

N° Ordre...../FHC/UMBB/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**  
**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

Présenté par

**GARAH IMANE**  
**KECHICHET HABIBA**

Filière : Hydrocarbures  
Option : Commande automatique

**Thème**

---

**Améliorations de la logique des vannes de purge du  
système DLN 1 des turbocompresseurs MR&PR.**

---

**Devant le jury :**

AGUIB Salah	Pr	UMBB	Président
BOUMEDINE Mohamed Said	MCA	UMBB	Examineur
KHEBLI Abdelmalek	MCB	UMBB	Encadreur

Année universitaire 2022/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**  
Département : Automatisation et Electrification des procédés  
Filière : Hydrocarbures  
Option : Commande automatique

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

***Thème***

---

**Améliorations de la logique des vannes de purge du  
système DLN 1 des turbocompresseurs MR&PR.**

---

**Présenté par :**  
GARAH IMANE  
KECHICHET HABIBA

**Avis favorable de l'encadreur :**

**Signature**

**KHEBLI A**

**Avis favorable du Président du jury**

**Nom Prénom**

**Signature**

**Cachet et signature**

## Remerciement

Toute la gratitude et le merci à « **ALLAH** » pour nous avoir donné la force de terminer nos études et réaliser ce travail que nous souhaitons qu'il soit réussi.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr. Abdelmalek KHEBLI**, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Aussi, Nous souhaitons remercier tout particulièrement **Mr. Rachid RAHOU** et **Mr. Mustapha BEKRATOU** Ingénieurs Instrumentations au niveau du complexe GNL3/Z pour leur disponibilité et leurs conseils et qui nous avons accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.

Nous remercions également l'ensemble des employés du service Instrumentation au département Maintenance du complexe GNL3/Z et spécialement le chef service **Mr. Abdelhak BRIKCI** pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de notre stage pratique.

Enfin, Nous remercions l'ensemble des membres du jury pour avoir eu la bienveillance d'accepter d'examiner ce travail.

# Dédicace

Avec toute ma gratitude, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quelles que soient les expressions utilisées, ne pourront jamais leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme précieux offert par Dieu, qui est la raison de ma vie, de ma réussite et de tout mon respect : **mon cher père Mohamed**, que Dieu te réserve et t'accorde une vie remplie de bonheur et de prospérité.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais refusé mes demandes et qui n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureuse : **mon adorable mère**. De ta fille qui pense toujours à toi dans ses prières. Puisse Dieu, le tout-puissant, t'accueillir dans son vaste paradis.

A la femme que je ne pourrai jamais remercier suffisamment et à qui je ne pourrai jamais rendre ce qu'elle a fait pour nous, une femme qui a choisi sa vie pour notre vie et n'a jamais plaint ou regretté, elle est **ma chère tante**, ou plutôt ma deuxième mère, ma bien-aimée. Que Dieu te préserve pour nous, ma chérie, et merci pour tout ce que tu as fait pour nous. Tu es vraiment une combattante.

A mes frères : **Ilias, Abd Elkarim, Mouad**, vous avez été et vous êtes toujours mes chers frères, mes proches. Vous avez été un grand soutien dans ma vie, je ne peux me passer de vous. Que Dieu vous préserve pour moi et vous comble de joie pour oublier tout ce que vous avez traversé. Merci d'être présents dans ma vie. Je vous aime.

A ma deuxième famille : Nana, **ma tante Nassima, mon oncle Abd El Kader**, et mon petit frère Youssef ..., je vous remercie pour tout. Vous m'avez fait sentir comme votre propre fille. Que Dieu veille sur vous, vous inonde de bonheur et vous accorde des bénédictions inimaginables.

A tous les amis que j'ai rencontrés jusqu'à présent : merci pour votre amour et votre encouragement. Je n'oublie pas mon binôme **Imane** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet, je t'aime.

A tous ceux qui ont été présents dans ma vie, que ce soit de près ou de loin, je vous remercie du fond du cœur. Vous avez été un véritable soutien pour moi. Que Dieu vous préserve et illumine vos jours d'une lumière infinie.

*Habiba*

Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui sont chers,

**A ma grand-mère Nana Zouza et ma tante Nassima**

Les mots du monde entier ne suffisent pas pour exprimer mon amour et mon respect envers vous, ni pour vous dire à quel point je suis reconnaissant d'être parmi vous. Sans vous, je ne serais pas ici et je ne serais pas moi-même. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance, j'espère que vos prières m'accompagnent toujours. Puisse Dieu, le plus Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

**A mon grand-père Moussa**

Mon père qui m'a élevé, sans toi je n'aurais pas pu voir la lumière, décidé plus tôt, mais toujours présent dans mon cœur, merci énormément pour tous. Que Dieu t'accueille de son vaste paradis.

**A ma mère Farida**

Si les jours nous séparent, les souvenirs sûrement nous rassembleront. Et si les yeux ne vous voient pas, le cœur ne vous oubliera jamais.

**A ma sœur Nourelhouda**

Mon amie, ma compagne dans mes moments de tristesse et de joie, malgré la distance qui nous sépare, Je t'aime du fond de mon cœur. Je te souhaite tout le bonheur du monde.

**A mes chères tantes et ses enfants**

Chafia, Mimi, Wissem, Kounouz, Youcef, ... Je suis chanceuse d'avoir votre présence à mes côtés.

**A mon oncle Abdelkader**

Qui a été toujours présent pour moi. Toutes les paroles de remerciement ne suffiront pas à exprimer ma gratitude envers vous.

**A ma sœur Sara et mes frères Ahmed et Mehdi**

Que Dieu vous préserve et illumine vos jours d'une lumière infinie.

**A mon binôme Habiba**

Mon ami, ma sœur, si le temps revenait en arrière, je te choiserais toujours à mes côtés. Je t'aime.

**A toute ma famille.**

**A tous mes amis.**

Je vous aime.

**Imane**

يعتبر نظام 'انخفاض أكاسيد النيتروجين الجافة' المزروع في توربينات الغاز من طراز جنرال إلكتريك فرام 6 و 7 معروفاً بفاعليته في تقليل انبعاثات أكاسيد النيتروجين وني تمديد عمر هذه التوربينات. من أجل تحقيق هذا الهدف ، تم اتخاذ العديد من التدابير الوقائية ، بما في ذلك حماية ضد نوح زائد (أكثر من 40 ثانية) لصمام التطهير أثناء التحول من وضع تشغيل إلى آخر. يمكن أن يتسبب نوح مطول مثل هذا في تلف لمجمع GNL3Z.

في هذا السياق ، تم اقتراح تعديل برمجي لنظام MARKVIe لاختبار نثره نوح صمام التطهير وإصدار إنذارات. نتيج هذه الإنذارات للمشغل اتخاذ التدابير الصيانة اللازمة قبل تشغيل التوربينة ، مما يساهم في الحفاظ على عمرها الافتراضي.

## Résumé

Le système DLN 1 (Dry Low NOx), implanté dans les turbines à gaz de GE Frame 6 et 7, est reconnu pour son efficacité dans la réduction des émissions de NOx tout en prolongeant la durée de vie de ces turbines. Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs mesures de protection ont été mises en place, dont une protection contre une ouverture excessive (plus de 40 sec) des vannes de purge lors du passage d'un mode de fonctionnement à un autre. Une telle ouverture prolongée pourrait causer des dommages au complexe GNL3Z. Dans cette optique, une modification logicielle a été proposée pour le système MARKVIe, permettant de tester la durée d'ouverture des vannes de purge et d'émettre des alarmes. Ces alarmes permettent à l'opérateur de prendre les mesures de maintenance nécessaires avant de mettre la turbine en marche, contribuant ainsi à préserver sa durée de vie.

## Abstract

The DLN 1 system (Dry Low NOx), installed in GE Frame 6 and 7 gas turbines, is recognized for its effectiveness in reducing NOx emissions while extending the lifespan of these turbines. In order to achieve this goal, several protective measures have been implemented, including protection against excessive opening (more than 40 seconds) of the purge valves during transitions between operating modes. Such prolonged opening could potentially cause damage to the GNL3Z complex. In this regard, a software modification has been proposed for the MARKVIe system, enabling the testing of the purge valve's opening duration and triggering alarms. These alarms allow the operator to take the necessary maintenance actions before starting the turbine, thus preserving its lifespan.

# Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>II. Chapitre I</b> présentation du complexe GNL3/Z	
II.1 Introduction .....	4
II.2 Présentation du complexe GNL3/Z .....	4
II.2.1 Position du site .....	4
II.2.2 But des installations .....	4
II.2.3 Capacité de l'usine .....	5
II.2.4 Le plan de GNL3/Z .....	6
II.2.5 Unités des Utilités .....	6
II.2.6 Unités de Procédé .....	7
II.2.7 Unités Off-sites .....	9
II.3 L'organigramme du complexe .....	10
.....	11
II.4 Conclusion .....	12
<b>III. Chapitre II</b> Description de la turbine à gaz	
III.1 Introduction .....	13
III.2 Historique de la turbine à gaz .....	13
III.3 Description fonctionnelle de la turbine à gaz .....	13
III.3.1 Généralités .....	13
III.3.2 Description du passage du gaz .....	14
III.3.3 Les Sections principales de la turbine .....	15
III.3.4 Systèmes auxiliaires de la turbine .....	26
III.4 Conclusion .....	29
<b>IV. Chapitre III</b> Le système DLN 1	
IV.1 Introduction .....	30
IV.2 Le but du système DLN 1 .....	30
IV.3 Description du système DLN 1 .....	30
IV.3.1 Partie hard .....	31
IV.3.2 Partie soft .....	32
IV.4 Fonctionnement du système DLN 1 .....	32
IV.5 Les modes de fonctionnement .....	33
IV.5.1 Le mode Primaire .....	33
IV.5.2 Le mode Lean-Lean .....	34
IV.5.3 Le mode Secondaire (transfert) .....	34



IV.5.4	Le mode Premix.....	35
IV.6	La position des vannes .....	37
IV.7	Position du problème .....	38
IV.7.1	Les vannes de purge.....	38
IV.7.2	Le rôle des vannes de purge dans le mode DLN 1 .....	39
	.....	40
IV.7.3	Historique de déclenchements survenus sur les machines Frame7 .....	40
IV.7.4	Manque à produire (MAP) lié à ces deux déclenchements .....	41
IV.7.5	Situation actuelle .....	42
IV.8	Les solutions recommandées.....	42
IV.8.1	Test manuel des vannes de purge .....	42
IV.8.2	Pré-alarmes du temps d'ouverture/fermeture des vannes de purge.....	43
IV.8.3	Séquence de test des vannes de purge ajoutée au permissives de démarrage ....	43
IV.9	Le passage de l'analyse à un langage de programmation .....	43
IV.9.1	L'organigramme .....	43
IV.9.2	Modélisation des améliorations recommandées avec l'organigramme .....	44
	.....	45
IV.10	Conclusion.....	46
<b>V.</b>	<b>Chapitre IV</b> simulation et résultat	
V.1	Introduction .....	47
V.2	L'automate MARK VIe .....	47
V.3	Description du système de contrôle MARK VIe.....	47
V.4	Les éléments du système MARK VIe.....	47
V.4.1	Les contrôleurs .....	47
V.4.2	I/O Pack .....	48
V.4.3	Terminal board.....	49
V.4.4	Source d'alimentation.....	50
V.4.5	Communication.....	50
V.5	Lien vers le système de contrôle distribué (DCS) .....	52
V.6	Interface Homme/Machine (HMI).....	52
V.7	Application ToolboxST™.....	53
V.7.1	Définition.....	53
V.7.2	Le hardware .....	54
V.8	Accéder à un programme du turbocompresseur ou turbogénérateur.....	55
V.10	L'affichage graphique sur HMI CIMPLICITY .....	58
V.11	Modèle sous Toolbox après les modifications .....	60
V.11.1	Le programme établi pour la vanne PR .....	60
V.11.2	Le programme établi pour la vanne MR .....	61

V.12	Les résultats obtenus .....	61
V.121	Pré-alarmes du temps d'ouverture/fermeture des vannes de purge .....	62
V.122	Test manuel des vannes de purge .....	62
V.123	Séquence de test des vannes de purge ajoutée au permissives de démarrage ....	63
V.13	Conclusion.....	66
<b>VI.</b>	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>60</b>

## **VII. Bibliographie**

## **VIII. Annexes**

## Liste des figures

<b>Figure I-1</b> : position de complexe GNL3\Z.....	4
<b>Figure I-2</b> : Le plan de complexe GNL3\Z.....	6
<b>Figure I-3</b> : Schéma générale du procédé GNL3/Z .....	10
<b>Figure II-1</b> :la turbine à gaz 7001EA.....	14
<b>Figure II-2</b> :Passage de gaz .....	15
<b>Figure II-3</b> : Section d'aspiration.....	16
<b>Figure II-4</b> : Disposition de la chambre de combustion.....	20
<b>Figure II-5</b> : bougie d'allumage.....	21
<b>Figure II-6</b> : Gicleur de combustible primaire.....	22
<b>Figure II-7</b> : Gicleur de combustible secondaire .....	23
<b>Figure II-8</b> : Ensemble de section combustion.....	24
<b>Figure II-9</b> : la section turbine .....	25
<b>Figure II-10</b> : Section d'échappement.....	26
<b>Figure II-11</b> : moteur de démarrage .....	27
<b>Figure II-12</b> : pompe principale de lubrification .....	28
<b>Figure II-13</b> : pompe de secours .....	28
<b>Figure II-14</b> : pompe hydraulique auxiliaire .....	29
<b>Figure II-15</b> : pompe hydraulique principale .....	29
<b>Figure III-1</b> : Le but du système DLN 1 .....	30
<b>Figure III-2</b> : Chambre de combustion DLN 1.....	31
<b>Figure III-3</b> : Le système de distribution de carburant DLN 1 Frame 7 .....	31
<b>Figure III-4</b> : Les modes d'opération typique de DLN 1 .....	33
<b>Figure III-5</b> : Représentation du mode Primaire .....	34
<b>Figure III-6</b> : Représentation du mode Lean-Lean.....	34
<b>Figure III-7</b> : Représentation du mode secondaire .....	35
<b>Figure III-8</b> : Représentation du mode premix.....	36
<b>Figure III-9</b> : représentation des modes opérationnels DLN 1 en fonction de la température de combustion .....	37
<b>Figure III-10</b> : Vannes de purge avec détendeur .....	39
<b>Figure III-11</b> : Vannes de purge 16-MJ-01.....	40
<b>Figure III-12</b> : L'organigramme du vanne MR .....	45
<b>Figure IV-1</b> : les contrôleurs R S T .....	48
<b>Figure IV-2</b> : I/O Pack.....	49

<b>Figure IV-3:</b> bloc de type S .....	50
<b>Figure IV-4:</b> bloc de type T .....	50
<b>Figure IV-5:</b> Réseaux de communication.....	51
<b>Figure IV-6:</b> IONet switch .....	51
<b>Figure IV-7:</b> Communication du MARK VIe avec DCS .....	52
<b>Figure IV-8:</b> Interface graphique Homme/Machine .....	53
<b>Figure IV-9:</b> Software ToolboxST™ .....	53
<b>Figure IV-10:</b> Le hardware .....	54
<b>Figure IV-12:</b> l’affichage sur HMI avant modification .....	60
<b>Figure IV-13 :</b> programme établi pour la vanne PR .....	60
<b>FigureIV-14 :</b> programme établi pour la vanne MR.....	61
<b>Figure IV-15 :</b> Le programme de permissive de démarrage .....	61
<b>Figure IV-16 :</b> Affichage de préalarme du temps d’ouverture de la vanne.....	62
<b>FigureIV-17 :</b> les commandes manuelles des vannes et l’affichage du temps .....	62
<b>FigureIV-18 :</b> Bouton de lancement de la séquence de test .....	63
<b>FigureIV-19 :</b> Séquence de fermeture des vannes .....	64
<b>FigureIV-20 :</b> séquence d’ouverture des vannes .....	64
<b>Figure IV-21 :</b> Permissive de démarrage sans test.....	65
<b>Figure IV-22 :</b> Permissive de démarrage avec le test.....	65

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> position des vannes de DLN 1 .....	38
<b>Tableau 2:</b> MAR Premier Trip (14/09/2015) .....	41
<b>Tableau 3:</b> MAR Deuxième Trip (08/06/2016) .....	41
<b>Tableau 4:</b> MAP Premier Trip (14/09/2015).....	41
<b>Tableau 5:</b> MAP Deuxième Trip (08/06/2016).....	42

## Liste des abréviations

**CCR** : Central Control Room (salle de contrôle centrale).

**CPU** : Central Processing Unit.

**DCS** : Distributed Control System (système de commande distribuée).

**DLN 1**: Dry Low NOx.

**EGD**: Ethernet Global Data.

**FSR** : La référence de course de combustible.

**GCV**: Gaz Control Valve.

**GE**: General Electric.

**GNL** : Gaz Naturel Liquéfié.

**GPL** : Gaz Pétrolier Liquéfié.

**GSV**: Gaz Splitter Valve.

**GTG**: Gaz Turbine Generator.

**GTV**: Gaz Transfer Valve.

**HIOS**: High Input Output Level Section.

**LIOS**: Low Input Output Level Section.

**MAP** : Manque A Produire.

**MAR** : Manque A Réaliser.

**MR** : Compresseur de multi Réfrigèrent.

**NOx** : Les oxydes d'azote.

**NP** : Nuovo Pignone.

**PDH** : Plant Data High way (magistrale de donnée d'installation).

**PDM** : Power Distribution module.

**PIB** : Produit Intérieur Brut.

**PR** : Compresseur de Propane Principal.

**RO**: Orifice de Restriction.

**SDB**: System Data Base

**SRV**: Stop Ratio Valve.

**TCP** : Turbine Control Panel.

**TEP** : Unité de mesure Energétique. 1tep=10Gcal, soit environ 42 GJ.

**TMR** : Triple Modular Redundancy.

**TTRF** : Typical Firing Temperature Range (plage typique de température de combustion).

**UDH** : Unit Data High way (magistrale de donnée d'unité).

# **INTRODUCTION GENERALE**



## Introduction générale

L'évolution de l'économie moderne est indissociable de l'accroissement de la demande énergétique. Actuellement, les hydrocarbures, tels que le pétrole brut et le gaz, demeurent les sources d'énergie les plus répandues et leur importance stratégique est incontestable. Toutefois, tant que des solutions alternatives plus rentables et performantes n'auront pas été trouvées, leur utilisation restera primordiale pour répondre aux besoins énergétiques.

Effectivement, les hydrocarbures sont à l'heure actuelle la principale source d'énergie consommée à l'échelle mondiale, mais les critères de sélection se sont considérablement durcis. En effet, la demande énergétique ne se limite plus à une simple quantité, elle implique également la nécessité d'une fourniture adéquate et avantageuse en termes de conditions d'approvisionnement.

D'après les experts, l'utilisation du pétrole comme matière première dans la production de produits essentiels tels que les médicaments, les protéines alimentaires ou encore les plastiques, devrait connaître une croissance considérable dans le futur, comparativement à l'actuelle situation.

Le gaz naturel est également de plus en plus utilisé, comme l'a souligné le 28e congrès mondial du gaz tenu à Daegu du 21 au 25 juin 2021. Ce rassemblement a permis de mettre en lumière des évolutions majeures qui pourraient engendrer des changements significatifs de la carte énergétique mondiale dans les années à venir. Deux tendances majeures se sont dégagées de ce congrès :

- L'énergie est à la base du développement économique et du progrès, et d'ici 2040, l'augmentation de la population mondiale de 2 milliards de personnes entraînera une hausse de la demande énergétique de 35 % par rapport à 2010, équivalant à la demande énergétique cumulée de la Russie, de l'Inde, de l'Afrique, de l'Amérique latine, du Moyen-Orient et de la région Caspienne.
- La demande de gaz naturel connaîtra une croissance de 65% d'ici 2040 par rapport à 2010, et devrait dépasser le charbon pour devenir la deuxième source d'énergie la plus utilisée derrière le pétrole, dès 2025 ou au plus tard en 2030.
- L'Algérie dispose de réserves importantes de gaz naturel, offrant une opportunité unique

Pour le développement économique du pays. Cette vision est clairement reflétée dans les

Objectifs hiérarchiques du projet du mégaprojet d'Arzew, visant à exploiter au maximum cette ressource.

Malgré ses avantages, l'exploitation du gaz naturel reste limitée, tout comme le pétrole, par son caractère non renouvelable et épuisable. C'est pourquoi une gestion rigoureuse est nécessaire pour économiser cette source d'énergie vitale, dont les générations futures auront également besoin.

Il est donc crucial, voire impératif, d'optimiser économiquement le fonctionnement et le développement du secteur de gaz naturel en se basant sur des critères économiques rationnels. Cependant, l'exploitation de cette source d'énergie non renouvelable a un impact sur l'environnement et la protection de celui-ci a un coût. Malgré cela, SONATRACH, la compagnie nationale algérienne, n'a pas hésité à trouver des solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, comme l'installation de turbines à gaz de combustion qui permettent de réduire les émissions de NOx qui polluent l'environnement.

Dans le complexe GNL3Z, il existe six turbines à gaz combustible dont le système de combustion est basé sur le mode DLN 1 (Dry Low NOx). Bien que ce système présente des avantages, il comporte plusieurs protections, notamment une protection contre l'ouverture prolongée (plus de 40 secondes) de la vanne de purge qui intervient lors du passage de la turbine d'un mode de fonctionnement à un autre. Cela peut entraîner le déclenchement de la machine. Ainsi, l'objectif de notre travail consiste à :

- Suivre l'historique de déclenchement des Frame 7 : GTG (Gaz turbine Generator), MR (compresseur de multi réfrigèrent), PR (compresseur de propane principal).
- Chercher le problème commun qui a causé le déclenchement des machines GE/NP à système DLN 1.
- Recommandation des solutions à ces problèmes pour économiser l'énergie vitale (gaz naturel) en minimisant le gaz torché à cause du déclenchement.

L'organisation de ce mémoire est la suivante :

- **Le premier chapitre** : fera une présentation du complexe GNL3Z.
- **Le deuxième chapitre** : nous donnerons une description générale sur les turbines à gaz.
- **Le troisième chapitre** : exposera le système DLN 1 ainsi qu'une description détaillée du problème que nous avons eu à traiter et nous décrivons la méthode de résolution que nous avons conçue et mise en œuvre pour résoudre ce problème.

- **Le quatrième chapitre** : on présentera le logiciel mis en œuvre selon le modèle, la simulation ainsi que les résultats obtenus.
- **A la clôture de cette étude**, une conclusion globale sera présentée.

# **I. Chapitre I**

## **Présentation du Complexe $\mathbb{Z}$**

## I.1 Introduction

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en gaz naturel principalement du gisement de HASSI R'MEL, des usines de GNL ont été construites dans le nord du pays, dont le but principal est l'exploitation du GNL. Sonatrach a lancé deux nouveaux projets de trains de liquéfaction un à SKIKDA (GNL1\K) et le deuxième a La zone industrielle ARZEW (GNL3\Z).

## I.2 Présentation du complexe GNL3/Z

### I.2.1 Position du site

Le site est situé le long de la côte de la Méditerranée à Bethioua, à l'est d'Arzew, dans la zone du port Industriel de Arzew El Djedid. Le SITE a une dimension de 54.6 ha e.

A l'est du site se trouve l'usine de GPL déjà existante GP1Z (ou Jumbo GPL) et à l'ouest du site, l'installation de dessalement (Kahrama) et l'usine de GNL GL2Z.

La mer Méditerranée et la rue du port sont au nord du site et la route principale de la zone industrielle est au sud [1].

