الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــي والبـــحـــــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Etude de dangers au niveau de la centrale électrique

Présenté et soutenu publiquement par :

Koummich Abdelnour & Kourdourli Mohammed Tadj Eddin

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
SEGUENI Fouzia	MCA	IMSI	**Président**
TAHRAOUI Mohamed	MAA	IMSI	**Encadrant**
LALAOUI Mohamed	MCB	IMSI	**Examinateur**

Année 2025/2026

RESUME :

Au cours des dernières décennies, les risques industriels ont représenté un défi critique pour le contrôle total du système de sécurité professionnelle. Les risques opérationnels et mécaniques figurent en tête de ces menaces, en raison de leur impact direct et majeur sur la sécurité des travailleurs et des équipements dans le secteur de l'énergie.Cette recherche se base sur l'évaluation des risques opérationnels et la garantie de la sécurité des équipements et des systèmes vitaux au niveau de la centrale électrique de Mostaganem, étant donné qu'ils constituent le cœur essentiel de l'installation. Cette étude s'est appuyée sur l'application de méthodes et d'approches scientifiques et structurées d'analyse des risques afin d'explorer les déviations opérationnelles potentielles. Ce travail vise à approfondir la compréhension des personnes concernées quant à la nature des risques latents et de leurs impacts, et à identifier les causes profondes pouvant mener à des accidents ou des pannes dans le système, dans le but de formuler les meilleurs moyens de prévention et de mesures correctives pour éviter ces risques ou en atténuer les effets

Mots clés : risque industriel, danger, turbine.

ABSTRACT:

Over the past decades, industrial risks have posed a critical challenge to achieving full control over the occupational safety system. Operational and mechanical risks are at the forefront of these threats due to their direct and severe impact on the safety of workers and equipment in the energy sector.

This research focuses on evaluating operational risks and ensuring the safety of vital equipment and systems at the Mostaganem power plant, considering them the core backbone of the facility. This study relied on applying structured and scientific risk analysis methods to explore potential operational deviations. This work aims to deepen the understanding of the personnel involved regarding the nature and impacts of latent risks, and to identify the root causes that could lead to accidents or system failures, with the ultimate goal of formulating the best preventive measures and corrective actions to avoid these risks or mitigate their effects.

Keywords: Industrial risk, hazard, turbine.

ملخص:

شكلت المخاطر الصناعية خلال العقود الماضية تحدياً حرجاً أمام تحقيق التحكم الكامل في منظومة السلامة المهنية، وتأتي المخاطر التشغيلية والميكانيكية في مقدمة هذه التهديدات لما لها من تأثير مباشر وجسيم على سلامة العمال والمعدات في قطاع الطاقة. يرتكز هذا البحث على تقييم المخاطر التشغيلية وضمان سلامة المعدات والأنظمة الحيوية على مستوى محطة توليد الكهرباء بمستغانم، وذلك باعتبارها العصب الأساسي للمنشأة. وقد تم الاعتماد في هذه الدراسة على تطبيق طرق وأساليب علمية منظمة لتحليل المخاطر لاستكشاف الانحرافات التشغيلية المحتملة. يهدف هذا العمل إلى تعميق فهم الأفراد المعنيين بطبيعة المخاطر الكامنة وتأثيراتها، وتحديد الأسباب الجذرية التي قد تؤدي إلى حوادث أو أعطال في المنظومة، وذلك بهدف صياغة أفضل وسائل الوقاية والتدابير التصحيحية لتجنب هذه المخاطر أو الحد منها.

الكلمات المفتاحية: مخاطر صناعية، خطر، توربين.

REMERCIMENT

Nous remercions tout d’abord "Allah" pour nous avoir donné la force et la volonté d’élaborer ce modeste travail.
Nos remerciements spéciaux et chaleureux à nos parents qui nous ont donné tout l’encouragement et tous les moyens pendant toute la durée de nos études.
Nous voulons exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. Tahraoui pour son encadrement, son soutien, ses remarques pertinentes et ses conseils judicieux qui nous ont apportés et sans oublier son encouragement et son aide précieux pour finaliser notre travail (Projet de fin d’étude).
Nos remerciements s’adressent à toutes les personnes qui ont contribuées de prés ou de loin à la réalisation de ce projet.
Nous remercions aussi tous les enseignants du département de Hygiène et sécurité industrielle pour l’enseignement qu’ils nous ont inculqué au cours de notre cursus universitaire.

DEDICACE

Merci À Allah, Le tout-puissant, qui m’a guidé et donné la force d’accomplir ce travail.
À ma mère et à mon père, mes premiers soutiens, mes modèles de courage et d’amour. Que ce travail soit une modeste reconnaissance de tous vos sacrifices.
À mes frères, pour leur encouragement constant et leur présence à chaque étape de ma vie.
À mes grands-parents, sources de sagesse et de tendresse, que ce mémoire honore votre mémoire.
À mes encadreurs d’usine, Tarik, Zino et Nadir, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et sa confiance.
À l’équipe de Sonelgaz et GE, pour son aide et sa bonne humeur tout au long du stage.
À mon binôme Abdelnour, pour notre collaboration solide, notre complémentarité et notre amitié.
Merci à tous. Ce mémoire est aussi le vôtre.

MOHAMMED TADJ EDDINE

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

Aux personnes qui sont les plus chères à mon cœur. A mes chers parents; que dieu les garde et les préserve

A mes chers frères

A toute ma grande famille

A mes chers amis

A mon binôme MOHAMMED TADJ EDDINE

A toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à la réalisation de ce travail.

ABDELNOUR

SOMMAIRE

REMERCIMENT iii
DEDICACE iv
SOMMAIRE vi
LISTE DES FIGURES ix
LISTE DES TABLEAUX x
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE I : ***Présentation générale de la centrale*** 2
1. Introduction 3
2. Présentation de la central électrique 3
3. Rôle de la centrale électrique 5
4. Alimentation de la centrale 5
4.1. Alimentation en gaz: 5
4.2. Alimentation en eau de mer 5
4.3. Alimentation en l'électricité 5
5. Les composants principaux de la centrale électrique 6
5.1. Turbine à gaz 6
5.2. Turbine à vapeur 7
5.3. Chaudière de récupération 9
5.4. Alternateur 10
5.5. Transformateur principal 10
6. Cycle eau vapeur 11
7. Alimentation en combustible 13
7.1 Alimentation en gaz 13
7.2. Alimentation en gasoil 13
8. Les auxiliaires de la centrale électrique 14
8.1. Station de pompage d'eau de mer 14
8.2. Station de dessalement 15
8.3. Station de déminéralisation 15
8.4. Station d'électrochloration 16
8.5. Production de l'hydrogène 16
8.6. Distribution électrique 16
9. Système de refroidissement 18
10. Traitement des rejets de la centrale 18
11. Conclusion 18
CHAPITRE II : ***Les risques dans la centrale électrique*** 20

1. Introduction 21
2. Les types de risques dans la centrale 21
2.1. Risque d'incendie 21
2.2. Risque d'explosion 23
2.3. Risque de bruit 24
2.4. Risque d'asphyxie 24
2.5. Risque de chute 26
2.6. Risque liée au véhicule 27
3. Conclusion 29
CHAPITRE III : *Les risques d'origine électrique* 30
1. Définition 31
2. La nature des accident 31
3. Les effets du courant électrique 31
3.1. sur le cops humain 31
3.2. sur l'environnement 31
4. Les facteurs aggravants 31
5. Electrisation 32
5.1. Définition 32
5.2. Formes d'électrisation 32
6. Electrocution 33
6.1. Définition 33
7. Les domaines de tension 34
8. Les mesures de prévention et de protection de risque électrique 34
8.1. Le choix, l'emploi et l'entretien du matériel de protection et de l'outillage spécifique 34
8.2. Equipement de protection individuelle 38
8.3. Matériel de protection collectif 42
CHAPITRE IV : L'application de la méthode HAZOP 45
1. Introduction 46
2. Système étudié 46
3. Mise en œuvre de la méthode HAZOP 46
3.1. Liste des nœuds 46
3.2. Les tableaux HAZOP 46
4. Interprétation 56
5. Classement des nœuds par niveau de criticité 58
6. Analyse des causes fondamentales 59
7. Recommandations générales 60
8. Conclusion 61
CONCLUSION GENERALE 62

BIBLIOGRAPHIE 63

LISTE DES FIGURES

Figure1.1 : *La centrale électrique* 3
Figure1.2 :*Situation géographique de la centrale* 4
Figure1.3 :*La turbine à gaz* 7
Figure1.4 :*La turbine à vapeur* 9
Figure1.5 : *Alternateur* 10
Figure1.6 : *Transformateur électrique* 11
Figure1.7 : *Condenseur* 12
Figure1.8 : *Poste de gaz* 13
Figure1.9 : *Station de pompage* 14
Figure1.10 : *Transformateur d'alimentation de bloc* 17
Figure1.11 : *Incendie dans un transformateur* 22
Figure1.12 : *Espace confiné* 25
Figure1.13 : *Travail en hauteur* 26
Figure1.14 : *Pont roulant* 27
Figure1.15 : *La nacelle* 28
Figure1.16 : *Collision avec un travailleur* 28
Figure1.17 : *Collision entre deux voitures* 29
Figure3.18 : *Les différentes façons d'électrisation avec des contacts directs* 32
Figure3.19 : *Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects* 33
Figure3.20 : *Risque d'électrocution* 33
Figure3.21 : *Effets des accidents électriques selon le domaine de tension* 34
Figure3.22 : *Sectionneur haute tension* 35
Figure3.23 : *Interrupteur haute tension* 35
Figure3.24 : *Disjoncteur Haute tension* 36
Figure3.25 : *Contacteur haute tension* 36
Figure3.26 : *Coupe-circuits à fusibles haute tension* 37
Figure3.27 : *Relais de protection* 38
Figure3.28 : *Casque isolant* 38
Figure3.29 : *Les gants isolants* 39
Figure3.30 : *Lunette et visière anti UV* 39
Figure3.31 : *Chaussures à semelle isolante* 40
Figure3.32 : *Vêtement de protection isolant* 40
Figure3.33 : *Harnais de sécurité* 41
Figure3.34 : *Ligne de vie* 41
Figure3.35 : *Grimpettes* 42
Figure3.36 : *vérificateur d'absence de tension* 42
Figure3.37 : *Perche isolante* 43
Figure3.38 : *Coffret électro secours* 43
Figure3.39 : *Tapis et tabouret isolant* 44
Figure3.40 : *Dispositif de mise à la terre et court-circuit* 44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV.1 Légende du tableau 1 ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau4.2 : *La méthode HAZOP* 49
Tableau4.3 : *La méthode HAZOP* 50
Tableau4.4 : *La méthode HAZOP* 53
Tableau4.5 :*La méthode HAZOP* 55

INTRODUCTION GENERALE

nos jours, l'énergie électrique est devenue une nécessité indispensable et la vie sans elle ne peut être vécue. Cette énergie constitue le moteur invisible du développement socio-
économique moderne. Face à une demande nationale en constante augmentation, l'Algérie
a engagé de vastes programmes de modernisation de son infrastructure énergétique.
Dans le cadre d'une démarche préventive, l'élimination des causes des accidents
doit être un objectif majeur dans un milieu de travail. Pour atteindre cet objectif, l'enquête et
l'analyse des accidents par des méthodes adéquates sont des activités importantes à réaliser car elles permettent d'identifier les causes des événements accidentels et de recommander des mesures correctives pour les éliminer ou les contrôler à la source.
Objectif de la recherche
Le travail présenté dans ce mémoire a pour objectif de maîtriser les risques opérationnels. L'amélioration de la prévention contre ces risques augmente le niveau de la sécurité dans l'industrie.
organisation de la mémoire:
Pour atteindre l'objectif de ce mémoire qui est l'amélioration de la prévention contre les risques électriques et le choix des appareils de protection, notre mémoire s'articule autour des chapitres suivant :

- Chapitre 1 : intitulé " Présentation générale de la centrale électrique"
- Chapitre 2 : intitulé " Les risques dans la central électrique"
- Chapitre 3 : intitulé " Les risques d'origine électrique"
- Chapitre 4 : intitulé "L'application de la méthode HAZOP"

CHAPITRE I : *Présentation générale de la centrale*

1. Introduction

Les centrales électriques sont des installations très importantes et assez complexes. Elles jouent un rôle essentiel dans le développement industriel et social des sociétés modernes. Ces centrales fonctionnent comme de grands systèmes qui transforment l'énergie : elles utilisent des connaissances en ingénierie mécanique, électrique et électronique pour produire un courant électrique stable à partir de différentes sources d'énergie.

Pour que ce fonctionnement continue correctement, il ne suffit pas d'avoir un bon design. Il faut aussi bien gérer les conditions de fonctionnement afin de garder le système dans des limites de sécurité acceptables, surtout à cause du coût élevé de ces installations et de leur importance pour le service public.

Ces activités présentent aussi des défis techniques et de sécurité, car elles impliquent de grandes quantités d'énergie et des conditions parfois difficiles. C'est pourquoi la gestion des risques industriels est une partie essentielle du processus. Assurer la sécurité des personnes et des installations demande une bonne compréhension des interactions entre les différents systèmes. Ainsi, prévenir les accidents et garantir la continuité du service sont des éléments clés pour le succès et la durabilité de ces grandes centrales.

2. Présentation de la central électrique



Figure1.1 : *La centrale électrique*

La centrale électrique appelée Sonaghter est une société de production d'électricité détenue à 100 % par Sonelgaz.

La centrale électrique Sonaghter est située dans la partie ouest de l'Algérie, à la commune Ben Abdelmalek Ramadan à 10 km à l'est de Mostaganem et elle couvre une superficie de 40 hectares.



Figure1.2 :*Situation géographique de la centrale*

Le projet de réalisation de la centrale a été lancé en 2014, marquant le début d'une série d'étapes d'infrastructure majeures, notamment le revêtement et le renforcement du sol réalisés entre 2015 et 2017 par les entreprises INERGA, KELLER. Après l'achèvement des fondations en béton des équipements en 2019, la phase de montage et de mise en service des turbines à gaz a été conduite par SAMSUNG C&T entre 2021 et 2024. Actuellement, la centrale est exploitée en Cycle Ouvert, tandis que les travaux d'installation des turbines à vapeur ont débuté en 2024 dans l'objectif de convertir l'installation en Cycle Combiné à l'horizon 2027.

