

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOD MAMMERY, TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention
du diplôme de Master en Électronique

Option : Électronique Industrielle

Thème:

***Développement d'une commande numérique et
de supervision du Turbo-Expander sous
TRICONEX***

Proposé par :

Mr. : SADLI Mohamed.

Encadré par :

Mr. : H.HAMICHE

Etudié et réalisé par:

Mr.: SAMER Nabil

Mr.: DENANE Sofiane

Promotion 2012

Remerciements

Nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Notre remerciement s'adresse en premier lieu à notre promoteur Mr. HAMICHE HAMID qui nous a apporté une aide précieuse. Nous lui exprimons notre gratitude pour sa grande disponibilité ainsi pour sa compréhension, les encouragements qu'il nous a apportés et la patience de chacun.

Nos enseignants de faculté génie électrique. Notre section master 2 pour les bons moments qu'on a partagé ensemble.

Les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail.

Nous remercions également l'ensemble du personnel du service électronique pour leur accueil durant le stage, particulièrement Mr. BRAHIM, BOUCHAKOR Bouarfa, MOHAMED Oulhadj, KHAZINI et AMI SALAH.

Aussi, nous tenons à remercier l'ensemble du personnel des unités GPL 1 et GPL 2 qui se sont sacrifiés avec nous dans la réalisation de notre mémoire, particulièrement Mr. SADLI Mohamed qui nous a proposé le thème, GHEBACHE Riadh, et Madjid, instrumentistes au niveau de l'unité GPL 1, ainsi que Mr. BELLOUATI Fawzi, BOUHRAOUA Chakib, DERDOUR Walid, KRID Llias, instrumentistes au niveau de l'unité GPL 2 ainsi que Mr. MOUKDAD exploitant au niveau de la même unité.



Dédicaces



J'ai le grand honneur de dédier cet humble travail :

A celui qui a fait de moi un homme, mon Père.

A l'être le plus cher de ma vie, ma Mère.

A mon frère et ma sœur.

A toute ma famille.

*A tous mes amis, particulièrement NABIL et YUCEF
avec qui j'ai partagé de bons moments.*

A tous ceux qui m'aiment.

Sofiane DENANE





Dédicaces



A qui puis-je dédier cet humble travail si ce n'est à mes chères parents dont leurs sacrifices, tendresse, amour, patience soutien, aide, encouragement et ses prières sont la source de ma réussite.

A mon frère Sadek, et mes sœurs Hanane, Wafa et Amira, source de joie et bonne humeur.

A mes chères grands-mères Turkia et Noara.

(Que dieu les garde parmi nous).

A tout ma grande famille parentale et maternelle, mes oncles, mes tentes, mes cousins Karim, Aziz, Makhlouf, Menad, djilali et mes cousines. Particulièrement Dada M'hamed, Nana Farida et Khalti Aziza.

A mon binôme sofiane avec qui j'ai travaillé durant deux années.

A mes chères amies.

SAMER Nabil



SOMMAIRE

Liste de figures et de tableaux

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Présentation du champ d'exploitation de Hassi-Messaoud et de l'unité GPL-2.	
Introduction	3
I.1. Présentation du champ de Hassi-Messaoud.....	3
I.1.1.Situation géographique et géologique du gisement	3
I.1.2.Historique du gisement.....	5
I.2.Présentation de la société d'hydrocarbure SONATRACH	5
I.3.Organisation de la direction régionale de Hassi-Messaoud.....	5
I.3.1.Organisation de la direction maintenance	6
I.3.1.1.Département de support.....	6
I.3.1.2.Département d'intervention	7
I.4.Présentation de l'unité de liquéfaction de gaz GPL-2.....	9
I.4.1.Historique.....	9
I.4.2.Description de l'unité GPL-2	9
I.4.2.1.Capacité de traitement et de production de l'unité GPL-2.....	10
I.4.2.2.Spécifications des produits	10
I.4.2.3.Principe de fonctionnement et description de l'unité GPL-2.....	11
Conclusion.....	12
CHAPITRE II : Présentation du Turbo-Expander et de son instrumentation.	
Introduction	13
II.1.Description du Turbo-Expander.....	13
II.1.1.Généralités sur les turbomachines	13
II.1.2.Classification des turbomachines.....	13
II.1.3.Définition du Turbo-Expander.....	14
II.1.4.Utilisation du Turbo-Expander	15

II.2.Constitution du Turbo-Expander.....	15
II.2.1.Système de lubrification.....	19
II.2.2.Système de gaz d'étanchéité.....	19
II.2.3.Système de contrôle de la poussée axiale	20
II.3.Cahiers des charges de l'exploitation du Turbo-Expander.....	21
II.3.1.Démarrage du Turbo-Expander	21
II.3.2.Arrêt du Turbo-Expander	24
II.4.L'instrumentation du Turbo-Expander	26
II.4.1.Les capteurs	26
II.4.2.Les transmetteurs	29
II.4.3.Les convertisseurs électropneumatiques.....	30
II.4.4.Les régulateurs	30
II.4.5.Les positionneurs	31
II.4.6.Les vannes automatiques	31
II.5.Panneau de control local.....	34
Conclusion.....	35

CHAPITRE III : Description de l'API TRICONEX d'INVENSYS.

Introduction	36
III.1.Généralités sur l'automatisme industriel.....	36
III.1.1.Définition de l'automatique.....	36
III.1.2.Définition d'un processus	36
III.1.3.Historique des systèmes de contrôle	37
III.1.4.Buts de l'automatisation	38
III.1.5.Structure d'un système automatique.....	38
III.1.6.Technologies des automatismes	39
III.2.Architecture de l'automate programmable industriel TRICONEX.....	41
III.2.1.Définition de l'Automate Programmable Industriel	41
III.2.2.Choix de l'automate programmable	41
III.2.3.Architecture et principe de fonctionnement de l'API TRICONEX.....	42

III.2.3.1.Définition d'un système de contrôle tolérant aux fautes.....	42
III.2.3.2.L'architecture triple modulaire redondante TMR du TRICONEX.....	42
III.2.3.3.Avantages de l'architecture triple modulaire redondante	43
III.2.3.4.Principe de fonctionnement du Triconex	45
III.2.3.5.Configuration du système	46
III.2.3.6.Bus système et distribution de l'alimentation	48
III.2.3.7.Modules processeur principaux.....	49
III.2.3.8.Modules d'alimentation.....	51
III.2.3.9.Modules d'entrées	52
III.2.3.9.1.Modules d'entrées logiques	52
III.2.3.9.2.Modules d'entrées analogiques	54
III.2.3.9.3.Modules d'entrées impulsions.....	55
III.2.3.9.4.Modules d'entrées thermocouples.....	56
III.2.3.10.Modules de sorties	56
III.2.3.10.1.Modules de sorties logiques	56
III.2.3.10.2.Modules de sorties analogiques.....	57
III.2.3.11.Modules de communication.....	58
III.3.Protocoles de communication du Triconex.....	62
Conclusion.....	63
 CHAPITRE IV : Présentation des outils de programmation Tristation et InTouch.	
Introduction	64
IV.1.Présentation du logiciel de programmation Tristation 1131	64
IV.1.1.Caractéristiques de la Tristation 1131	64
IV.1.2.Langages de programmation de la Tristation 1131	65
IV.1.2.1.Langage FBD.....	66
IV.1.2.2.langage ST	66
IV.1.2.3.Langage LD	67
IV.1.2.4.Langage CEMPLE	67
IV.1.3.Développement d'une stratégie de contrôle.....	67

IV.1.4.Création d'un projet sous Tristation	69
IV.1.5.Configuration du Tricon.....	72
IV.1.5.1.Allocation hardware	73
IV.1.5.2.Allocation mémoire.....	75
IV.1.6.Edition du programme	75
IV.1.6.1.Déclaration de la base de données	76
IV.1.6.2.Création d'un nouveau programme	78
IV.2.Présentation du logiciel de supervision InTouch	80
IV.2.1.Création d'une nouvelle application sous InTouch.....	80
IV.2.2.Description de l'environnement de développement WindowMaker	83
IV.2.3.Gestion de données dans une application InTouch	86
Conclusion	90
CHAPITRE V : Développement et simulation de la solution de commande et de supervision.	
Introduction	91
V.1.Recensement des Entrées/Sorties	91
V.1.1.Les points d'entrées	91
V.1.2.Les points de sorties	94
V.2.Configuration matérielle de l'API Triconex	96
V.3.Améliorations apportées au système de contrôle du Turbo-Expander	97
V.4.Réalisation et simulation du projet	98
V.4.1.Schémas logiques de la commande du Turbo-Expander	98
V.4.2.Simulation de la logique de commande sous Tristation	98
V.4.3.Supervision du procédé de commande du Turbo-Expander	100
Conclusion	102
Conclusion générale.....	104
Bibliographie	106
Annexe A.....	107
Annexe B.....	115

GLOSSAIRES

GPL : Gas Petrol Liquefier.

TEP : Tonne Equivalent Pétrole.

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

API : Automate Programmable Industriel.

CIS : Centre Industriel Sud.

CINA : Centre Industriel Naili Abdelhalim.

JGC : Japon Gasoline Corporation.

IGV : Inlet Guidage Valve.

ATE : Automatic Thrust Equalizer.

PID : Proportionnel Intégral Dérivé.

I/P : Convertisseur électropneumatique.

P/I : Convertisseur Pneumo électrique.

TOR : Tout Ou Rien.

PC : Partie Commande.

PO : Partie Opérative.

PLC : Programmable Logic Control.

HMI : Human Machine Interface.

TMR : Triple Modular Redundant.

MTTF : Mean Time To Failure.

SOE : Sequence Of Event.

DCS : Distributed Control System.

SNCC : Système Numérique de Contrôle Centralisé.

E/S : Entrées/Sorties.

RXM : Remote Expansion chassis.

DMA : Direct Memory Access.

RPM : round Per Minute.

PI : Pulse Input.

DO : Digital Output.

AO : Analog Output.

TSAA : Triconex System Access Application.

OPC : Object Linking and Embedding Process Control.

DDE : Dynamic Data Exchange.

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

OMDB : Object Management Data Base.

TCP/IP : Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

PDSHH : Pressure Difference Switch High High.

PSHH : Pressure Switch High High.

PDSLL : Pressure Difference Switch Low Low.

LSHH : Level Switch High High.

SSHH : Speed Switch High High.

TSHH : Temperature Switch High High.

VSHH : Vibration Switch High High.

TS : Temperature Switch.

HS : Hand Switch.

RGM : Retour de marche de pompe.

REM : Retour de marche de refroidisseur.

ZSX : Position Switch.

FV : Flow control Valve.

TI : Temperature Indicator.

LAHH : High Level shutdown Alarm.

PAHH : High Pressure shutdown Alarm.

PDAHH : High Differential Pressure shutdown Alarm.

VAHH : High Vibration shutdown Alarm.

TAHH : High Temperature shutdown Alarm.

SAHH : High Speed shutdown Alarm.

PDAH : High Differential Pressure Alarm.

VAH : High Vibration Alarm.

TAH : High Temperature Alarm.

SAH : High Speed Alarm.

PDALL : Low Differential Pressure shutdown Alarm.

TALL : Low Temperature shutdown Alarm.

PDAL : Low Differential Pressure Alarm.

LAL : Low Level Alarm.

YL : Annonciateur d'état.

XV : Vanne de détente ou de coupure.

FC : Flow Control.

AKC : Acquirement.

D : Ballon.

E : Refroidisseur/Echangeur.

K : Machine tournante.

V : Filtre.

C : Colonne de séparation.

G : Pompe.

H : Four/Récupérateur de chaleur.

T : Bac de stockage.

Liste des figures et des tableaux

Figures :

Figure I.1 : Caractéristique et situation géographique du gisement de Hassi-Messaoud.

Figure I.2 : Les différents gisements de pétrole et de gaz du Sahara algérien.

Figure I.3 : Principe de fonctionnement du processus de production du gaz GPL.

Figure II.1 : Schéma simplifié du Turbo-Expander.

Figure II.2 : Aubage directrice de l'entrée Expander.

Figure II.3 : Roues du compresseur et de la turbine du Turbo-Expander.

Figure II.4 : Arbre du Turbo-Expander.

Figure II.5 : Paliers du Turbo-Expander.

Figure II.6 : Egalisateur automatique de poussée (poussée vers compresseur).

Figure II.7 : Egalisateur automatique de poussée (poussée vers expander).

Figure II.8 : Organigramme de la séquence de démarrage du Turbo-Expander.

Figure II.9 : Thermostat industriel.

Figure II.10 : Manomètre 0-600bar.

Figure II.11 : Mesure de niveau par flotteur.

Figure II.12 : Niveau à Glace.

Figure II.13 : Les thermocouples.

Figure II.14 : Transmetteur de pression.

Figure II.15 : Convertisseur électropneumatique.

Figure II.16 : Vanne de régulation.

Figure II.17 : Electrovanne de commande.

Figure II.18 : Panneau local de commande du K-201.

Figure II.19 : Affichage des lampes du K-201 au niveau du panneau local.

Figure III.1 : Structure générale d'un processus automatisé.

Figure III.2 : Les principales solutions technologiques à un problème d'automatisation.

Figure III.3 : Représentation de la logique câblée et de la logique statique.

Figure III.4 : Système de contrôle *TRICON*.

Figure III.5 : Architecture *TMR* simplifiée du *TRICON*.

Figure III.6 : Illustration du système de vote du *TRICON*.

Figure III.7 : Disposition du châssis principal du Tricon.

Figure III.8 : Illustration du fond de panier du Tricon.

Figure III.9 : Architecture du processeur principal (Model 3008).

Figure III.10 : Panel frontal du module d'alimentation.

Figure III.11 : Architecture du sous-système d'alimentation.

Figure III.12 : Architecture d'un module d'entrée (*DI*) de type *TMR* avec autotest.

Figure III.13 : Architecture interne d'un module d'entrée analogique.

Figure III.14 : Architecture d'un module d'entrée impulsion *TMR*.

Figure III.15 : Architecture du module de sortie logique (*DO*) supervisé à 16 points.

Figure III.16 : Architecture d'un module de sortie analogique du Tricon.

Figure III.17 : Exemple des équipements capables de s'interfacer avec le module de communication du Tricon (*TCM*).

Figure IV.1 : Réseau *FBD* simple.

Figure IV.2 : Langage *ST*.

Figure IV.3 : Réseau *LD* (Ladder Diagram).

Figure IV.4 : Langage *CEMPLE*.

Figure IV.5 : Fenêtre d'identification de l'utilisateur.

Figure IV.6 : Procédure de travail sous Tristation.

Figure IV.7 : Nouveau projet.

Figure IV.8 : Sélection de la plateforme de travail.

Figure IV.9 : Enregistrement du projet.

Figure IV.10 : Chargement des bibliothèques standards dans le projet.

Figure IV.11 : Volet de configuration du Tricon.

Figure IV.12: Allocation Hardware.

Figure IV.13 : Configuration du châssis Tricon.

Figure IV.14 : Insertion de module dans le châssis Tricon.

Figure IV.15 : Vue générale du châssis Tricon.

Figure IV.16a : Fenêtre de l'allocation de mémoire.

Figure IV.16b : Fenêtre d'allocation mémoire des variables booléennes.

Figure IV.17a : Ajout d'une variable.

Figure IV.17b : Configuration d'une variable.

Figure IV.17c : Sélection du type d'un point.

Figure IV.17d : Sélection de l'adresse physique d'une variable.

Figure IV.17e : Sélection des options d'affichage.

Figure IV.18a : Création d'un nouveau programme sous Tristation.

Figure IV.18b : Définition du langage de programmation et du nom du programme.

Figure IV.19 : Gestionnaire d'applications d'InTouch.

Figure IV.20 : Boite de dialogue de création d'une nouvelle application.

Figure IV.21 : Entrée du nom du répertoire de sauvegarde.

Figure IV.22 : Nommage et description de la nouvelle application.

Figure IV.23 : Application prête pour l'utilisation.

Figure IV.24 : L'environnement de développement WindowMaker.

Figure IV.25 : Fenêtres d'application.

Figure IV.26 : Définition des propriétés de la fenêtre d'application.

Figure IV.27 : Eléments graphiques simples utilisés dans une application InTouch.

Figure IV.28 : Sélection et configuration des Wizards dans une application InTouch.

Figure IV.29 : Environnement de développement et d'exploitation d'InTouch.

Figure IV.30 : Les différents types de variables InTouch.

Figure IV.31 : Options du dictionnaire de variables.

Figure V.1 : Configuration matérielle de l'automate Triconex utilisé dans le projet.

Figure V.2 : Chargement d'un programme dans l'émulateur de la Tristation.

Figure V.3 : Démarrage et arrêt de l'exécution du programme de simulation.

Figure V.4 : Exécution d'un programme dans l'émulateur de Tristation.

Figure V.5 : Fenêtre principale de supervision.

Figure V.6 : Fenêtre de contrôle général du Turbo-Expander.

Figure V.7 : Fenêtre de contrôle du système de lubrification et du système de gaz d'étanchéité.

Tableaux :

Tableau I.1: Capacité de production de l'unité *GPL2*.

Tableau I.2 : Spécification des produits.

Tableau II.1 : Liste des facteurs de déclenchement du Turbo-Expander.

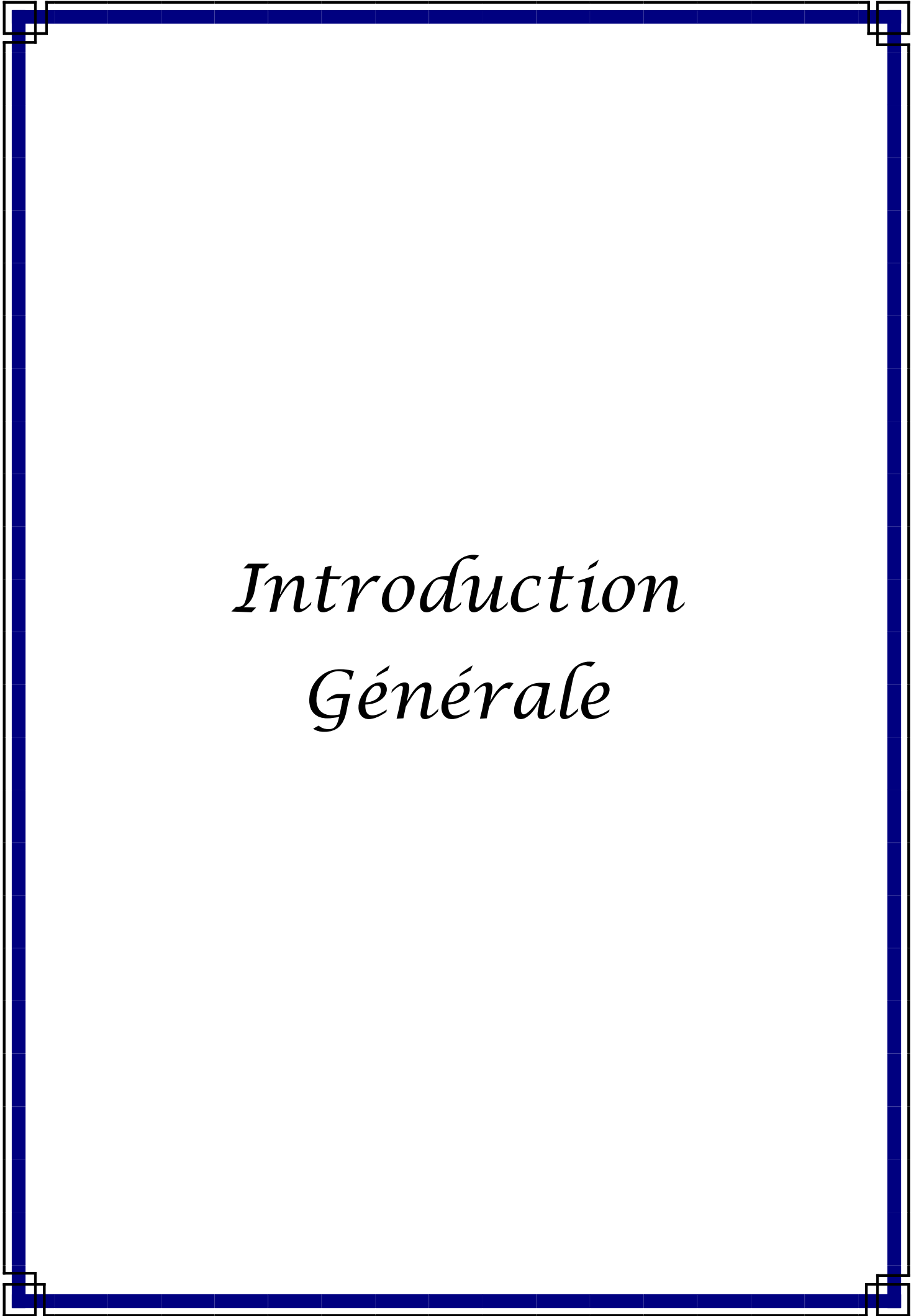
Tableau II.2 : Liste des facteurs d'alarme du Turbo-Expander.

Tableau III.1 : Table de vérité du masque à défauts de la technique *TMR*.

Tableau V.1a : Liste des signaux d'entrée des capteurs logiques.

Tableau V.1b : Liste des signaux d'entrée des Switch, des boutons poussoirs et des retours de marche.

Tableau V.2 : Liste des points de sortie logiques du système de contrôle du Turbo-Expander.



Introduction
Générale

De nos jours, les entreprises dans la plupart des secteurs d'activité sont appelées à produire avec plus de qualité, de sécurité et de fiabilité. Pour se faire, elles ont recours à l'automatisation, qui représente une procédure très puissante permettant d'atteindre des performances optimales à un coût qui reste relativement réduit.

C'est dans cette optique, que l'entreprise nationale des hydrocarbures *SONATRACH*, s'est distinguée en procédant à la rénovation de ses systèmes de contrôle, remplaçant ainsi les anciens systèmes à logique câblée et autres pneumatiques par la nouvelle génération de systèmes numériques plus performantes susceptibles d'améliorer la fiabilité, d'assurer la sécurité industrielle, d'augmenter le rendement en production et de faciliter le diagnostic et la maintenance.

Parmi les systèmes de contrôle numérique qui sont largement en expansion dans le domaine industriel, les Automates Programmables Industriels (*API*), ont atteint leur maturité, notamment grâce aux récentes avancées technologiques dans le domaine des microprocesseurs et d'architecture de système et de logiciel.

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous avons effectué un stage au sein de l'entreprise *SONATRACH*, division production de Hassi-Messaoud. Nous nous sommes intéressés particulièrement au développement de la commande numérique du Turbo-Expander de la dite unité.

Ce système est actuellement contrôlé par une commande à relais située, en plus du tableau de signalisation, à proximité de la machine. Cette configuration nuit au bon fonctionnement du système. Elle est peu fiable, d'autant plus que lors du démarrage, la présence humaine est indispensable, ce qui présente, un danger potentiel et permanent pour le personnel.

La tâche qui nous a été confiée est d'étudier et de concevoir une commande numérique afin de pallier les inconvénients de l'ancien système de contrôle.

Pour atteindre cet objectif nous avons opté pour l'*API* de la firme britannique « *INVENSYS* » nommé « *TRICONEX* ». Cette alternative a été motivée d'une part par la disponibilité de cet automate au niveau de la même unité et d'autre part par sa fiabilité, sa flexibilité et son efficacité dans le contrôle. Cet automate est programmable à l'aide du logiciel « *TRISTATION* ».

Ainsi, notre mémoire sera organisé selon le plan suivant :

Dans le chapitre I, nous présenterons le champ d'exploitation de Hassi-Messaoud et de l'unité de liquéfaction de gaz *GPL-2*.

Le chapitre II, sera dédié à l'étude du Turbo-Expander.

Concernant le chapitre III, il sera subdivisé en deux parties. Dans la première partie, des généralités sur l'automatisation des systèmes seront présentées. Quand à la seconde partie, elle sera consacrée à la description de l'architecture de l'*API* utilisé.

Dans le chapitre IV, nous présenterons les différents outils de programmation et de supervision, utilisés dans la réalisation du projet.

Le chapitre V, sera consacré au développement et à la simulation de la solution de commande numérique et de supervision du Turbo-Expander.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

CHAPITRE I :

*Présentation du champ
d'exploitation de Hassi-
Messaoud et de l'unité GPL-2.*

Introduction :

L'Algérie est l'un des plus grands pays producteurs des hydrocarbures. Avec ses grandes réserves souterraines, elle a pu pendant plus d'une quarantaine d'années construire une économie basée typiquement sur un patrimoine énergétique, qui constitue à lui seul plus de 97% de l'ensemble des recettes d'exportation du pays.

I.1. Présentation du champ de Hassi-Messaoud :**I.1.1. Situation géographique et géologique du gisement :**

Le champ de Hassi-Messaoud se situe à 850 Km au sud-est d'Alger et à 300Km des frontières Tunisiennes, il occupe la partie centrale de la province triasique. De part sa superficie et ses réserves, s'étendant sur près de 4200 Km² de superficie, il est de ce fait le plus grand gisement de pétrole d'Algérie et de tout le continent africain.

Il est limité :

- Au Nord-ouest par le gisement d'Ouargla (Gellala, Ben Kahla et Houd Berkaoui) ;
- Au Sud-ouest par le gisement d'El-Gassi, Zotti et Agreb ;
- Au Sud-est par le gisement Rhoude El Baguel et Mesdar.

Géologiquement, il est limité :

- A l'Ouest, par la dépression d'Oued Mya ;
- Au Sud par le haut-fond d'Amguid-El Biod ;
- Au Nord par la structure Djamaa-Touggourt ;
- A l'Est par les dépressions de Dahar, Rhoude El Baguel et de Ghadames. [1]

I.1.2. Historique du gisement :

La région de Hassi-Messaoud est sortie de l'anonymat en 1956, en effet, cette année-là, la société française *SN REPAL* découvre du pétrole dans son sous sol, du grès imprégné. Cette découverte est le fruit du forage du premier puits, qui portera le nom de MD1. L'exploitation du gisement n'est effective qu'à partir du 7 janvier 1958, l'année durant laquelle neuf puits étaient en état de productivité, quatre sur le permis de la *CFPA* (devenue par la suite *TOTAL* et basée à Ouargla) : OM1, OM6, OM7, OM8, et cinq sur celui de *REPAL* (devenue Elf) : MD1, le puits de la découverte, MD2, MD3, MD4, MD5. Et depuis, le nombre de puits n'a cessé d'augmenter, entraînant dans sa dynamique la production du brut, passant de 550 Kbbbls/j dans les années 1970, à quelques 700 Kbbbls/j au début de cette décennie.

Les réserves estimées du gisement sont de l'ordre de 9 Gbbls d'un pétrole de bonne qualité, cependant, entre 4 et 5 Gbbls ont déjà été extraits. [10]

I.2. Présentation de la société d'hydrocarbure SONATRACH :

SONATRACH est une entreprise nationale algérienne d'envergure internationale, créée le 31 décembre 1963, c'est la clé de voûte de l'économie algérienne, elle intervient dans l'exploitation, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle se développe également dans les activités de pétrochimie, de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer et d'exploitation minière.

SONATRACH est une multinationale, elle opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique (Mali, Tunisie, Niger, Libye, Egypte, Mauritanie), en Europe (Espagne, Italie, Grande-Bretagne, France, Portugal), en Amérique latine (Pérou) et aux États-Unis.

Elle emploie 41204 salariés (120000 avec ses filiales), génère 30% du PNB de l'Algérie. En 2005, sa production a atteint près de 232.3 millions de TEP, dont 11,7% destiné au marché interne du pays, elle est par ailleurs le 12^e groupe pétrolier au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le bassin méditerranéen, le 4^e exportateur de GNL, le 3^e exportateur de GPL et le 5^e exportateur de gaz naturel. [11]

I.3. Organisation de la direction régionale de Hassi-Messaoud :

La direction régionale de Hassi-Messaoud dispose de deux complexes industriels, le complexe industriel sud (*CIS*) et le complexe industriel Naili Abdelhalim (*CINA*) :

a) Complexe industriel sud (CIS) :

Situé au sud du champ d'exploitation, il est composé de :

- 05 unités de séparation et de traitement d'huile ;
- 03 unités d'extraction de GPL et de condensat;
- 11 stations de réinjection de gaz.

b) Complexe industriel Naili Abdelhalim (CINA) :

Situé au nord du champ d'exploitation, il est composé de :

- 03 unités de séparation et de traitement de brut ;
- 21 lignes de boosting (moto-turbo compresseur) ;
- 01 unité GPL ;
- 02 stations de réinjection de gaz ;
- 02 stations de réinjection d'eau (09 lignes) ;
- 02 unités d'azote.

Chacun des deux complexes cités ci-dessus est relié à des unités de séparation et de compression sur champ appelées « Unités Satellites ».

I.3.1. Organisation de la direction maintenance :

Cette direction est la direction d'affectation pour notre stage, elle est chargée de la maintenance de tous les équipements des unités des deux structures d'exploitation principales : *CIS* et *CINA* et aussi des champs satellite de la région de Hassi-Messaoud, elle est composée de deux structures principales :

- a) Département de support.
- b) Département d'intervention.

I.3.1.1. Département de support :**a) Département de maintenance centrale :**

Composé de quatre services :

➤ Service chaudronnerie :

Ce service effectue des opérations de soudure sur têtes de puits, pipes, bacs, etc., destinées pour la réalisation des opérations spéciales.

➤ Service mécanique :

Ce service se charge de fabriquer certaines pièces de rechange de premiers secours (opération de perçage, de fraisage, etc.), il comporte une section thermique.

➤ **Service électromécanique :**

Il s'occupe de la réparation des moteurs et des équipements de distribution électrique.

➤ **Service régulation :**

C'est un service d'étude pour améliorer les techniques de régulation, il s'occupe également de la révision des stations et du revamping.

b) Département méthode :

Il est chargé de la logistique de la direction maintenance, il regroupe les services suivants :

➤ **Service méthodes central :**

Son rôle consiste dans :

- L'élaboration de l'approvisionnement des pièces de rechange ;
- Stocker les pièces après leur acheminement ;
- Effectuer des rapports d'activités mensuels ou annuels de la direction ;
- Participer à la réception du matériel et le contrôle de la conformité de la commande.

➤ **Service d'étude et de préconisation des pièces de rechange :**

Son rôle est :

- L'étude des projets et des requêtes d'achats du matériel ;
- L'étude et prise en charge des contrats avec les fournisseurs ;
- La réparation de tous les équipements qui sont sujet à des usures ou dégradations après révision.

➤ **Service engineering :**

Il :

- Prend en charge les projets de rénovation ;
- Etudie les cahiers des charges.

I.3.1.2. Département d'intervention :

c) Département CIS :

Le département CIS regroupe les services suivants :

- Service GPL-1 ;
- Service raffinerie ;
- Service satellite ;
- Service traitement sud ;
- Service GPL-2.

Il s'occupe de l'entretien et de la maintenance des installations des différents services.

d) Département CINA :

Le département du centre industriel nord regroupe les services suivants :

- Service traitement nord ;
- Service *GPL* nord ;
- Service satellite nord ;
- Service compression nord ;

e) Service télémétrie :

Ce service surveille et contrôle à distance les champs producteurs, les puits producteurs d'huile et gaz, ainsi que les puits injecteurs d'eau et de gaz.

f) Département compression :

Son rôle est d'assurer la maintenance des équipements de compression, il est composé de cinq services :

➤ **Service turbomachine :** qui s'occupe de la révision de toutes les machines tournantes dans les unités des installations industrielles.

➤ **Service compression sud :**

Ce service comporte trois sections :

- Section régulation.
- Section électricité.
- Section mécanique.

➤ **Service électronique :** c'est le service où on a effectué notre stage de fin d'études, il est notamment chargé de l'entretien des installations des stations de compression de gaz au *CIS* et au *CINA* (maintenance préventive et curative), ce service contient en son sein trois sections :

- Section *SPEED-TRONIC* :

Les ingénieurs et techniciens affectés à cette section assurent les interventions sur les systèmes de contrôle des stations de compression existants dans l'unité, à savoir : le *MARK II* (logique câblée), le *MARK IV* et le *MARK V* (contrôle numérique à base de microprocesseur).

- Section électronique générale (*GPL/Injection d'eau*):

Elle s'occupe de la maintenance des équipements électroniques et électriques des équipements se trouvant sur l'unité ou bien ceux des services satellites.

- Section anti-incendie :

Elle opère dans toute la région de Hassi-Messaoud (*CIS*, *CINA*, et champs d'exploitation), et prend en charge la maintenance des systèmes anti-incendie et anti-intrusion.

I.4.Présentation de l'unité de liquéfaction de gaz GPL-2 :

I.4.1.Historique :

L'unité *GPL-2* a été mise en service en juillet 1997 suite à un contrat de partenariat entre la société nationale *SONATRACH* et la firme japonaise *JGC* (Japon Gasoline Corporation).

La partie engineering du projet a été confiée à *JGC*, les travaux de construction ont été entrepris par des sociétés et entreprises de construction algériennes réparties comme suit :

- a) L'entreprise nationale de Grands Travaux Pétroliers (*GTP*), à hauteur de 80% ;
- b) L'entreprise nationale du Génie Civil et Béton (*GCB*), à hauteur de 16% ;
- c) L'Entreprise Nationale de Construction et des Charpentes (*ENCC*), à hauteur de 3% ;
- d) L'entreprise de SIDérurgie et de l'Engineering Métallique (*SIDEM*) et l'Entreprise de Chaudronnerie Métallique (*ECM*), à hauteur de 1%.

Le nombre total d'heures de travail effectué est de l'ordre de 3.25×10^6 heures. Le démarrage effectif de la production s'est effectué le 05 Janvier 1997. [2]

I.4.2.Description de l'unité GPL-2 :

L'unité *GPL-2* est destinée à récupérer les composants : butane et propane contenus dans la charge de gaz d'alimentation, pour être expédié vers Arzew via la station de pompage de Haoud El Hamra. Une partie du *GPL* (mélange de C_3H_8 : butane et C_4H_{10} : propane) produit est fractionné dans le dépropaniseur afin d'en extraire le gaz propane et le gaz butane, qui sont envoyés au centre enfûteur de Naftal de Hassi-Messaoud, pour assurer la consommation locale. Les condensât stabilisés sont réinjectés dans le brut, tandis que les gaz résiduels constitués principalement de méthane (CH_4) et de l'éthane (C_2H_2) sont repris par les stations de compression pour être réinjecter dans le gisement afin de maintenir sa pression. Une partie de ces gaz est utilisée comme combustible pour les turbines à gaz des boosters et les fours.

L'unité *GPL-2* est composée des sections suivantes :

- a) Un manifold de distribution d'une capacité de $40 \text{ MNm}^3 / \text{J}$ (Million Normo Mètre Cube par Jour), permet d'alimenter les deux unités de liquéfaction de gaz *GPL* du *CIS*.
- b) Une section de boosting : composée de quatre turbocompresseurs d'une puissance unitaire de 30000 CV (Chevaux).
- c) Trois trains identiques constitués chacun de :
 - Trois déshydrateurs (tamis moléculaire) ;

- Un Turbo-Expander (refroidissement et détente) ;
 - Deux colonnes de fractionnement (déethaniseur et débutaniseur) ;
 - Une boucle d'huile chaude.
- d) Un dépropaniseur : pour la production du propane et butane commerciaux.
- e) Quatre sphères de stockage de *GPL* de 500 m³ chacune, et d'une pomperie d'expédition.
- f) Réseau de torches.
- g) Salle de contrôle.
- h) Laboratoire d'analyse.
- i) Utilités :
- Un réseau d'air service et d'air instrument ;
 - Unité de production d'azote gazeux ;
 - Un système d'injection de méthanol ;
 - Alimentation de fuel gaz. [2]

I.4.2.1. Capacité de traitement et de production de l'unité *GPL-2* :

	Gaz riche	Gaz pauvre
Gaz d'alimentation (MNm³/J)	24	24
<i>GPL</i> produit (tonnes/jour)	4890	3050
Condensât (tonnes/jour)	1050	600
Propane (tonnes/jour)	240	240
Butane (tonnes/jour)	160	160

Tableau I.1: Capacité de production de l'unité *GPL2*. [2]

I.4.2.2. Spécifications des produits :

Les spécifications des produits issues de cette unité sont représentées dans le tableau N°2 ci-dessous :

Produits	Spécifications	Teneurs
<i>GPL</i>	C2-	< 3% en mol
	C5+	< 0.4% en mol
	Eau	< 50 ppm
Gaz traité	Pression	≥ 28 bars
	Température	$\leq 55^{\circ}\text{C}$
	Teneur en eau	≤ 3 ppm
Propane	C4+	< 2.5% en vol
	<i>TVR</i>	< 14.34 bars
Butane	C5+	< 2% en vol
	<i>TVR</i>	< 4.83 bars

Tableau I.2 : Spécification des produits. [2]

I.4.2.3. Principe de fonctionnement et description de l'unité *GPL-2* :

Le principe de fonctionnement ainsi que la description de l'unité *GPL-2* est schématisé par la figure ci-dessous.

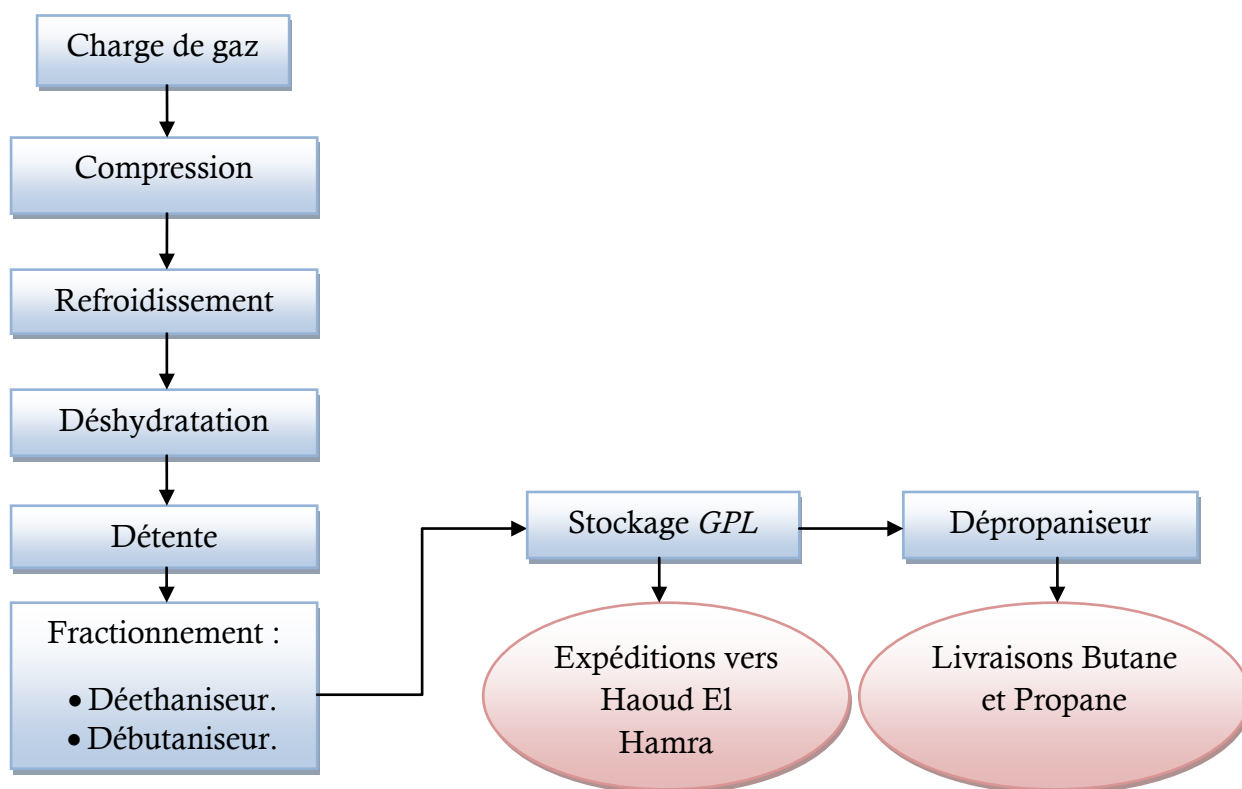


Figure I.3 : Principe de fonctionnement du processus de production du gaz GPL.

Les différentes sections que constitue l'unité de *GPL-2* sont détaillées en Annexe A. [2]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons en premier lieu donné une description générale de la société d'hydrocarbure *SONATRACH* et du champ d'exploitation de pétrole de Hassi-Messaoud, ensuite nous nous sommes intéressés à la description de l'unité *GPL-2*, en se basant tout particulièrement sur mise en exergue de la fonction de chacun des éléments qui la compose. Etant l'élément incontournable dans la production du gaz *GPL* au niveau de l'unité *GPL-2*, le Turbo-Expander sera le sujet du prochain chapitre.



CHAPITRE II :
Présentation du Turbo-
Expander et de son
instrumentation

Introduction :

Le Turbo-Expander est un système très important dans la chaîne de production du Gaz Pétrole Liquéfié (*GPL*). Son indisponibilité induira une baisse de production considérable de près de 50%. Donc une étude approfondie de sa constitution mécanique, électrique ainsi que son principe de fonctionnement s'avère nécessaire, dans le but d'élaborer une commande numérique efficace et capable d'apporter plus de sécurité et plus de confort pour les exploitants de l'unité.

