

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

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique  
Département d'Automatique

**Mémoire de Fin d'Etude  
de MASTER PROFESIONNEL**  
Spécialité : **Automatique et Informatique  
Industrielle**

*Présenté par*  
**Mohammed MALLEM**  
**Fatiha AZZI**

Mémoire dirigé par M<sup>me</sup> BOUDJEMAA F. et co-dirigé par M<sup>r</sup> Kamal Eddine MEBROUK

Thème

**Etude et proposition d'une solution  
programmable pour un filtre EXOFALC  
au niveau de la raffinerie du sucre  
2000 t/j de CEVITAL**

*Mémoire soutenu publiquement le 20 septembre 2015 devant le jury composé de :*

**M<sup>me</sup> HEDJEM O.**

MAA, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Présidente

**M<sup>me</sup> BOUDJEMAA F.**

MAA, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Rapportrice

**M<sup>r</sup> CHELLI T.**

MAA, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Examineur

**M<sup>me</sup> BOUKENDOUR O.**

MAB, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Examinatrice

# *Remerciements*

*Avant tout nous remercions le bon Dieu le maître suprême de temps et de circonstances de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté et de nous avoir permis de terminer nos études et accomplir ce modeste travail.*

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu notre promotrice M<sup>me</sup> BOUDJEMAA pour son efficace assistance, ses précieux conseils et son travail méticuleux.*

*Nous tenons aussi à remercier notre co-promoteur M<sup>r</sup> Kamal Eddine MEBROUK pour le temps qu'il nous a réservé et pour ses éclaircissements très utiles et sa contribution à notre intégration au sein de l'unité.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à notre chef de département d'Automatique M<sup>r</sup> BENSIDHOUM M.O. et tous les enseignants qui ont contribué à notre réussite dans nos études.*

*Nous remercions aussi tous le personnel de l'entreprise CEVITAL qui nous a toujours accueilli avec beaucoup de gentillesse et de patience.*

*Nos remerciements sont adressés aussi aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.*

*Sans oublier nos familles, nos amis (es) et tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.*



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la mémoire de ma grand-mère que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

*A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi.*

*A mon grand-père et ma grand-mère.*

*A ma sœur Farida, son mari Nouredine et ses enfants Lydia, Massi et Pelia.*

*A mes sœurs Hamida, Nassima, Lynda et Dyhia.*

*A mon petit frère Kocela.*

*A mes oncles et tantes et leurs enfants et familles.*

*A ma binôme Fatima avec qui j'ai partagé ce travail et toute sa famille.*

*A tous mes amis(es) et camarades de promotion.*

*Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail.*

*M. Mohammed*



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la mémoire de mes grands-pères et mes grands-mères que le bon Dieu les accueille dans son vaste paradis.*

*A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi.*

*A mes chères sœurs Lynda, Lamia et Alice.*

*A mon cher frère Idir.*

*A mon binôme Mohammed avec qui j'ai partagé ce travail et toute sa famille.*

*A tous mes amis(es) et camarades de promotion.*

*Ainsi qu'à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail.*

*A. Fatima*

# Sommaire

Introduction Générale .....	1
Avant-propos .....	3

## **Chapitre I          Description du Procédé Industriel de la Raffinerie**

I.1 Introduction.....	7
I.2 Généralités.....	7
I.2.1 Composition et structure du sucre.....	7
I.2.2 Le sucre blanc et le sucre roux.....	7
I.3 Description du processus de la raffinerie de sucre .....	8
I.3.1 Section affinage et fonte.....	9
I.3.2 Section carbonatation.....	10
I.3.3 Section filtration.....	11
I.3.4 Section décoloration.....	13
I.3.5 Section concentration.....	15
I.3.6 Section cristallisation.....	15
I.3.7 Section turbines.....	16
I.3.8 Section séchage.....	16

I.3.9 Section stockage.....	17
I.3.10 Section conditionnement.....	17
I.4 Utilités.....	18
I.5 Conclusion.....	18

## **Chapitre II Etude Fonctionnelle du Filtre EXOFALC S310**

II.1 Introduction .....	19
II.2 Définition de filtre EXOFALC .....	19
II.3 Description de processus de filtration, structure interne et équipements de filtre .....	20
II.3.1 Structure interne de filtre .....	20
II.3.2 Description de processus de filtration .....	21
II.3.3 Équipements et instrumentations utilisés .....	22
II.4 Description du fonctionnement de filtre (cahier des charges).....	30
II.5 Conclusion.....	32

## **Chapitre III Modélisation du procédé à l'aide de Grafcet**

III.1 Introduction.....	33
III.2 Définition du Grafcet.....	33
III.3 Concepts de base d'un Grafcet.....	33
III.4 Règles d'évolution.....	34

III.5 Niveau d'un Grafcet.....	35
III.5.1 Grafcet de niveau 1.....	35
III.5.2 Grafcet de niveau 2.....	36
III.6 Mise en équation d'un Grafcet.....	36
III.7 Grafcet de filtre EXOFALC S310.....	37
III.7.1 Grafcet niveau 1 de filtre EXOFALC.....	37
III.7.2 Grafcet niveau 2 de filtre EXOFALC.....	40
III.8 Conclusion.....	42

## **Chapitre IV      Elaboration de la Solution du Commande**

IV.1 Introduction.....	43
IV.2 Définition d'un automate programmable industriel (API).....	43
IV.3 Structure interne des automates programmables .....	43
IV.3.1 L'unité centrale.....	44
IV.3.2 Les modules d'entrées/sorties.....	44
IV.3.3 Les mémoires.....	45
IV.3.4 L'alimentation.....	45
IV.3.5 Liaisons de communication.....	45
IV.4 Choix d'un automate.....	46
IV.4.1 Présentation du S7-300 .....	46

IV.4.2 Les modules constitutionnels de l'automate S7-300.....	47
IV.4.3 Caractéristique de l'automate <i>S7-300</i> .....	50
IV.5 Programmation avec le <i>SIMATIC STEP7</i> .....	51
IV.5.1 Description du logiciel <i>STEP7</i> .....	51
IV.5.2 Structure d'un programme S7 et les blocs utilisateurs.....	51
IV.5.3 Stratégie pour la conception d'une structure programme complète et optimisé.....	52
IV.6 Programme de filtre sous <i>STEP 7</i> .....	53
IV.6.1 Configuration matérielle (Partie Hardware) .....	54
IV.6.2 Les différents blocs qui constituent notre programme.....	54
IV.6.3 Programmation des blocs.....	55
IV.6.4 Simulation du programme avec S7-PLCSIM .....	59
IV.7 Conclusion.....	60

## **Chapitre V      Plateforme de Supervision à l'aide de l'Outil WinCC**

V.1 Introduction.....	61
V.2 Outils de supervision.....	61
V.3 Description du logiciel <i>WinCC Flexible</i> .....	61
V.4 Éléments du <i>WinCC Flexible</i> .....	62
V.5 Étapes de mise en œuvre.....	63
V.5.1 Établir une liaison directe.....	63

V.5.2 Création de la table des variables.....	64
V.6 Création des vues.....	65
V.6.1 Planifier la création de vues.....	65
V.6.2 Constitution d'une vue.....	66
V.7 Les différentes vues de notre projet.....	66
V.7.1 Vue d'accueil ou vue initiale.....	66
V.7.2 Vue du filtre.....	67
V.7.3 Vue des courbes.....	68
V.7.4 Vue des états.....	69
V.7.5 Vue des alarmes .....	70
V.8 Conclusion.....	71

## **Conclusion Générale**

Conclusion Générale.....	72
--------------------------	----

## **Références Bibliographiques**

# Liste des Figures

<b>Tableau 1</b> : Unités de production de Cevital Agro-industrie et leurs capacités.....	4
<b>Figure 1</b> : Organigramme du complexe agro-alimentaire de CEVITAL.....	6
<b>Figure I.1</b> : La différence entre le sucre blanc et le sucre roux .....	8
<b>Figure I.2</b> : Schéma synoptique de processus de la raffinerie de sucre .....	9
<b>Figure I.3</b> : Équipements de la section carbonatation .....	11
<b>Figure I.4</b> : Equipements de la section filtration .....	12
<b>Figure I.5</b> : Equipements des filtres presses .....	13
<b>Figure I.6</b> : Schéma procédé de décoloration .....	15
<b>Figure II.1</b> : Vue générale d'un filtre EXOFALC .....	19
<b>Figure II.2</b> : Structure et équipements de filtre EXOFALC .....	20
<b>Figure II.3</b> : Vue horizontale de filtre .....	21
<b>Figure II.4</b> : Rampes supportant des bougies .....	21
<b>Figure II.5</b> : Image réelle d'une vanne motorisée pneumatique (électrovanne T.O.R) .....	23
<b>Figure II.6</b> : Image réelle d'une sonde de niveau .....	25
<b>Figure II.7</b> : Transmetteur de pression avec afficheur numérique.....	25
<b>Figure II.8</b> : Débitmètre électromagnétique (DEM).....	26
<b>Figure II.9</b> : Capteur de fin de course.....	26
<b>Figure II.10</b> : Pompe centrifuge et son principe de fonctionnement.....	27
<b>Figure II.11</b> : Un système d'agitation et ses différents composants.....	28

<b>Figure II.12</b> : Structure et principe de fonctionnement d'un Relais.....	29
<b>Figure II.13</b> : Un Contacteur. ....	29
<b>Figure II.14</b> : Un Disjoncteur.....	30
<b>Figure III.1</b> : Symbolisation d'un Grafcet.....	34
<b>Figure III.2</b> : Grafcet niveau 1.....	35
<b>Figure III.3</b> : Grafcet niveau 2.....	36
<b>Figure III.4</b> : Modèle simple d'un Grafcet.....	36
<b>Figure III.5</b> : Grafcet niveau 1 de filtre EXOFALC.....	39
<b>Figure III.6</b> : Grafcet niveau 2 de filtre EXOFALC.....	42
<b>Figure IV.1</b> : Structure interne d'un API.....	44
<b>Figure IV.2</b> : Constitution externe de l'automate <i>S7-300</i> .....	47
<b>Figure IV.3</b> : Configuration matériels de l'API.....	54
<b>Figure IV.4</b> : Les différents blocs qui constituent notre programme.....	55
<b>Figure IV.5</b> : Etapes de la simulation avec <i>S7-PLCSIM</i> .....	60
<b>Figure V.1</b> : Vue d'ensemble du logiciel <i>WinCC Flexible</i> .....	62
<b>Figure V.2</b> : Création d'une liaison Interface IHM / automate.....	64
<b>Figure V.3</b> : Table des variables.....	65
<b>Figure V.4</b> : Vue initiale du projet.....	67
<b>Figure V.5</b> : Vue du filtre.....	68
<b>Figure V.6</b> : Vue des courbes.....	69
<b>Figure V.7</b> : Vue des états .....	70
<b>Figure V.8</b> : Vue des alarmes .....	71



***Introduction  
Générale***

## Introduction Générale

---

Dans un monde industriel en pleine évolution où la compétitivité est l'objectif essentiel, l'automatisation est une nécessité. Cette automatisation repose essentiellement sur l'intégration des modes de contrôle et de commande à haute précision, car la commande classique (manuelle, pneumatique et électrique...) est moins optimisée.

Pour la résolution de nombreux problèmes de commande, le choix s'oriente de plus en plus sur les automates programmables industriels (API).

L'automatisation des chaînes de production a permis de faire un grand pas en avant, elle facilite pour l'homme les tâches pénibles et répétitives, rajouter à ça une productivité optimale tout en améliorant les conditions de travail du personnel.

Pour automatiser un système industriel on doit d'abord connaître ses ambiguïtés et les exigences de son fonctionnement. Ensuite à l'aide des outils et des méthodes facilitant cette tâche, on entame une suite de procédures d'analyses, d'études et d'essais. Cette démarche peut se résumer en deux phases, phase d'étude et phase de réalisation et de mise en œuvre.

Dans ce contexte, le sujet qui nous a été proposé à la raffinerie du sucre 2000 t/j de groupe CEVITAL qui est spécialisée dans la production du sucre blanc, consiste à apporter une autre solution programmable pour un filtre EXOFALC de la section filtration avec un automate programmable industriel (API) de la gamme SIEMENS.

Afin de mener à bien notre travail, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Le premier chapitre décrira le procédé industriel de la raffinerie et le principe de fonctionnement de chacune de ses sections.
- Le deuxième chapitre sera consacré à l'analyse fonctionnelle d'un filtre EXOFALC où nous avons effectué une étude de chaque élément le constituant.
- Le troisième chapitre sera dédié à la modélisation de notre procédé à l'aide de l'outil Grafcet.
- Le quatrième chapitre sera réservé pour donner un aperçu sur les automates programmables industriels (API) et les techniques utilisées pour la programmation de notre filtre.

## **Introduction Générale**

---

- Le cinquième et dernier chapitre sera consacré à l'élaboration d'une plateforme de Supervision à l'aide de l'Outil WinCC.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.



*Avant-propos*

**➤ Historique et Activités**

Filiale du Groupe CEVITAL, créée en 1998, Cevital Agro-industrie est le leader du secteur agroalimentaire en Algérie.

Implantée au sein du port de Béjaïa, Cevital Agro-industrie dispose de plusieurs unités de production : deux raffineries de sucre ; une unité de sucre liquide ; une raffinerie d'huile ; une margarinerie ; une unité de conditionnement d'eau minérale; une unité de fabrication et de conditionnement de boisson rafraichissante et une conserverie. Elle dispose également de plusieurs silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2.000 tonnes/heure ce qui en fait le premier terminal de déchargement portuaire en méditerranée. [1]

Cevital Agro-industrie offre des produits de haute qualité à destination des consommateurs et des industriels en assurant compétitivité de ses prix, savoir-faire, modernité des unités de production, strict contrôle de la qualité, et un réseau de distribution très développé. Elle couvre les besoins nationaux et a permis de faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles, les margarines et le sucre.

Ses produits se vendent aujourd'hui dans plusieurs pays, notamment en Europe, au Maghreb, au Moyen Orient et en Afrique de l'Ouest. Actuellement, Cevital Agro-industrie est le plus grand complexe privé en Algérie.

L'ensemble des activités de Cevital Agro-industrie est concentré sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre, elles se présentent comme suit :

- Sucre liquide : capacité de production de 210.000 t (équivalent matière sèche)/an.
- Boissons : eau minérale, boissons fruitées. L'eau minérale « Lalla-Khedidja » avec une capacité de production de 3.000.000 bouteilles/jour, boissons fruitées «TCHINA» d'une capacité de production de 600.000 bouteilles par heure.
- Conserverie : de tomates et de confitures avec une capacité de production de 80 t/jour.
- Silos portuaire : 182.000 tonnes.

- Terminal de déchargement portuaire : 2.000 t/heure, le plus important du bassin méditerranéen.

Cevital Agro-industrie est composée de plusieurs unités de production qui sont résumés dans le tableau 1 suivant : [1]

<b>Unité</b>	<b>Capacité</b>
Une raffinerie d'huile	670 000 t/an
Une margarinerie	180 000 t/an
Une raffinerie de sucre	2 000 000 t/an
Une unité de sucre liquide	210 000 t (matière sèche/an)
Une unité de conditionnement d'eau minérale Lalla Khedidja	3 000 000 bouteilles/jour
Une unité de productions de boissons rafraichissantes sans alcool Tchina	600 000 bouteilles/heure
Une conserverie de tomates et de confiture de fruits	80 t/jour
Des silos portuaires	182 000 tonnes

**Tableau 1** : Unités de production de Cevital Agro-industrie et leurs capacités de production.

➤ **Situation géographique**

Cevital Agro-industrie est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia, à 3 km au sud-ouest de cette ville et s'étend sur une superficie de 45.000 m<sup>2</sup>, à proximité de la route nationale RN09. 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 de l'aéroport. [1]

➤ **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 peuvent se présenter 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 machines et techniques pour augmenter le volume de sa production ;
- Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations.

➤ **Structure du complexe agro-alimentaire de Cevital**

Pour présenter le complexe agro-alimentaire de Cevital d'une manière générale, la figure suivante représente la structure hiérarchique du complexe ainsi que les différentes directions et services :

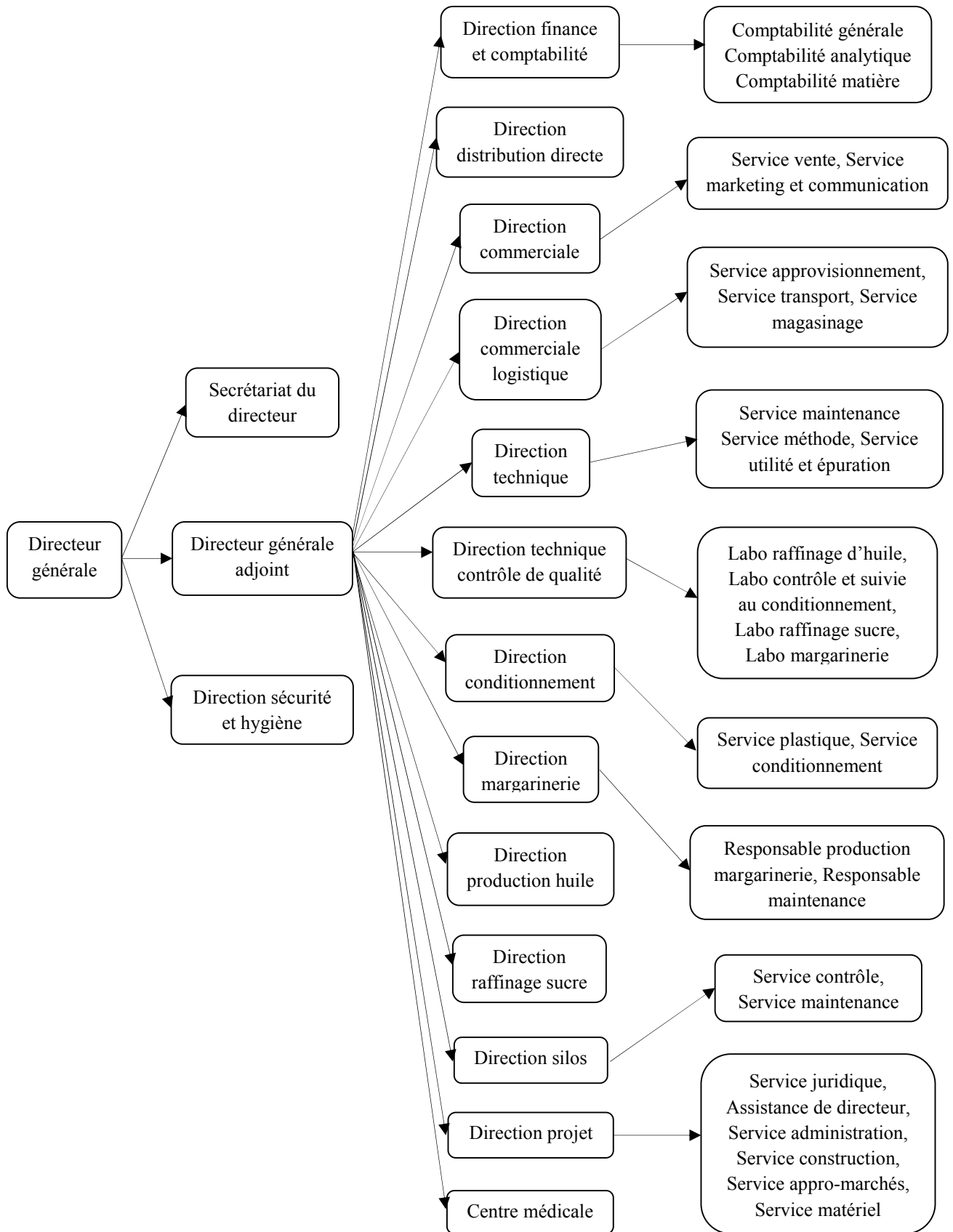


Figure 1 : Organigramme du complexe agro-alimentaire de CEVITAL.



**Chapitre I**

***Description du  
Procédé Industriel  
de la Raffinerie***

## **I.1 Introduction**

La raffinerie de sucre a pour mission le traitement et la transformation du sucre roux de canne afin de fabriquer du sucre blanc. Elle est composée de plusieurs ateliers appelés sections. Dans ce chapitre nous allons décrire le procédé industriel de la raffinerie, donc la mission, équipements et principe de fonctionnement de chacune de ses sections.

## **I.2 Généralités**

### **I.2.1 Composition et structure du sucre**

Le sucre, aussi connu sous le nom de sucrose ou saccharose est un sucre au goût très doux et agréable, très largement utilisé pour l'alimentation, extrait de certaines plantes, principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière, et transformé en de petits cristaux blancs. Ce glucide de la catégorie des diholosides est formé par la condensation de 2 oses : une molécule de glucose et une molécule de fructose. Son nom normalisé est le D-glucopyranosyl-D-fructofuranose. Sur le plan nutritionnel et biochimique, le sucre est un aliment purement énergétique ne contenant ni protéines, ni lipides, ni vitamines, ni sels minéraux.

Le saccharose est un diholoside non réducteur formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose reliées par une liaison osidique  $\alpha$  (1-2)  $\beta$ . Sa formule chimique non-développée est  $C_{12}H_{22}O_{11}$  et sa masse moléculaire est de  $342,3 \text{ g.mol}^{-1}$ . [2]

### **I.2.2 Le sucre blanc et le sucre roux**

Un seul procédé d'extraction du sucre à partir de la plante, dans une sucrerie de betterave ou de canne, on recueille le jus sucré qui est filtré, puis concentré par évaporation avant la cristallisation.

Il y a une différence majeure entre le sucre blanc et le sucre roux, le sucre de betterave sort naturellement blanc de ce processus d'extraction tandis que le sucre de canne est cristallisé avec une coloration qui va du blanc au brun, ceci est dû à des pigments présents uniquement dans la canne. Pour devenir blanc, le sucre roux de canne est fondu et débarrassé de ses colorants dans une raffinerie sans modification chimique.

Donc il n'y a pas d'étape de raffinage pour le sucre blanc de betterave, et pour le sucre roux de canne, il doit être raffiné pour qu'il devienne blanc. [2]

La figure I.1 suivante montre la différence entre le sucre blanc et le sucre roux.



