

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

Réf:...../2022



MEMOIRE

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

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Automatique

Spécialité: Automatique et Informatique Industrielle

Par: AYAB Bilal et BAALI Mehdi

Thème

**Régulation du turbo-expander et automatisation de la vanne
Joule-Thomson au niveau de SH-FCP sous YOKOGAWA Centum
VP**

Soutenu publiquement, le 19/06/2022 devant le jury composé de:

Dr KECHIDA Sihem

Dr LOUCIF Fatiha

Dr SEBBAGH Abdennour

Professeure

MCB

MCA

Univ. Guelma

Univ. Guelma

Univ. Guelma

Président/ Encadreur

Examineur

Examineur

Année Universitaire: 2021/2022

Remerciement

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

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

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

Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous les départements de SONATRACH-FCP (GSE-MLE), et surtout aux équipes de l'instrumentation et de l'exploitation.

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

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

Dédicace

Pour que ma réussite soit complète, je la partage avec tous les personnes qui m'ont soutenue tout au long de ma formation.

Je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers.

A mes chers parents pour leur amour et pour le courage et la volonté qu'ils m'ont inculqué.

A mes sœurs et toute ma famille, mes amis et mes proches.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

MEHDI.B

Dédicace

A mes parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute ma vie. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères et à ceux qui ont partagé avec moi les bons moments durant ce projet, qui m'ont supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A toute ma famille, A tous mes amis depuis mon enfance.

Bilal .A

ملخص:

يندرج عمل هذه الأطروحة في إطار الإشراف و رقابة الأنظمة الصناعية و يتمحور حول تحسين نظام التحكم و المراقبة عن بعد لنظام تبريد الغاز المتكون من صمام جول-تومسن و Turboexpander التابع لشركة SONATRACH-ENI (SH-FCP) باستخدام برنامج DCS YOKOGAWA Centum VP. و يهدف هذا العمل إلى إعادة إستخدام حلقات الضبط و أتمتة تشغيل الصمام في نظام DCS لأجل تسهيل التحكم في الوحدة و لضمان سلامة سلسلة الإنتاج عند حدوث أعطال.

الكلمات المفتاحية: الرقابة، التحكم، نظام DCS ، برنامج YOKOGAWA Centum VP ، HMI ، Turbo-expander.

Résumé:

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la supervision et du contrôle des systèmes industriels. L'idée est d'améliorer le fonctionnement du système 25 de conditionnement de gaz dans l'association SONATRACH- ENI (SH- FCP) c'est-à-dire la vanne JT et le turbo-expander Atlas-Copco MAFITRENCH en utilisant le logiciel de programmation DCS YOKOGAWA Centum VP.

L'objectif étant de réintégrer les boucles de régulation du turbo-expander et d'automatiser le fonctionnement de la vanne JT sous DCS afin de faciliter le contrôle de l'unité et de garantir la sécurité de la chaîne de production en cas de dysfonctionnement.

Mots clés: Supervision, Système de Contrôle Distribué, turbo-expander, vanne JT, YOKOGAWA Centum VP, HMI.

Abstract:

The work presented in this Master's thesis is part of the supervision and control of industrial systems. The idea is to improve the operating of the gas conditioning system in SONATRACH-ENI (SH-FCP) association, which contains the JT valve and the Atlas-Copco MAFITRENCH turbo-expander using YOKOGAWA Centum VP software.

The objective is to reintegrate the regulation loops of the turbo-expander and to automate JT valve's operating using DCS in order to facilitate the whole unit control and to ensure the safety of the production in the dysfunction cases.

Keywords: Supervision, Distributed Control System, turbo-expander, JT valve, YOKOGAWA Centum VP, HMI.

Liste des abréviations

FCP: First Calgary Petroleums

SH: Sonatrach

GSE: Groupement Sonatrach-ENI

CAFC: Central Area Field Complexe (Complexe du champ zone centrale)

CPF: Central Processing Facility (Installation de traitement centrale)

MMSCFD: Million Standard Cubic Feet per Day (Millions de pied cubes standard / jour)

DCS: Distributed Control System (Système de contrôle distribué)

SCADA: Supervisory control and data acquisition

HMI: Human Machine Interface

HIS: Human Interface Station

ESD: Emergency Shut Down (Arrêt d'urgence)

HH: High-High Limit

PH: High Limit

HHV: High Heat Value (Pouvoir calorifique supérieur)

LL: Low-Low Limit

PL: Low Limit

LPG: Liquefied Petroleum (Gaz De Pétrole Liquéfié GPL)

MLE: Menzel Ledjmet East

MLN: Menzel Ledjmet North

P&ID: Piping & Instrument Diagram (Schéma tuyauterie et instrumentation)

PFD: Process Flow Diagram (Schéma du procédé)

BARG: Bar Gauge (absolu)

JT Valve: Joule Thomson Valve

API: Automates Programmables Industriels

PLC: Programmable Logic Controller

FBD: Function Bloc Diagram

SNCC: Système Numérique de Contrôle- Commande

PID: Proportional integral derivative

FCS: Field Control Stations

OPS: Operator Station

EWS: Engineering Work Station

SCS: Safety Control Station

BCV: Bus Converter

CGW: Communication Gateway

SFC: Sequential Function Chart

SEBOL: Sequence and Batch Oriented Language

IOM: Input Output Module

RTD: Resistance Temperature Detector

PV: Process Value

SV: Set Value

MV: Manipulated Value

ATE: Automatic Thrust Equalizer

IGV: Inlet Guide Valve

LC: Level Controller

PSV: Pressure Safety Valve

TABLE DES MATIERES

Remerciement	I
Dédicaces	II
Résumés	IV
Liste des abréviations	V
Table des matières	VII
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XIV

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

Chapitre I : Présentation du champ MLE

I.1 Introduction	2
I.2 Présentation de l'association SH-FCP	2
I.3 Description générale	2
I.4 Vue d'ensemble de l'installation	3
I.5 CPF–Procédé	6
I.6 CPF– Services	7
I.7 Systèmes électriques	7
I.8 Télécommunication	7
I.9 Automatisation	8
I.10 Autres systèmes	8
I.11 Liens avec d'autres usines ou installations	9
I.12 Conclusion	9

Chapitre II : Description générale du turbo-expander

II.1 Introduction	10
II.2 Définition des turbomachines	10
II.3 Classification des turbomachines	10
II.4 Historique	10
II.5 Définition du turbo-expander	11
II.6 Utilisation des turbo-expanders.....	12
II.7 Utilisation du turbo-expander dans SH-FCP	12
II.8 Les composants et les auxiliaires de l'ensemble turbo-expander/ compresseur.....	13
II.8.1 Les composants	14
II.8.2 Les systèmes auxiliaires	15
II.9 Avantages et inconvénients du turbo-expander	16
II.10 Les causes d'arrêt	16
II.11 La vanne Joule-Thomson	17
II.11.1 Principe de fonctionnement	18
II.11.2 Les avantages et les inconvénients de la vanne JT	18
II.11.3 Comparaison entre la vanne JT et le turbo-expander	18
II.12 Conclusion.....	19

Chapitre III : Les systèmes de contrôle et de supervision

III.1 Introduction	20
III.2 La supervision industrielle	20
III.2.1 Définition	20
III.2.2 Structure générale d'un système industriel	20
III.2.3 Les systèmes de supervision	21
III.3 Automate Programmable Industriel ou PLC	22
III.3.1 Définition	22
III.3.2 Structure interne d'un API	22

III.3.3 Principe de fonctionnement d'un API	23
III.4 Système DCS	24
III.4.1 Description d'un DCS	24
III.4.2 Les caractéristiques du DCS	25
III.4.3 L'architecture du DCS	25
III.4.4 Champs d'application du DCS.....	26
III.4.5 Les avantages du DCS	26
III.4.6 Les grands fournisseurs des DCS	26
III.5 Système CENTUM VP par Yokogawa	27
III.5.1 Architecture du CENTUM VP.....	28
III.5.2 Station de contrôle FCS	28
III.5.3 Module d'entrée/sortie	29
III.5.4 Station d'interface homme-machine (HIS)	30
III.5.5 Réseaux de communication	32
III.5.5.1 Réseau du système du contrôle V-Net	33
III.5.5.2 Réseau Ethernet	33
III.5.6 Programmation d'un projet sur le logiciel Yokogawa Centum VP .	33
III.5.6.1 Création d'un projet	34
III.5.6.2 Création d'une nouvelle FCS	35
III.5.6.3 Création d'une nouvelle HIS	36
III.5.6.4 Création des entrées / sorties de la FCS	37
III.5.6.5 Lancement de la fonction de test	39
III.6 Conclusion	44

Chapitre IV : Automatisation et simulation sous CENTUM VP

IV.1 Introduction	46
IV.2 Description du Système Conditionnement de gaz (système 25)	46
IV.2.1 Le refroidissement du gaz	46

IV.2.2 La détente du gaz	46
IV.2.3 La compression du gaz	47
IV.3 Démarrage et arrêt du turbo-expander	47
IV.3.1 Les vérifications préalables au démarrage	48
IV.3.2 Le panneau de commande (UCP) et les systèmes du PLC	48
IV.3.3 Procédure de démarrage	50
IV.3.4 Procédures de l'arrêt (Shutdown)	51
IV.4 Problématique	52
IV.5 Configuration du système DCS	53
IV.5.1 Déclaration des entrées/ sorties.....	53
IV.5.2 Description de contrôle	54
IV.5.3 Programmation de l'aspiration du turbo-expander	56
IV.5.4 Programmation des boucles de régulation	61
IV.5.5 Programmation des blocs calculateurs « CALCU »	63
IV.5.6 Programmation de bouton poussoir avec le switch «PBS5C».....	68
IV.6 Développement de l'interface de Supervision sous CENTUM VP	69
IV.6.1 Création et programmation d'une page graphique dans la HIS	70
IV.6.2 Présentation des interfaces du projet	73
IV.7 Conclusion	76
Conclusion générale	77
Bibliographie	78
Annexe	80

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Réseau de collecte de MLE	4
Figure I.2. Diagramme générale de MLE + CAFC	5
Figure I.3. Plan de l'usine CPF (Modèle 3D).....	6
Figure I.4. Vue d'ensemble de la CPF (Modèle 3D)	6
Figure II.1. Turbo-expander de l'usine de Lacq (France)	11
Figure II.2. L'ensemble turbo-expander/ compresseur Atlas Copco MAFI-TRENCH	12
Figure II.3. Turbo-expander dans le processus de traitement de gaz	13
Figure II.4. Schéma descriptif des composants du turbo-expander	14
Figure II.5. Vanne Joule Thomson utilisé dans SH-FCP	17
Figure II.6. Comparaison entre le fonctionnement du turbo-expander et la JT	19
Figure III.1. Structure générale d'un système industriel	21
Figure III.2. Structure interne d'un API	23
Figure III.3. Cycle typique d'exécution des programmes d'un API	24
Figure III.4. Architecture de DCS	25
Figure III.5. L'historique des systèmes de Yokogawa	27
Figure III.6. L'architecture des systèmes de Yokogawa	29
Figure III.7. L'adaptation des signaux échangés.....	29
Figure III.8. Salle de contrôle (stations HIS)	31
Figure III.9. Système de multifenêtrage	31
Figure III.10. Le clavier Opérateur de Yokogawa	32

Figure III.11. Liaison entre FCS et HIS	34
Figure III.12. Création d'un nouveau projet	34
Figure III.13. Confirmation d'un nouveau projet	35
Figure III.14. Boite de dialogue pour créer une nouvelle FCS	36
Figure III.15. Boite de dialogue pour créer une nouvelle HIS.....	37
Figure III.16. Création d'un IOM.....	38
Figure III.17. Création d'un nouveau module d'entrée/sortie	38
Figure III.18. Création d'une carte d'entrée/sortie.....	39
Figure III.19. Insertion des blocs de fonction	40
Figure III.20. Lancement de « test fonction ».....	40
Figure III.21. Bandeau d'exploitation	41
Figure III.22. Vue graphique de type synoptique.....	42
Figure III.23. Les types des faces-avants.....	42
Figure III.24. Les alarmes et les indicateurs	43
Figure III.25. Vue de réglage	44
Figure IV.1. L'armoire du PLC Allen-Bradley du turbo-expander	49
Figure IV.2. L'HMI de l'armoire du PLC (UCP)	50
Figure IV.3. Schéma des boucles de régulation	56
Figure IV.4. Vue générale du projet	57
Figure IV.5. Le bloc PVI qui représente le 25TIT00046	57
Figure IV.6. Partie régulation du DR0001	58
Figure IV.7. Configuration des paramètres du bloc AVE-M.....	59
Figure IV.8. Paramètres de l'Auto-Selector de la boucle d'override	59

Figure IV.9. Edit Details du bloc SPLIT.....	60
Figure IV.10. Les deux blocs MLD-SW utilisés avant les éléments finaux	61
Figure IV.11. Fenêtre Tuning du régulateur 25PIC00014	62
Figure IV.12. Régulateurs de pression et de débit dans DR0003	63
Figure IV.13. Edit détail d'un bloc CALCU.....	63
Figure IV.14. Signal de trip (ESD) dans le DR0002	64
Figure IV.15. Edit détail du bloc TRIPSLT	65
Figure IV.16. Partie logique du DR0001	66
Figure IV.17. Edit Detail du bloc 25TDSL00001	67
Figure IV.18. Les blocs et l'algorithme de la rampe	67
Figure IV.19. Sélecteur de mode CAS/ MAN.....	68
Figure IV.20. Le Faceplate switch du bouton-poussoir AUT_OP1	69
Figure IV.21. L'interface principale de « Graphic Builder »	70
Figure IV.22. La création de vue du ballon d'aspiration	71
Figure IV.23. Les barres d'outils de Graphic Builder	71
Figure IV.24. Bibliothèque standard de Graphic Builder	72
Figure IV.25. Configuration de l'animation des objets	72
Figure IV.26. Vue du ballon d'aspiration	74
Figure IV.27. Vue de processus du turbo-expander	74
Figure IV.28. Vue alarmes de processus.....	75
Figure IV.29. Vue rapport historique.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1. Les différents signaux d'entrée/sortie	30
Tableau IV.1. Liste des vérifications préalables au démarrage	48
Tableau IV.2. Déclaration des entrées/ sorties et des fonctions de contrôle	54
Tableau IV.3. Les boucles des régulations et ses paramètres	62

Introduction générale

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

Cette évolution a été traduite par un changement dans les techniques de contrôle : Passage des systèmes pneumatiques aux systèmes numériques, du contrôle centralisé au contrôle distribué, qui est le DCS.

L'automatisation est la priorité absolue dans les industries modernes, le débat sur ce phénomène est toujours sujet à controverse vu que la machine a tendance à remplacer l'homme dans plusieurs tâches, il ne peut hélas assurer les tâches que fait la machine dans plusieurs domaines.

La SONATRACH a pris un peu d'avance avec l'installation des nouveaux systèmes numériques de contrôle très performants, la rénovation des équipements, la modernisation de l'instrumentation et des machines afin d'améliorer la fiabilité, d'assurer la sécurité industrielle, ainsi que permettre d'optimiser la production ce qui agit positivement sur l'économie du pays.

Le turbo-expander est le cœur de chaque industrie gazière ou pétrolière, c'est un organe très important dans la récupération du GPL. Afin d'atteindre une basse température et pression en aval, il est nécessaire d'assurer le bon fonctionnement du turbo-expander. A cet effet et en raison de l'importance de ce dernier sur la production, nous nous sommes intéressés à l'étude du système 25 de conditionnement de gaz dans l'association SONATRACH- ENI (SH- FCP) en vue d'améliorer son fonctionnement et sa sécurité. Ce travail entre dans le cadre d'un stage pratique effectué au sein de l'usine SH-FCP durant la période de 19 mars au 16 avril 2022.

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

Dans un premier chapitre, une présentation du champ dans lequel nous avons effectué notre stage et réalisé cette étude.

Ensuite, une description générale sur le turbo-expander est présentée dans le chapitre suivant.

L'étude des systèmes de contrôle et de supervision et en particulier le système DCS qui fait l'objet de notre projet est exposé en troisième chapitre.

En dernier chapitre, nous avons discuté la solution pour la problématique proposée dans le cadre de notre sujet de fin d'études. Pour ce faire, une étude préalable pour la maîtrise du logiciel de programmation Centum VP de Yokogawa nous a permis d'implémenter et d'intégrer la solution au système existant.

Chapitre I

Présentation du champ MLE

I.1 Introduction	2
I.2 Présentation de l'association SH-FCP	2
I.3 Description générale	2
I.4 Vue d'ensemble de l'installation	3
I.5 CPF–Procédé	6
I.6 CPF– Services	7
I.7 Systèmes électriques	7
I.8 Télécommunication	7
I.9 Automatisation	8
I.10 Autres systèmes	8
I.11 Liens avec d'autres usines ou installations	9
I.12 Conclusion	9

I.1 Introduction

Après son indépendance, l'Algérie avait besoin de renforcer son économie pour rivaliser avec le développement économique mondial, seulement un an plus tard, l'Algérie a valorisé les hydrocarbures, et grâce à des nouvelles explorations des réserves pétrolières, on était obligé d'ouvrir des collaborations avec des sociétés étrangères pour l'amélioration quantitative et qualitative de la production d'hydrocarbures. Dans ce chapitre, nous présentons une description détaillée de l'association SH-FCP où nous avons fait le stage, mais aussi notre projet de fin d'études qui est une machine indispensable dans cette usine.

I.2 Présentation de l'association SH-FCP (MLE GSE)

SH-FCP est une association entre SONATRACH ET FCP. Tout d'abord, **SONATRACH** «Société Nationale pour la Recherche, la Production, le **T**ransport, la **T**ransformation, et la **C**ommercialisation des **H**ydrocarbures» est une entreprise publique algérienne créée le 31 décembre 1963, un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine ; SONATRACH est classée la première entreprise d'Afrique.

Le groupement SONATRACH à plusieurs organisations comme partenaires, parmi eux, l'association SH-FCP. Le 13 octobre 2001, First Calgary Petroleum (FCP) a conclu un contrat de partage de production avec SONATRACH en vue de l'exploration, de l'estimation et de l'exploitation des hydrocarbures du bloc 405(b) dans le champ de Menzel Ledjmet Est (MLE). ENI étant l'Enterprise National Italienne avait acheté les actions de FCP en 2008 est devenue le propriétaire avec SONATRACH mais le nom de l'association est demeuré le même sans qu'il soit modifié.

I.3 Description générale

Le champ de gaz Menzel Ledjmet Est (MLE) est un projet commercial conjointement développé par SONATRACH et FCP. Le champ MLE se situe au sein du Ledjemet, dans le bloc 405b de Berkine à environ 220km au sud-est de Hassi Messaoud.

Le concept développé se compose d'un système de collecte, d'une usine de traitement centrale CPF (Central Processing Facility), d'une autre usine nommée CAFC-Oil était ajouté en 2017, d'une infrastructure et de canalisations d'exportation du gaz à vendre, du GPL, du condensat et de l'huile. Tous les équipements de MLE sont conçus pour pourvoir aux besoins à la fois de MLE et de CAFC-Oil

Les systèmes de stockage pour l'exportation et la plupart des services de l'équipement sont conçus pour les installations de CAFC-Oil.

La CPF de MLE et les installations d'impact correspondantes (par exemple, l'installation de récupération du GNL) ont une capacité nominale de 300 MMSCFD du gaz à vendre (projet garanti 350 MMSCFD ¹).

¹ 10000 m³/jour = 0.35 MMSCFD dans 15°C

L'usine de gaz MLE et CAFC comprend:

- 24 puits de gaz.
- 6 Manifolds –collecteurs-de brute.
- Les installations des puits.
- Les canalisations pour le transport du produit jusqu'à l'usine de traitement centrale(CPF).
- Les services associés.
- Le CPF où le traitement est accompli.
- 4 canalisations d'exportation du gaz à vendre, du condensat, du GPL et de l'huile (au total 550km)
- Les écoulements de gaz riche et pauvre de CAFC.

La centrale de traitement de gaz produit 245 MMSCFD de gaz à vendre (débit de calcul) provenant de MLE.

Le développement de 'CAFC' contient trois types de réservoirs (pétrole, gaz pauvre et gaz riche) qui s'étendent sur les parties central, sud et ouest du block 405b. La production des réservoirs de pétrole est collectée dans un system de collection qui va véhiculer les fluides des puits vers le CAFC.

I.4 Vue d'ensemble de l'installation

L'usine de traitement MLE collecte et traite les fluides extraits des puits de MLE et traite les fluides extraits des puits de CAFC dans le but de produire du gaz, de l'huile, du condensat et du GPL. Le MLE est composé de 24 puits, chaque puits se trouvant dans des sites distincts. Les dispositifs du pipeline d'exportation comprennent : les lanceurs du racleur, les vannes de sectionnement (en respectant les réglementations Algériennes) et les dispositifs de raccordement aux infrastructures existantes.

La figure suivante illustre les équipements du site schématiquement :

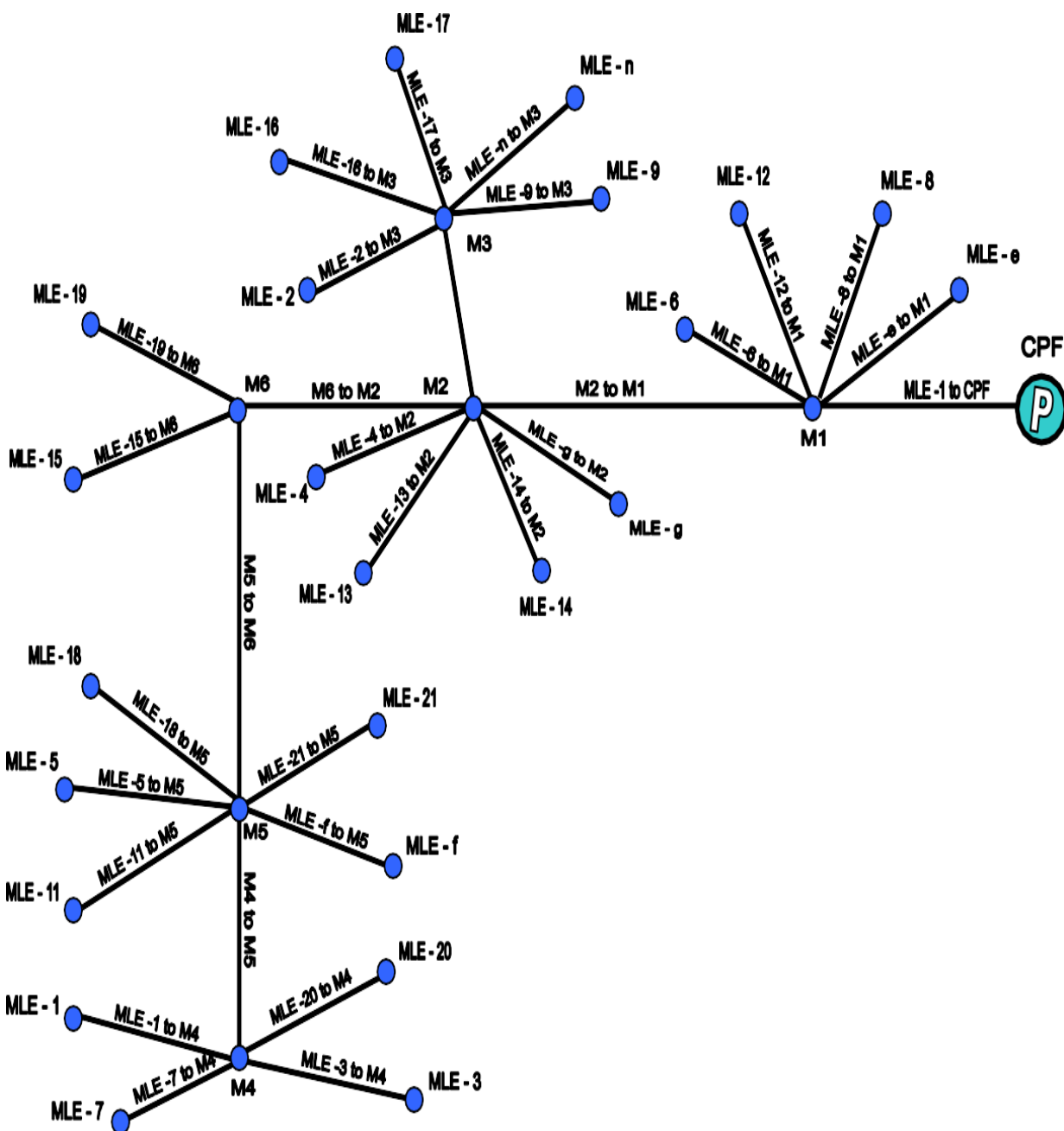


Figure I.1. Réseau de collecte de MLE

La figure ci-dessous donne un aperçu général du schéma fonctionnel de MLE+CAFC

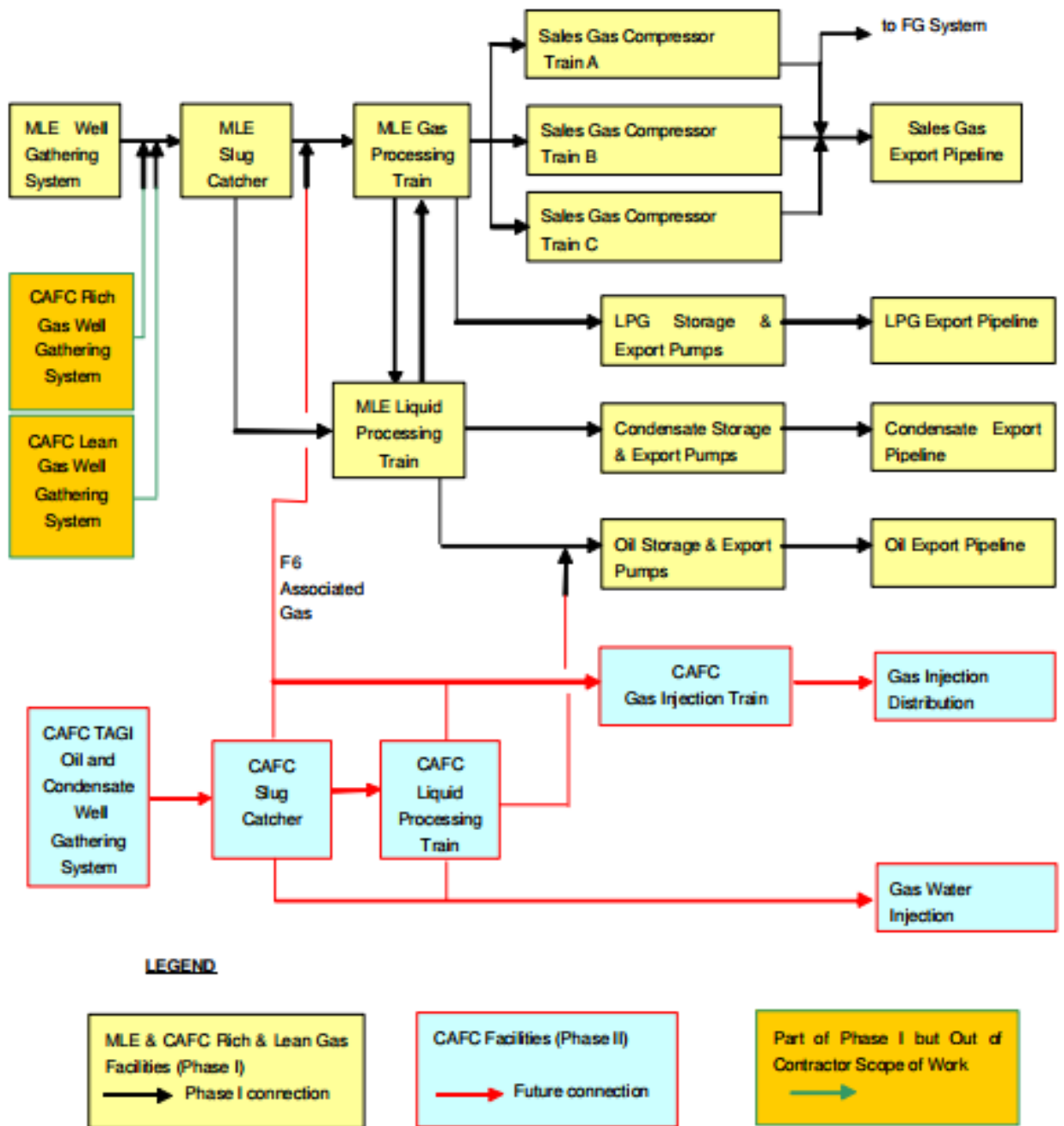


Figure I.2. Diagramme générale de MLE + CAFC



Figure I.3.Plan de l'usine CPF (Modèle3D)

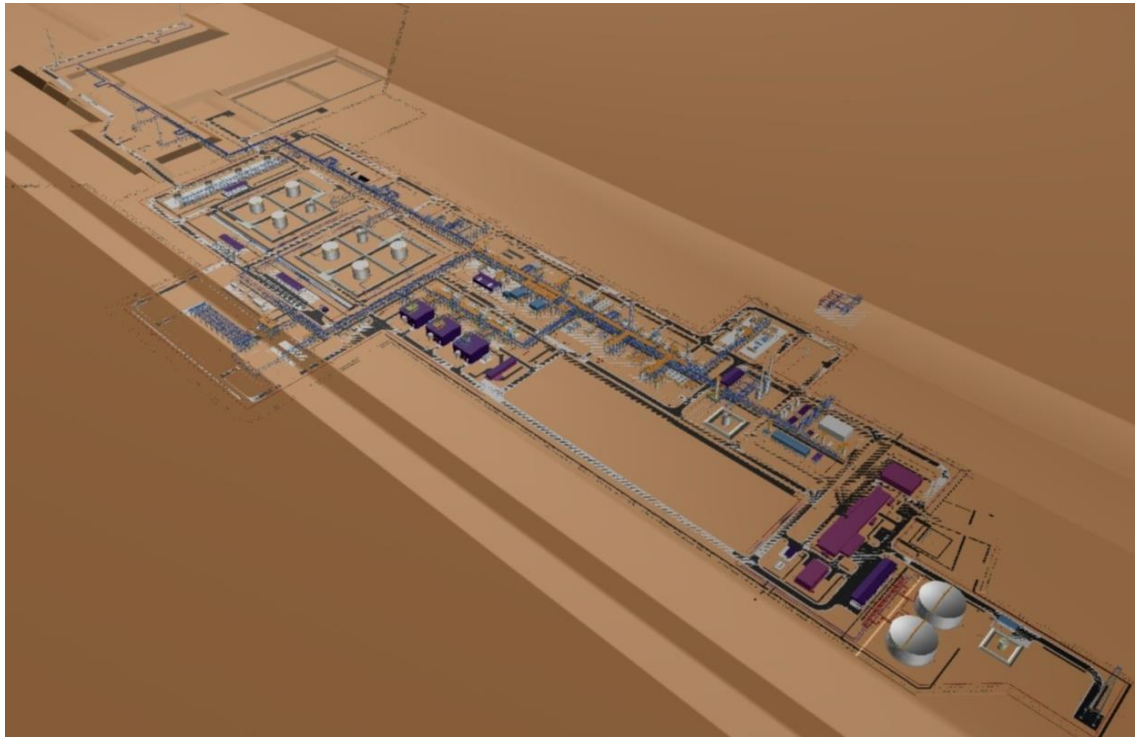


Figure I.4.Vue d'ensemble de la CPF (Modèle3D)

I.5 CPF–Procédé

Les installations de la CPF traitent les fluides extraits des puits pour produire:

- Gaz à vendre qui doit satisfaire la spécification du pouvoir calorifique,
- Condensat qui doit satisfaire les spécifications de la pression de vapeur,
- Huile qui doit satisfaire les spécifications de la pression de vapeur et de la densité,
- GPL qui doit satisfaire la spécification de la composition exigée.

