

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2019



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Automatique

Spécialité: Automatique et Informatique Industrielle

Par: MEZDOUR Hala et AYAB Mouna

Thème

**Etude et réalisation d'un système de supervision sous
YOKOGAWA CS3000
Application à l'unité de production d'air de l'entreprise nationale
SONATRACH**

Soutenu publiquement, le 02/07/2019, devant le jury composé de :

Melle. KECHIDA Sihem	MCA	Univ. Guelma	Président/ Encadreur
M. AYAB Ahmed	Chef de service (SONATRACH)	Univ. Guelma	Co-Encadreur
M. AIDOUH Mohamed	MCB	Univ. Guelma	Examineur
M. SEBBAGH Abdennour	MCB	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté afin de mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Dr.KECHIDA Sihem, enseignante au département de Génie Electrotechnique et Automatique de l'université 8 Mai 1945 pour nous avoir encadrés, pour ses conseils, son aide et son orientation tout le long de notre travail.

Nos sincères remerciements à notre Co-encadreur le chef de service du module III de l'entreprise national SONATRACH, Mr. AYAB Ahmed pour les efforts, les conseils et ses directives précieuses durant la réalisation de notre projet de fin d'étude.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce modeste travail.

Nous souhaitons aussi remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, et en particulier, les enseignants du département de Génie Electrotechnique et Automatique pour les connaissances qu'ils nous ont transmis, leur disponibilité et leurs efforts.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui ont
fait de moi ce que je suis.*

*À mes frères et ma sœur, pour qui j'ai toujours tenu à
donner le meilleur de moi-même.*

À mon mari, qui m'a toujours soutenu.

*À mon binôme Hala pour ces quatre années de travail
pleines de souvenirs, ainsi qu'à*

*toute sa famille que je remercie pour son hospitalité et sa
gentillesse.*

*À mes amis et camarades de l'université 08 Mai 1945,
et toute la promotion
Automatique de l'année 2019.*

Aux anciens Automaticiens qui m'ont servis d'exemples

*À tous ceux qui me sont chers, et qui me portent dans
leurs cœurs.*

MOUNA

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect,
De tendresse et de beaucoup d'amour à
Ceux qui ne sont les plus chères au monde :*

*A mon exemple éternel, l'homme de ma vie, celui qui s'est toujours sacrifié pour
me voire réussite, j'espère qu'il serait très fières de moi, à toi mon père.*

*A la lumière de mes jours, la flamme de mon cœur, pour ton amour, ton affection
et ton encouragement et ton soutien moral, à toi maman.*

A mon frère Islam, ma sœur Amira et toutes ma famille.

A mon frère Hamza que Dieux le garde dans son vaste paradis.

*Pour tout ce beau monde, je dédie ce mémoire en signe de gentillesse, amour et
compréhension lesquels ont été pour moi un grand apport.*

A mon binôme Mona qui est une vraie amie

A Zamiti. A, qui m'a toujours soutenu et encouragé.

A toutes mes amies et mes collègues de la promotion 2019 Sans oublier mes chères

Amies : Lamis , Kḥawla , Jiji , Yasmine Anissa, Dallel Somia , Ikram , ...

et toutes l'équipes de Z, CINA (SONATRACH)

Hala .M

ملخص:

يندرج هذا العمل المقدم في هذه المذكرة في إطار مراقبة و تحكم الأنظمة الصناعية وتتمركز هذه الدراسة أساسا حول إنجاز نظام مراقبة و تحكم عن بعد لوحدة ضغط الهواء للشركة الوطنية SONATRACH باستخدام برنامج DCS YOKOGAWACS3000. حيث تهدف إلى إنشاء واجهة رسومية تسمح بالتحكم في تشغيل الوحدة وضبط الضغط عند مخارج الضواغط مع تسهيل عملية تدخل المشغل أثناء حدوث أي خلل أو عطب.

الكلمات المفتاحية: الإشرافية، نظام التحكم الموزع، نظام التحكم عن بعد، YOKOGAWA CS3000

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la supervision et le contrôle des systèmes industriels. L'idée est de développer un système de contrôle distribué de l'unité de production d'air comprimé de l'entreprise nationale SONATRACH en utilisant le logiciel de programmation DCS YOKOGAWA CS3000. L'objectif étant de réaliser une interface graphique permettant le contrôle de l'état de fonctionnement de l'unité et de la pression à la sortie des compresseurs tout en facilitant l'intervention de l'opérateur en cas de dysfonctionnements ou d'anomalies.

Mots clés : Supervision ; Système de Contrôle Distribué; télégestion ; YOKOGAWA CS3000.

Abstract :

The presented work in this Master's thesis focuses on the supervision and control of industrial systems. The idea is to develop a distributed control system of the compressed air production unit of the SONATRACH national company using YOKOGAWA CS3000 DCS programming software. The aim is to create a graphical interface for controlling the functional behavior of the unit and the outlet pressure of the compressors while facilitating the operator intervention in the malfunctions case.

Keywords : Supervision; Distributed Control System; Remote management; YOKOGAWA CS3000.

Liste des acronymes

AP : Application Processor
API : Application Programming Interface
APM : Advanced Process Manager
ASCII : American Standard Code for Information Interchange
AW : Application Workstation
BMS : Building Management System (systèmes de gestion de bâtiment)
CIM : Computer Integrated Manufacturing
CMS : Content Management System ou un Système de Gestion De Contenu ou SGS
CP : Control Processor
CPU : Central Processing Unit
DAS :Data Acquisition System ou Système d'acquisition de données
DCS : Distributed Control System ou système de contrôle distribué
DEC : Digital Equipment Corporation
DSI : Directeur des Systèmes d'Information
ERP : Entreprise Ressource Planning
EWS : Engineering Work Station.
FCS : Field Control Station
FCU : Field Control Unit
GTC : Gestion Technique Centralisée
HM : History Module
ICS : Information Commande Station
IHM : Interface Homme Machine or HIS : Human Interface Station
IOM : Input Output Module
IP : Internet Protocol
LAN : Local Area Network
LCN : Local Control Network
MD : Machine Direction
MES : Manufacturing Execution System
MLD : Manuel Loader
MTU : Remonte Master Unit
MV : Manipulated Value
OHS : Operateurs Humains de Supervision
OSI : Open Systems Interconnection
Profibus :Process Field Bus (bus des processus de terrain)
PC : Partie Commande
PLC : Programmable Logic Controller
PM : Process or Project Manager
PO : Partie Opérative
PR : Partie Relation
PV : Process Value
RIO : Remote Input Output
RTU : Remote Terminal Unit

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition
SEBOL: Sequence and Batch Oriented Language
SFC : Sequential Function Chart
SGS : Standard Global Services ou Société Générale de Surveillance
SNCC : Systèmes Numériques de Contrôle-Commande
SU : Superviseur
SV : Set Value
TLS : Transport Layer Security
TCP : Transmission Control Protocol
UDP : User Datagram Protocol
UCN : Universal Control Network
US : Universal Station
V-NET : Bus de Contrôle en Temps Réel
WP : Workstation Processor

Table de matière

Remerciements.....	i
Dédicaces	ii
Résumé	iv
Liste des acronymes.....	v
Table de matière	vii
Liste des figures	xii
Liste des tableaux	xiv
Introduction générale	1

Chapitre 1 : La supervision industrielle

1.1	Introduction	3
	1.2.1 Les systèmes automatisés.....	4
1.3	Structure générale d'un système industriel	5
1.4	Modes de fonctionnement d'un système.....	6
	1.4.1 Le mode de fonctionnement « normal ».....	6
	1.4.2 Les modes de fonctionnement « anormaux ».....	6
	1.4.3 Modes de fonctionnement « d'exception »	7
1.5	Surveillance.....	7
	1.5.1 Définition de surveillance	7
	1.5.2 Quelques définitions	8
	1.5.3 Rôle de la surveillance	8
	1.5.4 Composants de la surveillance industrielle	8
1.6	Définition de la supervision	9
	1.6.1 Pourquoi superviser.....	10
	1.6.2 Où et quand introduire une supervision ?.....	11
	1.6.3 Place de la surveillance dans un système de supervision.....	11
1.7	Fonctions de la supervision.....	12
1.8	La Supervision, une réalité industrielle.....	12
	1.8.1 Marche à suivre pour la réalisation d'une Supervision	13
1.9	Architecture de la supervision	13
	1.9.1 La supervision dans la hiérarchie d'une entreprise manufacturière	14
	1.9.2 Pyramide CIM	14

1.10	Les logiciels de supervision.....	15
1.10.1	Le rôle d'une IHM	15
1.10.2	Synoptique.....	16
1.10.3	Courbes.....	16
1.10.4	Alarmes	17
1.10.5	Historisation du procédé.....	17
1.10.6	Gestion des gammes	18
1.11	Domaines d'application de la supervision.....	18
1.12	Conclusion.....	19

Chapitre 2 : Le système de contrôle et d'acquisition de données

2.1	Introduction	20
2.2	Définition de SCADA	20
2.3	Evolution du système SCADA.....	21
2.3.1	1ere Génération : « Monolithique ».....	21
2.3.2	2ème Génération : « Distribuée »	22
2.3.3	3ème Génération : « en réseau ».....	23
2.3.4	4ème Génération : « Internet des objets »	23
2.4	Fonctionnalités d'un système de Supervision	24
2.4.1	Commande.....	24
2.4.2	Surveillance	24
2.5	Structure d'un système SCADA	25
2.5.1	SCADA pour l'automatisation et le contrôle	25
2.5.2	Gestion d'alarme.....	25
2.5.3	Archivage des données	25
2.5.4	Interface homme-machine IHM	25
2.6	Technologie de SCADA	26
2.6.1	Composants des systèmes SCADA	26
a)	Composants hardware	27
b)	Composants software	28
2.6.2	Architecture du SCADA.....	28
2.7	Les protocoles de communication d'un systèmeSCADA.....	30
2.7.1	Modbus	30
2.7.2	Modbus RTU	30
	Le Tableau suivant présente le type de communication entre le maitre et l'esclave.....	31
2.7.3	Modbus ASCII.....	31

2.7.4	Modbus TCP/IP	31
2.7.5	Modbus Plus	32
2.7.6	Profibus.....	32
2.8	Avantage duSCADA	32
2.9	Supervision dansun environnementSCADA.....	33
2.9.1	Interfaces graphiques du SCADA	34
2.9.2	Fonctionnement en temps réel.....	34
2.10	Quelque logiciel de supervision SCADA	34
2.10.1	Qu'est qu'un logiciel de supervision.....	35
2.10.2	Logiciel PcVue	35
2.10.3	Présentation du WinCC	36
2.10.4	Description du logiciel CIMPLICITY.....	39
2.11	Conclusion.....	41

Chapitre 3 : Le système DCS par YOKOGAWA CENTUM CS3000

3.1	Introduction	41
3.2	C'est quoi le DCS ?.....	41
3.2.1	Avantage du DCS	42
3.3	Historique du système de contrôle.....	43
3.4	Présentation du système DCS.....	43
3.5	Différents systèmes DCS	44
3.6	Architecture du DCS.....	45
3.7	Evolution des systèmes de commande YOKOGAWA	46
3.8	Système CENTUM CS 3000	46
3.8.1	Architecture hardware du CENTUM CS-3000	47
3.8.2	Station de contrôle FCS.....	48
3.8.3	Module d'entrée/sortie.....	48
3.8.4	Station d'interface homme machine (station HIS)	49
3.8.5	Caractéristiques de l'HIS.....	50
3.9	Réseaux de communication.	51
3.9.1	Réseau du système du contrôle V-net.....	51
3.9.2	Réseau Ethernet	51
3.10	Programmation d'un projet sur le logiciel YOKOGAWA CS3000	52
3.10.1.	Création d'un nouveau projet.....	52
3.10.2.	Création d'une FCS	52
3.10.3.	Création d'une HIS	53

3.10.4.	Création des entrées sorties de la FCS.....	54
3.10.5.	Création des blocs de fonction.....	55
3.10.5.1.	Bloc de séquence – ST016.....	55
3.10.5.2.	Blocs de schéma logique (LC16, LC64).....	56
3.10.5.3.	Bloc de régulation et de contrôle (PID).....	57
3.10.5.4.	Bloc calculateur (CALCU).....	57
3.10.5.5.	Bloc de chargement manuel (MLD).....	58
3.10.5.6.	Bloc d'acquisition de valeur process (PVI).....	58
3.10.5.7.	Bloc de simulation (LAG).....	58
3.10.6.	Création d'un graphique.....	59
3.10.7.	Lancement de la fonction de test.....	60
3.10.8.	La face-avant d'instruments.....	60
3.10.9.	Les différents types d'alarmes.....	61
3.11	Exemple de conception d'une interface graphique.....	61
3.12	Conclusion.....	62

Chapitre 4 : Implémentation et réalisation du DCS

4.1	Introduction.....	63
4.2	Présentation du module de traitement de gaz 3 (MPP III).....	63
4.3	Description succincte de l'unité de production d'air comprimé.....	64
4.3.1	Description des compresseurs.....	64
4.3.2	Fonctionnement des compresseurs.....	65
4.3.3	Sécurité de l'installation reliée à l'air instrument.....	66
4.3.4	Contrôle actuel du compresseur.....	66
4.4	Limitations du système de commande actuel.....	67
4.5	Développement du système de supervision de l'unité de compression d'air.....	67
4.5.1	Définition du cahier de charge.....	67
4.5.2	Supervision.....	70
4.5.3	Automatisation et contrôle.....	71
4.5.3.1	Conditions de vérification avant démarrage.....	71
4.5.3.2	Conditions de démarrage et de mise en marche normale.....	71
4.6	Configuration du système DCS.....	72
4.6.1	Déclaration des entrées /sorties.....	72
4.6.2	Boucle de régulation.....	73
4.7	Programmation des séquences de fonctionnement de l'unité de compression ...	73

4.7.1	Programmation des séquences de fonctionnement par la logique chart LC64...	75
4.7.1.1	La configuration des modes	75
4.7.1.2	Programmation de la séquence de démarrage/arrêt des compresseur.....	76
4.7.1.3	Programmation de la séquence charge/ décharge des compresseurs	78
4.7.2	Programmation des boutons poussoir avec le switch «PBs5C».....	79
4.7.3	Utilisation de la table de séquence « ST16 ».....	79
4.7.3.1	En présence de défauts.....	79
4.7.3.2	Affichage des messages d'avertissement.....	81
4.7.4	Programmation de la boucle de régulation de pression PIC001.....	83
4.8	Création et programmation d'un graphique dans la « HIS ».....	84
4.8.1	Démarche à suivre dans la réalisation du graphique « HIS ».....	85
4.8.2	Description des vues	86
4.9	Conclusion.....	90
	Conclusion générale.....	91
	Bibliographie.....	93
	Annexe A	95

Liste des figures

Chapitre 1 : La supervision industrielle

Figure 1.1. Structure d'un système automatisé.....	5
Figure 1.2. Structure générale d'un système industriel	5
Figure 1.3. Système élémentaire associé à ses actionneurs et son instrumentation	6
Figure 1.4. Classification des modes de fonctionnement	7
Figure 1.5. Composants de la surveillance	9
Figure 1.6. Relation entre surveillance et supervision.....	11
Figure 1.7. La pyramide d'automatisation industrielle.....	15
Figure 1.8. Fonction de synoptique	16
Figure 1.9. Vue des courbes	17
Figure 1.10. Vue alarmes.....	17
Figure 1.11. Vue historisation du procédé.....	18
Figure 1.12. Vue de gestion des gammes	18

Chapitre 2 : Le système de contrôle et d'acquisition de données

Figure 2.1. Organisation logicielle de superviseur	21
Figure 2.2. Architecture monolithique.....	22
Figure 2.3. Architecture distribuée	23
Figure 2.4. Architecture en réseau	23
Figure 2.5. Architecture en Internet d'objets.....	24
Figure 2.6. Schéma synoptique du SCADA	27
Figure 2.7. Architectures SCADA.....	29
Figure 2.8. Combinaison des outils softs et hard des systèmes SCADA	33
Figure 2.9. Interface graphique de supervision d'un générateur de vapeur.....	34
Figure 2.10. Dialogue entre API –Système	36
Figure 2.11. Dialogue SV- API	36
Figure 2.12. Relation HMI-API-Processus.....	37
Figure 2.13. Aperçu de WINCC	38
Figure 2.14. Architecture Client/serveur	39
Figure 2.15. Fenêtre de Workbench de CIMPLICITY	40

Chapitre 3 : Le système DCS par YOKOGAWA CENTUM CS3000

Figure 3.1. Les fonctions de base d'un système de conduite.....	42
Figure 3.2. Architecture de base d'un DCS	45
Figure 3.3. Evolution des systèmes de commande de YOKOGAWA.	46
Figure 3.4. Vue générale du CS 3000.....	48
Figure 3.5. La liaison entre les modules d'entrée/sortie et la CPU	49
Figure 3.6. Vue de la salle de contrôle (stations HIS)	50
Figure 3.7. Création d'un nouveau projet	52
Figure 3.8. Boîte de dialogue pour créer une nouvelle FCS.....	53
Figure 3.9. Boîte de dialogue pour créer une nouvelle HIS	53
Figure 3.10. Création d'un nouveau module d'entrée/sortie	54
Figure 3.11. Création d'une carte d'entrée/sortie	54
Figure 3.12. Insertion des blocs de fonction.....	55
Figure 3.13. Fenêtre d'édition d'une table de séquence ST016	55
Figure 3.14. Exemple d'un schéma logique.	56

Figure 3.15. Boîte de dialogue pour la sélection des éléments.....	56
Figure 3.16. Adressage d'une entrée/sortie	57
Figure 3.17. Création d'une boucle dans le cas de simulation	57
Figure 3.18. Fenêtre de programmation du bloc « CALCU ».....	58
Figure 3.19. Insertion du bloc LAG	58
Figure 3.20. Bibliothèque du graphique builder.....	59
Figure 3.21. Propriété d'un objet.....	59
Figure 3.22. Bandeau d'exploitation	60
Figure 3.23. Face-avant d'instrument.....	60
Figure 3.24. Changement d'un paramètre.	61
Figure 3.25. Changement de mode	61
Figure 3.26. Interface graphique de l'unité d'azote.....	62

Chapitre 4 : Implémentation et simulation d'un système DCS

Figure 4.1. Schéma générale descriptif du module 3.....	63
Figure 4.2. Schéma synoptique de l'unité utility.....	64
Figure 4.3. Vue d'avant du compresseur	65
Figure 4.4. Fonctionnement des compresseurs.....	65
Figure 4.5. Pressostats de charge et décharge.....	66
Figure 4.6. Relais de commande du compresseur	66
Figure 4.7. Les seuils des permissives.....	68
Figure 4.8. Vue générale du projet.	73
Figure 4.9. Vue du drawing DR0001	74
Figure 4.10. Vue des drawing.....	74
Figure 4.11. Bibliothèque des blocks logiques.....	75
Figure 4.12. L'Edit détail de la LC64.....	75
Figure 4.13. Exemple du prêt à démarrer avec LC64.....	76
Figure 4.14. Simulation de démarrage du compresseur 2 en secours.....	77
Figure 4.15. Simulation de la séquence de charge/décharge par le bloc LC64.....	78
Figure 4.16. Illustration des Switch «PBs5C» correspondants aux boutons poussoir.	79
Figure 4.17. Déclaration des défauts dans la table de « SWITCH DEFINE »	80
Figure 4.18. Simulation des défauts par « ST16 ».....	80
Figure 4.19. L'influence d'un défaut sur la séquence de démarrage du compresseur.....	81
Figure 4.20. La configuration des modes lors d'un défaut sur le compresseur 1.....	81
Figure 4.21. Création des messages d'avertissement.....	82
Figure 4.22. La table de séquence des annonceurs.....	82
Figure 4.23. Table de séquence d'opérateur guide.....	83
Figure 4.24. Création d'une boucle de régulation de pression	83
Figure 4.25. Le réglage des paramètres (P, I, D).....	84
Figure 4.26. Interface graphiques avec zoom de la variation de pression.....	85
Figure 4.27. Bibliothèque des objets graphiques.....	85
Figure 4.28. Configuration de l'animation des objets	86
Figure 4.29. Vue globale de l'unité de compression d'air.....	86
Figure 4.30. Localisation et identification des défauts du compresseur 2.....	87
Figure 4.31. Etat de compresseur avant et après apparition du défaut	87
Figure 4.32. Description de la vue de compression d'air.	88
Figure 4.33. Vue « Archive courbes ».....	89
Figure 4.34. Vue « pression ».....	89
Figure 4.35. Vue « Opérateur Guide »	90

Introduction générale

Dans un contexte de développement et de progression, les entreprises de la production pétrolière et gazière précisément SONATRACH, sont obligées d'automatiser de plus en plus leurs installations de production afin d'améliorer la supervision des unités et des machines entre dans ce contexte.

Cette supervision est une forme évoluée du dialogue Homme-Machine, qui consiste à surveiller l'état de fonctionnement d'un procédé dont les possibilités vont bien au-delà de celles des fonctions de conduite et de contrôle réalisées avec des interfaces.

L'entreprise SONATRACH n'échappe pas à cette réalité, et se voit dans l'obligation et la nécessité primordial de superviser ses stations et ses unités de production en développant des systèmes de contrôle distribués(en anglais DCS; Distributed Control System). Ceci se fait dans un but d'améliorer la gestion de ses ressources, de réduire les délais, d'optimiser ses dépenses et d'améliorer la fiabilité.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet de fin d'études, il s'intéresse au contrôle et à la supervision des systèmes industriels. Notre travail s'intéresse à l'étude d'une unité fondamentale dans le module 3 de l'usine de traitement du gaz naturel à Hassi R'mel. L'idée est de développer un système de contrôle distribué permettant de contrôler et de superviser l'unité de production d'air instrument et service.

A cet effet, un cahier de charge définit les exigences à respecter est nécessaire pour mener à bien cette étude. La solution proposée illustre une interface graphique implémentée sous le logiciel DCS YOKOGAWA CS300et dédiée au contrôle de la pression de l'unité et à la supervision de son mode de fonctionnement.

Ce mémoire s'étale globalement sur deux parties encadré par une introduction générale et une conclusion générale. La partie théorique est scindée en trois chapitres. Le premier chapitre fait l'objet d'un état de l'art sur les systèmes automatisés et la supervision industrielle. Le chapitre suivant est consacré à une présentation succincte des systèmes de contrôle et d'acquisition des données ou encore appelé SCADA, en décrivant son rôle dans la supervision à grande échelle. Le troisième chapitre a débuté par une description détaillée du système de contrôle DCS à savoir son architecture, les différents DCS existants, les réseaux de communications compatibles...Ensuite il décrit le logiciel CS3000 du DCS YOKOGAWA et détaille la démarche à suivre pour développer une interface Homme-Machine. Le chapitre a

été clôturé par un exemple illustrant une interface graphique de l'unité de production d'azote de l'usine de ZCINA à Hassi Messaoud.

La partie pratique est présentée par le chapitre 4 qui se focalise sur l'élaboration de l'interface de supervision et de contrôle de l'unité de compression d'air tout en répondant aux exigences de fonctionnement (normal ou en cas de défaillances) et de sûreté de fonctionnement définies dans un cahier de charge. La solution proposée est testée sous CS3000 suivant des scénarii de fonctionnement.

Chapitre 1

La supervision industrielle

1.1 Introduction

La supervision des années 90, c'était donc principalement l'interface Homme-Machines, implantée au pied des équipements ou dans une salle de contrôle à proximité. On y redessinait le PID de son process, et mieux on ajoutait de nombreuses animations « colorées » pour rendre le tout facile à comprendre par les opérateurs. Ces derniers étaient d'ailleurs les principaux utilisateurs de la supervision et leurs connaissances du process étaient souvent excellentes, car ils avaient connu « l'avant-supervision ». Depuis ces 20 dernières années, la supervision a évolué au rythme des transformations industrielles.

Aujourd'hui nous sommes à l'ère de l'industrie du futur, mise en avant et adaptée dans le monde entier par tous les gouvernements et industriels. La digitalisation des processus industriels a pour but de transformer les industries en offrant, entre autre, de nouveaux leviers de compétitivité, grâce à une meilleure gestion en temps-réel de la production, de la maintenance, de l'énergie ou encore de tous les flux logistiques. Tous les industriels en sont-ils à cette étape ? Bien sûr que non. Néanmoins, l'Industrie du futur est un schéma directeur pouvant être poursuivi et mis en place, étape par étape, par tous les industriels déjà en possession de logiciels de supervision [1].

1.2 L'automatisme

L'automatisme est la discipline traitant d'une part la caractérisation des systèmes automatisés et d'autre part le choix de la conception et de la réalisation de la partie commande. Il s'agit donc d'étudier les systèmes :

- Réalisant leurs fonctions en relative autonomie.
- Assurant un contrôle des performances par la mise en place possible d'une chaîne de retour.

L'automatisation de la production consiste à transférer tout ou une partie des tâches de coordination, auparavant exécutés par des humains [2].

❖ Objectifs de l'automatisation

Hors les objectifs à caractères financiers on trouve :

- Eliminer les tâches répétitives
- Simplifier le travail de l'humain
- Augmenter la sécurité
- Accroître la productivité
- Economiser les matières premières et l'énergie
- S'adapter à des contextes particuliers
- Améliorer la qualité [3].

1.2.1 Les systèmes automatisés

Un système automatisé est toujours composé d'une partie commande (PC), et d'une partie opérative (PO). Pour faire fonctionner ce système, l'opérateur (personne qui veille sur le fonctionnement du système) va donner des consignes à la partie (PC), celle-ci va traduire ces consignes en ordres qui vont être exécutés par la (PO).

Une fois les ordres accomplis, la PO va le signaler à la PC (compte -rendu) qui va à son tour le signaler à l'opérateur. Ce dernier pourra donc vérifier que le travail a bien été réalisé.

i. La partie opérative (PO)

C'est la partie qui gère le fonctionnement du système automatisé, elle est en général composée d'un ordinateur qui contient dans ses mémoires un programme. Elle transmet les ordres aux actionneurs de la partie opérative à partir :

- Du programme qu'elle contient.
- Des informations reçues par les capteurs.
- Des consignes données par l'utilisateur ou par l'opérateur.

ii. La partie commande (PC)

Ce secteur de l'automatisme gère selon une suite logique le déroulement ordonné des opérations à réaliser. Il reçoit des informations en provenance des capteurs de la PO, et les restitue vers cette même partie en direction des pré-actionneurs et actionneurs. Elle comporte en général un boîtier contenant :

- Des actionneurs qui transforment l'énergie reçue en énergie utile.
- Des capteurs qui transforment la variation des grandeurs physiques liée au fonctionnement de l'automatisme en signaux électriques.

iii. La partie relation (PR)

Sa complexité dépend de l'importance du système. Elle regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé, c'est à dire marche/arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique, etc... .

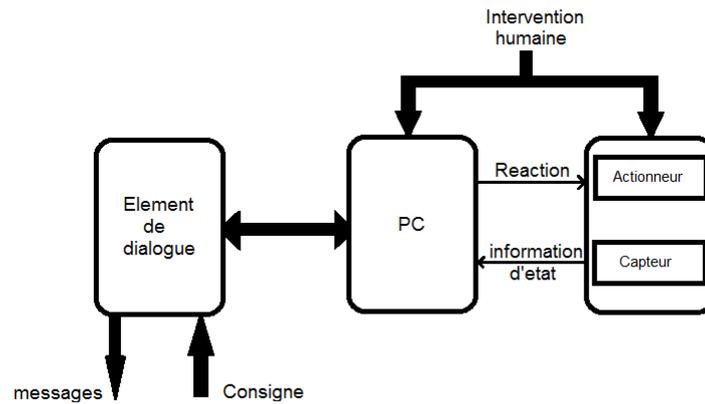


Figure 1.1. Structure d'un système automatisé

1.3 Structure générale d'un système industriel

Tout système industriel peut être divisé en plusieurs sous système interconnectés les uns aux autres, chaque sous système contient plusieurs actionneurs et plusieurs capteurs qui, à chaque instant envoi des informations sur l'état du système. La figure suivante représente un système industriel avec tous ses composants.

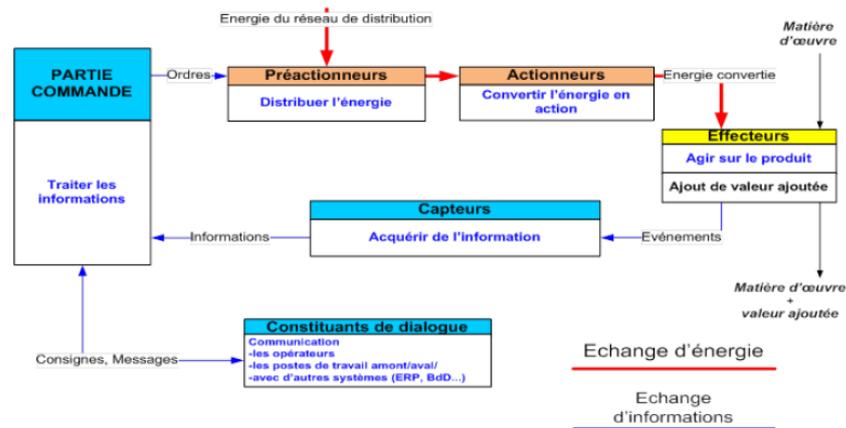


Figure 1.2. Structure générale d'un système industriel

Les systèmes industriels sont constitués de quatre parties principales qui sont :

- Un ensemble de sous systèmes destiné à l'accomplissement d'une fonction globale.
- Un ensemble de système d'actionnements constitué d'une interface de puissance (distributeur, variateur de vitesse, etc.) et de l'actionneur proprement dit (vérins, moteur, résistance, etc.).

- Une instrumentation composée d'un ensemble de chaîne de mesures incluant les capteurs. Cette chaîne assure en particulier le filtrage et la mise en forme des signaux issus des capteurs.
- Un système permettant l'élaboration des lois de commande en fonction des consignes de production et des mesures réalisées sur l'ensemble des processus élémentaires [4].

Dans chaque sous système du système global, les capteurs et les actionneurs sont susceptibles de subir des défauts et sont soumis à des perturbations diverses supposées non mesurables, appelées aussi entrées inconnues.

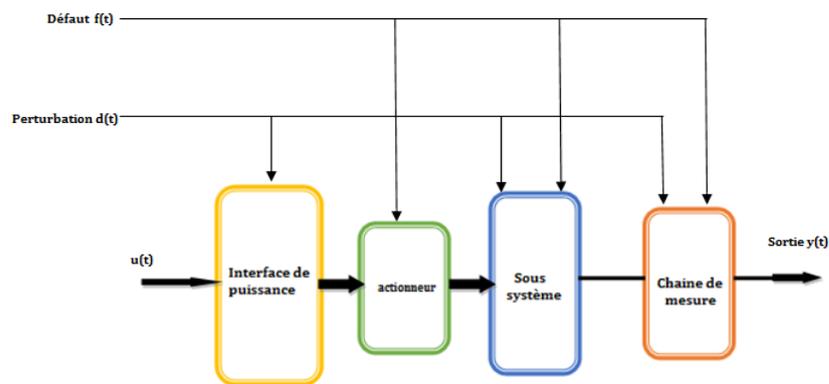


Figure 1.3. Système élémentaire associé à ses actionneurs et son instrumentation

La figure 1.3 représente un sous système avec tous ses composants ; interface de puissance, actionneurs etc. C'est cet ensemble qui sera considéré par la suite comme le système à superviser.

1.4 Modes de fonctionnement d'un système

Suivant le mode de fonctionnement sous lequel le système évolue, la mission pour laquelle le système a été conçu peut-être totalement remplie, partiellement remplie ou non remplie

1.4.1 Le mode de fonctionnement « normal »

Il regroupe le mode de fonctionnement nominal qui doit être, en principe, en parfaite adéquation avec la qualité de la mission.

1.4.2 Les modes de fonctionnement « anormaux »

Lorsque le système est dans ce mode, la mission peut être partiellement remplie ou non remplie : en tout état de cause, le service n'est pas satisfaisant.

a) Modes interdits

Ceux sont des modes sous lesquels le système ne doit absolument pas fonctionner pour des raisons de sécurité.

b) Modes défailants

Ils correspondent à de mauvais fonctionnement du système. Un sous-ensemble de ces modes est constitué des modes de pannes ou un sous-ensemble du système ne fonctionne plus.

c) Modes dégradés

Ils correspondent à l'accomplissement de la mission soit de façon partielle, soit avec des performances moindres.

d) Modes critiques

Ceux sont des modes pour lesquels le système présente des caractéristiques de fonctionnement très particulières et souvent non souhaitées.

1.4.3 Modes de fonctionnement « d'exception »

Ceux sont des modes qui peuvent être normaux ou anormaux mais qui ont la caractéristique d'être peu tolérés ou peu fréquents [5].

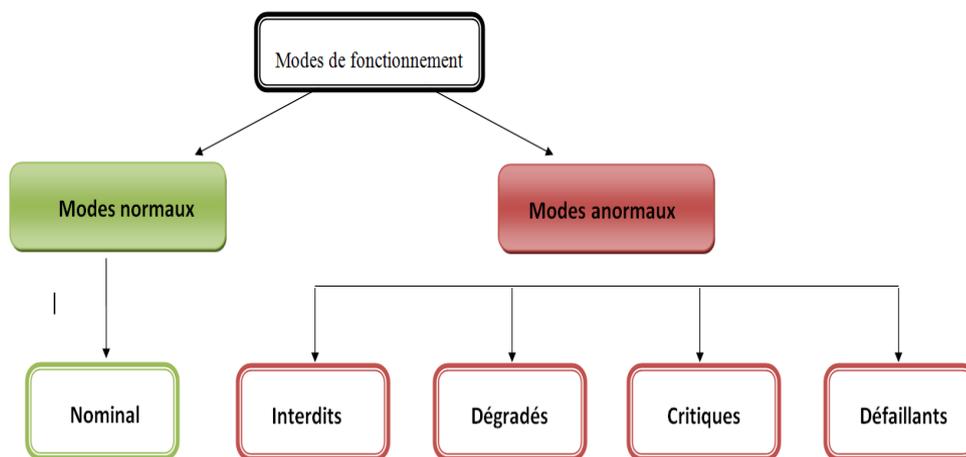


Figure 1.4. Classification des modes de fonctionnement

1.5 Surveillance**1.5.1 Définition de surveillance**

La surveillance est un dispositif passif, informationnel, qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs. La surveillance consiste notamment à détecter et classer les défaillances en observant l'évolution du système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défailants et en identifiant les causes premières [6].

1.5.2 Quelques définitions [7]

- **Défaillance** : Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans le cahier de charge.
- **Perturbations** : Tout système d'identification repose sur un ensemble d'indicateurs. Ils sont définis de manière à faire ressortir des informations discriminantes caractérisant la perturbation analysée. Ils permettent de représenter chaque perturbation dans une base commune qui est ensuite utilisée par le module de décision du système de reconnaissance pour la classer.
- **Dégradation** : Une dégradation est l'état d'un composant présentant une perte de performances dans une ou plusieurs de ses fonctions pour lesquelles est conçu.
- **Défaut** : Un défaut est un écart entre un comportement attendu et un comportement observé. Cet écart est constaté grâce à un indicateur de défaut. Un défaut peut être invisible pendant un certain temps avant de donner lieu à une défaillance.
- **Panne** : Une panne est une interruption permanente de la capacité du système à réaliser sa fonction requise.

1.5.3 Rôle de la surveillance

Elle :

- recueille en permanence tous les signaux en provenance du procédé et de la commande
- reconstitue l'état réel du système commandé.
- fait toutes les inférences nécessaires pour produire les données utilisées pour dresser des historiques de fonctionnement.
- met en œuvre un processus de traitement de défaillance le cas échéant

Dans cette définition, la surveillance est limitée aux fonctions qui collectent des informations, les archivent, font des inférences, etc. sans agir réellement ni sur le procédé ni sur la commande. La surveillance a donc un rôle passif vis-à-vis du système de commande et du procédé.

1.5.4 Composants de la surveillance industrielle [5]

a) La détection

Elle permet de détecter les défaillances du système, il faut être capable de classer les situations observables comme étant normales ou anormales, elle assure

le suivi des conditions de fonctionnement liées au vieillissement des composantes du processus et au changement de l'environnement. Elle constitue un élément important de la conduite des systèmes de production.

b) Le diagnostic

Le diagnostic industriel est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. L'objectif de la fonction diagnostic est de rechercher les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une observation particulière. Cette fonction se décompose en deux fonctions élémentaires :

- **Localisation** : Elle permet de déterminer le sous ensemble fonctionnel défaillant.
- **Identification** : Elle consiste à déterminer les causes qui ont mené à une situation anormale. Ces causes peuvent être internes ou bien externes à l'équipement.