**Figure I.1** : La différence entre le sucre blanc et le sucre roux.

### **I.3 Description du processus de la raffinerie de sucre**

Le processus de fabrication de la raffinerie de sucre de CEVITAL est représenté sur la figure I.2 suivante : [3]

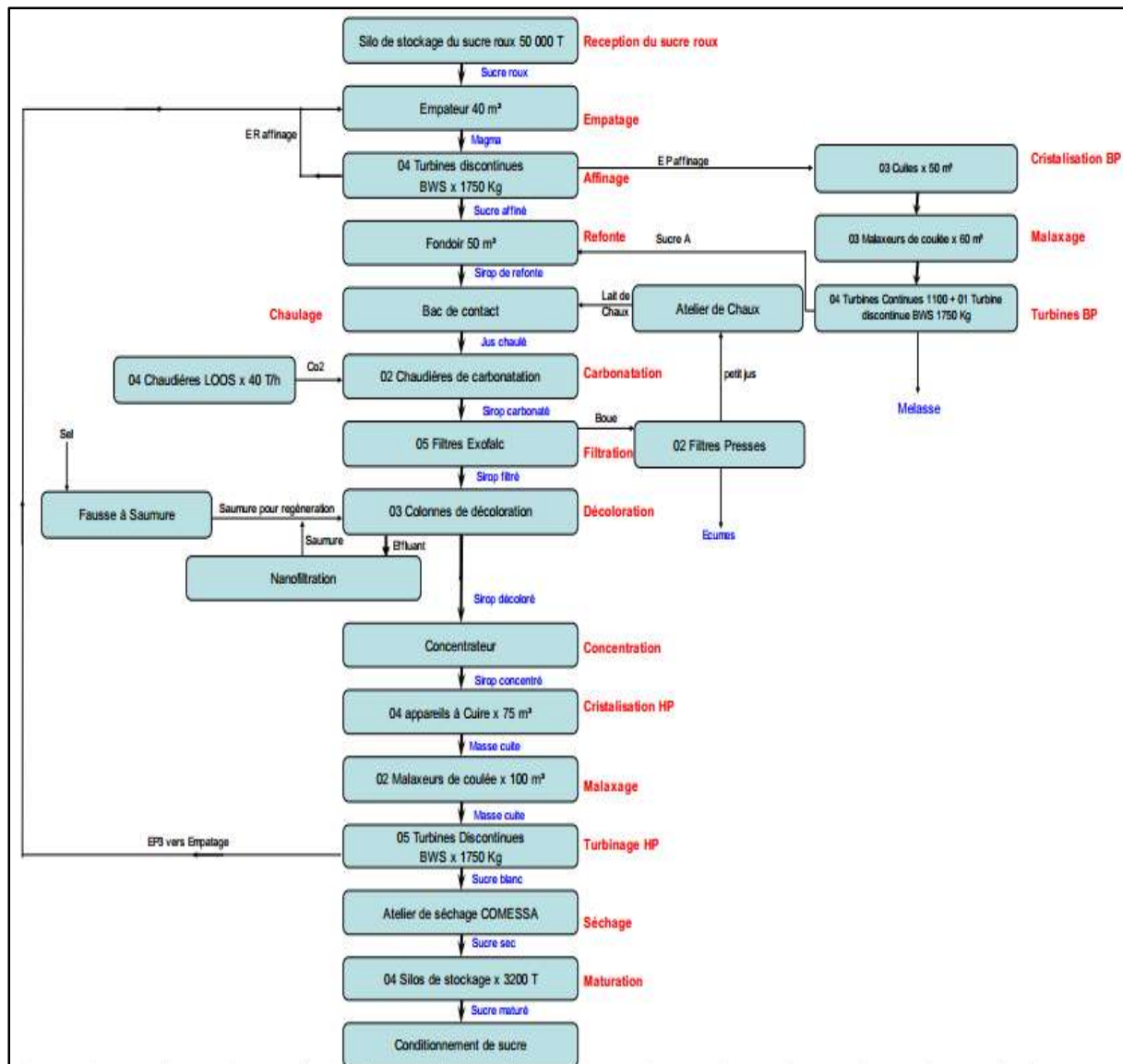


Figure I.2 : Schéma synoptique de processus de la raffinerie de sucre.

### I.3.1 Section affinage et refonte

L'affinage consiste à enlever les couches d'impuretés présentes à la surface des cristaux du sucre brut. Après pesage le sucre roux est mélangé avec une quantité (d'eau au démarrage) de liqueur d'affinage saturé en sucre puis malaxé pour permettre la diffusion des impuretés superficielles sans provoquer la refonte des cristaux.

La séparation du sucre et de l'égout d'affinage se fait par centrifugation dans une éssoreuse discontinue. Le sucre affiné obtenu est ensuite refondu à l'eau dans un refondoir de façon à obtenir un sirop. L'égout contenant les impuretés est traité dans le processus pour extraire le sucre résiduel. [3]

**I.3.2 Section carbonatation****I.3.2.1 Principe de la carbonatation**

La carbonatation est un procédé chimique permettant de décolorer le sirop résultant de la refonte du sucre brut affiné. Ce procédé consiste à additionner au sirop de la chaux préparée sous forme de lait de chaux dosé à 16° beaumé, et à faire barboter dans ce mélange, qui est introduit dans des chaudières à carbonater, du gaz CO<sub>2</sub> provenant des chaudières à vapeur. Sous l'action du CO<sub>2</sub> la chaux se transforme en carbonate insoluble qui piège les impuretés contenues dans le sirop de refonte. [3]

**I.3.2.2 Équipements et principe de fonctionnement de la section carbonatation**

Le sucre de refonte de la section affinage arrive à un bac de stockage T200, la pompe P201 reprend le sirop et alimente la première carbonatation A210 tout en passant par un réchauffeur E202. Après cela, le sirop arrive à un mélangeur M203 qui le mixe au lait de chaux. La deuxième carbonatation A220 est alimentée par le sirop sortant par débordement (niveau constant) de la première carbonatation.

De même pour la deuxième carbonatation qui alimente par débordement un bac de stockage T240 équipé d'un agitateur A240. Ce bac peut aussi recevoir le sirop de la première carbonatation directement tout comme il peut collecter le sirop carbonaté après recirculation à travers un échangeur, idem pour le retour des sucrages venant de la colonne de décoloration de la section décoloration.

- Il y a possibilité de refaire circuler le sirop ayant passé par l'échangeur à l'entrée de la deuxième carbonatation.
- 80% des impuretés sont éliminées durant la première carbonatation.
- Cette section est dotée de pourvoyeur de vapeur et de vide venant des utilités (cogénération).

La figure I.3 illustre les équipements de la section carbonatation.

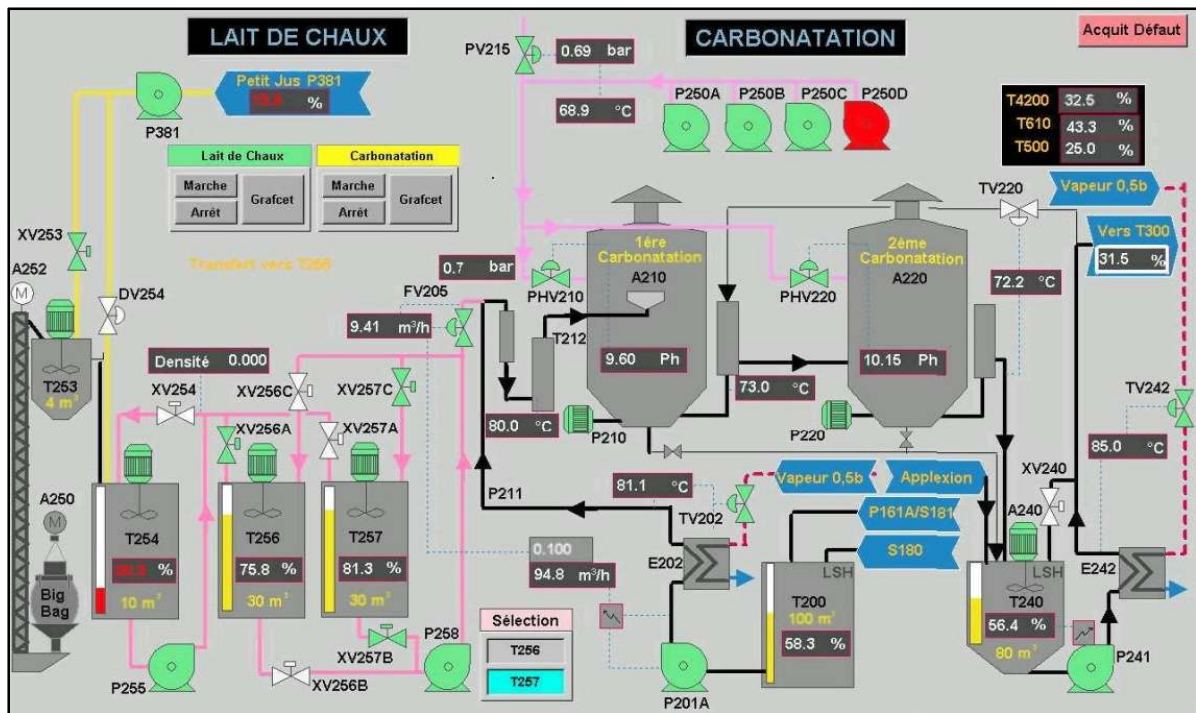


Figure I.3 : Équipements de la section carbonatation.

### I.3.3 Section filtration

#### I.3.3.1 Rôle de la filtration

Le sirop issu de la carbonatation contient une suspension de carbonate de calcium. Cette dernière est séparée par une filtration sur des filtres Auto-nettoyants à bougies en toile. Le sirop filtré est envoyé vers la section décoloration, la boue résultante passera par un filtre presse pour récupérer le sucre résiduel, sous forme de petit jus. Les boues (ou écumes) sont évacuées et utilisées pour l'amendement du sol (engrais). [3]

#### I.3.3.2 Équipements et principe de fonctionnement de la section filtration

Le bac tampon T300 collecte le sirop carbonaté et à filtrer venant de la section carbonatation et retour des sucrares des filtres presses S360 et/ou S370. La pompe P301 alimente à petit débit les sept filtres EXOFALC S310/ S311/ S312/ S313/ S314/ S315/ S316E en sirop à filtrer, tandis que la pompe P302 les alimente à grand débit. Une fois sortie des filtres, le sirop est passé au bac d'homogénéisation T320 et de collecte des boues qui est équipé de deux agitateurs A320A et A320B.

Les filtres presses sont alimentés par un bac à boues T350 où sont emmagasinées les déchets résultant de la première filtration. Les filtres presses agissent en parallèle. Les petit jus relâchés par la boue sont récupérés dans le bac T380 en vue de les réutiliser dans la section carbonatation alors que les gâteaux (déchets) sont poussés par la vis A329 vers une benne à gâteaux.

Pour assurer une bonne filtration de sirop, les conditions suivantes sont nécessaires :

- Les filtres agissent en alternance et ce pour des raisons de maintenance et de nettoyage.
- Les filtres sont au sommet de leurs rendements non pas étant équipés de toiles de filtration neuves mais bien après un certain temps d’usage ; les déchets captés entre les mailles aident.
- Pour éviter un colmatage, les toiles sont périodiquement lavées en utilisant une pompe HP et les eaux de lavage (appelés petit jus) sont récupérer pour former le lait de chaux qui est utilisé dans la section carbonatation.
- Les filtres presses sont d’un principe de fonctionnement simple mais d’un mécanisme compliqué.

La figure I.4 illustre les équipements de la section filtration.

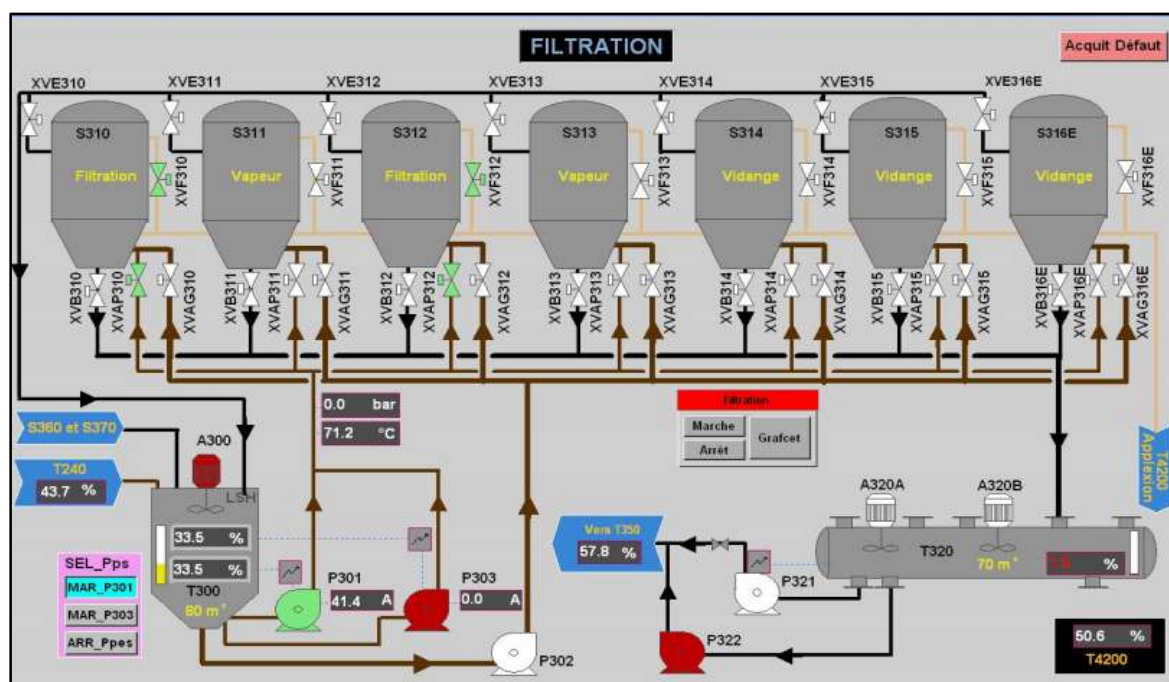


Figure I.4 : Équipements de la section filtration.

La figure I.5 illustre les équipements des filtres presses.

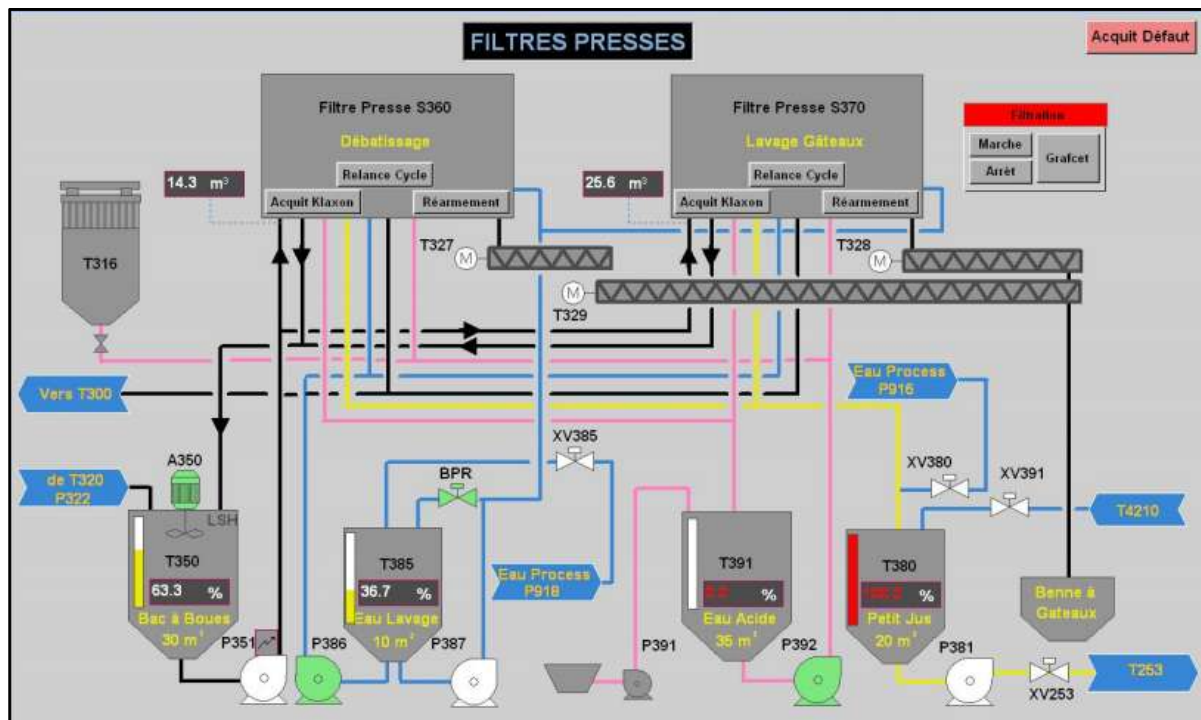


Figure I.5 : Équipements des filtres presses.

### I.3.4 Section décoloration

#### I.3.4.1 Le but de la section décoloration

Le but de cette section est la décoloration par l'intermédiaire d'une résine échangeuse d'ions décolorante. Cette étape pousse la décoloration du sucre au maximum. C'est une technologie récente au raffinage. Les résines échangeuses d'ions sont régénérées après saturation par le passage de saumure. Une station de Nano-filtration est utilisée ensuite pour épurer au maximum les rejets de la régénération (pigments) et permettre le recyclage de la saumure qui permet d'enlever les pigments colorants résiduels. [3]

#### I.3.4.2 Principe de fonctionnement de la section décoloration

Dans cette section on procède à la décoloration et à une filtration à un taux qui avoisine les 80% par une résine d'échange d'ions.

Le sirop filtré qui est stocké dans le bac tampon T4200 est envoyé dans deux lignes différentes, la première comporte 03 colonnes et la deuxième comporte 02 colonnes de

décoloration, avant que le sirop ne soit décoloré il est réchauffé par un échangeur pour chaque ligne HE4220 et HE4202 ensuite passe dans des filtres à panier F4221A/F4221B et F4203A/F4203B pour une filtration de sécurité. Le sirop filtré passe par des colonnes à double compartiment C4204A/C4204B, C4204C et C4204D/C4204E contenant deux types de résines de densités différentes, les deux compartiments sont séparés par des plaques perforées avec des buses, ensuite le sirop passe à nouveau dans des filtres à panier F4205A/F4205B et F4222A/F4222B pour une nouvelle filtration de sécurité, et à la fin le sirop décoloré est stocké dans un bac tampon T500.

La décoloration s'effectue par percolation du sirop de bas en haut à travers le lit de résine compacté et chaque colonne est équipée de sa propre régulation de débit, le cycle de fonctionnement de chaque colonne comprend deux étapes, une étape de production de durée de 24H à 32H, et une étape de régénération de 06H à 08H.

Dans cette section il y a en permanence 04 colonnes en production et une colonne en régénération, cette dernière consiste à régénérer la résine en injectant du NaCl basic (du sel NaCl mélangé avec de la soude NaOH) qui s'appelle aussi de la saumure et cette étape nous permet de nettoyer l'ensemble de la résine de ces impuretés et autres colorants, il arrive aussi de faire une dépollution chaque cycle qui consiste à injecter une solution acide suivi d'un rinçage.

A la fin de l'étape de décoloration on aura un sirop décoloré qui va vers le T500N ainsi que de l'eau sucré pour fabriquer de lait de chaux, l'autre partie de la décoloration est la nano filtration qui se résume à filtrer la saumure injectée dans les colonnes par des filtres à membranes afin de récupérer la saumure pour l'utiliser dans d'autres opérations de régénération.

Le principe de la décoloration est schématisé dans le schéma suivant (figure 1.6) :

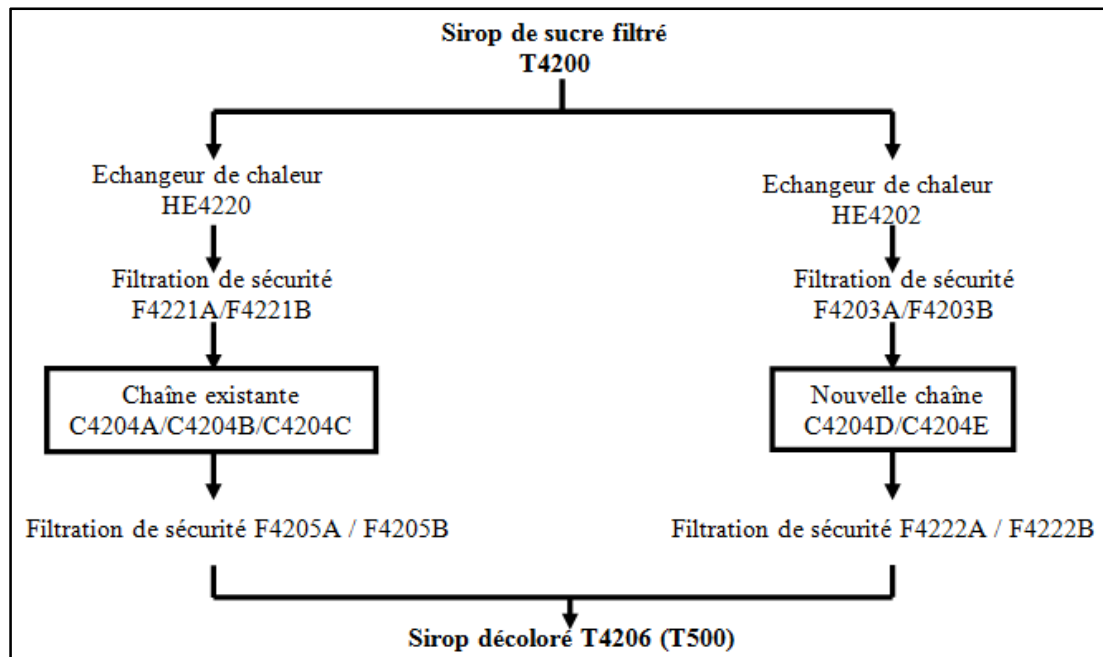


Figure I.6 : Schéma procédé de décoloration.

### I.3.5 Section concentration

Cette opération consiste à ramener la concentration du sirop décoloré à un brix de 70% par l'évaporation d'une certaine quantité d'eau introduite par les opérations précédentes. Cette opération facilitera la cristallisation du sucre. Elle est la partie la plus délicate du processus de fabrication. [3]

### I.3.6 Section cristallisation

#### I.3.6.1 Cristallisation haute pureté (HP)

La cristallisation est une opération qui a une forte incidence sur l'ensemble de l'équilibre énergétique de l'usine. Le sirop est concentré dans des bacs spéciaux appelés «cuites».

Elle est réalisée en faisant l'opération de grainage en introduisant une semence de telle sorte que les particules du sirop se fixent autour. Quand les cristaux atteignent la taille voulue et que les cuites arrivent à leur volume maximal, le produit est déchargé dans un malaxeur qui sera ensuite centrifugé par desessoreuses séparant les cristaux et le sirop. [3]

**I.3.6.2 Cristallisation bas produits (BP)**

Cette section nous permet de récupérer le sucre encore contenu dans les égouts provenant des cuites Haute Pureté, cela se fait en trois étapes (jets) dans des cuites puis des centrifuges.

