



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ammar Telidji – Laghouat – Faculté de technologie Département Mécanique

Mémoire pour l'Obtention du diplôme :

Master en Maintenance industrielle

Option :

Maintenance industrielle

Présenté par :

- Bentobbal Mahdi
- Ferhat Ilias

Thème :

Maintenance d'une centrale pour la production d'électricité
hybride à gaz avec cycle combiné / centrale solaire

Sous La Supervision :

- Pr. GUERIBIZ Djelloul

Soutenu devant le jury composé de :

Nom et Prénom :

- Mr. Bensnouci.A
- Mr. Benhorma.Hadi

Qualité :

Président
Examineur 1

ANNÉE UNIVERSITAIRE :2023/2024



UTE Abencher Hassi R'Mel O.S.M.
Abencher Hassi R'Mel
Directeur de la Centrale

REMERCIEMENTS

Louange à Allah, par la grâce de qui se réalisent les bonnes choses. Nous remercions tout d'abord notre Dieu puissant de nous avoir donné la force et le courage nécessaires pour réaliser ce travail, qui couronne nos longues années d'études et de persévérance. Malgré tous les obstacles rencontrés, Dieu nous a guidés sur le bon chemin, nous accordant la foi pour continuer sans jamais baisser les bras.

Nous sommes reconnaissantes envers toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin. Nous commençons par nos chers parents, dont les prières et les sacrifices n'ont jamais cessé à notre égard.

Un immense merci au groupe « SPP1 » pour leur aide dans nos stage pratique de ce projet et pour leur disponibilité.

*Nous remercions également les membres du jury, M. « **BENSNOUCLA** », et M. « **BENHORMA.H** », qui vont examiner notre modeste mémoire ; nous espérons qu'il saura les satisfaire.*

*Nos profonds respects et reconnaissances vont à notre promoteur, M. « **GEURIBIZ.D** », qui nous a accordé de son temps, son énergie professionnelle, ses conseils avisés et son soutien durant ce projet.*

Nous n'oublions pas de remercier tous nos enseignants du département de « Génie mécanique » pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre cursus afin de nous mener jusqu'au terme de notre formation.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents:

Bentobbal Mohammed & Benrahal Kenza

Pour leur support dans tous les bas et les hauts de ma vie, leur amour qui me donnée la force pour terminer ce travail, j'espère qu'ils seront honorés par mon travail.

A mes chères sœurs :

A mes chers grands parents que dieu l'accorde son paradis et sa pitié :

Bentobbal Mustapha & Benrahal Messoud & Belmechri Fatna

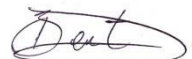
À ma famille Bentobbal sans exception et à ma tante Assia spécialement pour son soutien, son amour et son respect pour mener à bien ce travail.

A mon frère et mon collègue dans notre cursus de Master :

Ferhat Ilias.

À tous mes amis et collègues de classe.

Bentobbal Mahdi.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

A mes Frères

A toute ma famille

A ma chère épouse et mes enfants

A tous mes collègues et mes amis partout

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

Et la prospérité de l'humanité.

Ferhat Ilias.

TABLAUX DE CONTENT :

Introduction General _____	1
----------------------------	---

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LA MAINTENANCE

I.1. Introduction : _____	3
I.2. Historique de la maintenance : _____	3
I.3. Définition de la maintenance : _____	3
I.4. Rôle de la maintenance : _____	4
I.5. Objectifs de la maintenance : _____	5
I.6. Les types de maintenance : _____	5
I.7. Organigramme de maintenance : _____	8
I.8. Conclusion : _____	9

CHAPITRE 2 : Généralités sur les éléments de l'installation hybride thermique

II.1. Introduction : _____	11
II.2. Généralités sur les turbines _____	11
II.2.1. Turbine à gaz _____	11
II.2.2. Turbine à vapeur _____	17
II.2.3. Turbine à gaz à cycle combiné [10] _____	23
II.3. Le cycle combiné solaire : _____	24
II.4. Conclusion : _____	27

CHAPITRE3 : Description détaillée de la centrale hybride de Hassi R'mel

III.1 Introduction : [13] _____	29
III.2 Site d'implantation (Localisation géographique) : [14] _____	29
III.3 Description des composants de la centrale hybride : _____	31
III.4 Le principe du fonctionnement de la centrale : [20] _____	58
III.5 Principe de fonctionnement de la centrale en cycle combiné : _____	59
III.6. Définition & principe de fonctionnement du "By-pass" au niveau du GVS :62	
III.7. Conclusion : _____	64

CHAPITRE4 : Maintenance des équipements de la station thermique

IV.1 Calcul de la performance de la centrale électrique _____	65
IV.1.1 Introduction : _____	65

IV.1.2 Détermination de l'expression du rendement globale de la centrale : ____	65
IV.1.3 Influence du maintenance et d'entretien sur le rendement _____	68
IV.4 Proposition d'un plan pour l'entretien et la maintenance de la centrale hybride à cycle combiné gaz/solaire : _____	77
IV.1.4 La Maintenance Appliquée Sur Les Turbines A Gaz SGT800 : _____	78
IV.1.5 Maintenance préventive : _____	79
IV.1.6. Maintenance corrective : _____	81
IV.1.6.1. Procédure D'une Révision Générale [10] : _____	81
IV.1.7. Inspection Des Systèmes De Commande et de Protection : _____	83
IV.1.8. Teste De Démarrage et Essai : _____	83
IV.1.9. La Maintenance D'amélioration (Passage A La Nouvelle Technologie Pour La Turbine A Gaz SGT-800) [10] : _____	83
IV.1.9.1. Les Cycles Des Révisions : _____	84
IV.1.10. Maintenance de la chaudière (HGRS) : _____	85
IV.1.11. Maintenance préventive : _____	85
IV.1.12. Maintenance Corrective : _____	86
IV.1.13. Maintenance Appliquée Sur Les Turbine à Vapeur SST-900 : _____	87
IV.1.14. La maintenance conditionnelle (inspection en fonctionnement) : ____	87
IV.1.15. La maintenance systématique (les inspections programmées) : ____	88
IV.1.16. Révision d'une turbine à vapeur : _____	89
IV.1.17. Maintenance des pompes : _____	90
IV.1.17.1. Pompes pneumatiques : _____	90
IV.1.17.2. Pompe électrique : _____	92
IV.1.18. Dépannage de certaines pannes de pompes : _____	94
IV.2.Maintenance Applique sur le champ solaire : _____	97
IV.2.1. Partie Electrique : _____	97
IV.2.2. Partie Instrumentation : _____	98
IV.2.3. Partie Mécanique : _____	99
IV.3.Conclusion : _____	102
Conclusion Générale _____	91

LIST DE FIGURES

Figure I. 1 : Organigramme de maintenance _____	8
Figure II. 1 : Les éléments de la turbine à gaz. [5] _____	12
Figure II. 2 : Classification des turbines à gaz. [5] _____	12
Figure II. 3 : Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres. [6] _____	13
Figure II. 4 : Mode de travail. [4] _____	14
Figure II. 5 : Représentation de cycle fermé et ouvert. [4] _____	15
Figure II. 6 : Les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine. [6] _____	16
Figure II. 7 : Schéma d'une turbine à vapeur. [8] _____	18
Figure II. 8 : Mode de fonctionnement de la vapeur. [8] _____	19
Figure II. 9 : Turbine axiale. [8] _____	20
Figure II. 10 : Turbine radiale [8] _____	20
Figure II. 11 : Mode de transmission. [8] _____	21
Figure II. 12 : Turbine à disque. [9] _____	22
Figure II. 13 : Turbine à tambour. [9] _____	22
Figure II. 14 : Turbine à gaz à cycle combiné. [10] _____	23
Figure II. 15 : Principe fonctionne. [11] _____	24
Figure II. 16 : Schéma global du solaire thermodynamique [12] _____	26
Figure III. 1 : Site de la centrale de Hassi R'Mel (SSP1) [14] _____	30
Figure III. 2 : Photo de shéma globale cycle Combiné [22] _____	31
Figure III. 3 : Shéma globale cycle Combiné [24] _____	31
Figure III. 4 : Champ solaire de Hassi R'mel [22] _____	33
Figure III. 5 : Présentation du champ solaire [8] _____	33
Figure III. 6 : Passage du fluide Caloporteur [8] _____	34
Figure III. 7 : Image réelle de la TAG SGT-800 [23] _____	35
Figure III. 8 : Constituants de turbine à gaz [17] _____	37
Figure III. 9 : Photo réelle de la HRGS THERMAX INDIA [22] _____	38
Figure III. 10 : Schéma descriptif de chaudière de récupération [16] _____	39
Figure III. 11 : Schéma du fonctionnement de chaudière de récupération [18] _____	43
Figure III. 12 : La turbine à vapeur SIEMENS SST-900 [23] _____	44
Figure III. 13 : Aérocondenseurs de la centrale de Hassi [15] _____	46
Figure III. 14 : Schéma de prouesses du traitement d'eau [20] _____	47
Figure III. 15 : Centrale hybride à cycle combiné [15] _____	48
Figure III. 16 : Schéma d'un tube typique absorbant d'un capteur cylindro-parabolique [16] _____	49
Figure III. 17 : Tube récepteur de la centrale [16] _____	50
Figure III. 18 : Système de poursuite [16] _____	51
Figure III. 19 : Schéma simplifié du système de poursuite du CCP [16] _____	51
Figure III. 20 : Matériau du miroir [15] _____	52
Figure III. 21 : Chaudière HTF de la centrale [23] _____	53
Figure III. 22 : Schéma du fonctionnement du générateur de vapeur solaire [16] _____	55

Figure III. 23 : Circuit de fluide HTF [16]	55
Figure III. 24 : La station météorologique de la centrale hybride [16]	57
Figure III. 25 : Puissance du générateur et consommation en fonction de la température d'admission de la SGT-800 [18]	58
Figure III. 26 : Schéma d'une centrale hybride solaire-gaz [champ solaire avec une système cylindro-parabolique & cycle combiné : turbine à gaz + turbine à vapeur + chaudière] [18]	61
Figure III. 27 : Photo de Schéma descriptif du By-pass [22]	63
Figure III. 28: Schéma descriptif du By-pass [24]	63
Figure IV. 1 : production d'électricité pour une journée en été.	69
Figure IV. 2 : influence du rendement du champ solaire sur le rendement global	70
Figure IV. 3 : puissance produite et compensée en fonction du rendement du champ solaire	70
Figure IV. 4 : évolution du rendement globale de la centrale en fonction de l'efficacité de système de la production de vapeur.	72
Figure IV. 5 : chute de puissance produite suite aux chutes d'efficacité.	72
Figure IV. 6 : évolution du rendement de la centrale en fonction du rendement de la turbine à vapeur	73
Figure IV. 7 : chute de puissance produite suite aux chutes dans le rendement de la turbine à vapeur	74
Figure IV. 8 : évolution du rendement de la centrale en fonction du rendement de la turbine à gaz	75
Figure IV. 9 : chute de puissance produite suite aux chutes dans le rendement de la turbine à gaz	76
Figure IV. 10 : Schéma globale de la centrale hybride gaz/solaire	77
Figure IV. 11 : Image réelle de la TAG SGT-800 [23]	78
Figure IV. 12 : Photo réelle de la HRGS THERMAX INDIA [22]	85
Figure IV. 13 : Photo réelle de la turbine à vapeur SIEMENS SST-900 [23]	87
Figure IV. 14 : Pompe pneumatique à membrane [23]	90
Figure IV. 15 : Photo réelle Pompe électrique siemens [22]	92
Figure IV. 16 : Photo réelle du champ solaire SPP1 [22]	97
Figure IV. 17 : Contrôle du paramétrage de la régulation de la centrale depuis la salle de contrôle [22]	98
Figure IV. 18 : Partie Instrumentation dans l'armoire (Contrôle de communication). [22]	99
Figure IV. 19 : La cassure du Tube récepteur	100
Figure IV. 20 : L'État de cassure des miroirs	100

LIST DSE TABLEAUX

Tableau III. 1 : Les paramètres du champ solaire [15]	32
Tableau III. 2 : Paramètres de la turbine à gaz.	36
Tableau III. 3 : Les caractéristiques du générateur de TAG [16]	38
Tableau III. 4 : Paramètres du HRSG.	40
Tableau III. 5 : Paramètres de la turbine à vapeur SST-900.	44
Tableau III. 6 : Les caractéristiques du générateur de TAV [16]	45
Tableau III. 7 : Les paramètres du collecteur ET150 de la centrale [15]	49
Tableau III. 8 : Les paramètres du THERMINOL VP-1 [16]	53
Tableau IV. 1 : Cycles des révisions.	84

Résumé :

Dans ce mémoire, nous avons examiné un sujet technologique d'actualité qui se concentre sur la production d'électricité à faible coût tout en préservant l'environnement et ses ressources, il s'agit de la production d'électricité en utilisant un cycle combiné intégré à une centrale solaire. Ce système de production électrique représente une alternative aux cycles conventionnels qui ont un impact néfaste sur l'environnement et ses ressources. Nous avons commencé par étudier les différents processus impliqués dans la production d'électricité par ce cycle, ainsi que ses divers équipements. Notre visite sur site a été extrêmement bénéfique pour comprendre ce cycle, approfondissant ainsi nos connaissances sur cette technologie.

De plus, elle nous a facilité la tâche pour élaborer un schéma de maintenance visant à garantir le bon fonctionnement du cycle et une production optimale et durable.

Les mots clés : « Centrale hybride » « Cycle combinée » « SPP1 »

ملخص:

في هذه الأطروحة، قمنا بفحص موضوع تكنولوجي حالي يركز على إنتاج الكهرباء بتكلفة منخفضة مع الحفاظ على البيئة ومواردها، وهو إنتاج الكهرباء باستخدام دورة مشتركة مدمجة في محطة طاقة شمسية. يمثل هذا النظام لإنتاج الكهرباء بديلاً عن الدورات التقليدية التي لها تأثير ضار على البيئة ومواردها. بدأنا بدراسة العمليات المختلفة المشاركة في إنتاج الكهرباء بواسطة هذه الدورة، وكذلك معداتها المختلفة. كانت زيارتنا الميدانية مفيدة للغاية في فهم هذه الدورة، مما عمق معرفتنا بهذه التكنولوجيا. بالإضافة إلى ذلك، سهلت مهمتنا في تطوير جدول صيانة يهدف إلى ضمان التشغيل السليم للدورة والإنتاج

المستدام والمثالي.

الكلمات المفتاحية : "محطة توليد الطاقة الهجينة" "الدورة المركبة" « SPP1 »

Abstract:

In this dissertation, we have examined a current technological topic focusing on low-cost electricity production while preserving the environment and its resources, which is

electricity production using a combined cycle integrated into a solar power plant. This electricity production system represents an alternative to conventional cycles that have a detrimental impact on the environment and its resources. We started by studying the various processes involved in electricity production by this cycle, as well as its various equipment. Our on-site visit was extremely beneficial in understanding this cycle, thereby deepening our knowledge of this technology. Additionally, it facilitated our task of developing a maintenance schedule aimed at ensuring the proper functioning of the cycle and sustainable and optimal production.

Key words: “Hybrid power plant” “Combined cycle” “SPP1”

Introduction General

La principale source d'électricité en Algérie provient de l'énergie fossile, notamment le gaz et le pétrole. Des machines rotatives, appelées turbines, sont couramment utilisées pour cette production. Ces turbines émettent des gaz combustibles à des températures élevées, atteignant près de 500°C. Ces émissions gazeuses sont largement polluantes, engendrant ainsi des problèmes environnementaux majeurs qui ont un impact tant au niveau local sur l'écosystème qu'au niveau mondial sur le climat en accentuant l'effet de serre.

Pour remédier à cette situation et protéger l'environnement des effets nocifs de ces émissions gazeuses, des solutions technologiques astucieuses ont été proposées. Parmi celles-ci, la récupération de l'énergie calorifique transportée par les gaz d'échappement, à travers la mise en place d'un cycle combiné, est une initiative notable. Ce processus implique l'introduction d'une turbine à vapeur qui est alimentée par la vapeur générée principalement à partir des gaz brûlés.

Par ailleurs, tenant compte du climat propice du Sahara et dans une perspective de préservation de l'environnement saharien ainsi que de nos ressources en énergie fossile, le système hybride solaire-gaz a été développé. Ce système combine une turbine à gaz à cycle combiné avec un champ solaire. Cette fusion de technologies de pointe offre des opportunités fascinantes en termes d'économie d'énergie fossile et de préservation de l'environnement.

Afin d'améliorer la productivité de ce système et d'assurer son bon fonctionnement, ce mémoire se propose d'étudier en détail cette solution, en vue de proposer des mesures de maintenance adéquates.

Le présent mémoire se concentre sur l'étude de la centrale thermique hybride de Hassi R'mel, dotée d'une capacité de production de 150 MW. Cette installation novatrice associe un champ solaire équipé de capteurs cylindro-paraboliques à un cycle combiné traditionnel comprenant deux turbines à gaz et une turbine à vapeur.

CHAPITRE 1 :

GENERALITE SUR LA MAINTENANCE

I.1. Introduction :

De nos jours la production d'une entreprise dépend largement des tâches de maintenance qui visent à réduire les coûts de production en évitant la faille des installations. Cela rend l'existence de ce service capital dans toute entreprise productive, son rôle est d'assurer le fonctionnement permanent des équipements afin qu'elles puissent accomplir leurs tâches avec succès.

I.2. Historique de la maintenance :¹

- A. Le terme "maintenance" est d'origine militaire, donc la signification est de maintenir des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un certain niveau.
- B. Entretien et Maintenance : Ces termes représentent plus qu'un simple changement sémantique ; ils reflètent une transformation profonde.
 - ✓ L'entretien consiste à la mise en service de nouveau des équipements en pannes afin d'assurer la productivité des entreprises.
 - ✓ L'entretien peut être perçu comme une réaction qui vise à régler des problèmes matériels.
 - ✓ La maintenance, quant à elle, implique le choix de stratégies afin de prévoir les failles des installations afin de les corriger, comme elle s'occupe de la modernisation du matériel et de processus de production :

I.3. Définition de la maintenance :

Selon d'AFNOR X60 010, la maintenance implique : « Toutes les activités visant à maintenir ou à remettre en service un bien dans un état de conditions de fonctionnement optimales, afin d'accomplir une tâche requise. Ces activités représentent une combinaison de trois activités : techniques, administratives et de management. ». Le terme maintenance englobe quatre notions :

La définition de la maintenance fait donc apparaître quatre notions :

- ✓ Maintenir : qui suppose un suivi et une surveillance.
- ✓ Rétablir : qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.

Etat : précisant le niveau de compétences et les objectifs attendus.

- ✓ Cout optimal : joue le rôle déterminant dans la planification de toutes les opérations, en vue d'assurer une efficacité économique maximale.
- ✓ Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué.
- ✓ La fonction maintenance revêt une importance capitale dans toute entreprise, quel que soit son type ou de son secteur d'activité. Son rôle consiste à garantir la disponibilité maximale des installations par l'optimisation de leur performance tout en respectant les contraintes budgétaires qui lui sont assignées.

I.4. Rôle de la maintenance :

La fonction de maintenance joue un rôle crucial dans le maintien de la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, en veillant à maintenir la capacité opérationnelle de l'entreprise selon la stratégie globale de l'entreprise. Dans ce contexte, elle doit prendre en considération les éléments suivants :

I.4.1. Prévision à long terme :

Alignée avec la politique de l'entreprise, cette fonction de maintenance facilite la planification des charges, des stocks et des investissements en matériel

I.4.2. Prévision à moyen terme :

Concerne une préservation du potentiel d'activité de l'entreprise conduisant à immobiliser les équipements de manière à perturber le moins possible le programme production.

I.4.3. Prévision à court terme :

Le rôle du département de maintenance de s'engage à minimiser les temps d'arrêt des équipements et à optimiser les coûts de ses interventions. Pour y parvenir, une analyse approfondie du matériel et des opérations de maintenance est indispensable. Cette analyse

méticuleuse implique une programmation minutieuse des travaux, une évaluation précise des conditions opérationnelles, une anticipation proactive des défaillances éventuelles, ainsi qu'une planification stratégique des interventions.

I.5. Objectifs de la maintenance :

Les principaux objectifs de la maintenance sont :

- ✓ Maintenir l'équipement en excellent état de marche et de propreté absolue tout en garantissant les normes de qualité, les délais optimaux et des coûts compétitifs.
- ✓ Remplacement des équipements à des périodes prédéterminées.
- ✓ Assurer aux équipements des performances de haute qualité.
- ✓ Améliorer les mesures de sécurité du travail.
- ✓ Assurer aux personnels une formation de qualité dans les différentes spécialités de la maintenance.
- ✓ Donner des directives pour la gestion de l'entreprise afin d'assurer une productivité optimale de l'entreprise.

I.6. Les types de maintenance :

La définition du terme maintenance englobe deux tâches : maintenir et rétablir. La première concerne une action préventive. La deuxième fait référence à un aspect correctif.

I.6.1. Maintenance préventive :

Conformément à la norme AFNOR X 60010, la maintenance préventive est exécutée suivant des critères préétablis, dans le but de diminuer la probabilité de défaillance d'un bien ou de détérioration d'un service fourni.

But de la maintenance préventive :

- ✓ Prolonger la durée de vie des matériels en service.
- ✓ Minimiser la probabilité des défaillances en service.
- ✓ Réduire les temps d'arrêt en cas d'intervention pour la révision ou de panne.
- ✓ Anticiper les interventions de maintenance corrective onéreuse en les prévenant à l'avance.

- ✓ Rendre facile la prise de décision en ce qui concerne la maintenance corrective dans des conditions optimales.
- ✓ Éviter les consommations anormales d'énergie, et des produits.
- ✓ Éliminer les sources d'accidents majeurs.
- ❖ **Avantages et inconvénients de la maintenance préventive :**
 - ✓ **Avantage :**
 - Une préparation adéquate de l'intervention.
 - Réduction minimum de la durée de mobilisation du matériel.
 - Rendre Facile la programmation et la planification des tâches.
 - ✓ **Inconvénients :**
 - Coûts élevés de gestion des stocks.
 - Coûts liés à la planification.
 - Charges supplémentaires pour la formation du personnel.