Les équipements de CPF se composent de:

- Equipements de réception et Slug-Catching–Système20,
- Equipements de prétraitement de gaz pour l'élimination des impuretés H₂S–Système30,
- Elimination du CO₂– Système28,
- Traitement du gaz(Déshydrations) –Système24,
- Conditionnement du gaz (équipements de Refroidissement & Dewpointing) Système25,
- Compression & comptage du gaz à vendre–Système27,
- Traitement &Stabilisation du gaz–Système21,
- Traitement & Récupération du GPL–Système32,
- Stockage du condensat & Système de pompage–Système35,
- Stockage de l'huile & Système de pompage–Système22,
- Stockage du GPL &Système de pompage–Système 33.

I.6 CPF– Services

Les services nécessaires pour le projet de MLE sont:

- Systèmes de chauffage (Huile chaude) ;
- Systèmes d'injection des produits chimiques;
- Systèmes de la Torche, d'Évacuation & de Purge ;
- Traitement de l'eau produite;
- Système gaz combustible;
- Système d'eau source;
- Système d'eau potable;
- Système de drainage ouvert;
- Système de drainage fermé;
- Système d'alimentation du diesel;
- Système d'air combine;
- Système du gaz inerte.

I.7 Systèmes électriques

Les services électriques nécessaires pour le Projet MLE sont:

- Production et Distribution d'énergie–Haute tension;
- Production et Distribution d'énergie–Moyenne tension;
- Production et Distribution d'énergie–Basse tension;
- Approvisionnement électrique de secours–Basse Tension;
- Batterie et unités d'alimentation.

I.8 Télécommunication

Les systèmes de télécommunication comprennent:

- Modalité de Communication primaire (Voix et Données à travers le câble à Fibre Optique pour les destinations internationales et nationales) ;
- Modalité de Communication secondaire (Voix et Données via le réseau satellite VSAT) ;
- Adresse et alarme public (système PAGA).
- Système UHF (TETRA).
- VHF Base de la Station Radio
- PABX (système de téléphone commuté).
- CCTV système pour la sécurité et le procédé de surveillance.
- Système de repérage, pour l'utilisation par les services de puits et des départements de production.
- Station Météo (Vitesse et direction du vent, température et pression barométrique).
- Postes de travail.

I.9 Automatisation

L'automatisation comporte:

- ICSS (Integrated Control & Safety System)
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

L'ICSS se compose de:

- Un système de contrôle distribué (DCS) qui effectue, surveille et règle les fonctions de l'usine ;
- Un système d'arrêt d'urgence (ESD) pour protéger le personnel / l'équipement des changements inattendus du procédé ;
- Un système de Fire & Gaz (F&G) pour la détection des fuites de gaz et des incendies et pour l'activation de la protection de l'équipement.

SCADA prévue une interface de communication entre RTU/ PLC et ICSS à travers les fibres optiques.

I.10 Autres systèmes

L'usine MLE comprend aussi les systèmes suivants:

- Mise à la Terre, Eclairage et un Système de Distribution à Basse Tension; l'objectif principal de la mise à la terre est d'éviter une différence de potentiels entre deux parties connectées à la terre.
- Protection Cathodique pour la CPF, pour protéger les cuves/réservoirs présents dans la CPF.
- Protection Cathodique pour l'hors-site, pour protéger la Production de Collecte et des Canalisations d'Exportation.
- Panneaux solaires utilisés pour les têtes de puits (Unité de l'énergie hydraulique,

Instrumentations et Télémétrie) et systèmes de courant induit pour la protection cathodique des canalisations.

I.11 Liens avec d'autres usines ou installations

Le Champ MLE est relié avec d'autres usines et installations, de la façon suivante:

- Gaz à vendre: Canalisation d'exportation du gaz est raccordée à la conduite principale vers Gassi Touil ;
- GPL Produit: La canalisation d'exportation du GPL est raccordée à la conduite principale vers Gassi Touil ;
- Condensat Produit: La canalisation d'exportation du condensat est raccordée à la conduite principale vers Gassi Touil ;
- Huile Produite: La canalisation d'exportation de l'huile est raccordée à la conduite principale vers Hassi Berkine ;
- Alimentation électrique : La source principale d'énergie pour l'usine de MLE provient de la sous-station MLN (34km loin de l'usine) à travers deux lignes aériennes (OHLs «OverheadLines»). Les OHLs terminent dans un appareillage d'interruption à isolation gazeuse à 60kV (GIS «Gas Isolated Switchgear»), où le compteur fiscal électrique est inclus.

L'usine MLE est dimensionnée pour les écoulements provenant du système de collecte MLE réuni avec les écoulements riches et pauvres du gaz de CAFC. Les stockages de l'huile et du condensat et les installations d'exportations ont conçus pour la production de l'usine de MLE et son extension CAFC.

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre introductif, nous avons exposé de façon brève notre lieu de stage de Fin d'études dont l'objectif est d'implémenter une interface homme-machine pour la supervision d'un turboexpander. Les détails de ce dispositif et de cette étude seront présentés dans les chapitres suivants.

Chapitre II

Description générale du turbo-expander

II.1 Introduction	10
II.2 Définition des turbomachines	10
II.3 Classification des turbomachines	10
II.4 Historique	10
II.5 Définition du turbo-expander	11
II.6 Utilisation des turbo-expanders.....	12
II.7 Utilisation du turbo-expander dans SH-FCP	12
II.8 Les composants et les auxiliaires de l'ensemble turbo-expander/ compresseur.....	13
II.9 Avantages et inconvénients du turbo-expander	16
II.10 Les causes d'arrêt	16
II.11 La vanne Joule-Thomson	17
II.12 Conclusion.....	19

II.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter une revue générale sur les turbo-expanders et ses classifications, en se concentrant sur les définitions, ses composants et surtout son principe de fonctionnement. Ils sont utilisés dans des nombreux domaines: La production d'énergie électrique, les applications de l'industrie, etc.

Dans le traitement cryogénique¹ du gaz naturel, les turbines de détente, ou turbo-expanders, ont vu leur intérêt augmenter en tant que turbine de récupération d'énergie, et l'on ne conçoit plus certains types d'installations à son rendement élevé et sa grande fiabilité de fonctionnement.

II.2 Définition des turbomachines

Les turbomachines forment une grande famille d'appareils qui utilisent un fluide pour effectuer une transformation d'énergie. De manière générale, une turbomachine est définie comme un dispositif qui permet de donner ou de retirer de l'énergie à un fluide par l'action dynamique d'un élément rotatif appelé le rotor. Le préfixe turbo provient de latin «turbinis» qui signifie «qui tourne» [2].

II.3 Classification des turbomachines

Il en existe plusieurs façons de les classer, une première classification concerne le sens de transfert d'énergie. On distingue alors les turbomachines en deux catégories principales [2]:

1. Les turbomachines qui fournissent de l'énergie au fluide, comme les compresseurs, les ventilateurs, les pompes... ;
2. Les turbomachines dans lesquelles on retire de l'énergie du fluide pour l'utiliser comme un travail mécanique, dans ce cas on parle alors des turbines.

Et 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 distingue:

1. Les turbomachines axiales dans lesquelles la direction de l'écoulement est parallèle à l'axe de rotation de la machine.
2. 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.

II.4 Historique

Les premiers turbo-expanders semblent avoir été conçus vers 1934 ou 1935 par Guido Zerkowitz, un ingénieur italien travaillant pour la firme allemande Linde AG.

En 1939, le physicien russe Pyotr Kapitsa a perfectionné la conception des turbo-expanders centrifuges. Son premier prototype était en métal Monel, avec un diamètre extérieur de

¹La cryogénie est l'étude et la production des basses températures dans le but de comprendre les phénomènes physiques qui s'y manifestent

seulement 8 cm, fonctionnait à 40 000 tours par minute et pouvait détendre 1 000 mètres cubes d'air par heure. Il a utilisé une pompe à eau comme frein et avait un rendement entre 79% et 83%. La plupart de ces machines à usage industriel depuis lors sont basés sur la conception de Kapitsa. La production d'oxygène liquide a ainsi révolutionné la production d'acier grâce au procédé LD.

En 1978, Pyotr Kapitsa a reçu le prix Nobel de physique pour l'ensemble de ses travaux dans le domaine de la physique des basses températures. Et en 1983, San Diego Gas & Electric a été parmi les premiers distributeurs de gaz à installer une turbine d'expansion dans une station de régulation de pression du gaz naturel, récupérant ainsi une partie de l'énergie injectée à la compression [3].

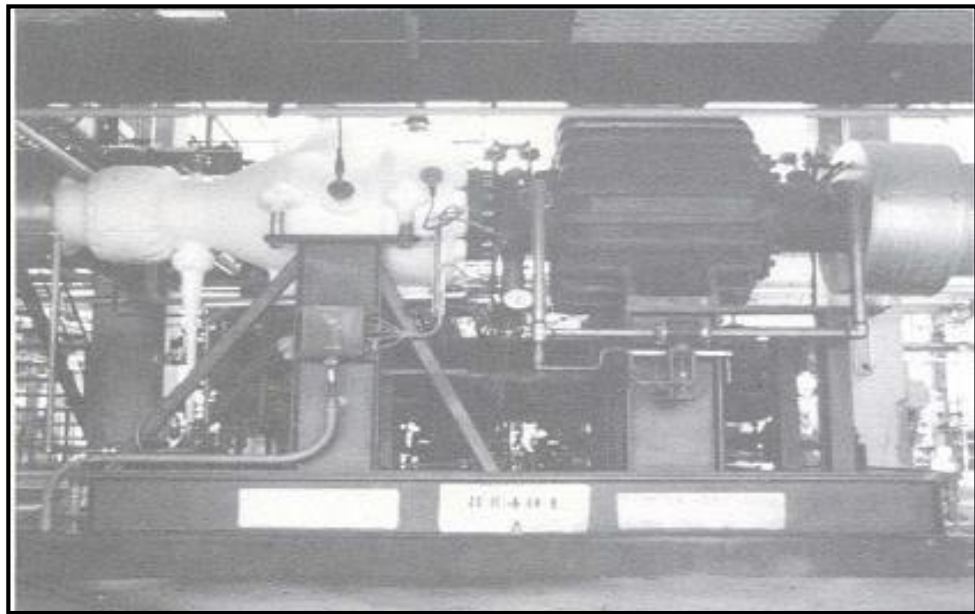


Figure II.1 Turbo-expander de l'usine de Lacq (France)

II.5 Définition du turbo-expander

Le turbo-expander est une turbine de détente à haute vitesse de rotation. A travers laquelle un gaz à haute pression est détendu en produisant un travail qui est souvent utilisé pour entraîner un compresseur. Au cours de processus de détente, la pression et la température du gaz d'alimentation chutent en liquéfiant le propane²-C₃H₈- et plus et maintenir les constituants légers (le méthane et l'éthane) à l'état gazeux.

Le passage du gaz haute pression provoque la rotation de la roue de du turbo-expander. Cette rotation est transmise à l'arbre, qui est supporté par un ensemble de paliers et à la roue du compresseur à son autre bout. En générale, la puissance transmise à l'arbre est utilisée pour entraîner un compresseur, un générateur électrique ou tout autre moyen pour dissiper cette énergie [4].

²Généralement vendu à l'état liquide, sous forme de GPL notamment (c'est l'un de ses constituants principaux).

La figure suivante représente l'ensemble turbo-expander (à gauche)/ compresseur centrifuge (à droite) (Atlas Copco MAFI-TRENCH) en un seul arbre commun:



Figure II.2 l'ensemble turbo-expander/ compresseur Atlas Copco MAFI-TRENCH

II.6 Utilisation des turbo-expanders

Les turbo-expanders sont utilisés quand dans l'un des procédés suivants [4] :

- Cryogénique
- Récupération d'énergie sur champs pétrolières
- Séparation de l'air et liquéfaction O_2, N_2
- Purification du gaz H_2, He
- Récupération d'éthane et GPL à partir de gaz naturel
- Liquéfaction de gaz naturel.

II.7 Utilisation du turbo-expander dans SH-FCP

Le gaz pré-refroidi dans un échangeur à plaques entre dans le turbo-expander où la régulation de débit, ensuite il passe par la roue de détente qui transforme l'énergie de pression de gaz en énergie cryogénique (refroidissement) et en énergie mécanique (rotation), le gaz est finalement évacué par la conduite de sortie du turbo-expander. Un compresseur centrifuge est accouplé avec l'arbre du turbo-expander pour comprimer le gaz déjà traité dans autres unités.

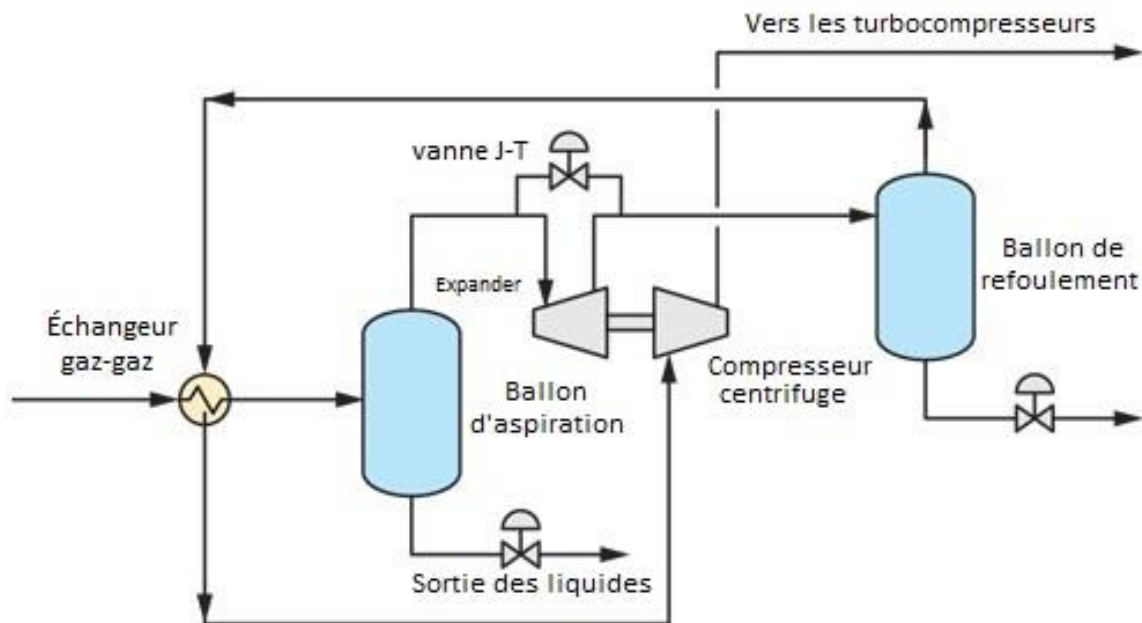


Figure II.3. Turbo-expander dans le processus de traitement de gaz

II.8 Les composants et les auxiliaires de l'ensemble turbo-expander/compresseur

L'ensemble turbo-expander/compresseur d'Atlas Copco est monté sur un châssis, il est accompagné avec d'autres systèmes indispensables pour son fonctionnement qui sont appelés les auxiliaires : système de gaz d'étanchéité, système de lubrification et le système d'égalisation de poussée (ATE).

L'ensemble est composé principalement de trois sections principales :

- La partie détenteur (turbo-expander) avec ses brides d'admission et de refoulement.
- La partie tournante ou centrale.
- La partie compresseur avec ses brides d'admission et de refoulement.

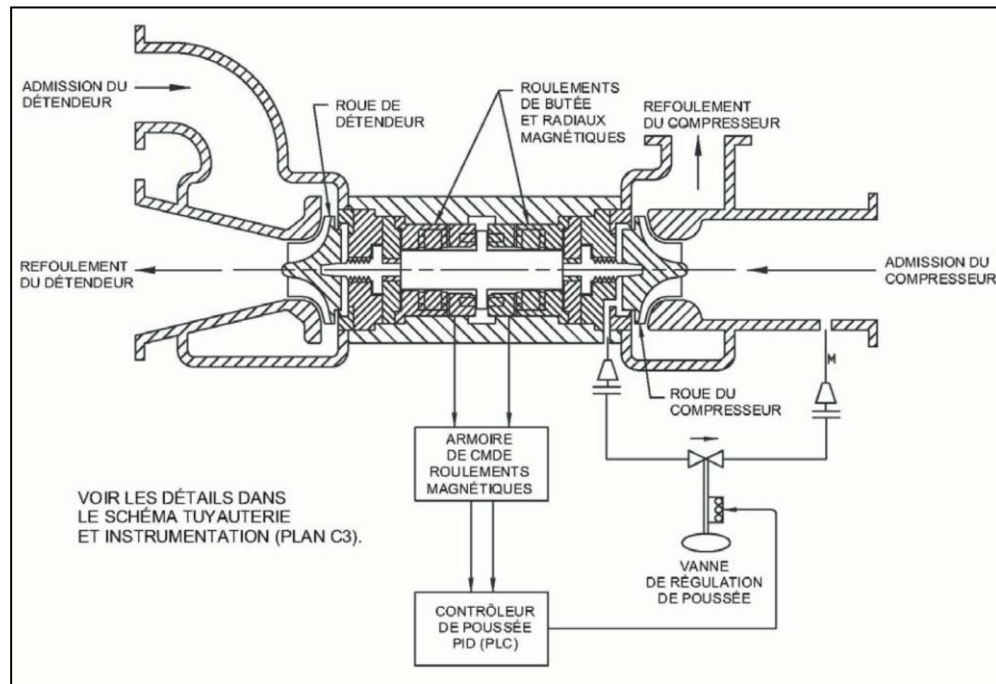


Figure II.4. Schéma descriptif des composants du turbo-expander

II.8.1 Les composants

- a) **Roue du turbo-expander:** C'est une roue à grande vitesse (plage de fonctionnement est de 9000 tr/min jusqu'à 13000 tr/min) et a pour rôle de détendre la pression du gaz comprimé.
- b) **Roue du compresseur:** Elle sert à récupérer l'énergie cinétique fournie par la roue du turbo-expander et la transforme en énergie mécanique pour comprimer le gaz -C₁ et C₂- venu de deux ballons de refoulement: celui du dééthaniseur, et de sortie du turbo-expander, et l'envoyer vers les stations de turbocompresseurs pour l'expédition.
- c) **L'arbre:** il est conçu pour fonctionner en dessous du régime critique de flexion et de résonance de torsion de premier ordre. Les roues sont posées sur une portion conique spéciale de l'arbre, avec clavettes et rainures cylindriques. Cette configuration évite les concentrations de contraintes associées aux cannelures et aux rainures de clavette classiques. Ce montage garantit une fixation des roues stables, même en condition des vitesses et des températures extrêmes.
- d) **IGV (Inlet Guide Vane) ou Aubes Directrices:** Les IGVs (aubes directrices d'entrée) régulent le débit d'alimentation, elles sont conçues pour garantir l'actionnement, un haut rendement et aucun gaz perdu sur une large plage de fonctionnement. Le mécanisme est conçu pour résister à la pression d'entrée maximale du turbo-expander, et permet de varier le débit sur une plage de 0% à environ 125 % du débit nominal par l'ouverture des aubes directrices qui sont commandée par le DCS.
- e) **Magnetic-Bearing (Les paliers magnétiques):** Cette machine utilise des paliers magnétiques, un palier magnétique est un dispositif électromagnétique qui maintient la

position relative d'un ensemble tournant (rotor) par rapport à une partie fixe (stator). Les forces électromagnétiques mises en œuvre sont contrôlées depuis une armoire de commande électronique fournie par S2M. Un palier magnétique est constitué de deux parties distinctes, le palier en soi-même et le système de commande électronique. Les changements de température des paliers sont affichés sur le DCS.

II.8.2 Les systèmes auxiliaires

a) Système de gaz d'étanchéité

Le système de gaz d'étanchéité filtre et régule l'écoulement de gaz vers les garnitures à labyrinthe à l'intérieur du turbo-expander. Le gaz d'étanchéité pendant le fonctionnement normal de la machine est venu de deux points du procédé : du refoulement des turbocompresseurs, et du système 24 de déshydratation. Le système contient aussi un régulateur de pression différentiel, un filtre, et tous les instruments de mesure nécessaires. Le gaz traverse un filtre séparateur, qui retient toutes les particules liquides et solides entraînées par le gaz. Dans le cas où une chute de pression se produit, (bouchage du filtre par exemple) une électrovanne qui contrôle la pression de gaz s'ouvre pour satisfaire la pression de gaz d'étanchéité exigée.

Ce système assure trois fonctions importantes:

- Garantir qu'il a suffisamment de gaz d'étanchéité pour évacuer la chaleur dégagée par les paliers magnétiques et par la turbulence du rotor.
- Prévenir le gaz de procédé froid et sale d'entrer aux paliers auxiliaires.
- Maintenir une pression positive dans le logement de paliers (pour empêcher l'entrée d'air).

b) Système de lubrification

Le système de lubrification du turbo-expander est conçu pour fournir de l'huile lubrifiante, refroidie, filtrée et sous pression aux paliers de la machine. A partir d'un réservoir d'huile, deux pompes à vis (une en stand-by et l'autre en service) aspirent et refoulent l'huile de lubrification à travers une vanne à trois voies. L'huile filtrée dans les filtres passe à travers les accumulateurs pour maintenir un flux d'huile pendant un manque éventuel d'un courant électrique. Ils continuent également à fournir l'huile aux paliers pendant un arrêt dû à une basse pression d'huile. L'huile avant d'arriver aux paliers de la machine, est filtrée une deuxième fois dans les filtres. Une fois les organes de la machine lubrifiés la quantité d'huile s'achemine directement vers le réservoir d'huile.

c) Système d'égalisation de poussée ATE (Automatic Thrust Equalizer)

L'approche brevetée d'Atlas Copco Mafi-Trench d'équilibrage de poussée peut être résumée comme suit :

- L'utilisation des méthodes actives et automatiques d'équilibrage de poussée pour maintenir les charges différentielles normales des paliers de butée à proximité

- Toute la capacité de palier de butée sera être disponible pour les perturbations et les transitoires.

Ceci s'effectue comme suit :

- Signaux de courant du système de palier de butée magnétique sont entrées au contrôleur de poussée PLC.
- Le contrôleur de poussée du PLC identifie lequel des deux paliers de butée est plus chargé.
- Un signal de sortie du le contrôleur de poussée est alors utilisé pour contrôler la position d'une soupape de commande de poussée.
- La soupape de commande de poussée ajuste la pression derrière la roue du compresseur pour maintenir des charges axiales équilibrées.

II.9 Avantages et inconvénients du turbo-expander

On note ses avantages [4]:

- Il est utilisé dans les méthodes de traitement, de séparation et de liquéfaction du gaz.
- Il apporte une meilleure récupération des fractions condensables du gaz naturel.
- Il assure une bonne performance par rapport aux autres systèmes de relaxation.
- Il possède une grande capacité de production (pour les grandes installations).

Et parmi ses inconvénients :

- Il confronte le problème d'usure mécanique, comme toute les machines tournantes.
- Coût d'installation très élevé lié au matériau utilisé et à la fabrication de ces éléments.
- Problème de refroidissement lié à la très basse température (de -60 °C jusqu'à -107 °C).
- Formation de gouttelettes pouvant endommager les ailettes de l'expander.

II.10 Les causes d'arrêt

Parfois s'arrêter pourrait être une conséquence d'autres machines de procédé, et d'autre fois se produire d'une cause, on note juste les plus communes :

- La survitesse (13500 – 14000 tours par min) : ce problème se produit lorsque le gaz d'entrée est riche en C₃ (lourd) donc l'expander doit augmenter sa vitesse pour le liquéfié.

- A cause du compresseur associé, comme ils ont le même arbre alors l'arrêt du compresseur va freiner l'expander, parmi les causes d'arrêter du compresseur : la vibration de pompage (débit d'entrée variant ou très faible), surpression d'aspiration, faible pression.
- Ballon d'aspiration : très haut/faible niveau (98% /1.7%), ou bien haute/faible pression (100 barg /0 barg).

II.11 La vanne Joule-Thomson

La vanne Joule-Thomson (abrégié JT) sert à réduire la pression en provoquant une chute de température importante. Elle se met sur la ligne by-pass du turbo-expander, ce qui permet la détente du gaz lorsque ce dernier est hors service ou en cours de démarrage.

Elle est composée d'un corps de vanne dans lequel circule le fluide, un mécanisme de commande, un servomoteur qui règle l'écoulement et d'autres accessoires spécifiques à chaque application particulière. L'étanchéité est assurée par le siège, les garnitures et les joints. Le fluide traverse l'empilage de l'extérieur à l'intérieur et s'écoule vers l'orifice de sortie.



Figure II.5. Vanne Joule Thomson utilisé dans SH-FCP

II.11.1 Principe de fonctionnement

L'empilage permet des variations de débit tout en limitant la vitesse de l'écoulement à travers l'élément. L'empilage consiste en un certain nombre de disques dans lesquels les labyrinthes ont été creusés de manière à permettre un débit déterminé. L'indépendance de passage est développée par une série de coudes à angle droit, chaque passage ayant un nombre déterminé de coudes pour limiter la vitesse à la valeur prévue. Chaque disque possédant une capacité donnée, le débit total à travers l'élément peut facilement être mené et contrôlé avec précision. La position du piston à l'intérieur de l'empilage détermine le débit en découvrant plus ou moins de passages dans les disques. Une vitesse d'écoulement maximale étant déterminée pour chaque disque, l'élément de contrôle peut fonctionner à une vitesse fixée et réglée surtout le champ de la capacité nominale, afin de minimiser les changements de vitesse qui produisent normalement le bruit, la vaporisation, la cavitation, la vibration et l'érosion.

II.11.2 Les avantages et les inconvénients de la vanne JT

Les avantages:

- Procédé léger.
- Insensible aux changements de débit de gaz traité.
- La pression du gaz est considérablement réduite.
- Déshydrate le gaz simultanément.

Les inconvénients:

- Récupération faible du liquide (petite capacité de production).
- Sensible aux variations de pression du gaz traité.
- Nécessite une haute pression en amont.
- Nécessite l'injection d'un inhibiteur pour empêcher la formation d'hydrates.

II.11.3 Comparaison entre la vanne JT et le turbo-expander

Il existe deux façons de chuter la température (et la pression) du gaz : la vanne JT ou bien le turbo-expander.

La vanne JT produit une détente isenthalpique, l'enthalpie (H) reste constante et aucun travail n'est disponible $W=0$ donc $\Delta H = 0$. Le turbo-expander, au contraire, convertit l'énergie du flux de gaz en réfrigération par une détente isentropique, et en travail mécanique transmis par un arbre commun vers le compresseur centrifuge. Environ de 86% de l'énergie contenue dans le flux peut être récupérée, pour un système idéal, cela signifie la récupération des milliers de cheval-vapeur de puissance.

En outre, d'après la figure ci-dessous, on peut conclure que pour le même rapport de pression et température d'entrée (Feed Envelope en bleu), la température de sortie du turbo-expander (en jaune) est inférieure à celle de la vanne JT (en violet), et par conséquent, le dewpoint³ est inférieur. Tous ces avantages du turbo-expander par rapport à la vanne JT le rend plus cher et plus efficace pour récupérer les hydrocarbures lourds (C₃ et plus).

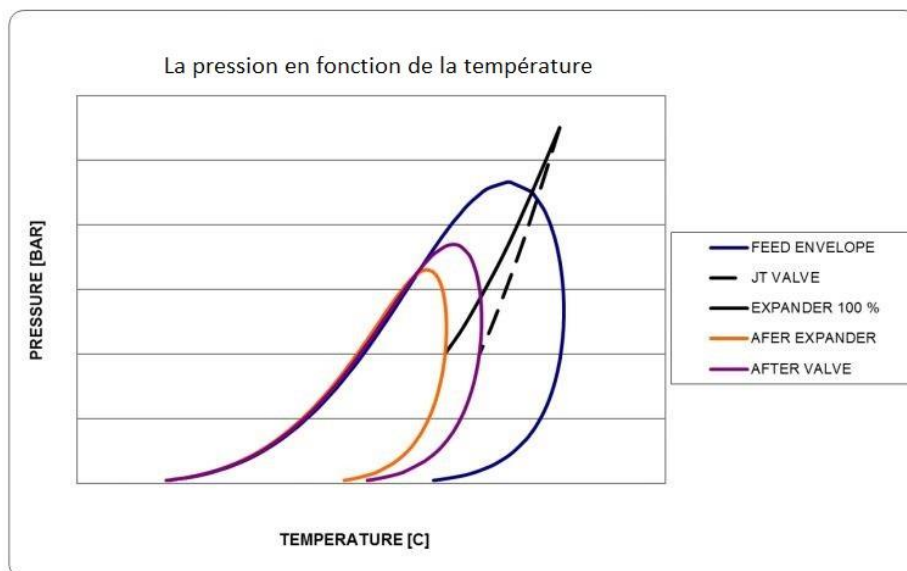


Figure II.6. Comparaison Pression-Température

II.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description détaillée des turbomachines et en particulier les turbo-expanders qui sont très utilisés la liquéfaction de gaz dans l'industrie pétrolière.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à la supervision d'une classe des turbo-expanders utilisé par l'association SH-FCP (GSE-MLE) au champ MLE. Le chapitre suivant sera consacré à une présentation de la supervision à distance et en particulier au système DCS.

³ C'est la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air humide commence à se condenser au contact d'une surface froide.

Chapitre III

Les systèmes de contrôle et de supervision

III.1 Introduction	20
III.2 La supervision industrielle	20
III.3 Automate Programmable Industriel ou PLC	22
III.4 Système DCS	24
III.5 Système CENTUM VP par Yokogawa	27
III.6 Conclusion	44

III.1 Introduction

Pour répondre aux besoins de la concurrence du marché économique, les industries ont tendance à améliorer et à rénover leurs installations. Ceci a pour effet, dans la plupart des cas, d'accroître de plus en plus leurs complexités et de contribuer en même temps à augmenter les risques de pannes qui peuvent affecter le fonctionnement de l'installation, et à diminuer la sécurité du personnel et de l'environnement, ces enjeux économiques sont directement liés à la sûreté de fonctionnement.

Le turbo-expander est une machine tournante complexe qui nécessite des systèmes de supervision pour l'exploiter aux meilleures performances,

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier temps, un aperçu général sur la supervision industrielle (définition, structure, etc.), ensuite, nous exposons d'une façon détaillée le système DCS CENTUM VP de Yokogawa utilisé dans la commande et la supervision des boucles d'aspiration du turbo-expander dans SH-FCP.

III.2 La supervision industrielle

III.2.1 Définition

La supervision est un outil de suivi de production qui aide à la conduite des installations. Elle permet aux différents acteurs de l'entreprise l'optimisation de la production en déterminant les besoins en termes de matières premières et parfois même de faire la planification des différentes actions à réaliser. La supervision est donc pratiquement indispensable sur les installations automatisées complexes.

En d'autres termes, on supervise pour avoir une visibilité sur le système, donc il n'est pas envisageable d'avoir une plateforme de production sans avoir une image de la dynamique du processus de celle-ci, avec les différentes alarmes, défauts et événements survenant pendant l'exploitation. Il faudrait une console de supervision qui regroupe et synthétise toutes les informations [6].

La supervision peut se résumer par cette formule :

$$\text{Informations} + \text{Traitement} = \text{Supervision}$$

III.2.2 Structure générale d'un système industriel

Tout système industriel peut être divisé en plusieurs sous-systèmes interconnectés les uns aux autres, chaque sous-système contient plusieurs actionneurs et plusieurs capteurs qui, à chaque instant envoi des informations sur l'état du système. La figure suivante représente un système industriel avec tous ses composants [7].