La centrale électrique fonctionne actuellement en cycle simple. (Un futur cycle combiné) se compose de deux blocs « multi-shaft ».

Chaque bloc se compose de :

- Deux turbines à gaz GE Frame 9FA de forte puissance en configuration Multi-Shaft, dotée d'un système de combustion DLN 2.6+ (Dry Low NOx) conçu pour optimiser le rendement énergétique tout en minimisant les émissions polluantes.

- Une turbine à vapeur GE de type D11 (en cours de construction), conçue spécialement pour les applications à cycle combiné, permettant de récupérer l'énergie thermique des gaz d'échappement pour maximiser la production électrique globale sans consommation de combustible supplémentaire.

- Deux alternateurs de type 324 LU, un pour chaque turbine à gaz refroidi à l'hydrogène

3. Rôle de la centrale électrique

Le rôle principal de cette centrale est d'accroître la capacité de production nationale et ainsi garantir la stabilité du réseau électrique, notamment lors des pics de consommation estivaux dans l'ouest du pays et à l'échelle nationale. Cette centrale, partiellement opérationnelle (cycle ouvert), a été conçue pour répondre à la demande croissante liée au développement socio-économique.

4. Alimentation de la centrale

4.1. Alimentation en gaz:

La station fonctionne au gaz naturel acheminé par les principaux gazoducs d'Algérie, en coordination avec la Société algérienne de gestion du Réseau de transport de gaz *GRTG.*

4.2. Alimentation en eau de mer

L'ensemble de la centrale est alimenté en eau de mer après avoir été filtrée et traitée par étapes (la centrale utilise actuellement une source externe d'eau dessalée). La majeure partie de cette eau est acheminée vers le condenseur afin de condenser la vapeur sortant de la turbine, avant d'être rejetée à la mer (circuit ouvert). L'autre partie passe par la station de dessalement pour être utilisée dans les réservoirs anti-incendie, tandis qu'une fraction de cette eau dessalée est dirigée vers la station de déminéralisation pour être utilisée dans la chaudière de récupération et le système de refroidissement.

4.3. Alimentation en l'électricité

La centrale tire son énergie de ces générateurs via des transformateurs auxiliaires ; et si ces générateurs ne fonctionnent pas, la centrale reçoit son énergie du réseau

via ses transformateurs principaux, et en cas de panne de courant totale du réseau, elle fonctionne avec des générateurs de secours alimentés au diesel (Black Start Diesel Generator).

5. Les composants principaux de la centrale électrique

5.1. Turbine à gaz [1]

La turbine à gaz GE Frame 9FA est composée d'un rotor comportant trois étages de turbines de détente et dix-sept étages de compresseurs. Elle est équipée de 18 chambres de combustion annulaires utilisant le système DLN 2.6+ (Dry low NOx), qui repose sur le principe du prémélange pour une combustion propre et à faibles émissions.

Au démarrage, le générateur joue le rôle d'un moteur asynchrone pour le démarrage de la turbine, en excitant le rotor par un courant continu et le stator par un courant alternatif don't la tension et la fréquence sont contrôlées par un système automatique de lancement, jusqu'à ce que la vitesse atteigne 2700 tours par minute et que la turbine continue à tourner de manière autonome.

L'air d'admission est aspiré à travers le bloc filtrant et comprimé par le compresseur avant d'entrer dans les chambres de combustion. Le rotor est relié de manière fixe à l'arbre du générateur électrique par un accouplement, ce qui garantit une rotation synchrone à une vitesse de 3000 tours par minute.

Le débit d'air à travers la turbine à gaz est régulé par la position angulaire des aubes de guidage (IGV) à l'entrée du compresseur. À charge partielle, le système de contrôle ajuste l'angle des aubes de guidage internes, garantissant ainsi une efficacité maximale, notamment lors du passage futur au fonctionnement en cycle combiné.

En ce qui concerne le gaz, il est contrôlé par quatre vannes par chambre de combustion, chacune disposant de cinq injecteurs utilisés pour le démarrage, les autres disposant respectivement d'un, deux et trois injecteurs pour un fonctionnement continu selon les besoins.

Pour assurer le refroidissement et l'étanchéité de la turbine, En ce qui concerne le refroidissement de la turbine, les trois étages de la turbine sont refroidis successivement par l'air provenant du compresseur avant son entrée dans les chambres de combustion, à partir du treizième étage et du neuvième étage du compresseur. Cet air de refroidissement est dirigé vers les parties chaudes (roues et

aubes de la turbine) afin de préserver l'intégrité du métal face aux températures d'allumage élevées. Contrairement aux systèmes de refroidissement externes complexes.

Les gaz de combustion sont actuellement évacués par l'échappement, car le cycle combiné n'est pas encore achevé, la turbine à vapeur étant toujours en cours d'installation.

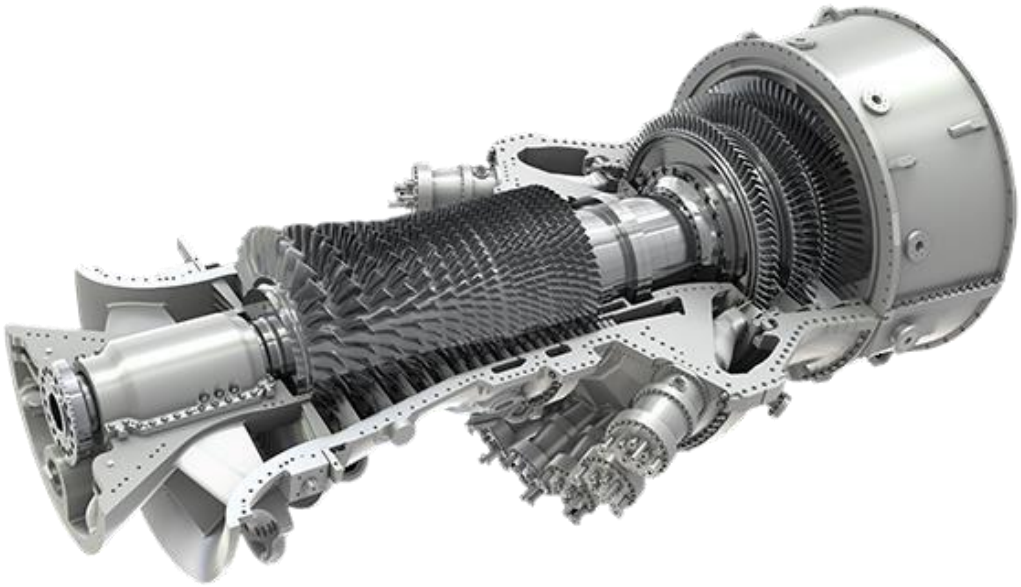


Figure1.3 :*La turbine à gaz*

5.2. Turbine à vapeur [2]

Afin de valoriser la chaleur dégagée par les turbines à gaz et d'accroître la production d'électricité, la centrale a recours à deux turbines GE D11 (actuellement en cours d'installation). Chaque turbine est composée de trois corps : haute, moyenne et basse pression. Les corps haute et moyenne pression sont regroupés dans une même section, tandis que le corps basse pression est séparé.

Avant de démarrer le cycle combiné, une phase de préparation est nécessaire.

Elle comprend :

- le remplissage du circuit d'eau de mer et du condenseur avec de l'eau déminéralisée.

- la mise sous vide du condenseur jusqu'à 40 mbar (cette dépression améliore le rendement et abaisse la température de condensation). Ensuite, on admet la vapeur des chaudières auxiliaires pour assurer l'étanchéité des paliers de la turbine à vapeur (TV) et préchauffer le corps de la TV. On extrait l'eau de condensation via les pompes d'extraction pour remplir les ballons (LP, IP, HP). Le remplissage concerne également les différents échangeurs de la HRSG (chaudière de récupération) :
  - l'économiseur (préchauffage de l'eau avant l'évaporateur),
  - l'évaporateur (production de vapeur saturée),
  - le surchauffeur (élévation de la température de la vapeur),
  - le surchauffeur (réchauffe de la vapeur après détente partielle),
  - le désurchauffeur (injection d'eau pour ajuster la température et obtenir une vapeur sèche avant admission en turbine).

Parallèlement, on augmente la charge de la turbine à gaz (TG) jusqu'à 50 MW et on vérifie que la turbine à vapeur (TV) est en mode « virage » (rotor entraîné lentement pour éviter les déformations thermiques).

Pour ouvrir le registre (dumper) sur le cycle combiné, on active le «Température Matching » :

Ce contrôle permet d'éviter les contraintes thermiques dans les différents modules de HRSG (heat recovery steam generator). La production de vapeur débute dans les ballons (LP, IP, HP) ; la pression et la température montent progressivement jusqu'à un seuil limite où les vannes by-pass entrent en action *et contournent la turbine à vapeur (TV).* Ces by pass régulent la pression de la vapeur avant l'admission dans la TV et améliorent sa qualité.

Lorsque la vapeur atteint les seuils requis (température, pression, pureté), on ouvre les vannes d'arrêt et on lance la TV en sélectionnant d'abord 833 tr/min (pour contrôler les dilatations). La vapeur surchauffée haute pression (HP) entre dans le corps HP ; la vapeur CRH (cold reheat) mélangée à la vapeur surchauffée (pression intermédiaire) (IP) entre dans le corps IP ; la vapeur surchauffée basse pression (BP) entre et sort du corps BP. La vapeur en sortie du corps IP et BP se condense dans le condenseur. Si les vibrations et les températures restent dans les normes, on élève la vitesse à 2500 tr/min, puis à 3000 tr/min avant de synchroniser l'alternateur sur le

réseau électrique. On désactive ensuite la Température Matching dès que la température d'échappement des fumées de la TG atteint 1050 °F. La MCV (Main Control Valve) prend le contrôle et s'ouvre progressivement jusqu'à la fermeture complète des by-pass. Le mode IPC (Inlet Pressure Control) s'active automatiquement lorsque l'ouverture de la MCV atteint 13 % ou peut être manuellement par l'opérateur. Enfin, la montée en charge se poursuit via la turbine à gaz jusqu'à la charge de base du cycle combiné.

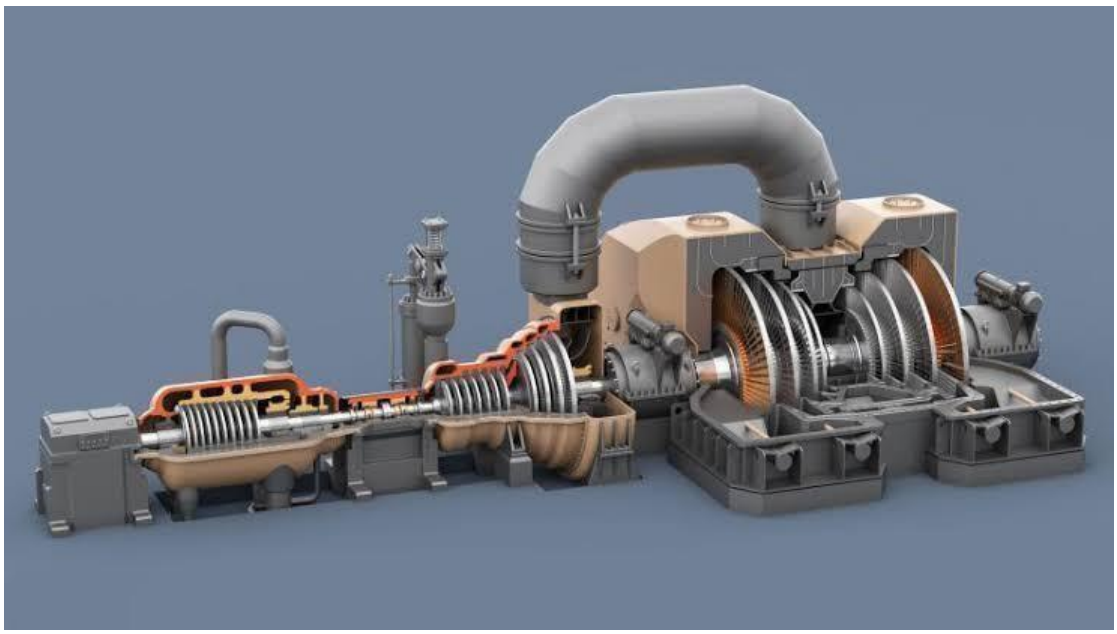


Figure1.4 :*La turbine à vapeur*

5.3. Chaudière de récupération

La chaudière de récupération constitue l'élément intermédiaire entre le cycle simple et le cycle combiné ; son rôle est de produire la vapeur nécessaire au fonctionnement de la turbine à vapeur.

La chaudière comprend trois modules, chacun produisant de la vapeur à une pression différente pour alimenter les différentes parties de la turbine à gaz.

Il existe trois modules : un à haute pression, un à moyenne pression et un à basse pression.

Chaque module comprend trois parties économiseur, évaporateur et surchauffeur.

La chaudière est alimentée en eau déminéralisée provenant de la station de déminéralisation.

Dans le cycle simple, les gaz sortent par la cheminée de dérivation et, pour passer au cycle combiné, on ouvre un registre de déviation (damper) afin de diriger les gaz chauds vers la chaudière.

5.4. Alternateur

Chaque turbine est équipée de son propre générateur (Multi shaft) de la société GE, de type 324 LU bipolaire, qui produit une tension de 15 kV et peut générer 250 MW. Cette puissance peut augmenter en fonction de la température et des réglages, sachant que sa puissance nominale apparente est de 294 kVA.

Le rotor est excité en courant continu pour créer un champ magnétique dans le rotor.

Le générateur est refroidi à l'hydrogène et son mouvement est maintenu à l'intérieur du générateur par un ventilateur, la pureté d'hydrogène est contrôlée en temps réel par un analyseur. L'hydrogène est refroidi par quatre échangeurs de chaleur situés à l'intérieur du générateur, qui utilisent de l'eau refroidie dans une station de refroidissement à l'aide de ventilateurs.

L'hydrogène à l'intérieur du générateur est isolé de l'air extérieur par un système d'étanchéité qui régule la pression d'huile en fonction de la pression d'hydrogène ; l'équilibre est ainsi maintenu pour garantir que l'huile ne pénètre pas dans le générateur et que l'hydrogène ne s'échappe pas vers l'extérieur.