I.6.2. La maintenance conditionnelle :¹

Conformément à la norme AFNOR X 60-100, la maintenance conditionnelle est définie comme étant un type de maintenance préventive qui intervient suite à une réponse à un événement prédéfini tel qu'un (autodiagnostic, un signal de capteur ou une mesure d'usure), indiquant ainsi l'état de dégradation d'un équipement.

I.6.3. Maintenance systématique :

Ce type de maintenance englobe toutes les actions entreprises pour restaurer, entièrement ou partiellement, la capacité de résistance des équipements en bon état. Ces interventions sont programmées selon des critères de temps ou de production, sans tenir compte de l'état actuel des équipements.

I.6.4. Maintenance corrective :

Les travaux entrepris après une défaillance ou une dégradation de fonction d'un équipement visent à le remettre en état de fonctionnement requis, voire une fonction réduite si nécessaire. Ces travaux comprennent la localisation de la défaillance, son diagnostic, les

réparations ou modifications éventuelles de l'équipement, ainsi que la vérification de son bon fonctionnement.

Avantage et inconvénients de la maintenance corrective :

✓ **Avantage :**

- Un montant moyen alloué à l'entretien.
- Minimisation des coûts directs
- Réduction des frais de gestion des stocks.
- La tâche est simplifiée.

✓ **Inconvénient :**

- Période d'arrêt et d'intervention relativement long.
- Coût de maintenance élevée.
- Prix des pièces de rechange à un prix élevé.

I.6.5. La maintenance palliative :

Fait partie d'une maintenance corrective désignée sous le terme de dépannage, Son objectif est de permettre à un équipement de remplir temporairement ou partiellement sa fonction requise. Cette mesure palliative implique principalement des interventions temporaires qui doivent être suivies de mesures correctives plus durables.

I.6.6. Maintenance curative :

Cette activité corrective a pour but de ramener un équipement à un état spécifique ou de lui permettre d'accomplir sa fonction requise. Les résultats de ces interventions doivent être pérennes. Elles peuvent englober des réparations, des modifications ou des améliorations visant à éliminer les défaillances.

I.7. Organigramme de maintenance :

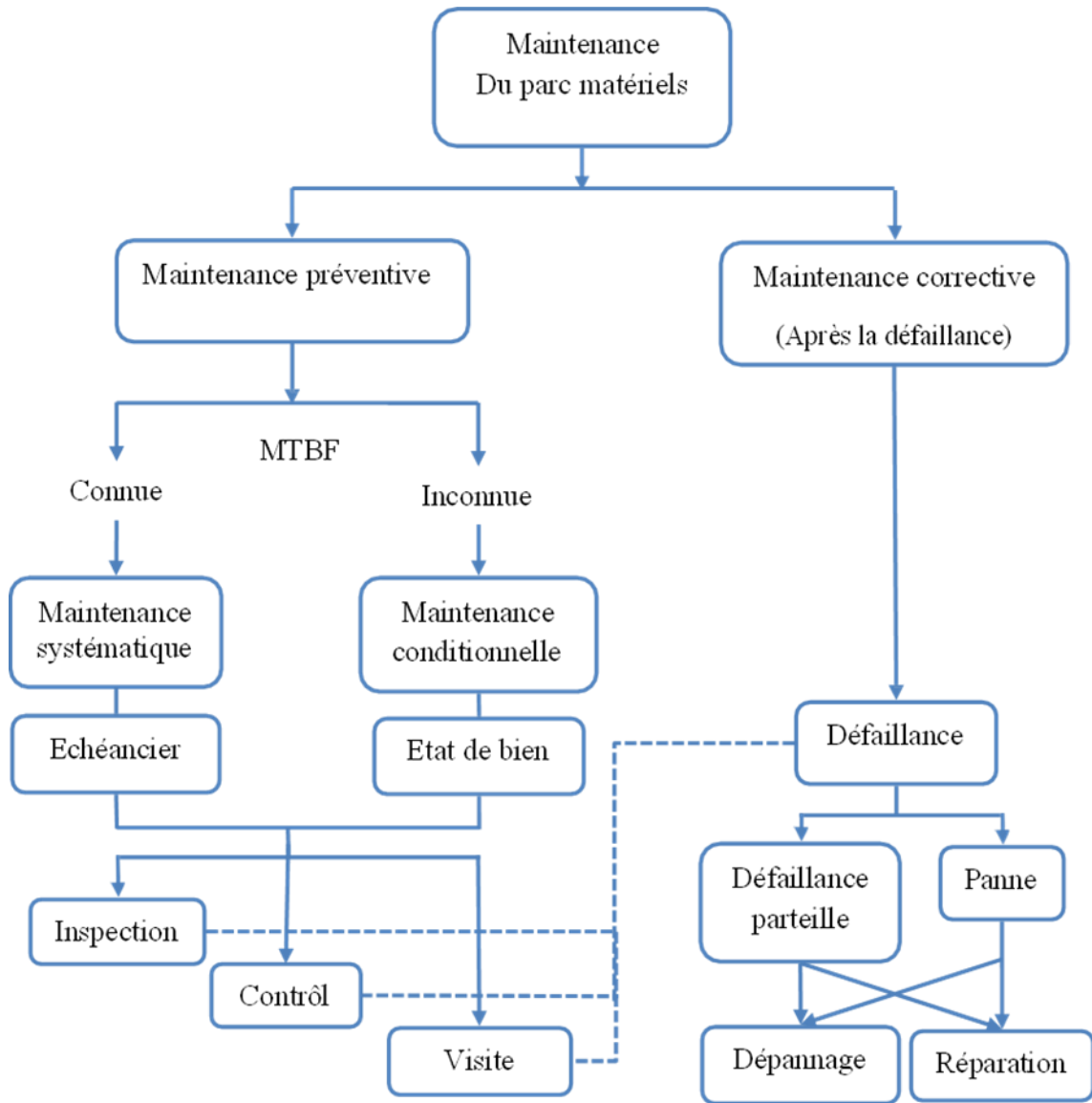


Figure I. 1 : Organigramme de maintenance

I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une revue sur les différents types de maintenance tout en indiquant la spécificité de chaque type en présentant ses inconvénients et ses avantages. Ces diverses formes de maintenance jouent un rôle essentiel dans la productivité de l'entreprise en assurant la sécurité, l'efficacité et la durabilité des infrastructures.

CHAPITRE 2 :

Généralités sur les éléments de l'installation hybride

thermique

II.1. Introduction :

À l'heure actuelle, l'énergie solaire joue un rôle prépondérant en tant que source énergétique principale. Elle est largement utilisée dans divers secteurs industriels, notamment dans les installations hybrides gaz-solaire, où elle est employée pour générer de la vapeur destinée à alimenter une turbine à vapeur. Les différents éléments du système hybride, comprenant une turbine à gaz, une turbine à vapeur et un champ solaire, sont présentés en détail dans ce chapitre.

II.2. Généralités sur les turbines

II.2.1. Turbine à gaz

II.2.1.1. Définition

La turbine à gaz fonctionne essentiellement comme un moteur à combustion interne, autonome et indépendant. Son fonctionnement débute par l'aspiration de l'air ambiant, qui est ensuite comprimé dans son compresseur. L'air ainsi comprimé est dirigé vers la chambre de combustion, où il est mélangé avec un combustible pour augmenter son énergie. Ensuite, l'énergie produite est convertie en énergie mécanique lors de la détente dans la section turbine. Cette énergie mécanique est ensuite transmise à une machine de sortie via une connexion, alimentant ainsi un processus industriel.

Une turbine à gaz typique est équipée d'un compresseur axial qui aspire de l'air à pression atmosphérique, ainsi que d'une chambre de combustion où l'air comprimé est chauffé à pression constante grâce à la combustion de carburants spécifiques tels que le gaz naturel.

II.2.1.2. Les éléments d'une turbine à gaz :

Une turbine à gaz, dans sa forme la plus commune et la plus simple, est composée de trois éléments principaux :

- **Le compresseur** : qui peut être soit centrifuge, soit plus fréquemment axial, est utilisé pour comprimer l'air ambiant jusqu'à une pression généralement située entre 10 et 30 bars.
- **La chambre de combustion** : un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression et brûlé avec de l'air comprimé, souvent avec un excès d'air pour maintenir une température des gaz d'échappement modérée.

- **La turbine** : est utilisée pour décharger les gaz chauds provenant de la chambre de combustion dans une turbine axiale.

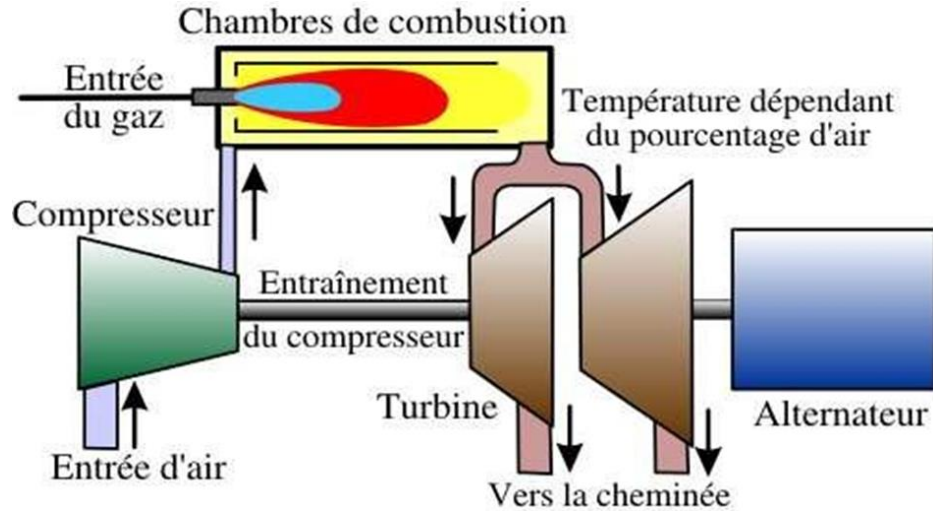


Figure II. 1 : Les éléments de la turbine à gaz. [5]

II.2.1.3. Classification des turbines à gaz :

On peut classer les turbines selon différents points :

- ✓ Par le mode de travail.
- ✓ Par le mode de fonctionnement thermodynamique.
- ✓ Par le mode de construction.

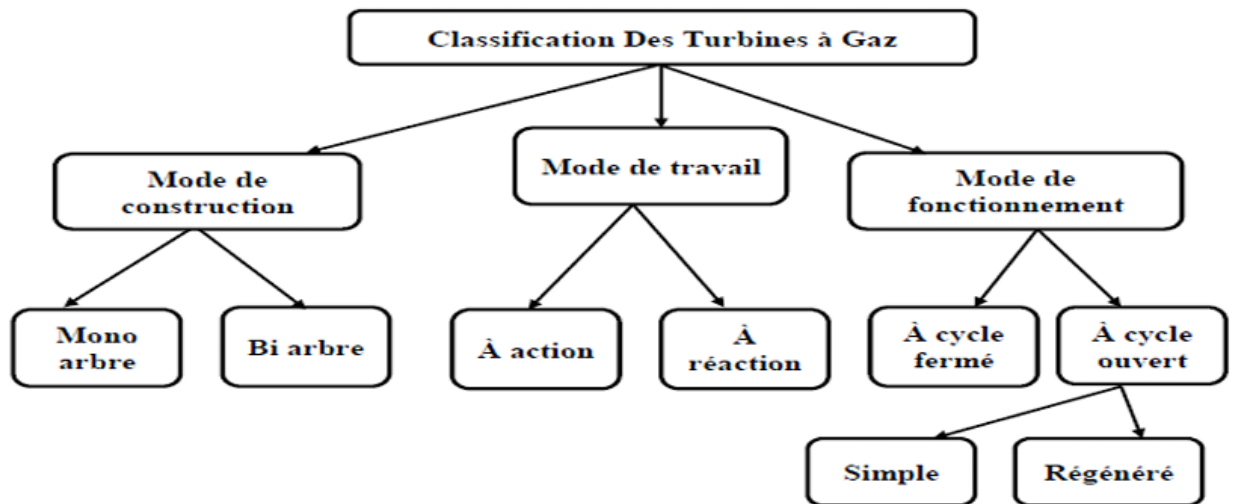


Figure II. 2 : Classification des turbines à gaz. [5]

II.2.1.4. Par le mode de construction :

Le choix d'une turbine à gaz dépend de l'objectif visé. Dans l'industrie, on trouve des turbines à un seul arbre, appelées mono-arbre, principalement utilisées pour des applications à charge constante, comme entraîner des générateurs d'électricité.

Un autre type est celui des turbines à deux arbres (bi-arbres), qui conviennent mieux aux appareils à charges variables (pompes, compresseurs, etc.). Elles se composent de deux parties : la première assure l'autonomie de la turbine et la seconde est reliée à la charge.

Enfin, il existe également des turbines dérivées de l'aéronautique, conçues spécifiquement pour différents domaines d'utilisation. Dans ce cas, une partie de la turbine assure toujours son autonomie, tandis que l'énergie restante dans les gaz d'échappement est utilisée pour créer de la poussée en transformant l'énergie thermique et de pression en énergie cinétique à l'aide d'une tuyère (voir **figure II.3**). [6]

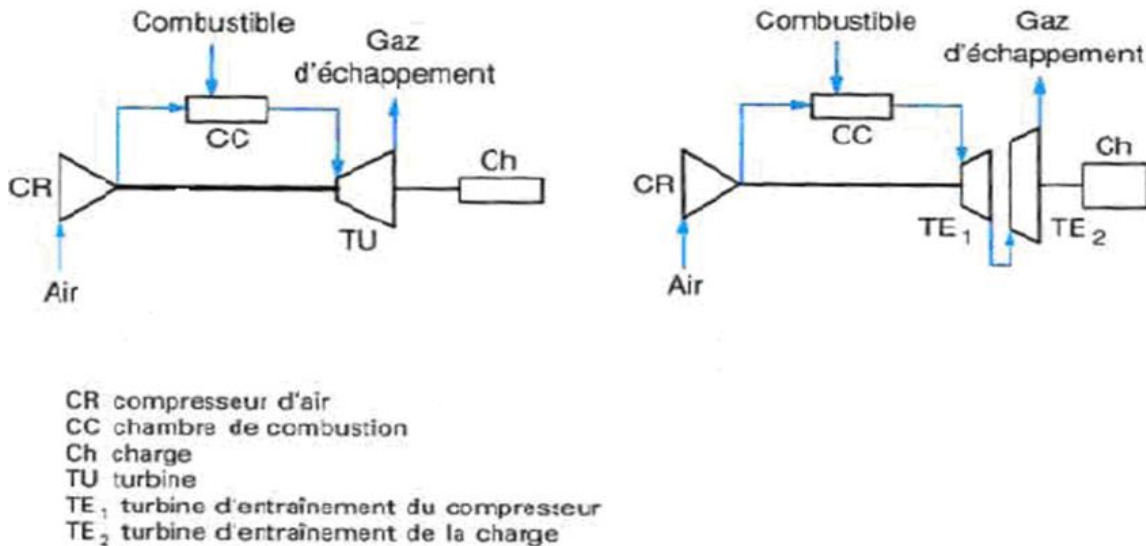


Figure II. 3 : Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres. [6]

II.2.1.5. Par le mode de travail :

On distingue deux types de turbine :

- **Turbine à action**

Dans cette configuration, toute l'énergie thermique est transformée en énergie cinétique. Les gaz circulent à travers la roue sans subir de variation de pression statique, où la pression

en amont (P1) est supérieure à la pression intermédiaire (P2) égale à la pression en aval (P3).

- **Turbine à réaction [4]**

À l'intérieur de la roue, une fraction de l'énergie thermique est transformée en énergie cinétique et mécanique. Pendant cette transformation, les gaz subissent une variation de pression statique, avec une pression initiale (P1) supérieure à la pression intermédiaire (P2) et à la pression finale (P3). Le taux de réaction ϵ représente le pourcentage de conversion de l'énergie thermique totale.

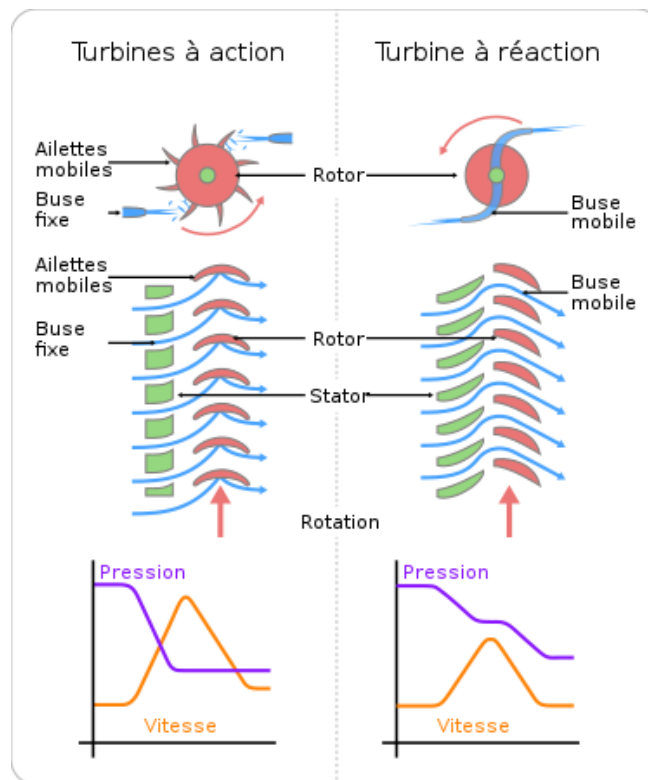


Figure II. 4 : Mode de travail. [4]

II.2.1.6. Par le mode de fonctionnement thermodynamique : [6]

Il existe deux cycles thermodynamiques :

- **Turbine à gaz à cycle fermé**

Dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.

- **Turbine à gaz à cycle ouvert**

Il s'agit d'une turbine où l'admission et l'échappement se font directement dans l'air ambiant.

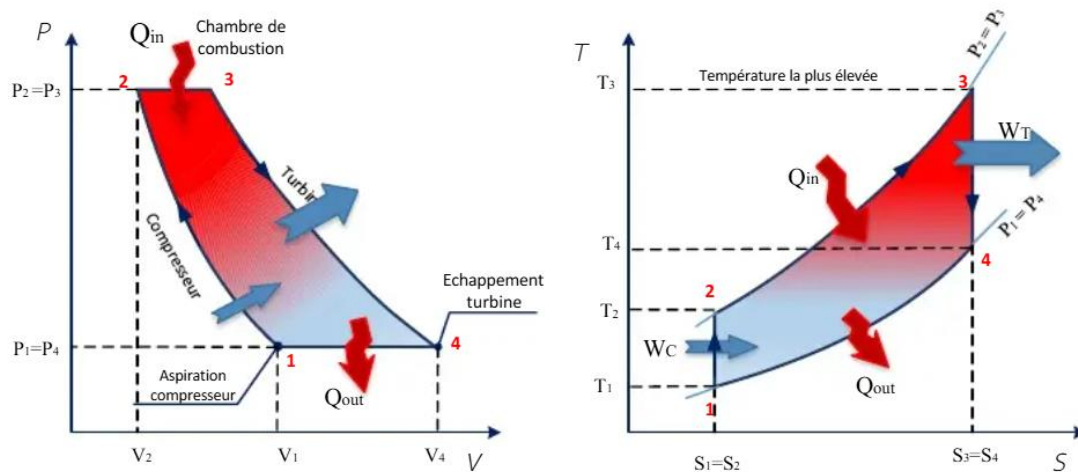


Figure II. 5 : Représentation de cycle fermé et ouvert. [4]

Ce type de turbine qui est le plus répandu se divise en deux classes :

- **Turbine à cycle simple**

C'est une turbine utilisant un seul fluide pour produire de l'énergie mécanique. Une fois la détente terminée, les gaz restants, toujours chargés d'énergie potentielle, sont dirigés vers l'atmosphère par l'échappement.

- **Turbine à cycle régénéré**

C'est une turbine utilisant un cycle thermodynamique avec plusieurs fluides moteurs pour optimiser le rendement de l'endroit. La turbine à gaz est aujourd'hui largement employée dans différents domaines, en particulier dans l'industrie des hydrocarbures, en raison de sa grande variété de puissances et de ses nombreux atouts spécifiques. [5].

II.2.1.7. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz : [6]

Une turbine à gaz fonctionne en suivant les étapes suivantes : •

- Elle aspire de l'air provenant de l'environnement environnant.
- Elle le comprime à une pression plus élevée.
- Elle augmente l'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion.
- Elle conduit l'air à une pression et à une température élevée vers la partie de la turbine, où l'énergie thermique est transformée en énergie mécanique afin de faire tourner l'arbre.

- Cette énergie sert à alimenter la machine connectée par couplage, tout en fournissant l'énergie pour comprimer l'air dans un compresseur directement connecté à la section de la turbine, et elle évacue vers l'atmosphère les gaz à basse pression et température qui découlent de ce processus.
- La **figure II.6** illustre les variations de pression et de température dans les différentes sections de la machine, correspondant aux phases de fonctionnement mentionnées ci-dessus.

