
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

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme

d'INGENIEUR D'ETAT EN AUTOMATIQUE

Présenté par :

NSABIMANA Cassien

le 01/07/2009

Thème :

CONCEPTION DE LA COMMANDE EN CASCADE D'UNE INSTALLATION DE PRODUCTION D'AIR COMPRI INDUSTRIEL A L'USINE FRUITAL COCA-COLA

devant le jury composé de :

Président : M^r MAIDI Ahmed
Promoteur : M^{elle} CHILALI Ouardia
Co-Promoteur : M^r BACHI Farid
Examineur : M^r MALAH Rabah
Examineur : M^{me} ADJMOUT Ouiza

Promotion 2009

Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué pour que ce travail aille de l'avant, Je pense :

- aux responsables de l'usine Fruital coca-cola à ROUIBA qui m'ont accueilli comme stagiaire au sein de leur usine, spécialement à Mr. Farid et Mr. Kamel pour m'avoir proposé et encadré ce travail, sans oublier tous leurs collègues travailleurs à l'usine Fruital coca-cola.
- A Melle CHILALI qui m'a donné son temps, en sa qualité de promotrice de ce travail malgré ses autres occupations qu'elle accomplit chaque jour, avec sagesse et avec grand cœur.
- Au personnel de l'université MOULOUD Mammeri de TIZI-OUZOU que j'ai connu, pour tous leurs services et le savoir que j'ai bénéficiés d'eux pendant mon cursus universitaire et spécialement aux membres du jury d'avoir accepté de juger mon travail.
- Au gouvernement du BURUNDI pour son aide financière qu'il m'a accordée pour bien accomplir mon cursus et mon stage.
- A toutes ces personnes, amis et collègues, qui m'ont encouragé ou inspiré pendant mes études et surtout pendant la préparation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- Mes parents pour leur soutien moral et matériel qu'ils m'ont accordé pour que j'accomplisse mon parcours étudiantin.
- Ma grande sœur Philotte et à toute sa famille.
- Mon grand-frère Jean-Marie et à toute sa famille.
- Ma petite sœur Belyse.
- La famille de mon oncle NYANDWI Claver pour tous les jours où ils ont été présents pour moi.
- la famille KABOHE Astère pour leur soutien de tous les jours.
- Mes compatriotes que j'ai connus en Algérie et aux étudiants étrangers avec lesquels on a partagé mon séjour en Algérie.
- Mes amis Algériens pour leur accueil et leurs encouragements.

sommaire	1
Préface	
Introduction générale	3
Chapitre I : Description et fonctionnement de l'installation	
1. Introduction	5
2. Production d'air comprimé	5
2.1. Historique de l'utilisation de l'air comprimé	5
2.2. Définition	5
2.3. Schéma de principe d'une installation de production d'air comprimé	6
2.3.1. Partie Compression d'air	6
2.3.2. Partie Conditionnement de l'air	9
2.3.2.1. Filtrage d'air	9
2.3.2.2. Sécheurs d'air	10
2.3.2.3. Purgeur de condensat	10
2.3.3. Les capteur	11
2.3.4. Transmetteur pneumatique	12
3. Cahier de charges	14
3.1. Enoncé du cahier de charge du projet	14
4. Etat actuel de l'installation	14
5. Conclusion	16
Chapitre II : Modélisation et conception de la commande en cascade	
1. Introduction	17
2. Définition du GRAFCET	17
2.1. Composition du GRAFCET	17
2.1.1. Etape	17
2.1.2. Transition	18
2.1.3. Liaison	18

2.2. Niveaux du GRAFCET	19
2.2.1. GRAFCET de niveau 1	19
2.2.2. GRAFCET de niveau 2	19
3. Modélisation de l'installation	19
3.1. Listes d'actions et réceptivités	19
3.2. GRAFCET de niveau 2	21
4. Conclusion.....	37

Chapitre III : Automatisation de l'installation

1. introduction	37
2. Présentation du STEP 7.....	39
2.1. Langages de programmation	39
2.2. Structure du programme	40
2.3. Blocs utilisateurs	42
3. Création d'un projet STEP7	42
3. a. Création d'un nouveau projet	42
3. b. Espace de travail	42
3. c. Configuration matérielle	43
3. d Edition des mnémoniques	43
4. Conversion du GRAFCET en programme STEP7	43
4.1. C1 maître	44
4.2. C2 maître	45
4.3. C3 maître	46
4.4. C4 maître	47
5. Programme STEP7 correspondant	48
5. 1. Sélection de c1 comme maître	48
5. 2. Mise en marche ou arrêt de c1 en cas de fonctionnement normal	48
5. 3. Période d'anti-recycle	51

5.4. Démarrage étoile-triangle	52
5. 5. Les défauts	53
5.6. Acquisition de signaux analogiques	54
6. Simulation et validation du programme avec S7-PLCSIM	55
6.1. Présentation	55
6.2 Simulation de notre programme	55
7. Conclusion	56

Chapitre IV : Supervision avec le MP277 10’’Touch.

1. Introduction	57
2. Programme Win CC flexible	57
2.1. Création d’un nouveau projet	57
2.2. Sélection du pupitre	58
2.3. Espace de travail	59
2.4. Edition des vues	59
2.5. La communication	59
2.6. Edition des variables	60
2.7. Alarmes	60
2.8. Les archives	62
2.9. Les journaux	63
2.10. Gestion des utilisateurs	63
2.11. Interface multilingue	64
3. Simulation avec Win CC flexible Runtime	64
4. Conclusion	69

Conclusion générale	70
----------------------------------	-----------

Annexes

Bibliographie

Préface

Description de l'usine coca-cola

Le coca-cola est une marque déposée en 1887 d'une boisson gazeuse sucrée née aux Etats-Unis. Elle tire son nom de sa première composition : la feuille de kola. La boisson était alors vendue par son inventeur, le pharmacien John S. Pemberton en 1886, comme remède miraculeux.

La société coca-cola a élargi son marché dans le monde, particulièrement, en Afrique du nord. Ainsi en Algérie elle est produite par trois usines :

- Usine Fruital coca-cola d'Alger du groupe NCA-Fruital devenu, quelque peu, COBEGA (Equatorial coca-cola bottling company (spa)). C'est la plus grande par rapport aux autres (en Algérie bien sûr).
- Usine de Skikda du groupe Castel.
- Usine d'Oran du groupe Castel.

Pour le NCA-Fruital, c'est le 9 septembre 1993 qu'elle a commencé à la produire.

En effet, Fruital achète le produit, qui est le concentré, chez coca-cola international (dont la formule est gardée secrètement) et respecte les normes de qualité qui conserve le contenu et le contenant. La qualité contenu-contenant est supervisée en permanence par le contrôle qualité de Fruital à Alger et par celui de coca-cola Export.

Les arômes utilisés sont : coca-cola, coca-cola light, coca-cola 0, Fanta orange, Fanta citron, Fanta ananas, Fanta fraise, Fanta pomme, Fanta cassis, Hawaï, Spirite, Schweppes mandarine, Schweppes tonic et boisson énergétique: burn. Toutes ces boissons sont, ensuite, remplies dans les emballages : verres (0.30L et 1L), bouteilles en plastiques (0.50L, 1L, 1.5L et 2L) et les canettes (0.33L et 0.25L).

L'usine Fruital coca-cola est située sur la route nationale n°5, dans la zone industrielle Rouiba. Elle est organisée selon l'organigramme de la figure P.1. Comme toute usine, Fruital coca-cola est en général composée des chaînes automatiques de production, alimentées et actionnées par diverses énergies dites utilités et annexes (cette partie est détaillée dans l'annexe A).

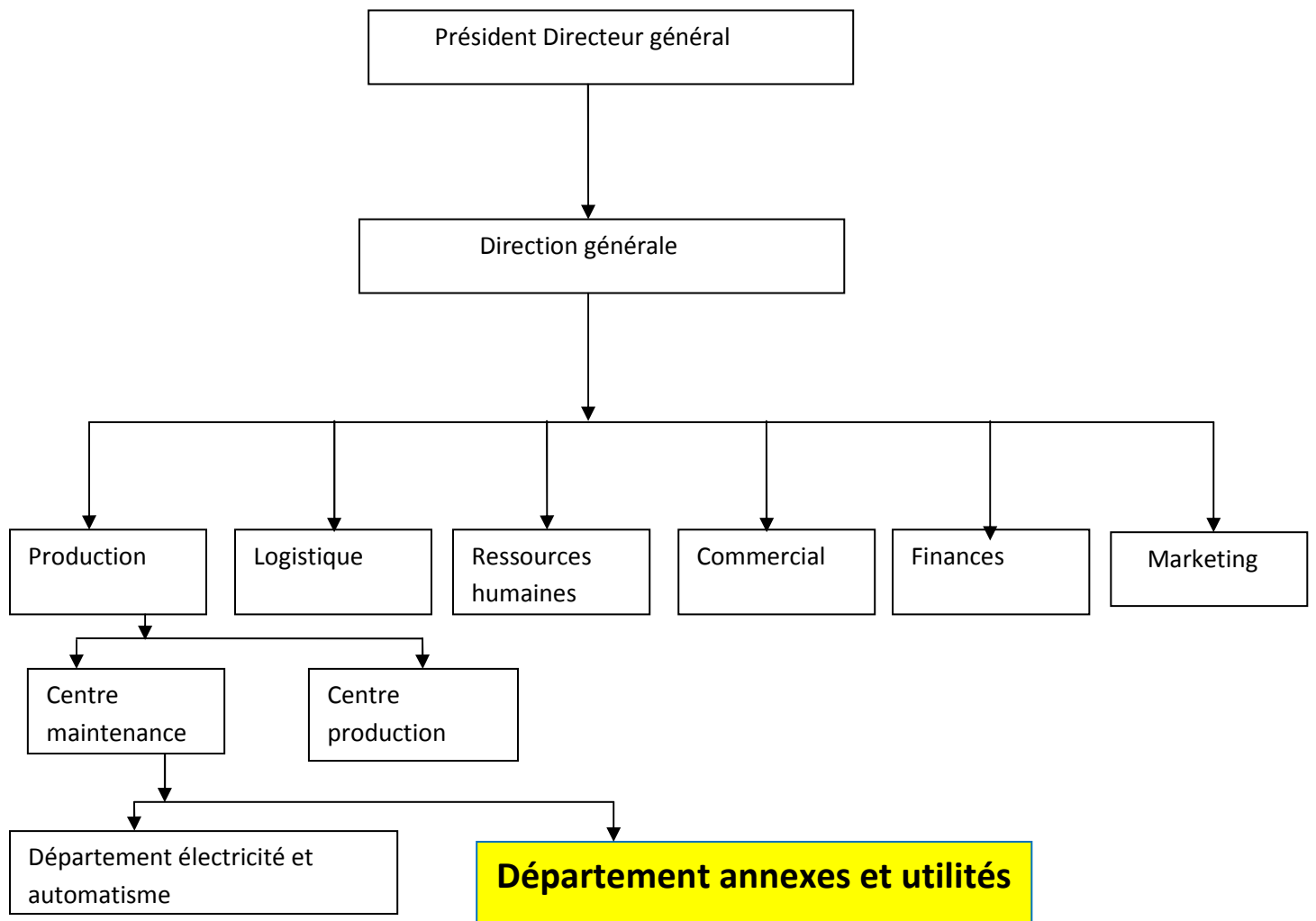


Figure P.1 : organigramme de l'usine Fruital coca –cola.

Notre stage s'est effectué au département utilités et annexes.

Introduction générale

Toujours à la recherche de la performance, les industriels ne cessent pas de faire recours aux solutions automatisées de leurs équipements. La minimisation du coût de production qui s'obtient par l'économie d'énergie, le gain du temps, l'efficacité et la réduction de la main d'œuvre ; tout en garantissant la sécurité du personnel et des équipements sans faire préjudice à l'environnement : tels sont les défis du 21^{ème} siècle.

En effet, le développement et l'accessibilité de l'outil informatique sont les facteurs qui ont facilité la conception des solutions programmées, appliquées aux processus industriels. De là, les résultats satisfaisants en matière de stabilité, rapidité et précision des systèmes sont obtenus.

Parmi les différentes sortes d'énergie utilisées dans le milieu industriel, l'air comprimé figure au premier plan. Par contre, « Si l'air prélevé dans l'atmosphère est gratuit, l'air comprimé, en revanche, a un coût non négligeable ». En partant de la confirmation selon laquelle : “ la répartition moyenne des dépenses montre que le secteur énergie reste le plus dispendieux”, il est indispensable d'économiser sur la consommation en air comprimé.

En se référant aux valeurs relevées dans la revue « fluides », du 9/96, la production d'air comprimé à l'aide de deux centrales, fonctionnant en alternance, peut se révéler plus économique qu'une centrale unique surévaluée, même en tenant compte de la nécessité d'avoir un équipement de régulation plus complexe.

De cela, une commande en cascade des compresseurs à air peut convenir, en faisant alterner différents compresseurs.

Pour une installation de production d'air comprimé plus fiable, plus flexible et pour une supervision plus centralisée : tels sont les motifs qui ont poussé l'usine Fruital coca-cola à proposer le cahier de charges, dont le thème principal est la conception d'une commande en cascade de quatre compresseurs à air industriel.

Après avoir localisé notre projet dans la description de l'usine Fruital coca-cola, nous allons donner quelques généralités et l'état actuel de l'installation de production de l'air comprimé industriel au premier chapitre. Le second chapitre proposera un modèle GRAFCET décrivant le contenu du cahier de charges. Une solution programmée et

chargée dans l'automate programmable sera faite au troisième chapitre, avant de clôturer, dans le dernier chapitre, sur la supervision par un pupitre opérateur qui assure la communication homme-machine.

Enfin, une conclusion générale résumera le travail fait et énoncera certaines perspectives éventuelles de ce travail.

Chapitre I : Description et fonctionnement de l'installation

1. Introduction

L'air comprimé est l'air dont on a augmenté la pression par rapport à la pression atmosphérique. Il est surtout utilisé pour faire fonctionner des actionneurs pneumatiques (vérins), pour aspirer des charges, etc. Pour la production de l'air comprimé industriel, on a besoin de toute une chaîne incorporant la compression et le conditionnement de l'air comprimé avant sa distribution sur le réseau (filtrage, évacuation de condensats et séchage).

Dans ce chapitre, nous allons décrire tous les composants de cette installation.

2. Production d'air comprimé

2.1. Historique de l'utilisation de l'air comprimé

Les toutes premières applications par l'homme des propriétés de l'air fut la sarbacane, utilisée par le chasseur pour propulser de la fléchette empoisonnée.

C'est au milieu du 19^{ème} siècle que le monde industriel commençait à exploiter les possibilités offertes par l'air comprimé. En 1835, l'Autrichien Josef Ritter Von dépose un brevet pour acheminer du courrier à l'aide de l'air comprimé, et la première poste pneumatique française fut installée à Paris en 1865 par Galy Calazet.

Dès lors, une locomotrice fut construite et essayée. En 1844, une motrice pneumatique circule sur la ligne Paris-Versailles et en Angleterre entre Exeter et Totness de 1847 à 1848.

2.2. Définition

L'air comprimé est indispensable dans le fonctionnement des systèmes automatiques de production. Il constitue un réservoir d'énergie qui peut développer un travail lorsqu'il est appliqué, de façon appropriée, aux appareils récepteurs tels que les cylindres, les moteurs, les clapets et d'autres applications. Pour sa bonne utilisation, l'air comprimé doit être le plus sec possible et dépourvu de tout agent agressif et polluant. il doit être, aussi, propre donc filtré.

2.3. Schéma de principe d'une installation de production d'air comprimé

L'installation de production d'air comprimé industriel ne se limite pas au seul élément de compression, mais c'est tout un ensemble de composants qui assurent la compression et le conditionnement de l'air (Figure I.1).

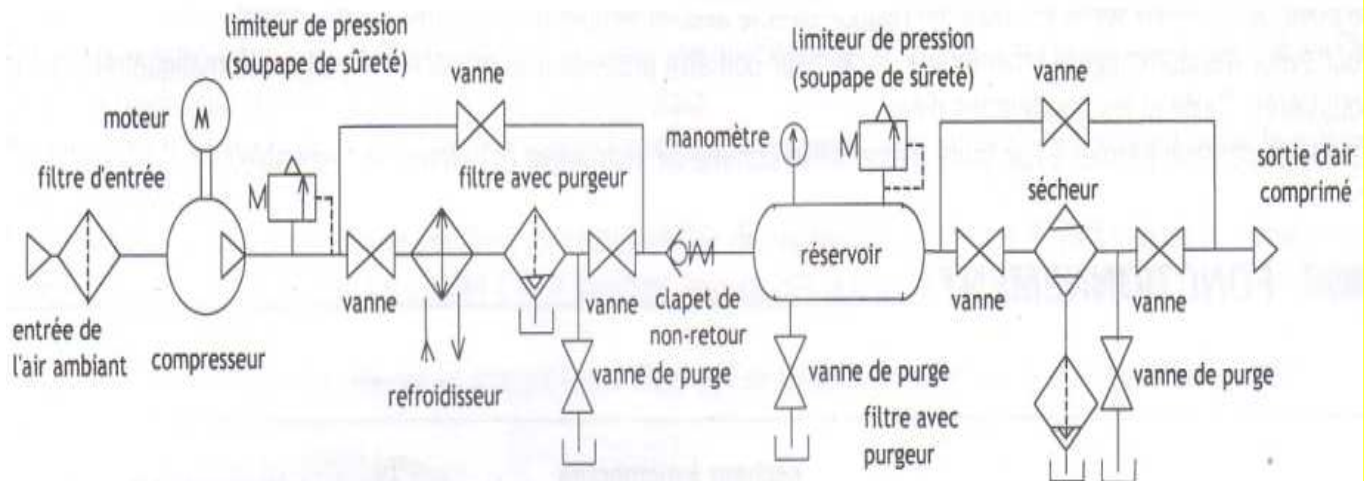


Figure I.1 : schéma de principe d'une installation de production d'air comprimé.

Dans notre installation, il existe quatre compresseurs tous rotatifs à vis. Le rôle d'un compresseur est, en réalité, la production de l'air comprimé. Seulement, cet air ne peut pas être utilisé directement par l'industrie, mais doit passer par l'autre partie pour le conditionnement. Le compresseur aspire de l'air atmosphérique à 1bar et refoule de l'air chaud à 7bars.

2.3.1. Partie compression d'air

Le compresseur est un générateur d'air comprimé. Selon l'élément de compression, on distingue les compresseurs à piston, rotatifs à vis (figure I.2), rotatifs à palettes, à spirales, soufflant. La compression est régie par les lois d'échanges thermodynamiques.

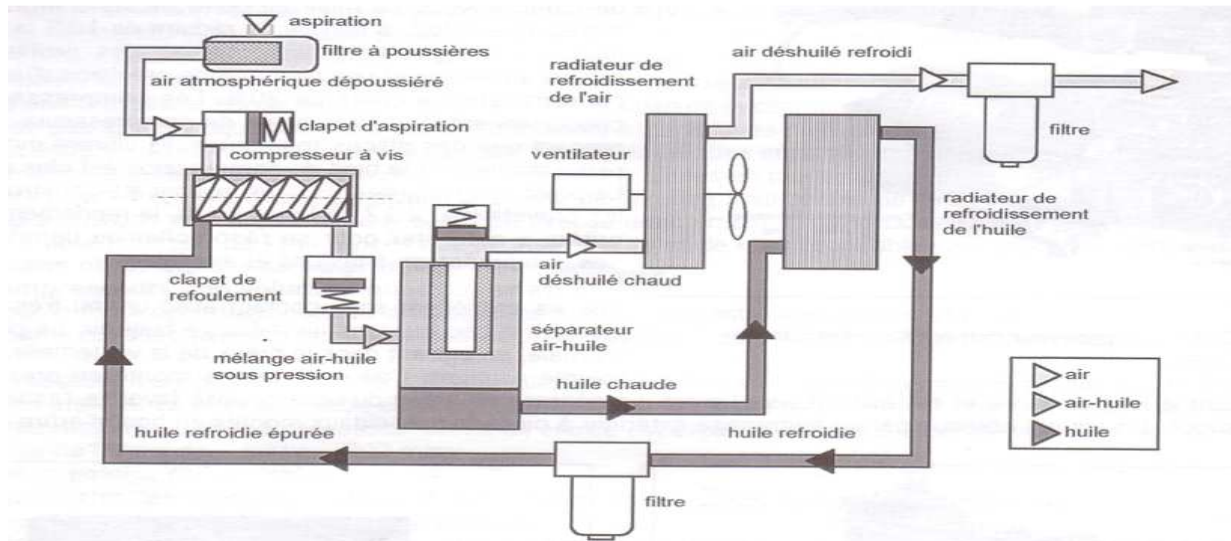


Figure I.2 : schéma de principe d'une installation de production d'air comprimé avec un compresseur à vis.

❖ Lois régissant les propriétés physiques de l'air

Avant de donner quelques lois, faisons un petit rappel de quelques définitions des pressions :

- *Pression atmosphérique normale* : pression atmosphérique de 1013mbar, à 20 °C et 65% d'humidité relative (normes : NF 48-100 et ISO 554 et 558).
- *Pression relative et effective* : pression positive ou négative par rapport à la pression atmosphérique normale de référence.
- *Pression absolue* : pression positive par rapport au vide absolu.
- *Dépression ou vide relatif* : pression relative négative par rapport à la pression atmosphérique normale de référence.

L'air à pression atmosphérique et à température normale se comportant comme un gaz parfait avec une excellente approximation, on peut lui appliquer les lois suivantes :

✓ *Loi de Boyle-Mariotte* [3] : Un gaz parfait à température constante a son volume v , inversement, proportionnel à sa pression absolue P (compression isothermique) :

$$P_1.V_1 = P_2.V_2 = \text{constante} \longrightarrow P.V = \text{constante}$$

Avec P = pression relative + pression atmosphérique normale.

Dans le cas d'un compresseur à vis, le changement de volume est obtenu par la forme de la vis (Figure I.3).

En effet, deux vis engrènent sans contact avec un jeu très réduit et tournent à sec ou dans un mélange huile-air. Le plein de la vis mâle, en entrant dans le creux de la vis femelle, réduit le volume existant. L'air emprisonné monte en pression, progressivement, le long de la vis et est évacué vers l'avant. La dépression créée du côté opposé favorise l'aspiration. La synchronisation des vis est obtenue par un engrainage extérieur, à pignons hélicoïdaux montés en bout d'arbre des vis.

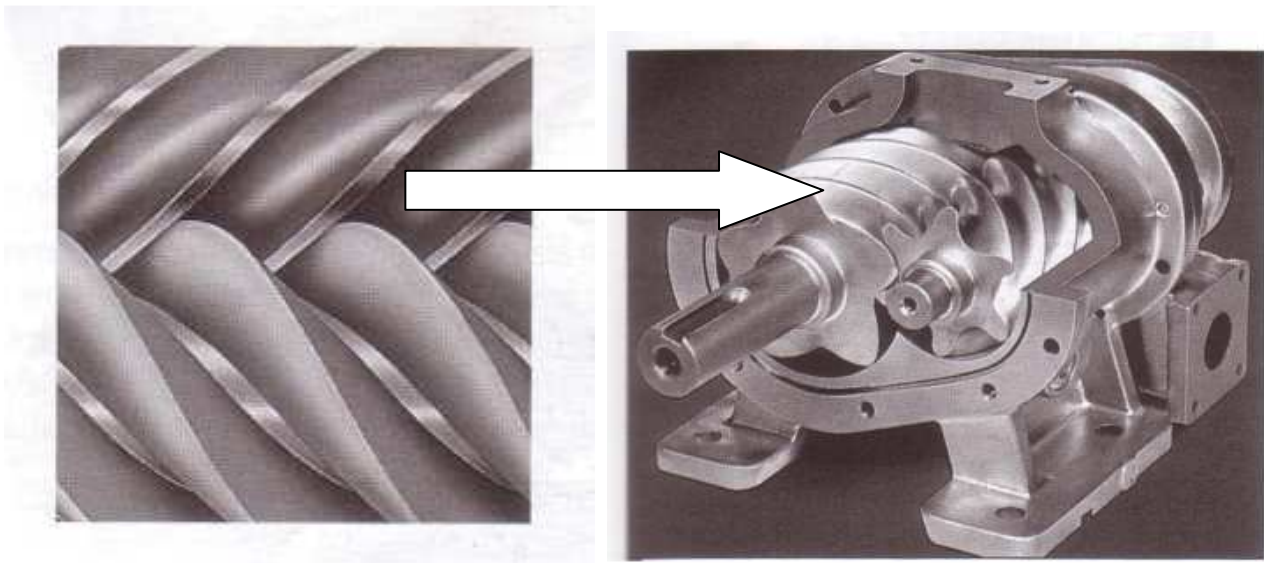


Figure I.3:deux vis d'un compresseur birotor.

- ✓ *Lois de Gay-Lussac* [3] : Un gaz parfait à pression constante a son volume V proportionnel à sa température absolue T :

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2 = \text{constante} \longrightarrow V / T = \text{constante}$$

Un gaz parfait à volume constant a sa pression P proportionnelle à sa température absolue T .

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 = \text{constante} \longrightarrow P / T = \text{constante}$$

- ✓ En général l'équation d'état des gaz parfaits est :

$$P \cdot V / T = \text{constante}$$

Pour une mole cette relation devient :

$$P.V=R.T \text{ avec } R=8.317\text{j/k.mol}$$

Si aucun échange thermique n'a lieu, la compression est dite adiabatique et obéit à la relation :

$$P.V^{\gamma} = \text{constante avec } \gamma = 1.4 \text{ pour l'air.}$$

Avec un compresseur industriel, les échanges thermiques ne sont ni nuls ni totaux.

Avec ce type de compression, dite compression polytropique, γ est compris entre 1.3 et 1.35.

- ✓ Pour une consommation en air comprimé du volume par unité de temps (Q), entre deux points d'une installation pneumatique dont la différence de pression est ΔP , la puissance pneumatique consommée est : $p=Q. \Delta P$

2.3.2. Partie conditionnement de l'air comprimé

Le traitement de l'air, c'est-à-dire sa mise en condition, a pour but d'obtenir une qualité de l'air comprimé en accord avec la législation qui lui est applicable, lorsqu'il se trouve en contact avec des produits manufacturés (air process), ou lorsqu'il risque d'être inhalé par des personnes (air respirable), une fois ramené à la pression atmosphérique.

Pour obtenir un air comprimé, pratiquement pur, il faut éliminer :

- Les poussières et vapeur d'eau en suspension.
- L'eau de condensation après compression et détente.
- Les gouttelettes et la vapeur d'huile provenant des compresseurs à chambre de compression lubrifiée.
- Les particules diverses en provenance de l'installation et du réseau de distribution (métaux, plastiques, élastomères, fibres, rouille, calamine, peinture, etc.).

Les poussières, l'huile, les particules et une partie de l'eau passent par des filtres appropriés, placés en différents points.

1.3.2.1. Filtrage de l'air

Pour filtrer l'air, on oblige celui-ci à traverser une matière présentant des micropores, d'une dimension inférieure à celle des particules à arrêter (figure I.4).

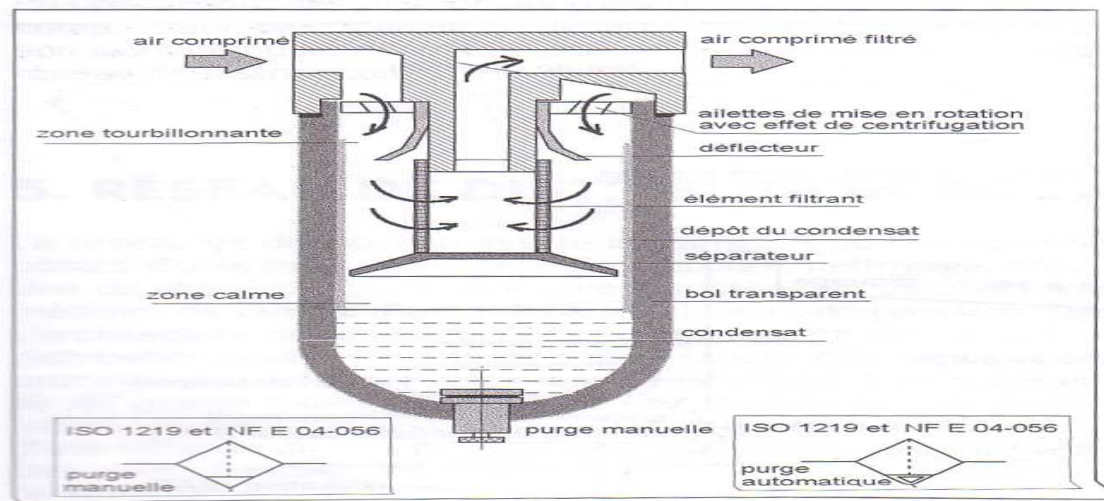


Figure I.4 : principe de fonctionnement d'un filtre.

2.3.2.2. Sécheurs d'air

L'air comprimé industriel doit être sec avant son utilisation. Pour cela, l'humidité résiduelle doit être éliminée, si on souhaite un air de grande qualité. Pour obtenir ce résultat, plusieurs procédés existent :

- Utilisation d'un sel absorbant l'eau (sécheur à absorption).
- Utilisation d'un déshydratant ou dessicant adsorbant l'humidité (sécheur à adsorption).
- Abaissement du point de rosée par refroidissement de l'air (sécheur à réfrigération) (figure I.5).
- Utilisation d'une membrane étanche.