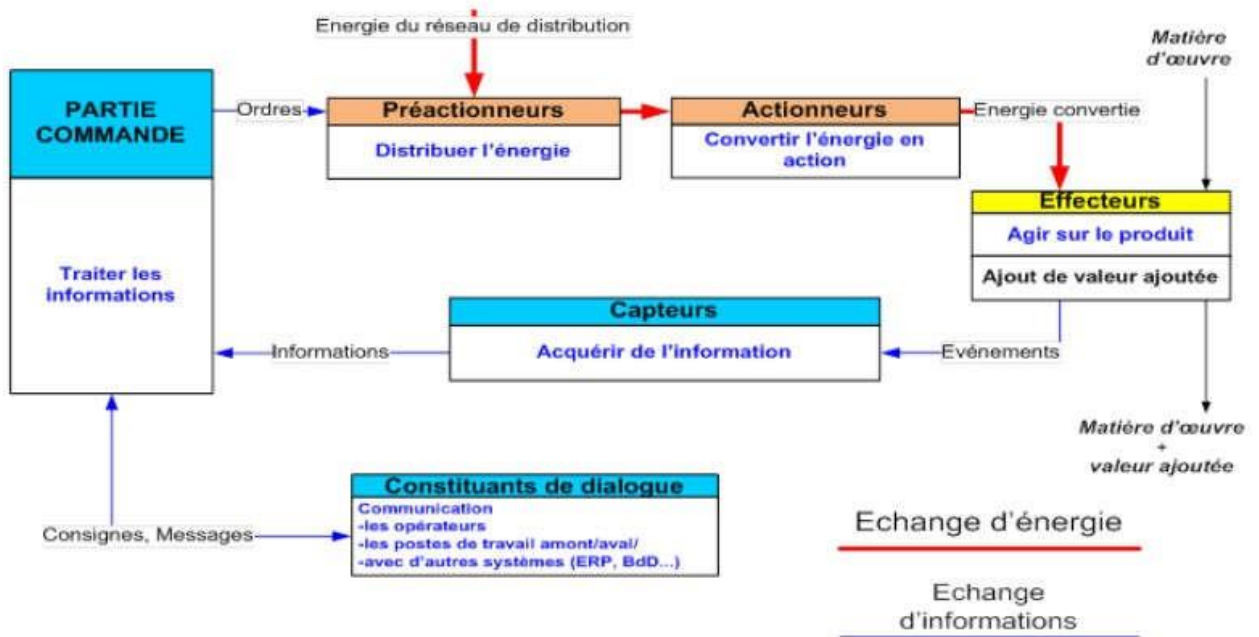


Figure III.1. Structure générale d'un système industriel

Les systèmes industriels sont constitués de quatre parties principales qui sont [7] :

- Un ensemble de sous-systèmes destiné à l'accomplissement d'une fonction globale.
- Un ensemble de système d'actionnements constitué d'une interface de puissance (distributeur, variateur de vitesse, etc.) et de l'actionneur proprement dit (vérins, moteur, résistance, etc.).
- Une instrumentation composée d'un ensemble de chaîne de mesures incluant les capteurs. Cette chaîne assure en particulier le filtrage et la mise en forme des signaux issus des capteurs.
- Un système permettant l'élaboration des lois de commande en fonction des consignes de production et des mesures réalisées sur l'ensemble des processus élémentaires.

III.2.3 Les systèmes de supervision

La modernisation remarquable de ces systèmes laisse apparaître de nouvelles technologies de commande qui permettent de mieux gérer les procédés industriels qui devenaient de plus en plus complexes. Parmi les systèmes de contrôle-commande les plus courants, et s'intégrant dans la logique programmée [8]:

- Les APIs
- Les systèmes SCADA
- Les systèmes DCS

Comme le turbo-expander fonctionne avec un API qui communique avec le DCS, nous allons donc détailler de plus ces deux systèmes.

III.3 Automate Programmable Industriel ou PLC

III.3.1 Définition

Un Automate Programmable Industriel (abrégé API mais couramment le mot PLC est plus utilisé pour Programmable Logic Controller) est un appareil électronique programmable, similaire à un ordinateur mais plus robuste et fiable, destiné à l'automatisation des systèmes dans des environnements souvent plus contraignants.

Trois caractéristiques fondamentales distinguent totalement un API des outils informatiques tels que les ordinateurs (PC industriel ou autres):

- Il peut être directement connecté aux capteurs et pré-actionneurs grâce à ses entrées/sorties industrielles,
- il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles sévères (température, vibrations, microcoupures de la tension d'alimentation, parasites, etc.),
- et enfin, sa programmation à partir de langages spécialement développés pour le traitement de fonctions d'automatisme comme le langage LADDER, FBD (Function Bloc Diagram) et le GRAFCET [8].

III.3.2 Structure interne d'un API

La structure générale d'un API est assez voisine de celle d'un système informatique simple. Les APIs comportent quatre parties principales:

- L'alimentation (220 V--->24V)
- L'unité centrale (UC)
- Les cartes d'Entrées / Sorties
- Ces parties sont reliées entre elles par des «bus» (ensemble de fils autorisant le passage des informations entre ces trois secteurs de l'automate).

1/L'alimentation: La tension d'alimentation peut être de 5V, 12V ou 24V, elle transforme la tension du réseau (220V) en tension stable pour le bon fonctionnement des éléments.

2/ L'unité centrale (UC): elle est caractérisée par son processeur et sa mémoire centrale, le rôle de l'UC est d'exécuter les programmes qui se trouvent dans la mémoire [9].

a- Le processeur: actuellement réalisé par des microprocesseurs, il gère le fonctionnement de l'API et exécute les instructions du programme au rythme de son horloge. Il réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation...) [9],

b- La mémoire : La mémoire est conçue pour recevoir, gérer et stocker des informations sur les différents secteurs du système qui sont le terminal de programmation (pc ou console) et le processeur, qui gère et exécute le programme. Dans l'automate il existe trois types de mémoire qui remplissent des fonctions différentes :

- Mémoire de programme : elle est utilisée pour stocker le programme, en général de type EEPROM ;

- Mémoire de données: Elle est utilisable en lecture-écriture des données ;
- Mémoire système: elle est programmée en usine par le constructeur.

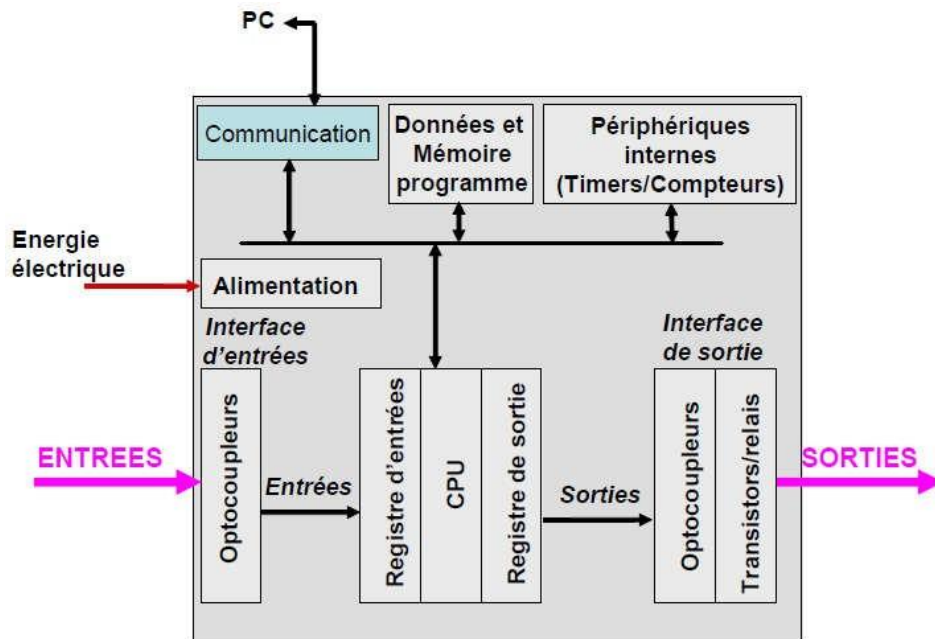


Figure III.2. Structure interne d'un API

3/Cartes d'Entrées-Sorties: La communication entre la logique interne d'un automate et l'environnement extérieur est assurée par les cartes E/S qui permettent l'échange des informations et l'adaptation des signaux électriques de capteurs ou boutons vers l'API, et dans l'autre sens des signaux de l'API vers les actionneurs et les pré-actionneurs.

- Les modules d'entrées : Il en existe deux types:
 - Les modules d'entrées TOR (Tout Ou Rien) : pour lire leurs états logiques des actionneurs.
 - Les modules d'entrées analogiques : pour l'acquisition de mesures.
- Les modules de sorties : Il en existe deux types aussi :
 - Les modules TOR (Tout Ou Rien) : ils permettent à l'automate d'agir sur les actionneurs à travers les pré actionneurs ou d'envoyer des messages à l'opérateur.
 - Les modules de sortie analogiques : ils émettent un signal analogique à l'actionneur qui représente l'état que doit prendre un entre deux limites.

III.3.3 Principe de fonctionnement d'un API

L'automate fonctionne d'une façon cyclique, en effet, il lit entièrement son programme, et une fois l'exécution terminée, il recommence les mêmes opérations. Plusieurs types de cycle existent mais le plus répandu est celui représenté dans la figure ci-dessous :

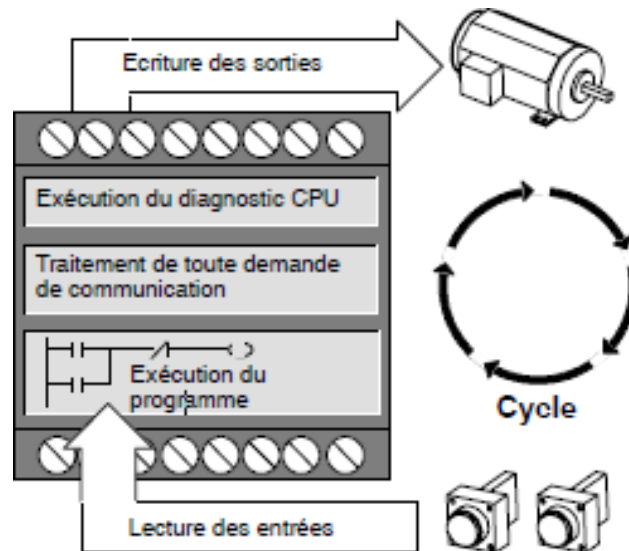


Figure III.3. Cycle typique d'exécution des programmes d'un API

Le temps de scrutation de chaque cycle est vérifié par un temporisateur appelé *Watchdog* qui enclenche une procédure d'alarme en cas de dépassement de celui-ci (réglé par l'utilisateur).

III.4 Système DCS

Un DCS ou un SNCC est un système qui permet à la fois la supervision et le contrôle en temps réel des procédés industriels.

La supervision consiste à traduire l'état de chaque instrument existant sur le site sous des formes différentes et les associes à des vues ou à des fenêtres descriptives afin d'avoir sur l'interface homme-machine (HIS) un site animé en temps réel dans le but de donner à l'opérateur la possibilité de surveiller à distance les installations et d'effectuer les interventions nécessaires au moment demandé (changer la consigne d'un PID, le mode Auto\Man, l'acquittement des alarme, etc.).

Le contrôle en temps réel consiste à utiliser la régulation ou le calcul séquentiel afin d'avoir un système répondant aux exigences du cahier des charges [10].

III.4.1 Description d'un DCS

Le DCS est constitué de plusieurs sous –systèmes dont :

- Les dispositions d'entrées/sorties.
- Les contrôleurs individuels (API régulateurs).
- Les interfaces opérateurs (écran, souris, clavier).
- La station de travail ingénieur.
- Le réseau de communication (bus) pour le change d'information.

III.4.2 Les caractéristiques du DCS

Il est caractérisé par :

- Des procédés mieux maîtrisés avec moins de gaspillage d'énergie.
- Disponibilité de l'historique et l'accès aux informations en temps réel.
- Visualisation, représentation graphique et impression des données.
- Acquisition électronique des données et enregistrement sans papier.
- L'introduction de la redondance dans un double objectif.
- Sécuriser au maximum les procédés et minimiser les déclenchements intempestifs.
- L'autocontrôle et la fonction diagnostique détaillée des systèmes ont contribué à la réduction des coûts d'appels de maintenance.
- Sécurité améliorée, une réduction des risques pour les hommes, les installations et l'environnement.

III.4.3 L'architecture du DCS

Le système DCS est constitué de quatre niveaux :

- **Niveau 1:** est tout à fait comparable au système traditionnel il représente les Instruments installés sur champ.
- **Niveau 2:** représente les automatismes installés dans le local techniques ils sont constitués par les modules d'entrées/ sortie du procédé.
- **Niveau 3:** représente la partie où vient s'effectuer la conduite du procédé par l'intermédiaire de stations opérateurs constituées d'unités électroniques.
- **Niveau 4:** partie de supervision et de gestion de l'usine.

Les niveaux 2,3,4 sont reliés par des bus de communications.

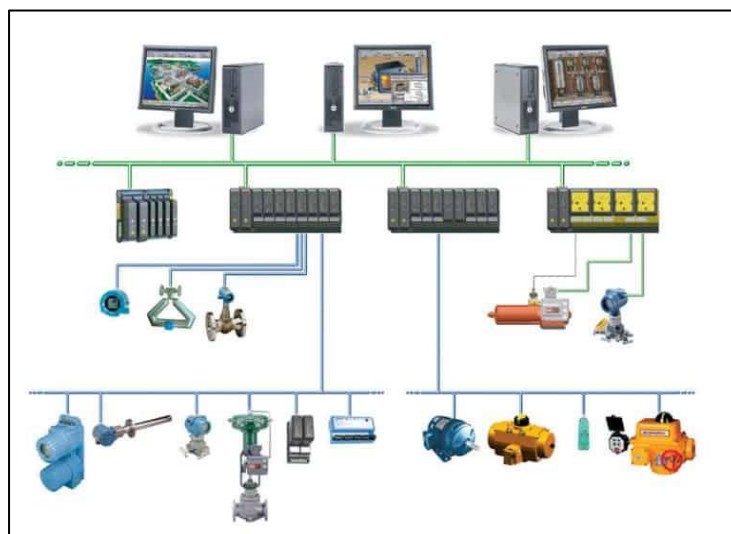


Figure III.4. Architecture de DCS

III.4.4 Champs d'application du DCS

Le système DCS est très utilisé dans l'industrie pétrolière, gazière, industrie chimique, métallurgie, industrie pharmaceutique, l'agroalimentaire, la fabrication du papier et d'autres domaines industriels, Vue ses performances de contrôle, de commande, mais aussi par le fait qu'il reste un système ouvert aussi bien du point de vue software que hardware. Le système numérique de contrôle-commande conçu par Yokogawa ouvre une ère nouvelle dans l'implantation des systèmes DCS. Il intègre les dernières technologies sur une architecture ouverte et modulaire tout en garantissant une compatibilité ascendante totale avec les générations précédentes, et une fiabilité légendaire incontestée. Il assure une fiabilité et une adaptabilité grâce à :

- L'association de la souplesse et la fiabilité de ses prédécesseurs de la famille CENTUM à la convivialité d'un PC.
- La facilité d'utilisation, disposant de fonctions de contrôle supérieures et d'un excellent rapport coût/performance, le système s'intégrera rapidement dans un environnement industriel exigeant.
- L'architecture ouverte de ses interfaces définit un échange d'informations avec le système de gestion et de la planification et facilite la mise en place d'un système de gestion stratégique pour une entreprise.
- Il s'adapte aux systèmes déjà implantés et suit l'évolution des unités de production en réduisant le coût total de possession.

III.4.5 Les avantages du DCS

Parmi lesquels, on cite [11] :

- La fonction de contrôle est répartie entre plusieurs CPU (Field Control Stations). Par conséquent, la défaillance d'un FCS n'affecte pas l'ensemble de la centrale.
- La redondance est disponible à différents niveaux.
- Les instruments et les verrouillages sont créés par logiciel.
- La génération et les modifications des verrouillages sont très flexibles et simples.
- Les informations concernant le processus sont présentées à l'utilisateur sous différents formats.
- Le câblage sur place est considérablement moindre.
- L'entretien et le dépannage deviennent très faciles. Rentable à long terme

III.4.6 Les grands fournisseurs des DCS

Les systèmes DCS les plus couramment utilisés dans l'industrie mondiale sont :

- Siemens (Allemagne), avec TIA Portal, WinCC, SIMATIC
- ABB (Suède), avec le 800xA
- Yokogawa Electric (Japon), avec le CS3000 et le CENTUM VP
- Emerson (États-Unis), avec DeltaV
- Honeywell (États-Unis), avec Experion (PlantCruise, LX et PKS)

- Rockwell automation (États-Unis), avec PlantPAx
- Mitsubishi Electric (Japon), avec PMSX®pro.

III.5 Système CENTUM VP par Yokogawa

Depuis plus de 45ans, Yokogawa a lancé son système de contrôle distribué (DCS) CENTUM en 1975, une première édition mondiale, le CENTUM VP est la neuvième génération de la série CENTUM. Au fil de ces années, Yokogawa a maintenu trois concepts majeurs pour la série de CENTUM: haute disponibilité de contrôle du procédé, hautes performances du système, et la rétrocompatibilité avec ses produits précédents.

En 2014, Yokogawa a ajouté de nouvelles fonctionnalités importantes au CENTUM VP. Cette nouvelle version devienne la plateforme qui nous fournir quatre nouvelles innovations: Hyper-intuitive Operation, Total Automation Management, Intelligent Plant Conductor, et Sustainable Plant Operation, dont chaque innovation répond à nouvelles exigences commerciales confrontées par ses clients, alors qu'ils essaient–les clients-d'atteindre une plus grande intégrité opérationnelle.

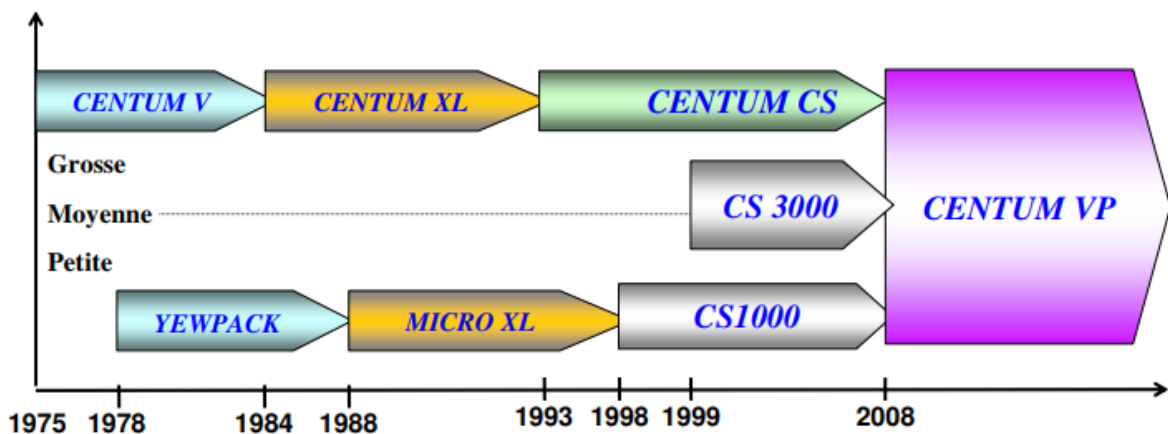


Figure III.5. L'historique des systèmes de Yokogawa

Yokogawa a également identifié deux technologies qu'il utilise pour développer ces nouvelles innovations: la technologie numérique de terrain et la simulation dynamique de procédé. La nouvelle version CENTUM VP se compose de cinq nouvelles solutions, qui sont [12] :

- Nouveau sous-système Smart Configurable E/S ;
- Simulateur de procédé dynamique pour l'exploitation ;
- Nouvel environnement d'ingénierie totale ;
- Gestion consolidée de la base de données d'instrumentation ;
- Capacité de Field-Wireless pour le contrôle de procédé.

III.5.1 Architecture du CENTUM VP

Le CENTUM VP est le système de contrôle de procédé le plus avancé de Yokogawa. On peut conclure d'après la figure ci-dessous qu'il comporte plusieurs éléments, qui sont :

- Une interface Homme-Machine (HIS : Human Interface Station): principalement utilisée comme un poste de conduite de l'opérateur [13].
- OPS (Operator Station): Utilisé pour surveiller le procédé et faire manipuler les instruments [11].
- EWS (Engineering Work Station): Station de travail & d'ingénierie
- FCS (Field Control Station): Utilisé pour contrôler le procédé. Tous les instruments et les contacts créés par le logiciel sont dans la mémoire du FCS, tous les instruments de terrain tels que les transmetteurs et les vannes sont câblés du terrain à l'armoire FCS [11].
- Les stations de contrôle (SFCS / LFCS / KFCS/ FFCS) : elles réalisent les fonctions de contrôle (régulation ou séquentiel), et gèrent les entrées et les sorties de procédé et peuvent être reliées à un automate de sécurité (API-ProSafe) [13].
- SCS (Safety Control Station) : système de sécurité de Yokogawa, appelé également ProSafe.
- Les Réseaux : on en distingue deux :
 - V-Net (réseau de contrôle temps réel),
 - Ethernet (réseau LAN).
- BCV (Bus converter): permet de se relier à un autre système Yokogawa.
- CGW (Communication Gateway): passerelle de communication, permet à une station de travail, sous UNIX ou autre O.S (Operating System), de lire ou d'écrire des variables procédés contenues dans une FCS grâce à des primitives Yokogawa [13].

III.5.2 Station de contrôle FCS

La station de contrôle FCS réalise les fonctions de contrôle (régulation et calcul séquentiel). Elle offre une disponibilité maximale grâce à une redondance totalement intégrée des unités centrales ainsi que pour les bus de liaison, l'alimentation et les cartes d'entrées/sorties. Les modules de processeur actif et de secours (stand-by) fonctionnent en synchronisation, même en cas de panne, le contrôle bascule vers le module de secours, ce qui facilite la disponibilité ininterrompue du FCS. Les modules défaillants peuvent être remplacés en ligne, garantissant que même une panne matérielle n'interrompra pas le fonctionnement (Figure III.6.). Les fonctions de la FCS sont [7] [12]:

- Réaliser les fonctions de contrôle (régulation ou séquentiel).
- Traiter les algorithmes de contrôle.
- Traiter les programmes utilisateur.
- Communiquer avec les modules d'E/S.

Communiquer avec les autres stations du système et les sous-systèmes.

III.5.3 Module d'entrée/sortie

Un module d'entrée/sortie est un ensemble de carte d'entrée/sortie dont le rôle est l'adaptation des signaux échangés entre le procédé et le système c'est-à-dire que ces cartes transforment les signaux industriels d'entrée à une forme numérique adaptée au système et transforment les signaux numériques de sortie à une forme industrielle adaptée au procédé (Figure III.8).

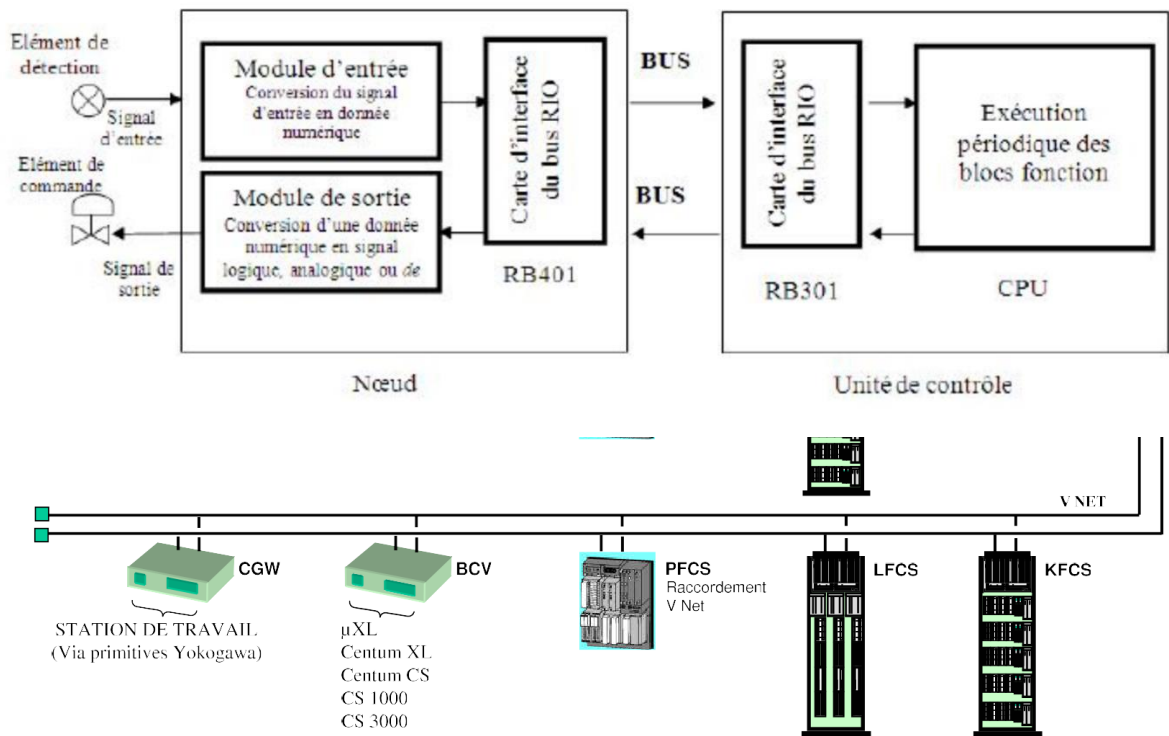


Figure III.6. L'architecture des systèmes de Yokogawa

La liaison entre les modules d'entrée/sortie est représentée sur la figure suivante [15]:

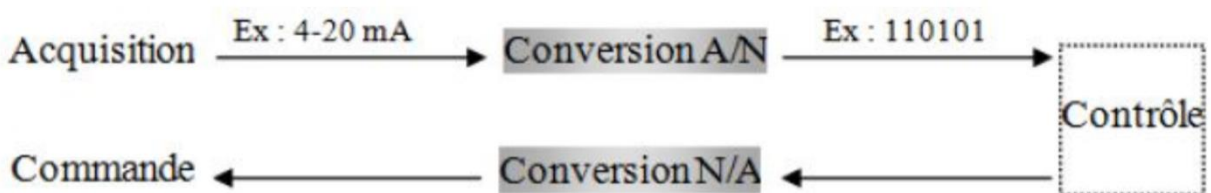


Figure III.7. L'adaptation des signaux échangés

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

Tableau III.1. Les différents signaux d'entrée/sortie

Signaux d'entrée	Analogique	Courant 0-20mA ou 4-20mA	Transmetteur
		Tension mV	Thermocouple
		Résistance Ω	Thermo résistante
	Logique	Tout ou Rien	Contact (Switch)
		Impulsions	Générateur d'impulsion
Signaux de sortie	Analogique	Courant 4-20mA	Vanne régulatrice
	Logique	Tout ou Rien	Vanne TOR, Pompe,...

III.5.4 Station d'interface homme-machine (HIS)

La grande expérience de Yokogawa dans l'industrie des procédés avec CENTUM a été appliquée pour développer une HIS puissante. L'interface graphique était conçue en utilisant l'ergonomie humaine, ce qui rend la HIS de CENTUM VP facile pour les utilisateurs [7].

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



Figure III.8. Salle de contrôle (stations HIS)

Généralement, les fonctions de conduite (synoptiques, vues d'alarmes, vues de courbes temps réel et historique, vues de détail de certains blocs et parfois vues de management du système) sont assurées par la station de conduite de l'opérateur (ONUSER) et pour les outils d'analyse, de configuration et de mise au points sont accessibles qu'à partir d'une autre station plus puissante que la première appelée station d'ingénieur (ENGUSER)¹ [15].

➤ **Deux modes de fenêtrage :**

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

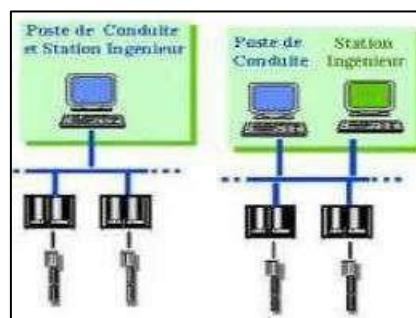


Figure III.9. Système de multifenêtrage

➤ **Fenêtres d'affichage d'état :**

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

- Affichage d'état du schéma de contrôle.

¹Les opérateurs exécutant les fonctions d'exploitation et de surveillance sont classés en fonction de leur niveau de privilège (autorité). Cette classification est appelée USER [18].

- Affichage de schéma logique.
- État des tables de séquence.
- État des blocs SFC (Sequential Function Chart).
- Détails de programme SEBOL (Sequence and Batch Oriented Language) [7].

Yokogawa propose avec sa console HIS spécialisée, un clavier opérateur dédié (optionnel) et un clavier d'ingénieur. Toutes les opérations peuvent être effectuées à l'aide du clavier opérateur, et les mêmes opérations peuvent également être effectuées par les touches de fonctions disponibles sur « System Message Area Icons », la figure suivante représente un clavier opérateur de Yokogawa avec la clé de sécurité [12] :

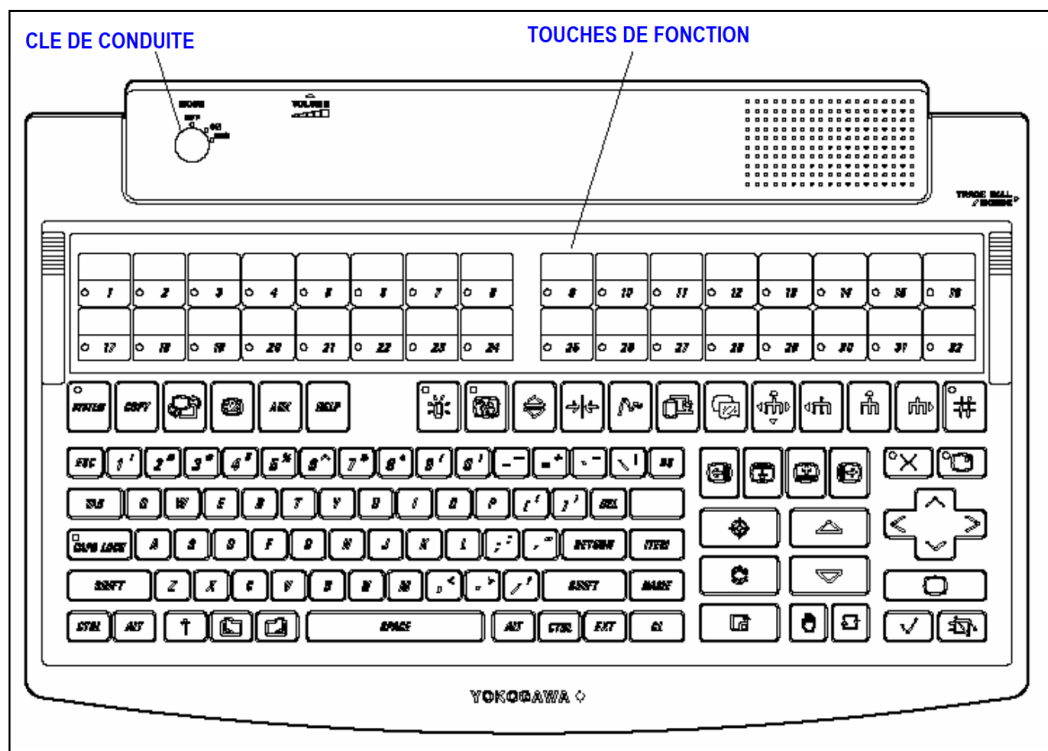


Figure III.10. Le clavier Opérateur de Yokogawa

III.5.5 Réseaux de communication

Il existe deux types de réseaux de communication [15] :

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

III.5.5.1 Réseau du système du contrôle V-Net

Le V-Net est le réseau du système de contrôle en temps réel qui relie les FCS aux autres stations. L'ensemble des stations connectées à un V-Net forme un domaine. Ce réseau doit assurer trois fonctions de communications (Figure III.12) [7] :

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

Caractéristiques du réseau V-Net :

- 64 stations au maximum en CENTUM VP ;
- Protocole : conforme IEEE 820.4 ;
- Type de bus : à JETON ;
- Vitesse : 10 Mb/s ;
- Redondance: active (utilisation alternée des deux bus) ;
- Distance de transmission: jusqu'à 20 Km en utilisant de la fibre optique ;
- 100.000 repères instrument [14].