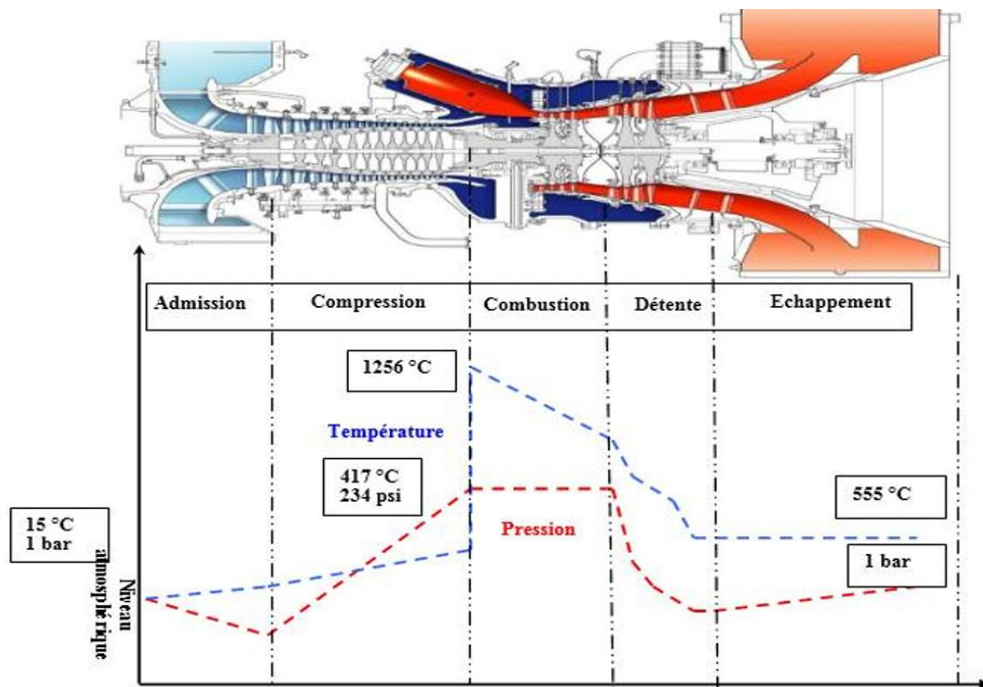


Figure II. 6 : Les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine. [6]

II.2.1.8. Domaines d'application des turbines à gaz :

Les applications des turbines à gaz peuvent être classées en deux catégories distinctes :

A. Applications fixes (utilisation industrielle) :

- Alimentation des compresseurs.
- Alimentation des pompes.
- Alimentation des alternateurs.

B. Applications mobiles :

- Propulsion automobile.
- Propulsion ferroviaire.

- Propulsion marine.
- Utilisation dans l'aviation (turboréacteur et turbopropulseur).

II.2.1.9. Avantages et inconvénients des turbines à gaz :[6]

✓ Avantages :

- Fournir une puissance considérable dans un espace limité, où un groupe diesel de puissance équivalente ne pourrait pas être installé.
- À l'exception des phases de démarrage et d'arrêt, la production de puissance est continue.
- Démarrage aisé même par temps très froid.
- Capacité à utiliser une variété de combustibles pour fonctionner.
- Possibilité de fonctionner à des charges faibles.

✓ Inconvénients :

- Pour des puissances inférieures à environ 3000 kW, le coût d'installation est plus élevé que celui d'un groupe diesel.
- Le temps de démarrage est nettement plus long que celui d'un groupe diesel, avec des estimations allant de 30 à 120 secondes pour une turbine, contre 8 à 20 secondes pour un groupe diesel.
- Le rendement est moins élevé qu'un moteur diesel (cycle simple), avec des estimations variantes entre 28 et 33% pour une turbine de 3000 kW, et entre 32 et 38% pour un groupe diesel.

II.2.2. Turbine à vapeur

II.2.2.1. Définition

La turbine à vapeur, un moteur thermique à combustion externe, opère selon le cycle thermodynamique connu sous le nom de Clausius-Rankine. Ce cycle se caractérise par le changement d'état du fluide moteur, généralement de la vapeur d'eau. La turbine convertit l'énergie thermique de la vapeur d'eau lors de son expansion en énergie mécanique, entraînant ainsi la rotation d'un arbre et actionnant un dispositif mécanique en rotation.

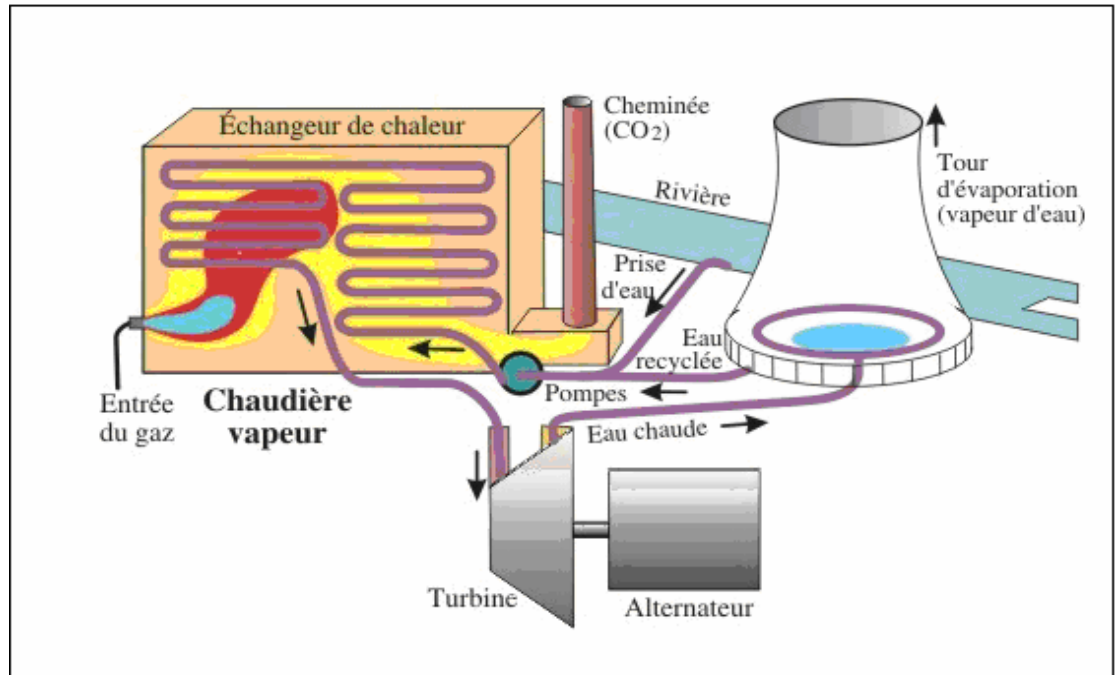


Figure II. 7 : Schéma d'une turbine à vapeur. [8]

II.2.2.2. Classification des turbines à vapeur

Les turbines à vapeur peuvent être classées en fonction de plusieurs critères, notamment :

- La méthode de vaporisation de la vapeur.
- Le sens de circulation de la vapeur.
- La nature du processus thermodynamique.
- La méthode de transmission de l'énergie thermique.
- Le mode de conception.

Il existe différents critères pour classer les turbines à vapeur.

II.2.2.3. La méthode de fonctionnement de la vapeur

On distingue les turbines suivantes :

➤ Les turbines à action

Là où la chute d'enthalpie est entièrement utilisée dans la tuyère pour produire de l'énergie cinétique, cette dernière est ensuite convertie en énergie mécanique dans la roue, comme illustré dans la **Figure II. 8**

La turbine peut être de type monocellulaire, bicellulaire ou multicellulaire.

Dans les deux derniers cas, la conversion de l'énergie cinétique en énergie mécanique se déroule en plusieurs étapes. Entre les canaux mobiles, dans les canaux fixes intermédiaires, il n'y a aucune conversion d'énergie, seulement une modification de la direction de la vitesse.

➤ **Les turbines à réaction**

Dans ces configurations, une fraction de la chute de température, placée au niveau de l'étage, est convertie en énergie cinétique dans le diffuseur ; le reste est transformé en énergie cinétique dans les aubes mobiles de la roue, comme illustré dans la **Figure II. 8**

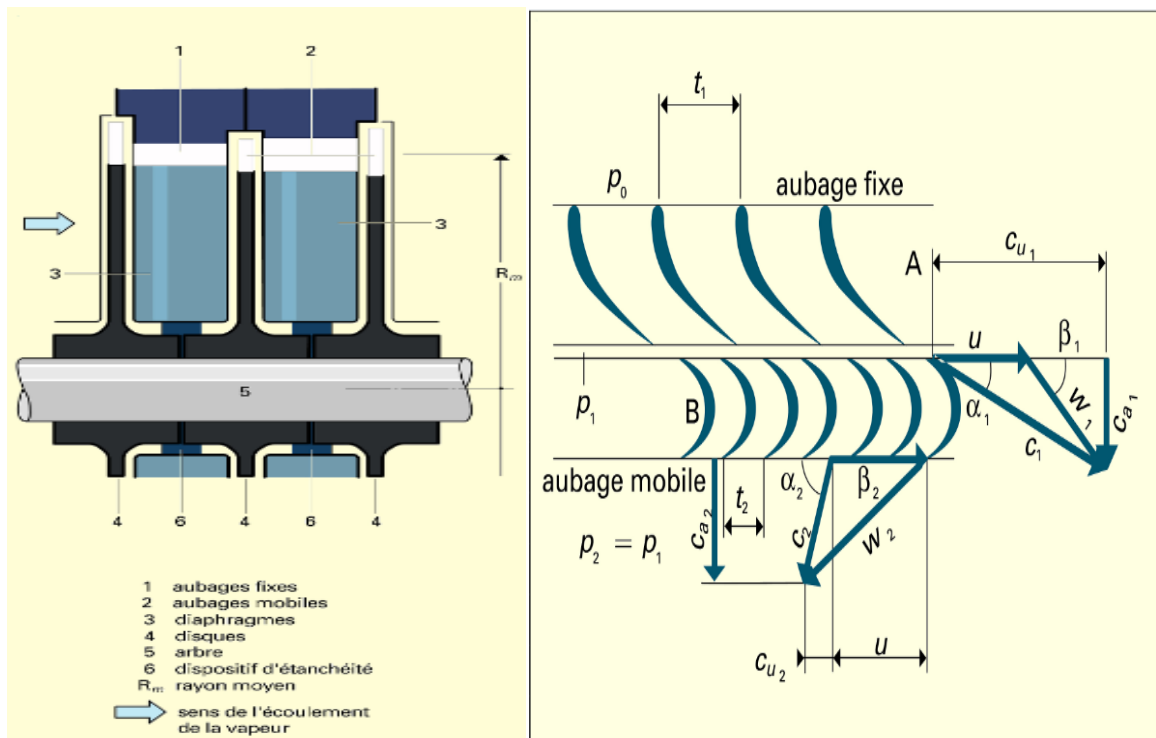


Figure II. 8 : Mode de fonctionnement de la vapeur. [8]

II.2.2.4. Les Enns d'écoulement de la vapeur

➤ Turbine axiale :

C'est le type le plus couramment utilisé, où les aubes sont disposées radialement sur la roue, nécessitant ainsi un déplacement de la vapeur presque parallèle à l'axe de la turbine, comme illustré dans la **figure II.9**.



Figure II. 9 : Turbine axiale. [8]

➤ Turbine radiale

L'écoulement de la vapeur se fait dans toutes les directions perpendiculaires à l'axe de la turbine.

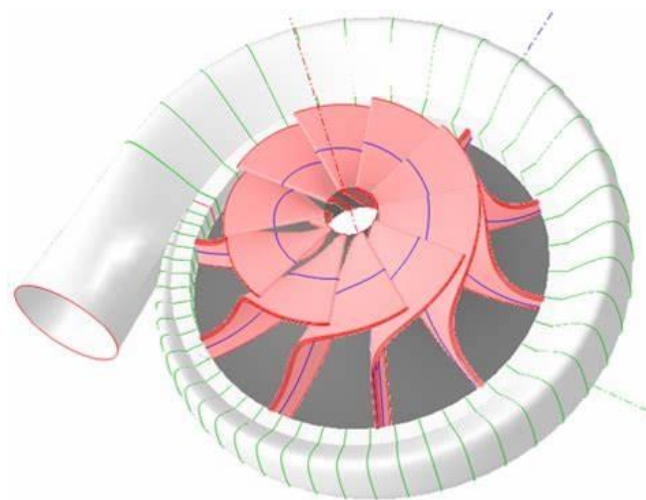


Figure II. 10 : Turbine radiale [8]

II.2.2.5. La nature de fonctionnement thermo dynamique :

A. Turbine à condensation

La vapeur circule dans un cycle fermé, et le processus de détente réduit la pression de la vapeur jusqu'à des niveaux très bas (0,05 bar). Typiquement, ce type de turbine comprend des sections haute pression, moyenne pression et basse pression.

B. Turbine à contrepression

La vapeur suit un cycle ouvert, et même à la sortie, les pressions restent toujours supérieures, ce qui permet d'utiliser cette vapeur pour d'autres applications telles que le séchage, le chauffage industriel, etc.

II.2.2.6. Le mode de transmission d'énergie thermique :

- **Transmission directe :**

L'énergie mécanique générée est directement transmise à la génératrice avec la même vitesse de rotation, comme illustré dans la **figure II.11.a.**

- **Transmission indirecte :**

Pour cette configuration, un réducteur de vitesse est requis, comme on le voit dans le cas des turbines marines où les vitesses des hélices sont plus faibles, comme indiqué dans la **figure II.11.b.**

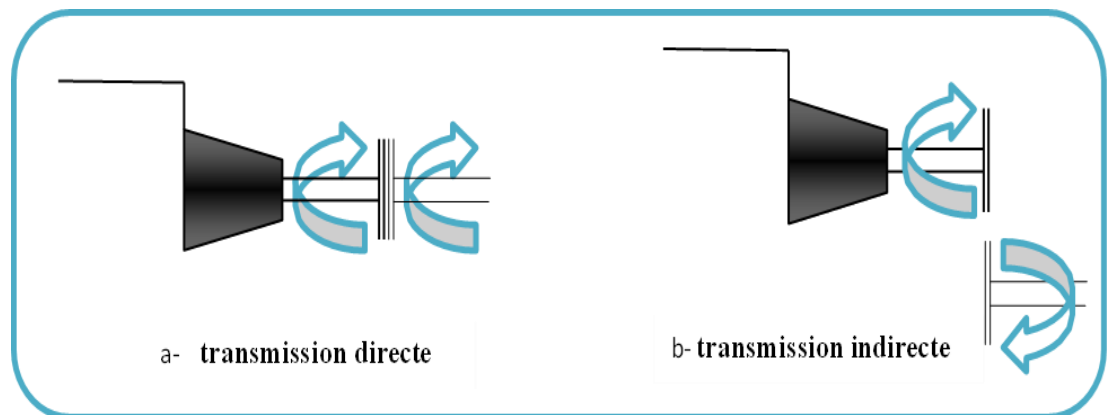


Figure II. 11 : Mode de transmission. [8]

II.2.2.7. Le mode de construction :[8]

➤ **Turbine à disque**

Les roues à disques ont construit séparément et calée sur un arbre.



Figure II. 12 : Turbine à disque. [9]

➤ Turbine à tambour

Les aubes sont calées sur un tambour rapporteur l'arbre.

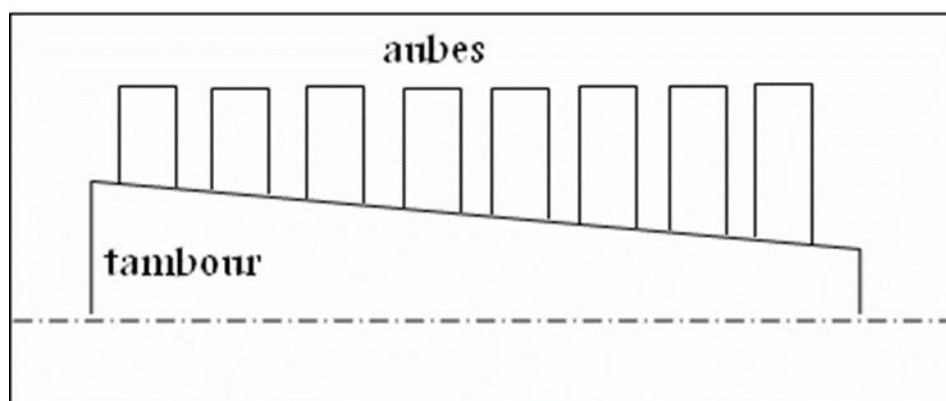


Figure II. 13 : Turbine à tambour. [9]

II.2.2.8. Principe d'une turbine à vapeur [7]

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe qui fonctionne selon le cycle thermodynamique de Rankine. Ce cycle se caractérise par le changement d'état du fluide moteur, généralement de la vapeur d'eau. Il comprend au moins les étapes suivantes :

- L'eau liquide est soumise à une pression par une pompe et dirigée vers la chaudière.

- L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée.
- La vapeur se détend et se refroidit dans la turbine, fournissant de l'énergie mécanique.
- La vapeur détendue est condensée au contact d'une source froide à vide partiel.

II.2.3. Turbine à gaz à cycle combiné [10]

II.2.3.1. Définition :

Un cycle combiné de puissance implique la mise en œuvre de deux ou plusieurs cycles thermodynamiques afin de convertir l'énergie fournie en travail de manière plus efficace, en utilisant deux ou plusieurs fluides de cycle. Avec l'avancement de la technologie des turbines à gaz, le terme "cycle combiné" fait spécifiquement référence à un système qui comprend une turbine à gaz, un récupérateur de chaleur générant de la vapeur, et une turbine à vapeur.

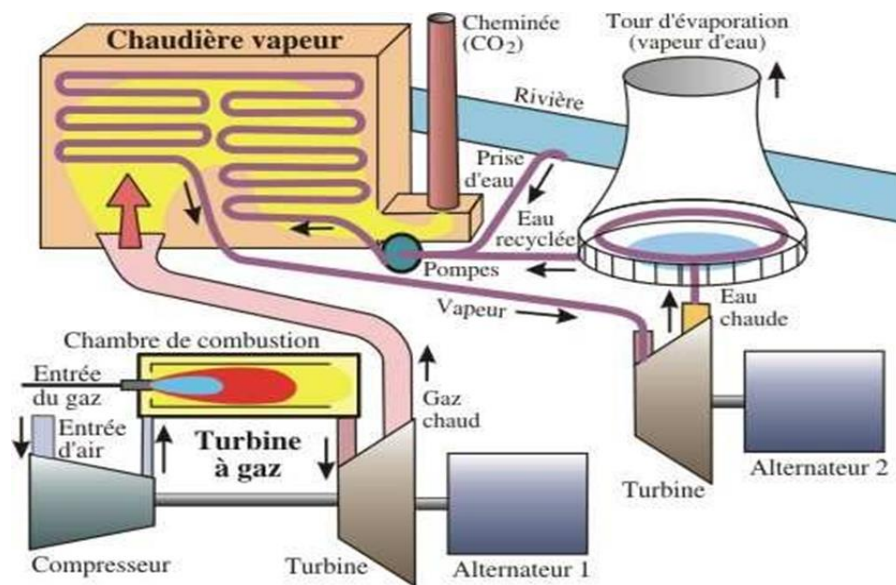


Figure II. 14 : Turbine à gaz à cycle combiné. [10]

II.2.3.2. Principe [11]

Le concept d'un cycle combiné implique la séquence d'une ou plusieurs turbines à gaz, suivie(s) d'une centrale à vapeur où la source chaude

provient des gaz d'échappement des turbines à gaz, qui servent de source froide.

Dans ce scénario, les gaz d'échappement de la turbine à gaz sont utilisés dans une chaudière de récupération pour produire de la vapeur, qui est ensuite détendue dans une turbine à condensation. Ce type de cycle combiné représente une fusion réussie dans la quête d'amélioration de l'efficacité thermique : avec les équipements actuels disponibles, les rendements dépassent 55 %, dépassant ainsi les attentes à moyen terme même des futures centrales à vapeur les plus avancées.

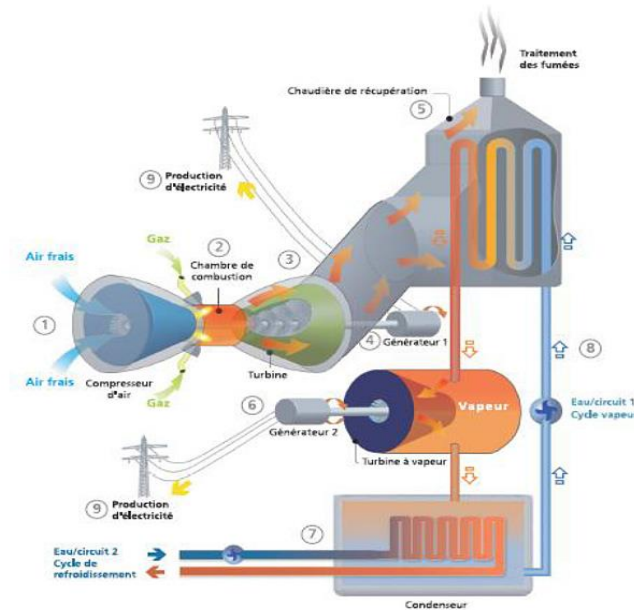


Figure II. 15 : Principe fonctionne. [11]

II.3. Le cycle combiné solaire :

Le cycle combiné solaire est une méthode qui fusionne l'énergie solaire avec un cycle thermodynamique classique, tel qu'un cycle combiné à gaz ou à vapeur. Son but est de tirer parti à la fois de l'énergie solaire et d'une source d'énergie conventionnelle pour générer de l'électricité de manière efficiente et durable. Voici une explication de ce qu'est le cycle combiné solaire et comment il fonctionne :

II.3.1. Définition :

Le cycle combiné solaire représente une méthode de production d'électricité qui associe l'énergie solaire concentrée à un cycle thermodynamique standard, typiquement un cycle

à vapeur ou à gaz, dans le but d'optimiser l'efficacité énergétique tout en minimisant les émissions de gaz à effet de serre.

II.3.2. Principe de fonctionnement :[12]

Le processus opérationnel d'un cycle combiné solaire se déroule en plusieurs étapes :

- **Concentration de l'énergie solaire :** L'énergie solaire est concentrée à l'aide de miroirs paraboliques ou de tours solaires, focalisant les rayons du soleil sur un point précis où un fluide caloporteur, tel que de l'huile thermique ou de l'eau, est chauffé à des températures élevées.
- **Production de vapeur :** La chaleur captée par le fluide caloporteur est transférée à un fluide de travail, habituellement de l'eau, pour produire de la vapeur sous haute pression.
- **Alimentation de la turbine à vapeur :** La vapeur ainsi produite est dirigée vers une turbine à vapeur, où elle se détend et génère de l'énergie mécanique, entraînant la rotation de l'arbre de la turbine.
- **Utilisation de la chaleur résiduelle :** Après avoir traversé la turbine à vapeur, la vapeur est refroidie et condensée. La chaleur résiduelle est récupérée et employée pour produire de la vapeur supplémentaire ou pour d'autres processus de chauffage, augmentant ainsi l'efficacité globale du système.
- **Intégration avec une turbine à gaz :** Dans certains cas, la vapeur produite peut être combinée avec une turbine à gaz. La chaleur résiduelle des gaz d'échappement de la turbine à gaz peut être exploitée pour produire davantage de vapeur, créant ainsi un système de cycle combiné solaire et gaz.
- **Production d'électricité :** L'énergie mécanique produite par les turbines est ensuite convertie en électricité par un générateur électrique.