II.1.Description du Turbo-Expander :

II.1.1.Généralités sur les turbomachines :

Une turbomachine est un dispositif qui assure un échange d'énergie mécanique entre un débit permanent de fluide, et un rotor muni d'aubes ou d'ailettes, et tournant autour d'un axe, les aubes sont espacées entre elles par des canaux, par lesquels le fluide s'écoule en tournant au passage le rotor.

Selon le sens d'échange d'énergie, la turbomachine sera dite compresseur ou génératrice ; lorsqu'elle communique de l'énergie au fluide, et turbine ou réceptrice lorsqu'elle reçoit de celui-ci. [3]

II.1.2.Classification des turbomachines :

Il existe plusieurs façons de classifier les turbomachines. La première concerne le sens du transfert d'énergie. On devise alors les turbomachines en deux catégories principales :

- Les turbomachines qui fournissent de l'énergie au fluide (enthalpie). Dans ce groupe on trouve les compresseurs, les ventilateurs et les pompes ;
- Les turbomachines desquelles on retire de l'énergie du fluide pour l'utiliser comme un travail mécanique. Dans ce cas on parle alors de turbines.

On trouve une seconde classification des turbomachines en fonction de la direction principale de l'écoulement par rapport à l'axe de rotation de la machine. Selon ce critère on a :

- Les turbomachines *axiales* dans lesquelles la direction de l'écoulement est parallèle à l'axe de rotation de la machine ;
- Les turbomachines *radiales* ou *centrifuges* dans lesquelles une partie importante de l'écoulement à l'entrée ou à la sortie est dans la direction normale à l'axe de rotation ou radiale ;
- Les turbomachines *mixtes* dans lesquelles la direction de l'écoulement, à l'entrée ou à la sortie, comporte des composantes axiales et radiales.

Une troisième classification peut être faite en fonction de la *nature du transfert énergétique*.

En particulier, on trouve :

- Les turbomachines à *impulsion* ou à *action* dans lesquelles le fluide subit seulement un changement d'impulsion lors du passage dans le rotor sans aucune variation de pression ;
- Les turbomachines à *réaction* dans lesquelles l'échange énergétique entre le fluide et le rotor entraîne une chute de pression sans aucune variation de vitesse ;
- Les turbomachines de type *combiné* dans lesquelles le fluide subit un changement de pression et de vitesse lors de son passage par le rotor.

Enfin, on peut re-classifier les turbomachines en fonction du *type d'installation*. On distingue deux types :

- Les turbomachines encastrées telles que les pompes centrifuges, les turbines à gaz etc., où le fluide circule à l'intérieur de conduits ;
- Les turbomachines en veine libre telles que les éoliennes, les hélices d'avion ou de navire. [3]

II.1.3. Définition du Turbo-Expander :

Le Turbo-Expander est une machine, qui convertit sans interruption l'énergie cinétique en une énergie mécanique, ceci est fait par expansion d'un gaz à haute pression d'amont à une plus basse pression en aval. Le gaz à haute pression fait donc tourner la turbine du Turbo-Expander, cette rotation est transmise à l'axe, qui est soutenu par un ensemble de roulements. La puissance transmise à l'axe est employée pour faire tourner un compresseur.

Au cours de processus de détente, la pression et la température du gaz d'alimentation chutent au point où la température atteint les -50°C , en liquéfiant les gaz lourds ($C3$, $C4$, $C5+$), et en maintenant des constituants légers tels que ($C1$, $C2$) à l'état gazeux.

Ce procédé se traduit par une augmentation de production de 50% par rapport à la marche avec la vanne Joule-Thomson (JT).

II.1.4. Utilisation du Turbo-Expander :

Les Turbo-Expander radiaux sont habituellement utilisés quand on a un des procédés suivants :

a) La réfrigération :

Les Turbo-Expander sont vastement utilisés dans le domaine cryogénique, grâce à leur capacité importante de produire le froid, et atteindre des températures très basses, qui conduisent à une meilleure séparation, (récupération) des différents produits.

b) Récupération d'énergie :

Le succès de son application, dans différents procédés de traitement, de séparation et de liquéfaction de gaz, est dû principalement à son rendement élevé et sa grande fiabilité de fonctionnement. L'unité *GPL-2* utilise cette machine pour assurer une meilleure récupération des fractions condensables du gaz associé.

II.2. Constitution du Turbo-Expander :

La figure ci-dessous présente un schéma simplifié d'un Turbo-Expander

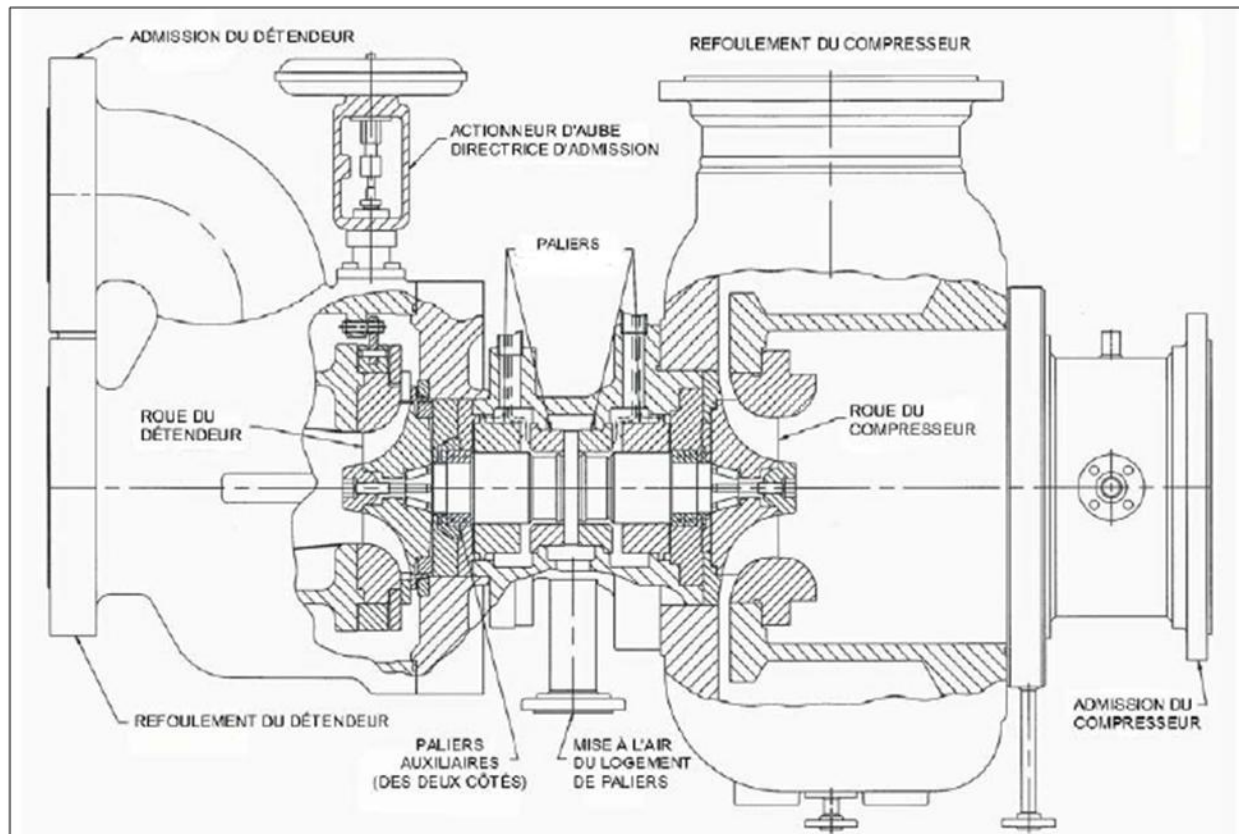


Figure II.1 : Schéma simplifié du Turbo-Expander. [4]

Un Turbo-Expander est constitué :

a) D'un corps:

Le Turbo-Expander est conçu par *MAFI-TRENCH* corporation, monté sur un châssis et équipé de son propre système de lubrification et de gaz d'étanchéité. Le gaz à traiter passe à travers le carter de l'expander, et du compresseur, dont la géométrie détermine le régime d'écoulement du gaz, en assurant une circulation aisée du gaz vers les roues à aubes, sans pertes de charge.

L'unité consiste en trois éléments principaux :

- La section turbine avec bride d'aspiration et de refoulement.
- La partie centrale avec le mobile.
- le compresseur avec bride d'aspiration et de refoulement.

La conception de cet ensemble, exige une très haute précision dans les tolérances de fonctionnement, et de qualité des matériaux de fabrication, pour répondre aux conditions de service (vitesse et température). [4]

b) D'une aube directrice :

C'est une vanne à aube variable. Elle est conçue pour régler le débit du gaz d'alimentation, en le dirigeant vers la roue de l'expander. Cette roue est conçue pour offrir une commande positive, et une efficacité élevée dans une plage de fonctionnement étendue, grâce au vérin d'ajustement des *IGV*.

Le mécanisme est conçu, pour rester à la pression d'entrée maximale de l'expander, et peut être réglé pour faire varier l'écoulement dans une plage allant, de 0% à environ 125% du débit massique prévu.

La figure ci-dessous représente la vue de face de l'aubage directrice.



Figure II.2 : Aubage directrice de l'entrée Expander. [4]

c) D'une roue de détente (Expander) :

C'est une turbine de détente à grande vitesse (vitesse de fonctionnement de 13000 t/min) et a pour rôle de détendre l'énergie de pressurisation du gaz, où la pression d'alimentation chute de 63 à 28 bars et, par conséquent la température baisse de -34 à -66°C. [4]

d) D'une roue de compression :

Elle récupère l'énergie cinétique fournie par la roue expander et la transforme en énergie mécanique pour comprimer le gaz résiduel léger $C1$ et $C2$ de 25.6 à 36.3 bars et l'acheminer vers les stations de compression pour la réinjection dans le gisement. [4]

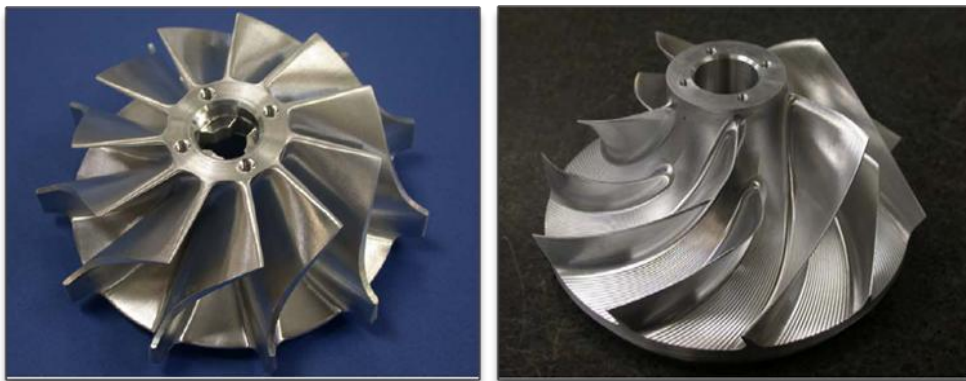


Figure II.3 : Roues du compresseur et de la turbine du Turbo-Expander.

e) D'un arbre :

L'arbre de l'expander-compresseur est conçu, pour opérer en dessous de la première vitesse de flexion critique, et de résonance de torsion.

Une bande d'aluminium plaquée à chaud est appliquée sur l'arbre, dans la zone surveillée par les sondes de détection de vibrations. Cette technique est très rigoureuse sur certaines turbines de *MAFI-TRENCH*.



Figure II.4 : Arbre du Turbo-Expander.

Les roues sont fixées à l'arbre sur un profil taraudé spécial, avec des clavettes, et des rainures des clavettes cylindriques.

Cette conception évite les concentrations des contraintes associées aux languettes, et aux rainures des clavettes classiques.

Ce montage garantit une fixation des roues stables, même en condition des vitesses et des températures extrêmes. [4]

f) Garniture d'étanchéité de l'arbre :

La garniture d'étanchéité de l'arbre est du type à labyrinthe, qui garantit une perte de gaz minimale. La construction se base sur une pièce tournante avec l'arbre en acier alliée interchangeable, et une partie fixe en phénolique renforcé. Les garnitures côté turbine et côté compresseur sont identiques, en raison de la symétrie de l'arbre. [4]

g) Paliers :

Les paliers radiaux utilisés dans cette machine sont de type à patins fixes. Un détecteur de température est intégré dans les paliers, pour transmettre les changements de température, et signale les situations de danger.

Les paliers axiaux sont nécessaires, pour maintenir la position axiale de la turbine, dans les limites des tolérances. Les machines *MAFI-TRENCH* utilisent un palier axial profilé, qui est entièrement usiné avec chaque palier lisse. Ces machines sont conçues pour supporter la même poussée, dans chaque direction axiale.

La poussée axiale est contrôlée par un orifice de sonde pression, situé sur le devant de chaque palier. Ces signaux de pression sont renvoyés au limiteur des forces axiales (*ATE*), qui régule la poussée axiale. [4]

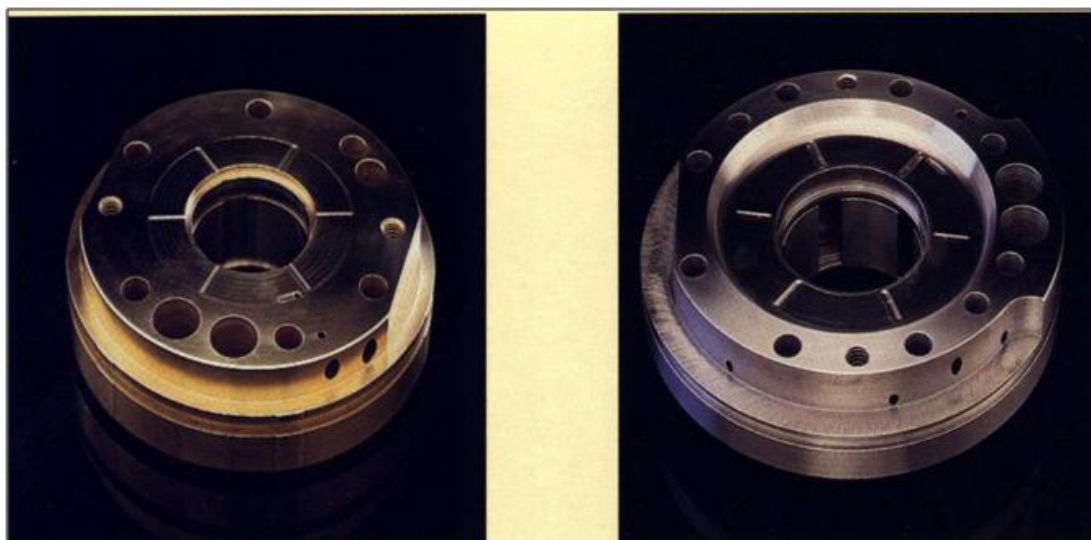


Figure II.5 : Paliers du Turbo-Expander.

II.2.1. Système de lubrification :

Il est composé de réservoirs, de pompes, d'un refroidisseur d'huile, d'accumulateurs, de soupapes de sûreté, et d'un système de protection (pressostats, sondes de température et de vibrations). Sa capacité lui permet d'emmagasiner toute l'huile lors d'une vidange ou d'un arrêt.

Il est muni d'une jauge d'huile, d'un commutateur d'alarme de niveau bas, d'une vanne de sûreté, d'une pompe pour pomper l'huile pendant le fonctionnement de la vanne de vidange et d'un appareil de chauffage.

a) Pompe d'huile de lubrification :

Le circuit contient deux pompes dont l'une est auxiliaire. Les pompes sont de type à vis entraînées par moteur électrique. Leur pression de refoulement est de 45 bars environ, pour satisfaire les besoins de lubrification. [4]

b) Refroidisseur d'huile

Les spécifications relatives du refroidisseur, permettent de fournir un refroidissement suffisant même dans les conditions sévères, et particulières. [4]

c) Filtres d'huile de lubrification :

Il y a deux filtres d'huile, qui sont munis d'une vanne de commutation à écoulement continu. Les éléments des filtres peuvent être remplacés, sans procéder à l'arrêt de la machine. [4]

d) Accumulateurs :

Les accumulateurs sont destinés à maintenir un flux d'huile, pendant un manque éventuel de courant électrique, jusqu'à l'arrêt complet du mobile de l'unité. L'huile est propulsée à l'aide d'un poumon d'air, et chassée de l'accumulateur dans le système de lubrification. [4]

e) Régulation de Pression d'huile :

La pression d'huile est contrôlée avec une vanne automatique, la vanne est calculée pour by-passer le débit excessif d'une, ou bien des deux pompes. [4]

II.2.2. Système de gaz d'étanchéité :

Le système de gaz d'étanchéité fournit un gaz propre, sec ou chaud aux joints de l'arbre situés entre les roues de l'expander et du compresseur et de leurs paliers respectifs.

Le gaz d'étanchéité est important pour maintenir l'huile de lubrification loin du gaz traité.

Le système de gaz d'étanchéité comprend précisément un réchauffeur, un filtre et un dispositif de contrôle de pression différentiel. Le réchauffeur est destiné à élever la température du gaz d'étanchéité habituellement entre 30°C et 54°C pour empêcher la condensation éventuelle des composants lourds du gaz quand le gaz d'étanchéité est en contact avec les parois froides des joints de l'arbre à l'intérieur de l'expander.

Le filtre empêche les poussières et les corps étrangers d'être injectés dans les joints de l'arbre et, le dispositif de contrôle de pression surveille la pression du gaz situé derrière la roue de l'expander et, fournit précisément du gaz d'étanchéité à une pression d'environ de 3.5bars au dessus de la pression de référence. [4]

II.2.3. Système de contrôle de la poussée axiale (ATE) :

La poussée axiale est une force qui provoque le déplacement de l'arbre du Turbo-Expander soit vers la butée du compresseur, ou bien vers celle de l'expander, cette poussée est due à la présence d'une pression à l'arrière roue au niveau des deux impulseurs (compresseur et expander).

Afin de contourner cet inconvénient, un système de contrôle pneumatique dit ATE (Automatic Thrust Equalizer) est installé entre l'entrée et l'arrière roue du compresseur.

La poussée axiale peut être soit vers le coté compresseur soit vers le coté expander, selon le déséquilibre de pression entre les paliers des deux roues. [4]

a) Poussée axiale vers le compresseur :

Quand la poussée axiale se fait vers le compresseur, c'est-à-dire que l'arbre tend à écraser le film d'huile sur le palier axial coté compresseur, la pression d'huile dans cette zone augmentera. En conséquence le piston du comparateur sera poussé de façon que la tige se déplace vers le sens d'ouverture de l'orifice, ce qui permettra la dépressurisation de la chambre derrière la roue du compresseur, par échappement de gaz, et ainsi limite la poussée axiale. [4]

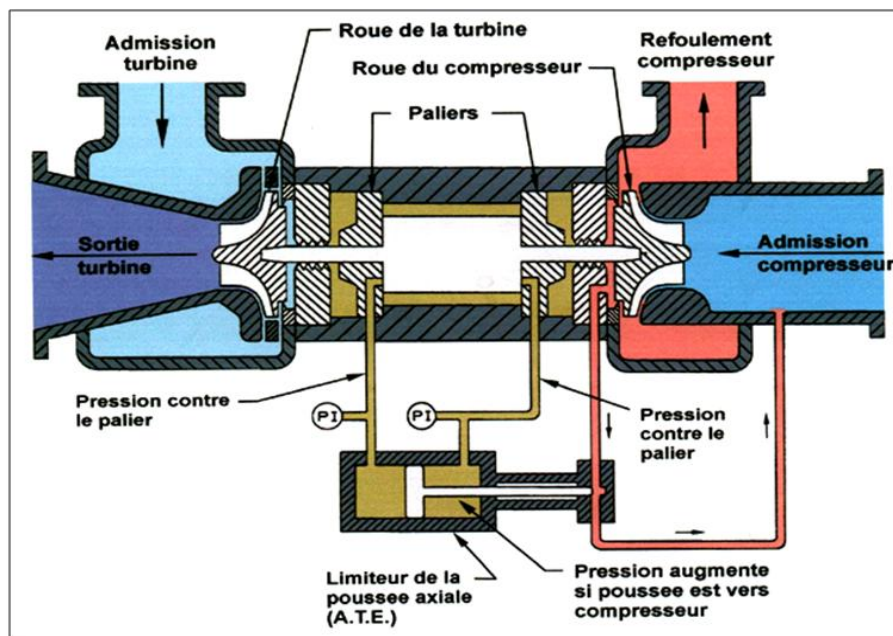


Figure II.6 : Egalisateur automatique de poussée (poussée vers compresseur). [4]

b) Poussée axiale vers l'expander :

Quand la poussée axiale se fait vers le coté expander, l'arbre tend à écraser le film d'huile sur le palier axial côté expander, ce qui engendre une augmentation de pression. Cette

dernière pilote le piston, qui à son tour actionne la tige, vers le sens d'obturation du circuit de dépressurisation, de la chambre derrière la roue compresseur, donc augmente sa pression, ce qui tendra à tirer l'arbre vers le compresseur, et équilibrer la poussée à des niveaux acceptables. [4]

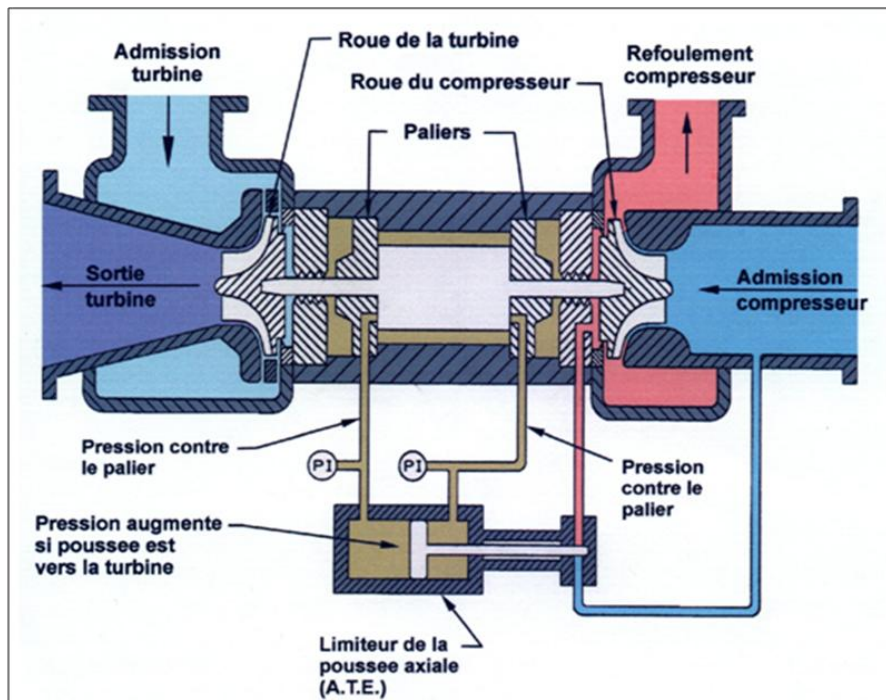


Figure II.7 : Egalisateur automatique de poussée (poussée vers expander). [4]

II.3.Cahiers des charges de l'exploitation du Turbo-Expander :

II.3.1.Démarrage du Turbo-Expander :

Le démarrage du Turbo-Expander passe par deux étapes essentielles : la première étape consiste dans la préparation du démarrage, celle-ci se fait manuellement, la seconde étape représente la séquence de démarrage automatique du Turbo-Expander.

a) Procédure de préparation du démarrage :

Cette procédure est exécutée par le personnel exploitant, et consiste à vérifier tous les composants et tous les paramètres sensibles du Turbo-Expander, afin de lui garantir un bon démarrage en toute sécurité, elle est donnée comme suit :

1. Vérification du positionnement sur automatique du système de protection anti-incendie ;
2. Vérification de l'alimentation en courant électrique du tableau de contrôle local ;
3. Vérification du réarmement des cellules en sous station électrique, à savoir :
 - Les pompes de lubrification (K201-GM2011A/B) ;
 - Les refroidisseurs d'huile de lubrification (KME201A/B) et de gaz (E206) ;

- La résistance électrique de la caisse d'huile (K201H).
4. Vérification du niveau d'huile dans le réservoir (environ 1 glace) et au besoin faire un appoint d'huile Torba 46 en s'assurant que les fûts d'huile d'appoint sont scellés et propre ;
 5. Mise en service du réchauffeur d'huile si la température de celle-ci est inférieure à 55°C (la gestion du réchauffeur devient automatique après la mise en service) ;
 6. Positionnement de l'une des deux pompes de lubrification en mode « manuel », celle-ci démarre immédiatement, en ouvrant la vanne manuelle de recyclage de la pompe ;
 7. Ouverture de la vanne manuelle du gaz d'étanchéité, dans le cas où le Turbo-Expander aurait été décomprimé ;
 8. Si nécessaire, ouvrir les vannes de purge vers torche des corps afin d'équilibrer les pressions entre le Compresseur et l'Expander ;
 9. Continuer la mise sous pression jusqu'à 27 bars ;
 10. Ouverture des vannes de garde manuelles des entrées et sorties des vannes XV du Turbo-Expander ;
 11. Vérification de l'extinction de toutes les lampes témoins d'alarme sur le panneau de commande local et dans la salle de commande, auquel cas y remédier ;
 12. Vérification des instruments et des indicateurs afin de s'assurer que ceux-ci ne soient pas isolés ;
 13. Fermeture de la vanne FV203A commandant le débit de gaz d'admission de l'Expander, à l'aide de la manette sur le panneau de commande local ;
 14. Confirmation que le régulateur FC2001 de la vanne anti-pompage du Compresseur soit en mode automatique et que la vanne anti-pompage FV205 soit ouverte ;
 15. Fermeture de la vanne manuelle de recyclage d'huile du circuit de lubrification afin d'augmenter la pression de refoulement de la pompe en service ;
 16. Acquiescement des alarmes du panneau local et positionnement de la deuxième pompe de lubrification en mode « automatique » ;
 17. Démarrage des refroidisseurs de gaz selon la température de refoulement du Compresseur (environ 55°C) ;
 18. Après démarrage, augmentation de la charge de gaz de l'Expander en agissant localement sur l'ouverture des aubes IGV par l'intermédiaire de la vanne de régulation FV203A, permettant de fermer parallèlement la vanne de by-pass FV203B ;
 19. procéder à la vérification des paramètres de température, de pression, débit, poussée axiale et de niveau de liquide des ballons de séparation et de décharge de l'Expander ;
 20. Porter une attention particulière aux vibrations et aux changements de bruit dans le fonctionnement du Turbo-Expander. [4]

b) Séquence automatique de démarrage du Turbo-Expander:

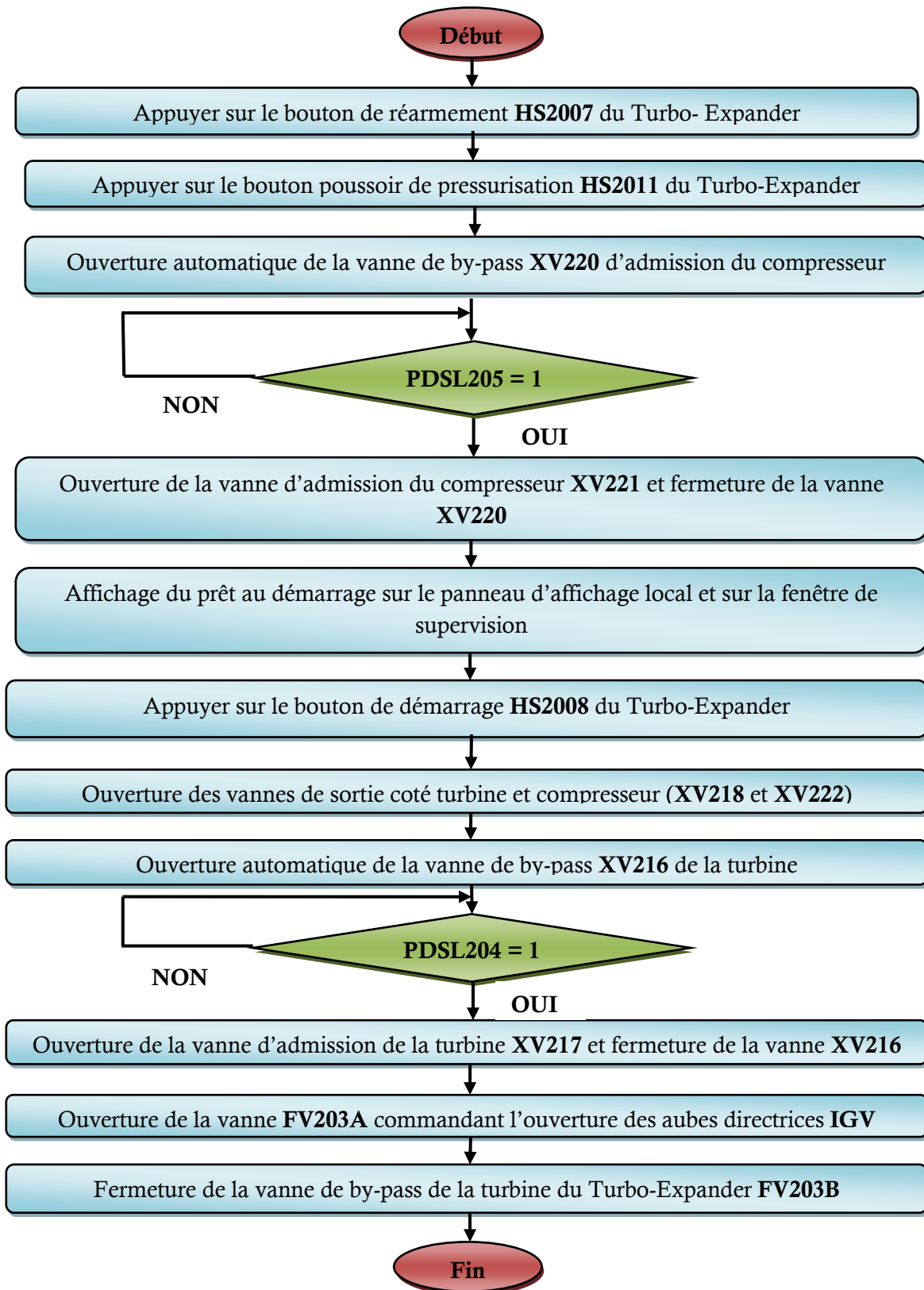


Figure II.8 : Organigramme de la séquence de démarrage du Turbo-Expander.

II.3.2. Arrêt du Turbo-Expander :

L'arrêt du Turbo-Expander peut survenir dans deux cas différents, soit par arrêt normal (planifié) dans le cadre d'une révision ou de maintenance, soit par arrêt d'urgence (non planifié) qui survient lorsqu'un ou plusieurs paramètres du Turbo-Expander auront atteint un seuil de sécurité critique, susceptible de porter atteinte à la sécurité des équipements et du personnel.

a) Procédure d'arrêt planifiée du Turbo-Expander :

L'arrêt planifié du Turbo-Expander s'effectue suivant la procédure ci-dessous :

1. Réduction progressive de la vitesse de rotation de l'Expander en diminuant le débit de charge de gaz par fermeture de la vanne FV203A en agissant sur le point de consigne du contrôleur de débit FC203 tout en donnant le temps aux boosters de décharger ;
2. Confirmation de l'ouverture de la vanne d'anti-pompage du Compresseur (FV205) ;
3. A une vitesse approximative de 6000 RPM (tout en surveillant la poussée axiale qui ne doit pas atteindre 13 bars, seuil de déclenchement) arrêter le Turbo-Expander en actionnant le bouton d'arrêt (HS2009) situé sur le panneau local ;
4. Fermeture automatique des électrovannes de sectionnement du Turbo-Expander (XV217, XV218, XV221, XV222) ;
5. Instantanément avec l'arrêt, le contrôleur de débit FC203 passe en mode « cascade » avec le contrôleur de pression PC203A qui, après ouverture au complet de la vanne FV203B (Vanne Joule Thomson), ramène le point de consigne du contrôleur de débit FC203 à sa dernière valeur avant l'arrêt de l'Expander K201 ;
6. Arrêt automatique des refroidisseurs de l'huile de lubrification et positionnement des sélecteurs HOA2003/2004 en position « Arrêt » ;
7. Mise à l'arrêt des refroidisseurs du gaz de refoulement du Compresseur du Turbo-Expander E206 ;
8. Positionnement de la pompe de lubrification de réserve sur la position « arrêt » à l'aide du sélecteur HOA2001/2002 situé sur le panneau de commande local ;
9. Ouverture de la vanne manuelle du by-pass du circuit de lubrification ;
10. Mise à l'arrêt de la pompe de graissage K201-GM1A/B en positionnant le sélecteur HOA2001/2002 en position « Arrêt » ;
11. Fermeture de la vanne manuelle d'admission de gaz d'étanchéité ;

12. Fermeture des vannes manuelles de garde des électrovannes de sectionnement d'entrée de l'Expander ;
13. Isolation des cellules de pompes de graissage et des refroidisseurs en sous station. [4]

b) Arrêt d'urgence du Turbo-Expander :

L'arrêt d'urgence survient lorsqu'un ou plusieurs paramètres de fonctionnement du Turbo-Expander (Température, Pression, Vitesse de rotation, Vibration, Niveau) atteignent un seuil critique (*TRIP*), dû à un ou plusieurs dysfonctionnements dans le système, ou bien à des paramètres externes au système tels que l'excès de chaleur, ou la présence excessive de particules de poussières ...etc. Dans ce cas, le système de contrôle arrête automatiquement le Turbo-Expander en fermant toutes les électrovannes de sectionnement, afin de prévenir tout dégât matériel, ou perte humaine. Le Tableau V.3 donne une liste de tous les facteurs de déclenchement (arrêt) du Turbo-Expander avec leurs seuils de basculement :

Dispositif	Point de consigne du procédé	Réarmement du procédé	Seuil de normalité
PDSHH2006	13.5 bars en augmentation	11.7 bars en diminution	5 bars
PDSHH2005	13.5 bars en augmentation	11.7 bars en diminution	5 bars
TSHH2001	100°C en augmentation	100°C en diminution	85 – 95°C
VSHH2004	100 µm en augmentation	100 µm en diminution	20 – 40 µm
VSHH2003	100 µm en augmentation	100 µm en diminution	20 – 40 µm
SSHH2001	16000 RPM en augmentation	15800 RPM en diminution	13000 RPM
PDSLL2003	6.2 bars en diminution	7.6 bars en augmentation	13.8 bars
TSLL2001	17°C en diminution	20°C en augmentation	85 – 95°C

Tableau II.1 : Liste des facteurs de déclenchement du Turbo-Expander. [4]

D'autre part, et dans l'optique de garantir un niveau optimum de sécurité, le système de contrôle du Turbo-Expander est doté d'un système d'alarme qui avertit le personnel exploitant d'un éventuel déclenchement imminent, donc, leur rôle ne consiste pas à arrêter le Turbo-Expander comme les Trip, mais sont juste fait pour avertir grâce à l'allumage de voyants au niveau du panneau de commande local et de la salle de contrôle. Les seuils des alarmes sont donnés dans le Tableau V.4 suivant :

Dispositif	Point de consigne du procédé	Réarmement du procédé	Seuil de normalité
PDSL2004	2.1 bars en diminution	2.45 bars en augmentation	3.5 bars
PDSL2002	7.6 bars en diminution	9 bars en augmentation	13.8 bars
PDSH2001	2.1 bars en augmentation	1.75 bars en diminution	0.7 bars
TS2001	55°C en augmentation	52°C en diminution	74°C
VSH2001	60 µm en augmentation	60 µm en diminution	20-40 µm
VSH2002	60 µm en augmentation	60 µm en diminution	20-40 µm
LSL2001	521 mm (20.5'') en diminution	528 mm (20.8'') en augmentation	895-980 mm
TSH2001	90°C en augmentation	90°C en diminution	80 – 88°C
VSH2004	80 µm en augmentation	80 µm en diminution	20 – 40 µm
VSH2003	80 µm en augmentation	80 µm en diminution	20 – 40 µm
SSH2001	15200 RPM en augmentation	15000 RPM en diminution	13000 RPM

Tableau II.2 : Liste des facteurs d'alarme du Turbo-Expander. [4]

II.4.L'instrumentation du Turbo-Expander (K201):

Les systèmes de contrôle contribuent grandement à la sécurité d'exploitation des unités par :

- a) Les alarmes qui préviennent de la dérive d'une valeur.
- b) Les sécurités qui arrêtent ou démarrent automatiquement certains équipements lorsque les conditions de fonctionnement présentent un risque humain ou matériel.

Grâce aux informations délivrées par l'instrumentation, la régulation permet de contrôler en continu les paramètres de fonctionnement du procédé. [4]

II.4.1.Les capteurs :

Le capteur a pour rôle d'effectuer la mesure d'une grandeur, qui peut être la température, le débit, le niveau ou la pression.

a) **Température :** la détection de température dans un procédé industriel est réalisée par le biais d'un thermostat, il est généralement constitué d'un système à bilame qui ouvre ou ferme un circuit électrique suivant des états critiques de température (points de consigne) prédéfinis par l'instrumentiste. Cet instrument est utilisé pour surveiller la température des paliers et de l'huile de lubrification spécifiques au Turbo-Expander.

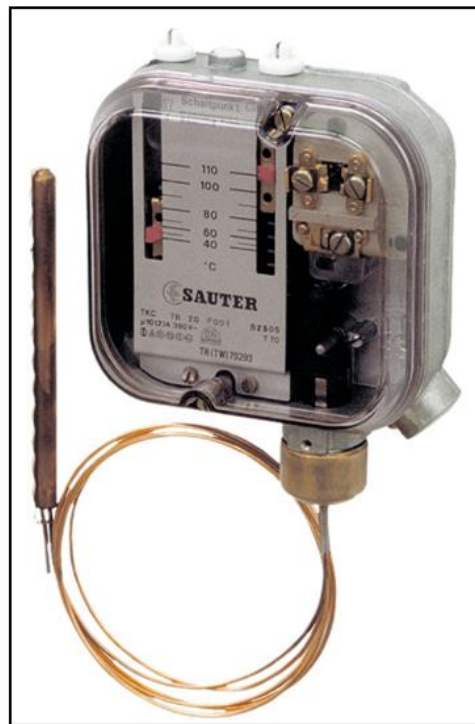


Figure II.9 : Thermostat industriel.

b) Pression : la mesure de la pression est obtenue en effectuant le rapport de la force sur la surface. Pour la mesure de la pression dans les différents compartiments de la machine on utilise les sondes à pression, les manomètres et les pressostats.

- **Les sondes à pression :** Une sonde de pression (ou capteur de pression) est un dispositif destiné à convertir les variations de pression en variations de tension électrique.
- **Manomètres :** En plongée sous-marine, il est utilisé pour mesurer la pression d'air restant dans une bouteille, tant en immersion (manomètre immergeable) qu'en surface (manomètre de surface).
- **Pressostats :** Un pressostat est un dispositif détectant le dépassement d'une valeur prédéterminée, de la pression d'un fluide. L'information rendue peut être électrique, pneumatique, hydraulique, ou mécanique. Ces appareils sont également appelés manocontacts en transformant une ou plusieurs valeurs de pression déterminées qu'ils subissent en informations électriques ou mécaniques. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications de systèmes de contrôle ou de régulation, par exemple en provoquant le démarrage d'un compresseur d'air ou d'une pompe si la pression du circuit contrôlé descend en-dessous d'une limite déterminée.

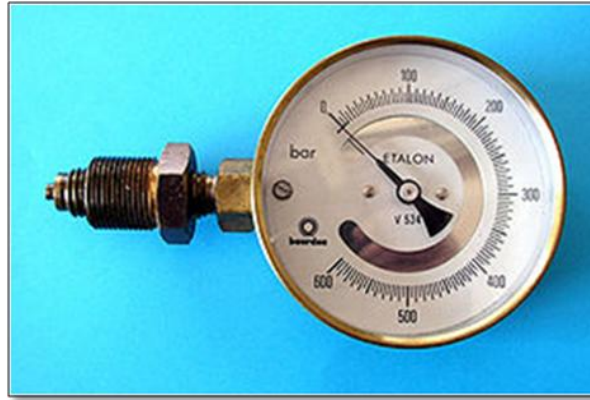


Figure II.10 : Manomètre 0-600bar.

c) Le Débit : la mesure de débit est obtenue avec des débitmètres à pression différentielle suivant la loi de Bernoulli $Q = K \sqrt{\Delta P}$ avec (Q : débit, K : constante, ΔP : pression différentielle). Au niveau de l'unité, on utilise un régulateur de débit avec action proportionnelle, intégrale et dérivée (PID) permettant le maintien constant du débit désiré quelque soit les fluctuations, avec précision et avec un minimum de temps de réponse.

d) Le Niveau : le niveau est la hauteur entre la surface libre d'un liquide et un point pris comme référence. Au niveau de l'unité, on utilise le capteur de niveau type flotteur et le niveau à glace.