III.5.5.2 Réseau Ethernet

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

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

Caractéristiques de la liaison Ethernet :

- Protocole : IEEE 802.3
- Débit : 10 Mb/s
- Protocole de communication : TCP/IP FTP [14].

III.5.6 Programmation d'un projet sur le logiciel Yokogawa CENTUM VP

La réalisation d'un projet consiste à générer toutes les données nécessaires pour le fonctionnement d'un système, tel que [15] :

- Ces données sont générées par des logiciels appelés configureurs et sont sauvegardées dans des fichiers.
- L'ensemble de ces fichiers constitue un PROJET.
- Les projets se trouvent sous le répertoire : C:\CSx000\eng\BKProject.
- Un projet est donc propre à un système.
- L'accès aux configureurs se fait par l'activation de la fonction « System View »

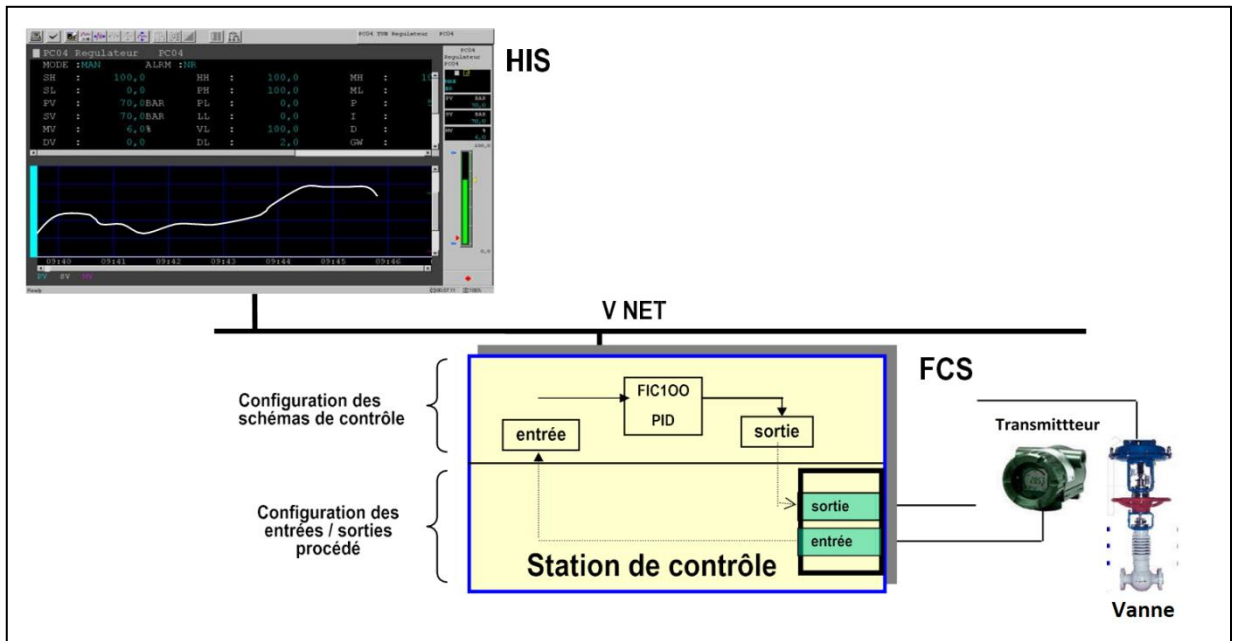


Figure III.11. La liaison entre FCS et HIS

III.5.6.1 Création d'un projet

Une fois le « system view » est lancé, cliquer sur la barre du menu dans l'ordre suivant :

File → Create new → Project

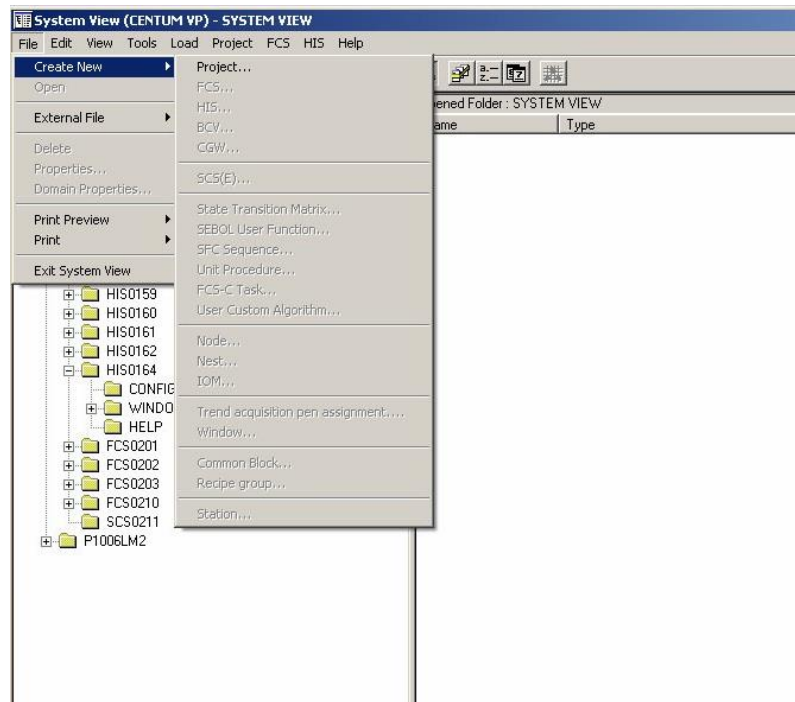


Figure III.12. Création d'un nouveau projet

Une fenêtre apparaîtra nous demande de donner le nom (User) en majuscules et les informations relatives au projet (l'organisation, quelques commentaires sur le projet) [14].

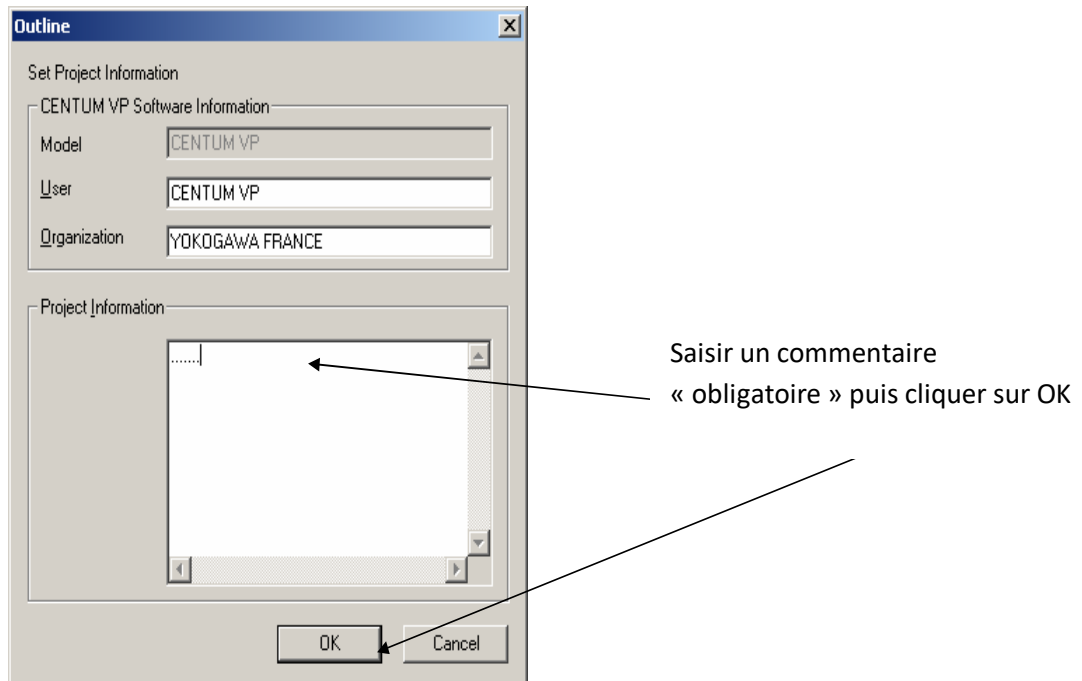


Figure III.13. Confirmation d'un nouveau projet

III.5.6.2 Création d'une nouvelle FCS

En phase de création d'un nouveau projet, une fenêtre de création d'une station de contrôle (FCS) apparaît automatiquement dès que le projet est créé. Sinon, procéder de la même façon que pour la création du projet (sélectionner à partir du menu file ou par le bouton droit de la souris : Create new « FCS »), puis définir:

- Le modèle de la FCS
- La base de données
- L'adresse de la station

Vérifier les caractéristiques par défaut données dans les autres onglets puis cliquer OK [14].

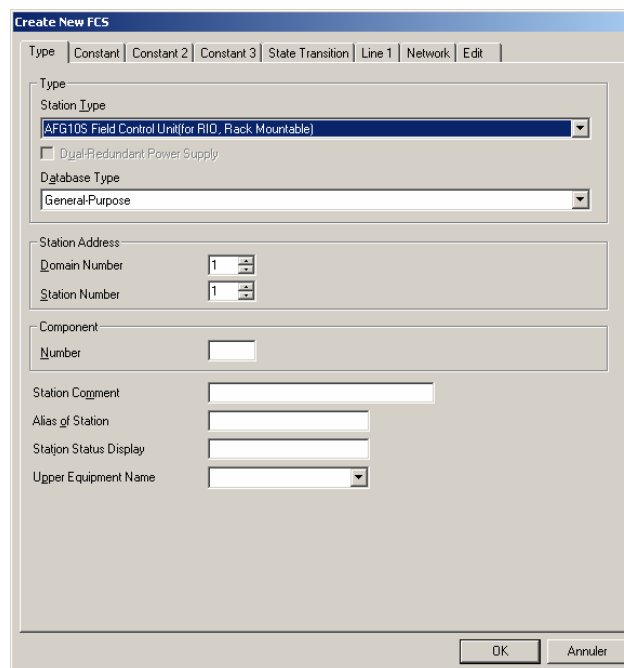


Figure III.14. Boite de dialogue pour créer une nouvelle FCS

III.5.6.3 Création d'une nouvelle HIS

En phase de création d'un nouveau projet, la fenêtre de création d'une station opérateur (HIS) apparaît automatiquement dès que la station de contrôle est créée.

Sinon, procéder de la même façon que pour la création du projet (c.à.d. la même pour la création d'une FCS), puis définir:

- Le type de HIS
- L'adresse de la station

Vérifier les caractéristiques:

- Réseau dans l'onglet « Network »
- Nom de la station dans la vue système (HIS)
- La vue liée

Une fois terminé, cliquer sur OK [14].

The image shows a software dialog box titled "Create New HIS". It has a tabbed interface with "Type", "Constant", "Network", and "Detailed Setting" tabs. The "Type" tab is selected. Inside the dialog, there are several input fields and controls:

- Type:** A dropdown menu showing "PC with Operation and Monitoring Functions".
- Station Address:** A group box containing:
 - Domain Number:** A spinner control set to "1".
 - Station Number:** A spinner control set to "64".
- Component:** A group box containing:
 - Number:** An empty text input field.
- Station Comment:** A text input field.
- Alias of Station:** A text input field.
- Station Status Display:** A text input field.
- Upper Equipment Name:** A dropdown menu.

At the bottom right of the dialog are two buttons: "OK" and "Annuler".

Figure III.15. Boite de dialogue pour créer une nouvelle HIS

III.5.6.4 Création des entrées / sorties de la FCS

- **Création d'un IOM**

Les fichiers des cartes d'entrées / sorties sont regroupés par nœud (Node). Dans un cas réel (conception pour une mise en place sur site), les entrées/sorties sont physiques (signaux analogiques ou logiques). Dans ce cas, il faut alors créer les entrées/sorties de la FCS comme suit [7]:

La fenêtre suivante apparaîtra:

- Create new ;
- IOM.

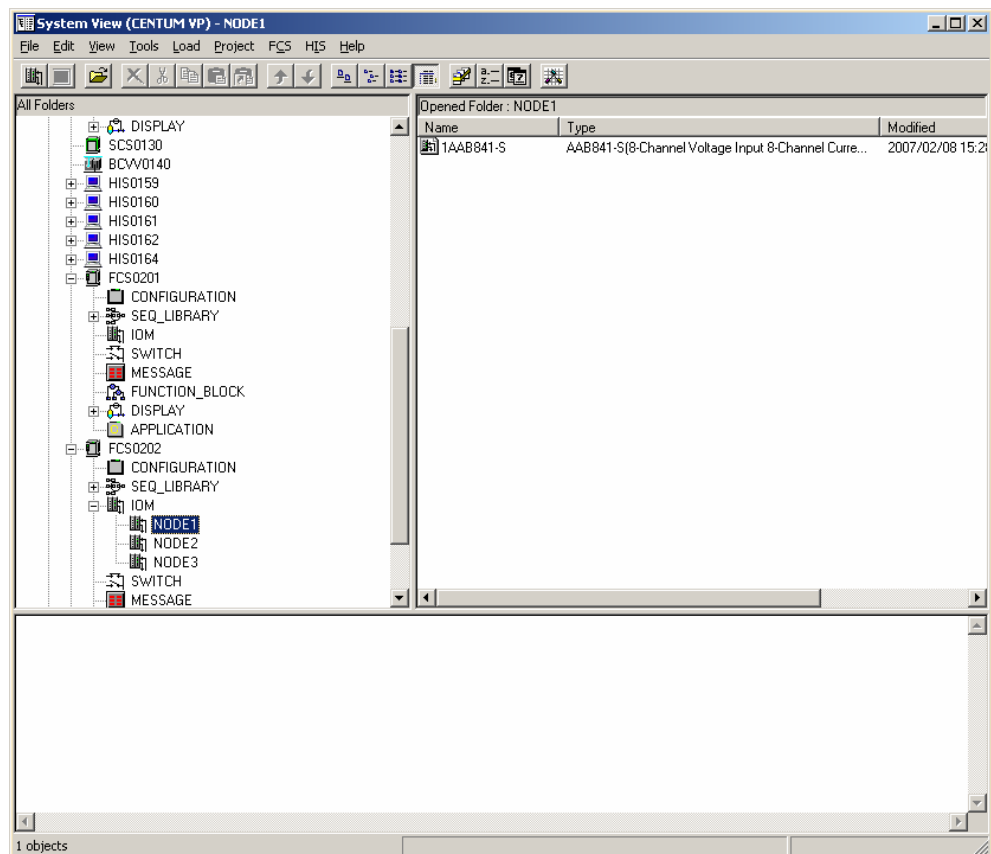


Figure III.16. Création d'un IOM

Sélectionner le répertoire IOM et dérouler le menu par le bouton droit de la souris, choisir l'option Create New puis IOM, puis le type de boîtier et le type de carte.

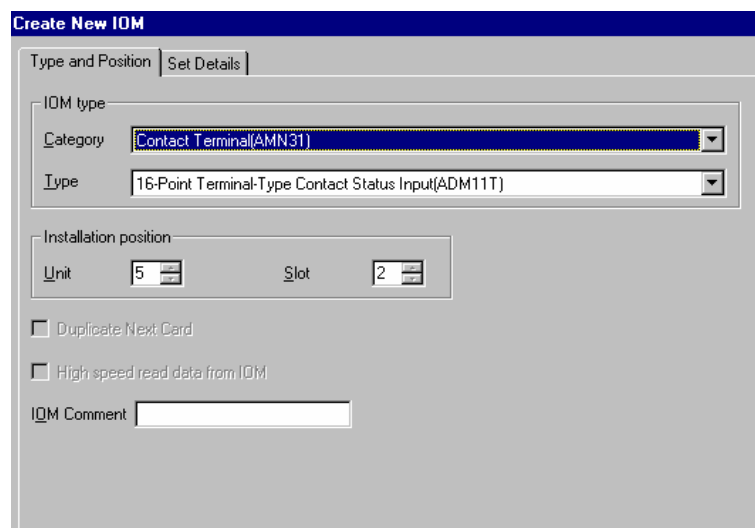


Figure III.17. Création d'un nouveau module d'entrée/sortie

Le nœud 1, va pouvoir accepter un ou plusieurs éléments. L'élément peut être un boîtier à cartes analogiques ou un boîtier E/S digitale compacte [14].

- **Création d'une carte d'entrée/sortie :**

Sélectionner le répertoire IOM puis le nœud (Node) et dérouler le menu par le bouton droit de la souris, choisir l'option Create New.

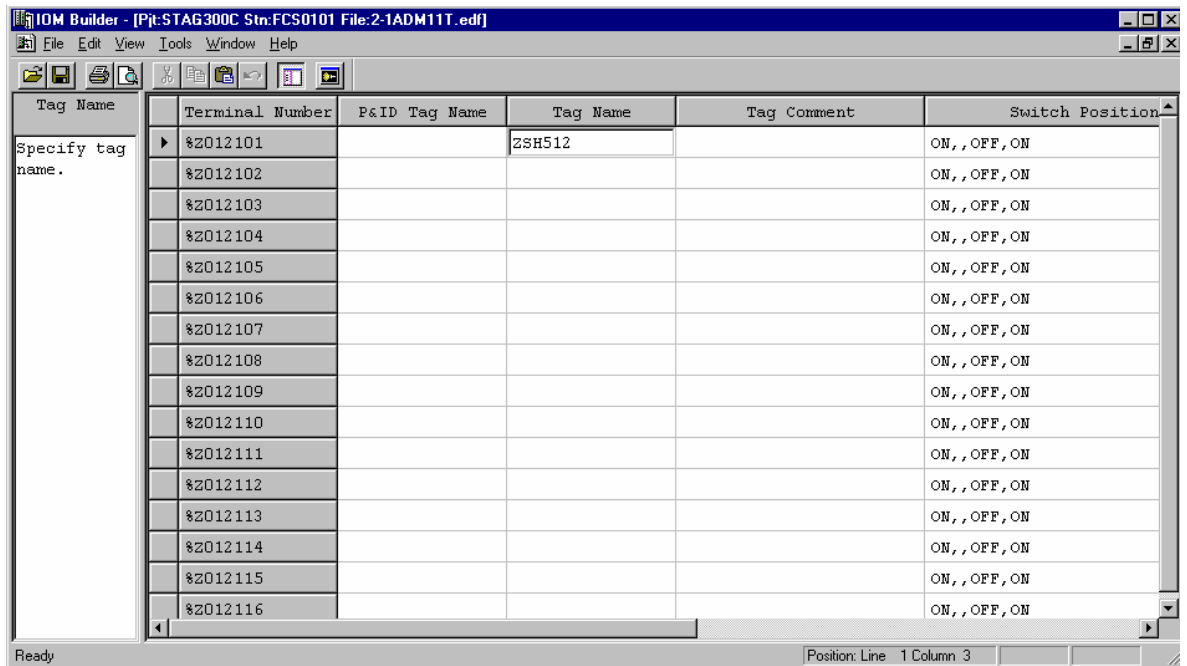


Figure III.18. Création d'une carte d'entrée/sortie

- **Création des blocs de fonction (drawing) :**

Un drawing est une fenêtre dans laquelle nous allons créer des blocs pouvant être:

1. PID (bloc de régulation), PVI, MLD, CALCU, etc.
2. STO16, LC64 (les blocs de schéma logique), etc.

Pour cela, nous procédons comme suit (Figure III.20):

- Cliquer sur le fichier « FUNCTION BLOCK » ;
- Aller dans le drawing par exemple : DR0001, DR0002 ... [14]

III.5.6.5 Lancement de la fonction de test

C'est un groupe d'outils pour une vérification efficace de la partie logicielle de la FCS ainsi du graphique créé par l'utilisateur. Après le lancement de la fonction du test en cliquant sur « test fonction », le bandeau d'exploitation dans la figure III.22 apparaît [17].

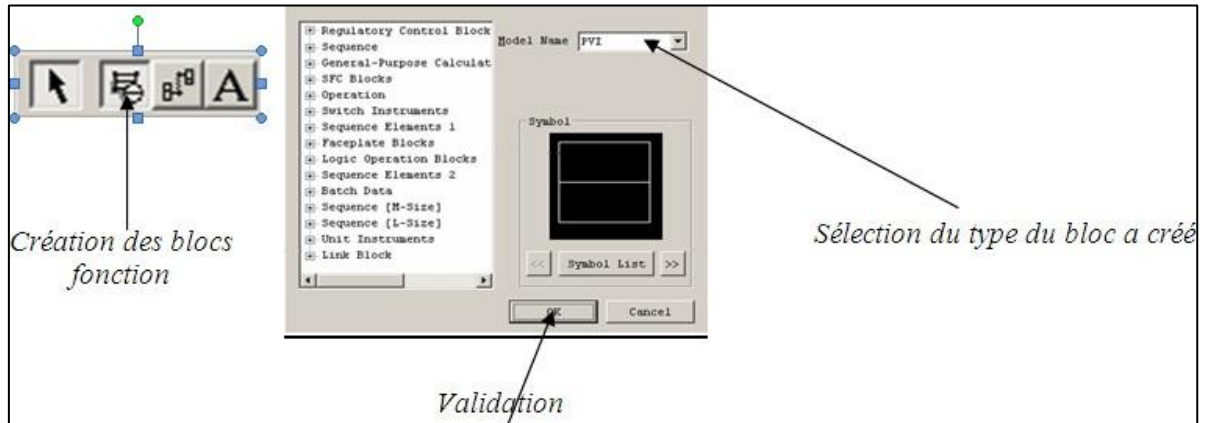


Figure III.19. Insertion des blocs de fonction

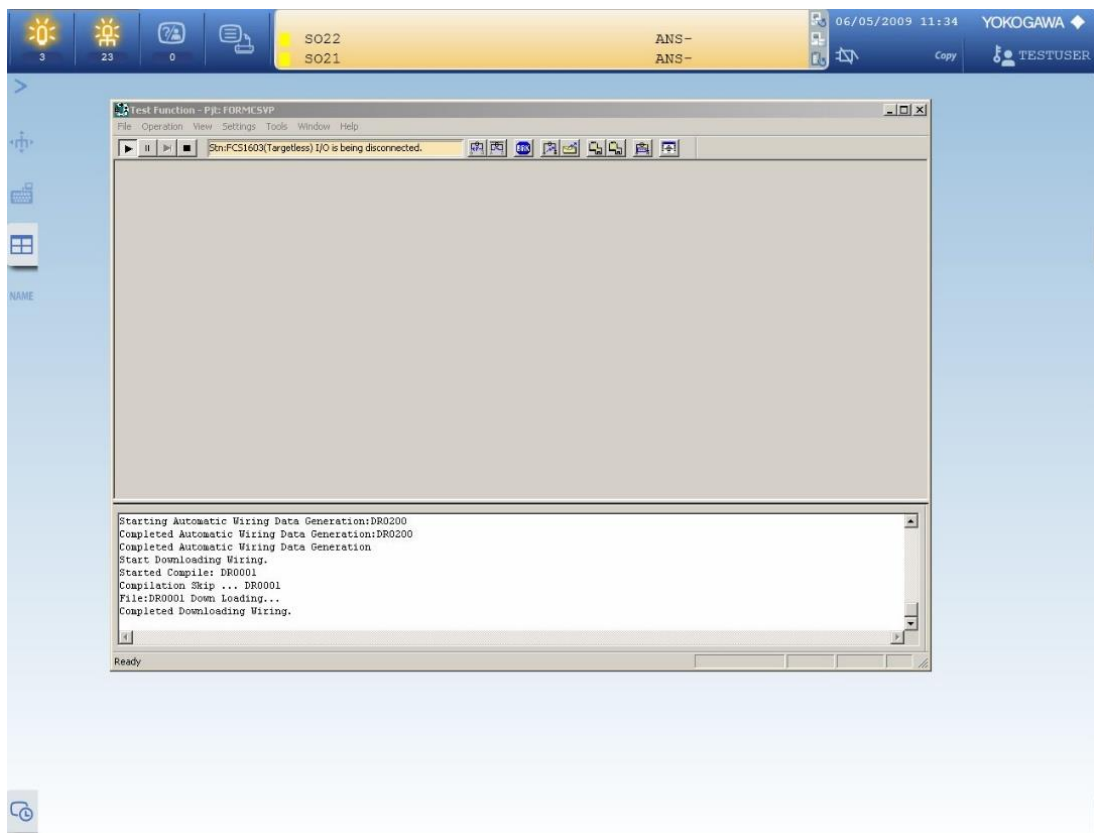


Figure III.20. Lancement de « test fonction »

Le bandeau d'exploitation, non modifiable, est toujours présent en haut de l'écran et ne peut être recouvert par une autre fenêtre.

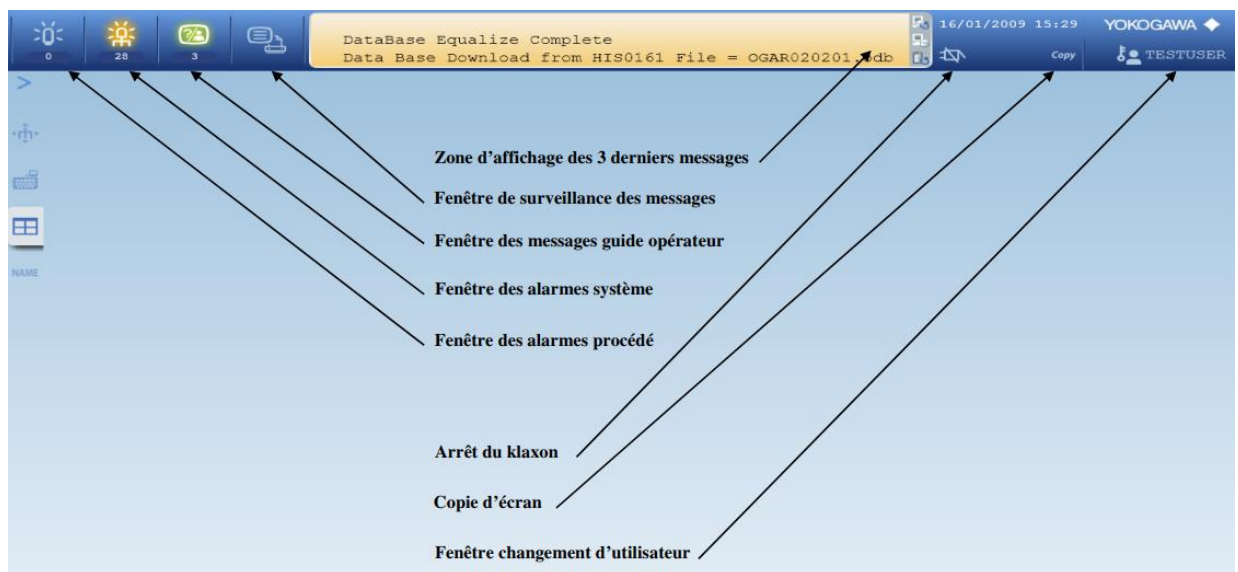


Figure III.21. Bandeau d'exploitation

Les vues graphiques sont des vues créées par l'utilisateur et sont au nombre maximum 2500 pour le CENTUM VP.

Elles peuvent être de type:

- Synoptique :
 - 200 variables procédés ;
 - 100 zones sensibles ;
 - 200 animations graphiques.
- Vue générale :
 - Possède 32 boutons permettant d'appeler n'importe quel type de vue ;
 - Elles permettent de hiérarchiser l'imagerie de l'application.
- Vue de groupe :
 - Affichage de 8 faces-avants instrument (sont expliqués dans la page suivante) ;
 - Jusqu'à 16 en utilisant les réduites.

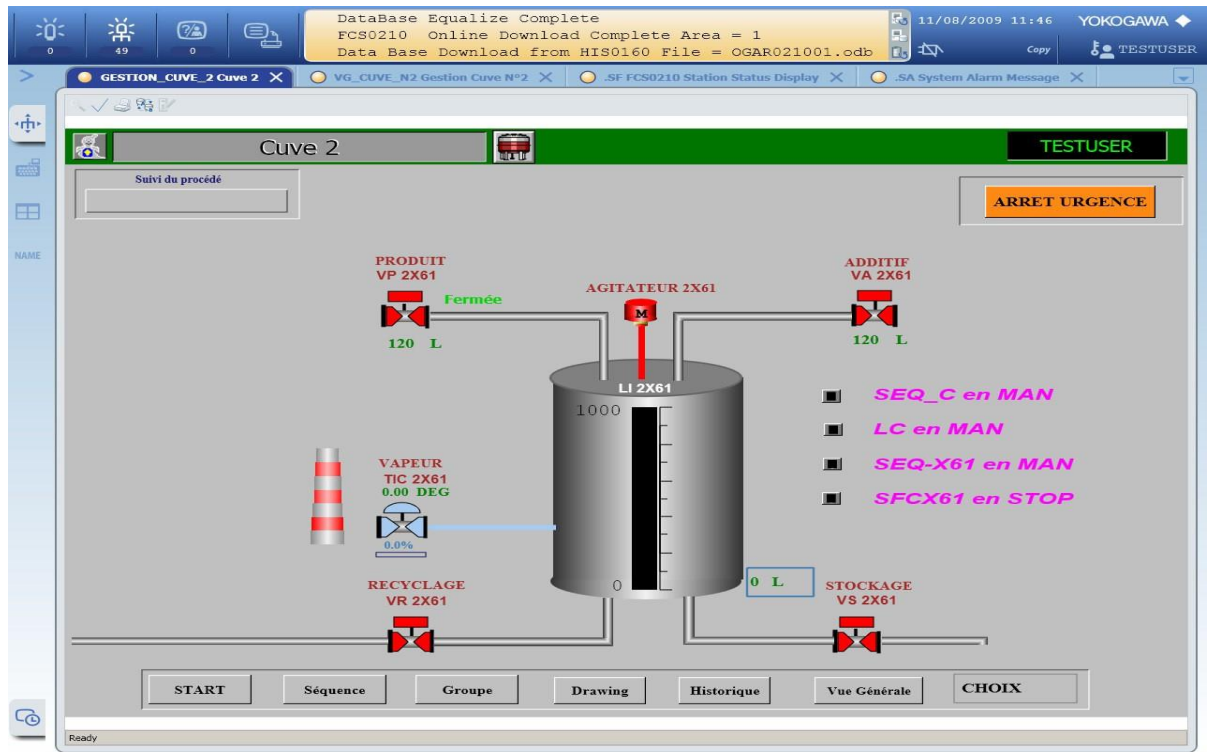


Figure III.22. Vue graphique de type synoptique

➤ La face-avant d'instrument (faceplate) :

Il existe deux types des face-avants d'instrument, logiques et analogiques :

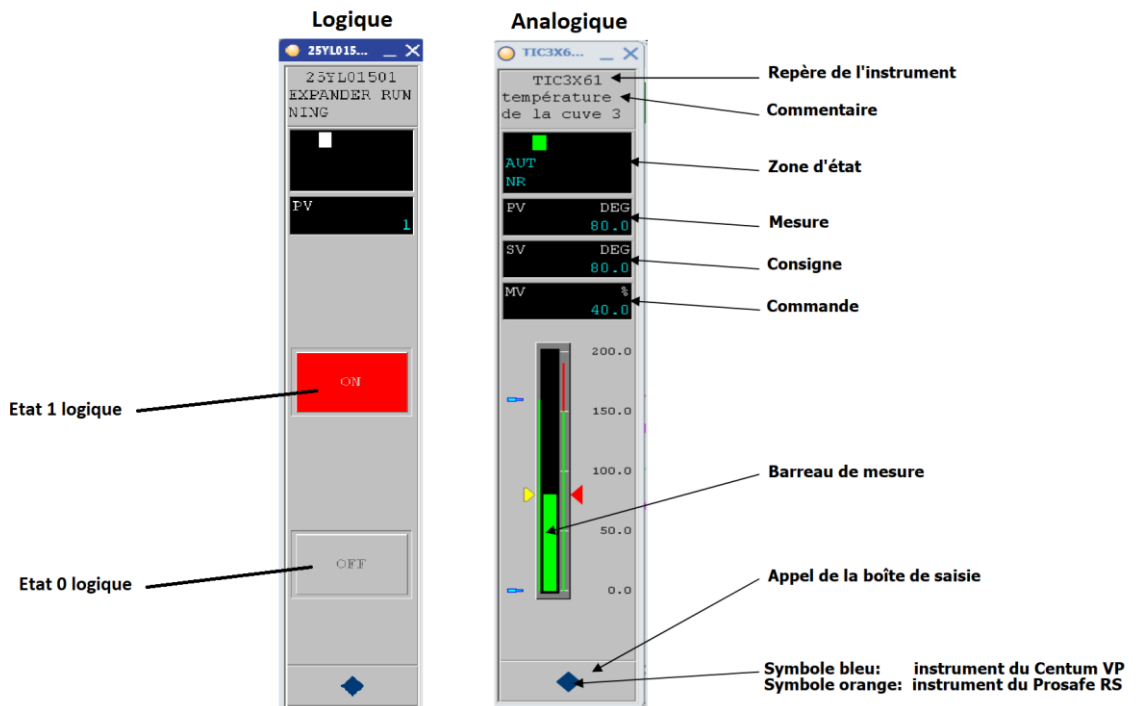


Figure III.23. Les types des faces-avants

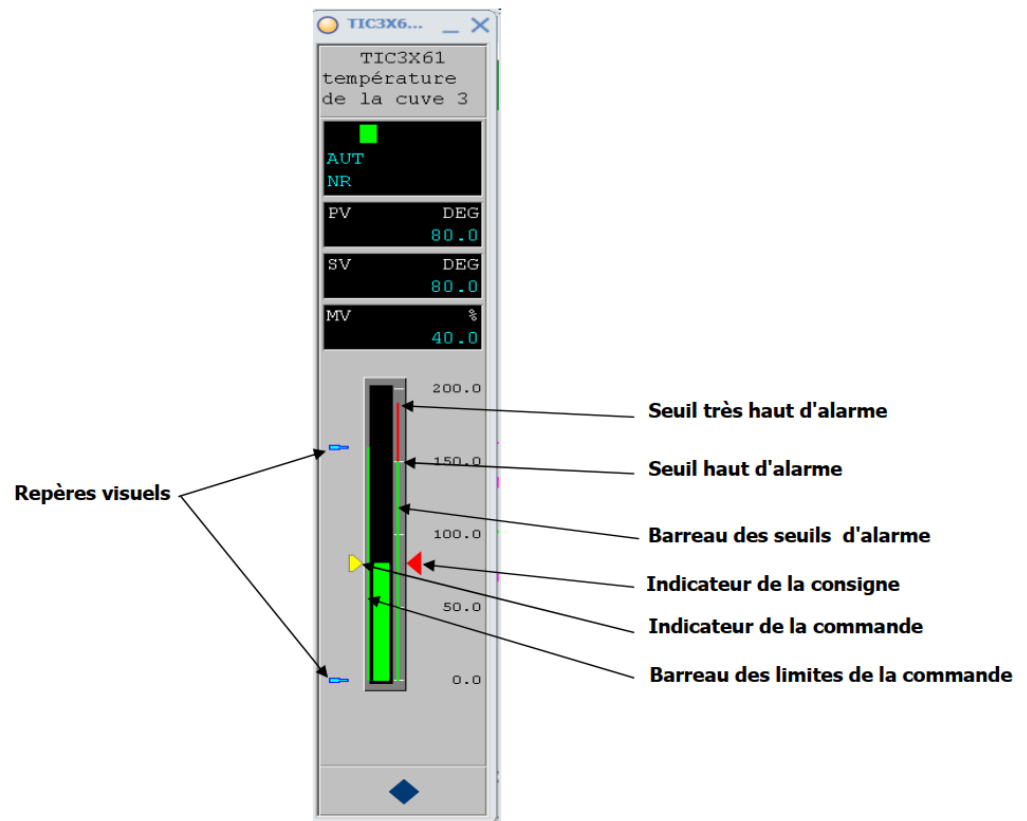


Figure III.24. Les alarmes et les indicateurs

Il existe deux états des face-avants d'instruments : - NR : Normal ;

- CAL : Calibration.