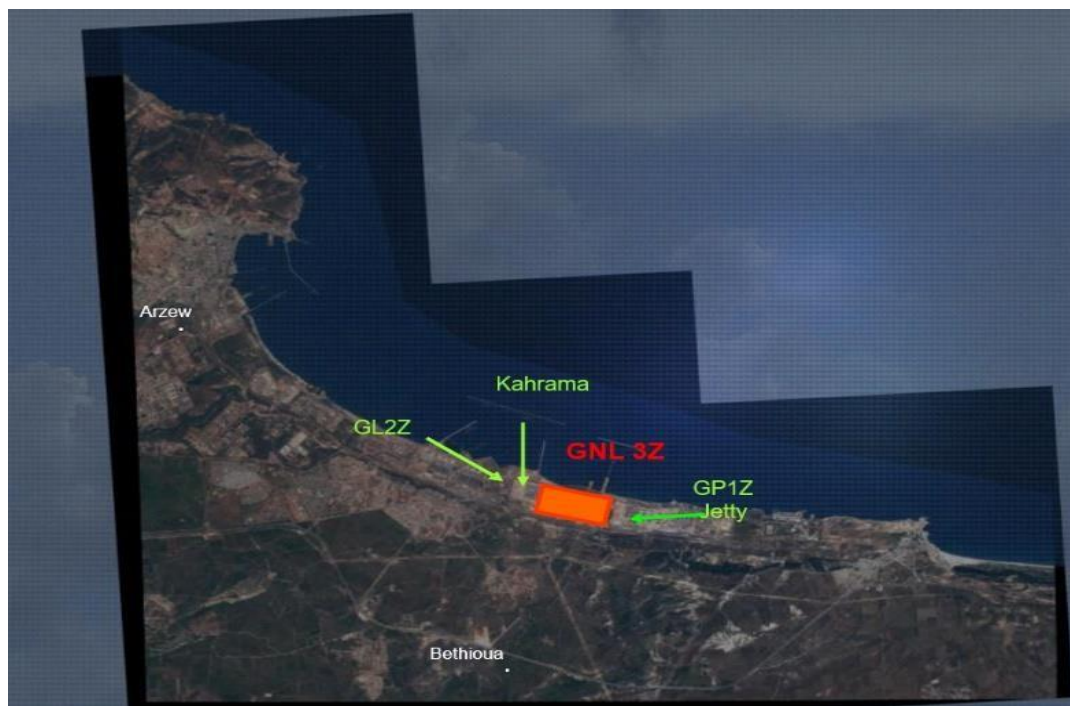


Figure I-1 : position de complexe GNL3\Z

### I.2.2 But des installations

L'installation du GNL est une usine de base avec tous les supports off-sites et les utilités. A l'exception de l'eau de service et de l'azote liquide qui sont disponibles pendant le

fonctionnement de l'usine de Kahrama adjacent L'usine GNL est conçue d'un unique train de GNL. Les trois compositions du gaz d'alimentation sont considérées [2] :

#### **I.2.2.1 Cas du gaz de base**

Qui est le cas conçu (température ambiante de 21°C), pour l'usine qui doit produire au-dessus de 4.7 MMTPA [2].

#### **I.2.2.2 Cas du gaz riche**

Qui est utilisé principalement pour dimensionner le fractionnement et les unités de récupération du GPL dans l'usine [2].

#### **I.2.2.3 Cas du gaz pauvre**

Qui est utilisé principalement pour dimensionner les parties associées à l'end-flash. L'usine est conçue pour produire 4 MMTPA dans les cas du gaz pauvre aussi bien que riche [2].

Le procédé APCI avec un mixte réfrigérant et du propane pré-réfrigérant a été choisi pour la liquéfaction, en utilisant le MCHE à deux bundles [2].

Le refroidissement par l'air est le moyen principal d'enlèvement de la chaleur finale. Le GNL est stocké dans deux réservoirs à rétention totale chacun d'une capacité de 160,000 m<sup>3</sup> et les produits du GPL sont stockés dans des réservoirs de rétention totale séparés respectivement de 56000 m<sup>3</sup> pour C3 et 12000 m<sup>3</sup> pour C4 [2].

La gazoline produite est stabilisée et stockée dans une sphère avec une capacité de 1800m<sup>3</sup> [2].

Le GNL est exporté par une nouvelle jetée, conçue à M7 et les jetées existantes par la roue du GPL M6 et D1 [2].

La structure de la torche est située 'offshore', accessible par une route sur digue, qui doit être construite [2].

### **I.2.3 Capacité de l'usine**

L'usine a été conçue pour transformer une production annuelle de quatre (4) millions métriques de tonnes de GNL, au minimum. En outre la capacité nominale de l'usine est telle que la production de GNL actuelle et le GPL attendue et la gazoline sont comme suit [3] :

#### **I.2.3.1 GNL**

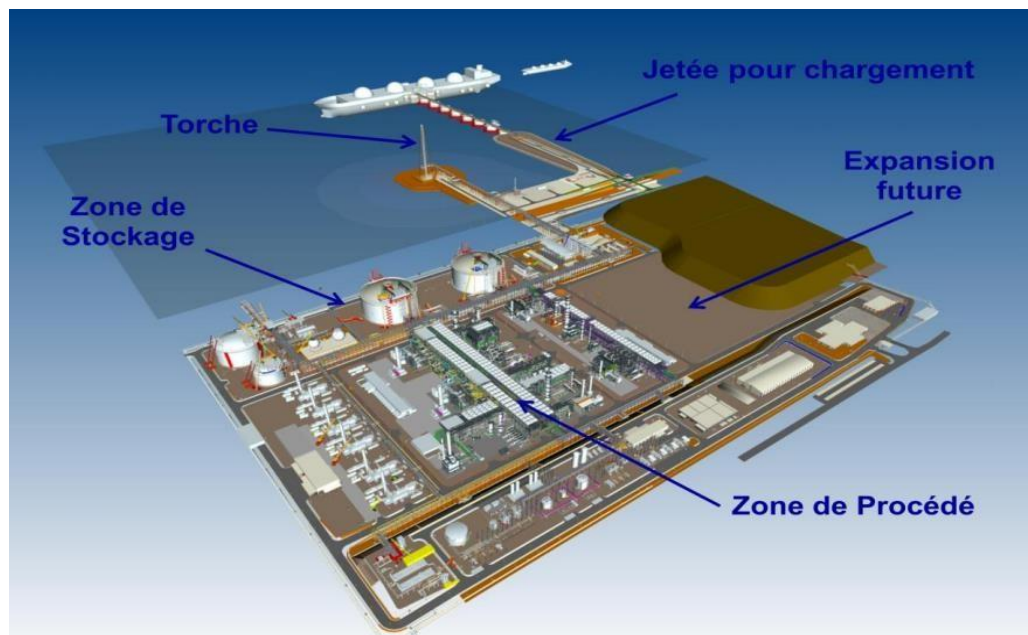
4.0 millions de tonnes/année (réseau) à transporter pendant les cas riches/pauvres 4.7 millions de tonnes/année (réseau) à transporter pendant le cas de base [3]

### I.2.3.2 GPL/Gazoline

Maximiser la récupération du GPL. Les trois cas de fonctionnement suivants ont été considérés [3] :

- **Cas A** : Production de GNL avec extraction d'éthane et de GPL.
- **Cas B** : Production de GNL sans extraction d'éthane ni de GPL.
- **Cas C** : Production de GNL sans extraction d'éthane mais avec extraction de GPL.

### I.2.4 Le plan de GNL3\Z



**Figure I-2:** Le plan de complexe GNL3\Z

### I.2.5 Unités des Utilités

#### I.2.5.1 Unité 02

Stockage de l'Amine La fonction des installations communes – Système de Stockage du solvant d'élimination du gaz acide est de :

Alimenter l'amine méthyle diéthylamide activé (à MDEA) vers l'élimination du Gaz Acide [1].

#### I.2.5.2 Unité 08

Stockage de l'huile chaude : Le système de stockage de l'huile chaude fournit le support aux systèmes de réchauffement de l'huile chaude combinée pour le GNL et le Fractionnement [1].

**I.2.5.3 Unité 51**

Génération d'énergie : Le Système des Générateurs d'énergie à Turbine à Gaz fournit l'électricité nécessaire au train GNL et à ses unités des utilités et off-sites [1].

**I.2.5.4 Unité 53**

Système du Générateur Diesel d'Urgence : Le Système Générateur Diesel d'Urgence est conçu pour recevoir, stocker et distribuer le diesel aux utilisateurs de l'Usine [1].

**I.2.5.5 Unité 56**

Système d'Air Instrument et d'Air Service : Le Système d'Air Instrument et d'Air Service est conçu pour supporter le fonctionnement de deux trains GNL [1].

**I.2.5.6 Unité 55**

Système Commun de Gaz Combustible : Le Système Commun de Gaz Combustible est conçu pour alimenter et distribuer le gaz combustible HP à 24.5 bar et le gaz combustible BP à 5 bar [1].

**I.2.5.7 Unité 57**

Système d'Azote : Le Système d'Azote est conçu pour fournir l'Azote à l'usine GNL3Z. Bien que l'équipement soit conçu pour un train GNL, le Piping de distribution est conçu pour le débit des deux trains GNL [1].

**I.2.5.8 Unité 59**

Système d'Eau Déminéralisée et de Service : Le Système d'Eau est conçu pour recevoir, stocker et distribuer l'Eau de Service et l'Eau Déminéralisée [1].

**I.2.5.9 Unité 58**

Système d'Eau Potable : Le Système d'Eau Potable est conçu pour recevoir, stocker et distribuer l'eau fraîche utilisée comme Eau Potable et Eau de Service [1].

**I.2.6 Unités de Procédé****I.2.6.1 Unité 01**

Installation d'entrée : L'installation de télémessure du Gaz d'Alimentation est conçue pour mesurer le gaz d'alimentation et comprend un skid de comptage [3].

**I.2.6.2 Unité 11**

Conditionnement du Gaz d'Alimentation : L'Unité de Conditionnement du Gaz d'Alimentation comprend la Compression du Gaz d'Alimentation et la section d'Elimination du Mercure [3].



### I.2.6.3 Unité 12

Elimination du CO2 Unité d'élimination du Gaz Acide (Dioxyde de Carbone) [3].

### I.2.6.4 Unité 13

Déshydratation de Gaz : L'unité de Déshydratation est conçue pour éliminer l'eau du gaz d'alimentation afin d'éviter la congélation de l'eau dans les unités cryogéniques en aval [3].

### I.2.6.5 Unité 17

Récupération des LGN et Fractionnement : Cette Unité est divisée suivant les sections suivantes [3] :

- Déméthaniser et Compression du Gaz Résiduel.
- Dééthaniseur.
- Dépropaniser.
- Débutaniseur.

### I.2.6.6 Unité 15

Liquéfaction : Cette unité se compose de [3] :

- Section de Liquéfaction de Gaz Naturel.
- Section de Récupération de l'Hélium.
- Section de Rejet de l'Azote.
- Système de Gaz End Flash.

### I.2.6.7 Unité 16

Réfrigération : Cette Unité est divisée en deux sections [3] :

- Circuit de Propane
- Circuit du Réfrigérant Mixte

### I.2.6.8 Unité 14

Système du Gaz Combustible (Train 1) : Le Système de Gaz Combustible est conçu pour alimenter et distribuer le gaz combustible HP à 26 bar et le gaz combustible BP à 6 bar aux utilisateurs vers leur périmètre d'installation à travers l'Usine [3].

### **I.2.6.9 Unité 18**

Système de l'Huile Chaude : Le Système de l'Huile Chaude du Train de GPL fournit le réchauffement à deux niveaux de température différents Haute et Basse [3].

### **I.2.6.10 Unité 19**

Système de Refroidissement à l'Eau : L'élimination de la chaleur de la machinerie à l'intérieur du Train1 GNL est obtenue en utilisant de l'eau de refroidissement tempérée [3].

## **I.2.7 Unités Off-sites**

### **I.2.7.1 Unité 64**

Traitement des Eaux Usées et des Effluents : Le Système de Traitement des Eaux Usées et des Effluents est conçu pour gérer l'eau usée provenant du train GNL, mais également pour l'intégration future du deuxième train GNL [2].

### **I.2.7.2 Unité 71**

Chargement et Stockage du Produit GNL : Le Système de Chargement et Stockage du GNL est conçu pour fournir le stockage du produit et les installations d'exportation adéquates afin de permettre la production continue provenant des trains de procédé du GNL [2].

### **I.2.7.3 Unité 72**

Réfrigération, Chargement et Stockage du Produit GPL : L'installation de Chargement et Stockage de GPL fournit la capacité de stockage et d'exportation des produits Propane (C3) et Butane (C4). La Section de Réfrigération de GPL est conçue pour un train de procédé [2].

### **I.2.7.4 Unité 73**

Stockage du Réfrigérant : Le Système de Stockage du Réfrigérant est conçu pour le support et le fonctionnement du train GNL [2].

L'installation fournit la capacité de stockage et de transfert de l'Ethane utilisé dans le Système du Réfrigérant Mixte (MR) et du Propane utilisé dans les circuits de Propane (Unité 16 et 17) et dans le Circuit de Réfrigération MR (Unité 16) [2].

### **I.2.7.5 Unité 75**

Système de Torches : Le Système de Torches est installé et dimensionné pour faire face à l'opération des deux trains GNL (un train futur) [2].

Le système fournit des moyens sûrs et fiables d'élimination des vapeurs d'hydrocarbure et des liquides légers provenant des défaillances lors de situations d'urgence (ESD) ou d'arrêt (SD) [2].

I.2.7.6 Unité 76

Système de Stockage de la Gazoline : La gazoline produite sera stabilisée et stockée dans une sphère d'une capacité de 1800 m3[2].

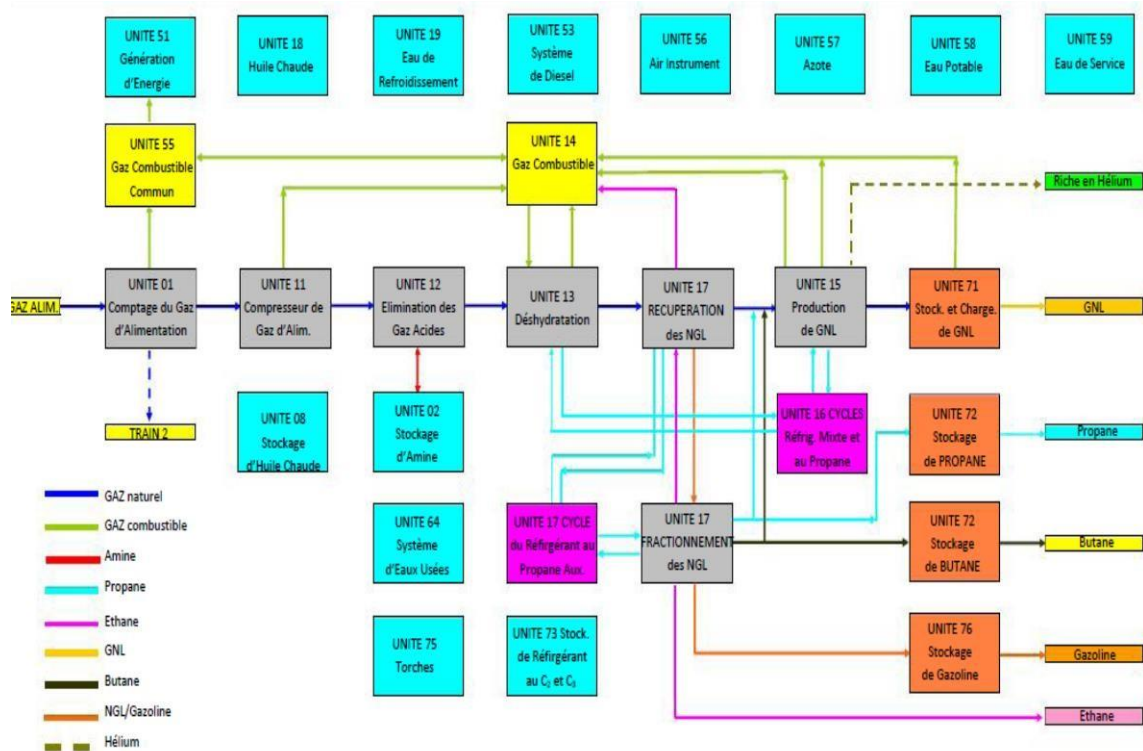


Figure I-3: Schéma générale du procédé GNL3/Z

I.3 L'organigramme du complexe

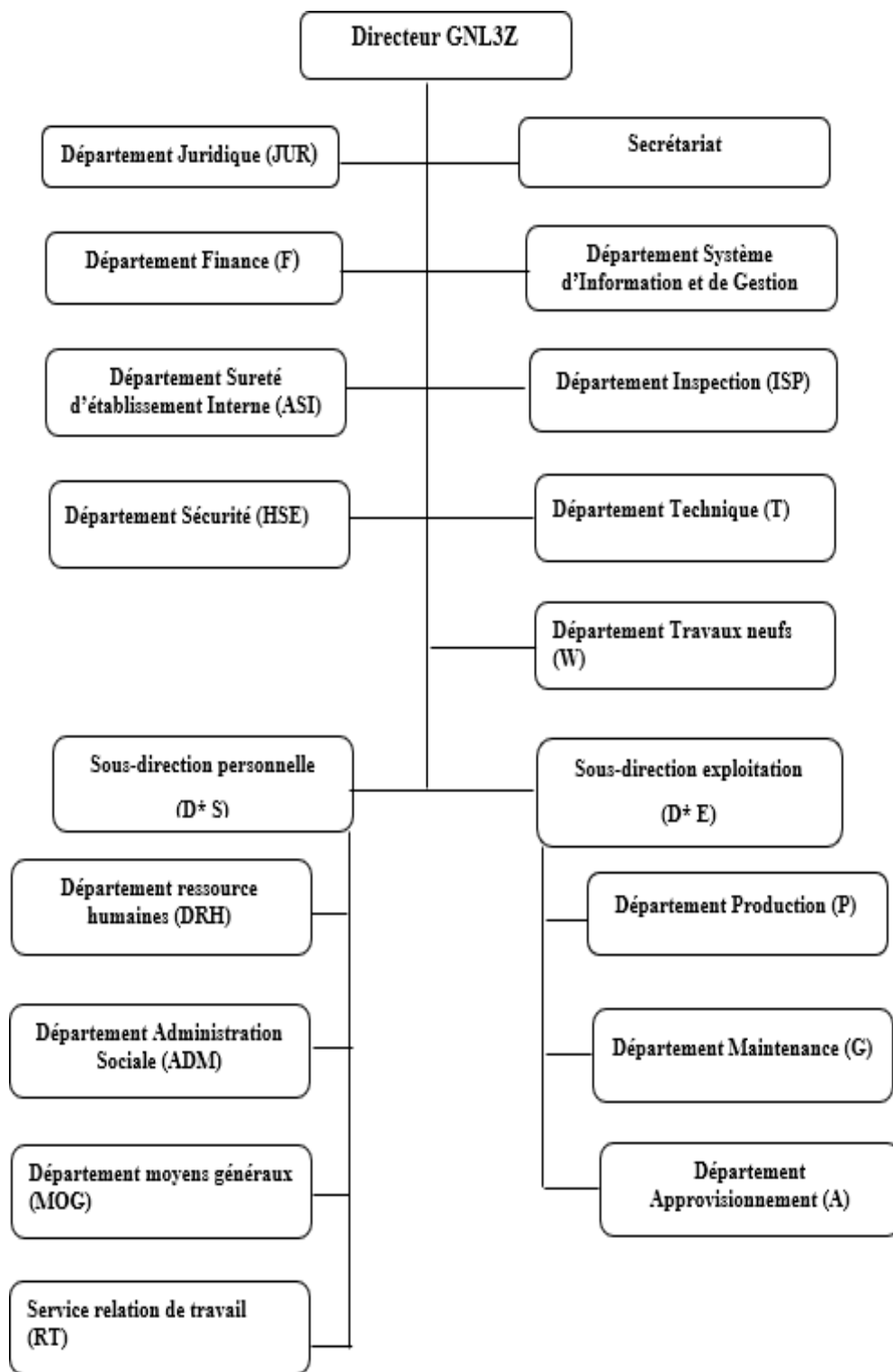


Figure I-4 : l'organigramme du complexe GNL3/Z

## I.4 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté de manière détaillée le complexe industriel étudié, en couvrant plusieurs aspects clés.

Tout d'abord, la présentation du complexe a permis d'avoir un aperçu global de ses installations et de leur fonctionnement. Les différentes sections abordées ont inclus la position du site, mettant en évidence son emplacement stratégique et les avantages qu'il offre, ainsi que le but des installations, soulignant les objectifs principaux de l'usine.

Ensuite, la capacité de l'usine a été examinée, fournissant des informations sur sa production maximale et sa capacité de traitement. Cela permet de comprendre l'ampleur de l'usine et son impact potentiel sur le marché.

Le plan de GNL3Z a été présenté en détail, mettant en évidence les différentes unités des utilités, des procédés et off-sites. Cela permet de visualiser la structure globale du complexe et de comprendre comment chaque unité contribue à l'ensemble du processus de production.

Enfin, l'organigramme du complexe a été discuté, fournissant une représentation visuelle de la hiérarchie et de la structure organisationnelle du complexe. Cela aide à comprendre comment les différentes équipes et départements travaillent ensemble pour assurer le bon fonctionnement de l'usine.

Dans l'ensemble, ce chapitre a permis d'obtenir une vision globale et détaillée du complexe industriel, en mettant en évidence son positionnement, ses objectifs, sa capacité, sa structure et son fonctionnement. Ces informations sont essentielles pour comprendre l'ensemble du système et fournissent une base solide pour les chapitres à venir, qui se concentreront sur des aspects spécifiques du complexe.

## **II. Chapitre II**

### **Description de la turbine à gaz**

## II.1 Introduction

Les turbines à gaz ont connu au cours des dernières années un développement considérable. Leurs emplois sont très répandus dans des nombreuses applications industrielles. Notamment dans le domaine des hydrocarbures. Dans ce chapitre on va expliquer le fonctionnement de la turbine à gaz GE/NP Frame 7 (MS 7001) qui est un composant indispensable dans le processus de liquéfaction de GNL et son système de commande

MARK VIe.

## II.2 Historique de la turbine à gaz

La première machine à vapeur fut brevetée en 1629 par un mécanicien Italien Giovanni Branca, une machine dans laquelle un jet était dirigé vers une roue horizontale connectée à un système d'engrenage pour actionner une presse. Après Branca plusieurs mathématiciens ont contribué à l'amélioration de cette technologie [4].

Dans les années 1820-1833 Claude Bourdin un professeur français a réalisé plusieurs installations des machines hydrauliques qui les ont nommées Turbine, mot dérivé du Latin Turbins signifiant qui tournent, mais il n'a pas réussi à passer au stade des machines industriellement stable. En 1844 les turbines de Fourneyron furent installées en Europe et aux États-Unis ou des améliorations furent apportées [5].

Les turbines à gaz ont commencé à se matérialiser entre la fin du XIXe siècle et le début du XXe siècle, on mentionne qu'une première turbine à gaz capable de fournir du travail fut construite en 1903 par l'ingénieur mécanicien Elling en Norvège [5].

En 1910 l'ingénieur mécanicien Henri coanda essaya un avion dans le moteur était une turbine à gaz élémentaire composée d'un compresseur d'une chambre de combustion et d'une tuyère, mais c'est qu'en 1930 que l'idée de turbine à gaz a été réellement présenté aux États-Unis, en France, en grande Bretagne, en Italie et en Allemagne [4].