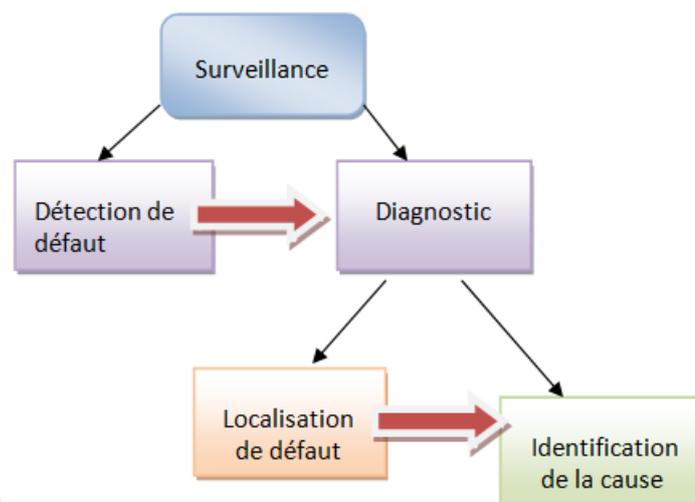


Figure 1.5. Composants de la surveillance

1.6 Définition de la supervision

La supervision est la surveillance du bon fonctionnement d'un système ou d'une activité. Elle permet de surveiller, rapporter et alerter les fonctionnements normaux des systèmes d'information. Elle répond aux :

- Technique : surveiller du réseau, de l'infrastructure technique et des machines.
- Applicative : surveillance des applications via les processus ou via des scénarios utilisateurs.
- Contrat de service : surveillance du respect des indicateurs contractuels.

- **Métier** : surveillance des applications du cœur de métier de l'entreprise [8].

La supervision industrielle permet de suivre en temps réel une installation ou une machine industrielle. Elle permet d'avoir un affichage dynamique du processus avec les différents alarmes défauts et événements survenant pendant l'exploitation de la machine.

Le système de supervision contrôle et surveille l'exécution d'une opération ou d'un travail effectué par d'autres sans rentrer dans les détails de cette exécution.

Selon le mode de fonctionnement, un système de supervision permet :

- **En fonctionnement normal** : de prendre en temps réel les dernières décisions correspondant aux degrés de liberté exigés par la flexibilité décisionnelle. Pour cela, il est amené à faire de l'ordonnancement temps réel, de l'optimisation, à modifier en ligne la commande et à gérer le passage d'un algorithme de surveillance à l'autre.
- **En présence de défaillances ou dysfonctionnement** : de prendre toutes les décisions nécessaires pour le retour vers un fonctionnement normal. Après avoir déterminé un nouveau fonctionnement, il peut s'agir de choisir une solution curative, d'effectuer des ré ordonnancements "locaux", de prendre en compte la stratégie de surveillance de l'entreprise, de déclencher des procédures d'urgence, etc.

1.6.1 Pourquoi superviser

- On supervise pour avoir une visibilité sur le système d'information. Cela permet d'avoir des informations rapidement, de connaître l'état de santé du réseau, des systèmes, des performances. Donc on a rapidement une image de notre système.
- Superviser permet aussi de prévenir les pannes et anticiper les pannes. En effet on obtient une alerte quand un disque dur atteint 80% de sa capacité, et donc on évite un crash du système à cause d'un disque dur plein. Grâce à un outil de supervision on peut aussi remonter les informations d'aides (intrusion détection system) et fournir des indicateurs au DSI. Cela centralise les informations remontées par divers outils.
- Grâce à la supervision, on peut aussi connaître rapidement l'effet d'une action (ajout d'un nouveau client, nouvelle machine...etc.) sur le système. Donc on pourra connaître et chiffrer techniquement l'impact de ce type de modification et réagir rapidement si besoin est.
- En cas de dysfonctionnement, la productivité de la société est affectée. Il faut donc toujours être au courant de ce qu'il se passe.

Pour résumer, on supervise pour être alerté de problèmes, et si possible les anticiper. On va effectuer de test, et analyser les résultats sous forme de graphiques ou autres, et en fonction

de critères déclencher des actions (redémarrage de services, alerte le personnel sur le comportement d'un processus etc.), et mettre en place des actions face à des évènements [9].

1.6.2 Où et quand introduire une supervision ?

–A la conception d'un nouveau moyen de production et lorsqu'un fort investissement est décidé, l'ajout d'une supervision n'a qu'un impact mineur. Il est donc souhaitable de l'inclure dès la conception.

–Lorsqu'il est nécessaire d'améliorer l'efficacité d'un moyen de production existant.

–Si le matériel est ancien, la documentation faible ou si les concepteurs de l'outil de production ont disparu, il est alors peu conseillé d'implanter à posteriori une supervision.

–Le retour sur investissement est très élevé [5].

1.6.3 Place de la surveillance dans un système de supervision

La supervision concerne l'acquisition de données (mesure, alarmes, retour d'état de fonctionnement) et des paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables.

La supervision est définie comme étant la surveillance et le contrôle de l'exécution d'une opération ou d'un travail accompli par un homme ou par une machine. En présence de défaillance, la supervision prendra toutes les démarches nécessaires pour le retour du système vers un mode de fonctionnement normal [5].

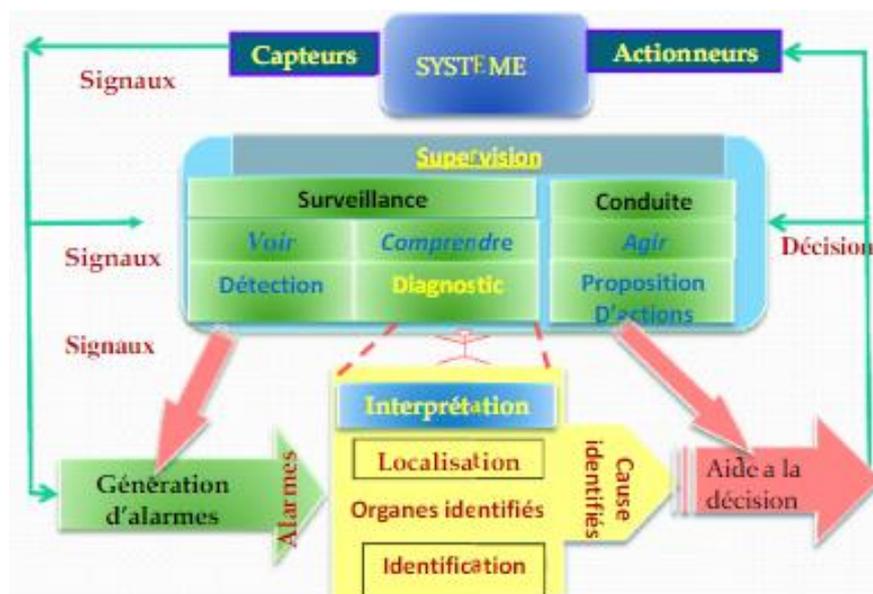


Figure 1.6. Relation entre surveillance et supervision

1.7 Fonctions de la supervision

Dans la supervision, nous retrouvons les fonctions de détection de défaillance ou de surveillance, de diagnostic et de reconfiguration :

a) La surveillance

D'après la définition précédente de la surveillance, la fonction de la surveillance consiste à générer des alarmes à partir des informations délivrées par des capteurs.

Des seuils sont définis sur des variables clés par des experts du procédé selon des critères de sécurité concernant les hommes, l'installation et son environnement. Cette génération d'alarmes apporte une aide aux opérateurs humains de supervision (OHS) dans leur tâche de surveillance afin qu'ils puissent analyser la situation et prendre une décision adaptée (procédure d'arrêt d'urgence, mode dégradé, action corrective).

Il est donc très utile d'adjoindre à la surveillance, une aide à la décision à travers un module de diagnostic.

b) Le diagnostic

Consiste à déterminer quelles sont l'origine et/ou la (les) cause(s) qui ont pu engendrer le symptôme détecté. A ce stade, le système doit avoir la capacité de décider quand le procédé se trouve dans une situation de fonctionnement normal, et quand une action corrective doit être appliquée.

c) La reconfiguration

L'action corrective correspond à l'étape de reconfiguration de la commande de façon à ramener le procédé dans un mode de fonctionnement normal.

La supervision industrielle est utilisée par de nombreux procédés :

- pour la surveillance d'équipements ou de locaux, on parlera alors de GTC (gestion technique centralisée).

- pour le contrôle des procédés principalement de type continu : SNCC (systèmes numériques de contrôle-commande) ; ou encore SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition);

- pour des systèmes manufacturiers, ces procédés regroupent l'ensemble des fonctionnalités du superviseur.

1.8 La Supervision, une réalité industrielle

Les outils de supervision s'adressent à tous les industriels ayant des besoins de pilotage à distance et de visualisation de l'état de leurs équipements.

Ces outils « temps réel » ont pour principaux buts la représentation graphique et la prise en charge de fonctions avancées du procédé.

Les systèmes de supervision permettent d'obtenir des vues synthétiques des équipements ou ensembles d'équipements afin de visualiser leurs états physiques ou fonctionnels ; situés dans des salles de commande ou en pied de machine.

Les systèmes de supervision offrent la possibilité de déporter et de centraliser la vision et le pilotage des organes physiques (capteurs, actionneurs) parfois très éloignés. Appelés à dialoguer avec des systèmes de contrôle commande (API, machines spéciales...), les contrats d'interfaces mis en place sont supportés par des protocoles industriels de communication standards ou propriétaires.

Les principaux objectifs des systèmes de supervision sont :

- Concentrer les données, déporter ou centraliser le pilotage du procédé.
- Apporter une vision temps réel des états permettant aux opérateurs de réagir et de décider rapidement, apporter les premiers outils d'analyse nécessaires au contrôle des équipements concernés (historiques, courbes, alarmes, login) ...

1.8.1 Marche à suivre pour la réalisation d'une Supervision

La supervision devient vite passionnante tant les possibilités sont nombreuses. C'est pourquoi, avant de se lancer dans la programmation de l'API ou de l'IHM, il y a lieu de bien définir les différents scénarios possibles puis d'établir un cahier des charges.

Les principales étapes pour réaliser une supervision optimisée sont les suivantes :

- **Etape 1** : Définition des scénarios, cahier des charges fonctionnel.
- **Etape 2** : Modification du programme API d'origine.
 - Simulation (forçage) de la supervision créée.
 - Validation du nouveau programme API.

Remarque : à ce stade il est impératif de s'assurer que le programme API fonctionne parfaitement. Débuguer la supervision sans être sûr que l'application est correcte n'est pas envisageable.

- **Etape 3** : élaboration de la table de transfert.
- **Etape 4** :
 - Création des variables.
 - Configuration de la communication.
 - Conception de synoptique et des animations.
 - Tests de la supervision.
 - Validation du fonctionnement globale.

1.9 Architecture de la supervision

La supervision est d'un niveau supérieur et qui superpose à la boucle de commande, elle assure les conditions d'opérations pour les quelles les algorithmes d'estimation et de

commande ont été conçus. Parmi les tâches principales de la supervision se trouve la surveillance, l'aide à la décision, le diagnostic et la détection [4].

1.9.1 La supervision dans la hiérarchie d'une entreprise manufacturière

Les systèmes d'automatisation industriels sont très complexes, car ils se composent de différents périphériques. Ils se caractérisent par une confluence de fonctionnement de plusieurs équipements dans une même période.

1.9.2 Pyramide CIM

La pyramide du CIM (Computer Integrated Manufacturing) est une représentation conceptuelle qui comporte 4 niveaux auxquels correspondent des niveaux de décision.

Plus on s'élève dans cette pyramide, plus le niveau de décision/d'abstraction est important, plus la visibilité est globale et plus les horizons et cycles opérationnels s'allongent.

La pyramide d'automatisation industrielle est organisée de manière hiérarchique comme présentée dans la figure 1.7. Ce dernier est constitué de quatre couches :

- la première s'appelle **couche d'instrumentation** où l'on trouve les capteurs, les préactionneurs et les actionneurs.

- La deuxième couche est **la partie de contrôle** : où l'on peut trouver les automates programmables (API), les régulateurs (proportionnel, intégrateur, dérivateur) PID, les ordinateurs PC.

- Le troisième niveau est **la Plateforme logicielle modulaire** (SCADA/MES «Manufacturing Execution System »).

- Au sommet de la pyramide, on trouve l'ERP « **Entreprise Resource Planning** ». Ce dernier est un logiciel qui gère la planification des ressources de l'entreprise (aspect administratif).

Cette pyramide a vécu une évolution d'optimisation dans le temps. Au lieu d'avoir deux couches séparées : le SCADA et le MES (qui a pour rôle principal d'assurer le suivi de la production), ces derniers ont été fusionnés dans une même couche. Cette optimisation s'est effectuée parce qu'il n'y avait pas beaucoup d'échange d'informations entre le MES et le SCADA [7].

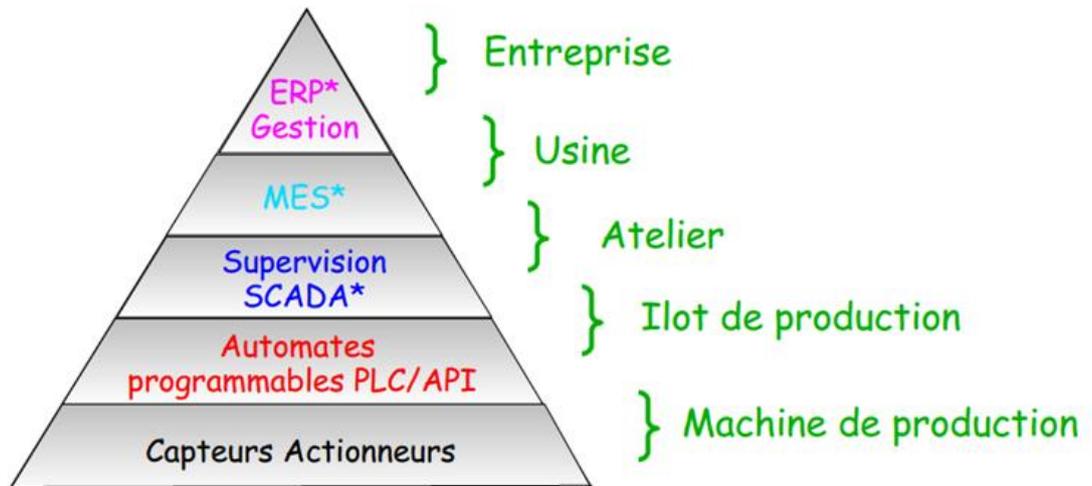


Figure 1.7. La pyramide d'automatisation industrielle

1.10 Les logiciels de supervision

Les logiciels de supervision sont une classe de programmes applicatifs dédiés à la production qui a pour rôle :

- l'assistance de l'opérateur dans ses actions de commande du processus de production (interface IHM dynamique...)
- la visualisation de l'état et de l'évolution d'une installation automatisée de contrôle de processus, avec une mise en évidence des anomalies (alarmes)
- la collecte d'informations en temps réel sur des processus depuis des sites distants (machines, ateliers, usines...) et leur archivage
- l'aide à l'opérateur dans son travail et dans ses décisions (propositions de paramètres, signalisation de valeurs en défaut, aide à la résolution d'un problème ...)

1.10.1 Le rôle d'une IHM

Interface Homme Machine est un dispositif qui permet le dialogue entre l'opérateur et la machine. Une IHM réalise deux fonctionnalités :

- a- présenter des informations à l'opérateur.
- b- permettre à l'opérateur d'agir sur le système en introduisant des commandes ou des consignes.

Les règles de conception d'une IHM de point de vue du respect des caractéristiques physiques et psychophysiologiques sont:

- lisibilité suffisante, pas d'informations fournies uniquement sur la base d'un changement de couleur.
- signaux sonores de fréquence suffisamment basse (inférieure à 800 Hz),
- les informations le plus fréquemment consultées doivent se trouver dans les zones le plus souvent parcourues par l'œil.

1.10.2 Synoptique

Fonction essentielle de la supervision, fournit une représentation synthétique, dynamique et instantanée de l'ensemble des moyens de production de l'unité, il permet à l'opérateur d'interagir avec le processus et de visualiser le comportement normal [1].

Un éditeur de synoptique permet de réaliser facilement des interfaces homme-machine qui allient la modernité du look et l'efficacité des l'interactive opérateur : zoom en exploitation, transparences...

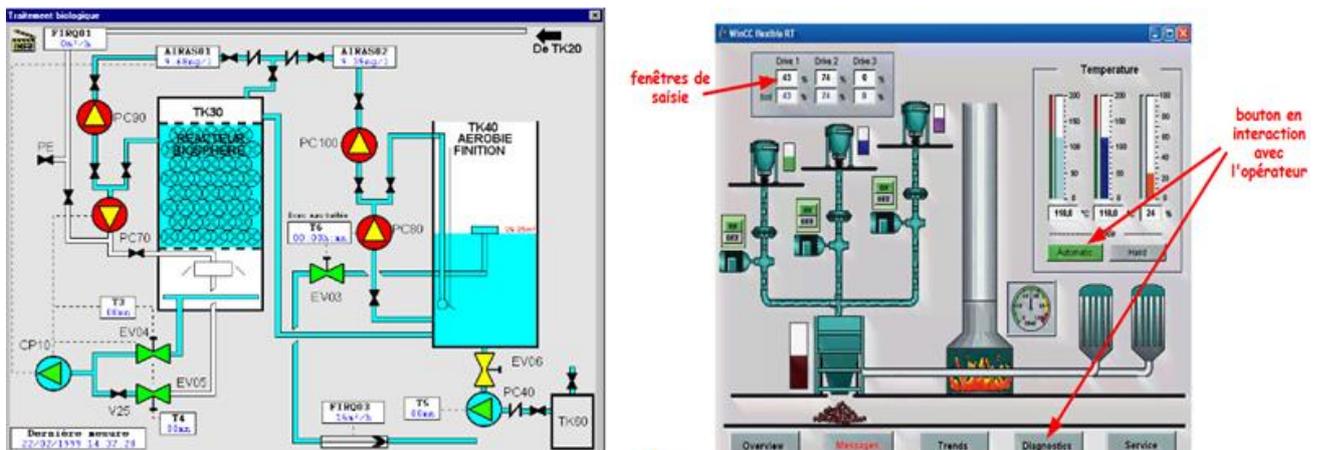


Figure 1.8. Fonction de synoptique

1.10.3 Courbes

Elles donnent :

- Une représentation graphique de différentes données du processus.
- Les outils d'analyse des variables historiées.

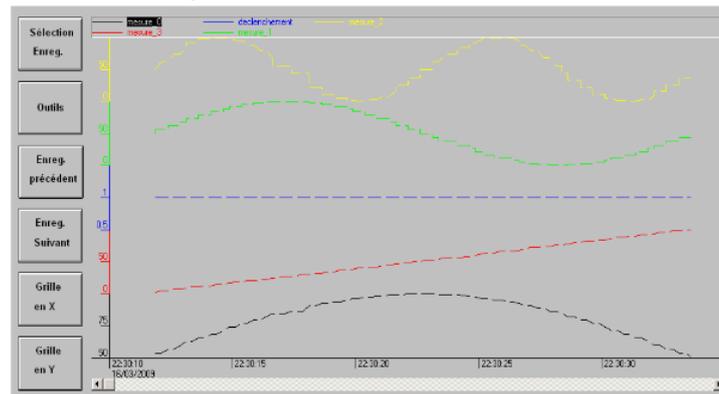


Figure 1.9. Vue des courbes

1.10.4 Alarmes

Elle a pour rôle de :

- calculer en temps réel les conditions de déclenchement des alarmes.
- afficher l'ensemble des alarmes selon des règles de priorité.
- donner les outils de gestion depuis la prise en compte jusqu'à la résolution complète.
- assurer l'enregistrement de toutes les étapes de traitement de l'alarme.



Figure 1.10. Vue alarmes

1.10.5 Historisation du procédé

L'historisation permet :

- la sauvegarde périodique de grandeurs (archivage au fil de l'eau)
- la sauvegarde d'événements horodatés (archivage sélectif)
- de fournir les outils de recherche dans les données archivées
- la possibilité de refaire fonctionner le synoptique avec les données archivées (fonction de magnétoscope ou de replay)

- de garder une trace validée de données critiques (traçabilité de données de production)



Figure 1.11. Vue historisation du procédé

1.10.6 Gestion des gammes

La gestion des gammes permet de :

- Donner un outil de gestion des lots de fabrication (batches)
- Gérer les paramètres de réglage des machines pour chacun des lots

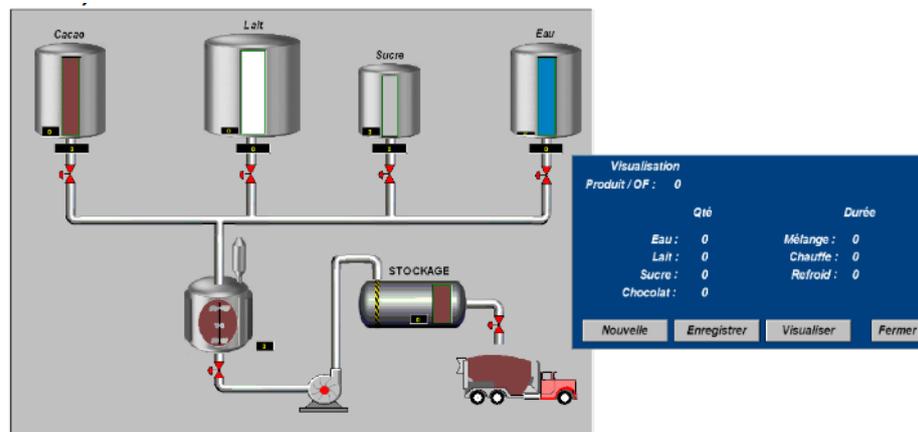


Figure 1.12. Vue de gestion des gammes

1.11 Domaines d'application de la supervision

De nos jours, de nouveaux procédés de supervision commencent à voir le jour se basant sur les architectures de systèmes distribués permettant la surveillance ou le monitoring à distance. La supervision est donc pratiquement indispensable sur des installations automatisées complexes. Les systèmes de supervision peuvent aussi inclure des systèmes

d'alertes qui permettent d'envoyer un SMS ou d'avertir l'opérateur en cas de problème sur la chaîne de production [10].

De l'évolution du besoin en traitement de données, la supervision regroupe :

- HMI, SCADA, MES, ERP
- Simulation
- Traçabilité
- Modélisation
- Communication ouverte
- Flexibilité
- Gestion de la qualité
- Gestion des connaissances de et dans l'entreprise

Certains composants seront détaillés dans le chapitre 2

➤ La supervision couvre plusieurs domaines d'applications telles que :

- Le pilotage de grandes installations industrielles automatisées :
 - métallurgie (laminoir), production pétrolière (distillation),
 - production et stockage agroalimentaire (lait, céréales...)
 - production manufacturière (automobile, biens de consommation...)

➤ Le pilotage d'installations réparties :

- alimentation en eau potable,
- traitement des eaux usées,
- gestion des flux hydrauliques (canaux, rivières, barrages...)
- gestion de tunnels (ventilation, sécurité)

➤ La gestion technique de bâtiments et gestion technique centralisée (GTC) :

- gestion des moyens de chauffage et d'éclairage (économies d'énergie)
- gestion des alarmes incendies
- contrôle d'accès, gestion des alarmes intrusion....

1.13. Conclusion

La supervision est devenue indispensable dans le système d'information. Elle est à la base du bon fonctionnement d'une architecture réseau et permet de réagir rapidement en cas de problèmes ou pannes.

Au cours de ce chapitre, nous avons exposé un aperçu sur le vocabulaire et les définitions usuels liés à la surveillance et à la supervision des systèmes industriels. Les composants de la surveillance à savoir la détection, le diagnostic, ...ainsi que les fonctions de la supervision ont été présenté.

Enfin une architecture de la supervision et le rôle des logiciels de supervision ont été abordé. Dans le chapitre suivant, nous nous intéressons à une classe de système de supervision industrielle destinée à l'acquisition de données pour le contrôle et la conduite.

Chapitre 2

Le système de contrôle et d'acquisition de données

2.1 Introduction

La conduite d'un procédé dans le domaine industriel implique la connaissance, la surveillance et la maîtrise de certains paramètres tels que la pression, la température, le débit, ... etc. Chaque procédé possède ses exigences propres, et chaque équipement a ses conditions de fonctionnement. Le système de contrôle-commande doit satisfaire ces besoins.

Les installations industrielles dans le domaine pétrole et gaz présentent des risques pour les personnes, l'environnement et les équipements d'où la nécessité de mise en œuvre des systèmes de mise en sécurité de ces installations à risque pour le respect des exigences réglementaires.

Les technologies nouvelles comme SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) nous offrent des avantages multiples qui nous garantissent un retour sur investissement particulièrement rapide, et des résultats quantitativement et qualitativement excellents.

2.2 Définition de SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) est synonyme de contrôle de surveillance et d'acquisition de données. Comme son nom l'indique, désigne une catégorie de logiciels destinés au contrôle de processus et à la collecte de données en temps réel auprès de sites distants, en vue de contrôler des équipements et des conditions d'exploitation. Il ne s'agit pas d'un système de contrôle complet, mais plutôt d'un niveau de supervision.

Il s'agit d'un progiciel purement logiciel positionné sur le matériel auquel il est interfacé, en général via des automates programmables (PLC) ou d'autres modules matériels commerciaux.

On peut voir aussi que c'est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémesures et de contrôler à distance des installations techniques. C'est une technologie industrielle dans le domaine de l'instrumentation, dont les implémentations peuvent être considérées comme des Framework¹ d'instrumentation incluant une couche de type middleware². On trouve par exemple des systèmes SCADA dans les contextes suivants :

- Surveillance de processus industriels
- Transport de produits chimiques
- Réseaux municipaux d'approvisionnement en eau
- Commande de la production d'énergie électrique
- Distribution électrique, canalisations de gaz et de pétrole

¹ Un framework est, comme son nom l'indique en anglais, un "cadre de travail" dont l'objectif est généralement de simplifier le travail des développeurs informatiques en leur offrant une architecture "prête à l'emploi" et qui leur permette de ne pas repartir de zéro à chaque nouveau projet.

² En architecture informatique, un middleware ou intergiciel est un logiciel tiers qui crée un réseau d'échange d'informations entre différentes applications informatiques

- Réseaux de chaleur
- Recherche et études scientifiques et industrielles.

Les systèmes SCADA sont largement utilisés dans l'industrie pour l'acquisition de données, le pilotage et la surveillance de processus industriels [5].

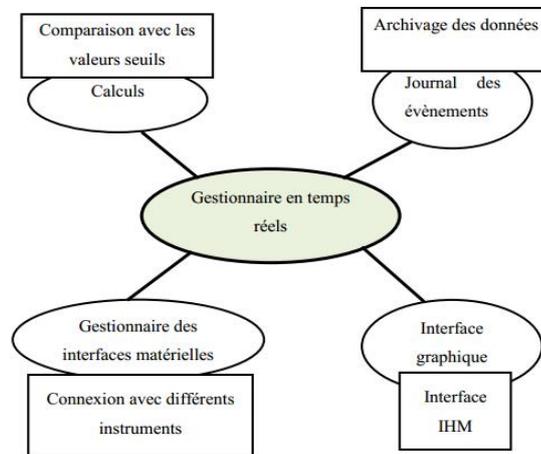


Figure 2.1. Organisation logicielle de superviseur

2.3 Evolution du système SCADA

L'utilisation du système SCADA est devenue populaire à partir des années 1960 avec le besoin croissant de surveiller et de contrôler le matériel. Les premiers systèmes construits à l'aide d'ordinateurs centraux étaient coûteux, car ils étaient actionnés et surveillés manuellement. Mais les progrès récents de la technologie ont permis de créer des systèmes SCADA automatisés et avancés offrant une efficacité maximale à un coût réduit, conformément aux exigences alarmantes de l'entreprise.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'évolution des systèmes SCADA et description des quatre générations suivantes :

2.3.1 1ere Génération : « Monolithique »

Les calculs sont réalisés avec des ordinateurs centraux. Les réseaux n'existant pas à cette époque, les systèmes SCADA sont indépendants et ne sont connectés à aucun autre système. Les réseaux étendus seront conçus par les fournisseurs de RTU (Remote Terminal Unit). Les protocoles de communication utilisés sont le plus souvent propriétaires.

La première génération de systèmes SCADA est redondante car un ordinateur central de secours est connecté au niveau du bus informatique et activé en cas de panne de l'ordinateur central principal.

Certains systèmes SCADA de première génération sont des solutions «clé en main» et mis en œuvre sur des mini-ordinateurs comme le PDP-11³ de Digital Equipment

³Un PDP-11 est un modèle d'ordinateur de la gamme des PDP construit par Digital Equipment Corporation entre 1970 et 1993.

Corporation (DEC). Ces systèmes peuvent afficher des informations provenant des systèmes de contrôle analogiques existant aux postes de travail des opérateurs individuels, mais ils n'ont généralement pas la fonction d'envoyer des signaux de commande aux stations éloignées. Ils ont aussi des fonctions d'alarme et de journalisation et assurent des tâches de comptabilité horaires et quotidiennes.

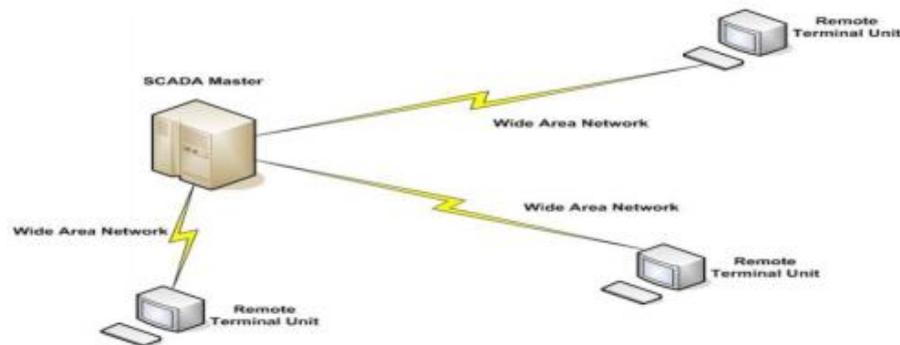


Figure 2.2. Architecture monolithique

2.3.2 2ème Génération : « Distribuée »

Le traitement est réparti entre plusieurs stations reliées par un réseau local et qui échangent des informations en temps réel. Chaque station est responsable d'une tâche particulière, ce qui rend la taille et le coût de chaque poste inférieur à ceux utilisés dans la première génération. Les protocoles réseau utilisés sont encore majoritairement propriétaires, ce qui conduit à des problèmes de sécurité importants des systèmes SCADA soumis aux pirates informatiques.

Étant donné que les protocoles étaient propriétaires, très peu de gens en dehors des développeurs et des pirates en savent assez pour déterminer comment sécuriser un système SCADA. Les deux parties ayant intérêt à maintenir un certain niveau d'obscurité, la sécurité d'un système SCADA est souvent surestimée, si toutefois elle a été prise en compte.

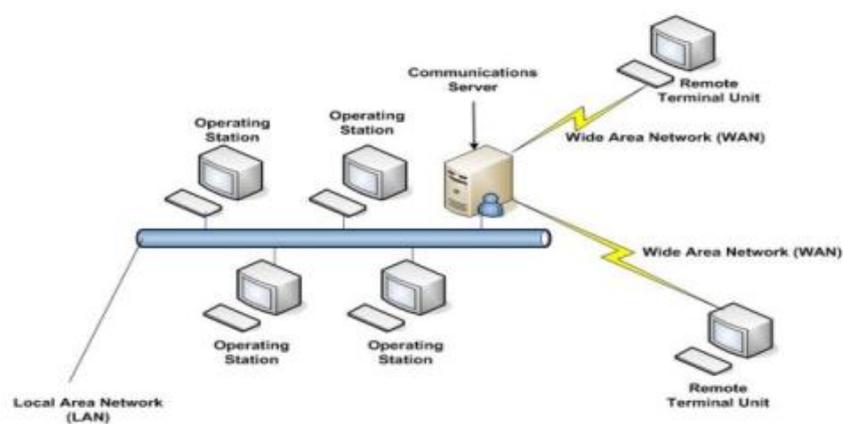


Figure 2.3. Architecture distribuée

2.3.3 3ème Génération : « en réseau »

Grâce à l'utilisation de protocoles standards et le fait que de nombreux systèmes SCADA en réseau sont accessibles à partir d'Internet, les systèmes sont potentiellement vulnérables à une attaque à distance. D'autre part, l'utilisation de protocoles standards et de techniques de sécurité signifie que les améliorations des standards de sécurité sont applicables aux systèmes SCADA, en supposant qu'ils reçoivent la maintenance et les mises à jour en temps opportun.

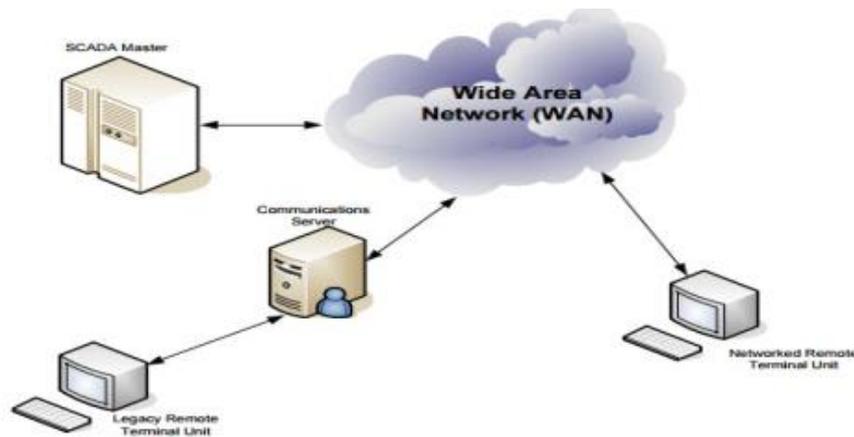


Figure 2.4. Architecture en réseau

2.3.4 4ème Génération : « Internet des objets »

Avec la disponibilité commerciale du cloud computing, les systèmes SCADA ont de plus en plus adopté les technologies de l'Internet des objets pour réduire considérablement les coûts d'infrastructure et augmenter la facilité d'entretien et d'intégration. En conséquence les systèmes SCADA peuvent désormais donner l'état presque en temps réel et utiliser les facteurs d'échelle permis par le cloud computing pour mettre en œuvre des algorithmes de contrôle plus complexes que ce qui peut être fait en pratique avec les automates programmables industriels. En outre, l'utilisation de protocoles de réseaux ouverts tels que TLS inhérents à l'Internet des objets offre un périmètre de sécurité plus compréhensible et gérable que le mélange hétérogène de protocoles réseau propriétaires typiques de nombreuses implémentations de systèmes SCADA décentralisées précédentes[11].



Figure 2.5. Architecture en Internet d'objets

2.4 Fonctionnalités d'un système de Supervision

Un système SCADA comprend 2 sous-ensembles fonctionnels :

2.4.1 Commande

Le rôle de la commande est de faire exécuter un ensemble d'opérations (élémentaires ou non suivant le niveau d'abstraction auquel on se place) au procédé en fixant des consignes de fonctionnement en réponse à des ordres d'exécution.

Il s'agit de réaliser généralement une séquence d'opérations constituant une gamme de fabrication dans le but de fabriquer un produit en réponse à une demande d'un client. La commande regroupe toutes les fonctions qui agissent directement sur les actionneurs du procédé qui permettent d'assurer :

- Le fonctionnement en l'absence de défaillance,
- La reprise ou gestion des modes,
- Les traitements d'urgence,
- Une partie de la maintenance corrective.

Les fonctions de commande en marche normale sont :

- L'envoi de consignes vers le procédé dans le but de provoquer son évolution
- L'acquisition de mesures ou de compte-rendu permettant de vérifier que les consignes envoyées vers le procédé produisent exactement les effets escomptés.
- L'acquisition de mesures ou d'informations permettant de reconstituer l'état réel du procédé et/ou du produit.
- L'envoi vers le procédé d'ordres prioritaires permettant de déclencher des procédures de sécurité (arrêts d'urgence par exemple).

2.4.2 Surveillance

La partie surveillance d'un superviseur a pour objectifs :

- La détection d'un fonctionnement ne correspondant plus à ce qui est attendu.
- La recherche des causes et conséquences d'un fonctionnement non prévu ou non contrôlé.
- L'élaboration de solutions permettant de pallier le fonctionnement non prévu
- La modification des modèles utilisés pendant le fonctionnement prévu pour revenir à ce fonctionnement : changement de la commande, réinitialisations, etc.,
- La collaboration avec les opérateurs humains pour les prises de décision critiques, pour le recueil d'informations non accessibles directement et pour l'explication de la solution curative envisagée ou appliquée.

2.5 Structure d'un système SCADA

2.5.1 SCADA pour l'automatisation et le contrôle

Une fois la configuration des installations du système est réalisée, à savoir : la programmation des entrées/sorties du contrôleur, la configuration du serveur, la configuration des instruments de mesure, la communication entre les différents équipements, il convient de se concentrer sur la mise en place d'un système SCADA.

En effet, le système SCADA est capable de transférer des informations entre une salle de contrôle composé d'un ou plusieurs ordinateurs « hôte » ou encore appelé MTU (Remote Master Unit) à un certain nombre des unités terminales distantes RTU ou à des automates situés au même endroit ou à des endroits différents.