- **Capteur de niveau à flotteur :** Le flotteur se maintient à la surface du liquide. Il est solidaire d'un capteur de position qui délivre un signal électrique correspondant au niveau. Sa position est peu dépendante de la masse volumique de liquide.

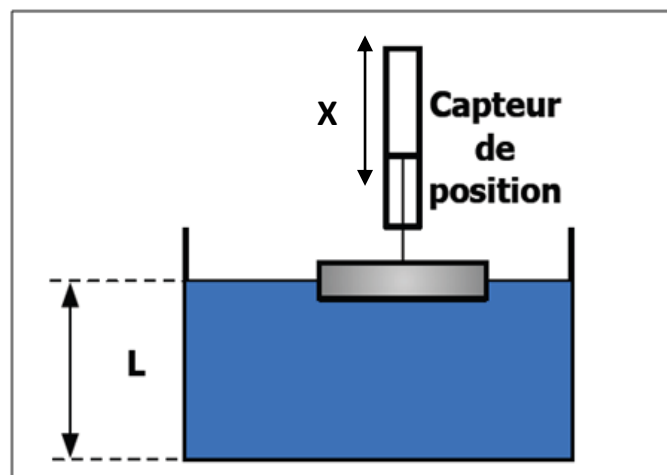


Figure II.11 : Mesure de niveau par flotteur.

- **Le niveau à glace :** qui repose sur le principe de la transparence et des vases communicants. C'est le dispositif de détection de niveau utilisé au niveau de la caisse d'huile de lubrification du Turbo-Expander.



Figure II.12 : Niveau à Glace.

II.4.2. Les transmetteurs :

Le transmetteur est un élément essentiel dans la chaîne de régulation. Il convertit la mesure effectuée par le capteur en un signal exploitable par le régulateur.

a) **Transmetteur de température :** la détection de la température se fait par des thermocouples, qui sont constitués d'un élément sensible, isolé électriquement et protégé par une gaine. Ils permettent de mesurer une température dans un but de contrôle (simple visualisation), de régulation de la puissance de systèmes chauffants ou de sécurité. Sa plage de détection se situe entre 0 - 150°C.

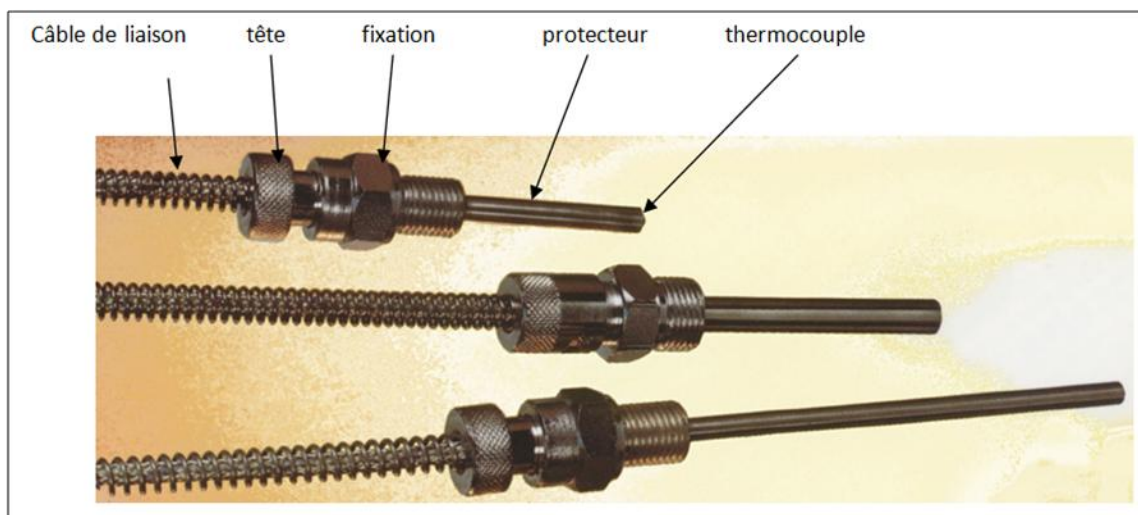


Figure II.13 : Les thermocouples.

b) Transmetteur de pression :

Le principe utilisé est celui de la technique capacitive à deux fils. La pression du procédé est transmise à la membrane détectrice placée au centre de la cellule. Le déplacement de la

membrane est proportionnel à la pression différentielle. Sa position est détecté par les plaques du condensateur, la différence de capacité entre la membrane détectrice est les plaques du condensateur est convertie électriquement en un signal 4-20mA.



Figure II.14 : Transmetteur de pression.

II.4.3. Les convertisseurs électropneumatiques :

Utilisés particulièrement comme intermédiaires entre les systèmes de mesure électrique et les régulateurs pneumatiques ou les systèmes de régulation électrique et les vannes pneumatiques, les convertisseurs *I/P* ou *P/I* sont conçus pour convertir un signal courant (4-20mA) en un signal pneumatique (0.2-1bar) ou un signal pneumatique en un signal électrique.

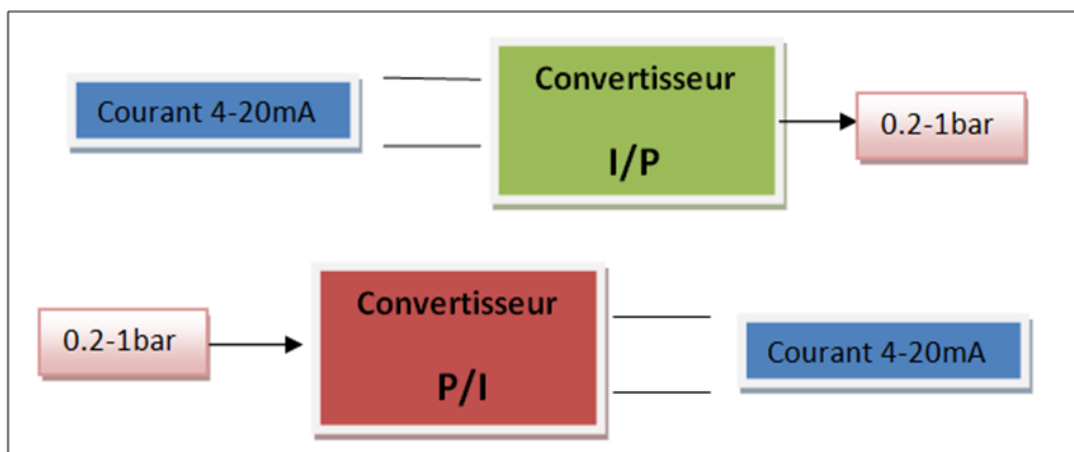


Figure II.15 : Convertisseur électropneumatique.

II.4.4. Les régulateurs :

Qu'il soit pneumatique, électrique ou numérique, le régulateur a pour fonction de recevoir le signal de mesure du transmetteur et de déterminer l'écart consigne-mesure afin d'élaborer un

signal de commande en fonction de cette écart et l'envoyer vers l'organe de réglage (vanne, contact, etc.).

- a) **Le régulateur pneumatique** : alimenté en air instrument, il détecte en continu la différence entre la mesure et la consigne et produit un signal de commande pneumatique (0.2-1bar) dépendant de cette différence et de type de régulation.
- b) **Le régulateur électronique** : le développement des capteurs pouvant transmettre une grandeur physique sous forme électrique a permis l'invention des régulateurs électroniques.
- c) **Modes de fonctionnement d'un régulateur** :
 - **Mode automatique (consigne interne)** : le régulateur élabore le signal de commande selon l'écart (mesure-consigne) où la consigne est affichée par l'opérateur.
 - **Mode cascade (consigne externe)** : la consigne du régulateur est imposée par un autre régulateur (régulation split-range), le signal de commande est élaboré selon l'écart (mesure-consigne).
 - **Mode manuel** : le signal de commande est donné par l'opérateur, l'écart (mesure-consigne) n'a plus d'influence.

II.4.5. Les positionneurs :

Pour avoir une bonne régulation, il faut que la position de la vanne de régulation correspond à l'ordre émis par le régulateur, autrement dit, le déplacement de la tige de la vanne doit être proportionnel à la pression de commande, mais cette linéarité n'est pas toujours garantie à cause des forces parasites qui peuvent gêner le mouvement de la tige tels que :

- a) La poussée exercée par les fluides sur les clapets.
- b) La déformation de la membrane.
- c) Les frottements de la tige.
- d) Non linéarité du ressort.

D'où la nécessité d'utilisation d'un positionneur dont la fonction essentielle est de faire respecter l'ordre émis par le régulateur en délivrant à la vanne les forces nécessaires à cet effet, le positionneur assure d'autres fonctions à la vanne :

- a) Il amplifie le débit d'air envoyé à la vanne pour assurer la rapidité (le débit d'air venant du régulateur est faible à cause de la distance entre le régulateur et la vanne).
- b) L'adaptation et le changement de la pression du servomoteur par rapport à la sortie du régulateur. (sortie régulateur 3-15 *PSI*, servomoteur 6-30 *PSI*).
- c) Inversion de sens de la vanne.
- d) Il assure un réglage à échelle partagé (split-range).

II.4.6. Les vannes automatiques :

La vanne automatique est l'élément final d'une régulation, c'est elle qui agit directement sur le procédé dans une boucle de régulation. Elle a donc autant d'importance que le capteur-transmetteur de mesure et le régulateur.

La vanne est constituée de deux éléments principaux :

a) **Le servomoteur** : c'est l'élément qui assure la conversion du signal de commande en mouvement de la vanne.

On distingue les différents servomoteurs (servo) suivants :

- Le servo classique à membrane, conventionnelle (à action direct ou inversé) ou réversible (on peut changer le sens d'action).
- Le servo à membranes déroulante, surtout utilisé pour les vannes rotatives.
- Le servo à piston, utilisé lorsque les efforts à fournir sont très importants. La pression de commande peut être de l'air, de l'eau ou de l'huile (hydraulique).
- Le servo électrique, utilisé pour les vannes rotatives. On associe à un moteur électrique un réducteur de vitesse permettant ainsi d'obtenir des couples très importants.

b) **Le corps de vanne** : c'est l'élément qui assure le réglage du débit.

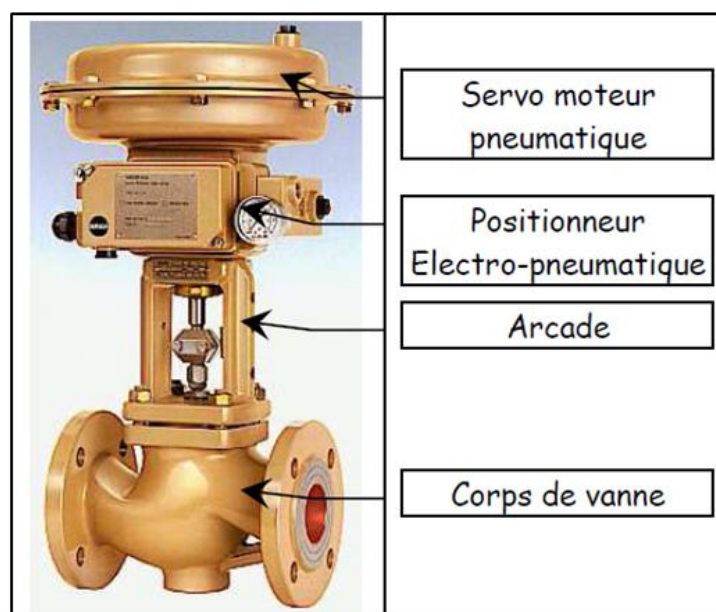


Figure II.16 : Vanne de régulation.

Il existe trois types de vannes :

- Les vannes dites « *TOR* » (Tout Ou Rien) ne pouvant s'ouvrir qu'en entier ou pas du tout.
- Les vannes proportionnelles dites de régulation sont celles qui peuvent être ouvertes avec plus ou moins d'amplitude de besoin.
- Les électrovannes qui sont aussi ouvertes avec plus ou moins d'amplitude de besoin, mais leurs modes de fonctionnement différent de celles des vannes de régulation.

a) La Vanne Tout ou Rien (*TOR*) :

Utilisée dans les systèmes où la pression de la régulation n'est pas importante, les vannes tout ou rien exécutent une action discontinue qui prend deux états 0 ou 1 (0 ou 100%), c'est-à-dire fermée ou ouverte.

b) La Vanne régulatrice :

Conçue pour réguler le débit des fluides, la vanne régulatrice est commandée par un régulateur qui utilise l'action de l'air instrument comme fluide d'asservissement. L'ouverture, la fermeture ou l'action modulée de la vanne sont commandées par la variation de pression de sortie de l'instrument de contrôle.

c) L'Electrovanne :

Équipée d'une bobine et d'un piston qui agit directement sur la vanne. L'électrovanne s'ouvre lorsque sa bobine est excitée par un courant électrique de commande. Alors, le champ magnétique de la bobine provoque le déplacement d'un noyau (électroaimant), qui actionne un clapet. L'état de fonctionnement de l'électrovanne dépend directement du courant électrique de commande.



Figure II.17 : Electrovanne de commande.

II.5. Panneau de control local :

Le Turbo-Expander dispose d'un système de contrôle regroupé sur un panneau local indépendant conçu spécialement pour les alarmes et les différentes indications (Figure II.16, Figure II.17).

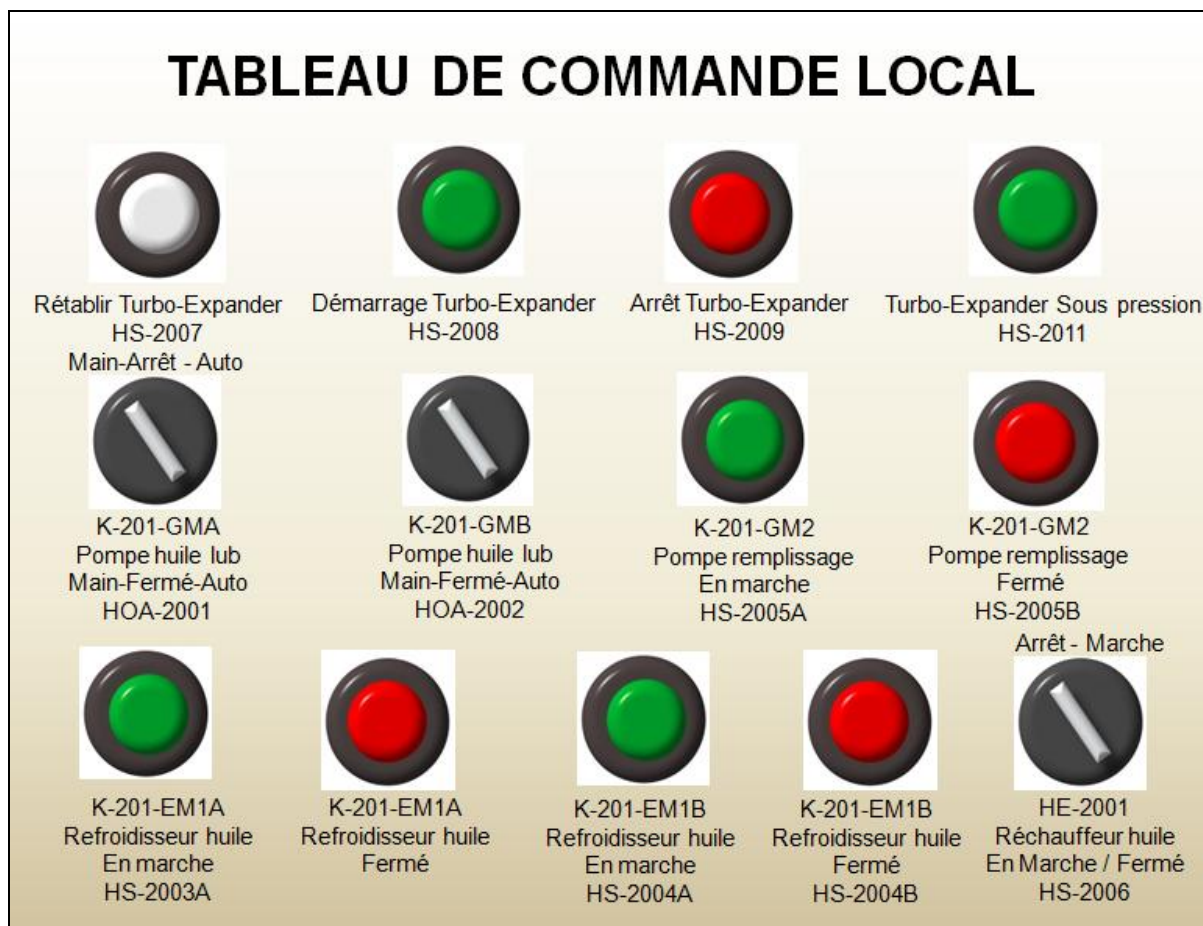


Figure II.18 : Panneau local de commande du K-201.

Affichage des lampes sur le panneau local

Alarme haute vibration Palier compresseur 13-VAH-2003	Alarme haute vibration Palier Expandeur 13-VAH-2004	Alarme haute Température Palier Turbo Expandeur 13-TAH-2001	Alarme haute vibration Retroviseur huile *1 13-VAH-2001	Alarme haute vibration Retroviseur huile *2 13-VAH-2002
Alarme pression diff basse huile lubrification 13-PDAL-2002	Alarme haute vitesse Turbo-Expandeur 13-SAH-2001	Alarme pression différentielle basse Gaz d'échappement 13-PDAL-2004	Alarme niveau basse réservoir huile lubrification 13-LAL-2001	Alarme fuite système Bentley NEVADA 13-UA-2002
Alarme pression diff haute Filtre huile lubrification 13-PDAL-2002	Alarme Déclencheur commune hors circuit 13-UA-2001			
Déclenche survibration Palier Compresseur 13-VAHH-2003	Déclenche survibration Palier Expandeur 13-VAHH-2004	Déclenche surchauffe Palier Turbo- expandeur 13-TAHH-2001	Déclenche surpression diff Poussée Expandeur 13-PDAH-2005	Déclenche surpression diff Poussée compresseur 13-PDAH
Déclenche pression différentielle huile trop basse 13-PDAL-2003	Déclenche sur vitesse Turbo-expandeur 13-SAHH-2001	Démarrage INHIBE Palier EXP Trop froid 13-TALL-2001	Déclenche sur niveau Séparateur Turbo-Exp 13-LAHH-203	Déclenche surpression Décharge Turbo-Expandeur 13-PAHH-208
Déclenchement par centre de commande 13-HZ-203	Position vanne turbo- Expandeur Anormal 13-ZZ-2210			
Déclenche commune 13-YL-2005	Alarme commune 13-YL-2008	Turbo-Expandeur prêt à marcher 13-YL-2007	Turbo-Expandeur en marche 13-YL-2006	Turbo-expandeur Arrêté 13-YL-2010
Pompe huile *1 en marche 13-YL-201	Pompe huile *2 en marche 13-YL-2002	Retroviseur huile *1 en marche 13-YL-2003	Retroviseur huile *2 en marche 13-YL-2004	Turbo-Expandeur sous pression 13-XL-2210

Figure II.19 : Affichage des lampes du K-201 au niveau du panneau local.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différents éléments constituant le Turbo-Expander ainsi que son principe de fonctionnement en insistant sur son importance dans la chaîne de production du gaz liquéfié. Ensuite, nous nous sommes intéressés à la description de l'instrumentation qui assure un fonctionnement fiable et sécurisé du Turbo-Expander. Ceci nous donnera une meilleure compréhension de l'ensemble du système, pour une meilleure approche quand à l'établissement de la commande numérique.

CHAPITRE III :

*Description de l'API TRICONEX
d'INVENSYS*

Introduction :

Le processus d'automatisation de la production industrielle a lentement progressé tout au long de notre siècle, sans donner l'impression que l'on réussirait vraiment à dépasser le stade de la simple assistance mécanisée. L'électronique analogique elle-même n'avait pas réellement permis de franchir ce pas symbolique au-delà duquel la machine se substituerait à l'opérateur humain. Cependant, dans la décennie 1990, le développement très rapide et la baisse du prix de la micro-informatique ont permis d'envisager d'utiliser les micro-ordinateurs jusque dans les applications industrielles les plus modestes.

Le domaine de l'exploitation du pétrole et du gaz, étant un domaine où le risque sur les personnes, les équipements et l'environnement est très important. Ceci impose la mise en œuvre de systèmes de contrôle adéquats, capable de répondre à une large gamme d'exigences en terme de surveillance et de maîtrise des paramètres primordiaux qui régissent les systèmes de production tels que la pression, la température, le niveau, le débit, la vitesse et les vibrations.

III.1. Généralités sur l'automatisme industriel :**III.1.1. Définition de l'automatique :**

C'est l'ensemble de théories, de techniques et de composants utilisés pour rendre un système autonome, indépendant de l'intervention humaine, son but est de réduire la fréquence et la difficulté des tâches humaines.

III.1.2. Définition d'un processus :

Un processus peut-être considéré comme un système organisé d'activités qui utilise des ressources (personnelles, équipements, matériels et machines, matières premières et informations) pour transformer des éléments entrants en éléments de sorties dont le résultat final attendu est un produit ou une valeur ajoutée.

Le système automatisé de production industrielle doit également répondre à des contraintes économiques et donc à une certaine flexibilité.

Il existe deux concepts technologiques :

- a) Les automatismes séquentiels ;
- b) Les asservissements, la régulation ou « feedback control ».

Cependant, dans la plupart des systèmes complexes modernes, ces deux types d'automatisation se trouvent imbriquées.

III.1.3. Historique des systèmes de contrôle :

L'automatisation s'est généralisée à l'ensemble des activités de production, tant dans l'industrie, que dans les activités de services. Quelque soit son domaine d'application et les techniques auxquelles elle fait appel, l'automatisation s'est constamment développée dans l'unique but de réduire la pénibilité du travail humain et d'améliorer la productivité du travail.

Les premiers modèles d'automates remontent à l'Antiquité, où Heron d'Alexandrie met au point au 1^{er} siècle apr. J-C de nombreux automates utilisant les ressources de l'énergie hydraulique.

En 1623, le scientifique allemand Wilhelm Schickard invente la première machine à calculer, qui sera suivie de celle élaborée par Blaise Pascal dix-neuf ans plus tard. En 1745, Jacques de Vaucanson conçoit le premier métier à tisser entièrement automatique, prototype dont s'inspire le mécanicien français Joseph-Marie Jacquard pour fabriquer, en 1793, un métier à tisser dont les séquences d'opérations à effectuer sont inscrites sur des cartes perforées : l'automatisation appliquée à l'industrie est née. Elle s'épanouira et se généralisera à l'ensemble des activités industrielles dans la première moitié du XX^e siècle, avec notamment la création de la première station hydraulique 100% automatique aux USA. Depuis lors, elle ne cessera de se perfectionner grâce à l'utilisation des techniques issues de l'électronique, de la robotique et de l'informatique.

Dés la fin du XVIII^e siècle, le découpage d'un processus en plusieurs étapes successives, avait déjà contribué à un accroissement de la productivité du travail. La révolution industrielle va accélérer ce processus. L'identification de tâches élémentaires qui composent tout cycle de production va permettre de construire des machines reproduisant les mouvements humains, ouvrant la voie à la construction de chaînes de montage et d'assemblage.

Dans les années vingt, ces méthodes seront largement appliquées dans l'industrie automobile, notamment dans les usines *FORD* aux États-Unis.

L'introduction de l'informatique dans les processus de fabrication à partir des années soixante a considérablement accéléré le développement de l'automatisation, en facilitant l'utilisation des boucles de rétroaction et en augmentant la flexibilité des systèmes de production. En effet, avec l'avènement des ordinateurs sont apparues des machines à commande numérique, dont les mouvements sont enregistrés sur une unité de stockage, et qui peuvent accomplir plusieurs opérations d'usinage différentes. [5]

III.1.4. Buts de l'automatisation :

Le principal objectif de l'automatisation est de booster la compétitivité de production, cette compétitivité passe par la qualité, la maîtrise des coûts et l'innovation. Cela induit une disponibilité à tous les niveaux. On cherche donc à améliorer la productivité.

Les buts de l'automatisation sont donc :

- a) Éliminer les tâches répétitives ;
- b) Simplifier le travail de l'humain ;
- c) Augmenter la sécurité et la fiabilité des systèmes de production;
- d) Accroître la productivité ;
- e) Économiser les matières premières et l'énergie ;
- f) S'adapter à des contextes particuliers : flexibilité ;
- g) Améliorer la qualité.

Le système automatisé permet d'obtenir de façon reproductible la valeur ajoutée.

III.1.5. Structure d'un système automatique :

On admet généralement qu'un automatisme est composé de deux sous-ensembles principaux :

- a) *Un organe de décision*, nommé « Partie commande » ;
- b) *Un organe effectuant les actions* ordonnées par l'organe de commande, nommé « Partie opérative » ou organe de puissance qui peut être mécanique, électrique, pneumatique, ou hydraulique, et bien souvent un assemblage de ces technologies.

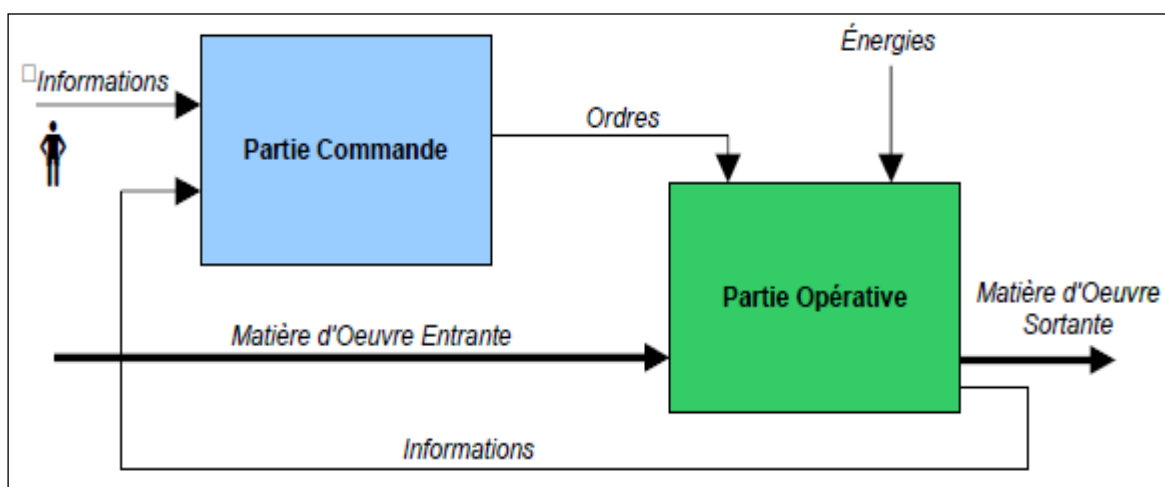


Figure III.1 : Structure générale d'un processus automatisé.

On distingue deux types d'interactions au sein des systèmes :

- a) Les ordres ($PC \rightarrow PO$).
- b) Et les informations ($PO \rightarrow PC$, ou opérateur $\rightarrow PC$).

Ces interactions peuvent être :

- a) Des interactions prévues et retenues (matérialisées) ;
- b) Des interactions prévisibles ;
- c) Des interactions imprévisibles (incertitude). [6]

III.1.6. Technologies des automatismes :

L'automaticien dispose de nombreux outils technologiques pour réaliser l'organe de commande de son système (figure III.2) que l'on regroupe habituellement en deux catégories fondamentales : les solutions câblées et les solutions programmées.

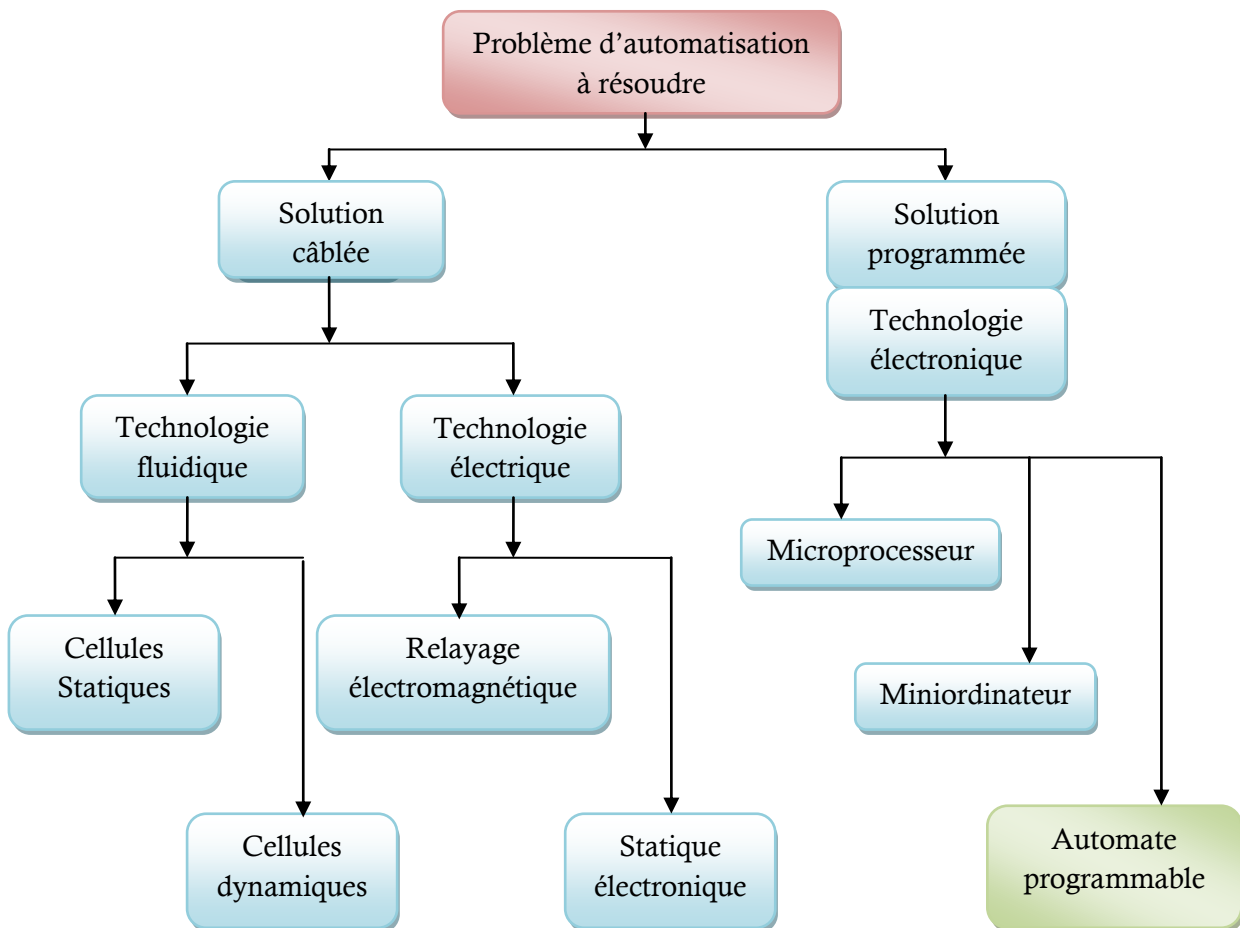


Figure III.2 : Les principales solutions technologiques à un problème d'automatisation.

En électricité ou en électronique les liaisons sont faites par câbles électriques, par contre en fluide il s'agit de canalisations reliant les différents composants.

Les outils câblés sont caractérisés par une mise en œuvre nécessitant uniquement, mais nécessairement, l'établissement de liaisons matérielles (câblage) selon un schéma fourni par la théorie ou par l'expérience.

La fonction $Y = U_1 + U_2 \cdot U_3$ est réalisée sur la figure III.3 avec deux manières différentes.

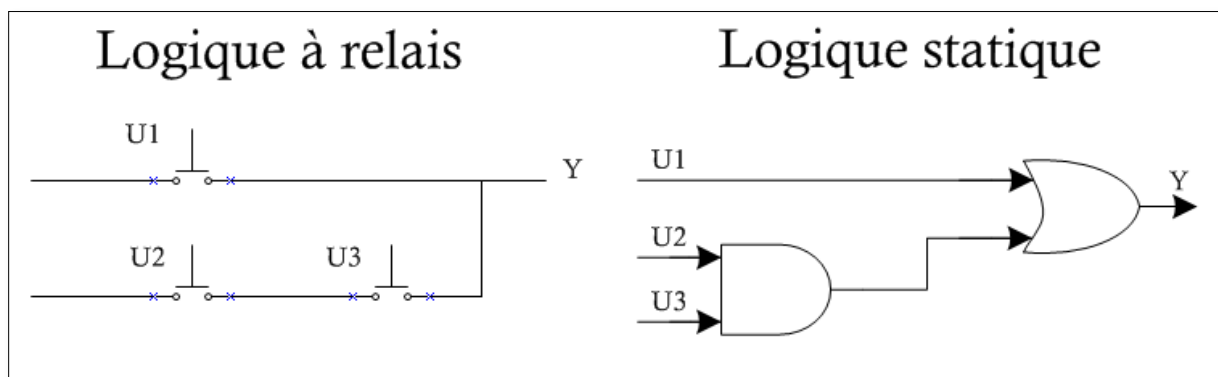


Figure III.3 : Représentation de la logique câblée et de la logique statique.

L'exemple précédent, de part sa simplicité, ne permet pas d'illustrer la complexité des câblages rencontrés dans les applications courantes.

Les outils câblés de toute technologie ont été largement utilisés dans l'industrie avant et après l'arrivée des automates, et leur fiabilité a été prouvée. Ils souffrent cependant d'un certain nombre de limites parmi lesquelles nous retiendrons :

- a) Leur encombrement (poids et volume) ;
- b) Leur manque de souplesse vis-à-vis de la mise au point des commandes et de l'évolution de celle-ci (amélioration, nouvelles fonctions, etc.) ;
- c) La difficulté de maîtrise des problèmes complexes ;
- d) Le coût de réalisation des composants ;
- e) La complexité de recherche des pannes et donc du dépannage ;
- f) Une rentabilité financière limitée aux fonctions simples (20 à 30 relais) en raison de l'apparition de technologies programmables. [6]

III.2. Architecture de l'automate programmable industriel *TRICONEX* :

III.2.1. Définition de l'Automate Programmable Industriel (API) :

Les premiers automates programmables ont été introduits aux *U.S.A.* en 1969 pour les besoins de l'industrie automobile américaine en plein essor. Le but recherché était de remplacer les armoires à relais, utilisées dans la commande des chaînes de fabrication par des équipements moins onéreux, aussi bien du point de vue du coût d'acquisition que du coût de la maintenance, et flexibles c'est-à-dire faciles à modifier, à utiliser et à entretenir.

Les pionniers à l'époque, étaient *ALLEN-BRADLEY*, *MODICON* et *Digital Equipements* qui construisirent les trois premiers prototypes en 1969. *T.I. TEXAS INSTRUMENTS* regagne le groupe en 1970.

Un automate programmable est « un appareil électronique programmable par un utilisateur automatique et destiné à piloter en environnement industriel et en temps réel des machines ou processus logiques séquentiels ou combinatoires.» on les appelle aussi «Programmable Logic Controller (*PLC*)».

Ils sont conçus pour traiter par programme des problèmes de logique combinatoire ou séquentielle afin de remplacer les armoires à relais devenues de plus en plus encombrantes, mais aussi parce que dans les automatisations de commande complexe, les coûts de câblage et de mise en œuvre devenaient trop élevés.

Leurs fonctions de base sont :

- L'acquisition de données ;
- Le traitement de données ;
- La commande de puissance ;
- Le dialogue homme/machine (*HMI*, Humain Machine Interface).

Parmi les fabricants des automates dédiés à la sécurité on trouve *TRICONEX*, *HIMA*, *ROCKWEL (Safety Guard)*, *HONEYWELL*, *ABB*, *SIEMENS*. [6]

III.2.2. Choix de l'automate programmable:

Dans l'optique de la réalisation de la commande du Turbo-Expander, qui représente le but principal de notre projet de fin d'études, nous avons, par concertation avec l'ensemble de nos encadreurs du service électronique, décidé d'utiliser l'API *TRICONEX*. Cette décision a été encouragée par les différents avantages qu'offre celui-ci en termes de fiabilité, de sécurité et de flexibilité dans son fonctionnement global.

TRICONEX, est un automate programmable d'Invensys, depuis sa création en 1983, il s'est positionné comme un leader en termes de développement de solutions nouvelles et innovantes pour le contrôle d'applications critiques. Le système de contrôle tolérant aux fautes « *TRICON* » a été le premier système avec une architecture totalement triplée, à l'épreuve des exigences de l'industrie de procédés.

III.2.3. Architecture et principe de fonctionnement de l'API *TRICONEX* :

III.2.3.1. Définition d'un système de contrôle tolérant aux fautes :

Un système de contrôle tolérant aux fautes est un système qui identifie, puis compense les différents éléments défectueux de la chaîne de contrôle et qui permet de réparer ces défaillances sans interrompre le déroulement normal du processus de contrôle. Ce type de système est utilisé dans les processus de contrôle critiques qui exigent un haut niveau de sécurité et de disponibilité.



Figure III.4 : Système de contrôle *TRICON*.

III.2.3.2. L'architecture Triple Modulaire Redondante *TMR* du *TRICONEX*:

La redondance modulaire triplée (*TMR*) est une technique qui utilise trois implémentations pour la même fonction (redondance de modules) et les sorties de ces modules sont désignées par un mécanisme de vote. L'un des algorithmes de vote les plus basiques qui est aussi celui utilisé

par le Tricon, est le *vote majoritaire*, cet algorithme sélectionne la sortie la plus commune. La table de vérité donnée par le tableau III.1 explique la logique de fonctionnement du système de vote de la TMR. [7]

Y_1	Y_2	Y_3	Y	Alarme
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	1	0	1	1
0	0	1	0	1
1	0	1	1	1
0	1	1	1	1
1	1	1	1	0

Tableau III.1 : Table de vérité du masque à défauts de la technique TMR.

La conception du Tricon est basée sur une architecture triplée totale, depuis les modules d'entrées, jusqu'aux modules de sorties passant par les modules processeurs principaux. Cette configuration est donnée par la figure III.5.

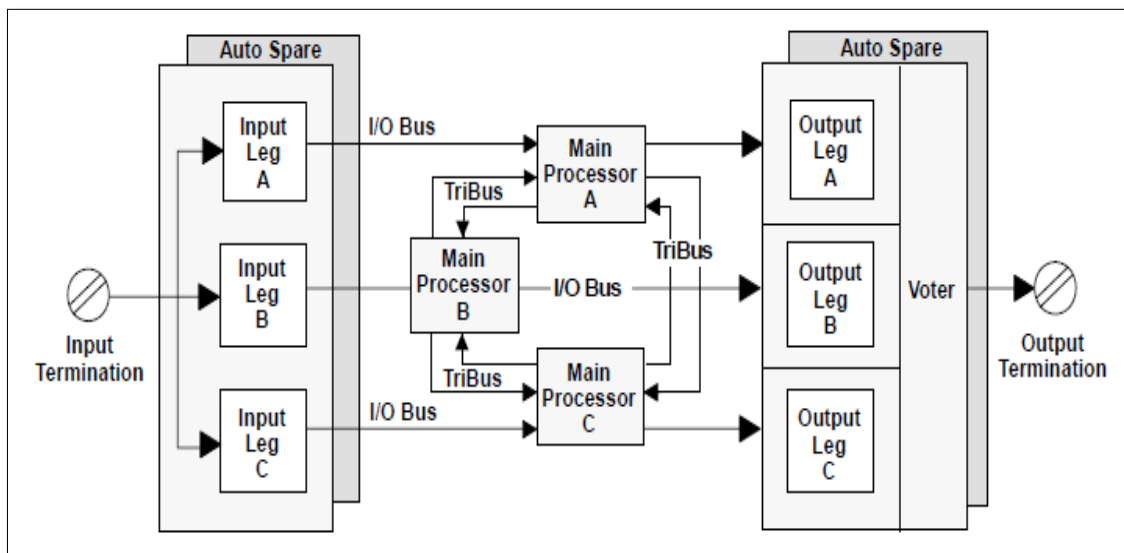


Figure III.5 : Architecture TMR simplifiée du TRICON.

