I_2 = 0.0133 * 360.84$$

$$I_1 = 4.8 \text{ A.}$$

➤ Résumé

Après avoir effectué le bilan de puissance, le transformateur nécessaire pour l'installation de la station de pré-filtration doit être comme suit :

- ✓ Puissance apparente $S = 250 \text{ KVA}$
- ✓ Tension primaire $U = 30 \text{ KV}$
- ✓ Tension secondaire $U = 400 \text{ V}$
- ✓ Courant primaire $I_1 = 4.8 \text{ A}$
- ✓ Courant secondaire $I_2 = 360.84 \text{ A}$
- ✓ Rapport de transformation $m = 0.0133$

II.8 Dimensionnement des disjoncteurs

II.8.1 Définition d'un disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil de protection capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales et anormales jusqu'à son pouvoir de coupure.

II.8.2 Protection par disjoncteur

Un disjoncteur est un interrupteur à ouverture automatique, qui assure la protection d'une installation contre les surcharges, les courts circuits, les défauts d'isolements, par ouverture rapide du circuit en défaut. Il remplit aussi la fonction de sectionnement (isolement d'un circuit). Les disjoncteurs sont essentiellement destinés à la protection des circuits, des transformateurs, des sources d'énergie, des moteurs, des couplages entre différents circuit.

II.8.3 Caractéristique d'un disjoncteur basse tension

Les caractéristiques à prendre dans le choix d'un disjoncteur sont :

- ✓ **La tension assignée (U_e)** : ou tension d'utilisation.
- ✓ **Le courant assigné (I_n)** : courant d'utilisation dans les conditions normales.
- ✓ **Le nombre de pôles** : les schémas des liaisons à la terre et la fonction requise (protection, commande, sectionnement) détermine le nombre de pôles.
- ✓ **Le pouvoir de coupure (PdC)** : ou courant maximal ($I_{cc \text{ max}}$) que peut couper l'appareil.
- ✓ **La courbe de déclenchement** : variation du temps de déclenchement en fonction du rapport I/I_n .



Figure II.17 : Disjoncteur magnétothermique.

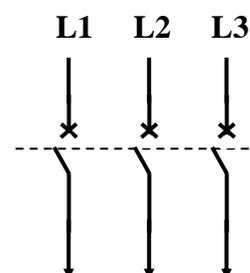


Figure II.18 : Symbole d'un disjoncteur tripolaire.

II.8.4 Les différents types de disjoncteurs

Parmi les différents types existants on cite [11] :

II.8.4.1 Disjoncteur différentiel

Le disjoncteur différentiel à courant résiduel est utilisé, en particulier, chez chaque abonné. Son rôle principal est la protection des personnes contre les contacts indirectes (fuites de courant à la terre).

a) Principe de fonctionnement

Le dispositif différentiel comporte un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés le ou les circuits des phases et du neutre. En l'absence de fuite ou de courant résiduel de défaut, les flux produits par les bobines s'annulent, il ne se passe rien. Si un défaut survient, le courant résiduel de défaut produit un déséquilibre des flux dans les bobines et un flux magnétique dans le tore apparaît. La bobine de mesure est le siège d'une force électromotrice (f.e.m) qui alimente un petit électro-aimant provoquant le déverrouillage du disjoncteur.

b) Disposition schématique

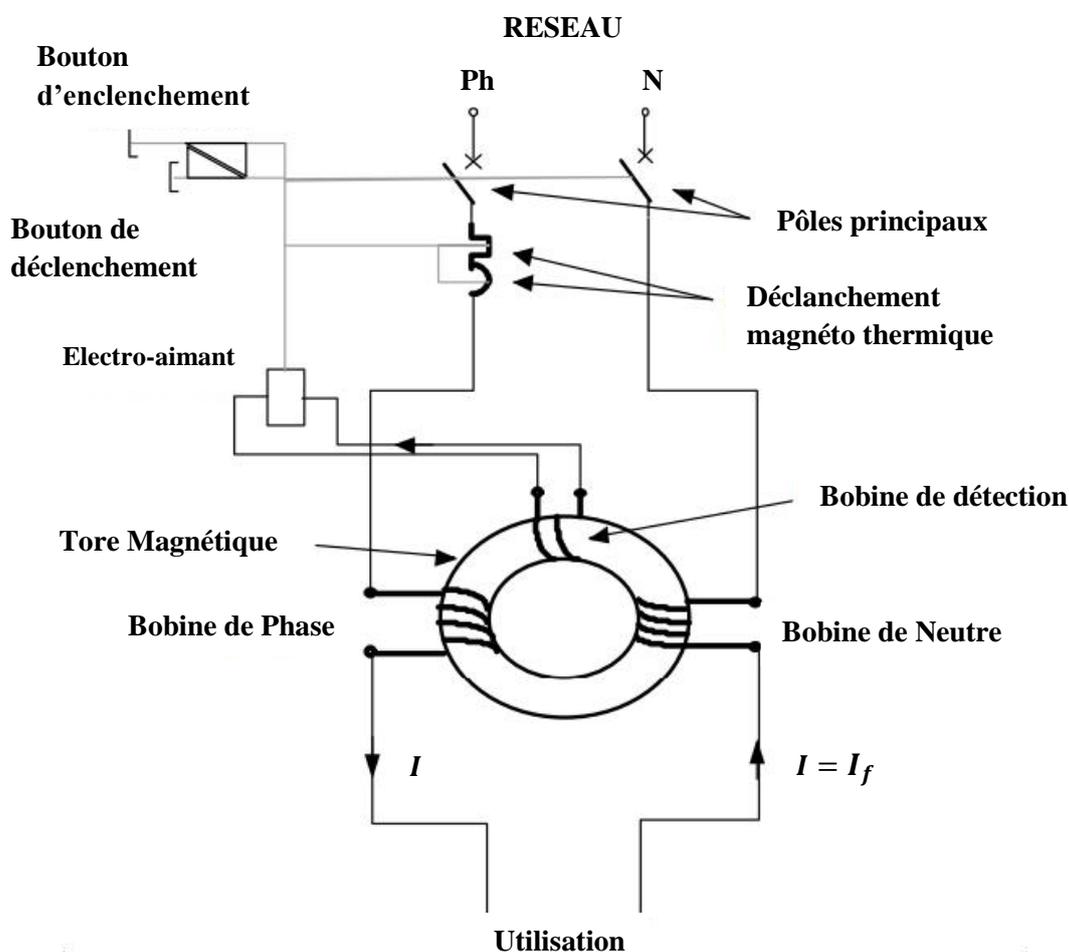


Figure II.19 : Disjoncteur différentiel.

Le système est analogue en triphasé mais comprend quatre bobines sur le tore (3 phases + neutre).

c) Seuil de réglage

On appelle courant de seuil le courant de réglage du disjoncteur différentiel ΔI_n . Il existe une incertitude sur le courant de déclenchement.



On peut, dans certains cas, avoir des courants de fuite qui ne correspondent pas à un défaut sur la partie protégée. Pour éviter un déclenchement intempestif du DDR, il faut que le courant de fuite "normal" soit inférieur à $\Delta I_n/2$.

d) Temps de déclenchement

Le temps de déclenchement du DDR est d'autant plus court que le courant de défaut est supérieur au courant de réglage.

Il existe plusieurs classes de DDR en fonction de leur temps de fonctionnement (déclenchement + coupure).

D'autre part, pour des raisons de sélectivité, il peut être nécessaire de retarder un déclenchement. Il y a deux types de retard :

- 50 ms de retard.
- 400 ms de retard.

II.8.4.2 Disjoncteur magnétothermique

C'est un appareil capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit.

- Disjoncteur magnétique : protection contre les courts circuits.
- Disjoncteur thermique : protection contre les surcharges
- Disjoncteur magnétothermique (assure les deux fonctions ci-dessus).

Il existe une multitude de types et de marques, mais ils fonctionnent tous selon le même principe.

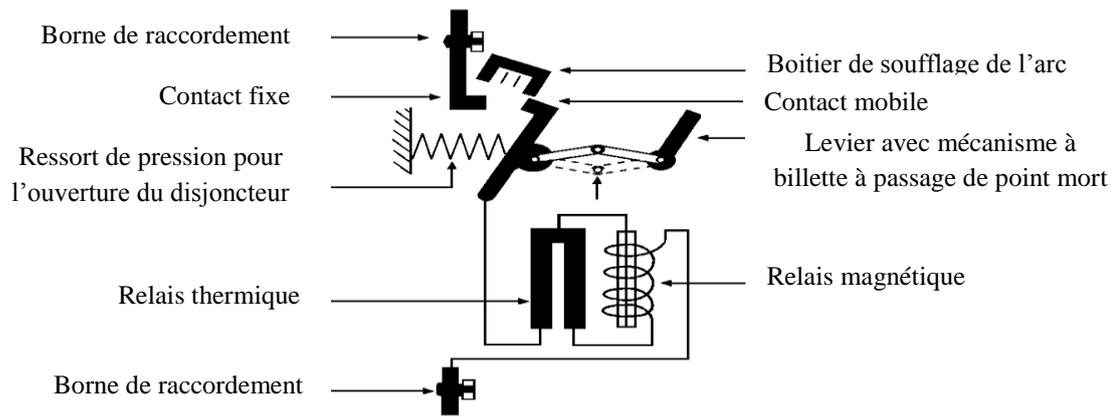


Figure II.20 : Schéma général du disjoncteur magnétothermique.

a) Principe de fonctionnement

Le disjoncteur assure la protection des canalisations selon deux principes :

- Thermique.
- Magnétique.

a. 1) Thermique :

Une lame bimétallique (bilame) est parcourue par le courant. Le bilame est calibré de telle manière qu'avec un courant nominal I_n , elle ne subisse aucune déformation. Par contre si des surcharges sont provoquées par les récepteurs, en fonction du temps, la lame va se déformer et entraîner l'ouverture du contact en 0.1 sec au minimum. Une surcharge de courant crée l'échauffement et la déformation du bilame.

a. 2) Magnétique

En service normal, le courant nominal circulant dans la bobine, n'a pas assez d'influence magnétique (induction magnétique) pour pouvoir attirer l'armature mobile fixée sur le contact mobile. Le circuit est fermé. Si un défaut apparaît dans le circuit aval du disjoncteur de canalisation, l'impédance du circuit diminue et le courant augmente jusqu'à atteindre la valeur du courant de court-circuit. Dès cet instant, le courant de court-circuit provoque une violente aimantation de l'armature mobile. Cela a comme conséquence l'ouverture du disjoncteur en 0.1 sec au maximum.

➤ Calibres normalisés des disjoncteurs:

2A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 63A, 80A, 100A, 125A, 160A, 200A, 250A, 400A, 630A, 800A, 1000A, 1250A [11].

II.8.5 Courbe de déclenchement du disjoncteur

- 4) **Courbe B** : Protection des générateurs, des personnes et grandes longueurs de câbles (en régime TN et IT).
- 5) **Courbe C** : Protection des câbles alimentant des récepteurs classiques.
- 6) **Courbe D** : Protection des câbles alimentant des récepteurs à fort courant d'appel [12].

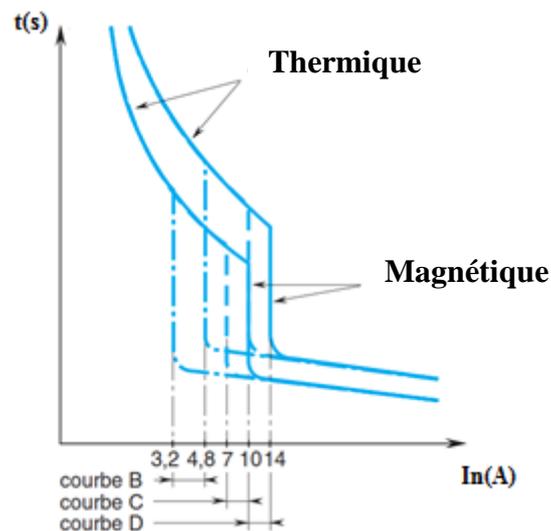


Figure II.21 : Courbe de déclenchement du disjoncteur magnétothermique.

II.9 Choix des disjoncteurs

Pour choisir le calibre adéquat, on ajoute une marge de 10% à 15% au courant calculé.

II.9.1 Disjoncteur de tête

C'est le disjoncteur directement en aval du transformateur. D'après les calculs, on a trouvé le courant au secondaire : $I_2 = 360.84 \text{ A}$.

La valeur normalisée du disjoncteur de tête à utiliser sera donc égal à 400A.

II.9.2 Disjoncteur de la branche 1

On utilisant la relation suivante, on calcule le courant sur la branche

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (12)$$

$$\text{On aura : } I_{b1} = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{91522.534}{\sqrt{3} * 400} = 132.1 \text{ A}$$

La valeur normalisée du disjoncteur à utiliser est égal à 160A.

II.9.3 Disjoncteur de la branche 2

De la même méthode de calcul on obtient :

$$I_{b2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{38375.94}{\sqrt{3} \cdot 400} = 55.39A$$

La valeur normalisée du disjoncteur à utiliser est égal à 63A.

II.9.4 Disjoncteur de la branche 3

On utilisant la relation suivante, on calcule le courant sur la branche

$$S = U * I \tag{13}$$

$$I_{b3} = \frac{S}{U} = \frac{3043.65}{220} = 13.83A$$

La valeur normalisée du disjoncteur à utiliser est égal à 20A.

II.9.5 Disjoncteurs des récepteurs

II.9.5.1 Disjoncteur moteur d'alimentation

De la même méthode de calcul on obtient :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{67794.314}{\sqrt{3} \cdot 400} = 97.85A$$

La valeur normalisée du disjoncteur à utiliser pour chacun des deux moteurs d'alimentation est égal à 125A.

II.9.5.2 Disjoncteur moteur de rétro-lavage

De la même méthode de calcul on obtient :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{13688.075}{\sqrt{3} \cdot 400} = 19.76A$$

La valeur normalisée du disjoncteur à utiliser pour chacun des deux moteurs rétro-lavage est égal à 25A.

II.9.5.3 Disjoncteur prise 380V

- Pour la prise de 380V, nous avons choisi un disjoncteur de 32A.

II.9.5.4 Disjoncteurs des récepteurs de la 3^{ème} branche

- a) **Automates** : Ce sont des récepteurs alimentés avec un réseau monophasé de 220V et de petite puissance (200W) :

$$P = U.I \quad (13)$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200}{220} = 0.91A$$

On peut donc les précéder par un disjoncteur de 2A.

b) Eclairages

Trois projecteurs alimentés en 220V, la puissance absorbée de chacun est de 500W.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{500}{220} = 2.27A$$

On peut donc les précéder par un disjoncteur de 6A.

c) Les pompes doseuses

Quatre pompes de dosage alimentées en 220V, la puissance de chacune d'elles est de 29.17VA.

$$I = \frac{S}{U} = \frac{29.17}{220} = 0.13A$$

On les précède par des disjoncteurs de 2A.

d) Les prises

- Pour la prise de 220V, nous choisissons un disjoncteur de 16A.

II.10 Schéma unifilaire de l'installation

Transformateur 30KV/400V

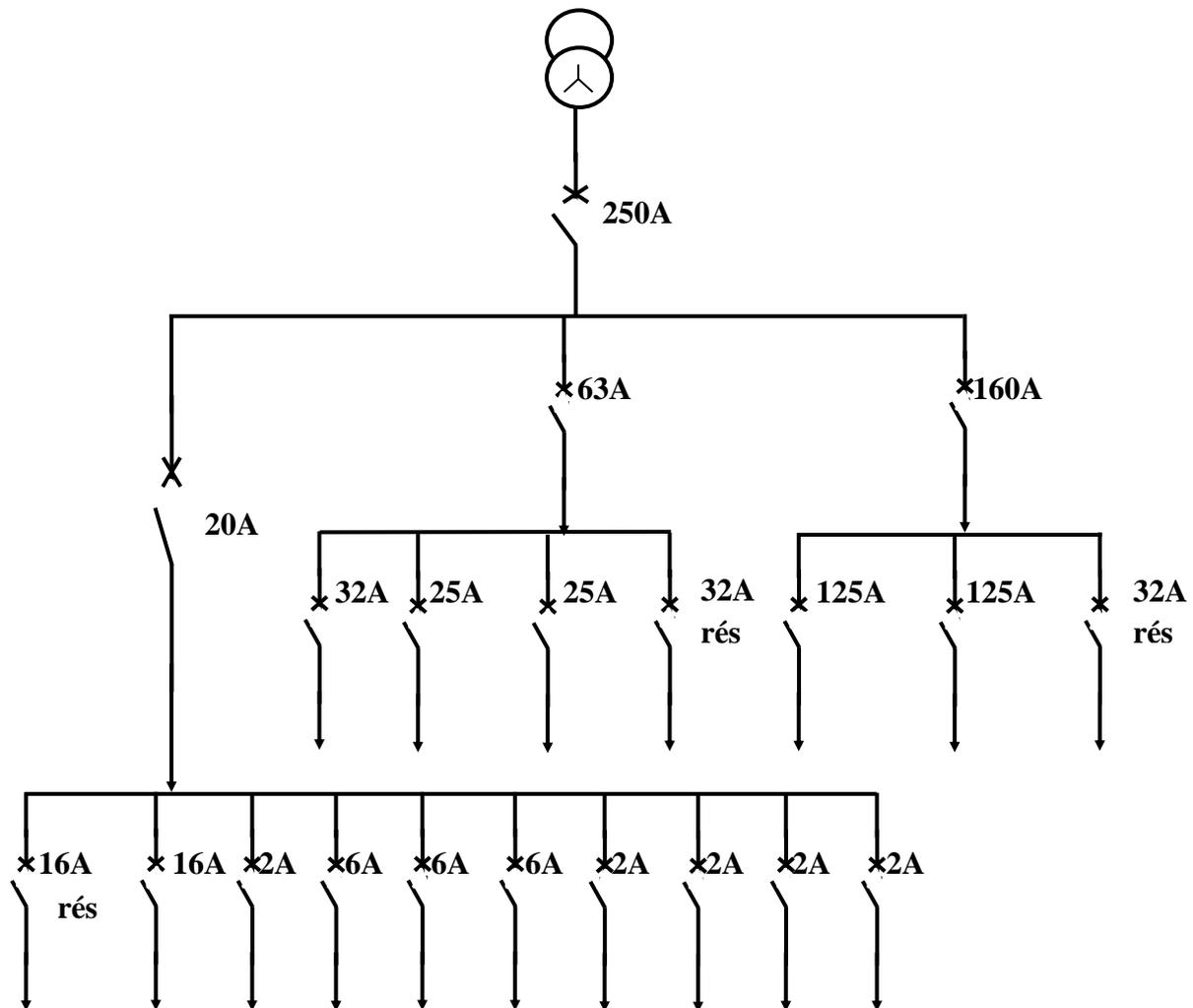


Figure II.22 : Schéma unifilaire de l'installation.

II.11 Conclusion

Afin d'alimenter la station en énergie électrique, on a calculé la puissance absorbée des différents récepteurs, et en utilisant les différents coefficients on a pu calculer leurs puissances utilisées, ainsi nous sommes arrivés à estimer le bilan global de l'installation.

Ce bilan nous a permis de choisir le transformateur adéquat à l'installation, ainsi que l'appareil de protection principal « disjoncteur de tête », et les différentes puissances nous ont servis pour le dimensionnement des disjoncteurs secondaires, des branches ainsi que des récepteurs.

L'identification des éléments de la station nous a facilité la compréhension de son fonctionnement. Ce qui nous permettra d'élaborer aisément son analyse fonctionnel qui sera l'objet du chapitre III.

Chapitre III

Description du process et élaboration de l'analyse fonctionnelle

III.1 Introduction

Dans le monde industriel, les exigences attendues de l'automatisation ont bien évolué. Avec la progression continue de la technologie, les critères demandés ne s'arrêtent pas uniquement à l'augmentation de la productivité, l'amélioration de la qualité du produit ou la diminution des coûts de production, mais concernent aussi l'amélioration des conditions de travail, l'accroissement de la sécurité et la suppression des tâches pénibles et répétitives.

La station de pré-filtration fonctionne selon un procédé plus ou moins complexe, la compréhension de ce dernier est donc fondamentale.

Après une description générale des systèmes automatisés, nous allons expliquer dans ce chapitre, le déroulement des différentes étapes de la filtration, puis on passera à l'élaboration de l'analyse fonctionnelle de la station et sa modélisation par un GRAFCET.

III.2 Systèmes automatisés**III.2.1 Définition de l'automatisation**

L'automatisation d'une production consiste à transformer l'ensemble des tâches de commande et de surveillance, réalisées par des opérateurs humains, dans un ensemble d'objets techniques appelés partie commande. Cette dernière mémorise le savoir faire des opérateurs, pour obtenir l'ensemble des actions à effectuer sur la matière d'œuvre, afin d'élaborer le produit final [13].

III.2.2 Objectif de l'automatisation

Hors les objectifs à caractères financiers on trouve :

- Eliminer les tâches répétitives ;
- Simplifier le travail de l'humain ;
- Augmenter la sécurité ;
- Accroître la productivité ;
- Economiser les matières premières et l'énergie ;
- S'adapter à des contextes particuliers ;
- Maintenir la qualité [13].

III.2.3 Structure d'un système automatisé

Tout système automatisé est composé de deux parties principales: partie opérative et partie commande. Ces deux parties s'échangent les informations entre elles à l'aide des capteurs et près-actionneurs.

- La partie opérative procède au traitement des matières d'œuvre afin d'élaborer le produit finale.
- La partie commande coordonne la succession des actions sur la partie opérative dans le but d'obtenir le produit final.

La communication entre la partie opérative et la partie commande se fait par l'intermédiaire d'une interface, cette dernière est constituée par l'ensemble de capteurs et pré-actionneurs [14].

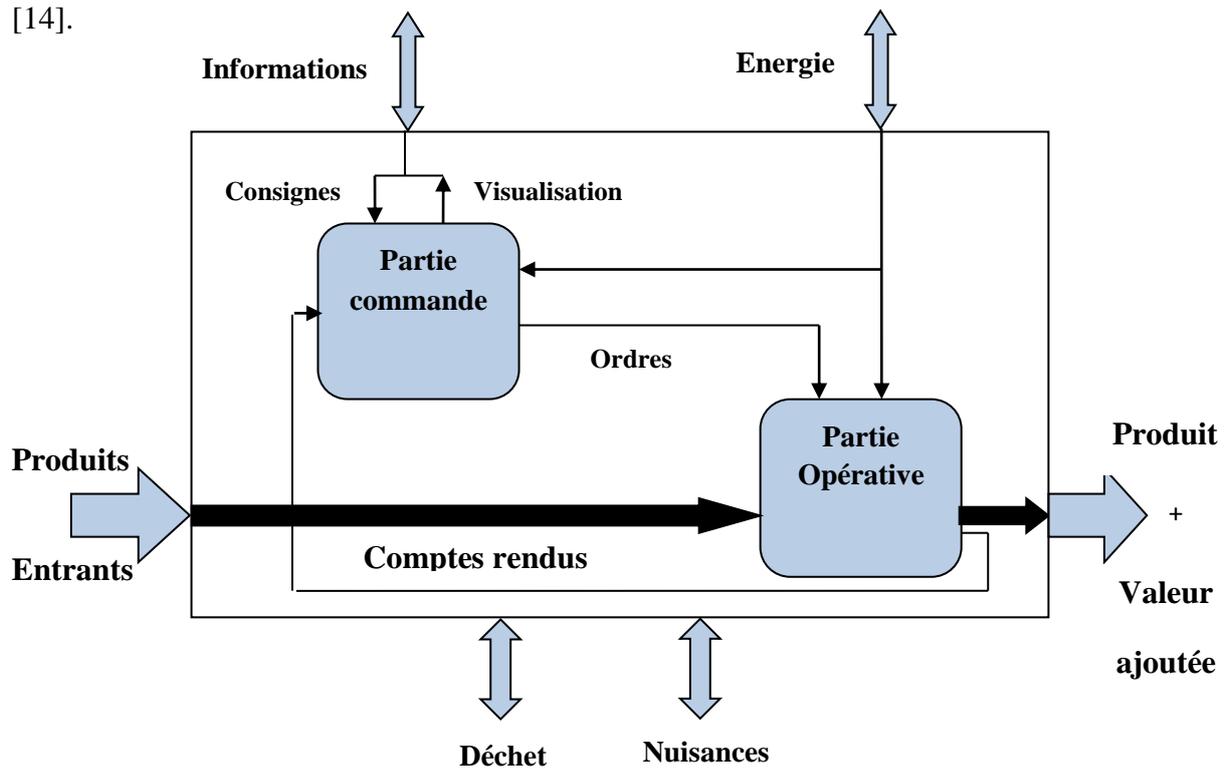


Figure III.1 : Structure d'un système automatisé [14].

III.3 GRAFCET

III.3.1 Définition

Le langage GRAFCET (GRAphe Fonctionnel de Commandes Etapes Transitions) a été introduit en 1977 par l'AFCEC (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique. La dernière norme date de 2002 (Norme internationale CEI « Commission électrotechnique internationale »).

Il s'agit d'un langage graphique permettant de définir le comportement séquentiel d'un système automatisé à partir de la connaissance des actions à entreprendre, associées à des variables de SORTIES, et des événements qui peuvent permettre le passage d'une situation à une autre, associés à des variables d'ENTREE [15].