Le système SCADA permet également le contrôle du processus à travers la commande de certains appareils à distance (ouverture et la fermeture des actionneurs), l'envoi des instructions (profile de charge), etc.

De cette façon, le SCADA assure la surveillance et la sécurité de l'ensemble du système en émettant des données critiques. Il permet de prendre des décisions d'urgence qui ont pour but d'améliorer la maintenance des installations [11].

2.5.2 Gestion d'alarme

La configuration des alarmes a évolué de façon spectaculaire au cours des dernières décennies. Dans les années 1970, l'ajout d'une nouvelle alarme était complexe et présentait des coûts élevés. De nos jours, avec l'utilisation des systèmes SCADA, cela est devenu plus facile à réaliser.

Le rôle principal des alarmes est de maximiser la productivité du système de production et de fournir plus de sécurité tant aux installations qu'aux opérateurs. La gestion des alarmes ne consiste pas seulement à réduire les anomalies, mais également de rendre les opérateurs à devenir plus efficaces ceci en obtenant la bonne information au bon moment.

2.5.3 Archivage des données

L'archivage des données est l'un des principaux éléments d'un système SCADA. De ce fait, il permet d'archiver les données provenant de diverses installations du système.

Les informations enregistrées peuvent être des données structurées (données relationnelles...) ou des données non structurées (documents, images ...).

2.5.4 Interface homme-machine IHM

L'interaction entre l'utilisateur du système SCADA et les différents équipements d'une installation se fait via une interface graphique. Cette interface contient des représentations synoptiques qui centralisent le contrôle d'un procédé sur un seul écran.

L'IHM permet d'avoir un affichage clair et simple des différentes données du système (états d'entrées /sorties, alarmes, etc.) en temps réel.

2.6 Technologie de SCADA

Les systèmes SCADA ont fait des progrès considérables au cours des dernières années en termes de fonctionnalités, l'évolutivité, la performance et l'ouverture.

Les systèmes SCADA ne sont pas utilisés uniquement dans la plupart des processus industriels tels que les industries de transformation, le pétrole et le gaz, la production d'énergie électrique, la distribution, les services publics, le traitement et la gestion des eaux et des déchets, l'agriculture / l'irrigation, la fabrication, les systèmes de transport, etc. mais aussi dans certaines installations expérimentales telles que la fusion nucléaire.

Les systèmes SCADA comprennent des composants matériels et logiciels. Les composants matériels collectent les données et les rassemblent sur un ordinateur équipé d'un logiciel SCADA. L'ordinateur traite alors ces données et les présente en temps opportun. En outre, le système SCADA enregistre et journalise tous les événements dans un fichier stocké sur un disque dur ou les envoie à une imprimante.

Enfin, le système SCADA émet des alarmes lorsque les conditions deviennent dangereuses ou non conforme au fonctionnement normal [5].

2.6.1 Composants des systèmes SCADA

Avant de discuter l'architecture du SCADA et les différents types de systèmes SCADA, nous devons avant tout connaître quelques notions de base sur le SCADA. Le schéma synoptique du système SCADA est présenté dans la figure 2.6, qui comprend différents blocs, à savoir une interface homme-machine (IHM), un système de supervision, des unités terminales distantes, des automates programmables, une infrastructure de communication et des programmes SCADA [12].

Un système SCADA se distingue par :

- Les composants hardware :
 - Automates, vannes, capteurs chimiques ou thermiques, système de commande et contrôle, IHM.
 - La conception d'un système de contrôle en réponse à un cahier des charges.
- Les composants software :
 - Les flux de communication dans les systèmes SCADA.
 - Les architectures réseaux par besoin fonctionnel.
 - Les protocoles de communication temps réel, PLC.
 - Les langages de programmation d'automatismes industriels

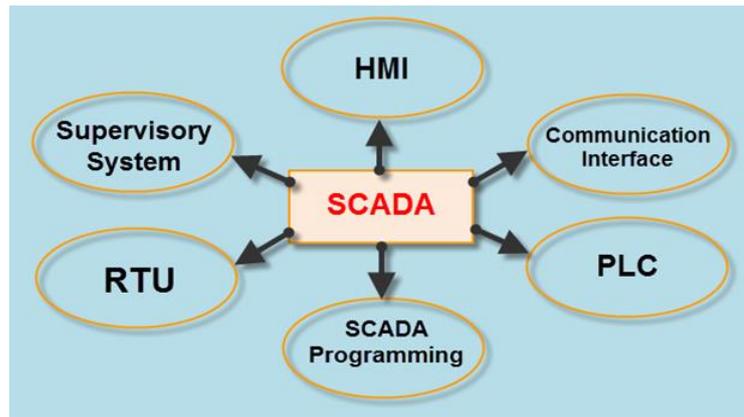


Figure 2.6. Schéma synoptique du SCADA

a) Composants hardware

- **Interface homme-machine (IHM)**

C'est un dispositif d'entrée-sortie qui présente les données de processus devant être contrôlées par un opérateur humain. Il est utilisé en liaison avec les logiciels et les bases de données du système SCADA pour fournir les informations de gestion, y compris les procédures de maintenance planifiées, des schémas détaillés, des informations logistiques et des données de diagnostic pour un capteur ou une machine spécifique. Les systèmes IHM permettent aux opérateurs de visualiser les informations sous forme graphique.

- **Système de surveillance MTU**

Le système de supervision sert de serveur pour la communication entre les équipements du système SCADA, tels que les RTU, les API et les capteurs, etc., et le logiciel IHM utilisé dans les postes de travail de la salle de contrôle.

La station maître ou la station de supervision comprend un seul PC dans des systèmes SCADA plus petits et, dans le cas de systèmes SCADA plus grands, le système de supervision comprend des applications logicielles distribuées, des sites de reprise après incidents et plusieurs serveurs. Ces serveurs multiples sont configurés dans une configuration de secours immédiat ou à double redondance, qui contrôle et surveille en permanence en cas de défaillance du serveur afin d'accroître l'intégrité du système.

- **Unités Terminaux distants RTU**

Les éléments physiques dans les systèmes SCADA sont interfacés avec les dispositifs électroniques contrôlés par microprocesseur, appelés unités de terminaux distants (RTU). Ces unités sont utilisées pour transmettre des données de télémétrie au système de supervision et recevoir les messages du MTU pour contrôler les objets connectés. Par conséquent, elles sont également appelées unités de télémétrie distante.

- **Automates logiques programmables (API)**

Dans les systèmes SCADA, des automates sont connectés aux capteurs pour collecter les signaux de sortie des capteurs afin de convertir ces signaux en données numériques. Les API sont utilisées à la place des RTU en raison de leurs avantages tels que la flexibilité, la configuration, la polyvalence et l'accessibilité économique par rapport aux RTU [11].

b) Composants software

En générale, la combinaison de connexions radio et filaires directes est utilisée pour les systèmes SCADA, mais dans le cas de systèmes de grande taille tels que les centrales électriques et les chemins de fer, SONET⁴ / SDH⁵ est fréquemment utilisé. Parmi les protocoles SCADA très compacts utilisés dans les systèmes SCADA :

- quelques protocoles de communication, qui sont normalisés et reconnus par les fournisseurs de SCADA.

- n'envoient des informations que lorsque la station de surveillance interroge les RTU.

La programmation SCADA dans un maître ou une interface homme-machine est utilisée pour créer des plans et des diagrammes qui fourniront des informations importantes en cas de défaillance d'événement ou de défaillance de processus.

Les interfaces standard sont utilisées pour programmer la plupart des systèmes SCADA commerciaux. La programmation SCADA peut être effectuée à l'aide d'un langage de programmation dérivé ou d'un langage C [13].

2.6.2 Architecture du SCADA

L'évolution d'instrumentation intelligente et de terminaux distants (RTU) / contrôleurs logiques programmables (PLC) ont permis aux solutions de processus-contrôle de nombreux secteurs d'être facilement gérées et exploitées en utilisant les avantages d'un système SCADA.

Généralement, le système SCADA comprend les composants suivants : processeurs locaux, équipements d'exploitation, automates programmables, instruments, terminal distant, appareil électronique intelligent, terminal maître ou ordinateurs hôtes et un PC avec interface homme-machine [14].

⁴SONET (*Synchronous Optical NETwork*) : est un modèle de norme de transmission optique.

⁵SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) : est un ensemble de protocoles pour la transmission de données numériques à haut débit principalement sur fibre optique.

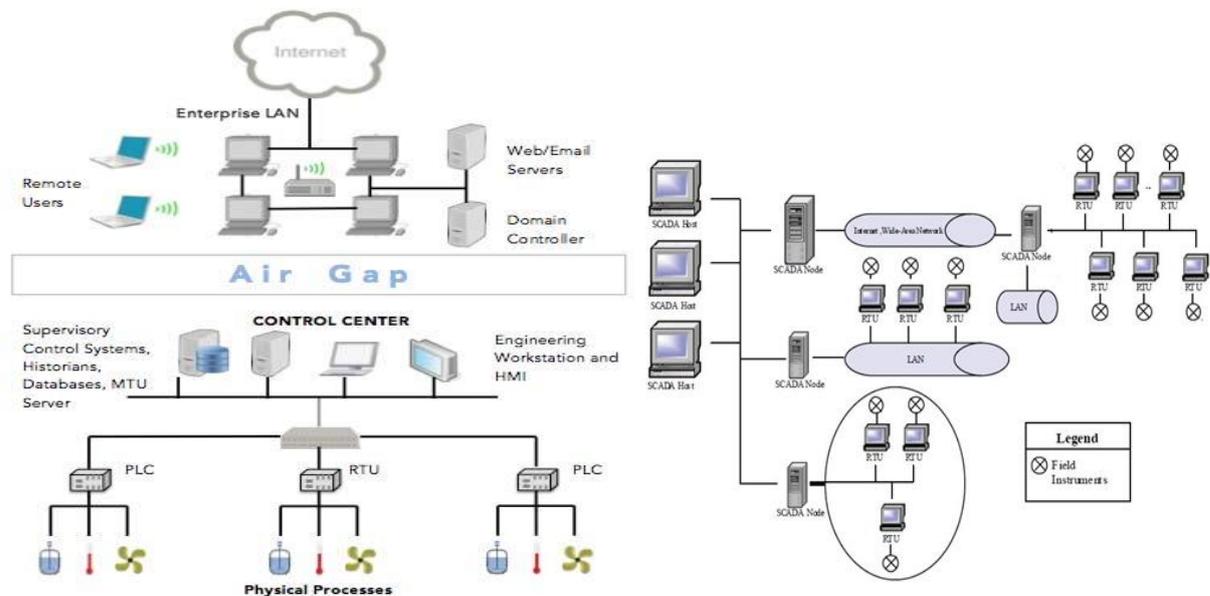


Figure 2.7. Architectures SCADA

Le schéma fonctionnel du système SCADA présenté dans la figure 2.7 représente l'architecture SCADA de base. Les systèmes SCADA sont différents des systèmes de contrôle distribués que l'on trouve couramment sur les sites de production. Lorsque les systèmes de contrôle distribués couvrent le site de l'usine, le système SCADA couvre des zones géographiques beaucoup plus vastes.

En général, une architecture SCADA intégrée prend en charge les protocoles de communication basés sur IP, TCP / IP, UDP et autres, ainsi que des protocoles industriels tels que Modbus TCP, Modbus sur TCP ou Modbus sur UDP⁶. Celles-ci fonctionnent toutes sur des réseaux cellulaires, radio privés ou par satellite.

Dans les architectures SCADA complexes, une variété de supports et de protocoles filaires et sans fil impliqués dans la restitution des données sur le site de surveillance. Cela permet la mise en œuvre de puissants réseaux SCADA basés sur IP sur ligne fixe, des systèmes cellulaires et à satellites mixtes. Les communications SCADA peuvent utiliser un large éventail de supports filaires et sans fil.

Le choix de la communication existante dépend de la caractérisation d'un certain nombre de facteurs à savoir l'éloignement, les communications disponibles sur les sites distants, l'infrastructure de communication existante, la fréquence de scrutation et les débits de données. Ces facteurs ont un impact sur la décision finale concernant l'architecture SCADA. Par conséquent, un examen de l'évolution des systèmes SCADA nous permet de mieux comprendre de nombreux problèmes de sécurité.

⁶UDP c'est Le User Datagram Protocol est un des principaux protocoles de télécommunication utilisés par Interne.

2.7 Les protocoles de communication d'un système SCADA

La complexité de mettre en place un système SCADA se présente en grande partie dans le choix des protocoles de communication entre les différents dispositifs de l'installation. Dans la partie ci-dessous, les protocoles les plus connus sont :

2.7.1 Modbus

Modbus est un protocole de communication série développé par Modicon. C'est une méthode utilisée pour transmettre des informations en série (une après l'autre) entre les dispositifs électroniques ou des appareils d'instrumentation.

Le dispositif demandant les informations est appelé le « Maître », alors que, le dispositif qui fournit les informations est « l'esclave ».

Dans un réseau Modbus standard, un maître a jusqu'à 247 esclaves où chaque esclave a une adresse unique de 1 à 247. Le maître peut aussi écrire des informations sur les esclaves.

Ce protocole est ouvert, c'est-à-dire qu'il est gratuit et utilisable par n'importe quelle entité (compagnies électroniques, fabricants des équipements, etc.). Ce protocole est devenu un standard de communication dans l'industrie.

Par exemple, un système qui mesure la température ou l'humidité utilisera le protocole Modbus pour communiquer les résultats à un ordinateur de supervision. Souvent, ce protocole est utilisé pour connecter une unité terminale distante (RTU) à un système SCADA.

Le protocole Modbus de base entre un maître et l'esclave est présenté dans la Figure

Adresse	Code de fonction	Information	Correction d'erreur
---------	------------------	-------------	---------------------

Figure 2.8. Représentation d'un protocole Modbus de base

2.7.2 Modbus RTU

Modbus RTU est un protocole ouvert qui transmet les données en série utilisant des câbles (RS-232 ou RS-485) dérivés de l'architecture maître/esclave. C'est un protocole largement accepté en raison de sa facilité d'utilisation. Ce protocole est utilisé dans les systèmes de gestion de bâtiment (BMS), ainsi que dans les systèmes automatiques industriels.

Le message de Modbus RTU se compose d'une architecture 16-bits. La simplicité de cette architecture est d'assurer la fiabilité de transmission des messages. Ce protocole peut être utilisé pour transférer des virgules flottantes, des tableaux, des textes ASCII, des files d'attente, et d'autres données non liées.

Le Tableau suivant présente le type de communication entre le maître et l'esclave.

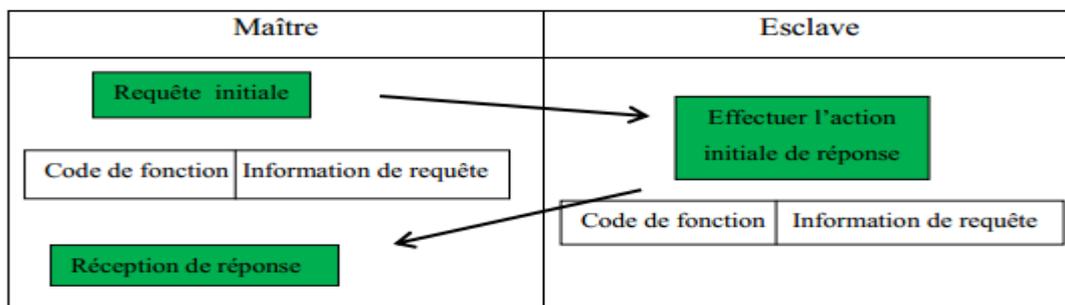


Tableau 2. 1. Méthode de communication entre le maître et l'esclave en utilisant le Modbus RTU

2.7.3 Modbus ASCII

C'est un autre type de mode de transmission Modbus, qui utilise le même support physique de communication de mode RTU.

Lorsque les automates sont configurés pour communiquer sur un réseau utilisant le mode Modbus ASCII (American Standard Code for Information Interchange), le message est transmis en deux caractères ASCII pour chaque octet.

Le mode ASCII permet d'éviter de générer des erreurs par sa transmission ultra-rapide des données (intervalle de temps allant jusqu'à une seconde pour délivrer un message).

2.7.4 Modbus TCP/IP

Le Transmission Control Protocol (TCP) et l'Internet Protocol (IP) sont des protocoles fiables qui utilisent la couche de transport du modèle OSI⁷. Ces protocoles sont utilisés conjointement.

Lorsque des informations sur Modbus sont envoyées en utilisant ces protocoles, les données sont transmises à TCP puis envoyées dans une adresse IP. Ensuite, IP place les données dans un paquet (ou datagrammes) et le transmet dans un dispositif de réception.

Ce protocole fonctionne avec le mode Client / Serveur. Les clients sont tous actifs, le serveur est complètement passif. Chaque client a le droit de lire et écrire dans le serveur.

Les trames à envoyer contiennent une fonction et une instruction à traiter : écriture et/ou lecture. Chaque serveur possède sa propre adresse IP.

La performance d'un réseau Modbus TCP dépend fortement du type et de la conception du réseau Ethernet. Ce dernier utilise les performances des processeurs dans les interfaces de communication pour les dispositifs respectifs.

⁷Le modèle **OSI** (de l'anglais Open Systems Interconnection) est une norme de communication, en réseau, de tous les systèmes informatiques

Modbus TCP est une approche pragmatique qui utilise Ethernet comme un moyen de transmission de données pour les applications d'automatisation.

2.7.5 Modbus Plus

Le Modbus Plus est un protocole pair à pair (chaque client est aussi un serveur) qui transmet des données à une vitesse de 1Mb/s.

Ce protocole spécifie la couche logicielle ainsi que la couche matérielle. Les conducteurs et les raccordements doivent être utilisés avec un réseau Modbus Plus. Généralement, ce protocole n'est pas utilisé pour une communication à temps réel, car il utilise un câble. Cependant, il présente d'autres difficultés liées à la communication.

2.7.6 Profibus

Profibus signifie « bus des processus de terrain ». C'est une norme de réseau en général, utilisé au sein des systèmes de contrôle industriels. Plusieurs systèmes peuvent être utilisés avec la norme Profibus, tels que : le système SCADA, le système numérique de contrôle et de commande, système de contrôle distribué (DCS), l'automate API, l'assemblage et la manipulation des appareils de terrain, le système de contrôle industriel (ICS).

Ce protocole assure la communication entre les dispositifs de champs ou entre MTU et RTU. Profibus exige quelques spécifications d'utilisation. En effet, il faut utiliser un type de connecteur D. Aussi, la distance soutenue peut aller jusqu'à 24 km au maximum.

Enfin, le débit d'accélération de transmission des données peut aller jusqu'à 12 Mb/s et la taille du message jusqu'à 244 octets par nœud.

La famille Profibus se compose de trois versions compatibles offrant de très grandes intégrités et une capacité adaptée au besoin.

- PROFIBUS DP - Périphérie décentralisée
- PROFIBUS FMS - Fieldbus Message Spécification
- PROFIBUS PA - Process Automation [11]

2.8 Avantage du SCADA

Parmi les avantages du SCADA, on retrouve :

- Le suivi de près du système ; voir l'état du fonctionnement de procédé dans des écrans même s'il se situe dans une zone lointaine.
- Le contrôle et l'assurance que toutes les performances désirées sont atteintes de visualiser les performances désirées du système à chaque instant, et s'il y aurait une perte de performance, une alarme se déclenche d'une manière automatique pour prévenir l'opérateur.

- La génération d'une alarme lorsqu'une faute se produit et visualise même la position où se situent la faute et l'élément défectueux, ce qui facilite la tâche du diagnostic et de l'intervention de l'opérateur.
- La disponibilité de plusieurs informations sur le système aide l'opérateur à prendre la bonne décision, et à ne pas se tromper dans son intervention.
- Réduction des tâches du personnel en les regroupant dans une salle de commande.
- Elimination ou réduction du nombre de visite aux sites éloignés ; avec une interface graphique, on peut suivre l'état de l'installation à chaque instant, ainsi on n'aura pas besoin de faire des visites de contrôle [7].

2.9 Supervision dans un environnement SCADA

Le système SCADA fonctionne par l'acquisition de données provenant de l'installation, ces dernières sont affichées sur une interface graphique sous un langage très proche de langage humain, ces opérations sont exécutées en temps réel, ainsi les systèmes SCADA donnent aux opérateurs le maximum d'information pour une meilleure décision, ils permettent un très haut niveau de sécurité, pour le personnels et pour l'installation et permettent aussi la réduction des coûts des opérations, les avantages qu'offre le SCADA sont obtenus avec la combinaison des outils softs et hard.



Figure 2.8. Combinaison des outils softs et hard des systèmes SCADA

2.9.1 Interfaces graphiques du SCADA

Les interfaces graphiques sont un outil très important pour le bon déroulement de la procédure d'aide à la décision, elles sont le seul point d'interaction entre l'opérateur et les algorithmes d'aide à la décision, ainsi, elles aident l'opérateur dans sa tâche d'interprétation et de prise de décision, en lui offrant une très bonne visibilité sur l'état et l'évolution de l'installation, avec l'affichage en différentes couleurs des résidus, des alarmes et des propositions sur l'action à entreprendre [15].

La figure suivante représente une interface graphique de la supervision d'un générateur de vapeur :

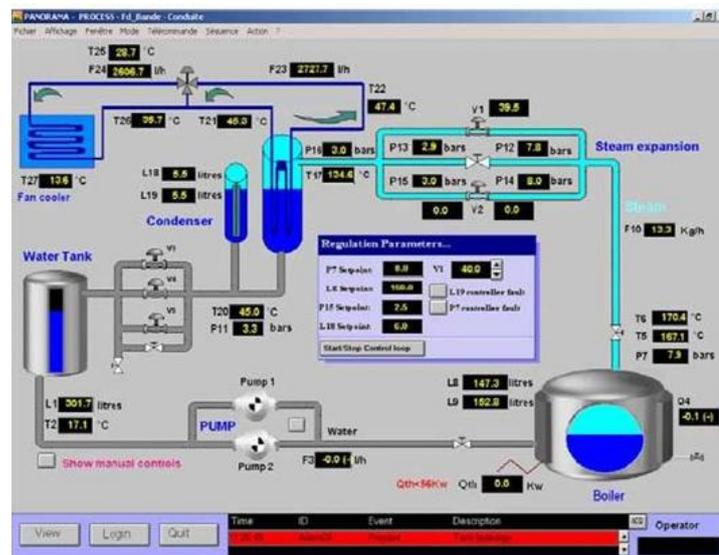


Figure 2.9. Interface graphique de supervision d'un générateur de vapeur

2.9.2 Fonctionnement en temps réel

La notion du temps réel est devenue très importante et indispensable dans la procédure de surveillance et de supervision en générale, elle permet de faire le rafraîchissement des signaux à chaque instant, ce qui permet de suivre l'évolution de l'état du système d'une façon continue [7].

2.10 Quelques logiciels de supervision SCADA

La nécessité des appareils de commande capables d'assurer le déclenchement, la commande, la surveillance et l'arrêt des installations dans le domaine industriel a conduit à une diversité et une concurrence accrue dans le domaine de production des API dont Siemens fait partie et considérée comme l'une des plus importantes marques industrielles et technologiques.

2.10.1 Qu'est qu'un logiciel de supervision

Un logiciel de supervision permet le développement et/ou l'exploitation d'une application de supervision. Cette dernière est avant tout un outil de conduite d'une installation automatisée. Il permet également l'acquisition de données, leur archivage et consultation.

Un logiciel de supervision peut être également un outil de diagnostic de défaillance du process ou des équipements.

De nos jours, il existe plusieurs fabricants des logiciels de supervision. Ces logiciels sont divisés en deux types : propriétaires et ouverts. Les logiciels propriétaires sont vendus comme des solutions clés pour assurer seulement la communication des instruments du même fabricant.

Le principal problème de ce type du SCADA est sa dépendance écrasante avec les fournisseurs. Alors que les logiciels ouverts sont plus populaires et plus utilisés en raison de leur interopérabilité qu'ils apportent au système. Les logiciels ouverts permettent à l'application SCADA de communiquer avec les instruments de différentes marques.

L'application SCADA comprend une interface graphique homme-machine IHM qui permet de visualiser les variables d'état du système, changer les points de consigne, informer l'utilisateur à l'état critique et de générer des tendances de données.

Généralement, chaque logiciel a un domaine d'utilisation spécifique, à noter : des logiciels spéciaux pour la détection des alarmes, pour les infrastructures, pour les procès, etc. Les applications conçues par ces logiciels peuvent être accessibles par des sites web, par des équipements mobiles (cellulaires, tablettes, etc.) [16].

Dans la littérature, on trouve plusieurs logiciels de supervision parmi lesquels on cite :

2.10.2 Logiciel PcVue

a) Présentation

Ce logiciel est créé en 1985 par la société Arc Informatique, Logiciel SCADA PcVue est depuis 1992 à l'avant-garde de la technologie en matière de logiciel supervision ;

En effet, le logiciel SCADA PcVue offre bien plus qu'un superviseur SCADA conventionnel. Sa technologie permet de réaliser des petites installations monopostes et également de déployer aisément une application en multipostes comprenant des serveurs redondants.

Dans le domaine industriel, PcVue possède une richesse de fonctionnalités qui en font un outil idéal non seulement pour piloter des installations mais également pour récolter et distribuer des informations en temps réel au sein d'une fabrication. En tant que système d'information temps réel, PcVue permet d'optimiser la performance d'une production en impliquant ses différents acteurs [16].

b) Principe de la Supervision par logiciel PcVue

- **Dialogue API - Système**

Sur le bus de données, l'API exécute le programme et gère les entrées/sorties. Le bus peut être AS-i, Modbus, Ethernet, ... Le type de bus utilisé ainsi que le protocole de communication sont propres à l'API et sont invisibles pour le superviseur (SU).

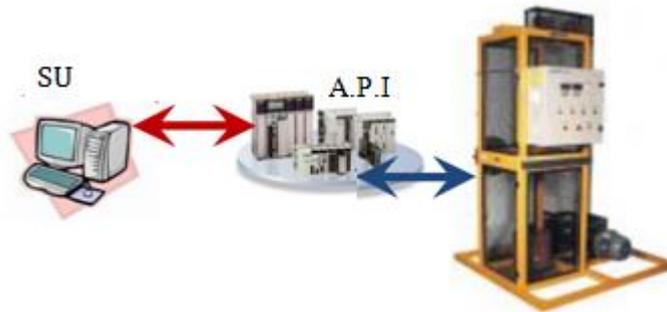


Figure 2.10. Dialogue entre API –Système

- **Dialogue SU – API**

Le superviseur et l'API communiquent sur un bus (Ethernet, Modbus,) suivant un protocole défini en commun (RS232, Protocole IP...). SU lit et écrit dans la mémoire de l'API

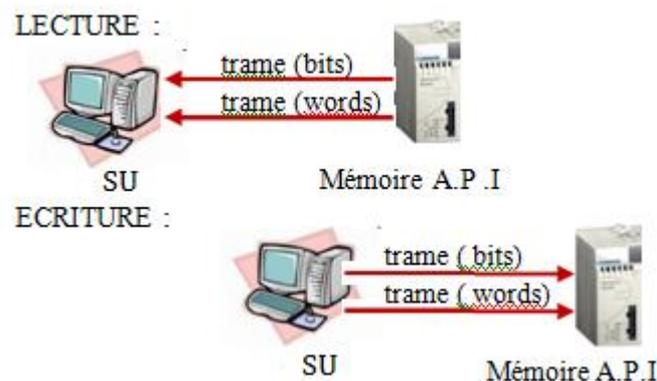


Figure 2.11. Dialogue SV- API

2.10.3 Présentation du WinCC

- **Description générale**

WinCC est un système HMI performant qui est utilisé sous Microsoft Windows, il s'agit de l'interface reliant l'utilisateur à la machine (le processus). Le contrôle proprement dit du processus est assuré par les automates programmables. Une communication s'établit donc entre WinCC et l'opérateur d'une part et entre Win CC et les automates programmables d'autre part comme elle montre la figure suivante :

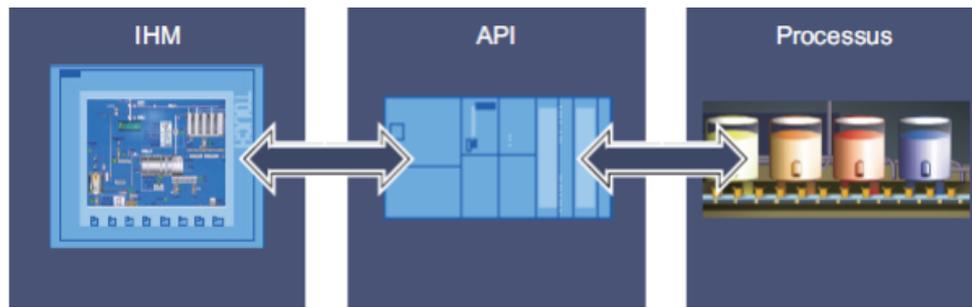


Figure 2.12. Relation HMI-API-Processus

WinCC permet de visualiser le processus et de concevoir l'interface utilisateur graphique destinée à l'opérateur et lui permet de surveiller le procédé. Pour ce faire, le processus est visualisé par un graphisme à l'écran et dès qu'un de ses états évolue, l'affichage est mis à jour automatiquement. Comme il permet d'accéder à la valeur de consigne ou ouvrir une vanne, changer le mode...etc.

Lorsqu'un état de process devient critique, une alarme est déclenchée automatiquement et affichée sur l'écran comme le cas de franchissement d'un seuil défini. Les alarmes et valeurs de process peuvent être imprimées et archivées sur support électronique par WinCC.

Ceci nous permet de documenter la marche du process et d'avoir accès ultérieurement aux données de production (Historique). La vue de WINCC est illustrée dans la figure suivante :

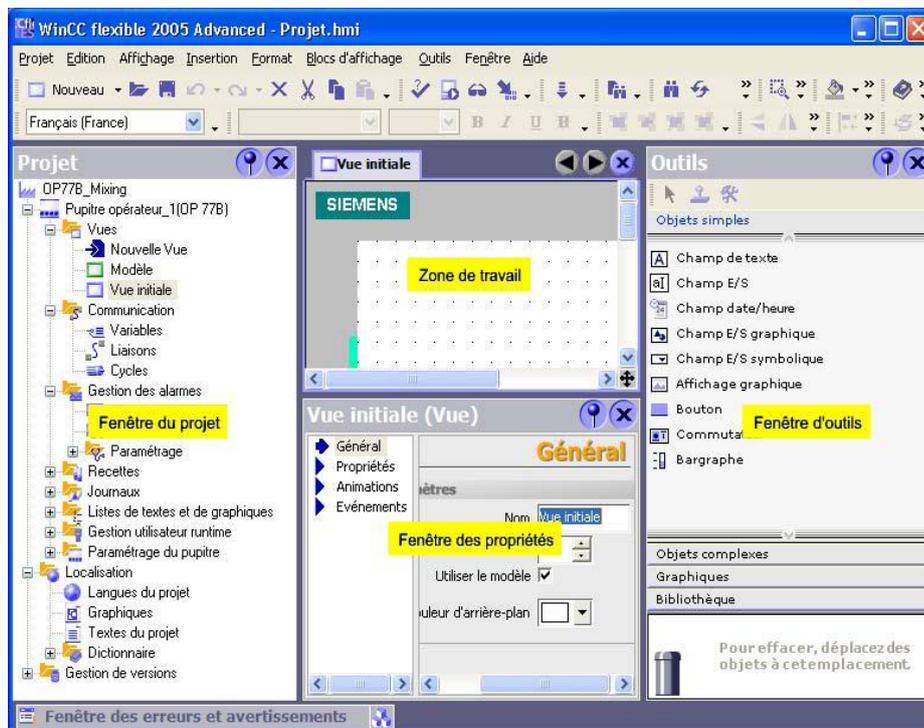


Figure 2. 13. Aperçu de WINCC

- **Les exécutions de base du WinCC**

WinCC est un système modulaire. Ses éléments de base sont le logiciel de configuration (CS) et le logiciel Runtime (RT).

- a) Logiciel de configuration (CS)**

Après le démarrage de WinCC, l'écran affiche l'explorateur Win CC Explorer. Ce dernier est le noyau du logiciel de configuration. WinCC Explorer affiche la structure complète du projet et permet de le gérer. La configuration s'effectue à l'aide d'éditeurs spécifiques qu'on peut ouvrir à partir de WinCC Explorer. Chaque éditeur permet de configurer un sous-système particulier de WinCC. Les principaux sous-systèmes de WinCC sont :

- Le système graphique : l'éditeur pour la réalisation des vues s'appelle screens.
- Le système de signalisation : l'éditeur permettant de configurer les alarmes s'appelle HIM Alarme.
- Le système d'archivage : l'éditeur permettant de spécifier les données à archiver s'appelle Historical Data.
- Le système de journalisation : l'éditeur permettant de réaliser la mise en page des journaux s'appelle Reports.
- Le gestionnaire des utilisateurs : l'éditeur de gestion des utilisateurs et des droits d'utilisateur s'appelle User Administration.
- La communication : elle se configure directement sous Connections.

Toutes les données de configuration sont enregistrées dans la base de données CS.

- b) Logiciel runtime**

Le logiciel runtime permet à l'opérateur d'assurer la conduite du process. Les tâches propres au logiciel runtime sont les suivantes :

- Lecture des données enregistrées dans la base de données CS ;
- Affichage des vues à l'écran ;
- Communication avec les automates programmables ;
- Archivage des données actuelles de runtime, par exemple des valeurs de process et événements de signalisation ; Conduite du process, spécification de consignes, mise en marche/arrêt [25].

2.10.4 Description du logiciel CIMPLICITY

Le logiciel CIMPLICITY est un produit du General Electric (GE) qui propose des solutions complètes pour des tâches de contrôle et de surveillance en temps réel. Ce logiciel se caractérise par une architecture Client/serveur.

CIMPLICITY se caractérise par un moyen rapide et facile de le mettre en œuvre, de le maintenir et il sert à croître les performances d'un système d'automatisation. En effet, il

se compose de deux principaux éléments : des serveurs très performants et des superviseurs souples.

Cette architecture peut évoluer d'un simple nœud IHM à un système en réseau à multiples nœuds. Aussi, il permet d'ajouter facilement des serveurs et des superviseurs sans avoir recopié la base de données d'un nœud à l'autre. Ceci réduit significativement le temps et les efforts nécessaires pour la mise en place et la maintenance de l'application SCADA.

Un des atouts principaux de CIMPLICITY est son architecture redondante qui lui permet de constituer un système à haute disponibilité avec un basculement transparent :

- **Redondance de serveurs,**
- **Redondance de câbles,**
- **Redondance d'automates,**

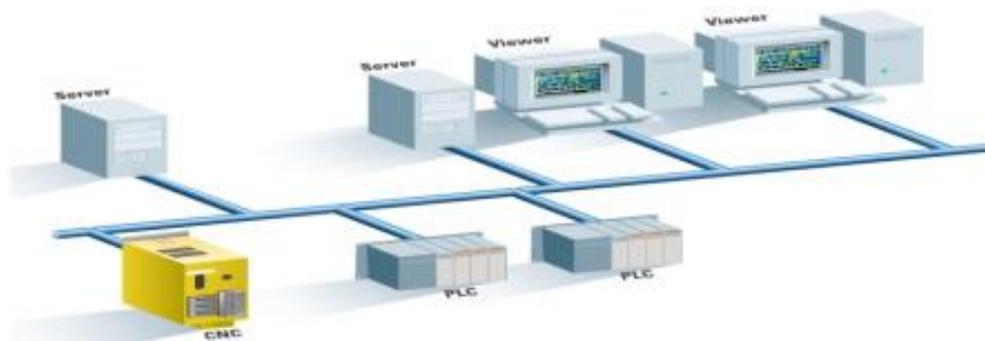


Figure 2.14. Architecture Client/serveur

Le rôle des serveurs CIMPLICITY est de collecter et de distribuer les données du système, ils partagent de façon transparente les données tout en fournissant aux utilisateurs une vue en temps réel des processus surveillés. Bien que, le rôle des clients de CIMPLICITY permette aux utilisateurs de visualiser et d'interagir avec les données diffusées par le serveur.

- **Environnement de programmation de CIMPLICITY**

Le logiciel CIMPLICITY contient plusieurs modules intégrés, ou l'application Workbench est le centre de ce logiciel, ce module permet de : mettre à jour la configuration, connecter le projet avec le serveur, paramétrer les différents modules utilisés dans le projet, configurer la sécurité de l'application, configurer la liste des alarmes, choisir la base de données à utiliser, arrêter ou démarrer l'application SCADA et de gérer les différentes fonctionnalités d'un projet à travers une fenêtre facile à utiliser. La figure suivante montre une capture d'écran de la fenêtre Workbench [11].