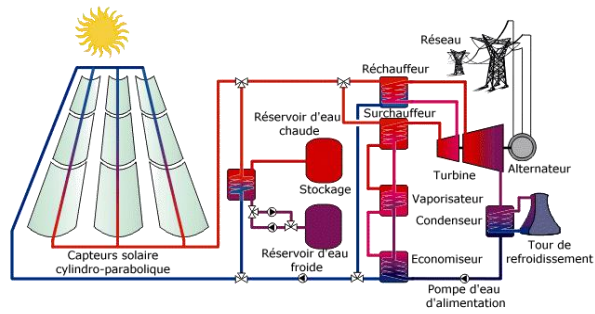


Figure II. 16 : Schéma global du solaire thermodynamique [12]

II.4. Conclusion :

En résumé, les composants de l'installation hybride thermique sont judicieusement combinés pour optimiser l'efficacité énergétique tout en réduisant l'impact environnemental.

En intégrant différentes technologies telles que les champs solaires, les turbines à gaz, ainsi que les circuits HTF et eau-vapeur, cette approche crée un système flexible et robuste.

Cette stratégie permet une utilisation efficace des énergies renouvelables et garantit une production d'énergie stable, même en cas de variations de l'irradiation solaire.

En utilisant des techniques telles que les bypass pendant les périodes de faible ensoleillement, cette installation hybride maximise l'utilisation des ressources disponibles tout en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles.

Dans l'ensemble, cette approche représente une avancée significative vers un avenir énergétique plus durable et résilient.

CHAPITRE₃ :

Description détaillée de la centrale hybride de Hassi R'mel

III.1 Introduction : [13]

L'Algérie est dotée d'une ressource énergétique substantielle à une échelle régionale, possédant également d'importants gisements mondiaux. Dans ce contexte, nous allons présenter dans cette section la première centrale hybride de Hassi R'mel, en fournissant un aperçu et des détails techniques, ainsi que le fonctionnement des divers composants de la centrale.

Ce chapitre offre une présentation détaillée et quelques détails techniques concernant la centrale hybride de Hassi R'Mel. Cette centrale utilise conjointement le gaz naturel et l'énergie solaire pour produire 150 mégawatts d'électricité, dont 30 MW sont générés à partir d'un champ solaire. Elle a été mise en service officiellement en avril 2011.

Cette installation est la première de son genre en Algérie et la seconde à l'échelle mondiale, suivant celle d'Aïn Beni Mather au Maroc. La centrale propose une économie annuelle de 7 millions mètres cubes de gaz naturel, permettant ainsi de diminuer les émissions de CO₂ de 33 000 tonnes chaque année.

III.2 Site d'implantation (Localisation géographique) : [14]

La centrale de Hassi R'Mel est implantée à une distance approximative de 500 km d'Alger, plus précisément dans la zone de Tilghemt, à une vingtaine de km de la cité de Hassi R'Mel, située dans la wilaya de Laghouat (voir Figure III-2).

Les coordonnées géographiques du lieu d'installation de la centrale sont 33°7' latitude et 3°21' longitude. Ce site se trouve à une altitude de 750 m du niveau de la mer. Les variations de la température ambiante sont comprises entre 21 °C et 50 °C durant l'été et fluctuent entre -10 °C et 20 °C en hiver. Quant à la vitesse du vent, elle varie de 2,14 à 4,15 m/s selon la référence.

Durante la saison estivale, l'irradiation Directe Normale (DNI) pourrait s'élever jusqu'à 930 W/m². Si l'on se réfère à la moyenne annuelle, le lieu d'implantation bénéficie quotidiennement de 9,5 heures de lumière solaire, donnant ainsi une DNI moyenne qui est estimée à 7138 Wh/m² par jour.



Figure III. 1 : Site de la centrale de Hassi R'Mel (SSP1)

III.3 Description des composants de la centrale hybride :

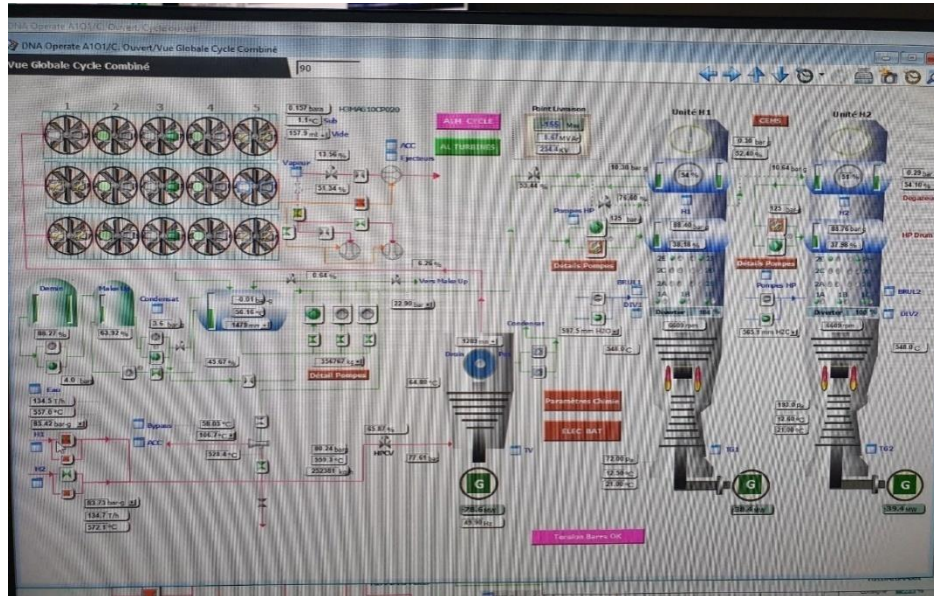


Figure III. 2 : Photo de schéma globale cycle Combiné [22]

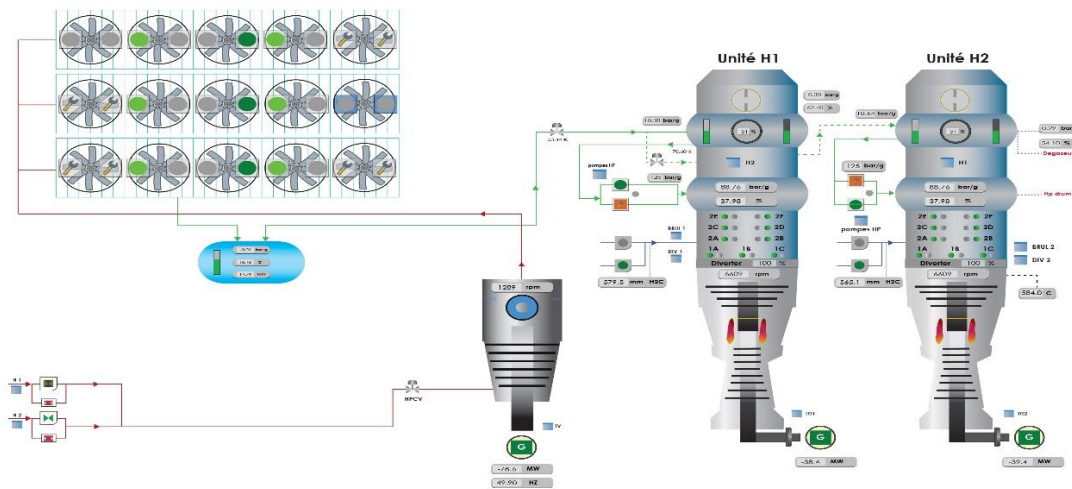


Figure III. 3: Schéma globale cycle Combiné gaz/solaire [24]

Nous avons minutieusement complété ce schéma en employant le système suivant :
ADEBE ILLUSTRATOR 2024

La centrale hybride se compose de principaux éléments :

III.3.1 Le champ solaire : [15]

La centrale est composée de deux champs solaires de types cylindro-parabolique, un au sud et l'autre au nord avec une surface de 183120m² et une prise de sol supérieure à 600000m² ; Ils sont constitués d'un total de 2688 concentrateurs, chaque 12 concentrateurs placés en série forment un collecteur de type « Euro Trough ET 150 » figure , la surface totale de la centrale est de 150Hectares ; le champ solaire est la partie réceptrice de l'installation: la radiation solaire y est transformée en énergie thermique. C'est l'ensemble des capteurs solaires connectés en série pour former de longues files qui à leur tour sont connectées en parallèle. Le facteur de concentration pour un capteur cylindro-parabolique est de l'ordre de 80 ; les deux champs comportent :

Paramètres :	Valeurs :	Unités :
Nombre de capteurs cylindro-parabolique (collecteurs)	224collecteurs	/
Nombre de ligne (boucle)	56lignes	/
Nombre de capteurs de chaque boucle	4capteurs	/
Surface du collecteur	817,50	m ²
Surface du champ solaire	183120	m ²
Longueur du concentrateur	150	m
Diamètre du concentrateur	5,76	m

Tableau III. 1 : Les paramètres du champ solaire [15]

Le champ solaire de la centrale de Hassi R'mel est dimensionné de telle sorte que sous un rayonnement solaire de 751 W/m² le débit massique du fluide synthétique est estimé à 200 kg/s. Ce débit est capable de générer 22,6 kg/s de vapeur solaire. [8]



Figure III. 4 : Champ solaire de Hassi R'mel [22]

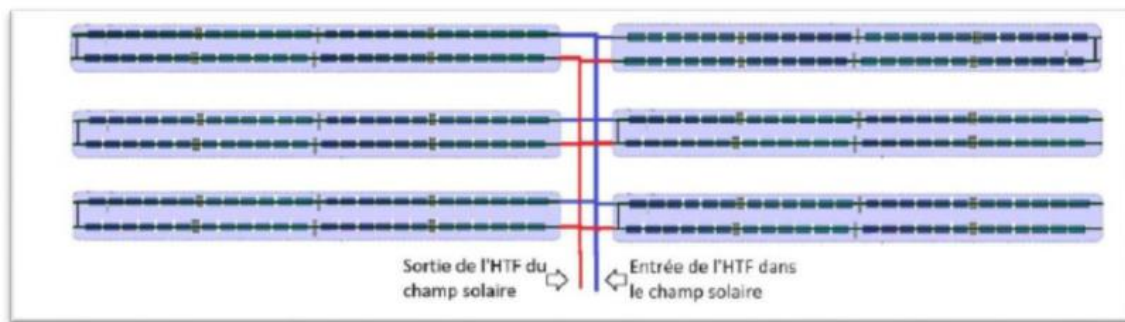


Figure III. 5 : Présentation du champ solaire [8]

Le champ solaire est d'une installation à alimentation centralisée, ce qui veut dire la boucle est l'élément le plus important, cette dernière possède une entrée et une sortie pour assurer une hausse de température du fluide caloporteur d'environ 100°C . Cette configuration a pour avantage de minimiser la longueur de la tuyauterie (coût).

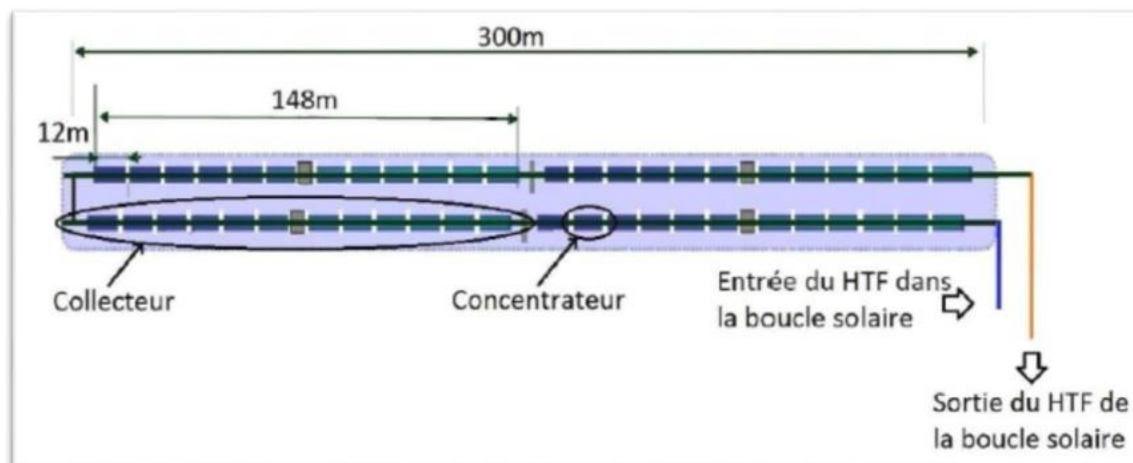


Figure III. 6 : Passage du fluide Caloporteur [8]

Le fluide caloporteur qui circule dans le champ solaire est l'huile synthétique **THERMINOL VP1HEAT TRANSFER FLUID (HTF)**.

III.3.2 Le groupe turbine à gaz :[16]

L'installation de la centrale électrique est mentionnée comme comportant deux ensembles de turbines à gaz identiques, Siemens de type STG-800, un générateur et d'autres auxiliaires. Ces turbines à gaz fonctionnent dans le cadre d'une centrale électrique à cycle combiné qui produit de l'électricité de deux manières. Premièrement, grâce à la combustion de combustibles fossiles qui crée de l'énergie mécanique à partir de l'air mélangé au carburant qui entraîne le groupe électrogène. Deuxièmement, grâce à l'utilisation des gaz de chaleur résiduaire, cet ensemble de turbines à gaz entre en service dans le cycle combiné. Il s'agissait d'une étude sur certaines caractéristiques de performance de la turbine à gaz comme celle de la turbine conventionnelle.

III.3.2.1.1 Turbine à gaz SIEMENS SGT-800 :[16]

Dans cette centrale hybride, les turbines à gaz utilisées sont de la variante SIEMENS STG800 car elles remplissent la fonction de production d'électricité. De plus, il existe une interconnexion entre les turbines et les alternateurs qui permet les processus de conversion d'énergie.

Le premier est capable de fournir une puissance allant jusqu'à 40 MW à un niveau de tension de 11,5 KV et en utilisant un refroidissement par air. Ceux-ci sont également conçus avec une technologie moderne afin de pouvoir offrir des performances plus élevées.

Les turbines sous conditions ISO émettent de faibles NOx, ont un niveau d'efficacité de 38% et fournissent 47 MW. Ces types de turbines sont les mieux adaptés à la production d'électricité à partir d'une centrale électrique à cycle combiné.

La raison du rendement élevé des turbines à gaz en cogénération est la température élevée des gaz d'échappement. L'air d'admission du compresseur traverse un échangeur de chaleur avant d'atteindre un compresseur à 19 étages.

Afin de maintenir un haut niveau d'efficacité de la turbine dans des conditions sévères, il est essentiel que l'eau glacée (Chiller) soit suffisamment refroidie pour atteindre les conditions ISO à l'entrée du compresseur (15°C ; 1,013 bar ; humidité 60 %).



Figure III. 7 : Image réelle de la TAG SGT-800 [23]

Modèle	SGT-800
Pression ambiante	$p_0 = 0.928$ bars
Température ambiante	$T_0 = 35^\circ\text{C}$
Débit massique du gaz naturel dans les DB	$\dot{m}_{\text{GN1}} = 0,66$ kg/s
Température d'admission de l'air	$T_1 = 15^\circ\text{C}$
Taux de compression	$\tau_c = 20,2$
Rendement isentropique du compresseur	$\eta_{\text{sc}} = 88\%$
Température d'entrée de la turbine à gaz	$T_3 = 1200$ °C
Rendement isentropique de la turbine à gaz	$\eta_{\text{sT}} = 88\%$
Débit massique des gaz d'échappement	$\dot{m}_{\text{ge}} = 120,20$ kg/s
Débit massique de gaz nature dans poste combustion	$\dot{m}_{\text{GN1}} = 0,66$ kg/s
Pouvoir calorifique du gaz naturel	$P_{\text{CI}} = 45778$ kJ/kg

Tableau III. 2 : Paramètres de la turbine à gaz.

III.3.2.1.1.1 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz : [17]

La turbine à gaz est constituée :

• **Un compresseur d'air :** le compresseur de la TAG STG800 est axial à 15 étages De compression, son taux de compression (rapport volumétrique) est de 19 ; la couverture de ses aubes est en acier chromé.

• **Une chambre de combustion :** une chambre annulaire dotée de 30 brûleurs DLE (Dry Low Emission) ; elle est destinée pour chauffer l'air qui sort de l'entrée du compresseur afin d'apporter une certaine énergie pour faire fonctionner la turbine à gaz et donner une impulsion suffisante à la tuyère. L'air pénétré dans la chambre est repartis en plusieurs circuits : une partie rentre directement dans le tube à flammes et dans l'injecteur pour contribuer à la combustion. Une autre partie contourne le tube à flammes et sert à la fois pour refroidir les parois et pour diluer et mélanger l'écoulement de l'air dans le foyer. Elle doit assurer une combustion parfaite du combustible (gaz, fuel) ainsi que réduire les

émissions des polluants, minimiser la perte des charges et assurer la stabilité de la température à l'entrée de la turbine enfin permettre un bon refroidissement des parois.

● **Une turbine :** C'est une turbine de puissance à un seul module avec 3 étages de détente qui sont refroidis à l'air accouplée avec un alternateur.

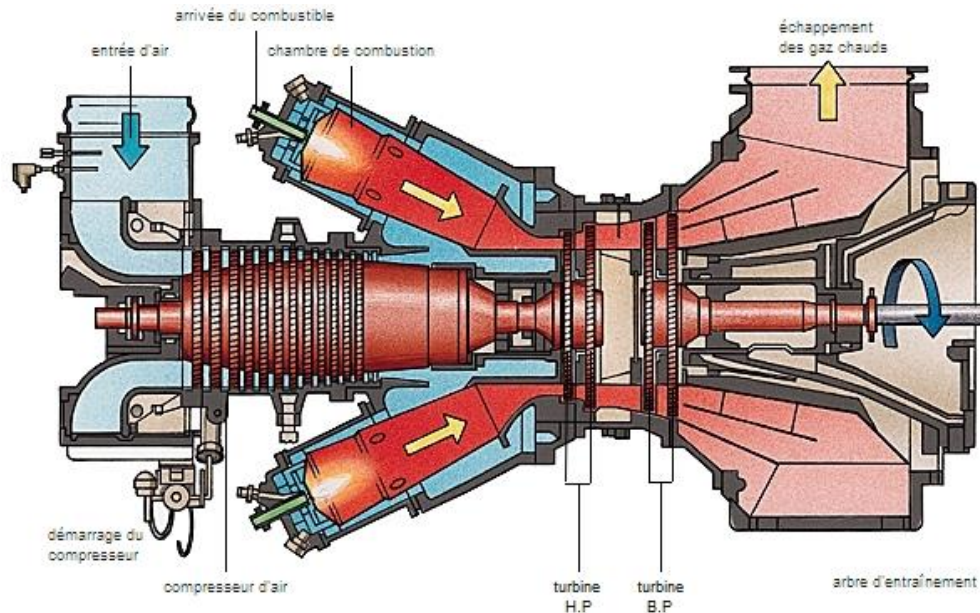


Figure III. 8 : Constituants de turbine à gaz [17]

Grâce à un système de démarrage, le rotor de la turbine est lancé à 20% de sa vitesse nominale.

L'air de l'atmosphère est aspiré par le compresseur et le repousse dans les chambres de combustion où un apport de combustible permettra de produire un fluide moteur (gaz chauds) à pression constante. Les gaz chauds se relâchent sur la roue de la turbine ensuite ils s'envoient vers la HRSG.

III.3.2.1.2 Le générateur :[16]

Le générateur est accouplé à la SGT-800 qui peut produire de l'électricité selon les caractéristiques suivantes :

Paramètres	Valeurs	Unités
Fréquence	50	Hz
Tension de sortie	11.00	kV
Puissance apparente nominale	53.60	MVA
Puissance active nominale	42.88	MW
Facteur de puissance	0.80	/
Température réfrigérante	-6.66	°C

Tableau III. 3 : Les caractéristiques du générateur de TAG [16]

Sa force d'excitation est de type PMG. Il est refroidi séparément par deux réfrigérateurs duplex montés horizontalement, ils sont situés dans la partie supérieure du générateur. [8]

III.3.2.1.3 Les chaudières de récupération (HRGS) : [18]



Figure III. 9 : Photo réelle de la HRGS THERMAX INDIA [22]

L'un des éléments clés des centrales électriques à cycle combiné est la chaudière de récupération HRSG (Heat Recovery Steam Generator). Il fonctionne comme un échangeur de chaleur qui permet de capter l'énergie thermique d'un flux de gaz chauds. Le processus de transfert de chaleur implique plusieurs échangeurs pour un transfert efficace de chaleur entre les gaz de combustion et l'eau (sous forme liquide ou vapeur).

Le HRSG représente le pont reliant le cycle de la turbine à gaz au cycle vapeur-eau ; sa fonction principale est de récupérer la chaleur qui reste dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz pour produire de la vapeur, qui entraînera la turbine à vapeur.

Les chaudières de récupération utilisées dans ce type de centrale hybride sont des **HRSG** de type **THERMAX INDIA [5]**, horizontales à circulation naturelle, permettant la production de vapeur surchauffée à une pression de 80 bars et une température de 560°C (avec une pression maximale de 92.12 Barres) selon la technique. Ils ont une capacité de production de 135 tonnes de vapeur par heure et sont capables de générer des flux de vapeur nécessaire pour le fonctionnement à pleine charge de la turbine à vapeur. Afin d'absorber risques de production, un réservoir assure le réapprovisionnement de la chaudière, et l'autre réservoir garantit réserve d'eau pour l'évaporation.

Il y a un échange à contre-courant entre les fumées d'huile et le sens de circulation de l'eau, et les deux circuler en sens inverse. Pour la production de vapeur, ils se composent de trois types de commutateur.