III.2.3.3. Avantages de l'architecture triple modulaire redondante :

Les principaux avantages et caractéristiques de l'architecture TMR du système Tricon sont les suivants :

a) Pas de point unique de défaillance :

La défaillance de n'importe quel composant de l'architecture n'a aucune incidence sur le bon fonctionnement de l'ensemble du système Tricon.

b) Un très haut niveau de sécurité :

Grâce à son architecture *TMR* et à sa puissance de diagnostic, le système Tricon atteint le niveau d'intégrité de sécurité 3 (System Integrity Level, *SIL*) tel que défini dans le préliminaire de la norme *CEI 61508* relative à la sécurité fonctionnelle.

c) Un très haut niveau de disponibilité :

Le système d'architecture *TMR* fonctionne avec trois modules processeurs. Les modules en défaut peuvent être remplacés sans interruption du système et ainsi permettre d'assurer un contrôle continu. En général, le temps moyen observé entre deux défaillances (*MTTF*, Mean Time To Failure) d'un système et de plus de 200 ans selon les calculs effectués à partir des valeurs des taux de défaillance, tel que définis dans le préliminaire de la norme *CEI 62508*. En fait, si l'on tient compte des défaillances enregistrées en 1994, le *MTTF* intempestif du système *TRICON* dépasse les 1000 ans.

d) Une maintenance à moindre coût :

Grâce aux systèmes de diagnostic intégrés qui détectent automatiquement les modules en défauts qui doivent être remplacés, il n'est plus nécessaire de recourir à des techniciens hautement qualifiés.

e) Une capacité mémoire étendue :

Avec une capacité mémoire jusqu'à 16 M octets, les processeurs principaux fournissent l'espace suffisant pour le programme d'application et la consignation d'états volumineux.

f) L'archivage des données séquence d'événement (*SOE*) :

Le consignateur d'état (*SOE*) utile à la fois pour la maintenance du système et pour l'analyse des causes de l'arrêt du procédé.

g) Des liaisons de communication redondantes à haut débit :

Liaisons vers d'autres systèmes Triconex, les systèmes numériques de contrôle centralisé ou *SNCC* (Distributed Control System, *DCS*) et d'autres équipements.

h) La possibilité de déporter les châssis :

Jusqu'à 12 Km du châssis principal, par liaisons fibres optiques. [12]

III.2.3.4.Principe de fonctionnement du Triconex :

Le Tricon est un système de contrôle logique programmable (*PLC*) à redondance modulaire triple *TMR*, cette caractéristique de conception élimine le point unique de défaillance, ce qui le place comme l'un des systèmes de contrôle les plus fiables dans sa catégorie, il est de ce fait capable de détecter et de corriger tout type de défaillance en ligne, sans interruption du contrôle continu et en temps réel du procédé.

Le Tricon dans sa conception procure la possibilité de remplacer en ligne et à chaud n'importe quel module qui le compose, sous tension et sans interruption de la commande. La figure (III.5) illustre l'architecture redondante triplée du *TRICON*. Le cœur de ce système est composé de trois modules processeurs (*MP*) principaux typiquement identiques, chaque *MP* est conçu autour d'un microprocesseur de 32bits et de plusieurs microprocesseurs de 8bits utilisés comme administrateurs du contrôle d'E/S. d'autre part, les modules processeurs communiquent entre eux grâce à un bus de transmission appelé « *TRIBUS* ».

Chaque module processeur est équipé de sa propre horloge et de son propre mécanisme de sélection, ce qui permet aux trois modules processeurs (*MP*) de synchroniser leurs opérations une fois par période de scrutation, afin de permettre le déroulement de l'opération de vote de données et l'échange des informations du diagnostic.

Quand un défaut est détecté sur l'un des modules processeurs principaux, son intégrité devient dérisoire, donc, il est automatiquement non pris en considération par le Tricon, mais le traitement de données continu en utilisant les deux modules en marche sans aucune incidence sur la fiabilité du système. Après le remplacement du module défectueux, le Tricon lance un self-diagnostic afin de déterminer son état, et si celui-ci est bon, alors il entame le processus de « rééducation » par lequel le programme de commande est transféré d'une des unités en marche vers le module de remplacement.

Le bus d'E/S véhicule les états des entrées qui proviennent des différents capteurs et transmetteurs que contient le procédé, vers les trois processeurs principaux à partir des trois chaînes des modules d'E/S. Chaque module d'E/S consiste en trois circuits identiques et indépendants, implémentés sur un même et unique circuit imprimé.

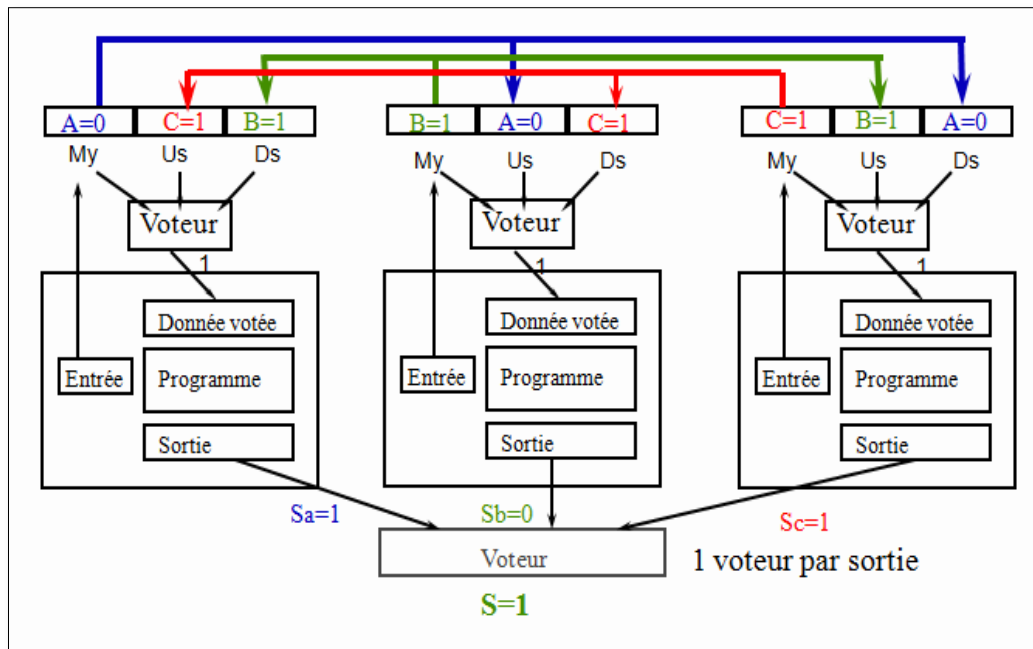


Figure III.6 : Illustration du système de vote du TRICON.

Les données d'entrée sont prélevées sans interruption et envoyées vers les modules processeurs à travers une interface *RAM* à double accès. Toutes les données entrantes sont passées par un système de vote susceptible de détecter des éventuelles erreurs, qui sont ensuite corrigées et utilisées comme entrées pour l'algorithme de commande, afin de produire la table des sorties qui sera acheminée vers les organes de contrôle du procédé, après être passée par un système de vote qui doit être situé aussi prêt que possible du procédé à contrôler, ce qui permet au Tricon de détecter et de compenser n'importe quel défaut pouvant survenir entre le vote et la valeur finale acheminée au procédé à contrôler. [8]

III.2.3.5. Configuration du système :

Le Tricon est composé du châssis principal et de plus de 14 châssis d'extensions local ou à distance (*RXM*). Sa dimension maximale est donc de 15 châssis supportant le total de 118 modules d'E/S et modules de communication. Il peut se connecter avec plusieurs types d'interfaces telles que le Modbus et d'autres systèmes Tricon, ainsi que des applications hôtes externes dans un réseau Ethernet (802.3), tel que les systèmes de contrôle distribué (*DCS*) de Foxboro et de Honeywell. [7]

➤ Disposition du châssis :

Le Tricon est composé de deux sources de tension situées dans le côté gauche de tout le châssis, disposées l'une sur l'autre. Dans le châssis principal, les trois modules processeurs principaux sont situés immédiatement à droite des sources de tension, le reste du châssis est divisé en six slots logiques pour les modules d'E/S et les modules de communication, comme le

montre la figure (III.7). Chaque slot logique procure deux espaces physiques pour les modules, un pour le module actif, et l'autre pour son module de remplacement à chaud.

La disposition d'un châssis d'extension est similaire à celle du châssis principal, excepté qu'il contient huit slots logiques pour les modules d'E/S.

Le châssis principal et celui d'extension sont interconnectés par le moyen de câbles représentant un bus d'E/S triplé, la longueur maximale de ces câbles est de 30 mètres, mais dans des applications restreintes cette longueur peut aller jusqu'à 300 mètres.

Les châssis *RXM* sont utilisés pour les systèmes dans lesquels la distance totale entre le premier châssis et le dernier dépasse les 30 mètres (longueur des câbles dépassant 30 mètres). Chaque châssis *RXM* loge trois modules *RXM* dans la même position que les processeurs principaux au niveau du châssis principal. D'autre part, six autres slots logiques sont disponibles dans un châssis *RXM* et un autre qui reste inutilisé. [7]

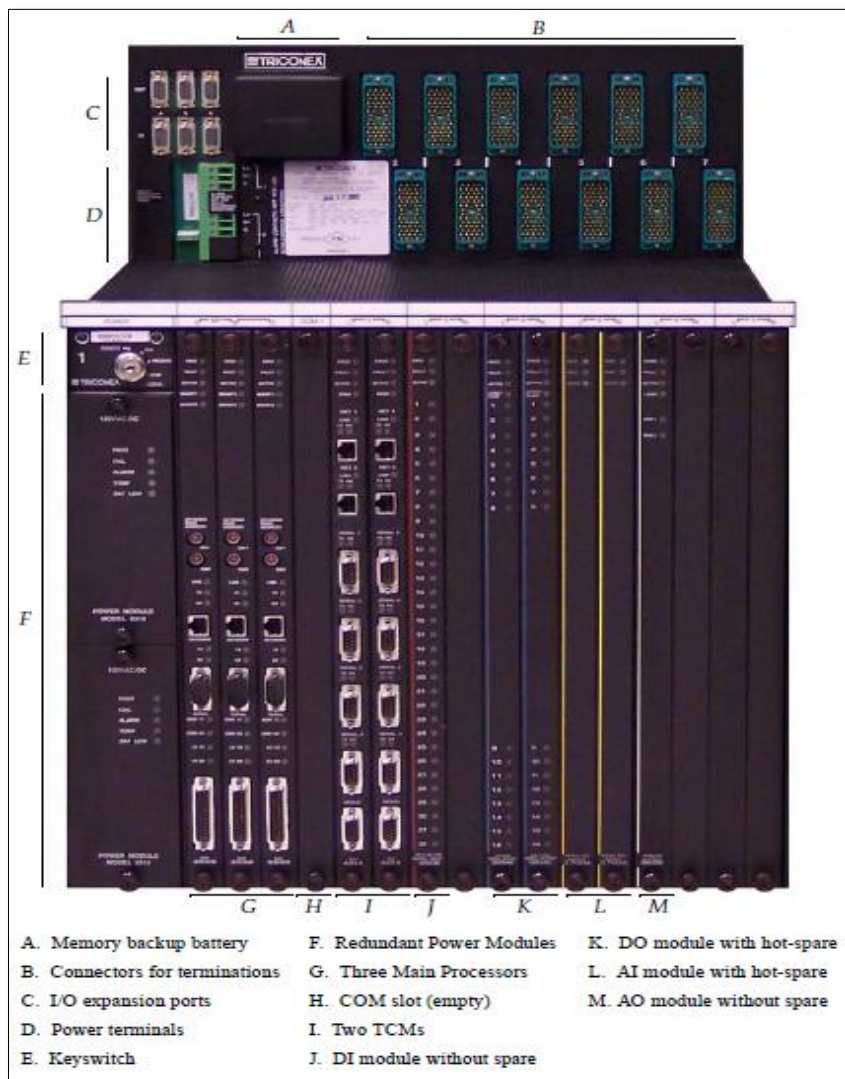


Figure III.7 : Disposition du châssis principal du Tricon.

III.2.3.6. Bus système et distribution de l'alimentation :

Trois systèmes de bus triplés sont gravés sur le fond de panier du châssis : le *TRIBUS*, le bus d'E/S et le bus de communication *COMM*.

Le *TRIBUS* est constitué de trois liaisons séries indépendantes qui opèrent à 25 Mégabits par seconde, son principal rôle est de synchroniser les trois processeurs principaux au début de chaque cycle, ainsi il permet à chacun des processeurs principaux d'envoyer ses données aux deux autres.

Une importante caractéristique de l'architecture du Tricon est l'utilisation d'un seul et unique transmetteur pour envoyer les données aux deux processeurs se trouvant en amont et en aval de chacun des processeurs principaux, ceci leurs assure la réception des mêmes données.

Le bus triplé d'E/S a pour rôle d'acheminer les données entre le module d'E/S et les processeurs principaux avec un débit de 375 Kilobits par seconde, il est porté le long du fond de panier. Chaque chaîne du bus d'E/S s'étend entre un des trois processeurs principaux et la chaîne correspondante dans le module d'E/S.

Quand au bus de communication (*COMM*), il s'étend entre les processeurs principaux et les modules de communication avec un débit maximum de 2 Mégabits par seconde, son principal rôle est d'établir une connexion entre le Tricon et les différents systèmes externes qui lui sont associé tel que le *DCS*.

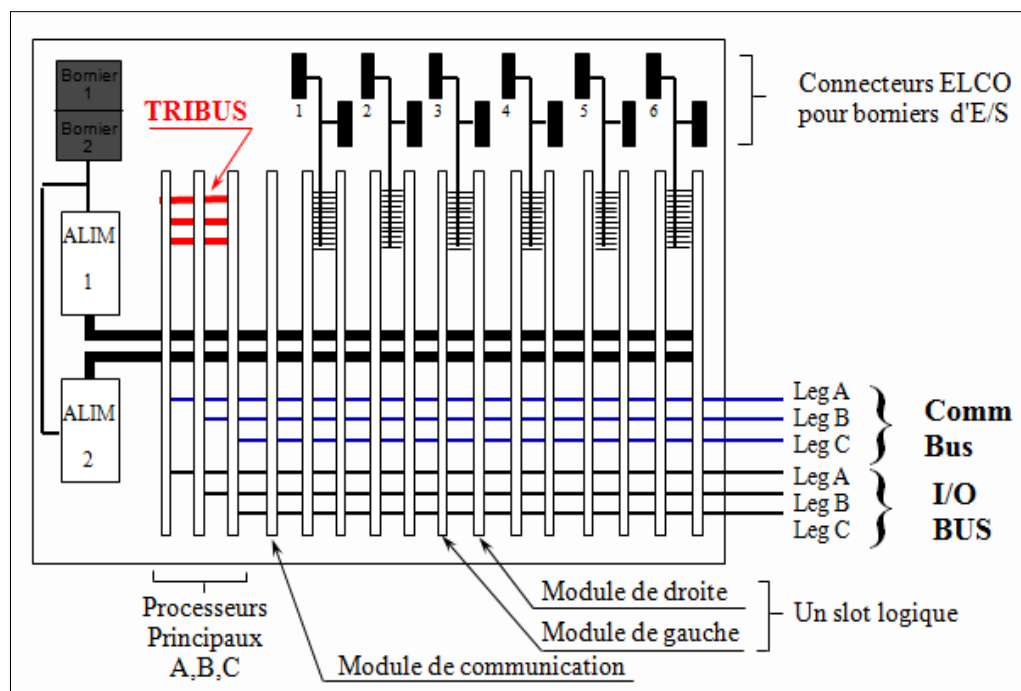


Figure III.8 : Illustration du fond de panier du Tricon.

La distribution de l'énergie au châssis est faite à travers deux rails indépendants de puissance. Chaque module dans le châssis puise son énergie des deux rails sources à travers des régulateurs de tension, qui sont au nombre de quatre dans chaque module d'entrée et de sortie : un régulateur pour chacune des chaînes A, B et C. [7]

III.2.3.7. Modules processeurs principaux :

Le Tricon contient trois modules processeurs principaux (*MP*) qui contrôlent trois chaînes séparés du système. Chaque processeur principal opère en parallèle avec les deux autres, comme membre d'une triade, leur principal rôle est l'exécution des diagnostics du système et du programme de commande principal de l'utilisateur.

Un microprocesseur d'E/S et de communication dédié à chaque processeur principal, gère les données échangées entre les processeurs principaux et les modules d'E/S (Figure III.9). Un bus d'E/S triplé est situé sur le fond de panier et s'étend d'un châssis à l'autre par le biais de câbles.

Une fois le vote fait, la nouvelle donnée délivrée par le module d'entrée est transmise au processeur principal à travers la chaîne appropriée du bus d'E/S. Les données d'entrées de chaque module d'entrée sont assemblées dans une table sur le processeur principal et sauvegardées dans la mémoire pour leurs utilisations dans le programme principal. [8]

La table d'entrée individuelle de chaque processeur principal est transférée vers les deux autres processeurs à travers le *TRIBUS*, durant ce transfert, l'opération de vote est exécutée. Le *TRIBUS* utilise un dispositif programmable à accès mémoire direct (*DMA*) pour synchroniser, transmettre, voter et comparer les données entre les trois processeurs principaux.

Si un désaccord est détecté, la valeur du signal trouvée dans deux des trois tables domine, et la troisième table est corrigée en conséquence. Le système Tricon est d'autre part capable de distinguer les différences ponctuelles de variations de synchronisation de la période d'échantillonnage des différentes données. Les trois processeurs principaux assurent l'entretien des données lorsque des corrections sont nécessaires dans la mémoire locale. N'importe quelle disparité est repérée et exploitée à la fin du scan par l'analyseur de fautes intégré afin de déterminer l'existence d'une faute sur l'un des modules.

Après que le *TRIBUS* ait transféré et corrigé les données d'entrée à travers le processus de vote, celles-ci sont utilisées par les processeurs principaux comme entrées du programme de commande (le programme de commande est développé sous le logiciel *TRISTATION* et chargé dans les processeurs principaux). Le microprocesseur principal de 32 bits exécute le programme

de commande en parallèle avec les modules processeurs principaux voisins. Cette exécution génère une table des valeurs des sorties basée sur les valeurs des entrées correspondantes, suivant le cahier des charges imposé par le client. Le processeur d'E/S dans chacun des processeurs principaux gère la transmission des données de sortie vers le module de sortie à travers le bus d'E/S.

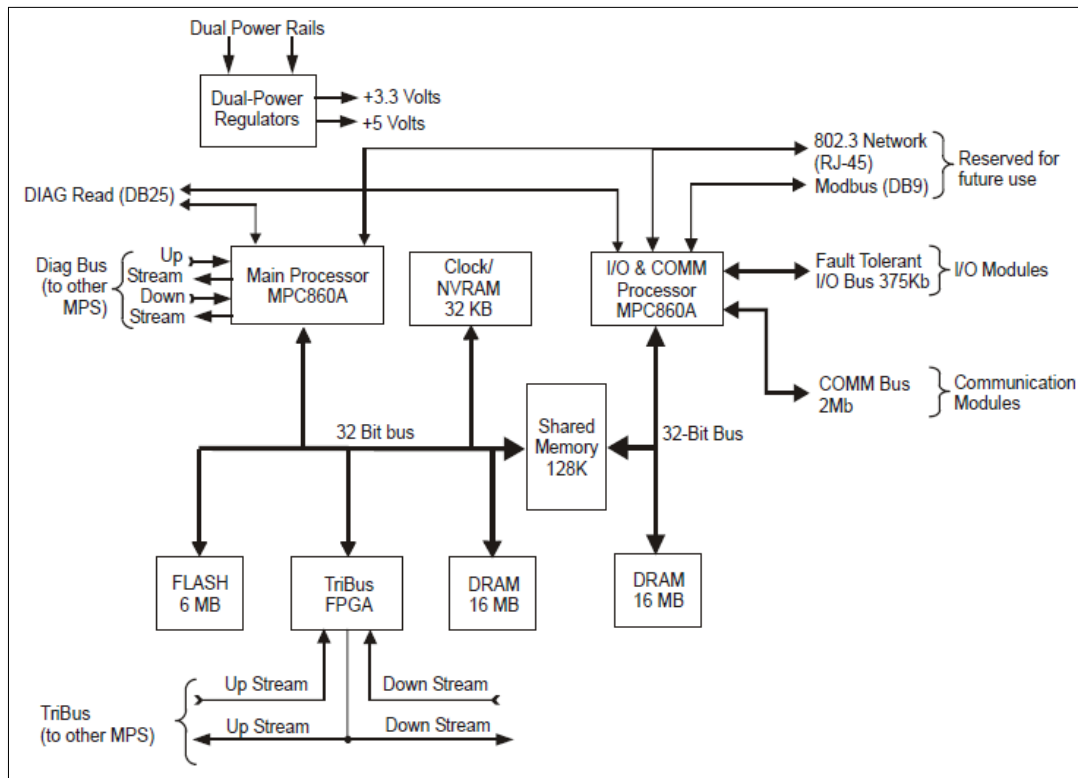


Figure III.9 : Architecture du processeur principal (Model 3008).

En utilisant la table des valeurs de données de sortie, le processeur d'E/S de chaque processeur principal génère des sous-tables, chacune correspondante à un unique module de sortie dans le système. Chacune de ces sous-tables est ensuite envoyée vers la chaîne qui lui est appropriée dans le module de sortie correspondant à travers le bus d'E/S, par exemple, le processeur principal « A » transmet la table appropriée à la chaîne « A » de chaque module de sortie, à travers le bus d'E/S « A ».

Le processeur d'E/S et de communication gère les données échangées entre les processeurs principaux et les modules de communication en utilisant le bus de communication.

Les processeurs principaux sont d'autre part du model 3008, ce model utilise une mémoire volatile « DRAM » de 16 Mégaoctets, qui est utilisée pour le programme de commande de l'utilisateur, les données de séquence d'événements (SOE), les données d'E/S et les tampons de communication et des diagnostics.

Dans le cas d'une perte de l'alimentation externe, l'intégrité du programme de commande de l'utilisateur et des variables est protégée pour un minimum de six mois à partir de la date du défaut de l'alimentation. Les processeurs principaux sont, comme indiqué précédemment alimentés par les modules d'alimentation dual du châssis principal du Tricon, ce qui implique que la défaillance de l'un des deux n'affecte en aucun cas les performances du système, ce qui est l'un des avantages de l'architecture redondante du Tricon. [7]

III.2.3.8. Modules d'alimentation :

Chaque châssis du système Tricon est équipé de deux modules d'alimentation (redondance des modules), l'un comme l'autre sont complètement capables de faire fonctionner le Tricon à plein régime. Chacun de ces deux modules peut être remplacé en ligne. Les modules d'alimentation localisés sur le côté gauche du châssis, convertissent l'alimentation alternative « AC » source en une alimentation directe « DC » appropriée pour tous les modules du Tricon.

Les modules d'alimentation du Tricon sont équipés d'un système de diagnostic préventif contre les surtensions et les conditions de surchauffe nuisibles au bon fonctionnement du système de contrôle, ainsi que d'un régulateur de tension indépendant pour chaque chaîne. D'autre part, un court-circuit désactive le régulateur de tension plutôt que d'affecter le bus d'alimentation. [8]

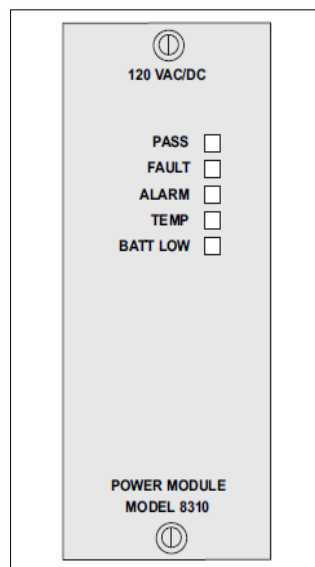


Figure III.10 : Panel frontal du module d'alimentation.

Les modules d'alimentation contiennent des alarmes situées dans le corner gauche inférieur du fond de panier de châssis du Tricon, elles sont actives quand :

- a) Un module est absent du système ou désactivé ;
- b) La configuration hardware du système est en conflit avec la configuration logicielle du même système ;
- c) Un module s'arrête de fonctionner ;
- d) Un des processeurs principaux détecte une erreur ;
- e) Un module d'alimentation déclenche une alarme « bas niveau de batterie » ou de « surchauffe ». [7]

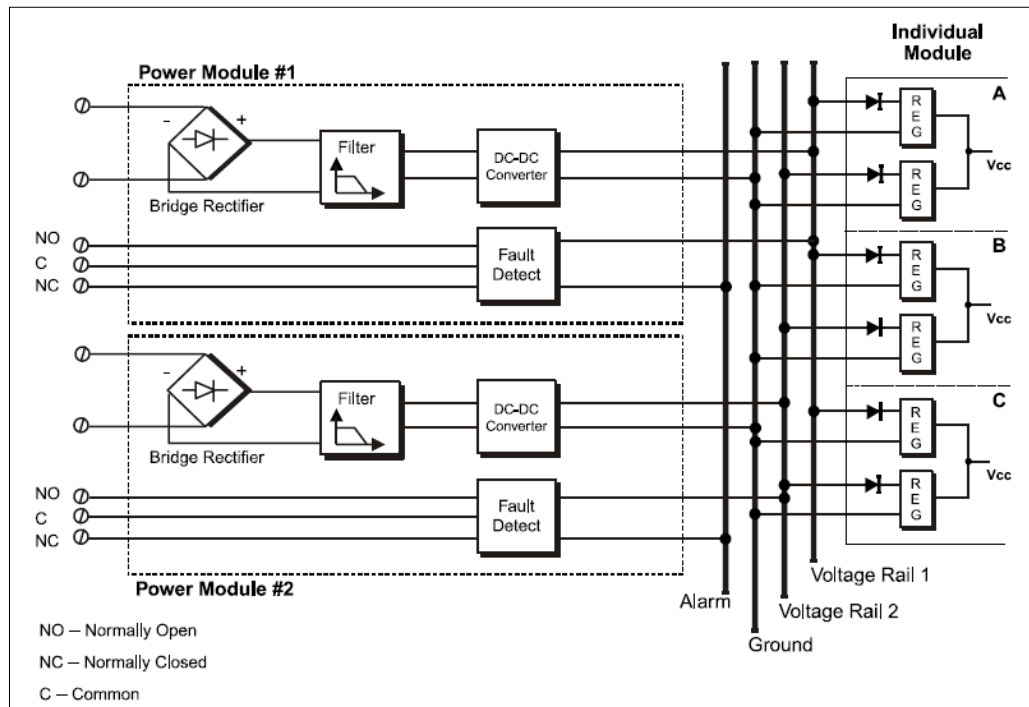


Figure III.11 : Architecture du sous-système d'alimentation.

III.2.3.9. Modules d'entrées :

III.2.3.9.1. Modules d'entrées logiques :

Le Tricon supporte deux types basiques de modules d'entrées logiques (*DI*, Digital Input) : *TMR* ou simple, dans le paragraphe qui suit, nous allons faire une description générale des modules *DI*, suivi de quelques spécificités de chacun des deux types.

Chaque module *DI* héberge trois chaînes identiques (A, B et C) complètement isolées entre elles et fonctionnent indépendamment l'une de l'autre, tel qu'une défaillance de l'une d'elles ne peut en aucun cas influencer sur les deux autres ainsi que sur le fonctionnement du système en général (Figure III.12). Chacune des chaînes est équipée d'un microprocesseur de 8bits nommé « Processeur de Communication d'E/S », qui s'occupe de la communication avec le module processeur principal à qui elle est rattachée.

Chaque chaîne (A, B et C) mesure asynchroniquement les signaux d'entrée de chaque point sur le bornier de raccordement du module, détermine les états respectifs de tous les signaux d'entrée, et place ces valeurs dans trois tables d'entrée A, B et C respectivement. Ensuite, chacune des tables d'entrée est régulièrement interrogée à travers le bus d'E/S par le processeur de communication d'E/S situé sur le module processeur principal lui correspondant. Par exemple, le processeur principal « A » interroge la table d'entrée « A » à travers le bus d'E/S « A ».

Sur les modules *DI* de type *TMR*, tous les chemins critiques du signal sont à 100% triplés afin de garantir une sécurité optimale et un maximum de disponibilité et de fiabilité du système. Chaque chaîne conditionne les signaux indépendamment et assure l'isolation entre les composants du procédé et le Tricon (excepté le module d'entrée haute densité 64 points).

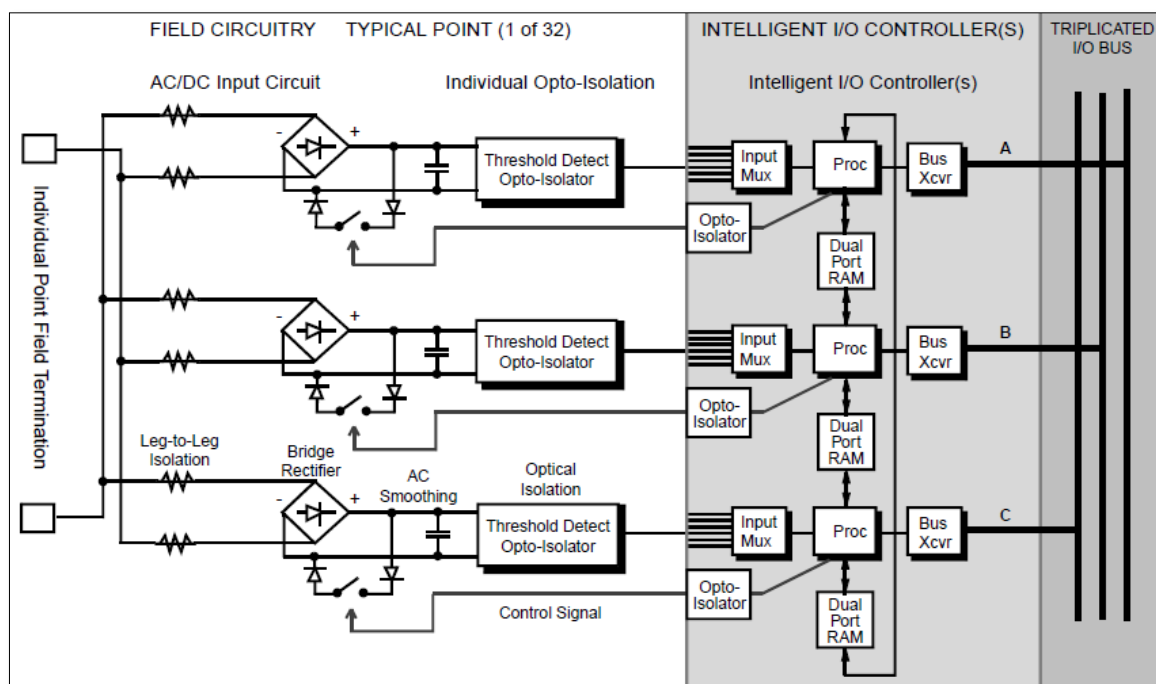


Figure III.12 : Architecture d'un module d'entrée (*DI*) de type *TMR* avec autotest.

Les modèles en tension continue (*DC*) des modules *DI* de type *TMR* sont équipés d'un circuit d'autotest pour détecter les conditions de collage à 1. Depuis, la plupart des systèmes de sécurité sont installés avec la capacité de couper l'alimentation pendant le déclenchement, la capacité de détection du collage à 1 est une caractéristique importante, son principe se base sur le forçage à 0 des trois circuits de chaque chaîne grâce à la fermeture d'un Switch situé sur le circuit électrique d'entrée. D'autre part, le circuit d'autotest détecte tous les collages à 1 et à 0 en moins de 500 ms.

Sur le module *DI*, seulement les portions de chemin du signal qui sont nécessaires pour assurer des opérations sécurisées sont triplées. D'autre part, les modules simples sont optimisés

pour des applications où la réduction du prix est plus importante qu'une disponibilité maximale du système. [7]

III.2.3.9.2. Modules d'entrées analogiques :

Sur le module d'entrée analogique, chacune des trois chaînes mesure asynchroniquement les signaux d'entrées et place les résultats dans une table de valeurs de données d'entrée. Les données de chacune des trois tables d'entrée sont envoyées vers le module processeur principal auquel elles sont associées via le bus d'E/S qui leur sont appropriées. La table d'entrée dans chaque module processeur principal est transmise vers ces deux voisins via le *TRIBUS*. La valeur moyenne est sélectionnée par chaque processeur principal, et la table d'entrées de chaque microprocesseur est corrigée en conséquence. Dans le mode *TMR*, la valeur médiane de la donnée est utilisée par le programme de commande de l'utilisateur.

Chaque module d'entrées analogique est automatiquement calibré en utilisant des tensions de référence multiples lues à travers le multiplexeur. Ces tensions déterminent le gain et la correction nécessaires à apporter afin d'ajuster la lecture du convertisseur analogique/digital (*ADC*).

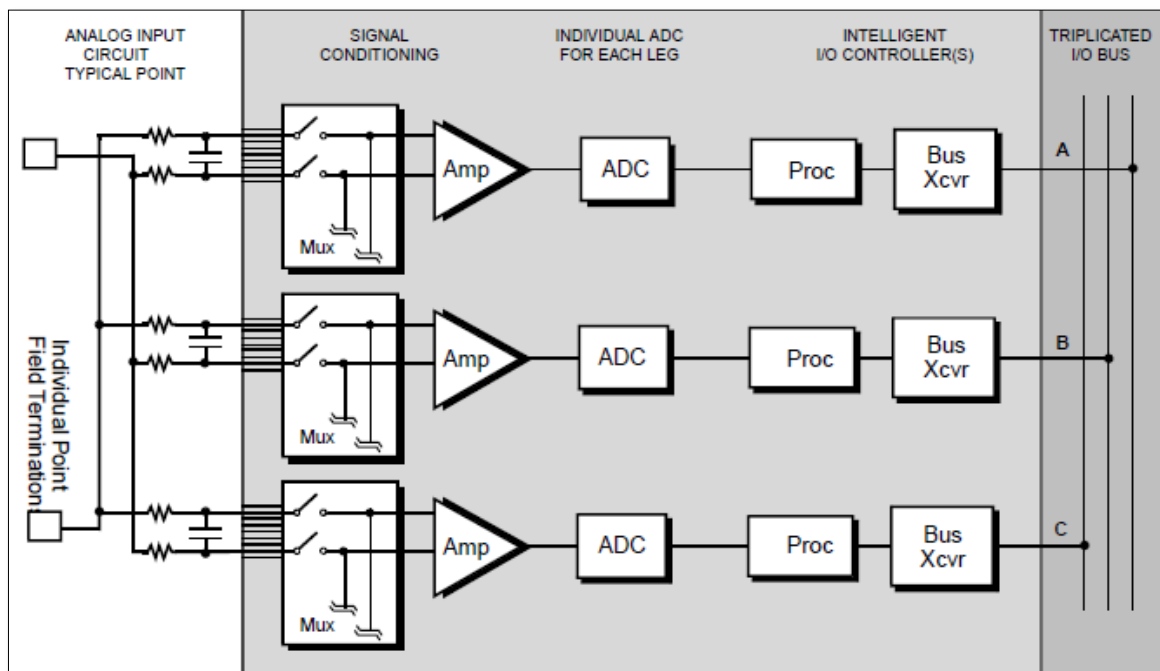


Figure III.13 : Architecture interne d'un module d'entrées analogiques.

Des modules d'entrées analogiques et des borniers de raccordement sont disponibles afin de prendre en charge une large gamme d'entrées analogiques, qu'elles soient isolées ou non-isolées :

0-5 VDC, -5 à 5 VDC, 0-10 VDC, 4-20 mA, thermocouples (types K, J, T, E), et les résistances thermiques (*RTD* : Resistive Thermal Devices). [7]

III.2.3.9.3. Modules d'entrées impulsions :

Le principe de ce module est basé sur l'utilisation de capteurs magnétiques de vitesse installés sur des machines tournantes telles que les turbines ou les compresseurs, ils captent les transitions de tension provenant du transducteur magnétique en entrée, en général une bobine à induction située à proximité d'une roue dentée sur un arbre tournant. La sortie impulsion du capteur est proportionnelle à la vitesse de rotation de l'arbre et au nombre de dents de l'engrenage. Les transitions reçues sont ensuite accumulées durant un temps donné (mesure de fréquence), et le compte qui en résulte est utilisé pour générer une fréquence (*RPM*) qui est transmise aux processeurs principaux. La résolution de mesure des impulsions est de l'ordre de $\frac{1}{2}$ microsecondes.

Le module d'entrées impulsion *PI*, comme illustré sur la figure (III.13), a trois chaînes d'entrées isolées, chaque chaîne traite indépendamment des autres toutes les données d'entrée et les envoie aux processeurs principaux, où elles sont passées par le système de vote juste avant le traitement afin d'assurer une meilleure intégrité des résultats.

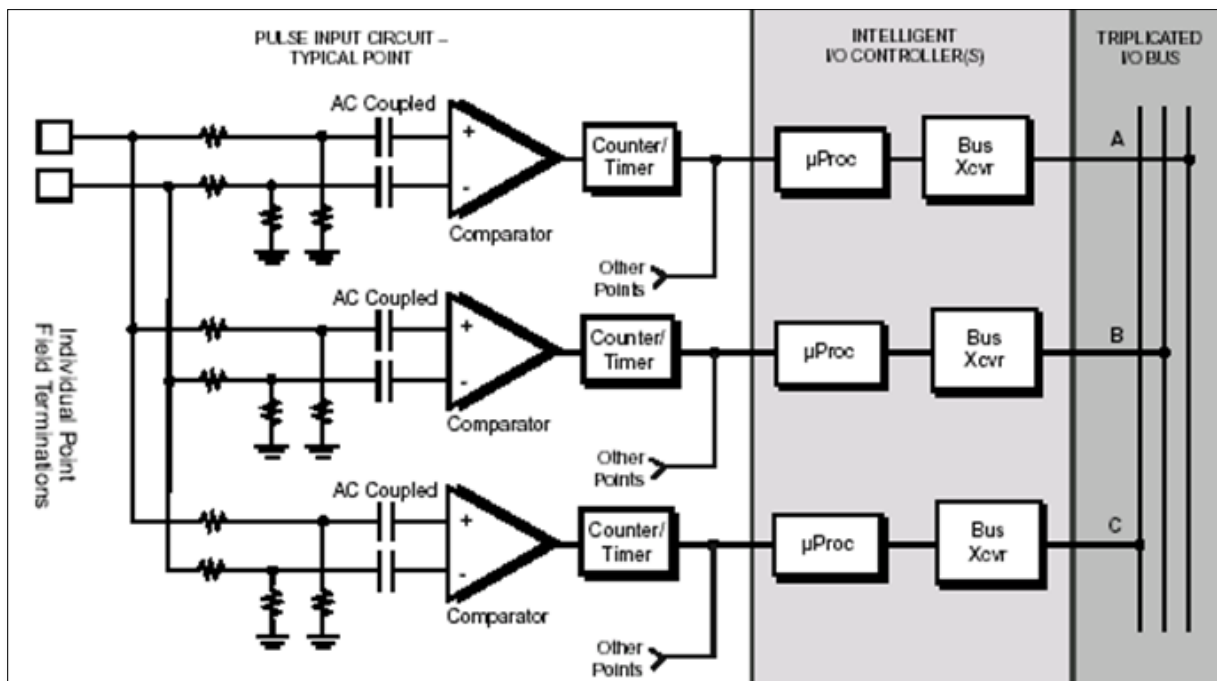


Figure III.14 : Architecture d'un module d'entrée impulsion *TMR*.

Chaque module *PI* procure en continu des diagnostics sur chacune des chaînes, la défaillance de n'importe quel diagnostic sur n'importe quelle chaîne active l'indicateur d'erreur du module, qui active à son tour le contact d'alarme du châssis. [7]

III.2.3.9.4. Modules d'entrées thermocouples :

Comme chacun des autres modules d'entrées *TMR* du Tricon, le module d'entrées thermocouples contient trois chaînes indépendantes de traitement, chacune reçoit les signaux d'entrée en chaque point, accomplit la linéarisation du signal provenant du thermocouple, compense les jonctions froides (Cold junction) et convertit les résultats au degré Celsius et Fahrenheit. Ensuite, chaque chaîne transmet les entiers signés de 16bits aux processeurs principaux à la demande. Afin d'assurer des données correctes pour chaque scan, une valeur médiane est sélectionnée en utilisant un algorithme spécifique. Le module d'entrées thermocouple peut être configuré pour une large gamme de thermocouples et donne des résultats soit en degré Celsius soit en degré Fahrenheit. [8]

III.2.3.10. Modules de sorties :

III.2.3.10.1. Modules de sorties logiques :

Il existe quatre types basiques de modules de sorties logiques : dual, supervisé, à tension continue (*DC*) et à tension alternative (*AC*). Le paragraphe suivant décrit ce type de module en général, suivi par les spécifications des quelques types cités si dessus.

Chaque module de sorties logique abrite trois chaînes identiques et isolées l'une par rapport à l'autre, chacune d'elles inclues un microprocesseur d'E/S, qui reçoit sa table de sortie via le processeur de communication d'E/S sur le processeur principal qui lui correspond. Tous les modules de sortie logiques, excepté les modules *DC* (tension continue) dual, utilisent un système de sortie quadruplé qui effectue un vote des signaux de sortie juste avant d'être appliqués sur l'organe de commande du procédé (Figure III.14). Ce système de vote est basé sur des chemins parallèles et séries qui font passer l'alimentation si les pilotes des chaînes A et B, ou des chaînes B et C, ou bien des chaînes A et C leurs donnent l'ordre de se fermer, en d'autres termes, les pilotes de deux sorties sur trois (2/3) sont votés actifs « *ON* ». Le système de vote quadruplé offre donc une redondance multiple pour tous les chemins critiques du signal, garantissant ainsi une grande sécurité et un maximum de disponibilité.

Chacun des types de module de sortie logiques exécute un diagnostic particulier pour chaque point de sortie du système de vote (*OVD*, Output Voter Diagnostic). La boucle de retour

sur le module de sorties logique permet à chaque microprocesseur de lire la valeur de sortie de chaque point afin de détecter n'importe quelle erreur pouvant survenir.