III.3.2 Bases du langage Grafcet

- Des étapes, actions (figure III.2).
 - Caractérise un comportement de la partie commande.
 - Une étape est soit active soit inactive.
 - Action associée (facultatif).

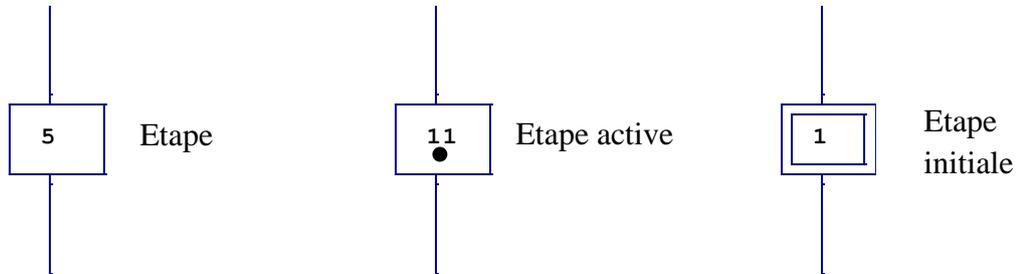


Figure III.2 : étapes, active, initiale.

- Des transitions, réceptivités (figure III.3).
 - Possibilité d'évolution entre les étapes ;
 - Validée lorsque les étapes précédentes sont actives ;
 - Réceptivité associée (condition logique).

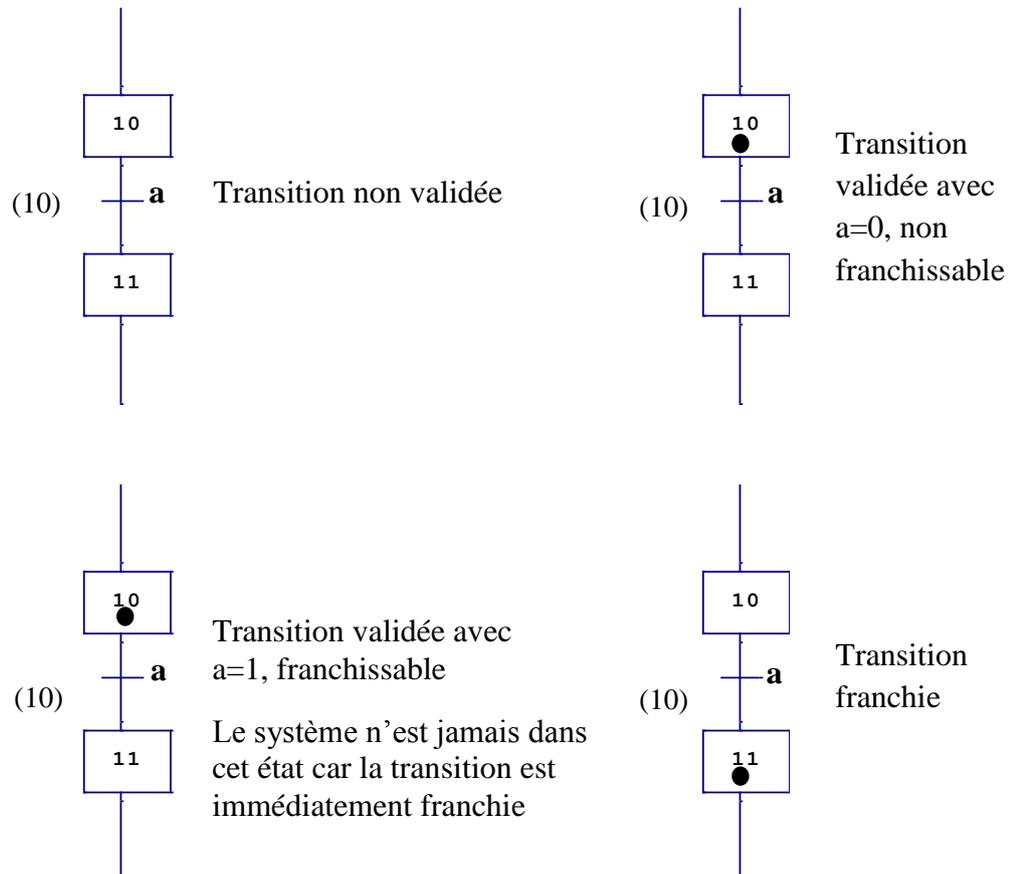


Figure III.3 : Franchissement d'une transition.

- Des liaisons orientées (arcs).
 - Liaison orientée (étape \longrightarrow transition, transition \longrightarrow étape).

III.3.3 Règles d'évolution d'un GRAFCET

- Situation initiale ;
- Franchissement d'une transition ;
- Evolution des étapes actives ;
- Evolutions simultanées ;
- Activation / Désactivation simultanées.

III.4 Description du processus de l'installation

III.4.1 Schéma global de la station

III.4.2 Fonctionnement d'un filtre

Le fonctionnement des dix filtres est identique, nous allons donc décrire le fonctionnement d'un seul filtre (**DFA 1**).

- a) **La filtration** : La filtration se fait par l'ouverture des vannes (**Va 11** et **Va 14**) qui sera transmis par des détecteur de fin de cours, et avec un débit qui varie selon l'état du filtre, en fonctionnement normal il est d'environ $40\text{m}^3/\text{h}$.
- b) **Le rétro-lavage** : Le rétro-lavage se fait par l'ouverture des vannes (**Va 12** et **Va 13**) qui sera aussi transmis par des détecteurs de fin de cours, et avec un débit très supérieur à celui de la filtration. Il est d'environ $110\text{m}^3/\text{h}$.
- c) **Le rinçage** : Le rinçage se fait par l'ouverture des vannes (**Va 11** et **Va 15**).

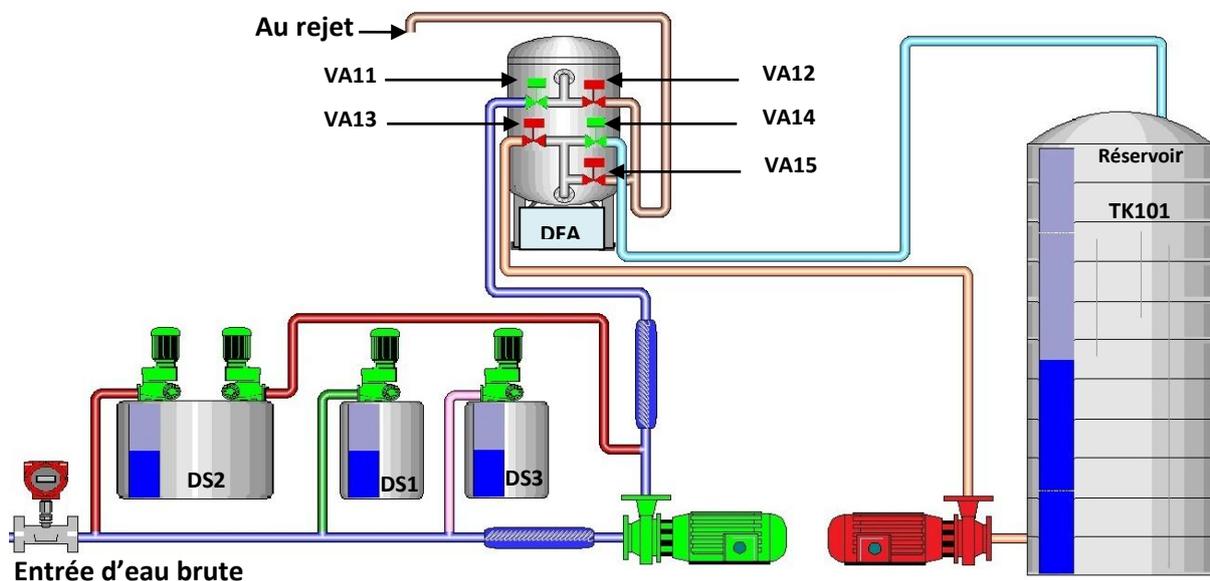


Figure III.5 : Schéma fonctionnel d'un filtre.

III.4.3 Procédure de filtration

L'eau brute est débitée du forage d'OUED-GHIR grâce au fonctionnement de deux, trois, ou quatre pompes selon le besoin et le degré d'utilisation de l'eau par le complexe.

Arrivée à la station, l'eau brute est détectée par : le transmetteur de flux (**FIT001**) qui en mesure le débit entrant, et un transmetteur de pression (**PT001**) qui en mesure la pression. Ceci enclenchera le fonctionnement des pompes doseuses (**DP101**, **DP201**, **DP202**, et **DP301**) si le débit atteint $100\text{m}^3/\text{h}$, et la pression 0.5 bar. L'eau poursuit son cheminement vers le premier mélangeur statique (**MX1**) puis vers les deux pompes (**P100**, **P101**) qui sera refoulée et détectée par le transmetteur de pression (**PT002**) qui a enclenché l'ouverture des

vannes de la filtration (étape **X81** du GRAFCET) à partir d'une pression de 1 bar. Le fonctionnement des deux pompes (**P100**, **P101**) dépend du débit entrant, lorsque le débit est au-dessous de 250m³/h et la pression à (**PT001**) inférieure à 1,5 bar, l'une des deux pompes est mise en marche, et elles permutent à chaque fois ces conditions sont vérifiées.

Après l'injection du flocculant (**DP301**), l'eau entre dans le deuxième mélangeur statique afin d'homogénéiser la solution avant sa distribution dans les dix filtres à sables (**DFA 1-10**).

L'eau ainsi filtrée est acheminée vers le réservoir (**TK101**) qui possède un transmetteur de niveau (**LT004**). Lorsque le réservoir atteint 80% de sa capacité, la filtration s'arrête en fermant les vannes d'entrées, et arrêtant les pompes doseuses (**DP101**, **DP201**, **DP202**, et **DP301**), et pompes d'alimentation si celles-ci sont enclenchées.

L'eau du réservoir est refoulée vers l'ancienne station de filtration puis vers l'unité osmose, la filtration reprend à l'instant où le niveau du réservoir diminue jusqu'à 50%.

Chaque groupe de dosage est équipé d'un transmetteur de niveau (**LT001**, **LT002**, **LT003**) qui indique le niveau des produits chimiques contenus dans les réservoirs (**V101**, **V102**, **V103**). Ces réservoirs sont remplis manuellement dès que le niveau atteint 20% de leurs capacités. Dans le cas contraire, ils continueront à diminuer jusqu'à atteindre 10%, l'arrêt de la filtration est enclenché afin de protéger les pompes doseuses.

III.4.4 Procédure du rétro-lavage

Un basculement des vannes de l'installation permet de passer en mode rétro-lavage. De l'eau filtrée du réservoir est prélevée et mise sous pression au sens contraire de la filtration et avec un débit largement supérieur à celui de la filtration afin de laver le média filtrant et d'éviter le colmatage des filtres.

A la sortie du réservoir, une des deux pompes démarre et refoule l'eau filtrée, avec un débit de 110 m³/h, et avec une pression qui sera détectée par le transmetteur de pression (**PT003**) qui enclenche l'ouverture des vannes de rétro-lavage du premier filtre dès celle-ci atteint 3 bar, durant 15 minutes et 10 secondes, pendant que le reste des filtres continue la filtration. Les deux pompes fonctionnent en permutation filtre par filtre.

A la fin de la durée destinée au rétro-lavage et au rinçage du premier filtre, les vannes de ce dernier se ferment pour passer à la filtration, pendant que le deuxième filtre passe en rétro-

lavage à son tour et ainsi de suite jusqu'au dixième filtre, l'eau qui y est issue est directement rejetée.

La station passe en rétro-lavage si l'un des deux critères suivant soit vérifié :

- a) **Critère de perte de charge** : un transmetteur de pression différentielle est mis au premier et au dixième filtre, afin de mesurer la perte de charge dans ces derniers, si la différence de pression atteint 0.5 bar sur l'un des deux, les filtres entre en rétro-lavage.
- b) **Critère chronométrique** : la procédure de filtration est fixée par l'opérateur selon la qualité de l'eau du forage. En général elle prend une durée de 14 heures, les filtres passent par la suite en rétro-lavage à la fin de ce compte à rebours, et ce même si un rétro-lavage par le premier critère c'est produit durant cette période.

III.4.5 Procédure du lavage final (le rinçage)

Le rétro-lavage se fait à contre-courant et avec un énorme débit, ce qui déstabilise le lit de filtration. Donc avant d'entamer de nouveau la filtration, la réorganisation du lit doit être faite, et cela avec de l'eau brute suivant le même cheminement que la filtration, mais l'eau qui y est issue est rejetée (vannes du rinçage). Le rinçage s'effectue en une durée de 5 minutes et 30 secondes, dans laquelle les moteurs (**P102, P103**) sont à l'arrêt.

Remarque : le fonctionnement de la station dépend aussi de la présence de l'air comprimé pour la commande des vannes pneumatiques, donc sa pression est obligatoirement mesurée (**PIT001**), et la pression de 5 bar est le seuil minimal de fonctionnement.

III.4.6 Mise en service de la station

Avant la mise en service de la station on doit :

- S'assurer que toutes les pompes ne sont pas en défauts, et sélectionnées en mode automatique.
- S'assurer que les vannes manuelles (**VF1...8**) sont ouvertes.

III.4.7 Défauts de fonctionnement

- **Défauts moteurs (pompes)**
 - Défaut disjoncteur : un mauvais contact au niveau du disjoncteur qui peut entraîner le non démarrage des pompes.
 - Défaut thermique : échauffement au niveau du bobinage du moteur.
- **Défaut d'arrêt d'urgence**
 - Pour des raisons de maintenance, le bouton d'arrêt d'urgence est enfoncé par mesure de sécurité. Cet état est aperçu comme un état de défaut qui entraîne l'arrêt total de la station.

III.5 Présentation du logiciel de programmation (AUTOMGEN) :

C'est un logiciel de conception et d'application d'automatisme. Il permet de programmer et de simuler des systèmes pilotés par des automates programmables industriels, microprocesseurs, ordinateurs équipés de cartes d'entrée-sorties. Il utilise les langages de programmations compatibles avec la norme CEI-1131-3. (Logigramme, Ladder, blocs Fonctionnels, Organigramme et Langage latérale, ainsi que le GRAFCET).

III.5.1 Élaboration du GRAFCET de la station

D'après l'analyse fonctionnelle de la station, on propose la solution suivante donnée sous forme de Grafcet.

L'approche fonctionnelle a été utilisée et elle nous a permis de construire des grafquets dédiés à chaque tâche (fonction) : GRAFCET d'alimentation en eau brute, GRAFCET de temporisation (14h), GRAFCET de permutation des pompes d'alimentation, GRAFCET de déclenchement du rétro-lavage, GRAFCET de permutation de pompes de rétro-lavage, GRAFCET de commande des pompes de rétro-lavage, GRAFCET de commande des vannes, GRAFCET de basculement des vannes **DFA 1-10**.

Le tableau des variables utilisé par AUTOMGEN est le suivant :

Tableau III.1 : Variables utilisées.

Symbole	Variable	Commentaire
On	I0	Bouton de mise en service de la station
FIT001 \geq 100	I1	Débit FIT001 \geq 100
PT001 $<$ 1.5	I2	Pression PT001 \leq 1.5
PT001 \geq 0.5	I3	Pression PT001 \geq 0.5

PT002>=1	I4	Pression PT002>=1
PT003>=3	I5	Pression PT003>=3
FIT001>=250	I6	Débit FIT001>=250
DPT001>=0.5	I7	Pression différentielle filtre DFA 1
DPT002>=0.5	I8	Pression différentielle filtre DFA 10
LT001>10	I9	Transmission niveau réservoir V101>10%
LT002>10	I10	Transmission niveau réservoir V102>10%
LT003>10	I11	Transmission niveau réservoir V103>10%
LT004>=80	I12	Transmission niveau réservoir TK101>=80%
LT004<=50	I13	Transmission niveau réservoir TK101<=50%
PT001>=1.5	I14	Pression PT001>=1.5
PIT001>=5	I15	Pression PIT001>=5
AutoP100	I16	P100 mise en Auto
AutoP101	I17	P101 mise en Auto
AutoP102	I18	P102 mise en Auto
AutoP103	I19	P103 mise en Auto
defP100	I20	Défaut pompe P100
defP101	I21	Défaut pompe P101
defP102	I22	Défaut pompe P102
defP103	I23	Défaut pompe P103
AU	I24	Arrêt d'urgence
AutoDP101	I25	DP101 mise en Auto
AutoDP201	I26	DP201 mise en Auto
AutoDP202	I27	DP202 mise en Auto
AutoDP301	I28	DP301 mise en Auto
P100	Q1	Démarrer pompe P100
P101	Q2	Démarrer pompe P101
P102	Q3	Démarrer pompe P102
P103	Q4	Démarrer pompe P103
Dp101	Q5	Démarrer pompe de dosage 101
Dp201	Q6	Démarrer pompe de dosage 201
Dp202	Q7	Démarrer pompe de dosage 202

Dp301	Q8	Démarrer pompe de dosage 301
Va11	Q11	Ouvrir la vanne VA11
Va12	Q12	Ouvrir la vanne VA12
Va13	Q13	Ouvrir la vanne VA13
Va14	Q14	Ouvrir la vanne VA14
Va15	Q15	Ouvrir la vanne VA15
Va21	Q21	Ouvrir la vanne VA21
Va22	Q22	Ouvrir la vanne VA22
Va23	Q23	Ouvrir la vanne VA23
Va24	Q24	Ouvrir la vanne VA24
Va25	Q25	Ouvrir la vanne VA25
Va31	Q31	Ouvrir la vanne VA31
Va32	Q32	Ouvrir la vanne VA32
Va33	Q33	Ouvrir la vanne VA33
Va34	Q34	Ouvrir la vanne VA34
Va35	Q35	Ouvrir la vanne VA35
Va41	Q41	Ouvrir la vanne VA41
Va42	Q42	Ouvrir la vanne VA42
Va43	Q43	Ouvrir la vanne VA43
Va44	Q44	Ouvrir la vanne VA44
Va45	Q45	Ouvrir la vanne VA45
Va51	Q51	Ouvrir la vanne VA51
Va52	Q52	Ouvrir la vanne VA52
Va53	Q53	Ouvrir la vanne VA53
Va54	Q54	Ouvrir la vanne VA54
Va55	Q55	Ouvrir la vanne VA55
Va61	Q61	Ouvrir la vanne VA61
Va62	Q62	Ouvrir la vanne VA62
Va63	Q63	Ouvrir la vanne VA63
Va64	Q64	Ouvrir la vanne VA64
Va65	Q65	Ouvrir la vanne VA65
Va71	Q71	Ouvrir la vanne VA71
Va72	Q72	Ouvrir la vanne VA72

Va73	Q73	Ouvrir la vanne VA73
Va74	Q74	Ouvrir la vanne VA74
Va75	Q75	Ouvrir la vanne VA75
Va81	Q81	Ouvrir la vanne VA81
Va82	Q82	Ouvrir la vanne VA82
Va83	Q83	Ouvrir la vanne VA83
Va84	Q84	Ouvrir la vanne VA84
Va85	Q85	Ouvrir la vanne VA85
Va91	Q91	Ouvrir la vanne VA91
Va92	Q92	Ouvrir la vanne VA92
Va93	Q93	Ouvrir la vanne VA93
Va94	Q94	Ouvrir la vanne VA94
Va95	Q95	Ouvrir la vanne VA95
Va101	Q101	Ouvrir la vanne VA101
Va102	Q102	Ouvrir la vanne VA102
Va103	Q103	Ouvrir la vanne VA103
Va104	Q104	Ouvrir la vanne VA104
Va105	Q105	Ouvrir la vanne VA105

III.5.2 Présentation des Grafjets :

Voici quelques exemples des Grafjets créés. (Voir annexe)

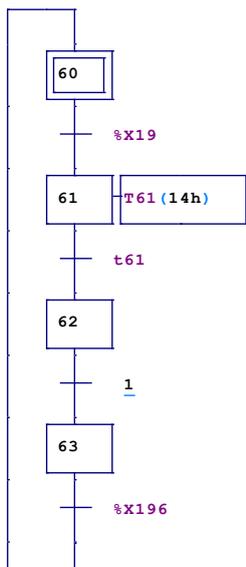


Figure III.6 : Grafjet de temporisation (14h).

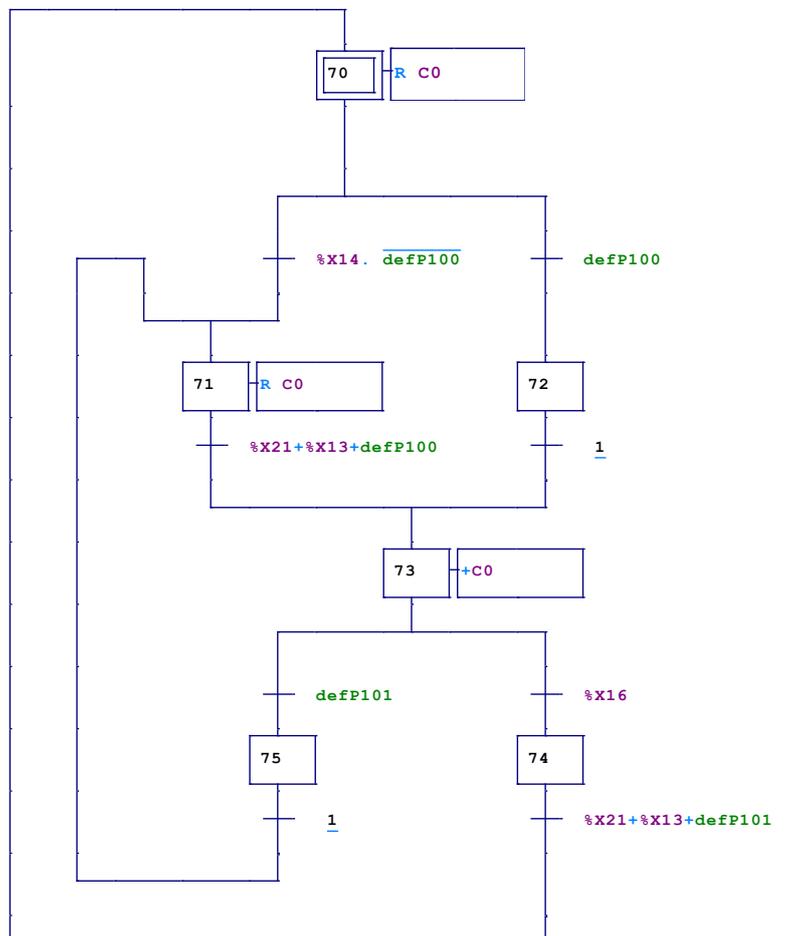


Figure III.7 : Grafjet de permutation des pompes d'alimentation.

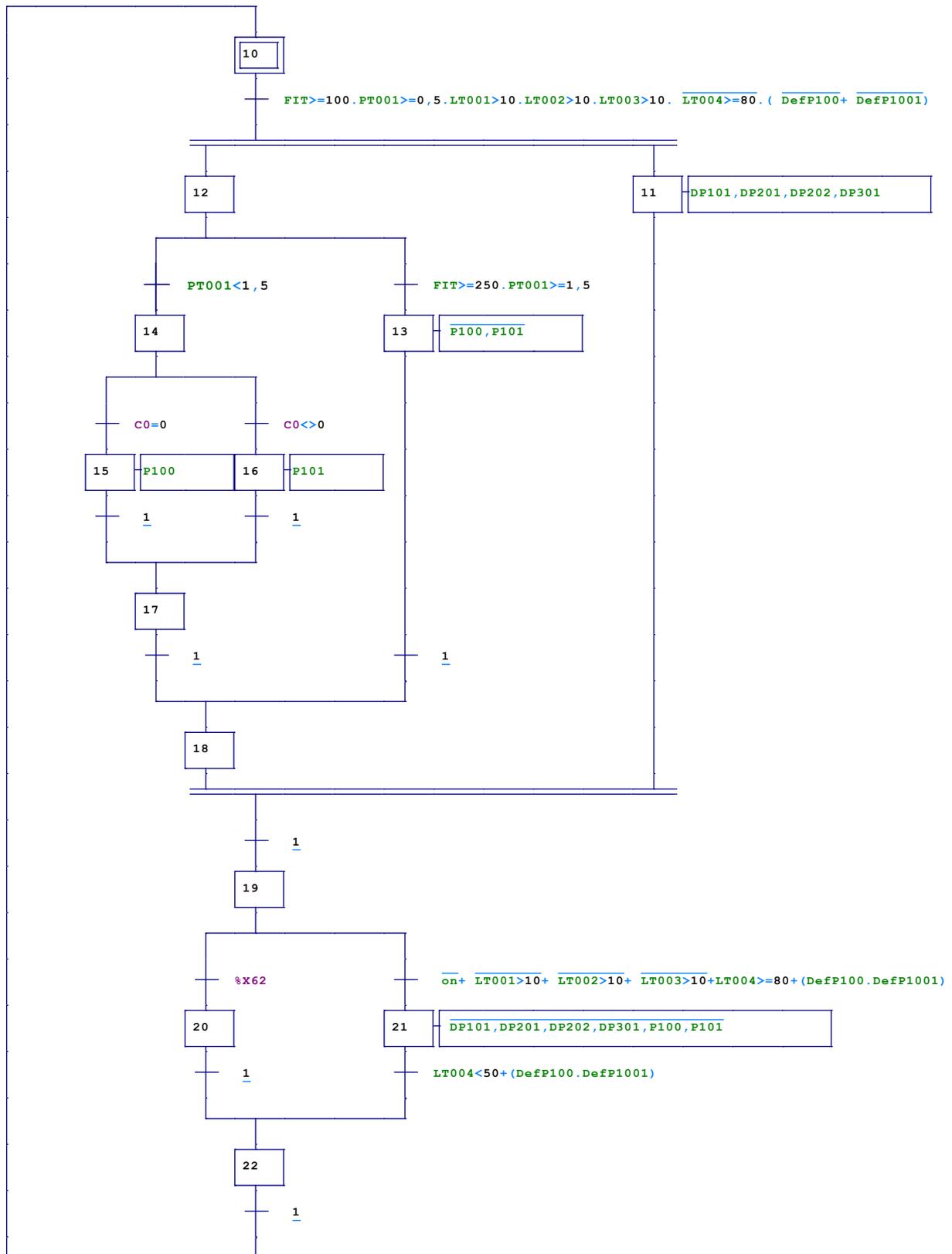


Figure III.8: Grafcet d'alimentation en eau brute.