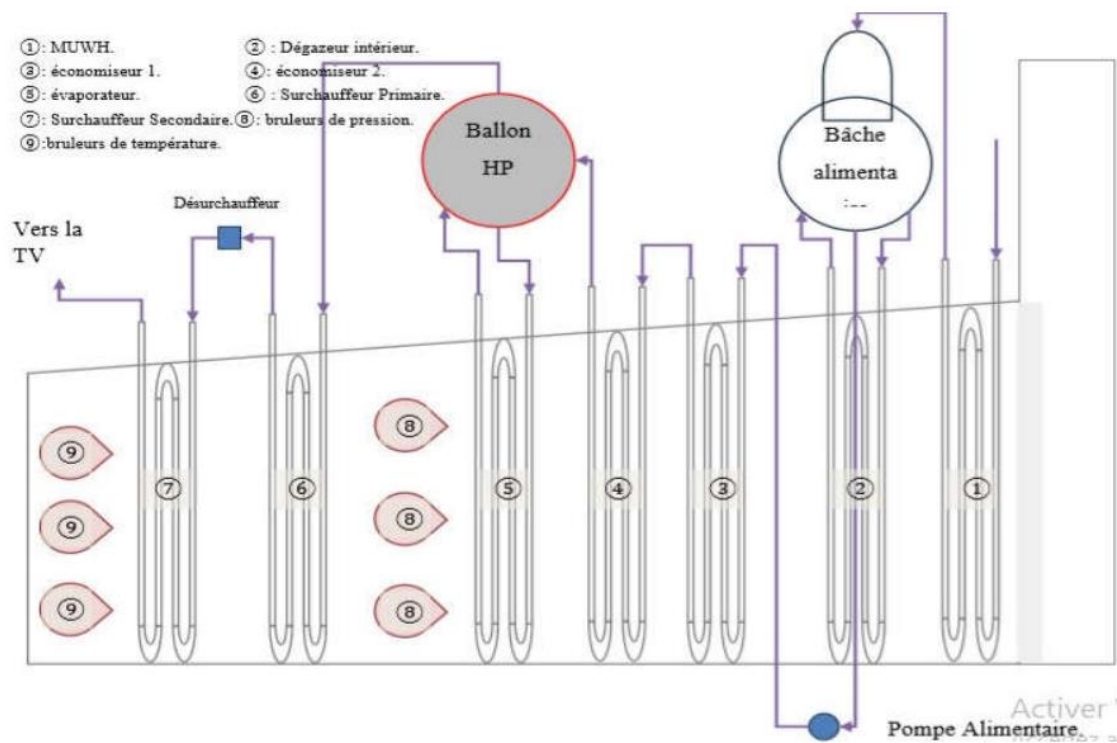


Figure III. 10 : Schéma descriptif de chaudière de récupération [16]

Type	Un seul niveau de pression et sans réchauffage
Température de pincement	$\Delta T_{\text{pincement}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Température d'entrée du DECO	$T_{\text{K}} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Température d'entrée du DEA	$T_{\text{L}} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Température de sortie du DEVA	$T_{\text{n}} = 147 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Température de sortie du DEA	$T_{\text{e}} = 147 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Température de sortie de l'ECO2	$T_{\text{f}} = 275 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Température d'entrée De la SHE2	$T_{\text{g}} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Rendement isentropique	$\eta_{\text{sech}} = 0,985$

Tableau III. 4 : Paramètres du HRSG.

La chaudière se divise en termes de pression en une partie basse, et une autre, haute pression, dont la description des éléments constituant est la suivante :

III.3.2.1.3.1 Partie LP (basse pression de l'eau) :

- **Préchauffeur d'eau alimentaire (MUWH) : [18]**

Pour éviter la condensation des sulfure ou acide sulfurique sur les échangeurs la température des gaz d'échappement ne doit pas être inférieure à 100°C, et aussi moins la température des gaz d'échappement est élevée plus le rendement de la chaudière est grand.

Il permet la récupération d'un maximum de chaleur pour prés-chauffer l'eau qui viens du système de condensation. Avant la sortie de l'eau liquide réchauffée à travers les cheminées principales les gaz d'échappement s'approchent à une certaine température jusqu'à saturation, la différence de la température a pour avantage de garder l'intérieur des tubes (problème de vaporisation), et par la suite l'eau sera dirigée vers le ballon séparateur de l'évaporateur.

- **Evaporateur (bâche alimentaire ou ballon LP) : [18]**

Cet échangeur est l'origine de la production de la vapeur, relié avec un ballon séparateur où se situe le mélange liquide-vapeur saturés, il permet le dégazage de l'eau à travers un dégazeur mécanique, l'eau arrivée du haut vers le bas se heurte à une vapeur injectée vers le haut ; à cause de la violence de ce contact cela peut réduire la taille des gouttelettes d'eau qui sont déjà pulvérisées à travers des partiels en provoquant la libération des gaz dans l'eau (O₂, N₂). (17)

L'échangeur thermique attaché au ballon permet la production de la vapeur et l'acheminée vers la surchauffeur et de faire repasser le liquide saturé dans ses tubes pour le vaporiser ; ce ballon permet aussi de constituer une réserve d'eau à une température adéquate et libéré de gaz, pour que la pompe puisse augmenter la pression à un niveau qui lui permet sa circulation dans les échangeurs vers le ballon. [16]

III.3.2.1.3.2 Partie HP (haute pression de l'eau) : [18]

- **La pompe alimentaire :**

Les pompes alimentaires sont conçues pour alimenter les chaudières en eau, leur rôle est d'aspirer l'eau du bâche alimentaire (un réservoir d'une forme cylindrique réalisé en tôle d'acier de Carbone ou en acier inoxydable) ; ce dernier la refoule à une pression suffisante pour battre les pertes de charge et la pression du ballon HP

Ces pompes permettent de : bénéficier le gain d'énergie en élevant la température des chaudières ; empêcher les chocs thermiques dans les chaudières ou dans le dégazeur en élevant la température de l'eau d'alimentation ; empêcher les chaudières modernes de tourner à sec.

- **Les économiseurs (1 et 2) :**

Ils permettent d'extraire le maximum de l'énergie thermique des gaz d'échappement avant de les envoyer vers la cheminée ; l'eau est au-dessus du niveau de pression du ballon.

- **Ballon HP et l'évaporateur :**

Elle est attachée à un échangeur où la vaporisation de la réserve d'eau est plus facile sachant que sa température (eau) doit être proche de la saturation pour entamer ce processus. La vapeur produite par cette dernière traverse des filtres cyclones en séparant la vapeur des gouttes d'eau qui redescendent vers le niveau d'eau par différence de densité ; la vapeur sortante du ballon est conduite vers un autre échangeur par le collecteur, elle est aussi conduite au même collecteur où elle se mélange avec celle produite dans le ballon.

- **Les brûleurs de débit : [18]**

Pour garder la stabilité de la turbine à vapeur à 80MW, des brûleurs de débit sont utilisés pour compenser la perte de production de vapeur pendant la nuit. Chaque six brûleurs sont disposés en paires sur trois étages et placés directement avant l'évaporateur du ballon et dans le même sens des fumées.

- **Les brûleurs de température : [18]**

Leur rôle est de garder la température de la vapeur à une valeur stable même avec les variations de débit ou de température causés par certaines situations transitoires : démarrage, perte au début ou arrêt de production de vapeur solaire...).

- **Les surchauffeurs (primaire et secondaire) :**

Ils sont situés à l'entrée des chaudières de récupérations où les gaz d'échappement vont les rencontrer pour exploiter leur très grande température afin de produire de la vapeur surchauffée.

Cette partie se divise en deux : Primaire (HP PSH) et secondaire (HPSSH), qui assurent la même fonction. Les deux échangeurs sont séparés par une partie qui assure la désurchauffe de la vapeur en cas de besoins. C'est le dernier échangeur que traverse la vapeur d'eau avant d'être acheminée vers la turbine à vapeur.

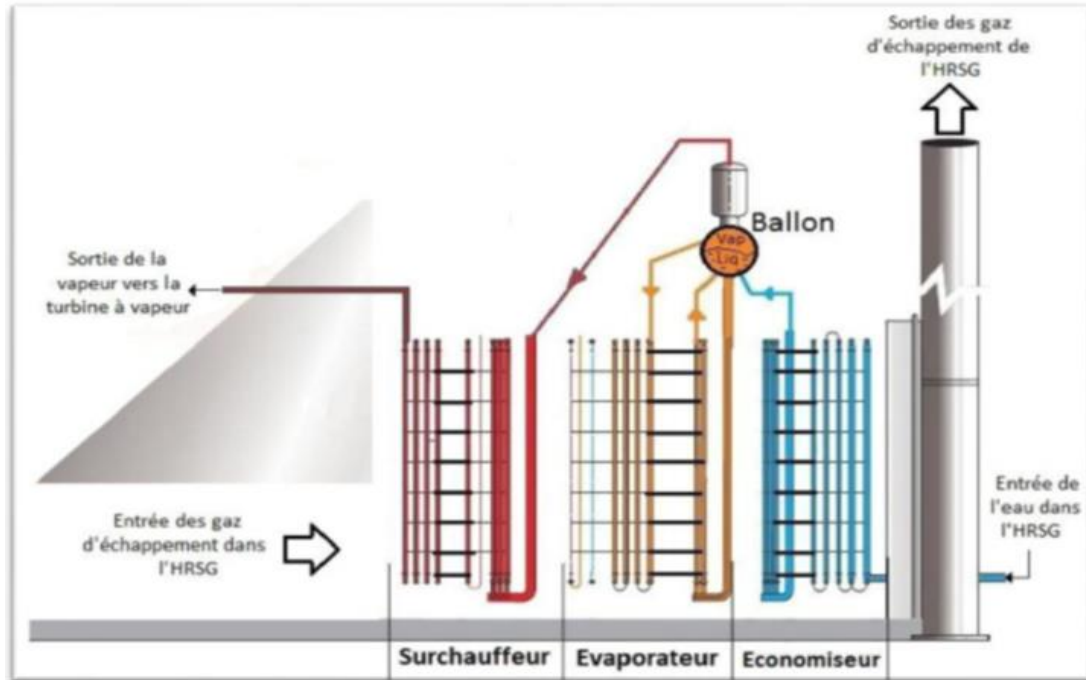


Figure III. 11 : Schéma du fonctionnement de chaudière de récupération [18]

III.3.2.2 Groupe turbine à vapeur :[19]

La turbine à vapeur est le lien entre cycle combiné et intégration solaire, c'est un moteur.

La combustion externe thermique fonctionne selon le cycle thermodynamique Clausius Rankin ; Vapeur générée par échange de chaleur avec un générateur de vapeur solaire.

Expansion de chaudière de récupération (HRSG) dans les turbines à vapeur. Pour le reste, elle

Condensé dans le condenseur à air ; la turbine à vapeur SST-900 est la plus populaire.

Pour montage avec turbine à gaz à cycle combiné SGT-800.

III.3.2.2.1 Turbine à vapeur SIEMENS SST-900 :[19]

La turbine à vapeur de la centrale est de type SIEMENS SST-900 a un seul corps HP et deux pôles d'exploitation : utilisée pour la production d'électricité et l'industrie.

Elle peut être utilisée dans les deux cas :

- ✓ Une simple détente : ça veut dire sans réchauffage.
- ✓ Une double détente : HP, BP avec réchauffage.

La centrale dispose d'une turbine à vapeur à un niveau de détente et une pression maximale de

92.12 Bars fournie par les HRGS. Elle entraîne un alternateur de puissance nominale de 80MW,

11,5 KV et refroidi à l'air.

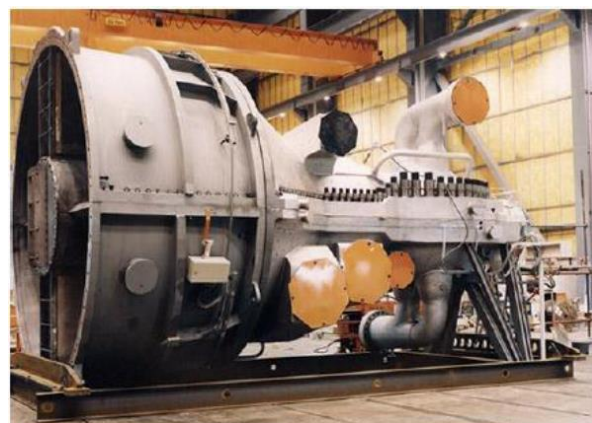
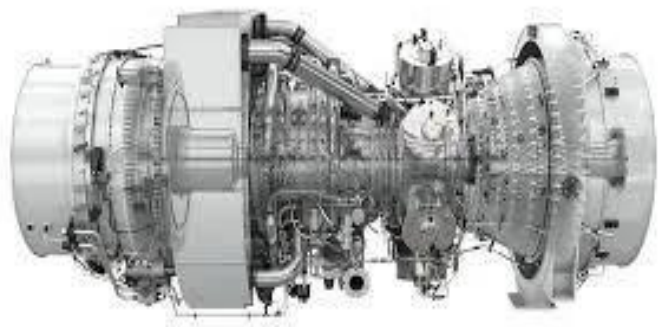


Figure III. 12 : La turbine à vapeur SIEMENS SST-900 [23]

Modèle	SST-900
Température d'entrée de la vapeur	$T_a = 560 \text{ °C}$
Pression d'entrée de la vapeur	$p_a = 83 \text{ bar}$
Température de soutirage	$T_s = 200 \text{ °C}$
Pression saturation de soutirage	$p_s = 4,5 \text{ bar}$
Température de condensation	$T_s = 52 \text{ °C}$
Rendement isentropique	$\eta_s = 90 \text{ %}$

Tableau III. 5 : Paramètres de la turbine à vapeur SST-900.

III.3.2.2.1.1 Principe de fonctionnement de la turbine à vapeur :[15]

La turbine à vapeur fonctionne selon les étapes suivantes :

- L'eau liquide est comprimée par une pompe et envoyée vers la chaudière,
- L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée.
- La vapeur se détend dans la turbine en fournissant de l'énergie mécanique.
- La vapeur détendue est condensée au contact de la source froide sous vide partiel.

III.3.2.2.2 Le générateur :[16]

Le générateur est accouplé à la SST-900 qui peut produire de l'électricité selon les caractéristiques suivantes

Paramètres	Valeurs	Unités
Fréquence	50	Hz
Tension de sortie	11.00	kV
Puissance apparente nominale	102	MVA
Puissance active nominale	81.60	MW
Facteur de puissance	0.80	/

Tableau III. 6 : Les caractéristiques du générateur de TAV [16]

III.3.2.2.3 Les aérocondenseurs :[15]

Lorsqu'il y a une source froide (rivière, rivière) et en raison des conditions de comptage défavorables à la centrale électrique de Hassi R'mel (température ambiante jusqu'à 50°C), ils utilisent un condenseur à air dans leur process.

Avantages : il présente également la particularité d'utiliser des ventilateurs pour faire circuler l'air afin de garantir refroidir.

Les condenseurs à air SPX se caractérisent par une intégrité mécanique et thermique à long terme, Excellente résistance à la corrosion et au gel, faible consommation du ventilateur, Fonctionnement fiable et faibles coûts de maintenance.

Le condenseur à air SPX est constitué d'un ensemble de trois échangeurs tubulaires disposés en en forme de V inversé à travers lequel l'air ambiant est entraîné par 15 ventilateurs Moteur électrique ; il est constitué de modules disposés en parallèle "voire photo", chaque module ;

Les modules contiennent plusieurs faisceaux de tubes à ailettes et chaque module ; Contient un ventilateur axial à tirage forcé pour le refroidissement de l'air dans la zone Échange thermique avec tubes à ailettes.



Figure III. 13 : Aérocondenseurs de la centrale de Hassi [15]

III.3.3 Station de traitement d'eau :[20]

- **1er processus** : filtration de l'eau. Eau destinée à alimenter un bac, utilisé pour l'anti incendiee l'eau de service.
- **2ème processus** : traitement basé sur le procédé osmose inverse. Eau destinée au lavage des miroirs solaires.
- **3ème processus** : Déminéralisation de l'eau. Eau destinée à l'alimentation du circuit eau-vapeur.

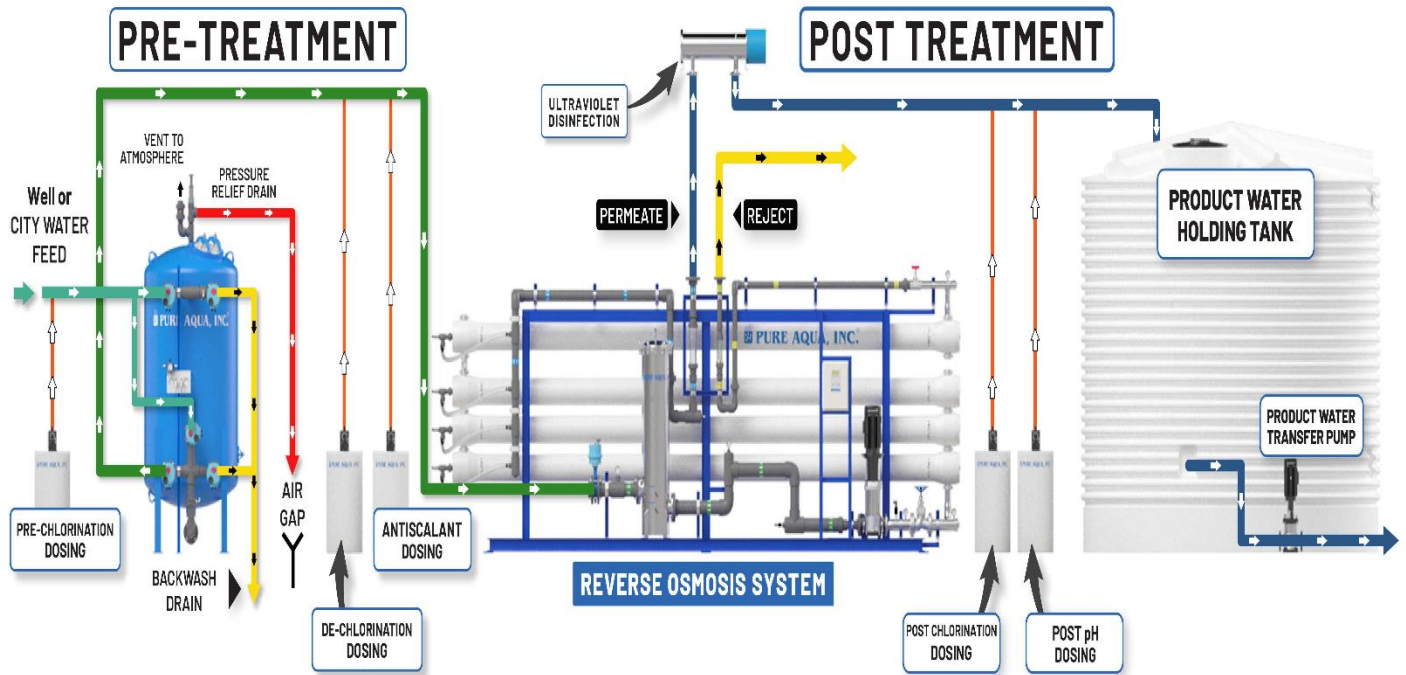


Figure III. 14 : Schéma de processus du traitement d'eau [20]

III.3.4 Cycle de puissance (Combiné) :[15]

Le cycle combiné comprend deux unités, chacune équipée d'une turbine à gaz de 45 MW de marque SIEMENS, accompagnée d'une chaudière de récupération à postcombustion fabriquée par TBW (Thermax Babcock et Wilcox). Chacune de ces turbines est munie d'un système de refroidissement (chiller) pour réduire la température de l'air ambiant à environ 15 degrés Celsius avant son admission dans le compresseur, ce qui aide à améliorer l'efficacité globale de la centrale.

Les turbines à gaz sont alimentées par du gaz naturel provenant du gisement de la centrale, qui est composé à environ 85% de CH₄, avec un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 45 778 kJ/kg.

La turbine à vapeur utilisée dans ce cycle fermé est de type SST-900 (Siemens Steam Turbine), d'une capacité nominale de 80 MW. Un aérocondenseur est employé pour condenser la vapeur saturée provenant de l'échappement de la turbine à vapeur. [16]

Les deux chaudières de récupération sont dans à un niveau de pression. [15]

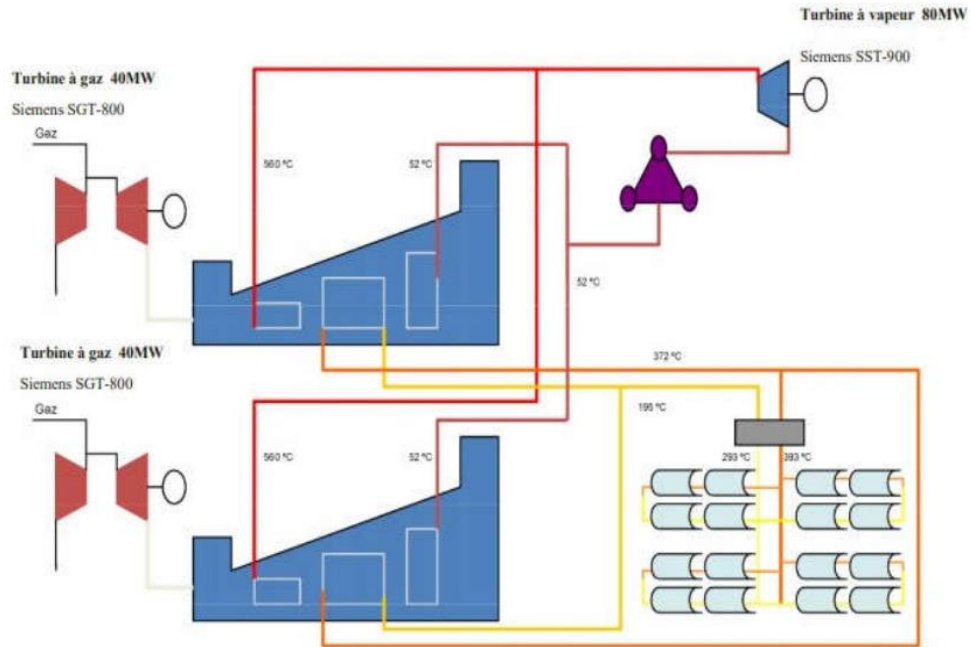


Figure III. 15 : Centrale hybride à cycle combiné [15]

La centrale hybride à cycle combiné utilisera les matières suivantes :[15]

- Le rayonnement solaire comme énergie primaire.
- Les miroirs solaires de type cylindro-paraboliques en provenance d'Allemagne.
- Le gaz propre produit à Hassi R'mel.
- L'eau issue de la station d'épuration de la ville de Hassi R'mel.
- Le réseau électrique haute tension disponible à Hassi R'mel.