A ces inventions s'ajoutèrent celles développées par l'équipe de secundo Compini qui construit un turbopropulseur en 1940, et la contribution Frank Whittle d'Angleterre en 1769 au quel ils ont attribué la création pratique de la turbine à gaz moderne [5].

## II.3 Description fonctionnelle de la turbine à gaz

### II.3.1 Généralités

Le modèle de la turbine MS7001 DLN 1 est celui d'une turbine à gaz à cycle simple, avec un seul arbre et 10 chambres de combustion à écoulement inversé, projetée pour l'allumage

du gaz combustible et un système de récupération de chaleur fournit des gaz d'échappement avec des émissions contrôlées (voir la Figure II-1) (Annexe B) [6].



**Figure II-1:** la turbine à gaz 7001EA

### II.3.2 Description du passage du gaz

Le passage du gaz est la voie par laquelle les gaz circulent à travers la turbine à gaz de l'entrée d'air à l'échappement de la turbine en passant par le compresseur, la section de combustion et la turbine (voir Figure II-3).

L'air comprimé provenant du compresseur passe dans l'espace annulaire environnant les chemises de combustion, à partir duquel il passe dans les espaces entre les carters de combustion externes et les chemises de combustion, puis il entre dans la zone de combustion à travers des orifices de mesure dans chacune des chemises de combustion [7].

Le combustible est fourni aux conduites d'écoulement depuis une source hors du coussin et chacune de ces conduites s'arrête au niveau des gicleurs de combustible primaires et secondaires sur le couvercle arrière des chambres de combustion séparées [6].

Les gicleurs du combustible sont les orifices de mesure garantissant une bonne circulation dans les zones de combustion des chambres. Les gicleurs permettent d'introduire le combustible dans la zone de combustion primaire et secondaire, à l'intérieur de chaque chambre où il se mélange à l'air de combustion et il est enflammé par une ou plusieurs bougies d'allumage [6].



Lorsque le combustible est enflammé dans une chambre de combustion, la flamme se propage à travers les tubes de raccordement et se dirige vers toutes les autres chambres de combustion, où elle est détectée par quatre détecteurs de flammes primaires. La flamme dans la zone de combustion secondaire est détectée par quatre détecteurs de flammes secondaires, montés chacun sur une bride prévue sur quatre des gicleurs secondaires de combustible. (Voir Figure II-8) [6].

Les gaz chauds provenant des chambres de combustion passent à travers des raccords de réduction séparés, joints à l'extrémité arrière des chemises de la chambre de combustion, puis ils coulent depuis ce point-là jusqu'à la section du troisième étage de la turbine.

Chaque étage se compose d'une rangée de aubes fixes et d'une rangée d'aubes variable de la turbine de puissance et compresseur axial. Dans chaque étage l'énergie cinétique de l'air chaud est augmentée, avec une chute de pression correspondante, qui est absorbée comme de puissance utile par le rotor de la turbine, en provoquant la rotation de l'arbre utilisé pour tourner le rotor du compresseur [8]. Après le passage dans les aubes du troisième étage, les gaz sont dirigés vers le diffuseur d'échappement. Les gaz passent ensuite dans le plénum d'échappement et sont envoyés dans l'atmosphère à travers la cheminée d'échappement [6].

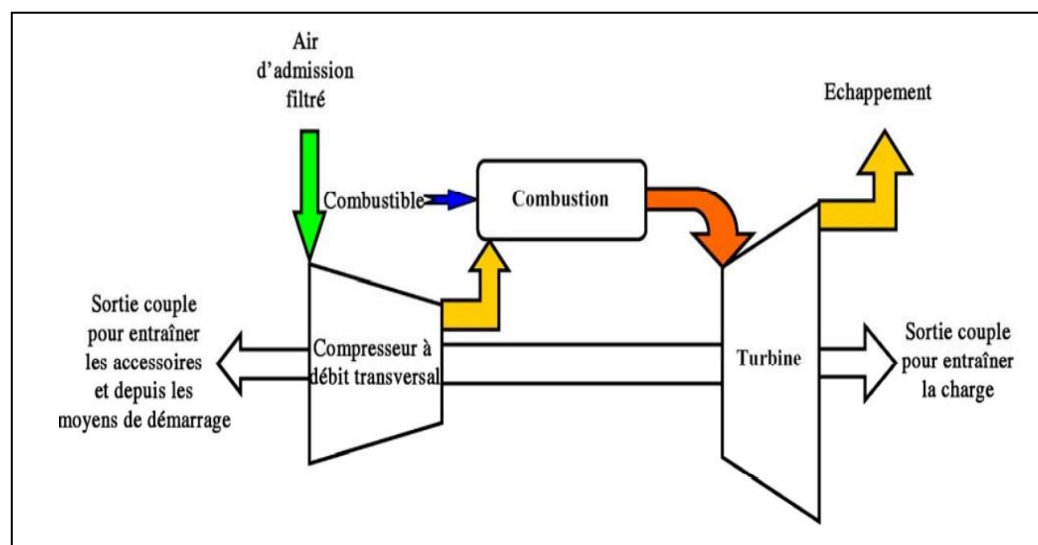


Figure II-2: Passage de gaz.

## II.3.3 Les Sections principales de la turbine

### II.3.3.1 Section d'aspiration

Les turbines à gaz requièrent une importante quantité d'air pour leur combustion et le refroidissement des composants internes. Afin d'éviter l'érosion des ailettes des rotors et stators du compresseur d'air, ainsi que les pertes de performance résultant de pertes de charge au niveau

du compresseur axial, cet air doit être filtré pour empêcher la pénétration de particules au fil du temps.

Les particules de saleté peuvent également obstruer les passages et orifices d'air utilisés pour refroidir les différents composants de la turbine.

Pour s'assurer d'un filtrage efficace, la section d'aspiration de la turbine est logée dans un compartiment contenant des filtres, qui est relié au caisson d'admission de la turbine.

Ce système est conçu pour filtrer l'air, réduire le bruit et diriger l'air vers le compresseur de la turbine.

Des portes sont installées sur ce compartiment pour faciliter l'accès aux filtres lors des opérations de maintenance (voir Figure II-3).



**Figure II-3:** Section d'aspiration.

### **II.3.3.2 Section du compresseur**

La section du compresseur à flux axial se compose du rotor et de la caisse du compresseur.

A l'intérieur de la caisse du compresseur, il y a les aubes orientables à entrainement variable, les différents étages du rotor, les aubes du stator et les aubes directrices de sortie.

Dans le compresseur, l'air est enfermé dans l'espace entre le rotor et le stator, où il est comprimé en étages par une série d'alternances des aubes rotatives (rotor) et stationnaires (stator) à profil aérodynamique.

Les aubes du rotor fournissent la puissance nécessaire pour comprimer l'air à chaque étage et les aubes du stator dirigent l'air de sorte qu'il entre dans l'étage du rotor suivant par l'angle correct.

L'air comprimé sort à travers le corps de refoulement du compresseur vers les chambres de combustion [7].

L'air est extrait du compresseur pour un refroidissement de la turbine, l'étanchéité du palier, et pour un contrôle de pulsation lors du démarrage.

#### **II.3.3.2.1 Le rotor**

La partie rotor du compresseur de la turbine à gaz est un ensemble de roues, chaque roue et chaque partie de roue de l'arbre, disposent de fentes brochées autour de leur périphérie [9].

#### **II.3.3.2.2 Le stator**

La zone du stator (carter) de la section du compresseur se compose de trois sections principales, qui sont [7][9] :

- Le carter d'admission.
- Le carter du compresseur.
- Le carter de refoulement du compresseur.

##### **II.3.3.2.2.1 Carter d'admission**

Le carter d'admission est situé à l'avant de la turbine à gaz et a pour rôle principal de diriger uniformément l'air entrant vers le compresseur.

A l'arrière du carter d'admission se trouvent des aubes orientables à entrainement variable, qui sont positionnées mécaniquement par un anneau de commande et un pignon d'engrenage connectés à un actionneur hydraulique et un bras de raccordement.

La position de ces aubes a un impact sur le volume du flux d'air entrant dans le compresseur.

##### **II.3.3.2.2.2 Carter du compresseur**

Le carter du compresseur comprend les dix premiers étages du stator du compresseur. Il transfère également les charges structurelles du carter adjacent au support avant. Des ports d'extraction dans le carter permettent d'extraire l'air du compresseur. Cet air est utilisé pour les fonctions de refroidissement et d'étanchéité, ainsi que pour le contrôle des pulsations lors du démarrage et l'arrêt [6].

### II.3.3.2.3 Carter de refoulement du compresseur

Le carter de refoulement du compresseur est la partie finale de la section du compresseur. Il contient les derniers étages du compresseur pour former à la fois les parois interne et externe du diffuseur du compresseur, ainsi que pour unir les stators du compresseur et de la turbine [8].

Le diffuseur convertit une partie de la vitesse d'échappement du compresseur en une pression statique renforcée pour l'approvisionnement d'air de combustion [8].

### II.3.3.3 Section de combustion

Des gaz chauds, générés depuis le combustible brûlant dans les chambres de combustion, sont utilisés pour actionner la turbine.

L'air à haute pression provenant du refoulement du compresseur est dirigé autour des raccords de réduction et dans les espaces annulaires qui entourent chaque chemise de la chambre de combustion.

L'air entre dans les zones de combustion, à travers des orifices de mesure pour la combustion correcte du combustible, et à travers des ouvertures pour refroidir la chemise de combustion.

Le combustible est fourni à chaque chambre de combustion à travers un ensemble de gicleurs projetés pour distribuer et mélanger le combustible avec le volume d'air de combustion approprié.

Le mélange combustible / air est allumé grâce à deux bougies du type à ressort auto-rétractible et sont installées au niveau des chambres de combustion.

L'allumage est nécessaire seulement au démarrage, la flamme est ensuite auto-maintenue.

Les chambres de combustion sont généralement reliées par des tubes à feu croisés pour stabiliser et propager la flamme aux autres chambres de combustion. Les courants d'air rapides traversant le brûleur peuvent éteindre la flamme ; les brûleurs sont donc protégés par une enveloppe sous forme de cylindre perforé. Les systèmes de combustion des turbines modernes sont très complexes.

Les hautes températures de combustion offrent de bons rendements mais nécessitent des matériaux spéciaux et des systèmes de refroidissement adéquats pour avoir des durées de vies acceptables [8].

La section combustion comporte les éléments suivants :

- L'enveloppe de combustion.

- Les chambres de combustion.
- Ensembles de pièces de transition.
- Bougies d'allumage
- Détecteurs de flamme.
- Gicleurs de combustible
- Tubes de raccordement.

#### **II.3.3.3.1 Enveloppe de combustion**

L'enveloppe de combustion recouvre les chambres de combustion et les pièces de transition (voir la Figure II-4). Elle reçoit l'air à partir du compresseur axial et le transmet aux chambres de combustion [6].

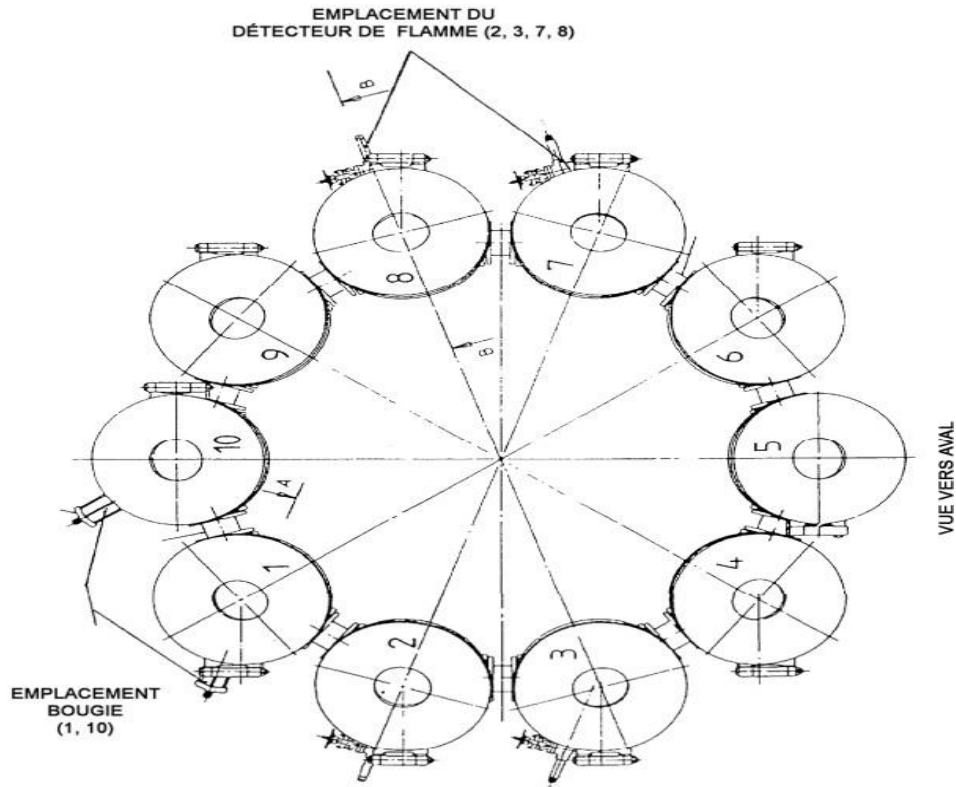
#### **II.3.3.3.2 Chambres de combustion**

Il y a dix chambres de combustion installées à l'intérieur de l'enveloppe de combustion, toutes de type à débit inversé (voir la Figure II-4).

Elles se présentent sous forme de cylindres individuels ou de tubes à feu.

Les brûleurs sont positionnés à chaque chambre de combustion, où le combustible est mélangé à l'air principal de combustion avant d'être injecté.

En outre, une partie de l'air pénètre dans les tubes à feu à travers des trous.



**Figure II-4:** Disposition de la chambre de combustion

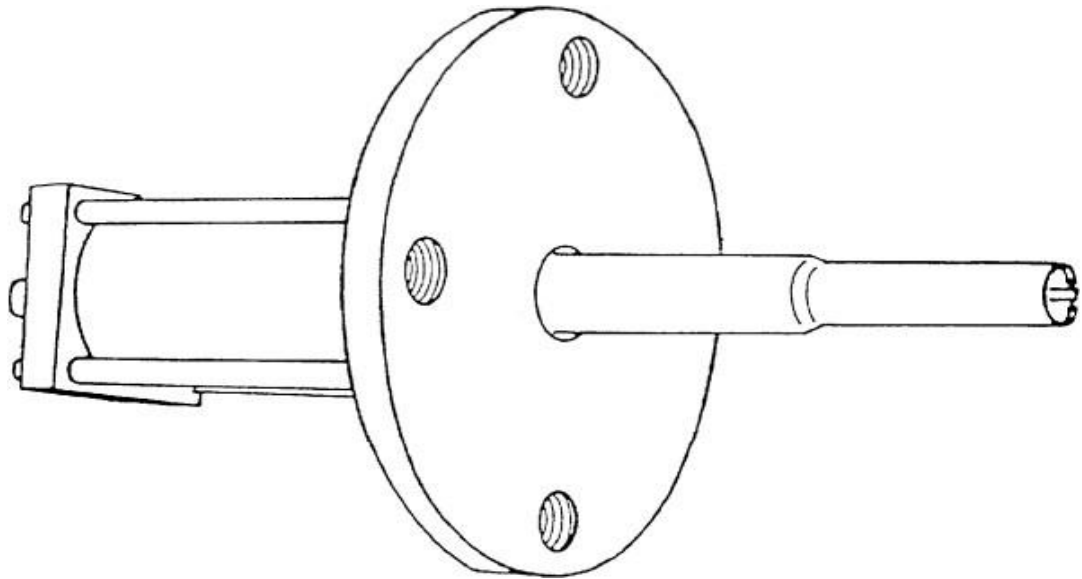
#### II.3.3.3 Pièces de transition

Les pièces de transition relient les chambres de combustion à l'ensemble de tuyère de premier étage. Les gaz chauds qui résultent de la combustion sont dirigés vers l'ensemble de tuyère de premier étage via les pièces de transition [8].

#### II.3.3.4 Bougies d'allumage

La combustion démarre grâce à la pression exercée par les bougies d'allumage fixées aux brides sur les boîtes de combustion, ainsi que dans la chemise et les manchons d'écoulement situés dans les chambres de combustion voisines.

Les bougies d'allumage sont alimentées en énergie par les transformateurs d'allumage. Lors de l'alimentation, une étincelle provenant de l'une ou plusieurs de ces bougies enflamme le mélange de gaz/air dans une chambre, tandis que les autres chambres s'enflamment grâce aux flammes qui se propagent à travers les tubes qui relient les zones de réaction de ces chambres



**Figure II-5:** bougie d'allumage

#### II.3.3.3.5 Détecteurs de flammes

Lors de la procédure de démarrage, il est crucial que le système de commande soit informé de la présence ou de l'absence de flammes.

Pour cette raison, un système de surveillance de flammes est mis en place. Ce système comprend plusieurs capteurs installés sur des chambres de combustion adjacentes et un amplificateur électronique installé dans le tableau de commande de la turbine.

Le capteur de flammes à ultraviolet est équipé d'un détecteur rempli de gaz sensible aux radiations ultraviolettes émises par une flamme d'hydrocarbure.

La tension à courant continu fournie par l'amplificateur est transmise à travers les bornes du détecteur.

Si une flamme est détectée, l'ionisation du gaz dans le détecteur permet la conduction dans le circuit, ce qui entraîne le circuit électronique à indiquer une sortie de flamme.

En revanche, si aucune flamme n'est détectée, une sortie indiquant l'absence de flamme est générée.

Une fois la flamme stabilisée, si les deux capteurs indiquent une perte ou une absence de flammes, un signal est envoyé au panneau de relais dans le circuit de commande électronique de la turbine.

Des relais auxiliaires situés dans le circuit approprié sont activés et arrêtent la turbine.

La panne de flamme ou la perte de flamme est également signalée sur l'annonceur.

Si une perte de flamme est détectée uniquement par un capteur de flamme, le circuit de commande ne signalera que cet état.

#### II.3.3.3.6 Gicleurs de combustible

Le système de combustion MS7001 DLN 1 utilise des gicleurs de combustion primaire et secondaire, conjointement avec une chemise de combustion à deux zones [8].

##### II.3.3.3.6.1 Ensemble du gicleur de combustible primaire

Sur la chambre de combustion à plusieurs gicleurs avec DLN 1, le gicleur de combustion primaire est fonctionnellement intégré avec le couvercle de la chambre de combustion arrière (voir la Figure II-6) [6].

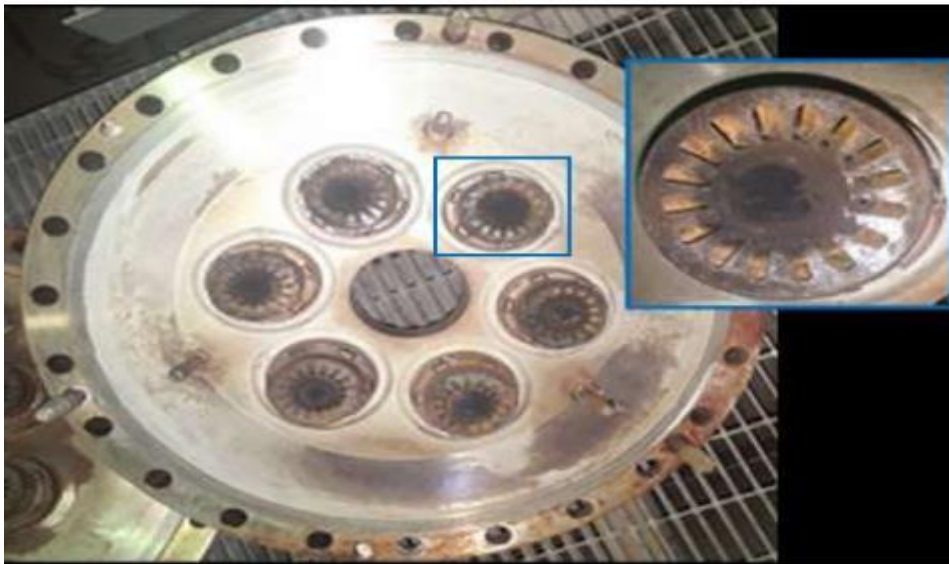
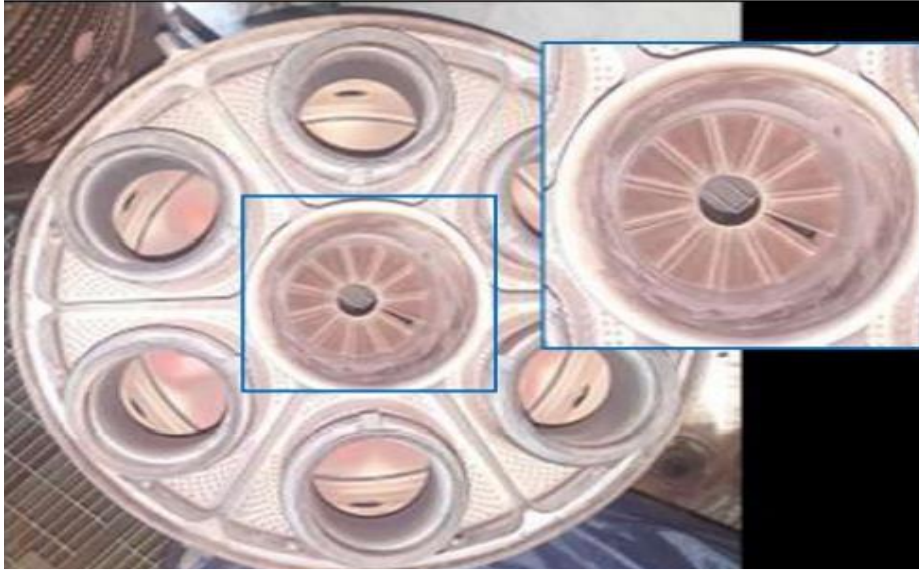


Figure II-6: Gicleur de combustible primaire.

##### II.3.3.3.6.2 Ensemble du gicleur de combustible secondaire

L'ensemble mentionné est installé au milieu du couvercle, précisément sur les dix chambres de combustion individuelles (Comme illustré dans la Figure II-7).



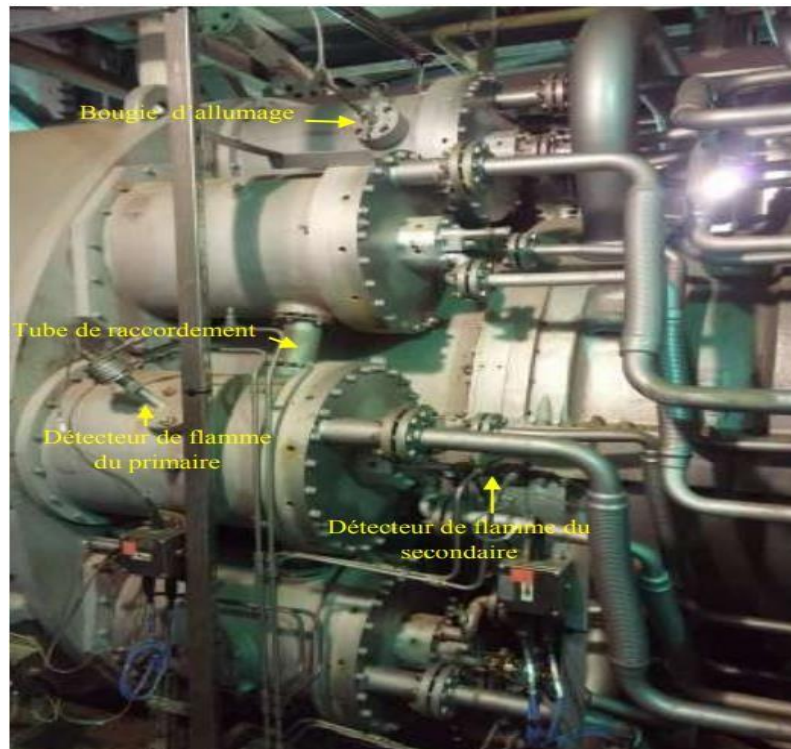


**Figure II-7:** Gicleur de combustible secondaire.

#### **II.3.3.3.7 Tubes de raccordement**

Toutes les chambres de combustion sont interconnectées au moyen de tubes de raccordement.