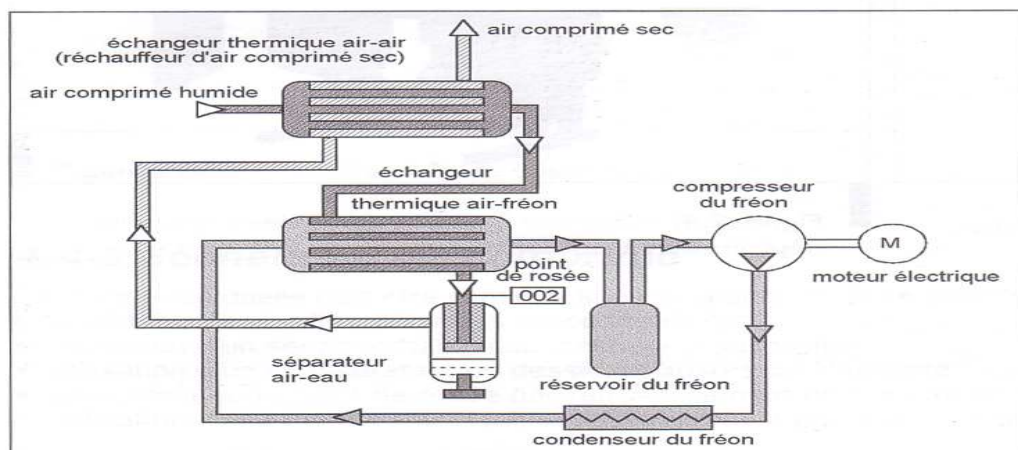


Figure I.5 : schéma de principe du sécheur d'air comprimé à réfrigération.

2.3.2.3. Purgeur de condensat

Les impuretés arrêtées par les filtres forment, par définition, le condensat où se retrouvent mélangées des particules solides diverses d'huile et d'eau. Le problème est d'évacuer le condensat vers le dispositif de traitement, si possible sans perte conséquente d'air, ni arrêt de l'installation, ni risque pour le personnel d'entretien, ni pollution d'environnement. La tendance est d'automatiser ce type d'opération.

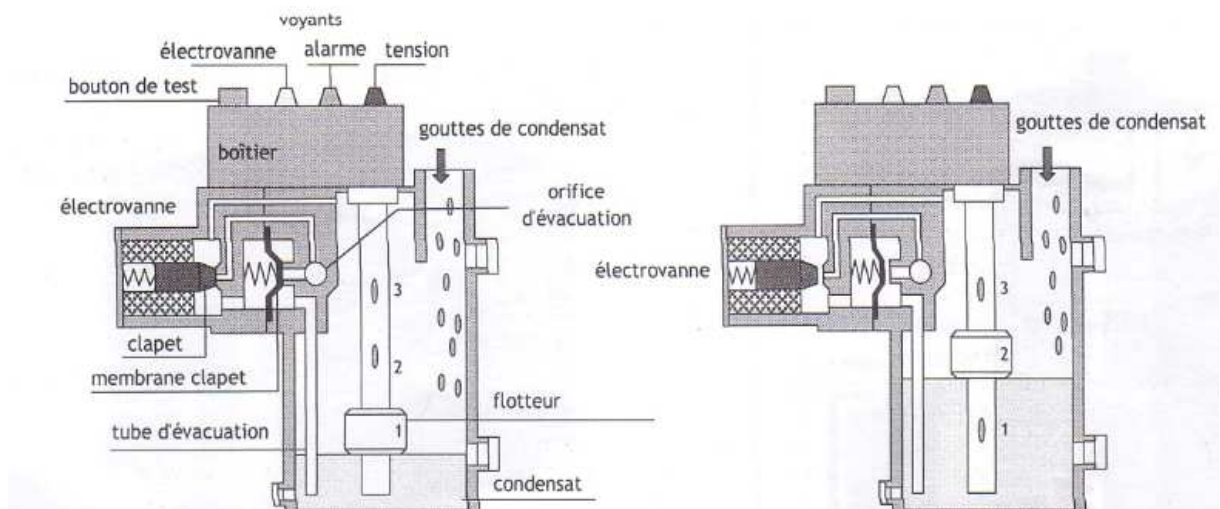


Figure I.6 : principe du purgeur automatique Zander.

2.3.3. *Les capteurs*

Les informations traitées par la partie commande, du système automatisé de production (SAP), sont fournis par les capteurs. Elles renseignent la partie commande :

- Sur le choix des modes d'exécution : marche manuelle, marche automatique, mise en référence de la partie opérative, etc.
- Sur les ordres émis par les opérateurs : départ de cycle, arrêt de cycle, arrêt d'urgence, etc.
- Sur la position acquise des actionneurs.
- Sur la position des objets, des personnes, etc.

Dans notre installation, nous avons deux types de capteurs : capteurs de pression et capteurs de température.

❖ Les capteurs pneumatiques

En automatisation électropneumatique, la panoplie complète de capteurs électriques et électroniques est exploitable pour obtenir les informations d'entrées TOR ou analogiques traitées par l'API. Parmi les capteurs de pression, on trouve un pressostat.

Le pressostat ou manostat est un capteur de pression fournissant un signal pneumatique lorsque la pression positive, par rapport à la pression atmosphérique, est atteinte.

Lorsque l'entrée est pneumatique et la sortie électrique, ce type de capteur constitue une interface pneumo-électrique. L'élément de détection fait appel à différents moyens :

- Soit sur la membrane sous-tendue par un ressort réglable (figure I.7).
- Soit sur la surface intérieure ou extérieure d'un soufflet métallique déformable, placé dans un champ magnétique alternatif haute fréquence.
- Soit sur un élément piézorésistif.

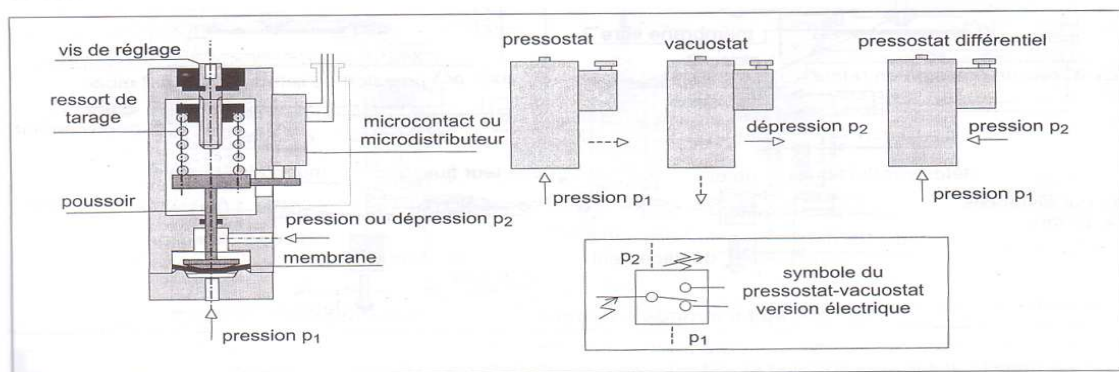


Figure I.7 : principe d'un capteur de pression à membrane et ressort.

❖ Les capteurs de température

De toutes les grandeurs physiques, la température est certainement l'une de celles dont la mesure est la plus fréquente. La température de l'air à l'aspiration et au refoulement, ainsi que la température d'huile de lubrification, sont toujours surveillées car elles nous renseignent sur l'échauffement des équipements de l'installation du compresseur.

Il existe une multitude de capteurs de température, tant par leurs formes que par leurs domaines d'utilisation :

- Thermomètres à dilatation liquide, de gaz ou solide.
- Thermomètres à tension de vapeur.
- Pyromètre linéaire.
- Thermomètre à résistance et à thermistance.
- Thermocouple.

2.3.4. Transmetteur pneumatique

Le transmetteur est principalement un convertisseur de signaux. Il peut se comporter comme un capteur de mesure de pression ou de débit, si la pression et le débit sont les valeurs à régler (figure I.8). Mais pour bénéficier de l'offre très large en capteurs performants de mesure de pression, de débit, de température ou de niveau, à sortie électrique, le transmetteur sera indépendant du capteur (figure I.9).

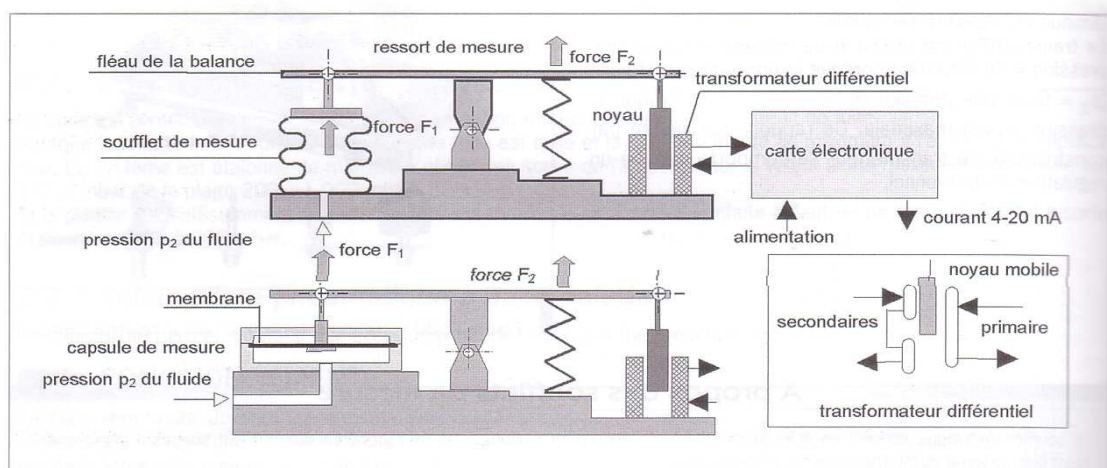


Figure I.8 : transmetteur de pression relative à sortie électrique.

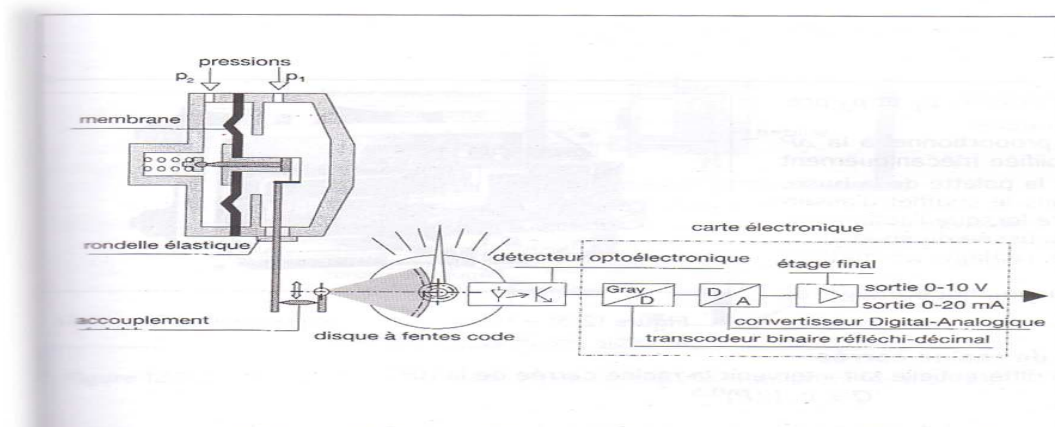


Figure I.9 : principe d'un indicateur de débit et de pression.

3. Cahier de charges

On veut faire fonctionner les quatre compresseurs moyenne pression (7bars) en cascade. C'est-à-dire que si, avec un compresseur sélectionné comme maître, la pression reste minimale pour un certain temps réglé, un compresseur d'appoint démarre automatiquement. D'autres vont démarrer si la pression reste minimale.

Si la pression reste maximale pour un certain temps réglé, un compresseur s'arrête automatiquement. Si cette pression persiste, les autres compresseurs s'arrêtent sauf le compresseur sélectionné comme maître.

En cas de défaut sur un compresseur, il est remplacé automatiquement par un autre. Le processus étant commandé par un automate S7-300 et supervisé à partir d'un pupitre opérateur SIMATIC MULTIPANELS MP277 10'' touch.

4. Etat actuel du processus

Les quatre Compresseurs 7 bars, ou moyenne pression, fonctionnent indépendamment. N'étant pas munis ni d'ampèremètres ni de débitmètres, il est très compliqué de faire le bilan de l'installation quant à la consommation en énergie électrique ou en air comprimé.

Chaque compresseur est muni d'une carte électronique avec comme interface un petit écran LCD, qui sert de visualisation et où on peut relever les différentes valeurs comme : la pression de l'air et de l'huile, les paramètres de temps et de sécurité.

Les caractéristiques des compresseurs sont données dans le tableau I.1.

MARQUE CARACTERISTIQUE	INGERSOLL RAND	DEMAG	LUCHARD	ATLAS COPCO
Type ou modèle	ML110	L75S-7.5	6050EL08BE-01	ZT22
Numéro de série	2380616	349021/0221	6082	ATF 035987
Pression maximale (bars)	7.5	7.3	8	7.5
Puissance (kW)	110	75	37	22
Débit (m ³ /min)	13.3	13.3	4.5	3.5
Vitesse de rotation (tours/min)	1485	3000	3000	2940
Année de fabrication	2003	2002		1996
Poids (kg)	2850	2300		

Tableau I.1 : caractéristiques des quatre compresseurs.

A partir des constats faits sur place, on peut en tirer quelques particularités :

- Les compresseurs LUCHARD et ATLAS COPCO ne sont pas munis du système selon lequel, si la pression du réseau ne décroît pas avant écoulement du temps de décélération programmé jusqu'à la valeur minimale prééglée, l'installation s'immobilise. La régulation consiste seulement à les faire fonctionner à vide.
- Les compresseurs DEMAG, INGERSOLL RAND et LUCHARD ne possèdent pas de séparateur d'huile. Ce sont des compresseurs à injection d'huile.

❖ *La dynamique d'un compresseur*

Chaque compresseur possède sa dynamique qui est du premier ordre. Le temps de réponse dépend de la charge :

- Si la charge diminue rapidement alors le temps de réponse est petit.
- Si la charge augmente le temps de réponse est élevé.

Un pressostat détecte la pression maximale et minimale. On a 2 cas :

- Si la pression atteint 7.5 bar la vanne d'aspiration est fermée.

-
- Si elle atteint 6.5 bar la vanne d'aspiration va s'ouvrir.

Pour les compresseurs DEMAG et INGERSOLL RAND, si après un certain temps réglé à 120secondes par le constructeur, la pression reste à 7.5 bar alors le moteur d'entraînement s'arrête. Il redémarre quand la pression revient à 6.5 bar.

5. Conclusion

Avec l'évolution industrielle, l'air comprimé a connu une utilisation importante dans le milieu industriel.

Avant sa distribution, l'air doit être propre et sec. Pour répondre à ces exigences, l'installation de production d'air comprimé est composé des accessoires de filtrage et de séchage ainsi de purgeurs de condensat.

Les capteurs de pression et de température nous fournissent des valeurs nécessaires pour assurer la sécurité, la maintenance ainsi que pour faire le bilan de notre installation.

Avant de proposer une solution automatisée, le deuxième chapitre nous donnera le modèle décrivant le fonctionnement actuel de chaque compresseur auquel nous ajouterons le modèle respectant le cahier de charges.

Chapitre II : Modélisation et conception de l'installation

1. Introduction

La création d'une machine automatique nécessite le dialogue entre le client, qui définit le cahier de charges, et le constructeur qui propose la solution. Ce dialogue n'est pas aisé. En effet, le client ne possède peut être pas la technique lui permettant de définir correctement son problème ; d'autre part, le langage courant ne permet pas de lever toutes les ambiguïtés (surtout des actions doivent se dérouler simultanément)

Afin de pallier à ces problèmes, des représentations graphiques permettent de décrire les fonctions à réaliser : tel que le GRAFCET.

Le but de ce chapitre est de faire une brève description de l'outil GRAFCET qui nous permettra par la suite de modéliser notre processus.

2. Définition

GRAFCET en toutes lettres signifie **G**raphique **F**onctionnel **C**ommande **E**tape **T**ransition. C'est un outil graphique de définition pour l'automatisme séquentiel en tout ou rien, mais aussi dans des cas combinatoires.

2.1. Composition du GRAFCET

Le GRAFCET est constitué :

- d'étapes auxquelles sont associées des actions.
- de transitions auxquelles sont associées des réceptivités.
- des liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.

2.1.1. Etape

Une étape correspond à une phase durant laquelle on effectue une action, pendant une certaine durée (même faible mais jamais nulle). On représente chaque étape par un carré, l'action est représentée dans un rectangle à gauche, l'entrée se fait par le haut et la sortie par le bas. On numérote chaque étape par un entier positif (figure II.1).

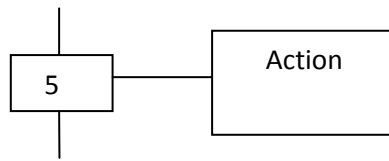


Figure II.1 : étape et action.

Une étape est dite active lorsqu'elle correspond à une phase "en fonctionnement", c'est à dire qu'elle effectue l'action qui lui est associée. On représente quelquefois une étape active à un instant donné en dessinant un point à l'intérieur.

2.1.2. Une transition

Une transition est une condition de passage d'une étape à une autre. Elle n'est que logique (dans son sens vrai ou faux), sans notion de durée. La condition est définie par une réceptivité qui est généralement une expression booléenne.

On représente une transition par un petit trait horizontal sur une liaison verticale (figure II.2). On note à droite la réceptivité, on peut noter à gauche un numéro de transition (entier positif, indépendant des numéros d'étapes).

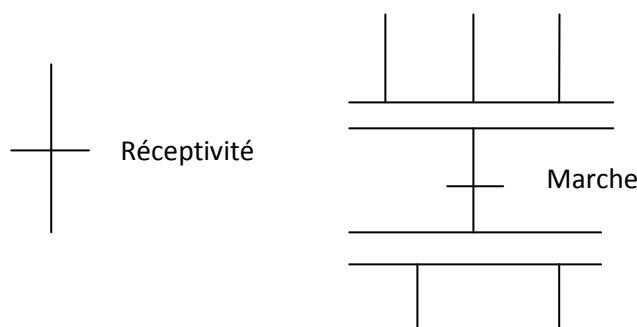


Figure II.2 : représentation de la transition.

2.1.3. Liaison

Une liaison est un arc orienté (ne peut être parcouru que dans un sens). A une extrémité d'une liaison il y a une (et une seule) étape, l'autre une transition (figure II.3). On la représente par un trait plein rectiligne, vertical ou horizontal. Une verticale est parcourue de haut en bas, sinon il faut préciser par une flèche. Une horizontale est parcourue de gauche à droite, sinon le préciser par une flèche.

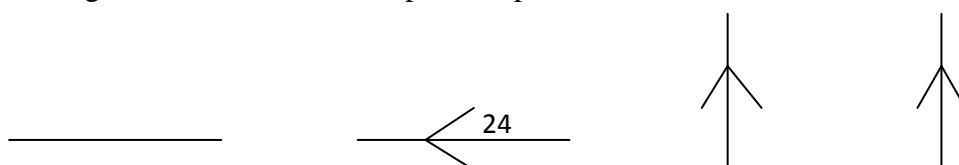


Figure II.3 : représentation de la liaison.

2.2. Niveaux du GRAFCET

2.2.1. GRAFCET niveau 1

Il donne des spécifications fonctionnelles et décrit l'enchaînement des étapes sans préjuger de la technologie. En résumé, il:

- Ne traite que du comportement logique de l'application.
- Ignore les contraintes spécifiques des capteurs et actionneurs réels.
- Les actions et réceptivités sont données par des phrases.

2.2.2. GRAFCET niveau 2

Il précise les spécifications technologiques et opérationnelles. En résumé, il :

- Décrit le fonctionnement réel de l'automatisme.
- Tient compte des actionneurs et des capteurs réels.
- Les actions et réceptivités sont données sous la forme d'équations logiques sur les signaux.

3. Modélisation de l'installation

A partir des instructions du schéma détaillé du compresseur DEMAG (annexe B), on peut trouver les différentes étapes et actions pour le fonctionnement d'un compresseur.

En partant de l'hypothèse selon laquelle : le degré de priorité se classe comme suit : c1, c2, c3 et enfin c4 pour la mise en marche automatique. En cas de mise à l'arrêt automatique, l'ordre est c4, c3, c2 et enfin c1.

c1 : compresseur de marque INGERSOLL RAND.

c2 : compresseur de marque DEMAG.

c3 : compresseur de marque LUCHARD.

c4 : compresseur de marque ATLAS COPCO.

Remarque : L'ordre de priorité est choisi par importance de puissance.

3.1. Listes d'actions et réceptivités

La modélisation en GRAFCET niveau 2 nous impose des abréviations des actions et réceptivités (tableau II.1).

Soient : i allant de 1 à 4 (numéro du compresseur) et j allant de 1 à 3.

Abréviations	signification
ar_ur	Arrêt d'urgence totale
Arrêt_ci	Arrêt d'urgence du compresseur ci
Man_ci	Commande manuelle du compresseur ci
gb_ci	Signal sélectionnant le compresseur ci comme maître
ci	Signal qui met en marche le compresseur ci
ci1	Contacteur de ligne pour le moteur du compresseur ci
ci2	Contacteur étoile pour le moteur du compresseur ci
ci3	Contacteur triangle pour le moteur du compresseur ci
Pmax_ci	Pression maximale du compresseur ci
ti	Délai avant mise en marche automatique du compresseur ci
T_ci	Délai avant l'arrêt différé (réglé par le constructeur)
tci	Délai avant arrêt automatique du compresseur ci
citj	Signal qui commande la marche du compresseur ci à l'instant tj
citjc	Signal qui commande l'arrêt du compresseur ci à l'instant tjc
tiARC	Période d'anti-recycle ou délai pendant lequel le compresseur ci est forcé de fonctionner qu'on ait besoin de lui ou pas.
Ar_ci	Etat initial du compresseur ci
Vi_A_O et Vi_A_F	Successivement les vannes d'aspiration ouvertes et vanne d'aspiration fermées du compresseur ci.
Mi_ar	Arrêt du moteur entraînant le compresseur ci
Pmax	Pression maximale
Pass_i,	Actions de passage avant initialisation pour la mise en marche automatique (i allant de 1 à 4) et pour la mise à l'arrêt automatique (i allant de 5 à 8).
pass_act_1	Actions de passage avant vérification des états des compresseurs si la pression est minimale.
Pass_acti_c	Actions de passage avant vérification des états des compresseurs si la pression est maximale.

reg_m	Action de passage avant vérification du compresseur sélectionné comme maître si la pression est minimale.
Reg_coup	Action de passage avant vérification du compresseur sélectionné comme maître si la pression est maximale.
M_t1/cim	Action de passage avant le déclenchement de mise en marche automatique si ci est maître.
coup_t1/cim	Action de passage avant le déclenchement de mise à l'arrêt automatique si cim est maître
Init_temps	Initialisation du temps à la régulation pour la mise en marche automatique.
Init_temps_c	Initialisation du temps à la régulation pour la mise à l'arrêt automatique
Mci	Tableau II.1 : abréviations et signification des actions et réceptivités.

3.1. GRAFCET niveau 2

Nous avons modélisé notre installation par le GRAFCET niveau 2. Ainsi, les figures II.4, II.5, II.6 et II.7 représentent les grafjets, respectifs, des compresseurs c1, c2, c3 et c4. Tandis que les figures II.8 et II.13 représentent les grafjets successivement pour l'initialisation de la mise en marche automatique et pour l'initialisation de la mise à l'arrêt automatique. Les figures II.9, II.10, II.11, II.12 représentent les grafjets pour la mise en marche automatique successivement quand c1 est maître, c2 est maître, c3 est maître, c4 est maître. Aussi, les figures II.14, II.15, II.16, II.17 représentent les grafjets pour la mise à l'arrêt automatique successivement quand c1 est maître, c2 est maître, c3 est maître, c4 est maître. Enfin, la figure II.18 représente le grafjet pour la gestion de la période d'anti-recycle.

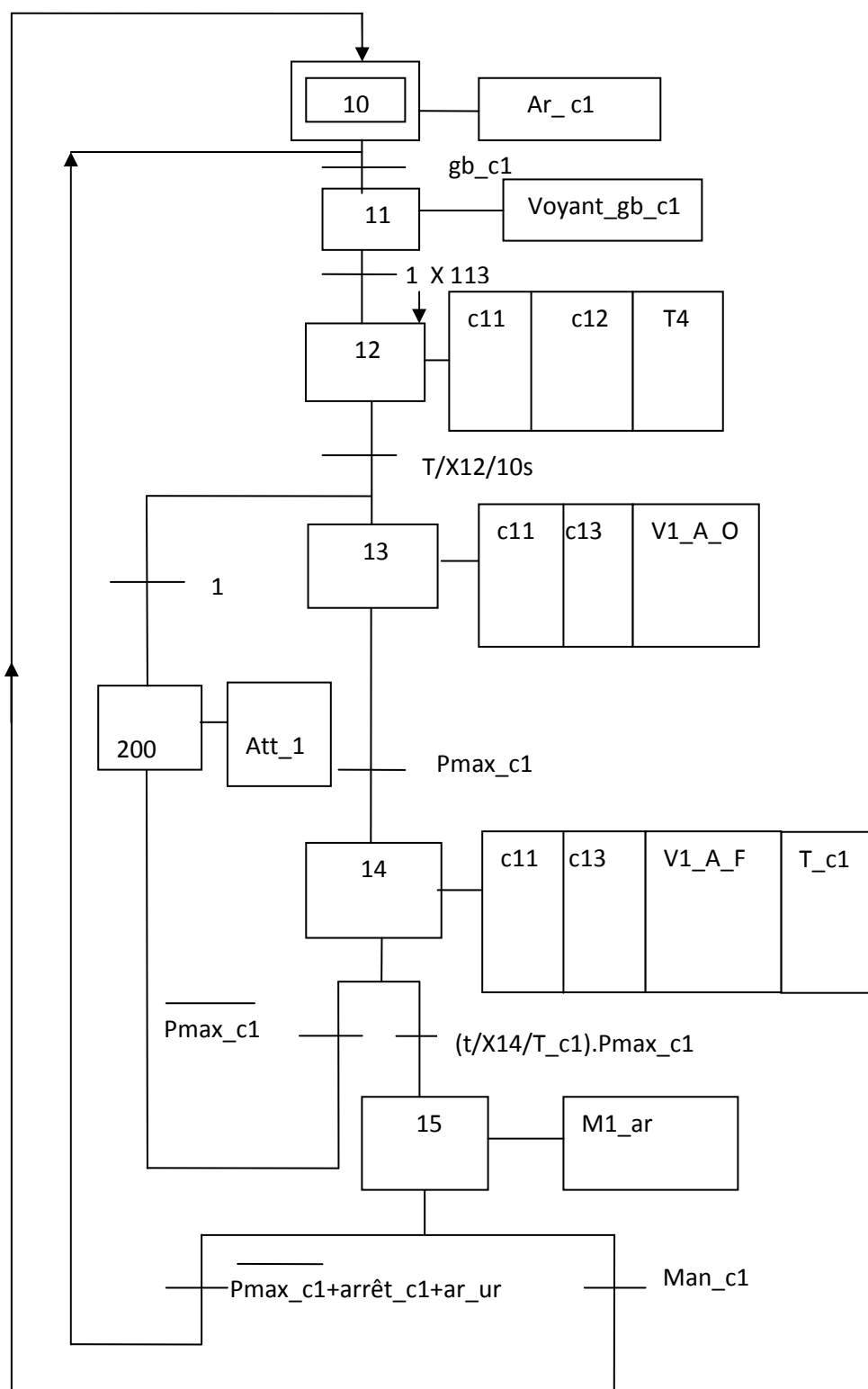


Figure II.4 : grafcet du compresseur c1.

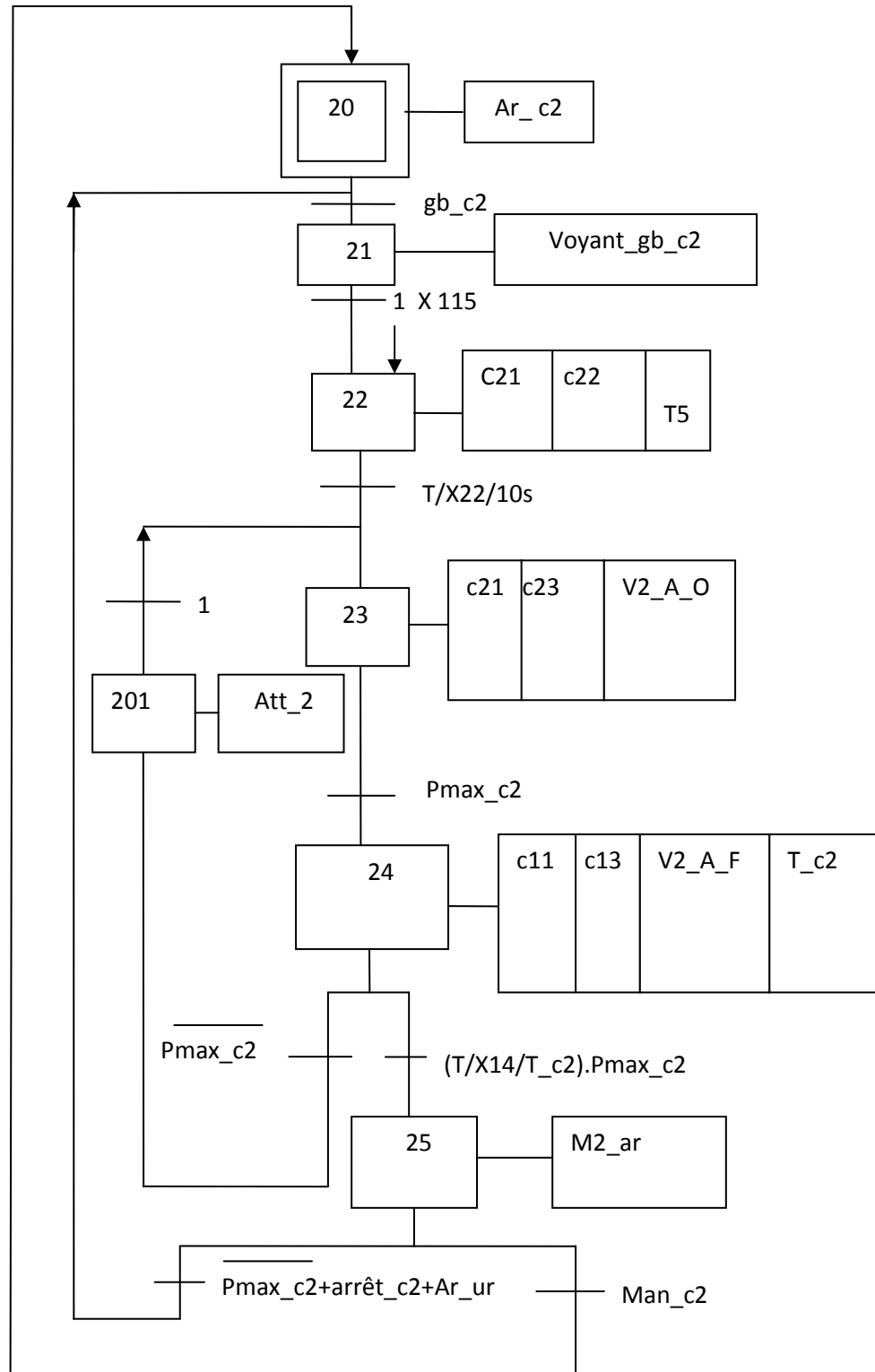


Figure II.5 : grafcet du compresseur c2.