III.3.4.1 Groupe Champ Solaire :

III.3.4.1.1 Concentrateur cylindro-parabolique :[15]

Le module de collecteur ET 150 est un concentrateur de 28 segments (4×7) de miroirs cintrés fabriqués par le verrier Rio Glass, montés sur une structure métallique. Le miroir est constitué d'un verre en cristal de haute réflectivité (98%), sur sa partie inférieure, il est revêtu d'une couche d'argent, de cuivre, d'une protection et d'une couche en céramique.

Paramètres :	Valeurs :	Unités :
La surface de l'ouverture.	817.5	m ²
La longueur du collecteur.	148.5	m
Nombre de modules par systèmes de poursuite (collecteur).	12	/
Nombre de facettes en verre (collecteur).	336	/
Nombre de tubes absorbeurs (4.1)	36	m
Réfectivité du concentrateur.	94	%
Rendement optique.	80	%
Rendement annuel moyen du collecteur (43.5).	43.5	%
Largeur de la surface de l'ouverture.	5.75	m

Tableau III. 7 : Les paramètres du collecteur ET150 de la centrale [15]

III.3.4.1.2 Tube récepteur :[16]

Les récepteurs dans les centrales cylindro-paraboliques ont pour fonction de convertir le rayonnement solaire réfléchi par les miroirs en chaleur dans le fluide caloporteur, qui est ensuite transportée à travers des tuyaux vers les composants de puissance de la centrale. Le tube absorbant, installé dans une partie de la structure au sein du foyer du CCP, est crucial car le rendement global du capteur en dépend largement.[15]

Le tube absorbant se compose de deux tubes concentriques : un tube intérieur métallique par lequel circule le fluide à chauffer, et un tube extérieur en verre. Un vide est maintenu entre les deux tubes pour éviter les pertes par convection, et ils sont reliés en série par des joints verre-métal.

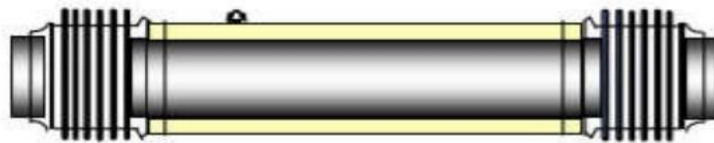


Figure III. 16 : Schéma d'un tube typique absorbant d'un capteur cylindro-parabolique [16]

Le tube métallique, fabriqué en acier au carbone, est doté d'un revêtement sélectif ayant une absorption supérieure à 95% et un pouvoir émissif infrarouge inférieur à 12%, ce qui garantit un rendement thermique élevé.

Quant au tube en verre borosilicate, il bénéficiera d'un traitement antireflet en surface pour augmenter sa transmissivité et le rendement optique du capteur. De plus, il présente une grande transparence et une résistance mécanique élevée.

Les dimensions des tubes absorbeurs sont de 4,06 mètres de long, avec un diamètre intérieur de 0,065 mètre et un diamètre extérieur de 0,07 mètre.

En raison des températures de travail élevées atteignant 350°C, des tubes absorbeurs sensibles ont été sélectionnés. Les pertes thermiques par convection et conduction étant significatives, les tubes sont enveloppés dans une enveloppe de verre sous vide pour les limiter. Ces tubes doivent présenter une absorption élevée du rayonnement afin d'éviter toute réflexion du rayonnement incident.

Le tube utilisé dans la centrale est de type SCHOTT PTR70 (Parabolic Through Receiver).



Figure III. 17 : Tube récepteur de la centrale [16]

III.3.4.1.3 Système de poursuite :[16]

Un système d'orientation a pour but d'adapter l'inclinaison du capteur d'une manière que la radiation incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur de cette façon la radiation est réfléchi au foyer de la parabole et concentrée sur le tube récepteur où circule le fluide caloporteur.

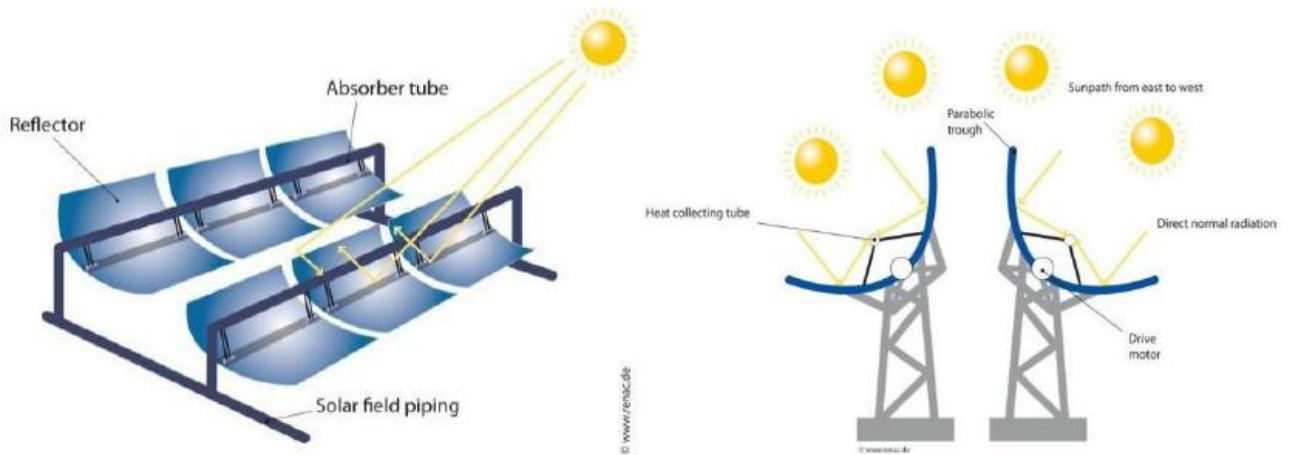


Figure III. 18 : Système de poursuite [16]

Le mouvement du collecteur est réalisé par une unité d'entraînement qui déplace un ensemble de concentrateurs ; elle peut être réalisée sous la forme d'une unité moteur-boîte de vitesses, dans ce cas-là cette unité est constituée de deux cylindres qui sont commandés par deux soupapes : une sert à la rotation et l'autre à la détermination de la direction.

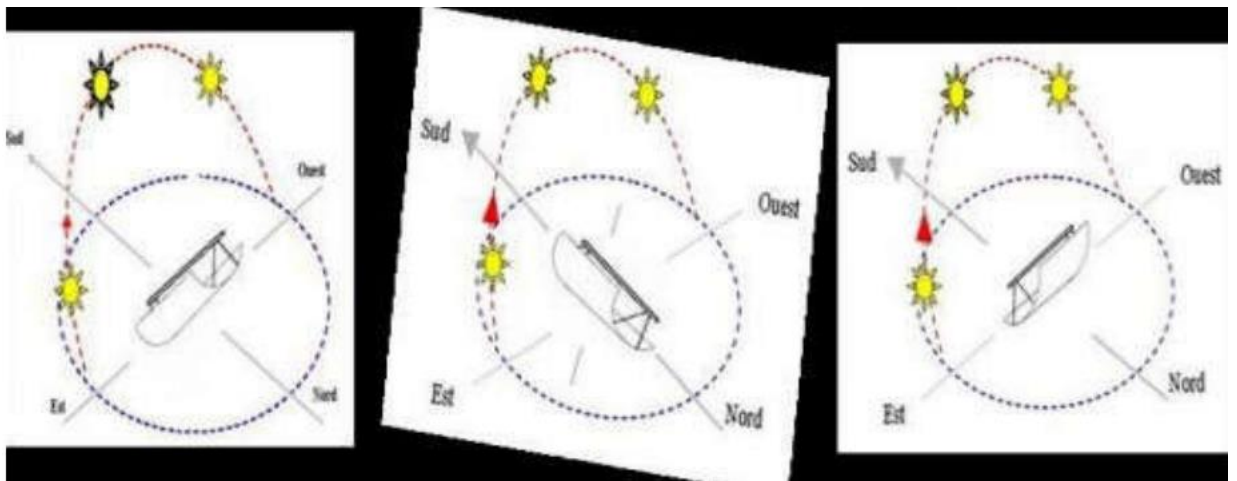


Figure III. 19 : Schéma simplifié du système de poursuite du CCP [16]

Un système de poursuite équipe chaque collecteur de 148m de long, deux vérins hydrauliques alimentés par une motopompe, font pivoter la structure sur son unique axe de rotation pour la poursuite du soleil d'Est en Ouest. Tout système est constitué de : Cylindre à double action, Vannes de contrôle, Filtres, Réservoir d'huile, Moteur et le Fluide hydraulique. La structure métallique a pour rôle de donner de la rigidité à l'ensemble des

éléments constitutifs du concentrateur cylindro-parabolique. Des supports et des piliers métalliques fixés sur des fondations en béton soutiennent la structure.

III.3.4.1.4 Matériaux des miroirs :[15]

Les propriétés réfléchissantes sont l'un des critères principaux pour choisir les matériaux des miroirs, exigeant une réflectivité élevée. Actuellement, les miroirs paraboliques les plus couramment utilisés sont fabriqués en verre avec un revêtement en argent, une option adoptée par toutes les centrales cylindro-paraboliques. Ces miroirs conservent leur durabilité même après dix ans d'utilisation, montrant à peine une diminution de leur réflectivité spéculaire.

La réflectivité solaire directe moyenne des miroirs utilisés dans la technologie cylindro-parabolique est estimée à 93,5%. Ils ne sont pas fabriqués en un seul morceau, mais sont composés de facettes de miroir, pouvant aller jusqu'à 28 facettes par module concentrateur.

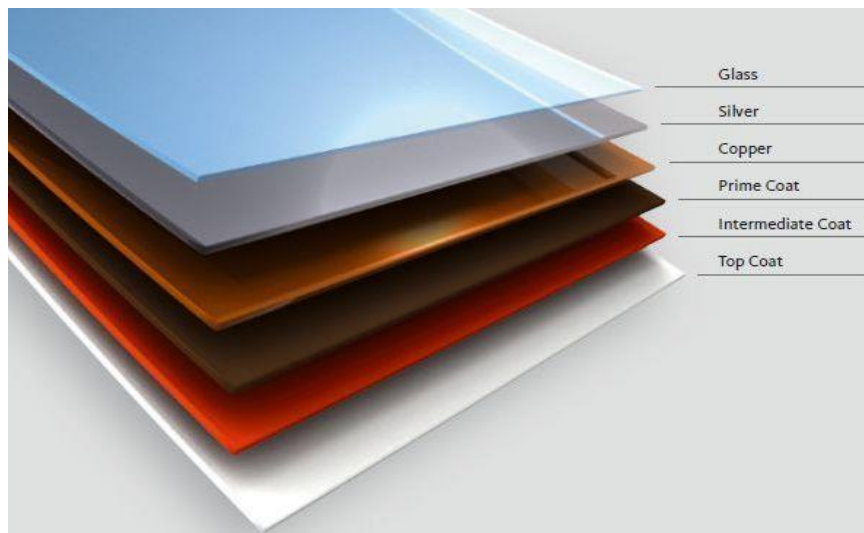


Figure III. 20 : Matériau du miroir [15]

III.3.4.1.5 Fluide caloporteur :[16]

Le fluide caloporteur utilisé dans le circuit solaire l'huile synthétique de composition Biphenyl-Diphenyl Oxide appelé THERMINOL VP-1 ; quant à l'huile choisie, elle doit satisfaire les conditions suivantes :

- Avoir une capacité thermique de travail proche de 400°C à la sortie de l’îlot solaire.
- Avoir une bonne stabilité thermique et un coût raisonnable.

Paramètres :	Valeurs :	Unités :
Température maximale du fluide thermique	420	°C
Température minimale de congélation	12	°C
Températures normales de travail <ul style="list-style-type: none"> • A l’entrée champ solaire • A la sortie champ solaire 	260 – 393 293 393	°C °C °C
Débit de fonctionnement maximal	550	(kg/s)
Densité liquide	1060	(kg/m3)

Tableau III. 8 : Les paramètres du THERMINOL VP-1 [16]

III.3.4.1.6 Chaudière HTF (fluide caloporteur) :[16]

L’une des avantages du fluide THERMINOL VP-1 est de travailler dans des hautes températures jusqu’à 400°C tout en gardant ses caractéristiques, son inconvénient est la cristallisation à des températures ambiantes (12°C) ; pour éviter ce problème une chaudière est utilisée pour retenir le fluide caloporteur la nuit à une température au-dessus de 50°C.

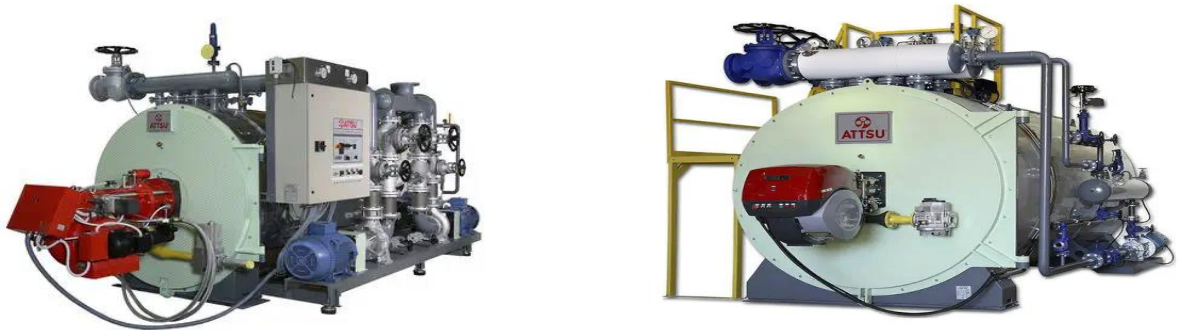


Figure III. 21 : Chaudière HTF de la centrale [23]

III.3.4.1.7 Le générateur de vapeur solaire (GVS) :[16]

Le générateur de vapeur solaire, également connu sous le nom de chaudière solaire, a pour rôle de produire de la vapeur avant de passer dans les chaudières de récupération pour alimenter la turbine à vapeur. Il est composé d'un économiseur, d'un évaporateur avec un ballon, et d'une surchauffeur, servant de lien entre le champ solaire et le cycle combiné

"intégration solaire". Il fonctionne également comme un ensemble d'échangeurs de chaleur entre l'huile (HTF) et l'eau/vapeur.

L'huile synthétique entre dans le générateur de vapeur solaire à une température constante de 393°C grâce au champ solaire, et en ressort à 293°C. L'échange de chaleur se fait entre le fluide caloporteur provenant du champ solaire et l'eau provenant des économiseurs des chaudières de récupération (HRGS). La puissance nette délivrée par la centrale est proportionnelle au débit massique de la vapeur détendue dans la turbine. En mode hybride, ce débit est la somme des débits de la vapeur générée dans les deux HRSGs et celle générée dans le générateur de vapeur solaire. Le débit massique du fluide varie en fonction du rayonnement solaire reçu dans le champ solaire, ainsi que des conditions climatiques tout au long de la journée.

Le processus d'échange thermique permet de produire de la vapeur surchauffée en faisant passer l'eau à travers l'économiseur, l'évaporateur, puis la surchauffeur, avant d'être injectée dans les surchauffeurs HP des chaudières de récupération. Contrairement au circuit du fluide caloporteur, ce processus se fait dans le sens inverse. Cette configuration, connue sous le nom d'échange de chaleur à contre-courant, permet d'atteindre les meilleures performances.

En cas d'arrêt du champ solaire, l'huile HTF circule à travers une chaudière auxiliaire pour éviter la cristallisation (maintenir sa température au-dessus de 12°C). L'espace non occupé par l'huile doit être rempli par de l'azote inerte en permanence.

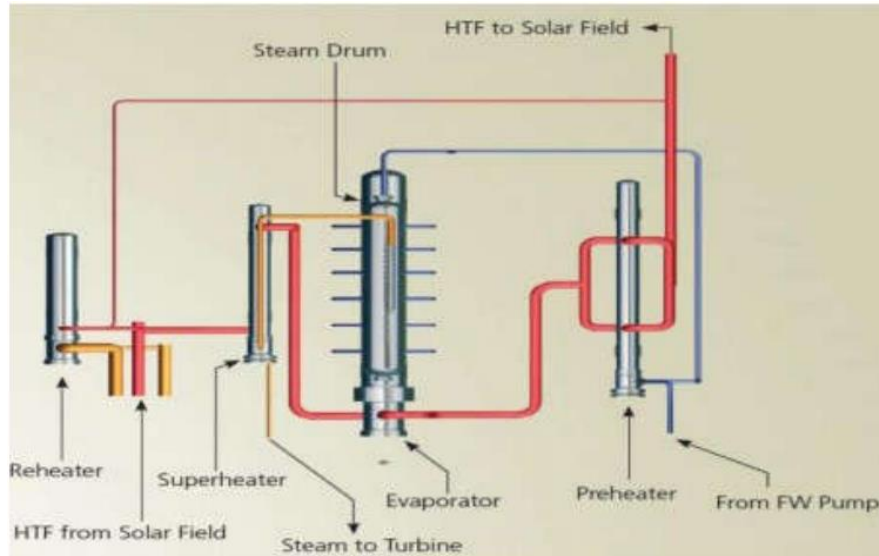


Figure III. 22 : Schéma du fonctionnement du générateur de vapeur solaire [16]

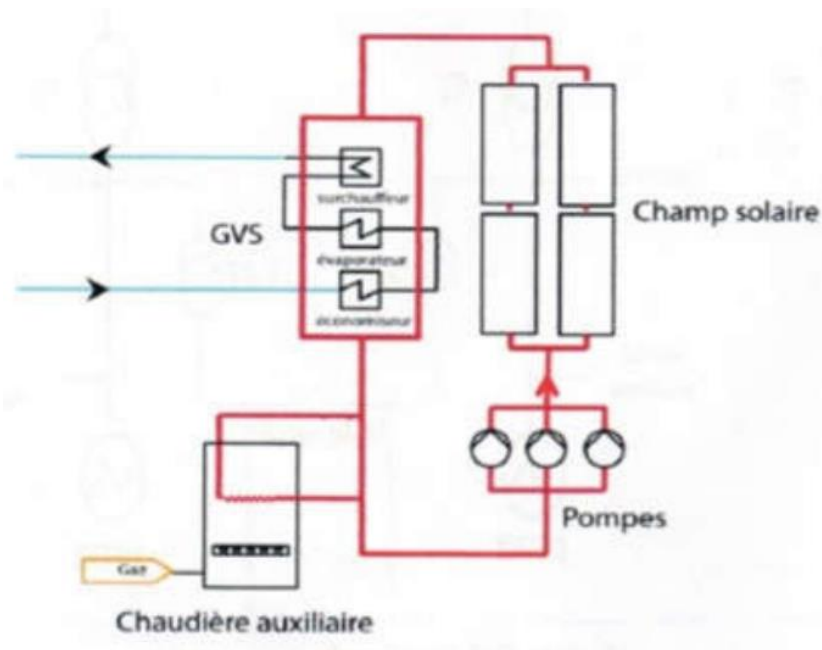


Figure III. 23 : Circuit de fluide HTF [16]

III.3.4.1.8 Fonctionnement du champ solaire (système HTF) :[21]

Le système HTF est composé d'une série d'éléments qui s'occupe de la distribution et l'évacuation de l'huile thermique à travers le champ des capteurs cylindro-paraboliques. Il existe deux parties dans ce système :

-L'ilôt solaire :[18]

Il comprend deux canalisations collectrices, l'une froide et l'autre chaude, ainsi que des tubes reliant les capteurs entre eux et aux canalisations collectrices. Dès que l'irradiation solaire atteint un seuil minimal appelé niveau de seuil d'irradiation, les pompes à impulsion commencent à faire circuler l'huile à travers le champ avec un faible débit initial, suffisant pour créer des turbulences dans le tube récepteur. Cela entraîne une augmentation de la température de l'ilôt solaire à la sortie. Lorsqu'elle atteint 393°C, le transfert de chaleur de l'huile commence dans l'échangeur HTF-eau. Le débit d'huile varie tout au long de la journée entre une valeur minimale et maximale, maintenant une température constante à la sortie de l'ilôt solaire.

Lorsque l'irradiation directe diminue et que le crépuscule approche, le débit d'huile diminue également jusqu'à atteindre sa valeur minimale. Lorsque l'énergie thermique des capteurs n'est plus suffisante pour maintenir la température de l'huile à 393°C, la circulation est interrompue.

-Système de stockage de l'huile thermique :[18]

À l'intérieur du système HTF se trouvent des réservoirs d'huile thermique, un réservoir d'expansion et deux réservoirs de débordement, conçus pour absorber les dilatations provoquées par l'augmentation de la température du fluide thermique.

Au début de la journée solaire, les réservoirs sont remplis à 5% de leur capacité. Les vannes d'entrée et de sortie des réservoirs, ainsi que les réservoirs de débordement, sont fermés. Lorsque l'irradiation solaire directe augmente, entraînant une hausse de la température de l'huile à 393°C, celle-ci se répand dans le réservoir d'expansion. Lorsque le réservoir d'expansion atteint 50% de sa capacité, les vannes s'ouvrent pour maintenir le niveau constant et remplir simultanément les réservoirs. L'azote est comprimé dans ces réservoirs et libéré au besoin à travers les vannes correspondantes afin de maintenir un espace intérieur inerte tout au long de la journée solaire.

À la fin de la journée solaire, lorsque la température de l'huile diminue, le processus s'inverse et revient à l'étape initiale.

III.3.5 La station météorologique :[16]

La centrale contient quatre stations météorologiques :

- Une station météo pour chaque champ solaire (mesure de la température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent).
- Une station principale installée au niveau du haut du bac anti-incendie et d'eau de service (mesure l'irradiation solaire DNI).
- Une station en face de l'aérocondenseur (mesure de la température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent).