Ces tubes permettent à la flamme de se propager d'une chambre à l'autre d'une façon homogène (voir la Figure II-8).

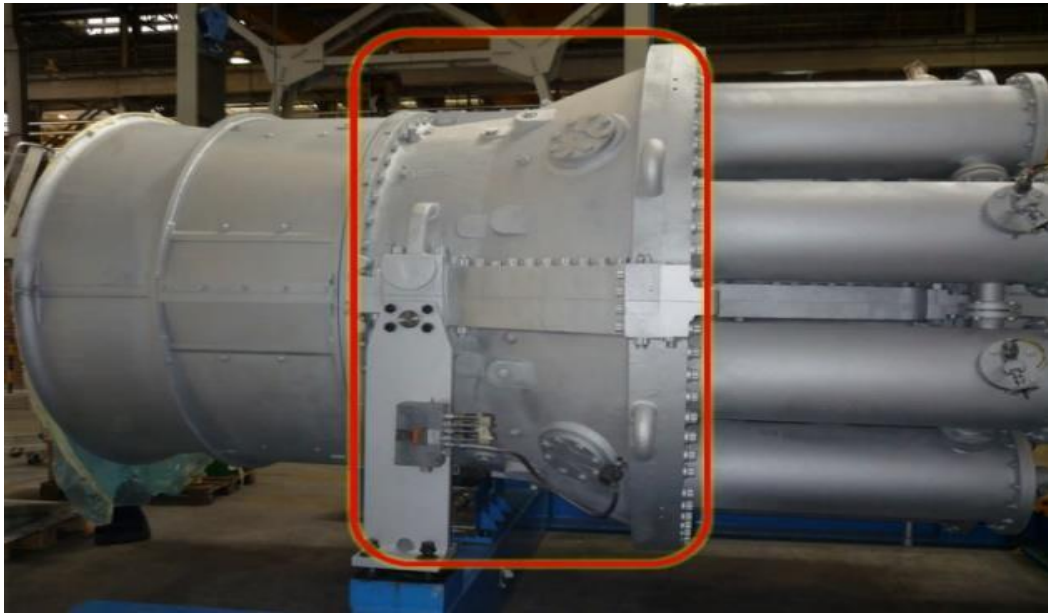


**Figure II-8:** Ensemble de section combustion.

#### II.3.3.4 Section de la Turbine

La section de la turbine à trois étages est l'endroit où l'énergie à haute pression du gaz, générée par le compresseur et les sections de combustion, est transformée en énergie mécanique.

Chaque étage de la turbine est équipé d'une tuyère et d'une roue correspondante avec ses aubes. Les composants de la section de la turbine incluent le rotor de la turbine (roues, aubes), la coquille de la turbine, (tuyères, protections), le bâti d'évacuation et le diffuseur d'échappement (Voir la Figure II-9) [6].



**Figure II-9:** la section turbine

### **II.3.3.5 Section d'échappement**

Dans la section d'échappement, les gaz qui ont été utilisés pour faire fonctionner les roues de la turbine sont redirigés pour être libérés dans l'atmosphère, ou dans certains cas, vers une chaudière de récupération de chaleur (Voir la Figure II-10).

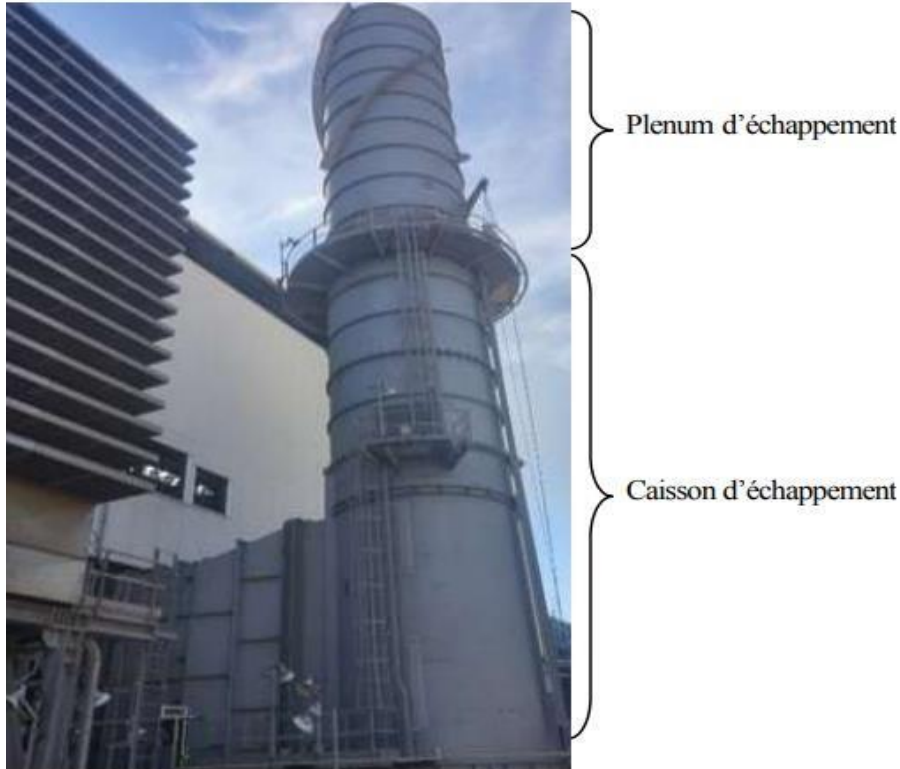
Après qu'ils ont quitté le cadre d'échappement, les gaz chauds atteignent le diffuseur, situé dans le plenum de décharge.

#### **II.3.3.5.1 Plenum d'échappement**

Il s'agit d'un boîtier destiné à évacuer les gaz d'échappement de la turbine avant de les diriger vers les silencieux et de les relâcher dans l'atmosphère. Il est positionné à l'extrémité arrière de la base de la turbine et abrite le châssis d'échappement, le diffuseur et les aubes de la turbine.

#### **II.3.3.5.2 Caisson d'échappement**

Il s'agit d'un dispositif qui collecte et libère les gaz d'échappement de la turbine vers l'atmosphère. Il comprend le cadre d'échappement et les silencieux. Le plenum et le caisson d'échappement sont connectés par des joints de dilatation. La conception de l'échappement est devenue de plus en plus complexe pour réduire au maximum le bruit. La cheminée doit être suffisamment haute pour permettre un refroidissement progressif des fumées et leur libération en toute sécurité dans des zones appropriées.



**Figure II-10:** Section d'échappement.

### **II.3.4 Systèmes auxiliaires de la turbine**

Il comprend tous les auxiliaires nécessaires au fonctionnement indépendant de la turbine :

#### **II.3.4.1 Moteur de démarrage**

Le moteur de démarrage permet de fournir le couple requis pour mettre en mouvement la turbine à gaz jusqu'à ce qu'elle atteigne sa vitesse de fonctionnement automatique. À cette vitesse, l'énergie générée par l'expansion de la turbine est équivalente à l'énergie nécessaire pour la compression.



**Figure II-11:** moteur de démarrage

#### II.3.4.2 Système Auxiliaire d'Huile de Lubrification

Il constitue de :

- Un réservoir d'huile, des filtres, des vannes et des dispositifs de contrôlée de protection du système d'huile de graissage.
- Une pompe mécanique principale : de graissage est montée et entraînée par un réducteur auxiliaire.
- Deux autres pompes :

–**Auxiliaire** : entraînée par un moteur à courant alternatif.

–**Urgence** : entraînée par un moteur à courant continu utilisée en cas de secours.

L'huile de graissage venant du système, circule jusqu'à atteindre les paliers principaux de la turbine, équipements entraînés et les accessoires.

La turbine à gaz est graissée par un système sous pression en boucle fermée.



Figure II-12: pompe principale de lubrification



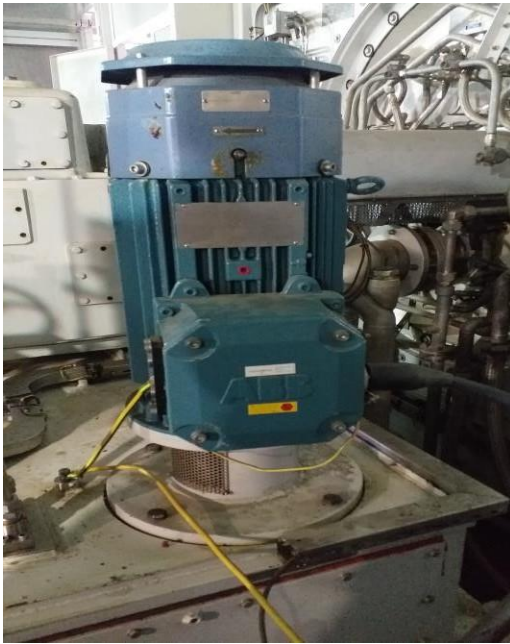
Figure II-13 : pompe de secours

### II.3.4.3 Système d'Huile Hydraulique

Il constitue de :

- La pompe principale est mécaniquement actionnée par l'engrenage accessoire.
- La pompe auxiliaire actionnée par un moteur électrique.

L'huile, depuis le système d'huile lubrifiante est pompée vers le collecteur d'alimentation hydraulique qui fournit une puissance au liquide pour actionner les soupapes de commande du combustible (SRV & GCV) et les aubes directrices (IGV) [6].



**Figure II-15:** pompe hydraulique principale



**Figure II-14:** pompe hydraulique auxiliaire

Il existe aussi d'autres systèmes auxiliaires :

- Système d'air de refroidissement et d'étanchéité.
- Séparateur du brouillard de l'huile.
- Système de commande de l'unité.
- Lavage à eau du compresseur axial.
- Système anti-incendie par CO<sub>2</sub>.
- Système de ventilation de l'enceinte de la turbine.

## II.4 Conclusion

Pour récapituler, ce chapitre a retracé l'historique de la turbine, présenté en détail la description fonctionnelle de la turbine MS 7001, expliqué le passage du gaz à travers ses différentes sections, analysé les principales sections de la turbine et examiné les systèmes auxiliaires qui l'accompagnent. Cette exploration approfondie nous a permis de comprendre la conception, le fonctionnement et les éléments clés de la turbine à gaz. Dans le chapitre suivant, nous aborderons spécifiquement le système Dry Low NO<sub>x</sub> (DLN 1), afin d'approfondir notre compréhension des technologies de réduction des émissions de NO<sub>x</sub> dans les turbines à gaz.

## **III. Chapitre III**

### **Le Système DLN 1**



### III.1 Introduction

Le complexe GNL3\Z est équipé de 6 turbines à gaz utilisant le système DLN 1 (Dry Low NOx). Parmi ces turbines, nous comptons 4 GTG de type Frame 6, ainsi que MR et PR de type Frame 7. Ces machines jouent un rôle essentiel dans la production d'énergie propre et respectueuse de l'environnement.

Dans ce chapitre, nous allons explorer le DLN 1, un système essentiel dans le domaine des turbines à gaz, ces différents modes, ainsi que la problématique et la solution recommandée et la modélisation. (Annexe C).

### III.2 Le but du système DLN 1

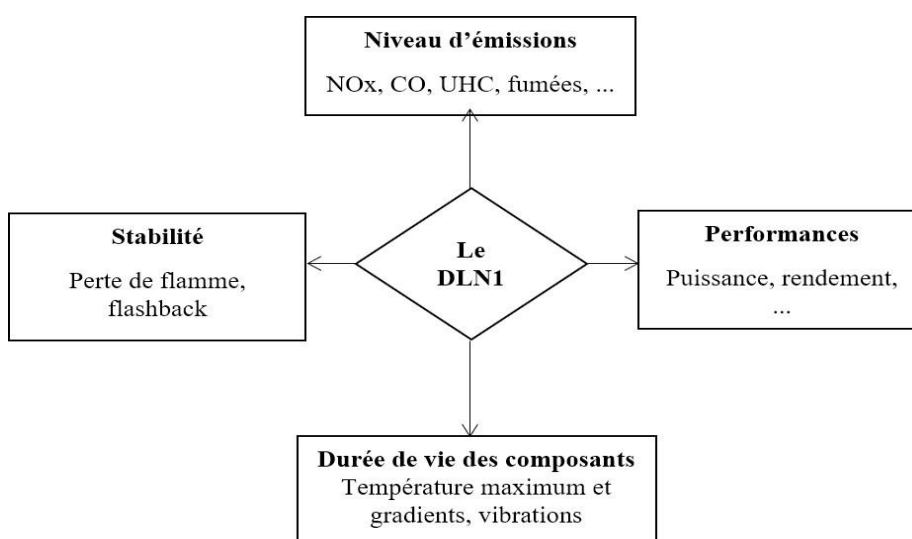
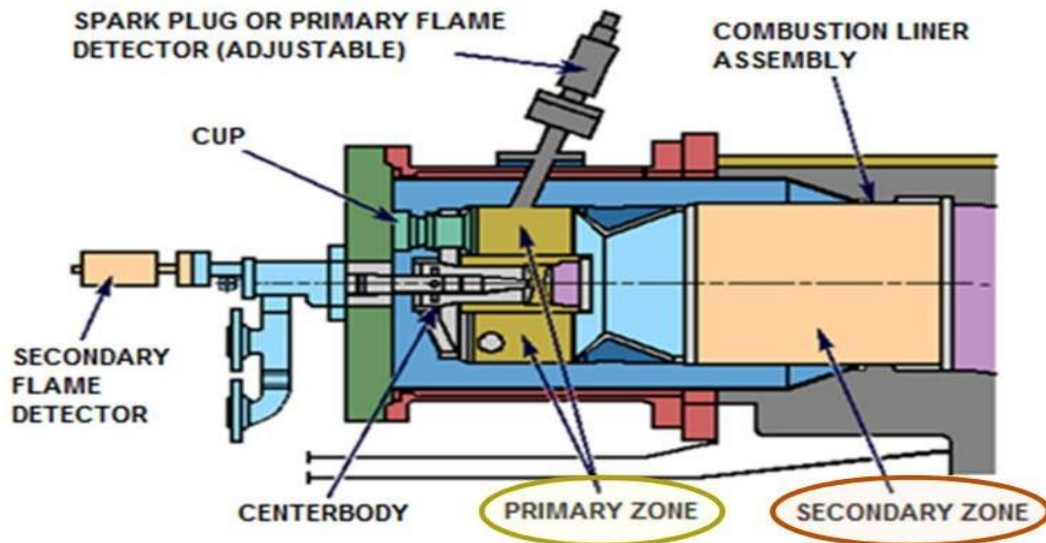


Figure III-1: Le but du système DLN 1

### III.3 Description du système DLN 1

Le système de contrôle DLN 1 installé sur les machines Frame 6 & Frame 7 a pour objectif d'assurer une faible émission de NOx et de régler la distribution du combustible ainsi la position de la flamme dans les chambres de combustion (voir la Figure III-2) [10] [11].

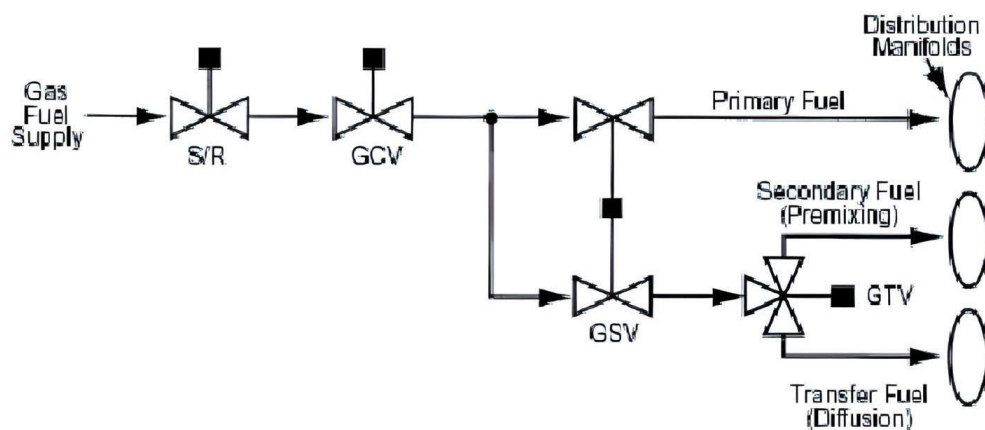


**Figure III-2:** Chambre de combustion DLN 1

Le système DLN 1 contient deux parties (hard et soft)

### III.3.1 Partie hard

Le système de distribution de carburant DLN 1 se compose de la vanne de commande de gaz (GCV), la vanne d'arrêt/rapport de carburant (SRV), la vanne de distribution de gaz (GSV) et la vanne de transfert de gaz (GTV) (voir la figure III-3).



**Figure III-3:** Le système de distribution de carburant DLN 1 Frame 7

#### III.3.1.1 La vanne d'arrêt / rapport (SRV)

Permet de couper l'alimentation gaz en cas d'arrêt d'urgence et de réguler la pression gaz inter-vannes P2 (proportionnelle à la vitesse donc constante en charge) [12].

#### III.3.1.2 La vanne de régulation de gaz (GCV)

Régule le flux global de gaz souhaité délivrer à la turbine en réponse au signal d'ordre FSR provenant du panneau de commande.

Le débit total de gaz est séparé en trois tranches à travers les vannes du système DLN 1 (GSV et GTV pour les Frame 7).

Ces derniers contrôlent le pourcentage du débit total de carburant délivré aux différentes parties de la chambre de combustion multi-buses [6].

### **III.3.1.3 La vanne de distribution de gaz (GSV)**

Permet de répartir le gaz entre les zones primaire et secondaire des chambres de combustion [12].

### **III.3.1.4 La vanne de transfert de gaz (GTV)**

Répartit le carburant fourni à la zone secondaire en deux chemins d'écoulement distincts dans la buse de combustible secondaire. Cette buse de combustible secondaire est composée d'un passage radial pour l'écoulement de combustible qui alimente la zone primaire (appelé buse "secondaire") et d'un passage de type à diffusion normale (appelé buse de "transfert").

## **III.3.2 Partie soft**

Le signal de température de référence de combustion (TTRF1) est généré à partir d'un calcul effectué par le logiciel de commande MARK VIe.

Ce paramètre calculé ne représente pas la température effective de la machine, mais sert plutôt de référence pour la séquence de combustion du mode DLN 1 et pour la planification de la distribution de combustible.

## **III.4 Fonctionnement du système DLN 1**

Le système de carburant DLN 1 fonctionne de manière entièrement automatisée, ce qui permet une séquence de combustion à travers différents modes de mise en scène avant d'atteindre la pleine charge.

La figure III-4 représente une séquence d'opération typique, depuis l'allumage jusqu'à l'écoulement du carburant à pleine charge associé à l'opération DLN 1 [13] [14].

Le paramètre de contrôle principal pour la mise en scène du carburant est la température de référence de combustion calculée (TTRF1).

Le partage de l'écoulement de carburant entre les buses de carburant de la chambre de combustion DLN 1 et l'emplacement de la flamme est régulé en fonction de TTRF1.

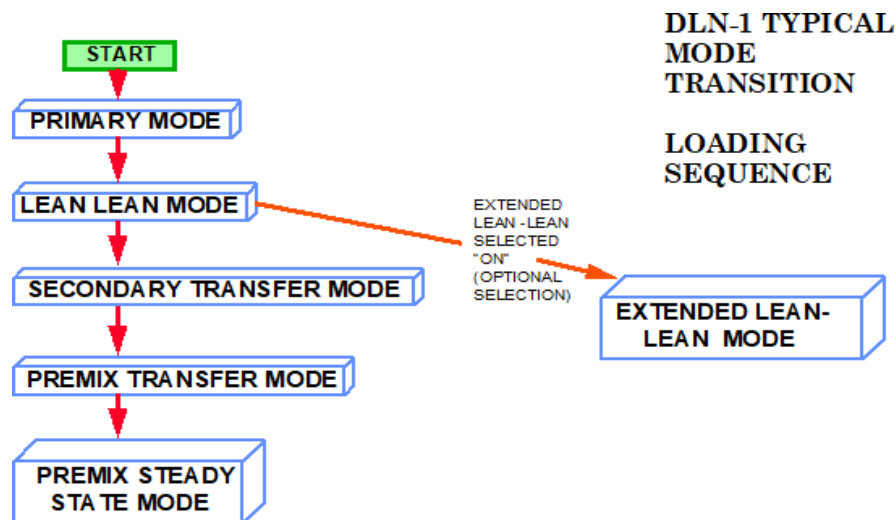


Figure III-4: Les modes d'opération typique de DLN 1

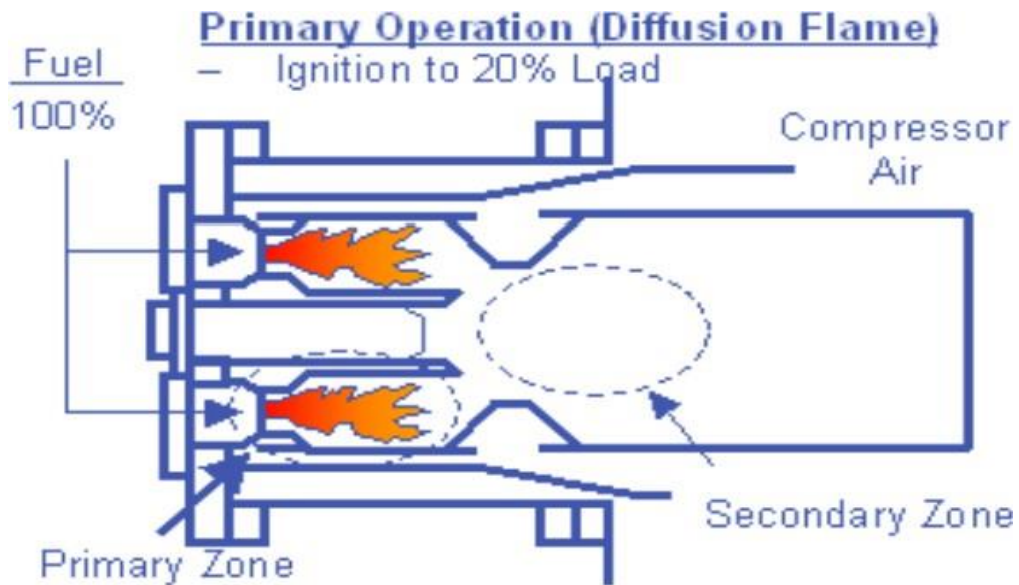
## III.5 Les modes de fonctionnement

### III.5.1 Le mode Primaire

Ce mode est utilisé pour démarrer, accélérer et faire opérer la turbine à gaz à faible charge, jusqu'à une température de combustion de référence prédéfinie.

Le carburant est injecté uniquement par les buses primaires, établissant une flamme purement diffusive.

La température de référence de combustion TTRF1 typique dans ce mode est inférieur à 1600 F.