Lors de l'affinage, la séparation du sucre et du sirop de lavage (liqueur d'affinage) nous donne un sirop appelé égout d'affinage. Celui-ci est séparé en deux. L'égout riche est réutilisé comme liqueur d'affinage. L'égout pauvre est envoyé vers cette section pour son épuisement en sucre. [3]

**I.3.7 Section turbines****I.3.7.1 Turbines hautes pureté**

L'atelier des turbines HP se situe dans la section cristallisation haute pureté (HP), dans cet atelier s'effectue l'opération d'essorage des masse-cuites issues des 03 jets haute pureté. [3]

**I.3.7.2 Turbines basses pureté**

Les turbines BP effectuent l'essorage des masses-cuites issues des cuites BP, dans cet atelier se poursuit la phase d'épuisement des masses-cuites pour en tirer le maximum de sucre et de le réinjecter au début du processus de raffinage de sucre (section affinage). Cela se fait en trois jets A, B et C. [3]

**I.3.8 Section séchage**

Le sucre ainsi obtenu après centrifugation sera humide, alors un séchage pour éliminer cette humidité est nécessaire. On utilise un tube sécheur et un refroidisseur, en sortant de la cristallisation, le sucre est humide à 0.05%. Pour une bonne conservation, il est séché dans un cylindre à air chaud qui provoque l'évaporation de l'humidité, puis refroidie dans un sécheur à lit fluidisant et enfin envoyé vers les silos de maturation pour finaliser la déshumidification et assurer son stockage en vrac. [3]

**I.3.9 Section stockage**

Dans la section stockage et maturation , le sucre provenant du séchage est stocké dans le silo, et ce pour une durée minimum de 48 heures pour assurer la maturation avec de l'air conditionné qui élimine l'humidité résiduelle contenue dans les cristaux de sucre, ce sucre ensuite est acheminé vers le conditionnement où il sera ensuite ensacher, convoyé dans un bateau pour exportation ou livré en vrac via des camions de gros tonnages. [3]

Dans cette section, il existe deux modes de fonctionnement :

**a) Mode déclassé :**

Dans ce mode, le sucre sortie du séchage non conforme au stockage (pour des raisons de couleur, granulométrie ou présence d'impuretés) est envoyé vers le silo de déclassement, ensuite ce sucre est vidangé et acheminer par camions vers le silo horizontal de sucre roux.

**b) Mode stockage :**

Si le sucre venant du séchage est conforme au stockage, il est envoyé vers le silo de déclassement, ensuite ce sucre est acheminé vers les 4 silos de remplissage et maturation.

**I.3.10 Section conditionnement****I.3.10.1 Principe de conditionnement**

Le sucre mûré soutiré du grand silo de maturation est acheminé par convoyeur et passe par un casse-grugeons qui va éliminer toutes les mottes et morceaux de sucre, ensuite il sera criblé (tamisé) afin de le calibrer. Le sucre blanc est ensuite transporté par des convoyeurs qui alimentent l'unité de conditionnement en sucre blanc où il sera conditionné sous forme de sacs de 10 Kg, 50 Kg ou des big-bags d'une tonne. [3]

**I.3.10.2 Description de l'unité de conditionnement**

Le bâtiment du conditionnement a une surface de 1035 m<sup>2</sup> avec quatre (04) niveaux (étages). Il est équipé de :

- Quatre (04) silos d'ensachage (4 x 80 Tonnes).

- Six (06) lignes d'ensachage (50 Kg / 10 Kg) qui sont composées de :
  - ✓ Douze (12) balances.
  - ✓ Six (06) machines à coudre.
  - ✓ Vingt-quatre (24) tapis et convoyeurs.
  
- Une ligne pour big-bags (1 Tonne).
  - ✓ Une balance.
  - ✓ Deux (02) convoyeurs.

#### **I.4 Utilités**

Elles comportent tous les besoins en vapeur, eau, gaz carbonique, réseau du vide de la raffinerie, d'où aussi son appellation utilité. Elle est constituée de :

- Un poste de livraison d'électricité haute tension (60 KV), alimenté par SONELGAZ et de transformateurs en moyennes tension (30 KV) pour distribution vers différentes sous station de transformation.
- Une sous station pour la raffinerie de sucre, de transformation de 30 KV/400V équipé de trois transformateurs.
- Différents équipements nécessaires au fonctionnement de la raffinerie.
- Une station de production d'air comprimé. [3]

#### **I.5 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les différentes sections de la raffinerie et le rôle et le fonctionnement de chacune d'entre elles.

Cet aperçu ou cette description des sections de la raffinerie ainsi que leurs rôles nous a permis de bien comprendre les différentes étapes de production du sucre, ce qui nous facilitera la tâche d'élaboration d'une analyse fonctionnelle d'un filtre EXOFALC dans le chapitre suivant.



**Chapitre II**

***Étude***

***Fonctionnelle***

***du Filtre***

***EXOFALC S310***

## II.1 Introduction

La filtration est une étape majeure du processus de raffinage du sucre, elle comporte deux types d'opérations : La première, réalisée par des filtres à bougies (EXOFALC), consiste à extraire la matière en suspension du sirop carbonaté pour pouvoir utiliser ce dernier dans les étapes qui suivent du processus de raffinage. Et la deuxième, réalisée par deux filtres presses, consiste à extraire le sirop carbonaté de la boue retenue dans les filtres à bougies pour le réinjecter en tête et minimiser ainsi les rejets.

Dans ce chapitre nous allons faire une description détaillée d'un filtre à bougies (EXOFALC) de fabrication CHOQUENET au sein de la raffinerie de sucre 2000 t/j de CEVITAL.

## II.2 Définition de filtre EXOFALC

Le filtre EXOFALC (figure II.1) est un filtre à bougies à grand débit fonctionnant sous faible pression, qui a pour mission de préparer un mélange enrichi en matières en suspension, et un jus filtré de qualité. Il a une forme de cuve qui est composée de deux parties : la partie supérieure de forme cylindrique avec un diamètre de *3.3 mètres*, et une partie inférieure de forme conique, le tout avec une hauteur totale de *6,4 mètres* et une masse totale à vide (avec éléments filtrants) de *15 000 kg*. Le volume total d'un filtre est de *38 m<sup>3</sup>*, son volume de vidange est *33 m<sup>3</sup>*, la pression maximale de filtration est de *2,5 bars*. Son utilisation peut être faite dans de nombreux domaines tels que : l'épaississement, la chimie, etc... [4]



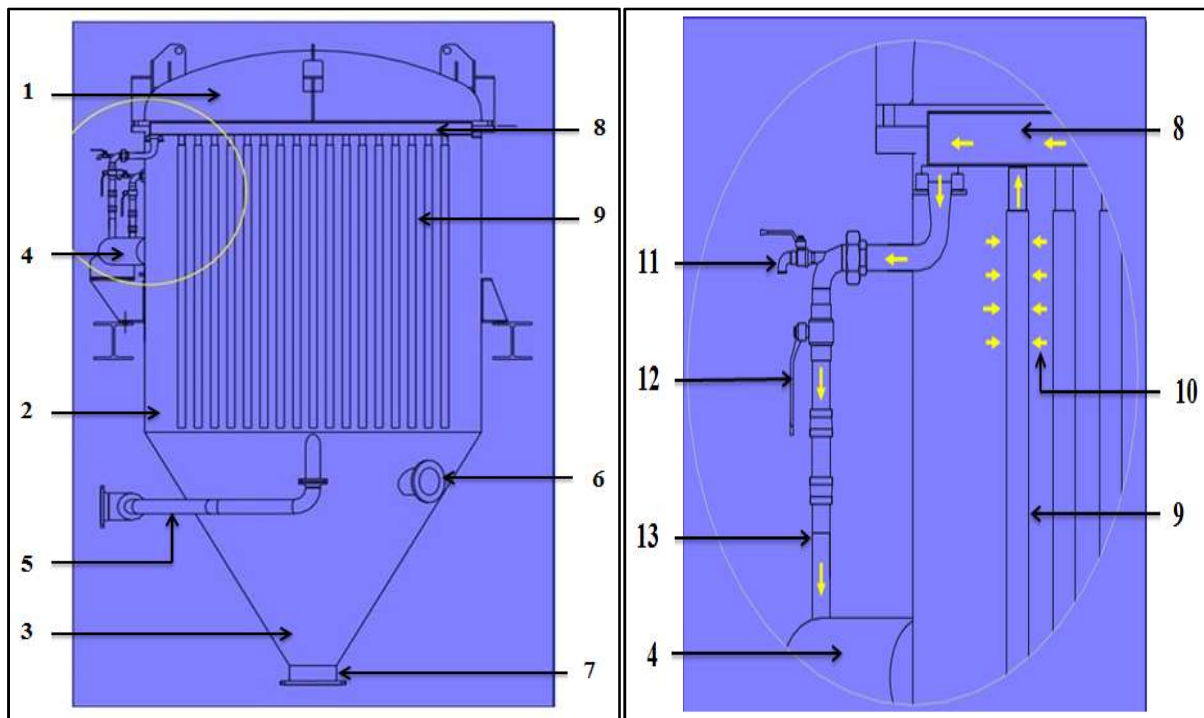
Figure II.1 : Vue générale d'un filtre EXOFALC.

## II.3 Description de processus de filtration et structure interne de filtre

### II.3.1 Structure interne de filtre

Le filtre EXOFALC est composé d'une cuve qui est divisée en deux parties : une partie conique et une partie cylindrique, qui, comporte un réseau de 26 rampes supportant les 493 bougies sur lesquelles sont montés les manchons filtrants. [4]

La figure II.2 suivante montre la structure et les équipements de filtre :



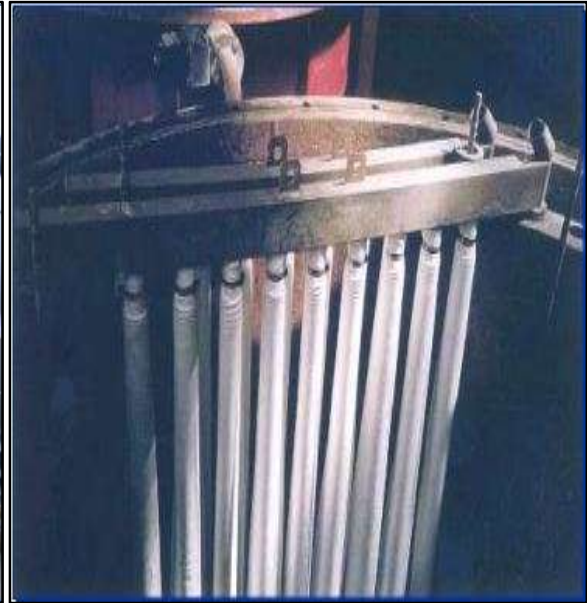
1	Couvercle de filtre	8	Rampe
2	Partie cylindrique	9	Manchon filtrant sur une bougie
3	Partie conique	10	Entrée sirop à filtrer
4	Nourrice de collecte de sirop filtré	11	Robinet de purge
5	Conduite d'alimentation en sirop	12	Vanne d'isolement d'une rampe
6	Conduite d'alimentation en concentration	13	Conduite de collecte
7	Conduite de purge totale		

**Figure II.2 :** Structure et équipements de filtre EXOFALC.

La partie cylindrique de filtre est composée de 26 rampes en *Inox* supportant les 493 bougies filtrantes et comprenant chacune une grande section de support creux de récupération

des liquides filtrés, à une extrémité se trouve la sortie des liquides filtrés, l'autre extrémité du support repose sur la bride de la cuve.

Les deux figures II.3 et II.4 suivantes illustrent une vue horizontale de filtre, les rampes et les bougies.



**Figure II.3 :** Vue horizontale de filtre.

**Figure II.4 :** Rampes supportant des bougies.

### **II.3.2 Description de processus de filtration**

Le filtre (voir figures II.2, II.3 et II.4), initialement vide, est rempli de sirop carbonaté (à filtrer) par la conduite d'alimentation en sirop, une fois rempli et après la formation de la couche pré-filtrante (après l'étape de la recirculation, où on fait recirculer le sirop de et vers le bac de sirop carbonaté ou à filtrer T300), le sirop rentre à travers les toiles filtrantes (ou manchons) et coule vers le bas pour entrer à travers les bougies (les bougies ont une ouverture à l'extrémité inférieure) et monte sous la pression pour arriver à la rampe qui transporte le sirop filtré et le jette dans la nourrice de collecte de sirop pour l'acheminer au bac de sirop filtré et puis vers la section décoloration.

Les toiles filtrantes peuvent se déformer après un temps en service ou sous la pression exercée par le passage de sirop à travers ces dernières, donc le sirop ne sera pas filtré, et s'il y a beaucoup de toiles défectueuses, la rampe qui supporte les bougies qui ont ces toiles sera elle aussi défectueuse, et le sirop qui passe à travers ne sera donc pas filtré, et la rampe fallait

qu'elle sera isolée par des vannes d'isolement de rampes pour que ce sirop ne passe pas vers la nourrice de collecte.

Une fois les toiles filtrantes sont couvertes de boues, le sirop ne sera pas bien filtré, donc, le filtre sera vidangé par l'ouverture de la conduite de purge totale pour permettre à la boue concentrée sur les toiles de tomber, et ainsi le filtre sera prêt à un autre cycle de fonctionnement.

### **II.3.3 Équipements et instrumentations utilisés**

Toute installation industrielle est équipée d'un ensemble de capteurs, pré-actionneurs et actionneurs dont l'utilité consiste à contrôler les principaux paramètres physiques, à savoir, la pression, le débit, la température, le niveau.

Et pour pouvoir contrôler ces équipements, des relais, contacteurs et disjoncteurs sont nécessaires pour transmettre les ordres de démarrage, d'arrêt et même de sécurité de la partie commande à la partie opérative de l'automatisme (l'installation industrielle).

Notre présentation s'effectuera sur un filtre EXOFALC référencié **S310** ainsi que ses composants et les équipements nécessaires pour son démarrage et son fonctionnement, et qui sont réparties en plusieurs groupes :

- Un ensemble de vannes motorisées pneumatiques (Vannes TOR).
- Des capteurs-transmetteurs :
  - Capteurs ou sondes de niveau.
  - Capteur de qualité.
  - Transmetteur de pression.
  - Débitmètre électromagnétique.
- Des pompes centrifuges.
- Des systèmes d'agitation.
- Des relais, contacteurs et disjoncteurs.

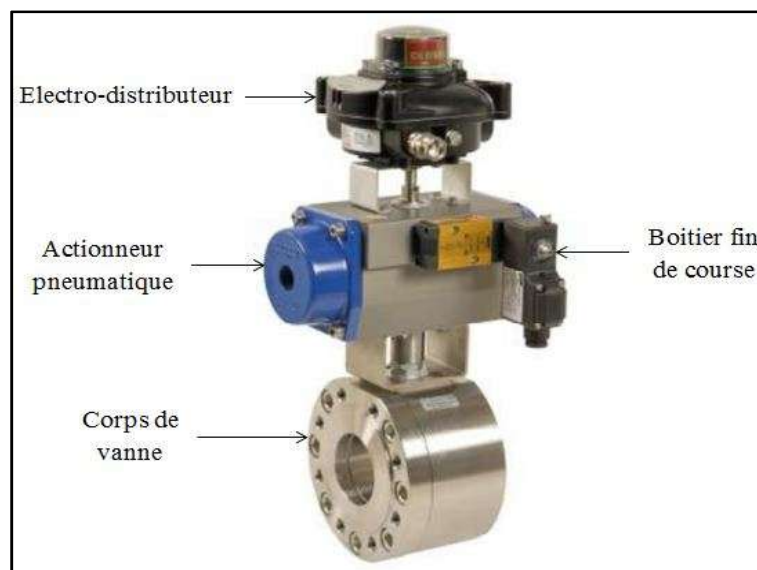
#### **II.3.3.1 Les vannes motorisées pneumatiques (Vannes TOR)**

Les vannes motorisées pneumatiques standard (figure II.5) ont un fonctionnement « tout ou rien », c'est-à-dire que leurs position est soit ouverte soit fermée et passe

instantanément d'un état à l'autre. Ces vannes motorisées ont pour fonction le sectionnement à distance des conduites et réservoirs de fluides à l'aide d'une commande pneumatique.

Les vannes motorisées pneumatiques ont deux cas de fonctionnement :

- Fonctionnement en double effet : Un vérin pneumatique de type piston-crémaillère entraîne l'axe de la vanne dont le mouvement est un quart ( $\frac{1}{4}$ ) de tour. Un distributeur envoie un signal pneumatique alternativement dans l'une des deux chambres du vérin permettant l'ouverture ou la fermeture de la vanne.
- Fonctionnement en simple effet : Dans ce cas, le vérin pneumatique est équipé de ressorts de compression du piston. Le signal pneumatique n'exécute qu'un seul des deux mouvements d'ouverture ou de fermeture, le second étant opéré par la pression des ressorts. Ce type de fonctionnement permet de prévoir une position de sécurité par manque de courant. [5]



**Figure II.5** : Image réelle d'une vanne motorisée pneumatique (Vanne T.O.R).

Les éléments constituant ce type de vannes sont :

- Électro-distributeur : Monté directement sur l'actionneur, il permet de gérer directement l'alimentation en air comprimé de l'actionneur.
- Boîtier fin de course : Installé sur l'actionneur, il permet de communiquer la position de la vanne au système de contrôle commande. [5]

Le filtre EXOFALC S310 comporte 8 vannes T.O.R référenciées comme suit :

- Vanne de mise à la pression atmosphérique (mise à la PA) : XVC310.
- Vanne d'alimentation à petit débit : XVAP310.
- Vanne d'alimentation à grand débit : XVAG310.
- Vanne de recirculation : XVE310.
- Vanne de sortie sirop : XVF310.
- Vanne d'entrée vapeur XVG310.
- Vanne de sortie vapeur XVH310.
- Vanne de vidange ou vanne de purge totale : XVB310.

### **II.3.3.2 Les capteurs-transmetteurs**

Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

Le transmetteur est le dispositif qui convertit le signal de sortie du capteur en un signal de mesure standard, il fait le lien entre le capteur et le système de contrôle commande.

Le couple capteur + transmetteur réalise la relation linéaire entre la grandeur mesurée et son signal de sortie. [6]

#### **II.3.3.2.1 Capteurs ou sondes de niveau**

Une sonde de niveau (figure II.6), est un capteur de pression hydrostatique utilisé pour la mesure de niveau d'un liquide dans un réservoir ou dans un bac.

Les capteurs ou sondes de niveau qui interviennent dans le programme de fonctionnement et qui servent à prendre des mesures locales afin que l'opérateur puisse contrôler les différents paramètres tout au long de l'opération sont :

- Un capteur de niveau LT\_T300 au niveau de bac T300 : il sert à mesurer le niveau du sirop carbonaté ou sirop à filtrer.
- Un capteur de niveau LT\_T4200 au niveau de bac T4200 : il sert à mesurer le niveau du sirop filtré ou sirop à décolorer.

L'unité de mesure utilisée pour le Niveau est le pourcentage (%).



**Figure II.6 :** Image réelle d'une sonde de niveau.

### II.3.3.2.2 Transmetteur de pression

Un transmetteur de pression (figure II.7), a pour fonction d'acquérir la pression et de transmettre cette information à un régulateur, un afficheur ou encore un enregistreur. Un transmetteur de pression est conçu pour fournir un des différents types d'information suivant :

- Pression relative : pression mesurée par rapport à la pression atmosphérique environnante.
- Pression absolue : pression mesurée par rapport au vide absolu.
- Pression différentielle : différence de deux pressions, image d'un débit ou d'un niveau.[6]



**Figure II.7 :** Transmetteur de pression avec afficheur numérique.

**II.3.3.2.3 Débitmètre électromagnétique**

Un débitmètre électromagnétique (DEM) (figure II.8), est un type de débitmètre de haute précision, utilisant le principe de l'induction électromagnétique. Pour ce faire, quand un liquide conducteur s'écoule perpendiculairement à travers un champ magnétique, une différence de potentiel électrique est créée au sein du liquide. Cette différence de potentiel, captée à l'aide de deux électrodes permet, par le calcul, d'en déduire la vitesse puis le débit du fluide.



**Figure II.8 :** Débitmètre électromagnétique (DEM).

**II.3.3.2.4 Capteurs de fin de course**

Un capteur de fin de course (figure II.9), ou appelé autrement interrupteur de fin de course, interrupteur de position, détecteur de position, est un commutateur commandé par le déplacement d'un organe de commande (corps d'épreuve). Lorsqu'il est actionné, il ouvre ou ferme un ou plusieurs circuits électriques ou pneumatiques.



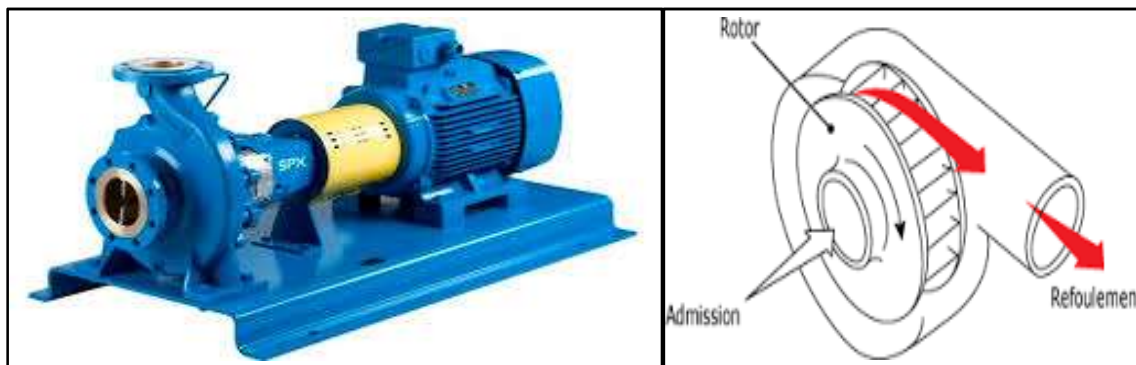
**Figure II.9 :** Capteur de fin de course.

### II.3.3.3 Les pompes centrifuges

Une pompe centrifuge (figure II.10), est constituée par une roue à aubes tournant autour de son axe, un distributeur dans l'axe de la roue, et un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge est le suivant :

- Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie. [7]



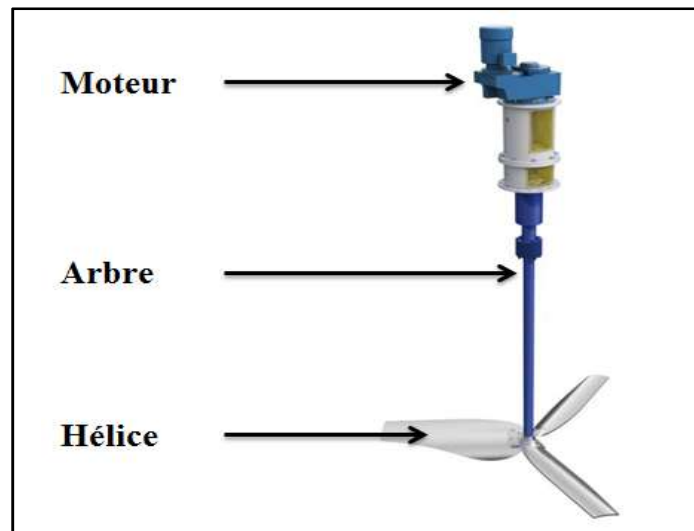
a. Pompe centrifuge.

b. Principe de fonctionnement.