➤ **Marque du face-avant d'instrument**

C'est le carré vert en haut du face-avant, cette marque permet de connaître l'état d'alarme de l'instrument (couleur et clignotement) :

- Couleur de l'état d'alarme
 - Bleu = Alarme masquée = AOF
 - Rouge = Alarme = LO, HI, IOP, LL, HH, OOP (Low, High, Very Low/High, etc.)
 - Jaune = Alarme = DV, VEL, MLO, MHI
 - Vert = Normal = NR
 - Blanc = Bloc fonction sans alarme
 - Gris = Erreur de communication
- Clignotement
 - Rouge = Apparition alarme non acquittée
 - Vert = Disparition alarme non acquittée [14].

➤ Vue de réglage

Pour accéder au réglage des paramètres d'un instrument, et après le lancement de la fonction du test, en cliquant droit sur l'instrument (soit à la page graphique ou à la page dynamique) et choisir l'option « Tuning », la fenêtre suivante apparaît:

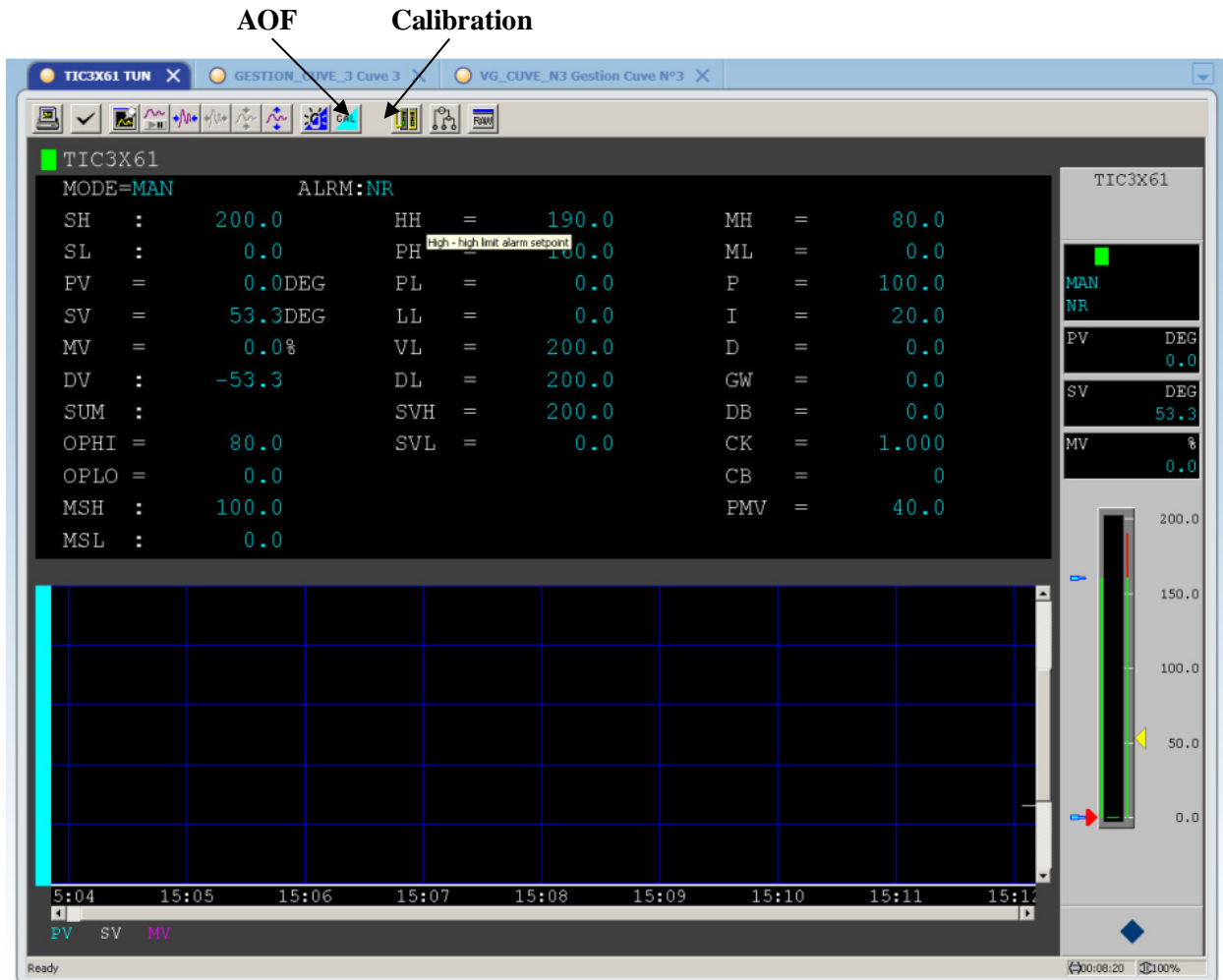


Figure III.25. Vue de réglage

Principales actions:

- Réglage des paramètres (P, I, D, bande passante, LO, LL, HH, etc.).
- Calibration (CAL).
- Masquage des alarmes (AOF).
- Sauvegarde temporaire de l'historique de réglage [14].

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur les systèmes de contrôle et de supervision mais avec plus d'attention et détails sur le système de contrôle distribué

Yokogawa CENTUM VP, et ses composants principaux tels que les stations, les réseaux et l'architecture générale du système, ce qui nous a permis d'acquérir un socle des connaissances considérables sur l'exploitation de ce type de DCS pour l'industrie.

L'élaboration d'un système de télé-contrôle sous CENTUM VP sera présentée en détail dans le chapitre suivant, appliqué pour le contrôle du turbo-expander en tenant compte du cahier de charge de ce dernier.

Chapitre IV

Automatisation et simulation sous CENTUM VP

IV.1 Introduction	46
IV.2 Description du Système Conditionnement de gaz (système 25)	46
IV.3 Démarrage et arrêt du turbo-expander	47
IV.4 Problématique	52
IV.5 Configuration du système DCS	53
IV.6 Développement de l'interface de Supervision sous CENTUM VP	69
IV.7 Conclusion	76

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons créer un système DCS sous le Centum VP dédié au contrôle et à la supervision de l'aspiration du turbo-expander, et l'automatisation de fonctionnement de la vanne JT. Les différents détails et étapes nécessaires pour la réalisation de ce projet seront discutés dans la suite de ce chapitre.

IV.2 Description du Système Conditionnement de gaz (système 25)

IV.2.1 Le refroidissement du gaz

Le gaz filtré par les sécheurs d'eau A, B et C de la dernière unité (système 24 c'est celui de déshydratation) est acheminé vers deux échangeurs tels que : une partie du gaz subit un échange de chaleur avec le gaz froid venant du ballon de refoulement du turbo-expander dans un échangeur gaz-gaz G00-GG-25-03, alors que l'autre partie subit un échange de chaleur avec le liquide froid du ballon d'aspiration du turbo-expander G00-VD-25-02 dans un échangeur gaz-liquide G00-GG-25-02. Cette étape réduit la charge de refroidissement nécessaire du turbo-expander.

Des transmetteurs des températures locales sont prévus pour tous les écoulements entrant et sortant des échangeurs G00-GG-25-02/03. Des alarmes haute/basse température sont indiquées au DCS pour les échangeurs.

L'injection du méthanol est nécessaire sur la conduite du gaz déshydraté évacué vers les échangeurs afin d'éviter la formation d'hydrate¹. Le débit de méthanol est ajusté en ouvrant une vanne de contrôle manuelle et mesuré par des débitmètres à flotteur sur site.

Le gaz du côté froid sortant de l'échangeur gaz-gaz G00-GG-25-03, est réuni avec le gaz traité du ballon de refoulement du dééthaniseur, et acheminé vers le compresseur centrifuge accouplé au turbo-expander. Le côté chaud à la sortie du même échangeur est réuni à l'écoulement de l'échangeur gaz-liquide et envoyé au ballon d'aspiration de l'expander.

IV.2.2 La détente du gaz

La détente du gaz se fait au niveau des deux turbo-expanders (systèmes redondants) et de la vanne JT lorsque les turbo-expanders sont en arrêts, les parties du gaz refroidis dans les deux échangeurs sont réunis et envoyé au ballon d'aspiration du turbo-expander G00-VD-25-02. Le liquide condensé produit par le refroidissement du gaz est évacué grâce au contrôle de niveau de ce ballon, et sera utilisé pour le refroidissement dans l'échangeur gaz-liquide (tel qu'il est décrit ci-dessus) et il est ensuite acheminé vers le dééthaniseur pour encore passer par d'autres traitements de liquide. Le niveau dans le ballon d'aspiration du turbo-expander est contrôlé en régulation cascade par un régulateur de niveau LC (Level Controller) qui ajuste le point de consigne (SV) du régulateur de débit FC (Flow Controller)

¹ C'est un composé solide, résultat de la cristallisation d'un mélange d'eau et de méthane (C₁) sous certaines conditions de température et de pression

Controller), en agissant sur la vanne de débit située sur la conduite de l'échangeur gaz-liquide G00-GG-25-02.

Les niveaux très haut (HH) et très bas (LL) du ballon d'aspiration activent les séquences ESD au moyen d'un signal transmis par deux transmetteurs LIT (Level Indicator transmitter) redondants, ce qui provoque l'ouverture de la vanne d'arrêt d'urgence ESDV². Une alarme de divergence est prévue en cas d'un écart élevé entre les signaux des transmetteurs redondants. Le ballon d'aspiration du turbo-expander est aussi protégé de surpression, en cas d'incendie, par les soupapes de sécurité PSV (Pressure Safety Valve).

C'est dans ce contexte que se situe notre projet, il s'intéresse à l'étude du turbo-expander, l'élément fondamental de ce process, le fonctionnement du turbo-expander sera discuté d'une façon plus détaillée dans ce qui suit.

IV.2.3 La compression du gaz

Le gaz conditionné (froid) provenant de l'échangeur Gaz-Gaz est réuni avec la vapeur de la tête du dééthaniseur et ensuite utilisé pour refroidir le gaz d'alimentation humide dans le condenseur du gaz d'alimentation G60-GA-24-01A/B/C/D.

Le gaz conditionné du condenseur d'alimentation est ensuite compressé dans les deux compresseurs G00-KA-25-02A/B. Ces compresseurs sont accouplés au turbo-expander (A et B respectivement). La pression de sortie dépend proportionnellement au travail de la détente faite par le turbo-expander.

Un système d'anti-pompage est installé pour chaque compresseur, les paramètres de l'anti-pompage à contrôler sont cinq :

À l'aspiration : la pression et la température et au refoulement : le débit, la pression et la température.

Des transmetteurs en redondance sont placés dans l'entrée et la sortie du compresseur pour assurer le bon fonctionnement, mais aussi d'activer les séquences ESD en cas d'anomalie. Des pré-alarmes et des alarmes de divergence sont placés en cas d'un écart élevé entre les signaux des deux transmetteurs redondants, le tout est envoyé et affiché au DCS dans la salle de contrôle. La compression sera by-passé (ignorer) lorsque l'expander est en arrêt.

IV.3 Démarrage et arrêt du turbo-expander

Avant de démarrer le turbo-expander, il est impératif de vérifier plusieurs instruments et de suivre les procédures de démarrages données par le constructeur.

²ESDV (Emergency ShutDown Valve) : c'est la protection contre les surpressions. En fonctionnement normal, cette vanne reste ouverte pendant une longue période de temps, des mois ou parfois même des années.

IV.3.1 Les vérifications préalables au démarrage

Avant le démarrage, les éléments suivants doivent être vérifiés:

Tableau IV.1. Liste des vérifications préalables au démarrage

Les éléments	Les procédures
Inlet screens	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez que l'installation est correcte.
Gaz d'étanchéité	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler les raccordements. Vérifiez la propreté du filtre. Assurer que les vannes ESDV sont toutes ouvertes.
Les actionneurs de l'IGV (Inlet Guide Vane) (*)	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez la configuration de l'actionneur. • Vérifiez le signal provenant du PLC. • Vérifiez l'alimentation électrique.
Raccords de tuyaux, boulons de brides	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler et resserrer tous les éléments. • Utiliser de l'azote pour chercher des fuites.
Vannes d'arrêt	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez que les vannes d'arrêt se ferment en une demi-seconde. Tester l'opération « failsafe ».
Systèmes pneumatiques	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez que tous les circuits et composants sont correctement réglés et raccordés.
Instruments et systèmes électriques	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez l'installation et le calibrage de tous les transmetteurs, sondes, soupapes et les autres dispositifs de sécurité.
Système d'équilibrage de poussée (ATE)	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez l'installation et la configuration des vannes, des actionneurs et du système de commande.
Système anti-pompage	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez l'installation des instruments et des vannes.
Commandes de la Magnetic-Bearing (**)	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifiez le bon fonctionnement du système de commande des (Magnetic-Bearing) paliers magnétiques.
Purge des carters, du logement de paliers et a tuyauterie	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer que les procédures de purge sont approuvées par le constructeur (Atlas Copco) afin d'éliminer l'oxygène de l'ensemble turbo-expander-compresseur, du système d'étanchéité et de la tuyauterie de procédé.

(*) Et (**): voir le chapitre 2 pour plus de détails.

IV.3.2 Le panneau de commande (UCP) et les systèmes du PLC

Un panneau de commande HMI (voici les figures IV.1 et IV.2 ci-dessous) est installé sur l'armoire du PLC Allen-Bradley de commande du turbo-expander, quelques

instructions données par le constructeur à vérifier avant le démarrage de ce système de supervision :

1. Vérifiez que les liaisons de communication PLC-DCS sont fonctionnelles.
2. Vérifiez toutes les boucles d'instrumentation au DCS.
3. Vérifiez le régulateur d'air d'instrument de l'actionneur IGV et le réglez en « preload ».
4. Vérifiez la course de l'actionneur par rapport à valeur de la course complète en utilisant « setup-sheet » du manuel.
5. Le contrôle split range (3 psi - 9 psi).
6. Le contrôle Full range (3 psi - 15 psi).
7. Vérifiez l'indicateur de vitesse de lecture avec l'entrée du générateur de signal.
8. Réglez et vérifiez l'alarme de survitesse et des points de consigne d'arrêt (trip).
9. Vérifiez la continuité au long des fils des RTDs (transmetteur de température).
10. Vérifiez que les RTDs fonctionnent parfaitement à la température ambiante.
11. Vérifiez les points de consigne de système d'anti-pompage et le tuning des PIDs.
12. Vérifiez le régulateur d'air d'instrument dans la vanne d'anti-pompage et le régulateur ATE (Automatic Thrust Equalizer System) (voir le chapitre 2 section 8.1).



Figure IV.1. L'armoire du PLC Allen-Bradley du turbo-expander



Figure IV.2 l'HMI de l'armoire du PLC (UCP)

IV.3.3 Procédure de démarrage

Le turbo-expander est un système industriel assez complet et complexe, il nécessite un manuel pour son démarrage correctement, on cite brièvement ces étapes :

Tout d'abord, l'IGV doit être totalement fermée, et la vanne de pompage est entièrement ouverte. L'ensemble turbo-expander-compresseur a été purgé avec de l'azote selon la procédure de purge de l'installation (une purge à l'azote n'est nécessaire qu'au premier démarrage et avant et après toute maintenance).

Les étapes à suivre pour le démarrage sont par ordre:

- 1) Ouvrir les vannes 25-HV-01-007A, 25-HV-01-008A et 25-HV-01-003A qui sont placées sur les conduites d'aspiration et de refoulement de l'ensemble.
- 2) Ouvrir manuellement la conduite de pressurisation de la vanne de sectionnement du gaz d'étanchéité 25-ESDV-00-025 et toutes les vannes de sectionnement de gaz d'étanchéité. Ouvrir aussi les vannes de purge de carter et de logement de palier pendant quelques minutes pour permettre au gaz d'étanchéité de circuler dans le système et après les fermer pour augmenter la pression dans les carters de l'ensemble.
- 3) Mettre le rotor en lévitation en appuyant sur la touche "Levitation On" sur l'HMI de l'armoire du PLC (UCP). (Avant d'appuyer sur "Levitation On", il est nécessaire de

- vérifier que la pression du carter est environ 3,5 barg et que tous les déclenchements et alarmes des paliers magnétiques sont acquittés).
- 4) Utiliser les clapets de purge manuels des carters. La différence de pression maximale autorisée entre le carter de l'expander et celui du compresseur est de 5 barg.
 - 5) Lorsque la pression est environ 12 barg, ouvrir les vannes 25-HV-01-008B et 25-HV-01-007B, ouvrir aussi la vanne de gaz d'étanchéité 25-ESDV-00-025 et fermer 25-ESDV-00-0025.
 - 6) Ouvrir (¼ tour) les clapets de purge des carters. Purger tout le liquide présent et les fermer.
 - 7) Vérifier que l'IGV est fermée et que le HIC (Tableau IV.3) est en position manuelle.
 - 8) Vérifier que toutes les alarmes et les arrêts ont été acquittés. Réinitialiser "Common Shutdown" en appuyant "EXPANDER RESET" sur l'HMI.
 - 9) Ouvrir respectivement les vannes 25-HV-01-003B, 25-ESDV-01-002, 25-HV-01-015 qui sont placées sur les conduites d'aspiration et de refoulement de l'ensemble.
 - 10) Quand le signal "Permissive To Start" est activé par le DCS (cette permission garantit que toutes les vannes sont ouvertes), appuyer sur la touche "EXPANDER START" de l'HMI pour ouvrir la vanne d'arrêt de l'expander (25-ROV-01-501).
 - 11) Le sélecteur HIC sur l'HMI peut être switché du mode manuel en mode automatique.
 - 12) Une rampe (automatique ou manuelle) se génère à partir du DCS pour ouvrir progressivement (5%) l'IGV et augmenter le débit d'aspiration.
 - 13) Lorsque le signal de commande sortant par les régulateurs (PIC, FIC et TDIC) est supérieur ou égale à la rampe, le signal de commande (provenant des régulateurs) prend le contrôle de l'IGV.
 - 14) Il est probable que la machine commence à tourner lentement. Ouvrir progressivement l'IGV. Laisser la machine s'accélérer jusqu'à son régime nominal à un taux permettant aux carters d'atteindre graduellement un équilibre thermique. Durant cette phase, surveiller toutes les mesures de température, de pression et de débit.

Remarque IV.1 : Sans protection anti-pompage, il existe un risque de pompage jusqu'à ce que le compresseur atteigne 75 % de son débit nominal. L'exploitation sous des conditions de pompage pendant plus de 10 à 15 minutes peut endommager tous l'ensemble.

IV.3.4 Procédures de l'arrêt (Shutdown)

- **Arrêt de l'unité en fonctionnement :** L'unité de secours est en marche et la machine en fonctionnement est prête à l'arrêt.
 1. Sur l'HMI, changer la commande de l'IGV en mode manuel, diminuer le signal de l'IGV progressivement mais pas trop lent pour que la température du gaz dans la boucle d'anti-pompage ne dépasse pas 82°C au refoulement du compresseur. Le débit au turbo-expander diminuera et le débit par la vanne JT augmentera en même temps. La vanne d'anti-pompage commencera à s'ouvrir.

2. Lorsque la vitesse est égale ou inférieure à 2000 tr/min (ou bien lorsque l'IGV est fermée), appuyer sur le bouton « STOP » sur l'HMI pour fermer le clapet de sûreté d'admission de l'expander, il se fermera en 0,5 seconde. La vitesse du turbo-expander va diminuer jusqu'à zéro.
 3. Fermer les vannes de sectionnement d'admission de l'expander (25-HV-01-015 et 25-ESDV-01-002) et les vannes de sectionnement de refoulement du compresseur (35-HV-01-003B et 25-HV-01-003A).
 4. Continuer avec la procédure de blocage et de dépressurisation.
- **Arrêt d'urgence (Emergency Shutdown)**
 1. La logique UCP envoie un signal pour fermer le clapet de sûreté d'admission du turbo-expander (25-ROV-01-501) qui se fermera en une demi-seconde. La vanne d'anti-pompage sera entièrement ouverte. La vitesse de rotation diminuera jusqu'à zéro.
 2. L'arrêt d'urgence (ESD) fermera la vanne de sectionnement de l'admission de l'expander 25-ESDV-01 002 (le temps de fermeture de la vanne est 1 sec. /pouce).
 3. Fermer les vannes de sectionnement du refoulement du compresseur manuellement.

Les vannes de sectionnement doivent être fermées rapidement pour minimiser tout refoulement lent de l'ensemble sur les paliers du récepteur. On peut rester dans ce cas indéfiniment.

IV.4 Problématique

Actuellement dans SH-FCP, quand un déclenchement (trip) est survenu au turbo-expander quel que soit la cause, les tableautistes dans la salle de contrôle (opérateurs tableau DCS) doivent ouvrir manuellement la vanne JT –pour remplacer l'expander en cas de trip- de façon progressive selon le process. En outre, l'usine utilise seulement un régulateur parmi les trois existants, celui de la pression, à cause d'une panne survenue sur le débitmètre (transmetteur de débit) alors que le régulateur de température n'est plus fonctionnel.

L'objectif de notre travail est de proposer une solution pour la régulation du turbo-expander et l'implémenter sous le Centum VP de YOKOGAWA. Cette étude se résume en ses points :

1. Automatiser le fonctionnement de la vanne JT : en cas de trip, le signal de commande destiné normalement à l'IGV switch vers la vanne JT ;
2. Réintégrer la simulation de l'aspiration de l'expander en mode offline et reprendre les trois régulateurs en fonctionnement selon la conception établie par le constructeur ;
3. Introduire la solution proposée graphiquement et logiquement au système DCS.

La solution choisie a pour avantages :

1. Assurer que le processus de traitement de gaz ne subit aucune interruption, c.à.d. fonctionnement en continu
2. En cas d'absence ou d'inattention de tableautiste, la vanne JT s'ouvre automatiquement sans aucune intervention humaine, et une fois la cause d'arrêt du turbo-expander est acquittée le process reprend son régime normal.
3. L'ouverture automatique de la vanne JT minimise le risque d'explosion du ballon d'aspiration de l'expander ou des pipes, ...
4. Améliorer la commande de l'ouverture de la vanne JT grâce aux régulateurs PID : elle s'ouvre avec exactitude et précision.

IV.5 Configuration du système DCS

La conception du système de supervision est réalisée en deux principales étapes :

- Régulation et automatisation
- Amélioration du système DCS (la page graphique).

IV.5.1 Déclaration des entrées/ sorties

Dans cette première étape, nous allons faire un dimensionnement et définition des types et des nombres des entrées/ sorties et des fonctions de contrôle avec les commentaires nécessaires.

Tableau IV.2. Déclaration des entrées/ sorties et des fonctions de contrôle

Symbole (TAG)	Type de fonction	Commentaire
25PIT00014	Entrée analogique	Pression de sortie du VD-25-02
25FIT00014	Entrée analogique	Transmetteur de débit vers le turbo-expander
25PIC00014	PID (action directe)	Régulateur de pression de sortie du VD-25-02
25FIC00014	PID (action inverse)	Régulateur de débit de sortie du VD-25-02
25TIT00024	Entrée analogique	Température de sortie du condenseur du dééthaniseur
25TIT00045	Entrée analogique	Température au plafond du dééthaniseur
25TIT00046	Entrée analogique	Température de sortie du turbo-expander
25TY00024	Fonction DCS	Vitesse de refroidissement
25TY00045	Fonction DCS	Vitesse de refroidissement
25TY00046	Fonction DCS	Vitesse de refroidissement
25TY00001	Fonction DCS	Sélecteur de signal plus bas
25TDIC00001	PID (action directe)	Régulateur de température
25TDSL00001	Fonction DCS	Seuil (fixé à -2°C/min)
25UY00014A	Fonction DCS	Sélecteur de signal plus bas (override)
25UY00014B	Fonction DCS	Fonction split-range
25PHC01006	Fonction DCS	Rampe de démarrage
25UY01006A	Fonction DCS	Sélecteur de signal plus bas (régulation/logique)
25HIC01006	Fonction DCS	Commande auto/man (*)
25DSH01006	Fonction DCS	Différentiel de seuil (fixé à 5%)
25PV00014	sortie analogique	La vanne JT (Joule-Thomson)

Remarque IV.2: (*) Lorsque Auto est sélectionné, la sortie est égale à l'entrée, lorsque Man est sélectionné, la sortie est fixée par opérateur.

IV.5.2 Principe de fonctionnement

Le gaz du ballon d'aspiration du turbo-expander (VD-25-02) est normalement acheminé vers le turbo-expander. Au démarrage, le processus peut circuler par la JT.

- Lorsque la pression est supérieure au point de consigne SV, le régulateur de pression 25PIC00014 augmente la vitesse de turbo-expander (première action du contrôle split-range) puis, si la pression reste toujours supérieure au SV, il ouvre la vanne JT 25PV00014 (deuxième action du split-range). Contrairement, lorsque la pression est inférieure au point de consigne SV, le régulateur de pression ferme la vanne JT (première action) puis, si la pression reste toujours inférieure à la SV, il diminue la vitesse du turbo-expander (deuxième action).
- Si le débit écoulé vers le turbo-expander est supérieur à la consigne SV, le régulateur de débit 25FIC00014 limite la vitesse du turbo-expander ou bien il ferme

la vanne JT lorsqu'elle est ouverte. Une fois le débit est inférieur à la SV, le contrôle revient au régulateur de pression.

- Une boucle de régulation de température est aussi incluse pour vérifier la vitesse de refroidissement du système en prenant la moyenne de température en trois points différents : la sortie du condenseur du dééthaniseur, la sortie du dééthaniseur et la sortie du turbo-expander.
- Si la vitesse de refroidissement dépasse $-2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ dans l'un de ces points, le régulateur 25TDIC00001 limite la vitesse du turbo-expander ou bien il ferme la vanne JT lorsqu'elle est ouverte. Une fois terminé, le contrôle revient au régulateur de pression.
- Des fonctions de DCS doivent calculer la moyenne dans chaque points de température toutes les trois secondes et un sélecteur choisit la plus basse comme une variable d'entrée (PV) au régulateur 25TDIC00001.
- Les trois régulateurs sont connectés au sélecteur d'override (25UY00014A) ; il compare les trois signaux de commande (MV) sortant des régulateurs et sélectionne le plus bas pour commander les vannes (IGV et/ou vanne JT), c'est la boucle d'override.
- Lorsque l'un des régulateurs prédomine le sélecteur d'override (c.à.d. le plus bas), les deux autres régulateurs doivent suivre la valeur MV de ce régulateur afin d'avoir une réaction rapide quand le sélecteur choisit l'un de ces deux régulateurs (en cas de changement dans le process ou de la SV).
- Lors du démarrage, l'unité de la charge (de démarrage) est commandée par une rampe. Durant cette phase, le signal de sortie provenant de l'un des régulateurs est hors-contrôle tant que sa sortie est supérieure à la valeur de la rampe, et ceci grâce au sélecteur 25UY01006A.
- La rampe du bloc 25PHC01006 peut être générée automatiquement ou manuellement. En mode automatique, l'accélération de la rampe (Rampe-Up) est générée lorsque le turbo- expander est en marche et que sa vitesse de refroidissement est inférieure à $-2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, tandis que la décélération (Rampe-Down) est générée lorsque le turbo-expander est à l'arrêt. En mode manuel, les commandes de montée et de descente sont générées par l'opérateur.