III.6 Conclusion :

L'automatisation de la station de pré-filtration d'eau améliore la sécurité de l'opérateur, réduit l'effort physique, et augmente d'une manière considérable la précision, et sur tout la rapidité des tâches à réaliser

La description du système à automatiser, et l'élaboration de l'analyse fonctionnelle de la station et son Grafcet nous facilitera la création du programme sur le logiciel step7, ainsi que la supervision.

Chapitre IV

Automates programmables et logiciels associés

IV.1 Introduction

L'automate programmable industriel API (ou Programmable Logic Controller PLC) est aujourd'hui le constituant le plus répandu des automatismes. On le trouve pratiquement dans tous les domaines industriels vue sa grande flexibilité et son aptitude à s'adapter.

Ce chapitre sera consacré à la description des automates programmables *SIEMENS* à structure modulaire essentiellement le *S7-300* et des logiciels associés.

IV.2 Présentation de l'automate

De forme compacte ou modulaire, les automates sont organisés suivant l'architecture suivante:

- ✚ Un module d'unité centrale ou CPU, qui assure le traitement de l'information et la gestion de l'ensemble des unités. Ce module comporte un microprocesseur, des circuits périphériques de gestion des entrées/sorties, des mémoires RAM et EPROM nécessaires pour stocker les programmes, les données, et les paramètres de configuration du système.
- ✚ Un module d'alimentation qui, à partir d'une tension 220V/50Hz ou dans certains cas de 24V fournit les tensions continues $\pm 5V$, $\pm 12V$ ou $\pm 15V$.
- ✚ Un ou plusieurs modules de sorties 'Tout Ou Rien' (TOR) ou analogiques pour transmettre à la partie opérative les signaux de commande. Il y a des modules qui intègrent en même temps des entrées et des sorties [16].
- ✚ Un ou plusieurs modules de communication comprenant:
 - Interfaces série utilisant dans la plupart des cas comme support de communication, les liaisons RS-232 ou RS422/RS485 ;
 - Interfaces pour assurer l'accès à un bus de terrain ;
 - Interface d'accès à un réseau Ethernet.

La figure IV.1 suivante représente un Automate Programmable Industriel *SIEMENS*.

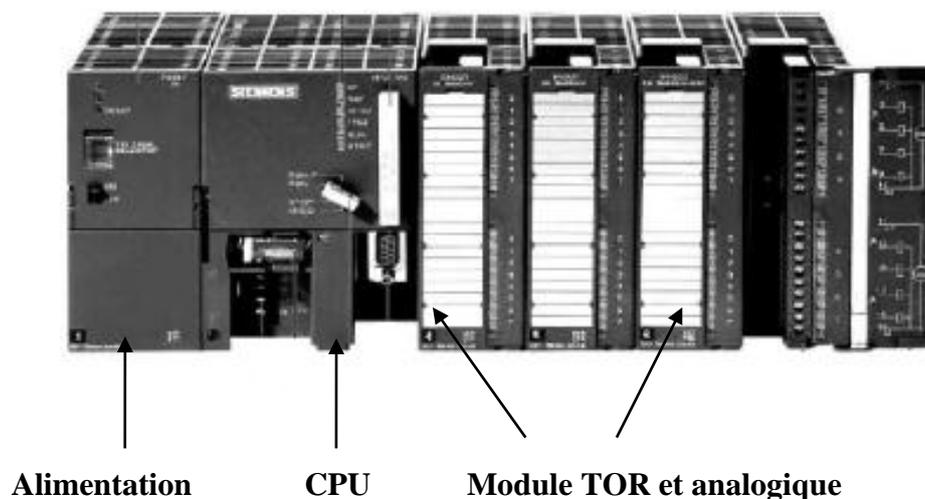


Figure IV.1 : Automate Programmable Industriel *SIEMENS* [17].

L'automate utilisé dans notre projet appartient à la gamme *SIMATIC S7* de *SIEMENS* ; le *S7-300* (figure IV.2) est un mini-automate modulaire pour les applications d'entrée et de milieu de gamme, avec possibilité d'extensions jusqu'à 32 modules, et une mise en réseau par l'interface multipoint (MPI), PROFIBUS et Industrial Ethernet.



Figure IV.2 : API *S7300* [17].

IV.2.1 Structure interne des automates programmables

La structure matérielle interne d'un API obéit au schéma donné sur les figures IV.3.

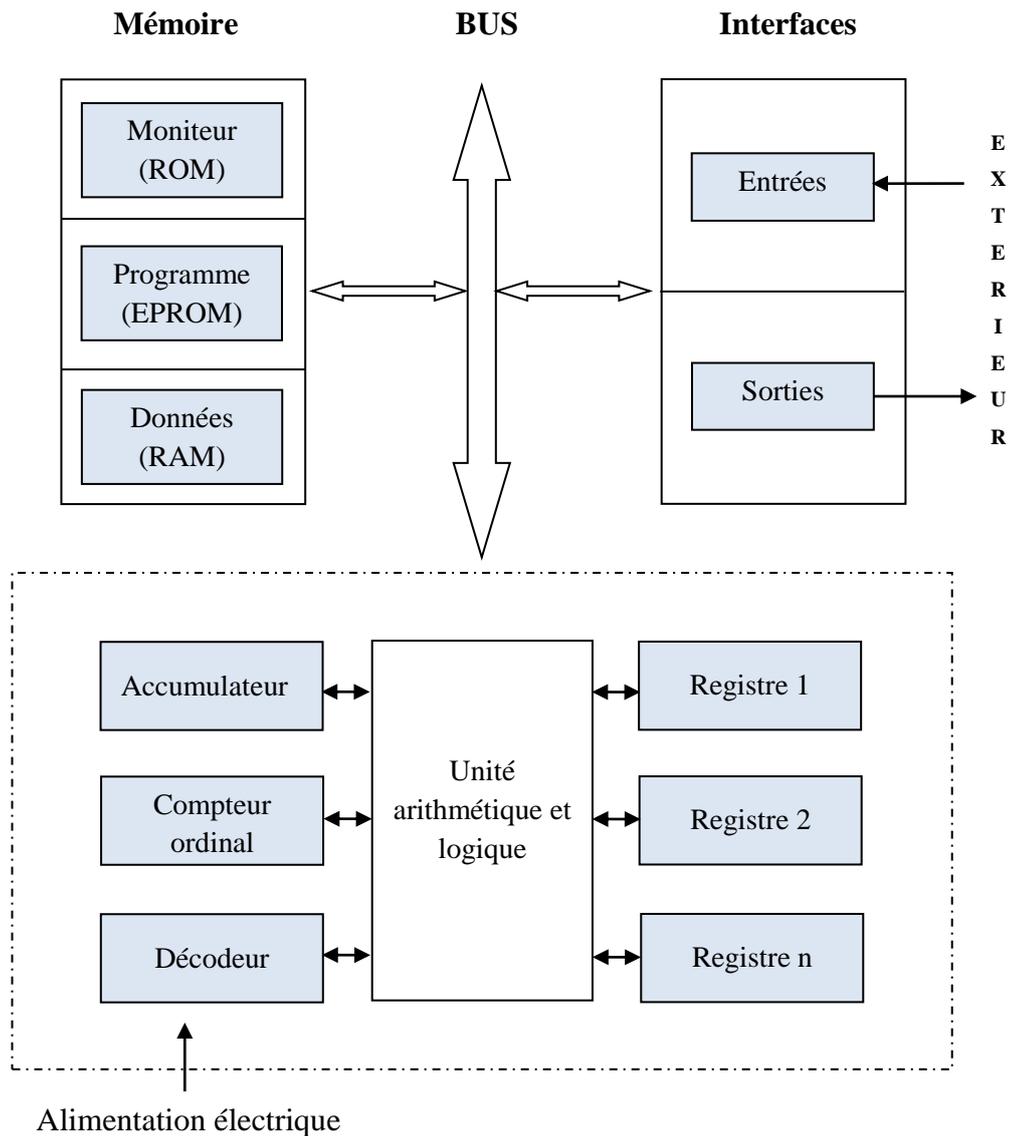


Figure IV.3 : Structure interne d'un API [18].

Détaillons successivement chacun des composants qui apparaissent sur ces schémas.

IV.2.1.1 Le processeur

Il constitue le cœur de l'appareil dans l'unité centrale ; En fait, un processeur devant être automatisé, se subdivise en une multitude de domaines et processeurs partiels plus petits, liés les uns aux autres.

IV.2.1.2 Les modules d'entrées/sorties

Ils assurent le rôle d'interface entre la CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions.

Plusieurs types de modules sont disponibles sur le marché selon l'utilisation souhaitée:

- ✚ Modules TOR (Tout Ou Rien): l'information traitée ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1 ...). C'est le type d'information délivrée par une cellule photoélectrique, un bouton poussoir ...etc.
- ✚ Modules analogiques: l'information traitée est continue et prend une valeur qui évolue dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (débitmètre, capteur de niveau, thermomètre...etc.).
- ✚ Modules spécialisés: l'information traitée est contenue dans des mots codes sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent [18].

IV.2.1.3 Les mémoires

Un système de processeur est accompagné par un ou plusieurs types de mémoires. Elles permettent :

- ✚ De stocker le système d'exploitation dans des ROM ou PROM,
- ✚ Le programme dans des EPROM,
- ✚ Les données système lors du fonctionnement dans des RAM. Cette dernière est généralement secourue par pile ou batterie. On peut, en règle générale, augmenter la capacité mémoire par adjonction de barrettes mémoires type PCMCIA.

IV.2.1.4 L'alimentation

Elle assure la distribution d'énergie aux différents modules. L'automate est alimenté généralement par le réseau monophasé 230V-50 Hz mais d'autres alimentations sont possibles (110V...etc.).

IV.2.1.5 Liaisons de communication

Elles Permettent la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions.

Les liaisons s'effectuent :

- ✚ Avec l'extérieur par des borniers sur lesquels arrivent des câbles transportant le signal électrique.
- ✚ Avec l'intérieur par des bus reliant divers éléments, afin d'échanger des données, des états et des adresses.

IV.3 Présentation de Terminal CPX festo avec système pneumatique MPA

IV.3.1 Description et structure

C'est un périphérique décentralisé, lié à l'automate « Siemens », via réseau PROFIBUS ou ETHERNET. Les terminaux CPX sont constitués de modules fonctionnels électriques ainsi que de divers modules et composants. Le schéma ci-dessous montre un exemple.

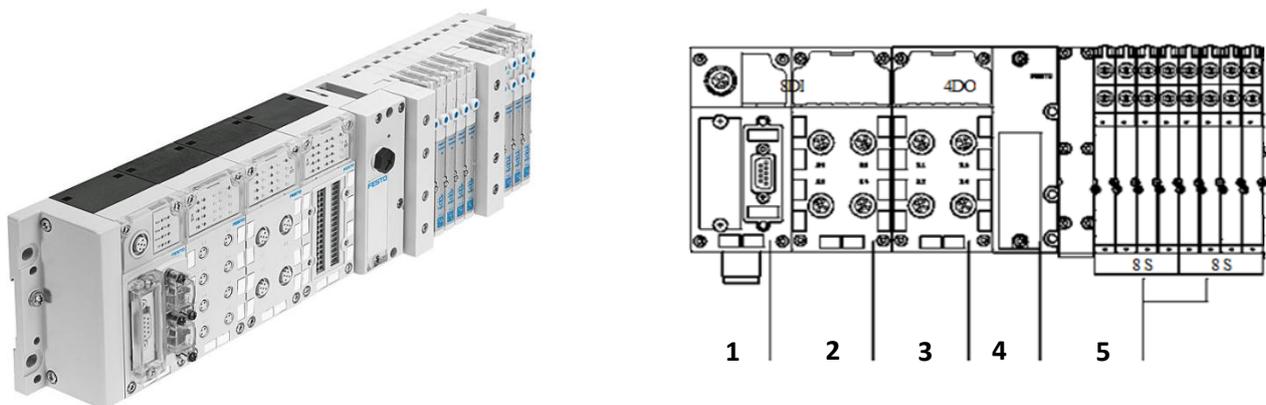


Figure IV.4 Terminal CPX Festo (avec system pneumatique MPA1).

1) Nœud de bus de terrain CPX–FB13

Ils établissent la liaison avec des bus de terrain ou des réseaux déterminés. Transmission des signaux de commande vers les modules connectés et surveillance de la réponse de ces derniers [19].

Les éléments de raccordement et de signalisation sur le nœud de bus de terrain CPX pour PROFIBUS–DP :

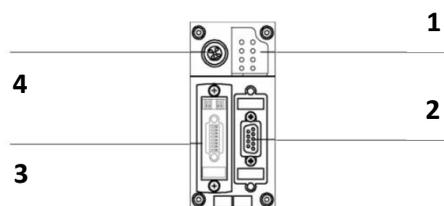


Figure IV.5: Eléments de raccordement sur le nœud de bus de terrain CPX.

- 1) LEDs d'état du bus et LEDs spécifiques au CPX
- 2) Connexion du bus de terrain (connecteur femelle Sub-D à 9 pôles)
- 3) Cache transparent pour commutateurs DIL
- 4) Interface de service pour la console manuelle (V24) et adaptateur USB

2-3) Module E/S

Tous les modules d'E/S comprennent trois éléments différents:

- Le bloc de raccordement met à disposition une technique de raccordement électrique prenant la forme de différents connecteurs femelles ou borniers.
- Le module électronique contient le circuit imprimé qui comporte les composants électroniques et l'affichage LED du module d'E/S. Le module électronique est encliqueté sur le bloc de raccordement et il est relié au module d'interconnexion et au bloc de raccordement par l'intermédiaire de connecteurs électriques.
- Le module d'interconnexion assure, en tant que partie inférieure du boîtier, les liaisons mécanique et électrique du module avec le terminal CPX [19].

4) Interface pneumatique pour système pneumatique MPA

L'interface pneumatique MPA est l'interface entre la périphérie électrique modulaire et les composants pneumatiques, possède les éléments de signalisation et de raccordement avec les modules pneumatiques MPA, et les modules d'interconnexion CPX.

5) Distributeurs/Modules pneumatiques MPA1

Permettent la connexion :

-  des conduits communs d'alimentation en air et d'échappement,
-  les signaux électriques de toutes les bobines des distributeurs

Sur les différents modules pneumatiques, les conduits de travail sont accessibles au niveau de chaque emplacement de distributeur [19].

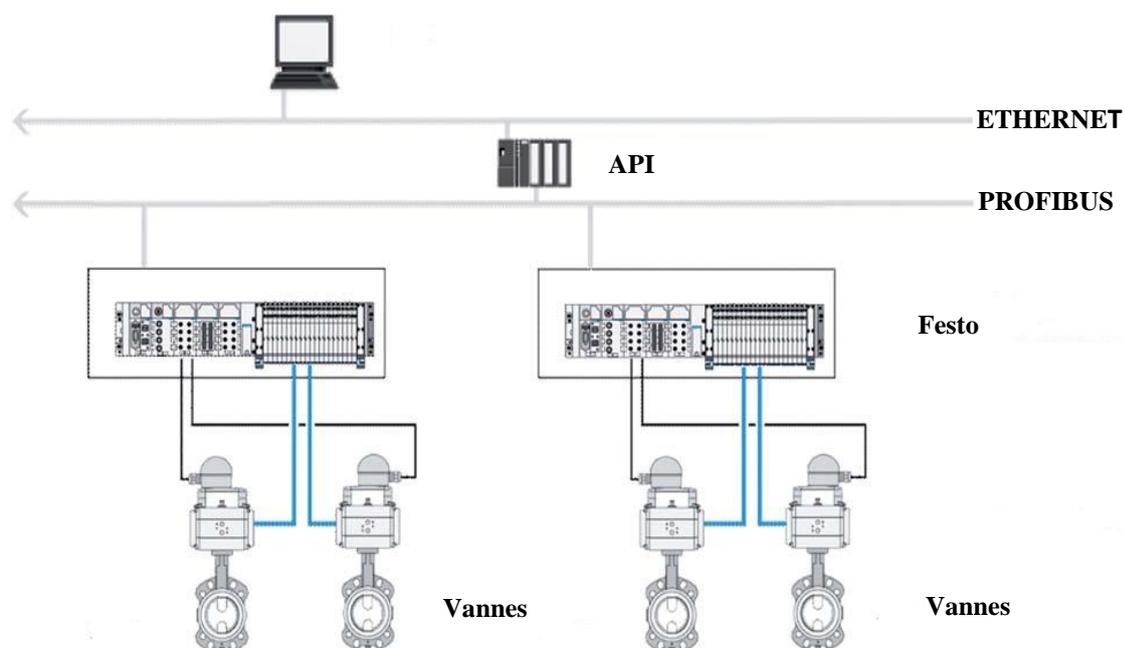


Figure IV.6 Exemple de connexion.

IV.4 Description du logiciel *STEP7*

STEP7 est le progiciel de base pour la configuration et la programmation de systèmes d'automatisation *SIMATIC S300* et *S400*. Il fait partie de l'industrie logicielle *SIMATIC*. Le logiciel de base assiste dans toutes les phases du processus de création de la solution d'automatisation, La conception de l'interface utilisateur du logiciel *STEP7* répond aux connaissances ergonomiques modernes [20].

STEP7 comporte les quatre sous logiciels de base suivants :

IV.4.1 Gestionnaire de projets *SIMATIC Manager*



SIMATIC MANAGER

SIMATIC Manager constitue l'interface d'accès à la configuration et à la programmation. Ce gestionnaire de projets présente le programme principal du logiciel *STEP7* il gère toutes les données relatives à un projet d'automatisation, quelque-soit le système cible sur lequel elles ont été créées. Le gestionnaire de projets *SIMATIC* démarre automatiquement les applications requises pour le traitement des données sélectionnées.

IV.4.2 Editeur de programme et les langages de programmation

Les langages de programmation CONT, LIST et LOG, font partie intégrante du logiciel de base.

- ✚ Le schéma à contacts (CONT) est un langage de programmation graphique. La syntaxe des instructions fait penser aux schémas de circuits électriques. Le langage CONT permet de suivre facilement le trajet du courant entre les barres d'alimentation en passant par les contacts, les éléments complexes et les bobines.
- ✚ La liste d'instructions (LIST) est un langage de programmation textuel proche de la machine. Dans un programme LIST, les différentes instructions correspondent, dans une large mesure, aux étapes par lesquelles la CPU traite le programme.
- ✚ Le logigramme (LOG) est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour représenter les opérations logiques. Les fonctions complexes, comme par exemple les fonctions mathématiques, peuvent être représentées directement combinées avec les boîtes logiques [21].

La figure IV.7 suivante représente les différents langages de programmation.

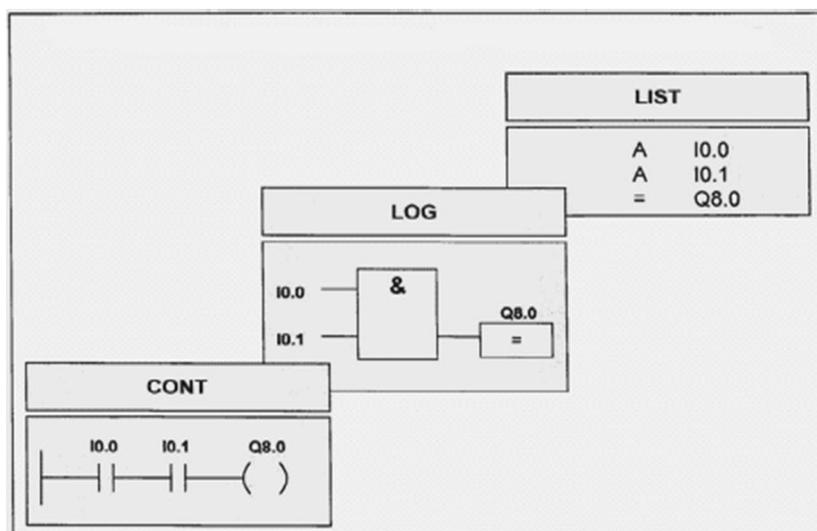


Figure IV.7 : Mode de représentation des langages basiques de programmation STEP7 [22].

IV.4.3 Paramétrage de l'interface PG-PC

Cet outil sert à paramétrer l'adresse locale des PG/PC, la vitesse de transmission dans le réseau MPI (Multi-Point Interface ; protocole de réseau propre à SIEMENS) ou PROFIBUS en vue d'une communication avec l'automate et le transfert du projet.

IV.4.4 Le simulateur des programmes *PLCSIM*

L'application de simulation de modules *S7-PLCSIM* permet d'exécuter et de tester le programme dans un Automate Programmable (AP) qu'on simule dans un ordinateur ou dans une console de programmation. La simulation étant complètement réalisée au sein du logiciel *STEP7*, il n'est pas nécessaire qu'une liaison soit établie avec un matériel *S7* quelconque (CPU ou module de signaux). L'AP *S7* de simulation permet de tester des programmes destinés aux CPU *S7-300* et aux CPU *S7-400*, et de remédier à d'éventuelles erreurs [23].

S7-PLCSIM dispose d'une interface simple permettant de visualiser et de forcer les différents paramètres utilisés par le programme (comme, par exemple, d'activer ou de désactiver des entrées). Tout en exécutant le programme dans l'AP de simulation, on a également la possibilité de mettre en œuvre les diverses applications du logiciel *STEP7* comme, par exemple, la table des variables (VAT) afin d'y visualiser et d'y forcer des variables (voir figure IV.8).

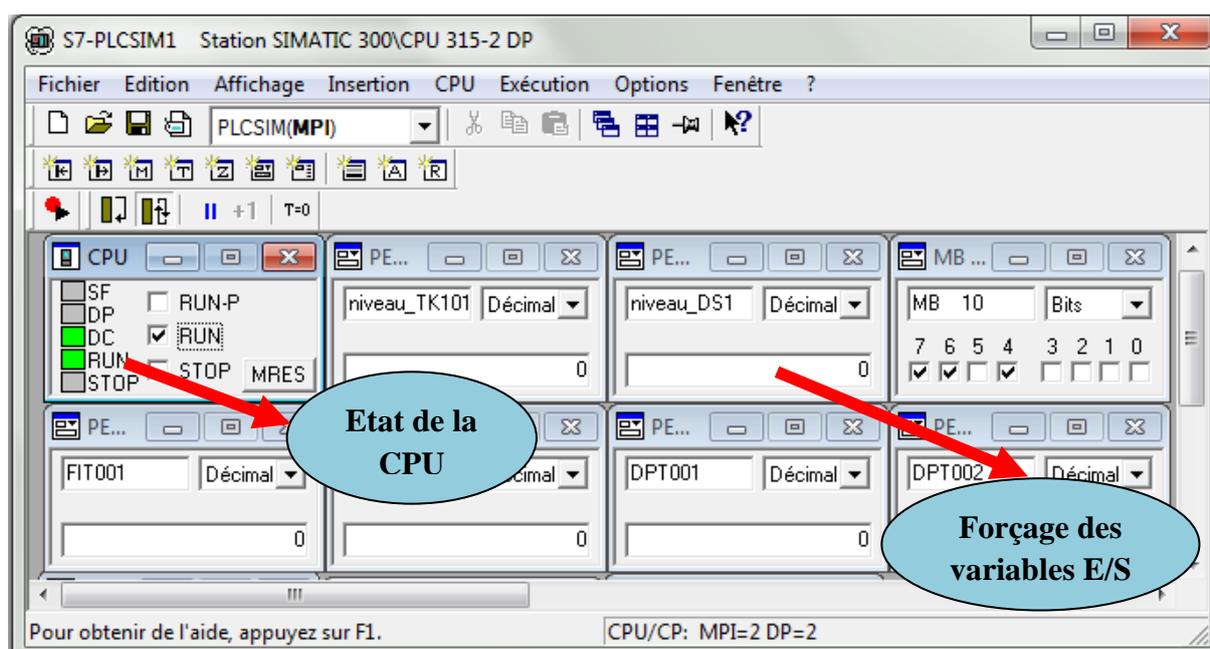


Figure IV.8 : Interface de simulation *PLCSIM*.