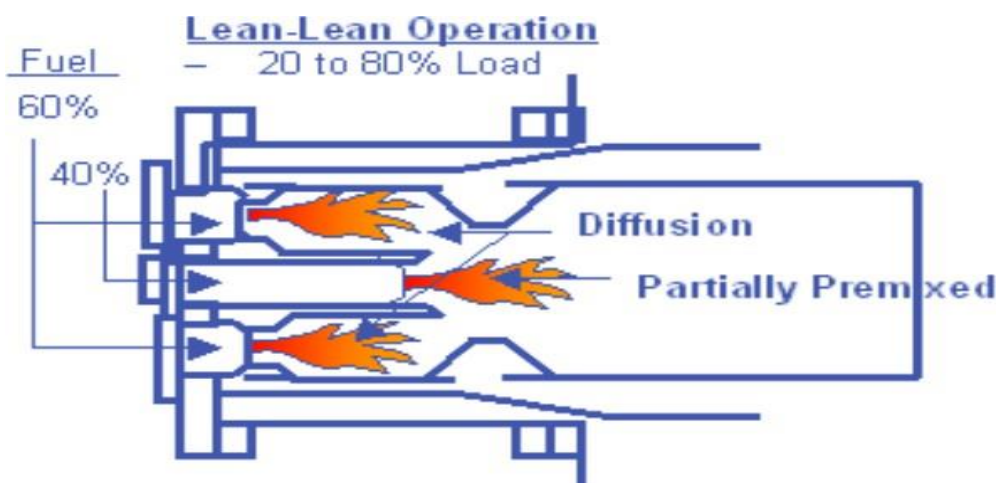
**Figure III-5:** Représentation du mode Primaire

### III.5.2 Le mode Lean-Lean

Il est configuré pour les charges intermédiaires entre deux températures de combustion de référence sélectionnées.

Le carburant est progressivement réparti entre les conduites de carburant primaires et secondaires.

La TTRF1 pour le mode Lean-Lean est entre 1600 F et 1950 F.



**Figure III-6:** Représentation du mode Lean-Lean

### III.5.3 Le mode Secondaire (transfert)

Tout le combustible et la combustion ont lieu dans la zone secondaire de la chambre de combustion.

Le mode secondaire est un mode transitoire lors du passage du mode Lean-Lean au mode de fonctionnement premix.

Une température de combustion typique pour ce mode est de 1900 F.

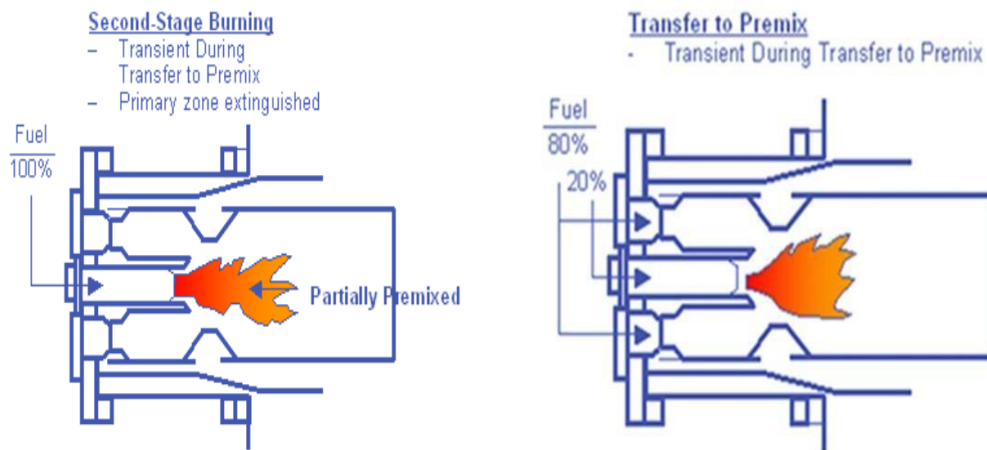


Figure III-7: Représentation du mode secondaire

### III.5.4 Le mode Premix

Dans ce mode, le carburant se trouve à la fois dans les zones primaire et secondaire, avec une combustion qui ne se produit que dans la zone secondaire.

Fondamentalement, l'air et la plupart du carburant sont mélangés dans la zone primaire et s'écoulent dans la zone secondaire pour être brûlés.

Le "prémélange" de l'air et du carburant réduit les émissions de NOx des turbines à gaz.

La plage typique de température de combustion pour ce mode de fonctionnement est supérieure à 1900°F.

C'est le seul mode qui assure un niveau faible d'émission de NOx.

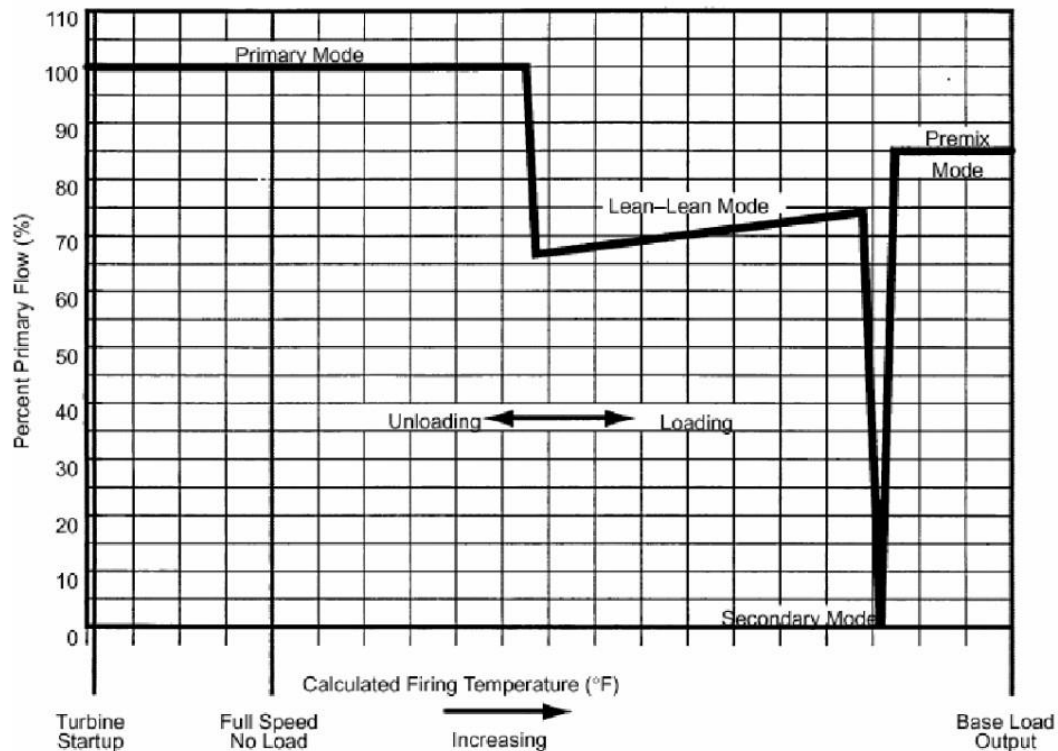


**Figure III-8:** Représentation du mode premix

Lors du chargement normal d'une unité fonctionnant au gaz, le système passera par les modes Primaire, Lean-Lean, Secondaire et Premix

La décharge normale de la machine à partir de charges élevées avec du gaz comme combustible passera du mode Premix au mode Lean-Lean après que les bougies d'allumage aient rallumé la zone de combustion primaire.

Une décharge supplémentaire entraînera le lancement du mode Primaire, qui se poursuivra jusqu'à l'arrêt de la turbine. Il faut noter que quand il a une variation brute dans le chargement de compresseur la machine va au mode EXTENDED LEAN-LEAN pour corriger cette variation c'est un mode indésirable il influe sur la durée de vie de la turbine où une heure dans ce mode équivalent à dix heures de fonctionnement au mode Premix [6].



**Figure III-9:** représentation des modes opérationnels DLN 1 en fonction de la température de combustion

### III.6 La position des vannes

La vanne de transfert (GTV) sera dans la position de 0%, ce qui signifie que 100% du flux de combustible secondaire sera au passage radial de la partie secondaire (buse secondaire). Pendant le transfert au mode Secondaire, la flamme est éteinte dans la zone primaire par la vanne de distribution (GSV) déviant tout le flux vers la zone secondaire. En mode Secondaire, la vanne de transfert (GTV) se déplacera vers une position intermédiaire pour acheminer une partie du flux de combustible secondaire à travers le passage de diffusion (buse de transfert). Après que la flamme a été éteinte dans la zone de combustion primaire, la machine commence à se transférer dans le mode de fonctionnement Premix. La vanne de distribution (GSV) se déplace pour admettre du carburant dans la zone primaire et la vanne de transfert (GTV) monte en rampes jusqu'à une position qui amènera la plus grande partie du flux de carburant secondaire à être acheminée vers le passage de diffusion de transfert de la buse secondaire. Après que la vanne de distribution (GSV) a atteint sa position de Premix à l'état d'équilibre, la vanne de transfert de gaz (GTV) rampe vers sa position normale, détournant à nouveau tout le flux de combustible secondaire à travers les passages secondaires, le tableau suivant résume les différentes positions des vannes DLN 1[15].



**Tableau 1:** position des vannes de DLN 1

	GSV		GTV		Aire purge vanne
	Voie1	Voie2	Voie1	Voie2	
Mode primaire	100%	0%	0%	100%	Ouverte
Mode Lean-Lean	70%	30%	100%	0%	Ouverte
Mode secondaire	0%	100%	50%	50%	Fermer
Mode Transfer vers Premix	83%	17%	100%	0%	Fermer
Mode Premix steady state	83%	17%	100%	0%	Ouverte

### III.7 Position du problème

Le méga-train GNL3/Z est équipé de 9 compresseurs qui sont propulsés par des turbines à gaz de différentes Frames (5, 6 et 7).

Ces équipements sont d'une importance stratégique pour la production de GNL, mais leur déclenchement peut entraîner des effets négatifs sur la production.

En 2016, des problèmes liés à la compression ont causé un manque à produire d'environ 691\970 m3, soit 17,26 % de la production totale.

Après avoir étudié le système DLN 1, il a été identifié que l'une des causes des déclenchements des turbines à gaz de Frames 7 est liée aux vannes de purge.

#### III.7.1 Les vannes de purge

Il s'agit de vannes automatiques qui fonctionnent sur un mode tout ou rien. Elles ont pour rôle de protéger les buses de la chambre de combustion.

Ces vannes sont contrôlées par l'automate MARK VIe via un vérin simple effet qui ne dispose que d'une seule entrée d'air. La tige de la vanne se déplace dans le sens de fermeture lorsqu'elle est actionnée. Lors de l'ouverture, l'air comprimé présent dans la chambre est évacué à l'atmosphère par un orifice de restriction (RO), également appelé détendeur. Ce dernier est réglable pour permettre de contrôler la durée d'ouverture de la vanne et ainsi assurer sa protection



**Figure III-10:** Vannes de purge avec détendeur

### **III.7.2 Le rôle des vannes de purge dans le mode DLN 1**

Ces vannes ont pour fonction d'arrêter la circulation de l'air qui arrive du système de distribution en continu de carburant lors de la transition du mode SECONDARY au mode PREMIX STADY STATE, dans le but de protéger le compresseur axial de retour de gaz transféré.

Si ces vannes restent ouvertes pendant plus de 40 secondes pour les Frames 7 cela déclenchera la turbine.

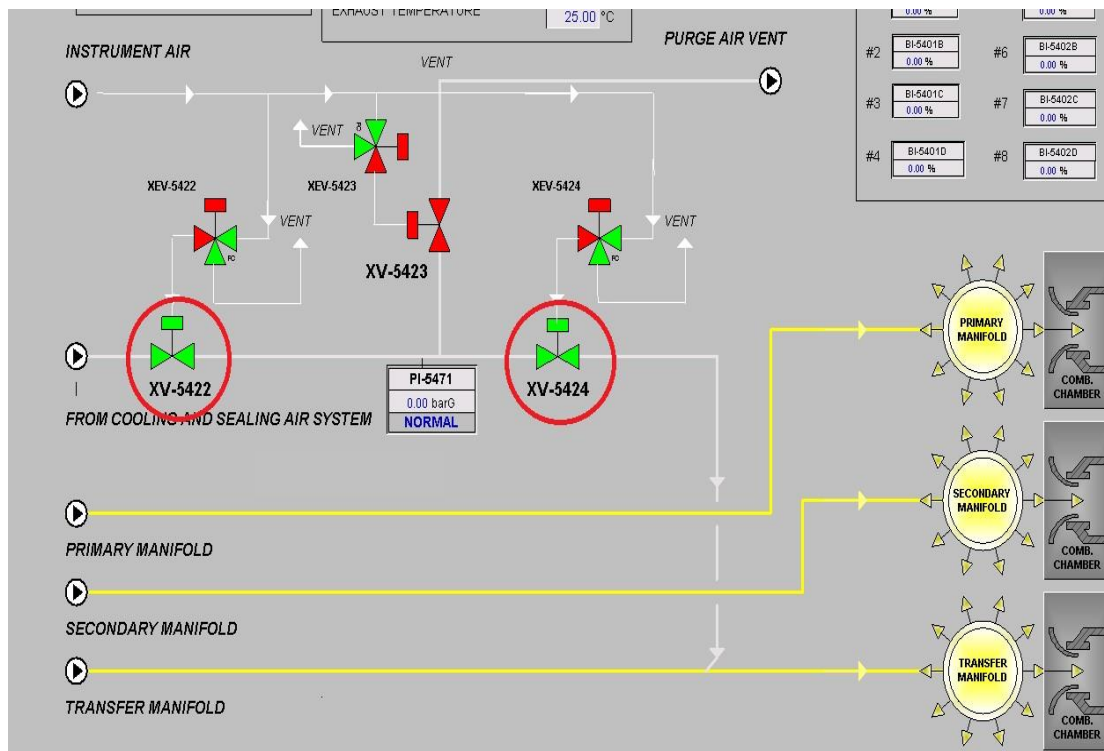


Figure III-11: Vannes de purge 16-MJ-01

### III.7.3 Historique de déclenchements survenus sur les machines Frame7

- Le 14/09/2015 à 14 :38 :22 Déclenchement 16-MJ-01 “DLN 1 SYSTEM TROUBLE AUTO SHUTDOWN ” suite au défaut de variation au mode DLN 1 (Dépassement du Temps d’ouverture des vannes purges d’air 16XEV5424 et 16XEV5422).
- Le 08/06/2016 à 03 :53 :06 Déclenchement du 16-MJ-01 par l’alarme “ DLN 1 SYSTEM TROUBLE AUTO SHUTDOWN ” lors du passage du mode de combustion de LEAN-LEAN POSITIVE vers le mode PREMIX STADY STATE est survenu suite au dépassement du temps d’ouverture de la vanne de purge 16-XEV-5424 ( $\geq 40$  secondes).

### III.7.3.1 Manque à réaliser (MAR) lié à ces deux déclenchements

**Tableau 2:** MAR Premier Trip (14/09/2015)

Date	Objective mensuelle (m <sup>3</sup> )	Objective journalier (m <sup>3</sup> )	Qte Manque à réaliser par jour (m <sup>3</sup> )
14/09/2015	651183	21706	16051
15/09/2015			21706
16/09/2015			10657
<b>Total MAR liée à ce déclenchement</b>			<b>48414</b>

**Tableau 3:** MAR Deuxième Trip (08/06/2016)

Date	Objective mensuelle (m <sup>3</sup> )	Objective journalier (m <sup>3</sup> )	Qte manque a réalisé par jour (m <sup>3</sup> )
08/06/2016	900000	30000	26491
<b>Total MAR liée à ce déclenchement</b>			<b>26491</b>

### III.7.4 Manque à produire (MAP) lié à ces deux déclenchements :

**Tableau 4:** MAP Premier Trip (14/09/2015)

Date	Qte de GNL désignée à produire (m <sup>3</sup> /jour)	Qte MAP (m <sup>3</sup> /jour)
14/09/2015	32078	26912
15/09/2015		32078
16/09/2015		21029
<b>Total MAP lié à ce déclenchement</b>		<b>71019</b>

**Tableau 5:** MAP Deuxième Trip (08/06/2016)

Date	QTE de GNL désignée à produire (m3/jour)	Qte MAP (m3/jour)
08/09/2016	32078	28569
	<b>Total MAP lié à ce déclenchement</b>	28569

### III.7.5 Situation actuelle

Sur le ToolboxST™ le HMI au niveau de CCR :

- Manque d'une pré-alarme du temps d'ouverture des vannes (présence uniquement de l'alarme de déclenchement si le temps d'ouverture dépasse 40sec).
- Aucune possibilité d'effectuer des manipulations des vannes à distance par le tableautiste.
- Absence d'une indication du temps d'ouverture et fermeture des vannes.

Devant cette situation, le service de maintenance G/R a décidé de mettre en place une surveillance mensuelle afin d'intervenir sur les vannes dans le temps convenable (voir Annexe A).

Cependant, cette surveillance nécessite du temps et des efforts qui pourraient être consacrés à améliorer le rendement du service.

### III.8 Les solutions recommandées

En réponse à la situation actuelle, notre contribution consiste à proposer des améliorations visant à assurer une surveillance permanente de l'état des vannes, afin de prévenir toute défaillance future.

Les améliorations proposées sont les suivantes :

#### III.8.1 Test manuel des vannes de purge

Grâce à cette action, l'opérateur peut manipuler les vannes de purge individuellement via l'interface homme-machine (HMI), avec affichage du temps.

Toutefois, il convient de noter que **ce test ne peut être effectué que lorsque la machine est à l'arrêt.**

### III.8.2 Pré-alarmes du temps d'ouverture/fermeture des vannes de purge

L'objectif de cette alarme est d'informer l'opérateur que le temps d'ouverture/fermeture des vannes est proche du seuil de TRIP, afin qu'il puisse prendre des mesures de maintenance préventive avant le démarrage.

XV-5422 GAS TRANSFERT PURGE VLV FAIL.OPEN >35s MNT REQ

XV-5422 GAS TRANSFERT PURGE VLV FAIL.CLOSE >20s MNT REQ

XV-5424 GAS TRANSFERT PURGE VLV FAIL.OPEN >35s MNT REQ

XV-5424 GAS TRANSFERT PURGE VLV FAIL.CLOSE >20s MNT REQ

**Avec :**

XV-5422 représente la vanne MR

XV-5424 représente la vanne PR

### III.8.3 Séquence de test des vannes de purge ajoutée au permissives de démarrage

Cette séquence se fera avant chaque démarrage et sera lancée par l'exploitant depuis un bouton sur la HMI.

## III.9 Le passage de l'analyse à un langage de programmation

À partir de l'analyse précédente, il est évident que les solutions proposées seront mises en œuvre au niveau de l'automate MARK VIe.

Cette section se concentrera sur la traduction du langage humain en langage de programmation machine.

Cette étape est essentielle pour définir précisément le problème et faciliter la programmation de l'automate.

L'un des outils les plus utiles pour cette traduction est l'organigramme.

### III.9.1 L'organigramme

Un organigramme de programmation (parfois appelé logigramme ou plus rarement ordinogramme) est une représentation graphique normalisée de l'enchaînement des opérations et des décisions effectuées par un programme machine.

C'est essentiel, pour plusieurs raisons : [13]

- La détection et le traitement des erreurs.
- L'organisation des tâches pendant la création d'un programme en équipe.

### **III.9.2 Modélisation des améliorations recommandées avec l'organigramme**

L'organigramme suivant représente les améliorations recommandées sur une seule vanne (MR), c'est la même procédure pour la deuxième vanne (PR).

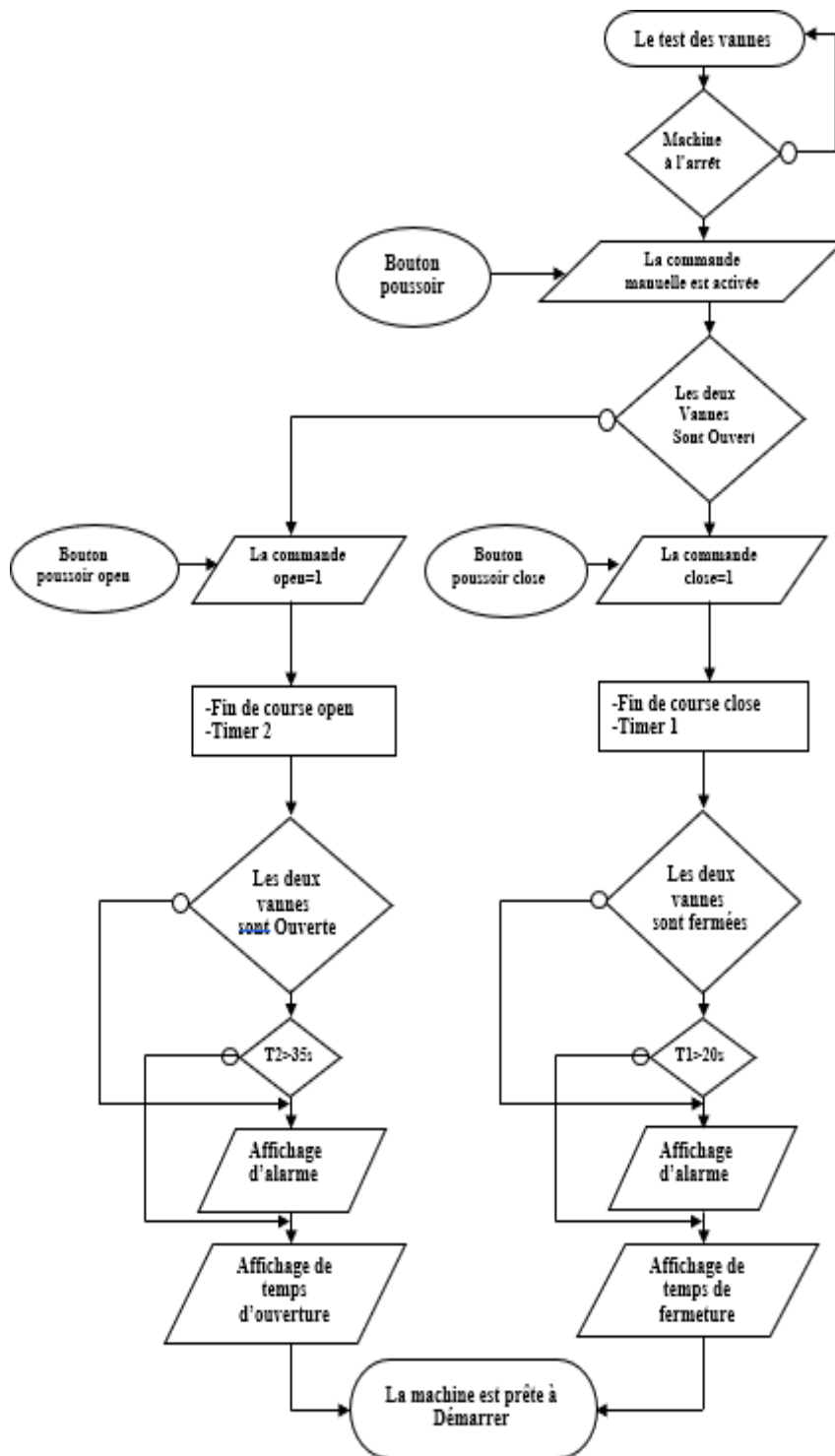


Figure III-12: L'organigramme du vanne MR



### III.10 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a exploré en détail le système DLN 1 dans le domaine des turbines à gaz. Nous avons examiné sa description, les deux parties du système (hard, soft) et les modes de fonctionnement. Nous avons également étudié le rôle des vannes de purge, l'historique des déclenchements sur les machines Frame 7 et les solutions recommandées. Enfin, nous avons abordé la modélisation des améliorations recommandées. Ce chapitre nous a fourni une compréhension approfondie du système DLN 1 et de son importance dans la réduction des émissions polluantes et l'amélioration des performances des turbines à gaz.