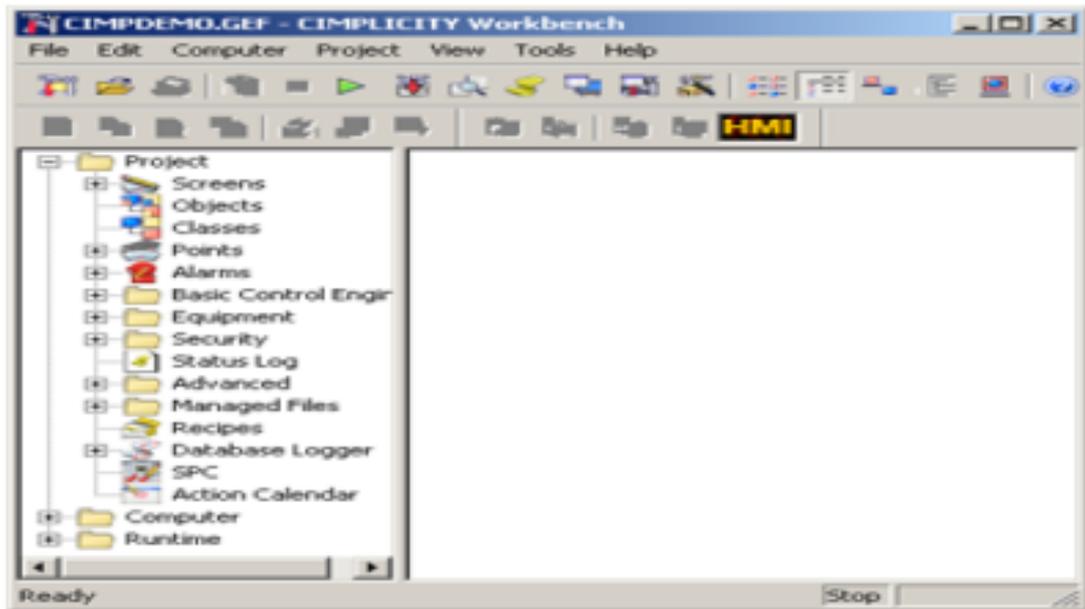


Figure 2.15. Fenêtre de Workbench de CIMPLICITY

- **Programmation d'un projet CIMPLICITY**

Pour programmer l'application SCADA, on trouve plusieurs moyens tels que :

- Programmation de gestion des écrans
- Programmation en utilisant les données du système local « date, heure ... »
- Programmation de la surveillance des données
- Programmation de contrôle et de commande
- Programmation et paramétrage des alarmes
- Programmation et paramétrage d'archivage des données
- Programmation et paramétrage des utilisateurs de l'application

Pour plus de détails, le lecteur peut se référer au [11].

2.11 Conclusion

Ce chapitre présente une description détaillée du système de supervision par SCADA, à savoir son architecture, composants et éléments, les protocoles de communications ainsi qu'aux quelques logiciels de supervision comme PcVue, WINCC et CIMPLICITY.

Le premier critère de choix de logiciel est basé sur la disponibilité et de la licence de programme de supervision. Ce choix permettra aux utilisateurs de concevoir une application complète pour l'architecture choisie du système.

Chapitre 3

Le système DCS par YOKOGAWA

CENTUM CS 3000

3.1 Introduction

Les systèmes de contrôle tels que le **DCS** (Distributed Control System : système de contrôle distribué) ont été conçus spécialement pour les tâches industrielles, dédiés à la surveillance, au contrôle et à la conduite des procédés industriels.

L'architecture distribuée du DCS est dictée par le fait que les équipements et les installations de production sont répartis géographiquement sur le site. Ces systèmes numériques sont dotés de microprocesseurs et de réseaux qui leur permettent de traiter les données et stocker les résultats puis de les transmettre à des nœuds du réseau pour communiquer avec les organes de réglage.

Dans ce chapitre nous allons présenter le logiciel de programmation CS3000 d'une façon générale, ses principales applications, comment créer un projet sous CS3000 et la présentation des différents éléments utiles à l'élaboration de notre projet.

3.2 C'est quoi le DCS ?

DCS, "Distributed Control System" ou système de contrôle distribué, est un ensemble de moyens matériels et logiciels assemblés de façon à partager les fonctions de base pour la conduite des procédés industriels.

Les fonctions de base d'un système de conduite sont les suivantes :

- Adaptation des signaux échangés avec le procédé
- Traitement en temps réel des données échangées
- Traitement en temps différé des données échangées
- Communication avec l'utilisateur du système
- Communication avec des autres systèmes voisins

Dans un système centralisé, un même dispositif (processeur ou contrôleur) peut réaliser la plupart des fonctions de base. Une indisponibilité du dispositif en question provoque la perte des fonctions qu'il a en charge.

Par contre, dans un système distribué ou réparti, les fonctions de base sont plutôt confiées à plusieurs dispositifs (station) reliés entre eux par des réseaux de communication. Une indisponibilité d'un dispositif ne provoque que la fonction qu'il a en charge [19].

Une station peut avoir accès à des informations au niveau de base de données sur une autre station via le réseau de communication [17].

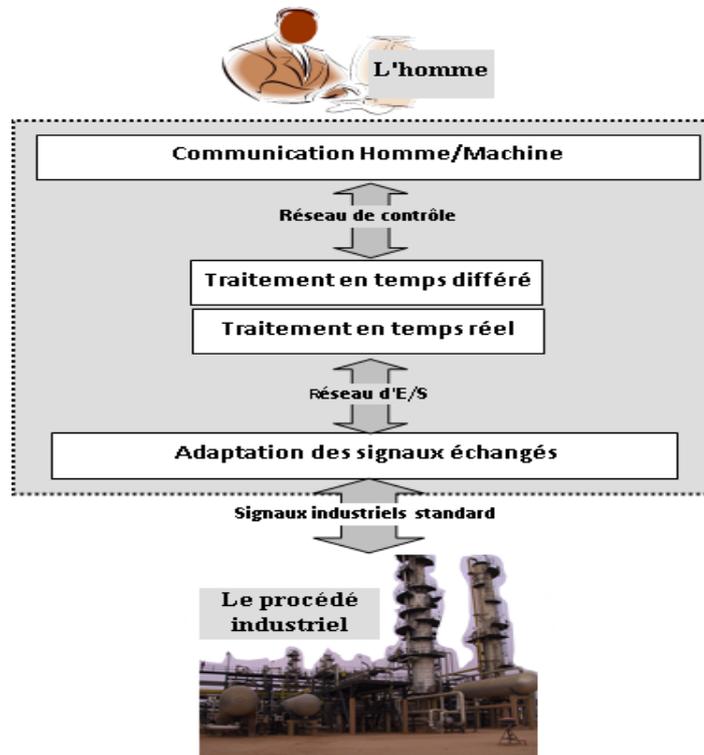


Figure 3.1. Les fonctions de base d'un système de conduite

3.2.1 Avantage du DCS

Le système DCS, par rapport aux anciens systèmes de contrôle, a plusieurs avantages forçant nous à l'installer. Parmi ces avantages :

- La notion de **distribution** : les fonctions de base de conduite du procédé sont distribuées sur plusieurs dispositifs (stations) assurant, en cas de problème, la continuité de la conduite avec la plupart des fonctions.
- La notion de **redondance** : la possibilité que chaque station et chaque réseau être redondant augmente la fiabilité du système et diminue les déclenchements intempestifs.
- La notion **d'ouverture** : le DCS est un système ouvert qui a l'avantage de communiquer avec des autres systèmes indépendants comme les systèmes SCADA, ESD, ...
- La notion **d'analyse et d'optimisation** : avec le développement de la commande avancée et grâce aux outils mathématiques du DCS, il est possible d'utiliser des fonctions d'analyse et d'optimisation pour la meilleure conduite des procédés.
- La notion de **simplicité** : la fonction de communication homme/machine est faite tout simplement par l'utilisation des moyens habituels, PC et imprimantes. L'opérateur peut conduire le procédé à partir des représentations graphiques interactives, l'ingénieur peut faire des travaux de maintenance et de développement du système en utilisant des logiciels informatiques.

- La notion de **disponibilité des informations** : grâce aux réseaux de communication et capacité mémoire du DCS, toute sorte d'information peut être disponible en temps réel. Remarquant aussi la disponibilité d'historique des données à tout moment.
- La notion de **surveillance continue** : on passe de la surveillance périodique des équipements stratégiques à la surveillance continue, savoir l'état de santé des machines par une visualisation de l'évolution des paramètres. La lecture des données se fait directement sans recours à des appareils extérieurs de mesure [18].

3.3 Historique du système de contrôle

Le progrès technologique dans le monde de l'électronique et de l'informatique a permis une évolution considérable dans le domaine du contrôle des procédés industriels.

Cette évolution est traduite par un changement dans les techniques de contrôle ; passage des systèmes pneumatiques aux systèmes électroniques analogiques puis numériques, du contrôle centralisé au contrôle distribué qui est le DCS et des systèmes à relais aux systèmes à base d'Automates Programmables.

Avant d'arriver au DCS, le contrôle des procédés industriels a connu plusieurs générations de systèmes.

- **Contrôle manuel** : C'est l'opérateur qui ferme la boucle de contrôle en observant le capteur et manœuvrant l'organe de commande :

Procédé => capteur => opérateur => organe de commande

Le concept de base dans le contrôle de procédé "boucle fermée" est respecté.

- **Régulateurs pneumatiques locaux** : L'opérateur n'intervient pas directement sur l'organe de commande mais il donne un point de consigne au régulateur local sur site.
- **Régulation pneumatique centralisée** : L'opérateur conduit le procédé à partir de la salle de contrôle. Dans ce mode de conduite, les signaux arrivent à la salle de contrôle sous forme pneumatique.
- **Régulateurs électroniques analogiques et numériques** : Le développement de l'électronique a conduit à la conception des régulateurs électroniques à boucle simple et des capteurs pouvant transformer toutes grandeurs physiques en grandeurs électriques.
- **Système d'acquisition de données (DAS)** : Animation graphique, historique, trend, logging. La fonction contrôle est assurée par des régulatrices simples mono-boucles.
- **Système de contrôle distribué** : En général, les procédés industriels sont constitués d'un ensemble d'équipements et d'installations de production repartis sur site, cette contrainte a fait que l'architecture de ce système soit distribuée. D'où l'appellation : Système de contrôle distribué DCS [18].

3.4 Présentation du système DCS

Le DCS est constitué de plusieurs sous-systèmes dont :

- ❖ Les dispositions d'entrées/sorties.

- ❖ Les contrôleurs individuels (PLC régulateurs).
- ❖ Les interfaces opérateurs (écran, souris, clavier).
- ❖ La station de travail ingénieur.
- ❖ Le réseau de communication (bus) pour l'échange d'information.

3.5 Différents systèmes DCS

- **Exemples des systèmes DCS en Algérie**

Depuis les années 1990s, le système DCS a été installé dans la plupart des champs pétroliers et gaziers sur le territoire algérien. Les systèmes DCS les plus connus avec des exemples des champs où ils sont installés sont donnés ci-dessous :

i. IA SERIES FOXBORO

Ex : Les modules MPP0, MPP1, MPP4 et le BOOSTING de HassiR'Mel et le complexe de GNL SKIKDA

ii. CENTUM YOKOGAWA

Ex : Les modules MPP2, MPP3 de HassiR'Mel

iii. TDC HONEYWELL

Ex : Champ de Hamra/Ghourd Nous

iv. DELTAV EMERSON

Ex : Champ de GassiTouil, Institut de NaphtoGaz

v. BAILEY

Ex : Oued Noumer

Le tableau suivant donne les appellations de certains composants des systèmes DCS :

DCS	Interface E/S	Réseau E/S	Contrôleur	Station de conduite	Station de configuration ou de sauvegarde	Réseau de contrôle	Réseau de communication
FOXBORO	FBM (pour l'échange de données)	Field Bus (système de communication)	CP	WP	AW	Nodebus	Ethernet
YOKOGAWA	Nœuds	RIO Bus	FCS	HIS	HIS	Vnet	Ethernet
DELTAV	Cartes E/S	Rail DIN	MD	Workstation	Professional Plus station	Ethernet	Ethernet
HONEYWELL	Cartes E/S		PM APM	US USW	HM	UCN LCN	

Tableau 3.1. Les équipements DCS

3.6 Architecture du DCS

L'architecture de base d'un DCS est constituée de quatre niveaux différents :

Niveau 1 : comparable au système traditionnel, il représente les instruments installés sur le champ.

Niveau 2 : représente les automatismes installés dans le local technique ils sont constitués de modules d'entrées/sorties.

Niveau 3 : représente la partie où s'effectue la conduite du procédé par l'intermédiaire de stations opérateurs.

Niveau 4 : partie de supervision et de gestion de l'usine [21]

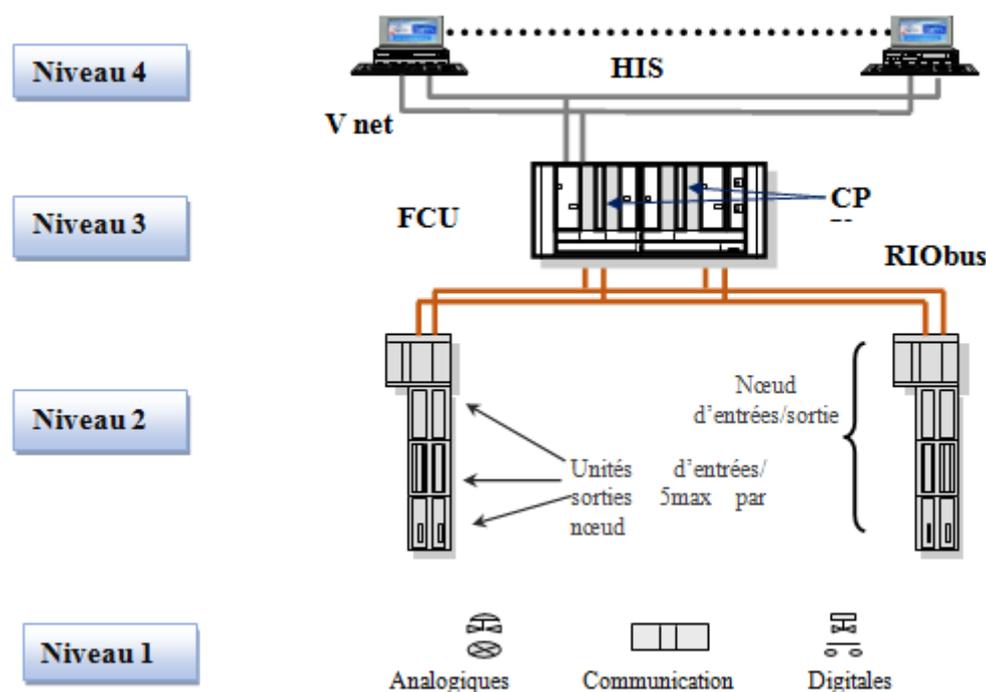


Figure 3.2. Architecture de base d'un DCS

Dans la suite de ce chapitre, nous passons en revue le système numérique de contrôle-commande le plus répandue dans le domaine de l'automatisation et de contrôle des procédés industriels connue sous le nom YOKOGAWA CENTUM CS et plus particulièrement sa variante **CENTUM CS 3000** introduite dans la supervision des installations pétrolières en Algérie et qui fera l'outil de base dans notre application (voir chapitre 4).

3.7 Evolution des systèmes de commande YOKOGAWA

Grace à ses systèmes de contrôle distribué DCS (CENTUM CS1000/CS3000), YOKOGAWA est l'un des leaders mondiaux de l'instrumentation, du contrôle-commande et de l'optimisation des procédés industriels. Il fut le premier à lancer le concept SNCC (système numérique de contrôle-commande), en 1975. Depuis, plus de 10000 systèmes CENTUM ont été installés dans le monde, pour automatiser les procédés les plus variés, dans les conditions les plus extrêmes.

Les différents systèmes de commande conçus par la société japonaise YOKOGAWA depuis sa création en 1915 sont : CENTUM V, CENTUM XL et CENTUM CS.

Le CENTUM CS possède deux gammes :

- CS 1000 pour les petites et moyennes applications (1000 E/S).
- CS 3000 pour les moyennes et grosses applications (1800 E/S).

Le premier DCS YOKOGAWA (CS 3000) introduit en Algérie est celui installé au niveau de Hassi R'mel en 2003 [22].

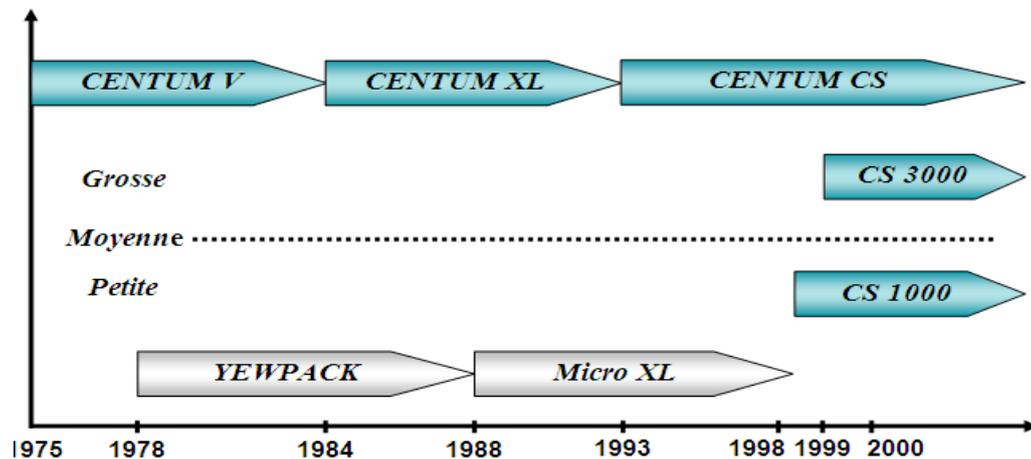


Figure 3.3. Evolution des systèmes de commande de YOKOGAWA.

3.8 Système CENTUM CS 3000

Le système numérique de contrôle commande conçu par YOKOGAWA ouvre une 1ère nouvelle dans l'implantation des systèmes DCS. Il intègre les dernières technologies sur une architecture ouverte et modulaire tout en garantissant une comptabilité ascendante totale avec les générations précédentes, et une fiabilité légendaire incontestée. Il assure une fiabilité et une adaptabilité grâce à :

- L'association de la souplesse et la fiabilité de ses prédécesseurs de la famille CENTUM à la convivialité d'un PC.
- L'utilisation facile, disposant de fonctions de contrôle supérieures et d'un excellent rapport coût/performance, le système s'intégrera rapidement dans un environnement industriel exigeant.
- L'architecture ouverte des interfaces définit un échange d'informations avec le système de gestion et de planification et facilite la mise en place d'un système de gestion stratégique pour une entreprise.

- Il est connu pour s'adapter aux systèmes déjà implantés et suivre l'évolution des unités de production en réduisant le coût total de possession.

Le système de contrôle CENTUM CS concrétise le concept de “ Solutions Intégrées ”, offrant à l'utilisateur une intégration totale du contrôle de procédé et de la gestion de la production :

- ✓ **Architecture ouverte et homogène** : Un environnement ouvert, utilisant des interfaces standardisées facilite l'intégration de différents sous-systèmes ou de progiciels ainsi que la création d'une interface utilisateur performante.
- ✓ **Exploitation par multi -fenêtrage** : Le poste de conduite possède une fonction multifenêtrage qui permet d'appeler, à l'aide de la souris, les vues d'exploitation. De plus, les postes de conduite peuvent être bi-écrans.
- ✓ **La station de contrôle (FCS)** : La station de contrôle intègre les fonctions de contrôle continues ou batch. La fonction de redondance réalisée grâce au système “ pair and spare ” assure une totale disponibilité de la station.
- ✓ **Ingénierie performante et optimisée** : La simplification des outils d'ingénierie réduit le temps de développement des applications. Des bibliothèques réutilisables réduisent le temps et le coût de réalisation d'extensions ou de modifications du système.

Le contrôleur du CENTUM CS 3000 utilise l'architecture unique « Pair and Spare ». Elle est basée sur l'utilisation d'une paire de processeurs au sein même des unités centrales « Pair » associée à une seconde unité centrale (elle-même « Pair ») pour assurer une redondance, l'ensemble qui comprend 4 processeurs est alors en structure « Pair and Spare ». Par ailleurs, le CENTUM CS 3000 dispose d'autres possibilités de redondance pour les E/S, les différents bus de communication, les alimentations électriques [21].

3.8.1 Architecture hardware du CENTUM CS-3000

Les différentes parties du CENTUM CS3000 sont organisées suivant une structure hiérarchique, conçue de manière à conduire efficacement un système de grande taille et à faciliter l'intégration et l'extension du système.

Sur la figure 3.4, on peut distinguer les éléments suivants :

- Une interface homme-machine HIS (Human Interface Station) qui est composée de plusieurs stations appelées ICS (Information Commande Station), maximum 16 stations.
- Une interface de maintenance et d'ingénierie appelée EWS (Engineering Work Station).
- Un ensemble d'armoire formant des unités de contrôle du procédé FCS (Field Control Station).
- Réseaux : V-NET (bus de contrôle en temps réel).
Ethernet (réseau LAN).

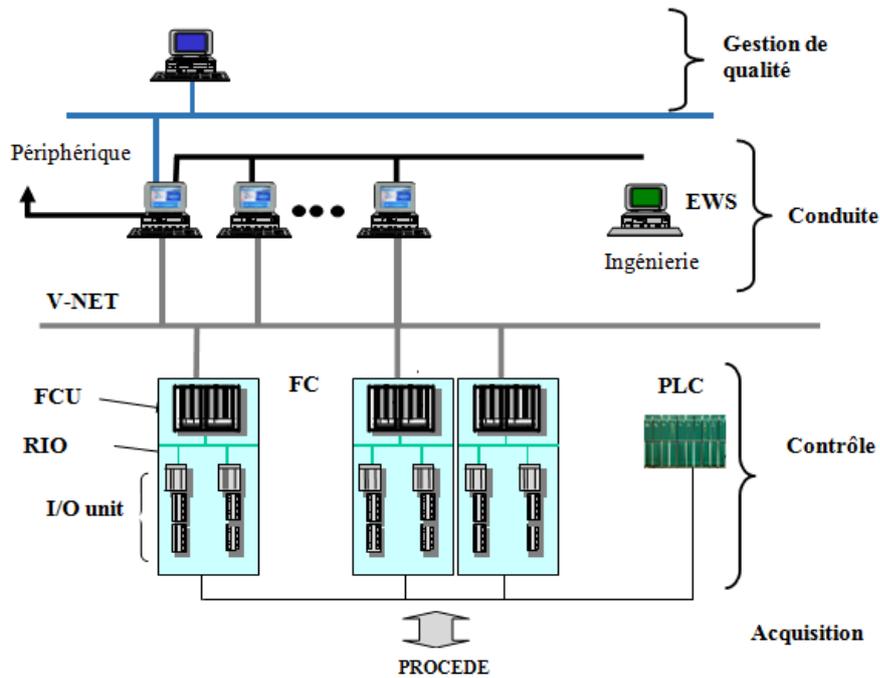


Figure 3.4. Vue générale du CS 3000

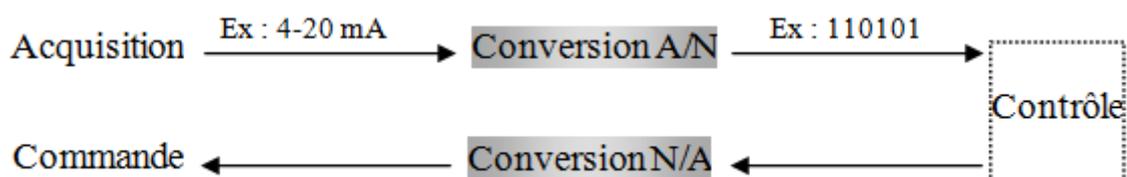
3.8.2 Station de contrôle FCS

La station de contrôle FCS est le cœur du CS 3000 et de ses fonctions avancées, fiables et performantes, elle offre une disponibilité maximale grâce à une redondance totalement intégrée des unités centrales ainsi que pour les bus de liaison et les cartes d'entrées/sorties. Les fonctions de la FCS sont :

- Réaliser les fonctions de contrôle (régulation ou séquentiel).
- Traiter les algorithmes de contrôle.
- Traiter les programmes utilisateur
- Communiquer avec les modules d'E/S.
- Communiquer avec les autres stations du système et les sous-systèmes [17].

3.8.3 Module d'entrée/sortie

Un module d'entrée/sortie est un ensemble de carte d'entrée/sortie dont le rôle est l'adaptation des signaux échangés entre le procédé et le système c'est-à-dire que ces cartes transforment les signaux industriels d'entrée à une forme numérique adaptée au système et transforment les signaux numériques de sortie à une forme industrielle adaptée au procédé.



Les signaux d'entrées/sorties du procédé sont des signaux industriels qui appartiennent à deux catégories standard distinctes : logique et analogique. Ces signaux sont de plusieurs types, les plus connues dans le domaine pétrolier sont données par le tableau suivant :

Type des signaux	Catégorie	Type	Organe
Signaux d'entrée	Analogique	Courant 0-20mA ou 4-20mA	Transmetteur
		Tension mV	Thermocouple
		Résistance Ω	Thermo résistance
	Logique	Tout ou Rien	Contact (switch)
		Impulsions	Générateur d'impulsion
Signaux de sortie	Analogique	Courant 4-20mA	Vanne régulatrice
	Logique	Tout ou Rien	Vanne TOR, pompe,...

Tableau 3.2. Types des signaux industriels

La liaison entre les modules d'entrée/sortie est représentée sur la figure suivante :

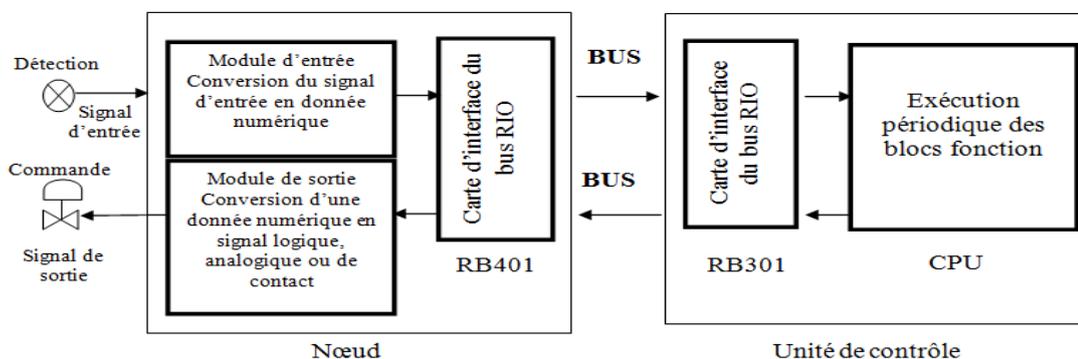


Figure 3.5. La liaison entre les modules d'entrée/sortie et la CPU

3.8.4 Station d'interface homme machine (station HIS)

La station d'interface homme-machine est construite autour du système d'exploitation Windows. C'est une station de surveillance qui offre une vue d'ensemble du site, elle affiche les variables des procédés, les paramètres de contrôle et les alarmes nécessaires à l'exploitation. Elle dispose également de fonctions d'ingénierie et de supervision.

Le choix du matériel hardware peut s'orienter vers un PC standard ou vers la console opérateur à la fiabilité éprouvée.



Figure 3.6. Vue de la salle de contrôle (stations HIS)

Généralement, les fonctions de conduite (synoptiques, vues d'alarmes, vues de courbes temps réel et historique, vues de détail de certains blocs et parfois aux vues de management du système) sont assurées par la station de conduite (opérateur) et les outils d'analyse, de configuration et de mise au points sont accessibles qu'à partir d'une autre station plus puissante que la première appelée station d'ingénieur (EWS) [19].

- **Deux modes de fenêtrage**

Le premier est un mode multifenêtrages qui exploite côte à côte les applications générales et les fenêtres associées aux fonctions de contrôle. Une touche dédiée permet de passer d'un mode à l'autre. Le second est un affichage en plein écran classique pour la fenêtre de contrôle.

- **Fenêtre d'affichage d'état**

La fenêtre d'affichage d'état du schéma de contrôle est l'affichage sur la station HIS de l'ensemble de l'état de contrôle du site. Ces fenêtres sont de plusieurs types :

- ◆ Affichage d'état du schéma de contrôle.
- ◆ Affichage de schéma logique.
- ◆ Etat des tables de séquence.
- ◆ Etat des blocs SFC (Sequential Function Chart).
- ◆ Détails de programme SEBOL (Sequence and Batch Oriented Language).

3.8.5 Caractéristiques de l'HIS

- ✓ **Environnement matériel**

- PC Pentium.
- Disque dur Mini : 20 Go.
- Mémoire : 256 Mo.
- Deux liaisons séries.

- Une liaison parallèle.
- Résolution graphique: 1280 × 1024, 256 couleurs.
- Carte de couplage au V-NET (VF 701).
- Clavier opérateur.
- Carte Ethernet 100 Mb/s.
- ✓ **Environnement logiciel**
 - Système d'exploitation Windows 2000, Windows NT, Windows XP.
 - Fonctions d'exploitation et de conduite.
 - Fonctions de configuration.

3.9 Réseaux de communication.

Il existe deux types de réseaux de communication :

- V-NET : réseau de contrôle en temps réel.
- E-NET : réseau LAN interne (compatible Ethernet).

3.9.1 Réseau du système du contrôle V-net

Le V-net est le réseau du système de contrôle en temps réel qui relie les FCS aux autres stations (HIS, EWS,). L'ensemble des stations connectées à un V-net forme un domaine. Ce réseau doit assurer trois fonctions de communications :

- Communication lecture/écriture.
- Communication message.
- Transmission de liaison (sur une période de 100 ms à 2 s).

Caractéristiques du réseau V-NET :

- Protocole : IEEE 802.4
- Type de bus : JETON
- Vitesse : 10 Mb/s
- Longueur : 50 m à 20 km

3.9.2 Réseau Ethernet

C'est le réseau LAN utilisé pour la connexion des HIS et l'EWS, ce qui permet :

- Le transfert des fichiers de configuration ;
- Le transfert de données (exemple : liaison du PC du laboratoire avec la base de données CS 3000) ;
- L'acquisition des données du procédé, les messages et les données historiques [20].

Caractéristiques de la liaison Ethernet :

- Protocole : IEEE 802.3
- Débit : 10 Mb/s
- Protocole de communication : TCP/IP FTP

3.10 Programmation d'un projet sur le logiciel YOKOGAWA CS3000

Dans ce paragraphe, nous allons discuter les différentes étapes intervenant dans la conception d'un système DCS

3.10.1. Création d'un nouveau projet

Une fois le programme « système view » est lancé, à partir de la menue file, on appuie sur le bouton « create a new Project » et une fenêtre apparaîtra nous demandant : de donner les informations relatives au projet (Voir figure 3.7) [22].

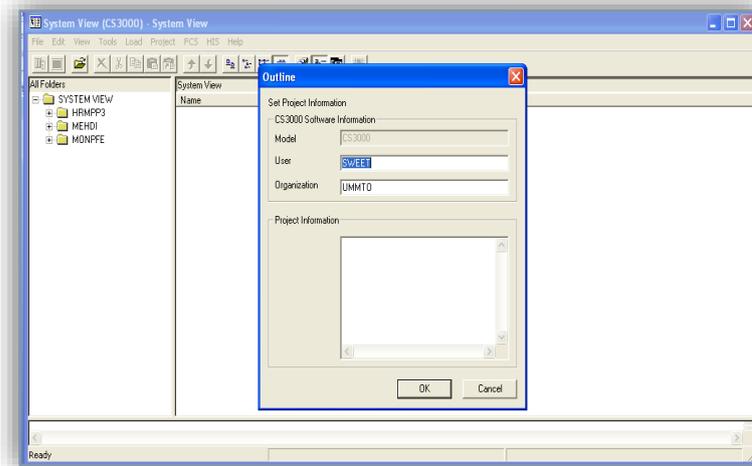


Figure 3.7. Création d'un nouveau projet

3.10.2. Création d'une FCS

La fenêtre de création d'une station de contrôle apparaîtra automatiquement dès que le nouveau projet est créé. Sinon, procéder de la même façon que pour la création du projet (sélectionner à partir du menu file ou par le bouton droit de la souris : create new « FCS »), dans laquelle on disposera des éléments de programmation, puis on :

- Choisit le type de la station de contrôle selon la liste prédéfinie, (Exemple : dans notre projet c'est l'**AFS20D** « Duplexed Field Control Unit »).
- Définit le type de la FCS, la base de données et l'adresse de la station. (Exemple : Le code 101 → le 1^{er} '1' fait allusion au domaine et le 2nd '1' donne le numéro de la Station).
- Vérifie les caractéristiques dans les autres onglets (elles sont prises par défaut).
- Enfin cliquez sur le bouton OK pour exécuter.

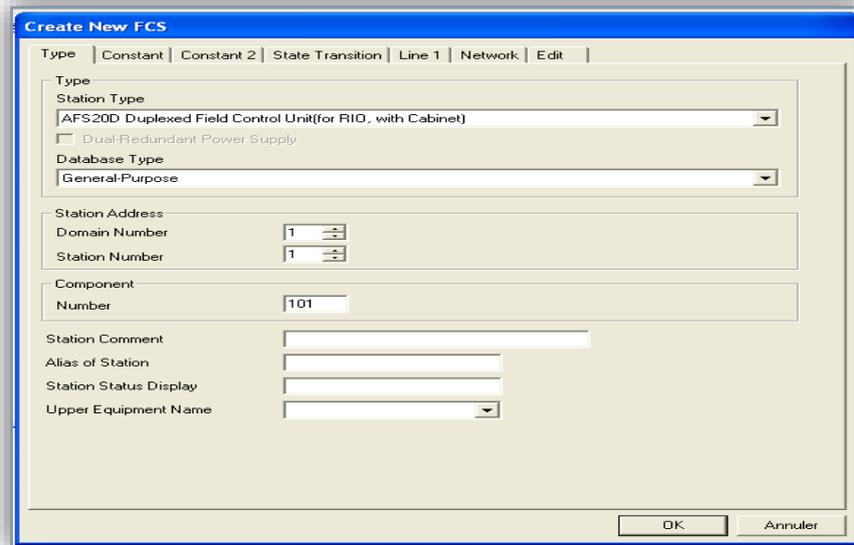


Figure 3.8. Boite de dialogue pour créer une nouvelle FCS

3.10.3. Création d'une HIS

La fenêtre de création d'une station opérateur apparaîtra automatiquement après l'apparition de celle de la FCS pendant la création d'un nouveau projet. Sinon, procéder de la même façon que pour la création du projet (sélectionner à partir du menu file ou par le bouton droit de la souris : create new puis HIS. Ensuite :

- Définir le type du PC et l'adresse de la station.
- Donner un numéro de domaine (par défaut le 1) et un numéro de station (par défaut 64)
- Vérifier les caractéristiques du réseau dans l'onglet « Network »
- Vérifier les caractéristiques dans les autres onglets.

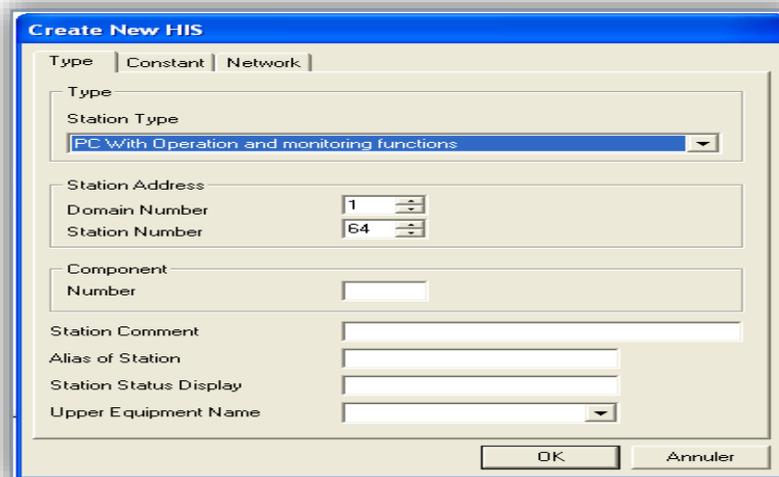


Figure 3.9. .Boite de dialogue pour créer une nouvelle HIS

3.10.4. Création des entrées sorties de la FCS

Dans un cas réel (conception pour une mise en place sur site), les entrées/sorties sont physiques (signaux analogiques ou logiques). Dans ce cas, il faut alors créer les entrées/sorties de la FCS comme suit :

- **Création d'un IOM (input output module) :** sélectionner le répertoire IOM dans la FCS puis le nœud. Dérouler le menu par le bouton droit de la souris puis choisir l'option « create new » IOM, puis choisir le type de boîtier et le type de carte (analogique ou logique figure 3.10).