Chaque station est composée des capteurs qui permettent de mesurer et enregistrer les variations météorologiques liés au climat : température ambiante, irradiation solaire, la vitesse et la direction du vent, l'hygrométrie.



Figure III. 24 : La station météorologique de la centrale hybride [16]

III.3.6 La salle de commande et de contrôle :[16]

Les données enregistrées par la station météorologique seront transmises à la salle de commande via un réseau de communication. Cela permettra la surveillance continue des opérations de la centrale sans nécessiter l'intervention des opérateurs. De plus, la gestion des éléments entrant dans la production d'électricité sera assurée par un système appelé DSC (Système de Contrôle Distribué), qui supervise le démarrage et l'arrêt des processus.

III.3.7 Les systèmes auxiliaires :[18]

- Les transformateurs : Chaque générateur de trois turbines (cycle combiné) est connecté à un transformateur principal.
- Les systèmes à air comprimé : A l'aide d'un système pneumatique (soupapes, électrovannes), l'air prélevé de l'atmosphère est comprimé par une station à air comprimé qui se compose d'un compresseur électrique qui sert à comprimer l'air ; ensuite il est refroidi à une certaine température dont la vapeur se condense.
- Les impuretés solides du flux d'air comprimé sortant ainsi que les gouttes d'eau de condensation vont être éliminés par un système intérieur.
- Les chillers : C'est un système de refroidissement de l'air à l'entrée des compresseurs des turbines à gaz à cause des températures ambiantes élevées de Hassi R'mel qui influent sur les performances des turbines à gaz.



Figure III. 25 : Puissance du générateur et consommation en fonction de la température d'admission de la SGT-800 [18]

Cette courbe représente la puissance du générateur et la consommation de chaleur en fonction de la température de l'air à l'admission du compresseur.

III.4 Le principe du fonctionnement de la centrale : [20]

Le circuit eau-vapeur utilisé dans la centrale peut être divisé en deux sous-circuit :

- Circuit eau-vapeur correspondant au fonctionnement avec un cycle combiné conventionnel (TG, TV).

- Circuit eau-vapeur correspondant au fonctionnement avec un cycle hybride (TG, TV & champ solaire) « thermo-solaire ».

III.5 Principe de fonctionnement de la centrale en cycle combiné :

III.5.1 (Mode nuit) :[18]

Au crépuscule, les niveaux d'énergie utiles diminuent et le débit d'huile diminue jusqu'à atteindre le débit minimal, ce qui entraîne l'interruption de la circulation et le début d'une nouvelle période nocturne.

Dans une centrale à cycle combiné conventionnelle, se trouvent deux turbines à gaz couplées à un générateur chacune. Elles produisent de l'énergie à partir de la combustion de gaz naturel. Les gaz d'échappement de la turbine à gaz sont dirigés vers les chaudières de récupération HRGS (générateur de vapeur de récupération de chaleur) à une température d'environ 600°C et une pression de 0,95 bar. Ces chaudières transforment l'énergie thermique des gaz d'échappement en vapeur d'eau à travers une série d'échangeurs (en contre-courant), puis les gaz quittent la chaudière à une température d'environ 150°C.

L'huile circule en circuit fermé à travers le champ solaire et passe également par une chaudière auxiliaire pour maintenir sa température autour de 35-38°C. Tout d'abord, l'eau condensée entre dans la chaudière et circule dans le sens opposé des gaz d'échappement. Elle est ensuite pompée vers le préchauffeur pour être portée à ébullition et recevoir autant de chaleur que possible avant de passer aux étapes suivantes.

Ensuite, elle passe par la bêche alimentaire où le dégazage physique a lieu pour éliminer l'oxygène. Cette eau est ensuite envoyée aux économiseurs 1 et 2 par les pompes alimentaires. Les échangeurs augmentent la température de l'eau de 52,57°C à 297,5°C. Après avoir traversé l'évaporateur, où l'eau chauffée est injectée dans le ballon, un échange eau-vapeur se produit.

Après la vaporisation, le mélange eau-vapeur remonte vers le ballon où l'eau non évaporée retourne à l'évaporateur tandis que la vapeur continue vers les surchauffeurs. La surchauffeur, premier échangeur rencontrant les gaz d'échappement à l'entrée de la

chaudière, utilise leurs hautes températures pour produire de la vapeur surchauffée, augmentant sa température de 297,5°C à 410°C.

La turbine à vapeur fonctionne à une température de 560°C et une pression de 83 bar. Comme l'énergie thermique fournie par les surchauffeurs est insuffisante, il est nécessaire de passer par les brûleurs de température pour augmenter la température.

Après la détente et le refroidissement de la vapeur dans le corps de la turbine, elle est condensée à la sortie de la turbine à travers des aérocondenseurs composés de 15 ventilateurs. Enfin, la vapeur surchauffée actionne la turbine, qui à son tour convertit l'énergie thermique en énergie mécanique. Le générateur convertit ensuite cette énergie mécanique en énergie électrique.

III.5.2. (Mode jour) :[18]

Pendant les périodes ensoleillées, le champ solaire joue un rôle essentiel dans le fonctionnement de la centrale en produisant de la vapeur au niveau des générateurs de vapeur solaire (GVS).

L'eau sortie de la chaudière de récupération, à une température de 165°C, est dirigée vers le GVS. Là, elle subit un échange thermique avec le fluide HTF à travers trois échangeurs :

1. L'économiseur : élève la température jusqu'à 297,5°C.
2. L'évaporateur : permet l'évaporation de l'eau.
3. La surchauffeur : surchauffe et assèche la vapeur à 372°C.

Ensuite, cette vapeur est réintroduite dans les HRGS (le surchauffeur primaire). Grâce aux brûleurs de température, la vapeur atteint la température requise (560°C) pour actionner la turbine.

Le champ solaire se compose de miroirs cylindro-paraboliques orientés en fonction de la position du soleil. Ils réfléchissent le rayonnement solaire sur les tubes récepteurs, revêtus d'une couche absorbante. À l'intérieur de ces tubes circule une huile synthétique qui

absorbe l'énergie solaire thermique et la transporte vers le cycle conventionnel. Cette huile est utilisée pour convertir l'eau en vapeur dans l'échangeur de chaleur.

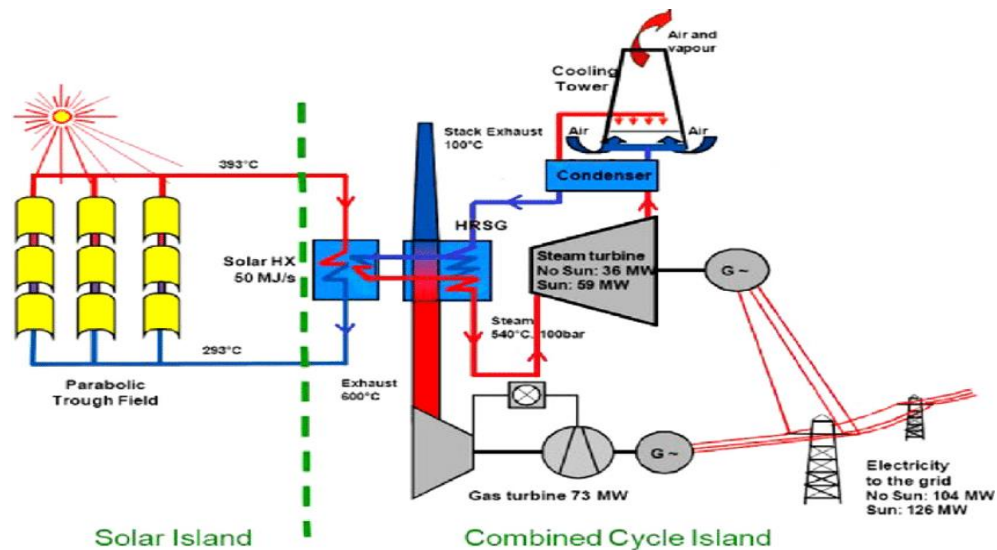


Figure III. 26 : Schéma d'une centrale hybride solaire-gaz [champ solaire avec une système cylindro-parabolique & cycle combiné : turbine à gaz + turbine à vapeur + chaudière] [18]

Le circuit d'huile débute par un préchauffage dans la chaudière auxiliaire, où sa température est portée à environ 35-38°C. Cette huile chauffée alimente ensuite les tuyauteries du champ solaire, où elle entre en contact avec le fluide à l'intérieur des tubes récepteurs. Sous l'effet de la chaleur, le fluide se transforme en énergie thermique.

Le capteur solaire utilise uniquement l'irradiation directe du soleil, ce qui nécessite un suivi constant de sa position tout au long de la journée. Une fois que l'huile atteint environ 391°C à la sortie du circuit solaire, elle est dirigée vers l'échangeur de chaleur, déjà en contact avec l'eau préchauffée par la HRGS jusqu'à environ 195°C, avant de ressortir à une température d'environ 291°C. Si la température de l'huile ne correspond pas à celle désirée, une vanne de dérivation s'ouvre pour permettre la circulation de l'huile en dehors de l'échangeur.

Ensuite, la vapeur, à une température d'environ 372°C et une pression de 87,2 bars, est séparée en deux parties pour alimenter les deux chaudières de récupération des turbines à gaz. Après avoir alimenté la chaudière en amont, elle en ressort à une température d'environ 560°C et une pression de 83 bars, conditions nécessaires au fonctionnement de la turbine à vapeur.

Après la détente, la vapeur, à une température d'environ 52°C et une pression de 0,14 bar, est dirigée vers les aérocondenseurs, où elle est pompée, évaporée, et surchauffée à travers plusieurs étapes. Elle passe par un préchauffeur, d'où elle sort à environ 140°C et 6,92 bars, avant d'être dirigée vers un ballon séparateur pour une meilleure séparation des gouttelettes d'eau. Elle revient ensuite à l'évaporateur LP, puis au ballon pour subir une nouvelle séparation. Enfin, la vapeur passe par l'économiseur-I HP et ressort de la chaudière à une température d'environ 195°C et une pression de 94 bars, alimentant ainsi la chaudière HTF.

Pour alimenter la turbine à vapeur, avec la contribution des gaz d'échappement des deux turbines à gaz, tous ces brûleurs sont équipés d'une boucle de régulation garantissant l'alimentation en gaz naturel lorsque nécessaire.

III.6. Définition & principe de fonctionnement du "By-pass" au niveau du GVS :

III.6.1. Définition du By-pass :[18]

Le by-pass est un mot anglais qui veut dire « passer au-delà ». Elle sert à optimiser le temps d'intégration de la vapeur solaire en gardant la pression au niveau du GVS pendant les moments non ensoleillés ; donc une grande contribution du champ solaire au fonctionnement de la centrale en réduisant l'utilisation du gaz naturel.

III.6.2. Principe de fonctionnement :[15]

Pendant le crépuscule, le fonctionnement du champ solaire s'arrête, après la fermeture des vannes d'entrées et de sorties de la GVS une partie de la vapeur produite dans la journée reste dans la GVS ; le by-pass est situé avant la sortie de la vanne donc il permet à la vapeur qui vient de la chaudière de récupération d'entrer dans le GVS en gardant la haute pression de la vapeur restante au GVS pendant la nuit.

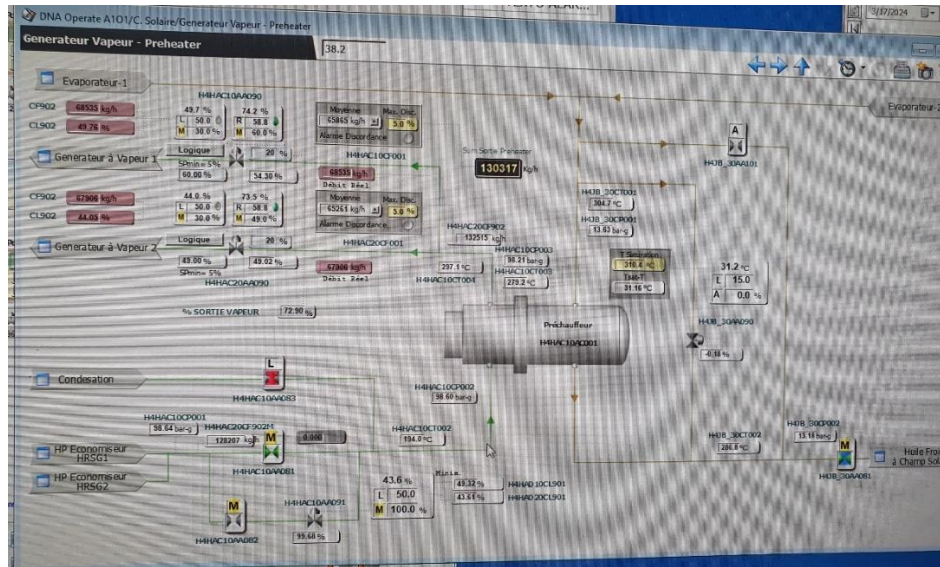


Figure III. 27 : Photo de Schéma descriptif du By-pass [22]

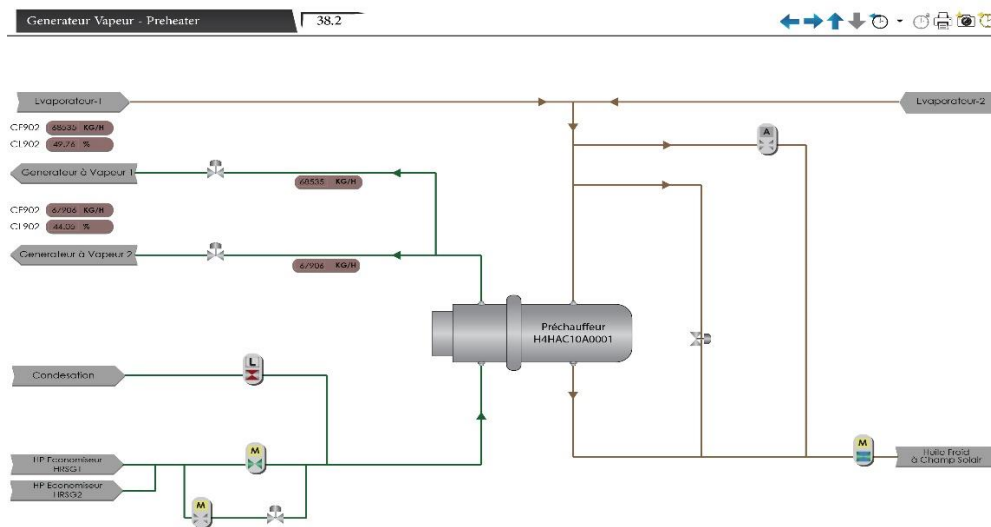


Figure III. 28: Schéma descriptif du By-pass [24]

III.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une description générale au cycle combiné pour la production d'électricité de la centrale de Hassi R'mel, Cette hybridation vise à maintenir une production continue tout en limitant la consommation excessive de combustible (gaz naturel, fuel).

Dans cette section, le concept de l'ISCC (Cycle Combiné Solaire Intégré) a été décrit en détail cela en décrivant la configuration des différents composants de la centrale hybride de Hassi R'mel, ainsi que les circuits HTF et eau-vapeur, et leur fonctionnement dans les deux modes : pendant la Nuit (cycle combiné) , et pendant le Jour (cycle hybride), il semble que pour un fonctionnement optimal de la centrale un taux d'irradiation solaire élevé est exigé, cependant lors des périodes de crépuscule lorsque les niveaux d'énergie diminuent, des bypass sont utilisés pour diriger la vapeur restante des chaudières de récupération vers le GVS, maximisant ainsi la contribution du champ solaire et économisant du combustible.

CHAPITRE₄ :

Maintenance des équipements de la station thermique

IV.1 Calcul de la performance de la centrale électrique

IV.1.1 Introduction :

Le concept sophistiqué du cycle combiné implique l'utilisation séquentielle de turbines à gaz et de champs solaires, suivie d'une centrale à vapeur. Cette approche tire parti de la chaleur résiduelle des gaz d'échappement des turbines à gaz et des capteurs solaires pour produire de la vapeur. Les turbines à gaz fonctionnent à des températures élevées, tandis que le champ solaire et les centrales à vapeur opèrent à des températures plus modérées. Cette combinaison de technologies permet d'atteindre des rendements thermiques dépassant 55 %, surpassant ainsi les performances des installations conventionnelles.

Dans un schéma typique de cycle combiné, environ deux tiers de la puissance totale sont fournis par les turbines à gaz, tandis que le tiers restant est généré par le champ solaire en utilisant la turbine à vapeur. Le générateur de vapeur récupérateur assure le transfert thermique entre les deux cycles et utilise la chaleur provenant du champ solaire. De nombreuses avancées dans le domaine des cycles combinés sont fondées sur ce principe, ouvrant la voie à une amélioration continue de l'efficacité énergétique.

IV.1.2 Détermination de l'expression du rendement globale de la centrale :

La quantité de chaleur totale fournie par le système hybride gaz/solaire est la somme de quantité de chaleur fournie par la turbine à gaz et celle des capteurs solaires soit :

$$Q_T = Q_g + Q_{HTF} \quad (IV.1)$$

Q_g : quantité de chaleur fournie par la turbine.

Q_{HTF} : quantité de chaleur fournie par le fluide Caloporteur HTF.

Le rendement du champ solaire :

$$\eta_s = \frac{Q_{HTF}}{Q_s} \quad (IV.2)$$

Q_s : l'énergie du rayonnement solaire incident. En remplaçant dans (IV.1) nous obtenons :

Nous pouvons écrire l'expression (IV.1) sous la forme :

$$\frac{Q_g}{Q_T} + \frac{Q_{HTF}}{Q_T} = 1 \quad (IV.4)$$

Soit finalement :

$$\alpha_g + \eta_s \alpha_s = 1$$

Où

$\alpha_g = \frac{Q_g}{Q_T}$ Contribution de la source gazière dans le système hybride.

$\alpha_s = \frac{Q_s}{Q_T}$ Contribution de la source solaire dans le système hybride.

Le rendement total du système hybride est donné par :

$$\eta = \frac{W_g + W_v}{Q_T} \quad (IV.5)$$

D'autre part nous avons, le rendement pour la turbine à gaz :

$$\eta_g = \frac{W_g}{Q_g} \quad (IV.6)$$

Et pour la turbine à Vapeur :

$$\eta_v = \frac{W_v}{Q_v} \quad (\text{IV.7})$$

W_g, W_v : sont respectivement le travail fourni par la turbine à gaz et la turbine à vapeur.

Le rendement total est donc peut être exprimer par :

$$\eta = \frac{\eta_g Q_g + \eta_v Q_v}{Q_g + \eta_s Q_s} \quad (\text{IV.8})$$

$$\eta = \frac{\eta_g + \eta_v \frac{Q_v}{Q_g}}{1 + \eta_s \frac{Q_s}{Q_g}} \quad (\text{IV.9})$$

L'efficacité de la turbine à vapeur est donnée par l'expression :

$$\epsilon = \frac{Q_v}{Q_v + Q_p} = \frac{Q_g}{Q_v + Q_p} \frac{Q_v}{Q_g} = \frac{1}{1 - \eta_g} \frac{Q_v}{Q_g} \quad (\text{IV.10})$$

En remplaçant dans (IV.9) nous obtenons l'expression finale pour le rendement soit :

$$\eta = \frac{\eta_g + \eta_v \epsilon (1 - \eta_g)}{1 + \eta_s \frac{Q_s}{Q_g}} \quad (\text{IV.11})$$

Soit :

$$\eta = \frac{\eta_g + \eta_v \epsilon (1 - \eta_g)}{1 + \eta_s \frac{Q_s Q_T}{Q_T Q_g}} \quad (\text{IV.12})$$

Soit finalement :

$$\eta = \frac{\eta_g + \eta_v \epsilon (1 - \eta_g)}{1 + \eta_s \frac{\alpha_s}{\alpha_g}} \text{(IV.13)}$$

Dans le cas d'absence du champ solaire sa contribution $\alpha_s = 0$ dans ce cas le rendement total est égal à celui du système combiné turbine à gaz/turbine à vapeur soit :

$$\eta = \eta_g + \eta_v \epsilon (1 - \eta_g) \text{(IV.14)}$$

La turbine à gaz absorbe la chaleur Q_g provenant de la source chaude. Elle produit à la fois un travail utile, W_g , et rejette une quantité de chaleur ($Q_v + Q_p$). La première partie de cette chaleur correspond à celle fournie au cycle à vapeur, tandis que la seconde représente les pertes. Ensuite, le cycle à vapeur génère un travail utile, W_v , et évacue la chaleur Q_c vers le condenseur.

Si on considère les données obtenues de Calcul énergétique pour le centrale Hassi Rémel avec $\eta_g = 0,31$, $\eta_v = 0,51$, et $\epsilon = 0,985$, $\eta_s = 0,37$ on obtient $\eta = 0,66$ en absence de champ solaire.

Pour le cas de la centrale Hybride de Hassi R'mel $\alpha_g = \frac{2}{3}$, $\alpha_s = \frac{1}{3}$ en présence de champ solaire nous avons : $\eta \cong 0,55$ pour ce rendement l'énergie fournie pour produire 150MW d'électricité est équivalent à 273 MW de consommation d'énergie dont la combustion de la turbine à gaz consomme un équivalent de 182 MW et le champ solaire fourni un équivalent de 91 MW. Dans le cas d'absence du champ solaire la turbine doit consommer l'équivalent de 227 MW pour produire 150KW avec un rendement $\eta = 0,66$ Figure IV. 1.

IV.1.3 Influence du maintenance et d'entretien sur le rendement

Dans ce qui suit nous allons montrer l'influence de l'entretien et maintenance des équipements de la centrale sur son rendement, cela en utilisant l'expression du rendement (IV.13) et en jouant sur le rendement de chaque équipement.

IV.1.3.1 Influence du rendement du champ solaire

Puisque le champ solaire est destiné à assurer 1/3 de la production de la centrale. Ce champ peut affecter la production de la centrale de deux manières, premièrement, par le fait que ce champ n'est pas stable au cours de la journée. En été il est efficace sur 12h et dans les autres saisons il est efficace que pendant 6h. Donc en été il efficace sur la moitié de la journée et dans les autres saisons sur ¼ de la journée. Si en tient compte de cette perturbation dans le champ solaire même en présence d'une maintenance adéquate sa pose problème pour l'économie de l'énergie fossile, le manque de l'énergie provenant de solaire va être récupérer par une consommation en plus de l'énergie fossile(gaz) pour assurer la même production d'électricité.