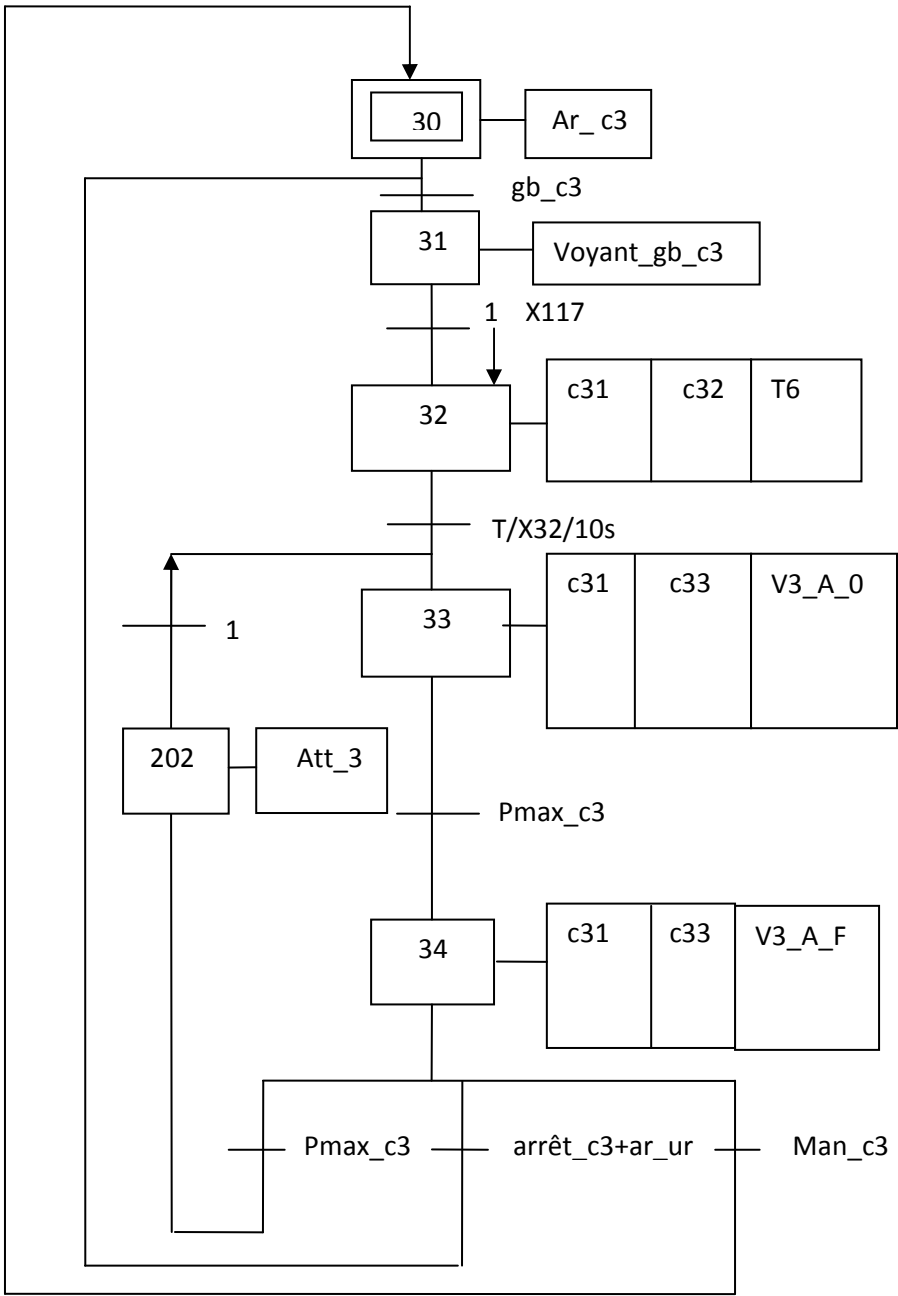


Figure II.6 : grafcet du compresseur c3.

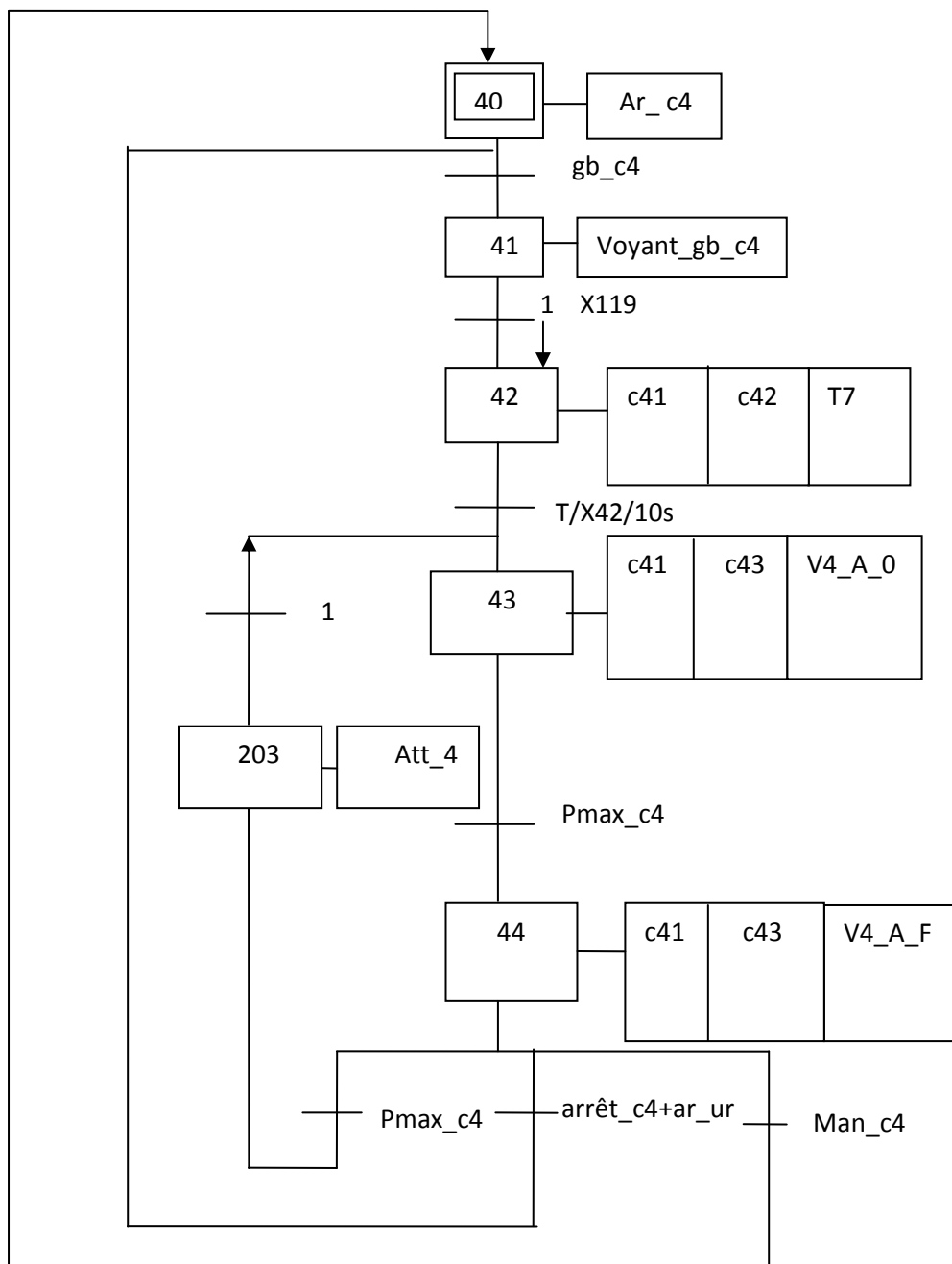
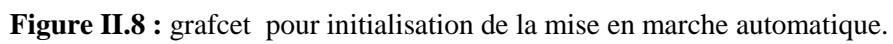


Figure II.7 : grafcet du compresseur c4.



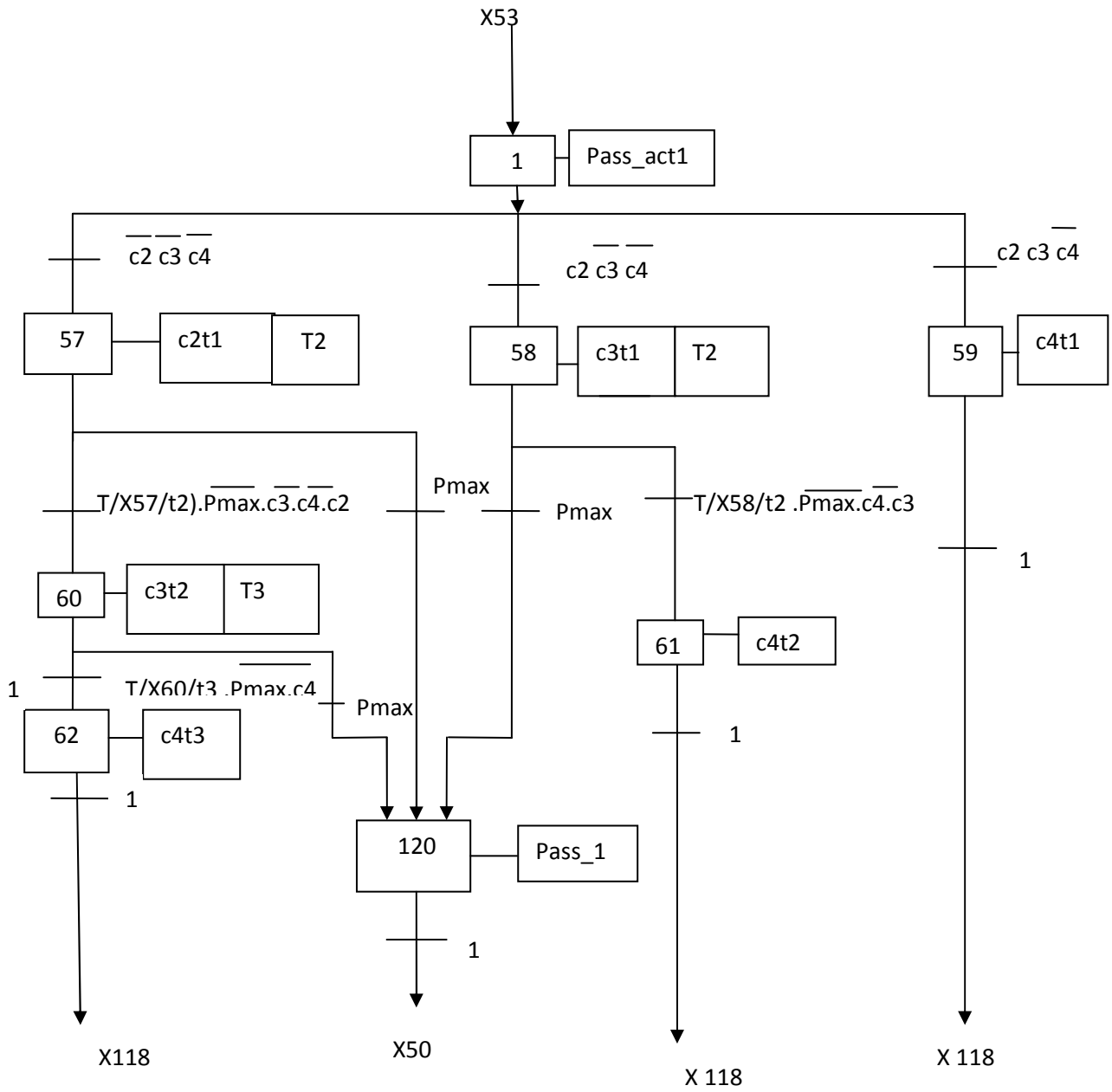


Figure II.9 : grafctet pour la mise en marche automatique si c1 est maître.

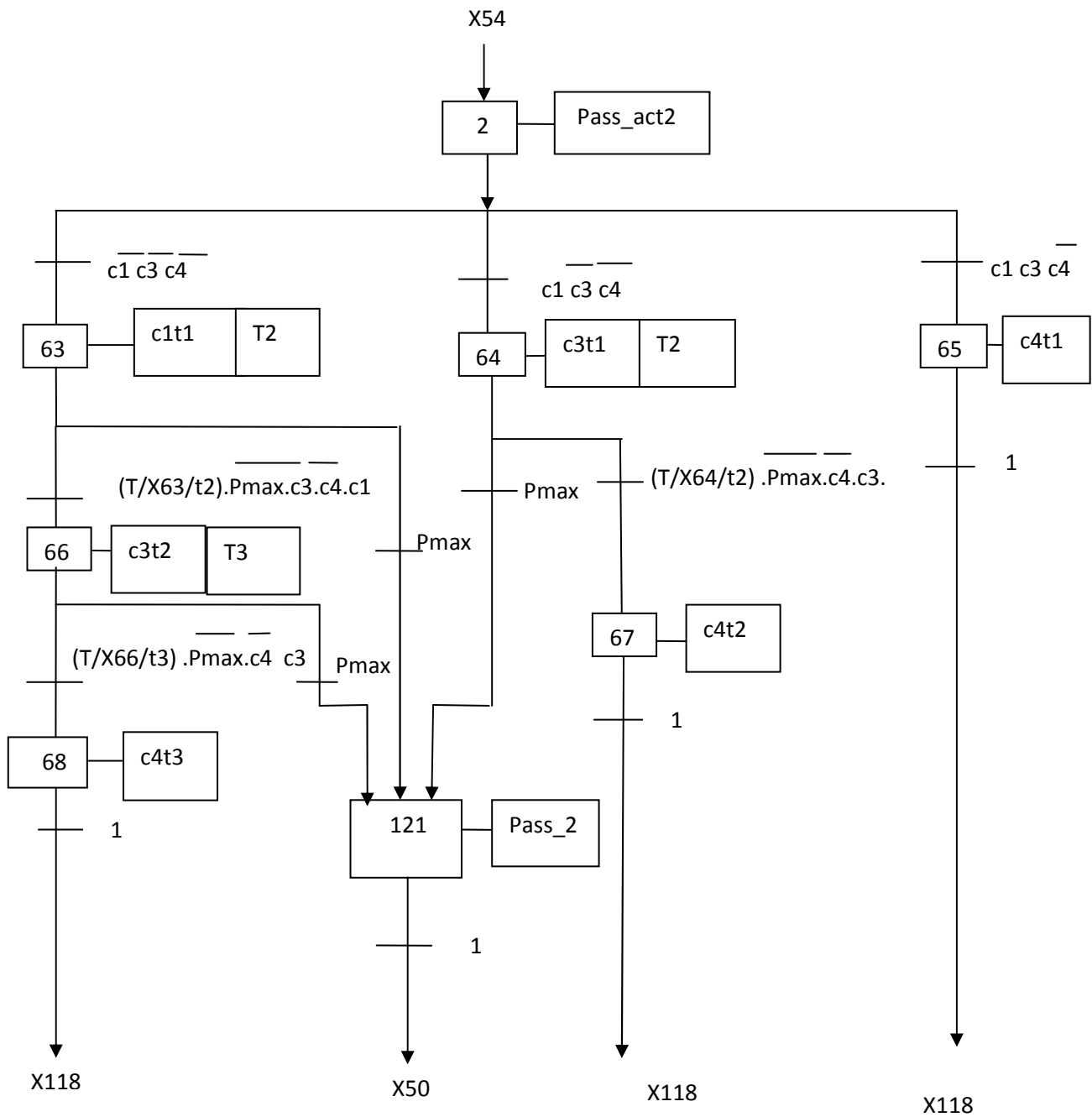


Figure II.10 : grafcet pour la mise en marche automatique si c2 est maître.

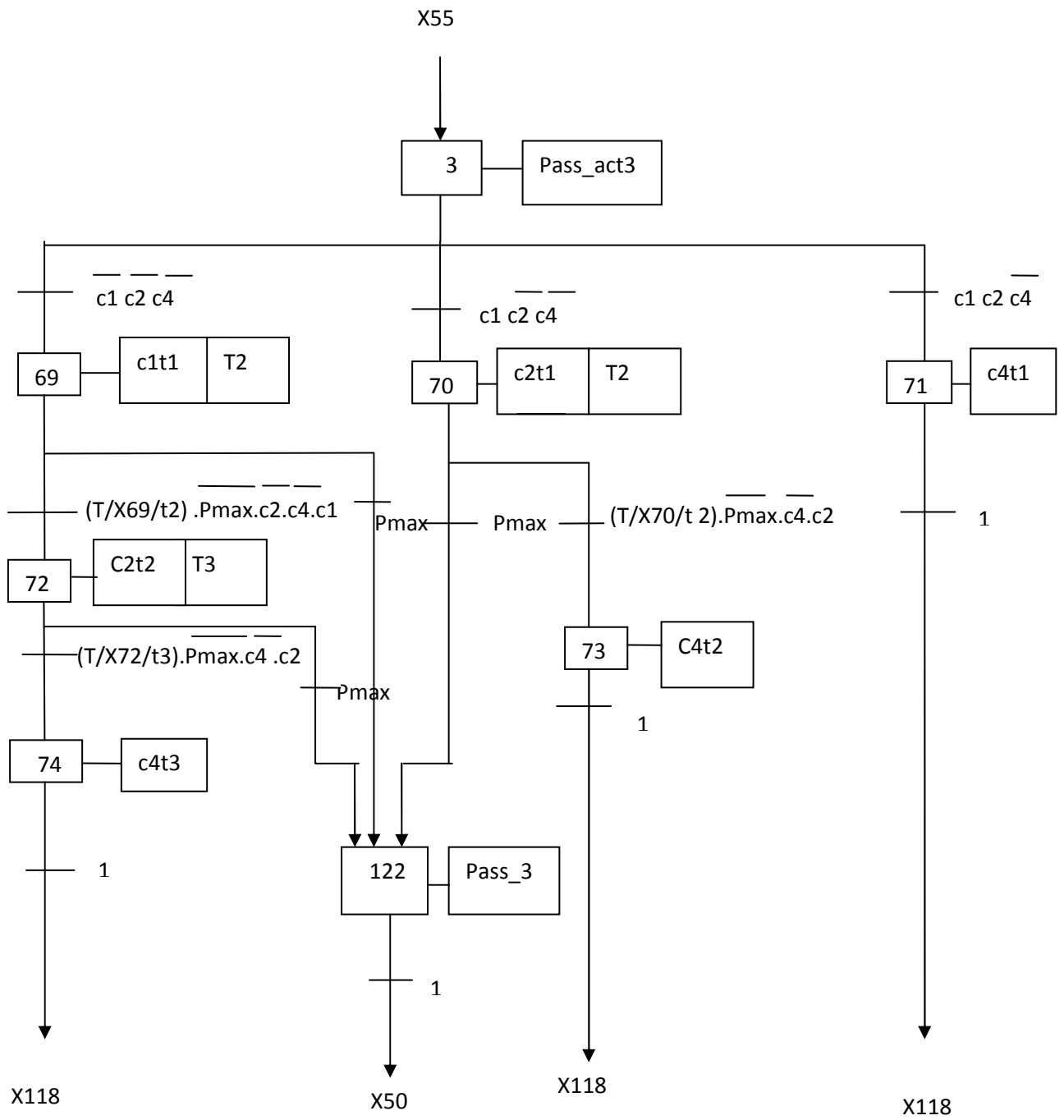


Figure II.11 : grfcet pour la mise en marche automatique si c3 est maître.

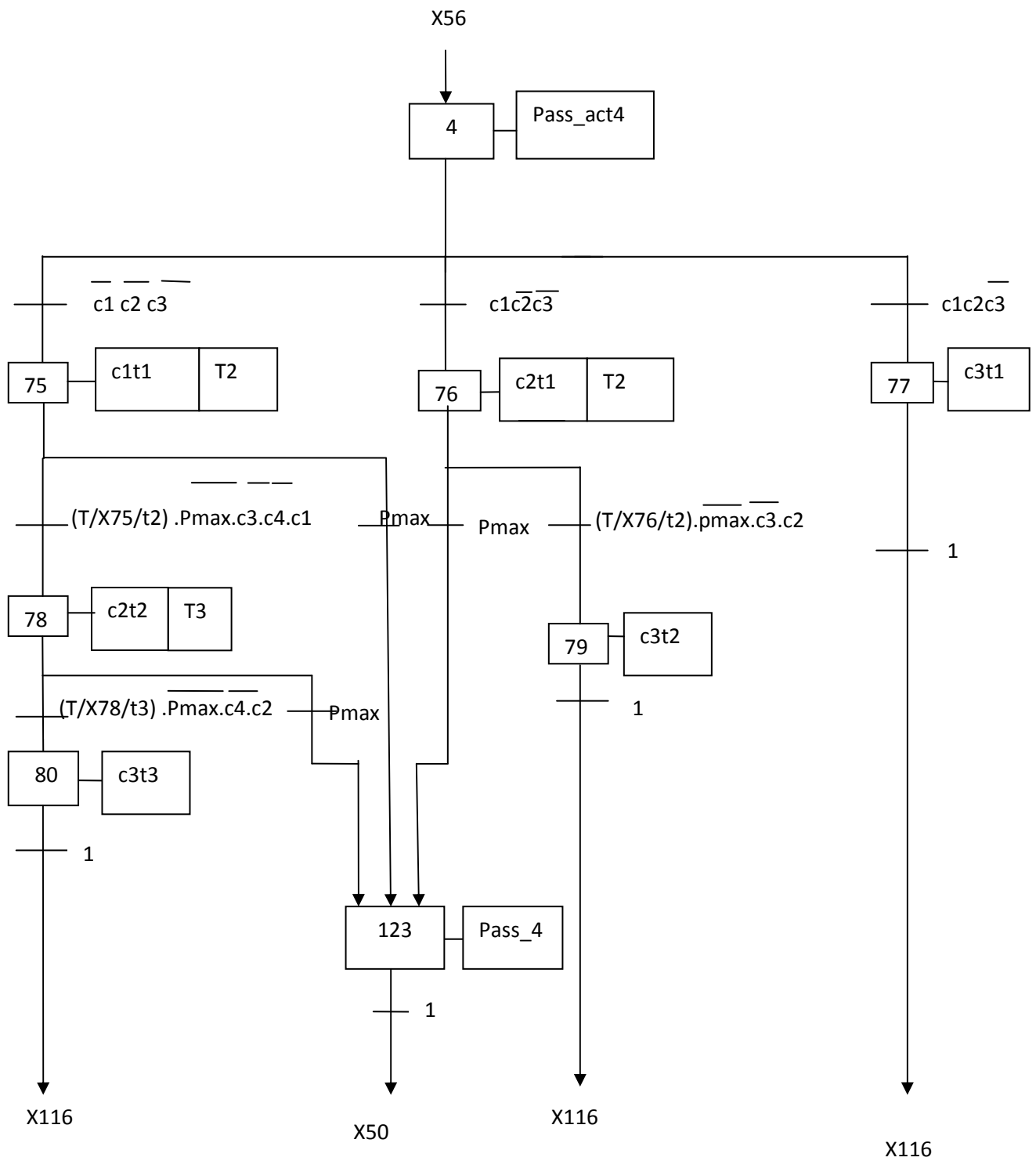


Figure II.12 : grafcet pour la mise en marche automatique si c4 est maître.

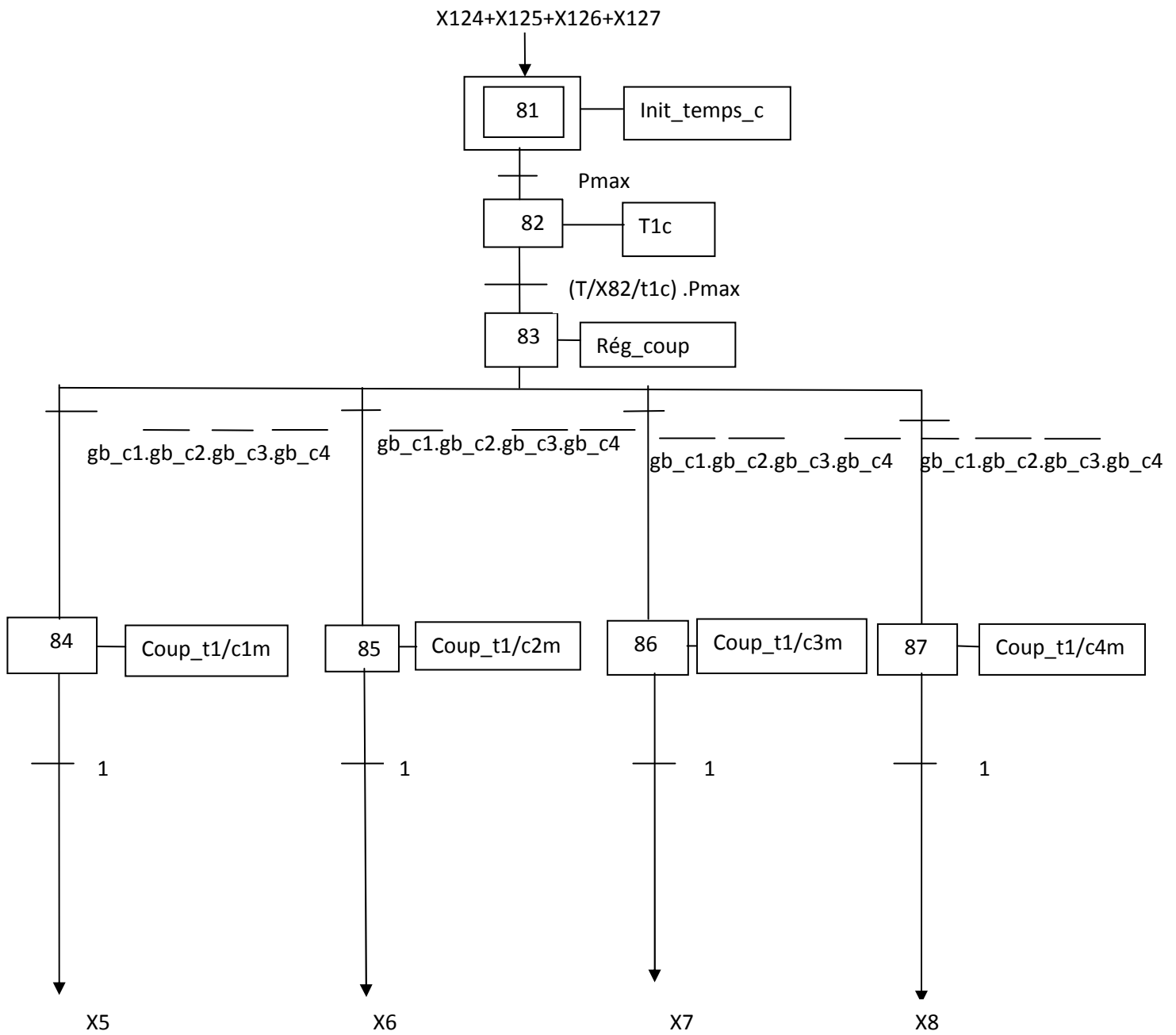


Figure II.13 : grafcet pour initialisation de la mise à l'arrêt automatique.

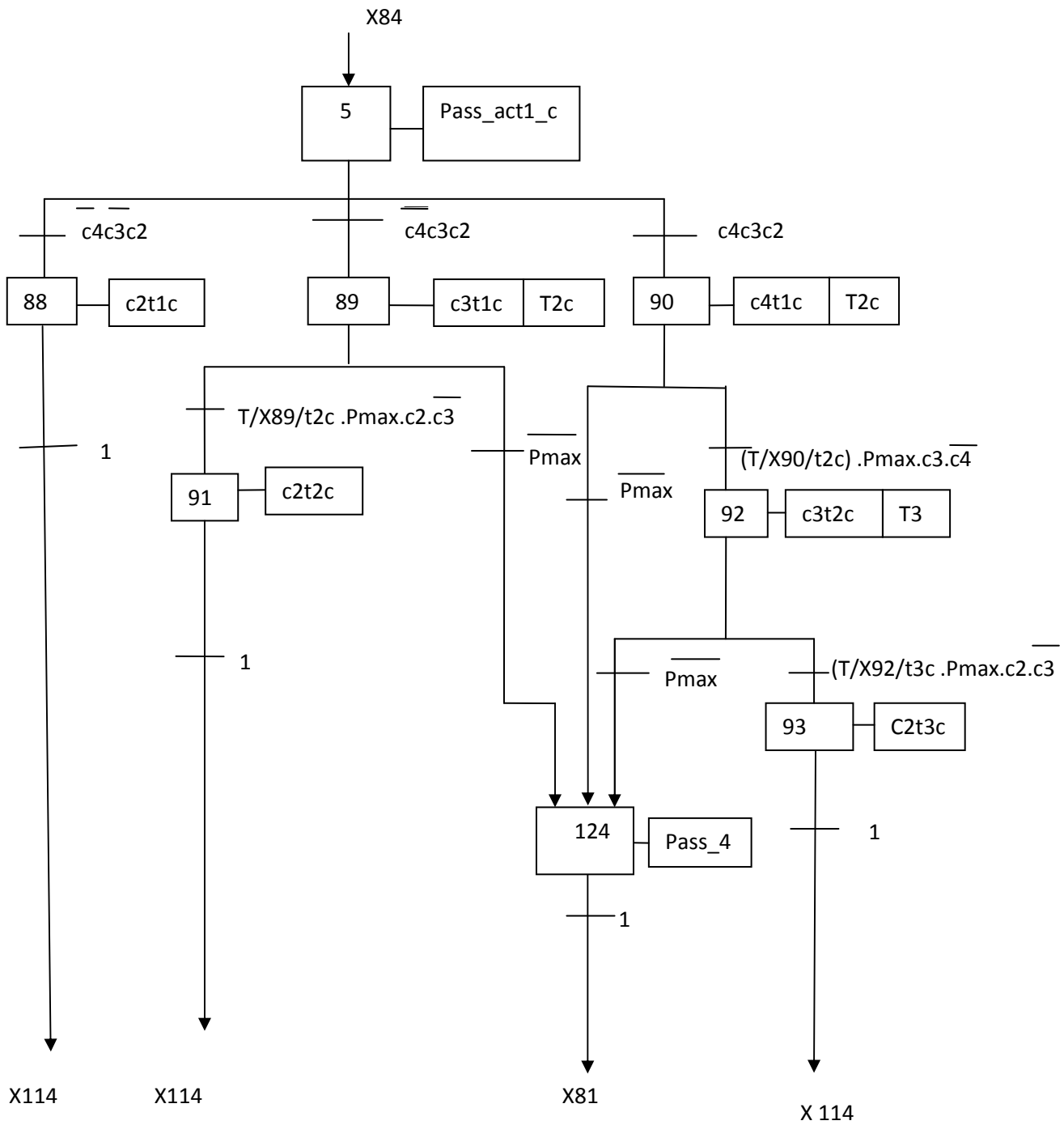


Figure II.14 : grafcet pour la mise à l'arrêt automatique si c1 est maître.