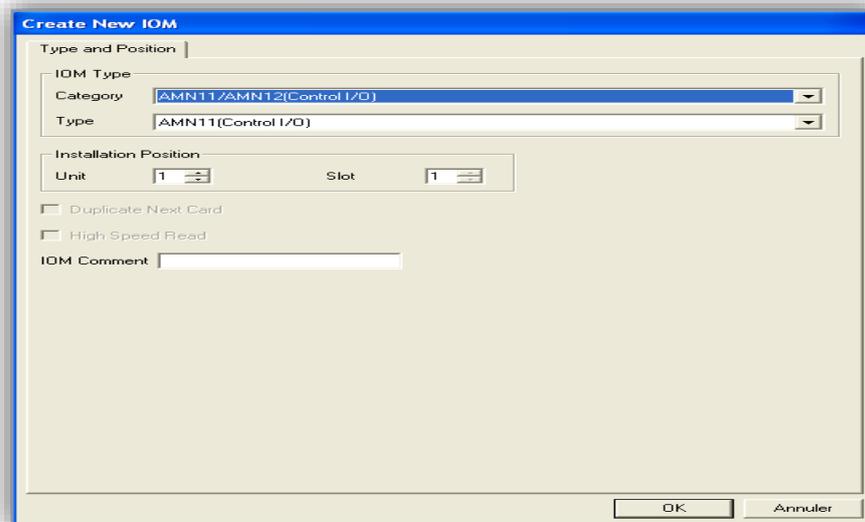


Figure 3.10. Création d'un nouveau module d'entrée/sortie

- **Création d'une carte d'entrée/sortie :** selon le boîtier (IOM) sélectionné dans notre cas, on choisit l'AMN11 qui est un boîtier pouvant recevoir des cartes analogiques puis on sélectionne le type de carte et son adresse sur la liste qu'on voit à gauche figure 3.11.

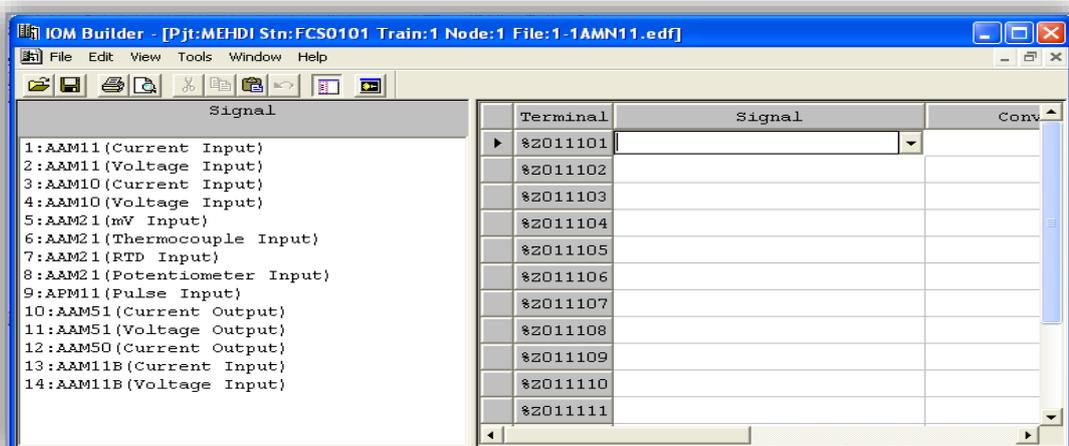


Figure 3.11. Création d'une carte d'entrée/sortie

3.10.5. Création des blocs de fonction

Pour créer des blocs de fonction, à partir de la FCS, on sélectionne le programme Function Block et on choisit un drawing (DR0001 par exemple), depuis le sélecteur des blocs de fonction (Control Drawing Builder : insert ⇒Function block), on insert les blocs à utiliser figure 3.12.

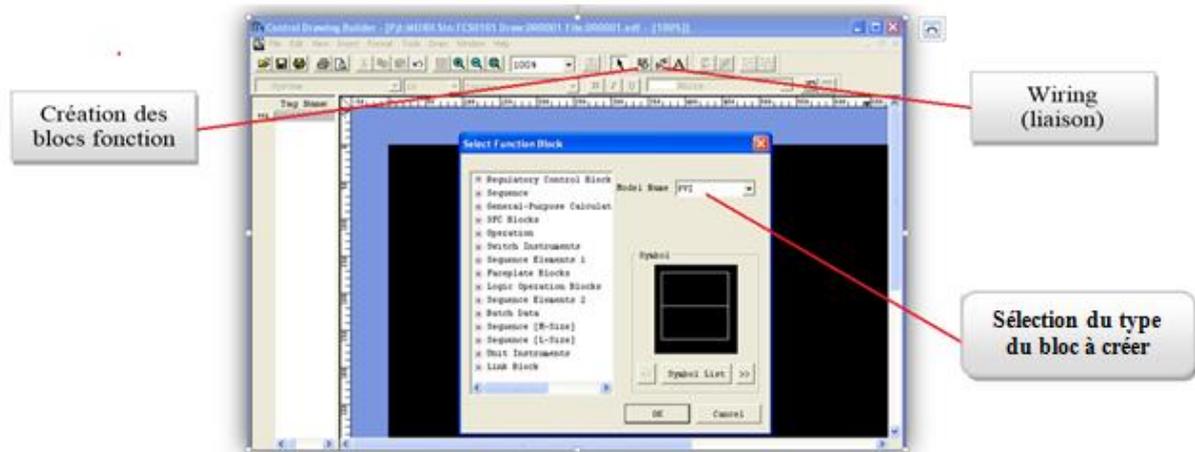


Figure 3.12. Insertion des blocs de fonction

Il existe plusieurs types de blocs de fonction, on s'intéresse dans ce qui suit aux blocs les plus importants :

3.10.5.1. Bloc de séquence – ST016

Les blocs « table de séquence » sont utilisés pour la description des séquences dynamiques. En phase de travail, le conditionnement des actions est fait par le biais de conditions. Ces relations entre les signaux de conditions et les signaux d'actions sont décrites avec des oui ou non (Y/N) sur une table quadrillée sous forme de matrice.

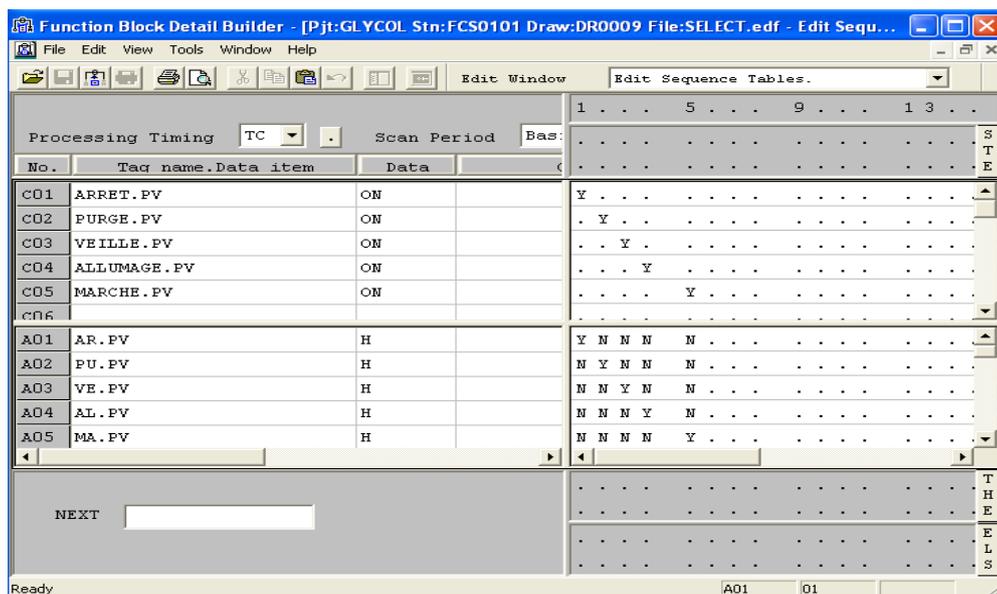


Figure 3.13. Fenêtre d'édition d'une table de séquence ST016

Il existe deux types de table de séquence :

- **Combinatoire** : évaluation des conditions pour toutes les règles et exécution des actions associées aux règles vérifiées.
- **Séquentiel** : évaluation des conditions pour les règles appartenant au pas courant, exécution des actions de ce pas et passage au pas suivant.

3.10.5.2. Blocs de schéma logique (LC16, LC64)

Le bloc schéma logique décrit les relations entre les signaux d'entrées et de sorties en utilisant des éléments logiques. Ce bloc est adapté à la description des fonctions combinatoires.

- **Bloc LC16** : 8 entrées, 8 sorties et 16 opérateurs logiques.
- **Bloc LC64** : 32 entrées, 32 sorties et 64 opérateurs logiques.

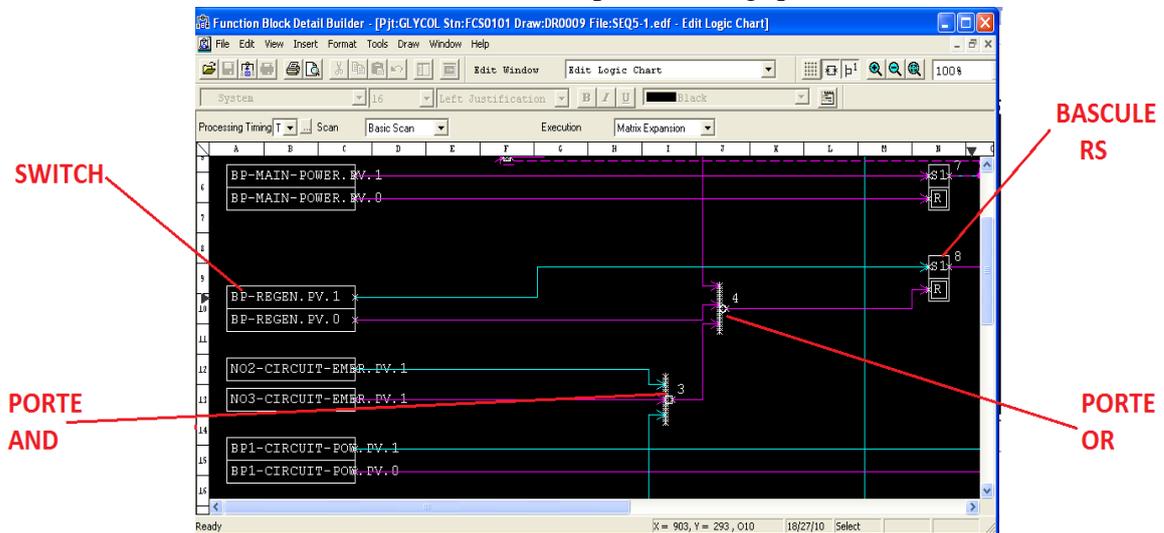


Figure 3.14. Exemple d'un schéma logique.

Pour faire rentrer les éléments logiques au schéma logique, il suffit de cliquer sur le « fonction block », puis « édité détail », une fenêtre vierge apparaît. Pour choisir l'élément, la boîte de dialogue suivante apparaît :

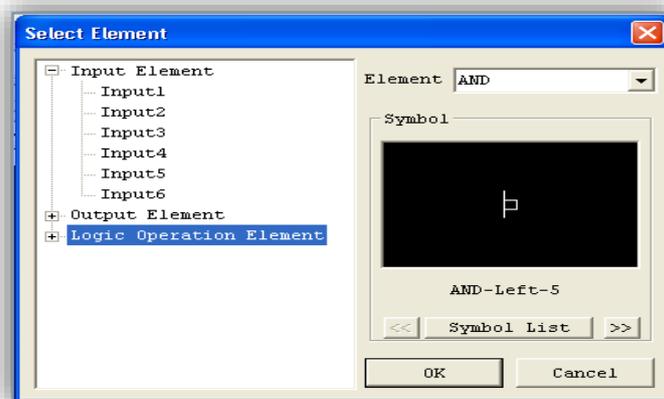


Figure 3.15. Boîte de dialogue pour la sélection des éléments

3.10.5.3. Bloc de régulation et de contrôle (PID)

C'est un bloc régulateur qui assure le réglage en fonction de la variable du process PV (Process Value) et de la consigne SV (set value).

Le bloc PID est représenté dans le contrôle drawing comme le montre la figure 3.16.

Remarque :

Dans le cas réel, le PID reçoit la valeur PV (Process Value) à partir de la carte d'entrée. Après traitement, la MV (Manipulated Value) est transmise à l'instrument (au site) à travers une carte de sortie.

Pour chaque carte d'entrée/sortie, on affecte une adresse physique réelle, qui est représenté comme suit :

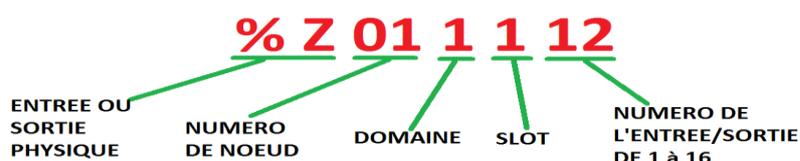


Figure 3.16. Adressage d'une entrée/sortie

Dans le cas d'une simulation d'une boucle sous le mode offline (non relié au site), on utilise le block « LAG », qui joue le rôle de la boucle réelle

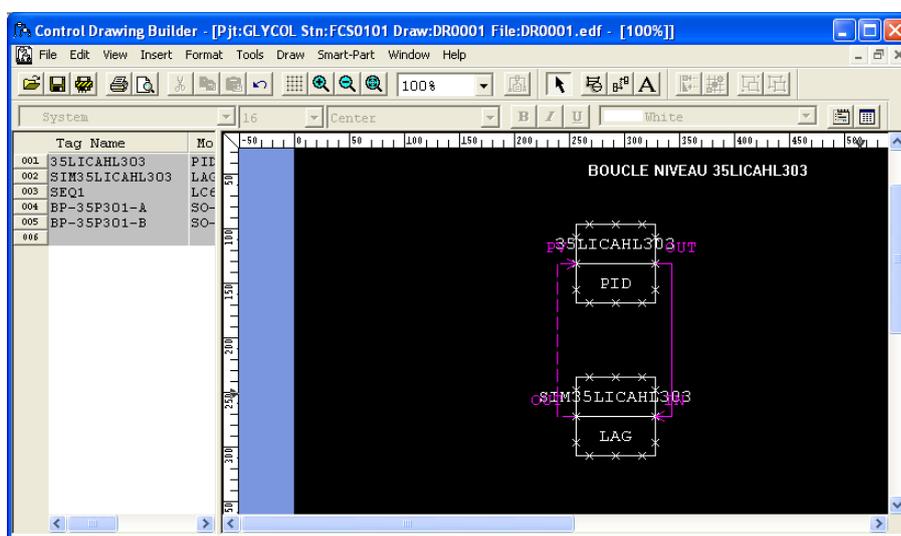


Figure 3.17. Création d'une boucle dans le cas de simulation

3.10.5.4. Bloc calculateur (CALCU)

Le bloc « CALCU » nous permet de programmer avec le langage SEBOL, qui utilise des instructions similaires à celles du langage C.

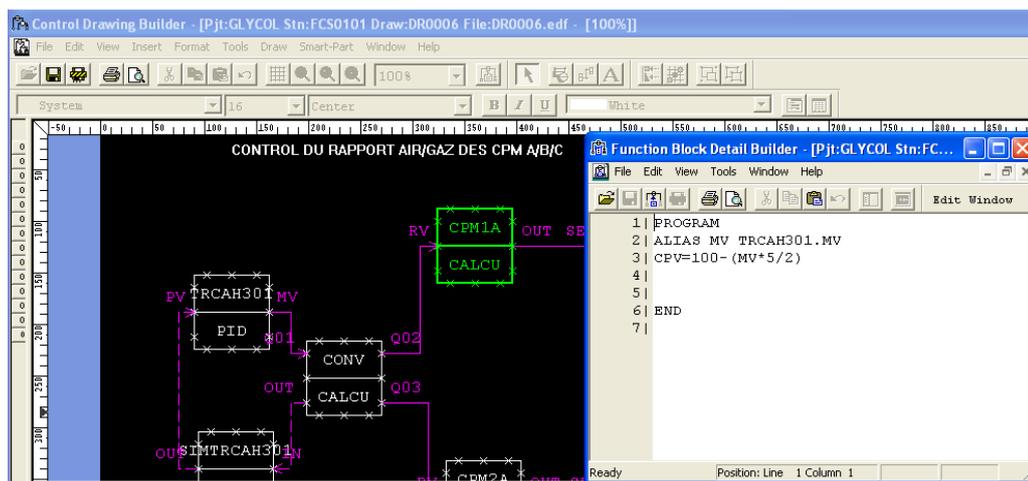


Figure 3.18. Fenêtre de programmation du bloc « CALCU ».

3.10.5.5. Bloc de chargement manuel (MLD)

Le bloc MLD (Manuel Loader) est utilisé pour la manipulation du paramètre MV c'est-à-dire que le contrôle se fera manuellement.

Pour insérer le bloc MLD, il suffit de cliquer sur insert dans le « function block détail builder » puis choisir dans « regulatory control block » dans manuel loaders (MLD).

3.10.5.6. Bloc d'acquisition de valeur process (PVI)

Le bloc PVI sert à indiquer le processus variable d'une entrée physique. Pour créer le bloc PVI, il faut cliquer sur le bouton « select function block », ouvrir le « Regulatory control block » et aller à « input indicators » pour accéder au bloc PVI.

3.10.5.7. Bloc de simulation (LAG)

Etant donné que nous intéressons dans un premier temps à une simulation off line du projet c'est-à-dire les entrées/sorties physique n'existent pas, nous sommes alors contraint de faire appel au bloc LAG qui est utilisé ici comme simulateur de caractéristiques process (capteur, actionneur).

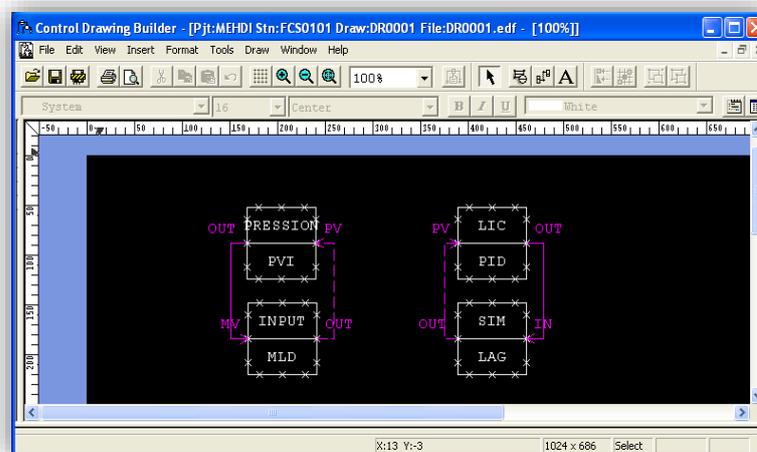


Figure 3.19. Insertion du bloc LAG

3.10.6. Création d'un graphique

A partir de la HIS et en choisissant les graphiques existants dans la bibliothèque standard du « graphic builder », nous permet de réaliser les différentes vues du process figure 3.20.

Généralement, sous DCS, les graphiques sont animés (changement de couleur, clignotement...), et pour cela il suffit d'aller dans « propriété ⇒ graphique modify » pour l'affectation des variables pour chaque objet comme le montre la figure 3.20.

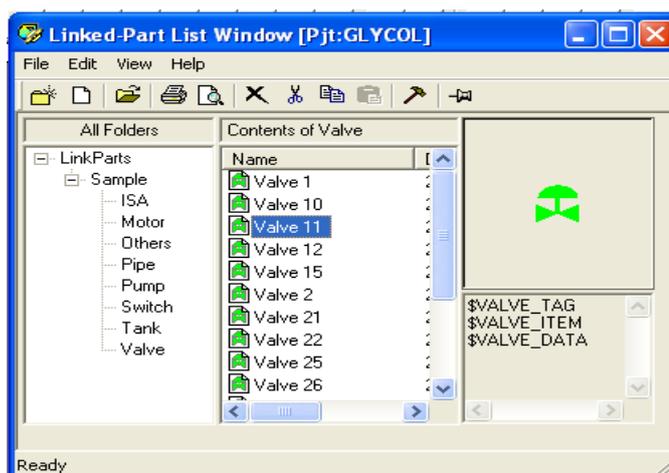


Figure 3.20. Bibliothèque du graphique builder

Pour configurer une action graphique, par exemple changement de couleur d'une vanne par rapport à son état sur site. Un clic droit sur l'objet, puis propriété, on choisit « Gfatic modify », et on configure la variable du process [19].

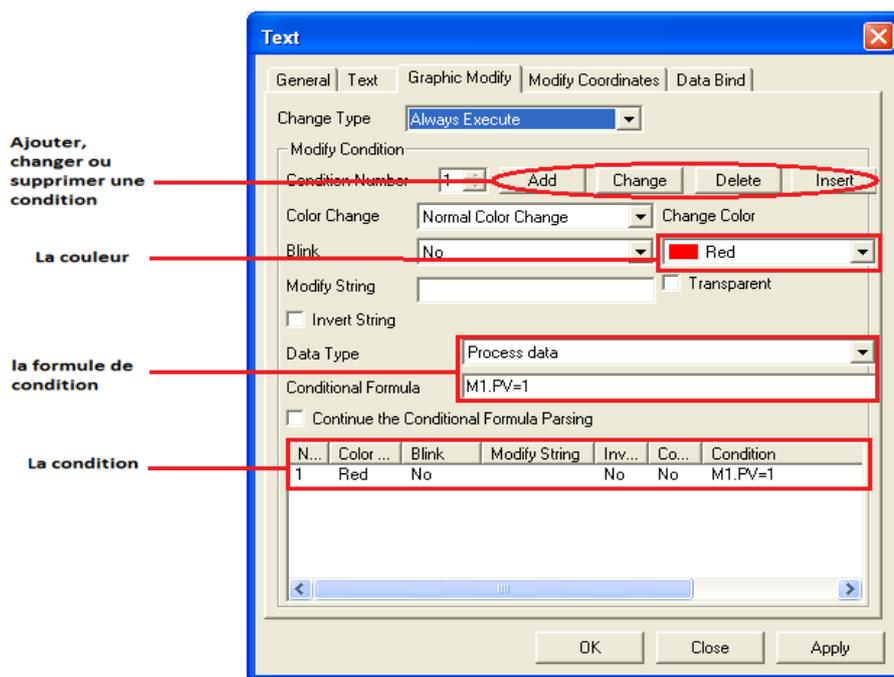


Figure 3.21. Propriété d'un objet

3.10.7. Lancement de la fonction de test

C'est un groupe d'outils pour une vérification efficace de la partie logicielle de la FCS ainsi du graphique créé par l'utilisateur. Après le lancement de la fonction du test en cliquant sur « test fonction », le bandeau d'exploitation suivant apparaît [21] :

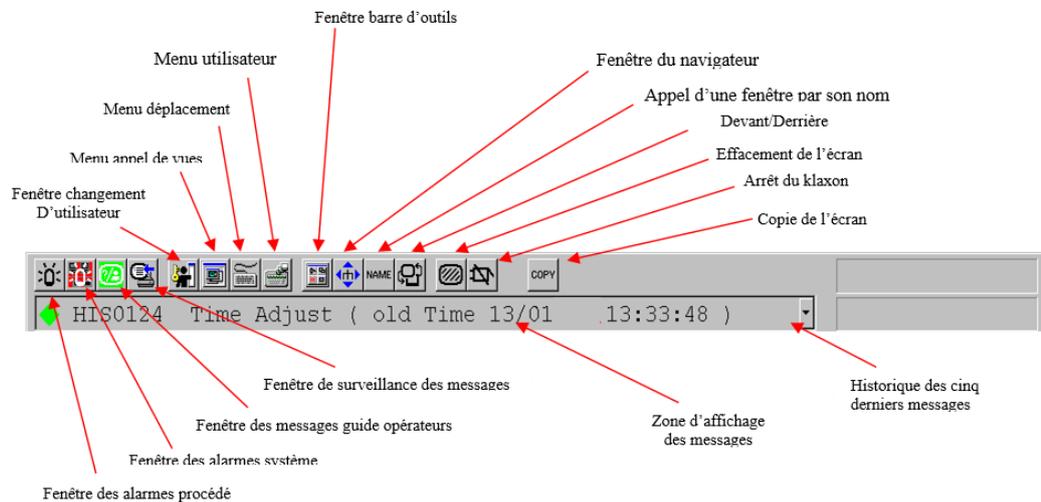


Figure 3.22. Bandeau d'exploitation

3.10.8. La face-avant d'instruments

Sous le CS3000, il existe deux types de face-avant d'instrument logiques et analogiques représentées ci-dessous :

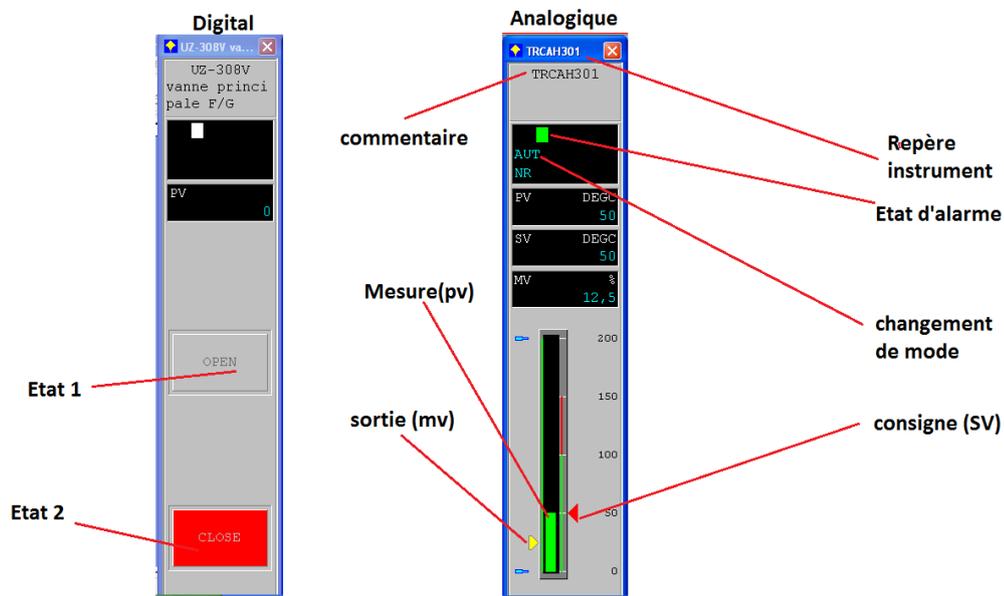


Figure 3.23. Face-avant d'instrument.

• Pour faire rentrer ou changer une valeur d'entrée d'un instrument (point de consigne d'un PID par exemple), il suffit de cliquer sur la case du paramètre voulu ou bien sur le barreau de mesure qui se trouve en bas de la face-avant (Voir figure 3.24)

La boîte de dialogue suivante apparaît :



Figure 3.24. Changement d'un paramètre.

• Pour modifier un mode à partir de la boîte de dialogue, on clique sur la zone d'affichage du mode.

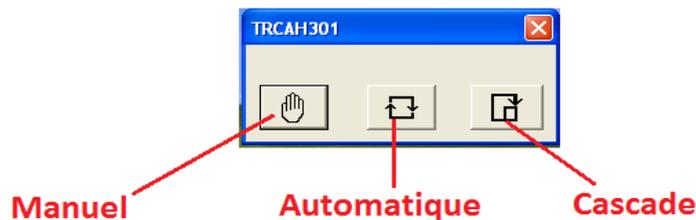


Figure 3.25. Changement de mode

3.10.9. Les différents types d'alarmes.

Le CS 3000 dispose, en permanence, d'une fenêtre de messages d'alarmes qui ne peut pas être recouverte par d'autres informations. Cette fenêtre est librement configurable. Les icônes, codées par couleur représentant l'état des alarmes, apparaissent dans la fenêtre navigateur.

Il existe 2 types d'alarmes :

- Les alarmes associées aux blocs de fonction standards dont le traitement est intégré dans le bloc.
- Les annonceurs associés aux tables de séquence, dont le déclenchement programmé dans la table de séquence peut être la combinaison de l'état de plusieurs variables du procédé (un annonceur est un message configurable de 24 caractères).

3.11 Exemple de conception d'une interface graphique

Dans cet exemple, on a procédé à la conception d'une interface de visualisation permettant la supervision de l'unité d'azote à l'usine de ZCINA, situé au champ nord de Hassi Messaound. Pour plus de détails, voir annexe A.

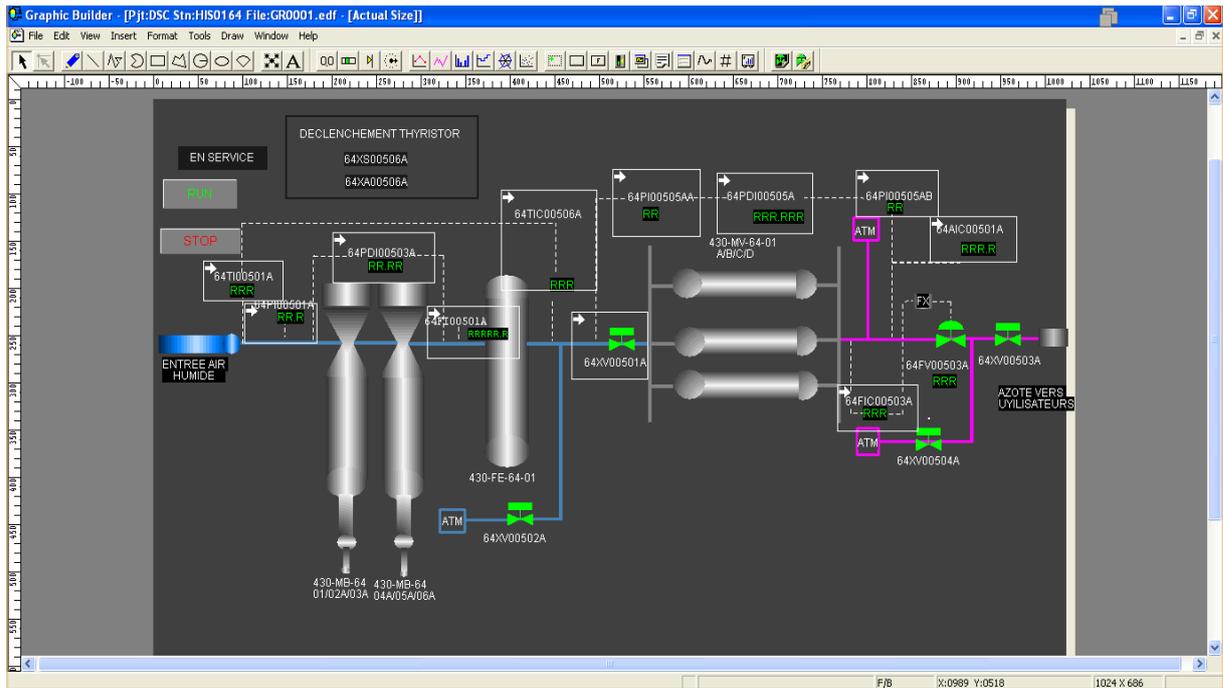


Figure 3.26. Interface graphique de l'unité d'azote

3.12 Conclusion

Les nouvelles technologies nous offrent des avantages multiples qui nous garantissent un retour sur investissement particulièrement rapide, et des résultats quantitativement et qualitativement excellents.

Un système DCS unique et standard n'est pas facile à atteindre mais il est en cours d'avoir de certains équipements DCS standard, ce sont les réseaux, les stations H/M, ...etc. Pour le choix d'un système DCS, essayer toujours d'avoir des équipements standard.

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu détaillé sur les systèmes de contrôle distribué (DCS), ses différents composants tels que les stations, les réseaux et l'architecture générale du système, ce qui nous a permis d'acquérir des connaissances sur l'exploitation DCS pour le contrôle et la supervision du processus.

Une étude approfondie sur l'outil de programmation, les différents blocs et la création d'interface de contrôle sous DCS CS3000 est ensuite détaillée. Cette étude va nous servir comme support d'aide pour développer une solution à la problématique proposée dans le cadre de notre projet de fin d'études.

CHAPITRE 4

Implémentation et simulation d'un système DCS

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous discutons la conception d'un système DCS dédié au contrôle et à la supervision de l'unité de compression d'air du module de traitement de gaz 3 (MPP3) situé à l'entreprise nationale SONATRACH de Hassi R'mel. Nous commençons, en premier temps, par une description de ce module et plus particulièrement des différents composants de l'unité. Ensuite Nous évoquons le processus de fonctionnement actuel de l'unité de production d'air comprimé, qui fait l'objet de cette étude, ainsi que les limites de la commande actuelle.

Cette étude s'articule en deux volets principaux :

Le premier propose une nouvelle stratégie de commande répondants aux exigences fonctionnelles et sécuritaires de l'unité préalablement définies.

Le second présente une interprétation graphique de l'étude en commande permettant le contrôle de la pression et la supervision du comportement des compresseurs.

4.2 Présentation du module de traitement de gaz 3 (MPP III)

Le module 3 est une usine de traitement du gaz naturel, situé au sud de Hassi R'mel à une distance de 23 km du centre, mis en service en 1979, les installations de ce module permettent de récupérer les hydrocarbures lourds (condensât et GPL) des gaz recueillis à partir de 39 puits d'alimentation, le module 3 comprend : (voir figure 4.1)

- 3 trains de traitement de gaz identiques.
- 1 commun (manifold, dégazage, stockage et transfert).
- 2 unités de glycol.
- 1 unité d'utilités (compression d'air, traitement d'eau et gaz inerte).
- Boosting (turbines de compression de gaz) [23].

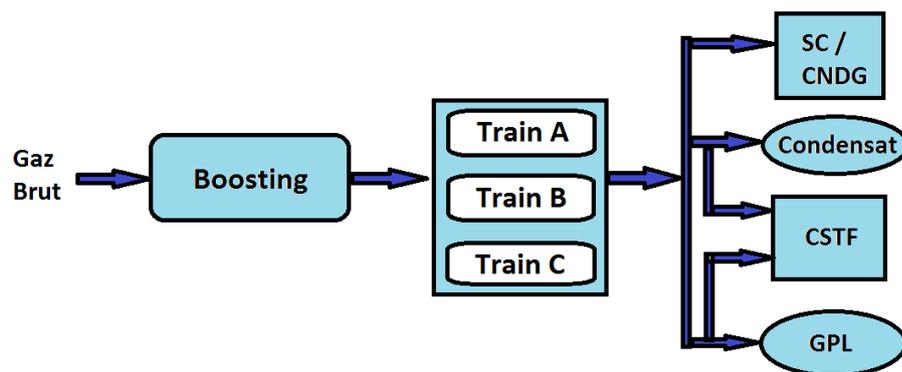


Figure 4.1. Schéma générale descriptif du module 3

4.3 Description succincte de l'unité de production d'air comprimé

L'unité de production d'air instrument et service permet l'alimentation en continu de l'usine de traitement de gaz MPP3 en air instrument et de service séché. L'installation est conçue pour assurer un débit d'air séché de 2500 Nm³/h.

L'installation de production d'air instrument et service est composé principalement de :

- 3 compresseurs d'air K402.
- 1 sécheur d'air instrument S423.
- 1 refroidisseur d'air E406.
- 1 ballon tampon d'air instrument D-406.
- 2 aéro-réfrigérant d'air instrument E405 A/B.

Cette installation comporte 3 compresseurs d'air de débit chacun de supérieure ou égale à 1300Nm³/h, ils alimentent le réservoir d'air qui, à son tour, alimente le sécheur d'air instrument S423 en passant par un refroidisseur d'air instrument qui garantit la température maximale à l'entrée de sécheur à 50°C.

L'arrêt et le démarrage de chaque compresseur est asservis avec la pression d'air à sa sortie, le contrôle de chaque compresseur se fait par des relais locaux installés à l'intérieur qui commandent le fonctionnement en charge ou en décharge [24].

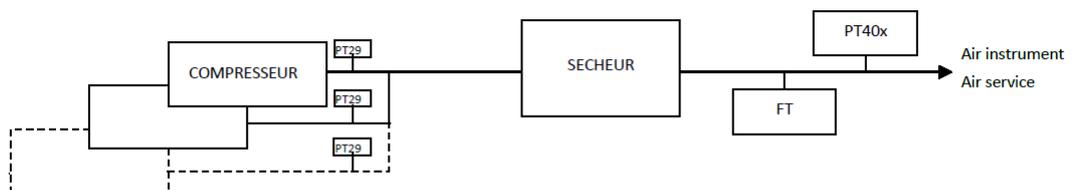


Figure 4.2. Schéma synoptique de l'unité utility

4.3.1 Description des compresseurs

Les compresseurs installés dans l'usine de traitement de gaz sont une combinaison de système mécanique et électrique.

- **Système mécanique**

Les compresseurs existants sont de type ATLAS COPCO ZR4 (marque Belgeoise), ils sont à vis bi-étagés, refroidis par eau, entraînés par moteur électrique et délivrant de l'air exempt d'huile et sans pulsation.

Le compresseur et le moteur sont montés séparément sur un faux châssis qui repose sur le châssis par interposition d'amortisseurs de vibrations.