IV.4.5 Stratégie pour la conception d'une structure programme complète et optimisée

La mise en place d'une solution d'automatisation avec *STEP7* nécessite la réalisation des tâches fondamentales suivantes :

- ✚ Création du projet *SIMATIC STEP7*
- ✚ Configuration matérielle *HW Config*

Dans une table de configuration, on définit les modules mis en œuvre dans la solution d'automatisation ainsi que les adresses permettant d'y accéder depuis le programme utilisateur, pouvant en outre, y paramétrer les caractéristiques des modules.

✚ Définition des mnémoniques

Dans une table des mnémoniques, on remplace des adresses par des mnémoniques locales ou globales de désignation plus évocatrice afin de les utiliser dans le programme.

✚ Création du programme utilisateur

En utilisant l'un des langages de programmation mis à disposition, on crée un programme affecté ou non à un module, qu'on enregistre sous forme de blocs, de sources ou de diagrammes.

✚ Exploitation des données

Création des données de références : Utiliser ces données de référence afin de faciliter le test et la modification du programme utilisateur et la configuration des variables pour le "control commande".

✚ Test du programme et détection d'erreurs

Pour effectuer un test, on a la possibilité d'afficher les valeurs de variables depuis le programme utilisateur ou depuis une CPU, d'affecter des valeurs à ces variables et de créer une table des variables qu'on souhaite afficher ou forcer.

✚ Chargement du programme dans le système cible

Une fois la configuration, le paramétrage et la création du programme terminés, on peut transférer le programme utilisateur complet ou des blocs individuels dans le système cible (module programmable de la solution matérielle). La CPU contient déjà le système.

✚ Surveillance du fonctionnement et diagnostic du matériel

La détermination des causes d'un défaut dans le déroulement d'un programme utilisateur se fait à l'aide de la « Mémoire tampon de diagnostic », accessible depuis le *SIMATIC Manager*.

IV.5 Description du logiciel *WinCC Flexible*

WinCC Flexible, est un logiciel compatible avec l'environnement *STEP7*, et propose pour la configuration de divers pupitres opérateurs, une famille de systèmes d'ingénierie évolutifs adaptés aux tâches de configuration.

Créer l'interface graphique et les variables, c'est pouvoir lire les valeurs du processus via l'automate, les afficher pour que l'opérateur puisse les interpréter et ajuster, éventuellement, le processus, toujours via l'automate.

IV.5.1 Éléments du WinCC Flexible

L'environnement de travail de WinCC flexible se compose de plusieurs éléments. Certains de ces éléments sont liés à des éditeurs particuliers et uniquement visibles lorsque cet éditeur est activé. Il met à disposition un éditeur spécifique pour chaque tâche de configuration.

On peut configurer p. ex. l'interface utilisateur graphique d'un pupitre opérateur avec l'éditeur "Vues". Pour la configuration d'alarmes, on utilise p. ex. l'éditeur "Alarmes TOR".

Les différents outils et barres de l'éditeur de vues sont représentés dans la figure suivante :

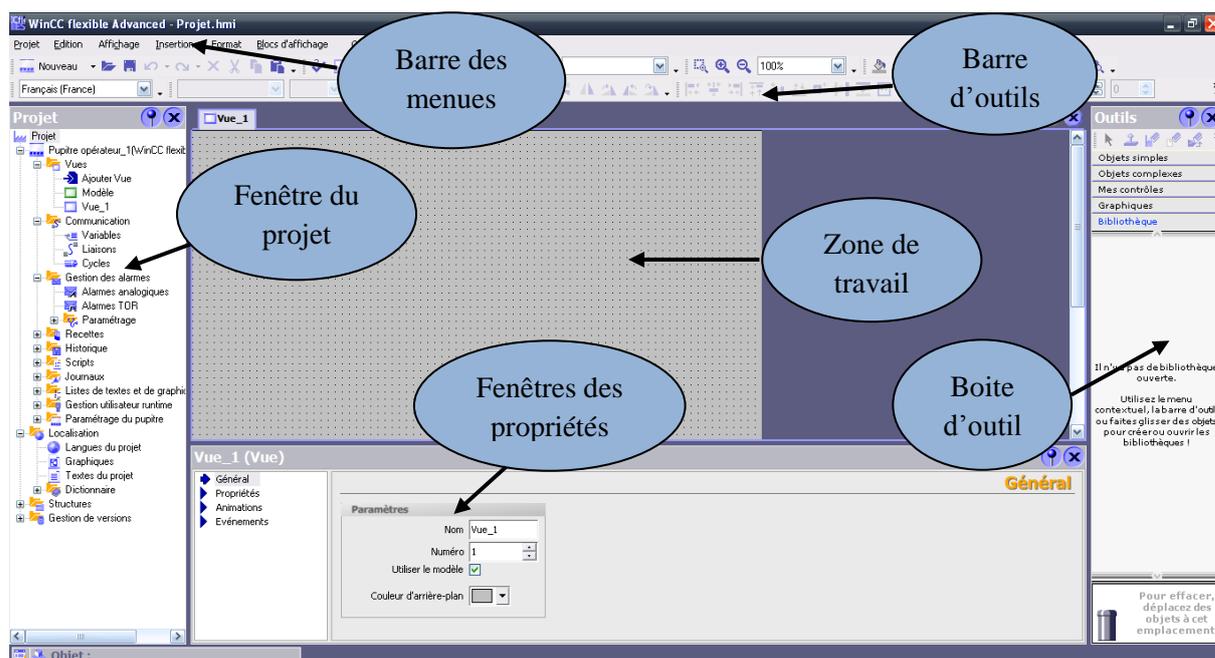


Figure IV.9 : Vue d'ensemble du progiciel WinCC flexible.

- ✚ Barre des menus : La barre des menus contient toutes les commandes nécessaires à l'utilisation de *WinCC Flexible*. Les raccourcis disponibles sont indiqués en regard de la commande du menu.
- ✚ Barre d'outils : La barre d'outils permet d'afficher tout dont le programmeur a besoin.
- ✚ Zone de travail : La zone de travail sert à configurer des vues, de façon qu'il soit le plus compréhensible par l'utilisateur, et très facile à manipuler et consulter les résultats.

- ✚ Boite d'outils : La fenêtre des outils propose un choix d'objets simples ou complexes qu'on insère dans les vues, par exemple des objets graphiques et les éléments de commande.
- ✚ Fenêtre des propriétés : Le contenu de la fenêtre des propriétés dépend de la sélection actuelle dans la zone de travail, lorsqu'un objet est sélectionné, on peut étudier les propriétés de l'objet en question dans la fenêtre des propriétés.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit l'architecture interne d'un automate programmable de la firme *SIEMENS* essentiellement le *S7-300*, ainsi que l'organe de commande Festo. Nous avons présenté les deux logiciels de programmation et supervision des automates *SIEMENS* pour une meilleure exploitation pendant la programmation et la supervision qui sera l'objet du dernier chapitre (chapitre V).

Chapitre V

Programmation et supervision

V.1 Introduction

Afin de piloter la station de préfiltration, nous allons réaliser un programme et l'implanter dans l'automate grâce au logiciel de conception de programmes pour des systèmes d'automatisation *SIMATIC STEP7*.

Dans ce chapitre, nous allons décrire l'insertion du programme d'automatisation élaboré à partir de l'analyse fonctionnelle, ainsi que la création de la supervision dédié à ce processus.

V.2 Réalisation du programme de la station

Le poste opérateur intègre une interface utilisateur permettant à l'opérateur de superviser la station à partir d'un tableau de bord virtuel comportant des boutons, des voyants, des alertes et toutes les données dont il a besoin pour la prise de décision. Nous utiliserons donc le système de contrôle, commande et supervision SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

V.2.1 Création du projet dans *SIMATIC Manager*

Afin de créer un nouveau projet *STEP7*, il nous est possible d'utiliser « l'assistant de création de projet », ou bien créer le projet soit même et le configurer directement, cette dernière est un peu plus complexe, mais nous permet aisément de gérer notre projet.

En sélectionnant l'icône *SIMATIC Manager*, on affiche la fenêtre principale, pour sélectionner un nouveau projet et le valider, comme le montre la figure V.1 suivante :

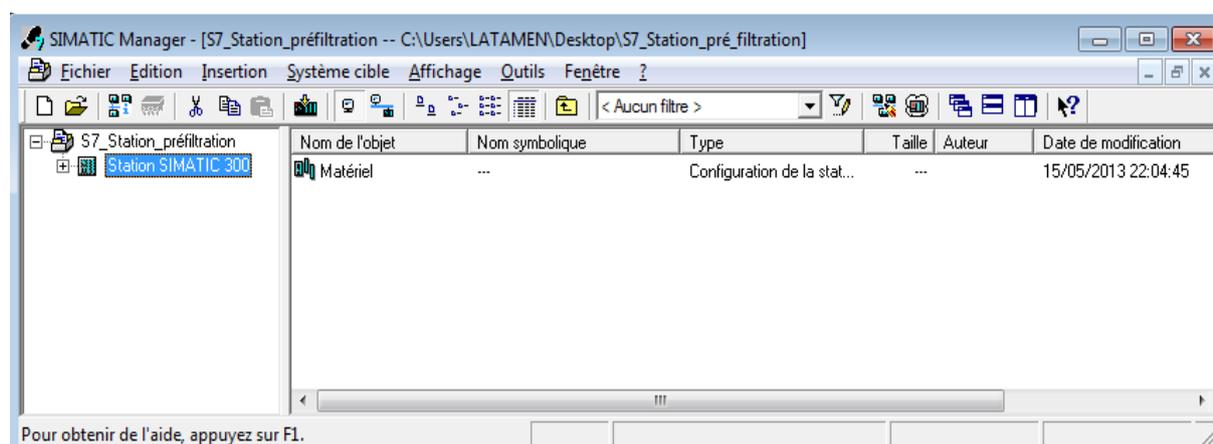


Figure V.1 : Fenêtre de démarrage de *STEP7*.

Initialement le projet est vide, nous avons donc inséré une station *SIMATC 300*. Deux approches sont possibles. Soit on commence par la création du programme puis la configuration matérielle ou bien l'inverse.

V.2.2 Configuration matérielle (Partie Hardware)

C'est une étape importante, qui correspond à l'agencement des châssis, des modules et de la périphérie décentralisée.

Les modules sont fournis avec des paramètres définis par défaut.

Une configuration matérielle est nécessaire pour :

- ✚ Les paramètres ou les adresses préréglés d'un module.
- ✚ Configurer les liaisons de communication.

Le choix du matériel *SIMATIC S300* avec une CPU315-2DP nous conduit à introduire la hiérarchie suivante :

On commence par le choix du châssis selon la station choisie auparavant, Pour la station *SIMATIC S300*, on aura le châssis « RACK-300 » qui comprend un rail profilé.

Sur ce profil, l'alimentation préalablement sélectionnée se trouve dans l'emplacement n°1. Parmi celles proposées notre choix s'est porté sur la « PS-307 5A ».

La « CPU 315-2DP » est impérativement mise à l'emplacement n°2.

L'emplacement n°3 est réservé comme adresse logique pour un coupleur dans une configuration multi-châssis.

A partir de l'emplacement n°4, il est possible de monter au choix jusqu'à 8 modules de signaux (SM), processeurs de communication (CP) ou modules fonctionnels (FM).

Nous allons y mettre les modules d'entrées et de sorties analogiques et numériques.

D'après l'identification des E/S il y a :

- ✚ 11 entrées analogiques (AI).
- ✚ 18 entrées numériques (DI).
- ✚ 8 sorties numérique (DO).

Pour assurer la flexibilité du système, 20% de réserves des E/S sont à pourvoir lors de l'implantation du PLC, donc les cartes des E/S sont comme suit :

- ✚ 02 embases de 08 entrées analogiques (2 × 08 AI).
- ✚ 01 embase de 32 entrées numériques (1 × 32 DI).
- ✚ 01 embase de 16 sorties numériques (1 × 16 DO).

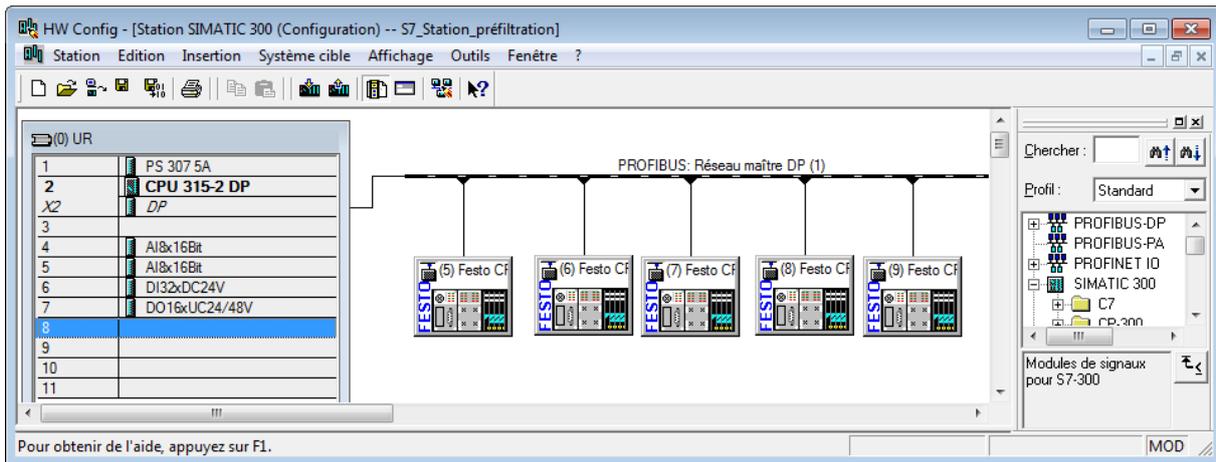


Figure V.2 : Configuration matériels.

Après cela il ne nous reste qu'à enregistrer et compiler.

La configuration matérielle étant terminée, un dossier « Programme S7 » est automatiquement inséré dans le projet, comme indiqué dans la figure V.3 suivante :

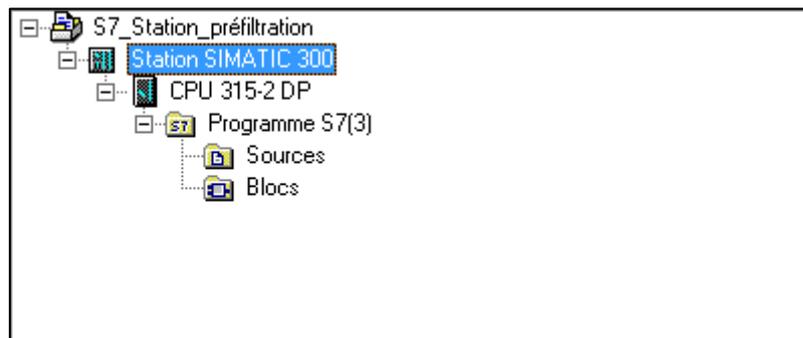


Figure V.3 : Hiérarchie du programme STEP7.

V.2.3 Création de la table des mnémoniques (Partie Software)

Dans tout programme il faut définir la liste des variables qui vont être utilisées lors de la programmation. Pour cela la table des mnémoniques est créée. L'utilisation des noms appropriés rend le programme plus compréhensible et plus facile à manipuler. Ce type d'adressage est appelé « relatif ».

On édite la table des mnémoniques en respectant notre cahier de charges, pour les entrées et les sorties. La figure V.4 suivante présente une partie de la table des mnémoniques.

	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de d	Commentaire
151		FVA95	E 25.6	BOOL	FIN DE COURSE FERMETURE VA95
152		gestion auto manu	FC 21	FC 21	gestion auto manu
153		gestion comman...	DB 12	DB 12	gestion cmd auto manu
154		gestion défaut va	FC 0	FC 0	gestion défaut vanne
155		gestion des alar...	FC 23	FC 23	gestion des alarmes
156		gestion principal ...	FC 20	FC 20	gestion normal auto
157		les etats	DB 13	DB 13	les etats
158		Marche manu	FB 1	FB 1	
159		Mise_en_march...	FC 3	FC 3	
160		niveau_DS1	PEW 338	INT	TRANSMISSION NIVEAU LT001
161		niveau_DS2	PEW 340	INT	TRANSMISSION NIVEAU LT002
162		niveau_DS3	PEW 342	INT	TRANSMISSION NIVEAU LT003
163		niveau_TK101	PEW 336	INT	TRANSMISSION NIVEAU LT004
164		on	E 26.4	BOOL	Metre en marche Station
165		OUV_VA101	A 24.5	BOOL	OUVRIR VANNE VA101

Figure V.4 : Table des mnémoniques du projet.

V.2.4 Elaboration du programme S7 (Partie Software)

V.2.4.1 Les blocs de code

Le dossier bloc, contient les blocs que l'on doit charger dans la CPU pour réaliser la tâche d'automatisation, il englobe :

- ✚ Les blocs de code (OB, FB, SFB, FC, SFC) qui contiennent les programmes,
- ✚ Les blocs de données DB d'instance et DB globaux qui contiennent les paramètres du programme.

a) Les blocs d'organisation (OB)

Les OB sont appelés par le système d'exploitation, on distingue plusieurs types :

- ✚ Ceux qui gèrent le traitement de programmes cycliques
- ✚ Ceux qui sont déclenchés par un événement,
- ✚ Ceux qui gèrent le comportement à la mise en route de l'automate programmable
- ✚ Et en fin, ceux qui traitent les erreurs [22].

Le bloc OB1 est généré automatiquement lors de la création d'un projet. C'est le programme cyclique appelé par le système d'exploitation.

b) Les blocs fonctionnels (FB), (SFB)

Le FB est un sous-programme écrit par l'utilisateur et exécuté par des blocs de code. On lui associe un bloc de données d'instance relatif à sa mémoire et contenant ses paramètres.

Les SFB système sont utilisés pour des fonctions spéciales intégrées dans la CPU [23].

c) Les fonctions (FC), (SFC)

La FC contient des routines pour les fonctions fréquemment utilisées. Elle est sans mémoire et sauvegarde ses variables temporaires dans la pile de données locales. Cependant elle peut faire appel à des blocs de données globaux pour la sauvegarde de ses données [22].

Les SFC sont utilisées pour des fonctions spéciales, intégrées dans la CPU S7, elle est appelée à partir du programme.

d) Les blocs de données (DB)

Ces blocs de données servent uniquement à stocker des informations et des données mais pas d'instructions comme les blocs de code. Les données utilisateurs stockés seront utilisés par la suite par d'autres blocs.

V.2.4.2 Création du programme de la station

Le programme réalisé contient les blocs représentés dans la figure V.5 qui suit :

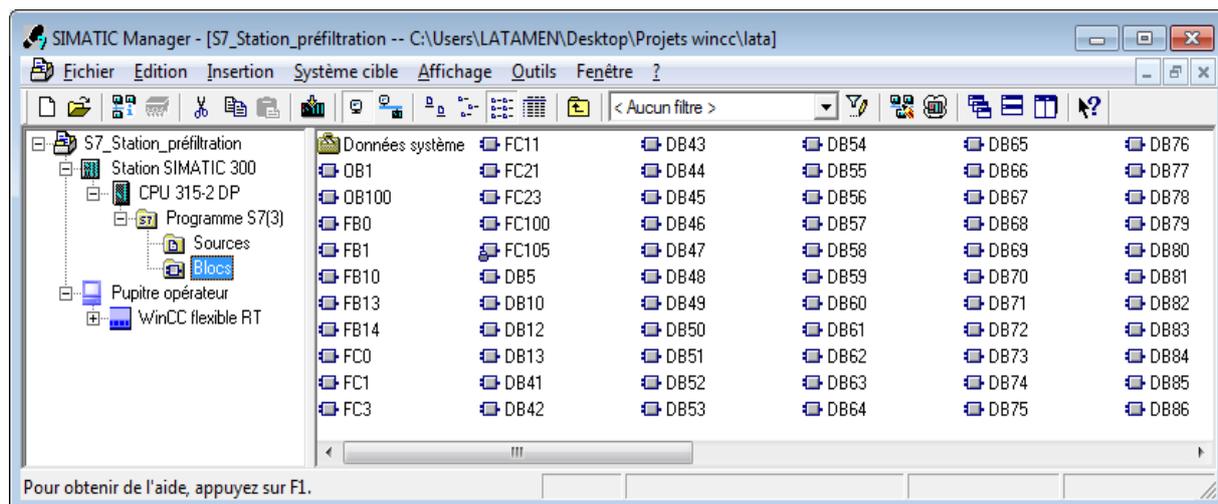
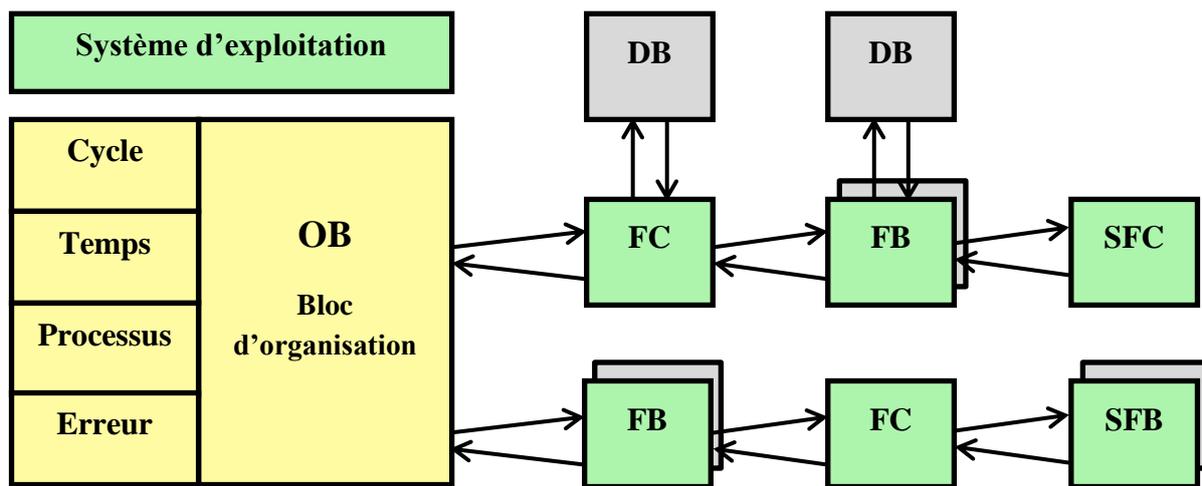


Figure V.5 : Blocs du projet.

Nous allons représenter les liaisons qui existent entre les blocs, cette architecture est donnée par la figure V.6 suivante :



Légende :

OB = Bloc d'organisation

FB = Bloc fonctionnel

FC = Fonction

SFB = Bloc fonctionnel système

SFC = Fonction système

DB = Bloc de données



FB avec DB

d'instance associé

Figure V.6 : Architecture des blocs.

V.2.4.2.1 Programmation des blocs

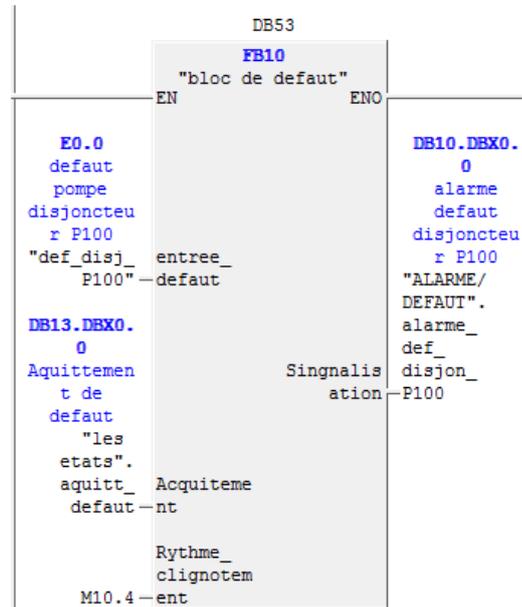
La programmation des blocs se fait du plus profond sous-bloc vers le bloc principal, le langage choisi pour la programmation est le langage à contact (CONT), nous allons commencer par programmer les blocs fonctionnels (FB0, FB1, FB10, FB13, FB14).

✚ FB10

FB10 est un bloc de traitement des défauts, on effectue une réponse au front du signal de défaut car, si le défaut persistait, la mémoire serait immédiatement remise à 1 après l'acquiescement.

Si la mémoire de sortie est mise à 1 (le défaut n'est pas encore acquitté), cela provoque le clignotement du voyant. Pour ce faire, on combine le memento M 10.4 (Rythme clignotement), défini comme le memento de cadence lors du paramétrage de la CPU, voici un exemple (signal défaut disjoncteur P100) :

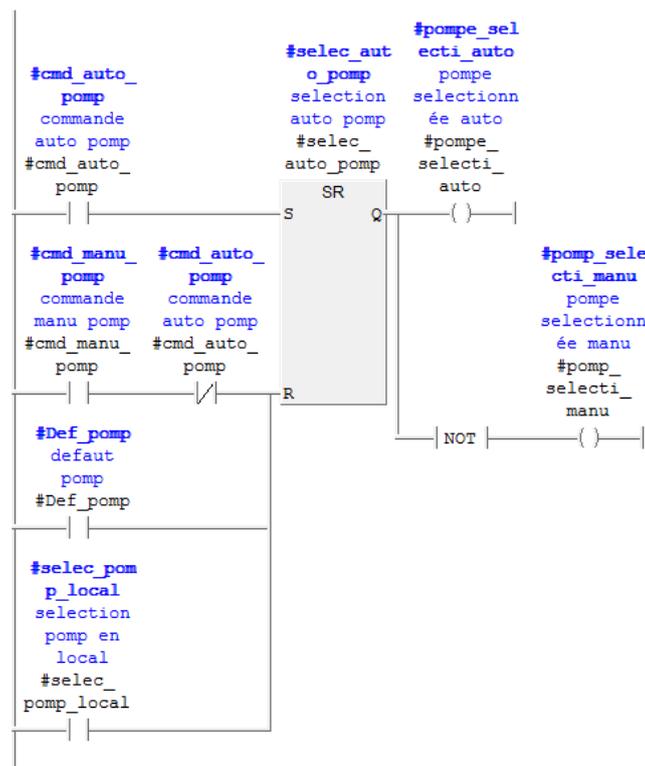
Réseau 1): Titre :
 alarme disjoncteur P100



FB13

Le bloc fonctionnel FB13 est programmé pour la sélection en mode automatique ou en mode manuel pour les pompes.