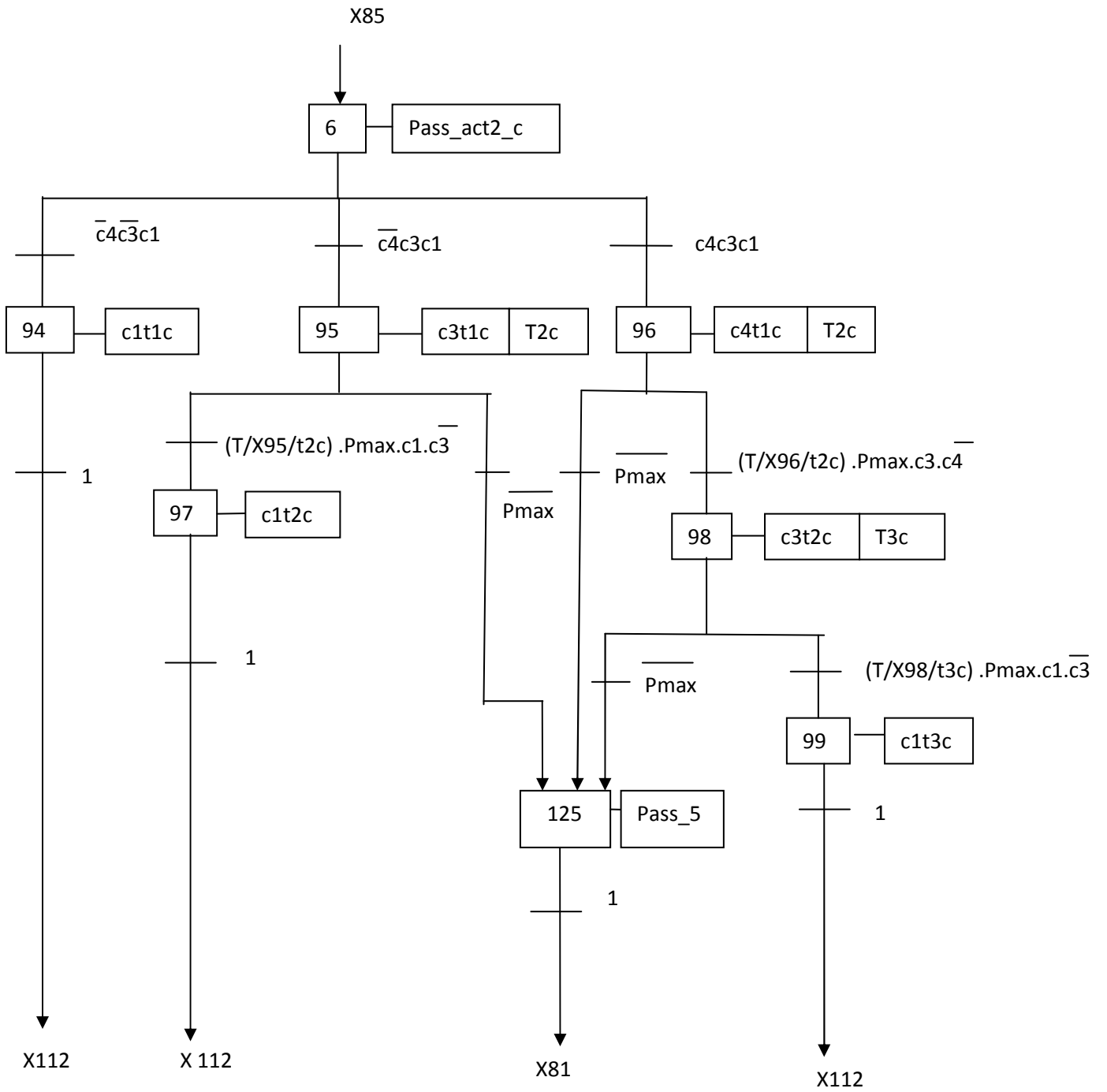


Figure II.15 : grafcet pour la mise à l'arrêt automatique si c2 est maître.

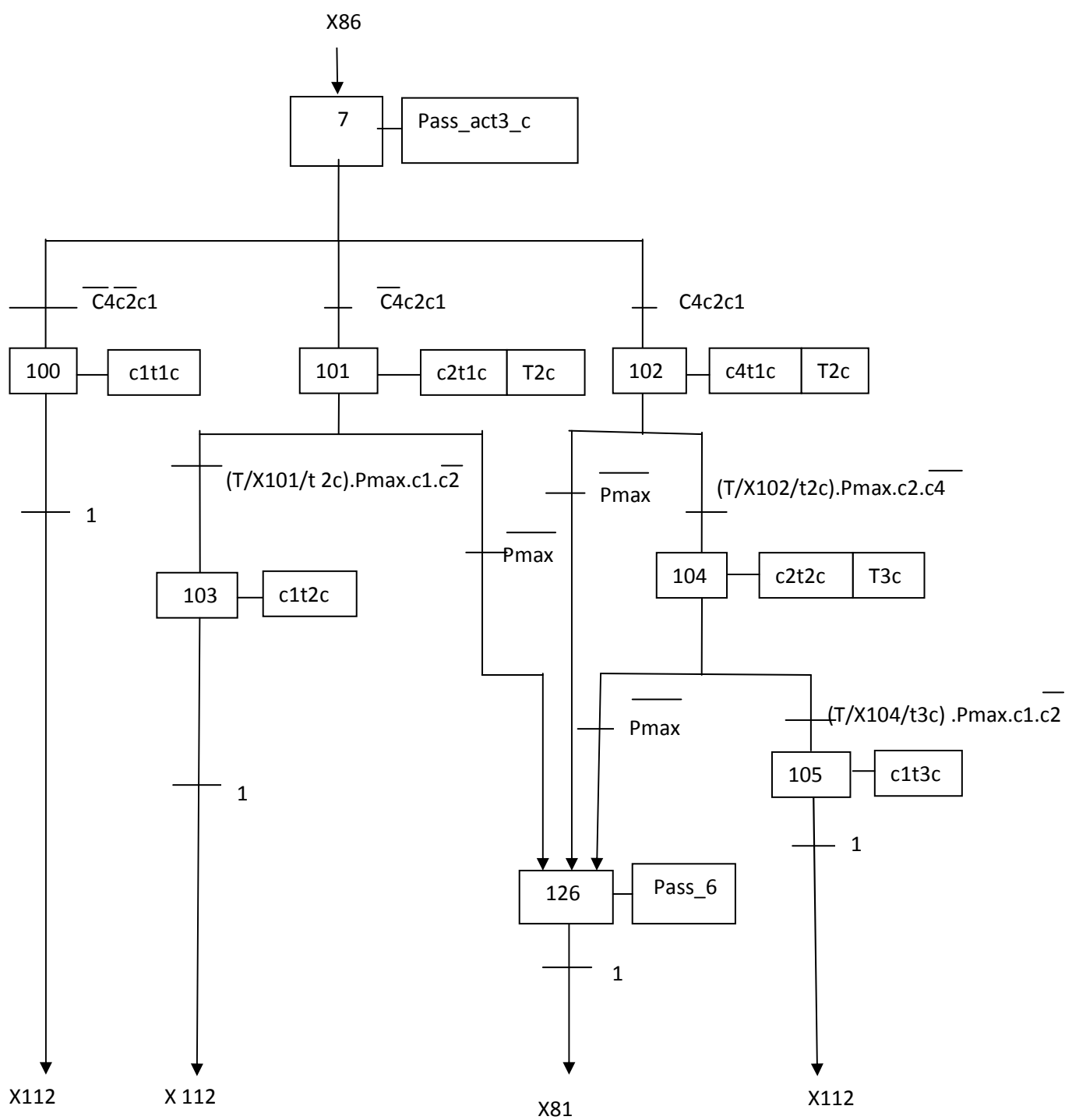


Figure II.16 : grafcet pour la mise à l'arrêt automatique si c3 est maître.

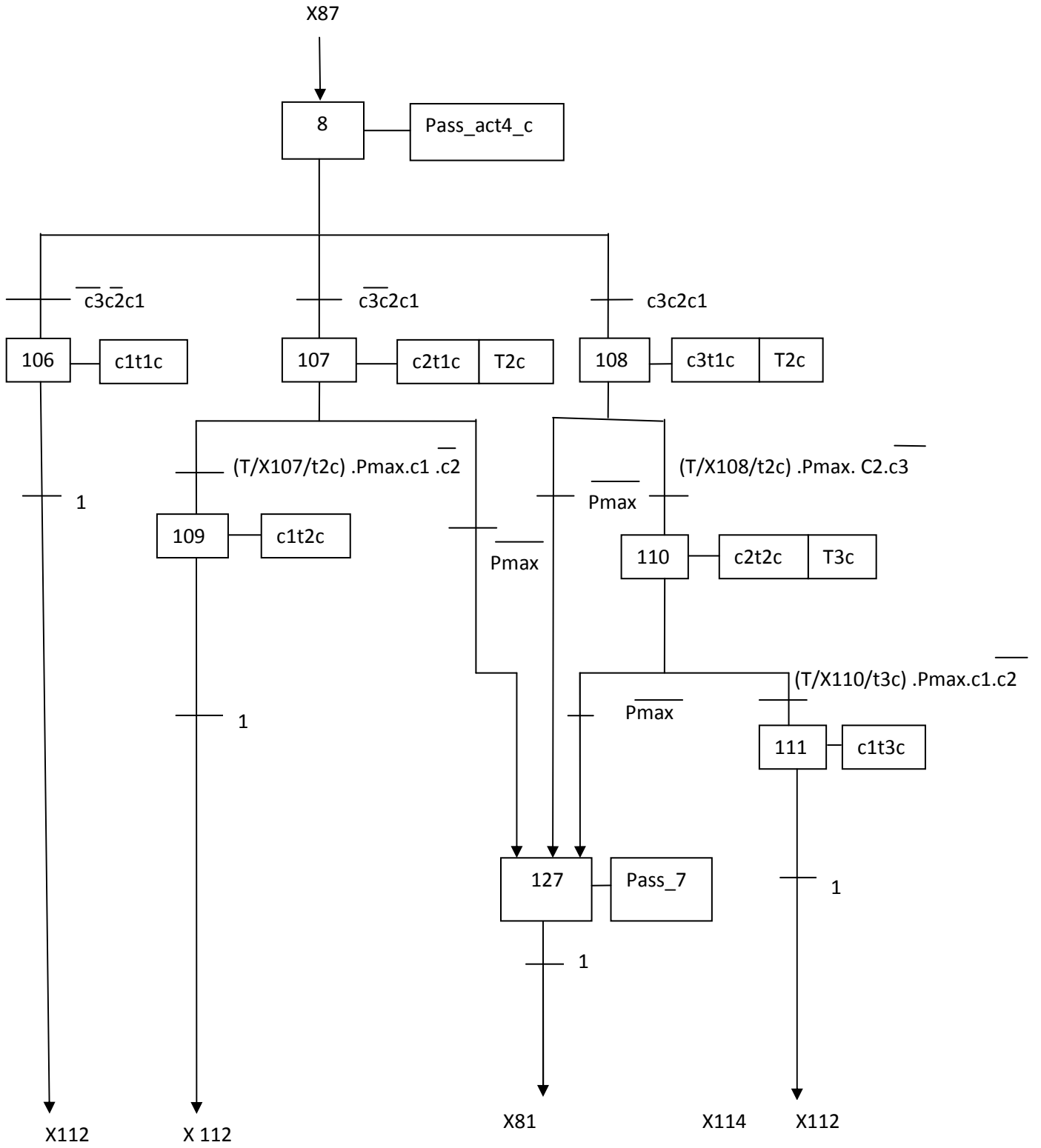
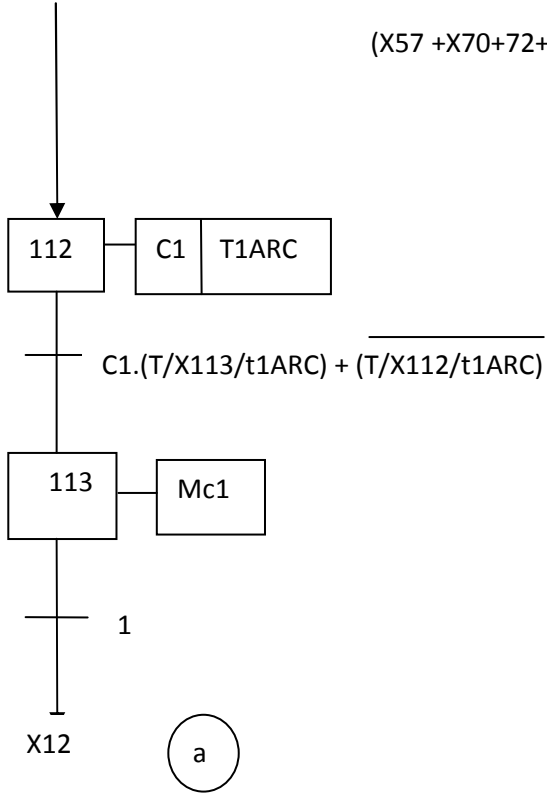
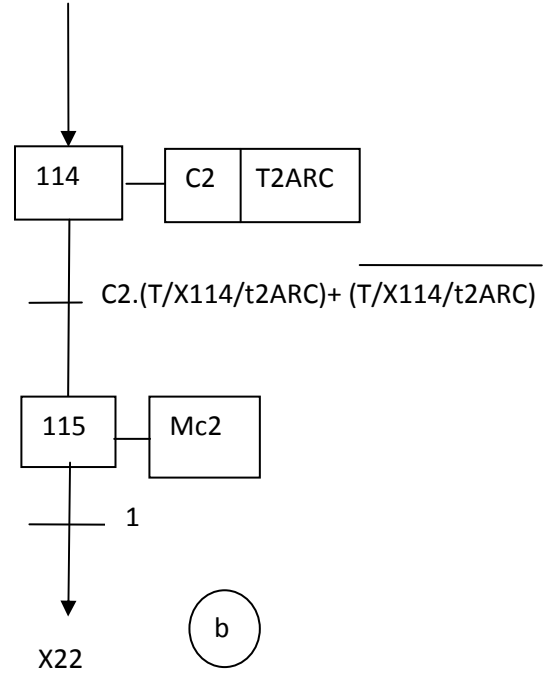


Figure II.17 : grafcet pour la mise à l'arrêt automatique si c4 est maître.

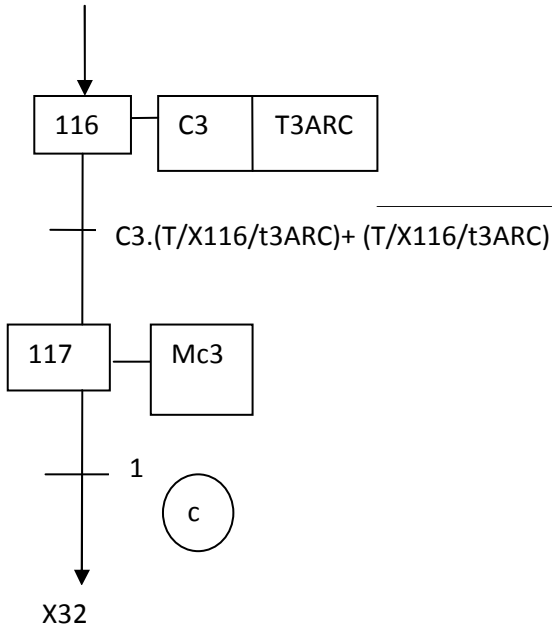
$$(X75+X69+X63).(X94+X97+X99+X100+X103+X106+X109+X111)$$



$$(X57 +X70+72+76+78).(X88+X91+X93+X101+X104+X107+X110)$$



$$(X58+X60+X64+X66+X77+X79+X80). (X89+X92+X95+X98+X108)$$



$$(X59+X61+X62+X65+X67+X67+X71+X73+X74).(X90+X96+102)$$

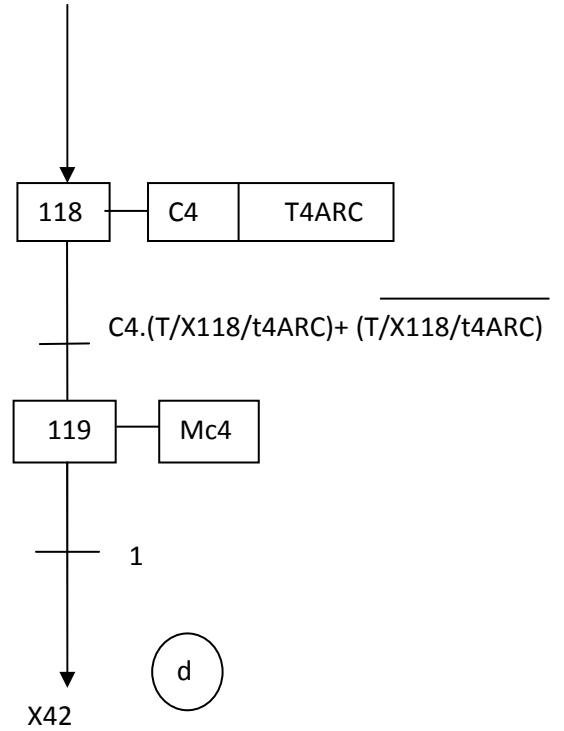


Figure II.18 : grafcet pour la gestion de la période d'anti-recycle :

de c1 (a), de c2(b), de c3 (c) et de c4 (d).

4. Conclusion

Du fait de sa simplicité, le GRAFCET niveau 2 nous permet de bien suivre les différentes étapes de l'évolution du processus. Chaque compresseur étant représenté par son modèle et les étapes de mise en marche, ou mise à l'arrêt automatique, sont représentés par leurs modèles. Pour les compresseurs DEMAG (c1) et INGERSOLL RAND (c2) leur arrêt différé est géré par la carte électronique.

Etant à la disposition du modèle nous allons à la rédaction du programme déduit des relations qui nous donnent les différents signaux. Après avoir transféré le programme à l'automate programmable, on parlera de processus automatisé.

Chapitre III : Automatisation de l'installation

1. Introduction

Les automates programmables industriels (API) occupent aujourd'hui une place indiscutable dans tous les secteurs de l'industrie, l'automobile, l'aéronautique, l'agroalimentaire, etc.

Avant, l'utilisation de relais électromagnétiques et des systèmes pneumatiques, pour la réalisation des parties de commande, était la plus répandue : on parlait alors de logique câblée. Cependant, ces systèmes de commande présentaient quelques inconvénients : coût élevé, pas de flexibilité, pas de communication possible.

Ainsi, la solution proposée est l'utilisation des systèmes à base de microprocesseurs (API) permettant une modification aisée des systèmes automatisés : on parle alors de logique programmée.

L'automate programmable industriel (API) est défini comme un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques. Il possède une mémoire programmable dans laquelle on fait entrer, à l'aide d'un logiciel approprié, toutes les instructions concernant le cycle du processus à automatiser. Leur programmation ne nécessite pas la connaissance d'un langage informatique (à la différence des ordinateurs, les API utilisent un langage simplifié).

Il convient à l'utilisateur d'établir des charges de son système, et de regarder sur le marché l'automate le mieux adapté, en considérant un certain nombre de critères.

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

- Gamme diversifiée de CPU.
- Gamme Complète de module.
- Possibilité d'extension jusqu'à 32 modules.
- Possibilité de mise en réseau avec :
 - PROFIBUS.
 - L'interface multipoints.

L'automate S7-300 est programmé à l'aide du logiciel STEP7.

2. Présentation du STEP 7

STEP7 est le progiciel de base pour la configuration et la programmation de systèmes d'automatisation SIMATIC. Il fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC. Il présente les fonctionnalités suivantes :

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

2.1. Langages de programmation

Il existe trois langages de programmation des automates dans STEP7, qui sont normalisés au plan international par la norme CEI61131-3.

Chaque automate se programme via une console de programmation propriétaire, ou par un ordinateur équipé du logiciel constructeur spécifique. Ces langages de programmation se résument en :

- ❖ Liste d'instructions (IL : instruction List), LIST : langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs. Très peu utilisé par les automaticiens.
- ❖ Langage à contacts (LD : ladder diagram), CONT : langage graphique développé pour les électriciens. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseau (labels). C'est le plus utilisé.
- ❖ Blocs fonctionnels (FBD : function bloc diagram), LOG : langage graphique où des fonctions sont représentés par des rectangles avec les entrées à gauche et à droite. Les blocs sont programmés ou programmables. Très peu utilisé.

2.2. Structure du programme

Il existe trois types de structures de programme :

- **Programme linéaire** : toutes les opérations sont contenues dans le même bloc d'organisation (OB), qui traite cycliquement le programme.
- **Programme segmenté** : les opérations des différentes fonctions sont contenues dans des blocs isolés. L'OB1 appelle ces blocs l'un après l'autre.
- **Programme structuré** : les fonctions réutilisables sont chargées dans différents blocs et l'OB1 fait appel à ces blocs et délivrent les données correspondantes. On utilise souvent le programme structuré car il simplifie l'organisation et la gestion du programme. Le test du programme peut être exécuté section par section et facilite la mise en service.

2.3. Blocs utilisateurs

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

- **Blocs d'organisation OB** : Ils constituent l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur. Ils sont appelés par le système d'exploitation et gèrent le traitement du programme cyclique. Ils sont déclenchés par alarme, ou par le comportement à la mise en route de l'automate programmable et par le traitement des erreurs. Nous pouvons programmer les blocs d'organisation et déterminer ainsi le comportement de la CPU.
- **Blocs fonctionnels (FB)** : C'est un bloc de code "avec mémoire". Lui sert de mémoire un bloc de données d'instance, qui lui est associé et dans lequel

les paramètres effectifs et les données statiques du bloc fonctionnel sont stockés.

- **Blocs fonctionnels (FC) :** C'est un bloc de code "sans mémoire" dont les paramètres de sortie affichent, en fin d'exécution, les valeurs qu'ils ont calculées. Le traitement ultérieur et la sauvegarde de ces résultats doivent donc être considérés par l'utilisateur, lorsqu'il programme l'appel de la fonction.
- **Blocs de données(DB) :** Ils servent à stocker les données du programme utilisateur. On fait la distinction entre les blocs de données globaux et les blocs de données d'instance :
 - Les blocs de données globaux ne sont pas affectés à un bloc précis.
 - Les blocs de données d'instance sont associés à un bloc fonctionnel et peuvent contenir, en plus des données de ce FB, les données de multi instances que l'on aura éventuellement définies.

Les blocs utilisés dans notre projet sont donnés sur la figure III.1.

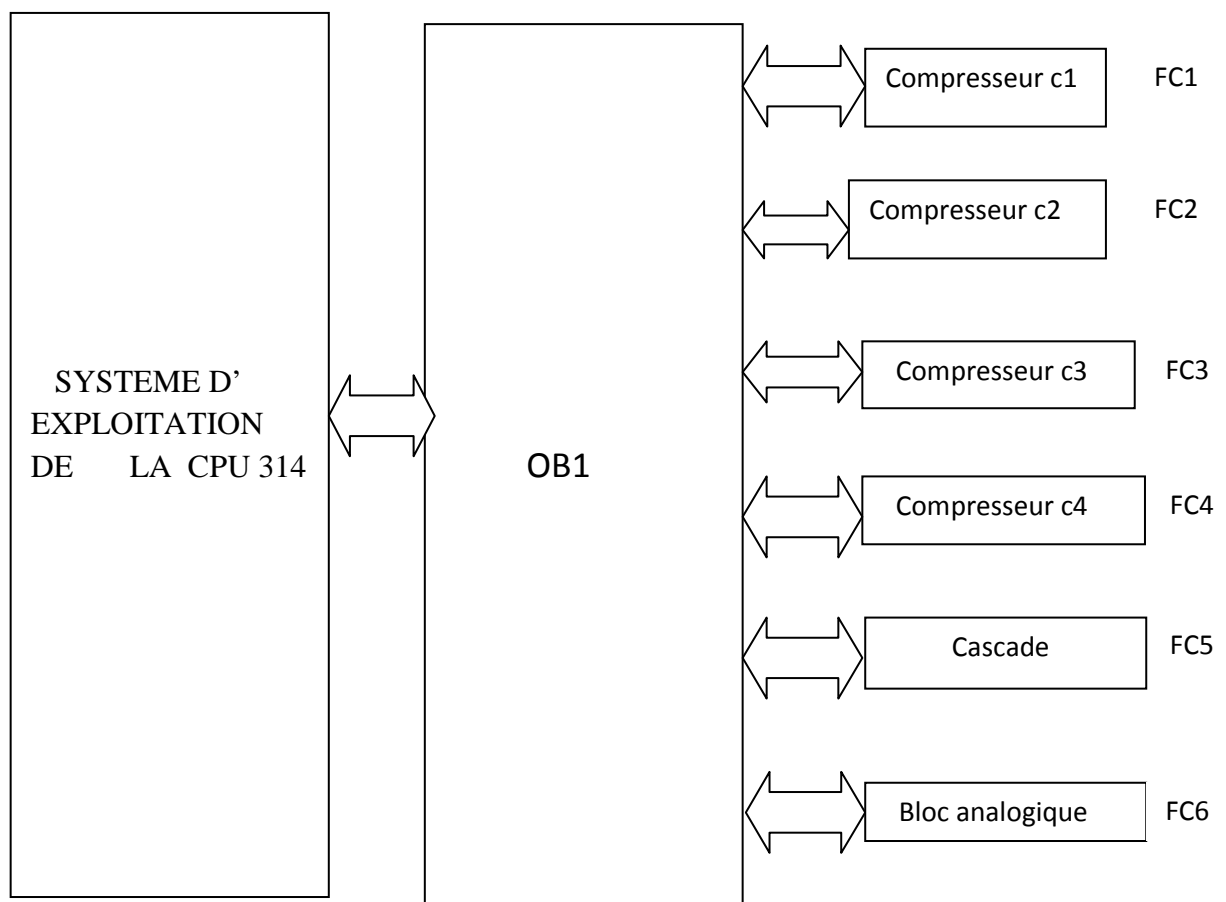


Figure III.1 : représentation de l'organisation de notre programmation structurée.

3. Création d'un projet avec STEP7

Avec le logiciel STEP7 version 5.4 installé, les différentes étapes pour la création d'un projet sont résumées comme suit :

a)Création d'un nouveau projet

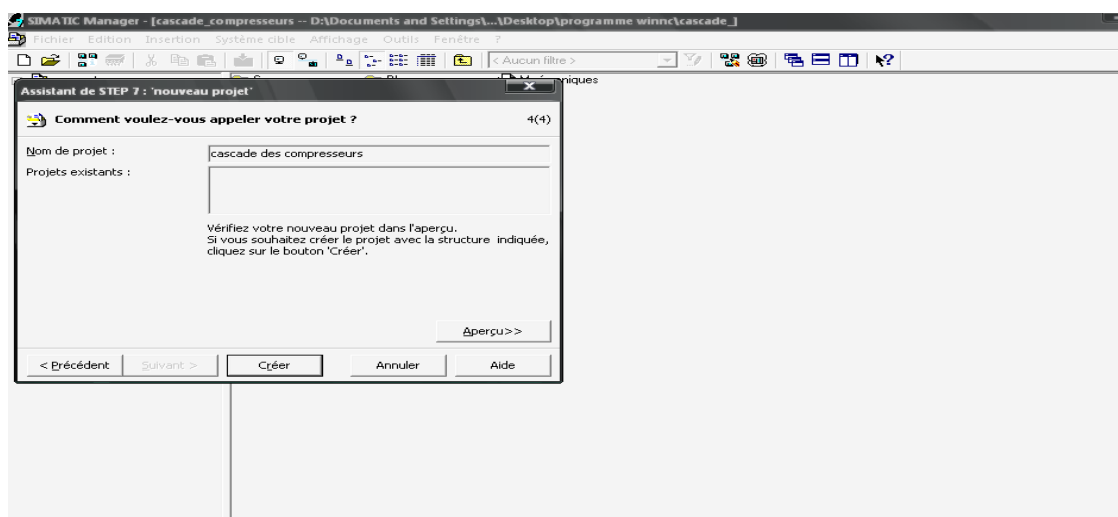


Figure III.2 : création d'un nouveau projet

b) Espace de travail

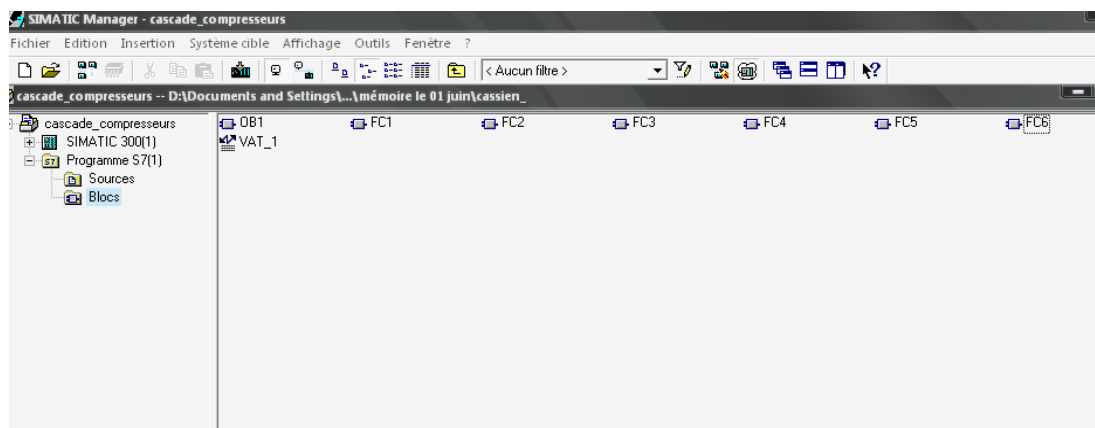


Figure III. 3 : espace de travail.

c) La configuration matérielle

La configuration matérielle (figure III.4) est faite à base du nombre d'entrées et de sorties, ainsi que la nature de signaux et d'appareils qui seront en communication avec l'automate concerné.