**Figure II.10** : Pompe centrifuge (a), et son principe de fonctionnement (b).

### II.3.3.4 Le système d'agitation

Les bacs à sirop carbonaté T300 et à sirop filtré T4200 comprennent des systèmes d'agitations (figure II.11), qui sont équipés chacun d'un moteur électrique asynchrone à deux vitesses, un motoréducteur, un arbre et une hélice qui tournent en continu afin que le contenu des bacs reste homogène.



**Figure II.11** : Un système d'agitation et ses différents composants.

### II.3.3.5 Relais

Le relais (figure II.12), est un appareil électrique constitué essentiellement d'une bobine alimentée par un circuit de commande, dont le noyau mobile ou la palette provoque la commutation de contacts pour alimenter un circuit de puissance.

La constitution d'un relais peut être très différente dans la pratique tandis que son fonctionnement reste en principe identique.

- Premièrement le circuit de commande n'est pas alimenté, lorsqu'une tension se produit sur la bobine de relais, un courant électrique circule dans les bobinages (**a** et **b**).
- Un champ magnétique se crée et place l'induit contre le noyau de la bobine, provoquant ainsi la fermeture des contacts donc la circulation de courant et l'alimentation de circuit de puissance (**c** et **d**).
- En l'absence de tension dans le circuit de commande, il n'y aura plus de champ magnétique qui provoque la fermeture des contacts de circuit de puissance (**a**).

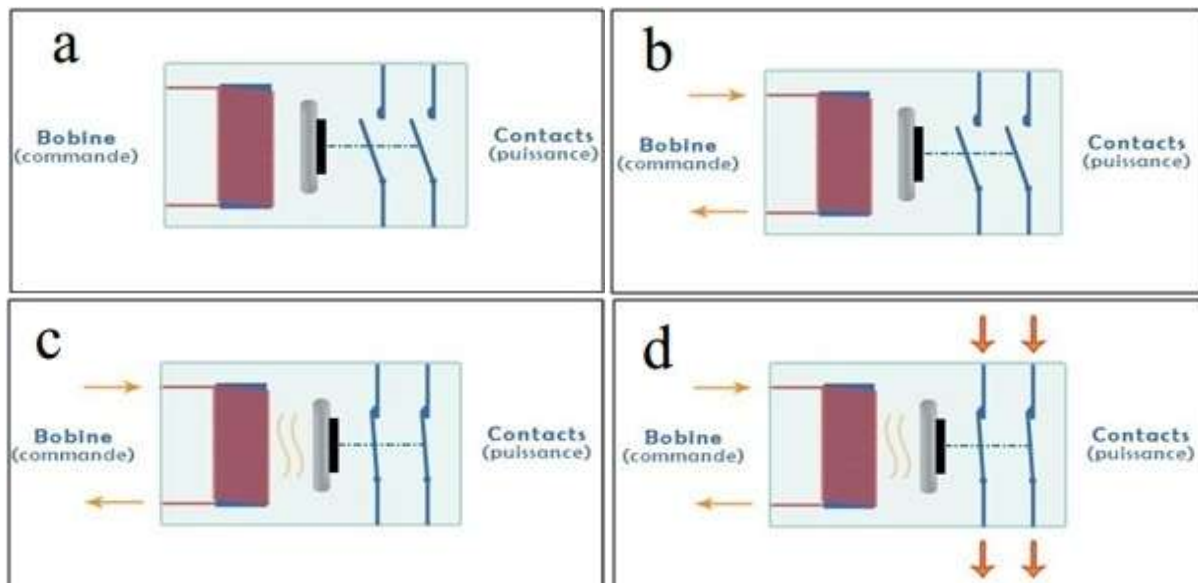


Figure II.12 : Structure et principe de fonctionnement d'un Relais.

### II.3.3.6 Contacteur

Le contacteur (figure II.13), est un appareil mécanique de connexion commandé par un électro-aimant fonctionne par tout ou rien, il assure la commutation de puissance permettant le transfert ou l'interruption de l'énergie électrique en provenance de réseau vers le récepteur, et la protection contre le manque et les chutes de tensions. Le contacteur, grâce à son électro-aimant, remplit la fonction de commande à distance.



**II.3.3.7. Disjoncteur**

Un disjoncteur (figure II.14), est un dispositif électromécanique, voire électronique, de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable (il est prévu pour ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement).



**Figure II.14 :** Un Disjoncteur.

**II.4 Description du fonctionnement de filtre (cahier des charges)**

Le cycle de la filtration dure entre *15 heures* et *18 heures* selon le degré de clarté de sirop filtré et l'épaisseur de la boue formé sur les manchons ou les toiles filtrantes. Ce cycle est composé de 5 étapes (phases) de fonctionnement qui se succèdent comme suit :

- Au départ, l'opérateur donne un ordre de démarrage via un bouton poussoir (BP).  
Pour que le filtre démarre et entre en travail, il faut que le niveau de sirop dans le bac T300 soit moyen, puis passage à l'étape suivante.  
Sinon, si le niveau de bac T300 n'est pas moyen, pas de démarrage de cycle et alarme (ALARME0), puis retour à l'étape initiale (appui sur un bouton poussoir).
- **Mise à la PA (Pression Atmosphérique) :** Aussi appelée le remplissage, la mise à la PA consiste à remplir le filtre de sirop carbonaté à partir du bac à sirop carbonaté T300.  
Le filtre est rempli de sirop carbonaté par l'ouverture de la vanne de mise à la PA (Pression Atmosphérique) XVC et vanne à alimentation à grand débit XVAG, puis démarrage de la pompe à grand débit P302 pour remplir le filtre, la durée de cette

étape ou de remplissage de filtre est de T1 qui est de *2 minutes* (temps de mise à la PA), une fois ce temps est écoulé, la pompe P302 s'arrête et fermeture des vannes XVC et XVAG, puis passage à l'étape suivante.

- **La filtration :** Elle se décompose en deux phases : la recirculation et la filtration proprement dite.

Dans la première phase qui est la recirculation, le but est de former une pré-couche d'impuretés sur la toile qui agira comme une seconde membrane ; pour se faire, les vannes à petit débit XVAP et de recirculation XVE s'ouvrent puis la pompe à petit débit P301 démarre pour recirculer le sirop entre le bac T300 et le filtre, la durée de cette phase est de T2 qui est de *10 minutes* (temps de recirculation), une fois ce temps est passé, la vanne XVE se ferme et le filtre passe à la phase suivante.

Dans la deuxième phase qui est la filtration, on fasse passer le sirop carbonaté directement à travers les toiles filtrantes et envoyer le sirop filtré vers le bac T4200, tout ça se fait par l'ouverture de la vanne de sortie sirop XVF (la vanne à alimentation à petit débit XVAP étant toujours ouverte, même chose pour la pompe à petit débit P301 qui est toujours en marche) puis démarrage d'un temps T3 qui est de *15 heures* (temps de filtration); une fois ce temps est passé, la pompe à petit débit P301 s'arrête puis les vannes à petit débit XVAP et de sortie sirop XVF se ferment puis passage à l'étape suivante.

Dans cette phase :

- Avant que la vanne de sortie sirop XVF s'ouvre, il fallait vérifier les niveaux des bacs T300 et T4200, alors si le niveau de bac T300 est très bas ou si le niveau de bac T4200 est haut, la vanne de recirculation XVE s'ouvre pour recirculer le sirop de et vers le bac T300 jusqu'à ce que le niveau de bac T300 soit bas et celui de bac T4200 ne soit pas haut, puis passage à la phase de filtration.
  - Durant le temps de filtration T3, si le niveau de bac T300 est très bas ou le niveau de bac T4200 est haut, le filtre retourne vers la phase de recirculation par l'ouverture de la vanne de recirculation XVE et la fermeture de la vanne de sortie sirop XVF jusqu'à ce que le niveau de bac T300 soit bas et celui de bac T4200 ne soit pas haut puis retour à la filtration par l'ouverture de la vanne de sortie sirop XVF et la fermeture de la vanne de recirculation XVE.
- **La vapeur :** Cette étape consiste à dégraisser le filtre si ce dernier nécessite un dégraissage selon le degré de clarté de sirop, un capteur de qualité (CQ) est placé sur la conduite de sortie sirop (en amont avec la vanne XVF).

Si le capteur détecte que le sirop n'est pas de bonne qualité (n'est pas bien filtré), le dégraissage sera fait avec de la vapeur, tout ça se fait par ouverture des vannes d'entrée vapeur XVG et de sortie vapeur XVH, puis démarrage d'une temporisation T4 de 25 *minutes* (temps de dégraissage), une fois ce temps est consommé, les vannes XVG et XVH se ferment puis passage à l'étape suivante.

Si le capteur détecte que le sirop est de bonne qualité (bien filtré), le filtre passe directement à l'étape suivante (sans dégraissage).

- **La vidange :** Cette étape consiste à extraire du filtre la boue retenue dans les toiles, cela se fait par ouverture de la vanne de vidange ou vanne de purge totale XVB puis démarrage d'une temporisation T5 de 8 *minutes* (temps de vidange), une fois ce temps est passé, la vanne XVB se ferme puis retour à l'étape initiale, pour un autre cycle de fonctionnement.

## **II.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit la structure et le fonctionnement d'un filtre EXOFALC, nous avons aussi donné un aperçu sur l'ensemble des instruments utilisés et ceci en fonction des informations qui nous ont été procurées, enfin nous avons donné le cahier des charges de fonctionnement du filtre.

Le chapitre suivant portera sur la modélisation de fonctionnement du filtre par l'outil GRAFCET.



**Chapitre III**

***Modélisation du  
Procédé à l'aide  
de Grafcet***

### **III.1 Introduction**

La conception d'un système automatisé industriel comporte un cahier des charges, établi en collaboration avec les différents services utilisant ce système.

Pour un automaticien, la modélisation du système à commander constitue une phase cruciale dans tout le processus de conception des automatismes industriels. Elle consiste à traduire le cahier des charges, élaboré en fonction des relations existantes entre la partie commande et la partie opérative et des conditions d'utilisation et de fonctionnement en une forme simple permettant de passer facilement à la programmation de l'automatisme. Pour la modélisation de notre procédé, nous avons opté pour l'outil Grafcet. Les étapes suivies pour cette modélisation sont précisées dans ce chapitre.

### **III.2 Définition du Grafcet**

Le GRAFCET (**G**raphe **F**onctionnel de **C**ommande par **É**tapes et **T**ransitions) est un diagramme fonctionnel dont le but est de décrire graphiquement, suivant un cahier des charges, les différents comportements de l'évolution d'un automatisme séquentiel. Il est parfois simple à utiliser et rigoureux sur le plan formel et constitue un unique outil de dialogue entre toutes les personnes collaborant à la conception, à l'utilisation ou à la maintenance de la machine à automatiser.

Il a été conçu par l'ADEPA (Agence pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie). C'est un langage clair, strict, permettant de traduire un fonctionnement sans ambiguïté. Le GRAFCET est devenu à l'heure actuelle plus qu'un outil de description, c'est un langage de programmation graphique. [5]

### **III.3 Concepts de base d'un Grafcet**

Le GRAFCET se compose d'un ensemble de :

- Étapes auxquelles sont associées des actions (activités).
- Transitions entre étapes auxquelles sont associées des réceptivités.
- Liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.

Le Grafcet est une représentation alternée d'étapes et de transitions.

- **Une étape** correspond à une situation dans laquelle les variables de sorties conservent leur état.
- **Une transition** indique la possibilité d'évolution entre deux étapes successives. A chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité.
- **Les actions** associées aux étapes sont inscrites dans des étiquettes.

La figure III.1 suivante montre les éléments de base d'un Grafcet.

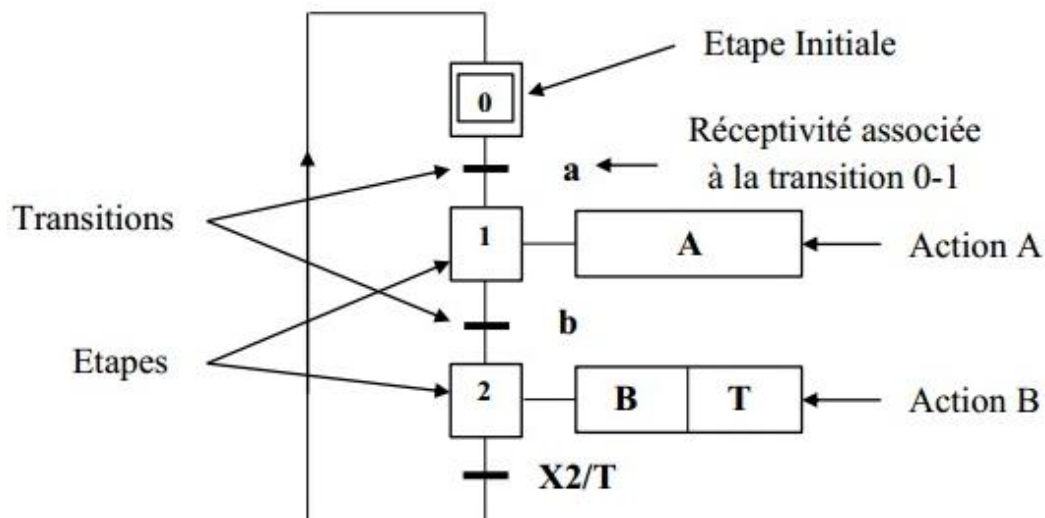


Figure III.1 : Symbolisation d'un Grafcet.

### III.4 Règles d'évolution

La modification de l'état de l'automatisme est appelée évolution, il est régi par 5 règles : [5]

- **Règle 1 : Situation initiale**

La situation initiale d'un Grafcet caractérise l'état de la partie opérative au démarrage de la partie commande. Elle correspond aux étapes actives au début de fonctionnement appelées étapes initiales.

- **Règle 2 : Franchissement d'une transition**

L'évolution de la situation du Grafcet s'accomplit par le franchissement d'une transition, ce qui ne peut se produire :

- que lorsque cette transition est validée.
- et que lorsque la réceptivité associée à cette transition est vraie.

- **Règle 3 : Évolution des étapes actives**

Le franchissement entraîne immédiatement l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

- **Règle 4 : Évolutions simultanées**

Toutes les transitions franchissables sont simultanément franchies. Cette règle de franchissement simultané permet de décomposer un Grafcet en plusieurs parties, tout en assurant de façon rigoureuse leurs interconnexions. Dans ce cas, il est indispensable de faire intervenir, dans les réceptivités, les états actifs ou inactifs des étapes  $i$  respectivement.

- Pour mettre en évidence les franchissements simultanés, les transitions correspondantes seront repérées par un astérisque (\*).

- **Règle 5 : Activation et Désactivation simultanées**

Si, au cours du fonctionnement de l'automatisme, une même étape est en même temps désactivée et activée, elle reste active.

### III.5 Niveau d'un Grafcet

#### III.5.1 Grafcet de niveau 1

Appelé aussi niveau de la partie commande, il décrit l'aspect fonctionnel du système et les actions à faire par la partie commande en réaction aux informations provenant de la partie opérative indépendamment de la technologie utilisée. Les réceptivités sont décrites en mots et non en abréviations, on associe le verbe à l'infinitif pour les actions.

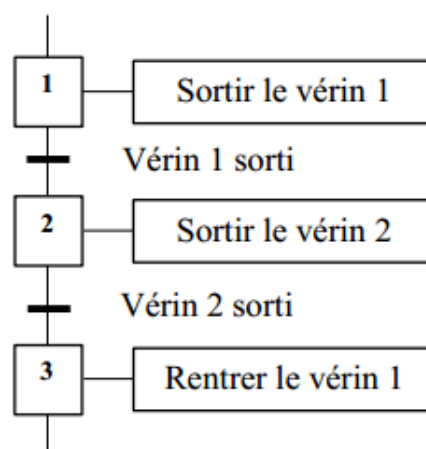


Figure III.2 : Grafcet niveau 1.

III.5.2 Grafcet de niveau 2

Appelé aussi niveau de la partie opérative, il tient compte de détails des actionneurs, des pré-actionneurs et des capteurs. La représentation des actions et réceptivités, est écrite en abrégés et non en mots, on associe une lettre majuscule à l'action et une lettre minuscule à la réceptivité.

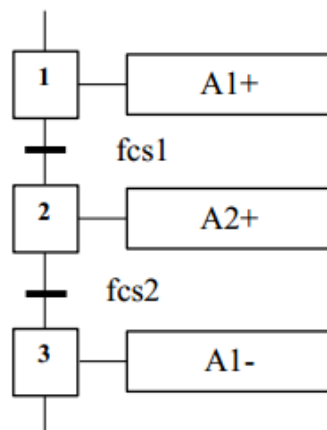


Figure III.3 : Grafcet niveau 2.

III.6 Mise en équation d'un Grafcet

Tout Grafcet peut être représenté par des équations qui représentent chacune une étape de ce Grafcet.

Soit la partie du Grafcet représentée par la figure III.4, chaque étape n de ce Grafcet peut être représentée par l'équation suivante :

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

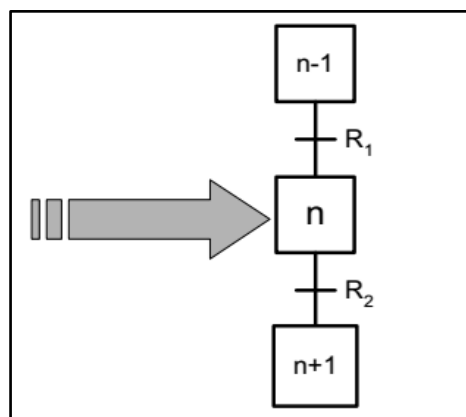
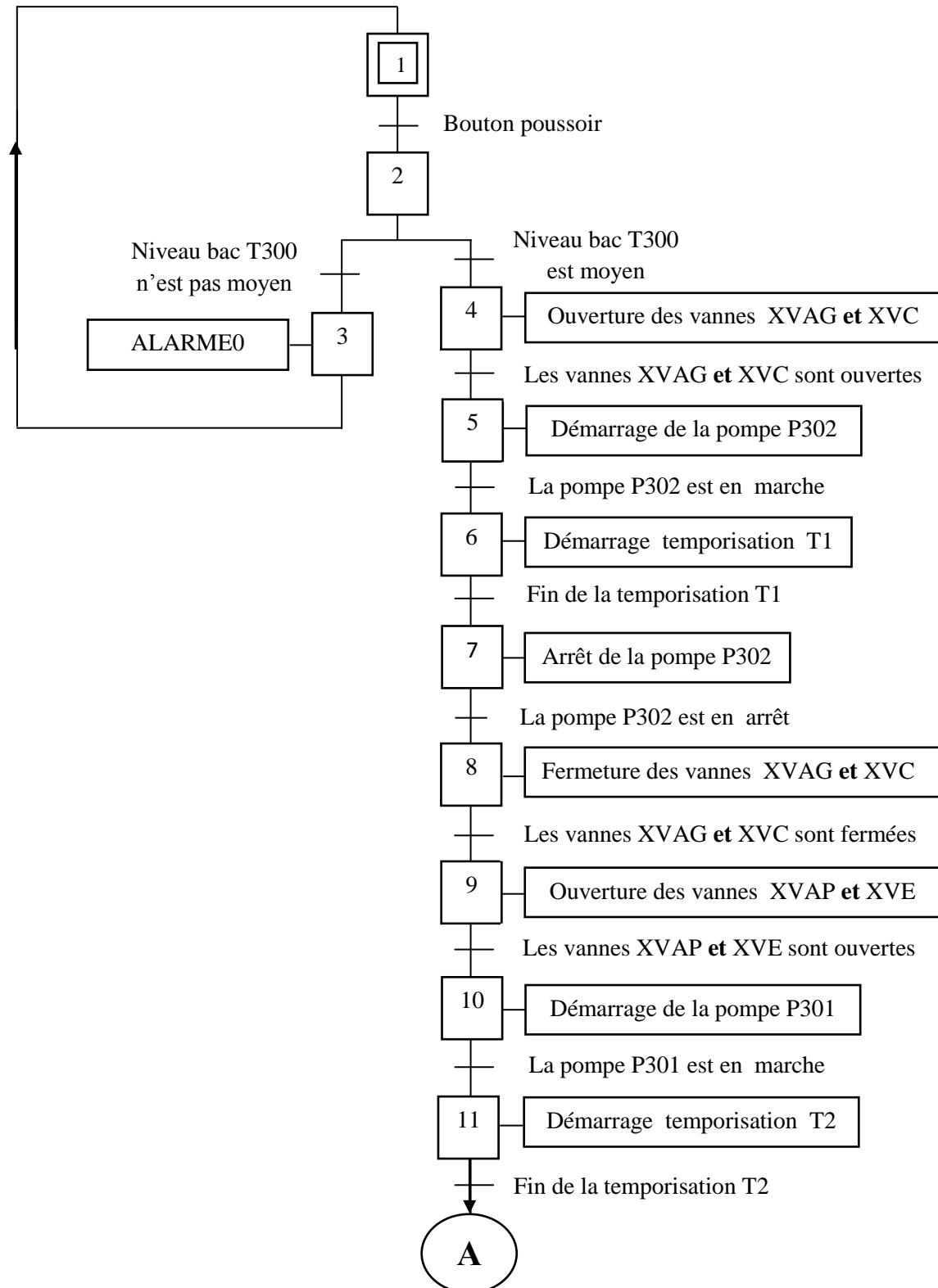


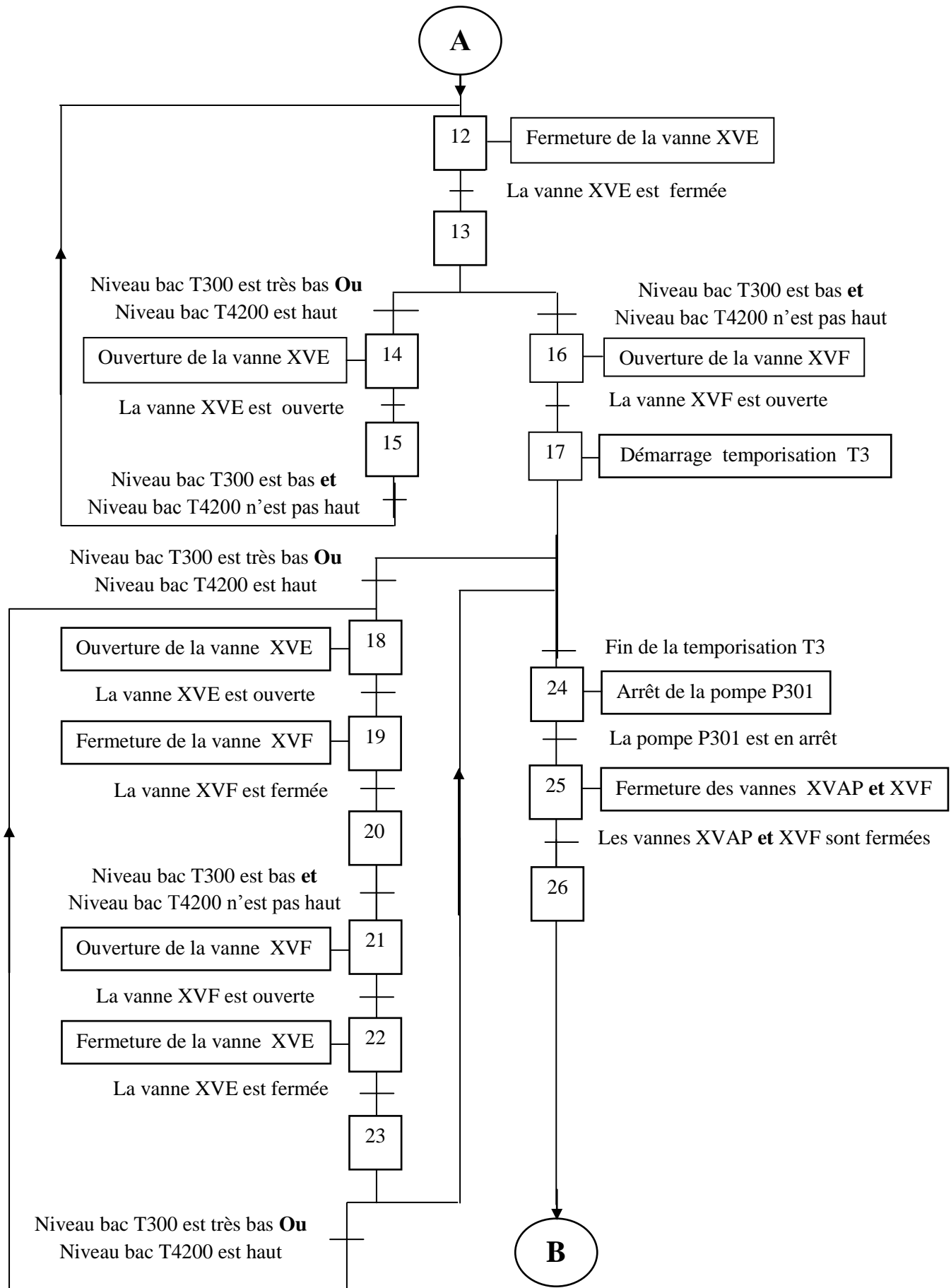
Figure III.4 : Modèle simple d'un Grafcet.