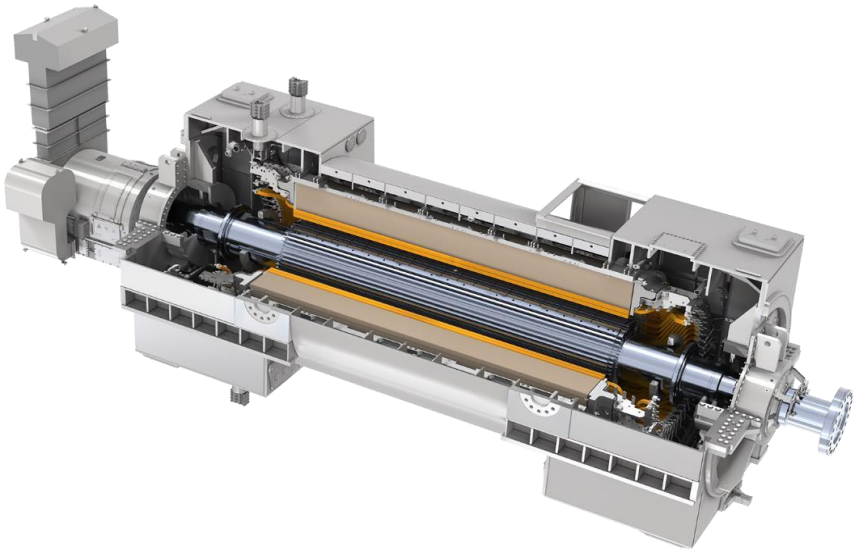


Figure1.5 : *Alternateur*

5.5. Transformateur principal

Le transformateur est une machine électrique statique, également appelé transformateur statique à induction. Il est composé de deux enroulements fixes ou

plus, et il est destiné à convertir une tension et un courant alternatif en une autre tension et un autre courant alternatif, tout en conservant la même fréquence et la même puissance, mais avec des valeurs différentes, selon les besoins d'utilisation. [3]

Chaque alternateur est relié à un transformateur triphasé via un disjoncteur afin de protéger l'alternateur, le transformateur et le réseau en cas de défaillance.

Ce transformateur élévateur convertit la tension de sortie du l'alternateur, de 15 kV en 400 kV, tension à laquelle fonctionne le réseau.

La tension est augmentée avant le raccordement au réseau afin de réduire l'intensité du courant et de limiter les pertes liées au transport.

Le transformateur est constitué de trois enroulements primaires et de trois enroulements secondaires enroulés autour d'un noyau en fer noyé dans de l'huile de refroidissement en raison de l'élévation de la température du transformateur.

Le transformateur est refroidi à l'intérieur par cet huile, qui est refroidie soit naturellement, soit forcée, et à l'extérieur en cas de surchauffe excessive, à l'aide d'eau déminéralisée ainsi que d'une injection de dioxyde de carbone afin d'éteindre tout incendie.



Figure1.6 : *Transformateur électrique*

6. Cycle eau vapeur

La fonction d'un condenseur dans une turbine à vapeur est de condenser la vapeur d'échappement de la turbine et de créer une basse pression à l'échappement de celle-

ci, augmentant ainsi la chute de pression à travers la turbine et le rendement de l'installation.

[4]

L'eau de mer arrive de la station de pompage via des pompes de circulation afin de refroidir et de condenser la vapeur, puis cette eau est rejetée en mer par un canal d'évacuation (cycle ouvert).

La vapeur provenant du corps de basse pression arrive dans le condenseur où elle se transforme en eau liquide par un processus d'échange thermique, puis est collectée dans le bassin du condenseur.

Un vide est créé à une pression de 300 mbar dans le condenseur afin d'aspirer la vapeur sortant de la turbine, sans quoi celle-ci ralentit. Cela s'effectue à l'aide de la vapeur provenant de la chaudière auxiliaire au démarrage, ou du ballon haute pression de la turbine du même bloc ou du deuxième bloc.

L'eau est aspirée du bassin du condenseur vers la chaudière de récupération à l'aide de pompes d'extraction afin de produire à nouveau de la vapeur.

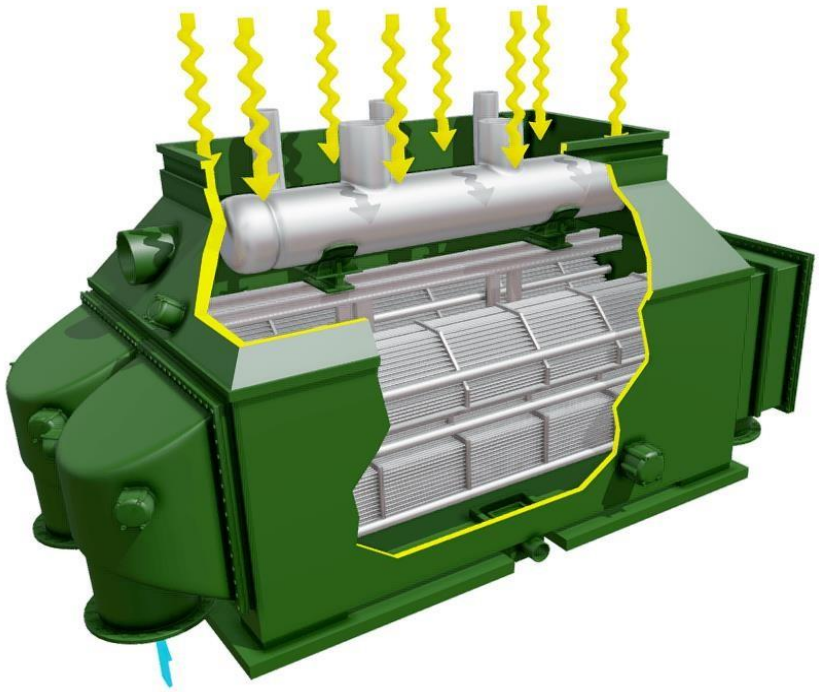


Figure1.7 : *Condenseur*

7. Alimentation en combustible

7.1 Alimentation en gaz

Le gaz passe par plusieurs étapes de purification et de préparation avant d'entrer dans la turbine, afin de garantir la sécurité de celle-ci et l'efficacité de la production.

Il passe d'abord par la station de gaz où se trouvent un séparateur pour éliminer les gouttelettes d'eau, puis un filtre pour éliminer les impuretés solides ; les deux sont acheminés vers le réservoir de condensat.

Il passe ensuite par un bain-marie pour réchauffer le gaz en cas de temps froid.

Il passe ensuite par des vannes de détent pour réduire sa pression, ou est dérivé (bypass) si la pression est déjà basse

Il passe ensuite par le skid final, qui contient un filtre, un réchauffeur de performance et un épurateur afin de purifier le gaz et de le réchauffer davantage pour le préparer à entrer dans la turbine.



Figure1.8 : *Poste de gaz*

7.2. Alimentation en gasoil

Le système d'approvisionnement en gasoil (toujours en cours de construction) comprend deux réservoirs d'une capacité totale de 17000 m3 et une station de pompage de transfert. Le gasoil sert principalement à assurer la continuité de la production d'électricité en cas de coupure de l'approvisionnement en gaz.

Il sert également à alimenter tous les équipements nécessitant du carburant gasoil, tels que les pompes de station anti-incendie et la station de dessalement.

Les deux réservoirs sont remplis par une station de pompage de dépotage de gazole, et la température du gazole est maintenue par un circuit comprenant une pompe et des résistances chauffantes afin qu'il soit toujours prêt à l'emploi.

La combustion du gazole dans les chambres de combustion repose sur la pulvérisation, car il s'agit d'un fluide lourd. Le gazole est injecté dans la chambre de combustion par un injecteur, en plus d'un injecteur qui pulvérise de l'eau dans le gazole pour le transformer en une brume facilitant sa combustion. L'eau contribue également à réduire les émissions de NOx afin de préserver l'environnement.

8. Les auxiliaires de la centrale électrique

8.1. Station de pompage d'eau de mer

Le rôle de cette station est d'alimenter l'ensemble de la centrale électrique en eau nécessaire aux différentes opérations.

La station de pompage se compose de:

5 pipes d'alimentation en eau s'étendant sur 2 km en mer. un dégrilleur mécanique, composé d'une grille grossière et de son râteau.
4 filtres rotatifs pour éliminer les impuretés restantes

4 pompes d'une capacité de 33 000 m³/h pour refouler cette eau filtrée.



Figure1.9 : *Station de pompage*

8.2. Station de dessalement

La station de dessalement (en cours de construction) constitue un élément essentiel du processus de traitement de l'eau de mer avant son utilisation dans la centrale électrique.

Cette station utilise, pour le dessalement de l'eau, un système « multi-flash » qui repose sur l'évaporation par étapes de l'eau de mer sous basse pression.

L'eau de mer est chauffée à 88 °C à l'intérieur de conduits, puis elle est acheminée vers une enceinte à basse pression, où elle se transforme instantanément en vapeur par une détente appelée "Flash". La vapeur produite entre en contact avec les premiers conduits parcourus par l'eau de mer ; la froideur de ces conduits provoque alors la condensation de la vapeur, qui est ensuite récupérée sous forme liquide. Quant à l'eau qui ne s'est pas évaporée dans cette enceinte, elle est transférée vers une seconde chambre du même type, dont la pression est inférieure à celle de la première. Ce processus est répété à plusieurs reprises. [5]

8.3. Station de déminéralisation

L'eau déminéralisée est principalement utilisée dans la chaudière de récupération pour produire de la vapeur et dans le système de refroidissement .

Cette station de déminéralisation repose sur un système EDI (électrodéionisation).

La station comprend six modules EDI cylindriques pour déminéraliser l'eau, deux réservoirs de nettoyage et deux micro-filtres pour nettoyer les modules.

Le principe de fonctionnement de ces modules repose sur des membranes, de la résine et un courant électrique continu. Au début, lorsque l'eau dessalée entre, les ions se fixent sur les granulés de résine.

Ces ions sont ensuite entraînés vers les membranes sous l'effet du courant électrique continu : les ions positifs se dirigent vers le pôle négatif et les ions négatifs vers le pôle positif. Les membranes garantissent ainsi que l'eau pure reste à l'écart du flux de déchets.

8.4. Station d'électrochloration

La station d'électrochloration (en cours de construction) joue un rôle important dans le nettoyage de l'eau de mer entrant dans la station de pompage, en éliminant les organismes vivants et les algues.

La station se compose essentiellement de quatre électrolyseurs destinés à la production d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) et de deux réservoirs d'acide chlorhydrique pour le nettoyage des électrolyseurs.

Une partie de l'eau de mer provenant de la station de pompage est utilisée pour produire de l'eau de Javel.

L'électrolyseur fonctionne grâce au passage d'un courant électrique continu qui sépare les molécules d'eau et de sel et forme le désinfectant.

Cette réaction produit de l'eau de Javel ainsi que de l'hydrogène. Le produit est acheminé vers un réservoir pour séparer l'hydrogène avant de stocker l'eau de Javel seule dans deux réservoirs, prête à être utilisée pour la désinfection.

8.5. Production de l'hydrogène

L'hydrogène constitue un élément essentiel de la station, où il est utilisé comme refroidissant pour les alternateurs en raison de sa conductivité thermique élevée et du fait qu'il s'agit d'un gaz plus léger, ce qui réduit son frottement contre le rotor de l'alternateur et diminue les pertes.

La station de production d'hydrogène repose sur l'électrolyse de l'eau déminéralisée à l'aide d'un courant électrique continu à l'intérieur des cellules d'électrolyse.

L'hydrogène est ensuite déshumidifié et le gaz obtenu est comprimé.

Une fois comprimé, il est stocké dans des bouteilles, qui sont ensuite transportées vers l'abri pour être utilisées.

8.6. Distribution électrique

L'ensemble de la centrale est alimenté par une ligne de 6,6 kV provenant du transformateur de soutirage, qui convertit une partie de la puissance de l'alternateur de 15 kV en 6,6 kV, puis par des transformateurs répartis dans les bâtiments de contrôle de chaque partie de la centrale.

Si la centrale est complètement à l'arrêt et ne produit pas d'électricité, la ligne de 6,6 kV est alimentée directement par le réseau afin d'être prête à faire fonctionner

n'importe quelle turbine de la centrale lorsque le réseau a besoin d'une puissance supplémentaire.

En cas de coupure totale de l'électricité sur le réseau (black-out total), sept générateurs diesel appelés « Black Start Diesel Generator » sont immédiatement mis en marche, l'un
après l'autre, afin d'alimenter les auxiliaires de la centrale, de garantir la protection des turbines contre les dommages (compte tenu de leur coût élevé et de la durée des réparations) et de faciliter la préparation à la remise en service complète du réseau.



Figure1.10 : *Transformateur d'alimentation de bloc*

9. Système de refroidissement

Le système de refroidissement comprend un circuit d'eau fermé qui refroidit plusieurs parties de la turbine. Elle est équipée de 8 ventilateurs destinés à refroidir l'eau provenant de la turbine ; ceux-ci fonctionnent les uns après les autres en fonction de la température de l'eau sortant de la station de refroidissement, afin d'assurer un refroidissement efficace.

Cette station refroidit des parties spécifiques de la turbine, à savoir:

- L'huile utilisée dans les paliers de la turbine et du l'alternateur.
- L'hydrogène utilisé à l'intérieur de l'alternateur.
- Les détecteurs de flamme dans les chambres de combustion.
- Une partie du système de lancement automatique.

10. Traitement des rejets de la centrale

En ce qui concerne les rejets liquides, il s'agit :

des huiles utilisées dans les turbines et les transformateurs, qui sont remplacées périodiquement ; il existe également une station de séparation permettant de séparer l'huile de l'eau avant son rejet, et l'huile résiduelle est stockée dans des fûts.

L'eau de mer utilisée pour le refroidissement, qui contient une concentration spécifique d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) dont le seuil ne doit pas être dépassé ; l'eau de mer est également refroidie avant d'être rejetée via un canal d'évacuation. Les eaux usées sont traitées via un système de traitement des eaux usées.

Quant aux rejets atmosphériques, ils comprennent principalement les gaz sortant de la cheminée de la turbine à gaz, mais l'accent est mis sur les oxydes d'azote (NOx).

Pour les réduire, les turbines utilisent un système DLN (Dry Low NOx) pour le gaz, tandis que pour le gazole, on recourt à la pulvérisation d'eau mélangée au gazole afin de diminuer ces émissions.