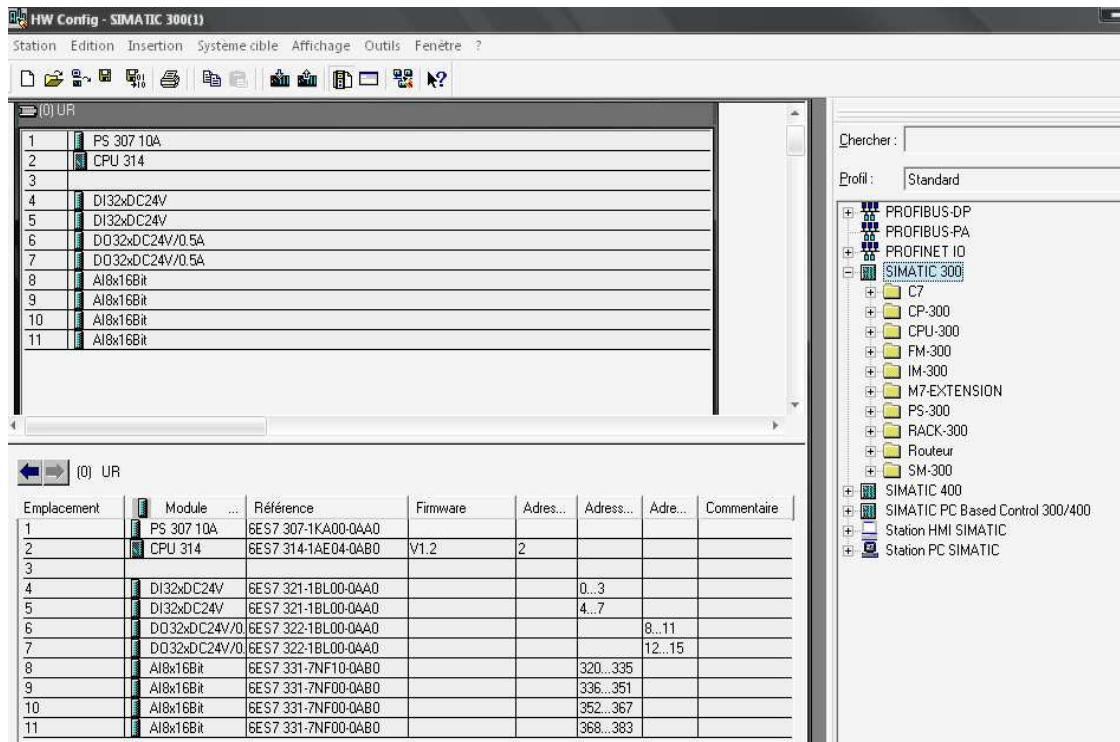


Figure III.4 : la configuration matérielle.

d) Edition des mnémoniques

A partir de la configuration matérielle, on fait associer les différentes adresses disponibles aux entrées-sorties. On peut retrouver les mnémoniques utilisés dans notre projet dans l'annexe C.

4. Conversion du GRAFCET en programme STEP7

A partir des différents signaux déjà décrits dans notre grafcet, on peut déterminer les relations qui leur correspondent, ce qui nous permet de faire le programme STEP7 en langage LADDER.

Décrivons maintenant la cascade, c'est-à-dire la mise en marche ou la mise à l'arrêt automatique d'un compresseur. En partant de l'hypothèse que le compresseur sélectionné comme maître ne s'arrête pas (bien entendu la régulation de sa pression est tout simplement la mise à vide), nous avons les cas suivants :

4.1. C1 maître

En cas de pression minimale, c2 démarre automatiquement après un temps t1, c3 après un temps t2 et c4 après un temps t3 (tableau III.1).

Si après, la pression reste maximale après un temps t1c, c4 s'arrête automatiquement ensuite c3 après t2c, et enfin c2 après t3c (tableau III.2).

Différents instants Combinaisons possibles	T1	T2	T3
$\overline{c_2}\overline{c_3}\overline{c_4}$	$c_{2t1} = \overline{C_2}\overline{C_3}\overline{C_4}$	$c_{3t2} = \overline{C_2}\overline{C_3}\overline{C_4}$	$c_{4t3} = \overline{C_2}\overline{C_3}\overline{C_4}$
$c_2\overline{c_3}\overline{c_4}$	$C_{3t1} = \overline{C_2}\overline{C_3}\overline{C_4}$	$C_{4t2} = \overline{C_2}\overline{C_3}\overline{C_4}$	
$c_2c_3\overline{c_4}$	$C_{4t1} = \overline{C_2}\overline{C_3}\overline{C_4}$		

Tableau III.1 : relations pour la mise en marche automatique quand c1 est maître.

Différents instants Combinaisons possibles	T1c	T2c	T3c
c2c3c4	C4t1c = C2c3c4	C3t2c= C2c3c4	C2t3c= C2c3c4
c2c3c4	C3t1c = C2c3c4	C2t2c= C2c3c4	
c2c3c4	C2t1c= C2c3c4		

Tableau III.2 : relations pour la mise à l'arrêt automatique quand c1 est maître.

4.2. C2 maître

Différents instants Combinaisons possibles	T1	T2	T3
c1c3c4	C1t1= C1c3c4	C3t2= C1c3c4	C4t3= C1c3c4
c1c3c4	C3t1= C1c3c4	C4t2= C1c3c4	
c1c3c4	C4t1= C1c3c4		

Tableau III.3 : relations pour la mise en marche automatique quand c2 est maître.

Différents instants Combinaisons possibles	T1c	T2c	T3c
c1c3c4	C4t1c= C1c3c4	C3t2c= C1c3c4	C1t3c=C1c3c4
c1c3$\overline{c4}$	C3t1c= C1c3$\overline{c4}$	C1t2c= C1c3$\overline{c4}$	
c1$\overline{c3c4}$	C1t1c= C1$\overline{c3c4}$		

Tableau III.4 : relations pour la mise à l'arrêt automatique quand c2 est maître.

4.3. C3 maître

Différents instants Combinaisons possibles	T1	T2	T3
c1c2c4	C1t1= C1c2c4	C2t2= C1c2c4	C4t3= C1c2c4
c1c2$\overline{c4}$	C2t1= C1c2$\overline{c4}$	C4t2= C1c2$\overline{c4}$	
c1$\overline{c2c4}$	C4t1= C1$\overline{c2c4}$		

Tableau III.5 : relations pour la mise en marche automatique quand c3 est maître.

Différents instants Combinaisons possibles	T1c	T2c	T3c
c1c2c4	C4t1c= C1c2c4	C2t2c= C1c2c4	C1t3c= C1c2c4
c1c2c4	C2t1c= C1c2c4	C1t2c= C1c2c4	
c1c2c4	C1t1c= C1c2c4		

Tableau III.6 : relations pour la mise à l'arrêt automatique quand c3 est maître.

4.4. C4 maître

Différents instants Combinaisons possibles	T1	T2	T3
c1c2c3	C1t1= C1c2c3	C2t2= C1c2c3	C3t3= C1c2c3
c1c2c3	C2t1= C1c2c3	C3t2= C1c2c3	
c1c2c3	C3t1= C1c2c3		

Tableau III.7 : relations pour la mise en marche automatique quand c4 est maître.

Différents instants Combinaisons possibles	T1c	T2c	T3c
c1c2c3	C3t1c= C1c2c3	C2t2c= C1c2c3	C1t3c= C1c2c3
c1c2c3̄	C2t1c= C1c2c3̄	C1t2c= C1c2c3̄	
c1c2̄c3̄	C1t1c= C1c2̄c3̄		

Tableau III.8 : relations pour la mise à l'arrêt automatique quand c4 est maître.

5. Programme STEP7 correspondant

Prenons l'exemple du *compresseur c1*, car tout raisonnement utilisé pour trouver les relations liées à c1 est analogue à c2, c3 et c4.

5.1. Sélection de c1 comme maître

Si c1 est sélectionné comme maître (groupe de base) (figure III.5), tous les autres compresseurs deviennent des esclaves avec des degrés précisés ci-dessus.

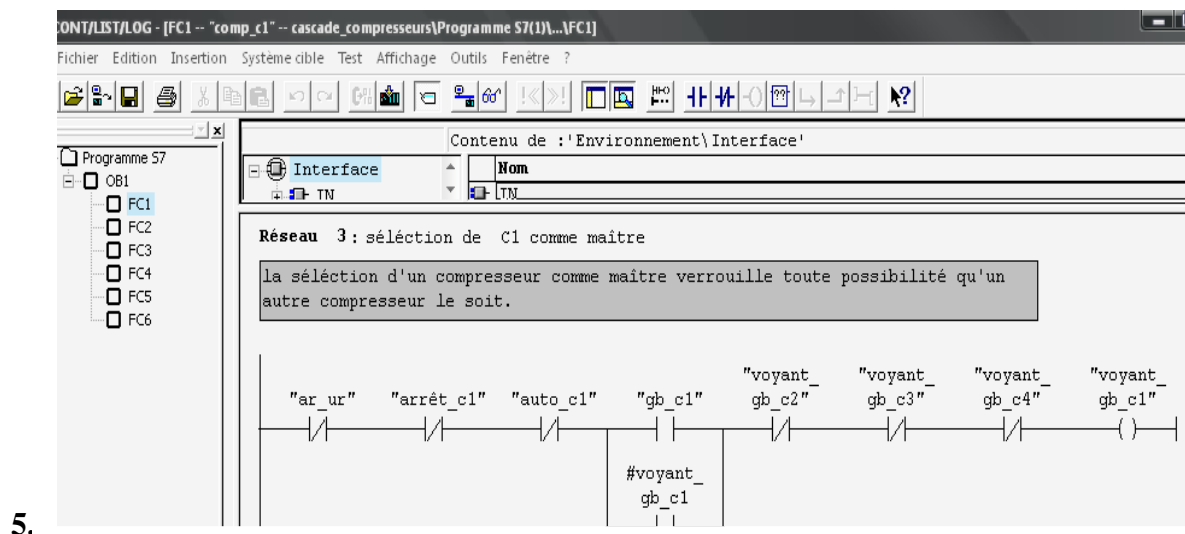


Figure III.5 : programme STEP7 pour la sélection de c1 comme maître.

Le signal *c1* (mémento M0.2 dans le programme) commandant le compresseur *c1* est à 1 si le compresseur est maître ou si un signal de mise en marche automatique (*c1t1*) est activé. Il est mis à 0 si un signal de mise à l'arrêt automatique (*c1t1c*, *c1t2c* ou *c1t3c*) est activé (Figure III.6).

En résumé, nous avons:

- M0.2 correspond à *c1*
- M1.2 correspond à *c2*
- M2.2 correspond à *c3*
- M3.2 correspond à *c4*

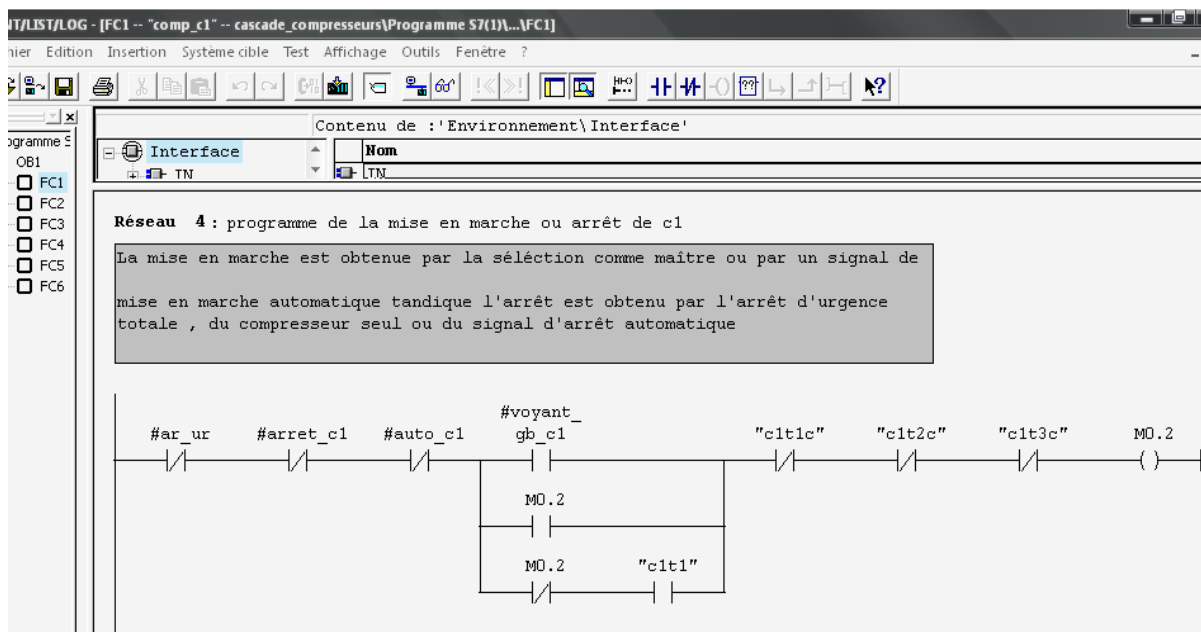


Figure III.6 : programme STEP7 des conditions de mise en marche et arrêt de *c1*.

❖ *Obtention des signaux de mise en marche ou arrêt automatique*

Obtention de *c1t1*: Si la pression reste minimale pendant *t1* réglable, le signal de mise en marche du compresseur *c1* est activé. Tout cela est possible quand le compresseur a déjà atteint le régime nominal (figure III.7).

Les différentes combinaisons nous donnent différentes possibilités d'avoir *c1t1* selon que tel ou tel compresseur est maître (figure III.8).

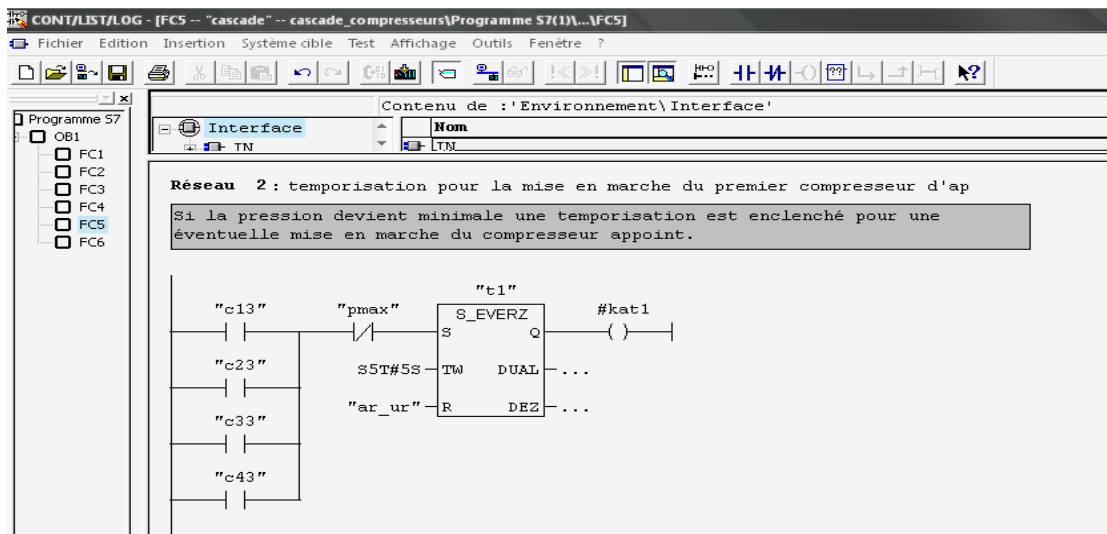


Figure III.7 : programme STEP7 : la temporisation t1 de mise en marche.

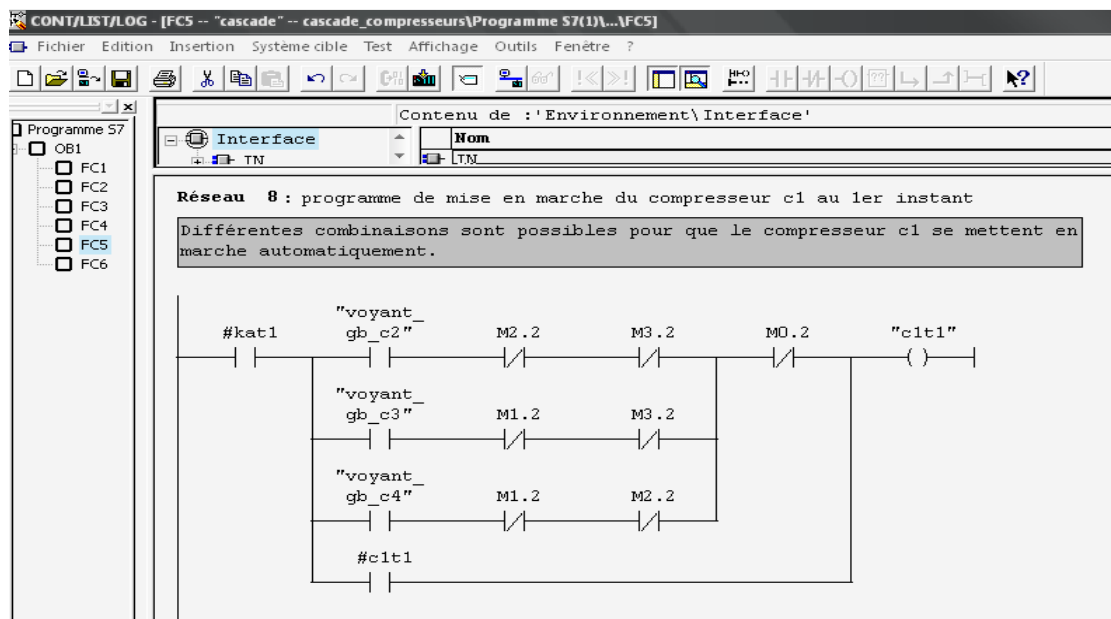


Figure III.8 : programme STEP7 : conditions d'obtention de c1t1.

Obtention de c1t1c : Si la pression reste maximale pendant un certain temps t1c réglable, le signal de mise à l'arrêt est activé (figure III.9). Les différentes combinaisons nous donnent différentes possibilités d'avoir c1t1c selon que tel ou tel compresseur est maître (figure III.10).

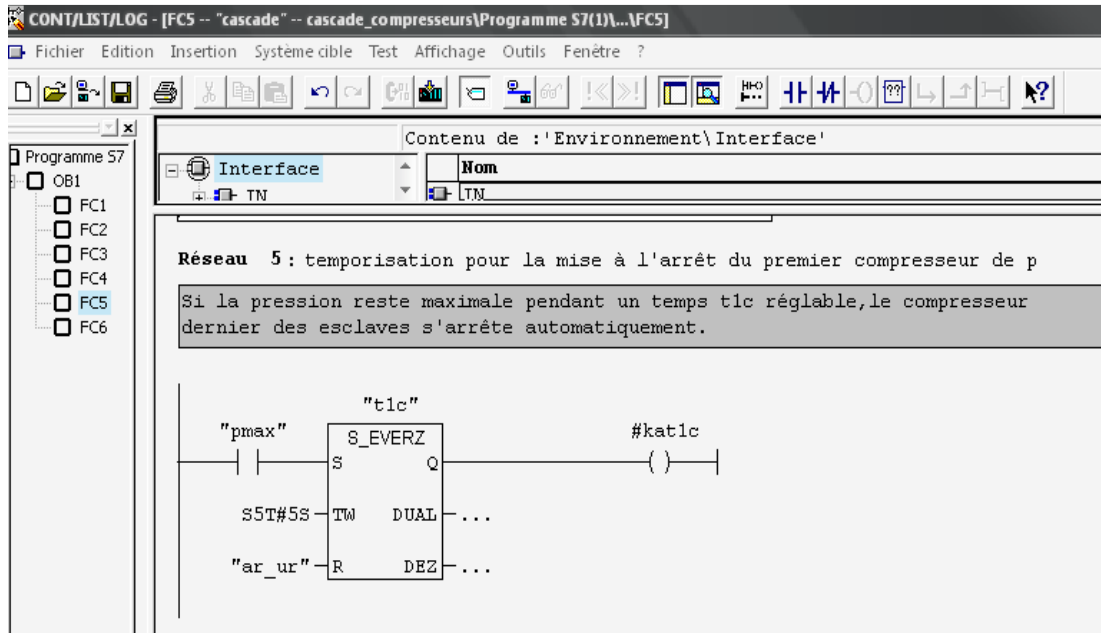


Figure III.9 : programme STEP7 : la temporisation t1c de mise à l'arrêt automatique.

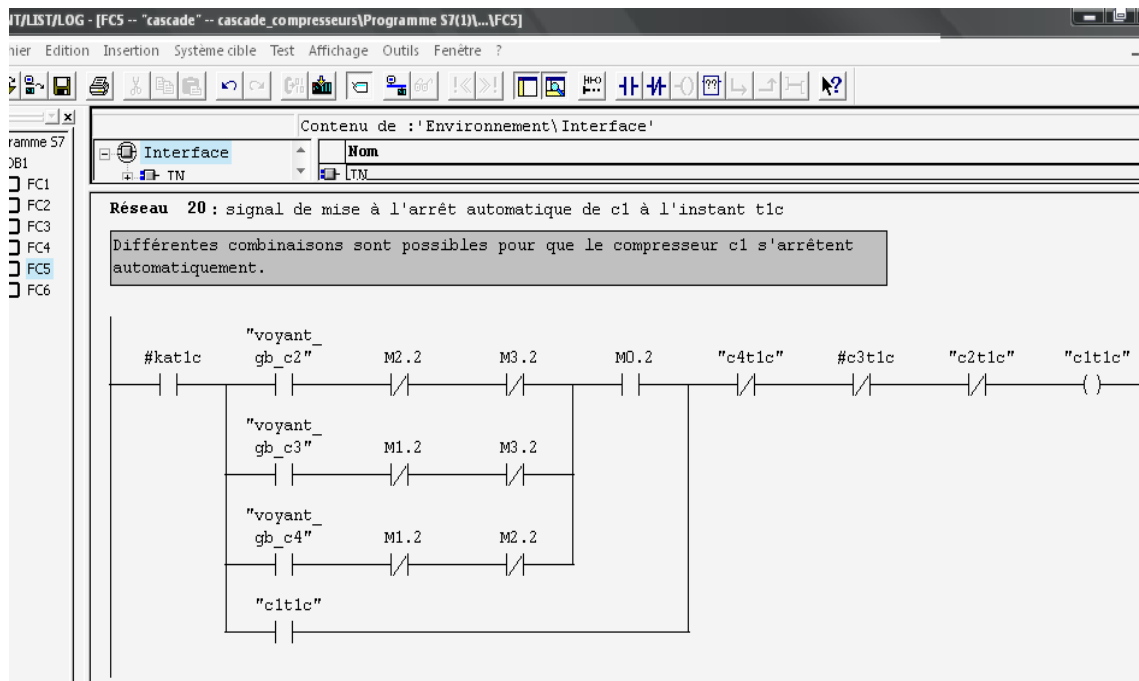


Figure III.10 : programme STEP7 : conditions d'obtention de c1t1c.

5.3. Période d'anti recycle

C'est le temps pendant lequel un compresseur, en fonctionnement automatique, est forcé de rester en marche, qu'on ait besoin de lui ou pas (figure III.11 et figure III.12). Il est réglable par un opérateur qualifié.

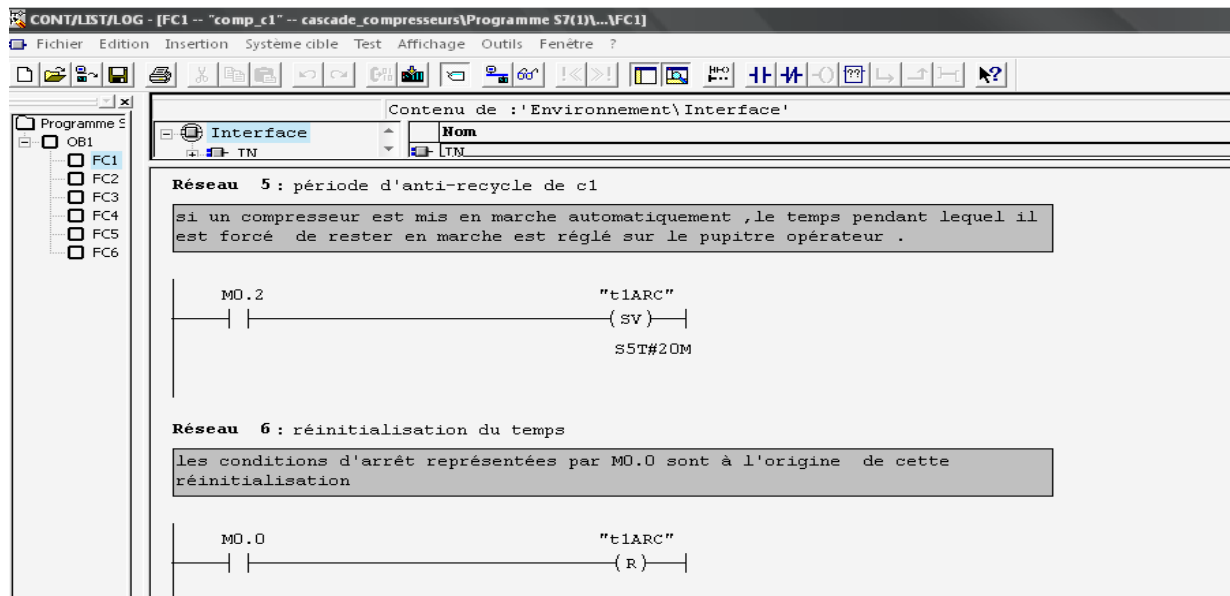


Figure III.11 : programme STEP7 : période d'anti-recycle.

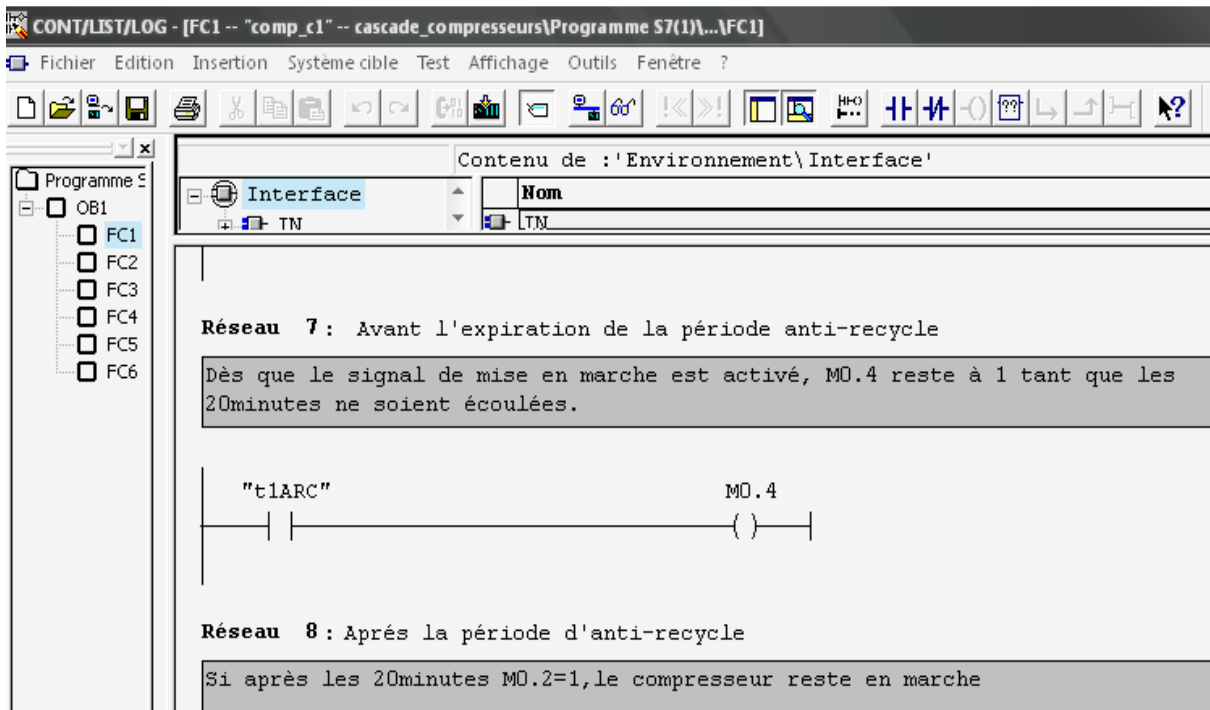


Figure III.12 : programme STEP7 : signaux pour la commande de l'anti-recycle.

5.4. Démarrage étoile triangle

Au démarrage le moteur fonctionne en étoile, après dix secondes le moteur passe en triangle (figure III.13). En effet, au démarrage le moteur consomme un courant de 3 à 4.5 fois le courant nominal, alors le démarrage étoile pallie à cet inconvénient.

Soient :

c11 : contacteur de ligne.

C12 : contacteur pour le couplage étoile.

C13 : contacteur pour le couplage triangle.