Les modules de sorties logiques (*DO*) supervisés (3623, 3625) sont équipés de boucles de mesure en tension et en courant, ce qui permet une couverture complète des erreurs aussi bien pour les conditions d'activation pour l'annonce d'un trip (energized-to-trip) que pour les conditions de désactivation pour l'annonce d'un trip (deenergized-to-trip). De plus, le module *DO* supervisé vérifie la présence de la charge (les actionneurs) en effectuant en permanence des tests de continuité de la ligne, et annonce n'importe quel problème pouvant survenir (ex : perte de la charge, circuit ouvert).

Les modules *DO* à tension continue (*DC*) (3603E/T, 3625, 3607E) sont spécialement dédiés pour le contrôle de dispositifs, qui maintiennent leurs points dans un seul état pour de longues durées dans le temps. La stratégie *OVD* pour ce type de module assure une large couverture des fautes et erreurs, même si l'état de commande des points ne change jamais. Sur ce type de module, la transition du signal de sortie arrive normalement durant l'exécution du diagnostic *OVD*, mais ce temps de transition doit être inférieur à 2 Millisecondes, ainsi elle reste transparente pour la plupart des dispositifs de commande (actionneurs). [7]

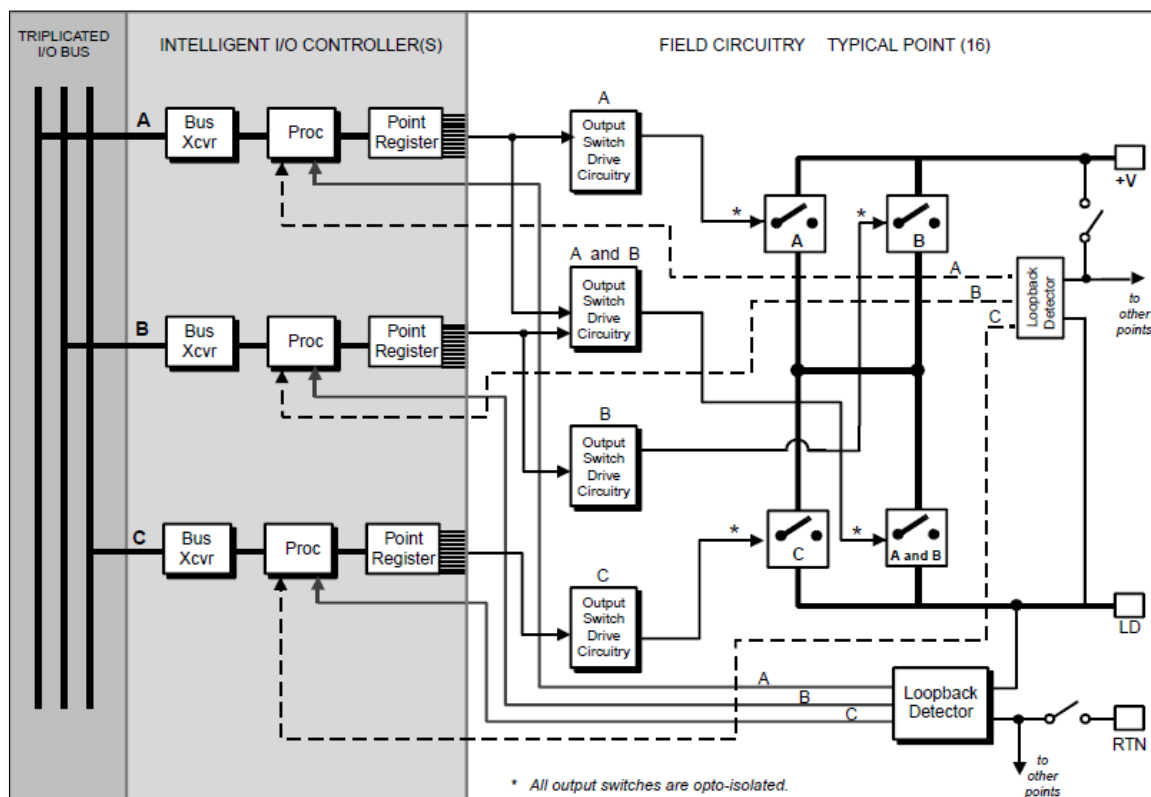


Figure III.15 : Architecture du module de sorties logique (*DO*) supervisé à 16 points.

III.2.3.10.2. Modules de sorties analogiques :

Le module de sortie analogique (AO, Analog Output) reçoit trois tables de valeurs, une pour chaque chaîne en provenance du processeur principal lui correspondant. Chacune des trois chaînes est équipée de son propre convertisseur numérique/analogique (DAC, Digital Analog Output), et une d'elles est sélectionnée pour piloter les sorties analogiques (Figure III.15). L'exactitude de la sortie est régulièrement contrôlée grâce à des circuits de feedback présents sur chaque point, et qui sont lus par les trois microprocesseurs du Tricon.

De plus, des diagnostics continus sont effectués sur chaque chaîne et circuit du module, et la défaillance de l'un de ces diagnostics mène à la désactivation de la chaîne défaillante et en même temps à l'activation de l'indicateur de défaillance, qui, à son tour active l'alarme du châssis. L'indicateur de défaillance du module indique seulement la chaîne défaillante, mais pas le module défaillant. Le module continue à fonctionner correctement même avec la défaillance de deux de ses chaînes. [7]

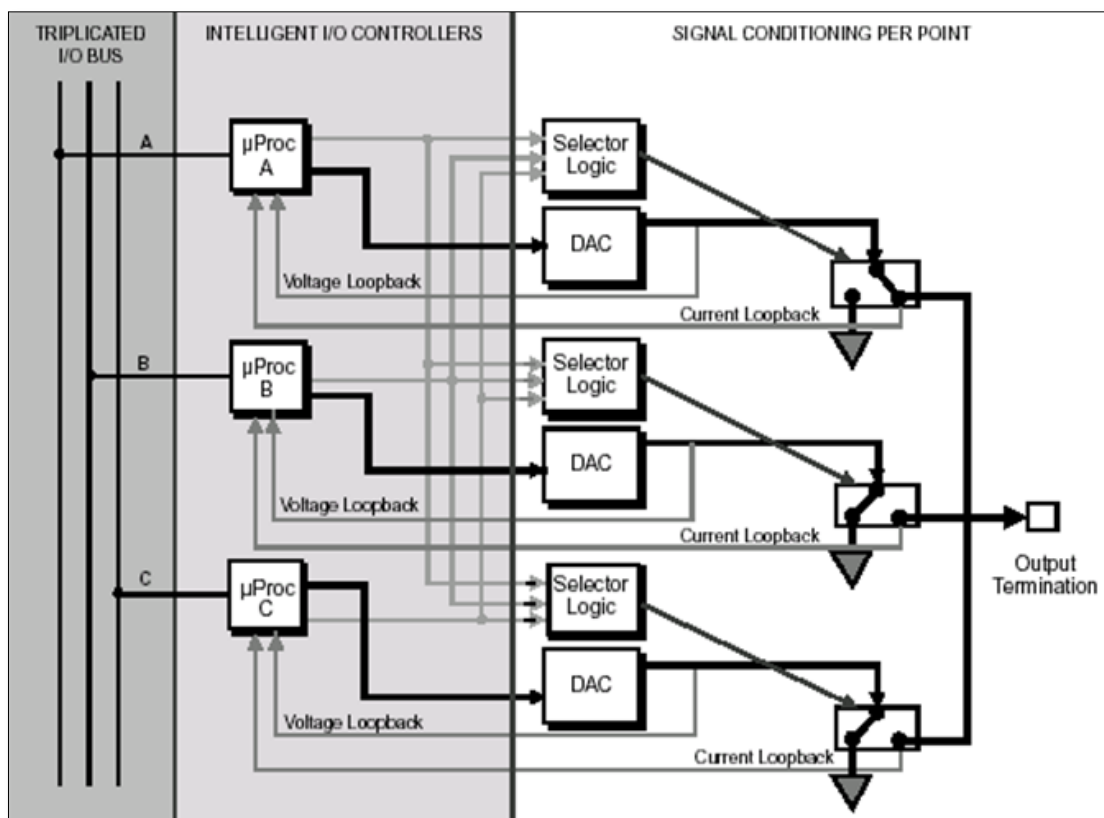


Figure III.16 : Architecture d'un module de sorties analogique du Tricon.

III.2.3.11. Modules de communication :

Le système Tricon peut s'interfacer, grâce aux modules de communication avec le Modbus (Maître ou esclave), d'autres systèmes Triconex, des hôtes externes sur les réseaux Ethernets,

ainsi que des systèmes de contrôle distribués (*DCS*) tel que Foxboro et Honeywell (Figure III.17). Les modules processeurs principaux envoient les données aux modules de communication à travers le bus de communication.

Dans le paragraphe qui suit on citera les principaux modules de communication que peut supporter le système Tricon :

a) Module de communication du Tricon (TCM) :

Le module *TCM* (Tricon Communication Module), qui n'est compatible qu'avec la version v10.0 ou une version plus récente du Tricon, permet au Tricon de communiquer avec la Tristation, d'autres systèmes Tricon, des dispositifs Modbus maîtres ou esclaves ...etc.

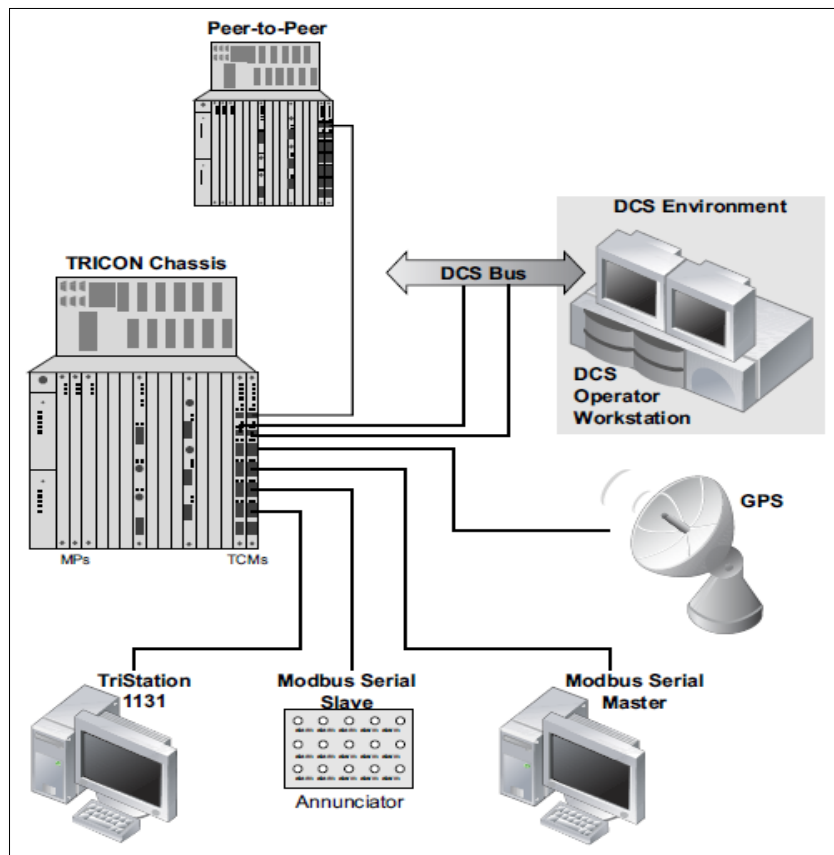


Figure III.17 : Exemple des équipements capables de s'interfacer avec le module de communication du Tricon (*TCM*).

Chaque *TCM* contient quatre ports séries, deux ports réseaux et un port « debug », chaque port série est indexé par sa propre adresse et peut être configuré comme un Modbus master ou esclave. Le port #1 supporte les deux types d'interface Modbus et *GPS*, tandis que le port #4 supporte en plus de l'interface Modbus, l'interface Tristation. Chaque *TCM* tolère un taux de transfère de données total de 460 Kilobits par seconde, pour l'ensemble des quatre ports séries.

Les programmes de commande pour le Tricon utilisent des noms de variables comme identificateurs, mais les dispositifs Modbus utilisent des adresses numériques nommées « *aliases* ».

Ainsi, un alias doit être assigné à chaque nom de variable Tricon qui est en cours de lecture par, ou en cours d'écriture vers le dispositif Modbus. Un alias est un nombre à cinq digits qui représente l'adresse de la variable dans le Tricon, il est assigné dans la Tristation.

Chaque *TCM* contient deux ports réseaux : *NET 1* et *NET 2*, tel que les modèles *4351A* et *4353* sont équipés de deux ports Ethernet (802.3), tandis que les modèles *4352A* et *4354* sont, quand à eux, équipés de deux ports Ethernet à fibre optique. *NET 1* et *NET 2* supportent une large gamme de protocoles qui inclue le protocole *TCP/IP*, *TSAA*, Tristation et *SNTP*.

Un unique système Tricon supporte un maximum de quatre *TCMs*, qui sont logés dans deux slots. Cet arrangement nous donne un total de 16 ports séries et huit ports réseaux d'Ethernet. [7]

b) Module de communication intelligent (*EICM*) :

Le modèle *4119A* du module *EICM* (Enhanced Intelligent Communication Module) permet au Tricon de communiquer avec des dispositifs Modbus maîtres ou esclaves, la Tristation et les imprimantes. Il contient quatre ports séries qui peuvent opérer simultanément. Chaque port série peut être configuré comme Modbus maître, sachant qu'un châssis Tricon peut comporter plus de sept Modbus maîtres. Un unique système Tricon comprend un maximum de deux *EICMs*, qui doivent être logés dans un seul slot (La caractéristique hot-spare ou pièce de rechange à chaud n'est pas disponible pour le module *EICM*). Chaque port série est doté de sa propre adresse et supporte ou bien l'interface Modbus ou bien l'interface Tristation.

D'autre part, chaque *EICM* supporte un débit de données total de 57 Kilobits par seconde (pour l'ensemble des quatre ports séries du module). [7]

c) Module de gestion de sécurité (*SMM*) :

Le modèle *4409* du module *SMM* (Safety Manager Module) agit comme une interface entre le contrôleur Tricon et le réseau de contrôle universel Honeywell (*UCN*, Universal Control Network), un des trois principaux réseaux du système de contrôle distribué *TDC 3000*.

Le module *SMM* communique les informations du processus pour leurs utilisations sur le *TDC 3000*, ainsi, il transmet les données du Tricon (incluant les variables systèmes) et les informations de diagnostic à l'opérateur au niveau de la station de travail, sous la forme d'un affichage qui est familier aux opérateurs de la station Honeywell.

Les principales fonctions du module *SMM* qui sont disponibles au niveau du *TDC 3000* sont :

- Traite les points d'E/S critiques et communique les résultats au système de contrôle distribué (*DCS*) ;
- Traite les alarmes du Tricon et les envoies à leurs destinations respectives au niveau du *DCS*, défini au préalable par l'utilisateur (console, imprimante, etc.) ;
- Lire/écrire les données afin de satisfaire les requêtes du *DCS* ;
- Lit les diagnostics du Tricon afin qu'ils soient affichés sous le *DCS* ;
- Communication Peer-to-Peer avec quelques systèmes de sécurité, chacun contenant un module *SMM* (le *DCS* peut utiliser les données partagées afin d'alerter les systèmes Tricon en aval d'un changement signifiant du processus) ;
- Séquence d'événements (*SOE*) : transmet les données d'événements du Tricon pour leurs affichages dans l'historique, afin d'aider à déterminer la cause d'une alarme ou d'un trip et augmente la durée de fonctionnement d'un processus. [7]

d) Module de communication réseau (*NCM*) :

Avec le modèle 4329 du module *NCM* (Network Communication module) installé, le Tricon peut communiquer avec les autres systèmes Tricon et les hôtes externes sur le réseau Ethernet (802.3). Le module *NCM* supporte un nombre de protocoles spécifiques au Triconex et différentes applications telles que les applications de l'utilisateur, comportant ceux qui utilisent le protocole *TSAA*.

Le module *NCM* est équipé de deux connecteurs *BNC* comme ports : *NET 1* tolère les protocoles Peer-to-Peer et de synchronisation d'horloge, et le connecteur *NET 2* qui tolère la gestion du réseau ouvert aux systèmes externes utilisant les applications du Triconex telles que la Tristation, *SOE*, le serveur *OPC* et le serveur *DDE* ou les applications de l'utilisateur.

Le module *NCM* est compatible avec la norme d'interface électrique *IEEE 802.3* et opère avec un débit de 10 Mégabits/s, il est connecté avec des ordinateurs hôtes externes par le moyen d'un câble coaxial (*RG58*) à des distances typiques allant jusqu'à 185 mètres. [7]

e) Module de communication avancée (*ACM*) :

Le modèle 4609 du module *ACM* (Advanced Communication Module) agit comme une interface entre le Tricon et les systèmes « Foxboro Intelligent Automation (*I/A*) », se situant par rapport au système Foxboro comme un nœud de sureté. Le module *ACM* communique les informations du processus à l'ensemble du réseau pour des fins d'utilisation sur les systèmes de série *I/A*, transmettant toutes les données (y compris les variables systèmes) et les informations de diagnostic à l'opérateur au niveau de la station de travail, sous forme d'un affichage. Le module *ACM* s'occupe des fonctions suivantes :

- Prend en main les points d'E/S critiques et envoie les résultats aux systèmes *I/A* en utilisant la base de données de management d'objets (*OMDB*) ;
- Traite les alarmes du Tricon et les communique aux destinations prédéfinies par le programmeur (consoles, imprimante, etc.) ;
- Lire/écrire les données afin de satisfaire les requêtes des systèmes *I/A*;
- Lit les diagnostics du Tricon afin qu'ils soient affichés sous les stations de travail des systèmes *I/A*.

Le module *ACM* supporte aussi les protocoles et les applications de Triconex suivants sur des ordinateurs hôtes externes connectés à un port *BNC* séparé :

- Le protocole Tristation pour le logiciel Tristation ;
- Le protocole *TSAA* pour les applications Triconex ;
- *TCP/IP* pour les applications de l'utilisateur sur des hôtes externes. [7]

f) Module d'interface bus hiway (*HIM*) :

Le modèle 4509 du module *HIM* (Hiway Interface Module) agit comme une interface entre le contrôleur Tricon et le système de contrôle *TDC 3000* de Honeywell, par le moyen d'un point d'accès hiway et d'un réseau de contrôle local (*LCN*, Local Control Network).

Ce module offre une possibilité d'interfacer un plus grand nombre de dispositifs, tels que les ordinateurs et les stations de travail, afin de communiquer avec le système Tricon. De ce fait, il est équipé de connections *BNC* redondantes, et procure huit adresses hiway. [7]

III.3. Protocoles de communication du Triconex :

Un protocole est un ensemble de règles qui régissent l'échange de données entre deux dispositifs ou plus. On distingue pour le Triconex cinq types de protocole : Pair à Pair (peer to peer), synchronisation de temps, protocole Tristation, *TSAA* et le protocole *DDE*.

a) Protocole « Pair à Pair » :

Le protocole Pair à Pair est un modèle de réseau informatique proche du modèle client-serveur mais où chaque client est aussi un serveur [11], il permet aux systèmes Tricon d'échanger des informations sur l'état et la sécurité du processus industriel sur le réseau. [7]

b) Protocole « Synchronisation de temps » :

C'est un protocole utilisant la configuration maître/esclave, utilisé pour maintenir une base de temps compatible pour tous les systèmes Tricon interconnectés entre eux par le moyen du module *TCM* ou *NCM*. [7]

c) Protocole « Tristation » :

C'est un protocole basé sur une configuration maître/esclave, dans lequel le maître (la station Tristation) communique avec l'esclave (le Tricon) à travers un réseau Ethernet. Cependant, le protocole « Tristation » supporte un maximum de 31 systèmes Tricon, le maître peut communiquer avec seulement un esclave à la fois. [7]

d) Protocole « TSAA » :

Le protocole « TSAA » est un protocole maître/esclave dans laquelle le maître (l'hôte externe) communique avec un ou plusieurs esclaves (Tricon) à travers un réseau ouvert. Il spécifie les interfaces, les commandes et les structures de données utilisés pour développer les applications qui envoient et reçoivent les données vers et du système de contrôle Tricon.

Le protocole *TSAA* est utilisé pour développer les types d'applications suivantes :

- Les applications de contrôle (lecture/écriture) telles que les interfaces opérateurs qui demande l'accès au Tricon, et la possibilité d'écrire des données sur sa mémoire de travail ;
- Les applications de supervision (lecture seule) telles que l'archivage des données (*SER*, Sequence Event Recorder), le journal d'événements ou l'affichage d'état qui récupère les données du Tricon. [7]

e) Protocole « DDE » :

Le protocole « *DDE* » permet aux applications clientes *DDE* Windows comme Excel par exemple, de lire et d'écrire des données dans des registres mémoires du Tricon. [7]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné une description générale sur l'automate programmable Triconex. Nous avons introduit ce chapitre en donnant une brève historique sur l'automatisme. Ensuite, nous avons passé en revue les différents modules qui composent cet automate, en décortiquant leurs différentes caractéristiques, et le rôle que joue chacun d'eux au sein du système Tricon. Nous avons aussi mis l'accent sur l'architecture *TMR*, en précisant au passage son importance dans la préservation de l'intégrité et de la disponibilité du système Tricon.

Au final, ce chapitre nous servira comme base d'appui pour le cinquième et dernier chapitre, qui sera consacré à la mise en œuvre de la solution programmable qui pilotera le système Turbo-Expander.

CHAPITRE IV :

*Présentation des outils de
programmation Tristation et
InTouch*

Introduction :

Après une présentation générale de la machine tournante « Turbo-Expander » et la description du système de contrôle Triconex, dans le présent chapitre, nous allons donner une description générale du logiciel de programmation « Tristation », et du logiciel de supervision « InTouch », en présentant leurs principales applications et les différentes étapes pour créer et développer un projet.

IV.1.Présentation du logiciel de programmation Tristation 1131 :

Le logiciel de programmation Tristation 1131 est un outil intégré de programmation du système Tricon, appartenant à la firme Britannique « *INVENSYS* », pour le développement, et la simulation d'applications de contrôle des processus industriels critiques. La configuration minimale requise du *PC* utilisé, pour faire fonctionner correctement ce logiciel est la suivante :

- a) Microsoft Windows *NT*, 98, 2000 et *XP* ;
- b) Processeur Pentium 75 Mhz minium, 120 Mhz ou plus recommandé ;
- c) Une *RAM* de 32 Mo ;
- d) Disque dur de 500 Mo minimum, 1 Go recommandé (avec 100 Mo d'espace mémoire libre sur le disque dur).

La Tristation 1131 permet la réalisation des tâches suivantes ;

- a) Création des programmes, fonctions et blocs de fonction ;
- b) Définition de la configuration du contrôleur Tricon ;
- c) Déclaration des instances, aussi appelées « *Tagnames* » ;
- d) Test des applications dans l'émulateur ;
- e) Téléchargement et affichage des applications.

IV.1.1.Caractéristiques de la Tristation 1131 :

Les principales caractéristiques du logiciel Tristation 1131 sont :

- a) Utilise quatre langages de programmation, conforme à la norme *CEI 1131-3* relative aux langages de programmation pour les *API* ;
- b) Fonctionne avec les systèmes d'exploitation Windows *NT/98/2000/XP* ou version plus récente;

- c) Compatible avec un grand nombre de types de données comme :
- Les entiers 16 et 32 bits ;
 - Les réels à virgule flottante 32 et 64 bits ;
 - Les chaînes de caractères et les bits ;
 - Les durées, date, heure et jour.
- d) Contient des bibliothèques de fonctions prédéfinies, des fonctions blocs et des types de données qui peuvent être utilisés. les bibliothèques qu'il contient sont les suivantes :
- La bibliothèque standard *IEC 61131-3*, contenant un ensemble de fonctions blocs ;
 - La bibliothèque Triconex qui contient un ensemble de fonctions Triconex et des fonctions blocs ;
 - La bibliothèque Tricon qui contient un ensemble de fonctions et de fonctions blocs qui sont spécialement utilisées avec le système de contrôle Tricon.
- f) Permet aux utilisateurs de développer leurs propres fonctions, blocs fonctionnels, programmes et bibliothèques personnalisées ;
- g) Permet l'émulation hors ligne des programmes sur le poste de travail Tristation 1131 ;
- h) La définition des noms (tagnames) est limitée à 31 caractères ;
- i) L'arborescence de la configuration matérielle permet aux utilisateurs de configurer facilement chaque châssis et les modules d'E/S associés d'un système Tricon ;
- j) Compatibilité des connexions *DDE* avec l'émulateur à partir d'autres applications clientes *DDE* (Ex : InTouch);
- k) Possibilité de connexion de la Tristation au système Tricon avec une liaison série *RS232/422* (via le protocole *MODBUS*), directement par le module *EICM* ou *ACM* ou via un réseau *802.3* supporté par les modules *NCM* ou *ACM* ;

IV.1.2.Langages de programmation de la Tristation 1131 :

La Tristation comporte trois langages de programmation :

- a) Langage *FBD* (Fonction Block Diagram) ;
- b) Langage à contact *LD* (Ladder Diagram) ;
- c) Langage *ST* (Structured Text) ;

Un langage de programmation optionnel, le *CEMPLE* (Cause and Effect Matrix Programming Language Editor) utilise la méthodologie de la matrice cause et effet (*CEM*).

IV.1.2.1. Langage *FBD* :

Le langage *FBD* est un langage graphique qui correspond aux diagrammes de circuit (Figure IV.1), ses fonctions sont schématisées par des blocs qui sont reliés ensemble pour former un circuit. Les liaisons permettent de transférer les données binaires et autres types de données entre les blocs.

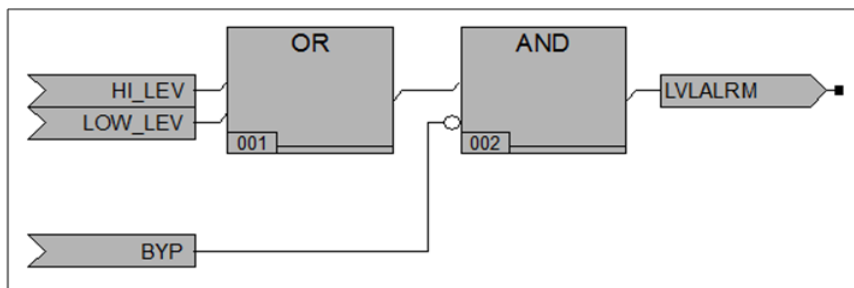


Figure IV.1 : Réseau *FBD* simple.

IV.1.2.2. langage *ST* :

Le langage *ST* (Text Structure) est un langage textuel de programmation de haut niveau, qui est similaire au langage *PASCAL* (Figure IV.2), ce langage admet des expressions arithmétiques et booléennes ainsi que des structures de programmation telles que la structure de test conditionnelle (*IF.....THEN....ELSE*). Le langage texte structuré (*ST*) contient aussi des fonctions blocs qui peuvent être directement utilisées dans le programme.

```

PROGRAM ST_1

  VAR_EXTERNAL
    Water_High : BOOL ;
    Water_LOW : BOOL;
    Alarm : BOOL ;
    Q : BOOL ;
  END_VAR

  VAR_
    Reset : BOOL;
    Preset_Value : BOOL;
    Current_Value : INT;
    CTU Block : CTU;
  END_VAR

  (* First Network *)
  Alarm := Water_High OR Water_Low ;
END_PROGRAM
  
```

Figure IV.2 : Langage *ST*.

IV.1.2.3.Langage *LD* :

Le langage *LD* (Ladder Diagram) est un langage graphique qui utilise un ensemble de symboles standards représentant la logique à relais (Figure IV.3). Les éléments basiques qu'utilise ce langage sont les bobines et les contacts, connectés entre eux par des liaisons afin de réaliser des fonctions plus ou moins complexes. Cependant, les liaisons utilisées dans ce cas sont différentes des liaisons utilisées dans le langage *FBD*, vue que dans ce cas leur rôle principal est le transfert d'informations binaires entre les éléments qu'ils relient, ce qui n'est pas le cas dans le langage *LD*.

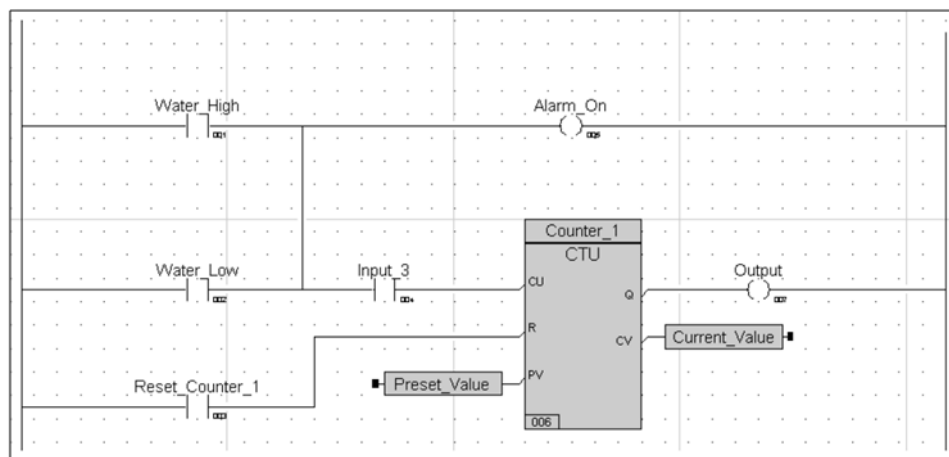


Figure IV.3 : Réseau *LD* (Ladder Diagram).

IV.1.2.4.Langage *CEMPLE* :

Le langage *CEMPLE* (Cause and Effect Matrix Programming Language Editor) est un langage de programmation graphique de haut niveau dans lequel on manipule une matrice à deux dimensions, par laquelle on peut associer un problème dans un processus avec un ou plusieurs actions correctives (Figure IV.4). Le problème est pris dans ce cas comme la cause et l'action quand à elle est considérée comme l'effet, d'où le nom « Matrice à cause et effet ». La matrice associe une cause avec un effet dans l'intersection de la ligne des causes et de la colonne des effets.

IV.1.3.Développement d'une stratégie de contrôle :

La Tristation permet un certain nombre d'options pour le développement de projets, qui diffèrent selon le langage de programmation utilisé. Tous les projets sont basés sur trois éléments principaux : les programmes, les fonctions, et les fonctions blocs.

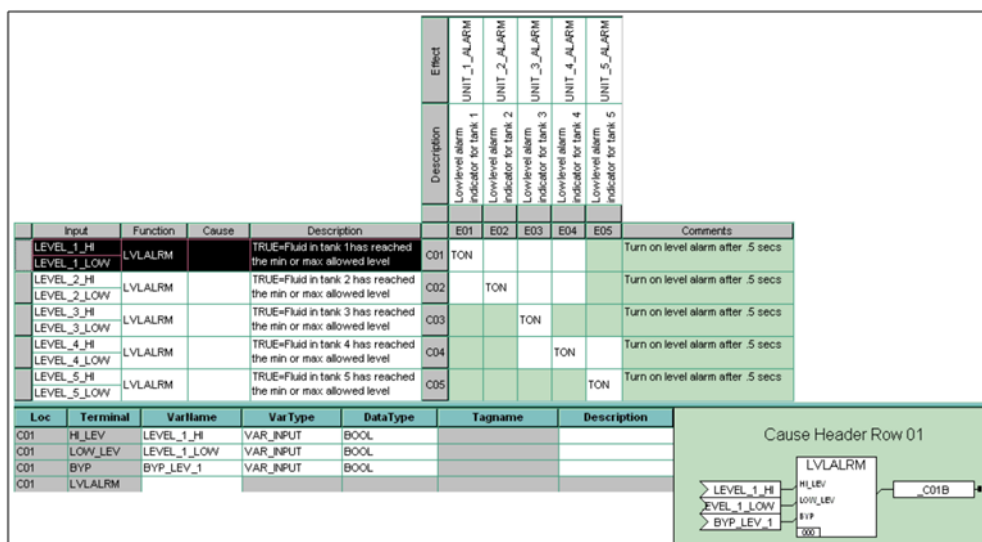


Figure IV.4 : Langage CEMPLE.

Une stratégie de contrôle inclut l’organisation ou le partitionnement de la logique en une série de programmes exécutables qui contrôlent toute les opérations nécessaires au projet. Pour ce faire, on a besoin de déterminer :

- Le type de l’application : Sécurité (Safety), Contrôle (Control) ou bien une application impliquant les deux en même temps ;
- Le nombre de programmes ;
- Quand créer des fonctions blocs ;
- Quand créer des fonctions simples.

a) Détermination du type d’application :

Une application peut contenir uniquement des programmes de sécurité, ou bien uniquement des programmes de contrôle, ou bien des programmes qui combinent les deux en même temps :

- Application de sécurité :
 Une application de sécurité est créée afin de sécuriser un processus quand des conditions initialement prédéterminées sont violées. Ce type d’application est aussi appelé *ESD* (Emergency Shutdown System) ou bien *SIS* (Safety Instrumented System).
- Application de contrôle :
 Une application de contrôle est créée dans le but de contrôler un processus, et on utilise dans ce cas des fonctions de contrôle, ou bien des fonctions de contrôle et de sécurité. Toutefois, les instances de variables (tagnames) doivent être spécifiées comme variables de contrôle.
- Application de contrôle et de sécurité :
 Une application de sécurité et de contrôle englobe les deux composantes de sécurité et de contrôle en même temps.

b) Détermination du nombre de programmes :

Le programme est l'élément exécutable de plus haut niveau dans un projet. Un projet typique sous Tristation est partitionné en de multiples programmes basés sur l'action des unités particulières dans le processus contrôlé.

c) Quand créer des fonctions blocs :

Une fonction bloc peut invoquer plusieurs fonctions simples ou d'autres fonctions blocs. La création de ce genre d'entité devient nécessaire quand un ensemble de lignes de commande sont invoquées à plusieurs reprises dans le programme de commande.

d) Quand créer des fonctions simples :

La fonction simple, telle la fonction bloc, peut être utilisée afin d'implémenter des opérations répétitives standards, cependant, celle-ci, ne retourne qu'un seul et unique résultat et contrairement aux fonctions blocs, ne retient pas les données du scan en cours pour le prochain scan.

Par ailleurs, une fonction peut être extensible ou bien non-extensible. Une fonction extensible peut avoir plusieurs entrées telle que la fonction « *ADD* » qui peut avoir deux entrées ou plus, en revanche, une fonction non-extensible a un nombre fixe d'entrées.

IV.1.4. Création d'un projet sous Tristation :

Pour la création d'un nouveau projet sous Tristation, il y'a des opérations qui doivent être préalablement définis, avant de commencer l'écriture du programme logique de contrôle. L'organigramme de la Figure (IV.6) indique la procédure à suivre pour créer un nouveau projet.

Dans ce qui suit, nous détaillerons les différentes étapes à entreprendre pour la création d'un nouveau projet sous Tristation :

Quand on crée un nouveau projet, automatiquement Tristation met par défaut le nom de l'utilisateur « *MANAGER* », et le mot de passe « **password** » qui seront demandés à chaque tentative d'accès au projet, toutefois, ces deux paramètres peuvent être changés par l'utilisateur.

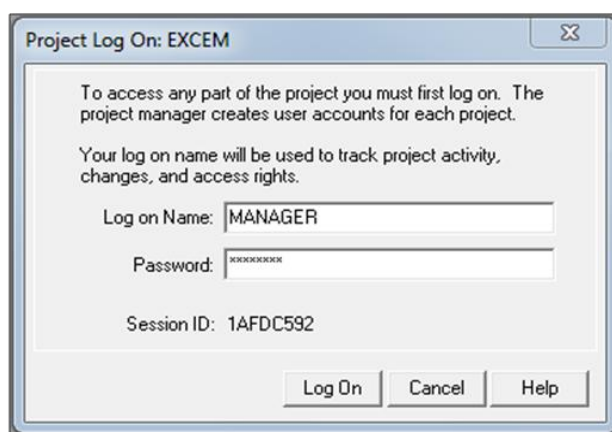


Figure IV.5 : Fenêtre d'identification de l'utilisateur.

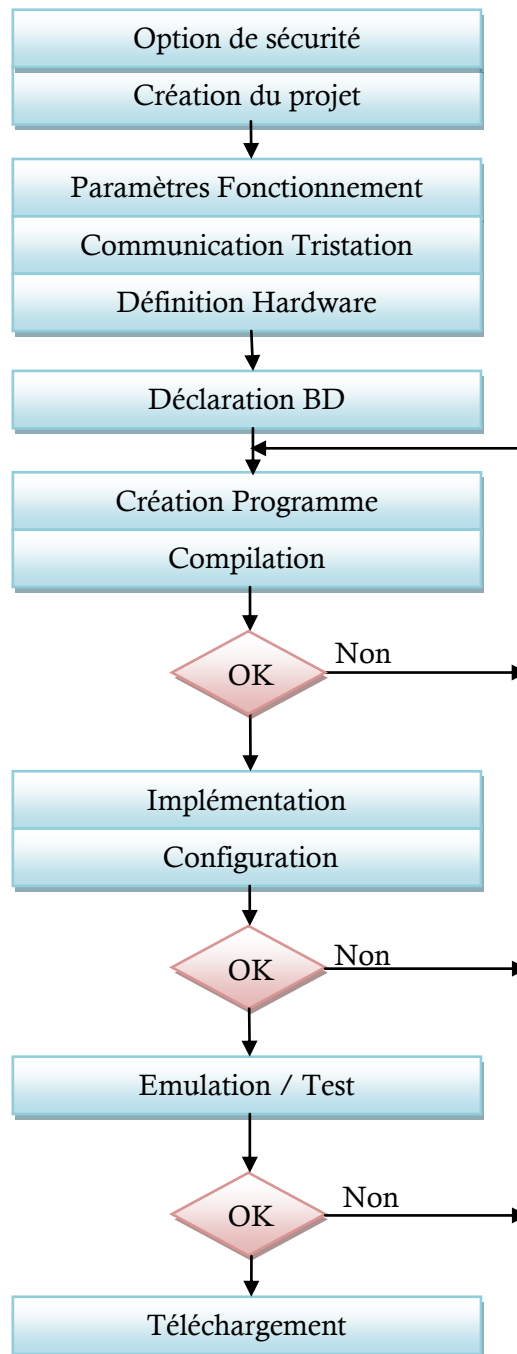


Figure IV.6 : Procédure de travail sous Tristation.

a) Ouvrir Tristation 1131, à partir du menu Démarrer, ensuite cliquer sur « **New Project** » localisé dans le menu File sur la barre d'outils de l'éditeur (Figure IV.7).

Sélectionner *Tricon* comme plateforme (Figure IV.8), ensuite cliquer *OK* pour continuer. Une fenêtre d'enregistrement du projet apparaît (Figure IV.9). Entrer le nom du projet dans le champ « **File Name** », ensuite cliquer sur « **Save** ». Le nom du projet ne peut contenir que les lettres majuscules, minuscules et les chiffres, et sa longueur maximale est de 31 caractères.

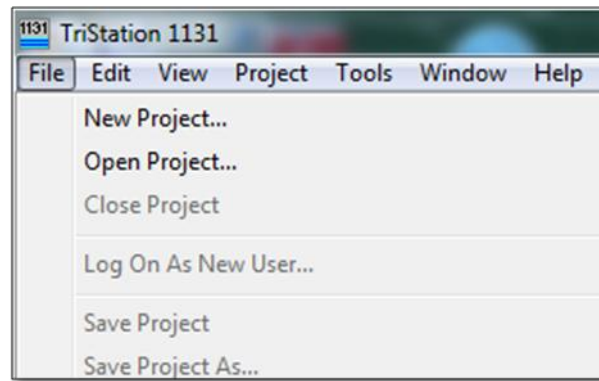


Figure IV.7 : Nouveau projet.

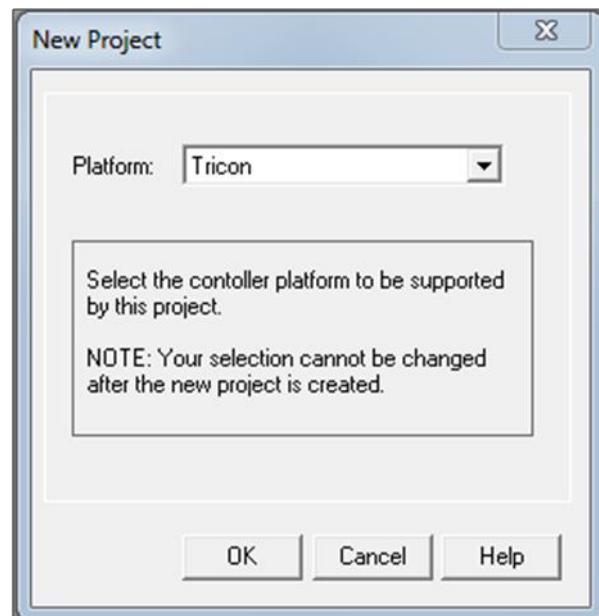


Figure IV.8 : Sélection de la plateforme de travail.