11. Conclusion

En somme, ce chapitre nous a permis de dresser un état des lieux complet de la centrale électrique de Mostaganem, en guise d'introduction au chapitre suivant. Nous avons ainsi pu appréhender l'organisation de ses installations, l'interdépendance entre ses différents blocs opérationnels, ainsi que les infrastructures annexes indispensables à la stabilité de son fonctionnement. Au-delà de l'importance stratégique de ses équipements dans

le processus global de production d'énergie, nous avons également mis en lumière la complexité inhérente aux opérations de production d'électricité.

CHAPITRE II : *Les risques dans la centrale électrique*

1. Introduction

Les centrales électriques constituent le moteur de la civilisation moderne. Cependant, ces installations gigantesques constituent également un environnement de travail extrêmement complexe, où s'entremêlent des systèmes mécaniques, chimiques et électriques fonctionnant dans des conditions d'exploitation extrêmes : températures très élevées, pressions colossales, vitesses de rotation élevées et tensions électriques destructrices. Cette interaction complexe crée un terrain propice aux risques qui ne menacent pas seulement la sécurité et l'intégrité des équipements, mais constituent également une menace directe et immédiate pour la vie des opérateurs qui les exploitent.

La compréhension et l'analyse des risques dans les centrales électriques ne constituent pas une simple mesure réglementaire, mais un pilier fondamental garantissant la continuité de l'approvisionnement en énergie et la protection des vies humaines. Ces risques varient en fonction de la nature de la centrale et de sa conception technique.

2. Les types de risques dans la centrale

2.1. Risque d'incendie

- **Les sources de dangers:**

Gaz : une fuite continue associée à une étincelle électrique peut provoquer un incendie sous forme de jet de flammes.

Hydrogène : le danger réside dans le fait que sa flamme est invisible, ce qui peut entraîner d'autres incendies avant qu'on ne s'en aperçoive.

Huiles de turbine : les huiles utilisées dans les turbines peuvent s'enflammer si elles se répandent sur une surface chaude ou si les résistances chauffantes de l'huile ne s'arrêtent pas dans le bac à huile.

Huiles de transformateurs : celles-ci sont les plus dangereuses, car toute défaillance du système de refroidissement ou tout court-circuit à l'intérieur des bobines du transformateur provoque la combustion de l'huile à l'intérieur du transformateur, ce qui peut entraîner une violente explosion.

Incendies d'origine électrique : étant donné que la plupart des câbles sont enterrés, un court-circuit entraînera la combustion des câbles et la formation de gaz toxiques

Pour faire face à ces risques, la centrale est équipée de systèmes de protection comprenant :

- **Les mesures de protection:**

Système anti-incendie: un système d'extinction d'incendie dans la plupart des parties de la centrale électrique et des bâtiments se compose de deux réservoirs, deux pompes de maintien de pression, quatre pompes électriques et trois pompes diesel (pompes diesel en cas de panne de courant).

Système d'extinction au dioxyde de carbone : ce système cible la turbine et la zone contenant l'huile ; dès qu'un incendie est détecté, le gaz est immédiatement injecté pour étouffer les flammes et chasser l'oxygène.

Systèmes d'arrosage : ils sont installés autour des transformateurs pour les refroidir et du dioxyde de carbone est injecté pour éteindre rapidement les feux d'huile par refroidissement et privation d'oxygène.

Elimination des effets domino : construction de murs en béton résistants au feu entre les principaux transformateurs afin d'empêcher la propagation des flammes d'un transformateur à l'autre ou vers la turbine en cas d'explosion.

Système d'arrêt d'urgence (Emergency Shutdown) : système automatique qui coupe immédiatement l'alimentation en combustible depuis la source principale de la centrale dès le déclenchement d'une alarme incendie, afin d'empêcher l'alimentation du feu.

Mise à la terre des équipements : mise à la terre continue et rigoureuse de toutes les conduites, réservoirs et équipements électriques afin de décharger les charges électrostatiques et d'éviter toute étincelle susceptible de provoquer un incendie.



Figure2.11 : *Incendie dans un transformateur*

2.2. Risque d'explosion

Une ATEX est un environnement où le risque d'explosion est élevé en raison de la présence de substance inflammable, que ce soit visible ou non. [6]

- **Les zones ATEX (atmosphere explosive):**

Post-gaz :

Le post-gaz crée une atmosphère explosive ; par conséquent, toute fuite au niveau des vannes ou des tuyaux peut entraîner un risque d'explosion en cas de source d'énergie.

Station de production d'hydrogène et l'alternateur :

Toute fuite provenant de la station ou des bouteilles sous pression peut entraîner un risque d'explosion. La pureté de l'hydrogène joue également un rôle important, car une baisse de celle-ci présente un risque d'entrée d'air dans l'alternateur, ce qui peut former un mélange explosif même entraîner une défaillance de système de l'huile d'étanchéité (donc une fuite d'hydrogène de l'alternateur).

Afin de protéger la centrale contre des explosions catastrophiques, des systèmes de sécurité sont mis en place :

Balayage obligatoire avant l'allumage : le système de contrôle n'autorise l'allumage de la torche de la turbine qu'après un fonctionnement du compresseur pendant cinq minutes, durant lequel de l'air pur est acheminé à l'intérieur de la turbine et des conduits d'échappement, afin de garantir l'expulsion totale vers l'extérieur de tout résidu de gaz ou de combustible accumulé.

Équipements et appareils antidéflagrants : les zones telles que la station de gaz et les salles d'hydrogène sont classées comme « zones dangereuses » ; il est interdit d'y installer des appareils électriques, des éclairages ou des interrupteurs, sauf s'ils sont certifiés ATEX.

Systèmes de détection ultra-rapides et de fermeture d'urgence : mise en place de capteurs de gaz et de capteurs de flamme reliés à un système de fermeture automatique ; dès qu'un gaz est détecté à un certain seuil, le système de protection ferme les vannes principales de carburant en quelques fractions de seconde.

Isolation préventive : construction de murs en béton résistants aux explosions entre les transformateurs principaux afin d'empêcher la propagation des dommages d'un transformateur à l'autre ou vers la turbine en cas d'explosion.

2.3. Risque de bruit

Le bruit dans une centrale électrique constitue un risque physique majeur. Une exposition prolongée à des niveaux sonores supérieurs à 85 décibels entraîne une perte auditive permanente, des troubles du sommeil, de l'hypertension artérielle et des problèmes de communication pouvant conduire à des accidents du travail.

Les risques liés au bruit dans la centrale proviennent des vibrations et du mouvement des équipements lourds. Parmi les principales sources, on trouve les turbines et les générateurs, qui émettent des bruits forts en raison de leur vitesse de rotation élevée, ainsi que les cheminées.

Les ventilateurs, les pompes et les compresseurs d'air constituent également une source importante de bruit dans la centrale.

Elle affecte également l'environnement de travail, car le niveau sonore élevé empêche d'entendre les consignes de sécurité et les avertissements, ce qui augmente le risque d'accidents mortels.

Pour lutter contre ce risque, la centrale met en œuvre des stratégies techniques et de gestion, telles que l'isolation des équipements bruyants dans des salles spéciales équipées de matériaux insonorisants. En ce qui concerne les équipements de protection individuelle, le port de protections auditives est obligatoire dans les zones très bruyantes.

2.4. Risque d'asphyxie

Le risque d'asphyxie dans une centrale électrique constitue une menace silencieuse pour la vie des travailleurs qui y travaillent dans des espaces confinés.

L'asphyxie résulte d'un manque d'oxygène (moins de 19,5 %) dû à des fuites de gaz asphyxiants qui déplacent l'oxygène de l'air, comme l'azote utilisé dans les opérations d' inertage, ou à l'accumulation de gaz toxiques mortels. Ces risques se concentrent à l'intérieur des chaudières, dans les réservoirs de combustible et les galeries souterraines de câbles, où le renouvellement naturel de l'air est absent. Le problème de ces gaz réside dans le fait que la plupart d'entre eux sont incolores et inodores.

Les sources de gaz présentant un risque d'asphyxie sont variées, parmi lesquelles :

Les gaz d'échappement et les cheminées : lorsque la centrale est à l'arrêt pour des opérations de maintenance périodique à l'intérieur de ces conduits, une quantité de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote reste emprisonnée dans les recoins. Ces gaz

toxiques se lient à l'hémoglobine du sang et empêchent le transport de l'oxygène vers les cellules de l'organisme, provoquant une asphyxie rapide.

Tunnels de câbles souterrains : ces espaces profonds manquent de ventilation naturelle et peuvent voir s'accumuler du dioxyde de carbone, transformant ces espaces en lieux dangereux où la concentration en oxygène descend en dessous du seuil critique.

Pour éviter ce danger mortel, les normes de sécurité au travail exigent la délivrance de permis d'accès stricts pour les espaces confinés, la vérification obligatoire des niveaux de gaz à l'aide d'appareils de mesure portables avant l'entrée, ainsi que la mise à disposition d'une ventilation continue ou de bouteilles d'oxygène, en présence d'un superviseur qualifié chargé du plan d'urgence et de sauvetage.



Figure2.12 : *Espace confiné*

2.5. Risque de chute

Lors des opérations de maintenance en hauteur, le risque de chute est accru, ce qui peut entraîner des blessures très graves. Parmi les endroits où ce risque peut se présenter, on peut citer :

Les cheminées d'échappement : la turbine à gaz génère des vibrations constantes et importantes qui se répercutent sur la structure métallique de la cheminée et des escaliers, ce qui peut provoquer une perte d'équilibre.

Le toit de la salle des turbines : marcher sur le toit de la salle des turbines ou de la salle des générateurs, qui est en métal solide, est toujours dangereux, et la moindre erreur peut entraîner une chute très grave.

Bassin d'eau de mer : en raison de leur profondeur (environ 14 mètres), lorsqu'ils sont vides, les risques liés à une chute à l'intérieur sont accrus.

Afin de protéger les travailleurs contre les chutes, des moyens de protection sont mis à disposition, notamment :

Ligne de vie : un câble en acier qui fait le tour des zones en hauteur. Le travailleur y attache son harnais de sécurité et se déplace librement sans craindre de tomber. Si son pied glisse, le harnais le retient immédiatement en place.

Équipement de protection individuelle : le harnais de sécurité, qui amortit la chute de la personne et l'empêche de tomber au sol.



Figure2.13 : *Travail en hauteur*

2.6. Risque liée au véhicule

Ces risques sont souvent associés aux véhicules utilisés pour les travaux de maintenance ou le transport du personnel au sein de la centrale. Ces véhicules comprennent notamment :

Pont roulant : il sert à soulever des charges lourdes pour la maintenance ou l'installation. Le danger réside dans le risque de collision entre les charges et les câbles et les personnes, ou même entre le pont roulant lui-même et les personnes en cas d'inattention pendant son fonctionnement. Bien qu'il soit équipé d'une sirène d'alarme, le bruit élevé sur le chantier peut la rendre difficilement audible. En matière de protection, on utilise un balisage pour délimiter la zone de travail ainsi que des panneaux d'avertissement.



Figure2.14 : *Pont roulant*

La nacelle : cet engin est utilisé pour la maintenance en hauteur. Son inconvénient est qu'il peut heurter les ouvriers lors de ses déplacements ou présenter un risque de chute d'objets depuis une grande hauteur. En matière de protection, on utilise également un balisage pour délimiter la zone de travail.



Figure2.15 : *La nacelle*

Les autre véhicules : Les autres véhicules utilisés pour l'entretien et les déplacements au sein de la station, tels que les voitures, les camions et les chariots élévateurs, présentent un type de risque différent en raison de leurs mouvements, notamment :

- **Collision avec des travailleurs:** Ce type d'accident représente une menace pour la sécurité des travailleurs sur le site, car il peut entraîner des blessures graves, voire mortelles. Pour éviter de tels accidents, les travailleurs doivent marcher sur les trottoirs de circulation prévus et être vigilants.



Figure2.16 : *Collision avec un travailleur*

- **Collision d'équipements:** Étant donné l'importance des équipements et installations sur le site, et le fait que la plupart d'entre eux sont situés en surface, une collision de véhicule avec ces équipements entraîne des dommages ou un dysfonctionnement, ce qui nécessite leur maintenance et engendre donc des pertes de temps et d'argent. C'est pourquoi des équipements de protection sont utilisés pour éviter de tels accidents.

- **Collision avec d'autres véhicules:** Cet incident met directement en danger la sécurité des travailleurs et des véhicules, et perturbe indirectement le flux de travail en cas de collision avec des véhicules utilisés pour la maintenance.



Figure2.17 : *Collision entre deux voitures*

3. Conclusion

En conclusion, ces divers risques au sein de la centrale électrique constituent une menace pour la sécurité des travailleurs, des équipements, des installations et de la centrale en général, compte tenu de son rôle vital dans le secteur de l'énergie. Cela nécessite d'évaluer et de prévenir ces risques afin d'éviter les dommages qui en découlent et d'assurer la sécurité des travailleurs et des équipements ainsi que la continuité de la production sans problème.

CHAPITRE III : *Les risques d'origine électrique*

1. Définition

Le risque d'origine électrique c'est l'ensemble des dangers liés à la manipulation ou à la proximité de l'énergie électrique soit par contact direct ou indirect , pouvant causer des accidents chez l'être humain ou des dégâts matériels dans les ouvrages.