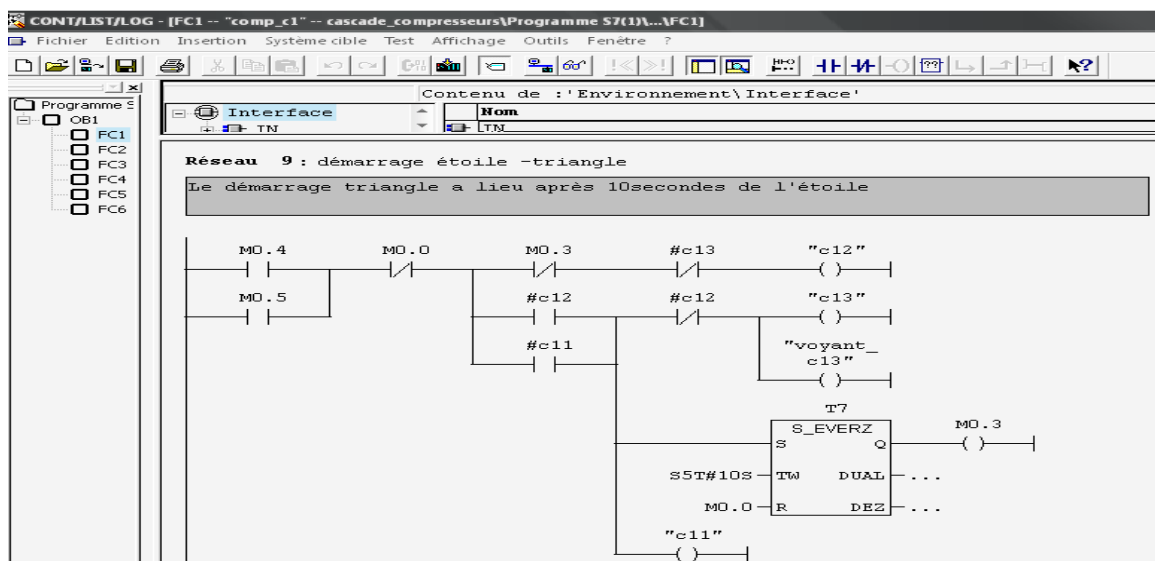


Figure III.13 : programme STEP7 : commande du démarrage étoile triangle du moteur de c1.

5.5. Défauts

Chacun des compresseurs présente quelques défauts, citant entre autre :

- Température élevée du moteur d'entraînement du compresseur.
- Température élevée du moteur d'entraînement du ventilateur.
- Température élevée de l'air au refoulement (supérieure à 100 °c).
- Température élevée de l'huile (supérieure à 100 °c).

- Pression d'huile faible (inférieure à 1 bar)(figure III.14).

Pour ces 3 derniers, avant que la valeur de sécurité (réglée par le constructeur) ne soit atteinte une alarme est déclenchée.

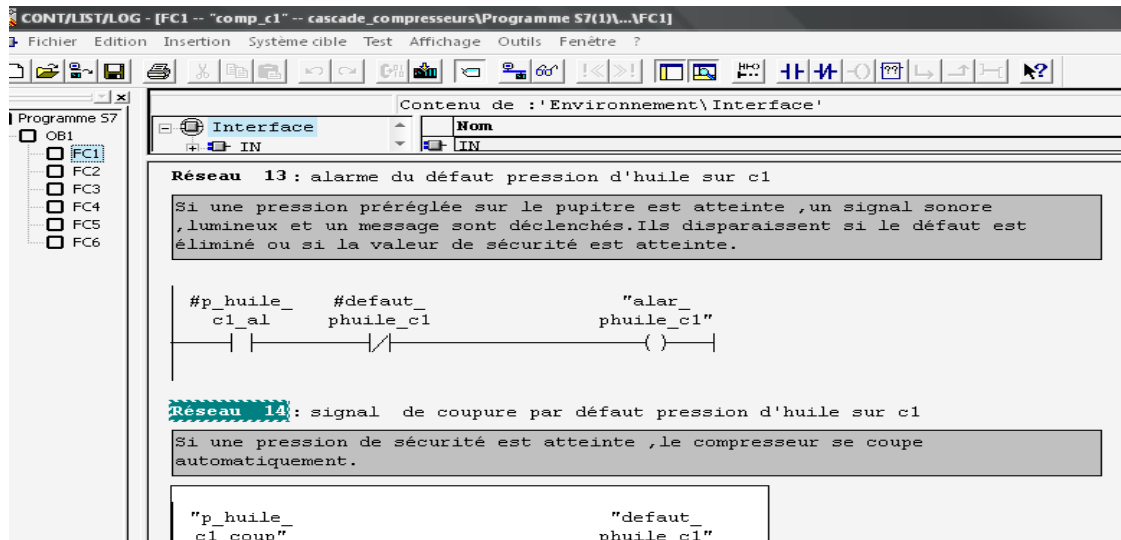
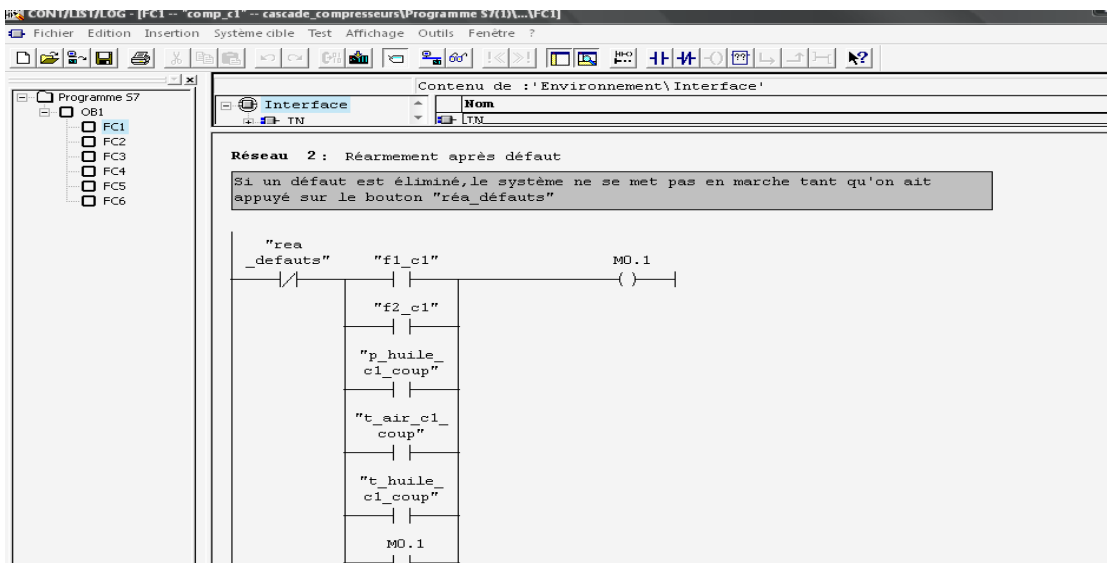


Figure III.14 : programme STEP7 : gestion d'un défaut pression huile sur c1.

Après élimination du défaut, le système ne se met en marche qu'après appui sur le bouton de réarmement après défaut (figure III.15).



garantir l

Figure III.15 : programme STEP7 : réarmement après défaut sur c1.

ir,
ns
ge
de

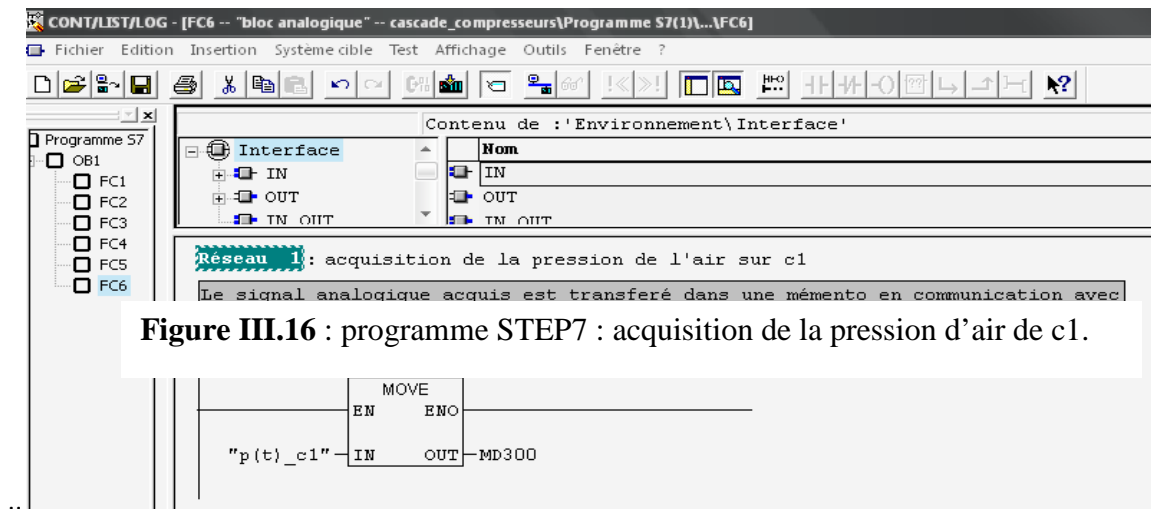


Figure III.16 : programme STEP7 : acquisition de la pression d'air de c1.

Après l'élaboration du programme de la commande en cascade, l'étape suivante est la validation de notre programme par simulation et vérification de son bon fonctionnement. Pour cela, nous utiliserons le logiciel de simulation S7-PLCSIM, qui est un logiciel optionnel de STEP7.

6.1. Présentation

S7-PLCSIM est une application qui permet d'exécuter et de tester le programme développé dans un automate programmable (AP) que l'on simulera dans l'ordinateur ou dans une console de programmation. La simulation étant réalisée au sein du logiciel STEP7, il n'est pas nécessaire qu'une liaison avec un matériel S7 quelconque (CPU ou modules de signaux) soit établie. La CPU S7 simulée permet de tester les programmes destinés, aussi bien aux CPU S7-300 qu'aux CPU S7-400, ainsi que de remédier à d'éventuelles erreurs.

6.2. Simulation de notre programme

Pour la simulation de notre programme, nous suivons les étapes suivantes :

- Etape1 : simulation du programme par bloc, c'est-à-dire charger chaque bloc FC (FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6) tout seul puis effectuer la simulation.
- Etape2 : simulation du cycle complet, c'est-à-dire charger tous les blocs FC (FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6) puis effectuer la simulation du cycle (figure III.17).

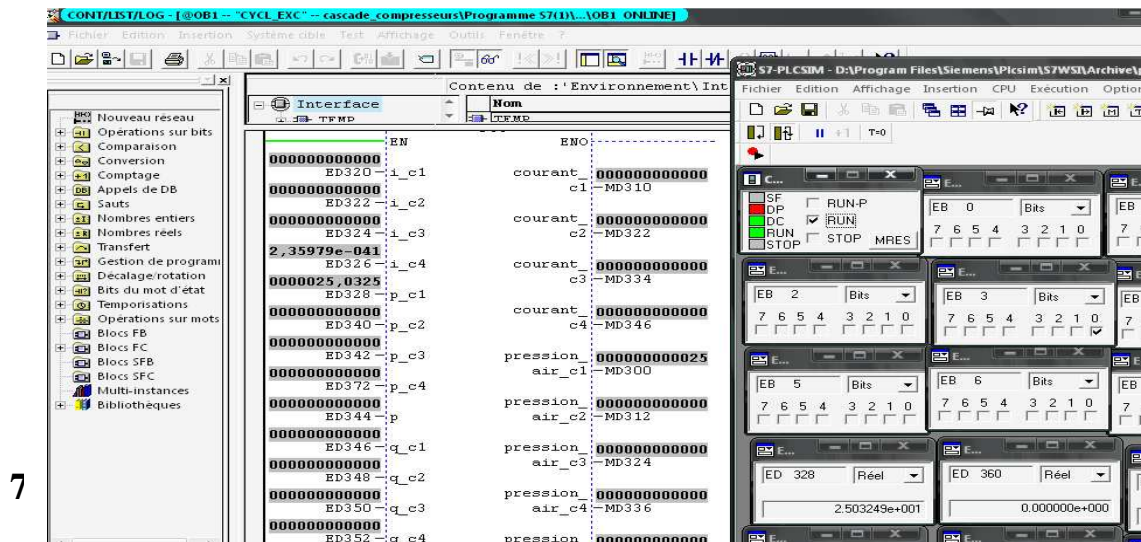


Figure III.17 : programme STEP 7 : vue de la simulation complète. ré un programme en langage LADDER.

En plus, l'acquisition des différentes valeurs de pression d'huile et la température de l'air et d'huile, nous permet de faire le suivi de l'installation pour la sécurité mais aussi pour d'éventuels cas de maintenance.

Le courant et le débit sont deux autres grandeurs qui nous permettront de faire le bilan de l'installation.

Pour accéder à certaines variables de l'API ou pour changer et commander les différents paramètres de l'installation une interface homme-machine est indispensable.

Chapitre IV : Supervision avec MP 277 10'' touch

1. Introduction

La supervision offre beaucoup de possibilités à l'opérateur pour le suivi de son système de production, en milieu industriel. En effet, avec la possibilité d'agir sur les différents paramètres du système, le fonctionnement devient flexible. La centralisation de la surveillance du système réduit le nombre d'opérateurs et par conséquent permet de dégager des économies.

La communication entre un opérateur et le processus est assurée par une interface homme-machine(IHM). Le contrôle proprement dit du processus est assuré par le système d'automatisation.

Les pupitres opérateurs de SIEMENS offrent des fonctionnalités intéressantes avec la possibilité de se connecter sur le réseau. Pour notre cas, le cahier de charges nous a suggéré d'utiliser le SIMATIC multi panel MP277 10''touch. Muni de son propre système d'exploitation Microsoft, c'est un véritable micro-ordinateur.

Dans ce chapitre, nous allons découvrir le logiciel de programmation WinCC flexible 2008 à travers les différentes étapes de programmation :

2. Programme Win CC flexible

2.1. Création d'un nouveau projet

Elle se fait en cliquant sur l'icône « créer un projet avec l'assistant de projet », se trouvant dans l'interface principale de WinCC flexible. La dernière étape consiste à nommer le projet (figure IV.1).

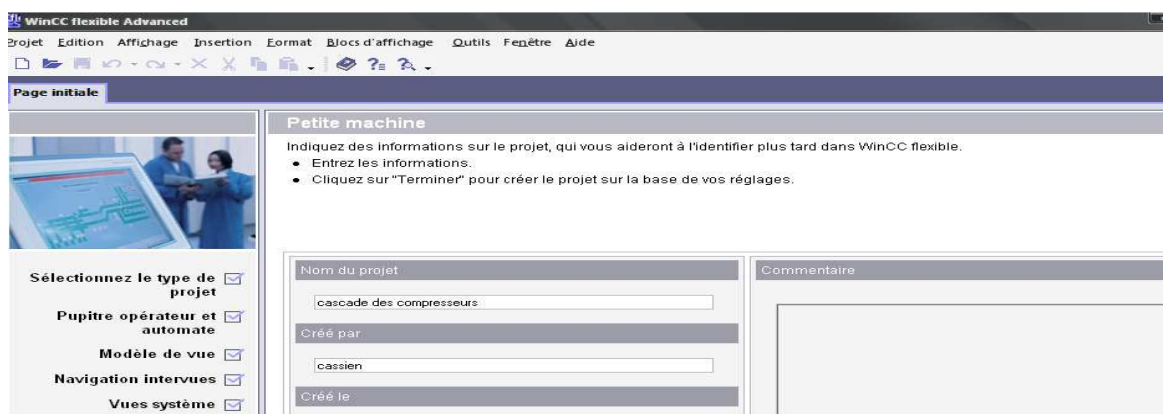


Figure IV.1 : création d'un nouveau projet.

2.2. Sélection du pupitre opérateur

On a la possibilité de sélectionner un pupitre opérateur, chacun avec ses spécificités y compris des pupitres qui ne sont pas du constructeur SIEMENS (figure IV.2).

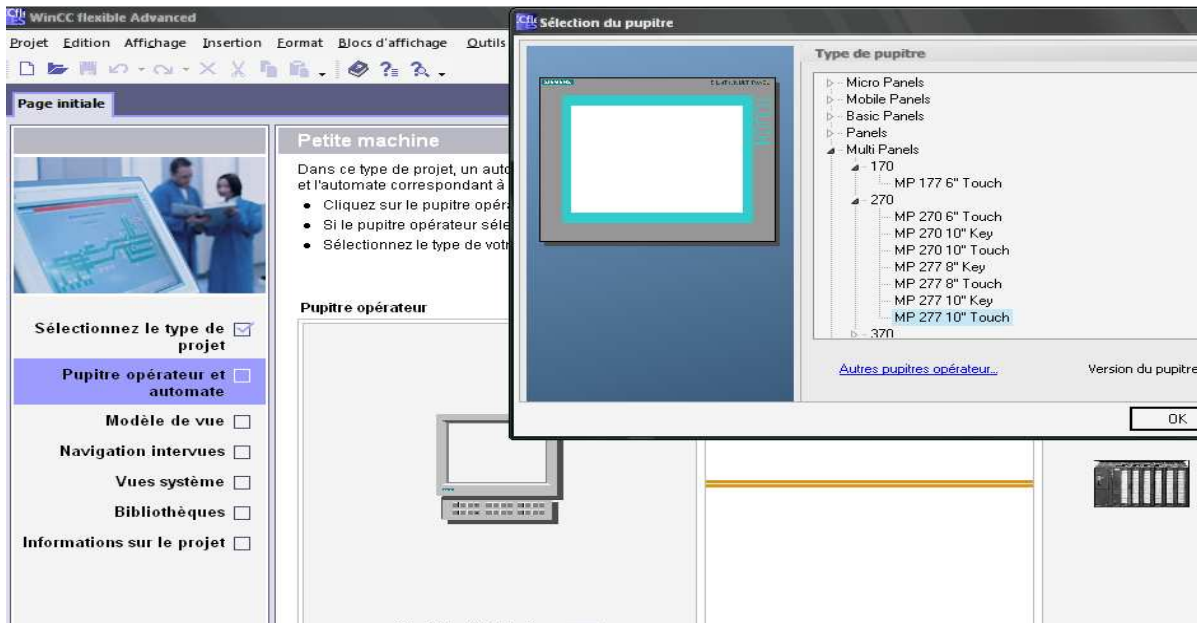


Figure IV.2 : sélection du pupitre opérateur.

2.3. Espace de travail

A l'ouverture, trois fenêtres s'ouvrent (fenêtre de projet, fenêtre des propriétés, fenêtre des outils) ainsi que la vue d'alarmes. Pour l'édition des autres vues on change la configuration de la vue modèle (initiale).

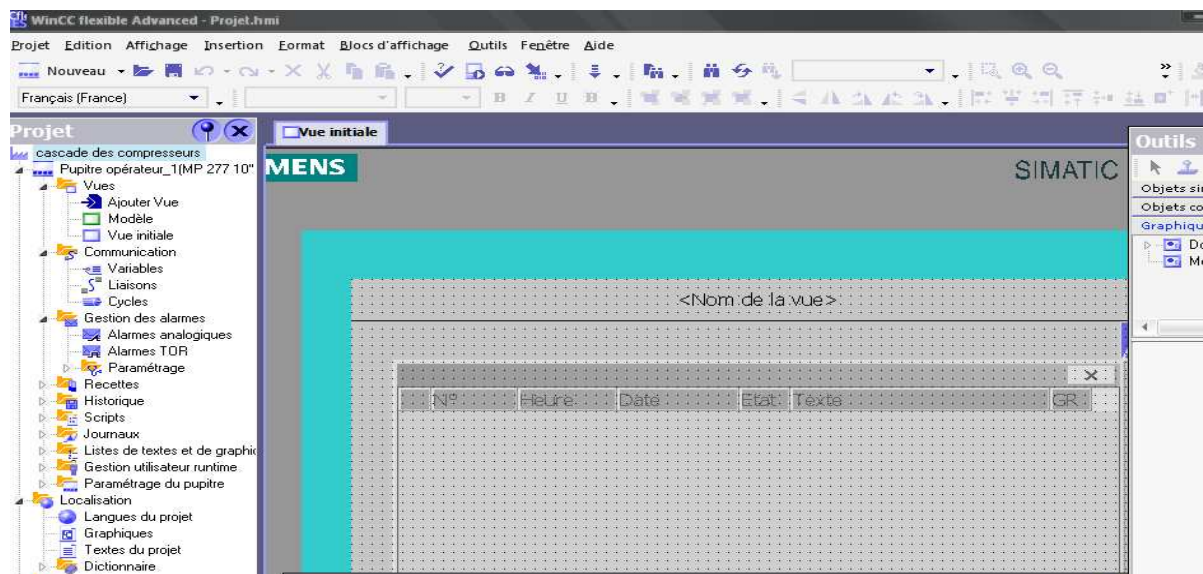


Figure IV.3 : espace de travail

2.4. Edition des vues

Dans WinCC flexible, nous créons des vues pour le contrôle-commande de machines et d'installation ou pour l'affichage des courbes (figure IV.4).



Figure IV.4 : vue d'accueil.

2.5. La communication

Le pupitre opérateur et les automates SIMATIC S7 communiquent via des variables, des plages de données utilisateurs et des réseaux.

Pour notre cas, la communication se fait via le réseau PROFIBUS qui se connecte à l'interface MPI de la CPU.

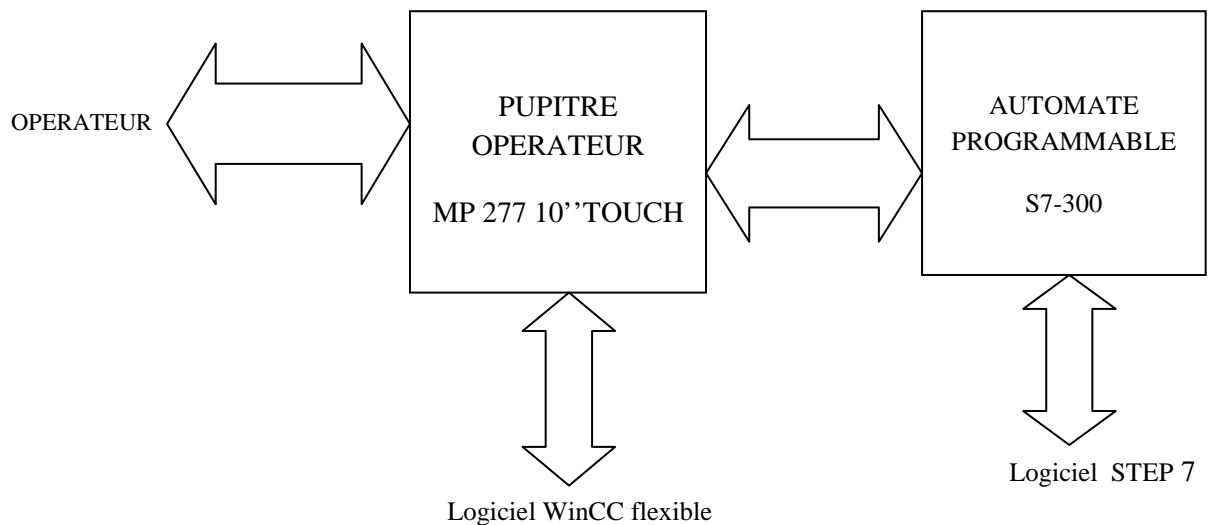


Figure IV.5 : structure de communication entre différents composants du système.

2.6. Edition des variables

On a 2 sortes de variables (figure IV.6) :

- ❖ **Variables internes** : Elles sont enregistrées dans la mémoire du pupitre. Ce dernier peut accéder en lecture ou en écriture aux variables.

Exemple :

- la variable « select_courbes_c1 » gérant la sélection de l’affichage des courbes.
- Variables liées aux valeurs limites comparées aux valeurs du processus pour le déclenchement des alarmes.

- ❖ **Variables externes** : Elles permettent de communiquer, c’est-à-dire d’échanger des données entre les composants d’un processus automatisé : par exemple entre un pupitre opérateur et un automate programmable. Elles sont des images d’une cellule mémoire définie par l’automate.

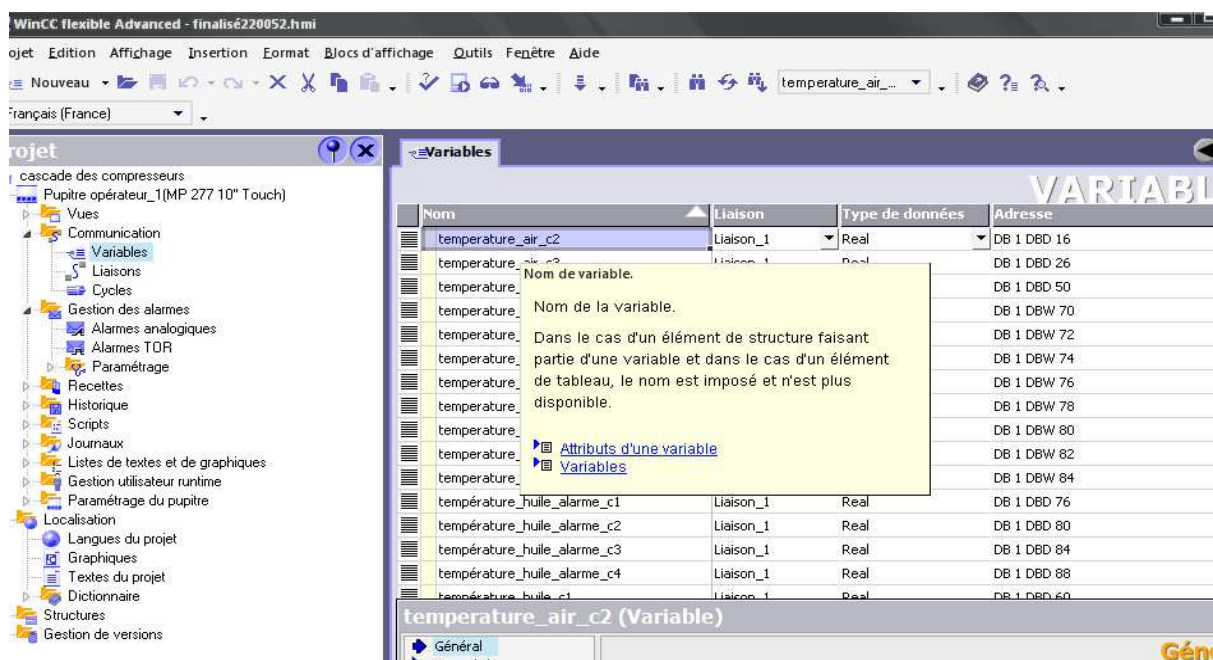


Figure IV.6: édition des variables.

2.7. Alarmes

Les alarmes indiquent les incidents et les états de fonctionnement d’un processus. Elles sont, généralement, déclenchées par l’automate programmable et affichées sur le pupitre opérateur dans une vue. Une alarme se compose toujours de :

- Texte d'alarme qui donne la description de l'alarme.
- Le numéro de l'alarme qui est la référence de l'alarme.
- Déclencheur d'alarme qui est un bit pour les alarmes TOR (figure IV.7) et une valeur limite d'une variable pour les alarmes analogiques (figure IV.8).
- Classe d'alarmes.

Une fois éliminée, elle est acquittée dans la fenêtre d'alarmes par un opérateur ou par l'automate programmable. Les alarmes sont chaque fois archivées.

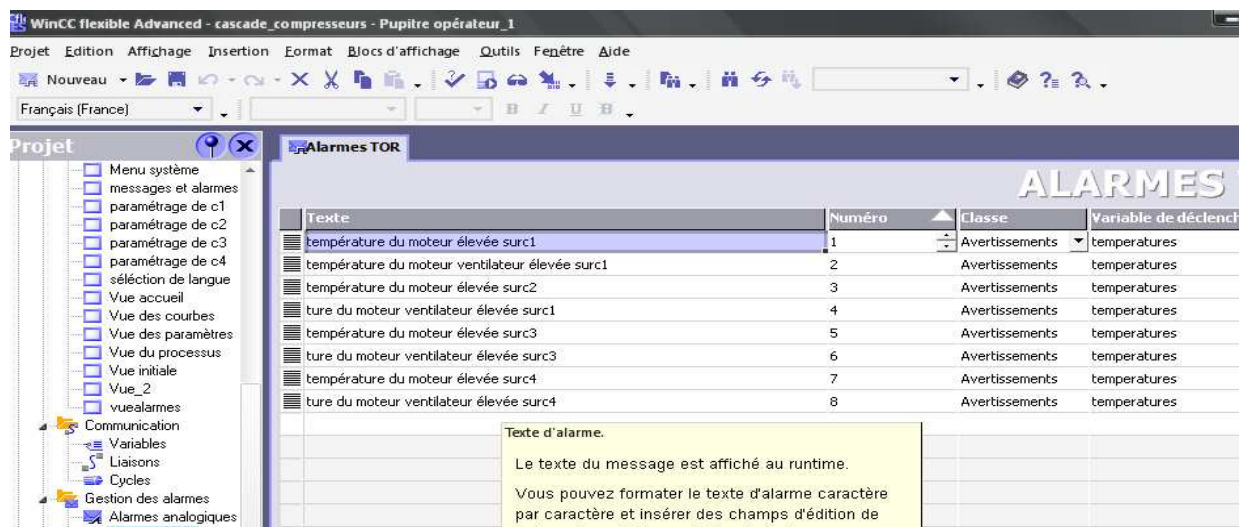
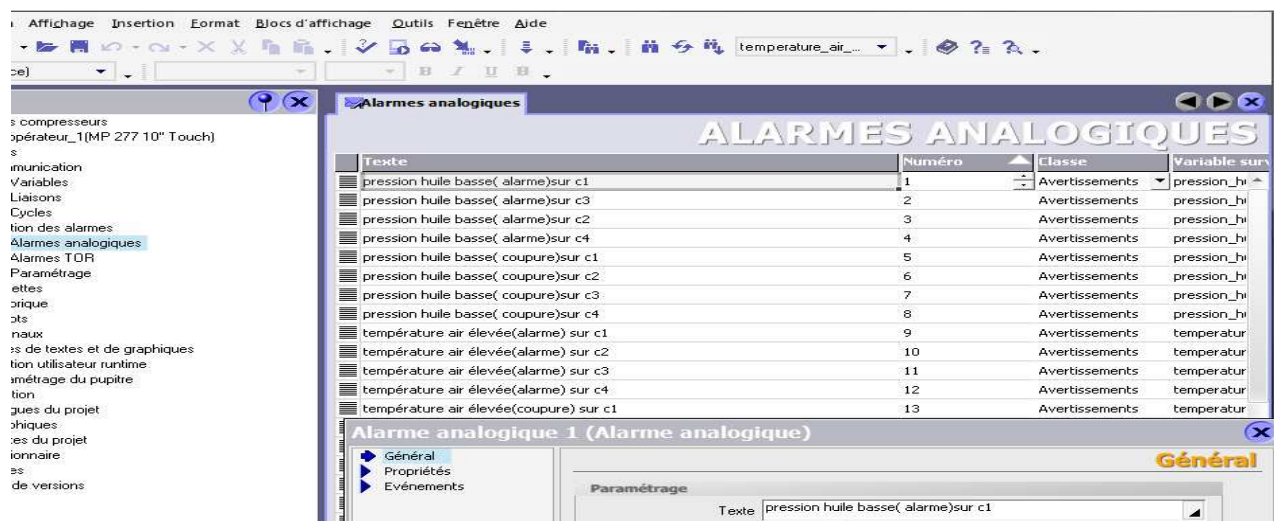


Figure IV.7 : édition des alarmes.



ainsi acquis Figure IV.8: édition des alarmes analogiques. ments économiques

essentielles et des informations techniques sur l'état de fonctionnement de l'installation.