## **IV. Chapitre IV**

### **Simulation et résultat**

## IV.1 Introduction

Le système de commande MARK VIe est largement utilisé avec succès pour commander plusieurs turbines à gaz dans des conditions de service intensif, ce qui améliore considérablement leur fiabilité et leur sécurité.

A la suite des déclenchements survenus sur les machines de type Frame 7 (DLN1), qui étaient provoqués par des retards dans l'ouverture des vannes de transfert "air purge valves", et étant donné la complexité de surveiller leur fonctionnement, nous avons apporté des améliorations afin d'assurer une surveillance continue de l'état de ces vannes et d'optimiser le démarrage des machines dans les meilleures conditions de fonctionnement.

## IV.2 L'automate MARK VIe

Les principaux fonctionnements du système de contrôle de la turbine MARK VIe sont les suivants :

- Le contrôle de la vitesse durant le démarrage et l'arrêt de la turbine.
- La synchronisation automatique du génératrice (Cas d'un turbogénérateur).
- Le contrôle de la charge de la turbine pendant le fonctionnement normal.
- La surveillance et la protection contre la survitesse, réchauffement, vibration et perte de flamme.

## IV.3 Description du système de contrôle MARK VIe

Le système MARK VIe contient un processeur qui est constitué de quatre modules de contrôle R, S, T et P ; les trois modules R, S, T sont identiques et gèrent le fonctionnement des turbines à gaz, le module P est spécifié pour la protection du système, il provoque un arrêt immédiat de la machine en cas de problème, chaque module R, S et T a sa propre carte de protection dans le module P [9] [14].

Ces modules sont connectés entre eux à travers les IO-NET pour assurer l'échange d'information et avec l'HMI à travers l'UDH pour permettre la communication Homme/machine.

## IV.4 Les éléments du système MARK VIe

### IV.4.1 Les contrôleurs

Le contrôleur Mark VIe est une seule carte qui exécute le code d'application. Le contrôleur communique avec les packs d'E/S via des interfaces réseau d'E/S embarquées. Le

système d'exploitation contrôleur (OS) est un système d'exploitation multitâche en temps réel conçu pour des applications industrielles à haute vitesse et à haute fiabilité [8].

Les contrôleurs sont désignés R, S et T dans un système TMR, R et S dans un système double et T dans un système unique. Chaque contrôleur possède un réseau d'E/S (IONet). Le contrôleur R envoie des sorties à un module E/S par l'intermédiaire du R IONet, le contrôleur S envoie des sorties par l'intermédiaire du S IONet et le contrôleur T envoie des sorties par l'intermédiaire du T IONet [8].

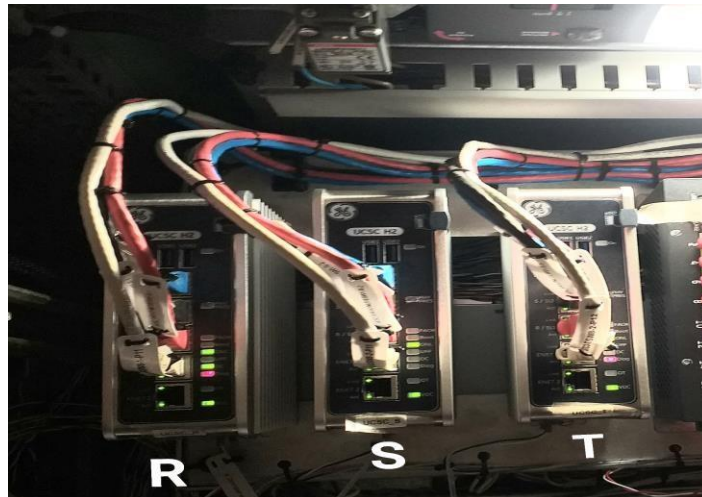
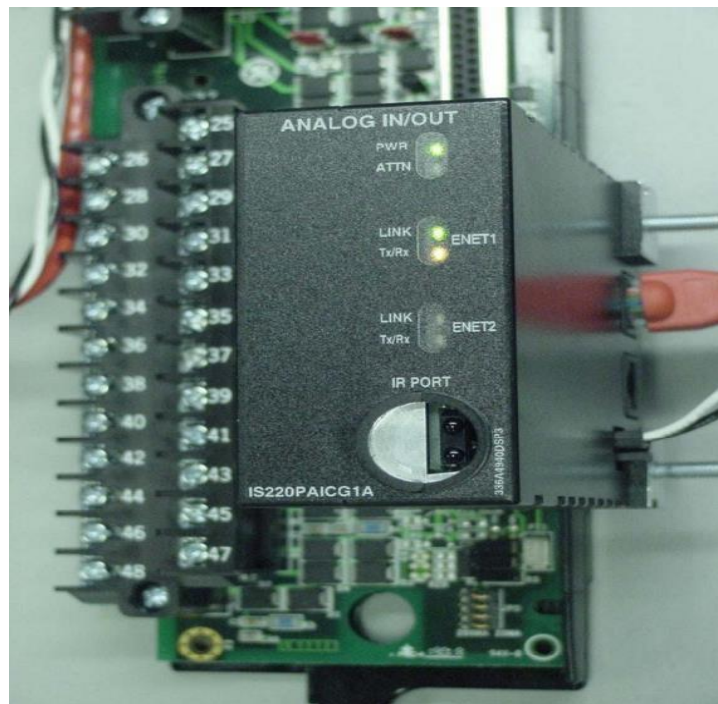


Figure IV-1: les contrôleurs R S T

#### IV.4.2 I/O Pack

Les packs d'E/S de Mark VIe disposent d'une carte processeur générique et d'une carte d'acquisition de données unique au type de périphérique connecté. Les packs d'E/S de chaque carte terminale numérisent le signal, exécutent des algorithmes et communiquent avec le contrôleur Mark VIe [8].

Le pack d'E/S offre une fonction de détection de défaillances en utilisant une combinaison de circuits spéciaux intégrés à la carte d'acquisition de données, ainsi que des logiciels fonctionnant sur la carte CPU, le statut de panne est transmis aux contrôleurs et utilisé par eux. Le pack d'E/S transmet les entrées et reçoit les sorties sur les deux interfaces réseau si elles sont connectées [8].



**Figure IV-2:** I/O Pack

### IV.4.3 Terminal board

Le terme "terminal board" fait référence à une carte à bornes spécifique intégrée dans le système. Cette carte à bornes est utilisée pour le raccordement des fils et des câbles nécessaires à l'interconnexion des différents modules du Mark VIe.

Le flux de signal commence par un capteur connecté à un bloc terminal sur une carte. Il existe deux types de blocs disponibles [16] :

- Les blocs terminaux de type T.
- Les blocs terminaux de type S.



Figure IV-4: bloc de type T



Figure IV-3: bloc de type S

#### IV.4.4 Source d'alimentation

La commande Mark VIe est conçue pour fonctionner sur une sélection flexible et modulaire de sources d'énergie. Les modules de distribution d'alimentation (PDM) prennent en charge des sources d'alimentation 115/230 Vca, 24 et 125 Vca dans de nombreuses combinaisons redondantes [8].

La puissance appliquée est convertie en 28 Vcc pour le fonctionnement des E/S packs, IONet switches, les blocs terminaux et les contrôleurs.

#### IV.4.5 Communication

##### IV.4.5.1 Réseau de contrôle UDH (Unit Data Highway)

L'UDH se connecte au contrôleur Mark VIe et communique avec l'HMI. Les données de commande UDH peuvent être répliquées sur trois contrôleurs. Le réseau UDH prend en charge le protocole Ethernet Global Data (EGD) pour la communication avec d'autres commandes Mark VIe, le système de contrôle de l'excitation [8].

##### IV.4.5.2 Réseau de supervision PDH (Plant data highway)

Le PDH optionnel connecte le serveur de données et la CIMPLICITY aux stations d'opérateurs distantes, imprimantes, Historians et les stations de supervisions clients. Il ne se connecte pas directement au contrôle Mark VIe [8].

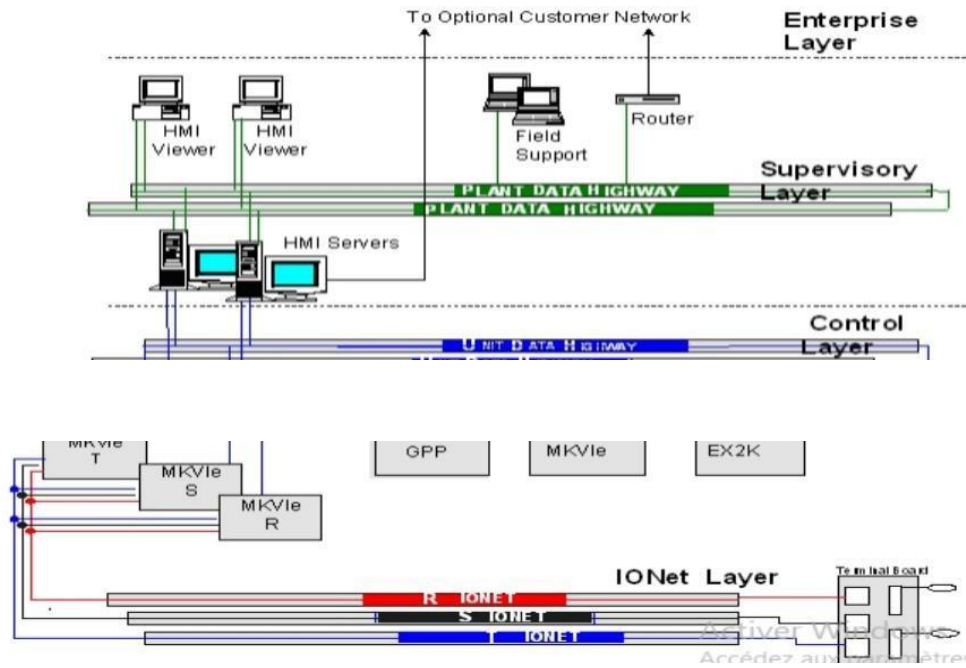


Figure IV-5: Réseaux de communication

IV.4.5.3 IONet switch

Il s'agit d'un réseau Ethernet ou la communication entre le contrôleur et les Packs d'E/S est effectuée avec l'IONet interne.



Figure IV-6: IONet switch

## IV.5 Lien vers le système de contrôle distribué (DCS)

Les liaisons de communication externe sont disponibles pour communiquer avec le système de régulation distribué, une liaison de communication peut être fournie à partir d'une HMI, ceci permet à l'opérateur DCS d'accéder aux données de la turbine en temps réel et permet de transmettre/recevoir des commandes et des feedbacks de la turbine.

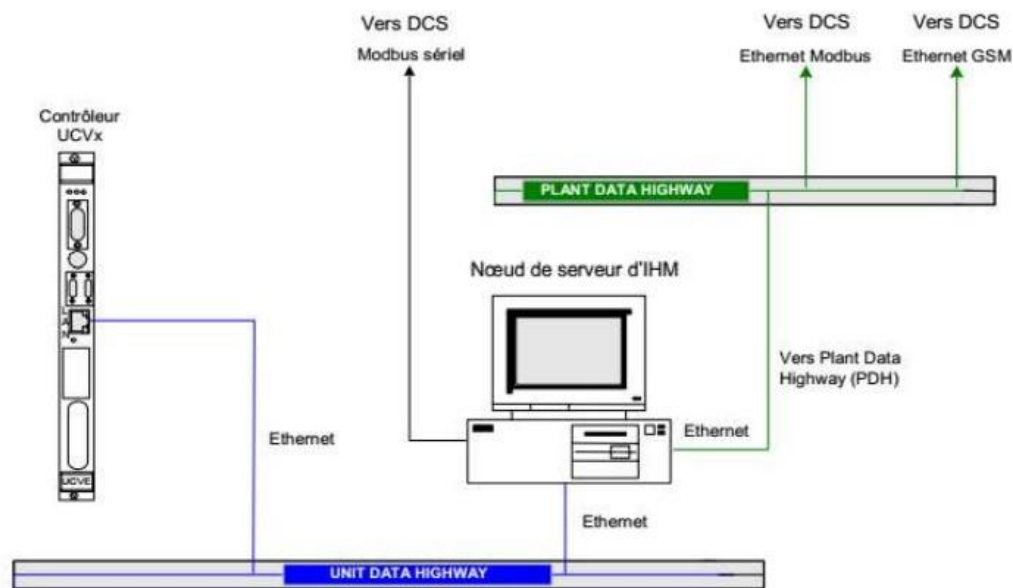


Figure IV-7: Communication du MARK VIe avec DCS.

## IV.6 Interface Homme/Machine (HMI)

Les HMI typiques sont des PC sur lesquels est installé un logiciel d'affichage de l'opérateur CIMPLICITY. L'opérateur initie les commandes depuis les affichages graphiques et peut visualiser les données et les alarmes de la turbine en temps réel sur les affichages graphiques CIMPLICITY. Les diagnostics détaillés E/S et la configuration du système sont réalisés à l'aide du logiciel (TOOLBOXST™) [9].

Les HMI sont connectées à un bus de données ou à des cartes d'interface de réseau redondantes pour une fiabilité augmentée [9].



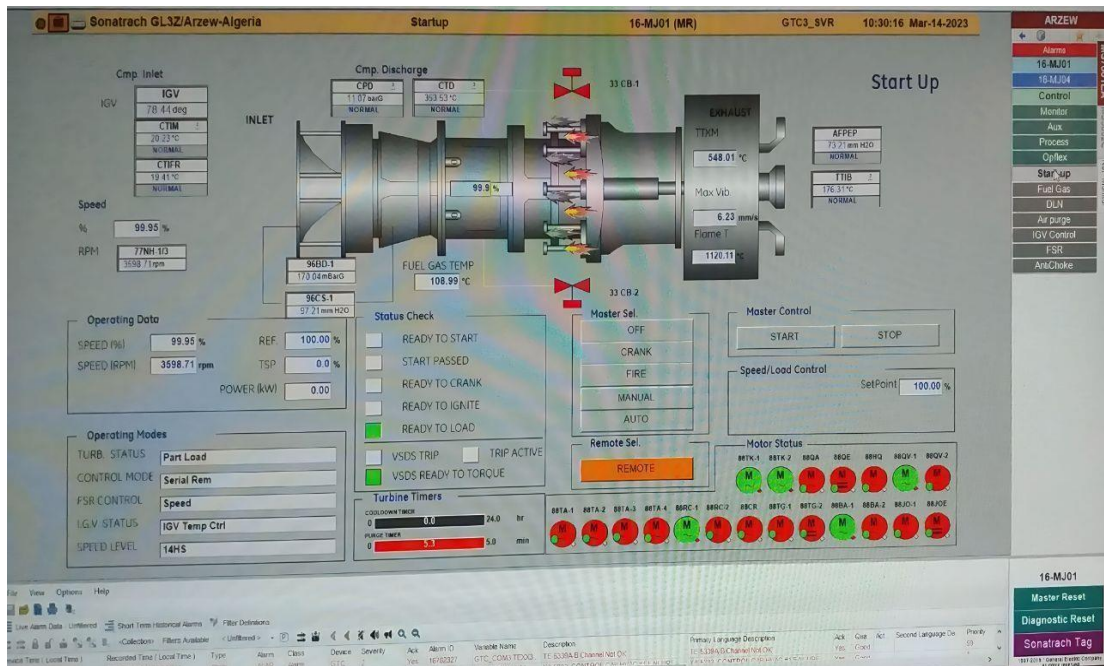


Figure IV-8: Interface graphique Homme/Machine

## IV.7 Application ToolboxST™

### IV.7.1 Définition

Le logiciel ToolboxST™ est un outil de configuration/programmation destiné pour la supervision et le contrôle des différents équipements, c'est un produit de « GE Control system solutions », utilisé pour d'autres applications tel que la configuration des Historians, analyse des trends et d'autre fichiers du système.

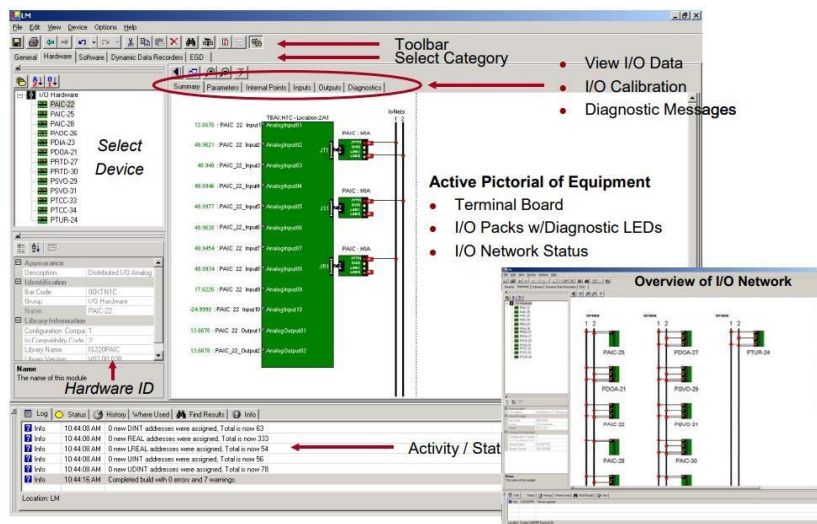


Figure IV-9: Software ToolboxST™

## IV.7.2 Le hardware

Le système MARK VIe est constitué de trois panneaux matériels distincts qui contiennent différents composants électroniques et logiciels pour permettre le fonctionnement du système.



**10AR04-UCP-12F-CP**

**LIOS**



**10AR04-UCP-13F-CP**

**TCP**



**10AR04-UCP-14F-CP**

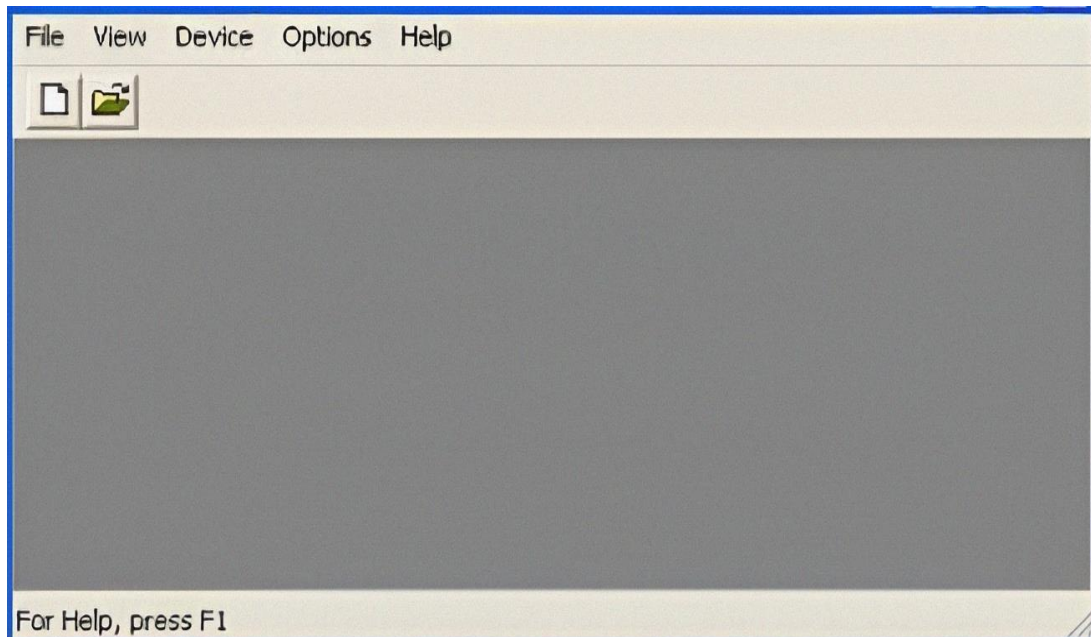
**HIOS**

**Figure IV-10: Le hardware**

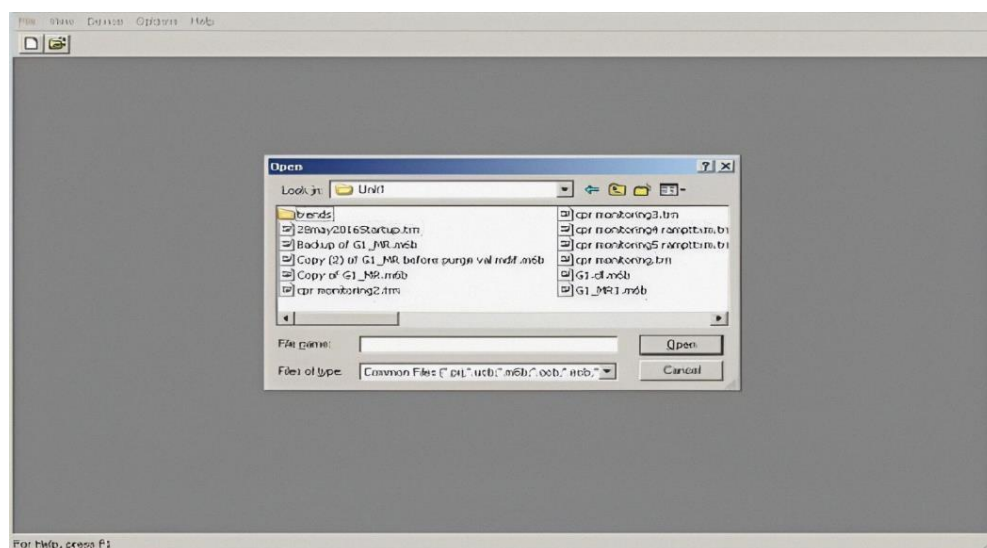
## IV.8 Accéder à un programme du turbocompresseur ou turbogénérateur

Pour avoir accès au programme auquel la turbine est soumise et observer toutes les séquences qu'elle traverse, il convient de procéder selon les étapes suivantes :

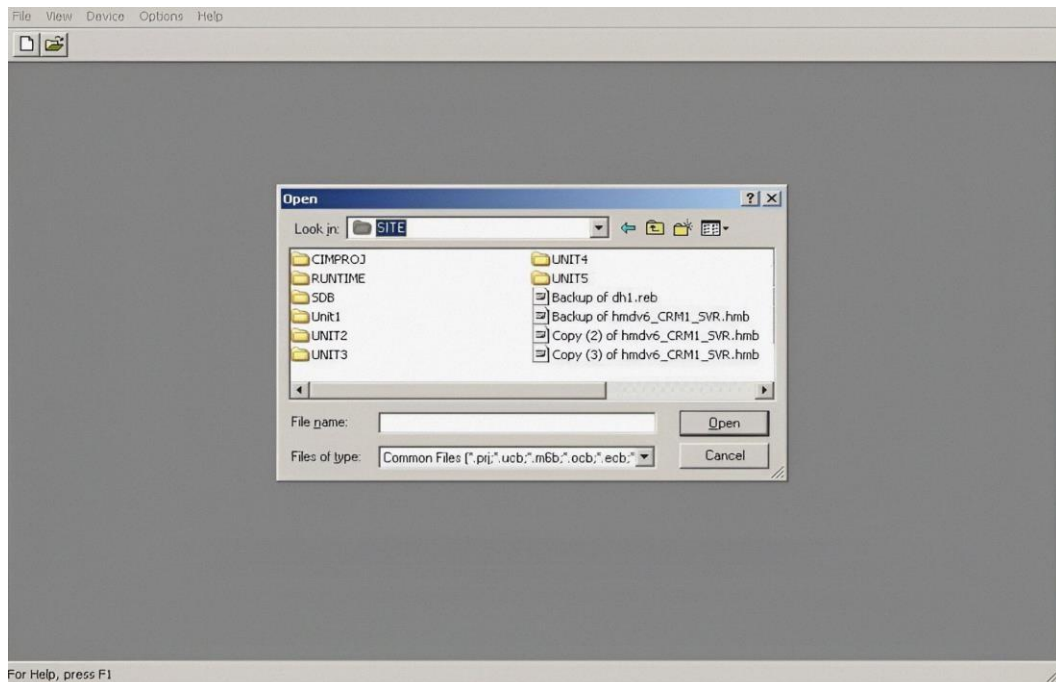
- On clique sur le bouton **Windows Start, Tous les programmes, GE Control Solutions, et Control System TOOLBOXST™.**



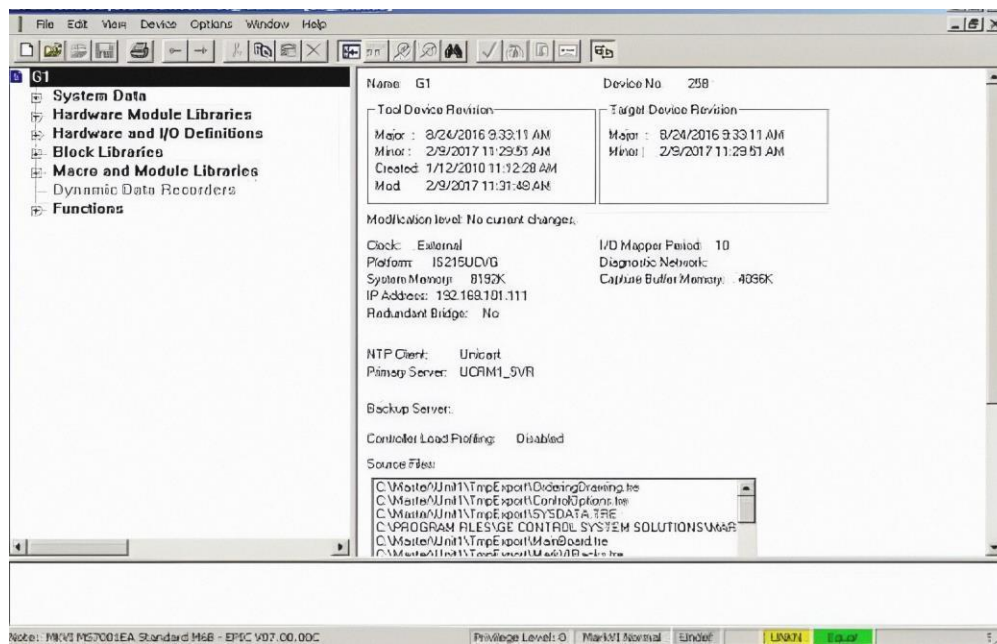
- On clique sur **File** puis sur **Open**, après on cherche le dossier site dans laquelle sont incluses les différentes unités.