La sélection en mode automatique ou manuel se fait par une commande au pupitre, sachant qu'on ne peut la mettre en manu que si la commande en auto est désactivée, voici un aperçu :

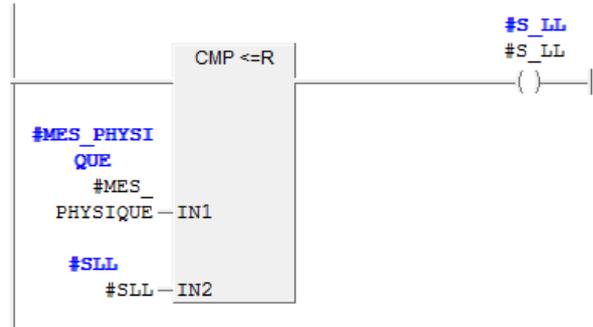
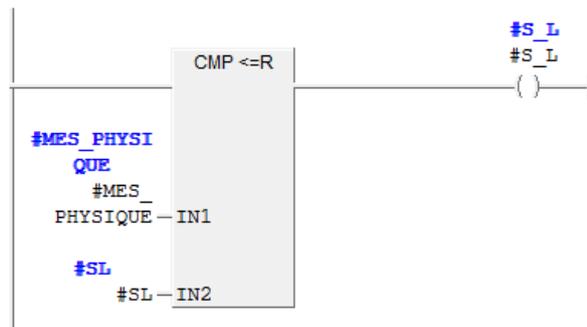
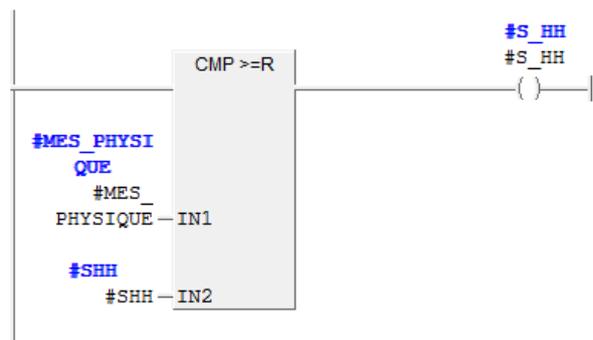
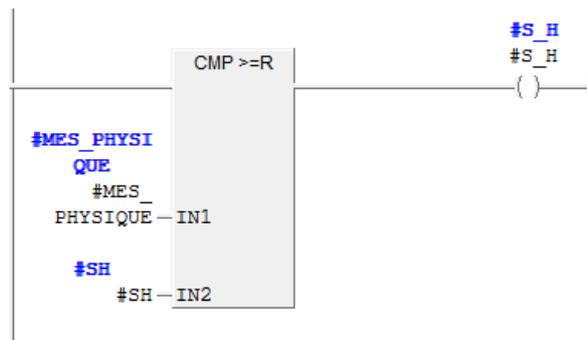
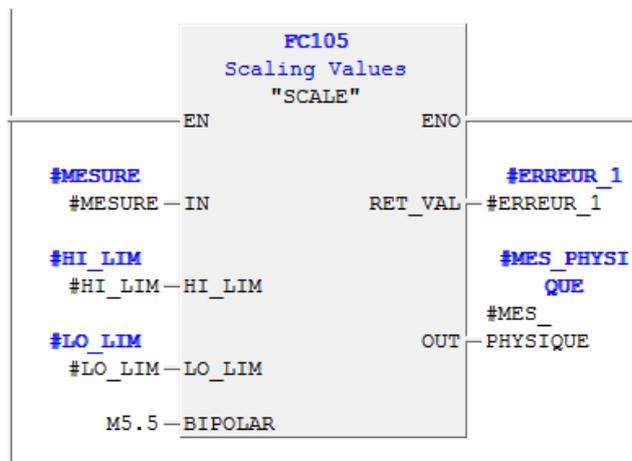


FB14

Nous avons créé ce bloc afin de faire un traitement des valeurs analogique. La mesure fournie par le capteur est convertie d'un signal électrique en une valeur numérique pour définir les seuils. On utilise pour cela la fonction SCALE existante dans la bibliothèque standard.

La valeur numérique est enregistrée dans le DB d'instance propre à chaque mesure, et elle est affichée sur le pupitre, voici un aperçu :

Réseau 1: SCALE



FB0

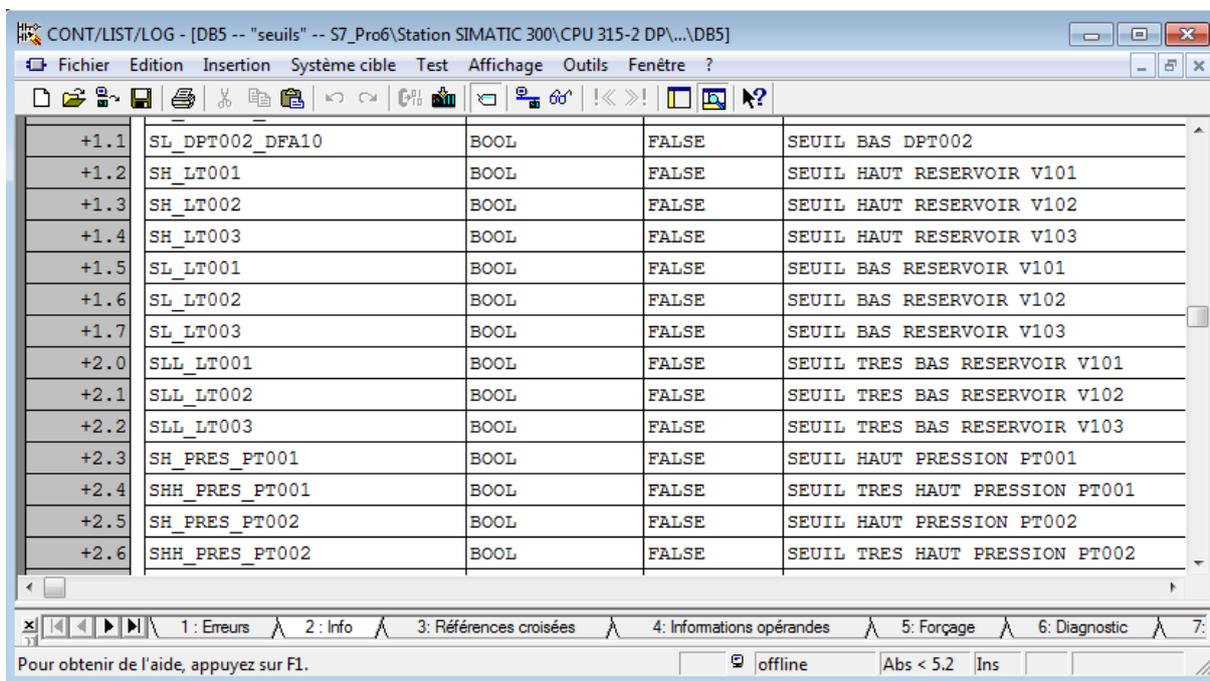
Le bloc FB0 a été consacré à la détection des défauts vannes. L'activation d'un défaut est transmise vers le bloc de traitement de défaut afin de déclencher l'alarme de la vanne correspondante.

FB1

Pour permettre à l'opérateur de vérifier l'état d'une pompe, on a créé le bloc FB1 afin de pouvoir la mettre en marche en mode manuel, et ceci n'est permis que si la station est en arrêt.

DB5, BD10, DB12, DB13

Les blocs de données (DB) contiennent les informations échangées par BUS, ils sont programmés en insérant les informations dans un tableau dont voici un aperçu :



Adresse	Variable	Type	Valeur	Description
+1.1	SL_DPT002_DFA10	BOOL	FALSE	SEUIL BAS DPT002
+1.2	SH_LT001	BOOL	FALSE	SEUIL HAUT RESERVOIR V101
+1.3	SH_LT002	BOOL	FALSE	SEUIL HAUT RESERVOIR V102
+1.4	SH_LT003	BOOL	FALSE	SEUIL HAUT RESERVOIR V103
+1.5	SL_LT001	BOOL	FALSE	SEUIL BAS RESERVOIR V101
+1.6	SL_LT002	BOOL	FALSE	SEUIL BAS RESERVOIR V102
+1.7	SL_LT003	BOOL	FALSE	SEUIL BAS RESERVOIR V103
+2.0	SLL_LT001	BOOL	FALSE	SEUIL TRES BAS RESERVOIR V101
+2.1	SLL_LT002	BOOL	FALSE	SEUIL TRES BAS RESERVOIR V102
+2.2	SLL_LT003	BOOL	FALSE	SEUIL TRES BAS RESERVOIR V103
+2.3	SH_PRES_PT001	BOOL	FALSE	SEUIL HAUT PRESSION PT001
+2.4	SHH_PRES_PT001	BOOL	FALSE	SEUIL TRES HAUT PRESSION PT001
+2.5	SH_PRES_PT002	BOOL	FALSE	SEUIL HAUT PRESSION PT002
+2.6	SHH_PRES_PT002	BOOL	FALSE	SEUIL TRES HAUT PRESSION PT002

Figure V.7 : Bloc de données DB5 « seuils ».

FC0

On a créé ce bloc pour faire une gestion des défauts vannes. Pour chaque vanne, on fait appel au bloc FB0 pour y entrer ses données et les enregistrer dans un DB d'instance.

Si les conditions du bon fonctionnement des vannes ne sont pas vérifiées, le bit de défaut est mis à 1.

FC1

La mise hors service d'une pompe peut être causée par l'apparition d'un défaut disjoncteur, ou thermique. Un défaut général est alors activé grâce à ce bloc qui englobe les huit pompes de la station.

FC3

On fait appel au bloc FB1 pour chaque pompe, afin de pouvoir la mettre en marche en manuel dans les conditions mentionnées précédemment.

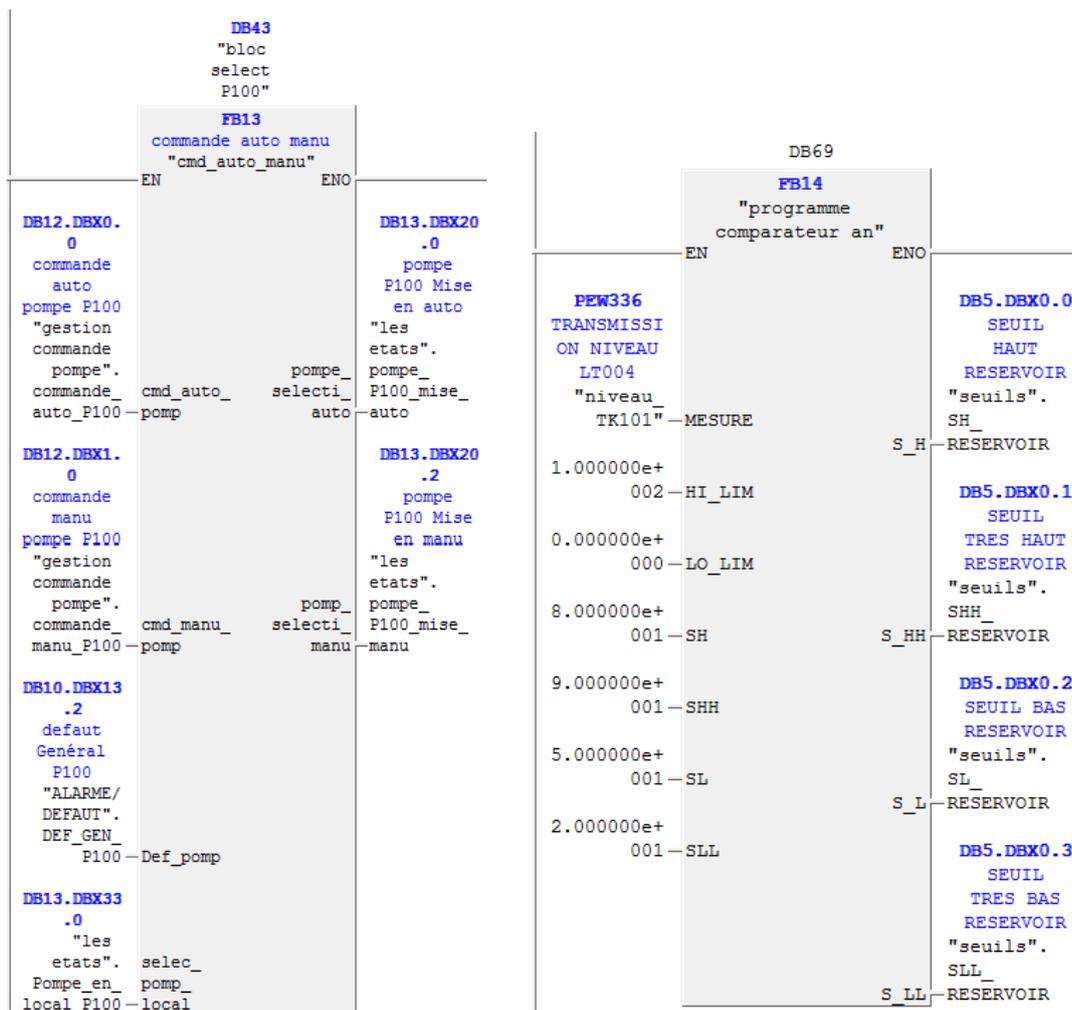
FC11

On introduit dans ce bloc les seuils limites des différentes valeurs des entrées analogiques, en faisant appel au bloc FB14 pour chaque transmetteur.

FC21

Le FC21 a été créé afin de contenir le bloc fonctionnel FB13 pour la commande de la sélection des pompes en automatique ou en manuel. Cependant on fait appel aux blocs de données globaux DB12 pour les entrées (commandes), ainsi que DB13 pour les sorties (état auto/manu).

Voici un aperçu des blocs contenu dans FC11 et FC21:

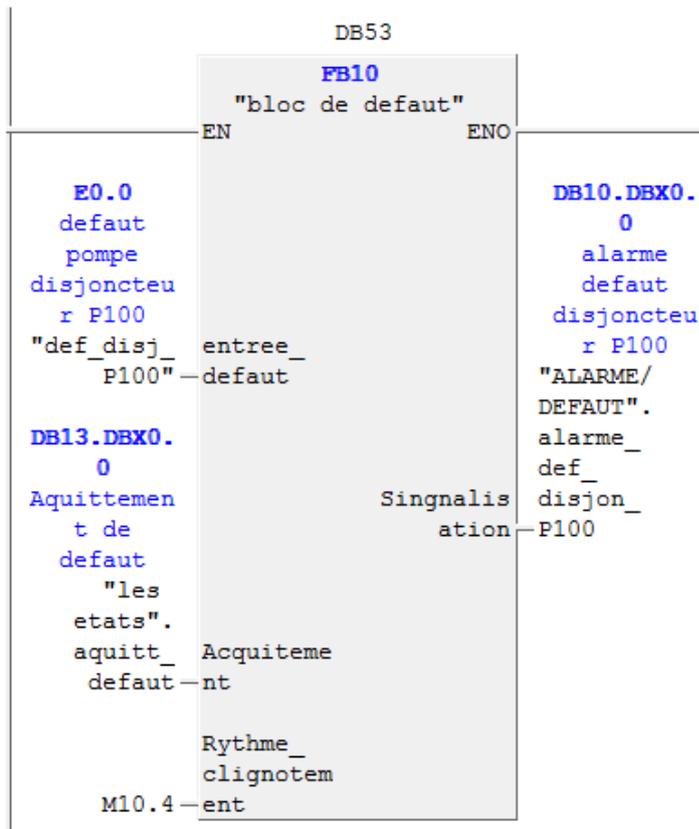


FC23

La création de ce bloc nous a permis de gérer l'apparition des différentes alarmes. En associant l'entrée d'un défaut apparaissant, à la sortie alarme représentant ce défaut au rythme clignotement du memento de cadence M10.4.

Réseau 1: Titre :

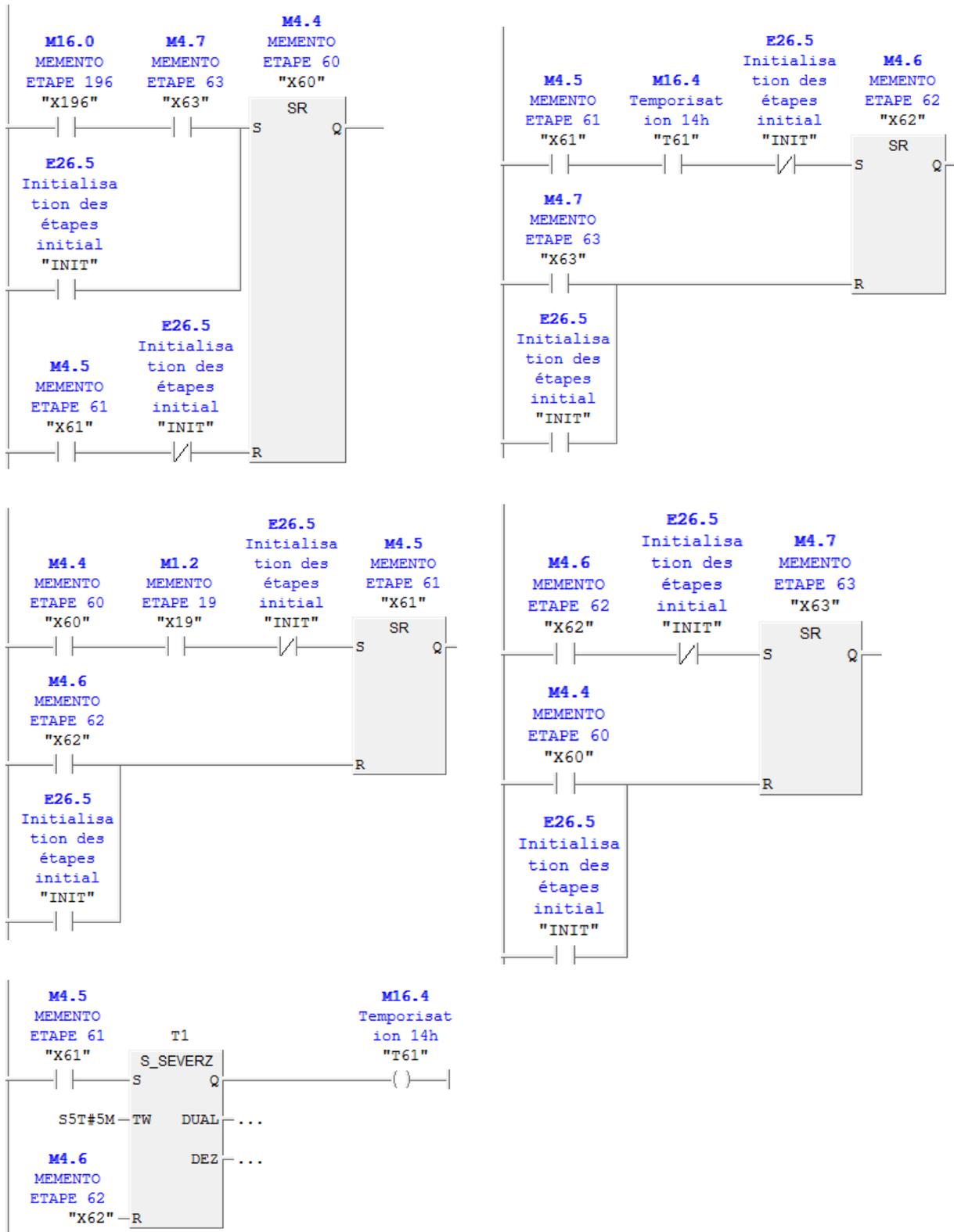
```
alarme disjonteur P100
```



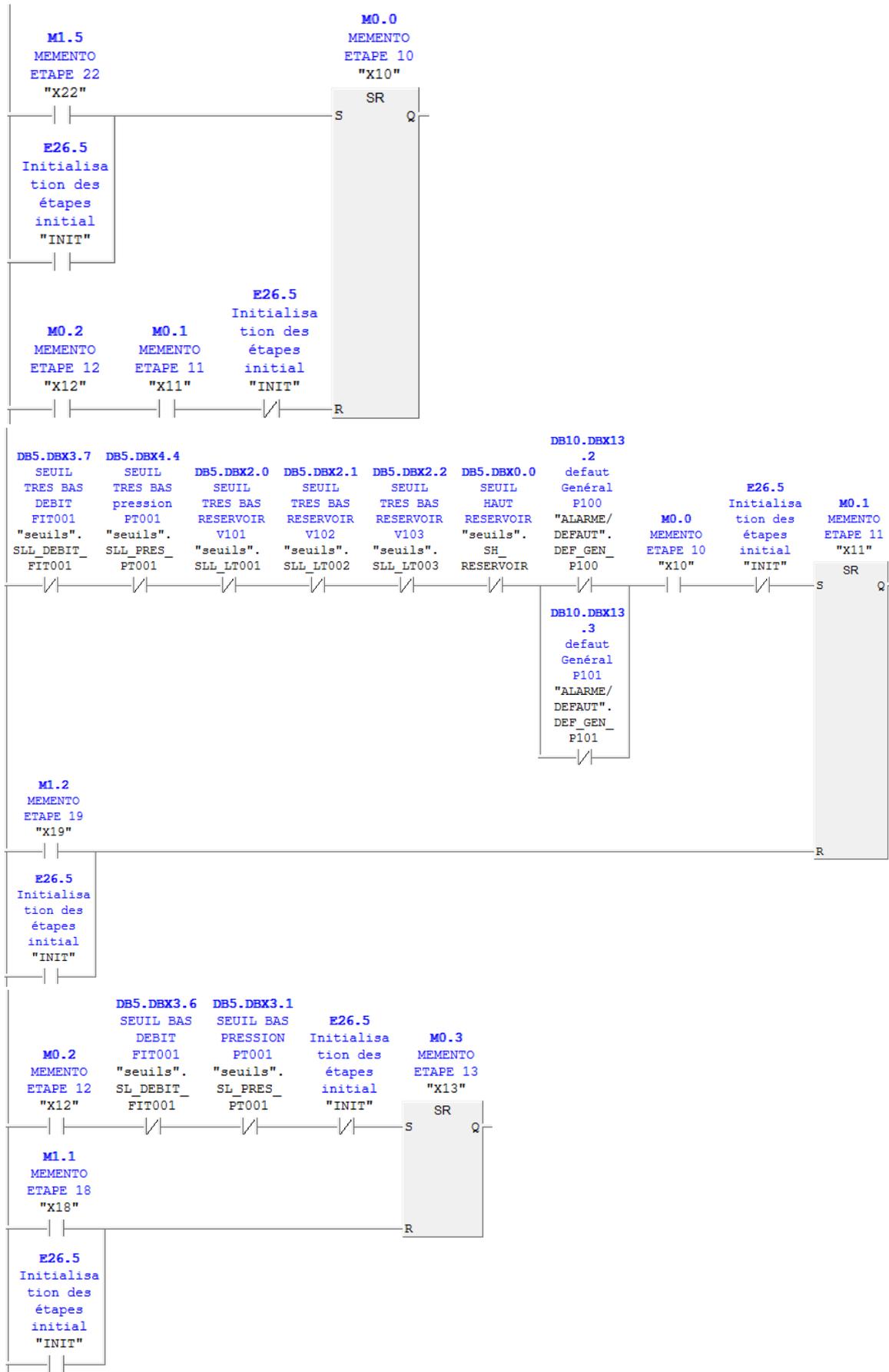
FC100

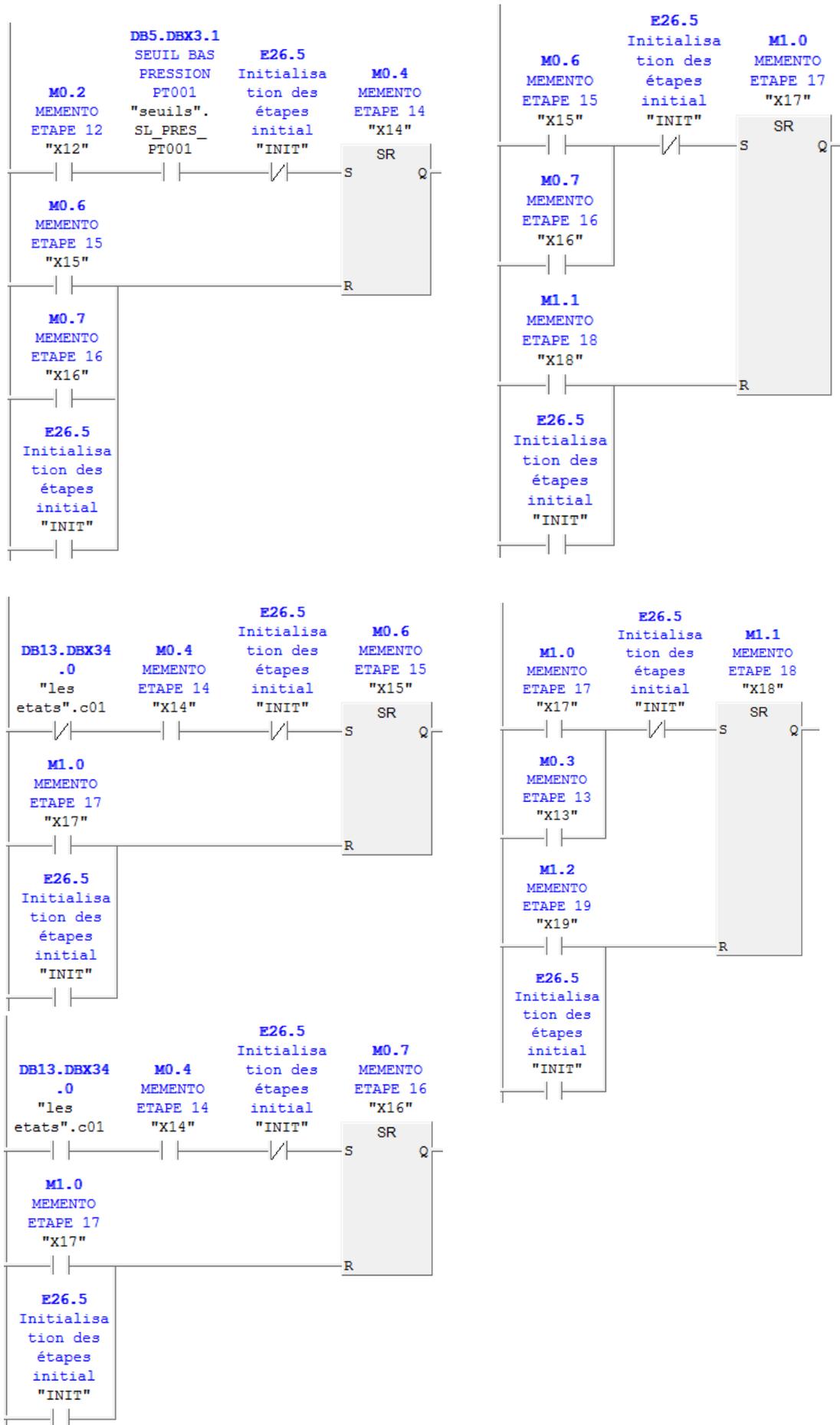
Le bloc FC100 contient toutes les étapes issues de la modélisation de notre grafset, c'est-à-dire le cycle d'exécution des tâches à réaliser dans notre station. On présentera dans ce qui suit quelques exemples des réseaux créés. (Pour les équations en vue de la programmation voir annexe)