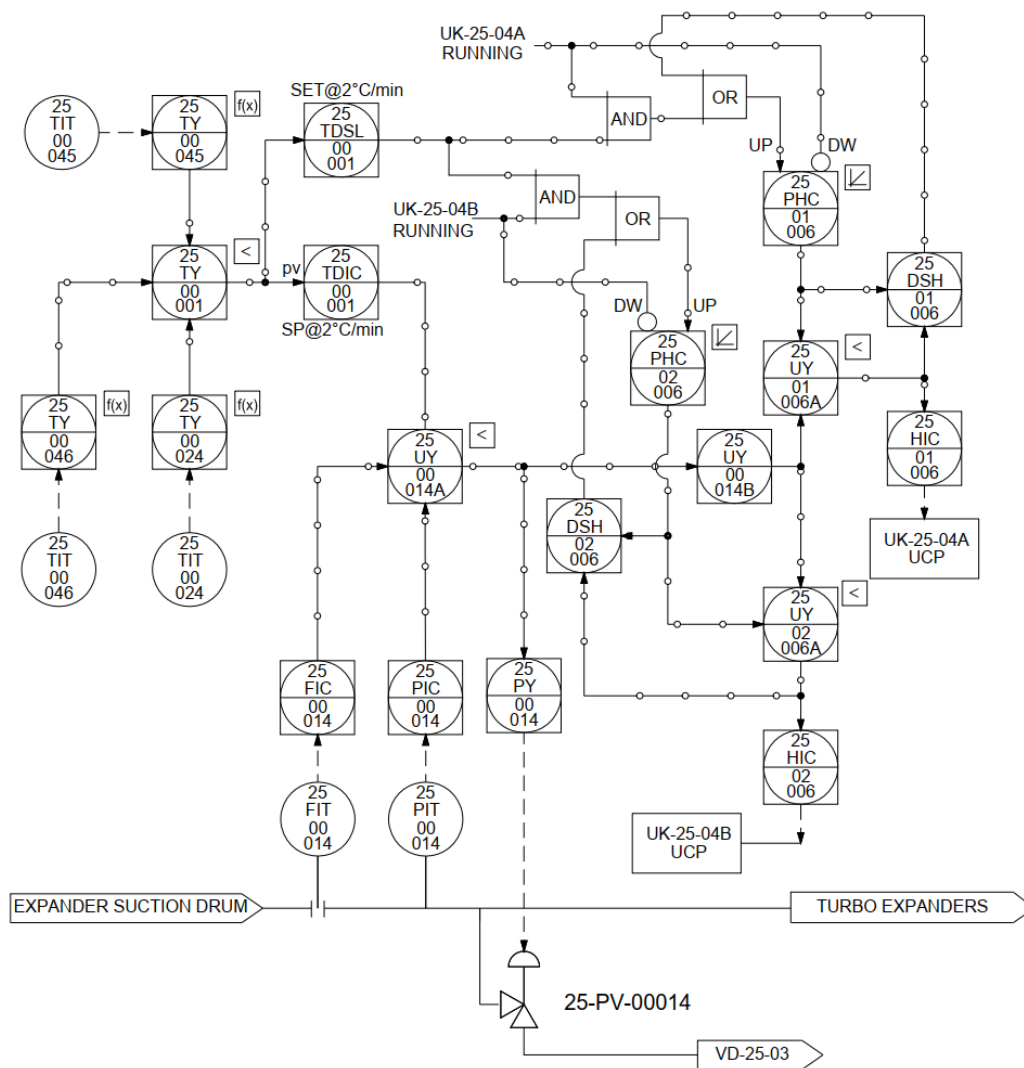


Figure IV.3. Schéma P&ID des boucles de régulation

IV.5.3 Programmation des boucles de l'aspiration du turbo-expander

La programmation en DCS Yodogawa est basée généralement sur l'utilisation des blocs de fonction dans les drawings. Le travail à effectuer est divisé en deux parties :

- Une première partie consiste la régulation (PID, sélecteur...).
- Une partie logique concerne le démarrage (la rampe de démarrage, ON/OFF...)

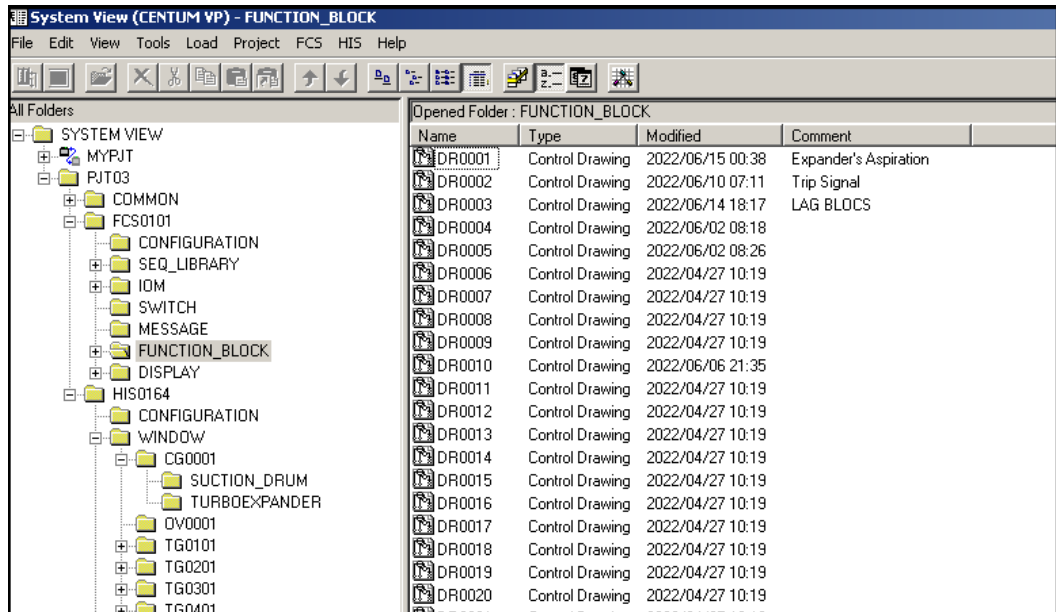


Figure IV.4. Vue générale du projet

- **Partie de régulation**

Cette partie regroupe les 3 régulateurs (Pression, débit et température), le sélecteur override, et quelques blocs nécessaires pour transmettre la commande aux éléments finaux.

Le rôle et les paramètres spécifiés de chaque bloc vont être détaillés ci-dessous :

- **Indicateur d'entrée (Input Indicator Block) PVI**

Ce bloc fonctionnel affiche le signal d'entrée en tant que Process Variable (PV). L'intervalle et l'unité de la variable à traiter doivent être changé dans : Edit Detail > Input, la figure ci-dessous représente un exemple d'un bloc PVI utilisé dans ce projet :

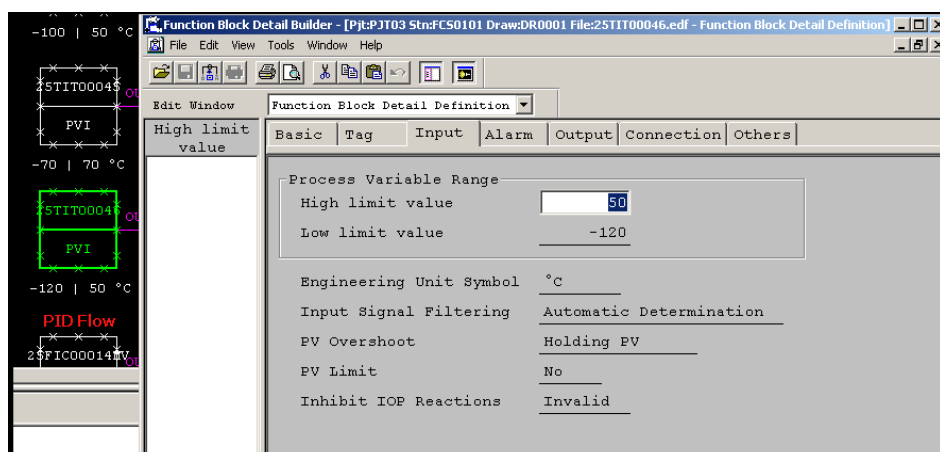


Figure IV.5. Le bloc PVI représenté par 25TIT00046

➤ **Bloc de moyenne mobile (Moving-Average Block) AVE-M**

Le bloc AVE-M calcule la valeur moyenne des valeurs passées dans un intervalle précis. Les paramètres à insérer pour effectuer la moyenne de température toutes les trois secondes (il est indiqué dans IV.4.2) sont :

- SMPL : intervalle d'échantillonnage
- NUM : nombre d'échantillons
- GAIN : le gain

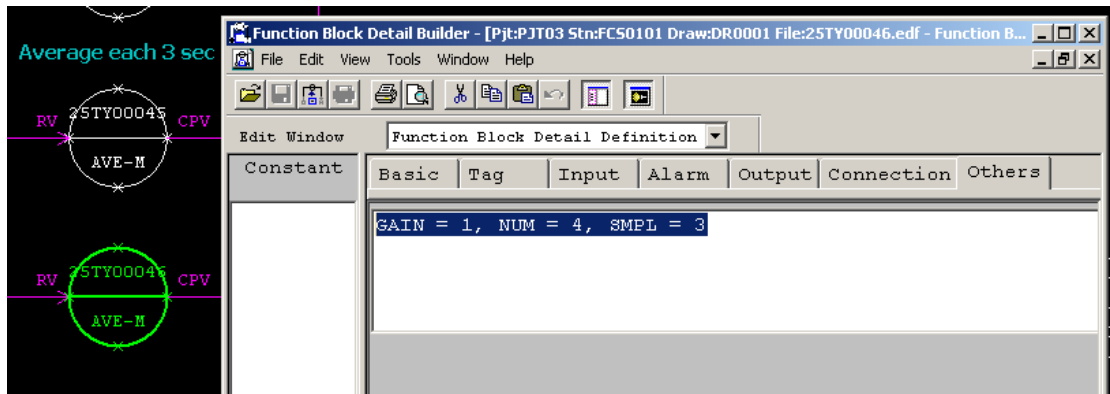


Figure IV.7. Configuration des paramètres du bloc AVE-M

➤ **Sélecteur automatique (Auto-Selector Block) AS-L**

Il sert à comparer les signaux d'entrée de plusieurs régulateurs et sélectionne automatiquement le signal le plus bas en valeur pour la sortie MV. Les trois régulateurs sont connectés au 25UY00014A (sélecteur override) pour effectuer la boucle d'override de l'aspiration du turbo-expander. Le switch est en position 4, et le mode de bloc doit être automatique :

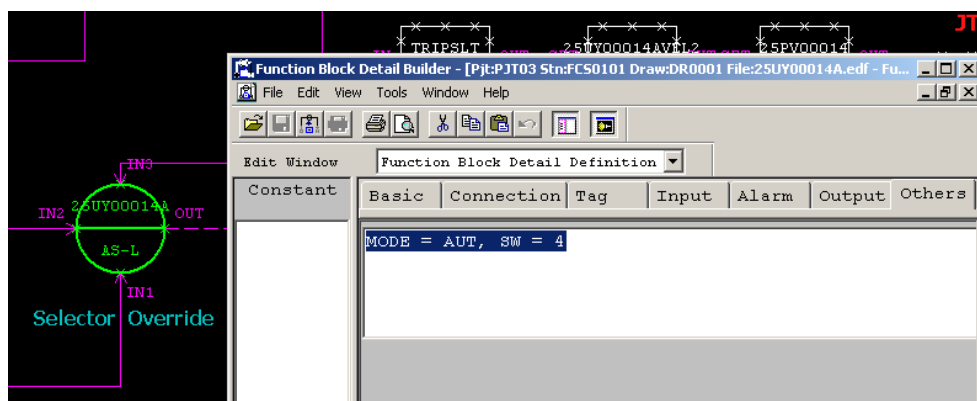


Figure IV.8. Paramètres de l'Auto-Selector de la boucle d'override

➤ **Diviseur de signal (Control Signal Splitter Block) SPLIT**

Le SPLIT est capable de diviser la variable de consigne SV provenant de la borne SET, d'une boucle de commande par exemple, en deux signaux de sortie

(MV1, MV2), tels que ses plages sont définis par l'utilisateur, c'est la commande en Split-Range par deux actions.

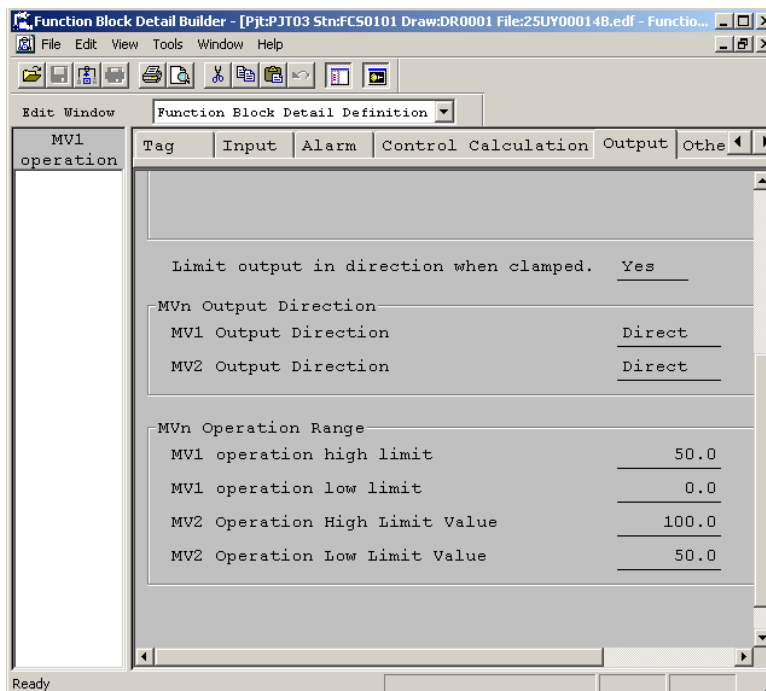


Figure IV.9. Edit Details du bloc SPLIT

La première sortie MV1 (définie de 0% à 50%) est destinée à l'IGV.

La deuxième sortie MV2 (définie de 50% à 100%) est destinée à la vanne JT.

➤ **Bloc limiteur de vitesse (Velocity Limiter Block) VELLIM**

Le bloc VELLIM sert à limiter la vitesse d'un signal de commande. Il est utilisé au processus dont les changements brusques doivent être évités.

De préférence, le turbo-expander commence à tourner lentement, ce bloc limite le signal d'ouverture des vannes dans chaque période de scan : l'IGV 5%, et la JT 1%.

➤ **Chargeur manuel (Manual Loader Block with Switch)MLD-SW**

Ce bloc sélectionne les signaux de sortie à envoyer à l'élément final. Il est placé en dernier dans une chaîne cascade de blocs de fonction. Afin de réaliser la commande des vannes (l'IGV et la JT), il est nécessaire de placer ce bloc après le VELLIM pour recevoir le signal graduel provenant de ce dernier.

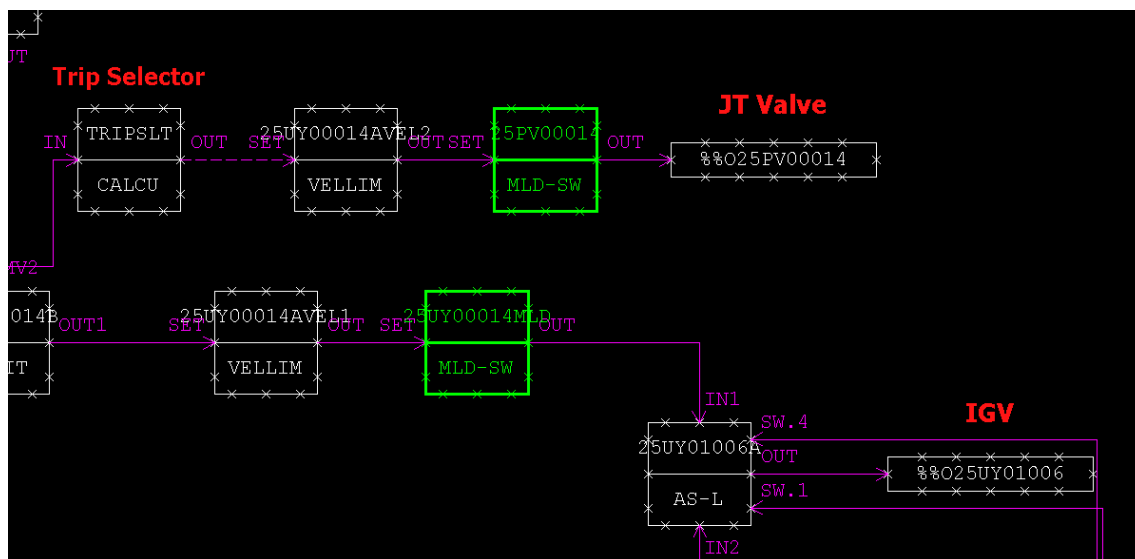


Figure IV.10. Les deux blocs MLD-SW utilisés avant les éléments finaux

IV.5.4 Programmation des boucles de régulation

La chaîne de régulation est composée d'un bloc LAG relié avec un bloc PID, telle que sa commande est envoyé au sélecteur d'override à partir d'un bloc PVI intermédiaire. Le régulateur assure l'élimination de l'écart entre la variable du process PV et la consigne SV, par ajustement des paramètres P, I et D. La simulation en mode offline, nécessite l'utilisation du bloc LAG qui peut émuler les caractéristiques du process.

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

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

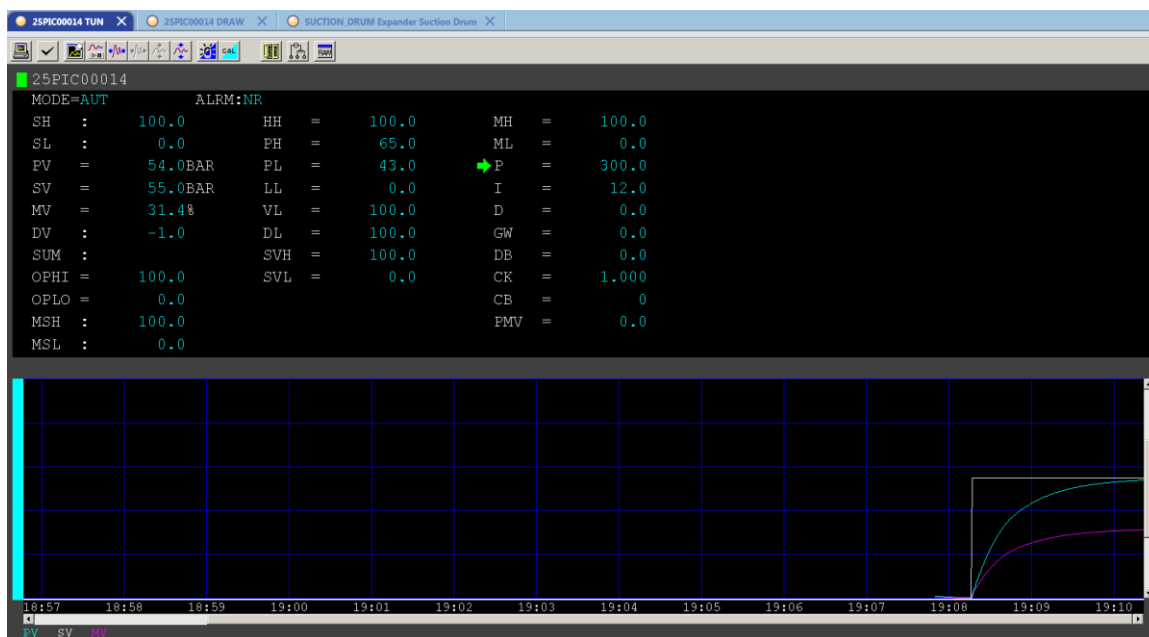


Figure IV.11. Fenêtre Tuning du régulateur 25PIC00014

Le tableau suivant regroupe tous les paramètres et spécifications des trois régulateurs PID :

TableauIV.3. Les boucles de régulations et ses paramètres

Tag	Nom	Les alarmes				Coefficients de régulation		Type d'action
		HH	PH	PL	LL	P	I	Directe/Inverse
25PIC00014	Régulateur de pression du ballon d'aspiration	100	65	43	0	300	12	Directe
25FIC00014	Régulateur de débit du ballon d'aspiration	520000	350000	0	0	180	10	Inverse
25TDIC00014	Régulateur de température de trois points (*)	100	100	100	100	50	100	Directe

* : les trois points sont indiqués au tableau IV.2 des entrées / sorties

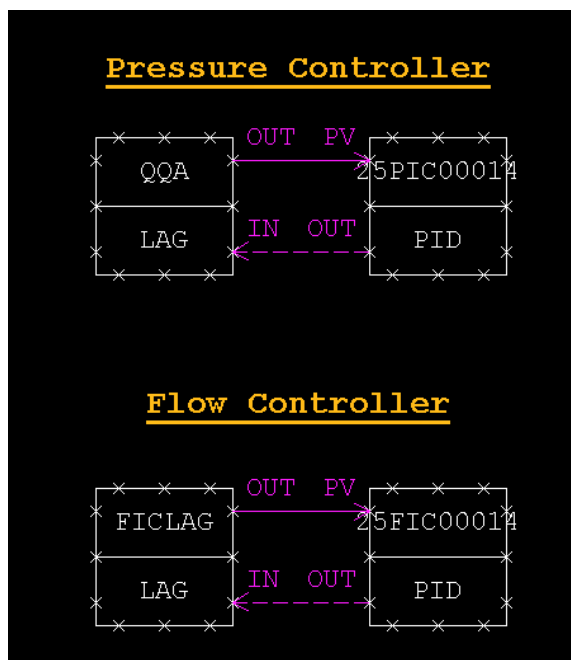


Figure IV.12. Régulateurs de pression et de débit dans DR0003

IV.5.5 Programmation des blocs calculateurs « CALCU »

Le bloc CALCU est un bloc programmable avec un langage spécial qui une combinaison du Visuel basique et du langage C++, on l'appelle SEBOL [15].

L'algorithme ci-dessus est celui du bloc 25TY00001, qui sert à choisir la température la plus basse comme une entrée du régulateur de température 25TDIC00014.

```

1| program
2|
3| * 25TDIC00001 INPUT TEMPERATURE *
4|
5| if (RV < RV01 and RV < RV02) then
6| CPV = RV
7| end if
8|
9| if (RV01 < RV and RV01 < RV02) then
10| CPV = RV01
11| end if
12|
13| if (RV02 < RV01 and RV02 < RV) then
14| CPV = RV02
15| end if
16|
17| end
18|

```

The screenshot shows a window titled "Function Block Detail Builder - [Pjt:PJT03 Stn:FC50101 Draw:DR0001 ...]". The "Edit Calculation Script" window contains the code above. The status bar at the bottom indicates "Ready" and "Position: Line 5 Column 1".

Figure IV.13. Edit détail d'un bloc CALCU

La solution proposée concernant la vanne JT (voir section IV.4 pour plus de détails) est traduite en un algorithme dans un nouveau bloc CALCU³, permettant d'utiliser comme un sélecteur, en tenant compte les conditions suivantes :

- Le signal de trip est normalement issu du système ESD -Prosafé de Yokogawa-. Pour des raisons de simulation, nous avons simulé ce signal en utilisant des blocs logiques dans le DR0002 (voir figure IV.14)
- L'algorithme doit vérifier tout d'abord l'existence d'un trip (déclenchement), si l'état logique du trip est « 0 », c.à.d. que le régime est en fonctionnement normal (l'expander est en marche). Sinon, (l'état logique du trip est « 1 »), il faut comparer la valeur de la commande qui était envoyé à l'IGV, tel que :
 - Si la valeur de la commande (MV du sélecteur 25UY00014A) est inférieure ou égale à 50% >>> c.à.d. que la vanne JT est fermée >>> la valeur MV1 du bloc SPLIT qui était normalement destinée à l'IGV doit être changé vers la vanne JT pour l'ouvrir.
 - Si la valeur de la commande (MV du sélecteur 25UY00014A) est supérieure à 50% >>> c.à.d. que la vanne JT a été ouverte >>> une valeur de MV=100% doit être envoyé pour ouvrir la vanne JT complètement.

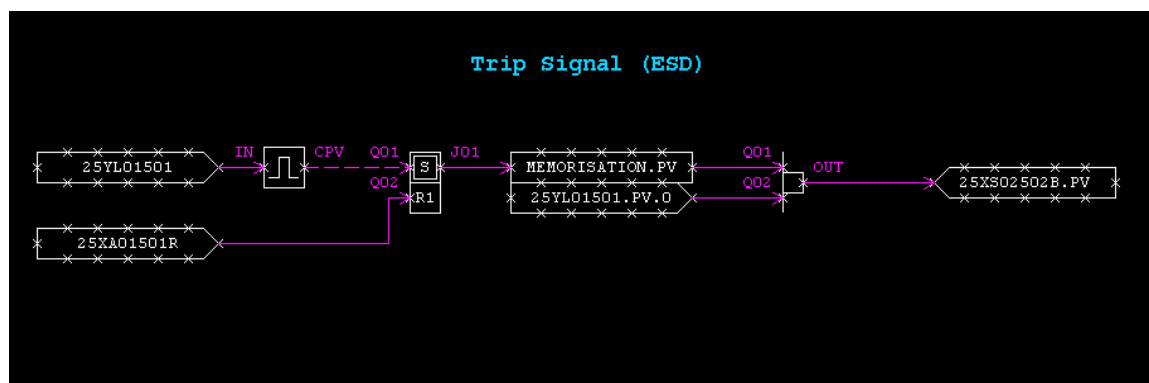
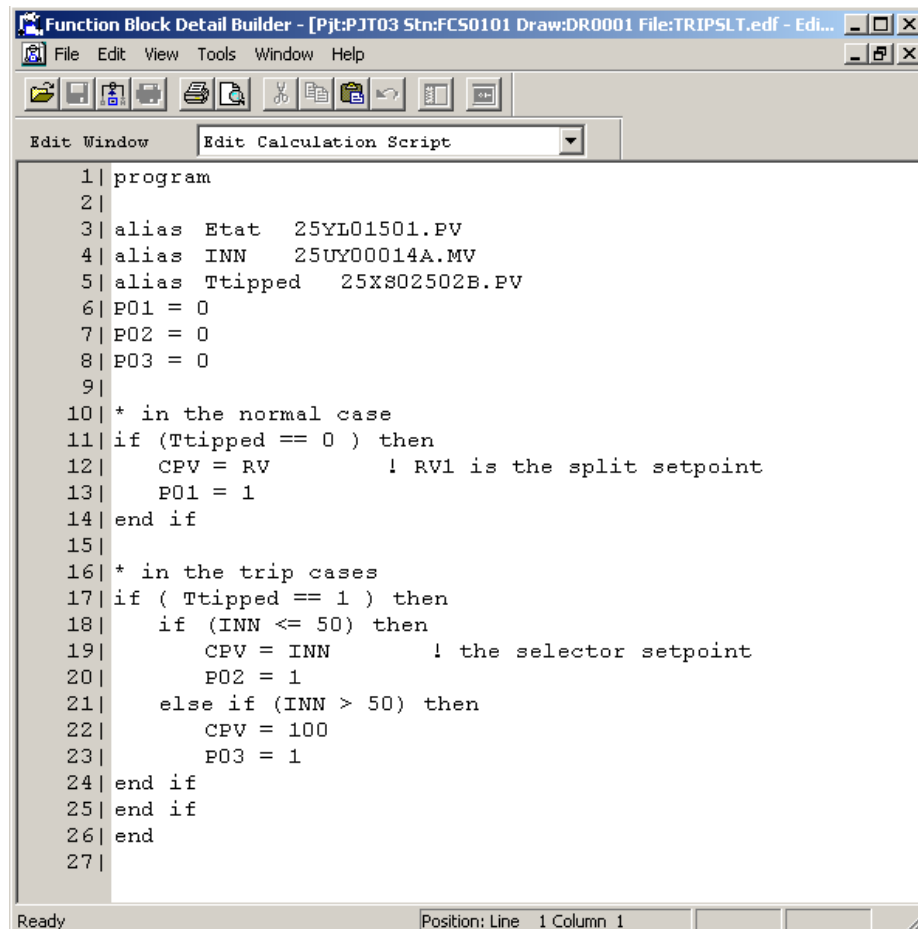


Figure IV.14. Signal de trip (ESD) dans le DR0002

³Pour que l'algorithme fonctionne, le bloc CALCU relié à la sortie du SPLIT

La traduction de ces conditions en langage SEBOL aboutit à l'algorithme suivant:



```
1| program
2|
3| alias Etat 25YL01501.PV
4| alias INN 25UY00014A.MV
5| alias Ttipped 25X802502B.PV
6| P01 = 0
7| P02 = 0
8| P03 = 0
9|
10| * in the normal case
11| if (Ttipped == 0 ) then
12|     CPV = RV          ! RV1 is the split setpoint
13|     P01 = 1
14| end if
15|
16| * in the trip cases
17| if ( Ttipped == 1 ) then
18|     if (INN <= 50) then
19|         CPV = INN      ! the selector setpoint
20|         P02 = 1
21|     else if (INN > 50) then
22|         CPV = 100
23|         P03 = 1
24|     end if
25| end if
26| end
27|
```

Figure IV.15. Edit détail du bloc TRIPSLT

- **Partie de logique**

Dans cette partie, on retrouve les blocs logiques (Switch, AND, OR...) nécessaires pour le démarrage du turbo-expander.

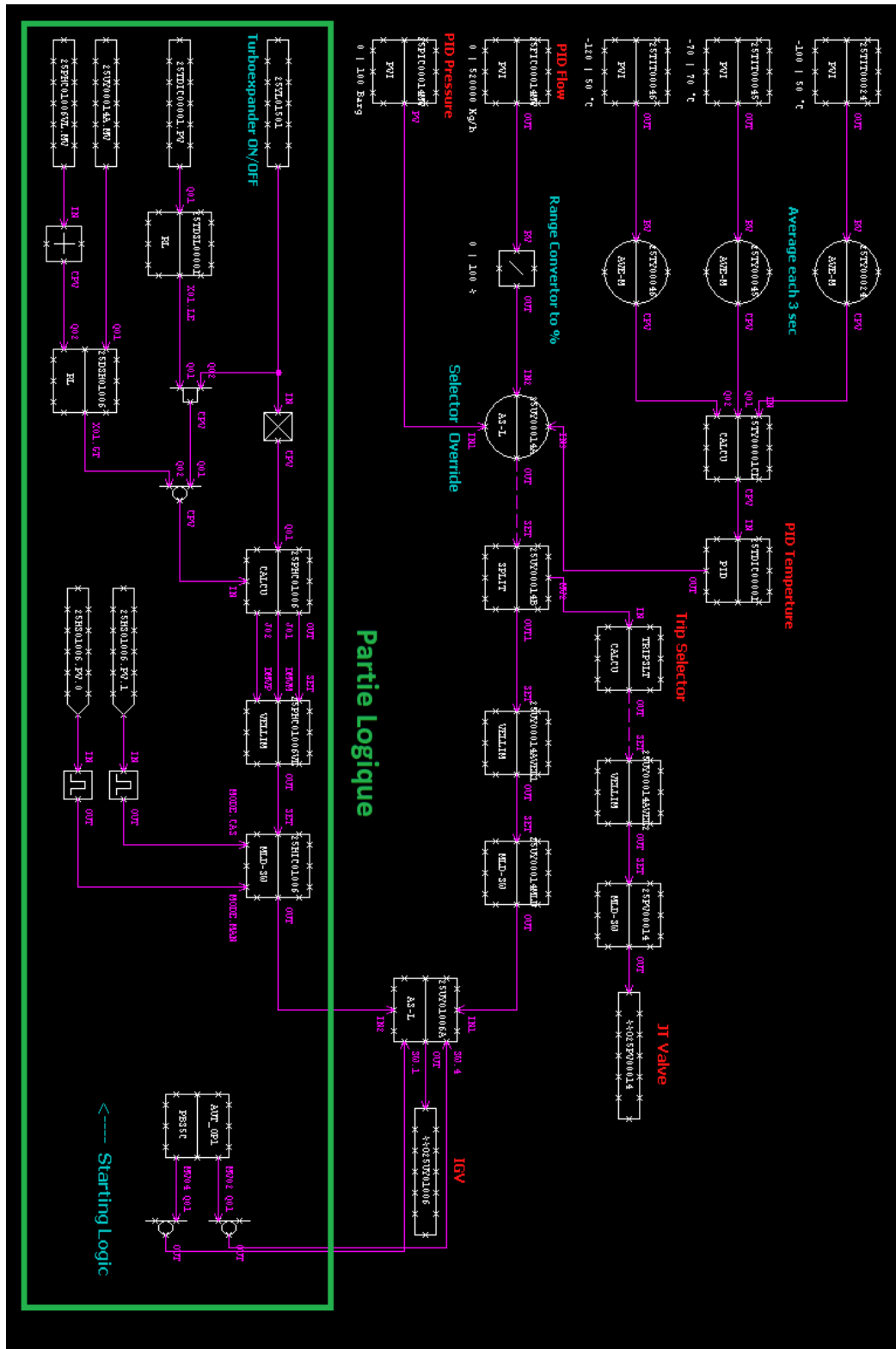


Figure IV.16. Partie logique du DR0001

➤ **Switch de démarrage (25YL01501)**

Les switches sont utilisés pour les fonctions qui nécessitent des états logiques. Le switch « 25YL01501 » est le bouton de démarrage de l'expander (ON/OFF).