III.7 Grafcet de filtre EXOFALC S310

Après avoir étudié le cahier des charges, nous avons réalisés un Grafcet de niveau 1, puis de niveau 2 qui sont représentés comme suit :

III.7.1 Grafcet niveau 1 de filtre EXOFALC





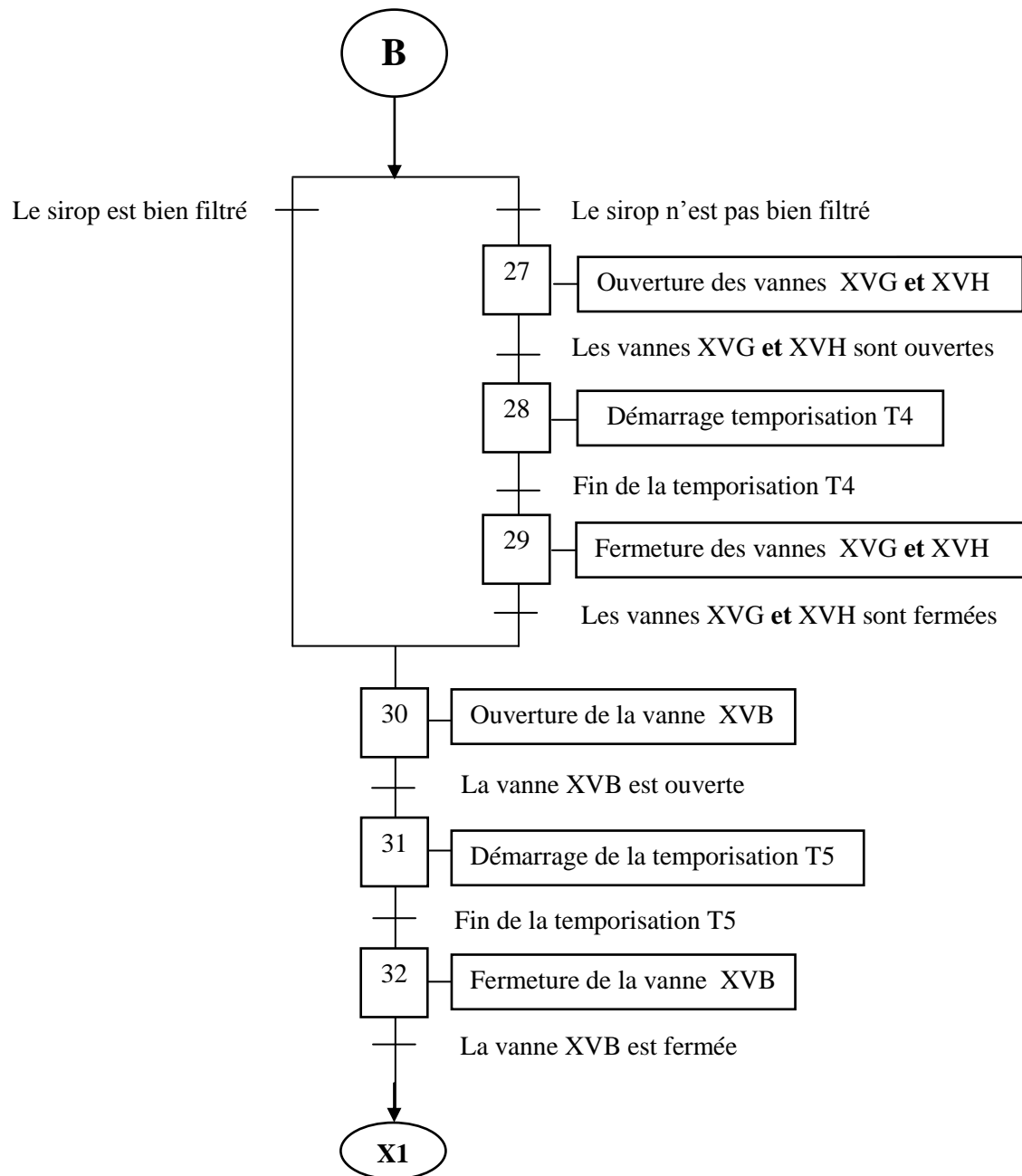
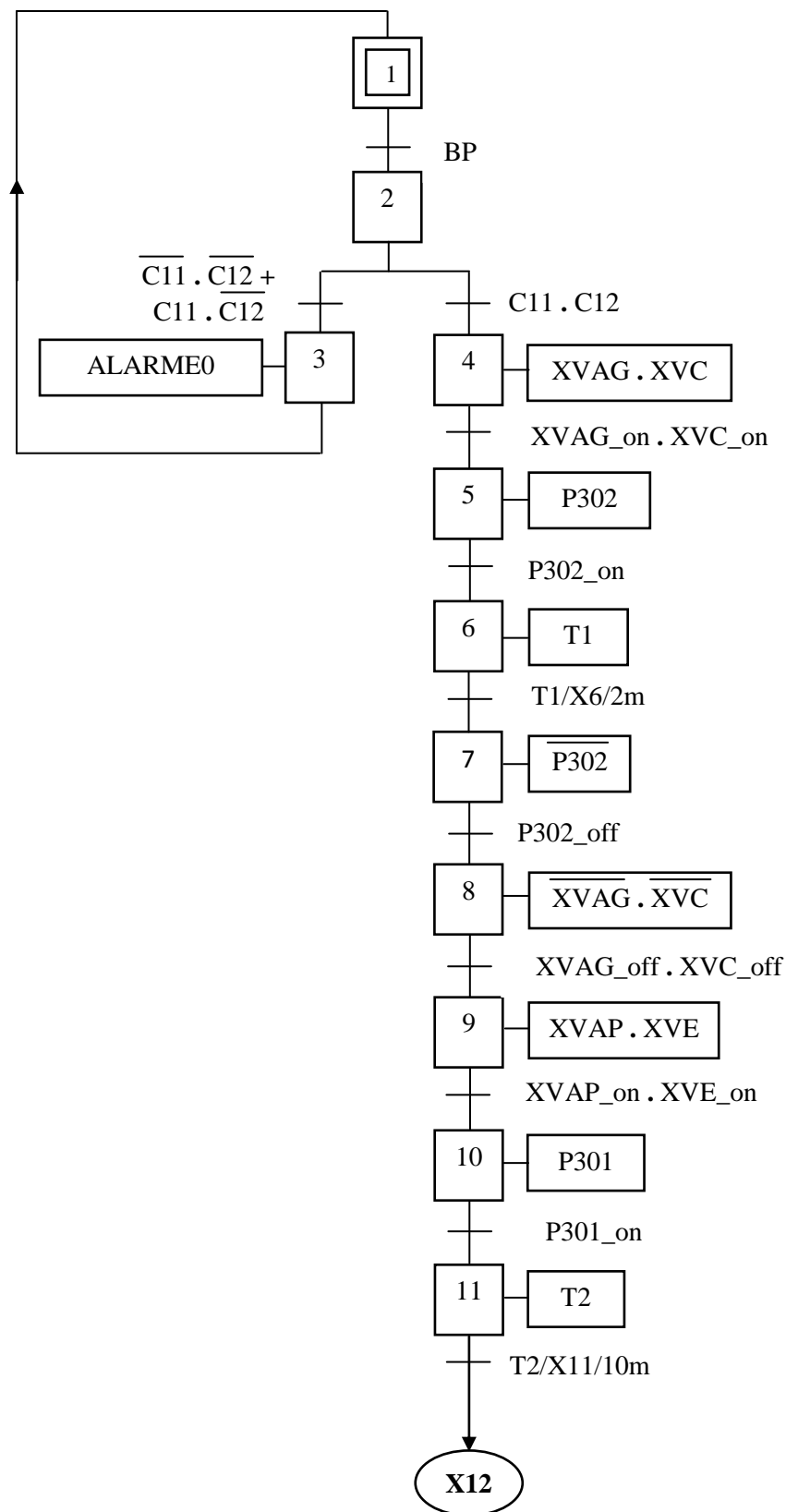
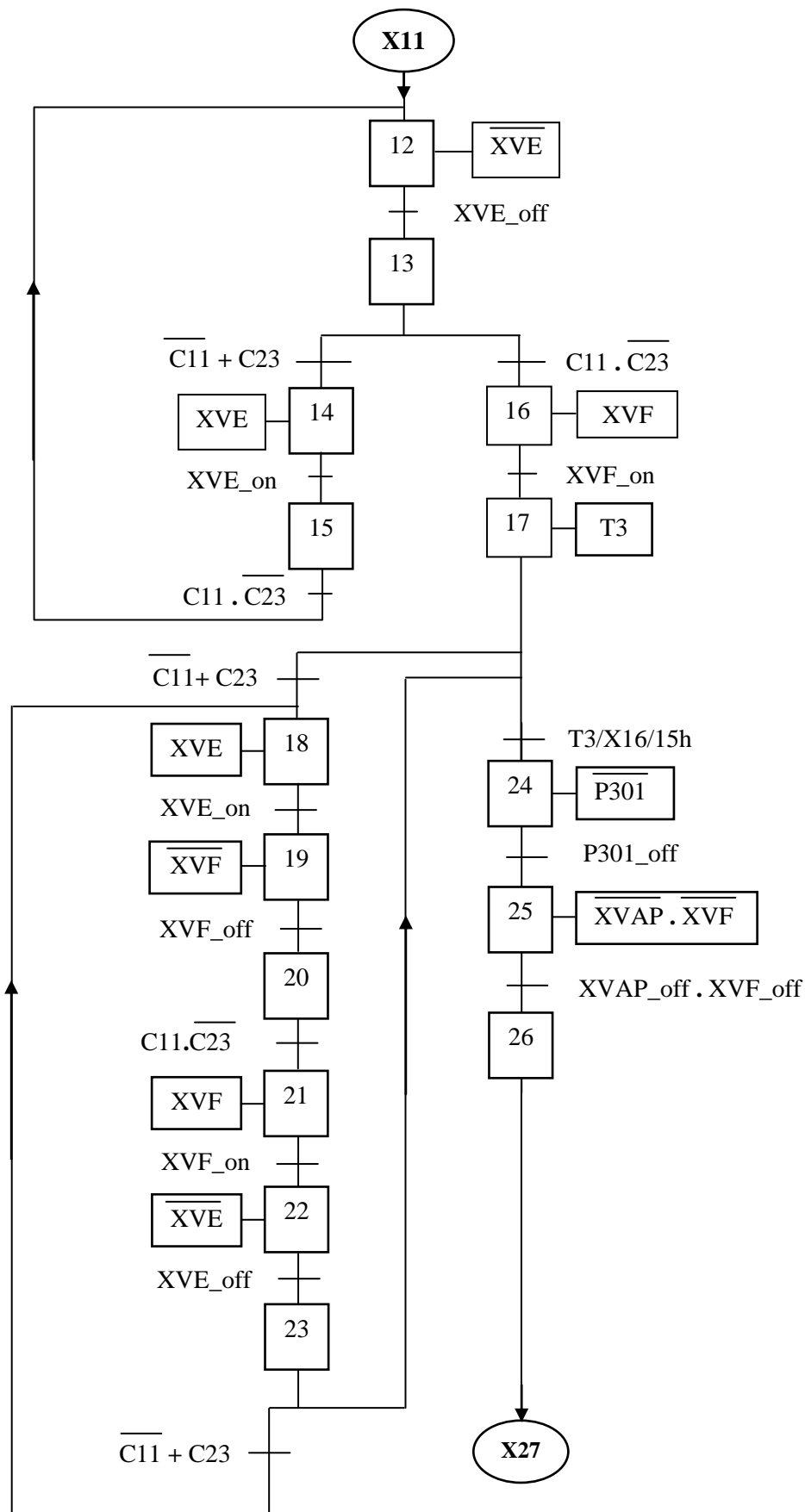


Figure III.5 : Grafcet niveau 1 de filtre EXOFALC

III.7.2 Grafcet niveau 2 de filtre EXOFALC





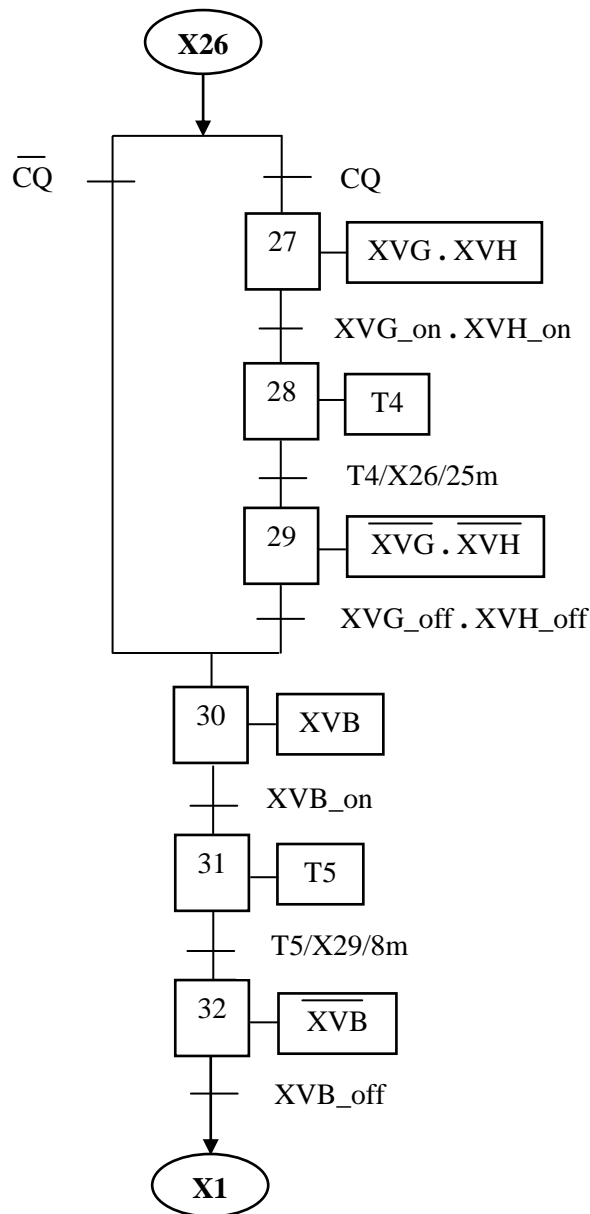


Figure III.6 : Grafcet niveau 2 de filtre EXOFALC

### III.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré le modèle Grafcet de notre procédé (filtre EXOFALC), ce modèle nous guidera pour la mise en œuvre de la solution en logique programmable, mais avant de passer à la transcription du Grafcet en programme sous *Step7*, il y a lieu de faire le point sur l'ensemble de matériels qui constituent un Automate Programmable Industriel (API), chose qui fera l'objet du prochain chapitre.



**Chapitre IV**

***Élaboration de  
la Solution de  
Commande***

**IV.1 Introduction**

L'introduction à l'informatique dans l'industrie et particulièrement dans le domaine de la conception et de la fabrication a considérablement accéléré le développement de l'automatisation avec les API (automates programmable industriel). Un automatisme est un dispositif qui permet à la machine ou à des installations de fonctionner avec une réduction maximale de l'intervention humaine.

Après avoir modélisé le fonctionnement de notre système par le Grafcet, l'étape suivante consiste à concevoir le programme qui sera implanté dans l'API. Avant d'entamer la programmation, nous avons jugé nécessaire de présenter l'API utilisé et citer les critères sur lesquels notre choix s'est basé.

**IV.2 Définition d'un automate programmable industriel (API)**

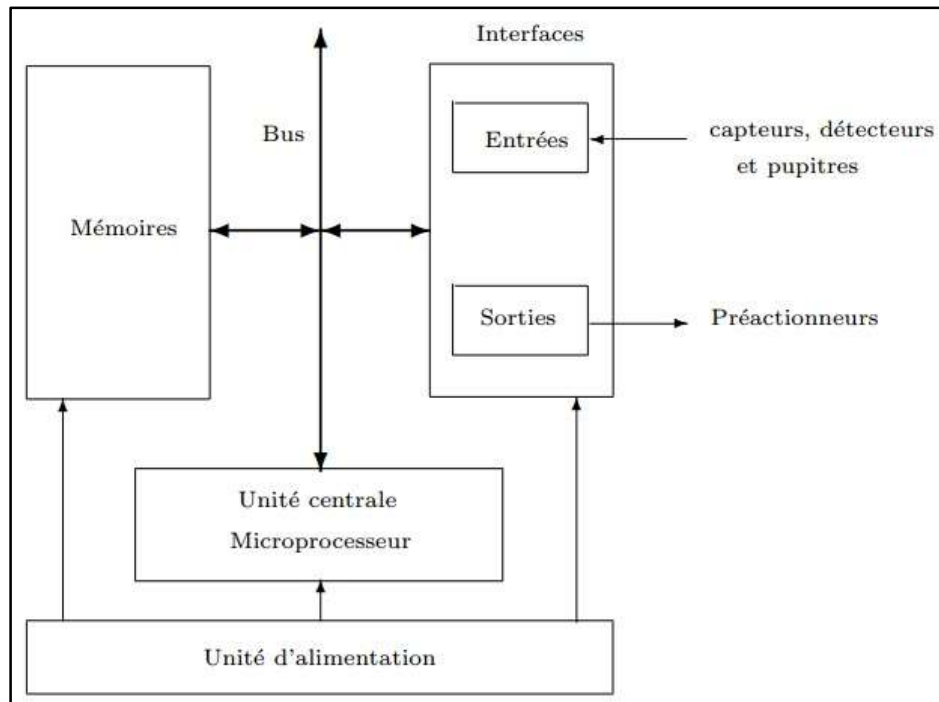
Un API (ou PLC Programmable Logic Controller) est un appareil électronique adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande des pré-actionneurs et des actionneurs à partir d'informations logiques et analogiques. [8]

Les automates SIMATIC S7 : Cette gamme comprend les systèmes d'automatisation suivants :

- S7-200 : un micro-automate compact de l'entrée de gamme.
- S7-300 : un micro-automate modulaire de milieu de gamme.
- S7-400 : il couvre le haut et très haut gamme.

**IV.3 Structure interne des automates programmables**

La structure matérielle interne d'un API obéit au schéma donné sur la figure IV.1 suivante :



**Figure IV.1 :** Structure interne d'un API. [8]

Détaillons successivement chacun des composants qui apparaissent sur ce schéma. [8]

### IV.3.1 L'unité centrale

À base de microprocesseur, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...).

### IV.3.2 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 numériques (spécialisés) : l'information traitée est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

### **IV.3.3 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 EEPROM.
- Les données système lors du fonctionnement dans des RAM. Cette dernière est généralement secourue par pile ou batterie.

En règle générale, on peut augmenter la capacité mémoire par adjonction de barrettes mémoires type PCMCIA.

### **IV.3.4 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.3.5 Liaisons de communication**

Elles Permettent la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions, elles s'effectuent :

- Avec l'extérieur par des bornes 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.4 Choix d'un automate**

Pour choisir un automate programmable, l'automaticien doit préciser :

- Le nombre et la nature des entrées et des sorties.
- Le type de programmation souhaité et les besoins de traitement permettant le choix de l'unité centrale et la taille de la mémoire utilisateur.
- La nature de traitement (temporisation, couplage,... etc.).
- Le dialogue (la console détermine le langage de programmation).
- La communication avec d'autres systèmes.
- La fiabilité et la robustesse.