2. La nature des accident

On peut classer les accidents d'origine électrique soit par :

- Leurs actions(ou par leur effet)
- La nature du contact (direct, indirect ou contact sans contact(arc électrique)) ● Le domaine d'activité dans lequel ils surviennent (milieu domestique : prise du courant, cordons et fiches - Milieu agricole - L'électricité statique, la foudre – les incendies, et les explosions etc.…)

3. Les effets du courant électrique

3.1. sur le cops humain

● **-COURANT ALTERNATIF BASSE TENSION**

- Asphyxie par blocage du diaphragme

- Arrêt du cœur par fibrillation

● **- COURANT ALTERNATIF HAUTE TENSION**

-Arrêt du cœur par fibrillation

-Brûlures internes

. - COURANT CONTINU

-Brûlure puis décomposition du sang par phénomène d 'électrolyse

3.2. sur l'environnement

- Incendie
- Explosion

4. Les facteurs aggravants

- **I**c : intensité du courant
- Uc: tension de contact
- R: résistance du corps

- t: durée de passage du courant à travers du corps

. D:Le trajet du courant

. Le type de courant

5. Electrisation

5.1. Définition

L'électrisation est le passage d'un courant électrique dans le corps, ce qui peut entraîner une atteinte des tissus et des organes. Elle peut être accidentelle ou provoquée

5.2. Formes d'électrisation

5.2.1. contact direct

. Contact entre une partie active sous tension et un conducteur relié a la terre

. Contact entre deux partie active sous tension

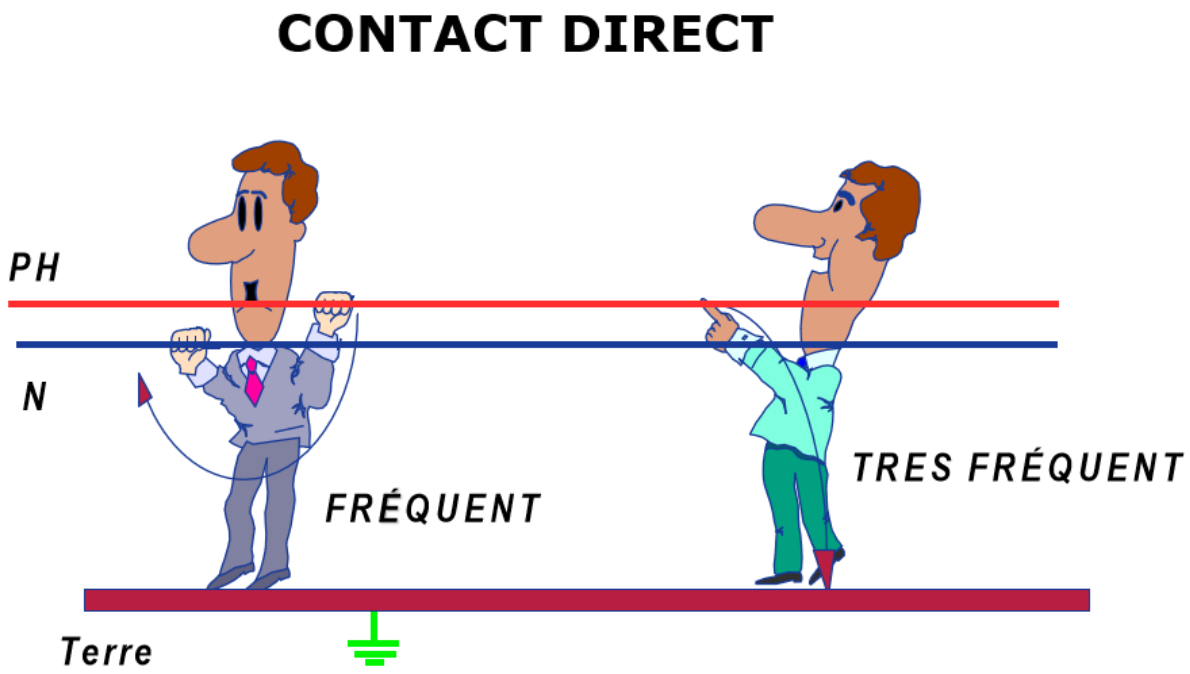


Figure3.18 : *Les différentes façons d'électrisation avec des contacts directs*

5.2.2. Contact indirect

- Contact entre une masse mise accidentellement sous tension et un conducteur relié a la terre

- Contact entre deux masse mise sous tension accidentellement

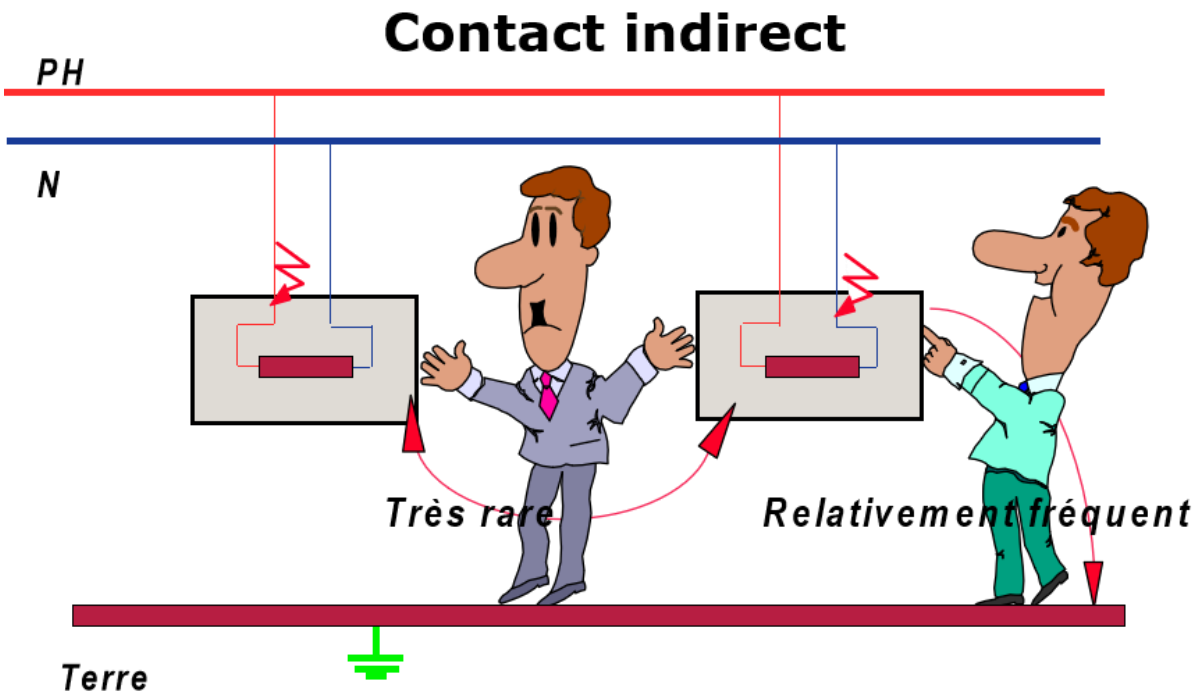


Figure3.19 : *Les différentes façons d'électrisation avec des contacts indirects*

6. Electrocution

6.1. Définition

L'électrocution est l'action de causer une secousse généralement mortelle par le passage d'un courant électrique.



Figure3.20 : *Risque d'électrocution*

7. Les domaines de tension

DOMAINE DE TENSION	COURANT ALTERNATIF	COURANT CONTINU
TBT	U ≤ 50 volts	U ≤ 120 volts
BTA	50 < U≤ 500 v	120 < U ≤ 750 v
BTB	500 < U≤ 1000 v	750 < U≤ 1500 v
HTA	1 000 < U≤ 50 kV	1 500 < U≤ 75 kV
HTB	U >50 kV	U >75 kV

Figure3.21 : *Effets des accidents électriques selon le domaine de tension*

8. Les mesures de prévention et de protection de risque électrique

8.1. Le choix, l'emploi et l'entretien du matériel de protection et de l'outillage spécifique

8.1.1. Choix des appareils de protection électrique

Les appareils de protection électrique sont les appareils destinés à établir ou Interrompre un circuit électrique. Le choix de ces appareils de protection se fait selon leurs fonctions :

- Fonction " isolement "
- Fonction " commande "
- Fonction " élimination de défaut ou protection"
- Fonction " surveillance "

. **Sectioneur:**

Le sectionneur est avant tout un organe de sécurité réalisant la fonction **"isolement"**. Il peut avoir la fonction **"sélection"** d'un circuit (cas des sectionneurs d'aiguillage dans un système à deux jeux de barres par exemple)

Dans tous les cas, le sectionneur est un appareil dépourvu de pouvoir de coupure, c'est- à-dire qu'il doit être manœuvré à courant

nul. Le courant doit être interrompu auparavant par un autre appareil prévu à cet effet.



Figure3.22 : *Sectionneur haute tension*

II. Interrupteurs:

L'interrupteur est un appareil servant à couper ou établir un circuit parcouru par un courant de charge normal. Il réalise la fonction active **"commande"**.

Ces appareils sont utilisés en Basse et Moyenne Tensions jusqu'à 36 kV. En Haute Tension, les interrupteurs sont d'un usage très peu fréquent.



Figure3.23 : *Interrupteur haute tension*

III. Disjoncteurs:

Le disjoncteur est un appareil qui sert à établir ou interrompre tout courant pouvant apparaître dans un circuit.

Le disjoncteur réalise donc les fonctions **"commande"** et

“élimination de défaut”. Par contre, le disjoncteur n’est pas un organe de sécurité. De ce fait, si le disjoncteur est capable aussi de la fonction **“isolement”**, il ne lui est pas demandé de réaliser la garantie de nonfranchissement qui est une tenue à une valeur normalisée de surtension en forme d’onde de choc.



Figure3.24 : *Disjoncteur Haute tension*

IV. Contacteurs:

Le contacteur est un appareil réalisant la fonction **commande**. Il est capable d’établir, d’interrompre et de supporter tout courant normal parcourant un circuit, y compris les courants de surcharge en service.



Figure3.25 : *Contacteur haute tension*

V. Coupe-circuits à fusibles:

Le coupe-circuit à fusible a pour fonction **d’interrompre** des courants élevés, par la fusion d’un élément.

Un fusible ne peut remplir son rôle qu’une seule fois, il doit être remplacé après fusion.



Figure3.26 : *Coupe-circuits à fusibles haute tension*

VI. Relais de protection:

Les relais de protection sont des appareils qui comparent en permanence les grandeurs électriques des réseaux (courant, tension, fréquence, puissance, impédance, …) à des valeurs prédéterminées et qui donnent automatiquement des ordres logiques lorsque la grandeur surveillée atteint la valeur de fonctionnement. L'ensemble cohérent des relais d'une installation constitue l'élément de base du système de protection de cette installation.

Le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un circuit électrique, avec pour objectif, suivant leur type :

- l'élimination des défauts, afin de limiter les contraintes électriques (surintensités, surtensions) et les contraintes mécaniques auxquelles ces défauts soumettent les matériels; cette élimination est obtenue en isolant la plus petite partie possible du réseau où est apparu un défaut : c'est le rôle des relais de protection contre les défauts.
- la surveillance des grandeurs électriques du réseau pour contrôler en permanence la qualité de l'énergie fournie et assurer la protection des personnes contre les dangers de l'électricité : c'est le rôle de relais d'exploitation ou de surveillance.



Figure3.27 : *Relais de protection*

8.1.2. emploi et l'entretien du matériel de protection et l'outillage *spécifique*

- **Conditions imposées au matériel de sécurité:**

  La constitution et l'utilisation du matériel de sécurité doivent répondre à des prescriptions réglementaires et à des normes spécifiques . L'utilisation est tenue de vérifier le matériel de sécurité avant et après chaque emploi. Il est nécessaire que ce matériel fasse l'objet de vérifications périodiques par une personne qualifiée ou un prestataire.

  Ces vérifications doivent être consignées sur un registre.

8.2. Equipement de protection individuelle

- **Casque de protection:**

  c'est un casque isolant et antichoc utilisé dans le milieu industriel ou en chantier.

  Le port du casque est obligatoire pour toute personne risquant au cours de son travail une blessure (chute d'un niveau supérieur, chute d'un objet).



Figure3.28 : *Casque isolant*

- **Gants isolants:**

Pour les travaux électriques, on utilise des gants isolants qui sont adaptés à la tension des installations sur lesquelles des interventions sont effectuées.

Avant tout emploi on doit s'assurer qu'ils sont en bon état et ne présentent ni trace de cassure, ni déchirure, ni trous. Les gants doivent être conservés dans des boîtes ou sachets de protection et ne pas être en contact avec des objets tranchants ou pointus.



Figure3.29 : *Les gants isolants*

- **Lunettes:**

Le port des lunettes est obligatoire pour toute personne exécutant un travail présentant un risque oculaire.



Figure3.30 : *Lunette et visière anti UV*

- **Les Chaussures de sécurités:**

Le port des chaussures de sécurité est obligatoire pour toute personne exécutant un travail présentant un risque pour les pieds:

Travail en milieu de gravats, ascension des supports électriques, chute d'objet, en présence de liquide (eau; huile....).



Figure3.31 : *Chaussures à semelle isolante*

- **Les vêtements de protection isolants:**

Ces vêtements ont pour but d'isoler l'opérateur en cas de contact direct ou indirect.



Figure3.32 : *Vêtement de protection isolant*

- **L'Harnais de sécurité:**

Le harnais de sécurité constitue un équipement destiné aux travaux en hauteur. Avant toute utilisation, l'opérateur doit vérifier l'absence de toute amorce de déchirure sur les sangles et l'intégrité des coutures aux points de fixation des anneaux et boucles de réglage.



Figure3.33 : *Harnais de sécurité*

- **La Ligne de vie:**

  Est un dispositif de sécurité obligatoire permettant à son utilisateur de s'y attacher afin de se sécuriser contre les risques de chute en hauteur.



Figure3.34 : *Ligne de vie*

- **Les Grimpettes:**

c’est un outil utilisé pour l’ascension des poteaux.



Figure3.35 : *Grimpettes*

8.3. Matériel de protection collectif

- **Vérificateur d’absence de tension:**

Les vérificateurs de tension ou détecteurs unipolaires doivent répondre aux prescription des normes en vigueur.il sont utilisés comme appareils de mesurage.il peuvent etre du type lumineux et/ ou sonore, et doivent être adaptés à la tension des installations sur lesquelles ils sont utilisés.



Figure3.36 : *vérificateur d’absence de tension*

- **Perches isolantes:**

Une perche isolante est un équipement de sécurité crucial pour les travaux sous tension(TST) ou les interventions d’urgence. Elle permet de manipuler des équipements(sectionneurs, disjoncteurs...) ou de tirer une victime hors d’une zone dangereuse .

ils doivent avoir une isolation et une longueur appropriés à la tension de service de l'installation sur lesquelles sont utilisées.elle ne doivent être ni humides, ni sales et ne présentent aucun défaut extérieur.

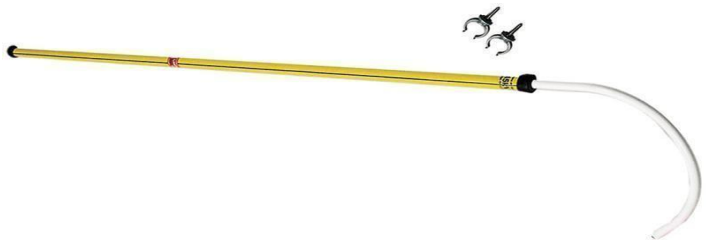


Figure3.37 : *Perche isolante*

- **Matériel électro-secours:**

Il s'agit de coffrets contenant:

- un tabouret isolant.
- une perche avec, à son bout, un crochet et un indicateur de tension.
- une paire de gants isolants.
- une paire de chaussons isolants en caoutchouc.