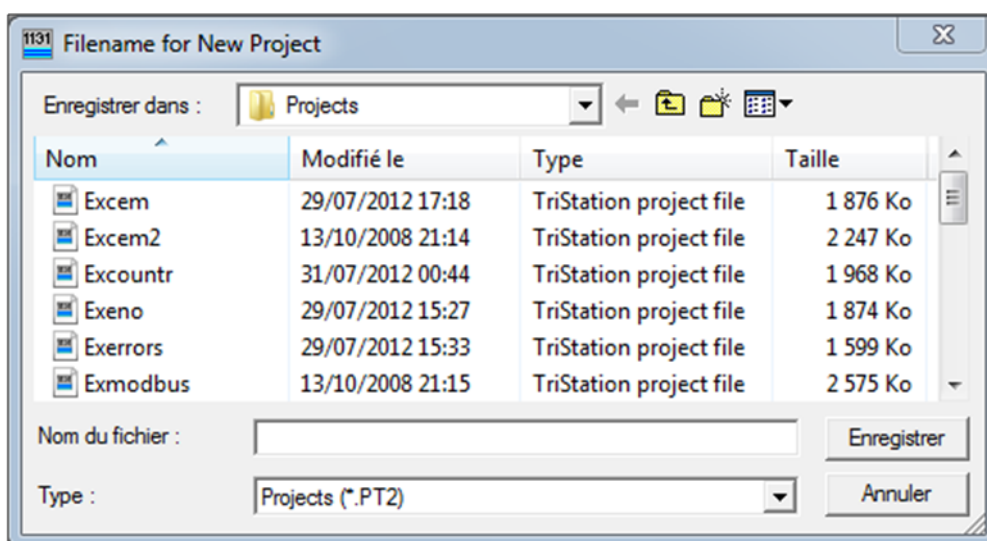


Figure IV.9 : Enregistrement du projet.

b) La Tristation signale que l'import des bibliothèques s'est effectué sans erreur (figure IV.10).

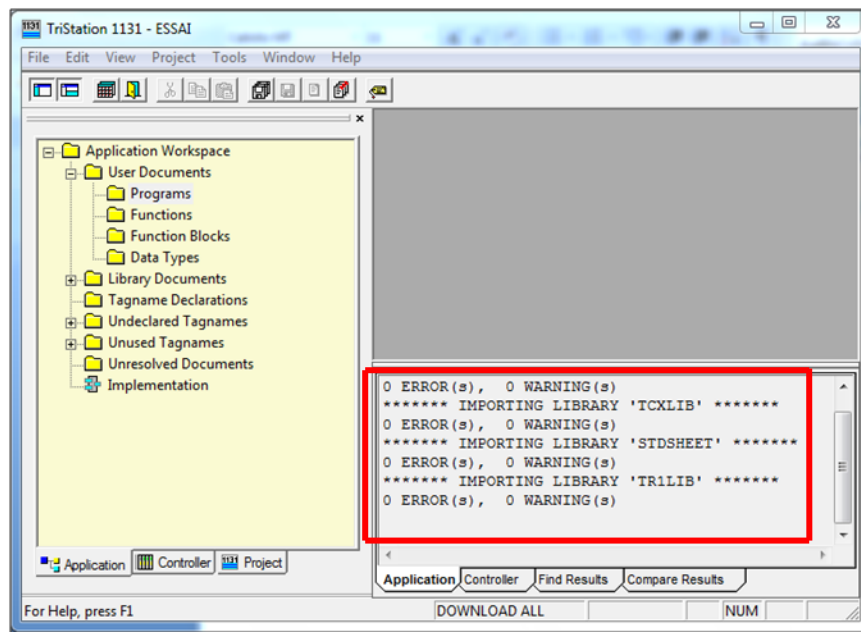


Figure IV.10 : Chargement des bibliothèques standards dans le projet.

IV.1.5. Configuration du Tricon :

Après la création de l'application, le système de contrôle Tricon doit être configuré en définissant ces configurations systèmes dans le volet « **Controller** » (Figure IV.11).

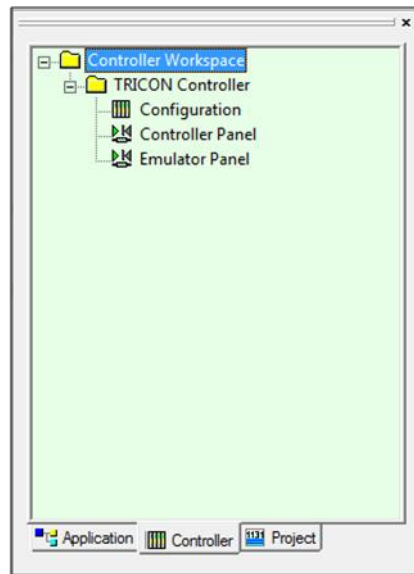


Figure IV.11 : Volet de configuration du Tricon.

La configuration du système est ainsi établie par :

- Etablissement des paramètres d'exploitation ;
- Allocation mémoire et hardware ;
- Configuration des paramètres de communication.

Cependant, dans ce chapitre nous allons nous limité à la configuration de l'allocation mémoire et hardware, selon les besoins liés à la réalisation de notre projet.

- Sélectionner le volet « **Configuration** », ce qui ouvrira la fenêtre donnée par la Figure IV.12.

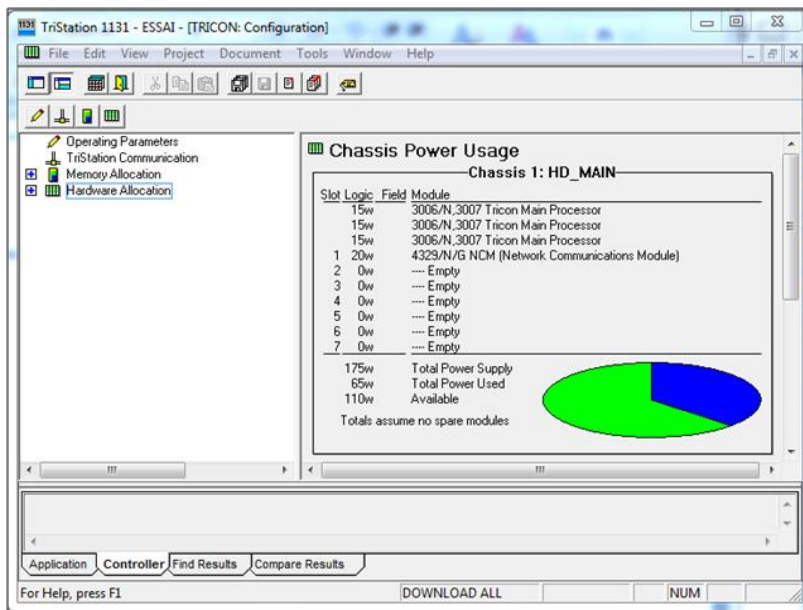


Figure IV.12: Allocation Hardware.

IV.1.5.1.Allocation hardware :

A partir de cette fenêtre l'utilisateur procédera à la configuration hardware du système Tricon, en sélectionnant un à un les différents modules qu'il comporte. La Figure IV.13 illustre cette configuration.

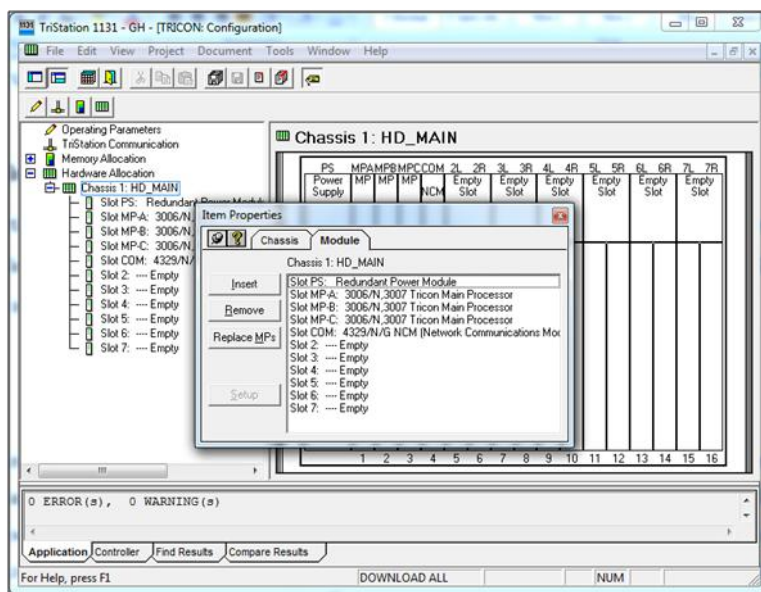


Figure IV.13 : Configuration du châssis Tricon.

IV.1.5.2.Allocation mémoire :

Initialement, la quantité de mémoire allouée aux variables d'entrée et de sortie est déterminée par le nombre et le type des modules d'E/S configurés dans le projet Tristation 1131. D'autre part, une quantité de mémoire est allouée par défaut aux variables mémoires, quand un projet Tristation est créé, cette quantité peut s'avérer insuffisante dans des cas où le nombre de variables mémoires est important, la procédure suivante indique comment changer les paramètres de l'allocation de mémoire :

- a) Dans le projet, cliquer sur l'onglet « **Controller** » ;
- b) Double clic sur « **Configuration** » ;
- c) Double clic sur « **Memory Allocation** » ;

La fenêtre qu'on obtient après l'exécution de la procédure ci-dessus est donnée par la Figure IV.16a.

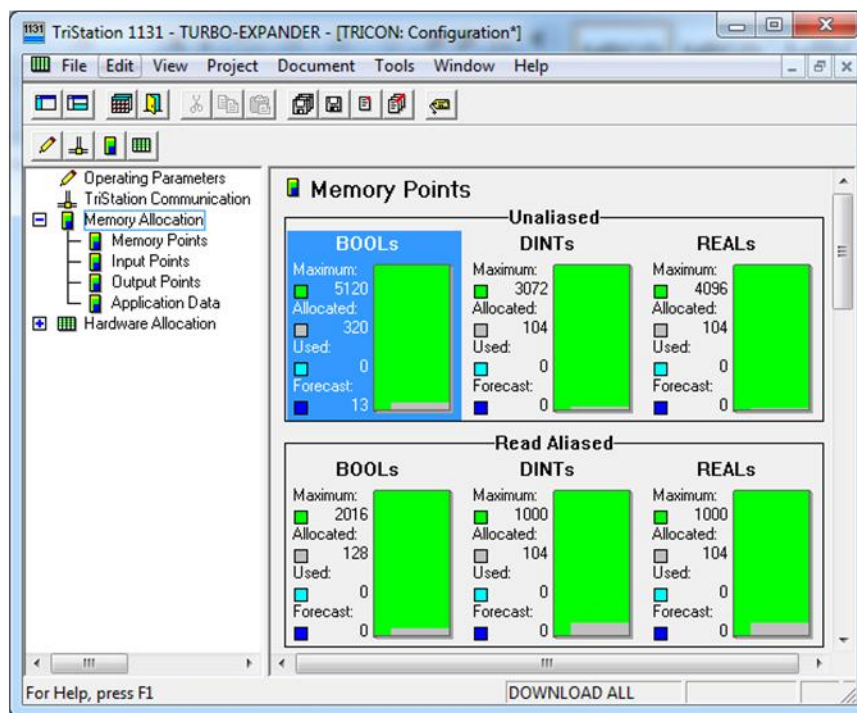


Figure IV.16a : Fenêtre de l'allocation de mémoire.

- d) Double clic sur le type de variable que vous voulez changer. La fenêtre illustrée sur la Figure IV.16b est affichée ;
- e) Changer la quantité de mémoire allouée grâce à la barre située à gauche de la fenêtre.

IV.1.6.Edition du programme :

Le programme est une unité d'organisation de haut niveau dans un projet. Il est composé d'un ensemble de fonctions simples et de fonctions blocs qui constituent la logique pour les

commandes exécutées par le système de contrôle. Dans chaque programme, on peut définir un maximum de 2000 variables (entrées, sorties, locales).

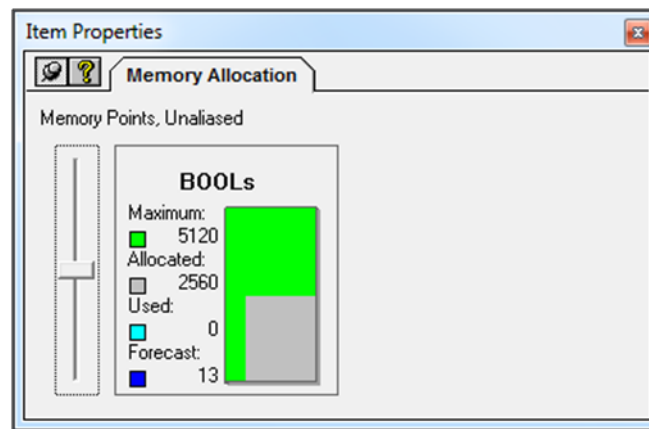


Figure IV.16b : Fenêtre d'allocation mémoire des variables booléennes.

Dans ce qui suit sera décrite la procédure de création d'un programme sous Tristation, et de déclaration des variables (Tagnames).

IV.1.6.1. Déclaration de la base de données :

La procédure de déclaration de la base de données est la suivante :

- Dans l'onglet « **Application** », sélectionner « **Tagname Declarations** » ;
- Cliquer sur le bouton droit de la souris et sélectionner « **New Tagname** » ;

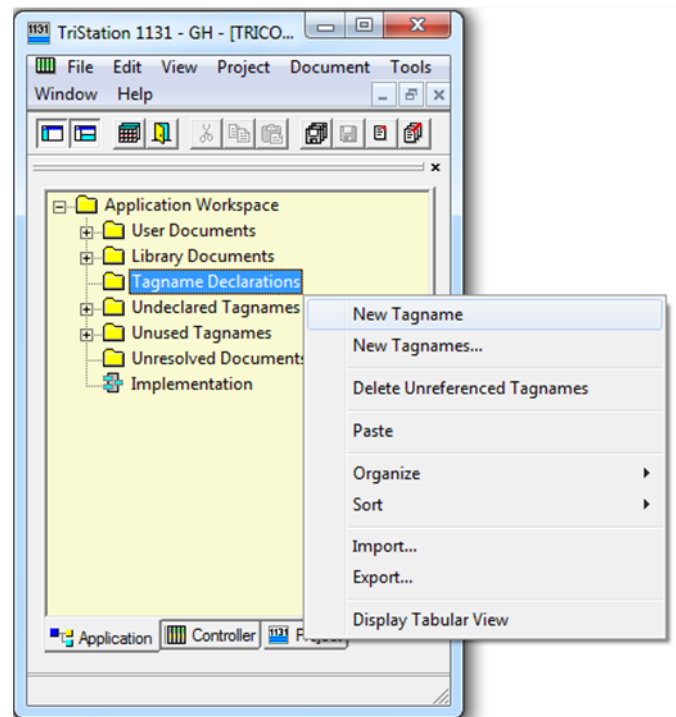


Figure IV.17a : Ajout d'une variable.

- Saisir le nom de la variable dans le champ « **Tagname** » et remplir les autres champs ;

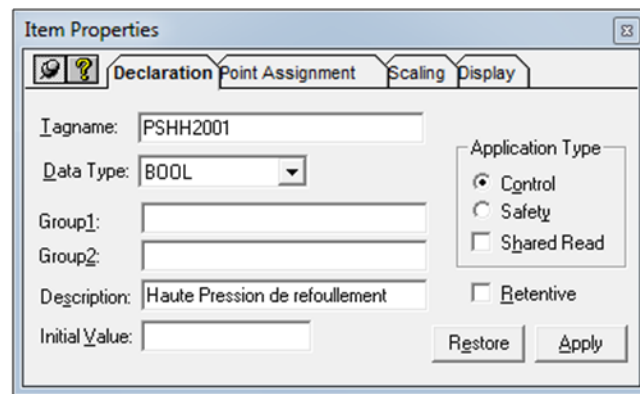


Figure IV.17b : Configuration d'une variable.

- Dans l'index « **Point Assignment** », sélectionner le type du point ;

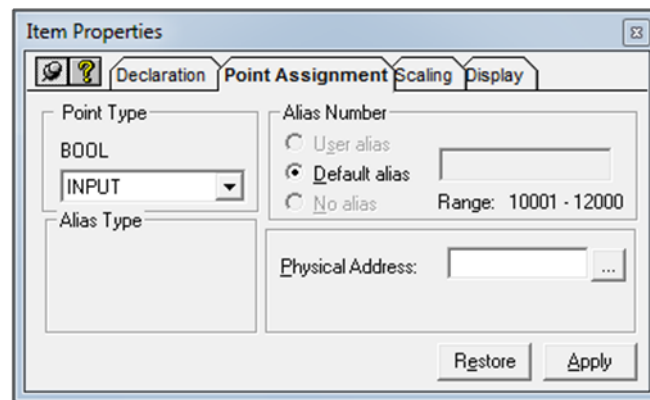


Figure IV.17c : Sélection du type d'un point.

- Sélectionner l'adresse physique désirée et cliquer sur **OK** ;

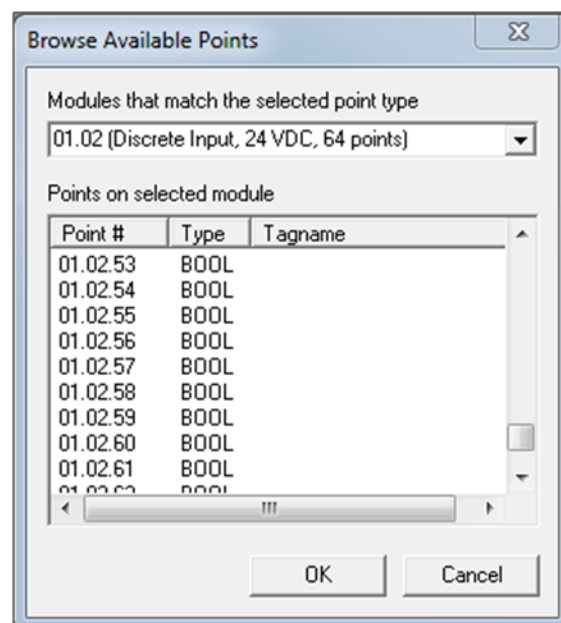


Figure IV.17d : Sélection de l'adresse physique d'une variable.

- Entrer les messages et les couleurs qui seront affectées au *SOE* ;
- Saisir tous les points de la base de données.

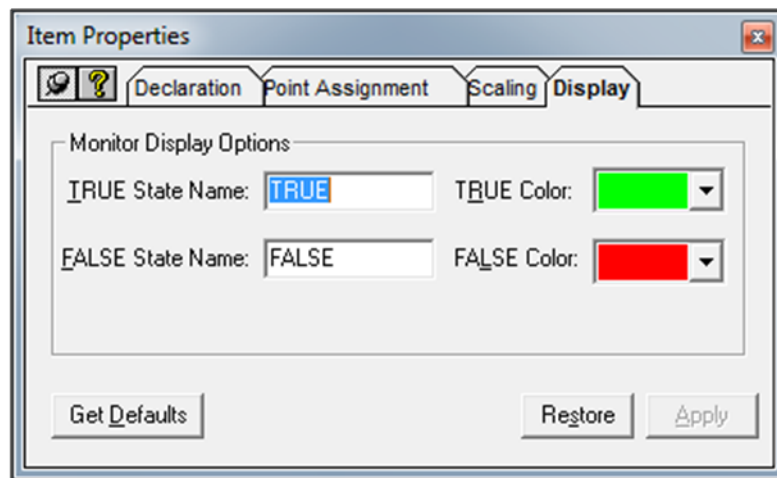


Figure IV.17e : Sélection des options d'affichage.

IV.1.4.2.2. Création d'un nouveau programme :

La procédure de création d'un nouveau programme est la suivante :

- Dans l'index « **Application** », choisir « **User Documents** » puis « **Programs** » ;
- Cliquer sur le bouton droit et sélectionner « **New Program...** » ;

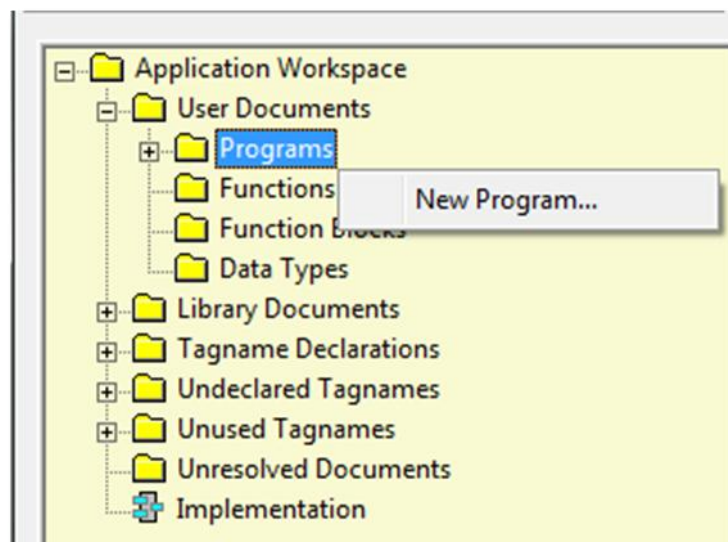


Figure IV.18a : Création d'un nouveau programme sous Tristation.

- Donner un nom au programme et sélectionner un langage ;

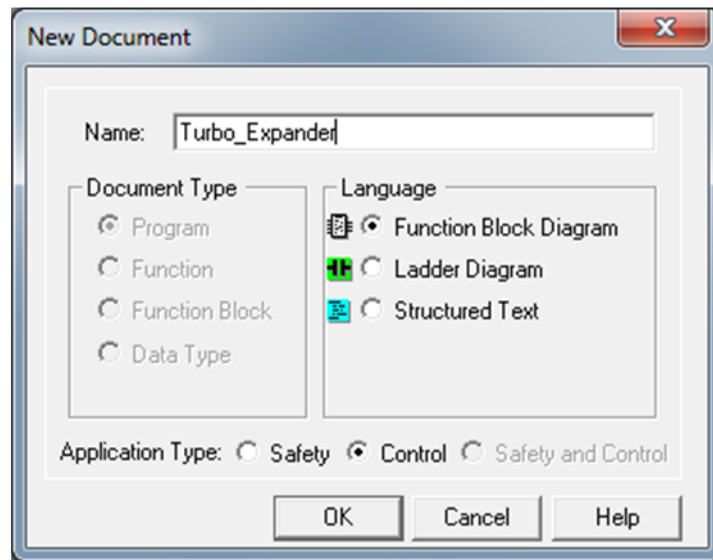
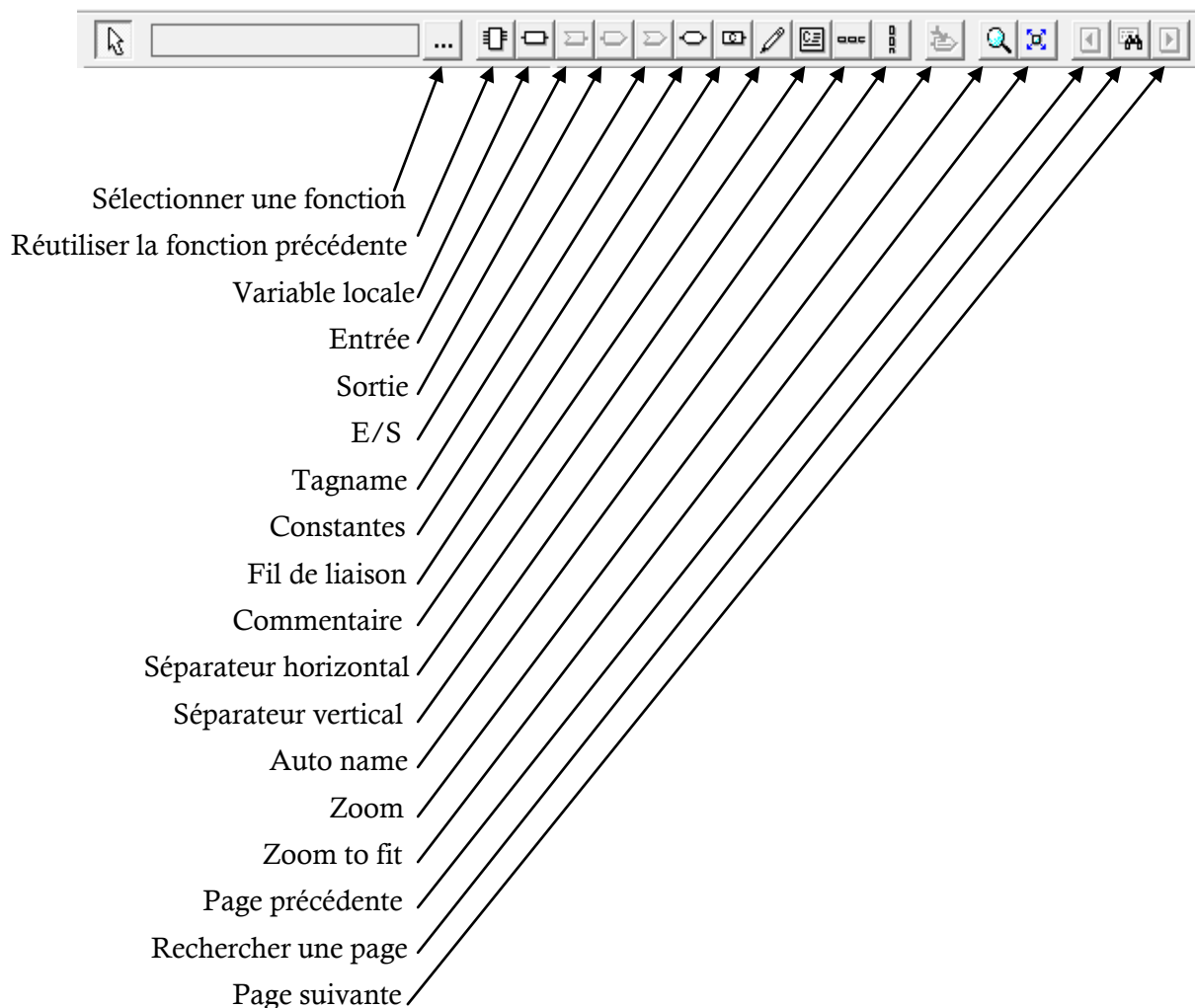


Figure IV.18b : Définition du langage de programmation et du nom du programme.

Après l'exécution de cette procédure, on obtient une fenêtre, où le programme de contrôle logique sera édité, grâce aux composantes de la barre d'outils suivante :



IV.2.Présentation du logiciel de supervision InTouch :

Depuis son introduction sur le marché en 1987 par la firme multinationale britannique « *INVENSYS* », InTouch est le logiciel de supervision de référence grâce, notamment, à sa simplicité d'utilisation, sa fiabilité, son évolutivité, ses performances et ses nombreuses fonctionnalités graphiques avancées permettant aux développeurs d'être encore plus performants dans le développement et la maintenance des applications de supervision.

InTouch consiste en trois programmes majeurs, le gestionnaire d'application « InTouch Application Manager », le « WindowMaker » et le « WindowViewer ».

Le gestionnaire d'applications d'InTouch est utilisé pour créer de nouvelles applications, ouvrir des applications existantes que ça soit dans WindowMaker ou bien dans WindowViewer et supprimer des applications.

WindowMaker est un environnement de développement, où des graphiques orientés objet sont utilisés pour créer des fenêtres d'affichage animées. Ces fenêtres peuvent être connectées aux systèmes d'E/S industriels ou d'autres applications de Microsoft Windows.

WindowViewer est, quand à lui un environnement d'exploitation utilisé pour exécuter les fenêtres graphiques créées dans WindowMaker, il exécute notamment les « QuickScripts » d'InTouch, fournit un recueil chronologique de données, traite les données d'alarmes, et peut fonctionner en tant que client ou serveur pour les protocoles de communication, à savoir le *DDE* et le SuiteLink.

IV.2.1.Création d'une nouvelle application sous InTouch :

La procédure à suivre pour créer une nouvelle application InTouch est la suivante :

➤ En cliquant sur le fichier exécutable *InTouch.exe* situé dans le dossier *Wonderware* au niveau du menu démarrer, la fenêtre illustrée par la figure **VI.19**, représentant le gestionnaire d'applications s'affiche ;

➤ Dans le menu « **File** », cliquer « **New** », une boîte de dialogue apparaît (Figure **IV.20**). Par défaut, le système affichera dans cette boîte le chemin du dossier où seront stockées toutes les applications InTouch ;

➤ Dans la zone de texte, taper le chemin du répertoire dans lequel l'application sera sauvegardée ou bien cliquer sur « **Browse** » pour localiser le répertoire ;

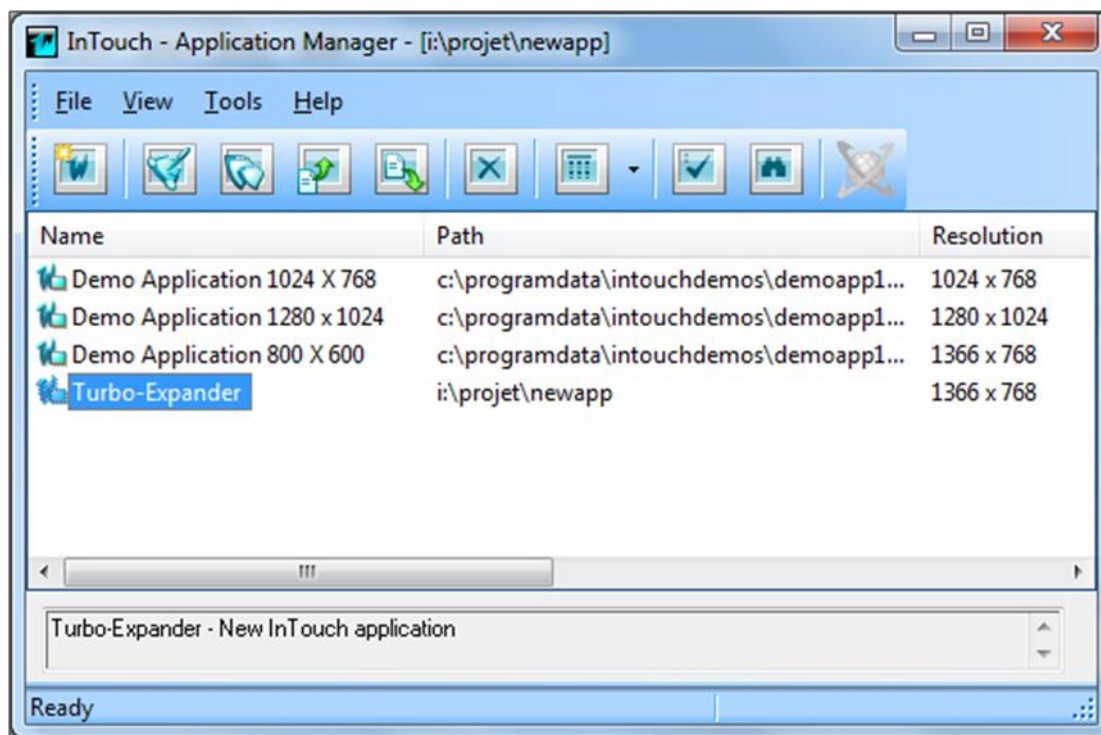


Figure IV.19 : Gestionnaire d'applications d'InTouch.

➤ Cliquer « **Suivant** », une deuxième boîte de dialogue apparaît (Figure IV.21). Par défaut, le système nommera « **NewApp** » le dossier où seront stockées toutes les données de l'application en cours de création, celle-ci pouvant être changée par l'utilisateur.

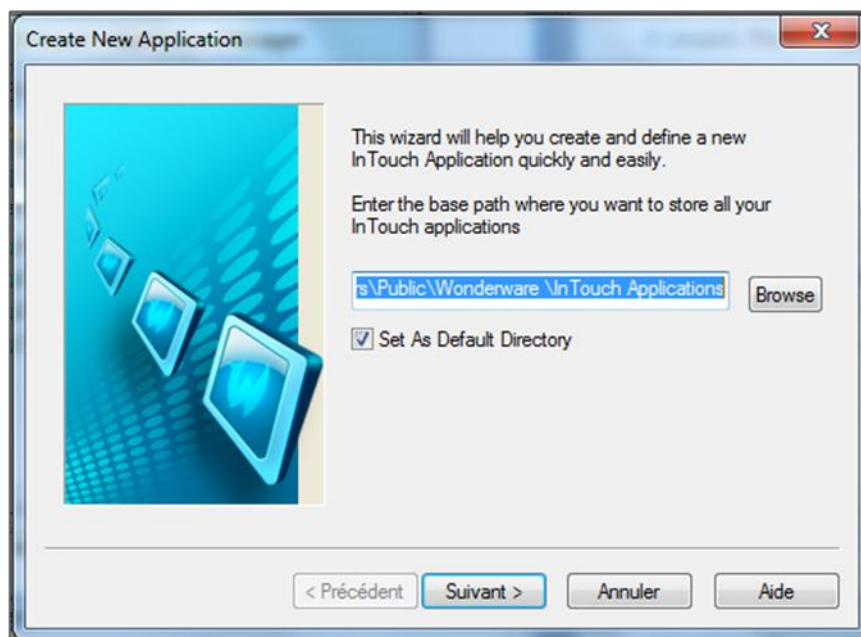


Figure IV.20 : Boîte de dialogue de création d'une nouvelle application.

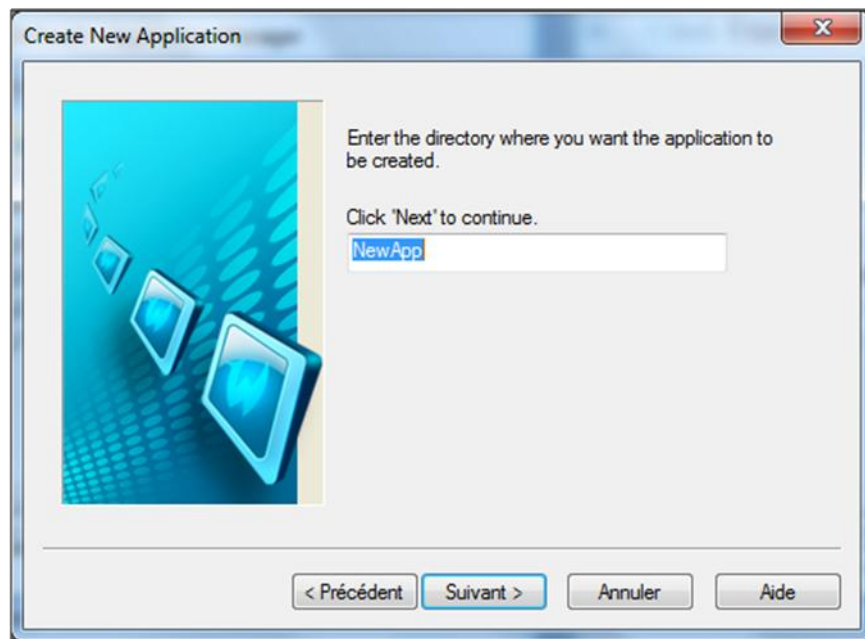


Figure IV.21 : Entrée du nom du répertoire de sauvegarde.

➤ Cliquer « **Suivant** », une troisième boîte de dialogue apparaît (Figure IV.22). dans le champ « **Name** », taper le nom de la nouvelle application et dans le champ « **Description** » donner la description de l'application (la description est optionnelle) ;

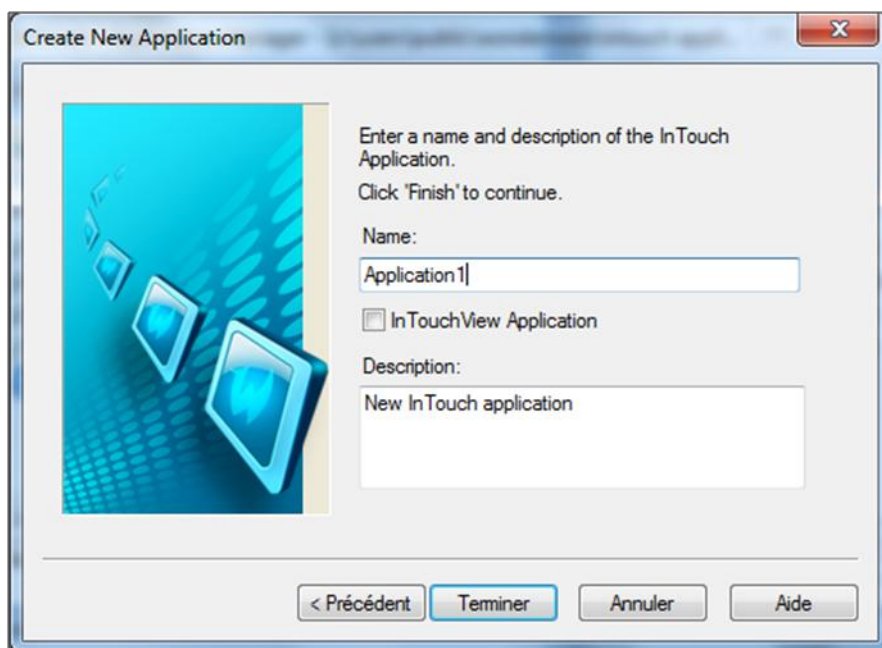


Figure IV.22 : Nommage et description de la nouvelle application.

➤ A la fin de l'opération, l'application sera ajoutée sur le gestionnaire d'applications (Figure IV.23), et pour ouvrir WindowMaker, double cliquer sur l'application.

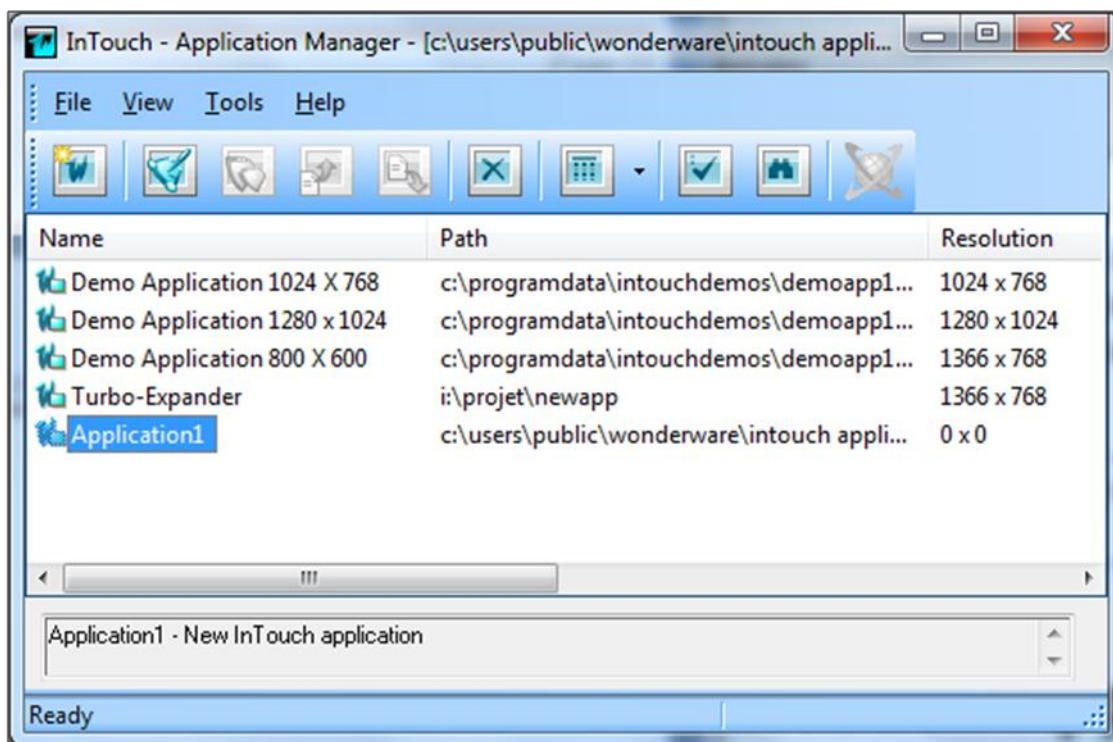


Figure IV.23 : Application prête pour l'utilisation.