➤ **Bloc d'expression relationnelle (Relational Expression Block) RL**

Ce bloc est utilisé pour comparer numériquement deux données (supérieure ou égale, inférieure...) ou pour faire le produit logique, et renvoie le résultat en indiquant s'il correspond ou non aux conditions de cette comparaison.

Pour que la boucle de température fonctionne aux exigences du constricteur, le bloc RL (25TDSL00001) vérifie que la vitesse de refroidissement est toujours inférieure ou égale à (-2 °C/min), si et seulement si cette condition est vraie, un signal logique « 1 » est alors envoyé au bloc CALCU pour générer la Ramp-Up de démarrage du turbo-expander.

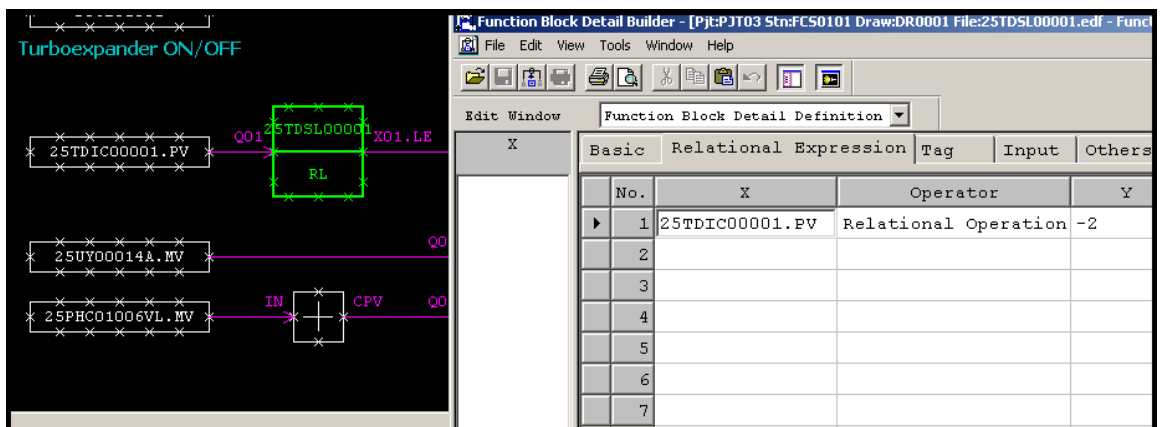


Figure IV.17. Edit Detail du bloc 25TDSL00001

Même si la température dépasse -2 °C/min lors du démarrage, un autre bloc RL (25DSH01006) assure la continuité de Ramp-Up, si et seulement si : le turbo-expander est en marche, la valeur du signal de commande issu des régulateurs est supérieur à la valeur de la rampe générée.

➤ **Blocs nécessaire à la génération de la rampe au démarrage**

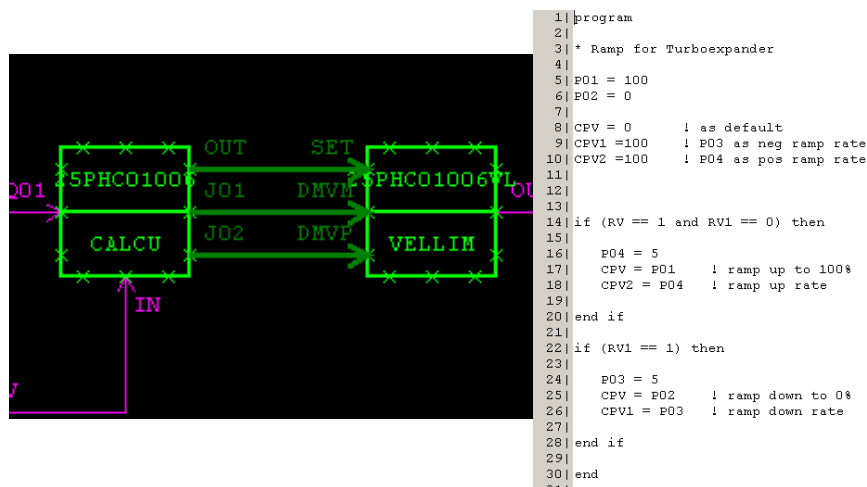


Figure IV.18. Les blocs et l’algorithme de la rampe

- Les blocs 25PHC01006 et 25PHC01006VL sont utilisés pour la génération de la rampe en tenant compte de certaines conditions.

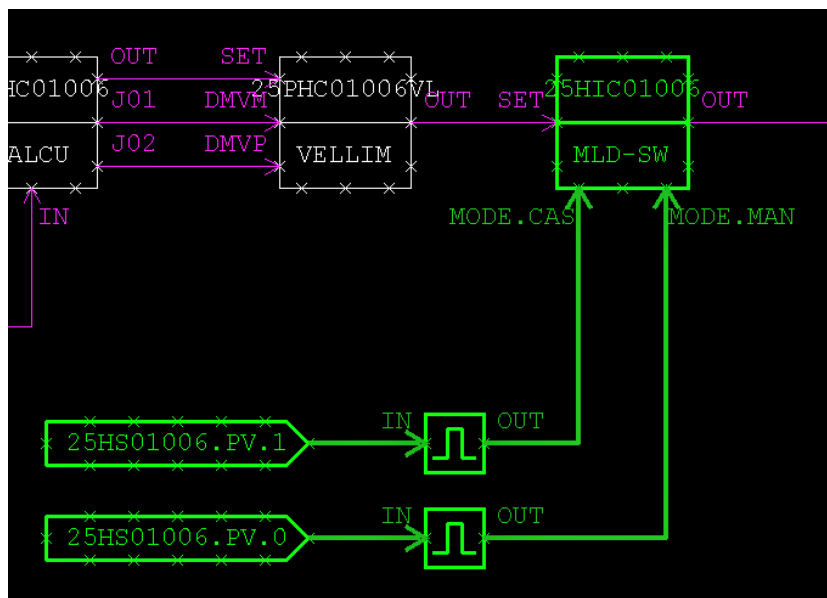


Figure IV.19.Sélecteur de mode CAS/ MAN

- Les blocs ci-dessus servent à configurer la génération de la rampe manuellement (MODE.MAN) ou automatiquement (MODE.CAS).

IV.5.6 Programmation de bouton poussoir avec le switch «PBS5C»

Le bloc de bouton-poussoir « PBS5C » à 5 boutons- poussoirs est un bloc d'affichage séquentiel qui contient les données d'état de cinq boutons- poussoirs en liaison avec les organes de l'unité permettant de modifier l'indication sur le panneau avant de l'instrument en fonction de l'état de chaque bouton-poussoir [7].

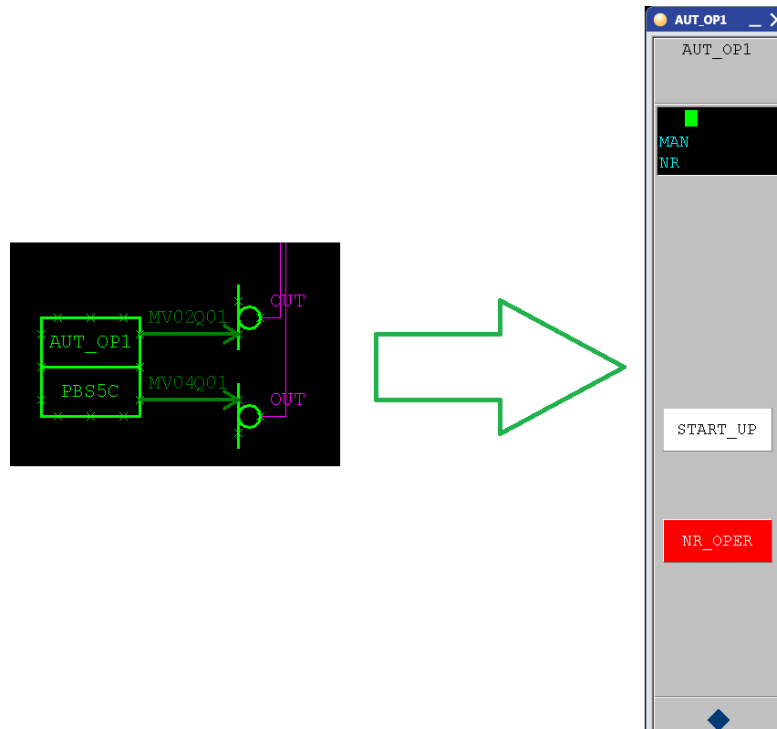


Figure IV.20. Le Faceplate switch du bouton-poussoir AUT_OP1

Deux modes sont définis pour ce bloc : il faut activer le mode « START_UP » au démarrage pour générer la rampe, et le mode « NR_OPR » une fois le sélecteur 25UY01006A est en position « 1 » pour garder le régulateur la boucle d'override commande l'IGV.

IV.6 Développement de l'interface de Supervision sous CENTUM VP

La supervision d'un système regroupe les fonctions de collecte, de visualisation d'informations, de surveillance, de diagnostic et d'aide à la prise de décisions, la reconfiguration et la maintenance. La supervision de turbo-expander permet de visualiser les paramètres et les états de l'unité tels que les boucles de régulation en temps réel, ainsi que les commandes à distance.

La conception des outils de supervision peut s'appuyer sur trois sources d'information :

- Expertise humaine du concepteur et/ou de l'exploitant.
- Les modèles structurels, fonctionnels ou analytiques du procédé.
- les données issues des historiques sur le procédé.

Pour bien contrôler le processus, l'opérateur a besoin d'avoir le maximum de transparence, sur l'installation à superviser, cela est possible qu'avec l'interface homme machine (HMI). Le contrôle de processus est assuré par le système d'automatisation.

IV.6.1 Création et programmation d'une page graphique dans la HIS

Dans cette phase, nous nous intéressons à l'élaboration de l'interface de visualisation et de supervision.

Pour la création d'un graphique, Choisissons dans le menu principal window et créons un nouvel espace graphique GRxxxx qui nous donne la possibilité de faire des vues sur le process, comme le montrent les figures suivantes :

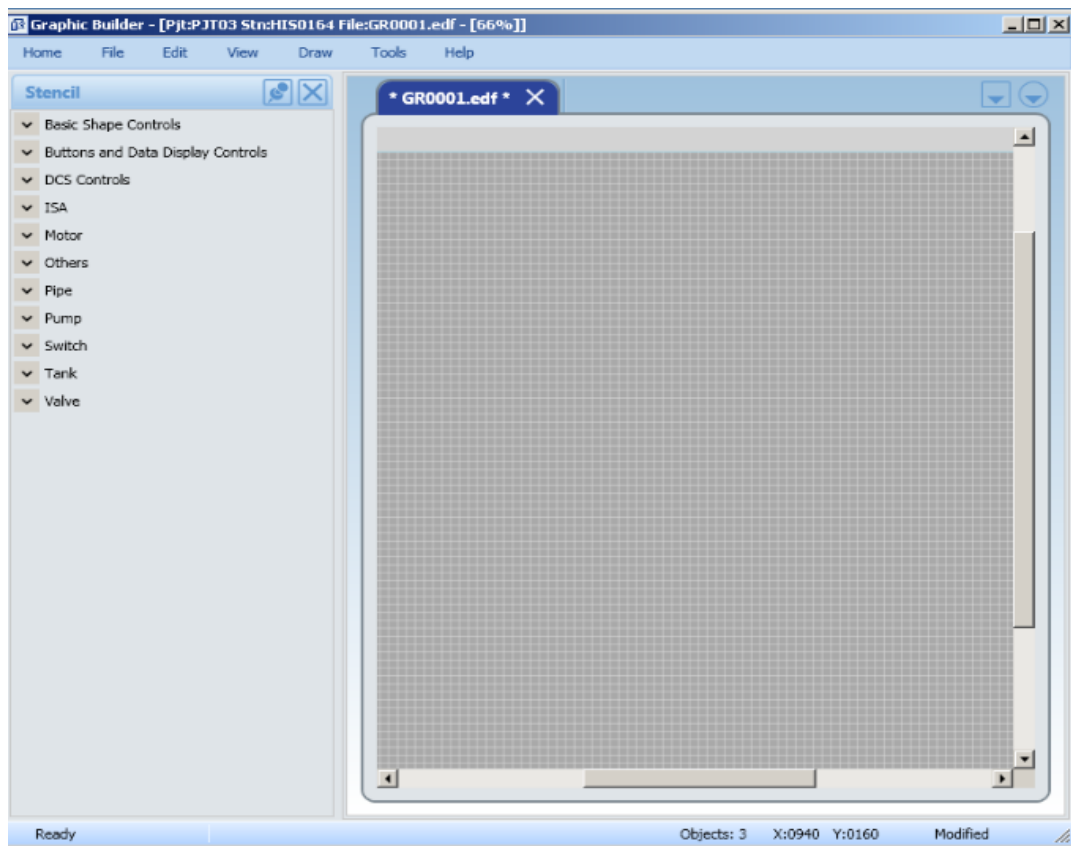


Figure IV.21. L'interface principale de « Graphic Builder »

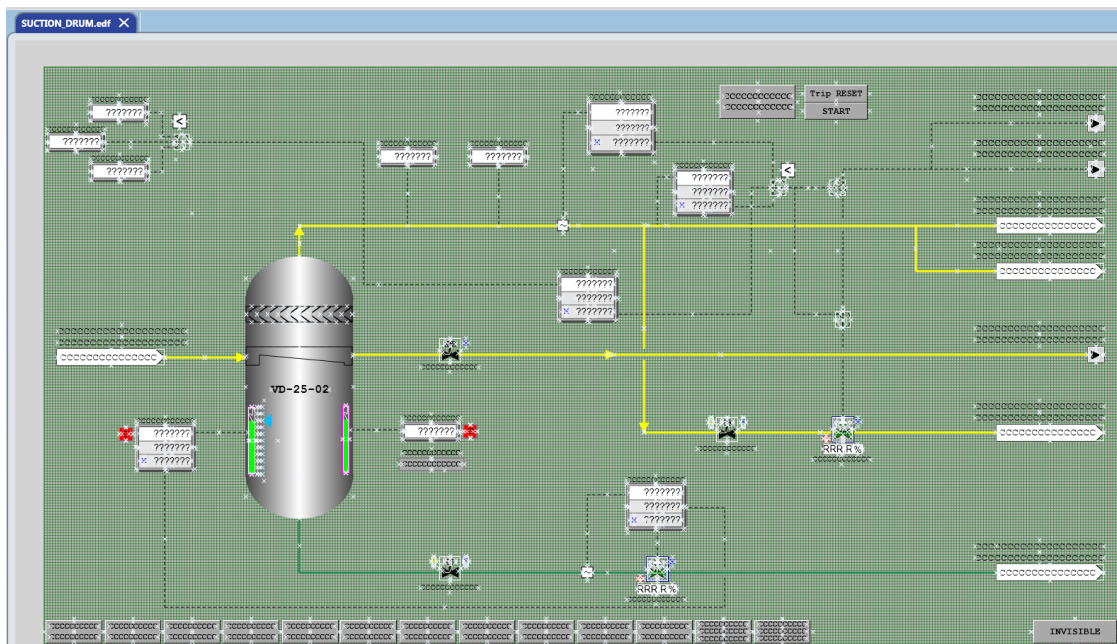


Figure IV.22. La création de vue du ballon d'aspiration



Figure IV.23. Les barres d'outils de Graphic Builder

- File: sauvegarder, Ouvrir, imprimer...
- Edit : Copier, coller, annuler...
- View : Grille, Zoom, rafraîchissement...
- Draw : Options de dessin, police, Eléments prédéfinis [14].

Le choix des graphiques à utiliser se fait à partir de la bibliothèque standard du graphic builder (Stencil Area). Les graphiques dans un DCS sont généralement animés (alarme, déclenchement, fonctionnement normal, arrêt,...).

- Pour modifier les couleurs des graphiques, nous utilisons le modificateur du graphique qui est une fonction permettant de changer la couleur de l'objet. A partir

de l'objet, cliquer sur le bouton droit de la souris et choisir « propriétés », puis choisir l'onglet « modifier ».

- Pour changer les caractéristiques des textes insérés dans un graphique, à partir du texte choisi, cliquer sur le bouton droit de la souris et choisir « propriétés », puis choisir l'onglet « font ».

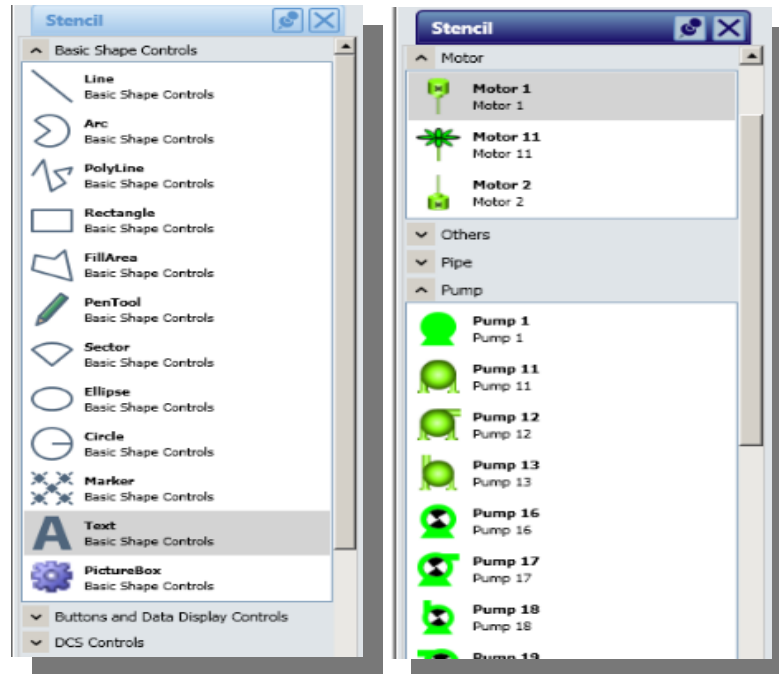


Figure IV.24. Bibliothèque standard de Graphic Builder

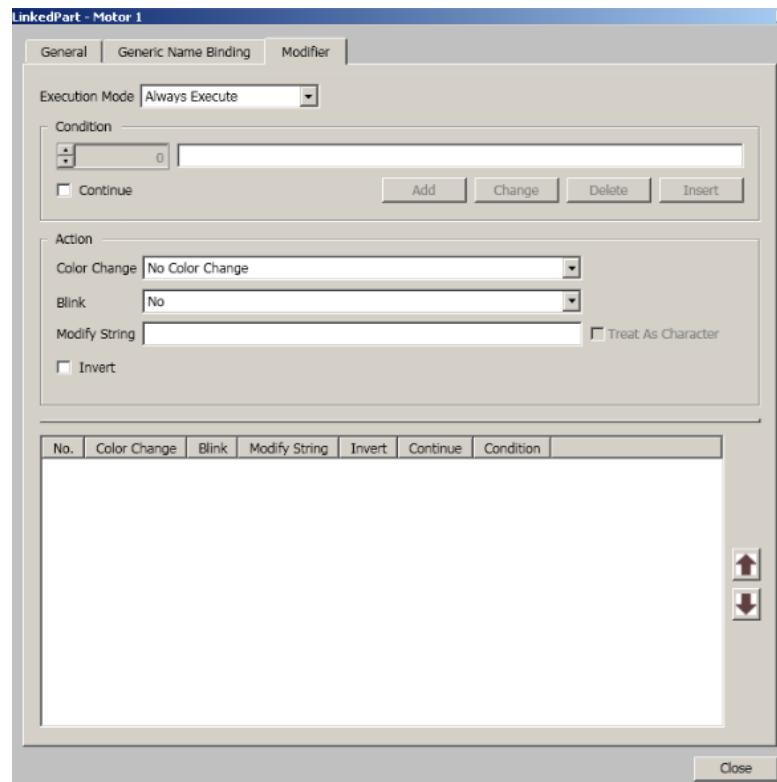


Figure IV.25. Configuration de l'animation des objets

IV.6.2 Présentation des interfaces du projet

L'étude menée dans le cadre de ce travail s'intéresse à améliorer à l'interface graphique actuelle pour ces raisons :

- Le tableautiste est habitué à l'interface graphique existante, et afin de ne pas perturber la tâche des utilisateurs, la solution sera intégrée directement au système.
- Une fois la solution est validée par le constructeur, elle pourra être intégrée au système DCS facilement.

1. Vue du ballon d'aspiration (Expander Suction Drum)

Cette vue nous permet de contrôler et superviser les boucles de régulation de l'aspiration du turbo-expander, ainsi que surveiller les transmetteurs et les sélecteurs nécessaires au fonctionnement. Elle permet également de :

- Démarrer le turbo-expander et réinitialiser le trip à partir des buttons.
- Contrôler et superviser la vanne JT.
- Voir l'état de trip et des vannes « ESD » (Emergency Shutdown Valves).

Un clic sur la flèche à droite nous amène à la vue (page) du turbo-expander.

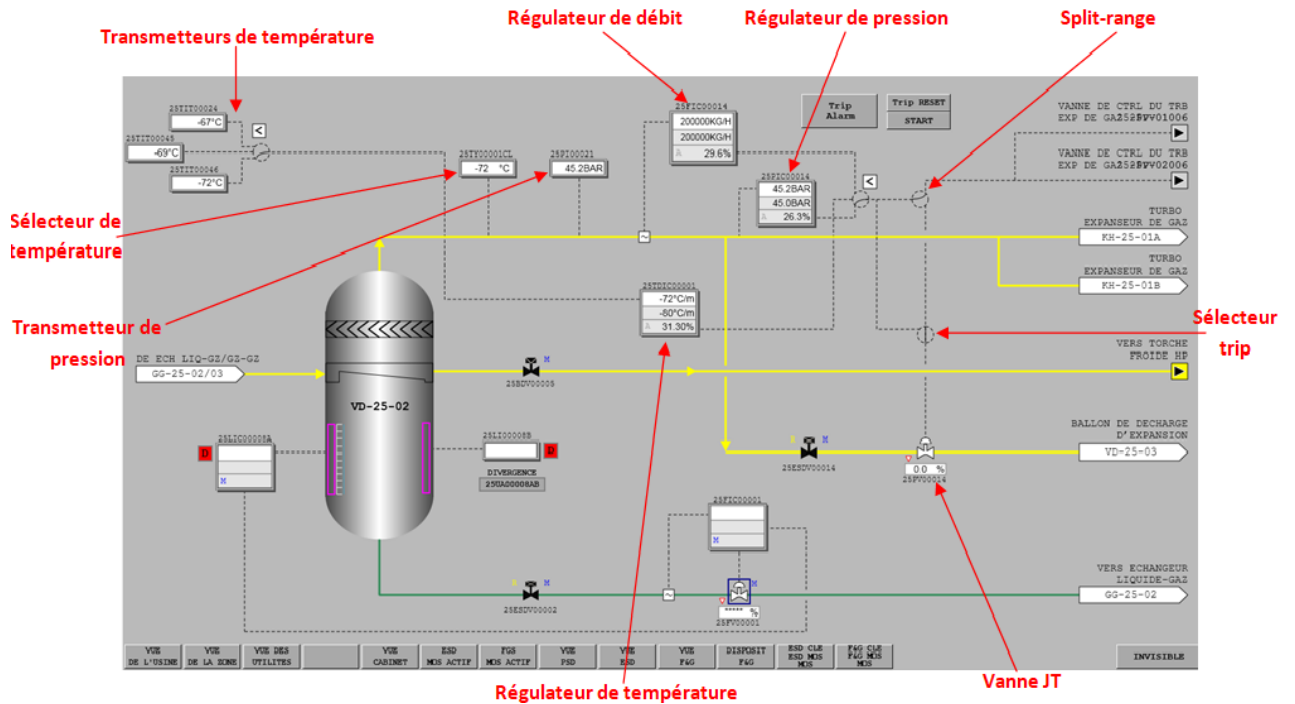


Figure IV.26. Vue du ballon d'aspiration

2. Vue de processus du Turbo-expander (Expander view)

Cette vue permet de contrôler et superviser plusieurs éléments : les vannes de sectionnement, l'IGV, la vitesse de l'ensemble, l'anti-pompage...

Un panneau d'indication permet de surveiller les états de l'ensemble (marche, arrêt, ESD,...).

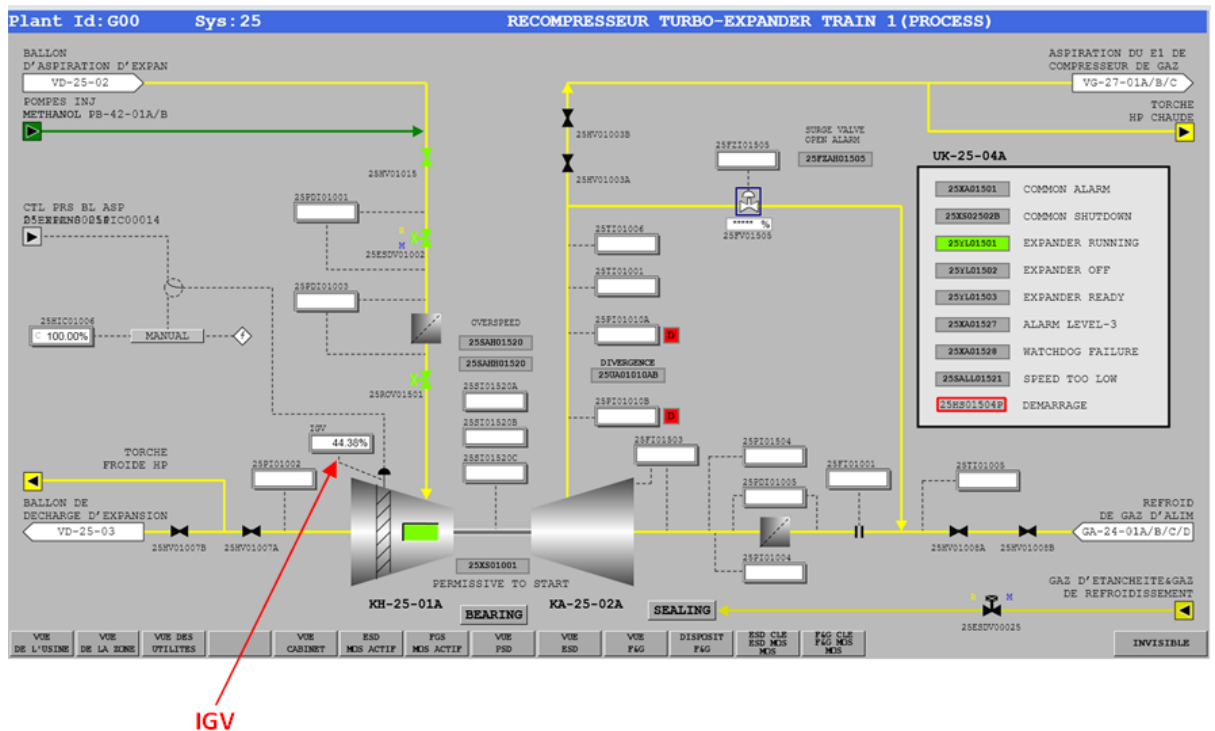


Figure IV.27. Vue de processus du turboexpander

3. Vue des alarmes procédées

On faire l'appel à la fenêtre d'alarmes procédés ou de messages alarmés par :



A partir du bandeau d'exploitation sur l'écran (clignotement).



A partir de la fenêtre outils dans le menu Tool Button rubrique Call Vie(pas de clignotement).

Toutes les alarmes et avertissements instantanées de l'installation sont archivés dans «Process Alarm ». L'accès à cette vue est à partir de la vue principale par un clic sur « Process Alarms » situé à droite.

Id	Date	Time	Device	Status
1	6/15	12:04:04 PM	25FIC00014MV	VEL-
2	6/15	11:59:31 AM	25FIC00014MV	VEL-
3	6/15	11:58:14 AM	25FIC00014MV	VEL-
4	6/15	11:55:17 AM	25PIC00014	NR
5	6/15	11:55:17 AM	25PIC00014	LO
6	6/15	11:54:37 AM	25FIC00014MV	VEL-
7	6/15	11:53:53 AM	25PIC00014	LO
8	6/15	11:53:53 AM	25PIC00014	HI
9	6/15	11:53:52 AM	25PIC00014	HI
10	6/15	11:53:52 AM	25PIC00014	LO
11	6/15	11:53:51 AM	25PIC00014	LO
12	6/15	11:53:51 AM	25PIC00014	HI
13	6/15	11:53:50 AM	25PIC00014	HI
14	6/15	11:53:50 AM	25PIC00014	LO
15	6/15	11:53:49 AM	25PIC00014	LO
16	6/15	11:53:49 AM	25PIC00014	HI
17	6/15	11:53:48 AM	25PIC00014	HI
18	6/15	11:53:48 AM	25PIC00014	LO
19	6/15	11:53:47 AM	25PIC00014	LO
20	6/15	11:53:47 AM	25PIC00014	HI
21	6/15	11:53:46 AM	25PIC00014	HI
22	6/15	11:53:46 AM	25PIC00014	LO
23	6/15	11:53:45 AM	25PIC00014	LO
24	6/15	11:53:45 AM	25PIC00014	HI

Figure IV.28. Vue alarmes de processus

4. L'accès au rapport historique



A partir de la fenêtre outils dans le menu Tool Button rubrique Call Vie « Historical report ».

Cette vue sert à visualiser l'historique de l'unité et à archiver les alarmes et avertissements de l'installation.