- **Système électrique**

Il comprend :

1. Le moteur du compresseur.
2. Les transformateurs pour les circuits de contrôle et lampes témoins.

3. Le régulateur électrique.
4. Les interrupteurs d'arrêt par défaut.
5. L'armoire de démarrage, qui contient l'équipement de démarrage du moteur (moteurs basse tension) [27].

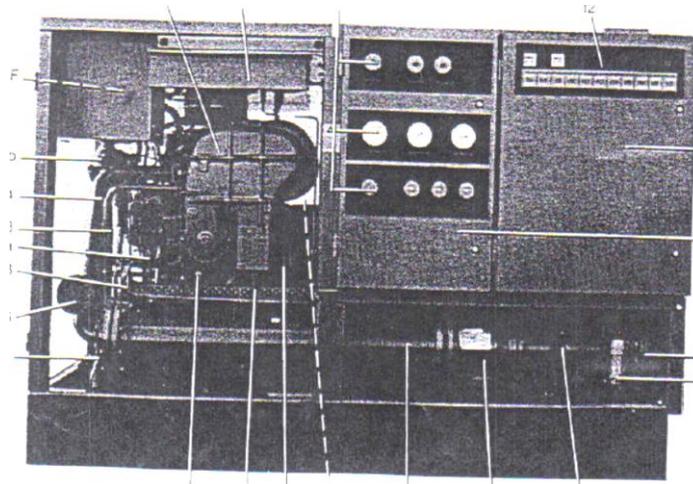


Figure 4.3. Vue d'avant du compresseur

4.3.2 Fonctionnement des compresseurs

Chaque compresseur fonctionne selon les modes suivants :

- **Mode charge** : le compresseur refoule une pression d'air dans le réseau, par l'action d'ouverture de la vanne d'aspiration.
- **Mode décharge** : le compresseur marche à vide et il ne refoule pas dans le réseau, mais son moteur tourne toujours. Ce mode se fait par l'action de la fermeture de la vanne d'aspiration du compresseur.

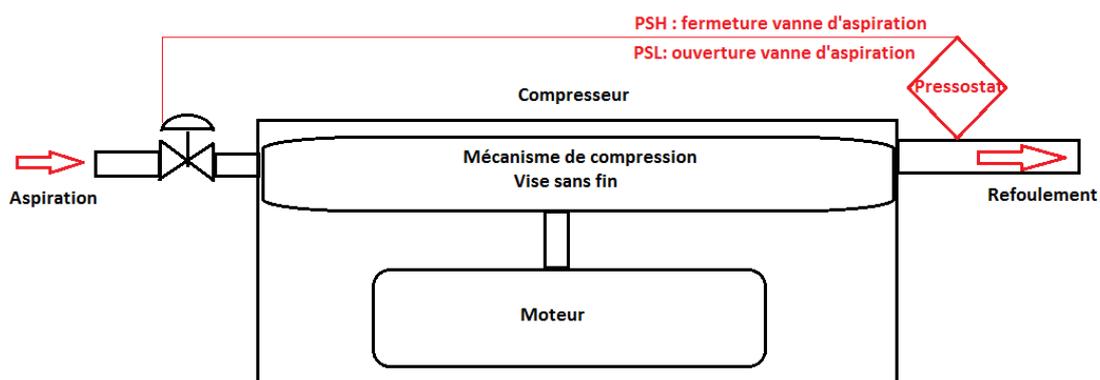


Figure 4.4. Fonctionnement des compresseurs.

Les instruments qui assurent les modes de fonctionnement (charge et décharge) du compresseur sont des pressostats (interrupteurs de pression) réglables :

- **PSH (8 bars)** : Si la pression du réseau atteint 8 bars ou plus, le compresseur rentre en mode décharge (pas de refoulement).

- **PSL (7.5 bars)** : Si la pression du réseau est inférieure ou égale 7.5 bars, le compresseur rentre en mode charge (refoulement).

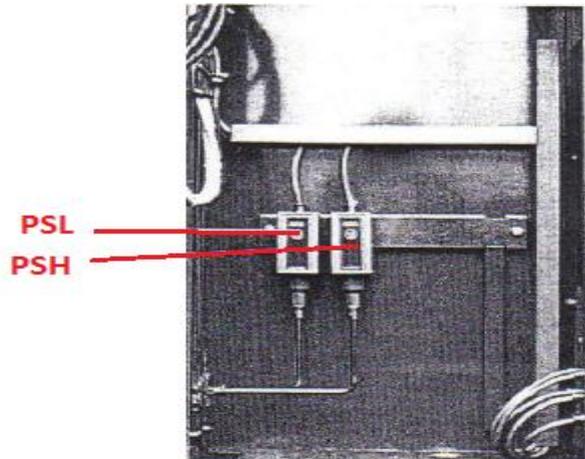


Figure 4.5. Pressostats de charge et décharge

4.3.3 Sécurité de l'installation reliée à l'air instrument

La sécurité du module de production de gaz est assurée par des facteurs de déclenchement qui sont gérés par le PLC. Parmi les facteurs principaux, la basse pression d'air instrument, qui est la limite pour pouvoir fermer ou ouvrir toutes les vannes de sécurités (vanne de torche, vanne de fuel gaz...) par action pneumatique au moment de déclenchement. Le constructeur a défini la pression de déclenchement de l'usine à 4.6 bars [26].

4.3.4 Contrôle actuel du compresseur

Le contrôle-commande du compresseur se fait à partir du panneau local. Les séquences de démarrage, arrêt, charge et décharge se font à partir de relais, des contacteurs et des pressostats, c'est-à-dire par la logique à relais.

La supervision se fait à partir des lampes témoins, des LED et des buzzers (Vibreur) au niveau du panneau local pour chaque compresseur.

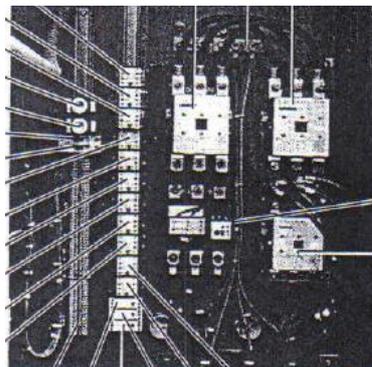


Figure 4.6. Relais de commande du compresseur

4.4 Limitations du système de commande actuel

Suite à ce qui a été précédemment discuté (paragraphe 4.3) sur l'unité de compression, sujet de cette étude, nous sommes arrivés (nous pouvons déduire) à des limitations ci-dessous concernant son système de commande :

- L'indisponibilité de pièces de rechange.
- Câblage très compliqué.
- Faible fiabilité des relais.
- Fausse information lors d'une mauvaise fermeture des contacts.
- Logique figée, ne permet pas les modifications des processus.
- Très influencée par les facteurs ambiants (poussière, vibrations, humidité, ...).
- Grande consommation d'énergie électrique, parce que les 3 compresseurs fonctionnent tous le temps, même à vide le moteur tourne, sachant que ce dernier est un moteur triphasé de haute puissance (5.5 KW).
- Commande séparée : Chaque compresseur comprend sa propre commande, donc y'a pas de communication avec les autres compresseurs.
- Difficulté de supervision : l'opérateur se déplace vers chaque panneau du compresseur, pour voir et acquitter les alarmes et les défauts.
- Difficulté de maintenance : l'arrêt pour révision ou bien pour entretien d'un compresseur peut provoquer un déclenchement total à cause du mal gestion de la commande existante.

Pour remédier à ces contraintes, et dans un objectif de moderniser l'unité de compression et de faciliter son contrôle, nous sommes amenés à implémenter un système DCS.

4.5 Développement du système de supervision de l'unité de compression d'air

La conception du système de supervision doit se faire en deux principales étapes :

- Automatisation et contrôle : la structure adoptée, dans ce cas, doit tenir compte des aspects de gestion de fonctionnement, de fiabilité et de maintenance.
- Création d'un écran de visualisation et de télégestion : il a un double rôle ; il permet, d'une part, le suivi et le contrôle en continu de l'unité et d'autre part, il facilite l'intervention rapide en cas d'anomalie.

Avant de discuter la démarche pour élaborer notre système DCS, il est intéressant de formuler un cahier de charge spécifique répondant aux exigences fonctionnelles et sécuritaire de l'unité :

4.5.1 Définition du cahier de charge

Le cahier de charges définit les performances du nouveau système et les caractéristiques les plus importantes à prendre en compte lors de la conception du système DCS. Le cahier se résume comme suit :

- L'opérateur peut démarrer ou arrêter les compresseurs à distance.
- L'opérateur peut suivre et manipuler en temps réels les paramètres analogiques (boucles de pression, le débit).
- L'opérateur peut contrôler l'état de progression de la séquence (charge, décharge, arrêt, démarrer...etc.).
- L'opérateur peut visualiser les alarmes procès, système et les avertissements.
- L'opérateur peut suivre les facteurs de déclenchement de chaque compresseur et de l'unité.
- L'opérateur peut changer les permissives de fonctionnement, c'est-à-dire définir la priorité de démarrage ou d'arrêt de chaque compresseur qui sont définies par :

- **Normal** : Compresseur marche tout le temps en charge (toujours en refoulement).

- **Appoint** : Si la pression du réseau chute à 7.5 bars ou moins, le compresseur rentre en charge (refoule), il reste en charge jusqu'à ce que la pression dépasse 8 bars, donc le réseau est suffisamment gonflé, le compresseur rentre en décharge (à vide), il reste à vide jusqu'à ce que la pression chute au seuil de charge.

- **Secours** : Compresseur mise en marche en cas d'une basse pression du réseau d'air instrument. C'est-à-dire il démarre directement en charge si la pression du réseau chute inférieure ou égale à 7 bars.

Lorsque la pression atteint 8 bars, le compresseur rentre en décharge (à vide) pendant 15 min et il s'arrête pour confirmer que la pression se stabilise sans chute brusque.

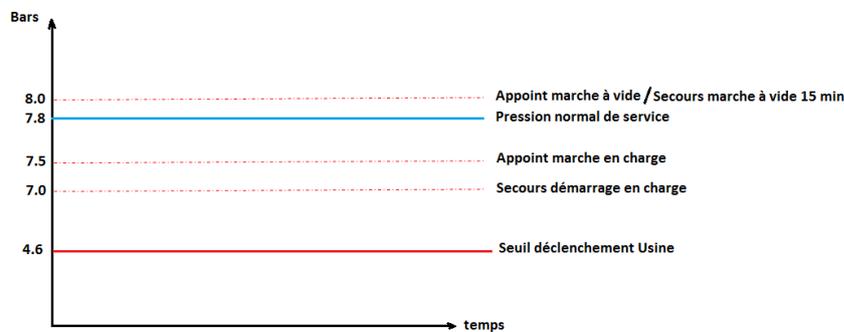


Figure 4.7. Les seuils des permissives.

Sur ce point, nous proposons une nouvelle stratégie de fonctionnement définie par les ordres de priorité suivant trois modes de fonctionnement qui sont illustré dans le tableau suivant :

	Mode 1	Symboles	Mode2	Symboles	Mode 3	Symboles
Compresseur1	Normal	N1	Appoint	A1	secours	S1
Compresseur2	Appoint	A2	Secours	S2	Appoint	A2
Compresseur3	Secours	S3	Normal	N3	Normal	N3

Tableau 4.1. Ordre de priorité des modes

Où chaque compresseur doit avoir le mode de secours dans un objectif d'éviter l'arrêt de l'unité de compression.

- L'opérateur peut identifier les défauts et les pannes qui peuvent affecter chaque compresseur. Dans cette étude, trois modes de défaillances seront pris en compte et qui sont :
 - La haute température des roulements du moteur
 - La surcharge électrique du moteur
 - La vibration de l'arbre du moteur

Remarque :

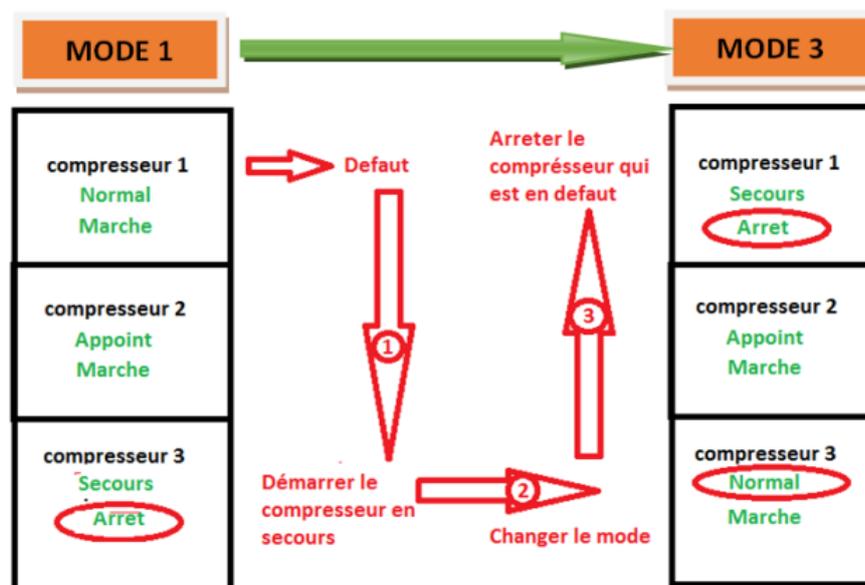
- En simulation, ces défauts sont injectés sous forme de signaux analogiques.
- Dans cette étude, nous considérons que des défauts matériels (de nature hardware).

Si un défaut se présente dans un compresseur, le système doit maintenir son bon fonctionnement suivant des séquences permettant le basculement d'un mode actif i vers un autre mode j .

A titre d'exemple, si un défaut apparaît sur un compresseur en marche selon le mode normal ou appoint, la séquence doit être :

- 1- S'assurer qu'au moins deux compresseurs sont en bon état puis démarrer le compresseur disponible c'est-à-dire celui en secours dans le même mode, sans l'arrêt du compresseur en panne.
- 2- Basculer vers le mode où le compresseur défectueux est en secours
- 3- Arrêter le compresseur défaillant.

La séquence de fonctionnement est décrite par l'organigramme suivant :



- L'opérateur peut actionner manuellement un déclenchement de la station de compression d'air par un bouton d'arrêt d'urgence, ce bouton est utile dans le cas d'incidence (feu, inondation, risque majeur...)
- L'opérateur est averti par des messages d'alertes contenant des consignes à suivre afin de faciliter l'intervention selon les situations suivantes :
 - La basse pression du réseau (inférieure ou égale à 7 bars)
 - Les pannes et les défauts pour chaque compresseur (haute température, vibration...)

Pour répondre au cahier de charge, nous avons organisé cette étude en deux parties : La première concerne la supervision qui regroupe la gestion des alarmes, des informations et la visualisation alors que la deuxième est consacrée à l'automatisation et au contrôle.

4.5.2 Supervision

La supervision est une interprétation graphique du cahier de charges défini précédemment permettant la visualisation et le suivi en continu du fonctionnement de l'unité. En cas de situations critiques (apparition de pannes, anomalie...), l'opérateur doit être alerté par des messages ou alarmes.

Elle comprend :

a) L'interface Homme-machine

- Visualisation en temps réel de la variation de la pression de sortie de l'unité de compression d'air (de l'air refoulé par les trois compresseurs) et des états de fonctionnement des différents compresseurs.

b) Génération d'alarmes et d'informations

➤ En cas de défaillances des équipements

- Défaillance complète affectant les compresseurs tels que le déclenchement de la station.
- Défaut électrique ou mécanique dans l'un des compresseurs ;

➤ En cas de dépassement de seuil

- Déclenchement d'alarme très basse pression (LL) à la sortie de la ligne de production d'air, si la pression est inférieure à 7 bars.
- Déclenchement d'alarme basse pression (Lo) à la sortie de la ligne de production d'air, si la pression est inférieure à 7,5 bars.
- Déclenchement d'alarme haute pression (Hi) à la sortie de la ligne de production d'air, si la pression est supérieure à 8 bars.

4.5.3 Automatisation et contrôle.

Le démarrage de chaque compresseur est activé par une commande à condition. Pour les trois modes de fonctionnement des compresseurs, la commande de démarrage ne peut pas s'exécuter si :

- Une défaillance complète affecte la station (arrêt d'urgence).
- Un défaut électrique ou mécanique se produit.
- Le bouton d'arrêt de l'un des compresseurs est activé.

Pour un compresseur à priorité « secours », la commande ne peut pas s'exécutée si :

- La pression produite à la sortie des trois compresseurs est supérieure à 8 bars.

4.5.3.1 Conditions de vérification avant démarrage

Avant le démarrage, il est supposé que :

- ❖ Tous les travaux de nettoyage et d'entretien sont achevés avec succès.
- ❖ La maintenance est effectuée pour le système en état d'arrêt
- ❖ Tous les signaux d'alarme ont été acquittés.
- ❖ Les disjoncteurs 5.5kV des moteurs des compresseurs à démarrer sont prêts à être fermés. Dans les cellules correspondantes, le sectionneur de mise à la terre est ouvert et le disjoncteur embroché. Il n'y a pas d'alarme dans ces cellules 5.5kV.
- ❖ Tous les compresseurs disponibles sont sur le mode « automatique ».
- ❖ Toutes les vannes sont ouvertes ou fermées selon la situation désirée pour l'unité de production d'air [26].

4.5.3.2 Conditions de démarrage et de mise en marche normale

La procédure à suivre lors du démarrage est la suivante en respectant cet ordre:

1- Mettre sous tension le PLC et les auxiliaires des différents éléments de l'unité de production d'air. Le PLC s'initialise et établit le contact avec les contrôleurs des différents composants de l'unité de production d'air.

2- Vérifier que toutes les causes de toutes les alarmes sont entretenues et acquittées.

3- Démarrer le sécheur et le refroidisseur d'air en même temps.

4- Sélectionner l'un des cycles de fonctionnement correspond à : N1 A2 S3 ou A1 S2 N3 ou S1 A2 N3 (Tableau 4.1).

5- Autoriser le démarrage du compresseur en mode « NORMAL » et en mode « APPOINT ». A ce moment, la séquence de démarrage commence.

6- Ouvrir la vanne d'alimentation du sécheur et le pressuriser.

7- Ouvrir la vanne d'alimentation en sortie du sécheur. L'unité de compression commence à alimenter le circuit d'air comprimé.

8- Le compresseur standby « SECOURS » ne démarre pas mais il est prêt à prendre le relais automatiquement en cas de panne de l'un des compresseur activé ou en cas de chute de la pression (< 7bars) [26].

4.6 Configuration du système DCS

Cette première étape consiste à définir les différentes entrées/sorties ainsi que la boucle de régulation.

4.6.1 Déclaration des entrées /sorties

Les différentes entrées/ sorties introduites dans les séquences de fonctionnement sont illustrées dans le tableau 4.2.

Symbole	Commentaire	Entrée	Sortie
START1	Mise en marche du compresseur 1	X	
START2	Mise en marche du compresseur 2	X	
START3	Mise en marche du compresseur 3	X	
NORMAL1	Compresseur 1 en mode normal		X
NORMAL2	Compresseur 2 en mode normal		X
NORMAL3	Compresseur 3 en mode normal		X
APPOINT1	Compresseur 1 en mode appoint		X
APPOINT2	Compresseur 2 en mode appoint		X
APPOINT3	Compresseur 3 en mode appoint		X
SECOUR1	Compresseur 1 en mode secours		X
SECOUR2	Compresseur 2 en mode secours		X
SECOUR3	Compresseur 3 en mode secours		X
COMP1RUN	Compresseur 1 en marche		X
COMP2RUN	Compresseur 2 en marche		X
COMP3RUN	Compresseur 3 en marche		X
CHARGE1	Compresseur 1 en charge		X
CHARGE2	Compresseur 2 en charge		X
CHARGE3	Compresseur 3 en charge		X
DECHARGE1	Compresseur 1 en décharge		X
DECHARGE2	Compresseur 2 en décharge		X
DECHARGE3	Compresseur 3 en décharge		X
STOP1	Mise en arrêt du compresseur 1	X	
STOP2	Mise en arrêt du compresseur 2	X	
STOP3	Mise en arrêt du compresseur 3	X	
COMP1STOP	Compresseur 1 en arrêt		X
COMP2STOP	Compresseur 2 en arrêt		X
COMP3STOP	Compresseur 3 en arrêt		X

Tableau 4.2. Déclaration des E/S des compresseurs

- **Remarque**

Chaque entrée/sortie définie dans le tableau est attribuée à un Switch à deux états :

- soit elle est validée donc on la représente par un "1" logique.

-Dans le cas contraire, elle est représentée pas un ‘0’ logique.

4.6.2 Boucle de régulation

Les paramètres du contrôleur sont déterminés de façon expérimentale.

Le tableau suivant regroupe les consignes de fonctionnement du régulateur de pression.

NOM	Type de contrôle	Set point	Génération d'Alarmes		
			Nom	Type	Action
PIC001	La pression de ligne des 3 compresseurs	7,8 Bars	LL	Très basse pression (7 bars)	Démarrage en charge du compresseur en mode secours
			Lo	Basse pression (7,5 bars)	Démarrage en charge du compresseur en mode appoint
			Hi	Haute pression (8 bars)	Compresseur en mode appoint rentre en décharge Compresseur en mode secours rentre en décharge pendant 15 min puis il s'arrête

Tableau 4.3. Tableau des alarmes de déclenchement

4.7 Programmation des séquences de fonctionnement de l'unité de compression

Une fois le nouveau projet est créé dans le système view du CENTUM CS3000, il est donc possible d'accéder aux différentes configurations (type de FCS, type de la HIS, etc.)

L'aperçu général du projet se présente comme le montre la fenêtre suivante :

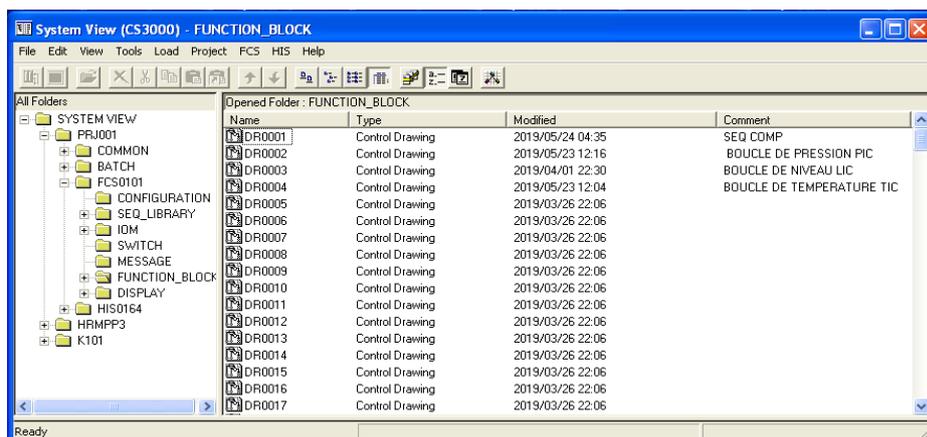


Figure 4.8. Vue générale du projet.

Le travail à effectuer comporte deux principales tâches :

➤ Simulation du fonctionnement réel de l'unité. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les différentes fonctions intervenant dans la réalisation du programme. Ces fonctions sont définies par fonctions blocks sélectionnées dans des drawing (DR0001, DR0002, DR0003) du logiciel CS3000 (voir chapitre 3), tels que :

- **DR0001** : Un drawing comportant les blocs de :
 - Tous les boutons poussoirs affichés sur l'interface graphique.
 - La configuration des modes.
 - Les séquences de démarrage, arrêt, charge et décharge des compresseurs.
 - Les blocs de simulation des défauts.

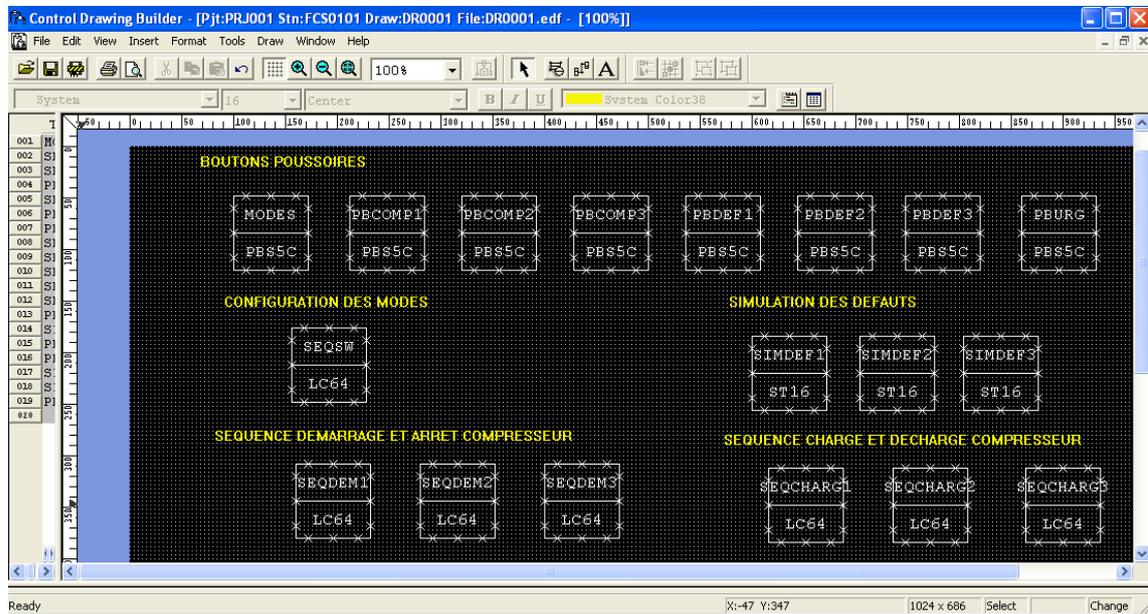
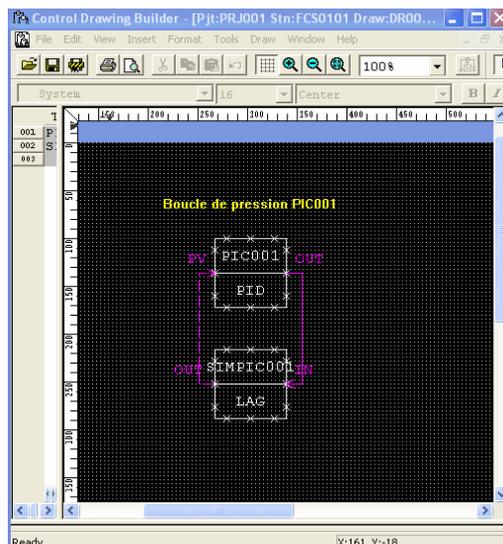
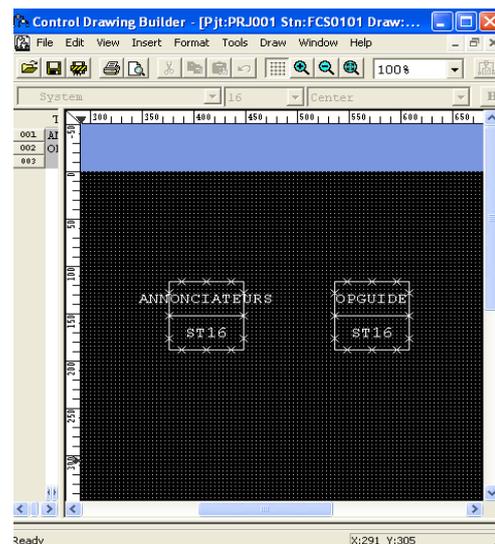


Figure 4.9. Vue du drawing DR0001

- **DR0002** : Comporte le bloc de la boucle de pression PIC001 (figure 4.10 a))
- **DR0003** : Comporte les blocs des messages d'alerte (Annonciateurs, Opérateur Guide), (figure 4.10 b))



a) DR0002



b) DR0003

Figure 4.10. Vue des drawing.

4.7.1 Programmation des séquences de fonctionnement par la logique chart LC64

Dans cette deuxième phase de l'implémentation, nous détaillons la programmation des séquences définies précédemment, et nous proposons d'utiliser la logique Chart.

4.7.1.1 La configuration des modes

Le bloc LC64 est une fonction bloc dont le rôle est :

- La représentation et la simulation du schéma logique.
- La description des relations entre les signaux d'entrée et de sortie en utilisant des portes logiques (and, or, not...) et des bascules ou timer...

Ce bloc comporte 32 entrées/sorties et 64 opérateurs logiques regroupés dans une bibliothèque spéciale illustrée par la figure suivante :

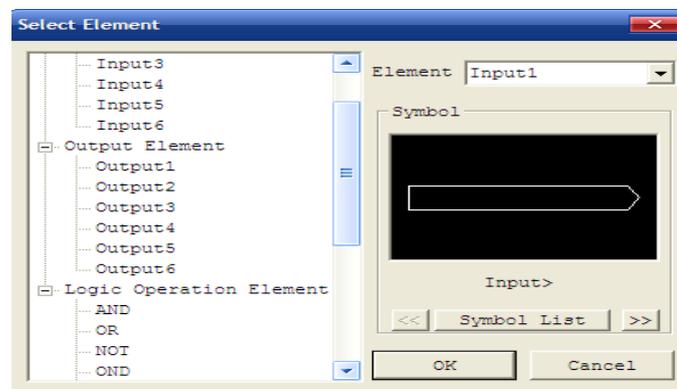


Figure 4.11. Bibliothèque des blocks logiques

Le lien entre les Switch, qui définissent les entrées/sorties (tableau 4.2), est établi à travers des portes logiques et des bascules RS avec priorité "Set" vérifiant le séquençage des modes ainsi que les conditions d'activation.

La figure 4.13 représente le bloc LC64 nommé SEQSW qui montre une simulation du fonctionnement de l'unité selon le mode 1 (en rouge).

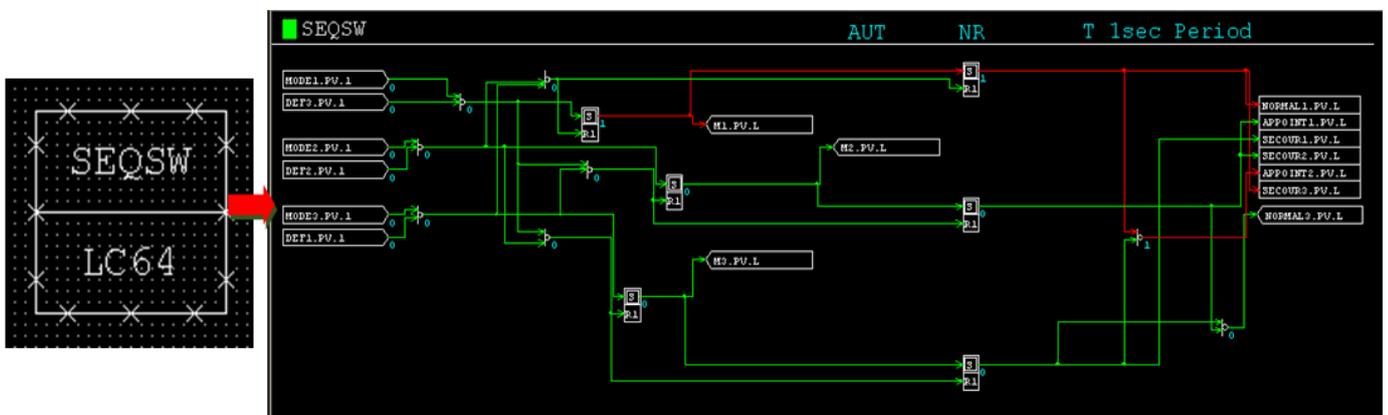


Figure 4.12. L'Edit détail de la LC64

- **Analogie entre séquence à relais et la logique Chart.**

La séquence de démarrage du compresseur à relais est substituée en logique Chart dans le bloc LC64.

Pour avoir le prêt à démarrer du compresseur 1 il faut que :

- Aucune condition de déclenchement (tous les Switch de déclenchement soient à 0)
- Appuie sur le bouton START1 (c'est-à-dire mettre à 1)
- Le compresseur doit être en mode normal ou appoint ou en mode secours si la pression a chuté au-delà de 7 bars.

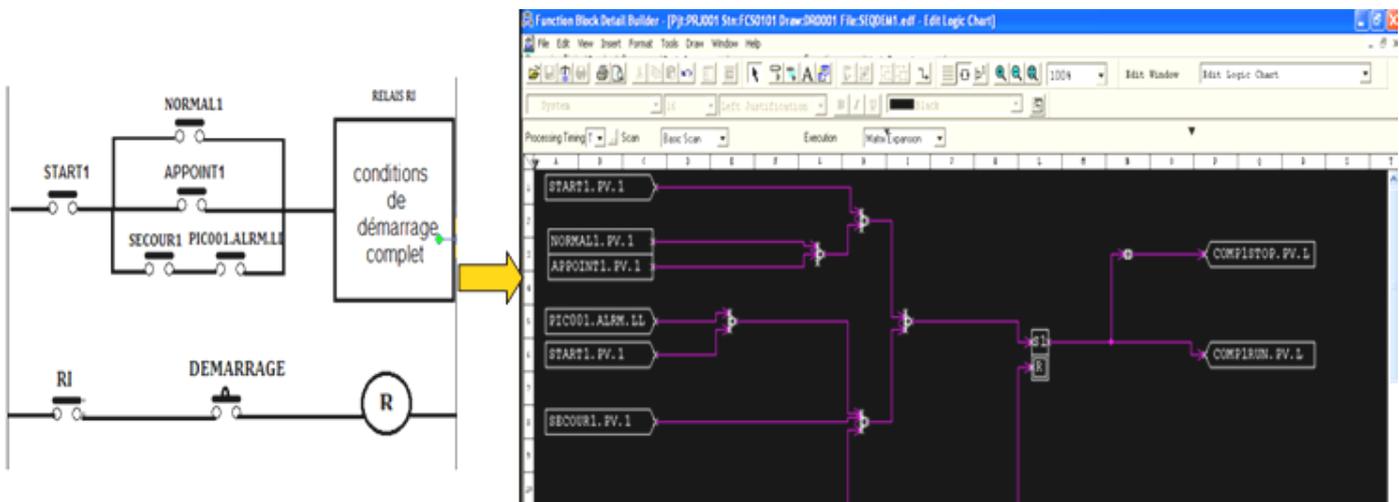


Figure 4.13. Exemple du prêt à démarrer avec LC64

Avec : R : La bobine à excitation

RI : Le contact de maintien

4.7.1.2 Programmation de la séquence de démarrage/arrêt des compresseurs

Cette séquence est élaborée sur les blocs LC64 nommé « SEQDEM », le démarrage de chaque compresseur est assuré après le choix du mode de fonctionnement.

Selon les modes choisis :

Le compresseur 1 : peut avoir le mode NORMAL, APPOINT ou SECOURS

Le compresseur 2 : peut avoir le mode APPOINT ou SECOURS

Le compresseur 3 : peut avoir le mode NORMAL ou SECOURS.

Les conditions de démarrage/arrêt de chaque compresseur sont formulées dans le tableau suivant :

Conditions	Modes	Compresseur 1	Compresseur 2	Compresseur 3	
Démarrage	Normal	START 1	/	START 3	
	Appoint		START 2	/	
	Secours	Pression \leq 7bars ou			
		DEF 2 ou DEF 3	DEF 1 ou DEF 3	DEF 1 ou DEF 2	
Arrêt	Normal	STOP 1 ou ARRURG	/	STOP 3 ou ARRURG ou DEF 3	
	Appoint	ou DEF 1	STOP 2 ou ARRURG ou DEF 2	/	
	Secours	Pression \geq 8 bars (Pendant 15 min) ou STOP i ou ARRURG ou DEF i			

Tableau 4. 4. Conditions de démarrage/arrêt des compresseurs

Avec ARRURG : Arrêt d'urgence et DEF i : Défaut affectant le compresseur (i)

La figure 4.14 illustre un test de simulation du bloc LC64 nommé SEQDEM2 qui montre le démarrage du compresseur 2 en secours (en rouge).