Ils doivent être utilisés par du personnel habilité et formé, en cas d'accident (voltage < 63000 V). Ils sont implantés en sous-stations électriques.



Figure3.38 : *Coffret électro secours*

- **Tabouret isolant et tapis isolant:**

  Les tabourets et tapis isolants sont utilisés pour isoler l'opérateur du sol lors des opérations de vérification d'absence de tension et de mise à la terre et court-circuit.



Figure3.39 : *Tapis et tabouret isolant*

- **Dispositif de mise à la terre et en court-circuit:**

  La mise à la terre et en court-circuit ou la la mise en court-circuit de tous conducteurs ou appareils ne peuvent se réaliser qu'à l'aide d'un dispositif spécial adapté à cet effet et qui permet à l'opérateur d'être isolé des partie des partie actives, ce dispositif doit être adapté à la tension

  nominale de l'installation et au courant de court-circuit présumé au point de fixation sur les conducteurs.



Figure3.40 : *Dispositif de mise à la terre et court-circuit*

CHAPITRE IV :
L’application de la méthode HAZOP

1. Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse à mettre en pratique les notions théoriques que nous avons étudiées et l'appliquer sur le terrain. Nous avons choisi la méthode HAZOP (Hazard and operability study) qui est une étude de base permettant l'examen des systèmes thermohydrauliques, pour lesquels des paramètres comme le débit, la température, la pression, le niveau, la concentration... sont particulièrement importants. Le but est d'assurer la sécurité des installations et des personnes.

2. Système étudié

On va étudier les danger de la partie la plus importante dans la centrale électrique à savoir La turbine à gaz qui destinée à la production d'électricité en cycle simple ou combiné.

3. Mise en œuvre de la méthode HAZOP

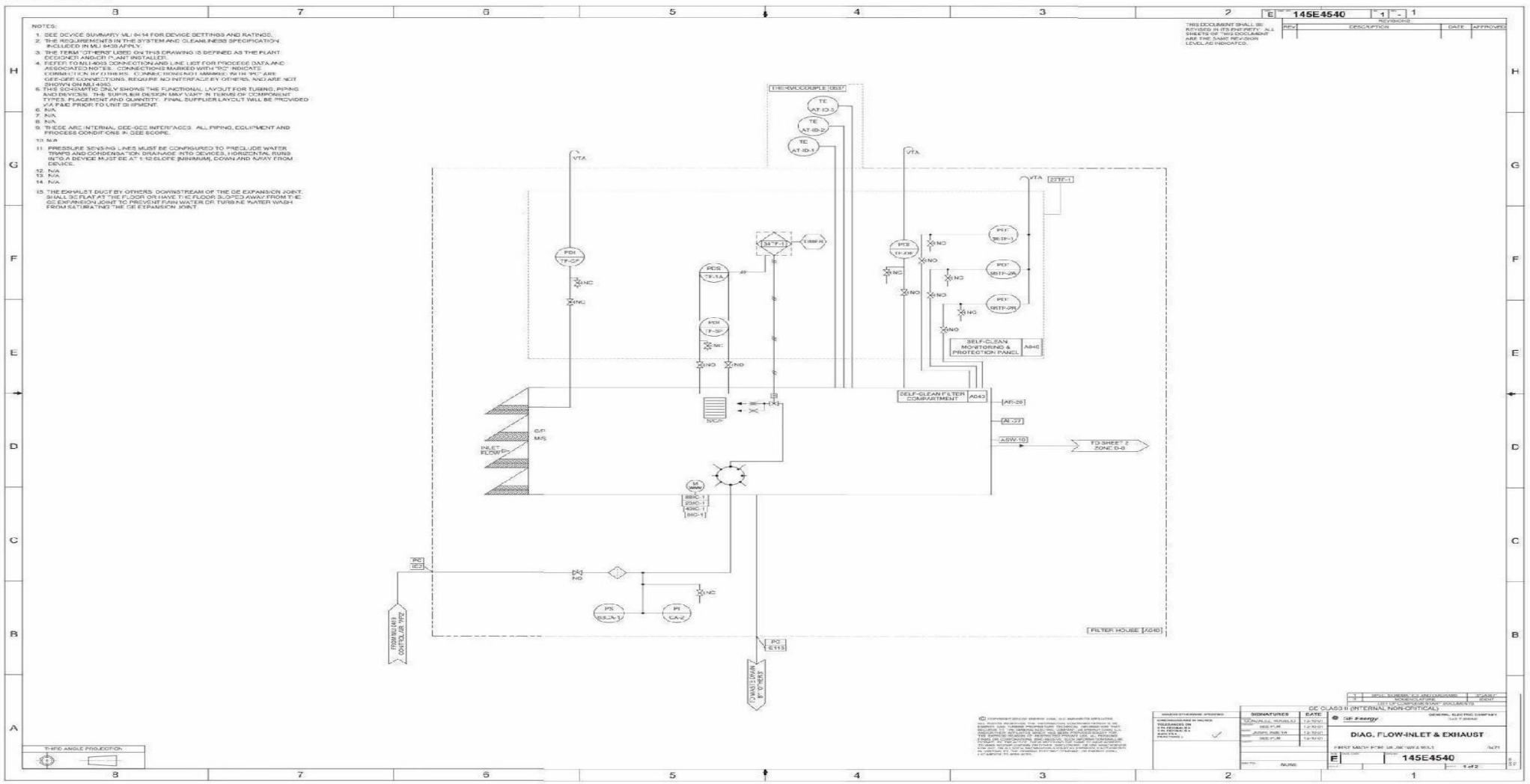
3.1. Liste des nœuds

Nous avons divisé le système en quatre nœuds afin d'analyser : .

- **Nœud n1:** L'admission d'air.
- **Nœud n2:** système de gaz.
- **Nœud n3:** Système d'huile de lubrification
- **Nœud n4:** Système hydraulique
-

3.2. Les tableaux HAZOP

L'analyse du nœud précédent à l'aide de la méthode Hazop est présentée dans les tableaux suivants :


NOTES:
1. SEE DEVICE SUMMARY WLI 8414 FOR DEVICE SETTINGS AND RATINGS.
2. THE REQUIREMENTS IN THE SYSTEM AND CLEANLINESS SPECIFICATION INCLUDED IN WLI 8439 APPLY.
3. THE TERM "OTHERS" USED ON THIS DRAWING IS DEFINED AS THE PLANT DESIGNER AND/OR PLANT INSTALLER.
4. REFER TO WLI 4003 CONNECTION AND LINE LIST FOR PROCESS DATA AND ASSOCIATED NOTES. CONNECTIONS MARKED WITH "PO" INDICATE CONNECTION BY OTHERS. CONNECTIONS NOT MARKED WITH "PO" ARE GE-GE CONNECTIONS, REQUIRE NO INTERFACE BY OTHERS, AND ARE NOT SHOWN ON WLI 4003.
5. THIS SCHEMATIC ONLY SHOWS THE FUNCTIONAL LAYOUT FOR TUBING, PIPING AND DEVICES. THE SUPPLIER DESIGN MAY VARY IN TERMS OF COMPONENT TYPES, PLACEMENT AND QUANTITY. FINAL SUPPLIER LAYOUT WILL BE PROVIDED VIA P&ID PRIOR TO UNIT SHIPMENT.
6. N/A
7. N/A
8. N/A
9. THESE ARE INTERNAL, GE-GCC INTERFACES. ALL PIPING, EQUIPMENT AND PROCESS CONDITIONS IN GE SCOPE.
10. N/A
11. PRESSURE SENSING LINES MUST BE CONFIGURED TO PRECLUDE WATER TRAPS AND CONDENSATION, DRAINAGE INTO DEVICES. HORIZONTAL RUNS IN TO A DEVICE MUST BE AT 1:12 SLOPE (MINIMUM), DOWN AND AWAY FROM DEVICE.
12. N/A
13. N/A
14. N/A
15. THE EXHAUST DUCT BY OTHERS DOWNSTREAM OF THE GE EXPANSION JOINT SHALL BE FLAT AT THE FLOOR OR HAVE THE FLOOR SLOPED AWAY FROM THE GE EXPANSION JOINT TO PREVENT RAIN WATER OR TURBINE WATER WASH FROM SATURATING THE GE EXPANSION JOINT.
THERMOCOUPLE (BS3)
TE AT-ID-3
TE AT-ID-2
TE AT-ID-1
VTA
PDH TP-CF
PDS TF-1A
PDH P-SF
PDT 96TP-1
PDT 96TP-2A
PDT 96TP-2B
SELF-CLEAN MONITORING & PROTECTION PANEL A040
SELF-CLEAN FILTER COMPARTMENT A043
FD SHEET 2 ZONE D-8
INLET FLOW
FILTER HOUSE (A040)
PS 63-A-1
PI CA-2
PE 1E2
PE 1E113
SEAL AIR FROM MAU
SEAL AIR TO GENERATOR
GE CLASS II (INTERNAL NON-OPTICAL)
SIGNATURES
DATE
GE Energy
DIAG, FLOW-INLET & EXHAUST
145E4540
THIRD ANGLE PROJECTION

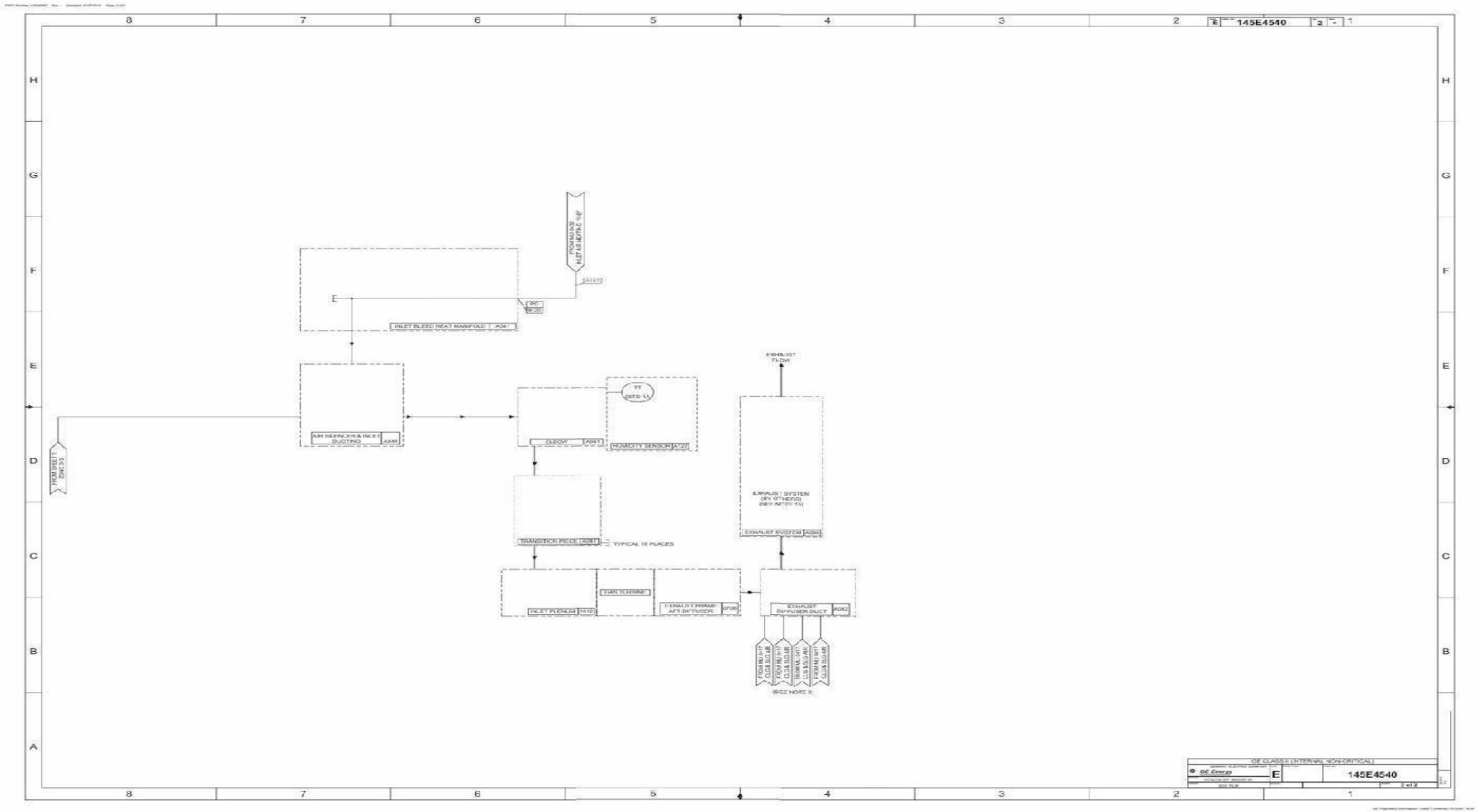
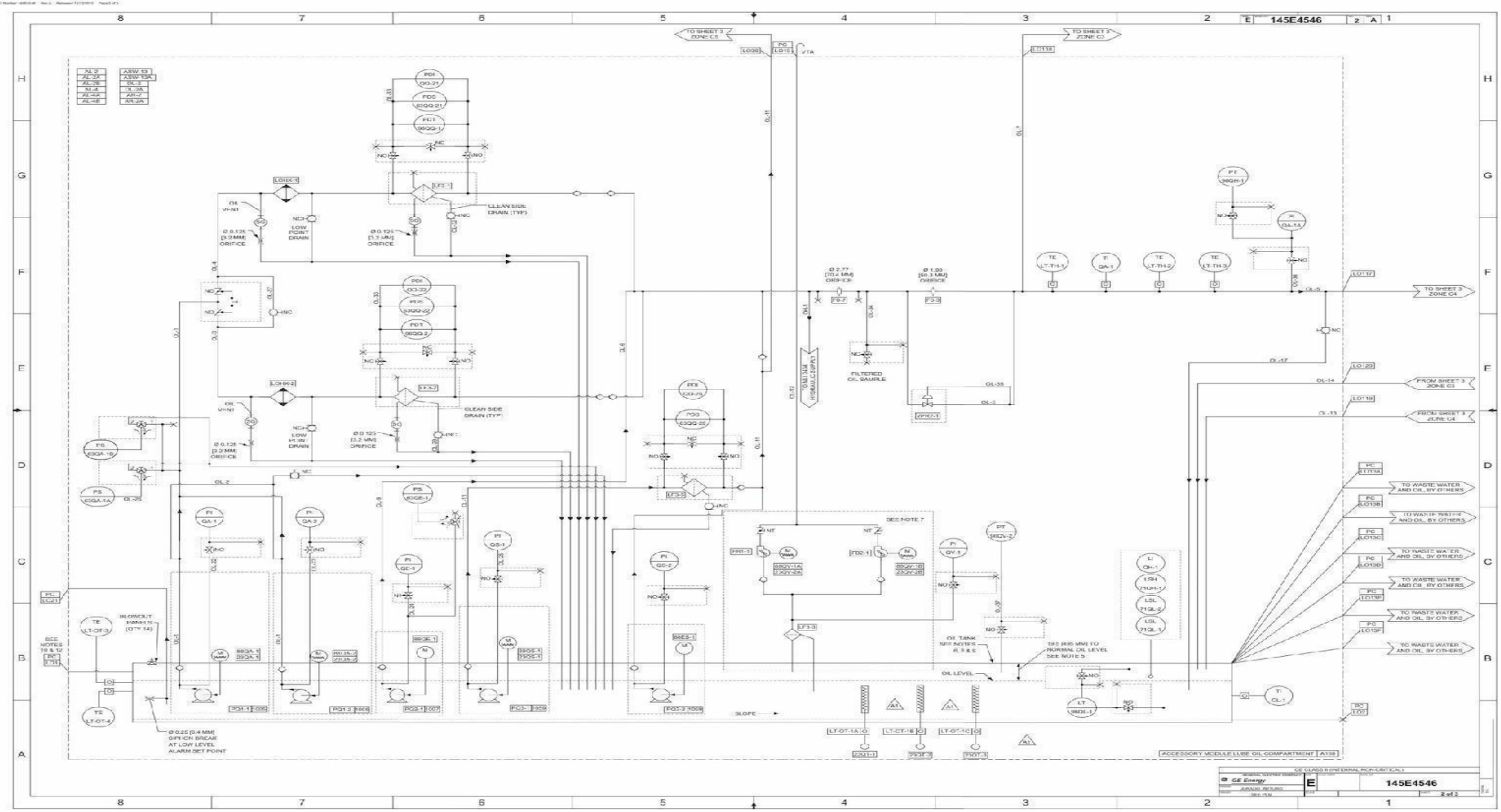