• Cycle de temporisation :

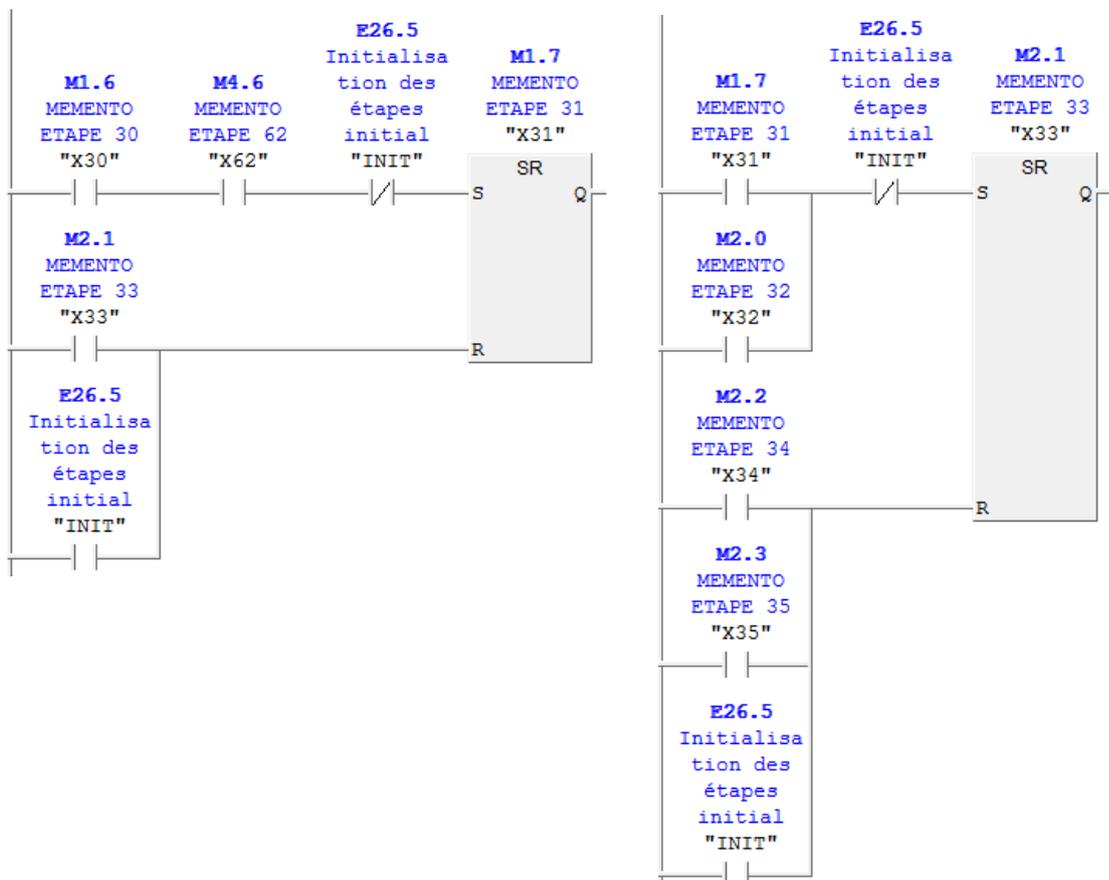
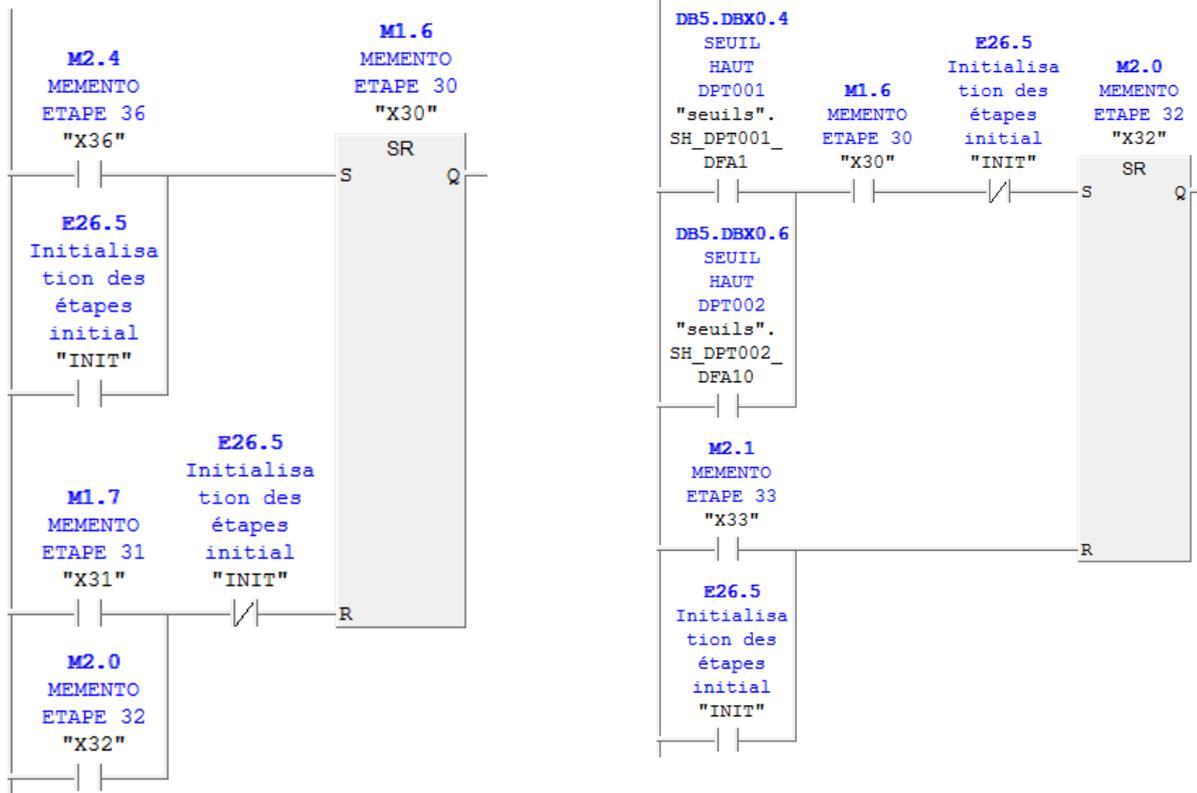


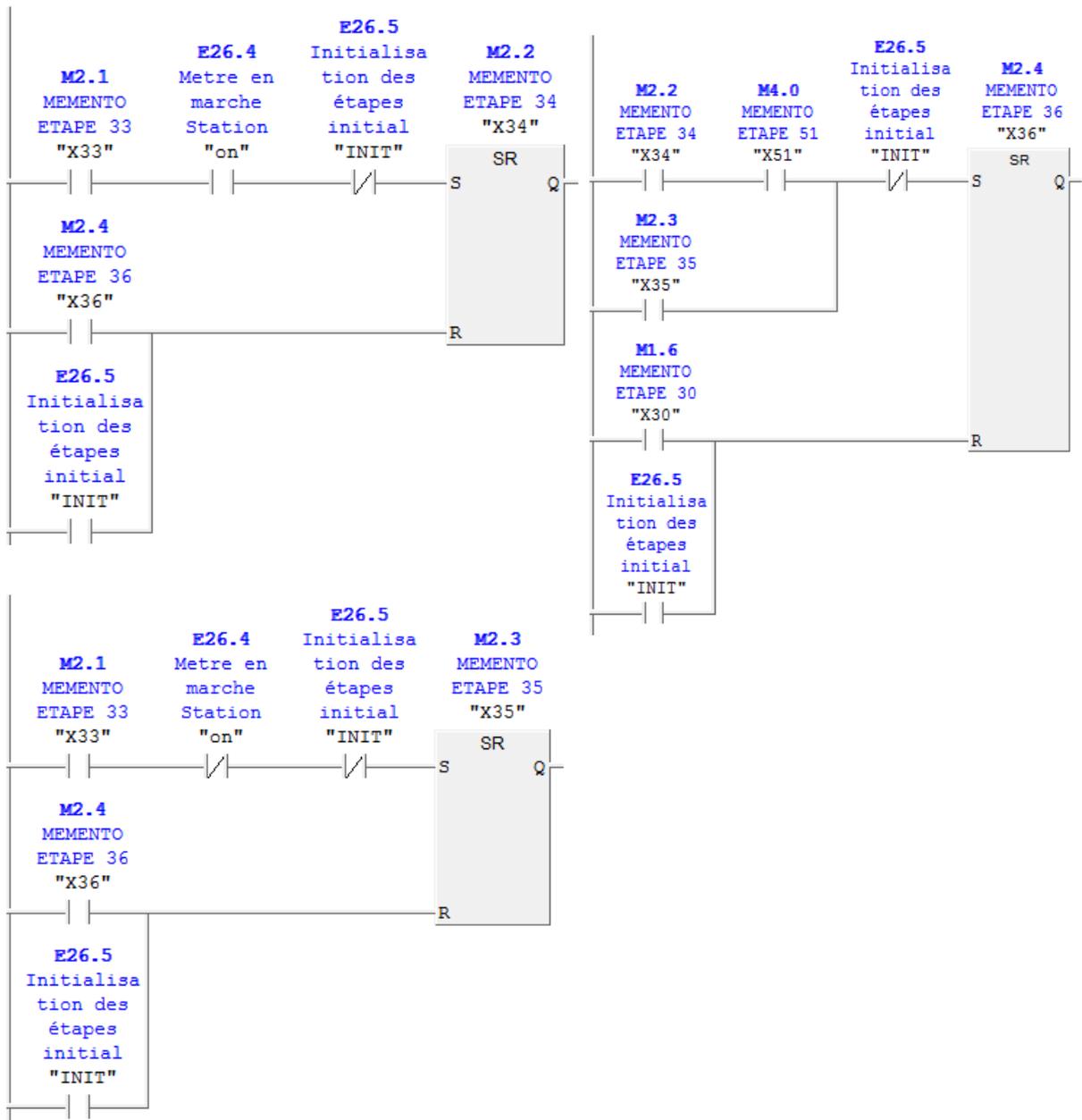
• Cycle d'alimentation en eau brute





• Cycle de déclenchement du rétro-lavage





OB1

OB1 regroupe les instructions que le programme va exécuter d'une manière cyclique, il fait appel à toutes les fonctions (FC0, FC1, FC3, FC11, FC21, FC23, FC100).

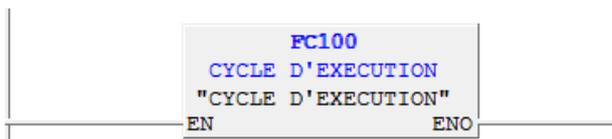
Voici un aperçu du bloc d'organisation :

OB1 : "Main Program Sweep (Cycle)"

Commentaire :

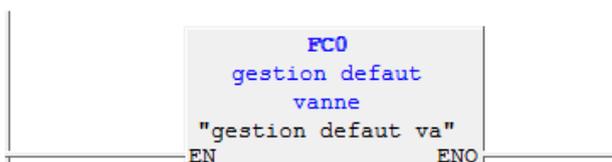
Réseau 1 : Titre :

Commentaire :



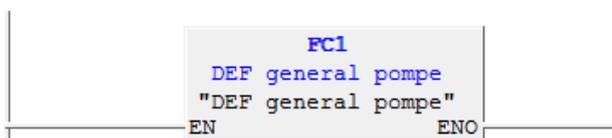
Réseau 2 : Titre :

Commentaire :



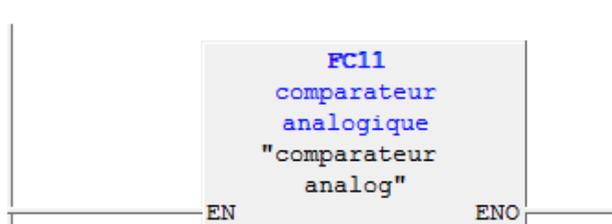
Réseau 3 : Titre :

Commentaire :



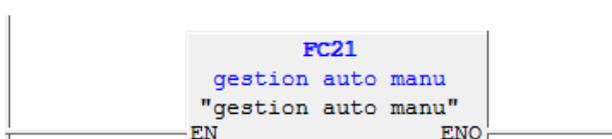
Réseau 4 : Titre :

Commentaire :



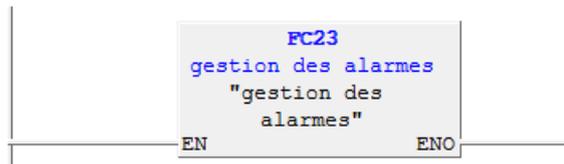
Réseau 5 : Titre :

Commentaire :



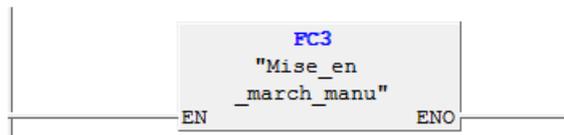
Réseau 6 : Titre :

Commentaire :



Réseau 7 : Titre :

Commentaire :



V.3 Réalisation de la supervision de la station

V.3.1 Introduction à la supervision

Lorsque la complexité des processus augmente et que les machines et installations doivent répondre à des spécifications de fonctionnalité toujours plus sévères, l'opérateur a besoin d'un maximum de transparence. Cette transparence s'obtient au moyen de l'Interface Homme Machine (IHM). Le contrôle proprement dit du processus est assuré par le système d'automatisation.

Une fois le pupitre mis sous réseau, il permet :

- ✓ de visualiser l'état des actionneurs (Pompes, vannes) et des capteurs (pression, flux, niveau).
- ✓ d'afficher les alarmes.
- ✓ d'agir sur les moteurs.

V.3.2 Outils de supervision

Un système de supervision et de contrôle est constitué d'une partie matérielle (centrale de mesure, bus de terrain...) et d'une partie logicielle (traitement et affichage des données). La partie matérielle permet de relever les paramètres et d'interagir physiquement avec l'installation, alors que le logiciel est le cerveau du système.

V.3.3 Etapes de mise en œuvre

Pour créer une interface Homme/Machine, il faut avoir préalablement pris connaissance des éléments de l'installation ainsi que le logiciel de programmation de l'automate utilisé.

Nous avons donc créé l'interface pour la supervision à l'aide de logiciel WinCC Flexible qui est le mieux adapté pour le matériel de la gamme *SIEMENS*.

V.3.3.1 Etablir une liaison directe

La première étape à effectuer est de créer une liaison directe entre le projet WinCC et l'automate. Ceci dans le but que WinCC puisse accéder aux données qui se trouvent dans sa mémoire. Après avoir créé notre projet WinCC, nous avons établi une nouvelle liaison nommée « liaison_2 » à partir de l'onglet « liaison », puis entré les différents paramètres adéquats :

- ✓ Interface MPI/DP : Notre automate est relié par une liaison MPI-DP.
- ✓ Adresse : Permet de spécifier l'adresse de la station, dans notre cas l'adresse MPI est « 2 ».

L'éditeur "Liaisons" affiche la connexion configurée avec l'automate.

La figure V.8 illustre cette liaison :

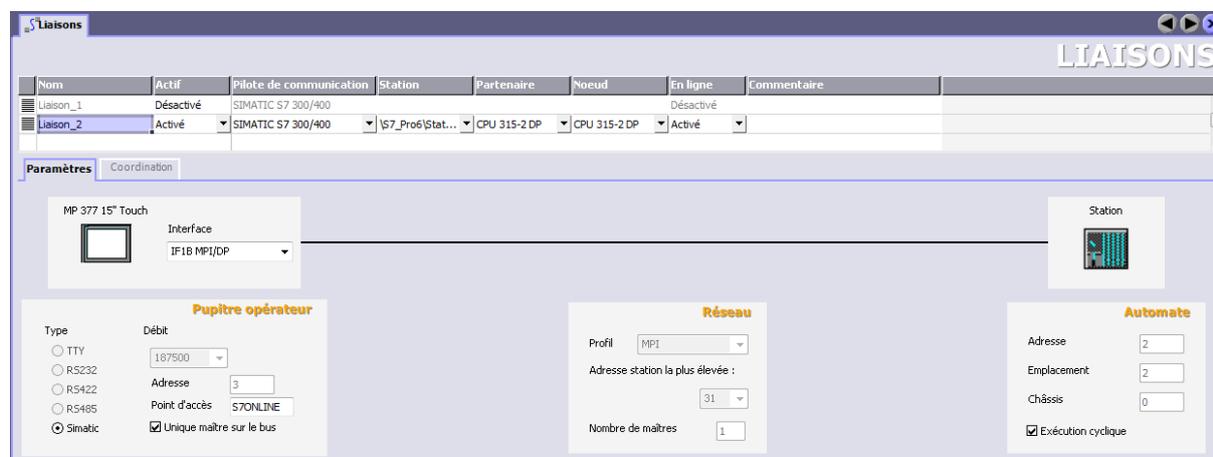


Figure V.8 : Création d'une liaison.

V.3.3.2 Création de la table des variables

La liaison entre notre projet WinCC et l'automate est établie, Il nous est donc possible d'accéder à toutes les zones mémoire de l'automate.

- ✓ Mémoire entrée/sortie.
- ✓ Mémento.
- ✓ Bloc de données.

Ainsi, l'échange des données entre les composants du processus automatisé est effectué, c'est-à-dire, entre le pupitre de l'opérateur et l'automate. Une variable est l'image d'une cellule mémoire définie de l'automate. L'accès en lecture et en écriture à cette cellule mémoire est possible aussi bien à partir du pupitre opérateur que de l'automate.

La correspondance entre les données du projet Step7 et les données du projet WinCC est créée automatiquement dès l'appel de la variable par le projet WinCC. On trouve cette correspondance des données dans l'onglet « Variable ». Chaque ligne correspond à une variable de WinCC. Elle est spécifié par :

- ✓ Son nom.
- ✓ La liaison vers l'automate.
- ✓ Son type.
- ✓ et le taux de rafraichissement de celle-ci.

Le taux de rafraichissement est le temps que doit mettre WinCC entre deux lectures dans la mémoire de l'automate.

L'éditeur "Variables" affiche toutes les variables du projet.

Nom	Nom d'affich...	Liaison	Type de données	Mnémonique	Adresse	Eléme
DB87.MES_PHYSIQUE		Liaison_2	Real	MES_PHYSIQUE	DB 87 DBD 28	1
DB88.MES_PHYSIQUE		Liaison_2	Real	MES_PHYSIQUE	DB 88 DBD 28	1
DB69.LO_LIM		Liaison_2	Real	LO_LIM	DB 69 DBD 6	1
DB69.MES_PHYSIQUE		Liaison_2	Real	MES_PHYSIQUE	DB 69 DBD 28	1
les etats.fin_cours_ouve...		Liaison_2	Bool	fin_cours_ouvertur_VA103	DB 13 DBX 8.2	1
les etats.retour_marche_...		Liaison_2	Bool	retour_marche_P100	DB 13 DBX 0.3	1
gestion commande pomp...		Liaison_2	Bool	cmd_manu_marche_P101	DB 12 DBX 4.1	1
OUV_VA11		Liaison_2	Bool	OUV_VA11	Q 21.0	1
les etats.fin_cours_ouve...		Liaison_2	Bool	fin_cours_ouverture_VA14	DB 13 DBX 2.6	1
les etats.fin_cours_ouve...		Liaison_2	Bool	fin_cours_ouverture_VA13	DB 13 DBX 2.5	1
gestion commande pomp...		Liaison_2	Bool	commande_manu_DP301	DB 12 DBX 1.7	1
les etats.fin_cours_ouve...		Liaison_2	Bool	fin_cours_ouverture_VA41	DB 13 DBX 4.2	1
gestion commande pomp...		Liaison_2	Bool	cmd_manu_arret_DP201	DB 12 DBX 5.5	1
gestion commande pomp...		Liaison_2	Bool	commande_auto_DP301	DB 12 DBX 0.7	1
OVA14		Liaison_2	Bool	OVA14	I 28.3	1
les etats.fin_cours_ouve...		Liaison_2	Bool	fin_cours_ouverture_VA71	DB 13 DBX 6.1	1
les etats.fin_cours_ouve...		Liaison_2	Bool	fin_cours_ouverture_VA73	DB 13 DBX 6.3	1

Figure V.9 : Table des variables.

V.3.3.3 Création de vues

Dans WinCC flexible, on crée des vues pour le contrôle-commande des machines et d'installations. Lors de la création des vues, on dispose d'objets prédéfinis permettant d'afficher des procédures et de définir des valeurs de process.

a) Planifier la création de vues

Les principales étapes ci-dessous sont nécessaires à la création de vues :

- Planifier la structure de la représentation du process : Combien de vues sont nécessaires, dans quelle hiérarchie.

Exemple : les process partiels peuvent être représentés dans des vues séparées, puis regroupés en une vue principale.

- Planifier la navigation entre les diverses vues.
- Adapter le modèle.
- Créer les vues.

b) Constitution d'une vue

Une vue peut être composée d'éléments statiques et d'éléments dynamiques.

- Les éléments statiques, tels que les textes.
- Les éléments dynamiques varient en fonction de la procédure. Ils visualisent les valeurs de process actuelles à partir de la mémoire de l'automate ou du pupitre (pompes, vannes, champ E/S...etc.)

Les objets sont des éléments graphiques qui permettent de configurer la présentation des vues de process du projet. La fenêtre des outils contient différents types d'objets fréquemment utilisés dans les vues de process. On trouve dans l'onglet « objets simples » des objets graphiques simples tels qu'un champ de texte et des éléments de commande simples, tels qu'un champ d'E/S représenté dans la figure V.10 qui suit.

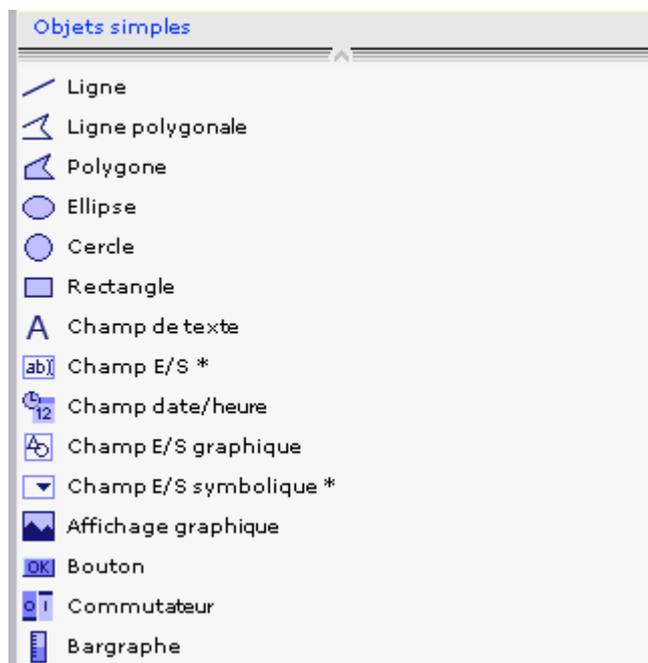


Figure V.10 : Boite à outils « objets simples » WinCC.

c) Vues du process

Les process partiels peuvent être représentés dans des vues séparées, puis regroupés en une vue principale (initiale). La figure V.11 suivante montre les vues créées pour la commande et le contrôle du process.