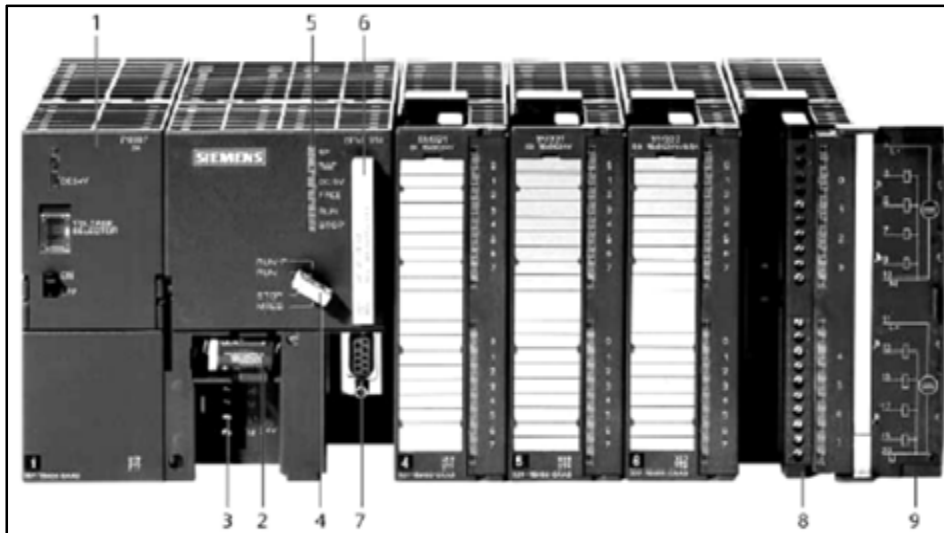
L'automate utilisé dans notre projet appartient à la gamme *SIMATIC S7* de *SIEMENS* ; le *S7-300*, qui est un mini-automate modulaire pour les applications d'entrée et de milieu de gamme, avec possibilité d'extensions jusqu'à 32 modules, et une mise en réseau par l'interface multipoint (MPI), PROFIBUS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

Conformément au nombre d'entrées (tous ce qui est capteurs, interrupteurs, boutons poussoirs, ...etc.) ; et de sorties (actionneurs : pompes, électrovannes, ... etc.), ainsi que leurs correspondances (numériques, analogiques, ...etc.), il faut penser à un API performant intégrant plus de modules d'entrées/sorties. Du fait l'API S7-300 répond parfaitement à cette flexibilité.

**IV.4.1 Présentation du S7-300**

L'automate S7-300 fait partie de la famille *SIEMENS*. Il est de conception modulaire, une vaste gamme de module est disponible. Ces modules peuvent être combinés selon les besoins lors de la conception d'une solution d'automatisation.

La figure IV.2 illustre les différents composants de l'automate. [8]



**Figure IV.2 :** Constitution externe de l'automate S7-300.

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1- Module d'alimentation                     | 6- Carte mémoire              |
| 2- Pile de sauvegarde                        | 7- Interface multipoint (MPI) |
| 3- Connexion au 24V cc                       | 8- Connecteur frontal         |
| 4- Commutateur de mode (à clé)               | 9- Volet en face avant        |
| 5- LED de signalisation d'état et de défauts |                               |

#### IV.4.2 Les modules constitutionnels de l'automate S7-300

Les différents modules qui constituent l'automate S7-300 sont : [8]

##### IV.4.2.1 Module d'alimentation (PS)

Le module d'alimentation convertit la tension secteur 220/380V AC en 24V DC nécessaire pour l'alimentation de l'automate avec des courants de sortie de 2A, 5A et 10A.

##### IV.4.2.2 Unités centrale (CPU)

Le S7-300 dispose d'une large gamme de CPU à différents niveaux de performances, on compte les versions suivantes :

- CPU à utilisation standard : CPU 313, CPU 314...
- CPU avec fonctions intégrées : CPU 312 IFM et CPU 314 IFM.

- Les fonctions intégrées permettent d'automatiser à moindre coût des tâches qui ne nécessitent pas la performance d'un module de fonction.
- La particularité de ces CPU c'est qu'elles sont dotées d'une EEPROM intégrée.
- La CPU 314 IFM dispose des fonctions intégrées suivantes :
  - La fonction intégrée fréquencemètre.
  - La fonction intégrée compteur.
  - La fonction intégrée compteur A/B.
- CPU avec interface Profibus DP : CPU 315-2DP, CPU 316-2DP et CPU 318-2DP. Elles sont utilisées pour la mise en place des réseaux.
- Toutes ces CPU peuvent être utilisées uniquement comme DP maître ou esclave DP à l'exception de la CPU 318-2DP qui est utilisée uniquement comme maître DP.

#### **IV.4.2.3 Module de coupleur (IM)**

Les coupleurs permettent de configurer le *S7-300* sur plusieurs rangées et assurent la liaison entre les châssis (le châssis d'extension et le châssis de base) et le couplage entre les différentes unités. Ainsi la communication entre les entrées/sorties et d'autre périphérique et l'unité centrale est assurée.

Pour la gamme *S7-300*, les coupleurs disponibles sont :

- IM 365 : pour les couplages entre les châssis distant d'un mètre au maximum.
- IM 360/IM361 : pour les couplages allant jusqu'à 10 mètres de distance.

#### **IV.4.2.4 Module de fonction (FM)**

Ces modules réduisent la charge de traitement de la CPU en assurant des tâches lourdes en calcul. On peut citer les modules suivant :

- FM 354/FM 357 : module de commande d'axe pour servomoteurs.
- FM 353/FM 357 : module de positionnement pour moteur pas-à-pas.
- FM 355 : module de régulation.

- FM 350-1 : module de comptage.

**IV.4.2.5 Module de communication (CP)**

Les processeurs de communication (CP) réalisent le couplage point-à-point qui relie les partenaires de communication (automates programmables, scanner, PC,... etc.). On peut citer les modules suivants : CP 340, CP 341,...

**IV.4.2.6 Module de signaux (SM)**

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

➤ **Les modules d'entrée/sortie TOR (SM 321/SM 322) :**

Les modules d'entrée/sortie TOR constituent les interfaces d'entrée et de sortie pour les signaux tout ou rien de l'automate. Ces modules permettent de raccorder à l'automate *S7-300* des capteurs et des actionneurs tout ou rien les plus divers en utilisant, si nécessaire, des équipements d'adaptation (conditionnement, conversion, ... etc.).

Les modules d'entrée ramènent le niveau des signaux TOR externes, issus des capteurs, au niveau du signal interne du *S7-300*.

Les modules de sortie transposent le niveau du signal interne du *S7-300* au niveau du signal requis par les actionneurs ou pré-actionneurs.

➤ **Les modules d'entrée/sortie analogiques :**

Ces modules permettent de raccorder à l'automate des capteurs et actionneurs analogiques.

Les modules d'entrée analogiques (SM 331) réalisent la conversion des signaux analogiques, issus du processus, en signaux numériques pour le traitement interne dans le *S7-300*.

Les modules de sortie analogiques (SM 332) convertissent les signaux numériques internes (du *S7-300*) en signaux analogiques destinés aux actionneurs ou pré-actionneurs analogiques.

Cependant les modules d'entrée/sortie analogiques (SM 334) réalisent les deux fonctions.

#### **IV.4.2.7 Module de simulation (SM 374)**

Ce module spécial, offre à l'utilisateur la possibilité de tester son programme lors de la mise en service et en cours de fonctionnement.

Dans le *S7-300*, ce module se monte à la place d'un module d'entrée ou de sortie TOR. Il assure plusieurs fonctions telles que :

- Simulation des signaux de capteurs aux moyens d'interrupteurs.
- Simulation d'état des signaux de sorties par des LED.

#### **IV.4.2.8 Châssis (rack)**

Les châssis sont utilisés pour le montage et le raccordement électrique des différents modules, ils sont constitués d'un profilé support en aluminium et bus de fond de panier avec connecteurs.

#### **IV.4.3 Caractéristique de l'automate *S7-300***

L'automate *S7-300* offre les caractéristiques suivantes :

- Gamme diversifiée de CPU.
- Gamme complète de modules.
- Possibilité d'extension jusqu'à 32 modules.
- Bus de fond de panier intégré au module.
- Possibilité de mise en réseau avec MPI, PROFIBUS ou Industrial Ethernet.
- Raccordement central de la PG avec accès à tous les modules.
- Liberté de montage aux différents emplacements.
- Configuration et paramétrage à l'aide de l'outil configuration matériels.

**IV.5 Programmation avec le *SIMATIC STEP7*****IV.5.1 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. [9]

**IV.5.2 Structure d'un programme S7 et les blocs utilisateurs**

Le logiciel de programmation *STEP7* permet de structurer le programme utilisateur, c'est-à-dire de le subdiviser en différentes parties autonomes (blocs).

Les blocs utilisateurs sont destinés à structurer le programme utilisateur dont on peut citer les blocs importants suivants :

**IV.5.2.1 Bloc d'organisation (OB)**

Ce bloc est appelé cycliquement par le système d'exploitation, il constitue donc une interface entre le programme utilisateur et le système d'exploitation. L'OB contient des instructions d'appel de blocs indiquant à l'unité de commande de l'automate l'ordre dans lequel il doit traiter les blocs.

**IV.5.2.2 Fonction (FC)**

Elle contient un programme qui est exécuté dès son appel par un autre bloc de code. Elle peut être utilisée pour :

- Renvoyer une valeur de fonction au bloc appelant (exemple : fonction mathématique).
- Exécuter une fonction technologique.

Ces données sont perdues après exécution de la fonction. Les fonctions peuvent faire appel à des blocs de données globaux pour la sauvegarde de données.

**IV.5.2.3 Bloc fonctionnel (FB)**

Il contient un programme qui est exécuté dès son appel par un autre bloc de code. Il facilite la programmation de fonctions complexes, comme la commande de moteurs (vitesse, accélération,...etc.).

**IV.5.2.4 Bloc de données (DB)**

Les DB sont des zones de données dans lesquelles on enregistre les données utilisateur.

**IV.5.2.5 Blocs système**

Ils sont des blocs prédéfinis et intégrés dans le système d'exploitation de la CPU. Ces blocs peuvent être appelés par le bloc utilisateur et utilisés dans le programme. Il s'agit des blocs suivants : les blocs fonctionnels système (FSB), les fonctions système (SFC) et les données systèmes (SDB).

**IV.5.3 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 : **[11]**

- 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 de 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 sont 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 d'exploitation.

- 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.6 Programme de filtre sous *STEP 7***

Le logiciel de programmation *Step7* constitue l'outil standard pour les systèmes d'automatisation SIMATIC. Il permet à l'opérateur une utilisation simple et confortable de ces systèmes performants, ainsi que de programmer individuellement un automate.

### IV.6.1 Configuration matérielle (Partie Hardware)

Nous avons configuré notre automate de la manière suivante afin de pouvoir concrétiser notre solution d'automatisation du filtre EXOFALC S310.

A partir du nombre d'entrées/sorties comptabilisées dans l'étude fonctionnelle du filtre, on a proposé d'utiliser :

- Un (1) module d'entrées numériques à 32 entrées.
- Un (1) module de sorties numériques à 16 sorties.
- Un (1) module d'entrées analogiques à 2 entrées.

La figure IV.3 suivante présente le matériel choisi :

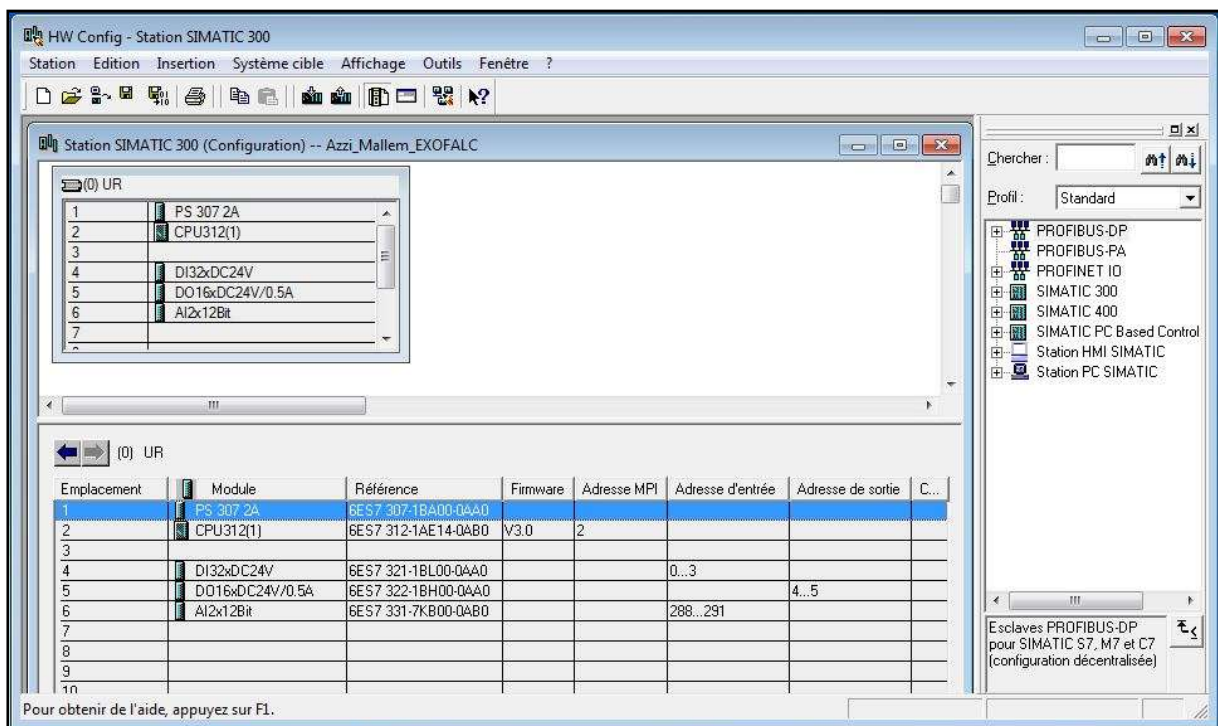


Figure IV.3 : Configuration matériels de l'API.

### IV.6.2 Les différents blocs qui constituent notre programme

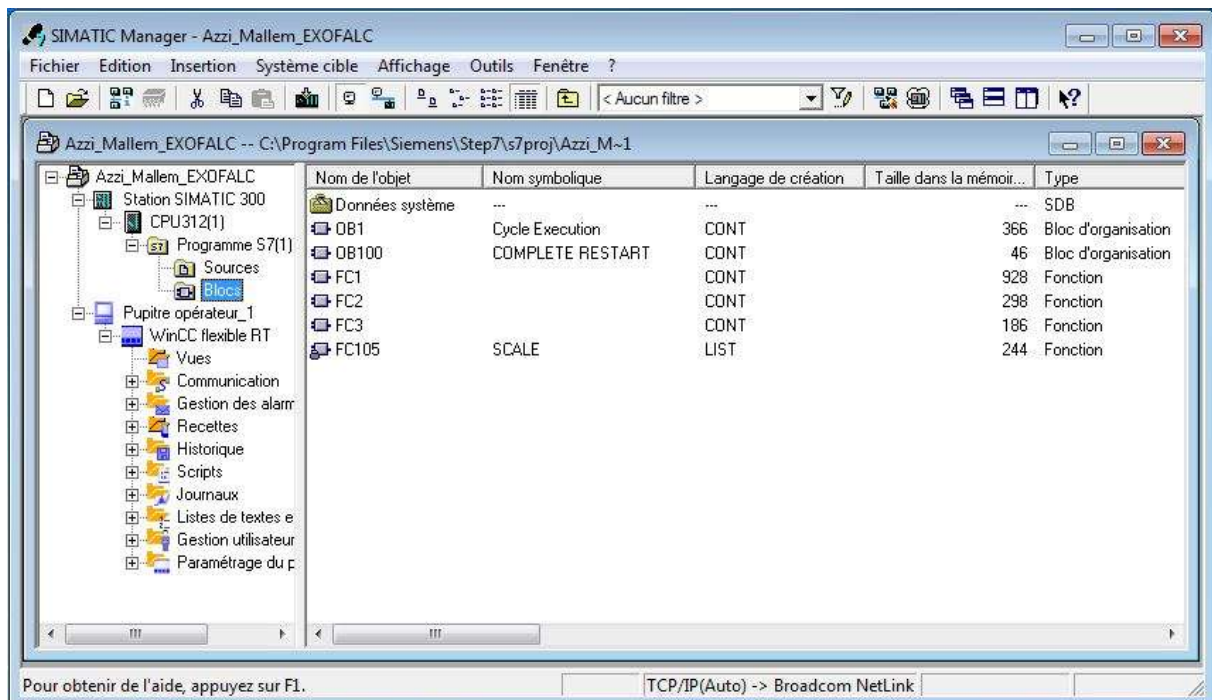
L'écriture du programme utilisateur complet peut se faire dans le bloc d'organisation OB1 (Programmation linéaire). Cela n'est recommandé que pour les programmes simples (petite taille).

Pour les automatismes complexes, ce qui est le cas, la subdivision en parties plus petites est recommandées, celles-ci correspondent aux fonctions technologiques du processus,

et sont appelées blocs de programmation structurée. Cette structuration offre les avantages suivants :

- Faciliter la mise en service et écrire des programmes importants d'une manière claire.
- Standardiser certaines parties du programme.
- Simplifier l'organisation du programme.
- Modifier facilement le programme.
- Simplifier le test du programme, car on peut l'exécuter partie par partie.
- Faciliter le diagnostic et la maintenance.

La figure IV.4 suivante illustre les différents blocs qui constituent notre programme :

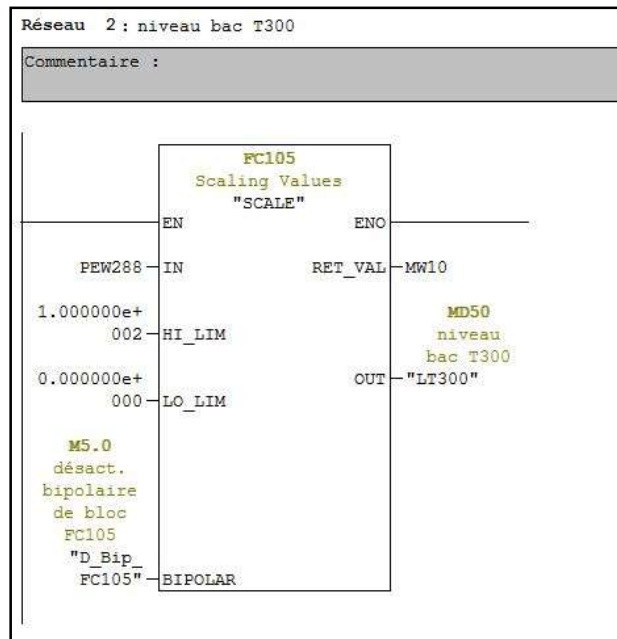


**Figure IV.4 :** Les différents blocs qui constituent notre programme.

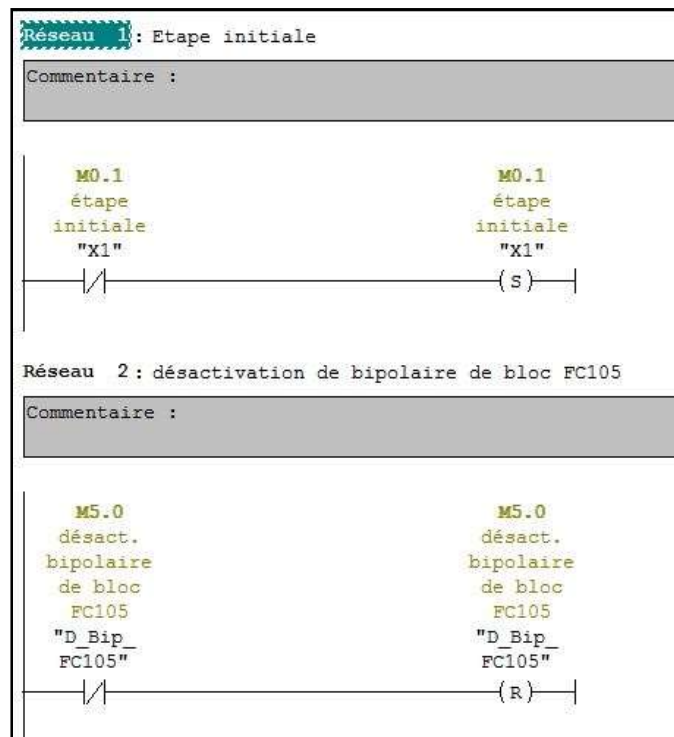
### IV.6.3 Programmation des blocs

Pour programmer le système, nous avons choisi le langage de programmation à contact (CONT), et le notre programme se décompose en blocs suivants :

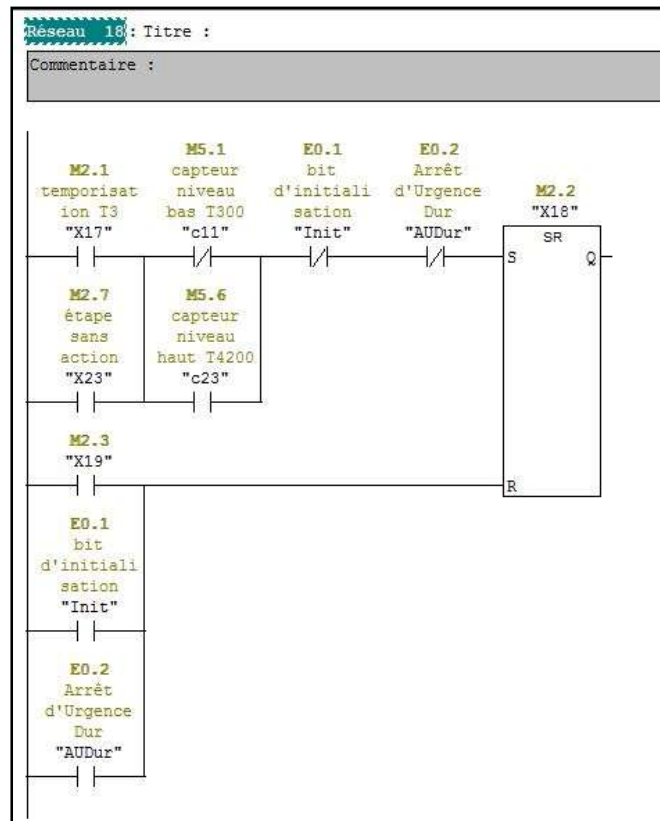
- **OB1 :** Dans ce bloc, nous avons programmé le bloc d'acquisition des signaux analogiques FC105, les différentes temporisations de notre système, et il fait appel à toutes les fonctions (FC1, FC2, FC3), dont voici un aperçu :



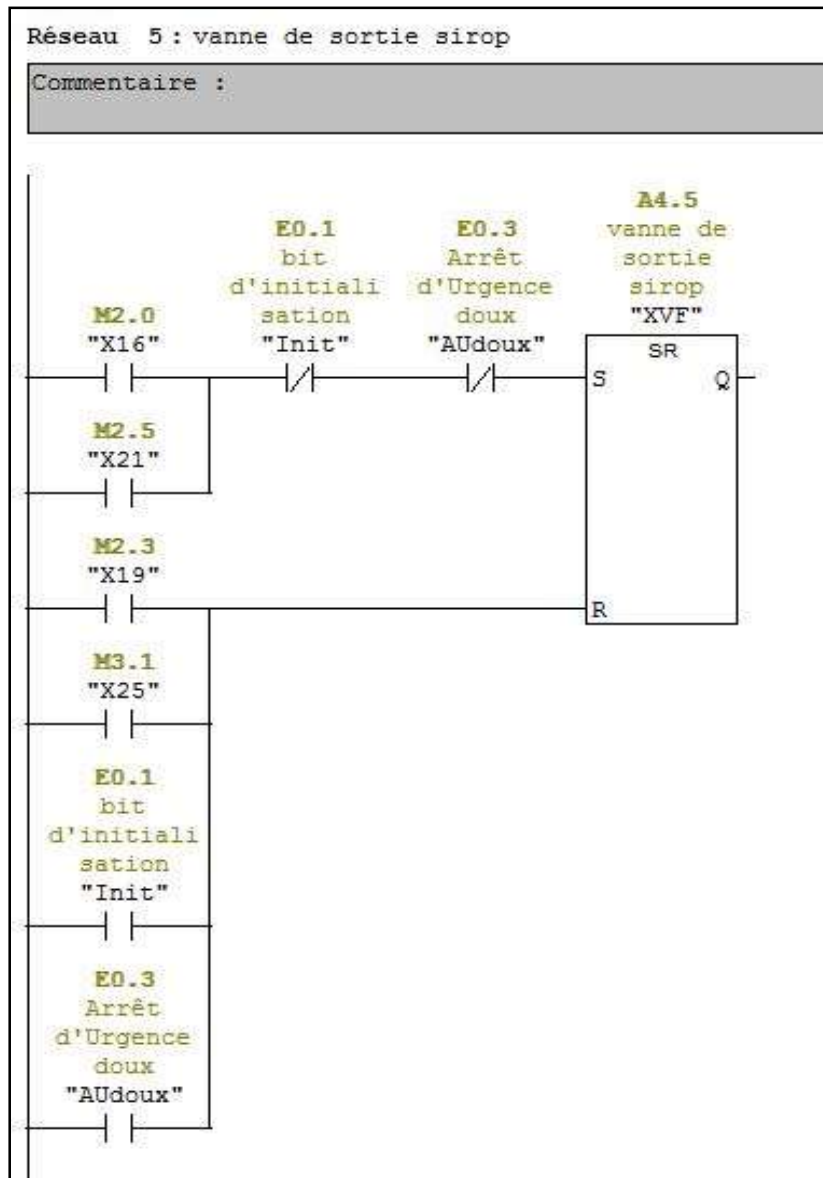
- **OB100** : C'est un bloc qui permet d'activer les étapes initiales et de désactiver le bipolaire de bloc FC105. La mise en tension de l'API permet de faire appel au bloc OB100 après 3 secondes.