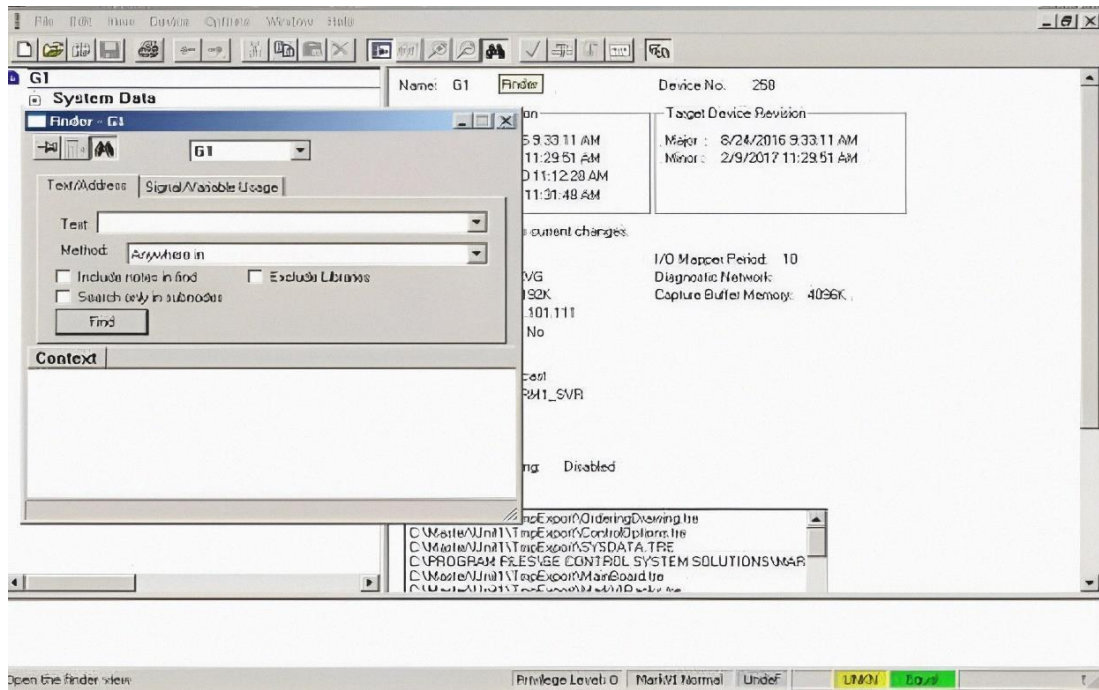
- Puis On clique sur **unit1** et on aura l'icône suivante :



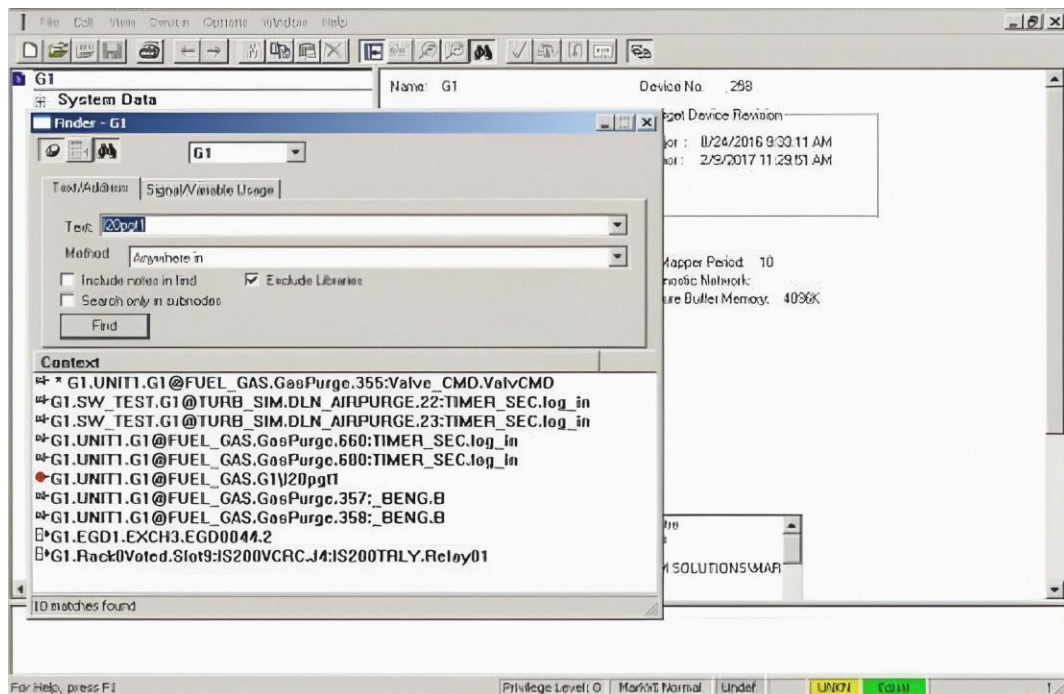
- On clique sur le fichier **G1\_MR.m6b**, une page suivante s'affiche :



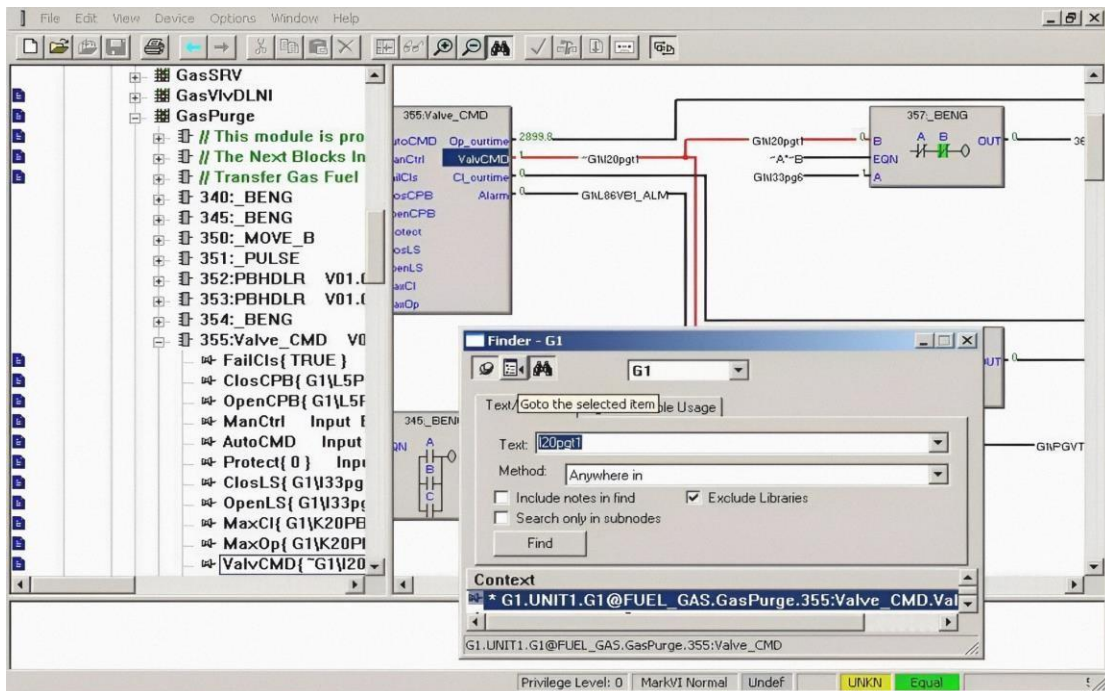
- En cliquant sur **Finder**, l'icône ci-dessous apparaît :



- Sur la zone **Texte**, on introduit la séquence qu'on veut visualiser, on coche **Exclude Libraries**, on clique sur **Find**, l'icône suivante s'affiche.



- On sélectionne la ligne correspondante au signal souhaité puis on clique sur **Go to the selected item**, notre séquence s'affiche dans la partie Vue sommaire [7]



## IV.9 L'affichage graphique sur HMI CIMPLICITY

Devant

la

situation actuelle et avant l'ajoute de bouton test air purge valve l'affichage graphique sur l'HMI CIMPLICITY se présente comme suit :

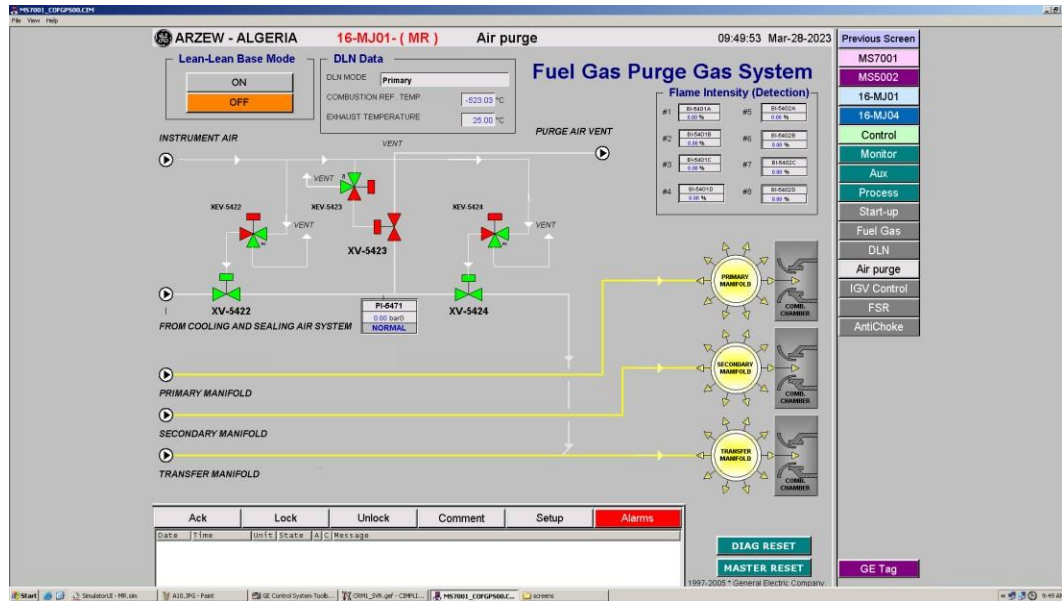


Figure IV-10-1: l’affichage sur HMI avant modification

## IV.10 Modèle sous Toolbox après les modifications

### IV.10.1 Le programme établi pour la vanne PR

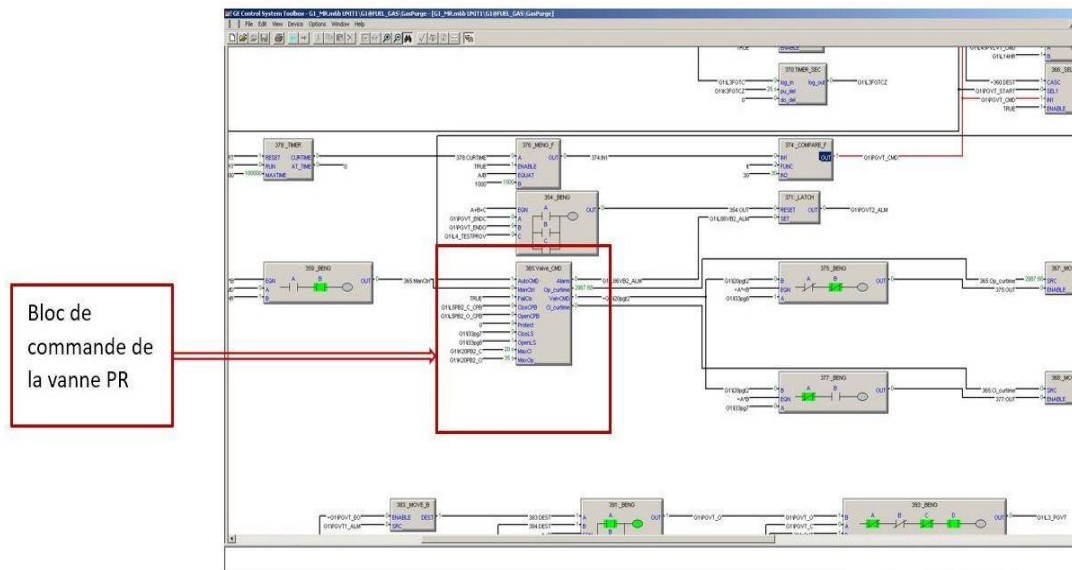
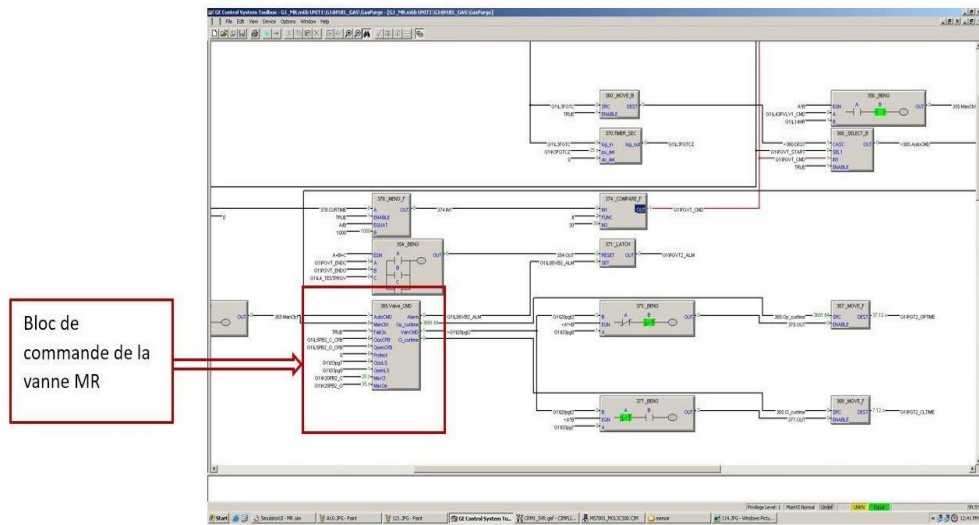


Figure IV-13 : programme établi pour la vanne PR

### IV.10.2 Le programme établi pour la vanne MR



FigureIV-14 : programme établi pour la vanne MR

### IV.10.3 Le programme de permissive de démarrage

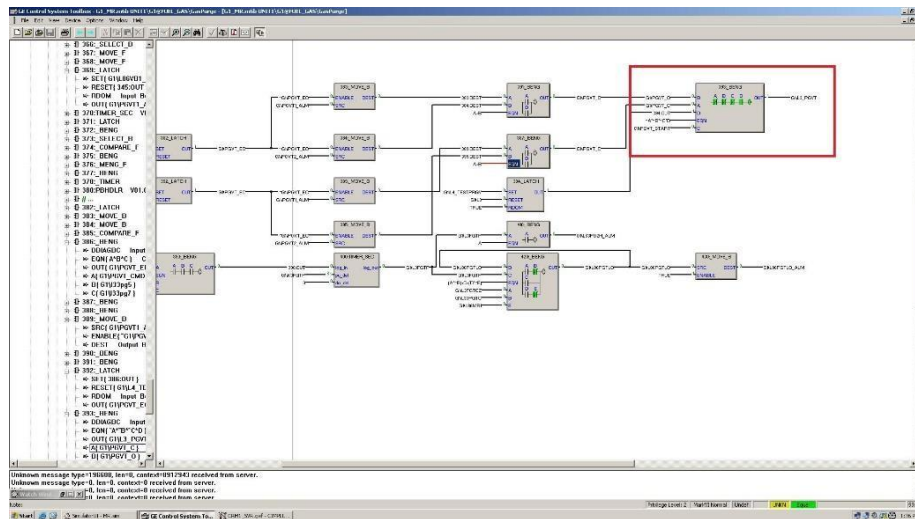


Figure IV-15 : Le programme de permissive de démarrage

## IV.11 Les résultats obtenus

Dans cette section on représente les résultats obtenus après les améliorations recommandées :



### IV.11.1 Pré-alarmes du temps d'ouverture/fermeture des vannes de purge

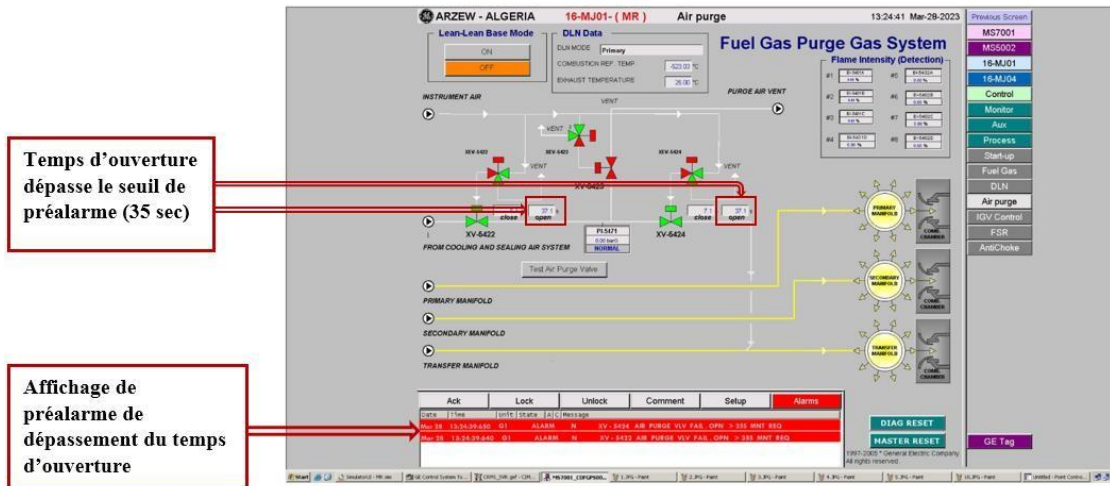


Figure IV-16 : Affichage de préalarme du tempo d'ouverture de la vanne

### IV.11.2 Test manuel des vannes de purge

Remarque : Ce test ne peut être effectué que si la machine est à l'arrêt.