145E4540
INLET BLEED HEAT MANIFOLD A34
AIR SEPARATOR INLET DUCTING A041
ELBOW A041
HUMIDITY SENSOR A727
TRANSITION PIECE A081
TYPICAL 16 PLACES
INLET PLENUM 1012
EXHAUST DIFFUSER DUCT A042
EXHAUST SYSTEM A094
EXHAUST FLOW
FROM BLEED AIR MANIFOLD
TO BLEED AIR MANIFOLD
FROM BLEED AIR MANIFOLD
TO BLEED AIR MANIFOLD
FROM BLEED AIR MANIFOLD
TO BLEED AIR MANIFOLD
FROM BLEED AIR MANIFOLD
TO BLEED AIR MANIFOLD
GE CLASS II (INTERNAL/NON-CRITICAL)
GE Energy
145E4540

Tableau4.1 : *La méthode HAZOP*

Nœud	Paramètre	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes existantes	Recommandations
Admission d'air	Débit d'air	Pas de débit / débit insuffisant	Colmatage filtres, obstruction admission, corps étranger, givrage, registre mal positionné	Baisse performance, instabilité combustion, surchauffe, arrêt turbine	Mesure de pression différentiel de filtres, alarmes, inspection, permissifs	Renforcer surveillance colmatage, inspection périodique, procédure météo sévère
	Température air	Température élevée	Conditions ambiantes extrêmes, défaut refroidissement air d'admission	Baisse puissance, dérive combustion, augmentation température échappement	Monitoring température admission	Définir seuils d'exploitation dégradée

Tableau4.2 : *La méthode HAZOP*

Nœud	Paramètre	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes existantes	Recommandations
Système de gaz	Débit gaz	Pas de débit	Fermeture vanne, perte pression amont, déclenchement station gaz, défaut commande	Extinction flamme, arrêt turbine, risque de séquence incomplète au démarrage	Permissifs démarrage, détection flamme, logique trip	Vérifier robustesse des permissifs de mise à feu
		Débit insuffisant	Régulation défaillante, pression amont basse, filtre colmaté	Combustion pauvre, instabilité, perte de charge	Contrôle débit/pression, alarmes	Installer alarme de dérive avant seuil critique
		Débit excessif	Vanne bloquée ouverte, défaut régulation, erreur capteur, défaut détendeur	Surtempérature, overfiring, risque dommage chambre/turbine, émission excessive	Limites logicielles, trip température, vannes d'arrêt rapide	Étudier redondance capteurs critiques
	Pression gaz	Pression élevée	Défaut détendeur/régulateur, erreur commande	Débit excessif, risque surcombustion, contrainte sur tuyauterie	PSV/régulation, alarmes pression	Vérifier étalonnage régulateurs et vannes slam-shut
	Pression gaz	Pression faible	Défaut réseau, colmatage, régulateur défaillant	Instabilité flamme, extinction, démarrage impossible	Alarmes basse pression, permissifs	Prévoir analyse des transitoires réseau gaz


145E4546
TO SHEET 3 ZONE C5
TO SHEET 3 ZONE C3
TO SHEET 3 ZONE C4
FROM SHEET 3 ZONE C3
FROM SHEET 3 ZONE C4
CLEAN SIDE DRAIN (TYP)
LOW POINT DRAIN
FILTERED OIL SAMPLE
TO WASTE WATER AND OIL, BY OTHERS
OIL TANK
OIL LEVEL
SLOPE
ACCESSORY MODULE LUBE OIL COMPARTMENT
GE Energy
2 of 3

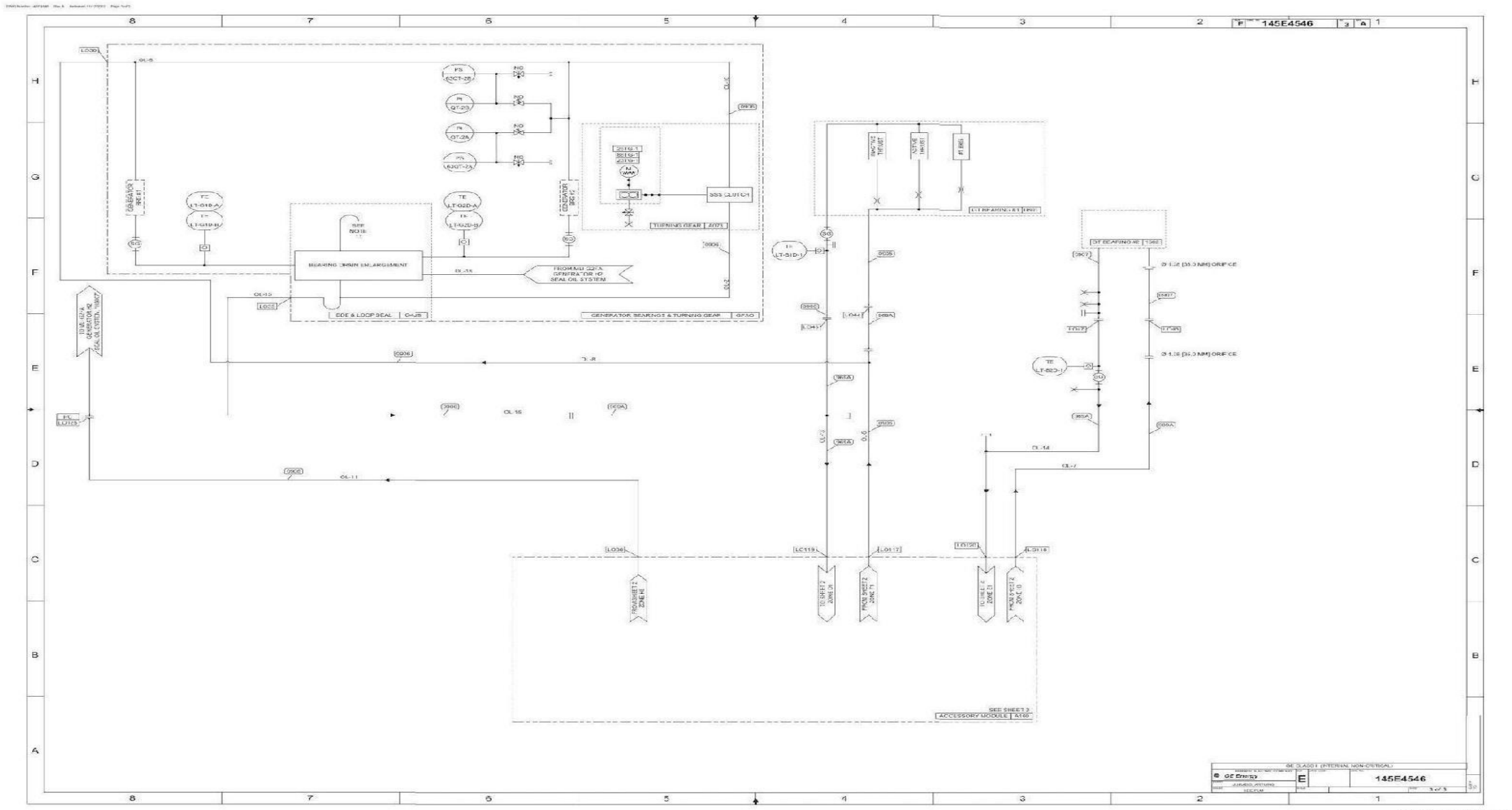

145E4546
BEARING OMAN ENLARGEMENT
EDE & LOOP SEAL
GENERATOR BEARINGS & TURNING GEAR
TURNING GEAR
ACCESSORY MODULE
SEE SHEET 3
GE Energy
145E4546

Tableau4.3 : *La méthode HAZOP*

Nœud	Paramètre	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes existantes	Recommandations
Système de lubrification	Pression huile	Pression basse	Panne pompe, fuite, filtre colmaté, niveau bas réservoir	Endommagement paliers, échauffement, trip turbine	Pompes AC/DC/urgence, alarmes, trip basse pression	Vérifier disponibilité réelle des pompes secours
	Débit huile	Débit insuffisant	Restriction ligne, filtre colmaté, défaillance pompe, fuite	Défaut lubrification, usure accélérée	Instrumentation de pression/débit	Maintenance préventive filtres et pompes
	Température huile	Trop élevée	Refroidisseur défaillant, manque débit, contamination	Baisse viscosité, lubrification insuffisante	Alarmes température, refroidisseurs redondants	Surveiller performance échangeurs
	Niveau réservoir	Niveau bas	Fuite, erreur maintenance, mauvais appoint	Aspiration air, chute pression huile	Alarme niveau bas	Revoir gestion inventaire et rondes opérateur

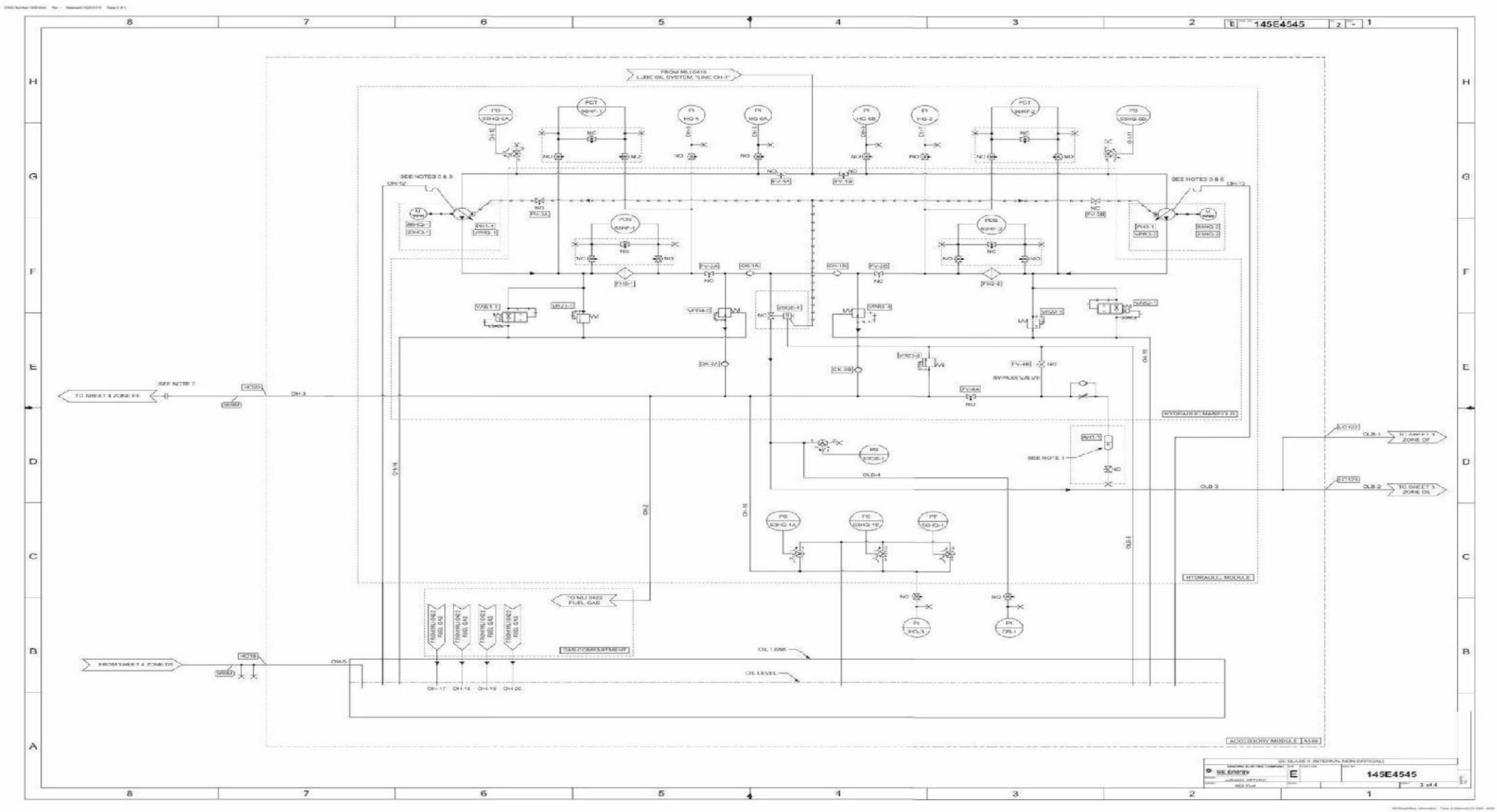

145E4545
FROM MLI 0416
LUBE OIL SYSTEM, "LINE OH-1"
SEE NOTES 3 & 5
SEE NOTES 3 & 6
HYDRAULIC MANIFOLD
HYDRAULIC MODULE
ACCESSORY MODULE
TO MLI 0402
FUEL GAS
OIL TANK
OIL LEVEL
SIEMENS
145E4545

Tableau4.4 :*La méthode HAZOP*

Nœud	Paramètre	Déviation	Causes possibles	Conséquences	Sauvegardes existantes	Recommandations
Système hydraulique	Pression d'huile hydraulique	Trop basse	Pompe défaillante, fuite, accumulateur déchargé	Impossibilité actionnement vannes, perte fonction de trip	Alarmes pression, redondance, tests périodiques	Vérifier santé accumulateurs et temps de réponse
		Trop élevée	Défaut régulation, vanne bloquée	Dommage équipement, fuite, comportement erratique	Soupapes, alarmes	Contrôler soupapes et calibration

4. Interprétation

Nœud 1:

La déviation la plus grave au niveau de ce nœud est l'absence ou l' insuffisance de débit d'air, car cela peut entraîner une surchauffe importante des aubes de la turbine et des chambres de combustion. Cela peut également provoquer une défaillance immédiate du compresseur en raison de la baisse de pression à l'intérieur de celui-ci et du reflux des gaz chauds vers le compresseur.