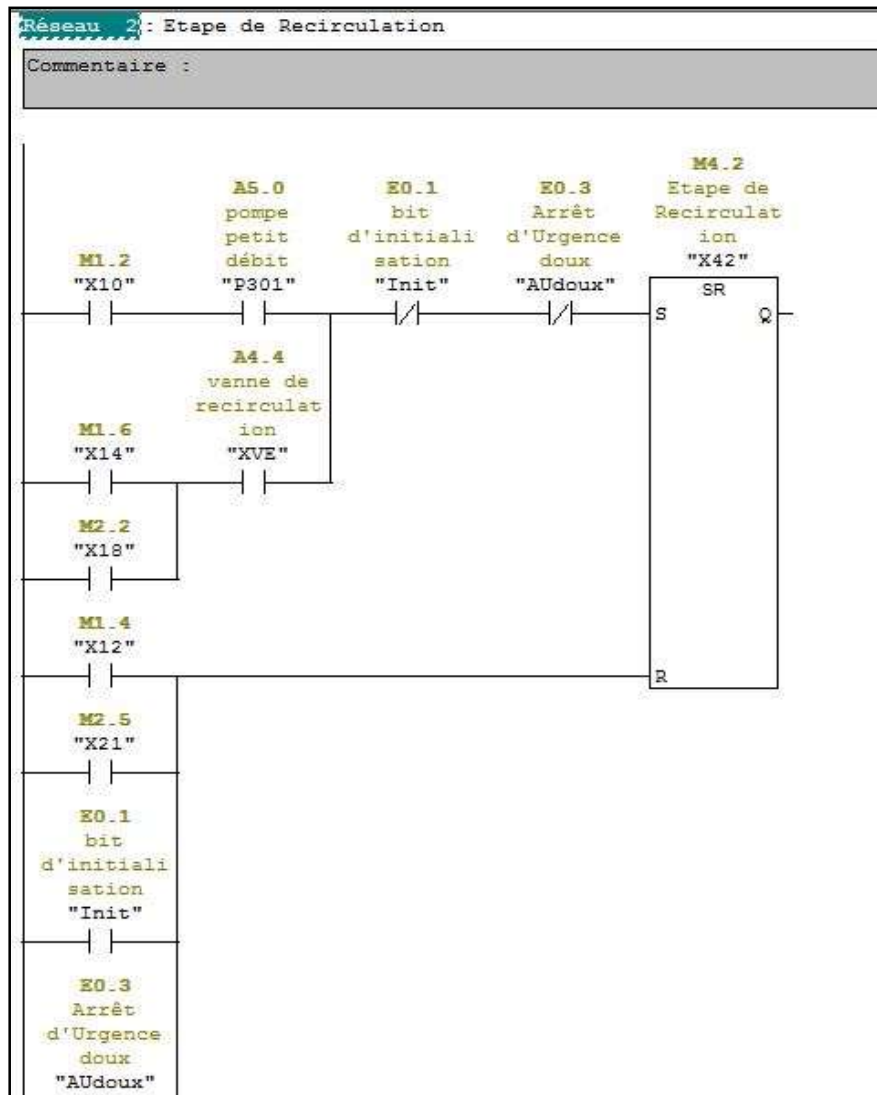
- **FC1** : Il contient le programme de chacune des étapes de Grafset du filtre et voici un exemple d'une étape :



- **FC2** : Il contient le programme de commande des vannes et des pompes du filtre, et voici un aperçu :



- **FC3** : il contient le programme de chaque phase du fonctionnement de notre filtre, et voici un exemple :



**IV.6.4 Simulation du programme avec S7-PLCSIM**

Après avoir édité la table des mnémoniques et programmer tous les blocs dont on a besoin, on passe à la simulation de notre programme avec *S7-PLCSIM* afin d'exécuter et tester le programme élaboré.

*S7-PLCSIM* dispose d'une interface simple permettant de visualiser et de forcer les différents paramètres utilisés par le programme (comme, par exemple : activer ou désactiver des entrées). Tout en exécutant le programme dans la CPU simulée, il procure également la possibilité de mettre en œuvre les variables (VAT) afin d'y visualiser et d'y forcer des variables. [10]

La simulation se déroule selon les étapes suivantes illustrées sur la figure IV.5 ci-dessous :

1. Lancer S7-PLCSIM en cliquant sur le bouton d'activation/désactivation de la simulation.
2. Chargement du programme.
3. Création de fenêtres pour l'exemple de programme.
4. Mettre la CPU sur RUN-P.

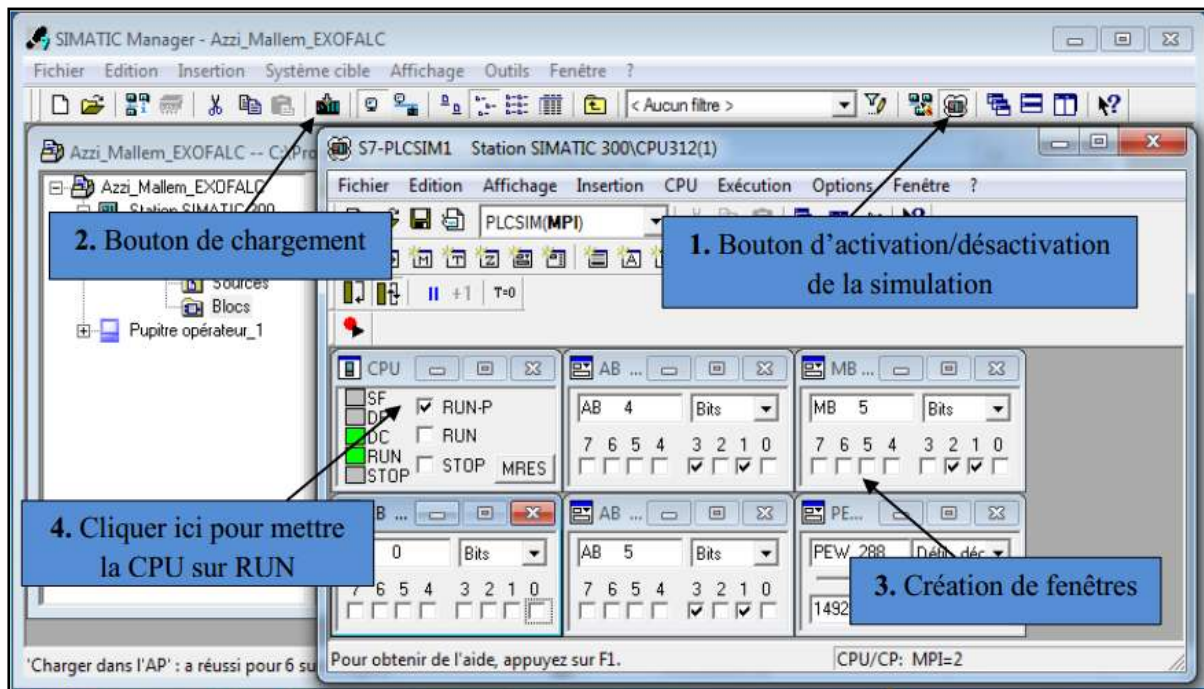


Figure IV.5 : Étapes de la simulation avec S7-PLCSIM.

## IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'automate programmable ainsi que sa structure interne et son fonctionnement, essentiellement le *S7-300* qui a été choisi comme solution adéquate et extensible, facile à adapter aux diverses conditions et nous avons aussi donné un aperçu sur les différents blocs que notre solution possède.

Une mise en place d'une plateforme de supervision sous WinCC pour voir le bon déroulement du fonctionnement de notre filtre en temps réel, fera l'objet du chapitre suivant.



**Chapitre V**

***Plateforme de  
Supervision à  
l'aide de l'Outil  
WinCC***

## **V.1 Introduction**

Les concepts d'automatisation modernes ont des exigences sans cesse croissantes en matière de supervision des processus. Plus particulièrement, il est impératif que la conduite de processus au niveau machine fournisse une réponse adaptée aux besoins de simplicité et de performance. L'objectif est de présenter rapidement et de manière fiable des données du processus immédiatement compréhensible par l'opérateur. Par exemple sous forme d'une courbe graphique. De plus, l'opérateur attend de plus en plus des représentations de processus qui permettent de simplifier l'affectation au processus réel, grâce à des vues préalables créées et configurées à l'aide d'un superviseur (logiciel de supervision). Il est facile pour l'opérateur de conduire et de superviser les procédés les plus complexes.

La supervision est une entité capable de présenter à l'opérateur des informations utiles, afin qu'il prenne à temps les bonnes décisions pour la conduite du procédé. Il a essentiellement pour mission de collecter les données (acquisition et stockage) et de les mettre en forme (traitement).

## **V.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. [12]

## **V.3 Description du logiciel *WinCC Flexible***

*WinCC Flexible*, est un logiciel compatible avec l'environnement *STEP7*, il est conçu pour la visualisation et la conduite de processus, de déroulement de fabrication, de machines et d'installations, il propose pour la configuration de divers pupitres opérateurs, une famille de systèmes d'ingénierie évolutifs adaptés aux tâches de configuration. Il apporte une efficacité de configuration maximale : des bibliothèques contenant des objets préconfigurés, des blocs d'affichage réutilisables, des outils intelligents allant jusqu'à la traduction automatisée des textes dans le cadre de projets multilingues.

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

#### V.4 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 par exemple, l'interface utilisateur graphique d'un pupitre opérateur avec l'éditeur "Vues". Pour la configuration d'alarmes, on utilise par exemple, l'éditeur "Alarmes TOR". [12]

Les différents outils et barres de l'éditeur de vues et fenêtres de configuration sont représentés dans la figure V.1 suivante :

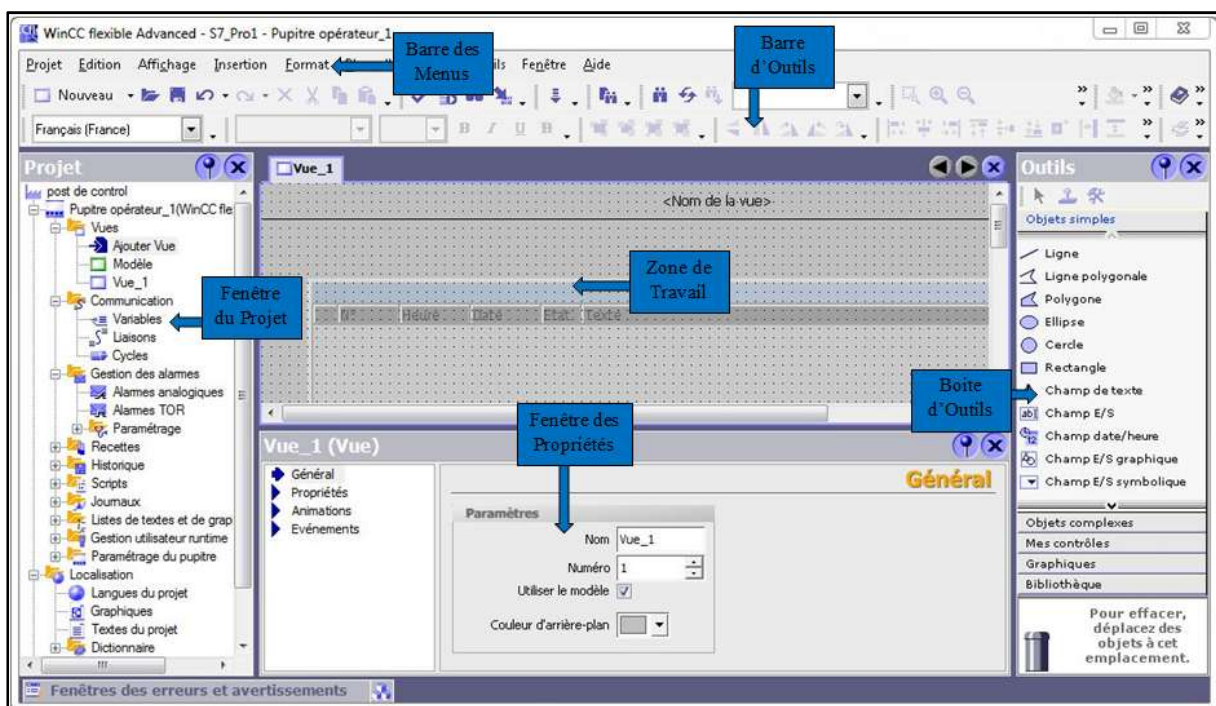


Figure V.1 : Vue d'ensemble du logiciel *WinCC Flexible*.

- **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 ce que le programmeur a fréquemment 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.
- **Fenêtre du projet** : la fenêtre de projet sert à créer des objets et à les ouvrir pour les éditer, on peut ouvrir pour chaque entrée de la fenêtre de projet un menu contextuel qui regroupe les principales commandes.
- **Boîte 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.

## V.5 Étapes de mise en œuvre

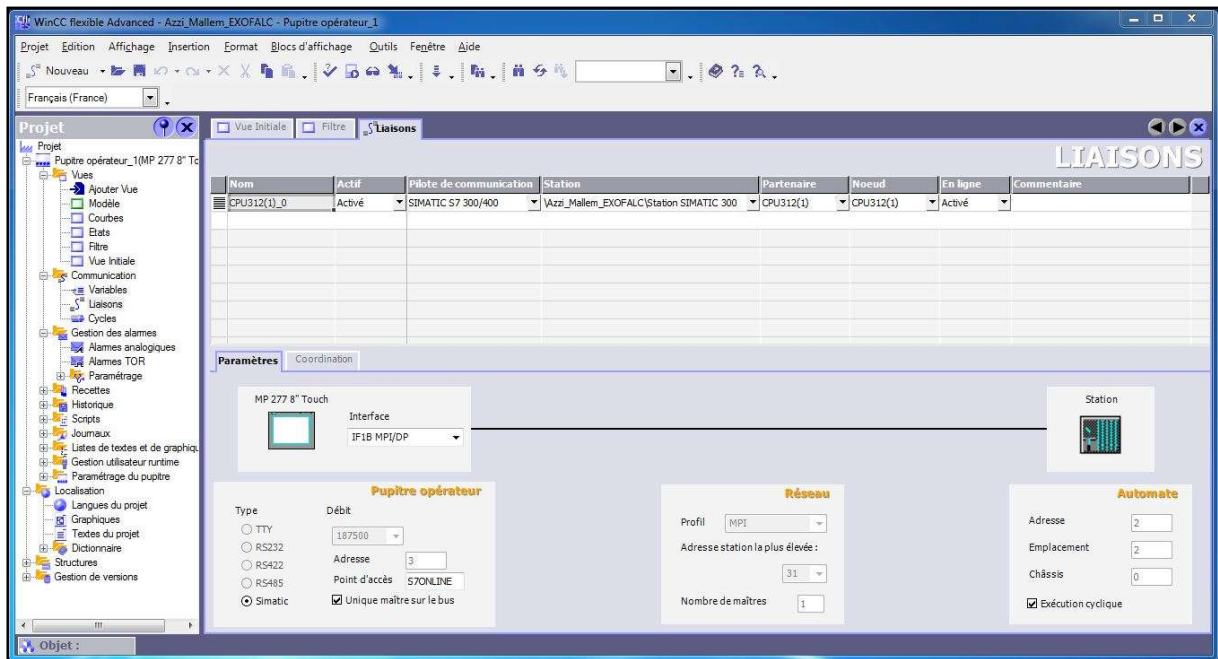
Pour créer une interface Homme/Machine (HMI), il faut prendre connaissance des éléments de l'installation ainsi que le logiciel de programmation de l'automate utilisé. Nous avons créés l'interface pour la supervision à l'aide du logiciel *WinCC flexible* qui est le mieux adapté pour le matériel de la gamme *SIEMENS*. [12]

### V.5.1 Établir une liaison directe

La première chose à effectuer est de créer une liaison directe entre le WinCC et notre automate. Ceci dans le but que WinCC puisse lire les données qui se trouvent dans la mémoire de l'automate. Après avoir créé notre projet WinCC, nous cliquons sur l'onglet liaison afin de créer une nouvelle liaison. Nous indiquerons ensuite les différents paramètres :

- Interface MPI/DP : Notre automate est relié par un MPI-DP;
- Adresse : Permet de spécifier l'adresse de la station.

L'éditeur « liaisons » affiche la connexion à l'automate configuré, comme le montre la figure V.2 suivante :



**Figure V.2 :** Création d'une liaison Interface IHM / automate.

### V.5.2 Création de la table des variables

Maintenant que la liaison entre notre projet WinCC et notre automate est établie. Il nous est possible d'accéder à toutes les zones mémoire de l'automate.

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

Les variables permettent de communiquer, c'est-à-dire d'échanger des données entre les composants d'un processus automatisé, pupitre opérateur et un automate. Afin de faire la correspondance entre les données du projet Step7 et les données du projet WinCC, il est possible de faire une table de correspondance des données via l'onglet « Variable ». Chaque ligne correspond à une variable de WinCC. Elle est spécifiée par :

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

Le taux de rafraîchissement 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, comme le montre la figure V.3 suivante :

Nom	Nom d'affichage	Liaison	Type de données	Mnémonique	Adresse	Éléments du tableau	Cycle d'acquisition	Commentaire
BP		CPUS12(1)_0	Bool	BP	I 0.0	1	100 ms	bouton poussoir
CQ		CPUS12(1)_0	Bool	CQ	I 0.3	1	100 ms	Captur de Qualité sirop
X41		CPUS12(1)_0	Bool	X41	M 4.1	1	100 ms	Etape de mise a la PA
X42		CPUS12(1)_0	Bool	X42	M 4.2	1	100 ms	Etape de Recirculation
X43		CPUS12(1)_0	Bool	X43	M 4.3	1	100 ms	Etape de Filtration
X44		CPUS12(1)_0	Bool	X44	M 4.4	1	100 ms	Etape de Vapeur
X45		CPUS12(1)_0	Bool	X45	M 4.5	1	100 ms	Etape de Vidange
c11		CPUS12(1)_0	Bool	c11	M 5.1	1	100 ms	capteur niveau bas T300
c22		CPUS12(1)_0	Bool	c22	M 5.5	1	100 ms	capteur niveau moyen T4200
c23		CPUS12(1)_0	Bool	c23	M 5.6	1	100 ms	capteur niveau haut T4200
LT300		CPUS12(1)_0	Real	LT300	MD 50	1	100 ms	niveau bac T300
LT4200		CPUS12(1)_0	Real	LT4200	MD 60	1	100 ms	niveau bac T4200
Alar. Niv.		CPUS12(1)_0	Word	Alar. Niv.	MW 25	1	100 ms	Niv. T300 pas moyen
Arr. Urg.		CPUS12(1)_0	Word	Arr. Urg.	MW 30	1	100 ms	
XVAP		CPUS12(1)_0	Bool	XVAP	Q 4.0	1	100 ms	vanne d'aim p. debit
XVAG		CPUS12(1)_0	Bool	XVAG	Q 4.1	1	100 ms	vanne d'aim q. debit
XVB		CPUS12(1)_0	Bool	XVB	Q 4.2	1	100 ms	vanne de purge totale
XVC		CPUS12(1)_0	Bool	XVC	Q 4.3	1	100 ms	vanne de mise à la PA
XVE		CPUS12(1)_0	Bool	XVE	Q 4.4	1	100 ms	vanne de recirculation
XVF		CPUS12(1)_0	Bool	XVF	Q 4.5	1	100 ms	vanne de sortie sirop
XVG		CPUS12(1)_0	Bool	XVG	Q 4.6	1	100 ms	vanne d'entrée vapeur
XVH		CPUS12(1)_0	Bool	XVH	Q 4.7	1	100 ms	vanne de sortie vapeur
P301		CPUS12(1)_0	Bool	P301	Q 5.0	1	100 ms	pompe petit débit
P302		CPUS12(1)_0	Bool	P302	Q 5.1	1	100 ms	pompe grand débit
ALARME0		CPUS12(1)_0	Bool	ALARME0	Q 5.2	1	100 ms	niveau bac T300 n'est pas moyen
DC		CPUS12(1)_0	Bool	DC	Q 5.3	1	100 ms	Départ Cycle

**Figure V.3 :** Table des variables.

Après avoir exposé la procédure de la création de l'IHM et la manière d'établir une liaison entre celle-ci et l'API, nous procéderons dans ce qui suivra à des explications relatives à la solution de supervision du filtre EXOFALC S310.

## V.6 Création des vues

Dans WinCC flexible, on crée des vues pour le contrôle-commande de 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 processus.

### V.6.1 Planifier la création de vues

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

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

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

### **V.6.2 Constitution d'une vue**

Une vue peut être composée des éléments suivants :

- Les éléments statiques, tels que du texte.
- Les éléments dynamiques varient en fonction de la procédure. Ils visualisent les valeurs de processus actuelles à partir de la mémoire de l'automate ou du pupitre.
- Les objets : sont des éléments graphiques qui permettent de configurer la présentation des vues du processus.