- *Archivage des alarmes* : Win cc flexible permet d'archiver les alarmes afin de documenter les incidents et les états de fonctionnements de l'installation.

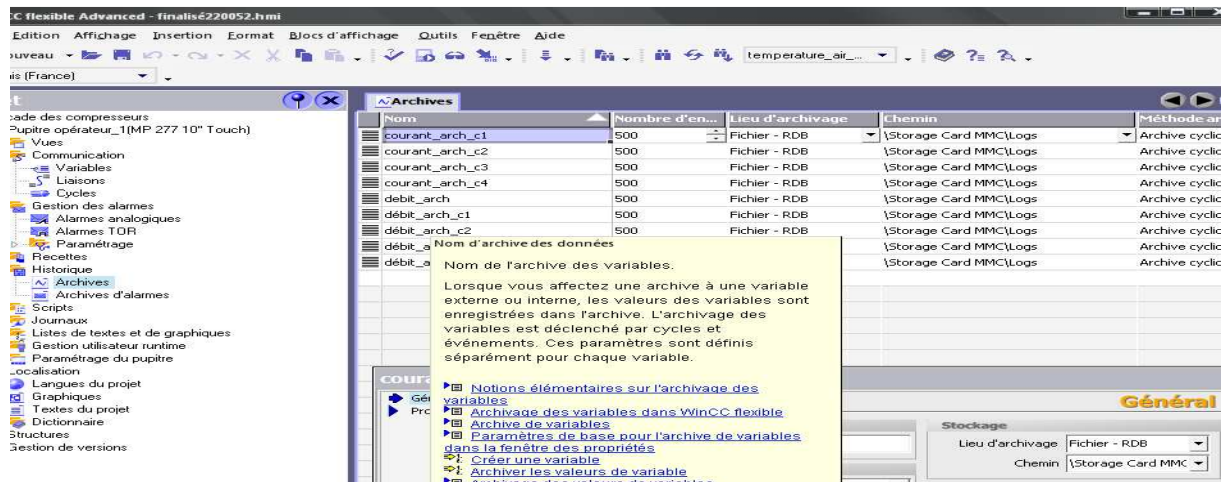


Figure IV.9 : édition des archives de courant et débit.

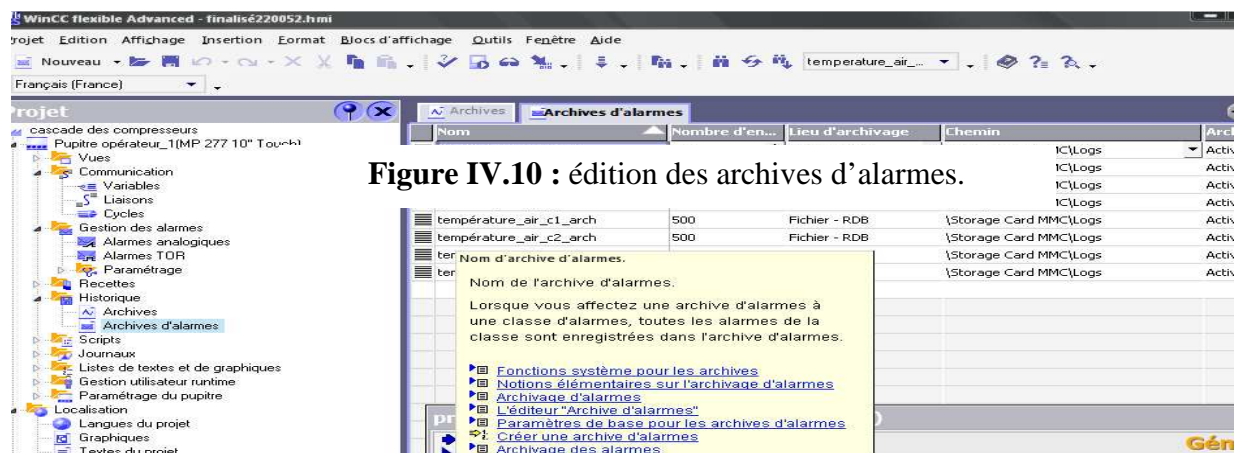


Figure IV.10 : édition des archives d'alarmes.

Pour notre cas, afin de bien assurer la maintenance, nous avons préféré établir un journal pour la pression de l'huile et donc une impression automatique s'effectue à une heure réglable (Figure IV.11).

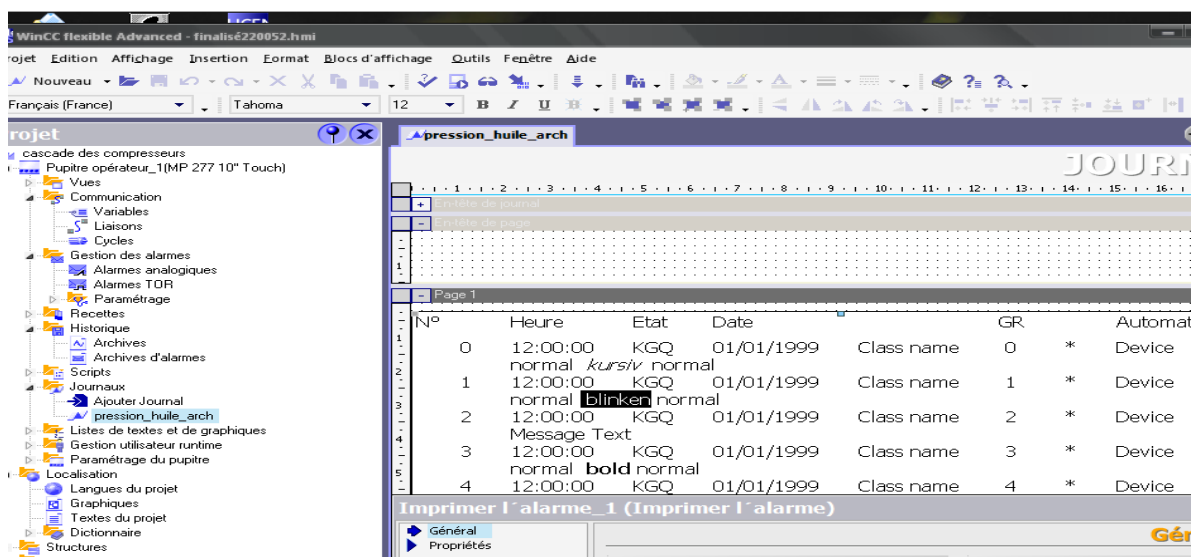


Figure IV.11 : édition du journal de la pression huile.

2.10. Gestion des utilisateurs

La protection d'accès règle l'accès aux données et aux fonctions au *runtime*. On protège, ainsi, des applications contre des accès non autorisés. Dès la création du projet, on limite l'accès de certaines commandes de sécurité à des groupes d'utilisateurs spéciaux (figure IV.12).

Ainsi, les paramètres temps, paramètres de sécurité, le changement de la langue et l'effacement des archives sont protégés par une clé dont, seulement, le personnel qualifié a accès.

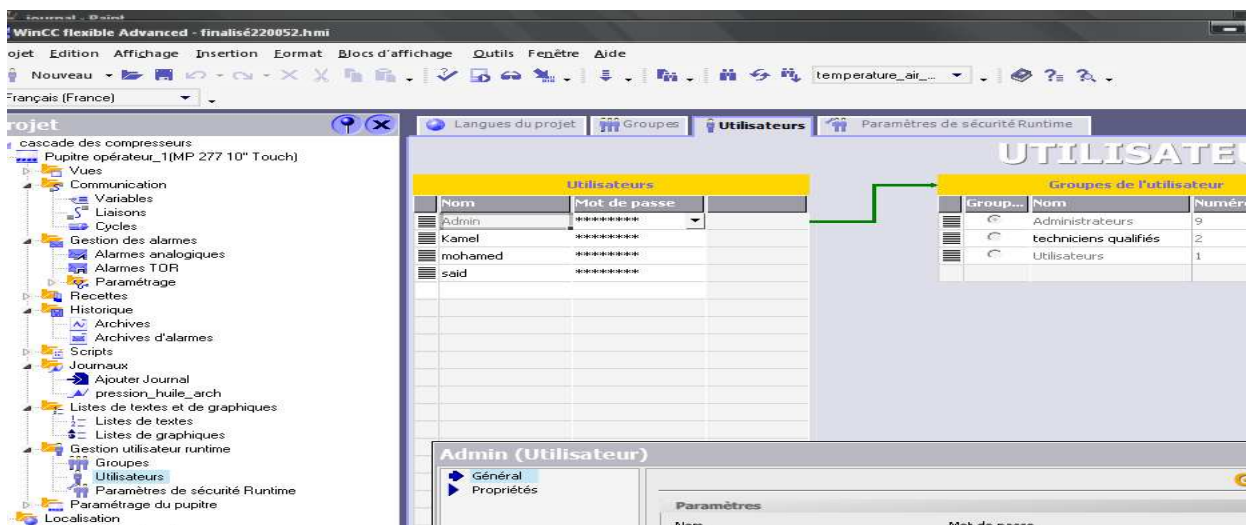


Figure IV.12 : édition du gestionnaire des utilisateurs.

2.11. Interface multilingue

Avec WinCC flexible, on peut configurer les projets en plusieurs langues (figure IV.13).

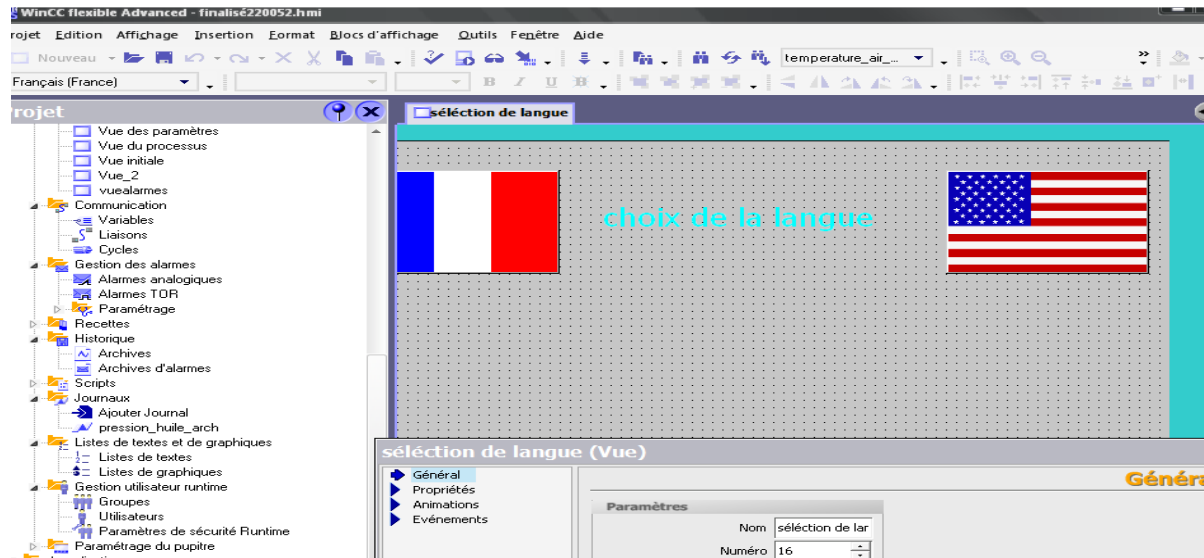


Figure IV.13 : édition de l’interface multilingue.

WinCC flexible runtime est un logiciel utilisé pour la visualisation du processus des projets créés avec le logiciel de configuration WinCC flexible Advanced. L’objectif étant de présenter rapidement et de manière fiable des données du processus, immédiatement, compréhensibles par l’opérateur, par exemple sous forme de courbe graphique.

De plus, l’opérateur attend de plus en plus des représentations du processus qui permettent de simplifier l’affectation au processus réel.

Donc, WinCC flexible est conçu pour la visualisation et l’utilisation des machines et de petites installations. Son interface, entièrement graphique basée sur la technique des fenêtres, permet, grâce à des temps de réactions rapides, une conduite du processus sûre, le mode manuel à vue sur la machine ainsi qu’une collecte sûre des données.

Dans notre cas, nous avons créé plusieurs vues, qui permettent de mieux gérer la communication homme-machine (figure IV. 14, figure IV.15, figure IV.16, figure IV.17, figure IV.18, figure IV.19 et figure IV.20).



Figure IV.14 : fenêtre d'accueil.

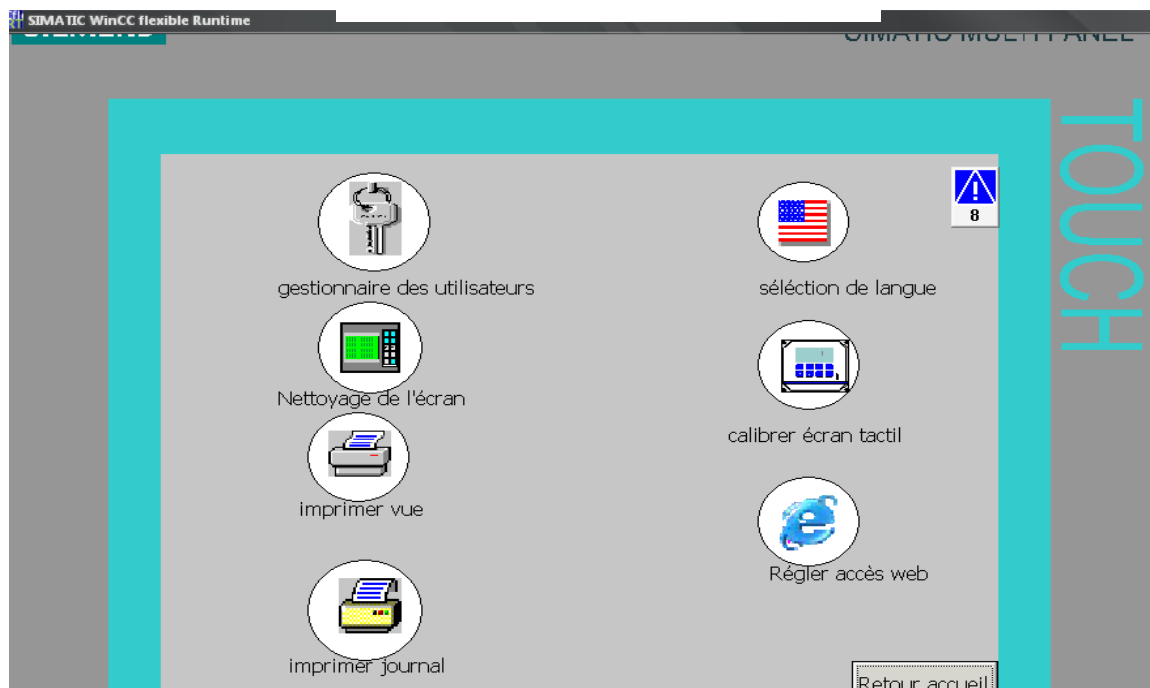


Figure IV.15 : fenêtre du menu système.

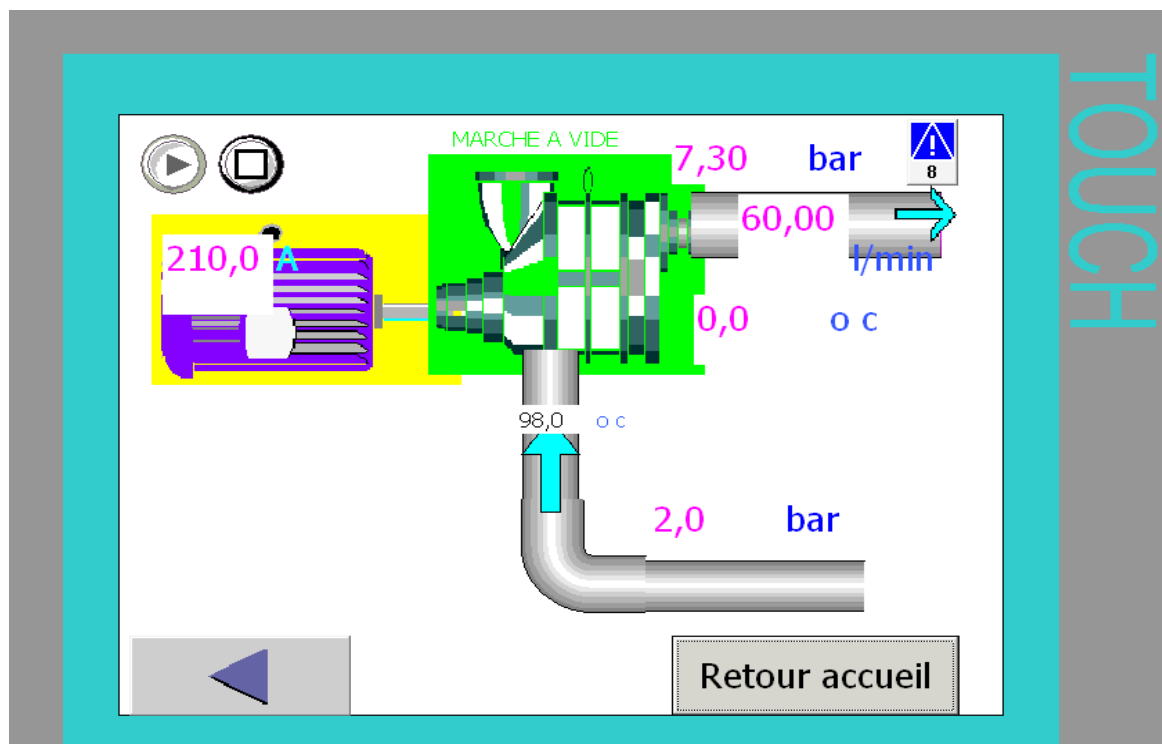


Figure IV.16 : fenêtre de visualisation de l'état du processus.

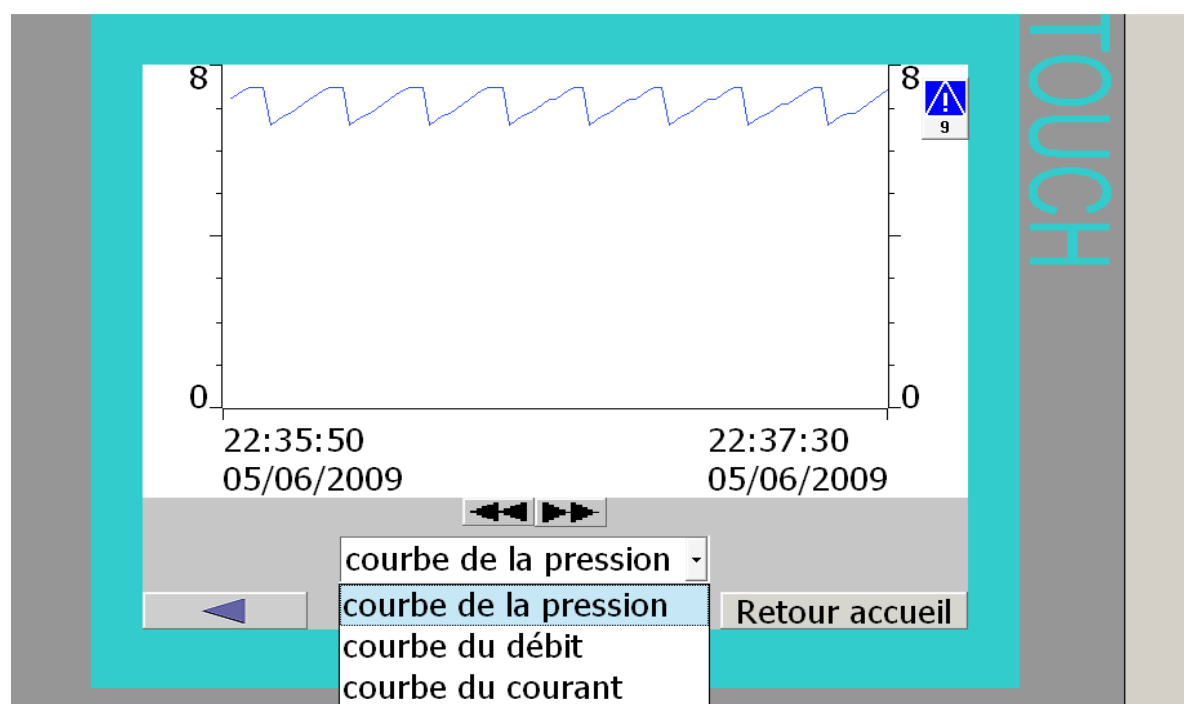


Figure IV.17 : fenêtre de visualisation des courbes.



Figure IV.18 : fenêtre de paramétrage.

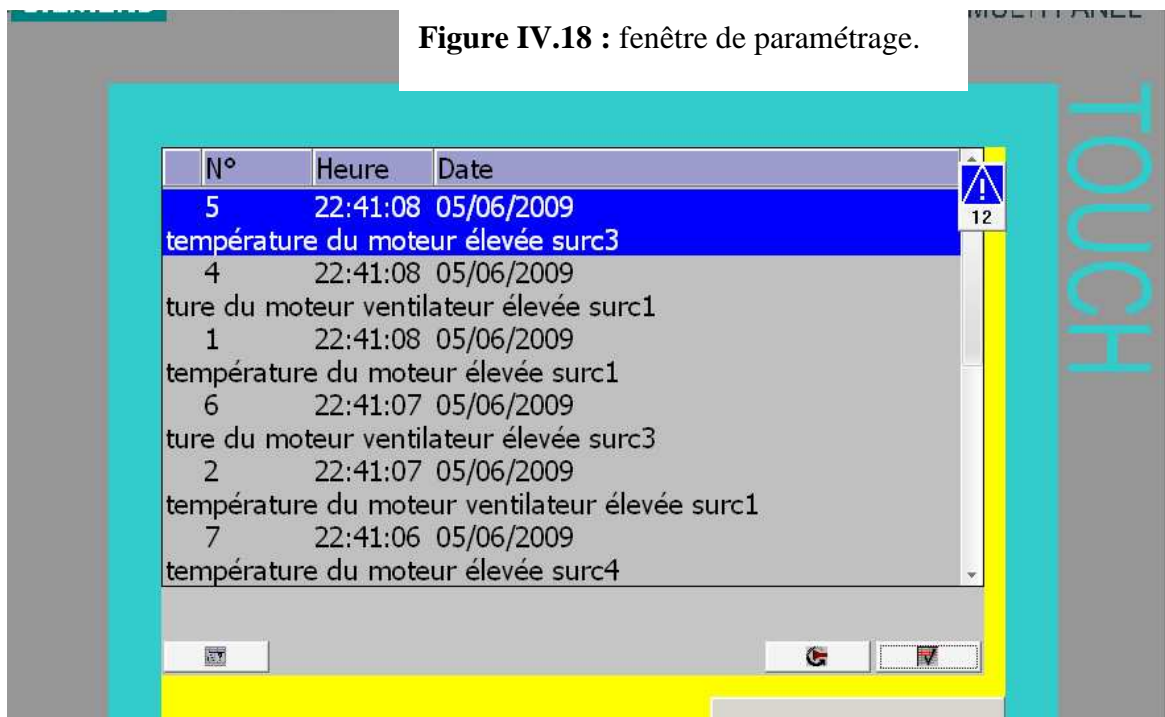


Figure IV.19 : fenêtre de visualisation des alarmes.

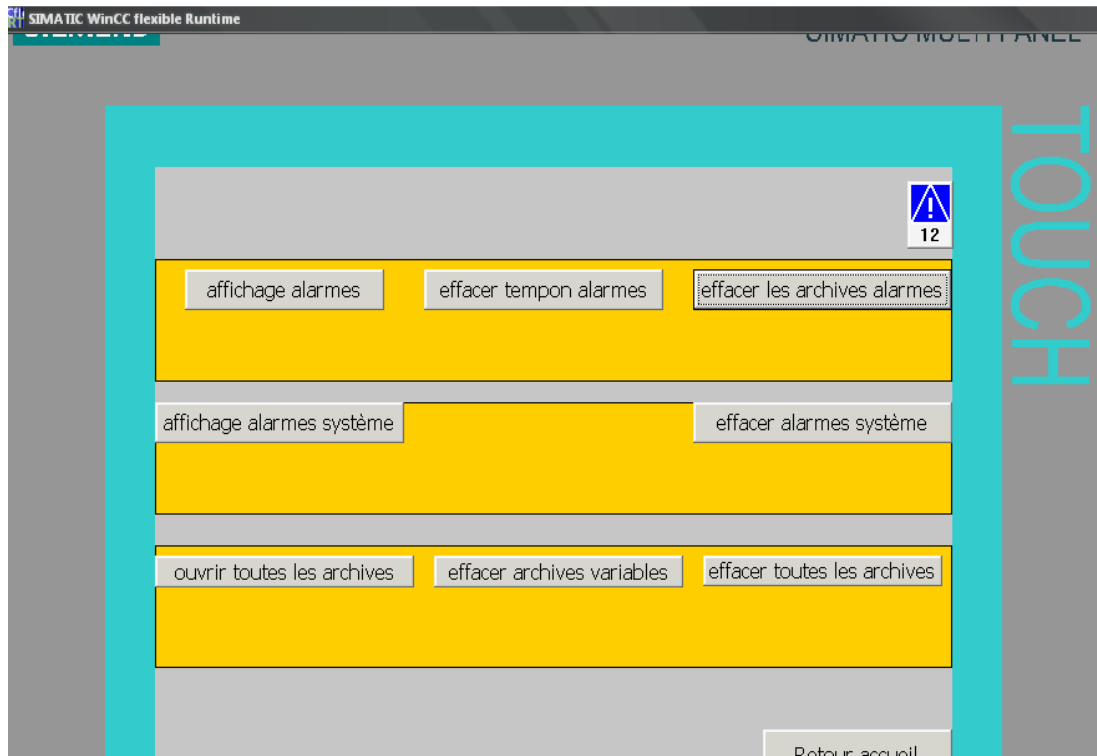


Figure IV.20 : fenêtre d'accès aux archives.

4. Conclusion

L'utilisation du pupitre opérateur est très aisée par la technique de la navigation entre les vues.

En effet, l'opérateur surveille l'évolution de l'installation des quatre compresseurs en un seul endroit. La gestion des utilisateurs étant un facteur garantissant la sécurité contre les manipulations des paramètres dépassant nos compétences .

Les paramètres les plus sensibles, comme les valeurs limites de sécurité, sont réglés par le constructeur des compresseurs et l'accès à ces paramètres est sanctionné par l'utilisateur « Administrateur » non accessible par les clients.

Pour une bonne conduite de l'installation, les paramètres temps (Délai avant démarrage automatique, délai avant arrêt automatique, période d'anti-recycle) méritent une attention particulière. C'est pour cela qu'ils doivent être changés par un personnel qualifié.

Conclusion générale

Des instructions reçues du cahier de charges et de tous les accessoires ajoutés dans le programme pour la bonne conduite de l'installation de ces 4 compresseurs, il est à confirmer que la solution proposée répond aux besoins exprimés par l'usine Fruital coca-cola.

L'installation devient plus fiable dans le sens où chaque défaut est détecté et le compresseur concerné est remplacé, automatiquement, par un autre. La centralisation de toutes les tâches de contrôle et de commande est, aussi, un facteur important. L'installation est plus flexible avec la possibilité de sélectionner le compresseur « Maître », de basculer dans le mode manuel en cas d'un problème de l'automatisme ou si on veut changer le degré de priorité des compresseurs donné dans ce programme.

En effet, la visualisation et l'affichage du courant et du débit donne la possibilité de faire le bilan de la consommation en énergie électrique et en énergie pneumatique. L'édition du journal pour la pression d'huile nous permet de faire un suivi pour d'éventuelles opérations de maintenance.

Néanmoins, certains objectifs sont réalisables si le paramétrage des temps est bien effectué. Cela est possible par la connaissance progressive de l'installation quant aux changements de sa consommation en air comprimé. Les bons paramètres sont ceux qui arriveront à réconcilier entre la disponibilité d'énergie et économie d'énergie réalisable par évitement de démarrages fréquents, sources de consommation des courants élevés. Espérant que ceci fera l'objet de travail des promotions futures.

Par ailleurs, ce travail nous a permis de nous confronter au monde professionnel, d'approfondir nos connaissances dans divers domaines tels que la pneumatique, les automatismes industriels. Nous avons, également, pu appliquer nos connaissances théoriques sur un cas pratique ce qui nous a permis d'appréhender notre stage d'une meilleure façon.

Annexe A :Description de l'usine FRUITAL coca-cola

1. Chaînes de production

Comme toute usine agro-alimentaire, le système automatique de production de l'usine Fruitall coca-cola est constituée de 2 grandes parties à savoir :

- ❖ Préparation du contenu
- ❖ Préparation du contenant

Après, le contenu est rempli dans le contenant pour clôturer sur le capsulage et l'étiquetage.

1.1. Préparation du contenu

Il sera question de décrire les différentes étapes pour l'obtention du produit fini. C'est-à-dire du local sucre au sirop fini (figure A.1).

Le sirop étant le mélange de sucre et de l'eau qui, après avoir subi quelques transformations devient un sirop fini lequel est mélangé aux arômes concentrés de différentes boissons : le CC1 et CC2 pour le coca-cola, OR 435.00 pour FANTA, CCM pour SPRITE.