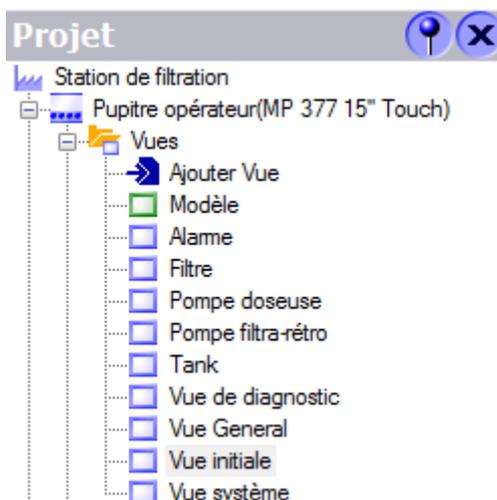


Figure V.11 : Vues pupitre de la station de préfiltration.

1) Vue initiale

Les process partiels peuvent être représentés et regroupés dans la vue initiale, pour permettre à l'opérateur de choisir l'accès vers les différentes vues de la station.

La figure V.12 représente la vue initiale de la station de préfiltration.

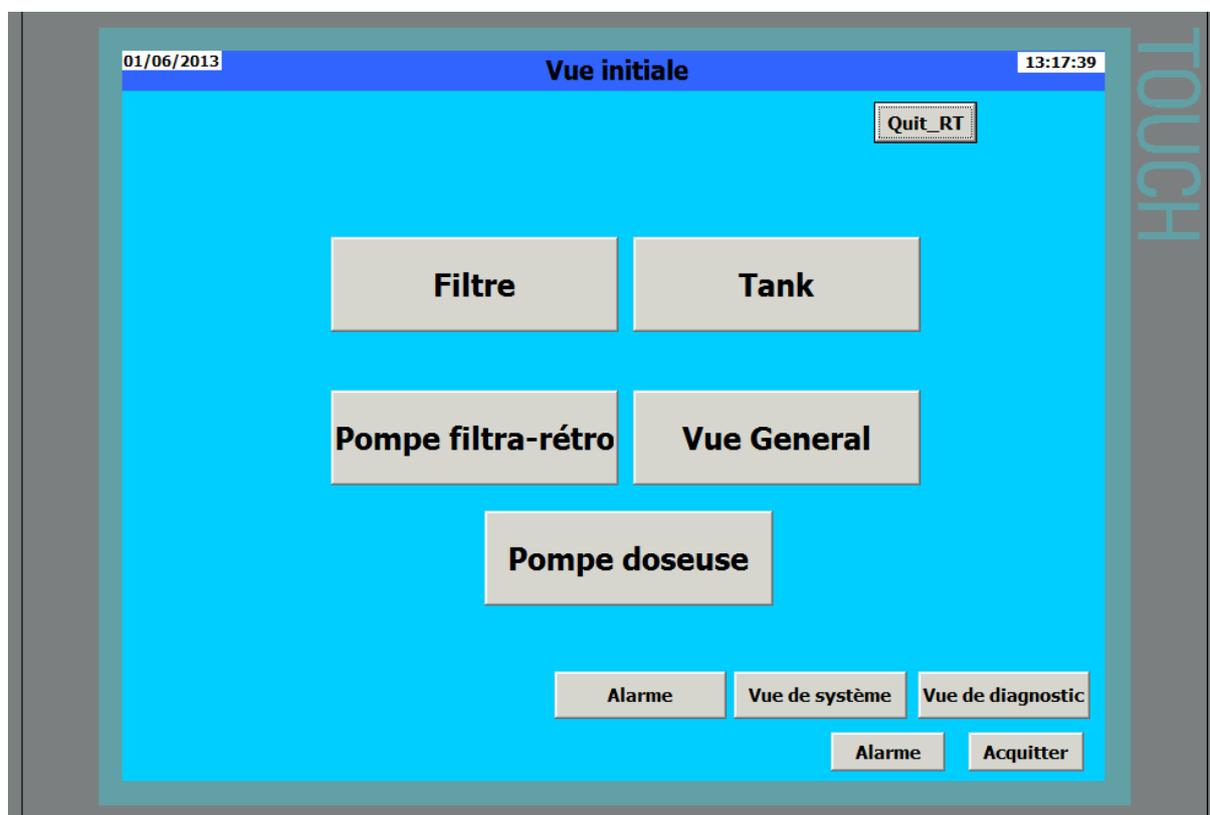


Figure V.12 : Vue initiale.

2) Vue général

Cette vue (figure V.15) permet à l'opérateur de :

- Visualiser l'ensemble des équipements de la station.
- Visualiser le déroulement du processus de filtration en temps réel, ainsi que les mesures des différents capteurs configurées avec un champ E/S (figure V.13).
- Commander la mise en marche et l'arrêt de la station grâce aux boutons « On station » et « Off station ».
- Revenir à la vue initiale, ou d'accéder à la commande des pompes.
- Visualiser l'état des vannes, ouverte (couleur verte), fermée (couleur rouge). La figure V.14 montre la configuration de l'animation pour les vannes.

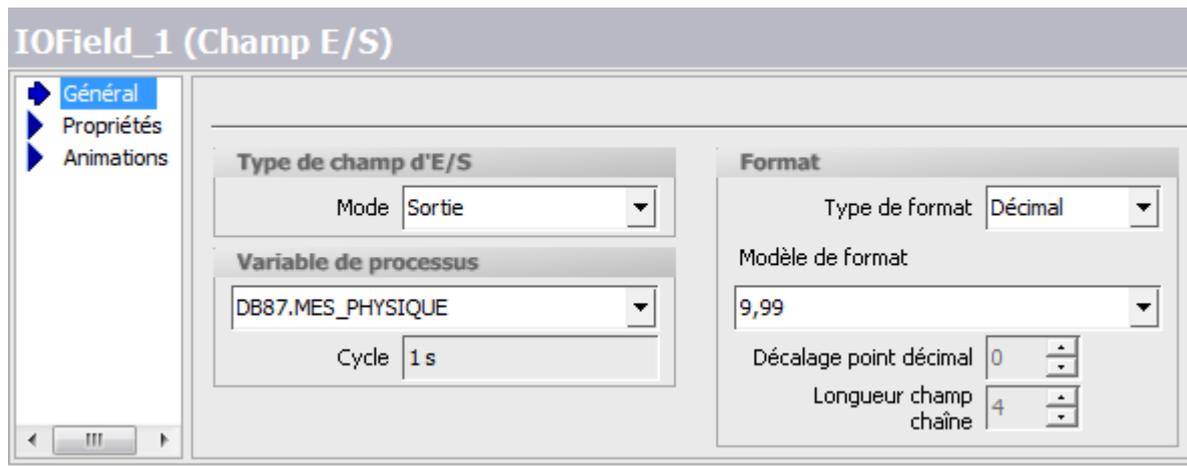


Figure V.13 : Configuration du champ E/S.

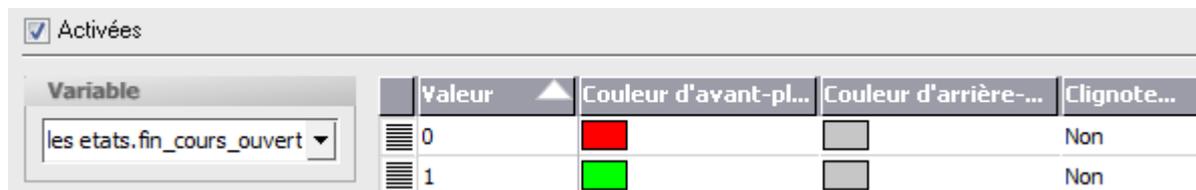


Figure V.14 : Configuration de l'animation des vannes.

La figure suivante illustre la vue général de la station.

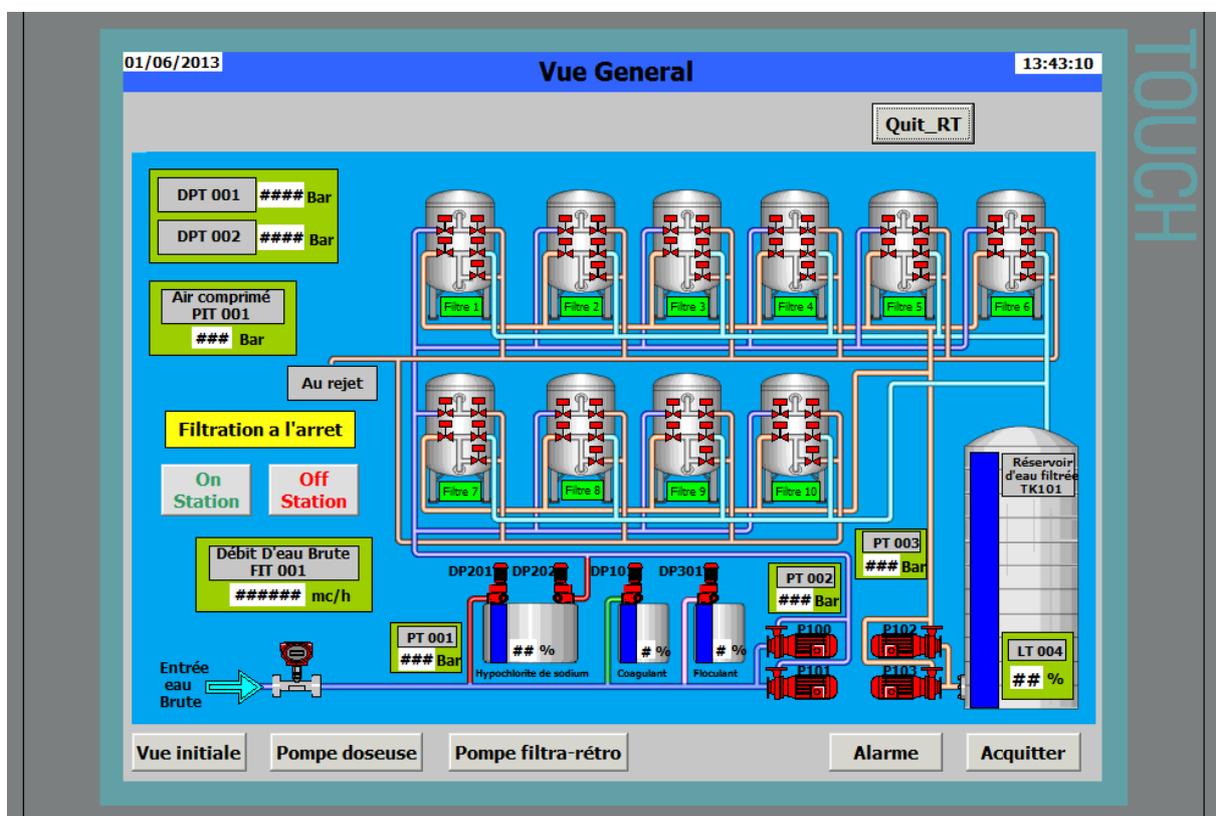


Figure V.15 : Vue général de la station de préfiltration.

3) Vue pour la commande des pompes

La création de cette vue permet à l'opérateur de :

- Mettre les pompes en mode automatique ou manuel.
- Mettre en marche les pompes si celles-ci sont mises en mode manuel.
- Accéder vers les différentes vues de la station.

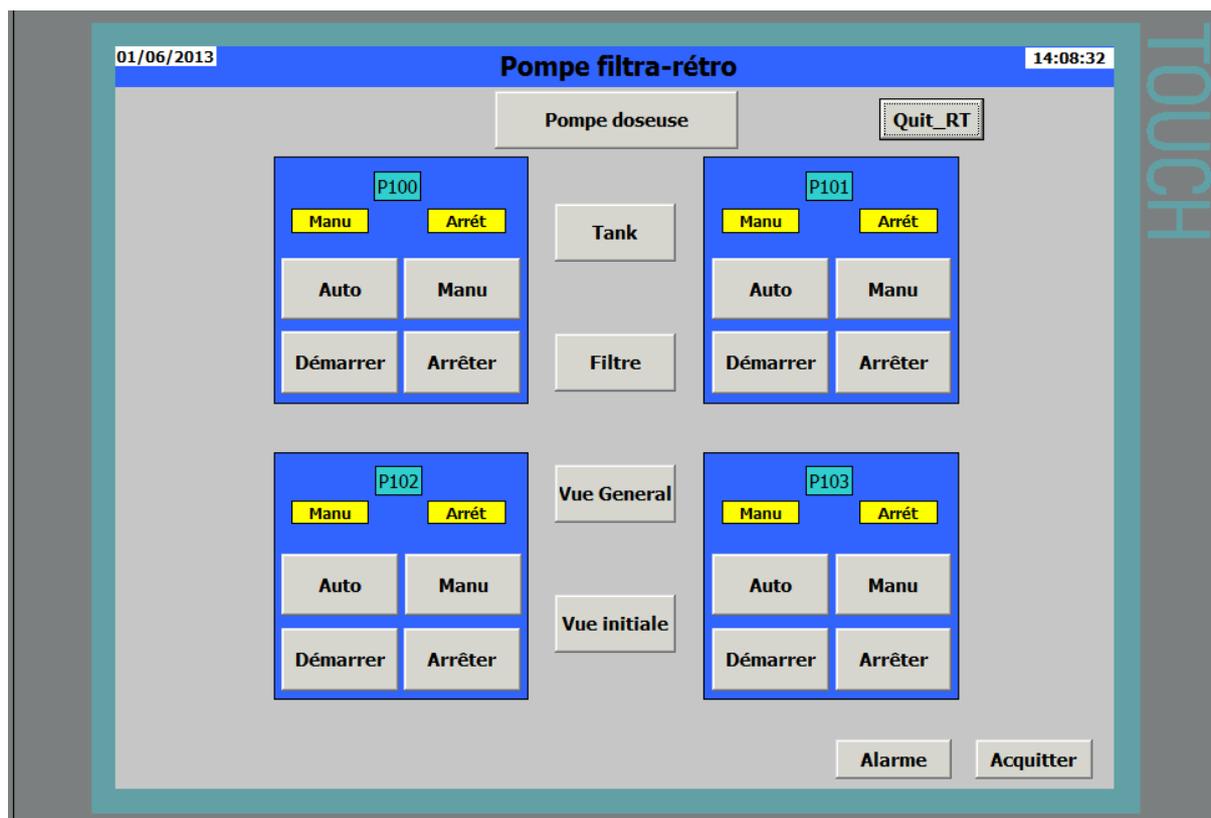


Figure V.16 : Vue de commande des pompes.

4) Vue Tank (réservoir)

La création de cette vue permet à l'opérateur de visualiser :

- L'état de fonctionnement des pompes (marche, arrêt).
- Le niveau des réservoirs.

La figure V.16 illustre la vue Tank.

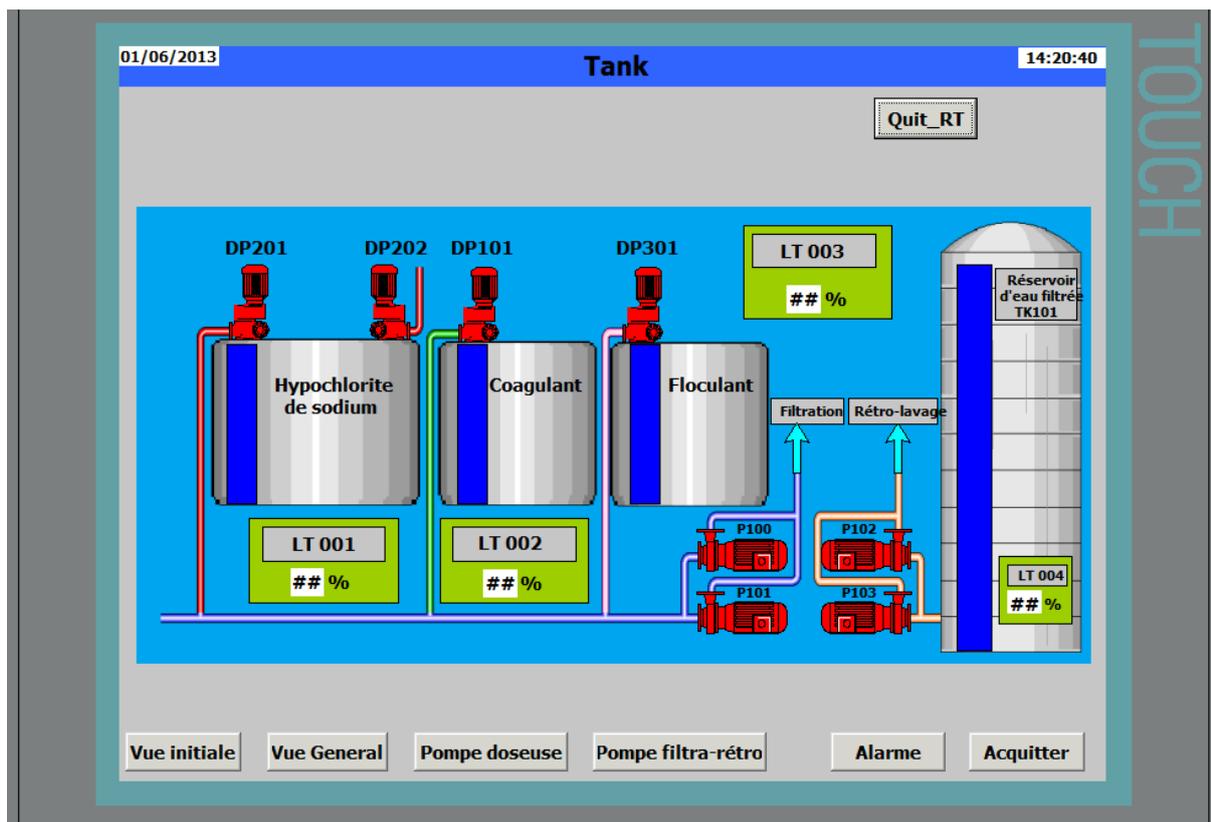


Figure V.17 : Vue Tank.

5) Vue des alarmes

Le pupitre opérateur déclenche une alarme lorsqu'un certain bit est mis à 1 dans l'automate. Pour cela, nous avons configurés des alarmes TOR dans WinCC flexible.

WinCC flexible comporte les tableaux suivants pour la configuration des alarmes :

- "Alarmes TOR" permet de créer et de modifier des alarmes TOR.
- "Classes d'alarmes" permet de créer et de modifier des classes d'alarmes.

Les classes d'alarmes déterminent, en substance, l'aspect des alarmes s'affichant sur le pupitre opérateur et leur comportement d'acquiescement.

On a rendu obligatoire l'acquiescement des alarmes TOR signalant des états critiques ou dangereux, afin de garantir que la personne qui commande l'installation en a bien pris connaissance.

L'opérateur dispose d'un bouton « Acquitter » dans les vues, pour acquiescer les alarmes.

La classe d'alarme choisie est la classe "Erreur", la figure V.18 montre le paramétrage de la classe des alarmes et leurs animations qui sont comme suit :

- Lorsque la condition de déclenchement d'une alarme est vraie, l'alarme est à l'état clignotant (couleur rouge et blanc)
- Lorsque l'opérateur a acquitté l'alarme, elle est à l'état "Apparaissante/Acquittée" (couleur verte).

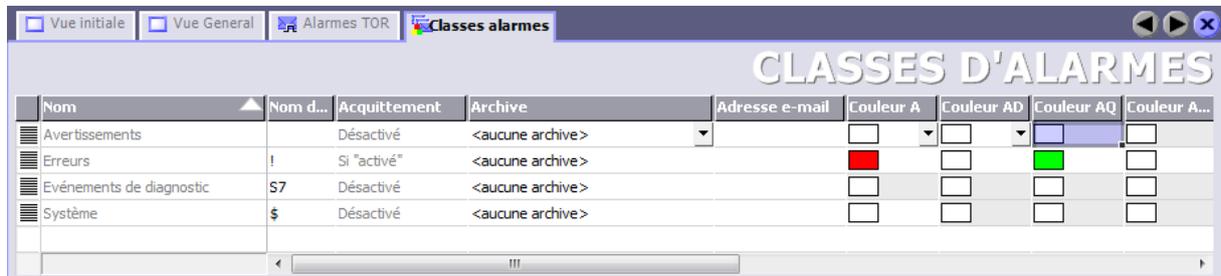


Figure V.18 : Paramétrage de la classe des alarmes.

L'éditeur "Alarmes TOR" affiche les variables utilisés comme le montre la figure V.19 suivante :

Texte	Numéro	Classe	Variable d...	Numéro de ...	Adresse de déclenchement
Alarme défaut disjoncteur P100	9	Erreurs	ALARME	8	DB 10 DBX 0.0
Alarme défaut disjoncteur P101	10	Erreurs	ALARME	9	DB 10 DBX 0.1
Alarme défaut disjoncteur P102	11	Erreurs	ALARME	10	DB 10 DBX 0.2
Alarme défaut disjoncteur P103	12	Erreurs	ALARME	11	DB 10 DBX 0.3
Alarme défaut disjoncteur DP101	13	Erreurs	ALARME	12	DB 10 DBX 0.4
Alarme défaut disjoncteur DP201	14	Erreurs	ALARME	13	DB 10 DBX 0.5
Alarme défaut disjoncteur DP202	15	Erreurs	ALARME	14	DB 10 DBX 0.6
Alarme défaut disjoncteur DP301	16	Erreurs	ALARME	15	DB 10 DBX 0.7
Alarme défaut thermique P100	1	Erreurs	ALARME	0	DB 10 DBX 1.0
Alarme défaut thermique P101	2	Erreurs	ALARME	1	DB 10 DBX 1.1
Alarme défaut thermique P102	3	Erreurs	ALARME	2	DB 10 DBX 1.2
Alarme défaut thermique P103	4	Erreurs	ALARME	3	DB 10 DBX 1.3
Alarme défaut thermique D P101	5	Erreurs	ALARME	4	DB 10 DBX 1.4
Alarme défaut thermique D P201	6	Erreurs	ALARME	5	DB 10 DBX 1.5
Alarme défaut thermique D P202	7	Erreurs	ALARME	6	DB 10 DBX 1.6
Alarme défaut thermique D P301	8	Erreurs	AI ARMF	7	DB 10 DBX 1.7

Figure V.19 : Table des alarmes.

Et enfin la figure V.20 représente la vue des alarmes.

N°	Heure	Date	Etat	Texte	GR
! 14	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme défaut disjoncteur DP201	0
! 12	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme défaut disjoncteur P103	0
! 1	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme défaut thermique P100	0
! 31	15:01:57	01/06/2013	A	alarme niveau coagulant bas DS1	0
! 29	15:01:57	01/06/2013	A	alarme niveau hypochlorite bas DS2	0
! 27	15:01:57	01/06/2013	A	alarme niveau floculant bas	0
! 25	15:01:57	01/06/2013	A	alarme niveau d'eau tres haut TK101	0
! 40	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme_discord_VA102	0
! 39	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme_discord_VA45	0
! 38	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme_discord_VA23	0
! 37	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme_discord_VA12	0
! 42	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme_discord_VA73	0
! 41	15:01:57	01/06/2013	A	Alarme_discord_VA91	0

Figure V.20 : Vue des alarmes.

V.4 Compilation et Simulation

Après avoir créé le projet et terminé la configuration, il est indispensable de vérifier la cohérence du projet, et de détecter les erreurs, à l'aide de la commande sur la barre du menu 'contrôle de la cohérence', après le contrôle de cohérence, le système crée un fichier de projet compilé.

La simulation permet de détecter des erreurs logiques de configuration, par exemple, des valeurs limites incorrectes, et cela a l'aide du simulateur *RUNTIME* par la commande « démarrer le système Runtime du simulateur ».

V.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes de la création de notre programme Step7 et sa réalisation, ainsi que la procédure à suivre pour la création d'une Interface Homme Machine pour le contrôle et la commande de la station, et donné un aperçu des blocs utilisés lors de la programmation.

La création d'une Interface Homme Machine exige non seulement une bonne connaissance du langage de supervision, mais aussi du langage avec le quel est programmé l'automate afin de faire une communication correcte des adresses des variables qui nous intéressent.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Pour atteindre l'objectif de notre projet, nous avons commencé par prendre connaissance de l'installation qui est une station de préfiltration des eaux, puis identifié les éléments la constituant pour connaître le besoin en énergie électrique et dimensionner les équipements à prévoir pour l'alimentation et la protection de ces derniers.

Afin d'automatiser la station, l'étude et l'élaboration de son analyse fonctionnelle ainsi que sa modélisation par un GRAFCET ont été effectuées.

Le passage en revue des automates programmables industriels de la gamme *SIEMENS*, leurs caractéristiques et leur domaine d'utilisation, ainsi que des langages de programmation utilisables ont été abordés.