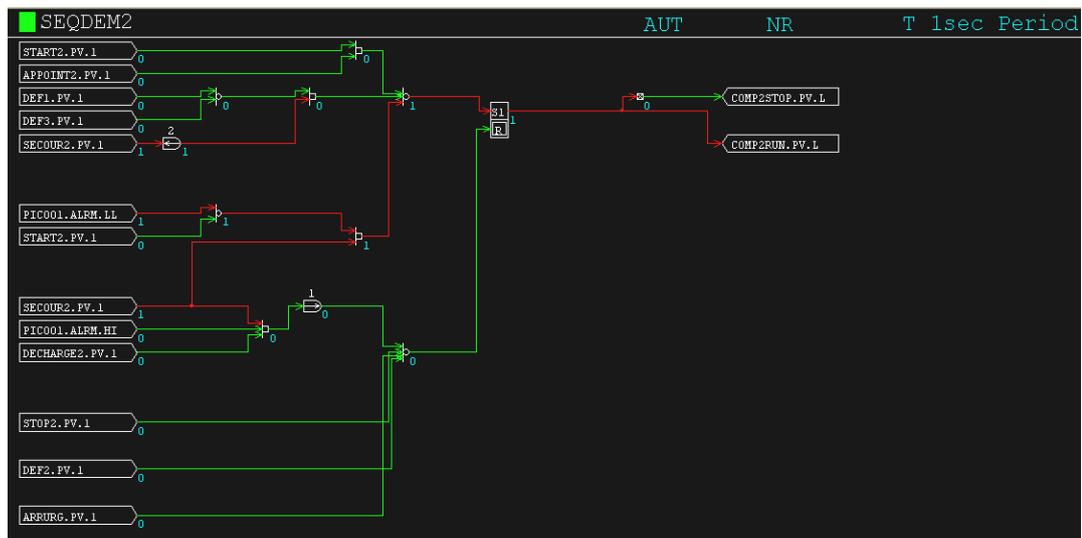


Figure 4.14. Simulation de démarrage du compresseur 2 en secours

4.7.1.3 Programmation de la séquence charge/ décharge des compresseurs

Pour introduire n'importe quel compresseur (par exemple le compresseur 1) en mode charge ou décharge, il faut que l'une des conditions, gérées par le contrôleur (voir tableau 4.5), soit vérifiée en fonction du mode opérationnel.

Modes	Etats	Conditions
Normal	Charge	Tout le temps
Appoint	Charge	La pression inférieure à <7.5 bars PIC001.ALARM .LO=1
	Décharge	La pression supérieure à >8 bars « PIC001.ALARM .HI=1 »
Secours	Charge	La pression inférieure à <7 bars PIC001.ALARM .LL=1
	Décharge	La pression supérieure à >8 bars « PIC001.ALARM .HI=1 »

Tableau 4.5. Conditions de charge/décharge des compresseurs.

Ces conditions sont décrites sur un bloc nommé « SEQCHARG 1 », la simulation de la séquence de charge/décharge du compresseur 1 est représentée dans la figure suivante :

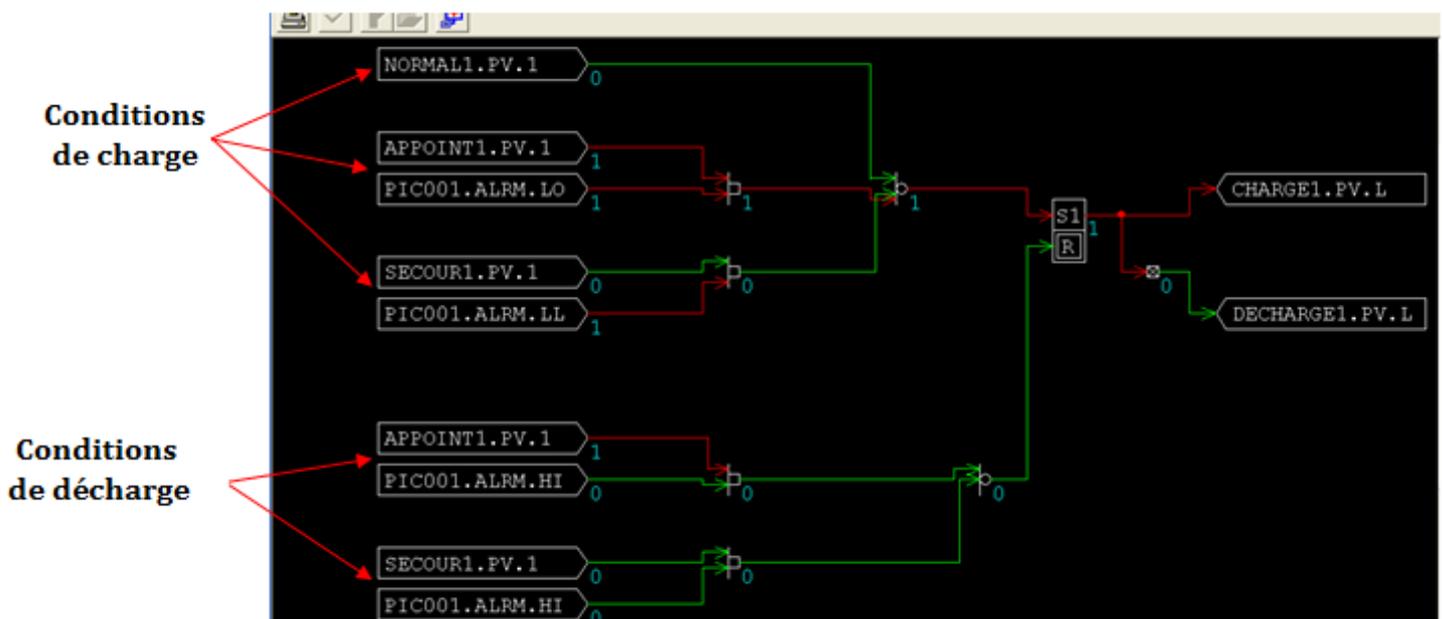


Figure 4.15. Simulation de la séquence de charge/décharge par le bloc LC64.

4.7.2 Programmation des boutons poussoir avec le switch «PBs5C»

Le bloc de boutons-poussoirs « PBs5C » étendu à 5 boutons-poussoirs est un bloc d'affichage séquentiel qui contient les données d'état de cinq boutons-poussoirs en liaison avec les organes de l'unité permettant de modifier l'indication sur le panneau avant de l'instrument en fonction de l'état de chaque bouton-poussoir.

Ces boutons figurant sur notre interface graphique sont réalisés à partir de plusieurs blocs dans le drawing « DR0001 » (Figure 4.16).

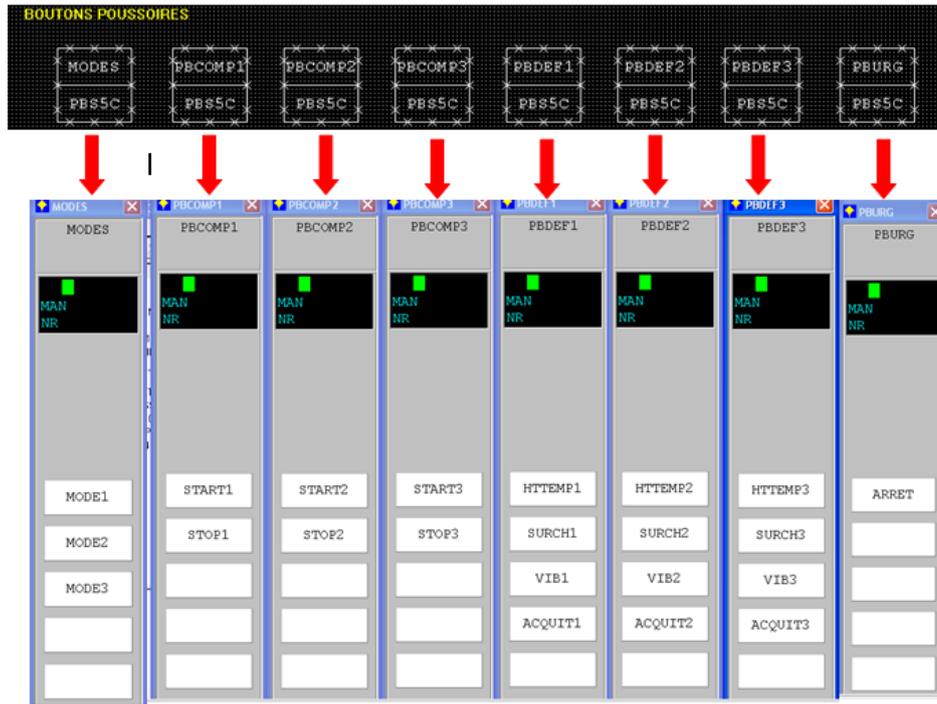


Figure 4.16. Illustration des Switch «PBs5C» correspondants aux boutons poussoir.

4.7.3 Utilisation de la table de séquence « ST16 »

Pour la gestion des différentes séquences, nous utilisons le bloc « ST16 » la table de séquence. Ce bloc est utilisé pour la description des séquences dynamiques sectionnée en conditions et actions suivant deux états :

- Y = Yes, c'est l'état « 1 ».
- N = No, c'est l'état « 0 ».

4.7.3.1 En présence de défauts

Le système conçu doit permettre l'affichage des défauts définis dans le cahier de charges et alerter l'opérateur par un voyons. Ces défauts sont déclarés dans le « SWITCH DEFINE » dont leur programmation est identique à celle des boutons poussoirs en passant par

la table de séquence qui facilite l'identification du mode de défaillance (Figures 4.17 et 4.18).

Element Number	Tag Name	Tag Comment	Element Number	Tag Name	Tag Comment
\$SW0070		System Reserved	\$SW0090	HAUTTEMP2	System Reserved
\$SW0071	HAUTTEMP1	System Reserved	\$SW0091	SURCHARGE2	System Reserved
\$SW0072		System Reserved	\$SW0092	VIBRATION2	System Reserved
\$SW0073		System Reserved	\$SW0093	ACQUIT2	System Reserved
\$SW0074	SURCHARGE1	System Reserved	\$SW0094		System Reserved
\$SW0075		System Reserved	\$SW0095		System Reserved
\$SW0076		System Reserved	\$SW0096		System Reserved
\$SW0077	VIBRATION1	System Reserved	\$SW0097		System Reserved
\$SW0078		System Reserved	\$SW0098		System Reserved
\$SW0079		System Reserved	\$SW0099		System Reserved
\$SW0080	ACQUIT1	System Reserved	\$SW0100	HAUTTEMP3	System Reserved
\$SW0081		System Reserved	\$SW0101	SURCHARGE3	System Reserved
\$SW0082		System Reserved	\$SW0102	VIBRATION3	System Reserved
\$SW0083		System Reserved	\$SW0103	ACQUIT3	System Reserved

Figure 4.17. Déclaration des défauts dans la table de « SWITCH DEFINE »

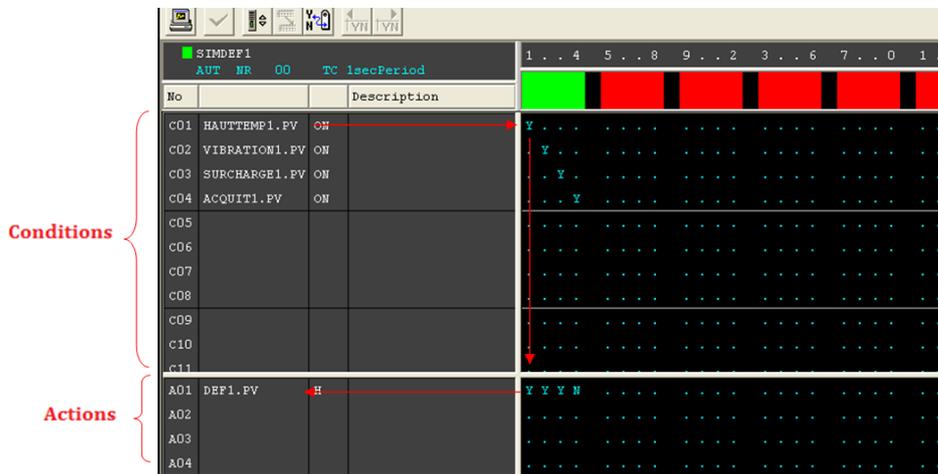


Figure 4.18. Simulation des défauts par « ST16 »

Si l'un des défauts se présente par exemple « SURCHARGE1.PV=Y » alors le compresseur 1 sera déclaré défaillant « DEF1.PV=Y » et sera considéré en secours.

Le compresseur en secours sera prêt à démarrer, si « ACQUIT1.PV=Y » et « DEF1.PV=N »

Les figures 4.19 et 4.20 présentent un exemple de simulation d'un dysfonctionnement de l'unité (apparition d'un défaut dans le compresseur 1, figure 4.19) où nous constatons le basculement du fonctionnement vers le mode approprié sans interrompre le fonctionnement de l'installation.

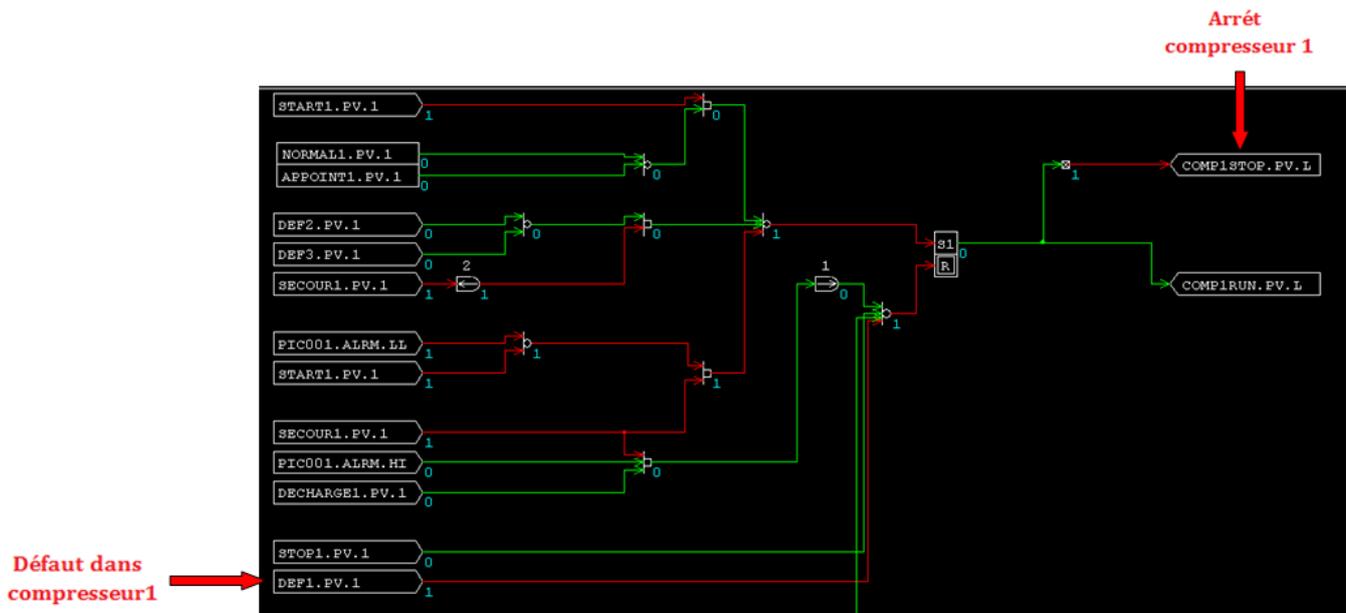


Figure 4.19. L'influence d'un défaut sur la séquence de démarrage du compresseur.

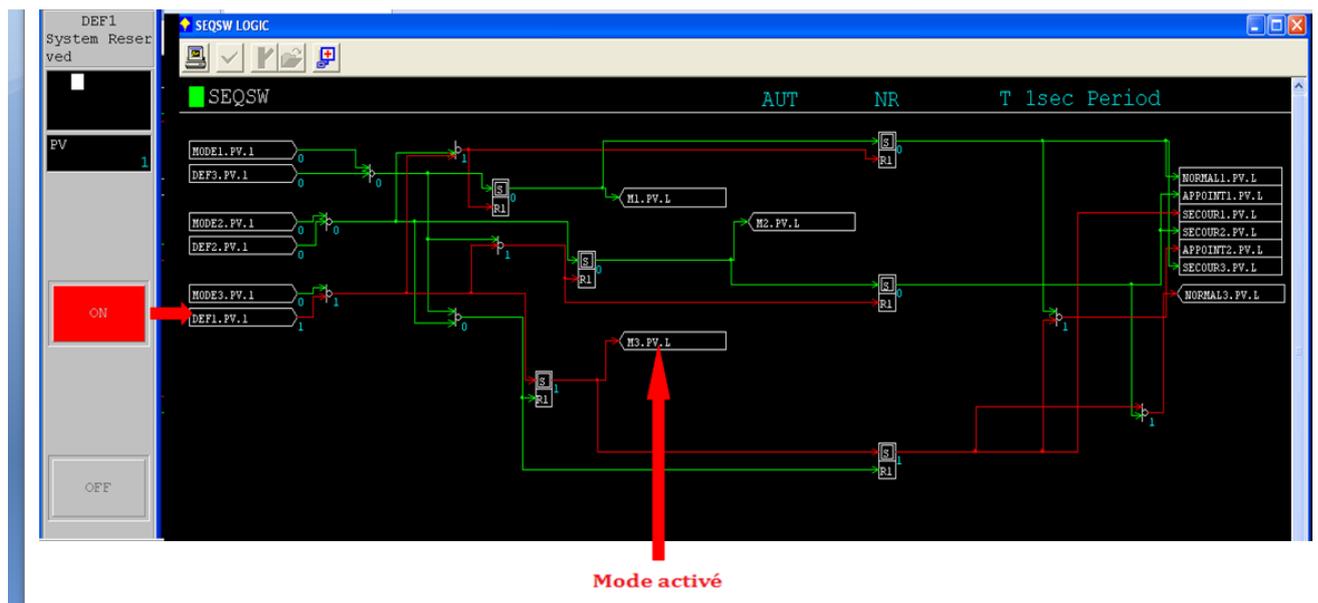


Figure 4.20. La configuration des modes lors d'un défaut sur le compresseur 1

4.7.3.2 Affichage des messages d'avertissement

Les annonceurs (%AN) et l'opérateur guide (%OG) sont des outils dans le logiciel CS 3000 utilisés pour afficher des messages d'avertissement ou autre et des instructions sur l'interface graphique afin de faciliter l'intervention de l'opérateur ou de l'aider dans ses tâches à entreprendre.

L'ensemble des messages sont regroupé dans la figure 4.21 :

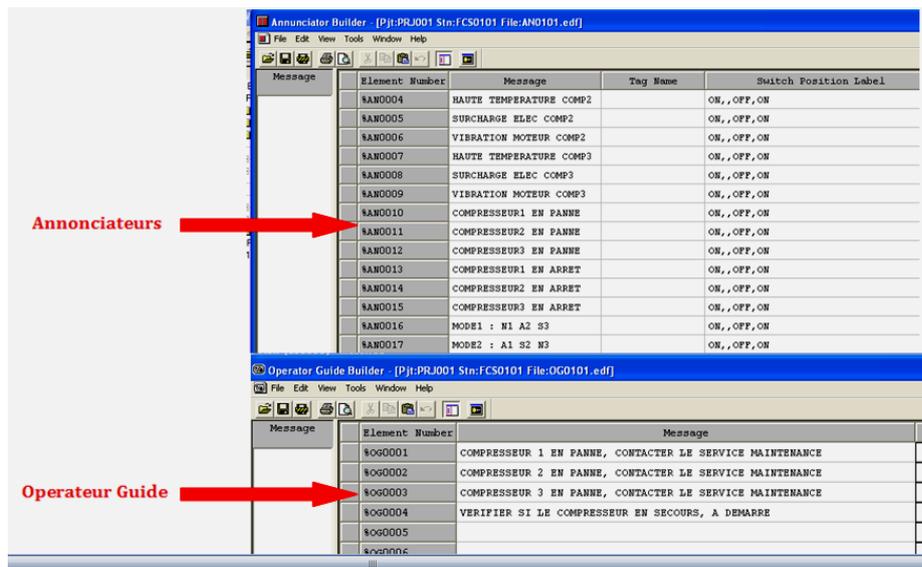


Figure 4.21. Création des messages d'avertissement

La séquence d'affichage dépend des conditions d'affichage qui sont définis dans le bloc de la table de séquence « ST16 ».

La figure 4.22 représente la table de séquence des annonciateurs pendant la simulation de l'exemple précédent (voir figure 4.21).

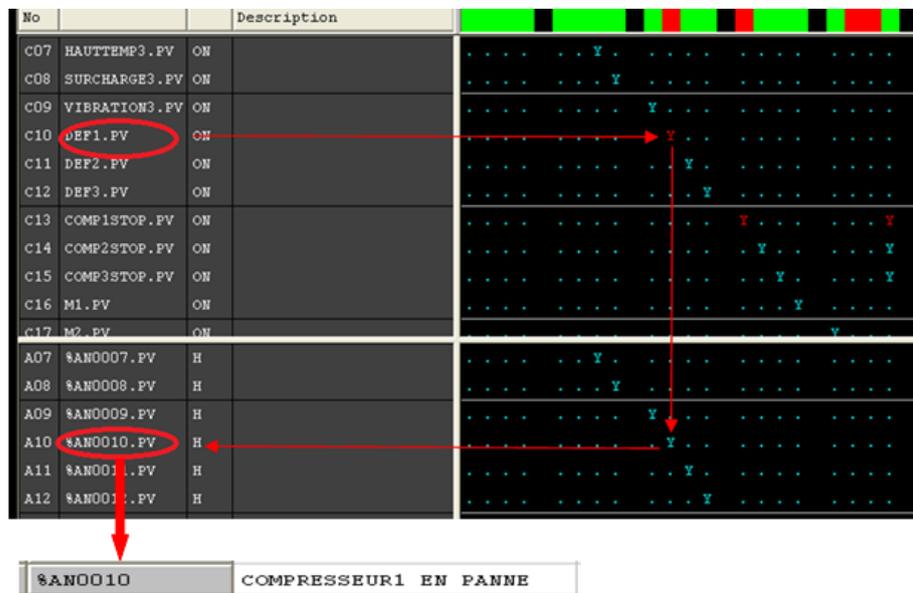


Figure 4.22. La table de séquence des annonciateurs

Quant à l'opérateur guide est donné sous forme d'une table de séquence représentée par la figure 4.23 :

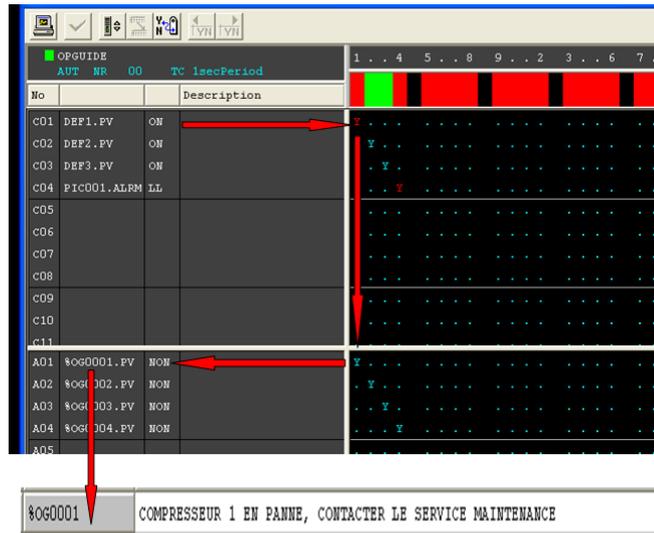


Figure 4.23. Table de séquence d'opérateur guide

Reprenons l'exemple précédent : Si le compresseur 1 présente un défaut (DEF1.PV=Y) alors l'opérateur guide (%OG0001.PV= Y) affiche sur l'interface le message « Le compresseur 1 est en panne, contacter le service maintenance », pour faciliter l'intervention de l'opérateur.

4.7.4 Programmation de la boucle de régulation de pression PIC001

Les trois compresseurs refoulent de l'air par l'action d'ouverture de la vanne d'aspiration. A la sortie de la ligne des compresseurs est inséré un PID pour le contrôle de la pression.

La chaîne de régulation est composée de bloc PID et le bloc LAG. Le bloc régulateur assure le réglage de la pression, par ajustement des paramètres (P, I, D), en fonction de la variable du process PV (Process Value) et de la consigne SV (set value).

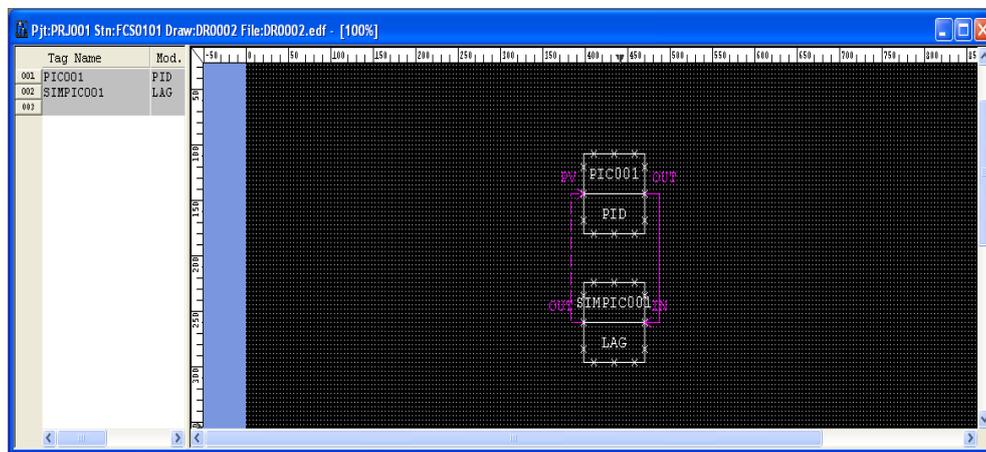


Figure 4.24. Création d'une boucle de régulation de pression

Les paramètres du régulateur (P, I, D) sont choisis par le constructeur (celui qui connaît le mieux le système, son ordre, la nature de l'équation différentielle,) ou par identification et du système et détermination des différentes actions.

Dans le cadre de cette étude et afin d'améliorer la précision et la stabilité du système, nous avons choisi un (PI) ou les paramètres sont déterminés de façon expérimentale.

$K_P = 200\%$ et $T_I = 2\text{ s}$

La figure suivante représente les paramètres réglés :

MODE=AUT		ALRM: LL			
SH	:	10,0	HH	=	10,0
SL	:	0,0	PH	=	8,0
PV	=	6,0BAR	PL	=	7,5
SV	=	6,0BAR	LL	=	7,0
MV	=	6,0BAR	VL	=	10,0
DV	:	0,0	DL	=	10,0
SUM	:		SVH	=	10,0
OPHI	=	100,0	SVL	=	0,0
OPLO	=	0,0	CK	=	1,000
			CB	=	0
			MH	=	100,0
			ML	=	0,0
			P	=	200,0
			I	=	2,0
			D	=	0,0
			GW	=	0,0
			DB	=	0,0

Les paramètres (P, I, D)

Figure 4.25. Le réglage des paramètres (P, I, D).

4.8 Création et programmation d'un graphique dans la « HIS »

Dans cette dernière phase, nous nous intéressons à l'élaboration de l'interface de visualisation et de supervision. La supervision des compresseurs permet de visualiser tous les paramètres et états de l'unité tels que les boucles de régulation en temps réel, les facteurs de déclenchement et les états des actionneurs et des capteurs (moteurs, transmetteur de pression...etc.), ainsi que les commandes à distance.

Pour cela, nous devons faire appel aux blocs graphiques (GR0002, GR0003) dynamique (avec animation) en reproduisant tous les détails de fonctionnement de l'unité de compression.

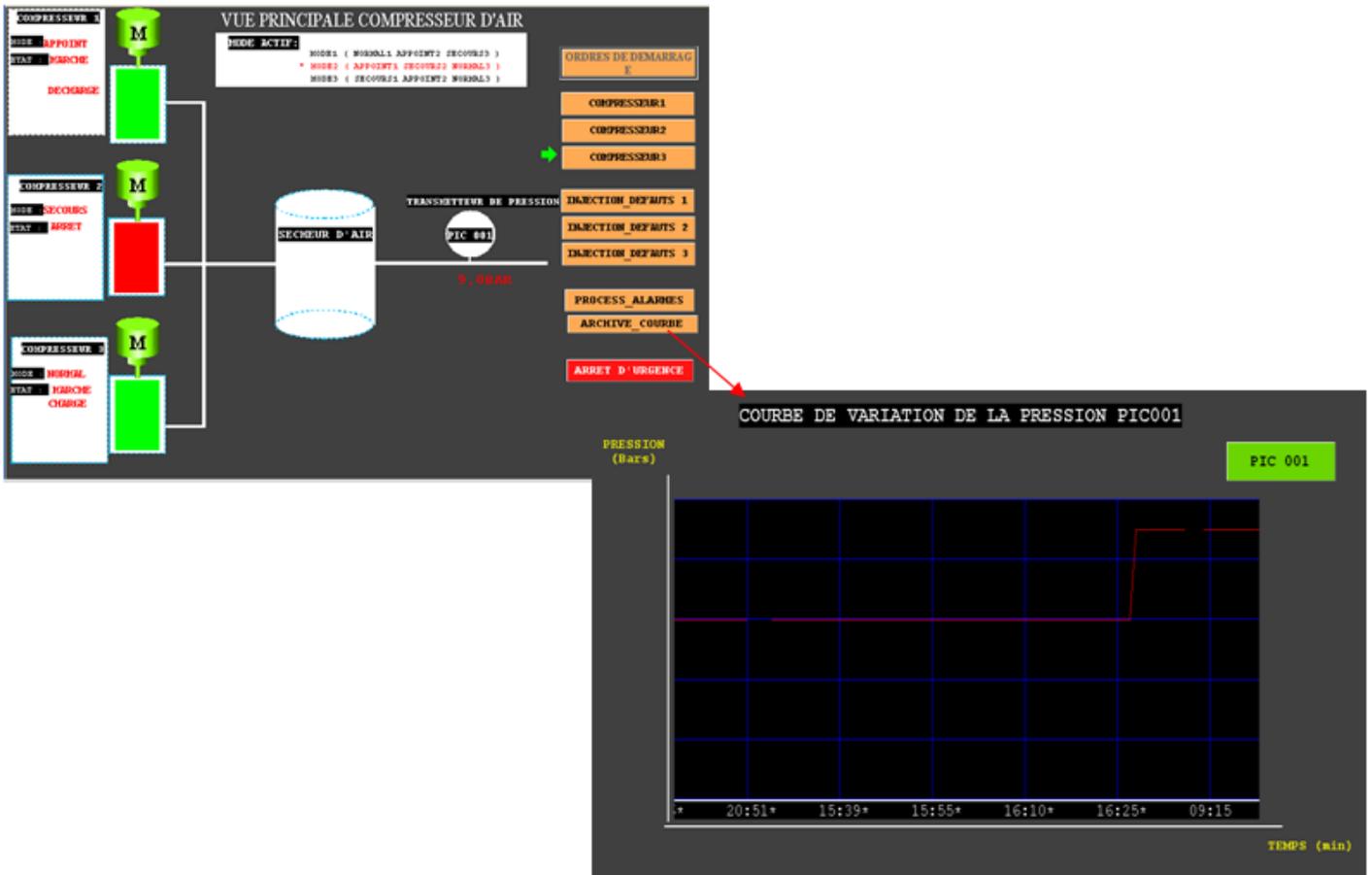


Figure 4.26. Interface graphique avec zoom de la variation de pression

4.8.1 Démarche à suivre dans la réalisation du graphique « HIS »

Le logiciel CS 3000 dispose d'une bibliothèque d'équipements riche facilitant la conception virtuelle de l'unité avec la possibilité de créer plusieurs vues. Les objets choisis sont insérés dans un espace graphique GR0002 pour la configuration, ensuite l'affectation et l'animation.

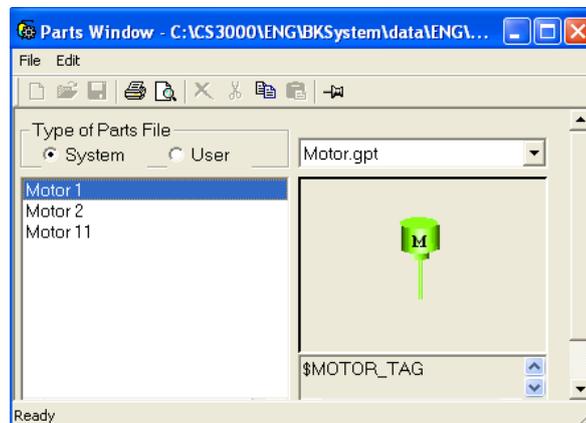


Figure 4.27. Bibliothèque des objets graphiques.

Les caractéristiques de chaque objet (couleur, forme, animation,) sont définies dans le bloc des propriétés comme le montre la figure suivante :

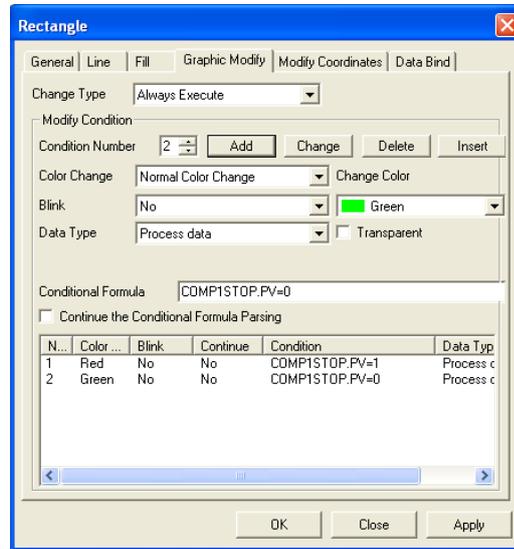


Figure 4.28. Configuration de l'animation des objets

4.8.2 Description des vues

L'interface graphique fournit plusieurs vues de l'unité parmi lesquelles :

- i. **Vue principale « compression d'air »**

Cette première figure est considérée comme la page d'accueil de notre projet puisqu'elle englobe l'ensemble de l'unité de compression d'air.

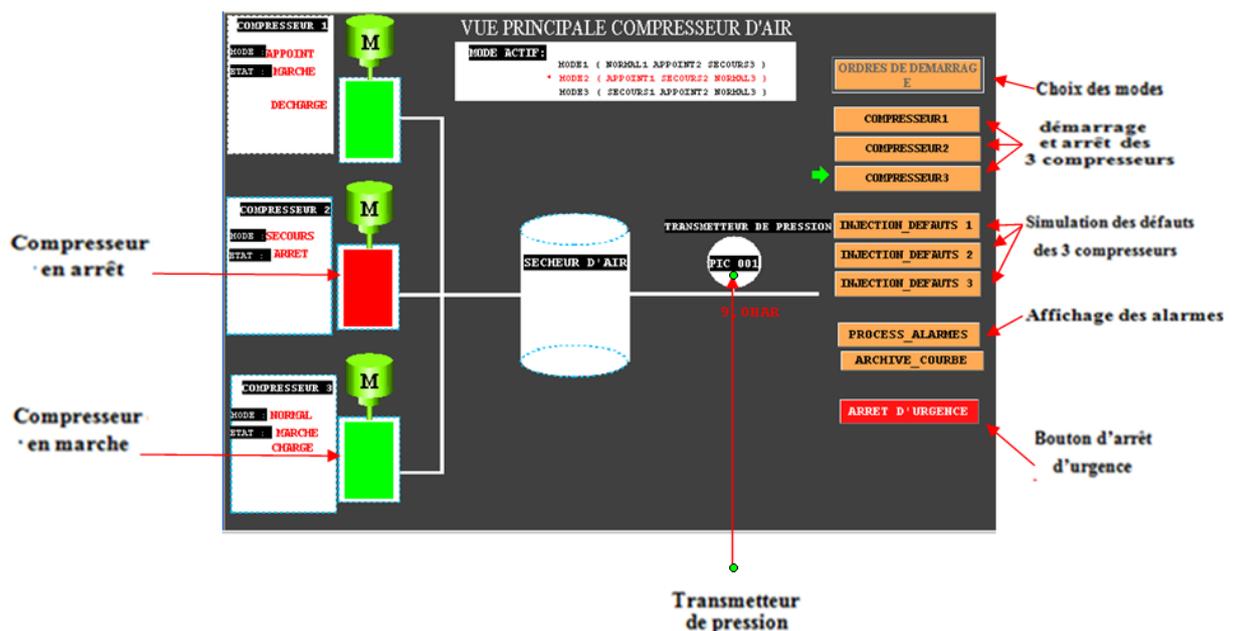


Figure 4.29. Vue globale de l'unité de compression d'air.

Elle permet la visualisation (état des compresseurs, facteurs de déclenchement.) et le réglage de la boucles de régulation, le choix de la consigne (la pression), le démarrage, l'arrêt, la charge et la décharge des compresseurs.

Cette vue indique l'état de fonctionnement des trois compresseurs, entre autres, elle permet de :

1. Démarrer et arrêter les trois compresseurs à distance à travers les boutons (COMPRESSEUR1, COMPRESSEUR2, COMPRESSEUR3).
2. Changer le mode de fonctionnement des trois compresseurs à distance à travers le bouton (ORDRE DE DEMARRAGE).
3. Afficher le mode de fonctionnement actif par la couleur rouge.
4. Accéder aux alarmes par clic au bouton « PROCESS_ALARMES » pour faciliter l'intervention de l'opérateur.
5. Déclencher le bouton « ARRET D'URGENCE » en cas d'incidence.
6. Indiquer l'état de charge ou décharge de chaque compresseur sur l'interface graphique
Afficher la valeur de la pression de ligne transmise par le transmetteur de pression.
7. Suivre et afficher l'état de démarrage ou d'arrêt de chaque compresseur avec le changement de couleur tels que :
 - La couleur rouge indique l'état d'arrêt du compresseur.
 - La couleur verte indique l'état de démarrage du compresseur.
8. Simuler les défauts. Chaque défaut est injecté par l'utilisateur à travers le bouton (INJECTION_DEFAULTS 1, INJECTION_DEFAULTS2, INJECTION_DEFAULTS3).
9. Accéder aux paramètres de réglage de la boucle de régulation (Boucle de pression d'air PIC001) et afficher les consignes et les sorties en temps réel.