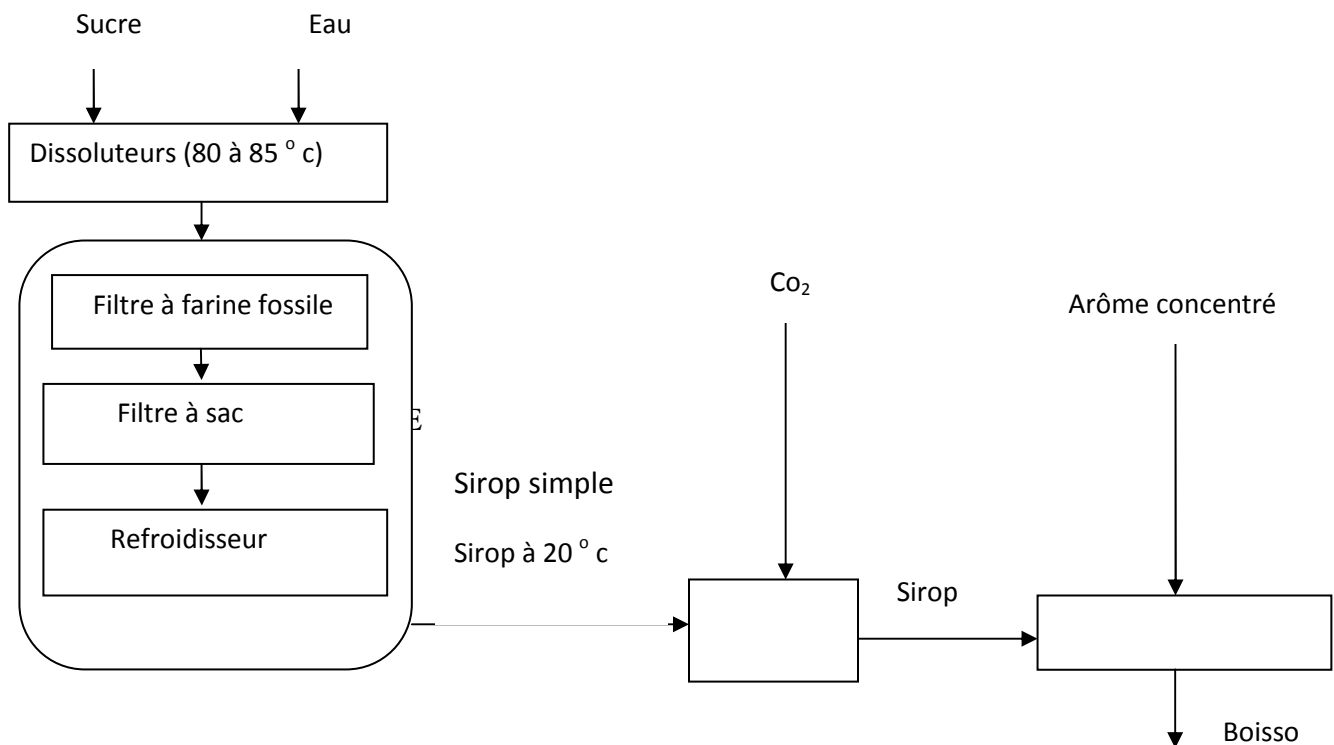


Figure A.1 : différentes étapes pour l'obtention de la boisson.

1.2. Préparation du contenant

On distingue :

- Les caisses contenant des bouteilles en verres de 0.30L (Figure A.2) et celles de 1L (Figure A.3).
- Bouteilles en plastiques.
- Les canettes (figure A.4).

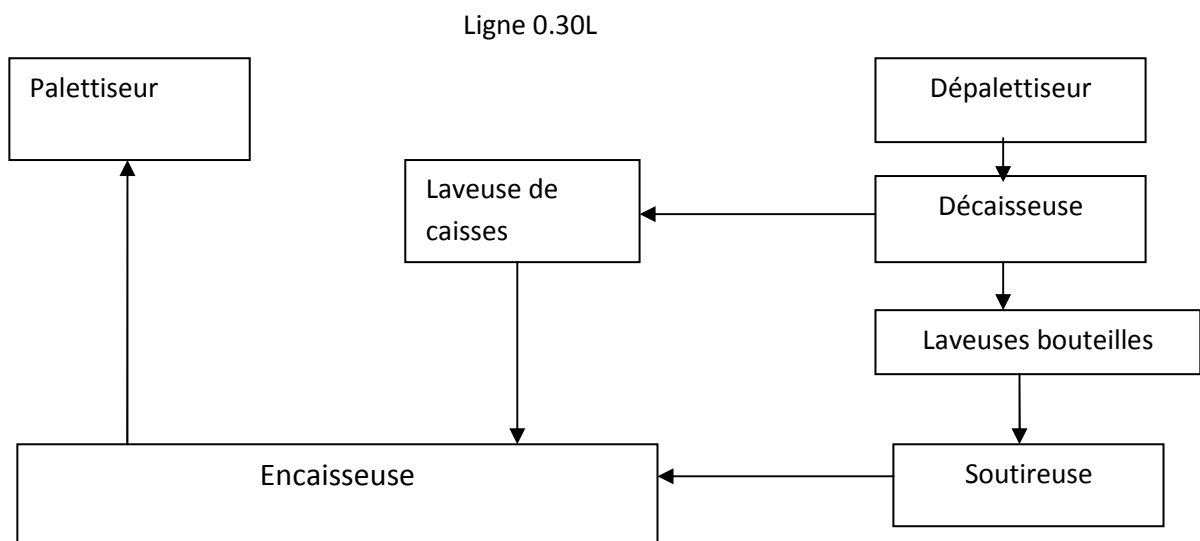


Figure A.2 : différentes étapes pour la préparation des caisses et verres de 0.30L.

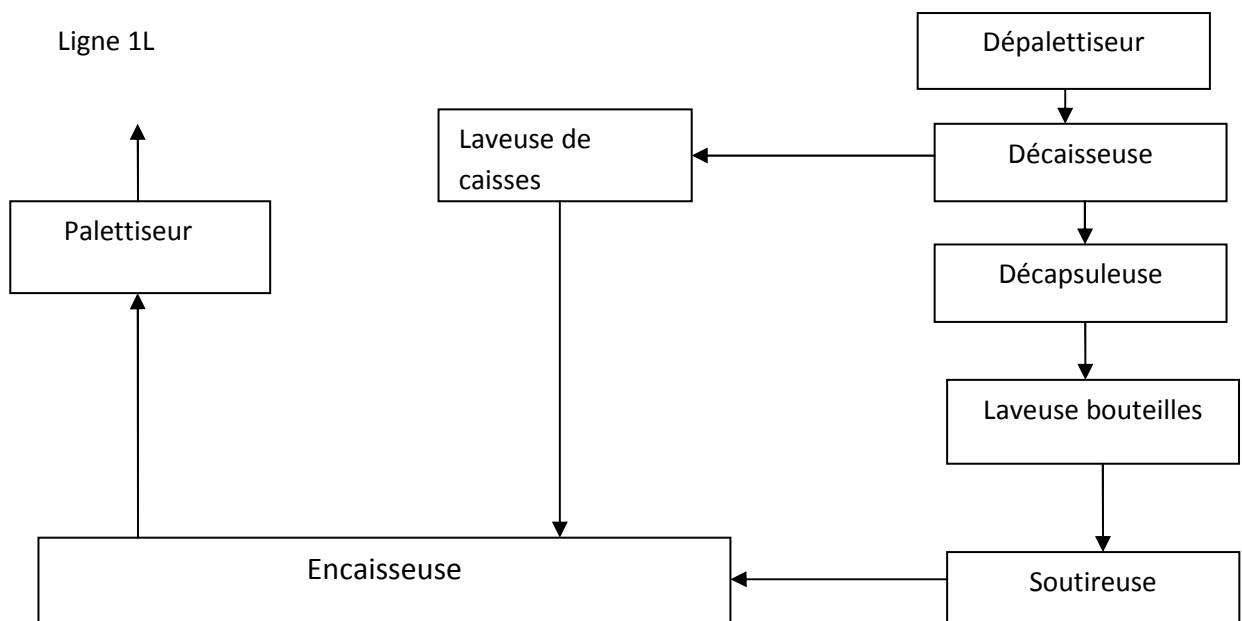


Figure A.3 : différentes étapes pour la préparation des caisses et verres de 1L

Dépalettiseur : sert à aligner sur le convoyeur les caisses remplies de bouteilles vides pour qu'elles se déplacent une derrière l'autre.

Palettiseur : sert à ranger les caisses remplies de bouteilles pleines.

Décaisseuse : sépare les bouteilles vides des caisses.

Encaisseuse : remplit les bouteilles pleines dans les caisses.

Soutireuse : remplit la boisson dans les bouteilles et les ferme.

Les bouteilles en plastique sont fabriquées par l'usine elle-même à partir des préformes. Le procédé consiste à faire passer ces préformes dans un four afin qu'elles soient facilement façonnées en formes de bouteilles plastiques que nous connaissons.

Machines utilisées :

- Elévateur : source où sont stockées et chargées ces préformes.
- Four : pour chauffer ces préformes.
- Roue de transfert des préformes chaudes.
- Roue de soufflage.
- Roue de transfert des bouteilles.
- Ejecteur de bouteilles.
- Roue de sorties de bouteilles.
- Transporteur de bouteilles par ventilation.
- Soutireuse : sert à la mise en bouteilles et au capsulage.
- Etiqueteuse futura : Pour l'étiquetage
- fardeleuse : pour l'assemblage par groupe de 6 ou plus couvertes par un plastique.

Les canettes ouvertes sont mises dans le dépalettiseur

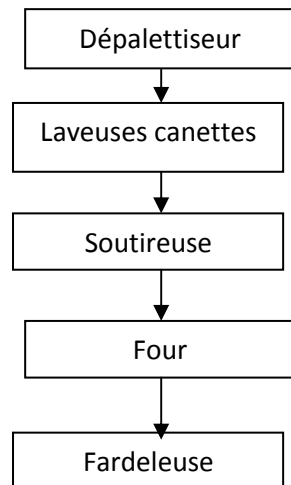


Figure A.4 : différentes étapes pour la préparation et remplissage des canettes.

2. Utilités et annexes

2.1. Energie électrique

On dispose de deux sources d'énergie électrique :

- ❖ *Sous-station (réseau)* : Elle est la source principale d'énergie électrique. Le réseau électrique est composé de transformateurs, 6 cellules, un chemin de câble et des armoires électriques. Les cellules sont composées de trois fusibles moyenne tension 36KVA et 30 A. Les transformateurs sont subdivisés pour les différentes parties de l'usine.
- ❖ *Groupe électrogène* : Le groupe électrogène fournit l'énergie électrique en cas de coupure du réseau. Elle couvre 90% de l'énergie nécessaire pour faire fonctionner l'usine. L'usine possède 4 groupes électrogènes 1 de 1000KVA(en réserve) et trois de 675 KVA chacun.

2.2. La vapeur

L'installation en vapeur est composée de 2 chaudières avec des citernes de stockage de mazout, filtres à mazout, brûleurs ainsi que la source d'eau(figure A.5).

*

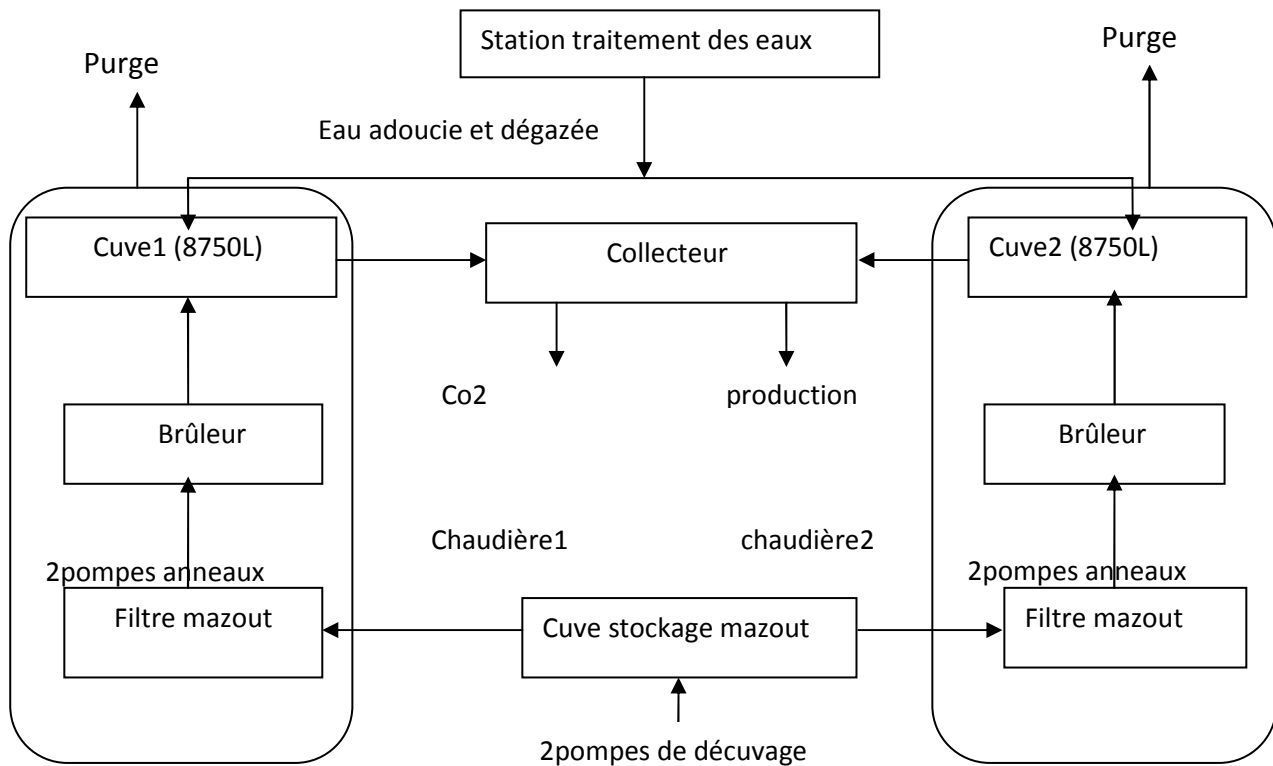


Figure A.5 : installation de production de la vapeur.

L'échange entre l'énergie calorifique et l'eau venant de la station traitement des eaux donne de la vapeur. L'énergie calorifique est obtenue par la brûlure de mazout stocké dans la cuve et refoulé par une pompe.

La vapeur est utilisée dans les laveuses de bouteilles et caisses, les soutireuses, traitement des eaux (stérilisation) et siroperie pour dissoudre le sucre.

2.3. L'eau glycolée

L'eau glycolée est une eau très froide (environ 2°C). Le système produisant cette eau (figure A.6) est divisé en deux parties : partie hydraulique et partie frigorifique.

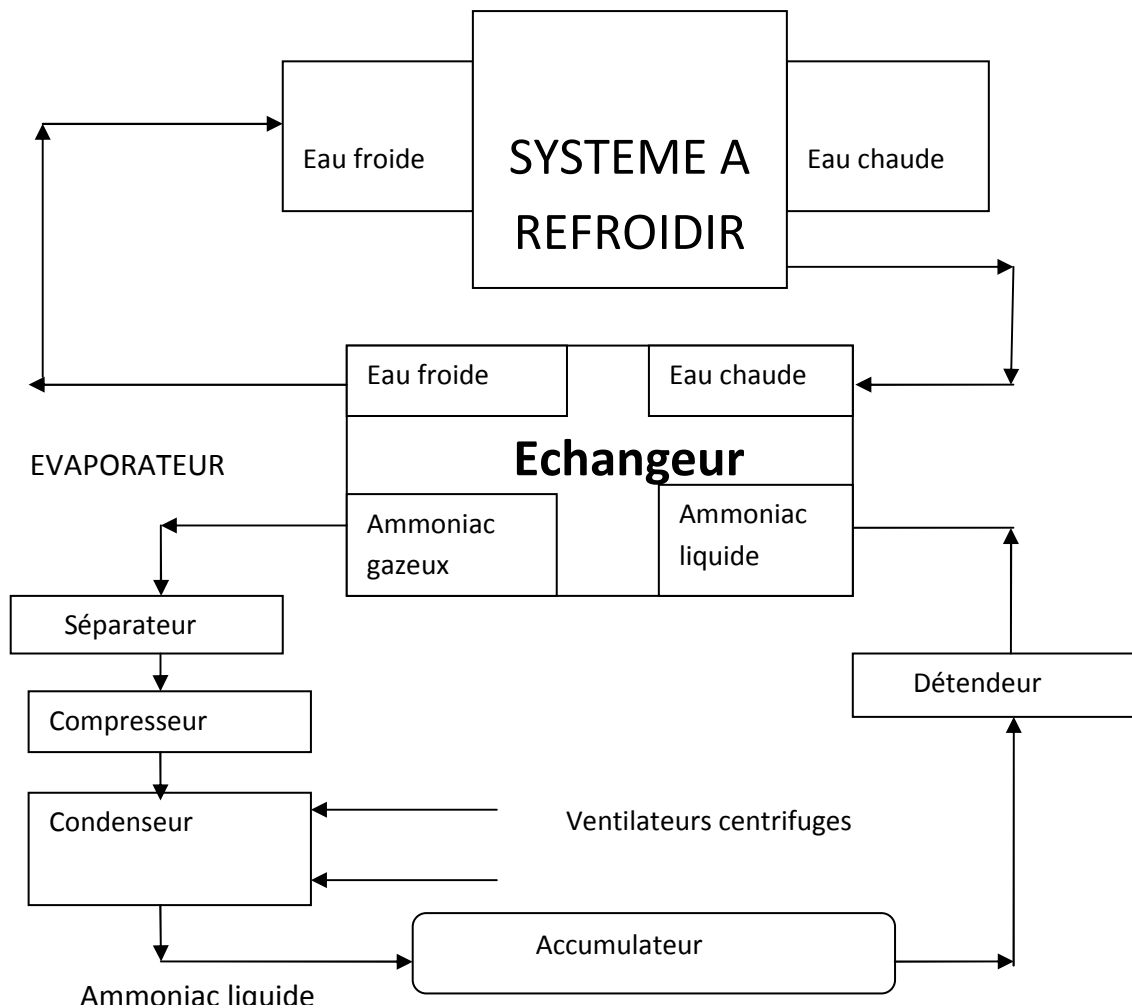


Figure A.6 : système de production d'eau glycolée.

- *Partie hydraulique* : L'eau glycolée chaude, provenant de l'utilisation, passe de la partie chaude à l'évaporateur. L'évaporateur est actionné par une pompe où l'eau sera refroidie avec de l'ammoniac.
- *Partie frigorifique* : L'échange entre l'eau chaude et l'ammoniac liquide, dans l'évaporateur, transforme l'ammoniac en l'état gazeux qui, après s'être accumulé dans le séparateur et pompé par le compresseur, est refroidi dans le condenseur. L'ammoniac liquide se détend, enfin, dans le détendeur et le cycle continu.

Annexe B :Schéma détaillé d'un compresseur à air DEMAG

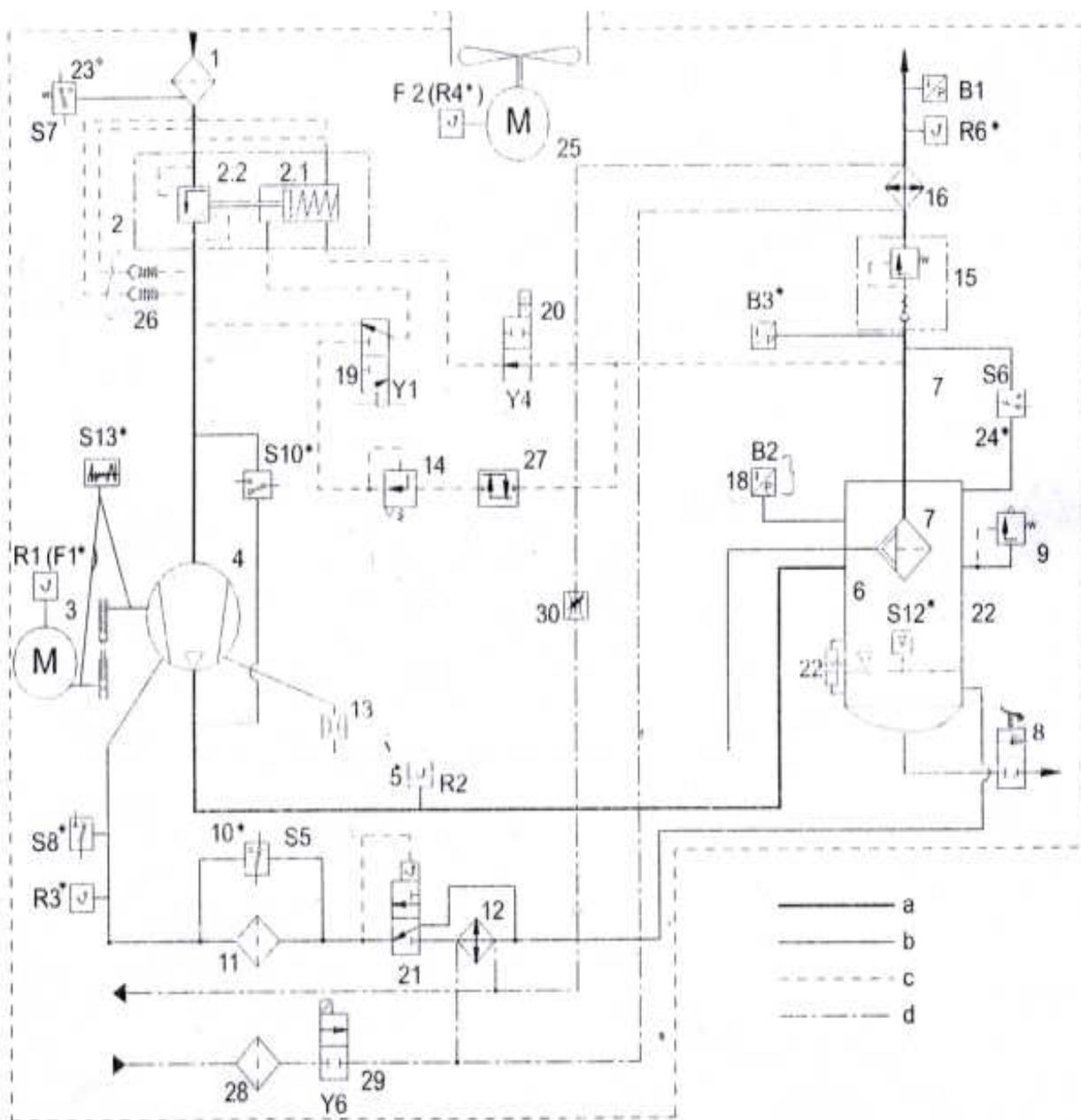


Figure B.1 : schéma d'installation détaillé du compresseur à air DEMAG.

Légendes

- | | |
|--|--|
| 1. filtre d'aspiration | B3 capteur de sortie de séparateur fin d'huile |
| 2. régulateur d'aspiration | F1 bilame moteur d'entraînement |
| 2.1. Vérin de réglage | F2 bilame moteur à ventilateurs |
| 2.2. Valve de pression | S5 pression différentielle filtre d'huile |
| 3. moteur électrique | S6 pression différentielle séparateur fin |
| 4. réservoir de pression | S7 pression différentielle filtre à air |
| 5. Sonde électrique et voyant | S8 pression d'injection d'huile |
| 6. Réservoir de pression | S10 contrôle du sens de rotation |
| 7. séparateur fin d'huile | S12 niveau d'huile |
| 8. robinet à boisseau sphérique vidange d'huile | S13 contrôle de palier(SPM) |
| 9. soupape de sécurité | Y1 valve de régulation |
| 10. interrupteur filtre d'huile | Y4 valve de purge |
| 11. filtre d'huile | Y6 Electrovanne d'eau de refroidissement |
| 12. refroidisseur d'huile | |
| 14 .Réducteur de pression | |
| 15. valve de maintien de pression et clapet anti-retour. | |
| 16. Refroidisseur d'air | |
| 18. Contrôle de pression et voyant | |
| 19. Electrovanne 3/2 | |
| 20. Electrovanne 2/2 | |
| 21. thermostat d'huile | |
| 22. indicateur de niveau d'huile | |
| 23. Interrupteur de filtre d'aspiration (entretien) | |
| 24. interrupteur séparateur fin (entretien) | |
| 25. ventilateur d'air de refroidissement | |
| 26. clapet anti-retour | |
| 27. valve de pilotage | |
| 28. garde –boue (uniquement eau) | |
| 29. Electrovanne d'eau (uniquement eau) | |
| 30. valve d'étranglement réglable (uniquement eau) | |
| R1 température du moteur | |
| R2 température du compresseur | |
| R3 température d'injection d'huile | |
| R4 température moteur à ventilateurs | |
| B1 capteur de pression du réseau | |
| B2 capteur de pression finale de pression | |

Principe de fonctionnement

Démarrage de l'installation

- Le moteur électrique démarrage en service étoile.
- Le régulateur d'aspiration est fermé.
- L'alimentation en huile du compresseur à vis ((4) s'effectue par dépression au lieu d'injection.
- Une commutation en service triangle engendre la commutation des électrovannes (19) et(20) du fait qu'elles sont mises sous tension.
- L'air mis en recirculation dans le système s'écoule par l'électrovanne (19) dans le logement inférieur de commande du vérin de réglage (2.1) est isolé du réservoir de pression (6) par l'électrovanne (20) et est déchargé dans le conduit d'aspiration.
- Le réducteur de pression(14) limite la pression de commande pour le vérin de réglage de 2.1 à 3.0 bars.
- La valve de pression (valve de maintien de pression et clapet anti-retour) (15) s'ouvre à une pression du système d'environ 5.0 bar.
- L'air comprimé commence à s'écouler dans le réseau de l'utilisateur.

Service automatique

- Lorsque la pression du réseau atteint la valeur maximum pré réglée, les électrovannes (19) et (20) sont mises hors tension.
- La valve de pression (2.2) se ferme. Cela se produit parce que le logement inférieur du vérin de réglage (2.1) est déchargé par l'électrovanne hors tension (19), que le logement supérieur dans le vérin de réglage (2.1) est soumis à la pression et sous l'effet du ressort de pression dans le vérin de réglage (2.1).
- Le compresseur à vis (4) se trouve en marche à vide.
- Le réservoir de pression (6) est déchargé.
- Lorsque la pression du réseau ne décroît pas avant écoulement du temps de décélération programmé jusqu'à valeur minimum pré réglée, l'installation s'immobilise.
- Lorsque la valeur minimum pré réglée est atteinte avant écoulement du temps de décélération programmé, les électrovannes (19) et (20) sont de nouveau mises sous tension.

-
- L'installation se met en charge.

Mise à l'arrêt de l'installation

- Après avoir appuyé sur la touche <<arrêt >> de l'installation sur le panneau de commande, les électrovannes (19) et (20) sont mises hors tension.
- La valve de pression (2.2) dans le régulateur d'aspiration (2) se ferme et le système est déchargé.
- Les moteurs électriques (4) et (25) s'immobilisent au bout de 30 secondes.

Immobilisation d'installation

- Lorsque l'installation est immobilisée, le régulateur d'aspiration (2) est fermé par un ressort de pression dans le vérin de réglage (2.1).
- Les électrovannes (19) et (20) sont hors tension.
- Le réservoir de pression (6) est purgé d'air par l'intermédiaire de l'électrovanne (20) et le vérin de réglage (2.1) dans le conduit d'aspiration.

Circuit d'air

- L'air aspiré arrive dans le compresseur à vis (4) par l'intermédiaire du filtre d'aspiration (1) et du régulateur d'aspiration. Il est refroidi par l'huile injectée, lors de l'opération de compression. Le mélange ainsi produit « air comprimé/huile » s'écoule de manière tangente dans le réservoir de pression (6). Après la pré-séparation et la séparation fine qui s'ensuit dans le séparateur fin(7), l'air comprimé, faible en huile, arrive dans le réseau de l'utilisateur par l'intermédiaire de la valve combinée(15), le refroidisseur d'air (16) et le séparateur de condensat.
- Le condensat, extrait dans le séparateur de condensat, est amené vers l'extérieur par l'intermédiaire d'une électrovanne (15) à installer par l'utilisateur, pilotée par un condensat.

Circuit d'huile

- L'huile nécessaire est prélevée du réservoir de pression (6), traverse le thermostat d'huile (21) (ferme à une température d'huile supérieure à 55 °c la conduite de by-pass du refroidisseur d'huile (12) et ouvre le passage vers le refroidisseur d'huile), traverse le filtre d'huile (11) et arrive dans le compresseur à vis(4).
- L'huile extraite dans le séparateur fin d'huile (7) est amenée au compresseur à vis (4) par l'intermédiaire d'une conduite d'huile .L'ensemble du circuit d'huile est basé sur une pression différentielle à l'intérieur du circuit d'huile de 1.5 bar, pour une pression du réservoir par exemple de 7 bar, l'huile est injectée dans le compresseur à vis (4) à environ 5.5 bar.

Bibliographie

- [1] J.R.VILORIA, « Aide mémoire pneumatique industrielle. », édition Dunod (L'usine nouvelle), 1999.
- [2] C. DUCOS, « Automatismes oléopneumatiques. », édition Lavoisier DOC et TEC, 1996.
- [3] S.MORENO et E.PEULOT, « La pneumatique dans les systèmes automatiques. », édition Casteilla, 2001.
- [4] A.JACQUES, J.C.LAFONT et J.P.VABRE, « Logique programmée GRAFCET : des séquenceurs câblés aux microcontrôleurs. », édition Ellipses, 1991.
- [5] M.DIOMANDE et L.BOUBRED « Automatisation de la station de déminéralisation d'eau à l'usine ENIEM », mémoire d'ingénieur, Département d'automatique, UMMTO, 2008.
- [6] K.AMRICHE , « Rapport de fin de stage. », usine Fruital Coca-cola, 2006.
- [7] Documentation de l'entreprise : « Catalogues des constructeurs de compresseurs à air DEMAG et ATLAS COPCO », 2002.
- [8] Site internet : <http://lmi17.cnam.fr>, dernière visite 24 juin 2009.
- [9] Les HELP des logiciels STEP7 version 5.4 et Win CC flexible version 2008.