IV.2.2. Description de l'environnement de développement WindowMaker :

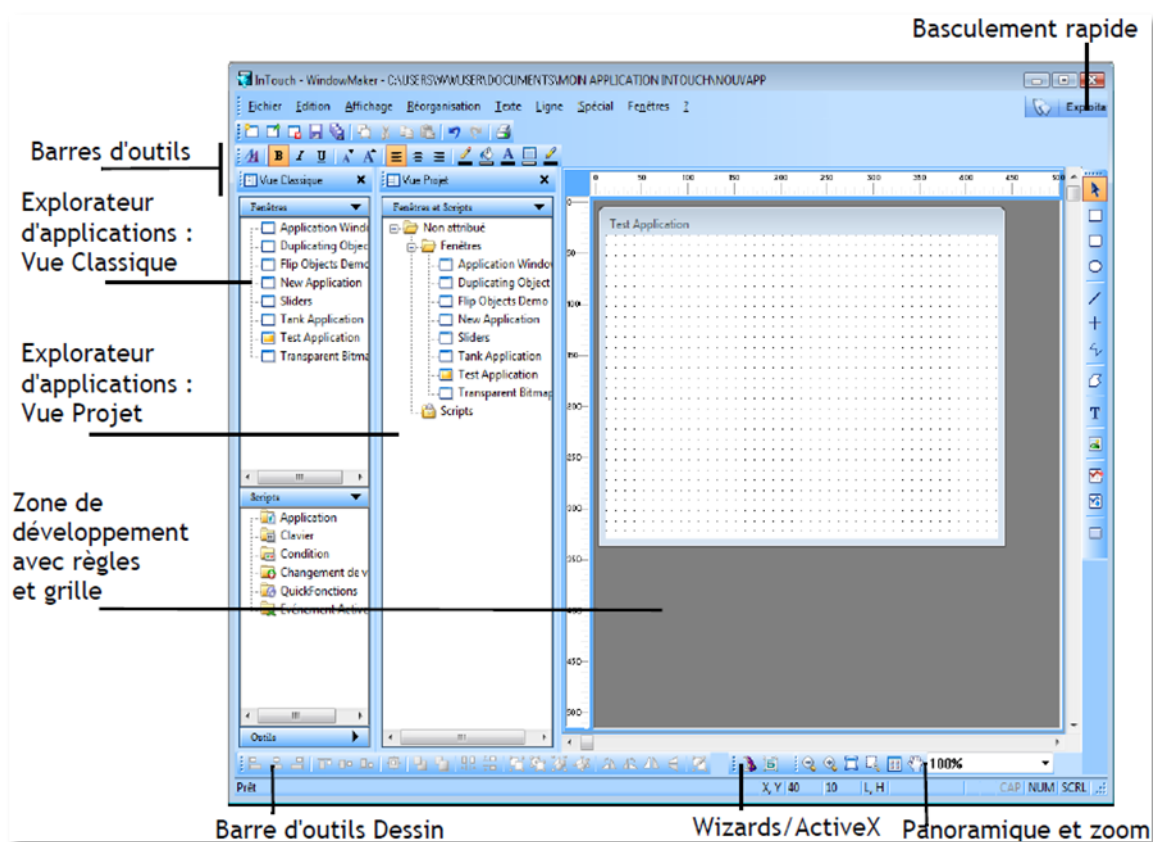


Figure IV.24 : L'environnement de développement WindowMaker.

WindowMaker est l'environnement de développement utilisé pour la création d'applications InTouch (Figure IV.24). Les principaux éléments de l'environnement de développement sont les suivants :

- Barre d'outils et barre d'état ;
- Vue classique des fenêtres et des scripts ;
- Vue projet, avec une présentation différente des fenêtres et des scripts ;
- Zone de développement ;
- Bouton à basculement rapide pour ouvrir WindowViewer.

a) Fenêtre d'application :

Une fenêtre d'application sert de conteneur pour un ou plusieurs objets graphiques utilisés pour modéliser des processus de production. Par exemple, une fenêtre peut présenter certains des équipements d'une unité fonctionnelle, une autre fenêtre peut présenter la grille d'informations des alarmes associées à cette unité (Figure IV.25).

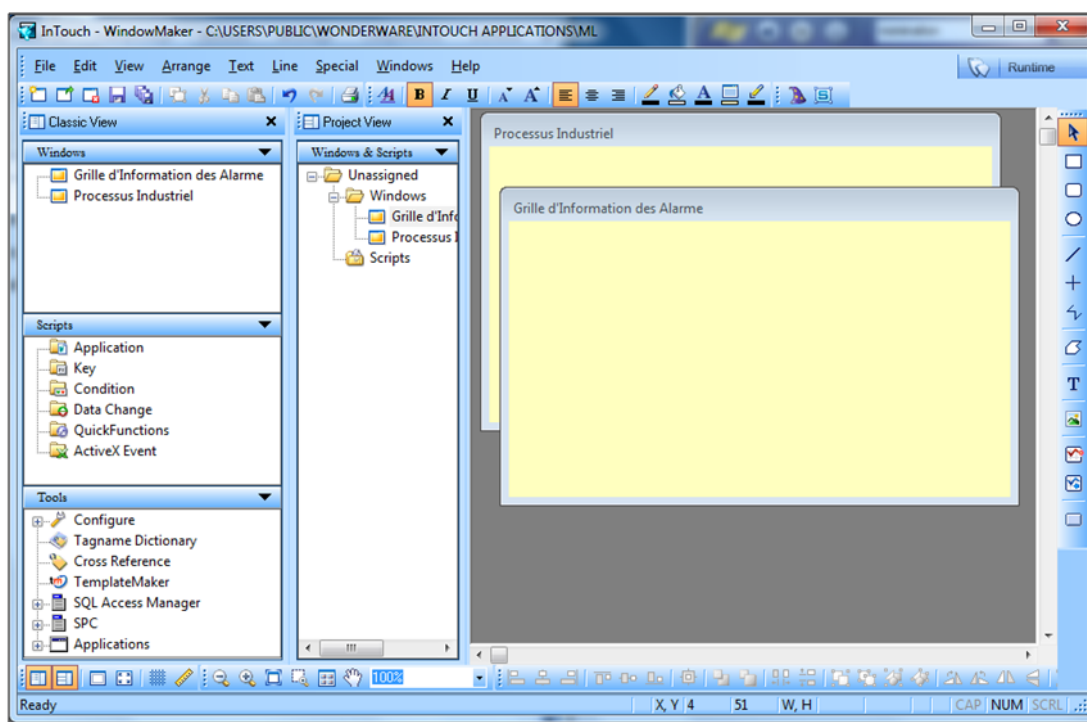


Figure IV.25 : Fenêtres d'application.

La procédure de création d'une nouvelle fenêtre est la suivante :

- Clic gauche sur le menu « File » ;

- Clic gauche sur « New Window... », la fenêtre illustrée par la Figure IV.26 apparaîtra. Celle-ci permettra à l'utilisateur de définir les différents paramètres de la fenêtre d'application ;
- Cliquer sur « OK ».

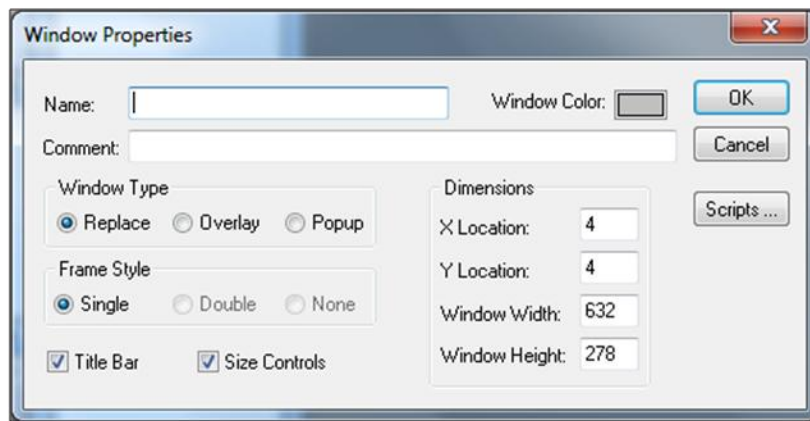


Figure IV.26 : Définition des propriétés de la fenêtre d'application.

b) Objets de WindowMaker :

Les éléments graphiques sont des parties fondamentales des applications d'interface homme-machine (IHM). Au fur et à mesure du développement des applications, on est amené à créer des objets simples (Figure IV.27), ensuite, on les combine pour créer des objets plus complexes, ou bien on fait appel à certains objets complexes prédéfinis.

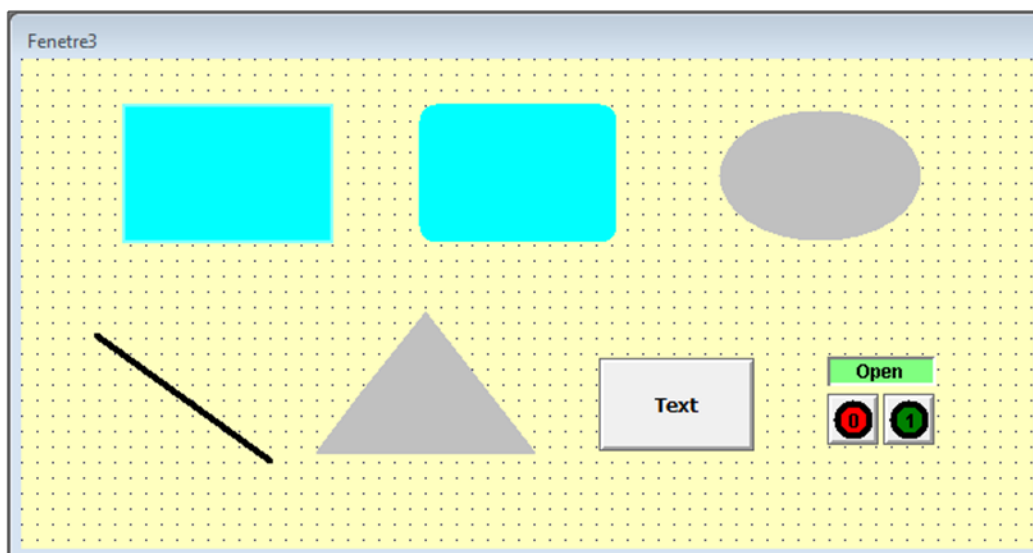


Figure IV.27 : Eléments graphiques simples utilisés dans une application InTouch.

c) Les Wizards :

Les Wizards sont des objets préfabriqués et préprogrammés qu'il suffit de sélectionner, de placer et de configurer dans l'application (Figure IV.28), leur sélection s'effectue depuis la barre d'outils « Wizard/ActiveX ».

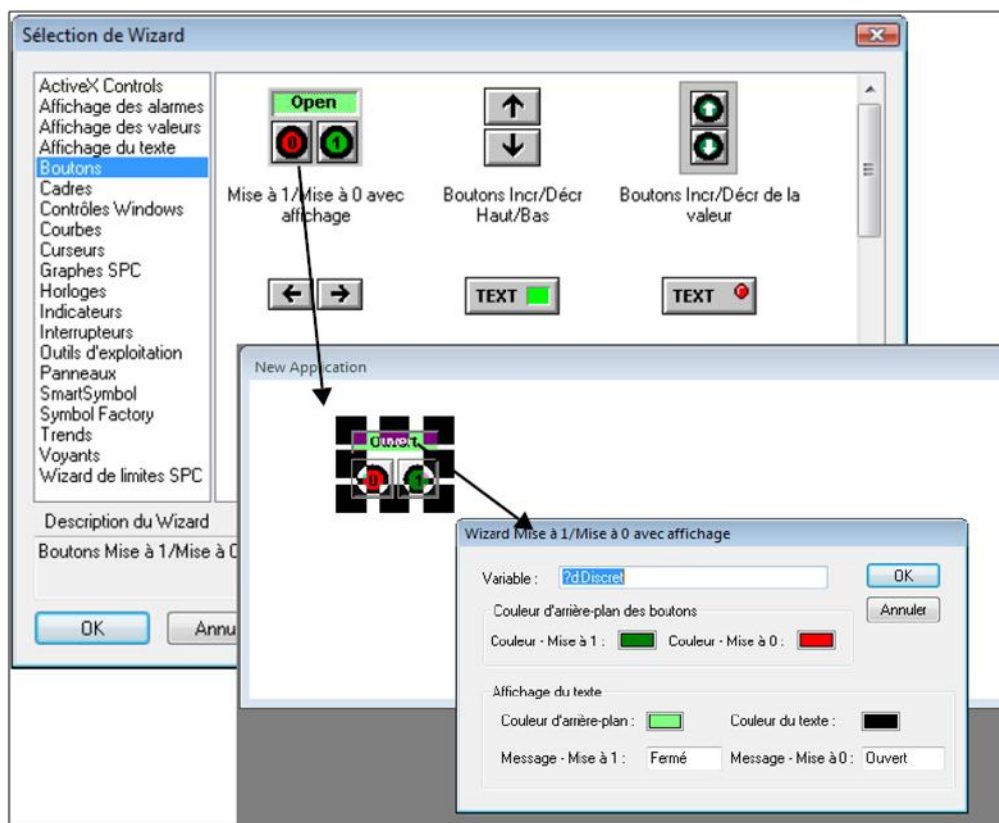


Figure IV.28 : Sélection et configuration des Wizards dans une application InTouch.

Les Wizards évitent donc à l'utilisateur d'avoir à investir du temps dans le dessin de chacun des composants d'un objet, dans la définition d'intervalles de valeurs ou dans la configuration de liens d'animation.

IV.2.3. Gestion de données dans une application InTouch :

Une application Wonderware InTouch Human Machine Interface (*HMI*) est une représentation graphique de composants utilisés dans un environnement industriel. Les opérateurs d'usine se servent de cette interface graphique pour surveiller et gérer les variables des processus de fabrication.

Une variable représente une donnée utilisée dans une application InTouch *HMI*. Les variables sont utilisées pour accéder aux propriétés, sous forme de données, d'un composant spécifique situé dans un environnement de fabrication.

Différents types de variables peuvent être utilisés selon les différents types de données collectées à partir d'un processus industriel.

a) Utilisation des variables InTouch :

La première étape est la création d'une application InTouch, ensuite vient la définition des variables utilisées dans l'application à l'aide du dictionnaire de variables, qui est un utilitaire de WindowMaker. La Figure IV.29 illustre les différents environnements de développement et d'exploitation d'InTouch, en prenant comme exemple le processus de contrôle d'une pompe.

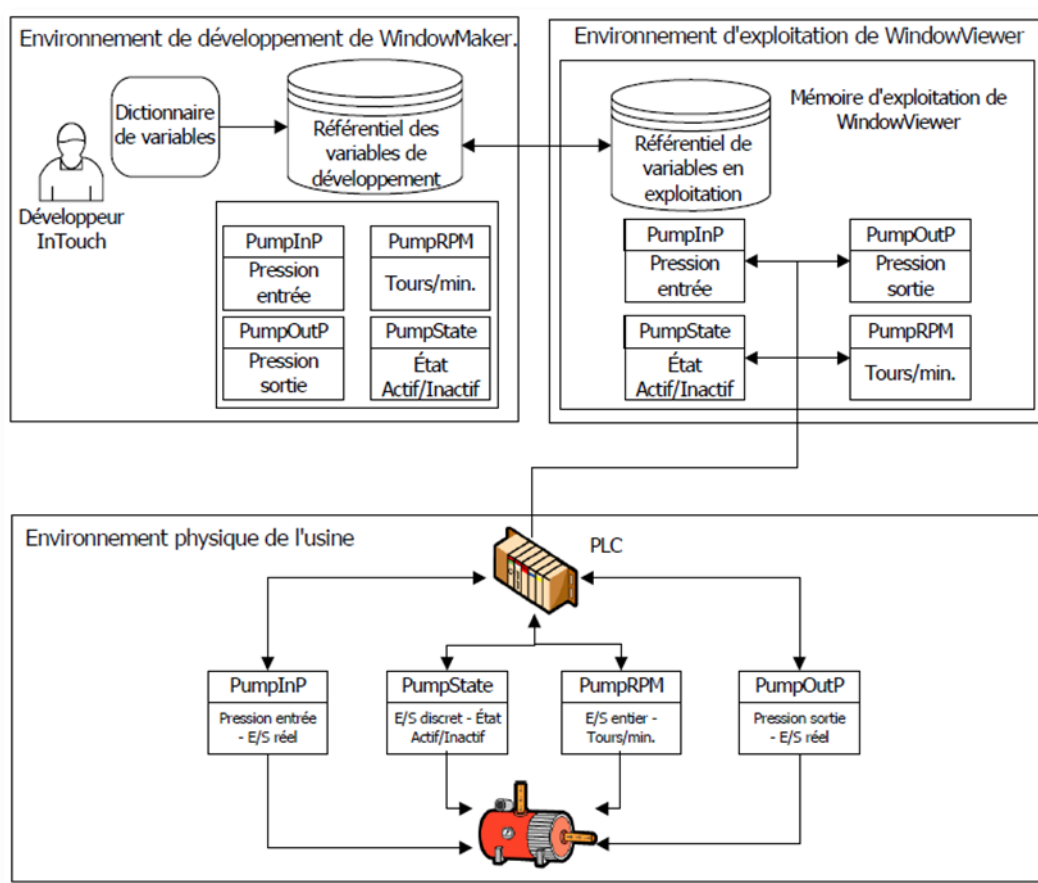


Figure IV.29 : Environnement de développement et d'exploitation d'InTouch.

Le nom et le type des variables sont attribués à l'aide du dictionnaire de variables. Pour certains types, d'autres options du dictionnaire de variables permettent de préciser des propriétés supplémentaires. Les variables d'E/S, par exemple, contiennent des options supplémentaires pour spécifier la connexion à une source de données distante.

Les applications InTouch s'exécutent dans l'environnement de WindowViewer. Au démarrage d'une application, WindowViewer lit les variables dans le référentiel de développement, et les place dans la mémoire d'exploitation.

L'application InTouch communique avec les variables de la mémoire d'exploitation au moyen de liens d'animation ou de scripts. D'autre part, elle surveille les valeurs et autres informations d'état des propriétés du composant associées aux variables.

b) Types de variables InTouch :

La définition d'une variable se fait en lui associant un type spécifique en fonction des données du processus retrouvées par la variable. Par exemple, pour afficher le nombre de tours par minute (*RPM*) d'une pompe, la variable sera associée avec une variable de type entier.

Dans le dictionnaire de variables, la boîte de dialogue « Types de variables » permet d'associer un type à toute variable qui sera créée (Figure IV.30).

Après avoir associé un type à la variable, le dictionnaire de variables présente la liste des options spécifiques au type sélectionné.

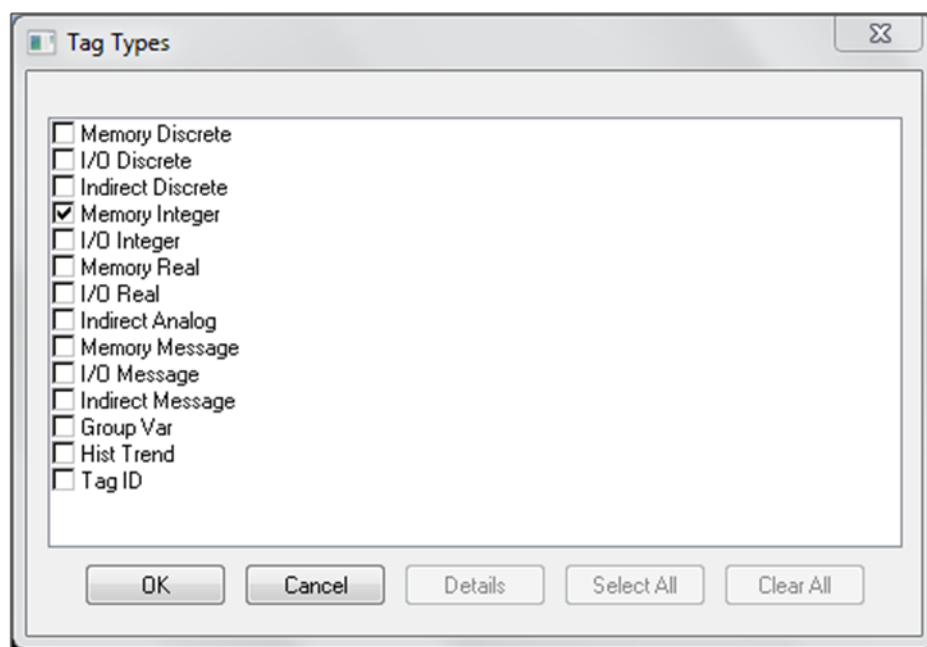


Figure IV.30 : Les différents types de variables InTouch.

c) Gestion des variables avec le dictionnaire de variables :

Le dictionnaire de variables permet de créer des variables utilisées dans une application InTouch. La Figure IV.31 illustre la boîte de dialogue du dictionnaire de variables avec toutes les options permettant de définir les propriétés d'une variable d'E/S.

Avant la création de nouvelles variables, l'utilisateur doit analyser les processus industriels pour déterminer les besoins de son application InTouch.

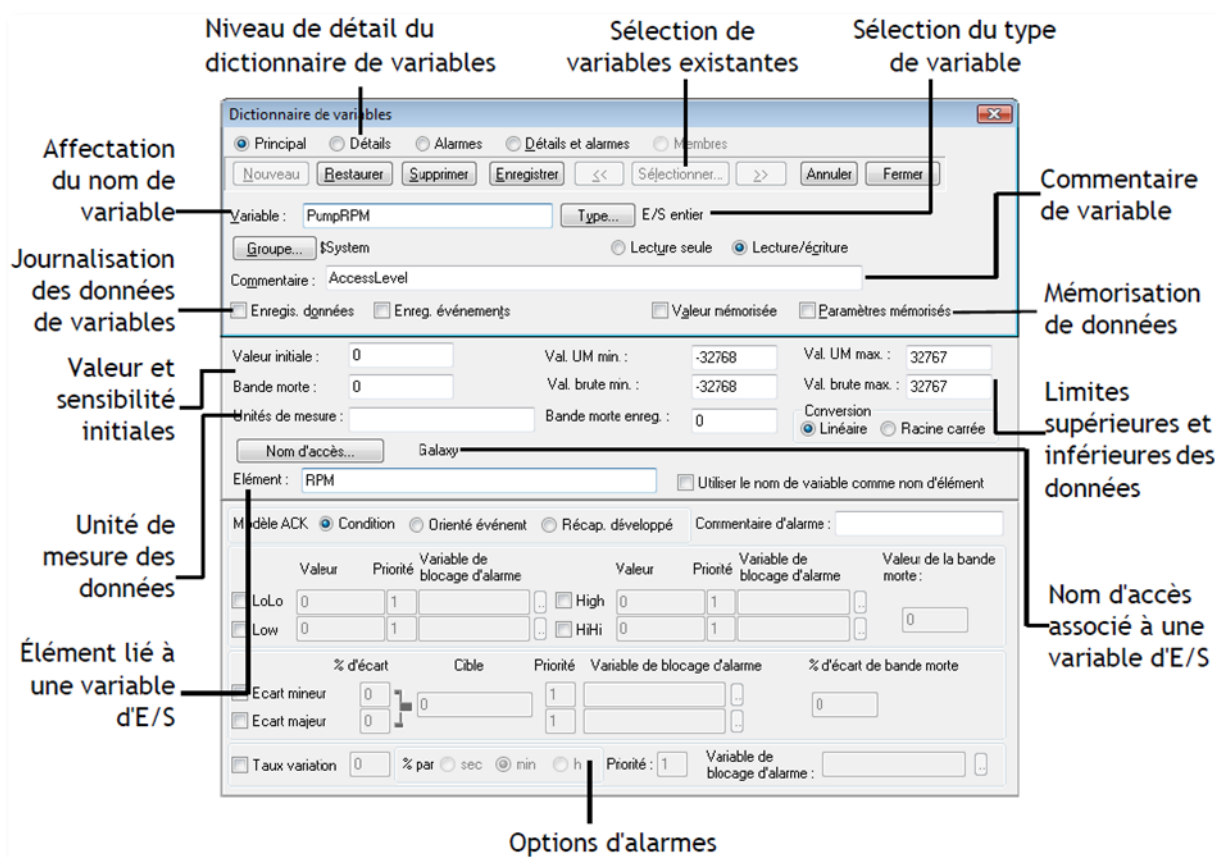


Figure IV.31 : Options du dictionnaire de variables.

La procédure de création d'une nouvelle variable est donnée ci-dessous :

- Ouvrir l'application InTouch dans WindowMaker ;
- Dans le menu « **Spécial** » cliquer sur « **Dictionnaire de variables** », la boîte de dialogue du dictionnaire de variables apparaîtra ;
- Dans la boîte de dialogue, cliquer sur « **Nouveau** ».
- Donner un nom à la nouvelle variable ;
- Si besoin est-il, taper un commentaire sur la nouvelle variable dans la zone « **Commentaire** »;
- Cliquer sur « **Type** ». La boîte de dialogue « **Types de variables** » s'affiche avec la liste des types de variables InTouch pris en charge ;
- Sélectionner le type de variable dans la liste et cliquer « **OK** » ;
- Spécifier toutes autres options dans la boîte de dialogue ;
- Cliquer sur « **Enregistrer** ».

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit les deux outils de programmation et de supervision de processus industriels, à savoir respectivement, Tristation et InTouch. Ces derniers nous serviront comme base de départ pour le prochain chapitre qui portera sur le développement et la simulation de la commande numérique, ainsi que la mise en œuvre d'une solution de supervision sous InTouch, pour une surveillance optimale des paramètres primordiaux au bon fonctionnement du Turbo-Expander.

CHAPITRE V :

*Développement et simulation de
la solution de commande et de
supervision*

Introduction :

L'objectif de notre mémoire est la réalisation d'une commande numérique et d'une solution de supervision pour le Turbo-Expander, afin de se substituer au système de contrôle à relais en place. Cette commande est susceptible d'apporter un plus en terme de sécurité et de fiabilité industrielle, de flexibilité et de rapidité d'exécution. De plus, elle permet de contourner les inconvénients majeurs d'une commande à relais tels que l'encombrement des installations, la complexité des câblages et le manque de fiabilité des relais.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents éléments sur lesquelles on s'est basé dans la réalisation de la commande. Ensuite, nous procéderont à la simulation et à la supervision du projet.

V.1.Recensement des Entrées/Sorties :

V.1.1.Les points d'entrée :

Le Tableau V.1a donne la liste de l'ensemble des points d'entrée des capteurs logiques du système de contrôle du Turbo-Expander :

Entrée (Tagname)	Type	Fonction	Désignation
PDSHH2005	Commutateur de pression différentielle.	Sécurité	Pression différentielle de poussée axiale coté Expander élevée.
PDSHH2006	Commutateur de pression différentielle.	Sécurité	Pression différentielle de poussée axiale coté Compresseur élevée.
PSHH208	Commutateur de pression.	Sécurité	Surpression du ballon de décharge de l'Expander.
PDSL2003	Commutateur de pression différentielle.	Sécurité	Basse pression différentielle de l'huile de lubrification.
LSHH203	Commutateur de pression.	Sécurité	Sur-niveau du ballon de séparation de l'Expander.
SSHH2001	Commutateur de vitesse.	Sécurité	Survitesse du Turbo-Expander.
TSHH2001	Commutateur de température.	Sécurité	Haute température des paliers du Turbo-Expander.
VSHH2003	Commutateur de vibration.	Sécurité	Fortes vibrations des paliers du coté Compresseur.

VSHH2004	Commutateur de vibration.	Sécurité	Fortes vibrations des paliers du coté Expander.
PDSH2001	Commutateur de pression différentielle.	Alarme	Haute pression différentielle des filtres d'huile de lubrification.
PDSH2002	Commutateur de pression différentielle.	Alarme	Haute pression différentielle de l'huile de lubrification.
PDSL2002	Commutateur de pression différentielle.	Alarme	Basse pression différentielle de l'huile de lubrification.
PDSL2004	Commutateur de pression différentielle.	Alarme	Basse pression différentielle du gaz d'étanchéité.
PDSL204	Commutateur de pression différentielle.	Alarme	Basse pression différentielle entre l'amont et l'aval de la vanne XV217.
PDSL205	Commutateur de pression différentielle.	Alarme	Basse pression différentielle entre l'amont et l'aval de la vanne XV221.
LSL2001	Commutateur de niveau.	Alarme	Bas niveau de l'huile de lubrification dans le réservoir.
SSH2001	Commutateur de vitesse.	Alarme	Survitesse du Turbo-Expander.
TS2001	Commutateur de température.	Alarme	Thermostat du réchauffeur de l'huile de lubrification.
TSH2001	Commutateur de température.	Alarme	Haute température des paliers du Turbo-Expander.
US2002	Commutateur de défaillance.	Alarme	Défaillance du système Bently Nevada.
VSH2001	Commutateur de vibration.	Alarme	Fortes vibrations du refroidisseur N°1.
VSH2002	Commutateur de vibration.	Alarme	Fortes vibrations du refroidisseur N°2.
VSH2003	Commutateur de vibration.	Alarme	Fortes vibrations des paliers du coté Compresseur.
VSH2004	Commutateur de vibration.	Alarme	Fortes vibrations des paliers du coté Expander.

Tableau V.1a : Liste des signaux d'entrée des capteurs logiques.

Le Tableau V.1b donne la liste des points d'entrée des Switch, des boutons poussoirs, des retours de marche et des capteurs de fin de course :

Entrée (Tagname)	Désignation
SWITCH	
HOA2001	Sélecteur de contrôle de la pompe de l'huile de lubrification N°1.
HOA2002	Sélecteur de contrôle de la pompe de l'huile de lubrification N°2.
HOA2003	Sélecteur de contrôle du refroidisseur de l'huile de lubrification N°1.
HOA2004	Sélecteur de contrôle du refroidisseur de l'huile de lubrification N°2.
HZ204A	By-pass du capteur LSHH203.
HZ204B	By-pass du capteur PSHH208.
HZ204C	By-pass du capteur PDSLL2003.
HZ204D	By-pass du capteur PDSHH2005.
HZ204E	By-pass du capteur PDSHH2006.
HZ204F	By-pass du capteur TSHH2001.
HZ204G	By-pass du capteur TS2001.
HS2006	Marche/Arrêt du réchauffeur d'huile de lubrification.
BOUTONS POUSSOIRS	
HS201	Arrêt général du train.
HS2005A	Mise en marche de la pompe de remplissage du réservoir d'huile.
HS2005B	Mise à l'arrêt de la pompe de remplissage du réservoir d'huile.
HS2007	Réarmement du Turbo-Expander.
HS2008	Démarrage du Turbo-Expander.
HS2009	Arrêt du Turbo-Expander.
HS2010	Test lampes.
HS2011	Pressurisation du Turbo-Expander.
HS2012	Acquittement des alarmes et sécurités.
HZ203	Botton de mise à l'arrêt à distance du Turbo-Expander.
RETOURS DE MARCHE	
RGM1_A	Retour de marche de la pompe N°1.
RGM1B	Retour de marche de la pompe N°2.
RGM2	Retour de marche de la pompe de remplissage du réservoir d'huile de lubrification.
REM1_A	Retour de marche du refroidisseur N°1.

REM1_B	Retour de marche du refroidisseur N°2.
CAPTEURS DE FIN DE COURSE	
ZSX217o	Vanne XV217 ouverte.
ZSX217s	Vanne XV217 fermée.
ZSX218o	Vanne XV218 ouverte.
ZSX218s	Vanne XV218 fermée.
ZSX216s	Vanne XV216 fermée.
ZSX220s	Vanne XV220 fermée.
ZSX221o	Vanne XV221 ouverte.
ZSX221s	Vanne XV221 fermée.
ZSX222s	Vanne XV222 fermée.
ZSX222o	Vanne XV222 ouverte.
ZSF205o	Vanne d'anti-pompage FV205 ouverte.
FV203Bo	Vanne de by-pass du Turbo-Expander (JT) FV203B ouverte.

Tableau V.1b : Liste des signaux d'entrée des Switch, des boutons poussoirs et des retours de marche.

Le Tableau V.1c donne la liste des points d'entrée analogiques du système de contrôle du Turbo-Expander :

Entrée (Tagname)	Désignation
AYT2001	Transmetteur de position de la vanne d'admission du Turbo-Expander FV203A
TI2001	Transmetteur de température des paliers du Turbo-Expander.

Tableau V.1c : liste des signaux d'entrée analogiques.

V.1.2. Les points de sortie :

Le Tableau V.2 donne la liste des points de sortie logiques du système de contrôle du Turbo-Expander.

Sortie (Tagname)	Désignation
LAHH203	Annonciateur de sur-niveau du séparateur du Turbo- Expander.
PAHH208	Annonciateur de surpression du ballon de décharge du Turbo-Expander.

HA203	Déclenchement par centre de commande.
UA2001	Annonciateur de by-pass des capteurs logiques de sécurité.
PDALL2003	Annonciateur de la basse pression différentielle de l'huile de lubrification.
PDAHH2005	Annonciateur de la haute pression différentielle de la poussée axiale coté Expander.
PDAHH2006	Annonciateur de la haute pression différentielle de la poussée axiale coté Compresseur.
VAHH2004	Annonciateur de la forte vibration des paliers coté Expander.
VAHH2003	Annonciateur de la forte vibration des paliers coté Compresseur.
TAHH2001	Annonciateur de la haute température des paliers du Turbo- Expander.
SAHH2001	Annonciateur de la survitesse du Turbo-Expander.
TALL2001	Annonciateur de la basse température des paliers du Turbo-Expander.
PDAL2004	Annonciateur de la basse pression différentielle du gaz d'étanchéité.
PDAL2002	Annonciateur de la basse pression différentielle de l'huile de lubrification.
PDAH2001	Annonciateur de la haute pression différentielle des filtres de l'huile de lubrification.
PDAH2002	Annonciateur de la haute pression de l'huile de lubrification.
LAL2001	Annonciateur du bas niveau de l'huile de lubrification dans le réservoir.
VAH2004	Annonciateur de la forte vibration du palier coté Expander.
VAH2003	Annonciateur de la forte vibration du palier coté Compresseur.
TAH2001	Annonciateur de la haute température des paliers du Turbo-Expander.
SAH2001	Annonciateur de survitesse du Turbo-Expander.
UA2002	Annonciateur de défaillance du système Bently Nevada.
VAH2001	Annonciateur des fortes vibrations du refroidisseur N°1.
VAH2002	Annonciateur des fortes vibrations du refroidisseur N°2.
XL2210	Annonciateur de la pressurisation du Turbo-Expander.
YL2001	Annonciateur de marche de la pompe de lubrification N°1.
YL2002	Annonciateur de marche de la pompe de lubrification N°2.
YL2003	Annonciateur de marche du refroidisseur N°1.
YL2004	Annonciateur de marche du refroidisseur N°2.
YL2005	Annonciateur commun du déclenchement du Turbo-Expander.
YL2008	Annonciateur commun des alarmes du Turbo-Expander.

YL2007	Annonciateur du prêt du Turbo-Expander.
YL2010	Annonciateur de l'arrêt du Turbo-Expander.
YL2006	Annonciateur de marche du Turbo-Expander.
ZZ2210	Annonciateur de défaut de position de la vanne d'admission.
XV216	Vanne de by-pass de la vanne d'admission de l'Expander.
XV217	Vanne d'admission de l'Expander.
XV218	Vanne de sortie de l'Expander.
XV220	Vanne de by-pass de la vanne d'admission du Compresseur.
XV221	Vanne d'admission du Compresseur.
XV222	Vanne de sortie du Compresseur.
RP1	Relai de commande de la pompe N°1.
RP2	Relai de commande de la pompe N°2.
RFPump	Relai de commande de la pompe de remplissage du réservoir d'huile de lubrification du Turbo-Expander.
RCF1	Relai de commande du refroidisseur N°1.
RCF2	Relai de commande du refroidisseur N°2.

Tableau V.2 : Liste des points de sortie logiques du système de contrôle du Turbo-Expander.

V.2. Configuration matérielle de l'API Triconex :

La configuration du châssis Triconex qu'on a utilisé pour la réalisation du projet est la suivante :

- Un module d'alimentation redondant ;
- Trois processeurs principaux de type : *3006/N, 3007 Tricon Main Processor* ;
- Un module de communication de type : *4329/N/G NCM* ;
- Deux modules d'entrées logiques de type : *3504/E/EN Discrete Input, 24 VDC, 64 points* ;
- Un module d'entrées analogiques de type : *3700/A/AN Analog Input, 5V input, 32 points* ;
- Trois modules de sorties logiques de type : *3604/E/EN Discrete Output, 24 VDC, 16 points*.

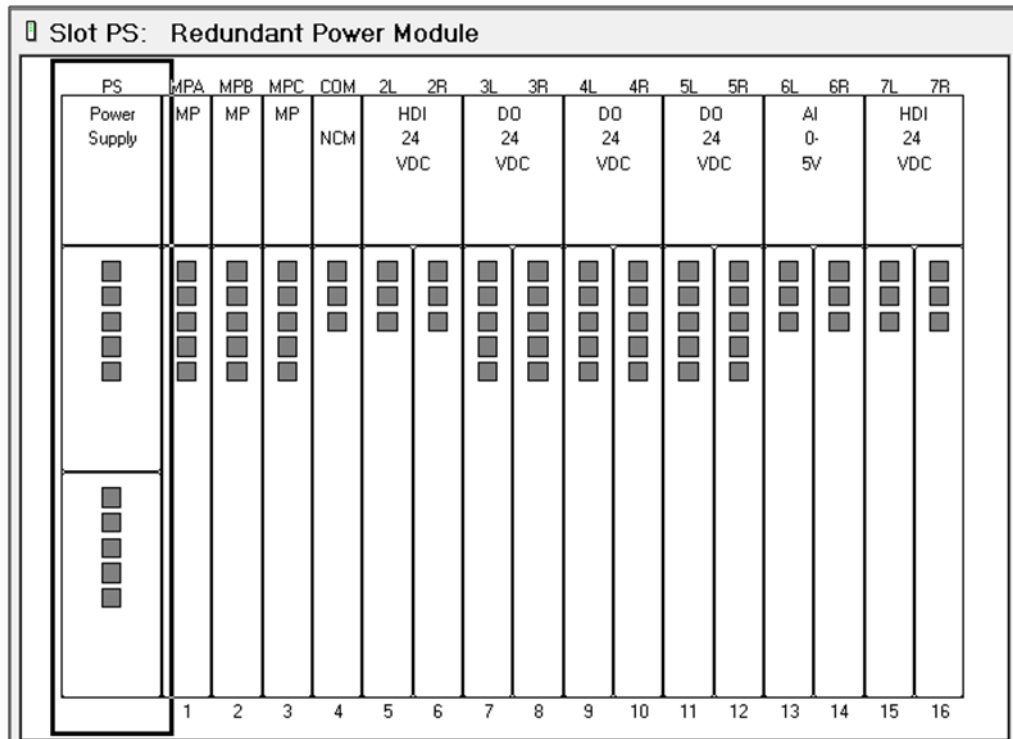


Figure V.1 : Configuration matérielle de l'automate Triconex utilisée dans le projet.

V.3. Améliorations apportées au système de contrôle du Turbo-Expander :

Notre travail consistait en premier lieu en la rénovation du système de contrôle vieillissant du Turbo-Expander, en remplaçant la commande à relais qui était assez encombrante et peu fiable par une commande numérique par automate programmable Triconex. Ce type de commande garantit un énorme apport en termes de sécurité, de fiabilité et de disponibilité permettant ainsi d'augmenter la productivité grâce notamment à la minimisation des risques de pannes, qui génèrent une grande perte en termes de temps et d'argent pour la société.

En second lieu, nous avons entrepris, avec l'initiative de certains ingénieurs du service électronique, l'automatisation de certaines tâches qui régissent le fonctionnement du Turbo-Expander, dont le but principal était d'alléger le travail des exploitants, mais aussi de garantir plus de sécurité dans le fonctionnement du Turbo-Expander, en minimisant au maximum l'intervention humaine qui est souvent source d'erreur. Cependant, la présence humaine dans certains cas critiques est plus qu'une nécessité, surtout, quand il s'agit de commander certains dispositifs qui présentent un danger pour la sécurité du personnel tels que les pompes et les refroidisseurs, de ce fait, nous avons gardé certaines actions de commande en manuel.

Les principales modifications que nous avons entreprises sont les suivantes :

a) Fonctionnement semi-automatique des refroidisseurs avec arrêt automatique conditionné par l'arrêt du Turbo-Expander, contrairement à l'ancien système où les refroidisseurs étaient gérés manuellement (démarrage et arrêt manuel) ;

b) En mode « automatique », les pompes de graissage fonctionnent automatiquement, conditionnés par l'état des pressostats différentiels : pour automatiser cette séquence nous avons procédé à l'ajout d'un deuxième pressostat (PDSH2002), qui permet l'arrêt automatique de la pompe positionnée sur le mode « Automatique » tout en gardant en marche la pompe positionnée en mode « Manuel » ;

c) Création d'une solution de supervision numérique, permettant à l'exploitant d'avoir plus de visibilité vis-à-vis du déroulement du processus industriel. Cette solution donne en temps réel tous les détails concernant l'état de l'ensemble des dispositifs constituant le Turbo-Expander, et informe l'exploitant de tout changement d'état de l'un ou de plusieurs paramètres critiques qui surviennent. Dans l'ancien système, l'information parvenait à la salle de commande, sur un panneau constitué de lampes témoins représentant l'ensemble des paramètres gérés par le système de contrôle. Ce panneau était sujet à des pannes répétitives dues notamment à la dégradation de ces composants électriques qui, à cause du manque de pièces de rechange, tardent à être entretenus.

V.4.Réalisation et simulation du projet :

V.4.1.Schémas logiques de la commande du Turbo-Expander :

Les schémas logiques de la commande du Turbo-Expander sont donnés en Annexe B.