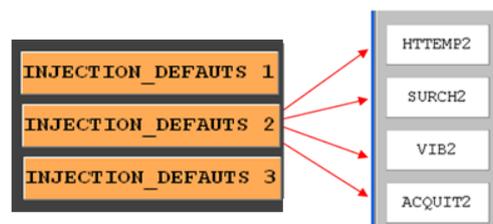


Figure 4.30. Localisation et identification des défauts du compresseur 2

Ces trois défauts sont des facteurs d'arrêt de chaque compresseur modifiant l'état du compresseur en :

- jaune clignotant si l'un des facteurs est activé.
- blanc si le fonctionnement est normal.

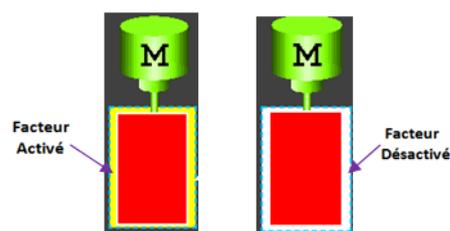


Figure 4.31. Etat de compresseur avant et après apparition du défaut

Une fois la maintenance du compresseur défaillant est achevée, l'opérateur peut acquitter le défaut et les messages d'alarmes par le bouton (ACQUIT1, ACQUIT2, ACQUIT3), pour rendre le compresseur prêt à démarrer.

Dans un exemple de simulation, où le mode actif est A1 S2 N3 (tableau 4.1), la figure 4.33 montre le fonctionnement de compresseur 1 en mode de décharge suite à l'augmentation de la pression (= 8.3 bars) ; cette valeur est modifiée dans la boucle de régulation par un clic sur son Tag Name.

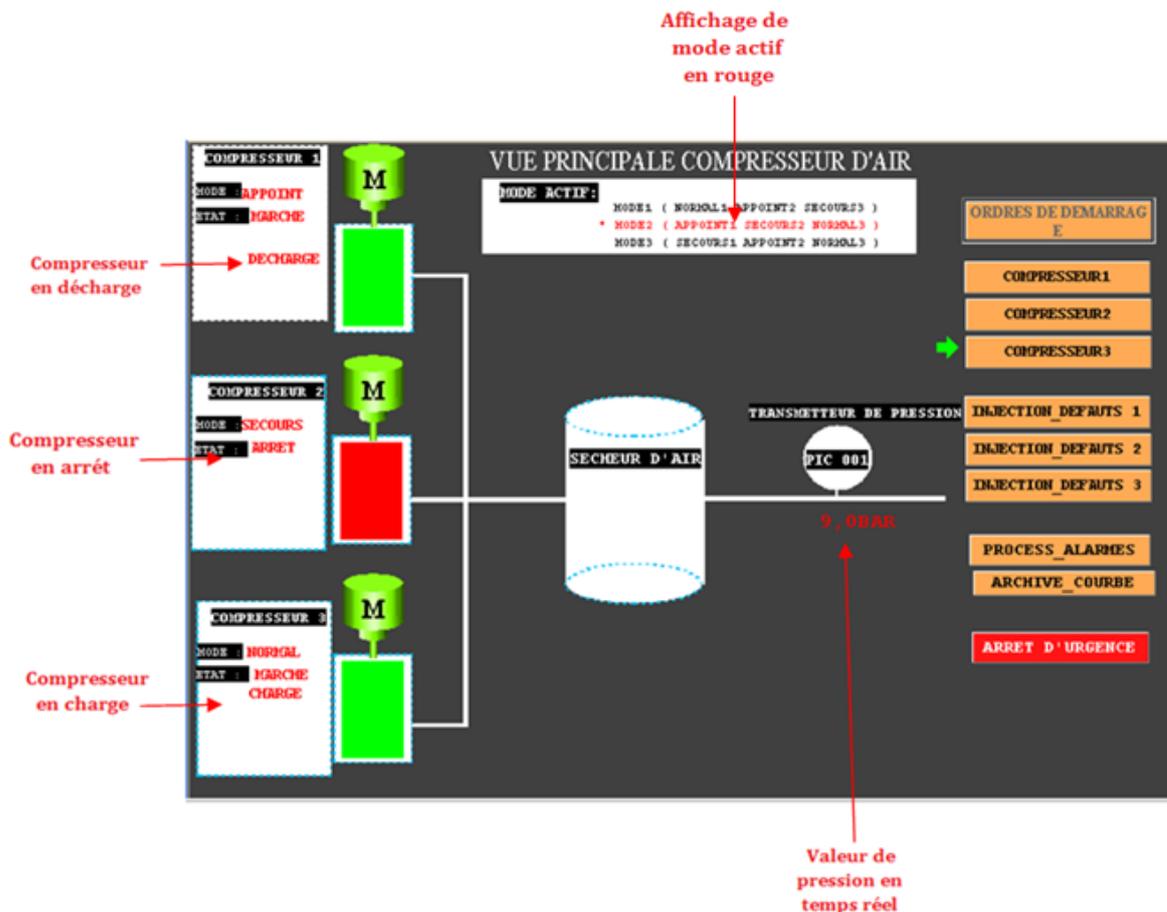


Figure 4.32. Description de la vue de compression d'air.

ii. Vue « Archive courbe »

Cette vue sert à visualiser les courbes de la pression d'air produite par les trois compresseurs en temps réel, celle-ci représentées par des couleurs différentes, et donne la valeur instantanée en Bars.

L'accès à cette vue est à partir de la vue principale par clic sur « archive courbe » situé en bas droite.

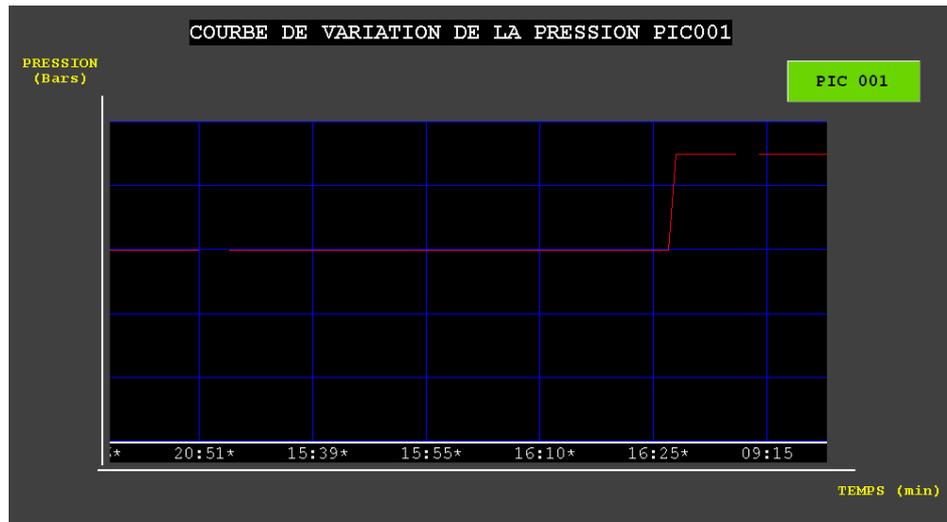


Figure 4.33. Vue « Archive courbes »

iii. Vue « Pression »

A partir de cette vue, la pression de l'unité de production d'air est visualisée en temps réel sur une bargraphe permettant ainsi d'afficher les seuils (alarmes de dépassement) de pression (LL, Lo, Hi).



Figure 4.34. Vue « pression »

iv. Vue « Alarmes instantanées »

Tous les alarmes et avertissements instantanés de l'installation sont archivés dans 'Process Alarm'.

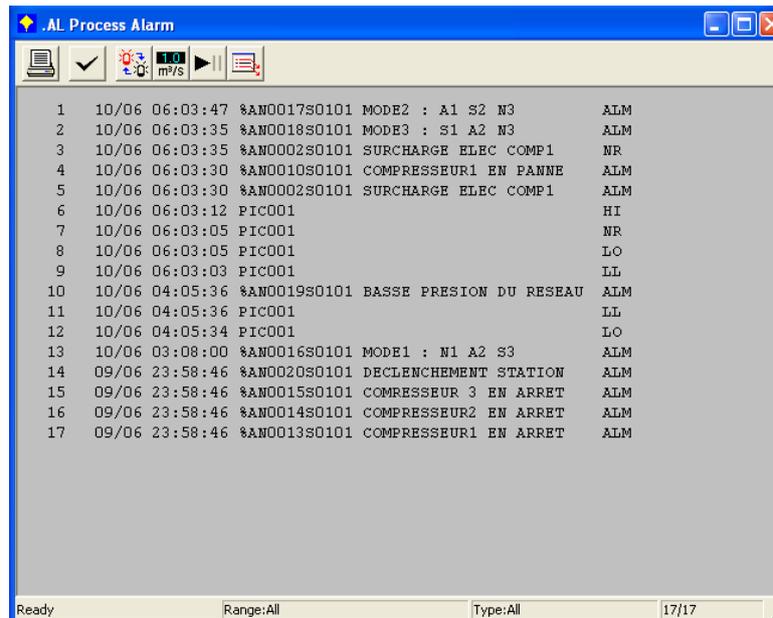


Figure 4.35. Vue « Archive Alarmes instantanées »

v. **Vue « Operateur Guide »**

Cette vue regroupe tous les messages d'alertes ou de demande de vérification de l'état de compresseur.

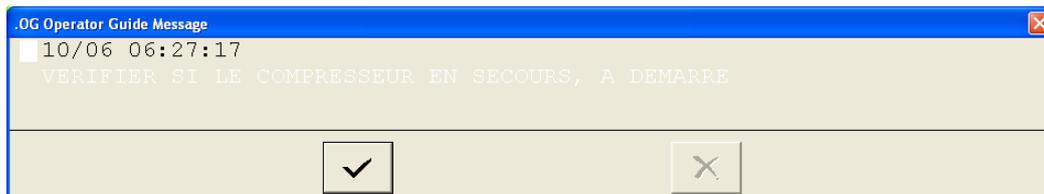


Figure 4.35. Vue « Operateur Guide »

4.9 Conclusion

Ce chapitre traite l'implémentation d'un système DCS pour l'unité de production d'air comprimé. Après une étude du fonctionnement de l'unité, de son système de commande actuel (logique câblée à base de relais) et dans un double objectif visant à moderniser l'installation et améliorer sa productivité, nous proposons d'élaborer une nouvelle stratégie de commande-contrôle qui se fonde sur l'automatisation des modes de fonctionnement pour réduire les aléas de fonctionnement et sur le principe de supervision afin de faciliter la surveillance de l'état des compresseurs et le suivi de la grandeur de sortie (la pression).

Le travail réalisé est concrétisé en une interface graphique développée sous le logiciel CS 3000 résumant les exigences définies précédemment lors de l'élaboration de la stratégie de commande-contrôle. Cette interface fournit plusieurs vues offrant ainsi une meilleure visibilité de l'unité de production et favorise la télégestion depuis la salle de contrôle.

Plusieurs tests de simulation ont été effectués en différents mode de fonctionnements montrant l'efficacité du système de supervision développé.

Bibliographie

-
- [1] DUBOIS Alexander, (s.d.). Factory system. Consulté le 2015, sur <http://connect.factorysystemes.fr>
- [2] NAAMAOUI Nazha, "Automatisation d'un système de remplissage de quatre trémis de sucre avec supervision HMI, CEVITAL". Mémoire de Master en Électronique option Automatique, Université de Béjaia, Juin 2014.
- [3] MELLALI Sofiane, "Etude de l'automatisation et de la supervision d'un procédé de lavage de filtres Niagara à civital". Mémoire de Master en Automatique, Université de Béjaia, Juin 2017.
- [4] IKHLEF Boualem, "Contribution à l'étude de la supervision industrielle dans un environnement SCADA", Mémoire de Magister en Automatique, Université de Boumerdès, Juin 2009
- [5] MOUSS Hayet, "Supervision et sûreté des systèmes industriels", Cours Master II en Automatique, Université de Batna.
- [6] MAHDAOUI Rafik, MOUSS Hayet, CHOUHAL Ouahiba, KADRI Ouahab, HOUASSI Hichem, "La surveillance industrielle dynamique par les systèmes neuro-flous temporels". Conférence internationale, Science d'électronique, Tunisie, 2009.
- [7] REZIGH Hamza, "Modélisation, surveillance d'une centrale à béton par l'outil Bonde graph et validation en ligne par un système SCADA", Mémoire de Magister en Automatique, Université Setif 1, 2014.
- [8] BONNET Pierre, "Introduction à la supervision", Cours Master en Informatique, Électronique, Électrotechnique et Automatique. Université Lille 1, France, Novembre 2010
- [9] IKEDICHE Sara, "Etude et planification d'un système de supervision (SCADA) sous le logiciel Labview", Mémoire de Master en Télécommunication, Université Khemiss meliana, 2017.
- [10] (07, 03 2015). Consulté le 04 2019, sur Automation sense: <http://www.automation-sense.com>
- [11] DEBIBI Raied, "Développement d'un système de supervision, d'acquisition et de transport de données d'un système hybride de production électrique", Mémoire d'Ingénieur Université Québec, 2016.
- [12] NORD Paroi, "SCADA, La sécurité des systèmes industriels", Cours de Synthèse, Paris, 2019.
- [13] BOUNEB Zaid, "Etude d'un système de supervision et de contrôle SCADA de la région de transport est RTE", Mémoire de Master en Automatique, Université Skikda, Juin 2014.
- [14] La supervision industrielle est bien plus encore ! (s.d.). Consulté le Mai 20, 2019, sur Panorama: <http://exposant.technotheque.fr>
- [15] DANIEL Carlos, "Outil pour l'aide à la supervision de procédé dans une architecture multi agent", Thèse doctorat. 2004
- [16] "Logiciel SCADA PcVue", Site https://sitelec.org/download_page.php?filename=cours/scada_pcvue.pdf
- [17] SAMAHIMokhtar, "Système de contrôle distribué DCS" Mémoire de fin de formation, Hassi R'mel, 2007.
- [18] CHEIKH Merouane, "Télégestion dans l'industrie de l'eau par les technologies des web", Mémoire de Magister en Automatique, 2013.
-

- [19] Documentation SONATRACH, stage ingenierie, système DCS YOKOGAWA. Laghouat: Centre de formation Hassi R'mel.
- [20] (1978). Manuel opératoire de process, documentation interne. HASSI R'MEL, SONATRACH: MPP III.
- [21] AYAB Ahmed ,''supervision et commande de l'unité de régénération glycol à base du DCS YOKOGAWA CS 3000''.Projet de fin de formation, SONATRACH Hassi R'mel, 2017.
- [22] SONATRACH. Manuel DCS CS3000, Field control Station Basics. Hassi R'mel: SONATRACH.
- [23] SONATRACH. (2019). support de formation exploitant-supervision des compresseurs d'air. Hassi R'mel.
- [24] SONATRACH. (2019). Support de formation maintenance. Hassi R'mel
- [25] AUBERT Gil, ''Superviser vos systèmes avec PcVue'', Lycée L'essauriau, France
- [26] SONATRACH. Manuel de fonctionnement MPP 3. Alger: Hydra.
- [27] SONATRACH. Manuel d'instructions pour compresseurs stationnaires. Hassi R'mel: SONATRACH.
- [28] SLIMANI Nedjma, '' Automatisation de la commande du compresseur d'azote, Cas du système d'azote de ZCINA''. Projet de fin de formation, Ecole de Boumerdes, 2018.

Annexes

Annexe A

Rapport de stage sur l'unité de production d'azote (Période du 04 au 24 Mars 2019)

A.1 Introduction

La présence de l'azote est indispensable dans le secteur pétrolier et gazeux, l'usine de ZCINA (Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim) est une unité d'extraction des liquides de gaz associés et séparation d'huile LDHP, situé au champ nord de Hassi Messaound ne fait pas exception en disposant d'une unité de production d'azote basse pression qui est utilisée en permanence pour assurer l'étanchéité, l'inertage et maintenir sous atmosphère inerte certains stockages [28].

A.2 Présentation L'unité de production d'azote

Le package de production d'azote 430-UN-64-01 est constitué de deux trains dimensionnés chacun pour 100% de production requise (2x500 N m³/h d'azote) comme le montre le schéma suivant :

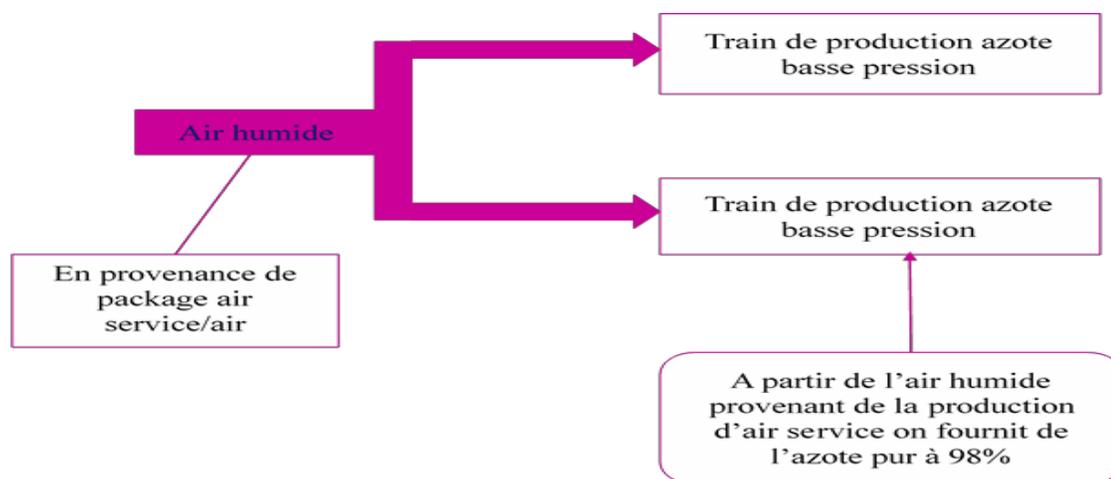


Figure A.1. Schéma introductif de l'unité d'azote

A.2.1 Les constituants d'un train

Dans chacun des trains, on y trouve les éléments suivants :

- Filtres à air (430-MB-64-01 de 1 à6)
- Filtre à cyclone (430-ME-64-01A/B)

- Réchauffeur électrique (430-FE-64-01) commandé par un thyristor (6EO-EC-64-01) qui se trouve dans la sous station électrique.
- Membranes (430-MV-64-01 d'A à H)
- Des vannes pneumatiques et autres instruments dont la liste est dans le tableau suivant :

Production d'azote 430-UN- 64-01

Repère	Service
64-TT00501A/B	Transmetteur de température entrée des filtres à air
64-PT-00501A/B	Transmetteur de pression en entrée des filtres à air
64-PDT-00503A/B	Delta de pression des filtres à air
64-FT-00501A	Transmetteur de débit en sortie des filtres à air
64-TT00502A/B	Transmetteur de température en sortie du thyristor
64-AT-00501A/B	Analyseur taux d'oxygène en sortie des membranes
64-FT-00503A/B	Transmetteur de débit en sortie des membranes
64-FV-00503A/B	Vanne de régulation de pression en sortie des membranes
64-PT-00505AA/B	Transmetteur de pression en entrée des membranes
64-PT-00505BA/B	Transmetteur de pression en sortie des membranes
64-XV-00501A/B	Vanne de régulation en entrée des membranes
64-XV-00502A/B	Vanne d'extraction vers l'atmosphère
64-XV-00503A/B	Vanne de régulation en sortie des membranes
64-XV-00504A/B	Vanne d'extraction vers l'atmosphère

Tableau A.1. Liste des instruments de l'unité

A.2.2 La vue de l'unité de production d'azote

La figure A.2. Présente la vue réelle de l'unité de production d'azote au site de ZCINA ; cette figure montre principalement les membranes, les filtres et le réchauffeur [28].



Figure A.2. Unité de production d'azote sur site

A.3 Description de procédé de production d'azote

L'air utilisé pour produire de l'azote est humide, ce qui exige son traitement et ce à travers deux chaînes de filtrations d'air redondantes, sélectionnables manuellement. L'air va être par la suite chauffé à une température comprise entre 46 et 60°C (température optimale pour le fonctionnement des membranes), en y pénétrant dans les membranes, le phénomène de séparation se produit de telle sorte à ce que l'oxygène s'évacue vers l'atmosphère et que seul l'azote soit gardé.

Le schéma suivant présente les détails qu'on peut trouver dans un train de production d'azote :

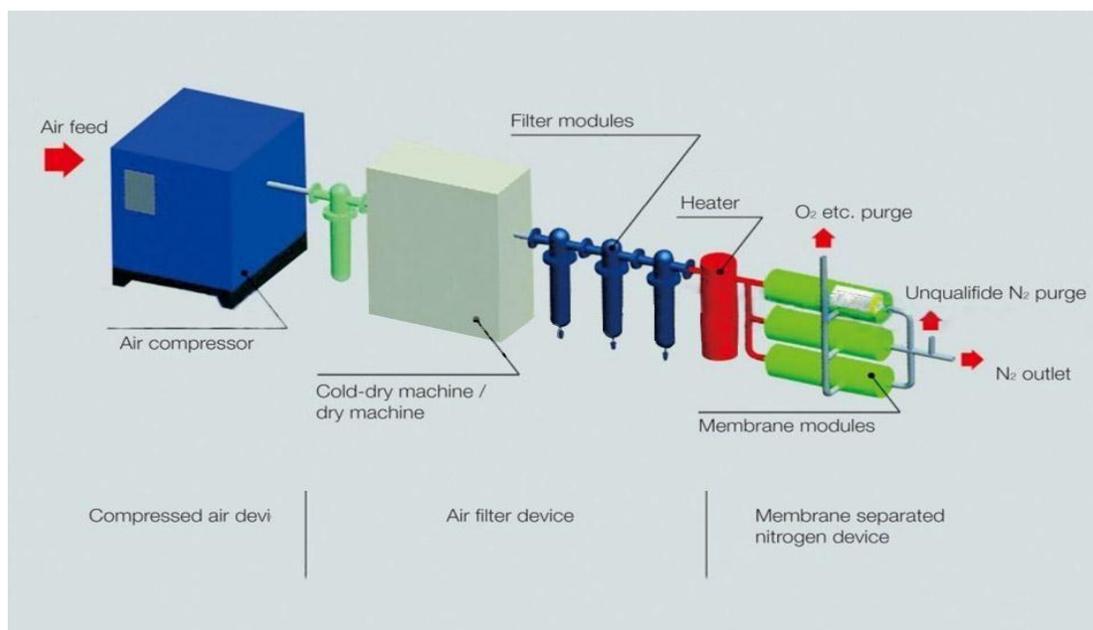


Figure A.3. Détails d'un train de production d'azote

A.3.1 La production d'azote dans les membranes

La fabrication de l'azote s'effectue dans des modules tubulaires à fibres creuses en matière synthétique, d'un diamètre inférieur à 1 mm et de structure multicouche. Des milliers de ces membranes à fibres creuses sont empaquetées dans un tube. On appelle modules à membranes ces unités en faisceau coulées aux extrémités.

L'air comprimé est introduit à l'intérieur des membranes à fibres creuses. La plus grande partie de l'oxygène s'échappe assez rapidement vers l'extérieur, dans les espaces interstitiels des membranes à fibres creuses, tandis que l'azote ne passe que lentement. L'oxygène séparé du module est évacué dans l'air ambiant (figure A.4).

À l'extrémité de la membrane à fibres creuses, en fonction du temps de passage de l'air comprimé dans la membrane, la concentration d'azote peut atteindre 99%.

Un régulateur de pression ainsi que d'autres armatures servent à maintenir les conditions de pression et de débit constantes dans les modules à fibres creuses, ce qui permet d'obtenir une qualité et un rendement d'azote constants.

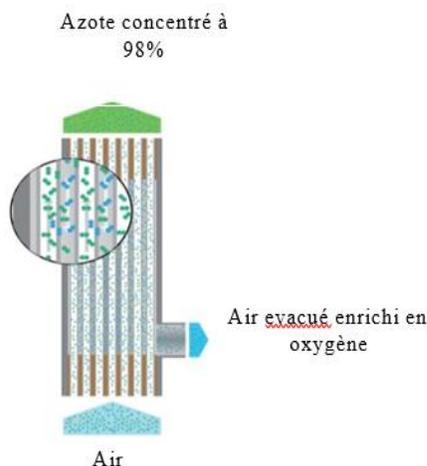


Figure A.4. Principe de séparation membranaire

A.3.2 Le traitement et le contrôle d'air d'entrée

La température et la pression d'air comprimé sont contrôlées par les transmetteurs de température (64-TT-00501A/B) et les transmetteurs de pression (64-PT-00501A/B), l'humidité est éliminée par le filtre à cyclone (430-ME-64-01A/B), ensuite l'air est filtré à travers les six filtres coalesceurs (430-MB-64-01A/B, 430-MB-64-02A/B, 430-MB-64-03A/B, 430-MB-64-04A/B, 430-MB-64-05A/B, 430-MB-64-06A/B) pouvant garantir une efficacité de 99,99999%.

Le transmetteur de pression différentielle (64-PDT-00503A/B) détecte l'état des chaînes de filtrage en mesurant leur perte de charge.

Le débit d'air entrant est mesuré par le débitmètre (64-FT-00501A/B).

Pour garantir des performances de fonctionnement constantes et stables, il est nécessaire de conserver la température de l'air d'alimentation au niveau de l'entrée de module de la membrane dans la plage comprise entre 46 et 60°C. Le réchauffeur du système d'alimentation en air (430-FE-64-01) veille à ce que la température d'air d'alimentation soit maintenue comme suit :

- Quand la température d'entrée d'air est $<41^{\circ}\text{C}$ l'air de sortie du réchauffeur est maintenue à 46°C
- Si la température d'entrée d'air est $\geq 41^{\circ}\text{C}$, le réchauffeur, par l'intermédiaire de (64-TIC- 00502A/B) permettra toujours une légère surchauffe (5°C) de l'air d'entrée pour maintenir les traces d'eau résiduelles à l'état vapeur, et ainsi les
- Évacuer à travers les membranes [28].

A titre d'exemple, pendant la gestion ordinaire de l'unité, en cas d'anomalies concernant la température d'alimentation d'air ou de réchauffeur d'air, l'air d'alimentation sera automatiquement évacué par la vanne (64-XV-00502A/B) jusqu'à ce que la température de l'air d'alimentation retrouve des valeurs acceptables. Seulement si le rétablissement de l'alimentation ne se fait pas dans un délai raisonnable (c.-à-d. plus de 15 minutes), l'unité sera automatiquement arrêtée par le SGS [28].

A.5 Réalisation du programme et implémentation par DCS

Après avoir évoqué le principe de fonctionnement de l'unité de production d'azote, nous passons à l'implémentation du DCS dont le but est de réaliser une supervision automatique de l'unité de telle sorte que le fonctionnement de cette dernière soit totalement indépendant de l'opérateur tout en répondant à des exigences de fonctionnement du process.

A.5.1 Programmation de la séquence

Une fois le nouveau projet est créé dans le système view du CENTUM CS3000, il est donc possible d'accéder aux différentes configurations (type de FCS, type de la HIS, etc.)

L'aperçu général du projet se présente comme le montre la fenêtre suivante :

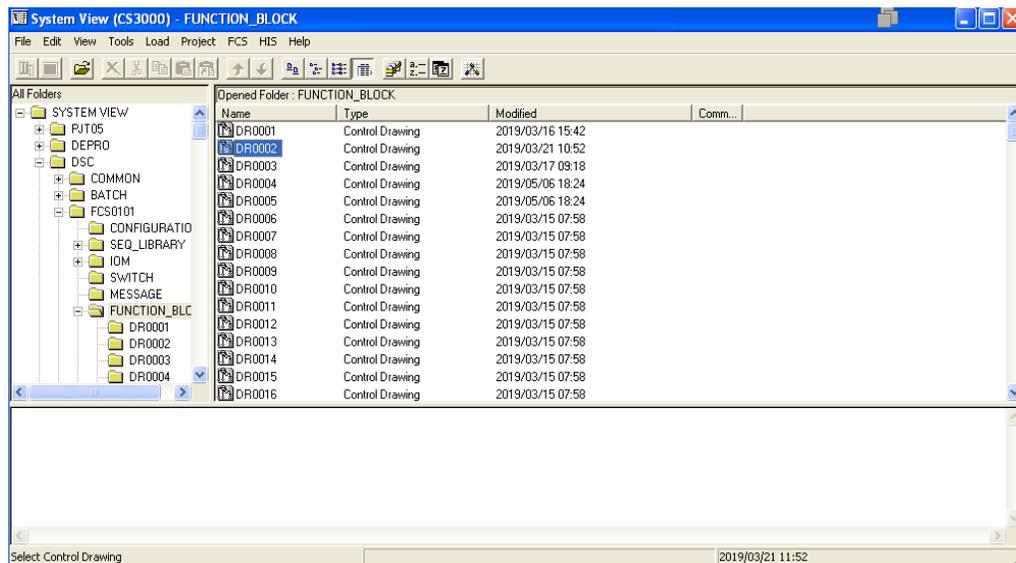


Figure A.6. Vue générale du projet.

Le travail à effectuer comporte deux principales tâches :

- Simulation du fonctionnement réel de l'unité. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les différentes fonctions intervenant dans la réalisation du programme. Ces fonctions sont définies par fonctions blocks sélectionnées dans un drawing du logiciel.

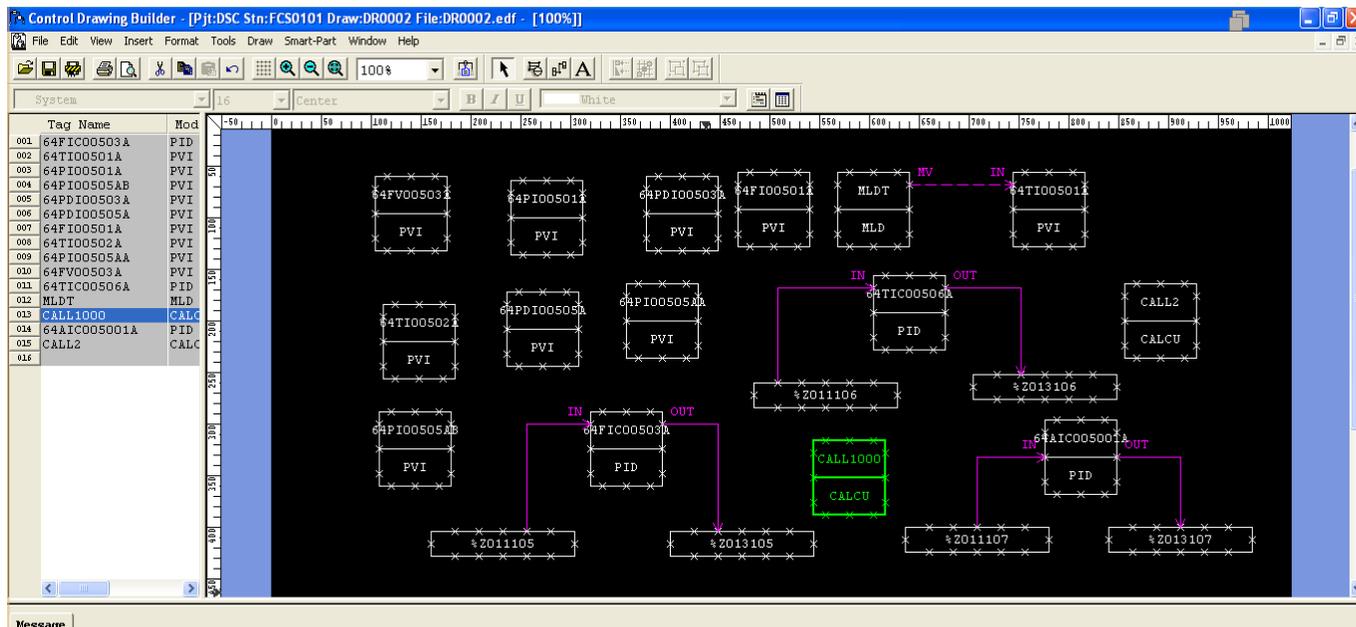


Figure A.7. Control drawing builder

- **Bloc d'acquisition de valeur process (PVI) :** Le bloc PVI sert à indiquer le processus variable d'une entrée physique.
 - **Bloc CALCU** est un bloc programmable avec un langage spécial qui un mélange du Visual basic et du langage C++ on l'appelle le « SEBOL».
 - **Bloc de régulation et de contrôle (PID) :** C'est un bloc régulateur qui assure le réglage en fonction de la variable du process PV (Process Value) et de la consigne SV (set value) comme le montre la figure A.7.
 - **Bloc de chargement manuel (MLD) :** Le bloc MLD (Manuel Loader) est utilisé pour la manipulation du paramètre MV (Manipulated Value), c'est-à-dire que le contrôle se fera manuellement.
- Traduction du programme implémenté par un graphique de visualisation

A.5.2 Création d'un graphique

La supervision de l'unité d'azote permet de visualiser tous les paramètres physiques issus des boucles de régulation en temps réel et les états des actionneurs et les capteurs (ouverture ou

fermeture des vannes,...), ainsi que les commandes à distance de tous les équipements. Cette supervision est assurée par une interface HIS (GR0001) réalisé à l'aide de Graphic builder.

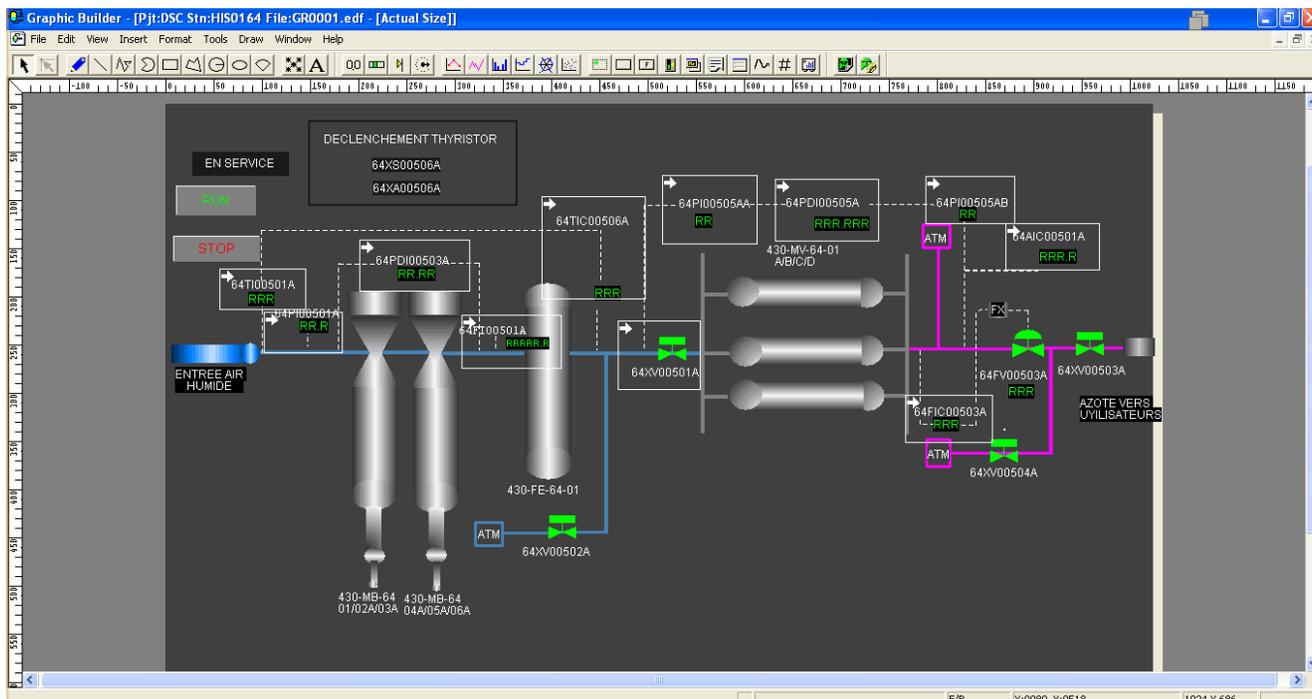


Figure A.8. Vue principale du graphique.

A.6 Conclusion

Dans ce rapport de stage, nous avons présenté, d'une manière générale, une étude de la station de production d'azote, ainsi que son principe de fonctionnement tout en se référant sur la partie process qui décrit les différentes étapes préalables pour cette production et la partie instrumentation qui veille à ce que les paramètres : température, débit, pression soient dans leurs seuils désirés pour un bon fonctionnement des membranes.

L'objectif de cette étude est de concevoir un système DCS et de l'implémenter sous CS3000. Dans ce rapport, nous avons discuté brièvement la réalisation de l'interface homme-machine et testé le programme suivant le fonctionnement réel de l'unité.