Le scénario le plus catastrophique est la défaillance mécanique de la turbine et du compresseur due au phénomène de pompage brutal (Compressor Surge). La séquence d'événements commence par une absence totale de débit d'air, provoquant une chute drastique de pression dans le compresseur. Ce manque d'air empêche le refroidissement des chambres de combustion, entraînant une surchauffe extrême, suivie immédiatement d'un reflux violent des gaz et des flammes vers l'arrière (le compresseur) en raison de l'absence de poussée d'air frontale. Cette inversion soudaine du flux crée un choc mécanique, brisant instantanément les aubes et détruisant la machine.

Nœud 2:

La déviation la plus grave au niveau de ce nœud est l'augmentation de la pression du gaz, car cela peut entraîner une forte élévation de la température de la turbine, ce qui risque d'endommager ou de faire fondre les aubes de la turbine ; cela peut également entraîner une rotation de la turbine à une vitesse supérieure à celle autorisée.

Le scénario le plus catastrophique est la destruction thermique et mécanique de la turbine due à un dépassement critique de température et de vitesse . La séquence d’événements commence par une défaillance du détendeur ou de la vanne de gaz (bloquée ouverte), provoquant une augmentation soudaine de la pression du gaz. Ce débit excessif entraîne une combustion violente et incontrôlée, élevant la température des chambres de combustion à des niveaux extrêmes qui font fondre les aubes de la turbine. Et la rotation de la turbine s'accélère brutalement au-delà de la vitesse maximale autorisée (survitesse), générant des forces centrifuges qui

provoquent la rupture des aubes et l'explosion mécanique de la turbine en quelques secondes.

Nœud 3:

La déviation la plus grave dans ce nœud est la baisse de la pression d'huile, car elle provoque directement un frottement entre le rotor et les paliers, ce qui entraîne l'endommagement du rotor et des paliers. Cela conduit également à un déséquilibre du rotor et à la rupture de ses aubes.

Le scénario le plus catastrophique est la défaillance mécanique globale du rotor. La séquence d'événements commence par une chute soudaine et drastique de la pression d'huile due à une panne des pompes ou à une fuite majeure, entraînant la rupture du film de lubrification protecteur. Cette rupture provoque un frottement métallique direct et violent entre l'arbre rotatif et les paliers, ce qui fait monter instantanément leur température et cause un grippage mécanique. Cet arrêt soudain et violent de la partie rotative, sous l'effet d'un couple de torsion énorme, entraîne la déformation (fléchissement) de l'arbre du rotor et la destruction complète des composants internes de la turbine.

Nœud 4:

La déviation la plus dangereuse au niveau de ce nœud est la chute de la pression hydraulique à un niveau intermédiaire critique. À ce stade, le système devient incapable d'actionner les vannes de régulation pour réguler la charge, tandis que la pression résiduelle demeure suffisante pour maintenir les vannes de coupure ouvertes. Cela entraîne un retard fatal ou une perte totale de la rapidité de la fonction de déclenchement d'urgence instantané (Trip) en cas d'incident.

Le scénario le plus catastrophique est l'échec de la réponse rapide du système de déclenchement d'urgence (Trip) et la persistance du flux incontrôlé de combustible lors de la survenue d'un autre incident. La chaîne d'événements commence par une chute partielle de la pression ou par la décharge de la substance d'azote des accumulateurs, ce qui prive le système de sa puissance de débit rapide. Lorsqu'une urgence menaçant la turbine survient (telle qu'une survitesse ou une coupure d'air), le système de contrôle envoie un ordre de fermeture (Trip). Cependant, en raison

d'une pression d'huile résiduelle et lente à se vidanger, les ressorts mécaniques ne parviennent pas à fermer les vannes dans les fractions de seconde critiques. Cela permet au combustible de continuer à couler pendant des secondes supplémentaires, suffisantes pour détruire et faire exploser la turbine mécaniquement et thermiquement

5. Classement des nœuds par niveau de criticité

Les points pris en compte pour classer les nœuds par ordre décroissant de gravité :

1. Le temps disponible pour la réponse et l'intervention.
2. La nature de l'énergie causant la catastrophe.
3. La nature de la défaillance à l'origine de la catastrophe.
4. Le périmètre des dommages.

Le premier nœud le plus critique : Système de gaz
Déviation : Pression élevée.
Cause : Cette déviation injecte une énergie thermique immédiate et incontrôlée, entraînant une survitesse catastrophique et la fusion des aubes dans un délai très court. C'est le scénario le plus rapide menant à la rupture (fragmentation) du rotor.

Le deuxième nœud en termes de criticité : Système d'admission d'air
Déviation : Pas de débit.
Cause : L'obstruction soudaine prive la turbine de son facteur de freinage dynamique (charge aérodynamique) et de l'air de refroidissement. Cela crée immédiatement une onde de choc inverse et destructrice pour le compresseur (Pompage Compresseur / Compressor Surge), accompagnée d'une fusion thermique instantanée des composants internes.

Le troisième nœud en termes de criticité : Système de contrôle hydraulique
Déviation : Pression trop basse / Chute partielle de pression.
Cause : Le danger réside ici dans le fait qu'il s'agit d'une défaillance latente (cachée). Une baisse partielle de pression n'arrête criticalement pas la turbine, mais elle paralyse sa capacité à couper rapidement le carburant (Trip) en cas d'urgence, empêchant ainsi le système de se protéger.

Le quatrième nœud en termes de criticité : Système de lubrification
Déviation : Pression basse.
Cause : Cela entraîne directement la disparition du film d'huile protecteur, provoquant un frottement métal contre métal sévère et une déformation totale de l'arbre (rotor) sous l'effet d'un couple de torsion massif.

6. Analyse des causes fondamentales

Afin de garantir que ces scénarios catastrophiques ne se produisent pas, les causes sous-jacentes de chaque déviation majeure ont été analysées :

Dans le système d'admission d'air (Colmatage des filtres) :

Causes fondamentales : Tempêtes de sable ou conditions environnementales exceptionnelles et soudaines, givrage (congélation de l'humidité sur les filtres), défaillance du système auto-nettoyage, ou effondrement structurel interne à l'intérieur des chambres de filtration.

Dans le système de gaz combustible (Pression élevé) :

Défaillance mécanique des vannes de détente au niveau de la station de gaz, blocage des vannes de commande en position de pleine ouverture à cause de la contamination du gaz par des impuretés, ou perte du signal électrique du positionneur de la vanne.

Dans le système de contrôle hydraulique (Chute partielle de pression) :

Causes fondamentales : Fuite interne invisible dans les vannes ou la tuyauterie, dégradation des pompes hydrauliques, ou perte de la charge d'azote à l'intérieur des accumulateurs, ce qui prive le système de son énergie d'urgence latente.

Dans le système d'huile de lubrification (Baisse de pression d'huile) :

Causes fondamentales : Défaillance électrique soudaine de la pompe principale (Pompe AC) combinée à un refus de démarrage de la pompe de secours (Pompe DC), colmatage sévère et subit des filtres dû à une contamination chimique de l'huile, rupture des lignes d'alimentation principales à l'intérieur du réservoir d'huile,

ou baisse du niveau d'huile dans le réservoir provoquant un phénomène d'aspiration d'air (vortex/prise d'air)

7. Recom mandations générales

- **Recommandations techniques:**

Valider les permissifs de démarrage et la logique de purge.
Tester périodiquement la protection survitesse.

Renforcer la surveillance des vibrations et l'analyse conditionnelle.
Mettre sous contrôle strict la qualité du gaz combustible. Assurer la redondance et la validation des capteurs critiques :

- température,
- pression,
- vibration,
- flamme, - vitesse.

Vérifier la fiabilité réelle des pompes de lubrification de secours.

Renforcer l'inspection des lignes huile et gaz en zones chaudes.
Surveiller les écarts de température d'échappement pour détecter un déséquilibre de combustion.
Contrôler les accumulateurs et actionneurs hydrauliques liés au trip.
Mettre en place un programme de diagnostic prédictif sur la section chaude et les paliers.

- **Recommandations organisationnelles:**

Formaliser la gestion des over rides / bypass de sécurité. Renforcer la formation des opérateurs sur :

- démarrage,
- flame-out, - perte de charge,
- arrêt d'urgence.

Mettre en place un MOC strict pour toute modification de logique. Intégrer le retour d’expérience incidents / quasi-incidents.

Réaliser des exercices périodiques sur scénarios d’urgence.

- **Recommandations maintenance:** Programme d’inspection d’étanchéité gaz. Analyses périodiques de l’huile de lubrification. Calibration périodique des capteurs critiques.

Tests fonctionnels des ESD, solénoïdes, vannes d’arrêt rapide. Inspection borescope de la combustion et section chaude selon cr

8. Conclusion

En conclusion, l'entreprise utilise plusieurs méthodes pour l'analyse des risques liées au processus comme AMDEC et ADD, et quand la turbine est la machine maîtresse pour la production de l'électricité et qui régie par des flux de fluides on s’intéresse sur l’application du HAZOP qui constitue un pilier fondamental pour identifier les failles de conception et d'exploitation dans les systèmes complexes. Cette analyse montre comment une simple déviation ou dérive d’un seul paramètre peut rompre l'équilibre thermo-hydraulique de la turbine et mener à un accident majeur ou un arrêt de production.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, nous affirmons que la turbine à gaz constitue le cœur battant de la centrale électrique, et que son exploitation exige une vigilance absolue compte tenu de sa complexité opérationnelle et énergétique. Les risques associés à ces équipements ne sont pas de simples probabilités, mais des défis fondamentaux impactant directement la sécurité du personnel, l'intégrité des installations et la stabilité de centrale.

Cette étude a permis de démontrer que garantir le fonctionnement sécurisé d'une turbine à gaz dépasse le cadre de la simple maintenance périodique. Cela repose sur une méthodologie préventive et proactive s'articulant autour des axes suivants :

- **Le démantèlement analytique des systèmes :** Un examen rigoureux de chaque composant de la turbine, associé à l'étude des écarts de fonctionnement potentiels par rapport au schéma de conception habituel.

- **L'évaluation globale des risques :** L'identification de tous les scénarios pouvant engendrer une défaillance fonctionnelle ou une dégradation de l'état technique, ainsi qu'une évaluation précise de leurs conséquences.
- **Le renforcement des barrières de sécurité :** La mise en place de mesures de contrôle strictes garantissant la maîtrise des paramètres opérationnels en toutes circonstances.

Le succès d'une stratégie de prévention ne peut être atteint que par un lien étroit entre l'analyse technique théorique et la pratique sur le terrain. Il incombe aux équipes techniques la responsabilité de convertir les conclusions de cette étude en procédures opérationnelles concrètes. Investir dans la compréhension des facteurs de risque liés à la turbine à gaz et les traiter avec sérieux demeure la garantie ultime pour atteindre l'équilibre souhaité entre l'optimisation de la production et le respect des normes les plus exigeantes en matière de sécurité professionnelle et environnementale.

Sur la base des résultats de cette étude, nous recommandons les actions d’application suivantes :
Rigueur dans la maintenance de l'instrumentation et du contrôle-commande : Respect strict des programmes d'étalonnage et d'inspection périodique des capteurs de mesure et des vannes de régulation, afin de maintenir la turbine dans sa plage de fonctionnement sûr.
Pérennisation et mise à jour de l'étude (HAZOP) : Révision périodique de l'analyse des risques et de l'opérabilité, en faisant de cette démarche une étape obligatoire avant toute modification technique ou changement dans les lignes de procédés.
Développement des compétences en ingénierie de la sécurité : Qualification des opérateurs aux mécanismes de l'analyse pour ancrer une culture d'évaluation proactive des risques et prévenir les défaillances cachées (la formation continue des équipes)
Renforcement des compétences de détection précoce : Formation des équipes d'exploitation et de maintenance à l'interprétation précise des indicateurs, afin de faciliter l'identification rapide de toute anomalie, de prévenir les phénomènes catastrophiques et de les gérer efficacement.

BIBLIOGRAPHIE

[1] «Gt & Gen. Manual» https://www.scribd.com/document/655885068/Gt-Gen-Manual#google_vignette

[2] «Qurayyah CCPP Project Fail Free Commissioning - STEAM TURBINE GENERATOR» https://www.scribd.com/presentation/685947837/24-Qurayyah-Fail-FreeCommissioning-STG-General-Specific

[3] «Etude et simulation des défaillances des transformateurs électriques» https://ds.univoran2.dz:8443/jspui/handle/123456789/7926

[4] Nag, P. K. (2014). «Power Plant Engineering (4th ed.).»

[5] «Etude qualitative de l'eau d'alimentation des équipements du complexe FERTIAL-ANNABA» https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2021/06/saidi-bouaalia.pdf

[6] «ATMOSPHERE EXPLOSIVE (LES ZONES ATEX)» https://ds.univ-oran2.dz:8443/jspui/handle/1234567