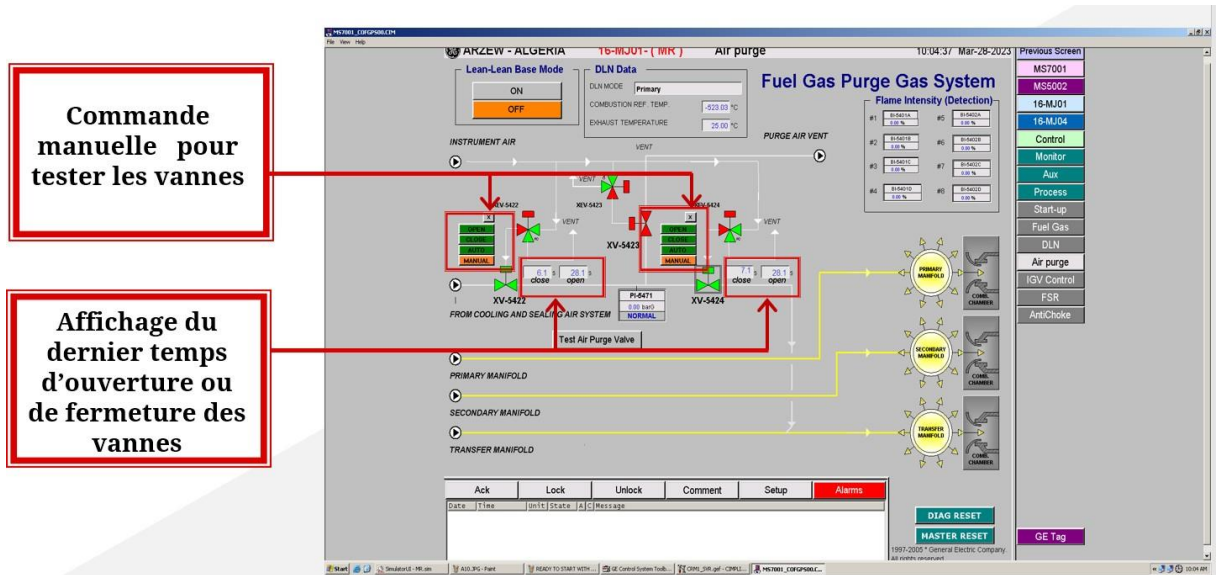
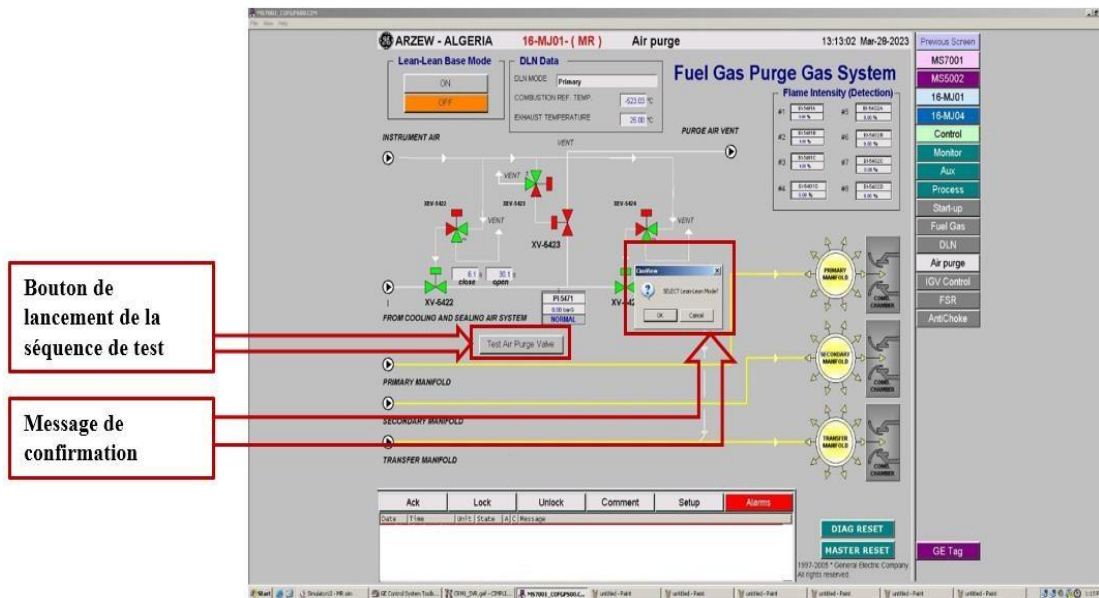


Figure IV-17 : les commandes manuelles des vannes et l'affichage du tempo

### IV.11.3 Séquence de test des vannes de purge ajoutée au permissives de démarrage

#### IV.11.3.1 Message de confirmation

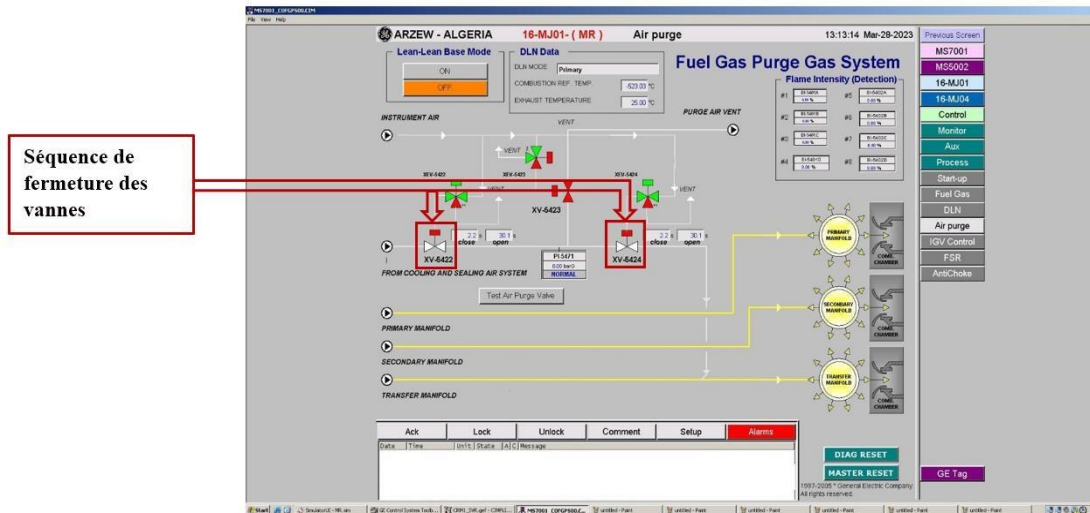
Après l'appuie sur le bouton de lancement de la séquence de test (Test Air Purge Valve) un message de confirmation sera affiché.



FigureIV-18 : Bouton de lancement de la séquence de test

#### IV.11.3.2 Séquence de fermeture

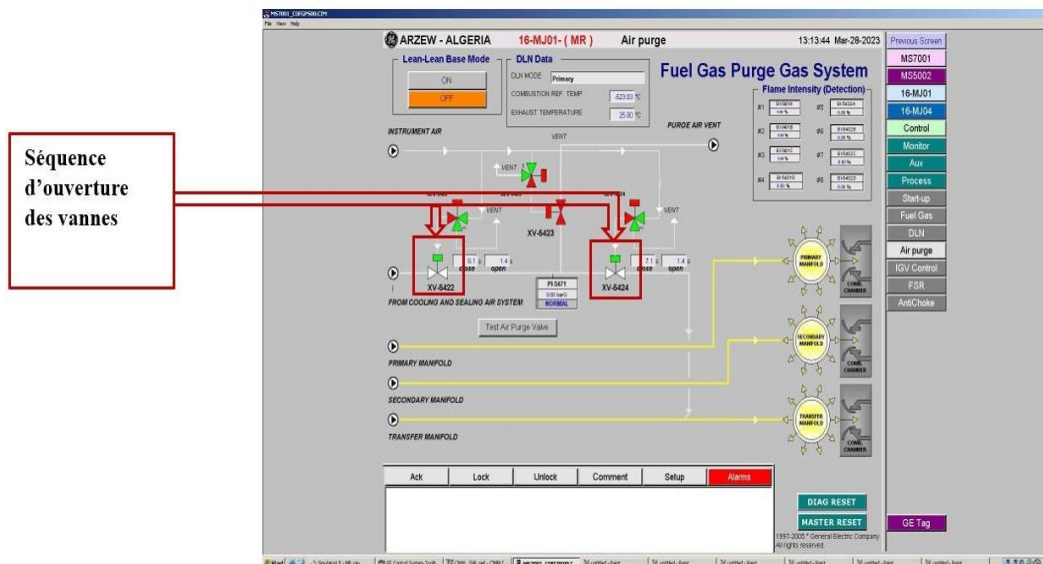
Une fois que le test des vannes est lancé, les deux vannes de purge qui étaient ouvertes au départ seront fermées, et le temps de fermeture sera affiché. Ce dernier sera ensuite comparé au seuil d'alarme de fermeture, qui est de 20 secondes.



FigureIV-19 : Séquence de fermeture des vannes

### IV.11.3.3 Séquence d'ouverture

Après l'ouverture des deux vannes, le temps d'ouverture sera indiqué, puis comparé au seuil d'alarme d'ouverture de 35 secondes.



FigureIV-20 : séquence d'ouverture des vannes

En cas de dépassement du délai d'ouverture ou de fermeture cette séquence ne donnera pas la permissive de démarrage de la machine et l'exploitant doit lancer une action de maintenance pour remédier à ce problème.

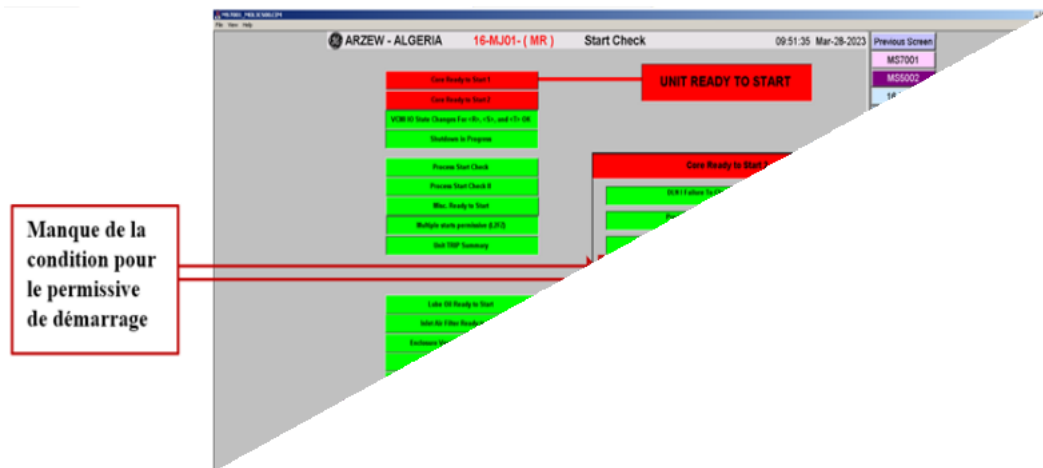


Figure IV-21 : Permissive de démarrage sans test

Si le délai d'ouverture ou de fermeture est respecté, cette séquence permettra le démarrage de la machine.

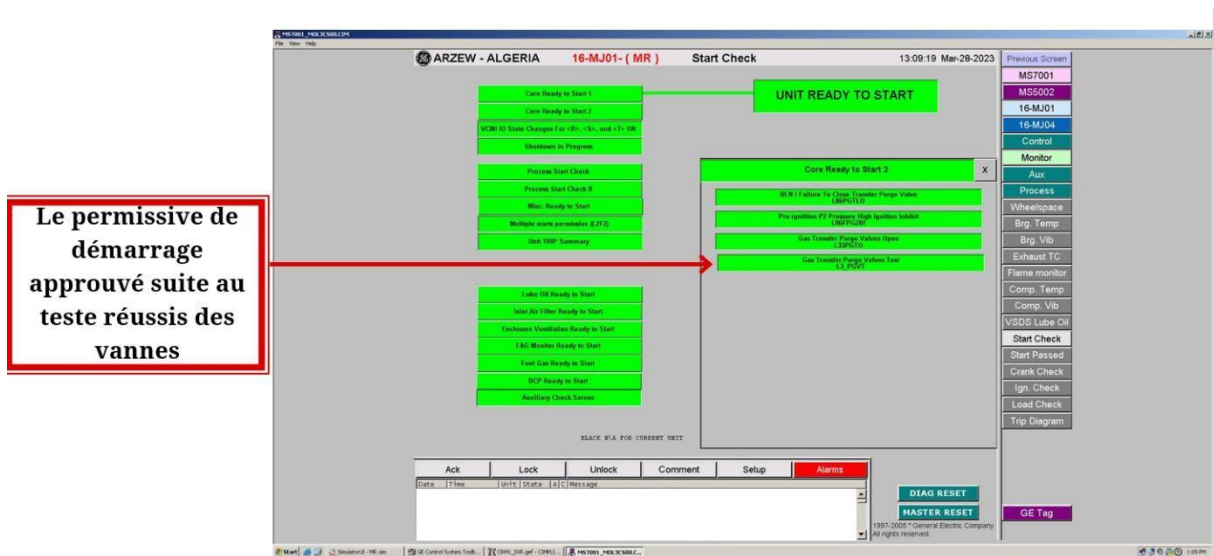


Figure IV-22 : Permissive de démarrage avec le test

**Remarque :** La réalisation de ce test n'est possible que lorsque la machine est à l'arrêt.

## IV.12 Conclusion

Le système MARK VIe de General Electric optimise les performances et la fiabilité des turbocompresseurs grâce à un contrôle précis, une surveillance proactive et des recommandations de maintenance. Utilisant le simulateur de MARK VIe, il permet de prendre des décisions éclairées pour améliorer les performances et réduire les risques de défaillances

Les modifications apportées présentent plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, elles permettent d'avertir l'exploitant par des préalarmes lorsque le délai d'ouverture/fermeture des vannes approche du seuil de déclenchement. Cela garantit une meilleure gestion du processus et réduit les risques d'incidents ou d'accidents.

De plus, les modifications garantissent une surveillance permanente de l'état de fonctionnement des vannes grâce à l'affichage du dernier temps d'ouverture/fermeture. Cela permet à l'exploitant de prendre des décisions éclairées en temps réel.

Elles offrent également la possibilité à l'exploitant de manipuler les vannes depuis la HMI (interface homme-machine) lorsque la machine est à l'arrêt, ce qui renforce la sécurité et la flexibilité du processus.

Enfin, l'intégration de la séquence de test des vannes dans les permissives de démarrage assure un démarrage de la machine dans de bonnes conditions, ce qui permet de réduire les temps d'arrêt et d'améliorer l'efficacité globale du processus.

## **V. Conclusion générale**

## Conclusion générale

En conclusion, l'ensemble des chapitres examine de manière approfondie différents aspects du complexe industriel, de la turbine à gaz et des systèmes associés. Chaque chapitre fournit des informations détaillées, des analyses et des recommandations qui contribuent à une compréhension globale et approfondie de ces systèmes.

Le premier chapitre présente une vue d'ensemble du complexe industriel, mettant en évidence son emplacement stratégique, sa capacité de production et sa structure organisationnelle. Cela permet de comprendre les objectifs principaux du complexe et son impact potentiel sur le marché.

Le deuxième chapitre se concentre sur la turbine à gaz, en décrivant en détail sa conception, son fonctionnement et ses principaux éléments. Il explore également les systèmes auxiliaires qui accompagnent la turbine, offrant ainsi une connaissance approfondie de son rôle dans le processus de production.

Le troisième chapitre approfondit l'étude du système DLN 1, en examinant sa description, ses différentes parties et ses modes de fonctionnement. Il met également l'accent sur le rôle crucial des vannes de purge, les déclenchements passés et les solutions recommandées. Ce chapitre permet de comprendre l'importance du système DLN 1 dans la réduction des émissions polluantes et l'amélioration des performances des turbines à gaz.

Le dernier chapitre présente le système MARK VIe, en mettant en évidence ses composantes clés et son rôle dans l'optimisation des performances et de la fiabilité des turbocompresseurs. Il souligne les avantages des modifications apportées, tels que le contrôle précis, la surveillance proactive et les recommandations de maintenance pour assurer un fonctionnement optimal. Il met également en évidence l'intégration de la séquence de test des vannes dans les permissives de démarrage, ce qui permet de réduire les temps d'arrêt et d'améliorer l'efficacité globale du processus.

En combinant les connaissances acquises dans ces chapitres, les professionnels de l'industrie disposent d'une base solide pour prendre des décisions éclairées, améliorer les performances, réduire les risques et promouvoir la durabilité environnementale. L'étude approfondie de ces systèmes contribue à une meilleure compréhension des processus industriels, favorisant ainsi l'efficacité, la fiabilité et la durabilité des opérations.

## **VI. Bibliographie**

---



## Bibliographie

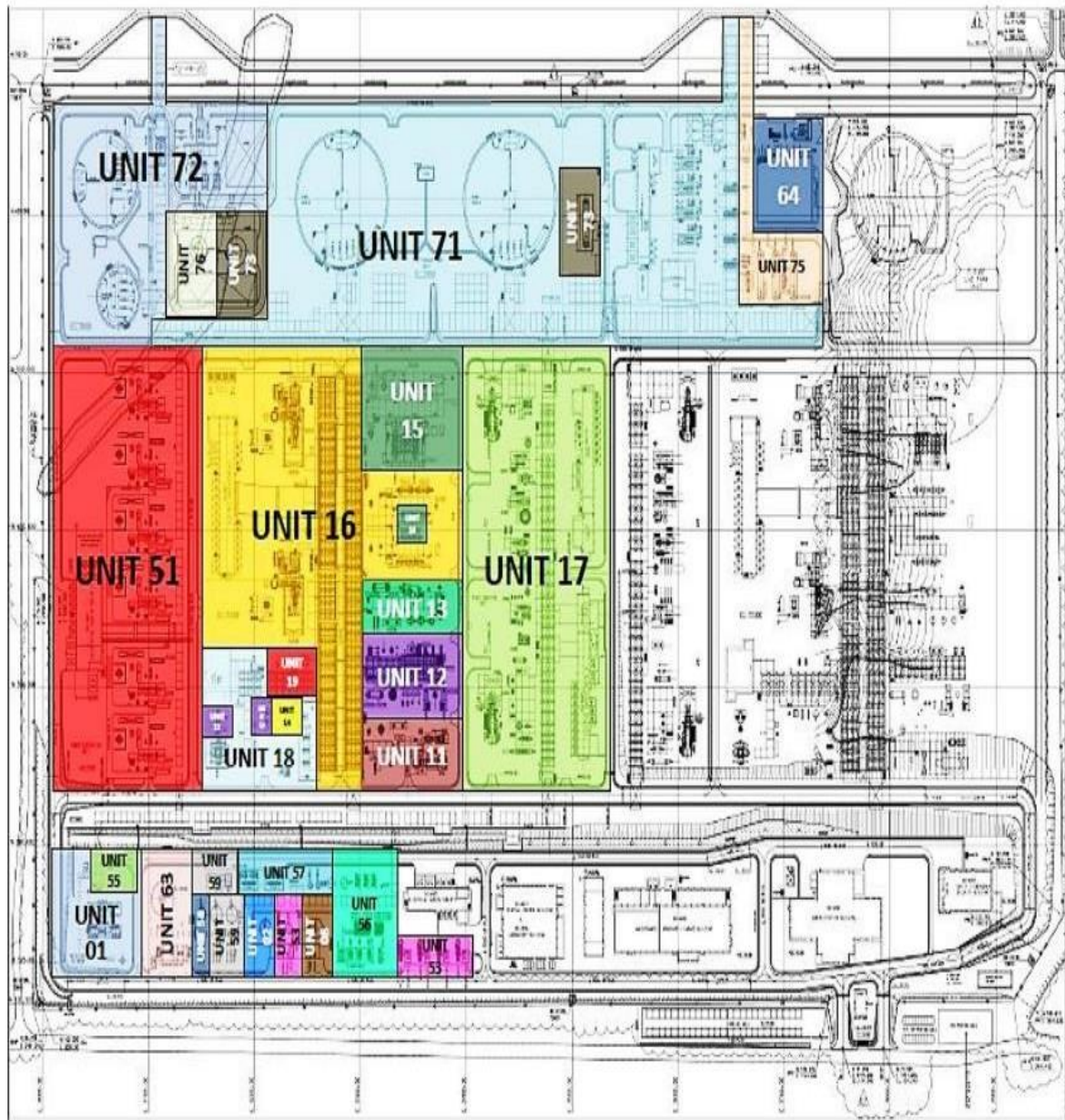
- [1] “BENHAOUZI Sidi Med El moussaddek” [DESCRIPTION DU SYSTEME DE FONCTIONNEMENT DU SECHEUR D’AIR] Ecole d’ARZEW Département Génie Electrique et Instrumentation, 2014-2015.
- [2] “ DJENDIR Hicham” [Description du système NOVEC de la sous station 7] Ecole d’ARZEW  
Département Génie Electrique et Instrumentation, rapport.
- [3] “ BOUKHATEB Abdelkader [description de la boucle De régulation 12lic0015-12fic0008] Ecole d’ARZEW Département Génie Electrique et Instrumentation 2014-2015.
- [4] “ MAHDJOURI Abderrahmane MERZOUK Mohamed ”[Détermination des paramètres énergétiques de la turbine à gaz pgt25 DLE (lm2500) pour simuler numériquement la propagation des fissures d’aube] université de saad dahlab blida institut d’aéronautique et des études spatiales ; 2017.
- [5] “ NESRAOUI Ilias ” [analyse et simulation de refroidissement des aubes d'une turbine a gaz] université kasdi merbah Ouargla Faculté des hydrocarbures énergies renouvelables et science de la terre et de l’univers ; 23 / 05 / 2016.
- [6] “M YOUNI Youcef ; M KOUADRIA Mohamed Elbachir” [Optimisation du fonctionnement du système de purge d’air des machines GE /NP à DLN 1] INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE Boumerdes avril 2015.
- [7] “GE Oil & Gas and Nuovo Pignone”, [Manuel de mise en marche de la Turbine à Gaz, NUOVO PIGNONE., vol. 1, 2 vols] SKIKDA - ALGERIE.
- [8] “HERRADI Mohammed nadir” [MIGRATION DU SYSTEME DE CONTROLE DE LA TURBINE A GAZ GE/NP MARK VI AU SYSTEME MARK VIe AU NIVEAU DU COMPLEXE GL3/Z] DIRECTION INSTITUT ALGERIEN DU PETROLE Direction Ecole de Boumerdes Département pédagogique TMI ; Avril 2018.
- [9] “ I. E. Khechana and K. Lebsaira” [Etude, modélisation et supervision de la séquence de start up d’un Turbocompresseur Heavy Duty 5002C dans le champ Siemens] université Mohamed Khider, Biskra, 2012.
- [10] “Davis L.B and Black S.H” [Dry Low NOx Combustion Systems for GE Heavy-Duty Gas Turbines] p. 26.
-

- [11] “I. Summerside, N. Demougeot, and J. A. Benoit” [LOW EMISSIONS COMBUSTION SYSTEM RETROFITS FOR MATURE FRAME GAS TURBINE POWER PLANTS]2015.
- [12] “Jean-Louis Vignolo ” [formation DLN 1 – Fonctionnement] GE Energy Products – Europe ; 11/10/99.
- [13] “Organigramme (logique et informatique).” [Online]. Available : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Organigramme\\_\(logique\\_et\\_informatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Organigramme_(logique_et_informatique)).
- [14] “GE” [Guide du système de commande Mark VI, Volume I].
- [15] “GE Energy” [ DLN 1 System Operation (Mechanical Drive)]; GEK 111448 April 2006.
- [16] [Mark\* VIe Control Product Description]GE Energy ; 2003 – 2007.
- [17] “GE”, [Toolbox du Système de Commande pour un contrôleur de la turbine Mark VI Volume 2].
-

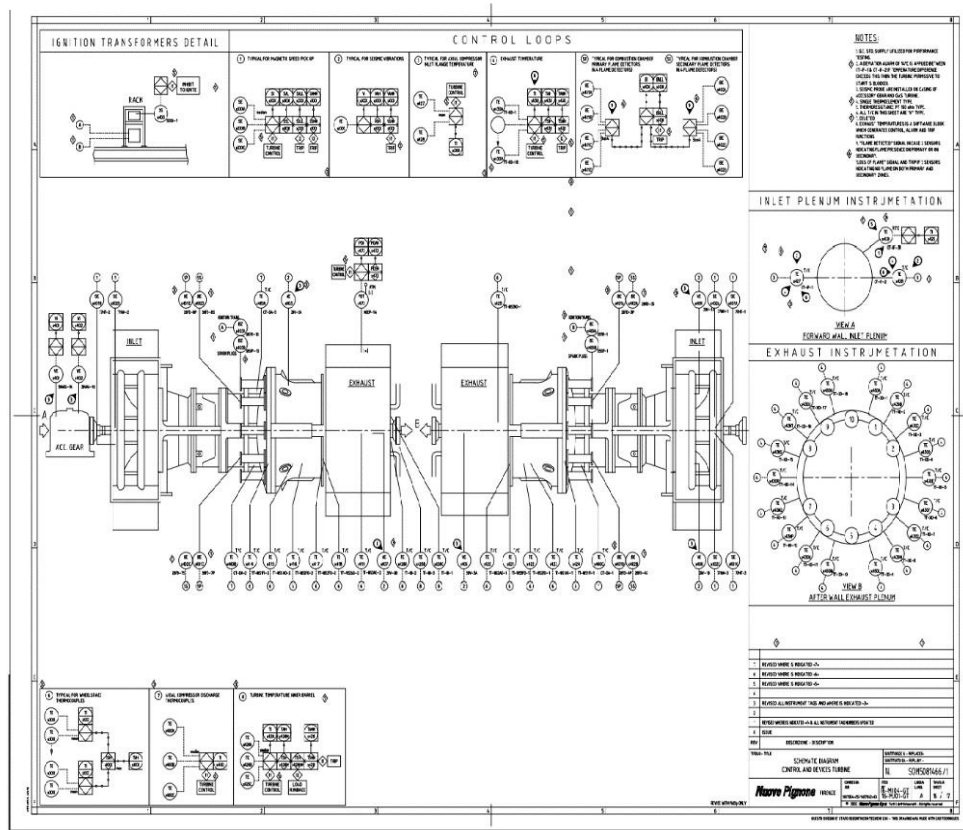
**VII.**

**Annexes**

## Annexe A : Emplacement des unités dans le complexe GL3\Z.



# Annexe B : Description générale de la turbine à gaz.



Annexe C : Diagramme schématique purge d'air et gaz combustible DLN 1