## **V.7 Les différentes vues de notre projet**

Après avoir configuré les différentes vues qui nous permettent d'avoir toutes les informations nécessaires sur le fonctionnement de notre filtre, on a obtenu les vues suivantes :

- Vue d'accueil ou vue initiale.
- Vue du filtre.
- Vue des courbes.
- Vue des états.
- Vue des alarmes.

### **V.7.1 Vue d'accueil ou vue initiale**

La vue initiale de notre projet (figure V.4), représente une photo de l'entrée du complexe agro-alimentaire de Cevital avec son logo et le logo de notre université, le thème de notre projet, et des boutons de navigation entre les autres vues du projet.

The image shows a title slide for a project presentation. The background is a photograph of an industrial facility, likely a sugar refinery, with large storage tanks and processing equipment. The slide contains the following text and graphics:

- Top Left:** A logo featuring a stylized bird or wing shape in black and green.
- Top Center:** Text in red: "Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou", "Faculté de Génie Électrique et d'Informatique", and "Département d'Automatique".
- Top Right:** The "ceVital" logo in a blue and yellow oval.
- Center:** Text in white: "Mémoire de Fin d'Étude de MASTER PROFESSIONNEL", "Spécialité : AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE", and "THEME : Etude et Proposition d'une Solution Programmable pour un filtre EXOFALC au niveau de la Raffinerie du Sucre 2000 t/j de CEVITAL".
- Bottom Left:** Text in yellow: "Réalisé par : Mr : MALLEM Mohammed, Mlle : AZZI Fatiha".
- Bottom Center:** A blue oval containing the text "Promotion : 2014 / 2015".
- Bottom Right:** Text in yellow: "Dirigé par : Mme : BOUDJEMAA F., Mr : MEBROUK K. E.". Below this text are three green buttons labeled "Filtre", "Courbes", and "Etats".

Figure V.4 : Vue initiale du projet.

### V.7.2 Vue du filtre

La vue du filtre (figure V.5) c'est la vue principale de notre projet, elle représente un modèle représentatif du filtre ainsi que les deux bacs à sirop T300 et T4200 en plus du bac à boue T320 et les deux pompes P301 et P302, le tout raccordés par des conduites et séparés par des vannes TOR, en plus d'un bouton du départ cycle, d'un bouton d'arrêt d'urgence et d'initialisation et des boutons de navigation entre les autres vues du projet.

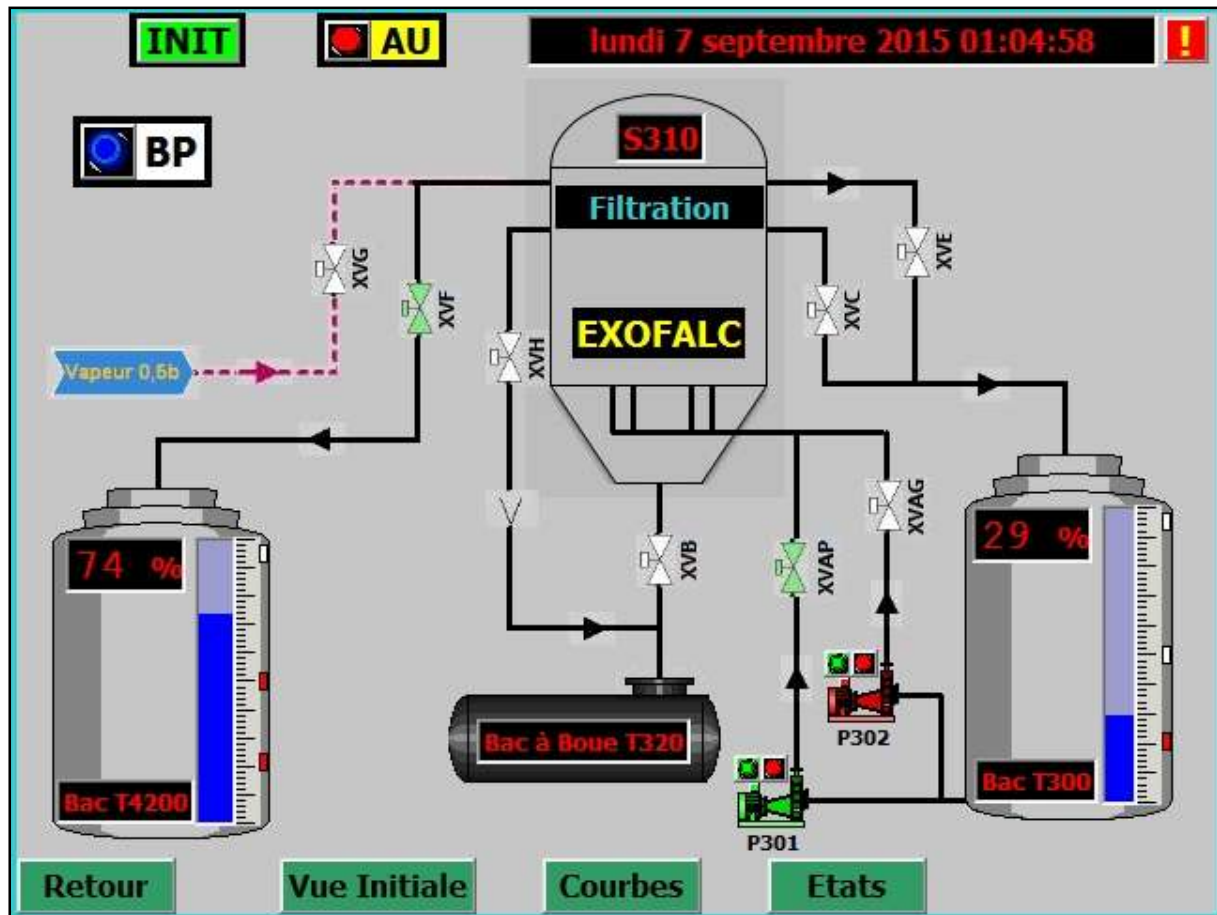


Figure V.5 : Vue du filtre.

### V.7.3 Vue des courbes

La vue des courbes (figure V.6), représente l'évolution en temps réel des niveaux des bacs à sirop T300 et T4200 et l'affichage de ces derniers en valeurs numériques, en plus d'un bouton d'arrêt d'urgence et d'initialisation et des boutons de navigation entre les autres vues du projet.

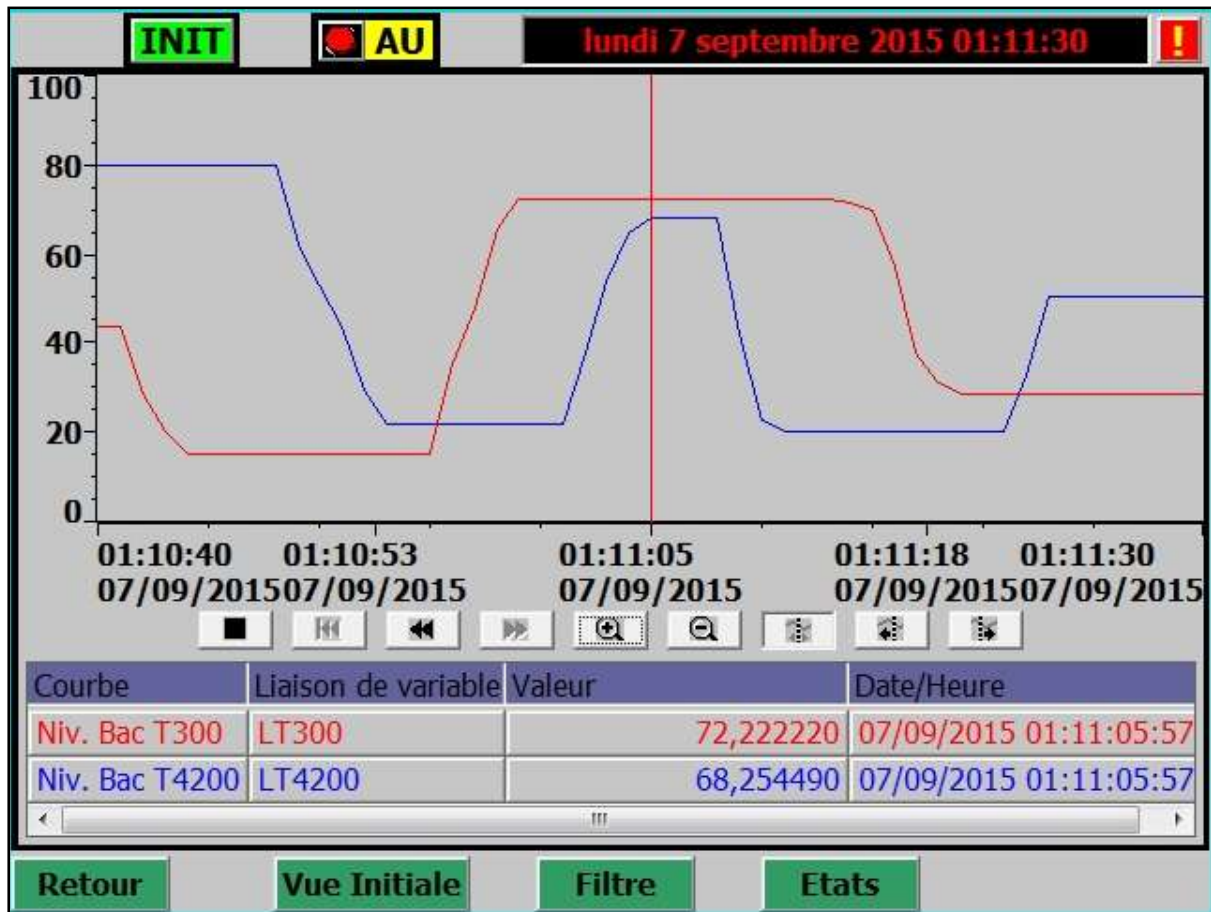


Figure V.6 : Vue des courbes.

#### V.7.4 Vue des états

La vue des états (figure V.7), représente les états des vannes et des pompes, des voyants lumineux indique à l'opérateur l'état de ces dernières (rouge si fermée ou en arrêt, et verte si ouverte ou en marche), et les différentes phases du fonctionnement du filtre (mise à la PA, recirculation, filtration, vapeur et vidange), en plus d'un bouton d'arrêt d'urgence et d'initialisation et des boutons de navigation entre les autres vues du projet.

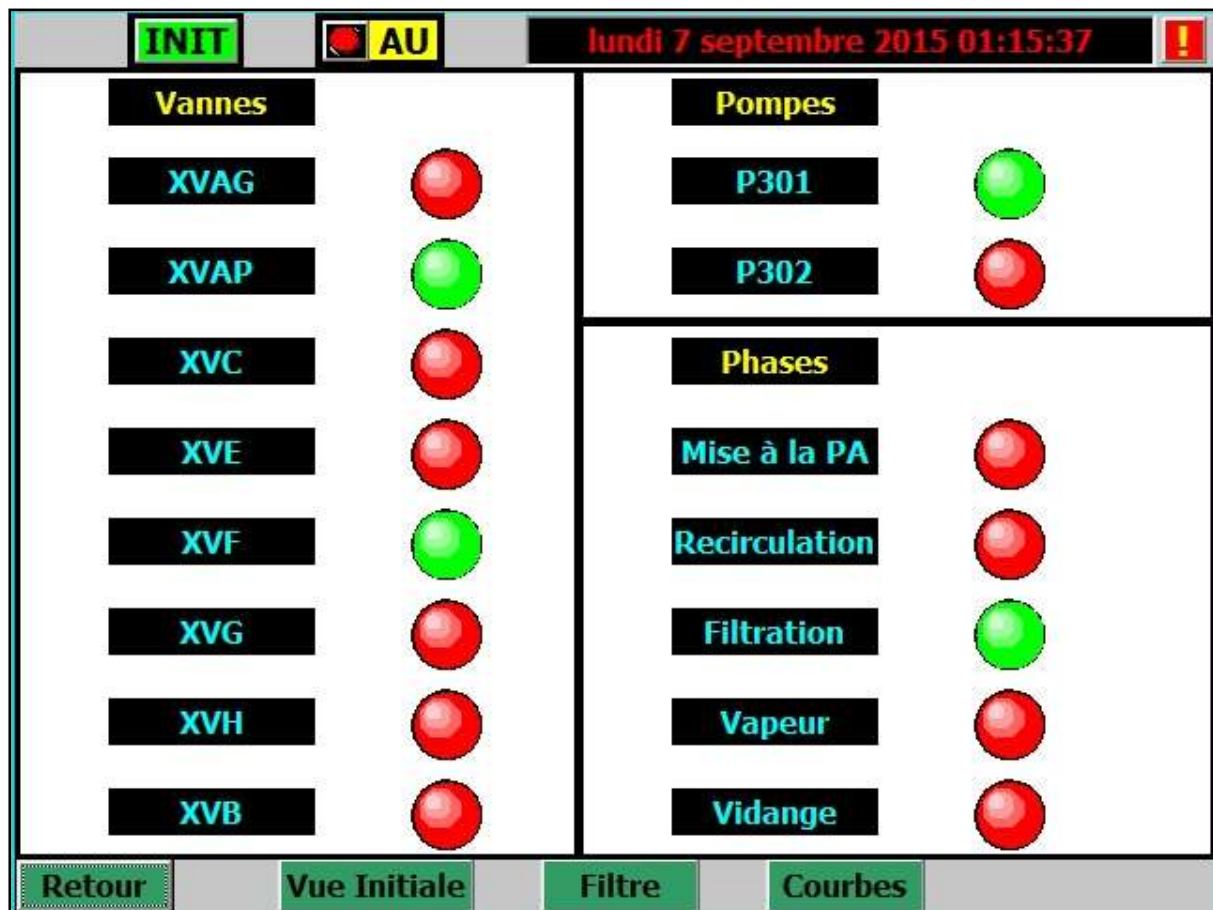


Figure V.7 : Vue des états.

### V.7.5 Vue des alarmes

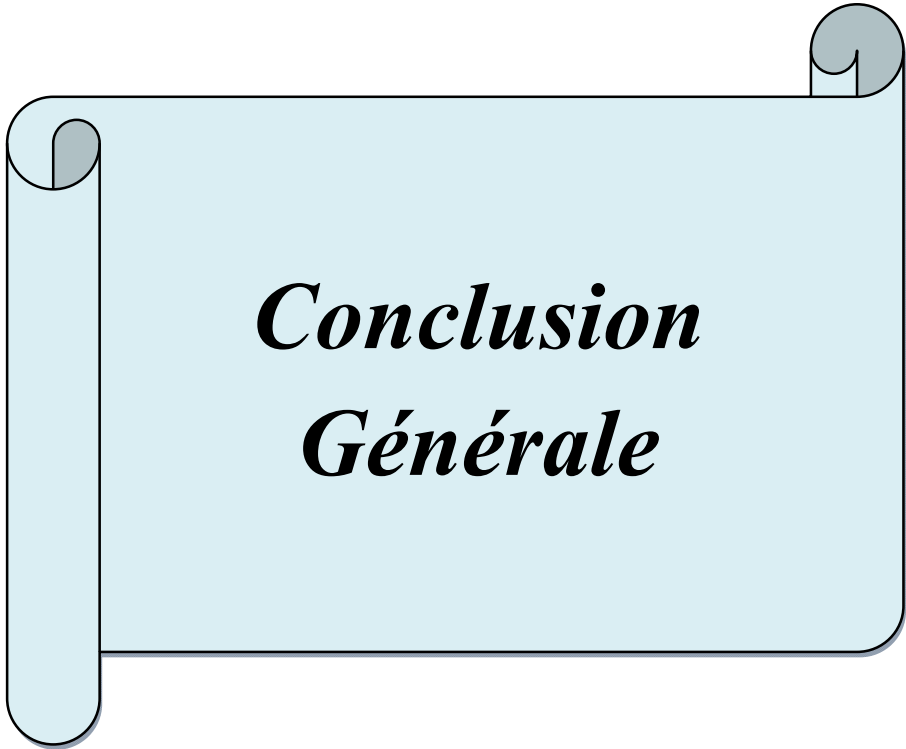
La vue des alarmes (figure V.8), représente les alarmes qui indiquent un défaut ou une erreur du fonctionnement, tout en indiquant l'heure et la date de son apparition, elle représente aussi un bouton d'acquiescement de ces alarmes, en plus d'un bouton d'arrêt d'urgence et d'initialisation.

	N°	Heure	Date	Etat	Texte	GR
!	2	01:21:35	07/09/2015	AD	Arrêt d'Urgence	0
!	4	01:21:28	07/09/2015	AD	LL Level T300	0
!	5	01:20:55	07/09/2015	AD	HH Level T4200	0
!	3	01:19:34	07/09/2015	AD	HH Level T300	0
!	6	01:19:25	07/09/2015	AD	LL Level T4200	0
!	1	01:19:21	07/09/2015	AD	Niveau T300 pas moyen	0

Figure V.8 : Vue des alarmes.

## V.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le logiciel de supervision en précisant sa place dans l'industrie et nous avons élaboré une plateforme de supervision sous WinCC ainsi que les vues qui permettent de suivre l'évolution du notre procédé en temps réel.



***Conclusion  
Générale***

## Conclusion Générale

---

Ce travail rentre dans le cadre d'un stage pratique que nous avons effectué au sein de la raffinerie de sucre 200t/j du complexe Agro-alimentaire de Cevital.

Ce stage nous a été bénéfique à plus d'un titre compte tenu des nombreux avantages qu'il présente. La découverte du monde industriel, la mise en application de la théorie acquise lors de notre cursus, l'expérience engrangée lors de notre collaboration avec l'équipe d'ingénieurs, nous a nettement aidés à mieux assimiler l'envergure du projet, il nous a permis d'avoir un avant-gout des responsabilités qui les incombent. Tous ces atouts nous permettront de suivre sereinement une carrière dans l'industrie.

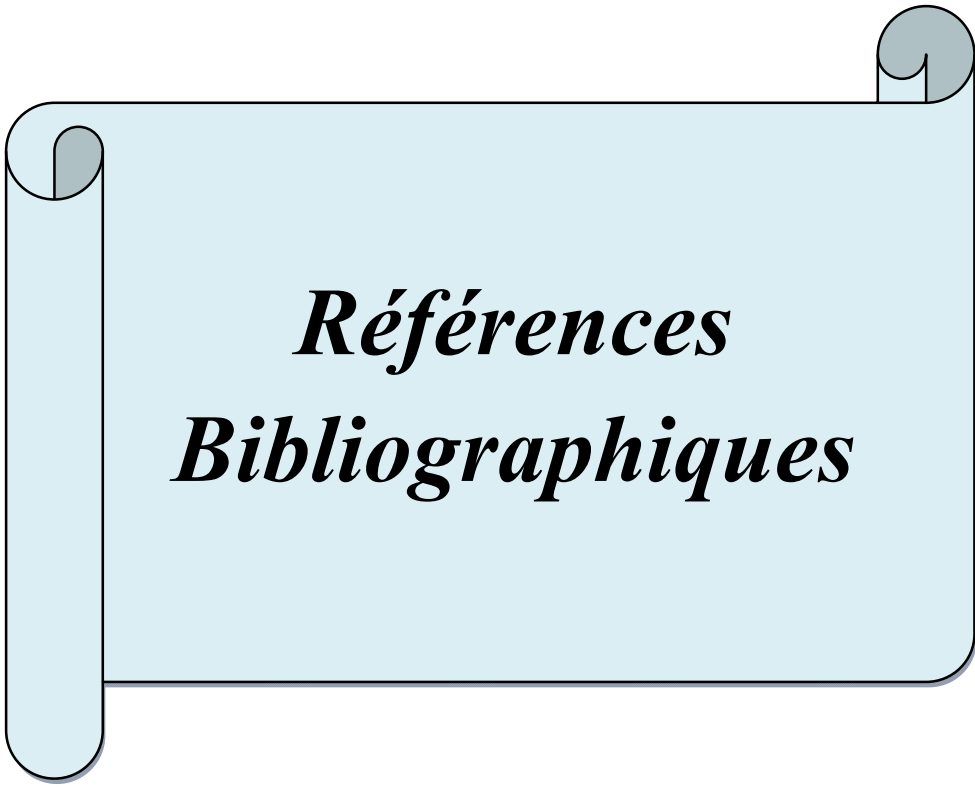
Pour atteindre l'objectif de notre projet, nous avons commencé par prendre connaissance de l'installation du filtre EXOFALC utilisé pour la filtration de sucre puis identifié ses éléments.

Afin d'automatiser l'installation, 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 (API) de la gamme *SIEMENS*, leurs caractéristiques et leurs domaines d'utilisation ont été présentés.

Ce travail nous a offert l'opportunité de programmer sous Step7. Pour la conception de l'IHM en vue de la supervision du système, nous avons exploité les performances de *WinCC flexible* qui est un logiciel permettant de gérer les interfaces graphiques avec des visualisations et des animations actualisées.

Notre travail n'est pas encore achevé, de fait que le filtre en question n'est pas encore adapté à la méthode que nous avons proposé. Ceci nous ramène à supposer quelques contraintes lors de la concrétisation de la solution proposée.

Enfin, nous espérons que la solution que nous avons proposée se concrétise en pratique, que nos efforts contribuent à l'amélioration du rendement de production du filtre ; et que ce mémoire soit un bon guide pour les promotions à venir.



***Références  
Bibliographiques***

# Références Bibliographiques

---

- [1] <http://www.cevital.com/fr/cevital-agro-industrie.html>.
- [2] <http://www.lesucre.com/sucre-a-a-z/varietes-et-proprietes/structure-du-sucre>.
- [3] Documentation technique interne de l'unité « raffinerie du sucre 2000t/j de Cevital.
- [4] Documentation technique de CHOQUENET (fabricant du filtre EXOFALC) :  
<http://stilm.rs/wp-content/uploads/prezentacije/Choquenet.pdf>.
- [5] M. BENZAID, F. BOURAI, « Automatisation et supervision d'une centrale de production d'air comprimé pour processus CEVITAL », mémoire de fin d'étude, université de Bejaia, promotion 2012.
- [6] Asch, Georges, « Les capteurs en instrumentation industrielle », 5eme édition 1999.
- [7] H. HARIKENCHIKH, B. YOUS, A. SLIMANI, « Automatisation et supervision d'une station de détergent à l'entreprise du groupe OSMOSE», mémoire de fin d'étude, université de Tizi-Ouzou, promotion 2014.
- [8] BERGOUGNOUX. L, « Automates Programmables Industriels », support cours, POLYTECH Marseille, année 2004-2005.
- [9] Manuels SIEMENS, « Programmation avec Step7 », 2000.
- [10] Manuels SIEMENS, Step7-PLCSIM, « Testez vos programmes », 2002.
- [11] Manuel Step7, Edition 2004.
- [12] WinCC Configuration Manuel, Edition Septembre 1999.