Message...	Date	Message Text
0035	5/16/2022 11:14:2...	FCS0101 30FRI00001 Calculation Error Line= 10 Code= ...
1101	5/16/2022 11:11:4...	30FI00001 MB3003A/B OUT FLOW~ EV = 476 kg/h LL
1101	5/16/2022 11:11:4...	30FI00001 MB3003A/B OUT FLOW~ EV = 952 kg/h LO
1106	5/16/2022 11:11:3...	32PIC00026B COND REC LINE 32PV00026 NR
1102	5/16/2022 11:11:3...	32PIC00026B COND REC LINE 32PV00026 EV = 7.1 barG HI R...
1102	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00021A COND PMPFS FLW~ EV = 122 m3/h VEL+ R...
1106	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00010B FLW REG 32FV00010B~ NR
1102	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00010B FLW REG 32FV00010B~ EV = 73.4 m3/h LO R...
1201	5/16/2022 11:11:3...	32UA00026AN SEQ MALFUNCTION ALM
1201	5/16/2022 11:11:3...	32UA00028AN INSUFFIC REGEN TIME ALM
1201	5/16/2022 11:11:3...	32UA00029AN STNDBY LOWER DEFAULT ALM
1106	5/16/2022 11:11:3...	30FI00001 MB3003A/B OUT FLOW~ NR
1102	5/16/2022 11:11:3...	30FI00001 MB3003A/B OUT FLOW~ EV = 243750 kg/h HI R...
1106	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00009 COND PMPFS FLOW~ NR
1102	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00009 COND PMPFS FLOW~ EV = 29.4 m3/h LO R...
1106	5/16/2022 11:11:3...	32LIC00009A SETPOINT PMP PA3203A/B NR
1102	5/16/2022 11:11:3...	32LIC00009A SETPOINT PMP PA3203A/B EV = 48.5 % HI R...
1101	5/16/2022 11:11:3...	32LIC00022C SET POIN TO 32FIC00022C~ EV = 96.1 % HI
1101	5/16/2022 11:11:3...	32TIC00020 TEMP REG 32TV00020A/B~ EV = 56 °C LO
1102	5/16/2022 11:11:3...	32TIC00020 TEMP REG 32TV00020A/B~ EV = 56 °C HI R...
1101	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00021A COND PMPFS FLW~ EV = 122 m3/h HI
1101	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00021A COND PMPFS FLW~ EV = 122 m3/h VEL+
1102	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00021A COND PMPFS FLW~ EV = 122 m3/h LO R...
1101	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00007 REG IN FLW 32FV00007~ EV = 324.7 m3/h HI
1102	5/16/2022 11:11:3...	32FIC00007 REG IN FLW 32FV00007~ EV = 324.7 m3/h LO R...
1206	5/16/2022 11:11:3...	32UA00041 DISCREPANCY 32FIT00041 NR
1201	5/16/2022 11:11:3...	32UA00022AN SEQUENCE STOPPED ALM
1401	5/16/2022 11:11:3...	32ROV02014 G0032ROV02014 RSOV ACT V AUT
1401	5/16/2022 11:11:3...	32ROV01014 G0032ROV01014 RSOV ACT V AUT
1401	5/16/2022 11:11:3...	32ROV02010 G0032ROV02010 RSOV ACT V AUT
1401	5/16/2022 11:11:3...	32ROV01010 G0032ROV01010 RSOV ACT V AUT

Figure IV.29. Vue rapport historique

IV.7 Conclusion

Ce chapitre est consacré à la création d'un système DCS pour le contrôle et la supervision de l'aspiration du turbo-expander et l'automatisation du fonctionnement de la vanne JT. Au début, nous avons détaillé le principe de fonctionnement et le réglage des boucles. Un cahier de charge est ensuite dégagé qui définit les exigences à répondre. L'élaboration d'un système DCS sous Centum VP ainsi que les différentes étapes de programmation sont détaillées qui montrent l'amélioration apporté à l'HMI.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire entre dans le cadre d'un stage pratique effectué à l'association SONATRACH- ENI (FCP) champ MLE dont l'étude porte sur la supervision et le contrôle d'une machine importante utilisée dans le processus de traitement de gaz qui est le turbo-expander et consiste à améliorer le contrôle et la régulation du système 25.

Notre stage de fin d'études au sein de l'association SH- ENI (FCP), nous a permis de consolider nos connaissances théoriques et de bien comprendre ce qui est réellement les systèmes de supervision à distance et l'automatisation des procédés industriels.

Pour cela, nous avons d'abord étudié le procédé de turbo-expander en se focalisant particulièrement sur les points liés à sa commande et à son contrôle afin de trouver une solution au problème qui nous a été proposé. Ensuite, nous avons appris à utiliser la constitution matérielle et logicielle du Centum VP de YOKOGAWA.

Avant l'élaboration de la présente solution, nous avons rencontré des problèmes réels auxquels les opérateurs industriels sont toujours confrontés, chose qui nous a permis de dégager un cahier de charge à l'aide des ingénieurs.

Le travail réalisé consiste à réintégrer le contrôle des boucles de régulation sous le système DCS et à automatiser le fonctionnement de la vanne JT afin de répondre au cahier de charge prédéfini.

En conclusion, le système DCS offre un meilleur contrôle du système existant et permet le suivi du processus.

Enfin, nous espérons que la solution proposée à la problématique posée sera approuvée et appliquée au système DCS et bénéfique à l'industrie.

Comme perspectives, nous proposons, dans le cadre d'un futur travail, d'optimiser les paramètres des régulateurs PID afin d'améliorer le fonctionnement de la vanne JT.

Bibliographie

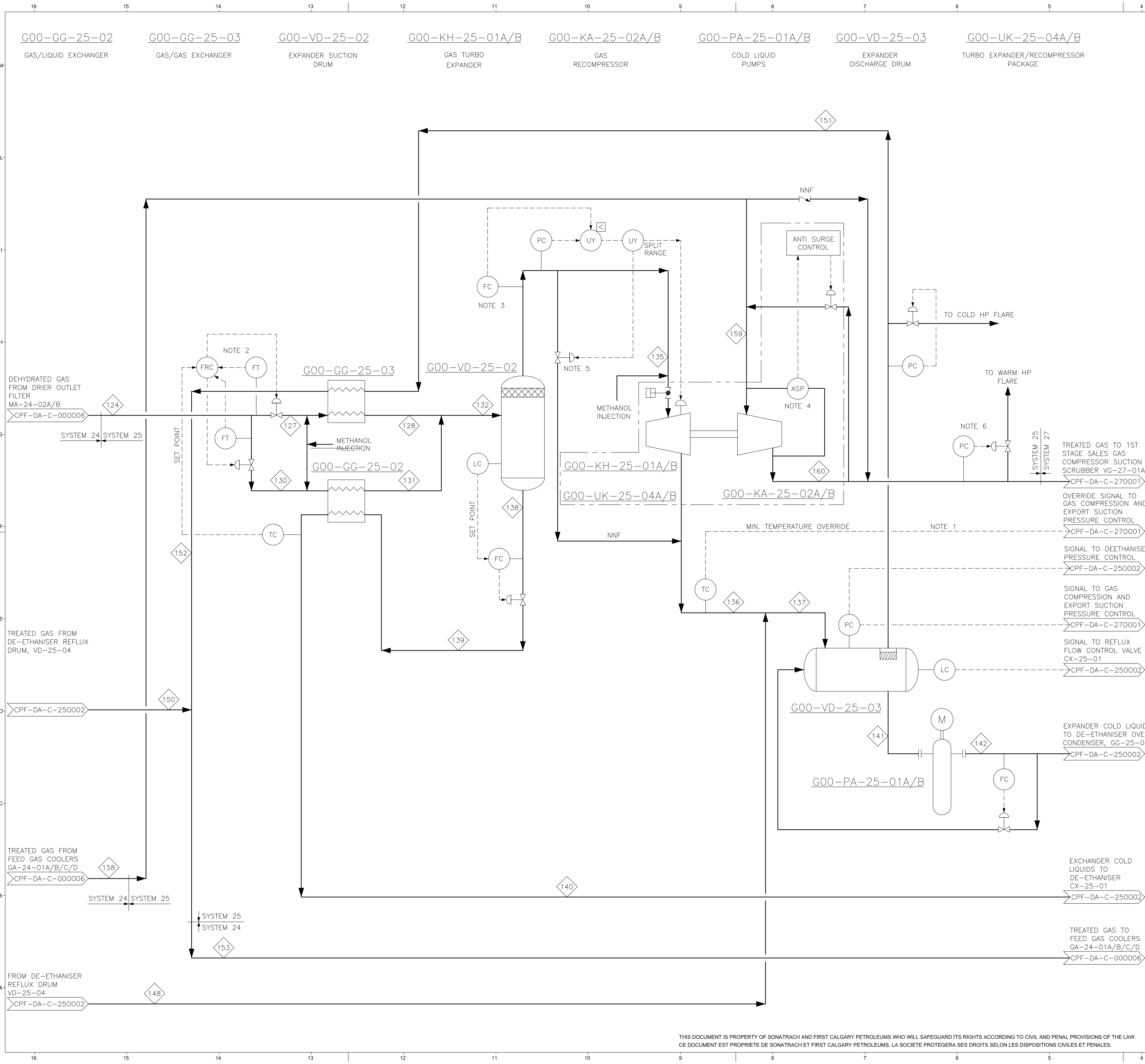
- [1] SONATRACH- FCP, MANUEL DE FORMATION. CRO /PROCESSUS – Cours de base, 2011.
- [2] MENTASSER Chima, HANECHÉ Seifeddine, « Calcul Thermodynamique et Maintenance d'un Turbo-Expander », Mémoire de Master, Université de Blida 1, 2017.
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_d%27expansion#Histoire.
- [4] MELLOUKI Amina, « Optimisation des paramètres de fonctionnement du turbo-expander de l'unité GPL2 (CIS-DP-HMD) », Mémoire de Master, génie mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018.
- [5] INSTALLATION, UTILISATION ET ENTRETIEN Volume 1, Atlas Copco Mafi-Trench Company LLC ACMTC Job 711, Sonatrach FCP (2010).
- [6] https://fr.wikiversity.org/wiki/Supervision_industrielle.
- [7] MEZDOUR Hala et AYAB Mouna, « Etude et réalisation d'un système de supervision sous Yokogawa CS3000 Application à l'unité de production d'air de l'entreprise nationale SONATRACH », Mémoire de Master, Automatique et Informatique Industrielle, Université de Guelma, 2019.
- [8] KECHIDA Sihem, « Composants d'un système de contrôle industriel », Cours de Supervision industrielle, Master 2 AII, Université de Guelma, 2021.
- [9] El HAMMOUMI, « Cours automatismes logiques et industriels – GE1 », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, FES.
- [10] Stage Opérateur, Training CAFC MLE, Centre de formation Evolutec International, 2017.
- [11] Vigilant Plant « ICSS Systems», <ISD-MASP-S03054> Yokogawa Electric Corporation.
- [12] <https://web-material3.yokogawa.com/BU33J01A10-01EN.pdf>
- [13] ARC WHITE PAPER « Executive Guide to Real Time Operations Profitability: Benefits Manufacturers can expect: Part 2 », ARC Advisory Group, 2015.
- [14] Stage Ingénierie CENTUM VP R4.01/V1-0509, Yokogawa France SAS.
- [15] MOUSSAOUI Yasser, « Contrôle et supervision d'une turbine à gaz sous Yokogawa CS3000 », Mémoire de Master, Automatique et Informatique Industrielle, Université de Guelma, 2020.
- [16] MESLI Hayet, « Etude et simulation d'une boucle de pression dans le système de contrôle DCS au niveau d'unité compression sud HASSI-MESSAOUD », Mémoire de Master, Electronique (instrumentation), Université de Tizi-Ouzou, 2018.

[17] AYAB Ahmed, « supervision et commande de l'unité de régénération glycol à base du DCS Yokogawa CS 3000 ».Projet de fin de formation IAP, SONATRACH Hassi R'mel, 2017.

[18] StoryVIEW, Help Centum VP Yokogawa.

Annexe

Process Flow Diagram (PFD) du système 25



16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
G00-GG-25-02													REFERENCE DRAWINGS		
G00-GG-25-03													N		
G00-VD-25-02															
G00-KH-25-01A/B															
G00-KA-25-02A/B															
G00-PA-25-01A/B															
G00-VD-25-03															
G00-UK-25-04A/B															

- NOTES:**
- TEMPERATURE CONTROL SET AT MIN TEMPERATURE TO AVOID CO₂ FREEZING.
 - RATIO FLOW CONTROL OPERATES IN CASCADE WITH TEMPERATURE CONTROLLER AND IN SPLIT RANGE ON 2 CONTROL VALVE, TO MAINTAIN DEETHANISER FEED STREAM CONDITION CONSTANT ONE FCV IS THROTTLED AND THE OTHER IS FULLY OPEN.
 - HIGH FLOW OVERRIDE TO PROTECT ALL (UPSTREAM AND DOWNSTREAM) SYSTEMS FROM HIGH FLOW.
 - RECOMPRESSOR ANTI-SURGE PARAMETERS: SUCTION FLOW/TEMPERATURE/PRESSURE AND DISCHARGE TEMPERATURE/PRESSURE.
 - JOULE THOMSON VALVE. (EXPANDER BYPASS VALVE)
 - HIGH PRESSURE PROTECTION.

- TREATED GAS TO 1ST STAGE SALES GAS COMPRESSOR SUCTION SCRUBBER VG-27-01A/B/C
CPF-DA-C-270001
- MIN. TEMPERATURE OVERRIDE
CPF-DA-C-270001
- SIGNAL TO DEETHANISER PRESSURE CONTROL
CPF-DA-C-250002
- SIGNAL TO GAS COMPRESSION AND EXPORT SUCTION PRESSURE CONTROL
CPF-DA-C-270001
- SIGNAL TO REFLUX FLOW CONTROL VALVE CX-25-01
CPF-DA-C-250002

No.	Date	DESCRIPTION	Prepd / Preparé	Chkd / Vérifié	Appd / Approuvé
3	07/05/12	APPROVED FOR CONSTRUCTION (REF. MOM SA/CA-F/0294)	RPA	ORO	ORO
2	22/12/10	APPROVED FOR DESIGN (REF. CA-SA-T-00366)	RPA	ORO	ORO
1	06/10/09	APPROVED FOR DESIGN	RPA	PVA	PVA
O	09/09/09	APPROVED FOR DESIGN (REF. CA-SA-T-00127)	RPA	PVA	PVA
B	19/06/09	ISSUE FOR APPROVAL/DESIGN (REF. T-CA-SA-00006)	RPA	PVA	PVA
A	07/04/09	ISSUED FOR APPROVAL	RPA	PVA	PVA

REVISIONS

SONATRACH
First Calgary Petroleum

MENZEL LEDJMET EAST PROJECT - BLOC 405B ALGERIA
MENZEL LEDJMET EST PROJECT - BLOC 405B ALGERIE
CONTRACT/CONTRAT SH-FCP/EPC/2009-06

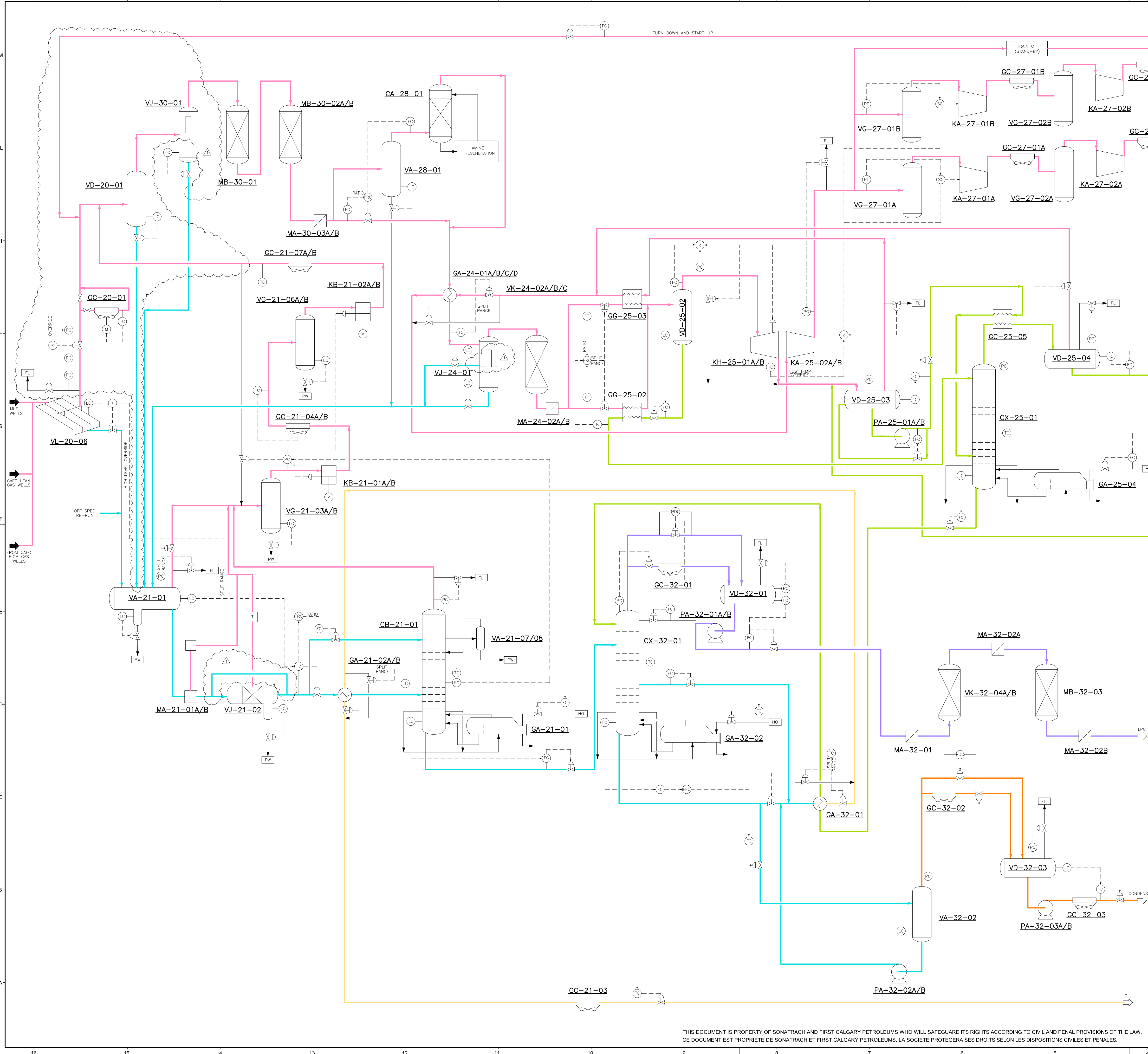
Saipem

Saipem
Contracting Algérie Spa

PROCESS FLOW DIAGRAM
TURBO EXPANDER

CONTRACTOR JOB CODE / AFFAIRE DU CONTRACTANT		032076		SUB-CONTRACTOR JOB CODE / AFFAIRE DU SOUS TRAITANT	
CONTRACTOR'S DOCUMENT NUMBER / NUMERO DE DOCUMENT DU CONTRACTANT		11-GD-B-08513		SUB-CONTRACTOR DOCUMENT NUMBER / NUMERO DE DOCUMENT DU SOUS TRAITANT	
SCALE / ECHELLE	PROJECT NO / PROJET	COMPANY'S DOCUMENT NUMBER / NUMERO DE DOCUMENT DU CLIENT	SHEET / PAGE	REV	FORMAT
		MLEG-CPF-DA-C-250001 001411-11-DPPQ-08513	1 of de 1	3	A1

**Process Flow Diagram (PFD) de l'usine complet
SH-FCP (GSE-MLE)**



LEGEND:

- HOT OIL
- PRODUCED WATER
- FLARE
- TRAP
- HC GAS
- LIGHT HC LIQUID
- HEAVY HC LIQUID
- EXPORT CONDENSATE
- EXPORT OIL
- EXPORT LPG

NOTE: COLOR CODING IS SPECIFIC TO THIS DRAWING ONLY.

1	26/10/09	APPROVED FOR DESIGN (REF. CA-SA-T-00308)	RPA	PVA	PVA
0	06/10/09	APPROVED FOR DESIGN (REF. CA-SA-T-00127)	RPA	PVA	PVA
B	19/06/09	ISSUE FOR APPROVAL/DESIGN (REF. T-CA-SA-000006)	RPA	PVA	PVA
A	07/04/09	ISSUED FOR APPROVAL	RPA	PVA	PVA

REVISIONS

SONATRACH
First Calgary Petroleum

MENZEL LEDJMET EAST PROJECT - BLOCK 405B ALGERIA
MENZEL LEDJMET EST PROJECT - BLOC 405B ALGERIE
CONTRACT/CONTRAT SH-FCP/EPC/2009-06

Saipem
PROCESS FLOW DIAGRAM

Saipem
Contracting Algeria Spa

PROCESS CONTROL SCHEME

CONTRACTOR JOB CODE / AFFAIRE DU CONTRACTANT		032076		SUB-CONTRACTOR JOB CODE / AFFAIRE DU SOUS TRAITANT	
CONTRACTOR'S DOCUMENT NUMBER / NUMERO DE DOCUMENT DU CONTRACTANT		00-GD-B-08501		SUB-CONTRACTOR DOCUMENT NUMBER / NUMERO DE DOCUMENT DU SOUS TRAITANT	
SCALE / ECHELLE	PROJECT / PROJET	COMPANY'S DOCUMENT NUMBER / NUMERO DE DOCUMENT DU CLIENT	MLEG-00-DA-C-000001 001411-00-DPFC-08501	SHEET / PAGE	1 of de 1
				REV	1

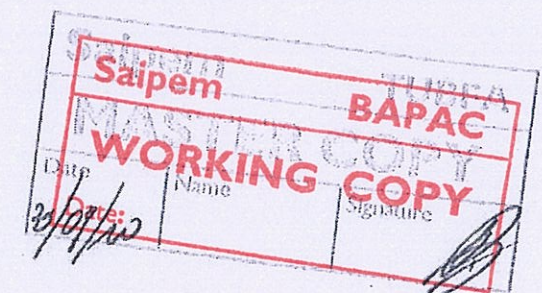
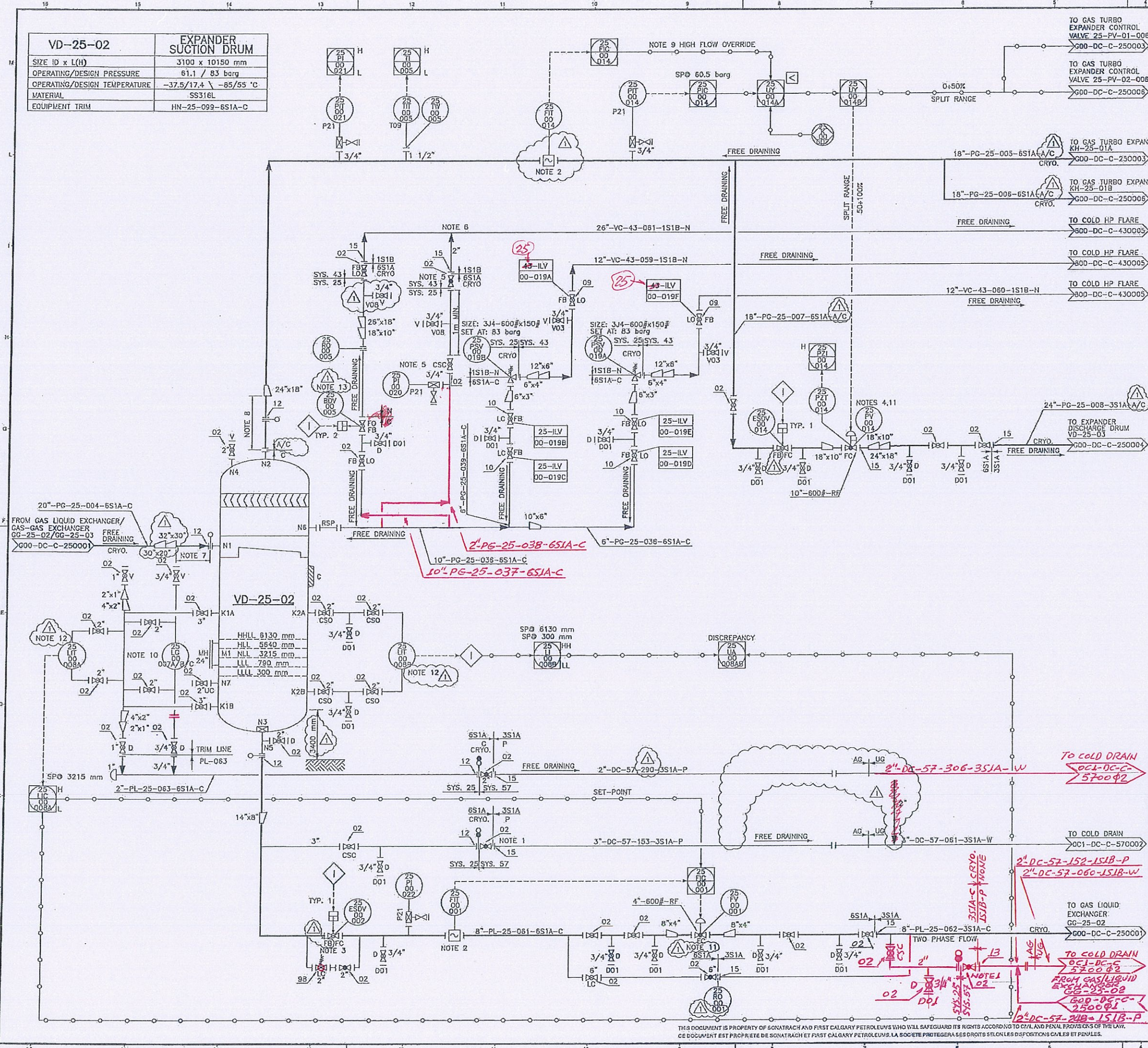
**Schéma P&ID du ballon d'aspiration du turbo-
expander**

VD-25-02	EXPANDER SUCTION DRUM
SIZE ID x L(H)	3100 x 10150 mm
OPERATING/DESIGN PRESSURE	61.1 / 83 barg
OPERATING/DESIGN TEMPERATURE	-37.5/17.4 \ -85/55 °C
MATERIAL	SS316L
EQUIPMENT TRIM	HN-25-099-6S1A-C

PROCESS CAUSE & EFFECT CHARTS	MLEG-00-DJ-C-000001
PFD-TURBO EXPANDER	MLEG-CPF-DA-C-250001

- GENERAL NOTES:**
- FOR SYMBOLS, LEGEND, GENERAL NOTES AND SAMPLE CONNECTIONS SEE DRAWINGS 00-DC-C-000001 TO 09.
 - EACH INSTRUMENT AND EQUIPMENT TAG SHALL BE PREFIXED WITH PLANT IDENTIFIER NUMBER (600).
 - BLIND FLANGE SHALL BE PROVIDED FOR EACH ISOLATION VALVES INSTALLED DOWNSTREAM PSV, BDV & VENT LINES. BLIND FLANGE SHALL BE USED TO POSITIVELY ISOLATE VENT SYSTEM FROM PROCESS SYSTEM DURING COMMISSIONING OPERATIONS AND SHALL BE REMOVED AFTER COMMISSIONING COMPLETION.

- NOTES:**
- DRAINAGE SHALL BE PERFORMED ONLY AFTER EQUIPMENT DEPRESSURISATION.
 - FLOW METER REQUIRES 10 D UPSTREAM STRAIGHT LENGTH AND 5 D DOWNSTREAM STRAIGHT LENGTH.
 - LOCATE ESDV AT MINIMUM DISTANCE FROM VESSEL.
 - JT VALVE TO BE SPECIFIED WITH TIGHT SHUT-OFF.
 - 25-PI-0020 TO BE VISIBLE FROM DEPRESSURISATION VALVE.
 - ALL PSV, BDV AND VENT PIPE CONNECTION TO FLARE HEADERS TO BE TO THE TOP OF PIPE SLOPED AT 45° ANGLE TO HEADERS.
 - MINIMUM LENGTH TO BE 10 PIPE LARGER DIAMETER OF STRAIGHT PIPE LENGTH.
 - MINIMUM LENGTH TO BE 2 PIPE LARGER DIAMETER OF STRAIGHT PIPE LENGTH.
 - HIGH FLOW OVERRIDE TO PROTECT ALL SYSTEM FROM HIGH FLOW.
 - THREE LEVEL GAUGES SHALL BE INSTALLED (FOR DETAILS REF. TO DOC. MLEG-CPF-DG-J-000008).
 - VALVE SUPPLIED WITH VOLUME 65 dm³ TANK TO BE LOCATED NEAR VALVE.
 - DP CELL LEVEL INSTRUMENT SHALL BE DIRECT FLANGED TYPE THAT DOESN'T REQUIRE DRAIN AND VENT.
 - THIS VALVE IS PROVIDED WITH FIRE PROOFING BOX, INSTALLED INTO THE ACTUATOR.



No	Date	DESCRIPTION	Prop/Prep'd	Chk/Rev'd	App/Approv'd
1	30/09/10	APPROVED FOR CONSTRUCTION	RPA	PVA	VST
2	12/04/10	APPROVED FOR CONSTRUCTION	RPA	PVA	VST
3	22/01/10	APPROVED FOR DESIGN (REF. CA-SA-T-00365)	RPA	PVA	VST
4	01/10/09	ISSUE FOR HAZOP	RPA	PVA	VST
5	03/07/09	ISSUE FOR COMMENTS	RPA	PVA	VST

REVISIONS

SONATRACH
First Calgary Petroleum

MENZEL LEDJMET EAST PROJECT - BLOCK 405B ALGERIA
MENZEL LEDJMET EST PROJECT - BLOC 405B ALGERIE
CONTRACT/CONTRAT SH-FCP/EPC/2009-06

Eni Saipem		Eni Saipem	
CONTRACTOR JOB CODE / N° DE PROJET: 032076			
CONTRACTOR DOCUMENT NUMBER / N° DE DOCUMENT DU CONTRACTANT: 11-GD-B-08688			
SCALE / ÉCHELLE: PROJECT / PROJET: MLEG-G00-DC-C-250002	CONTAINS DOCUMENT / N° DE DOCUMENT CONTENU: 03/11/11-1167M-6555	SHEET / FEUILLE: 1	OF / DE: 1

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF SONATRACH AND FIRST CALGARY PETROLEUMS WHO WILL SAFEGUARD ITS RIGHTS ACCORDING TO CIVIL AND PENAL PROVISIONS OF THE LAW.
CE DOCUMENT EST PROPRIÉTÉ DE SONATRACH ET FIRST CALGARY PETROLEUMS. LA SOCIÉTÉ PROTÈGERA SES DROITS SELON LES DISPOSITIONS CIVILES ET PÉNALES.

Les performances du turbo-expander

EXPANDER PERFORMANCE EQUATIONS

$$U_2 = \text{Tip Speed (fps)} = \frac{D (\text{wheel dia., in.}) \times \text{RPM}}{229.2}$$

$$C_o = \text{Spouting Velocity (fps)} = 223.8 \sqrt{\Delta h, (\text{BTU/LB})}$$

Q = Actual Volumetric Flow, Outlet

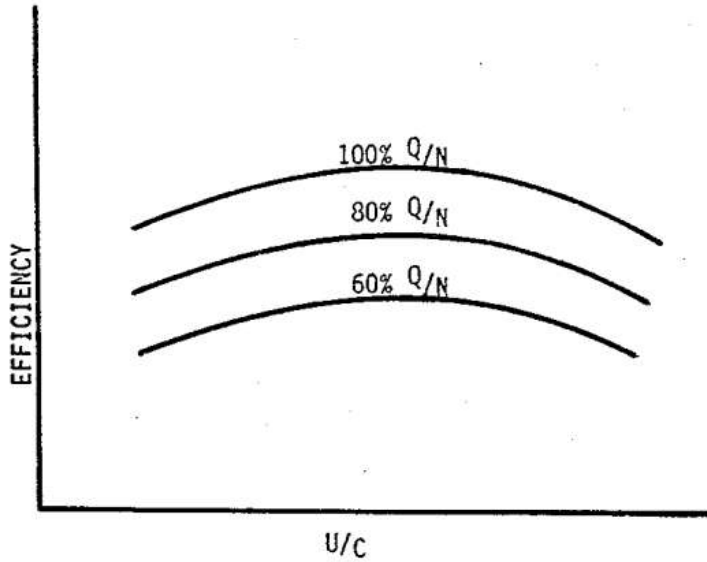
N = RPM

Speed Parameter = U_2/C_o

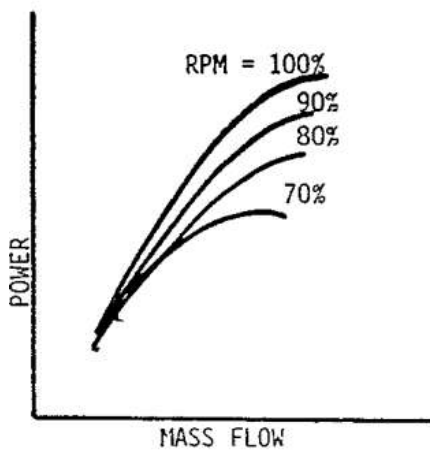
Flow Parameter = Q/N

Expander Performance Curves (Typical)

7A.



7B.



7C.