V.4.2.Simulation de la logique de commande sous Tristation :

La Tristation est dotée d'un émulateur qui permet à l'utilisateur de simuler son programme, afin qu'il puisse vérifier si ce dernier convient avec le fonctionnement voulu. La procédure de simulation d'un programme sous Tristation est la suivante :

- Ouvrir l'espace de travail « **Controller** », et double cliquer sur « **Emulator Panel** » ;
- Cliquer sur « **Connect** », situé sur la barre d'outils en haut de la page ;
- Cliquer sur « **Download** », situé juste à droite de « **Connect** » dans la barre d'outils ;

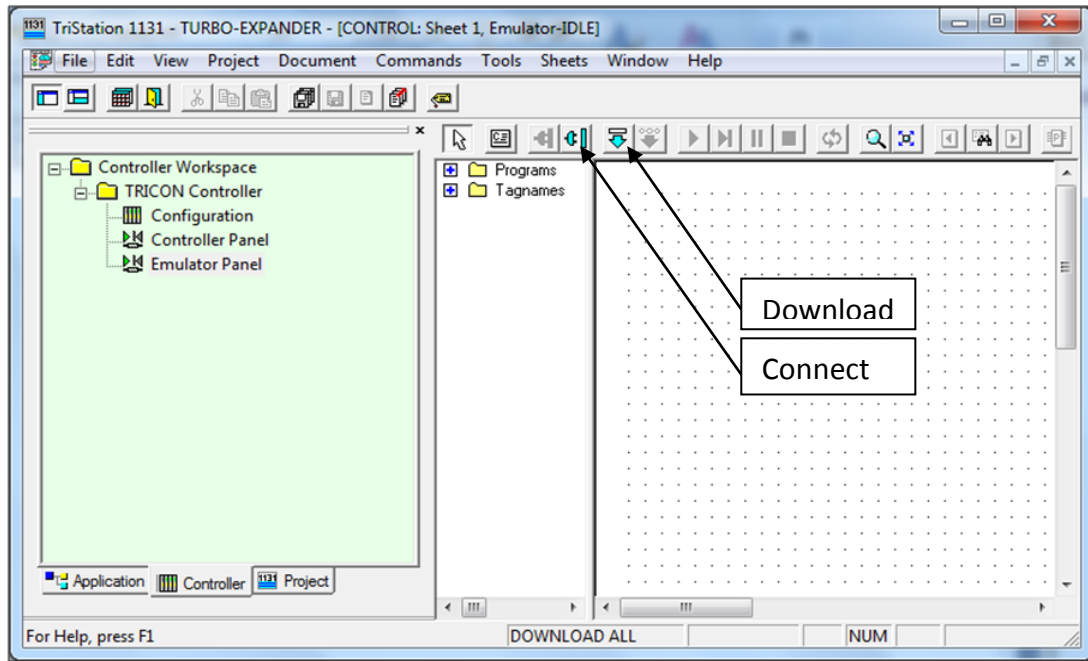


Figure V.2 : Chargement d'un programme dans l'émulateur de la Tristation.

Après le téléchargement du programme de commande dans l'émulateur, la Tristation donne la main pour démarrer et afficher la simulation sur l'écran. La procédure de démarrage et d'affichage de la simulation est la suivante :

- Cliquer sur « **Display Program Document** » ;
- Pour démarrer la simulation, cliquer sur « **Run** » ;
- Pour quitter la simulation, cliquer sur « **Disconnect** ».

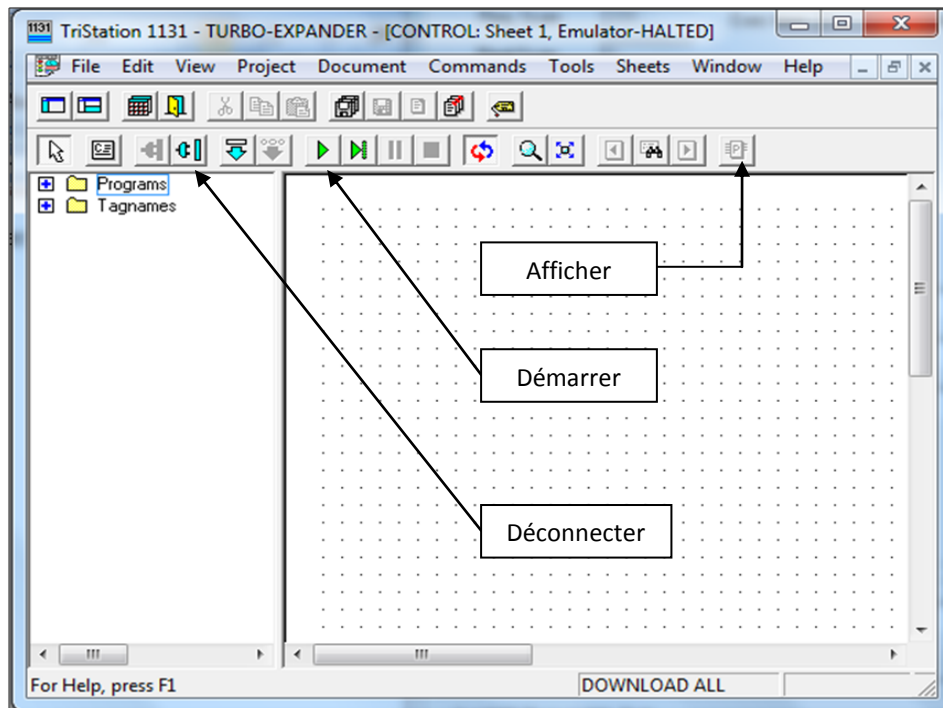


Figure V.3 : Démarrage et arrêt de l'exécution du programme de simulation.

La Figure V.4 illustre un exemple de simulation d'un programme dans l'émulateur de Tristation.

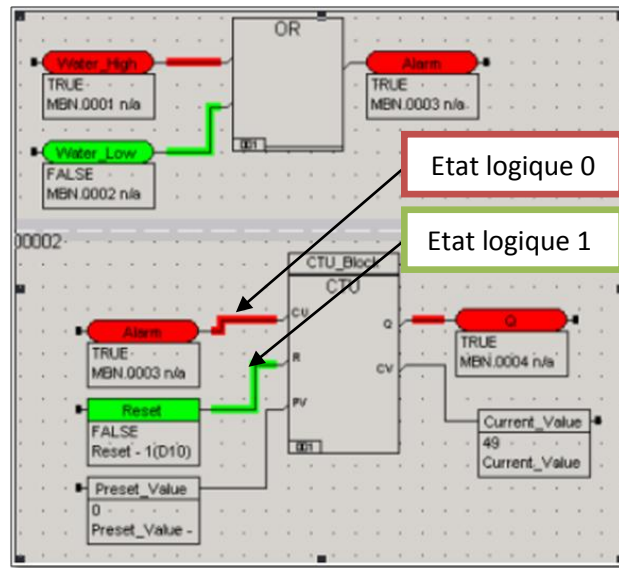


Figure V.4 : Exécution d'un programme dans l'émulateur de Tristation.

V.4.3. Supervision du procédé de commande du Turbo-Expander :

La supervision est une technique industrielle de suivi et de pilotage informatique de procédés de fabrication automatisés. Elle concerne entre autre, l'acquisition de données (mesure, alarmes, retour d'état de fonctionnement) et des paramètres de commande.

L'utilisation de cette fonctionnalité dans notre projet s'avère donc plus que nécessaire afin d'assurer au système de contrôle une grande flexibilité. Ce qui facilite au passage le travail des exploitants qui auront accès à toutes les données au niveau de la salle de contrôle, sans qu'ils n'aient besoin de se déplacer sur le terrain. Ceci est synonyme d'un gain en temps et en efficacité.

Un logiciel de supervision est généralement composé d'un ensemble de pages ou de fenêtres, qui communiquent via un réseau local ou distant avec un ou plusieurs équipements : Automate Programmable Industriel, ordinateur et carte de communication spécialisée.

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons procédé à la création de trois fenêtres de supervision à l'aide de l'éditeur InTouch précédemment décrit, chacune d'elles permet de visualiser un aspect bien définis du processus de contrôle du Turbo-Expander. Ces fenêtres sont données dans les figures (V.6, V.7 et V.8).

a) Fenêtre principale :

C'est la fenêtre principale de supervision, elle apparait en premier, à l'ouverture du domaine d'exploitation de l'éditeur InTouch. Elle donne l'accès aux deux autres fenêtres et permet à l'exploitant de s'informer et d'acquiescer (ACK) si nécessaire d'éventuelles alarmes ou déclenchements émanant du Turbo-Expander (Figure V.6).

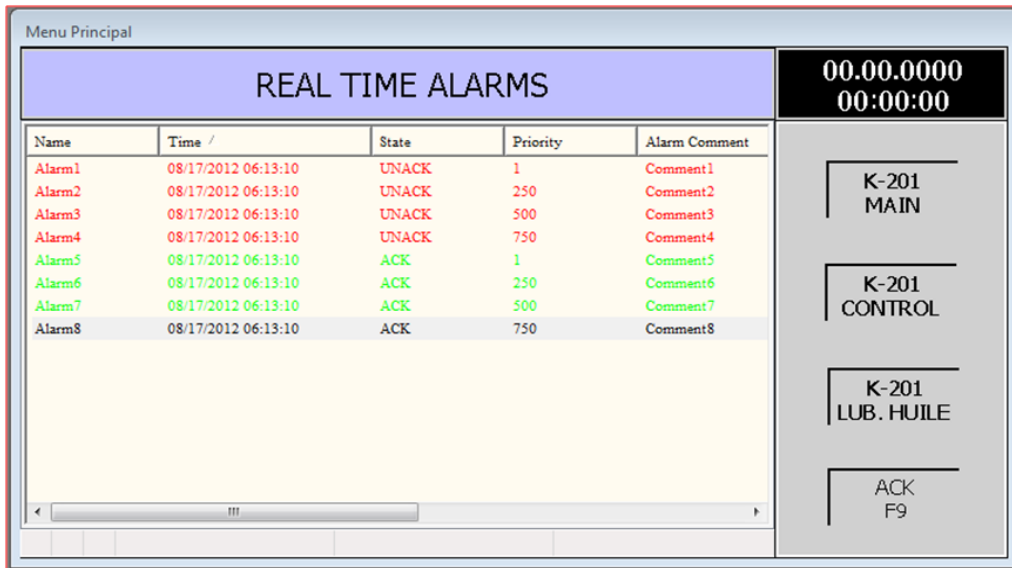


Figure V.5 : Fenêtre principale de supervision.

b) Fenêtre d'état général du Turbo-Expander :

Cette fenêtre informe l'exploitant sur l'état du Turbo-Expander (en marche ou à l'arrêt). Elle donne l'état de toutes les vannes de sectionnement (ouvertes ou fermées), le pourcentage d'ouverture de la vanne de contrôle des *IGV* permettant de charger le Turbo-Expander au démarrage, et signale l'avènement d'éventuelles alarmes ou déclenchement (*TRIP*), à travers les témoins lumineux d'alarme commune et de déclenchement commun situés en bas de la fenêtre (Figure V.7).

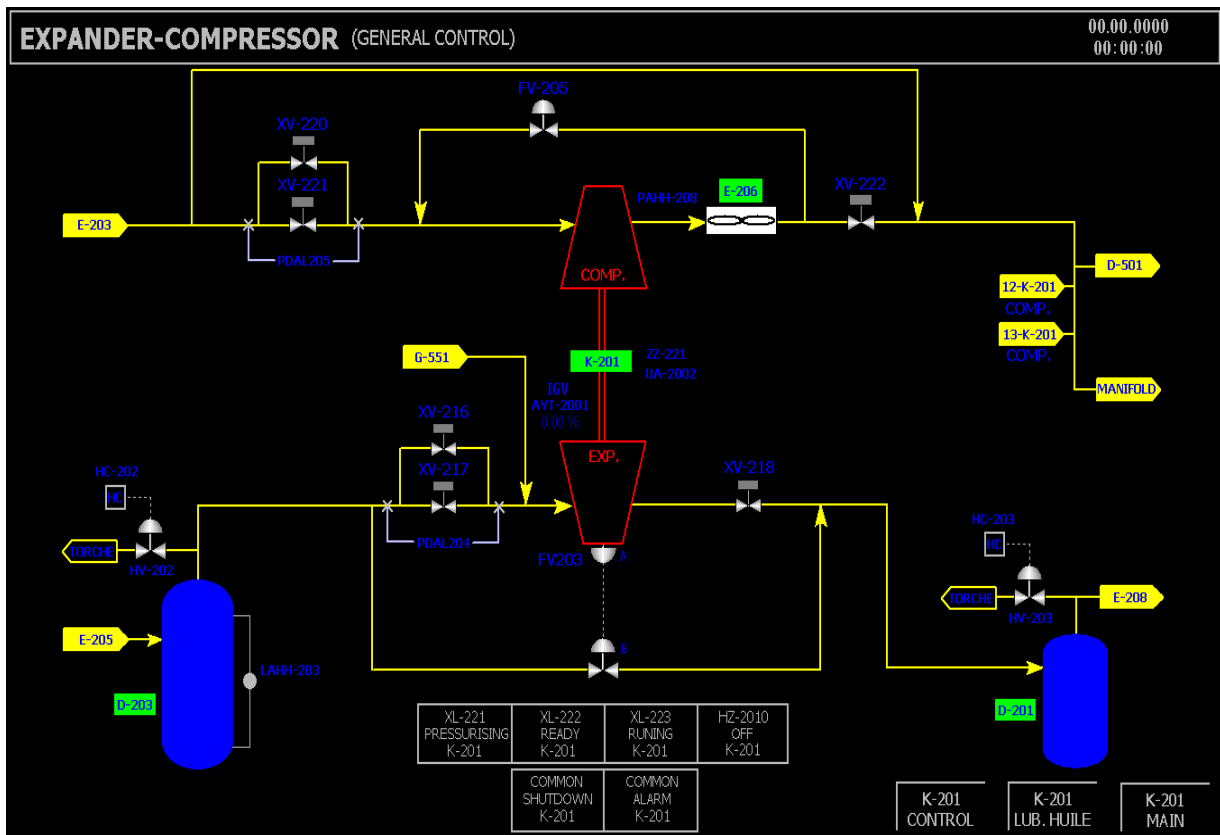


Figure V.6 : Fenêtre de contrôle général du Turbo-Expander.

c) Fenêtre de contrôle du système de lubrification et du gaz d'étanchéité :

Cette fenêtre donne le synoptique du système de lubrification et du système de gaz d'étanchéité du Turbo-Expander. Elle permet à l'exploitant de s'informer sur l'état de fonctionnement des pompes, refroidisseurs, Turbo-Expander ainsi que le réchauffeur de l'huile de lubrification (Figure V.7). De plus, elle regroupe l'ensemble des alarmes et déclenchements accessibles par le système de contrôle Tricon, et grâce à ça, l'exploitant pourra savoir avec exactitude l'origine d'un problème, et dans certain cas l'ampleur de celui-ci.

D'autre part, toutes les fenêtres sont équipées d'un ensemble d'options facilitant leurs exploitations aux utilisateurs, nous avons de ce fait inclus au niveau des trois fenêtres, la gestion de l'heure et de la date, affichées dans la partie supérieure droite des fenêtres, ainsi que trois boutons, permettant l'accès à l'ensemble des fenêtres de supervision.

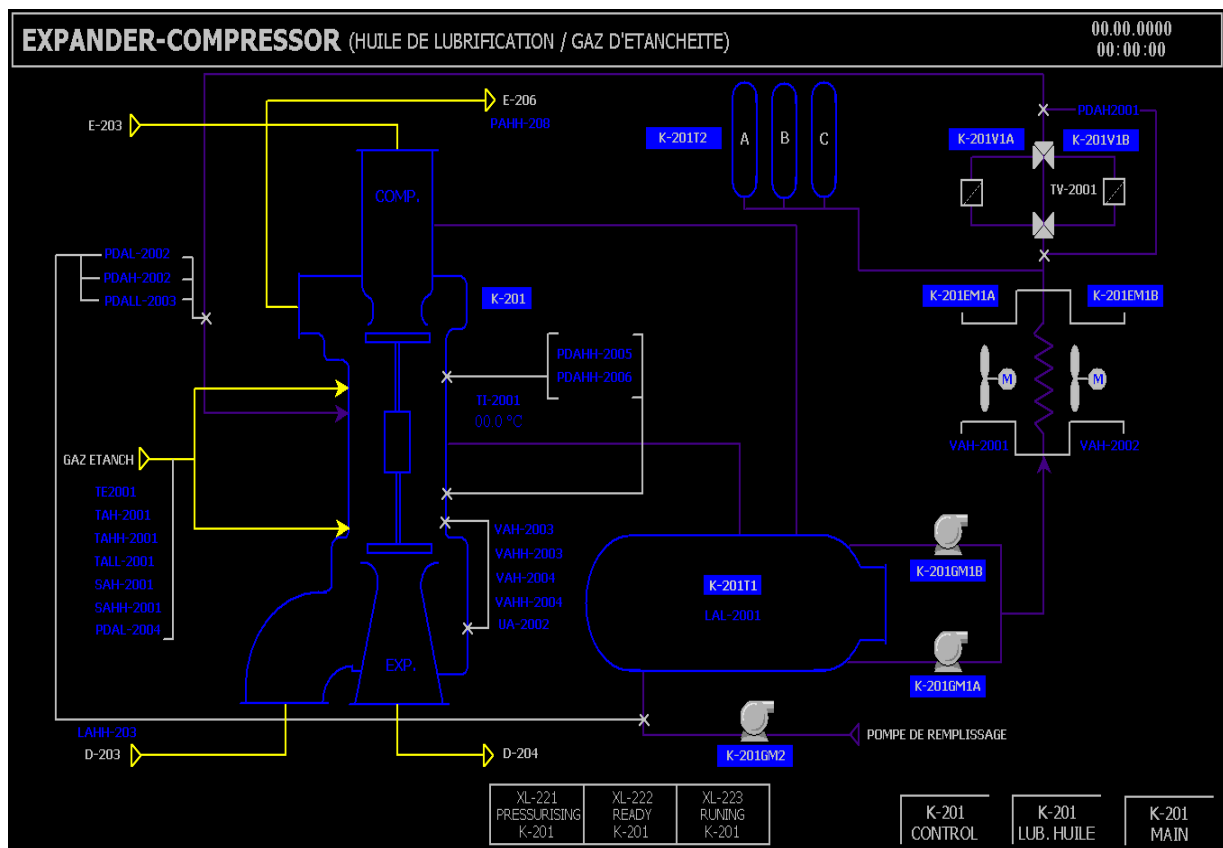
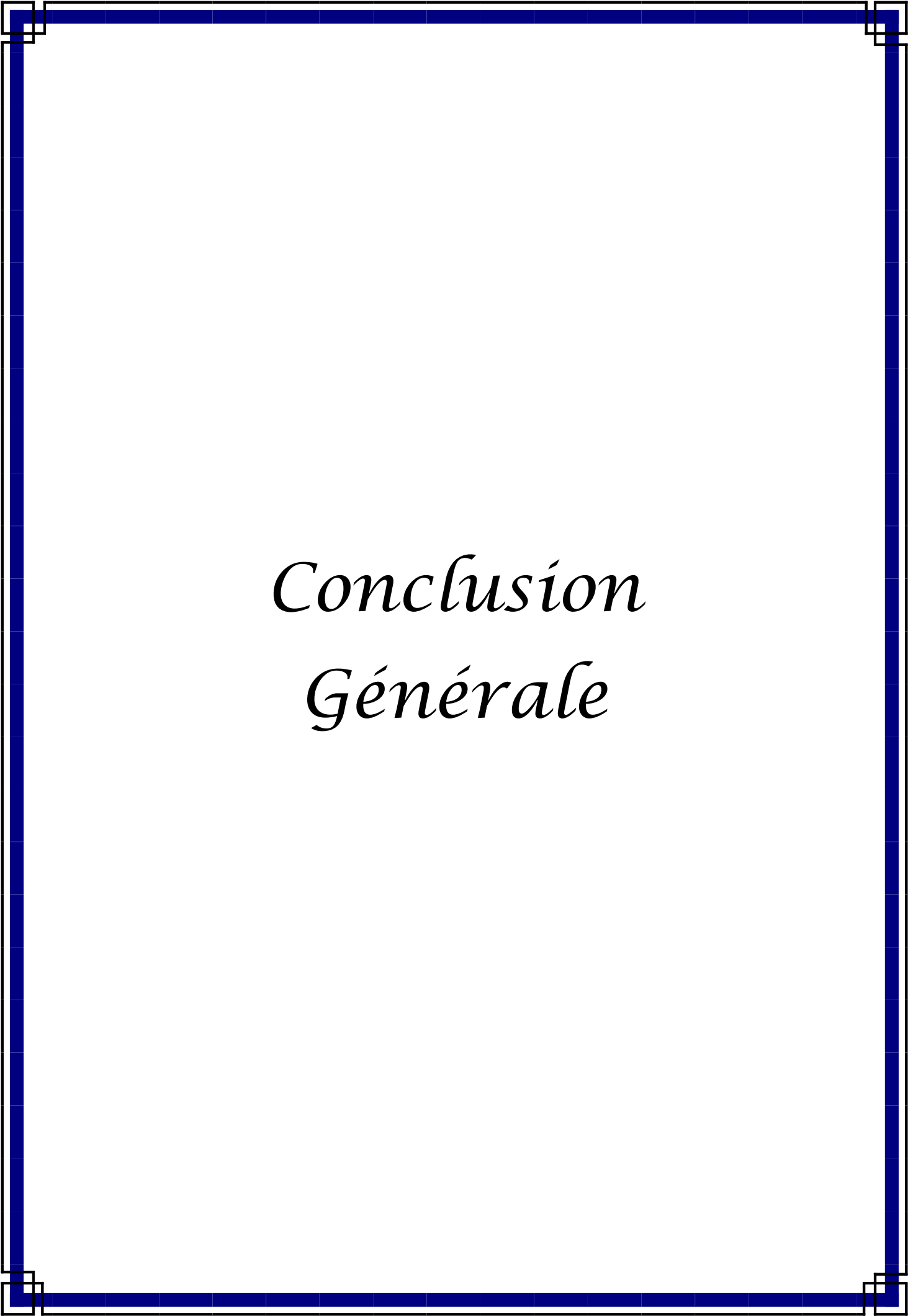


Figure V.7 : Fenêtre de contrôle du système de lubrification et du système de gaz d'étanchéité.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné avec tous les détails nécessaires les différentes étapes qui nous ont menés vers la réalisation et l'implémentation du programme de commande du Turbo-Expander dans l'API Triconex, avec à la clé, la simulation dans l'émulateur de Tristation du déroulement des séquences de commande. Nous avons ainsi recensé tous les points d'E/S

rentrants dans la séquence de commande du Turbo-Expander, et à partir du nombre de ces points et de leurs natures, nous avons mis en place la configuration matérielle nécessaire de l'API Triconex. Ensuite, nous avons donné le cahier des charges du contrôle du Turbo-Expander, mis en œuvre en collaboration avec les ingénieurs du service d'exploitation et des ingénieurs du service électronique. Pour conclure, nous avons donné la procédure à suivre pour simuler le déroulement séquentiel du programme de commande sous Tristation, avec en parallèle la supervision en temps réel des événements grâce aux trois fenêtres de supervision réalisées sous InTouch.



*Conclusion
Générale*

Malgré l'existence de certains inconvénients, le recours des entreprises à l'automatisation de leurs activités industrielles, permet de maîtriser leurs coûts de revient pour disposer d'une meilleure réactivité. En plus, elle permet de réduire les délais de livraison, accroître le volume de production, ajuster la charge à la capacité, améliorer les conditions de travail et la qualité de production, réduire la masse salariale ou encore pour accroître la durée d'utilisation de leurs équipements. Donc l'implantation d'un système automatisé vient répondre à la hiérarchie des motivations coût-volume-délai-qualité.

C'est dans ce même sens que vient se situer notre travail, effectué au sein de la SONATRACH (sise à Hassi-Messaoud). Dans ce contexte nous avons contribué à l'élaboration d'une solution de contrôle et de supervision numérique du processus de liquéfaction du gaz, qui constitue un des processus industriels les plus importants dans la production du GPL. Cette solution, de part son originalité, permet à l'entreprise de s'affranchir de l'ancienne commande basée sur des composants dont la maintenance est difficile vu la vétusté des appareils et le manque de pièces de rechanges sur le marché.

Basé sur des considérations technico-économiques, notre choix s'est porté sur les produits *TRICON* d'*INVENSYS* qui ont déjà un large succès où le niveau de sécurité exigé est très élevé, tel que les installations de raffinage, de traitement de gaz, le contrôle des turbomachines, et des installations nucléaires ...etc.

L'autre tâche qui nous a été confiée au niveau de l'unité GPL-2 du centre industriel sud de Hassi-Messaoud est l'automatisation de quelques unes des procédures qui régissent le fonctionnement du Turbo-Expander, notamment, la procédure de démarrage et d'arrêt des pompes et des refroidisseurs de l'huile de lubrification. Cependant, et pour plus de sécurité, nous avons choisis de garder certaines tâches en manuel (boutons poussoirs de démarrage et d'arrêt de sécurité), vu que ces procédures présentent un danger potentiel vis-à-vis du personnel et des équipements, donc une action humaine reste toujours requise.

Malgré toutes les améliorations apportées au système de contrôle du Turbo-Expander, celles-ci restent né au moins insuffisantes, et ouvre une porte vers de nouvelles perspectives d'améliorations. En effet, la structure vétuste du Turbo-Expander requiert l'installation d'une nouvelle instrumentation qui s'ajoutera à l'ancienne afin de garantir plus de marge de manœuvre et une certaine redondance qui aura un effet positif sur la sécurité. On citera comme exemple d'instrumentations, les différents transmetteurs de pression, de température, de niveau et de vitesse. D'autre part, ceci implique le besoin d'enrichir le contenu des fenêtres de supervision par l'acquisition de toutes les données émanant de la dite instrumentation.

Ce projet était une occasion d'appliquer nos connaissances acquises durant notre formation. Il nous a permis d'acquérir un savoir faire dans le domaine pratique, de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine. D'autre part, il nous a permis d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour l'élaboration des projets d'automatisation. Cela a été pour nous une expérience très enrichissante.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail sera d'une grande utilité pour les industries et pour les promotions à venir.

Annexe 'A'

Constituantes de l'unité de GPL-2 :

L'unité de GPL-2 est composée des éléments suivants :

a) Section Manifold :

Les gaz associés issus de la séparation du pétrole brut au niveau des champs de séparation appelés communément « satellite » et au niveau des complexes *CINA* et *CIS* sont collectés dans un manifold (collecteur de gaz) à une pression de 28 bars afin d'alimenter les deux unités de liquéfaction de gaz (*GPL-1* et *GPL-2*).

La capacité de ce manifold est d'environ 40 millions Nm³/Jour. Il est muni de vannes de torches, qui servent comme sécurité de surpression.

b) Section Boosting :

La section Boosting est composée de quatre compresseurs de marque italienne nommés « Nuevo-Pignone » de type *BCL506A*, entraînés par des turbines à gaz de type « General Electric Frame 5002 ». Chacun de ces compresseurs est doté d'une vanne anti-pompage.

Le gaz provenant du Manifold à une pression de 28bars après passage dans les ballons d'aspiration (10-D101 A/B/C/D) est comprimé dans les compresseurs (10-K101 A/B/C/D), à une pression de 97bars (soit une température de 125°C). Ces gaz sont ensuite refroidis à une température de 50°C grâce notamment aux refroidisseurs (*E101*), puis dirigés vers les ballons de refoulement (10-E202 A/B/C/D), où a lieu la séparation et l'élimination de l'eau condensée. Les gaz sortants en tête de ces séparateurs sont collectés dans un collecteur commun de 34'' qui alimente les trois trains.

c) Section de déshydratation :

La teneur en eau du gaz d'alimentation est de 1600 ppmv. Celui-ci traverse de haut en bas les sécheurs contenant un lit de tamis moléculaires, qui élimine et réduit la teneur en eau à moins de 1 ppmv. Deux filtres V- 201 A/B en aval des trois sécheurs retiennent les éventuelles particules de poussière afin d'éviter les bouchages dans les instruments de mesure et des appareils sensibles. Des hygromètres en ligne placés à la sortie de la section de déshydratation servent à mesurer la teneur en eau du gaz séché. Une partie de ce gaz déshydraté (54KNm³/h) est chauffée dans les échangeurs *E-201 A/B/C*, et sert de gaz de régénération.

En exploitation normale, deux sécheurs sont en phase de service en parallèle (absorption) alors que le troisième est en phase de régénération (chauffage ou refroidissement).

Les différentes phases de fonctionnement des déshydrateurs sont représentées dans le tableau suivant :

➤ Température de fonctionnement :

- En service (phase d'absorption) —————> 55°C.

- En régénération (phase de chauffage) —→ 275°C.

Temps heures	0	4	8	12	16	20	24
D 201 A	Service		Régénération	Service		Régénération	
D 201 B	Régénération	Service		Régénération	Service		
D 201 C	Service	Régénération	Service		Régénération	Service	

d) Section de refroidissement :

A la sortie des sécheurs le gaz entre dans la section cryogénique à une pression de 97bars et une température de 55°C en deux flux dans les deux échangeurs *E-203* et *E-204* disposés en parallèles pour un premier refroidissement à une température de 14°C. Les deux flux se recombinent et passent dans l'échangeur *E-205* côté tube afin d'être refroidis jusqu'à une température de l'ordre de 12°C. Il est à noter que la batterie d'échangeurs *E-203*, *E-204* et le *E-205* fonctionnent avec un écoulement à contre courant. Le gaz passe ensuite dans le ballon séparateur haute pression *D-203*, où la phase liquide séparée est envoyée comme deuxième charge du déethaniseur, tandis que la phase gazeuse subie une détente isentropique dans le Turbo-Expander *K201*, pour une pression finale de 21bars et une température de -43°C. Le liquide obtenu après détente est séparé dans le séparateur *D-204*. Les gaz froids du ballon *D-204* auxquels s'ajoutent les gaz du ballon de reflux du déethaniseur *D-205* refroidissent les gaz de tête du déethaniseur et le gaz de charge dans deux échangeurs *E-208* et *E-203*.

Les températures des gaz de sortie des échangeurs *E-208* et *E-203* sont respectivement 24°C et 42°C. Ces gaz appelés gaz résiduels (gaz secs) sont comprimés dans la partie compression du Turbo-Expander *K-201* à une pression de 29bars, ce qui implique une température de 81°C, puis refroidis dans la batterie des refroidisseurs *E-206* à une température de 51°C, ensuite ils sont envoyés vers les stations de compression.

Le liquide provenant du ballon *D-203* refroidit le gaz de charge dans l'échangeur *E-204* et alimente le déethaniseur à une température de 9°C. le liquide provenant du ballon *D-204* refroidit les gaz de tête de la colonne déethaniseur *E-207* et les gaz de charge de l'échangeur *E-205*.

e) Section de fractionnement :

L'hydrocarbure liquide récupéré dans la section de refroidissement et de détente est séparé en *GPL* et en condensât au niveau du débutaniseur (*C-202*), après l'extraction des constituants légers dans le déethaniseur (*C-201*).

➤ *Débutaniseur C-202 :*

C'est une colonne à 33 plateaux à clapets, opère à une pression de 14bars. Celle-ci est conçue pour séparer les produits du fond de du dééthaniseur en :

- Produit de tête : *GPL* (mélange de propane et de butane).
- Produit de fond : condensât (fraction pentane et plus).

Les vapeurs de tête à 67°C sont entièrement condensées dans les refroidisseurs *E-210*, où le *GPL* est recueilli dans le ballon de reflux *D-206* à une température de 55°C. Une partie de ce liquide est retournée par la pompe *G-203 A/B* comme reflux vers le 1^{er} plateau du débutaniseur *C-202*, afin de maintenir la température de tête, l'autre est acheminée vers le stockage.

Le rebouilleur *E-211* permet, quand à lui d'évaporer le *GPL* dissous et maintenir la température du fond à 152°C. Les condensats chauds sortants de ce dernier sont refroidis dans la batterie des refroidisseurs *E-212* à une température de 55°C pour être envoyés vers l'unité de traitement de brut.

➤ *Dééthaniseur C-201 :*

C'est une colonne de fractionnement constituée de 48 plateaux à clapets. Les paramètres opératoires de cette colonne sont les suivants :

- Pression de service : 24bars.
- Température de tête : -23°C.
- Température de fond : 90°C.
- Reflux total.

Deux circuits assurent l'alimentation de la colonne *C-201*, une alimentation supérieure, provenant du ballon *D-204*, est introduite au niveau du 13^{ème} plateau, à une température de -6°C, tandis que l'alimentation inférieure est assurée par le liquide du ballon *D-203*. Ce liquide alimente le 21^{ème} plateau à une température de 9°C.

Les vapeurs de tête sont condensées partiellement dans les échangeurs *E-207* et *E-208* puis récupérées dans le ballon de reflux *D-205*. D'autre part, le résidu du dééthaniseur passe directement vers le 17^{ème} plateau du débutaniseur *C-202*.

f) Section d'huile chaude :

Un système d'huile chaude est prévu afin d'assurer le chauffage du gaz dans :

- Le rebouilleur du débutaniseur *E-211*.
- Le rebouilleur du dééthaniseur *E-209*.
- Le rebouilleur du dépropaniseur *14-E-302*.
- Les réchauffeurs de gaz de régénération *E-201 A/B/C*.

Ce système d'huile se compose :

- Du four *H-231* ;
- Du ballon tampon d'huile chaude *D-231* ;
- Des pompes d'huile chaude *G-231 A/B/C* ;
- D'un refroidisseur d'huile chaude *E-231* ;
- Des récupérateurs de chaleur de l'échappement des boosters *10-H101 A/B/C/D* ;
- D'un ballon d'appoint *10-D-103*.

Le chauffage est assuré par un fluide colporteur (Torada TC). L'huile chaude refoulée par les pompes *G-231 A/B/C* est transférée du ballon tampon *D-231* au récupérateur de chaleur *10-H-101 A/B/C/D* afin de subir un préchauffage à une température de 207°C (récupération de la chaleur des gaz chauds d'échappement des turbines) et est ensuite chauffée à une température de 288°C dans le four (*H-231*).

Après avoir libérée ses calories dans les rebouilleurs et les échangeurs, l'huile revient au ballon tampon d'huile, le circuit d'huile étant un circuit fermé.

g) Section dépropaniseur :

Le but de cette unité est de fractionner une partie du *GPL* en deux composantes : butane et propane, suivant les besoins et la demande locale.

La charge de *GPL* issue des sphères de stockage, à une température qui avoisine les 55°C alimente le splitter de propane *14-C-301*.

Le dépropaniseur fonctionne à une pression de service de 20bars, une température de tête de 59°C et une température de fond de 111°C.

L'équipement constituant cette section se compose de :

- Un ballon de reflux *14-D-301*.
- Un condenseur de propane *14-E-301*.
- Un rebouilleur *14-E-302*.
- Des pompes de reflux *14-G-301 A/B*.
- Du refroidisseur de butane *14-E-303*.

Le propane (produit de tête) et le butane (produit de fond) sont respectivement refroidis dans les échangeurs *14-E-301* et *14-E-303* à une température de 55°C, avant d'être envoyés vers le stockage des produits finis de l'unité *GPL-1*, pour le livrer ensuite à *NAFTAL*.

h) Section de stockage et pomperie :

La section de stockage et pomperie comprend :

- Trois sphères de stockage de *GPL* (*15-T-401 A/B/C*) d'une capacité de 500 m³ chacune, pour le stockage du *GPL*.

- Une sphère de stockage *15-T-402* prévue pour le stockage des éventuels produits off spécifications.
- Deux pompes verticales (*15-G-402 A/B*) sont utilisées pour l'expédition du *GPL*, à une pression de 30bars, vers Haoud El Hamra.

i) Section utilités :

➤ **Réseau d'air instrument et d'air service :**

L'air fourni par les compresseurs axiaux des turbines à gaz et les compresseurs d'air sert ;

- D'une part pour fournir de l'air service (besoins de l'unité ; utilisation pour soufflage, nettoyage ou autre)
- D'autre part l'air instrument (air séché par des sècheurs d'air à alumine) pour les vannes de contrôle et l'instrumentation de l'unité.

➤ **Unité de production d'azote :**

Une unité de production d'azote a été installée à cet effet pour produire de l'azote gazeux avec une pureté de 98% et un débit d'environ 300Nm³/h.

Le système de gaz inerte est constitué :

- D'un générateur de gaz inerte *16-V-512*.
- D'un compresseur de gaz inerte *16-K-512*.
- D'un réservoir de gaz inerte *16-D-512*.

Le gaz inerte est transféré du *16-V-521* au *16-K-521* après passage dans le *16-D-521*, il est distribué dans l'usine de *GPL-2* par un réseau de distribution.

➤ **Système de fuel-gaz ou gaz combustible :**

Le gaz combustible est pris à partir du gaz résiduel (gaz sec). Celui-ci assure l'alimentation en gaz combustible :

- Des quatre turbines à gaz *KT-101* à une pression de 6bars.
- Des trois fours *H-231* à une pression de 1.5bars.
- Des quatre pilotes du réseau de torches à une pression d' 1bars.

j) Réseau de torches :

Le système de torche est constitué de trois torches distinctes :

➤ **Torche compresseur 30''**

Elle assure la décompression des compresseurs fonctionnant à une pression de 97.3bars, en moins de 5 minutes.

➤ **Torche haute pression 24''**

Chaque train est doté d'une torche de décompression pour assurer la sécurité de l'installation et des équipements en cas de déclenchement électrique, augmentation de pression, incidents ou autres.

➤ **Torche froide 14’’**

Les produits de tête de chaque train sont combinés et envoyés vers la torche via le ballon tampon de torche froide *17-D-601*.

k) Salle de contrôle :

En phase de démarrage, les vannes stratégiques du process et celles des machines tournantes sensibles sont actionnées à partir des régulateurs en salle de contrôle, pour assurer une évolution graduelle des différents paramètres (pression, température, débit, vitesse de rotation...).

La salle de contrôle de l'unité *GPL-2* est équipée d'un système de contrôle récent et sophistiqué appelé Triconex, équipé de plusieurs consoles de supervision assurant l'interface entre l'opérateur et les organes de régulation et de mesure.

l) Sécurité de l'unité *GPL-2*:

➤ **Le système de lutte contre l'incendie :**

Le système de lutte contre l'incendie permet une intervention rapide et efficace en cas où un incendie surviendrait dans les locaux à protéger. Il est constitué des équipements et des installations suivants :

- Un bac d'eau de 9000m³.
- Une pomperie d'incendie et un réseau d'eau composée de deux pompes *JOCKY*, une en service et une de secours. Ces pompes assurent le maintien de pression à 6bars en permanence dans le réseau.
- Une pompe électrique assure le complément de pression nécessaire en cas d'intervention (14bars).
- Une pompe diesel qui assure l'appoint d'eau nécessaire en cas de coupure de courant.

Le réseau d'eau se compose de canons monitor, de bouches incendie, de postes équipés de lance eau, répartis sur le pourtour de l'unité.

➤ **Les systèmes automatiques d'extinction :**

- **Système d'extinction au gaz carbonique :**

Le principe de fonctionnement du système d'extinction automatique à gaz carbonique CO₂ destiné aux sous stations électriques et à la salle de contrôle est le suivant :

Une fois que la température d'un équipement augmente suite à un dysfonctionnement ou à un incendie, le détecteur de feu envoie un signal et une électrovanne est actionnée par le système anti incendie. Après un délai de 30 secondes, l'électrovanne s'ouvre et provoque la décharge des bouteilles dans un collecteur. Le CO₂ sera ensuite déchargé par des diffuseurs.

- **Système d'extinction à poudre :**

Cette installation est destinée à la protection contre l'incendie des équipements tels que compresseurs, pompes d'expédition et les Turbo-Expander.

Le principe de fonctionnement repose sur la détection de chaleur en cas de feu et l'envoi d'un signal à une électrovanne située sur des bouteilles provoquant la propulsion d'une poudre par de l'azote, en la dirigeant à travers les conduites vers l'équipement concerné.

Dans ce qui suit, la Figure I.4 schématise les différentes composantes de l'unité de liquéfaction du gaz (*GPL-2*), un schéma plus détaillé est donné dans l'annexe.



Bibliographie

Bibliographie

Ouvrages :

[1] Y. Lamia, « Analyse complexe et évaluation des programmes des puits en short radius et horizontaux à Hassi-Messaoud : aspect géologique et application dans la partie sud », Mémoire de Magister, Université M'hamed BOUGARA, Boumerdés, 2010.

[2] Fichier de présentation de l'unité GPL2, Documentation interne, GPL2, Hassi-Messaoud, 1997.

[3] G.Ingram, « Basic concepts in turbomachinery », Edition Book-Boon, 2009.

[4] « Guide de maintenance du Turbo-Expander K201 de GPL2 », Japon Gas Corporation, Japon 1997.

[5] « Intouch HMI visualization guide », Documentation given by Invensys Systems, Inc., 2007.

[6] G. Michel, « Les A.P.I. : architecture et applications des automates programmables industriels », édition Dunod, 1988.

[7] « Technical product guide: Tricon system », Documentation given by Invensys systems, Inc., 2006.

[8] R.Baskaran, « Tricon system description », Documentation given by Invensys systems, Inc., 2007.

[9] « Intouch data management guide », Documentation given by Invensys systems, Inc., 2007.

Sites internet :

[10] http://fr.wikipedia.org/wiki/Hassi_Messaoud

[11] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Sonatrach>

[12] http://fr.wikipedia.org/wiki/Pair_à_pair