La prise de connaissance du logiciel *STEP7*, afin de programmer le fonctionnement de la station et d'en récupérer les états des variables qui nous intéressent pour créer notre interface homme-machine. Les performances de *WinCC Flexible* qui est un logiciel permettant de gérer les interfaces graphiques a été exploité pour sa conception en vue de la supervision du système avec des visualisations et des animations actualisées.

La période passée au sein de l'unité énergie et utilités du groupe « CEVITAL » nous a permis d'apprendre les rudiments d'une communication hiérarchique et d'une transmission d'informations efficace et selon les procédures.

Le déplacement sur site nous a nettement aidés à mieux assimiler l'envergure du projet et nous a permis d'avoir un avant-gout des responsabilités que prennent les ingénieurs du terrain.

Perspectives :

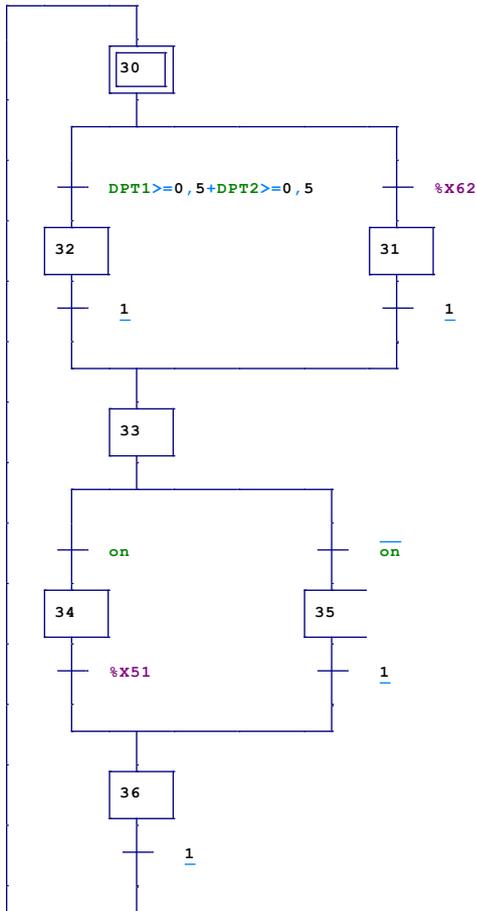
- ◆ L'existence des pics de pression fait que la station peut entrer en rétro-lavage sans en avoir vraiment besoin. Il est donc souhaitable de réaliser une étude incluant la possibilité d'éviter le rétro-lavage dans ces conditions.
- ◆ Implantation du programme sur le système.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

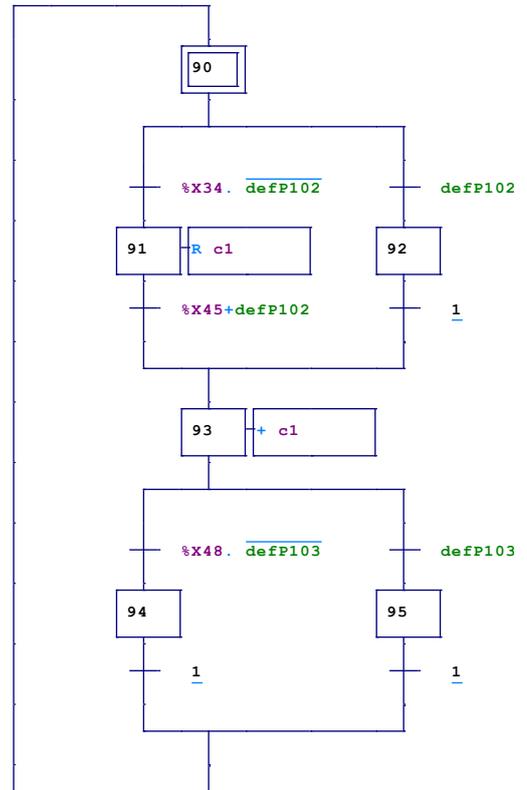
- [1] Enrico Riboni, Chézard-Saint-Martin, « Purification de l'eau dans l'industrie », Suisse, 2008 ;
- [2] Grupo Facoma, ESTRUAGA « Filtres presse », www.estruga.com ;
- [3] FILTRATION « CVBA », www.filtration.be ;
- [4] Schématique technologique du contrôle industriel « GROUPE SCNEIDER » Melin Gerin- square D-télémechanique ‘collection technique’ ;
- [5] L.ISAMBERT, « Pneumatique dans les réseaux industriels ».
- [6] « InterApp IA fluides under control », www.interapp.net ;
- [7] Omega engineering, www.omega.fr ;
- [8] « JUMO Pressure Instruments », JUMO GmbH & Co. KG;
- [9] Schneider Electric, « Guide de la distribution basse et moyenne tension », édition 2002 ;
- [10] Schneider Electric, « puissance d'une installation » ;
- [11] Schneider Electric, « définition d'appareillage, Disjoncteur moyenne et basse tension », guide technique Merlin Gérin moyenne et basse tension ;
- [12] Schneider Electric, « Protection du matériel et des personnes » ;
- [13] C.VRIGNON et M.THENAISSIE, ISTI (Automatisation) ;
- [14] Automatisme édition DUNOD collection agati 1993 ;
- [15] PATRICK. TRAU, ULP-IPST. Université Louis Pasteur institut professionnel de Sciences et Technologies. STRASBOURG ;

- [16] Michel G, Les API, Architecture et Application des Automates Programmables Industriels. DUNOD, Paris, 1987 ;
- [17] www.siemens.com, Décembre 2009 ;
- [18] Manuel SIEMENS, « Appareils de Terrain pour l'Automatisation des Processus », 2005;
- [19] Manuel SIEMENS, STEP7, Régulation PID, 2000 ;
- [20] Jargot P, Langages de Programmation pour API. Norme IEC 1131-3. Techniques de l'Ingénieur. S 8 030, 2006 ;
- [21] Manuel SIEMENS, « Programmation avec STEP7 », 2000 ;
- [22] Manuel SIEMENS, STEP7 PLCSIM, « Testez vos Programmes », 2002.

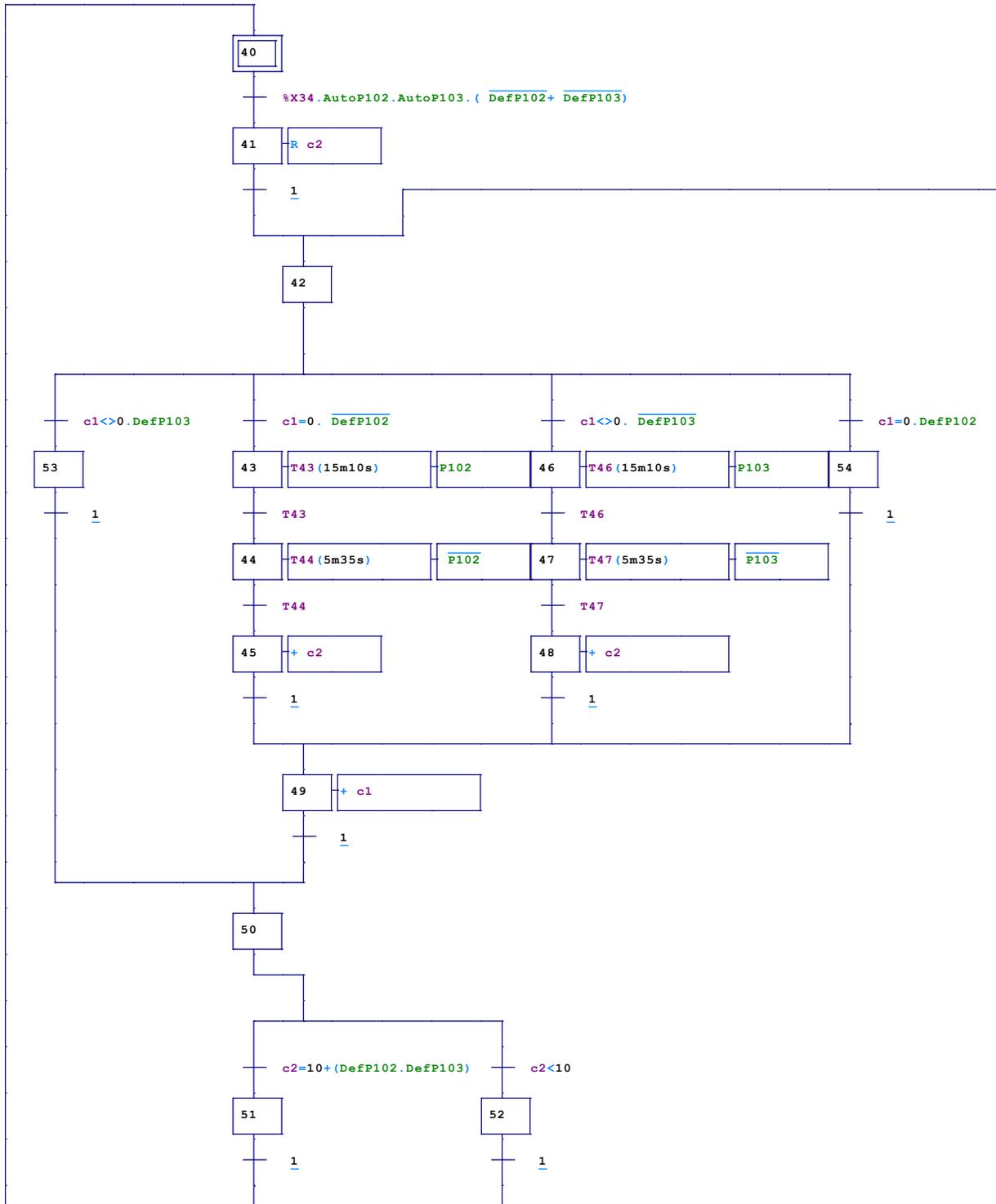
ANNEXE



Grafcet de déclenchement du rétro-lavage.



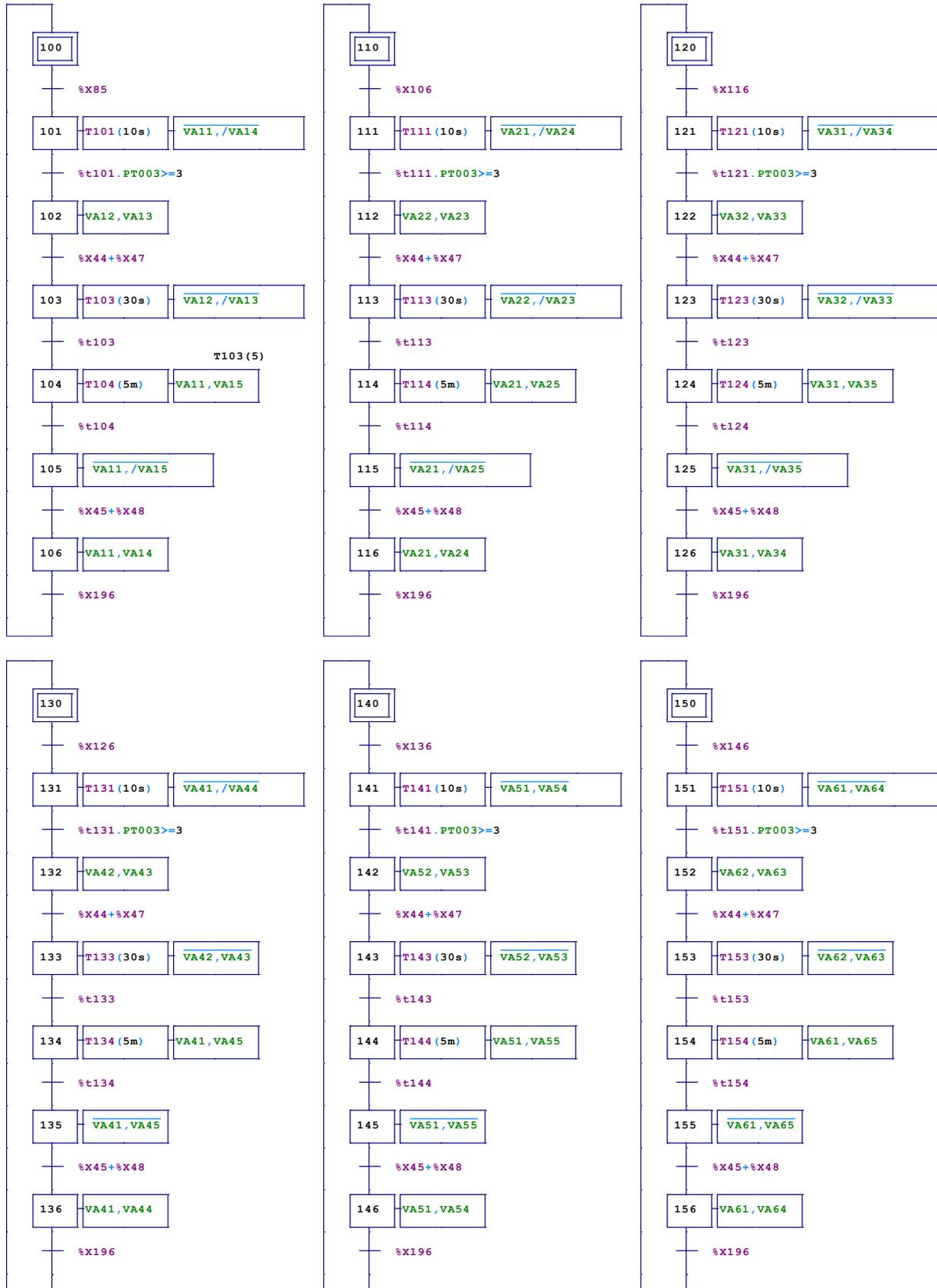
Grafcet de permutation de pompes de rétro-lavage.

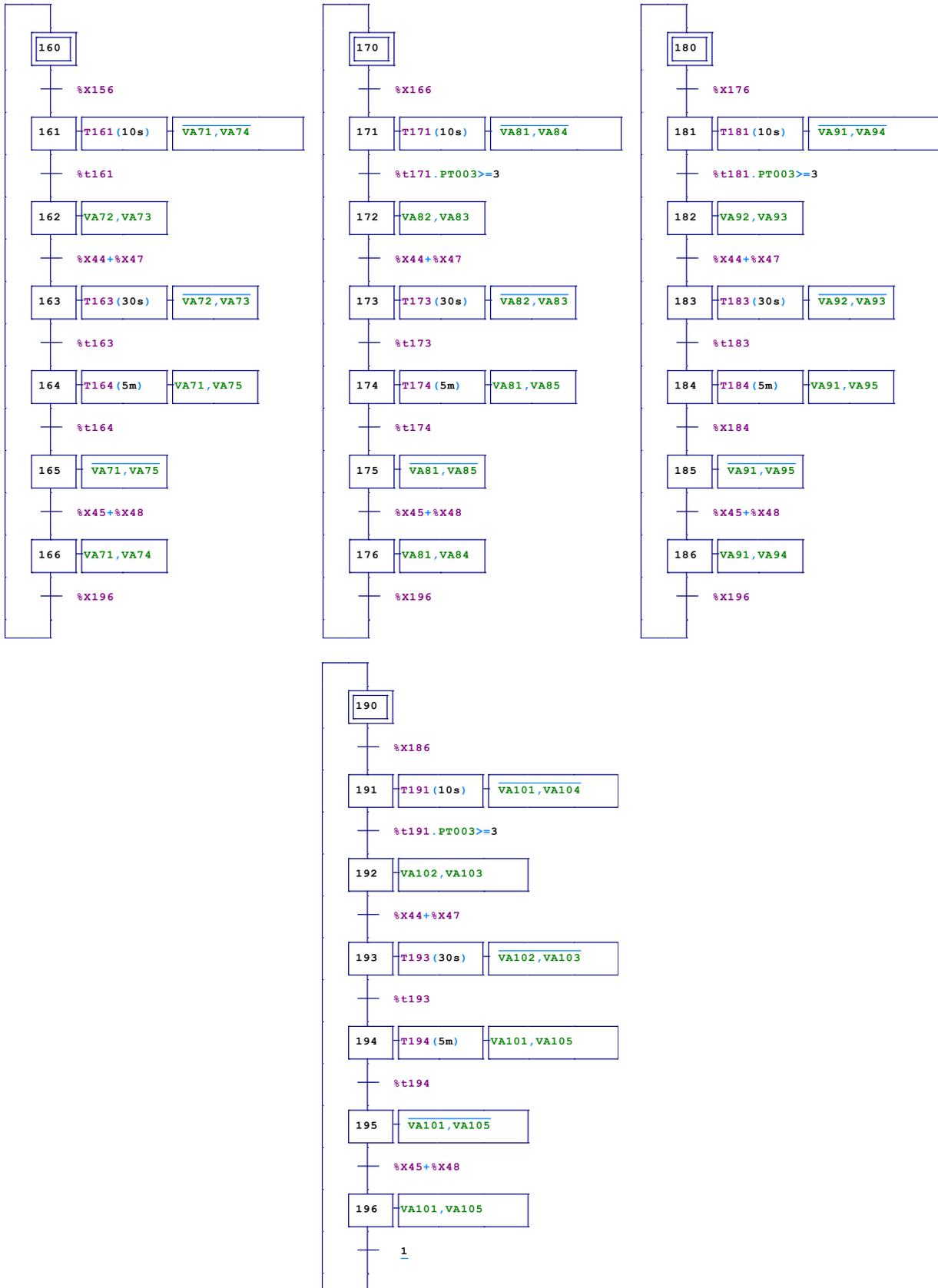


Grafcet de commande des pompes de rétro-lavage.

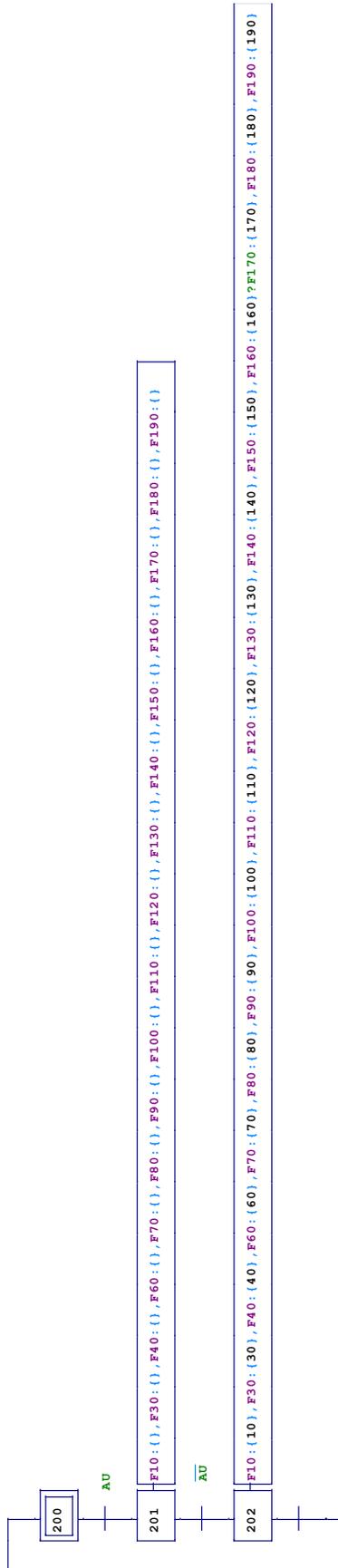


Grafcet de commande des vannes.

Graficet de basculement des vannes **DFA 1-6.**



Graficet de basculement des vannes **DFA 7-10**.



Grafset d'arrêt d'urgence.

Les équations en vue de la programmation :

- **Les équations de la temporisation :**

- Les équations de réceptivités :

$$RP60 = X19.$$

$$RP61 = T61.$$

$$RP63 = X196.$$

- Les équations d'activation des étapes :
- Les équations de désactivation des étapes

$$S60 = X63.RP63 + \overline{INIT}$$

$$R60 = X61. \overline{INIT}$$

$$S61 = X60.RP60. \overline{INIT}$$

$$R61 = X62 + \overline{INIT}$$

$$S62 = X61.RP61. \overline{INIT}$$

$$R62 = X63 + \overline{INIT}$$

$$S63 = X62. \overline{INIT}$$

$$R63 = X60 + \overline{INIT}$$

- Les équations d'état des étapes:
- Les équations d'activation des sorties :

$$X60 = S60 + X60. \overline{RP60}$$

$$T61 = X61$$

$$X61 = S61 + X61. \overline{RP61}$$

$$X62 = S62 + X62. \overline{RP62}$$

$$X63 = S63 + X63. \overline{RP63}$$

- **Les équations d'alimentation en eau brute :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP10 = \overline{FIT \geq 100} . \overline{PT001 \geq 0,5} . \overline{LT001 > 10} . \overline{LT002 > 10} . \overline{LT003 > 10} . \overline{LT004 = 80} . (\overline{defP100} + \overline{defP101})$$

$$RP11 = \overline{FIT \geq 250} . \overline{PT001 \geq 1,5}$$

$$RP12 = \overline{PT001 < 1,5}$$

$$RP13 = \overline{(C0=0)}$$

$$RP14 = \overline{(C0=0)}$$

$$RP15 = X62$$

$$RP16 = LT004 \geq 80 + \overline{LT001 > 10} + \overline{LT002 > 10} + \overline{LT003 > 10} + \overline{\text{on.}(\overline{\text{defP100}} + \overline{\text{defP101}})}$$

$$RP17 = LT004 \leq 50 + (\text{defP100} + \text{defP101})$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S10 = X22 + \text{INIT}$$

$$S11 = X10.RP10.\overline{\text{INIT}}$$

$$S12 = X10.RP10.\overline{\text{INIT}}$$

$$S13 = X12.RP11.\overline{\text{INIT}}$$

$$S14 = X12.RP12.\overline{\text{INIT}}$$

$$S15 = X14.RP13.\overline{\text{INIT}}$$

$$S16 = X14.RP14.\overline{\text{INIT}}$$

$$S17 = (X15 + X16).\overline{\text{INIT}}$$

$$S18 = (X17 + X13).\overline{\text{INIT}}$$

$$S19 = X18.X11.\overline{\text{INIT}}$$

$$S20 = X19.RP15.\overline{\text{INIT}}$$

$$S21 = X19.RP16.\overline{\text{INIT}}$$

$$S22 = [X22 + (X21.RP17)].\overline{\text{INIT}}$$

- Les équations d'état :

$$X10 = S10 + (X10.RP10)$$

$$X11 = S11 + (X11.\overline{X18})$$

$$X12 = S12 + (X12.\overline{RP12}.\overline{RP11})$$

$$X13 = S13$$

$$X14 = S14 + (X14.\overline{RP13}.\overline{RP14})$$

$$X15 = S15$$

- Les équations de désactivation des étapes/

$$R10 = X12.X11.\overline{\text{INIT}}$$

$$R11 = X19 + \text{INIT}$$

$$R12 = (X14 + X13) + \text{INIT}$$

$$R13 = X18 + \text{INIT}$$

$$R14 = X15 + X16 + \text{INIT}$$

$$R15 = X17 + \text{INIT}$$

$$R16 = X17 + \text{INIT}$$

$$R17 = X18 + \text{INIT}$$

$$R18 = X19 + \text{INIT}$$

$$R19 = X20 + X21 + \text{INIT}$$

$$R20 = X22 + \text{INIT}$$

$$R21 = X22 + \text{INIT}$$

$$R22 = X10 + \text{INIT}$$

$$X16 = S16$$

$$X17 = S17$$

$$X18 = S18 + (X18.\overline{X11})$$

$$X19 = S19 + (X19.\overline{RP15}.\overline{RP16})$$

$$X20 = S20 + (X21.\overline{RP17})$$

$$X21 = S21$$

$$X22 = S22$$

- Les équations d'activation des sorties :

$$DP101 = X11.$$

$$\overline{DP101} = X21.$$

$$DP201 = X11.$$

$$\overline{DP201} = X21.$$

$$DP202 = X11.$$

$$\overline{DP202} = X21.$$

$$DP301 = X11.$$

$$\overline{DP301} = X21.$$

$$P100 = X15.$$

$$\overline{P100} = X21+X13.$$

$$P101 = X16.$$

$$\overline{P101} = X21+X1$$

• **Les équations du rétro-lavage :**

- Les équations des réceptivités :

$$RP30 = X62.$$

$$RP31 = DPT1 \geq 0,5 + DPT2 \geq 0,5.$$

$$RP32 = \text{on.}$$

$$RP33 = \overline{\text{on.}}$$

$$RP34 = X51.$$

- Les équations d'activation des étapes :

$$S30 = X63 + \text{INIT}$$

$$S31 = X30.RP30.\overline{\text{INIT}}$$

$$S32 = X31.RP31.\overline{\text{INIT}}$$

$$S33 = (X31+X32) . \overline{\text{INIT}}$$

$$S34 = X33.RP32.\overline{\text{INIT}}$$

$$S35 = X33.RP33.\overline{\text{INIT}}$$

$$S36 = [(X34.RP34)+X35].\overline{\text{INIT}}$$

- Les équation de désactivation des sorties :

$$R30 = (X31 + X30).\overline{\text{INIT}}$$

$$R31 = X33 + \text{INIT}$$

$$R32 = X33 + \text{INIT}$$

$$R33 = (X34 + X35) . \text{INIT}$$

$$R34 = X36 + \text{INIT}$$

$$R35 = X36 + \text{INIT}$$

$$R36 = X30 + \text{INIT}$$