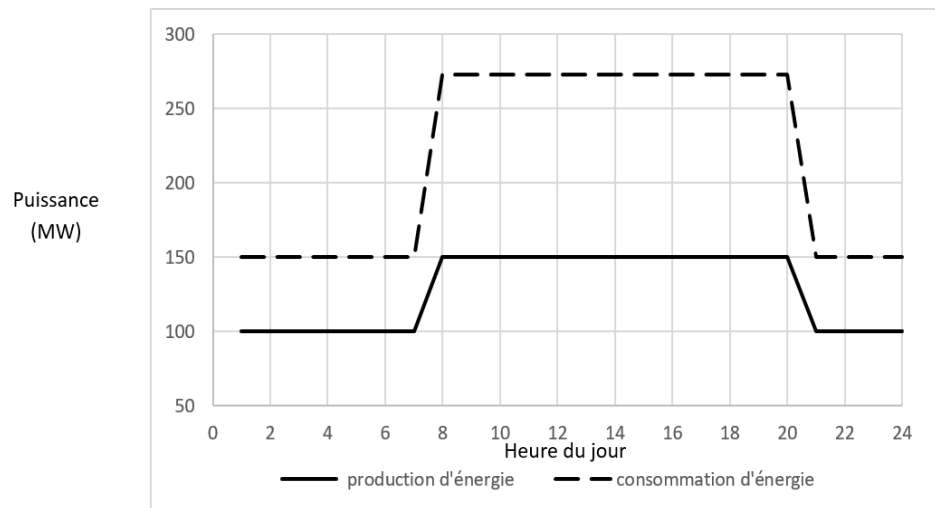


Figure IV. 1 : production d'électricité pour une journée en été.

Le manque de maintenance et d'entretien se traduit par une réduction dans le rendement du champ solaire et par conséquent un plus dans la consommation du gaz pour assurer la même production d'électricité. Dans ce cas le rendement global tend vers celui de cycle combiné de système, turbine à gaz /turbine à vapeur.

Figure IV. 2

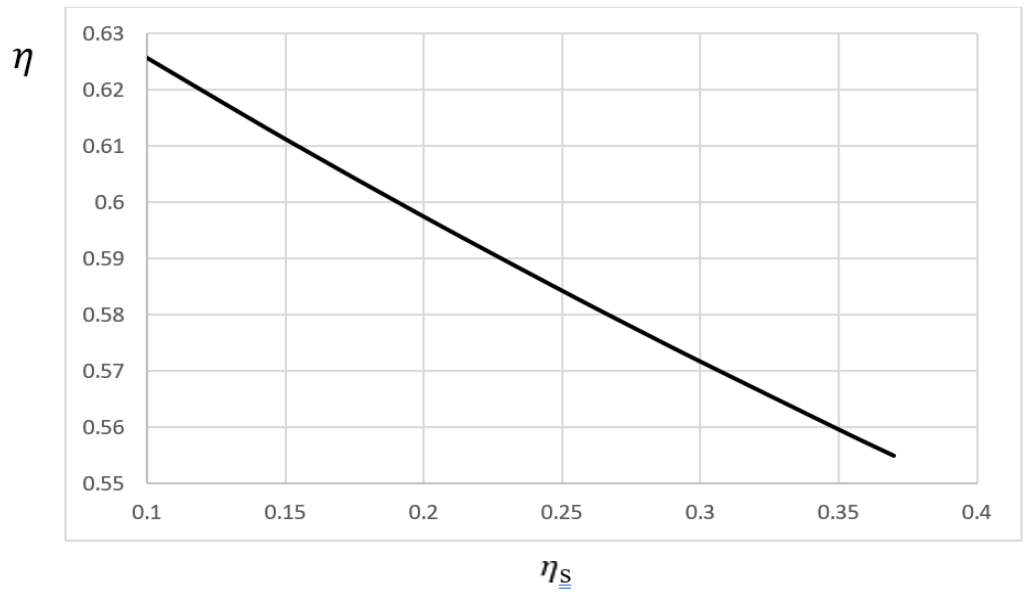


Figure IV. 2 : influence du rendement du champ solaire sur le rendement global

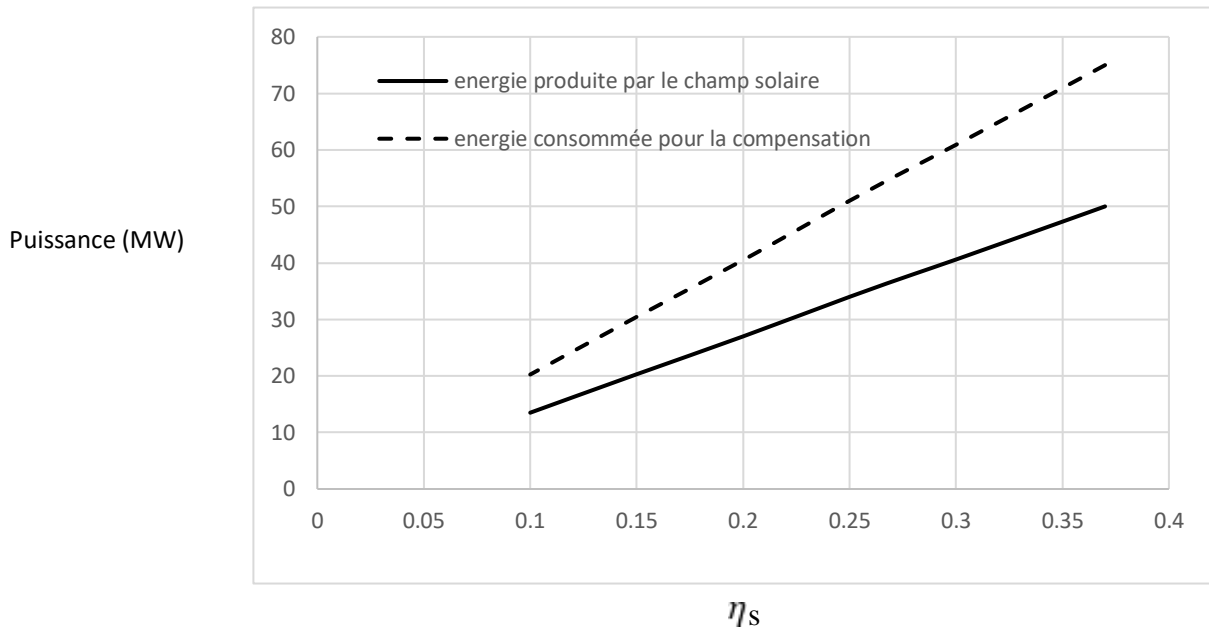


Figure IV. 3 : puissance produite et compensée en fonction du rendement du champ solaire

La Figure IV.3 représente l'évolution de la production d'électricité en fonction du rendement du champ solaire en parallèle est tracée la puissance de compensation consommée par le cycle combiné turbine à gaz /vapeur. Une réduction du rendement de champ solaire de 0.37 (valeur max)

à 0.1 entrain une réduction de 36.5 MW qui doit être compenser par l'équivalent 55 MW consommé en post combustion par le cycle combiné turbine à gaz/turbine à vapeur.

IV.1.3.2 Influence de l'efficacité de la chaudière et de système de production de la vapeur.

Pour le système de la production de la vapeur nous avons un paramètre qui peut influencer sur le rendement global, C'est l'efficacité ϵ et le rendement de la turbine à vapeur η v. une chute d'efficacité peut avoir lieu suite à une mauvaise maintenance ou manque d'entretien du système de production de la vapeur, chaudière et accessoires ou du système de canalisations ou de leur calorifuge ou à la défaillance dans les échangeurs de chaleurs suite au manque d'entretien. Ces équipements doivent systématiquement surveillés afin d'assurer une efficacité optimale et stable. Dans la Figure IV. 4 est tracée l'évolution du rendement global de la centrale en fonction de l'efficacité du système de production de vapeur. Nous constatons qu'une chute d'efficacité de 0.985 à 0.4 entraine une chute dans le rendement de 55 à 0.38 ce qui représente une chute de rendement de 31% impliquant ainsi une consommation de 45% de plus d'énergie, la chute dans la production sera compensée par une consommation en plus d'énergie dans le post combustion de la turbine à gaz afin de maintenir une production stable de 150MW. Figure IV.6

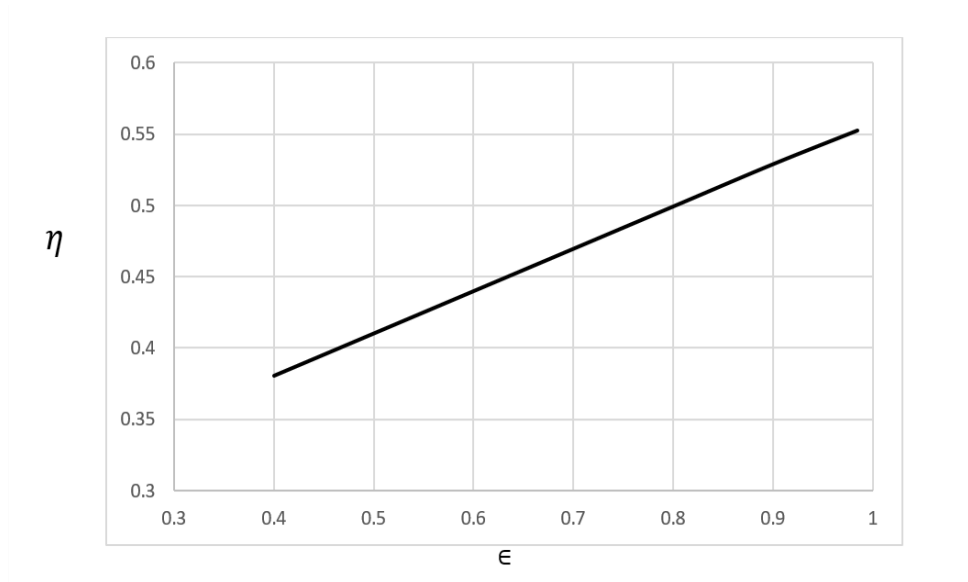


Figure IV. 4 : évolution du rendement global de la centrale en fonction de l'efficacité de système de la production de vapeur.

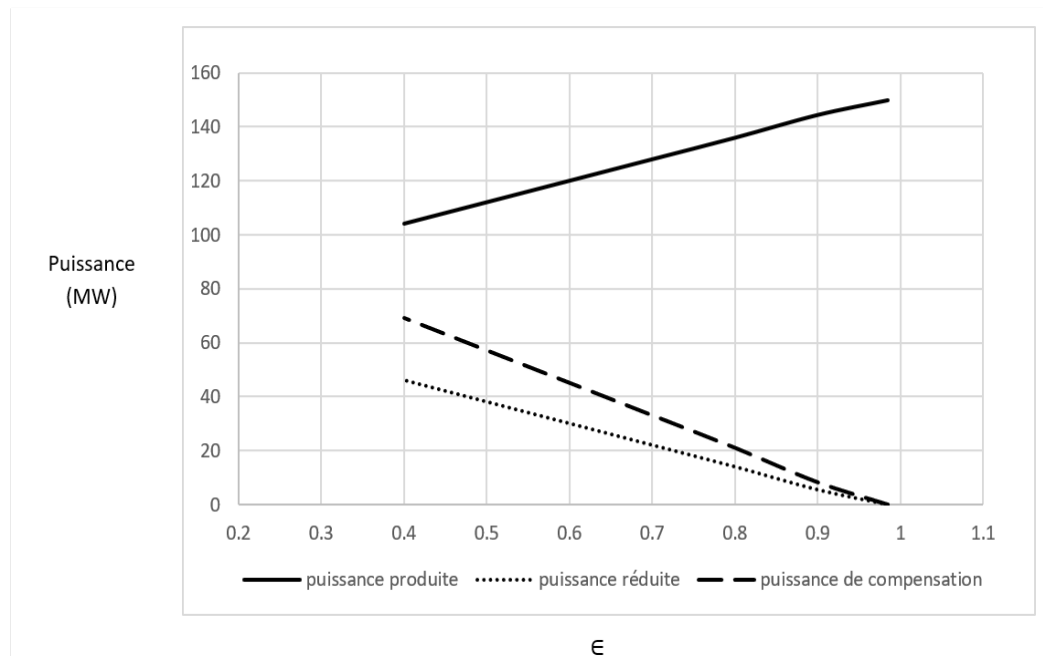


Figure IV. 5 : chute de puissance produite suite aux chutes d'efficacité.

IV.1.3.3 Influence du rendement de la turbine à vapeur :

La turbine à vapeur doit fournir 1/3 de la puissance de la production de la centrale soit 50MW, en opérant avec un rendement de $\eta_v = 0,51$. Une chute de ce rendement va certainement influe sur la production d'électricité raison pour laquelle elle doit être systématiquement surveiller et entretenue. Pour cette machine les pertes d'énergie doivent être minimisées en utilisant un calorifuge de qualité sur tout l'ensemble de canalisation menant à la turbine et même sur la turbine.

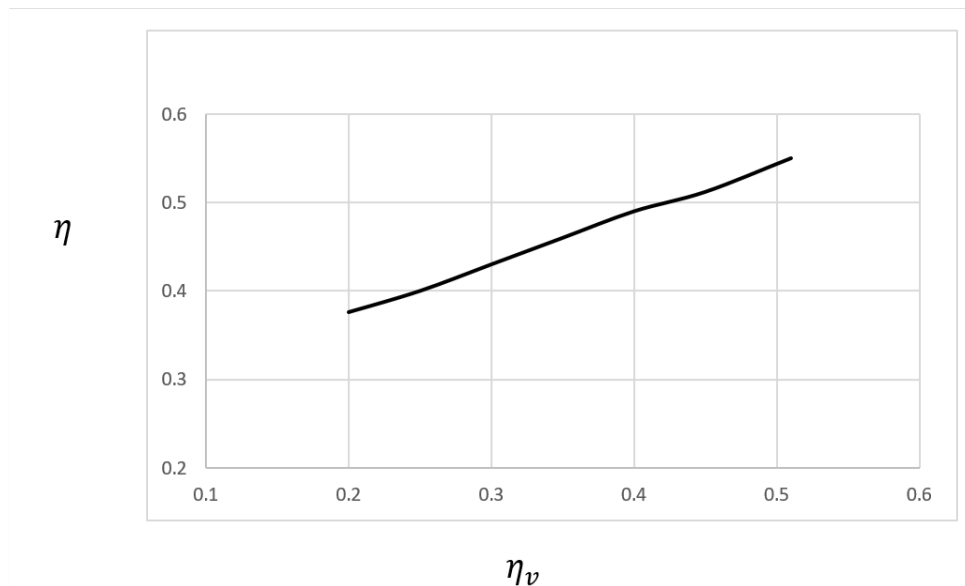


Figure IV. 6 : évolution du rendement de la centrale en fonction du rendement de la turbine à vapeur

Dans la Figure IV. 6 est présenté l'évolution du rendement de la centrale en fonction du rendement de la turbine à vapeur. Cette évolution dévoile qu'une chute dans le rendement de la turbine à vapeur influe de façon accentuée sur le rendement global de la centrale. Une chute de 22% du rendement de la turbine à vapeur entraine une chute de 11% du rendement de la centrale. Ce fait indique qu'une maintenance et entretien dérisoire de cet élément de la centrale peut entrainer des pertes conséquentes dans la production d'électricité.

Dans la Figure IV. 7 est présentée l'évolution de la production d'électricité en fonction du rendement de la turbine à vapeur. De cette Figure nous constatons qu'une chute de rendement de 22% entraine une chute de production de 16 MW ce qui représente 1/3 de la production du champ solaire. Cette perte de puissance sera compensée au poste combustion de la turbine à gaz par l'équivalent 25MW.

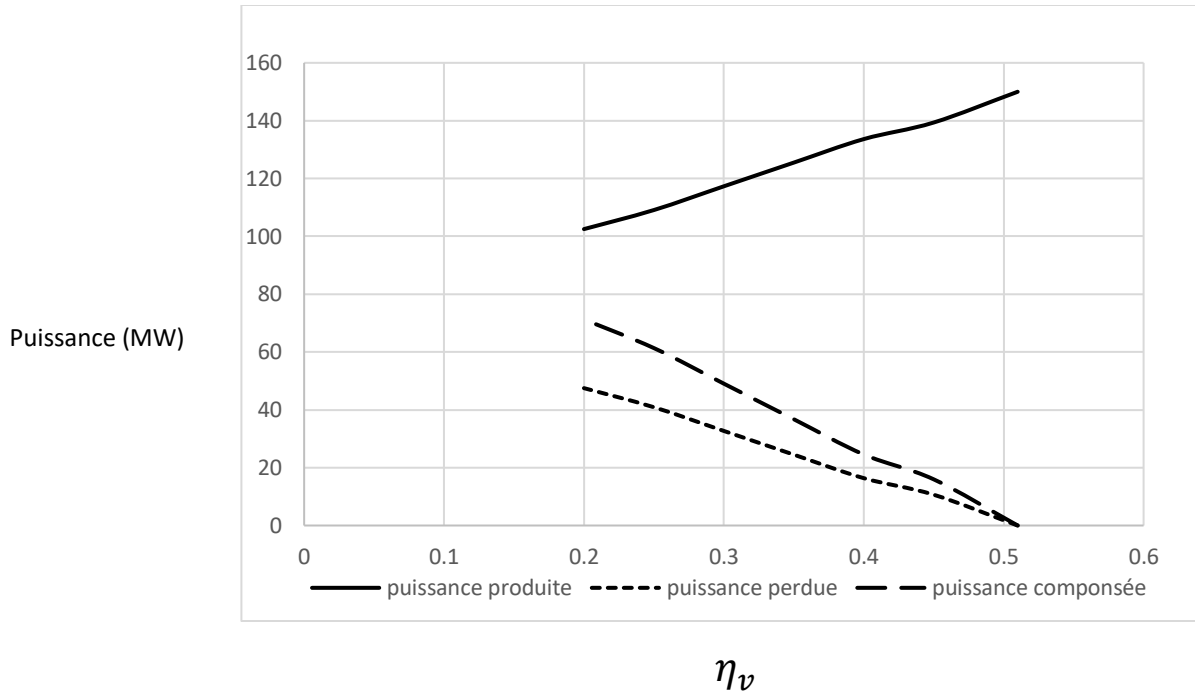


Figure IV. 7 : chute de puissance produite suite aux chutes dans le rendement de la turbine à vapeur

IV.1.3.4 Influence du rendement de la turbine à gaz

La turbine à gaz représente l'élément principale de la production de la centrale, en plus de sa contribution dans la production, elle a le rôle aussi de maintenir cette production stable dans le cas de défaillance totale de l'un des éléments productifs de la station ou dans le cas de la chute de ses rendements.

Dans la Figure IV.9 est tracé le rendement de la centrale en fonction du rendement de la turbine à gaz un passage du rendement de 0.31 à 0,1 (68%) qui peut être dû à une mauvaise entretien et maintenance entraine une chute de production de 15 %. Nous constatons que le chute dans le rendement de la turbine à gaz affecte peut le rendement global de la centrale, avec un rendement de 0.31 qui représente le rendement maximal de la turbine nous avons une production de 100MW et avec un rendement de 0.1 qui représente une chute de 68% dans le rendement nous avons une production de 85 MW, dans ce cas, la perte dans la production est 15 MW. Ce fait montre que cette chute n'affecte pas de façons brutale le rendement global de la centrale, ce qui dévoile

l'importance de cet élément dans la production et la compensation de la puissance perdue par la chute de rendement des autres équipements. Seulement il faut noter que la puissance perdue dans la turbine à gaz soit par un manque d'entretien ou d'absence de maintenance systématique ne sera récupérée par aucun autre organe. Pour cette raison la centrale est dotée par des bruleurs pour la compensation d'énergie due à la chute du rendement de la turbine à gaz.

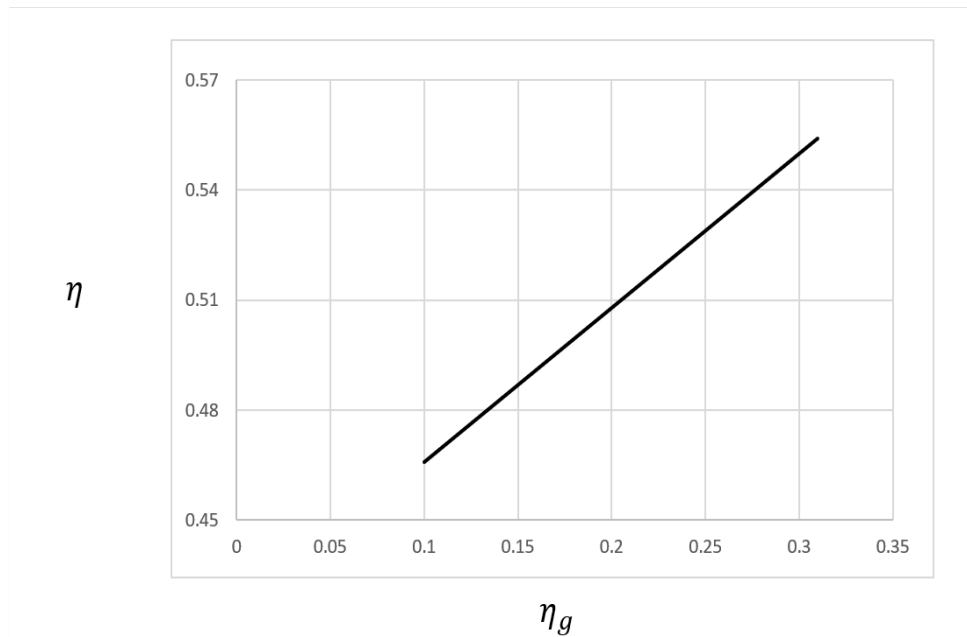


Figure IV. 8 : évolution du rendement de la centrale en fonction du rendement de la turbine à gaz

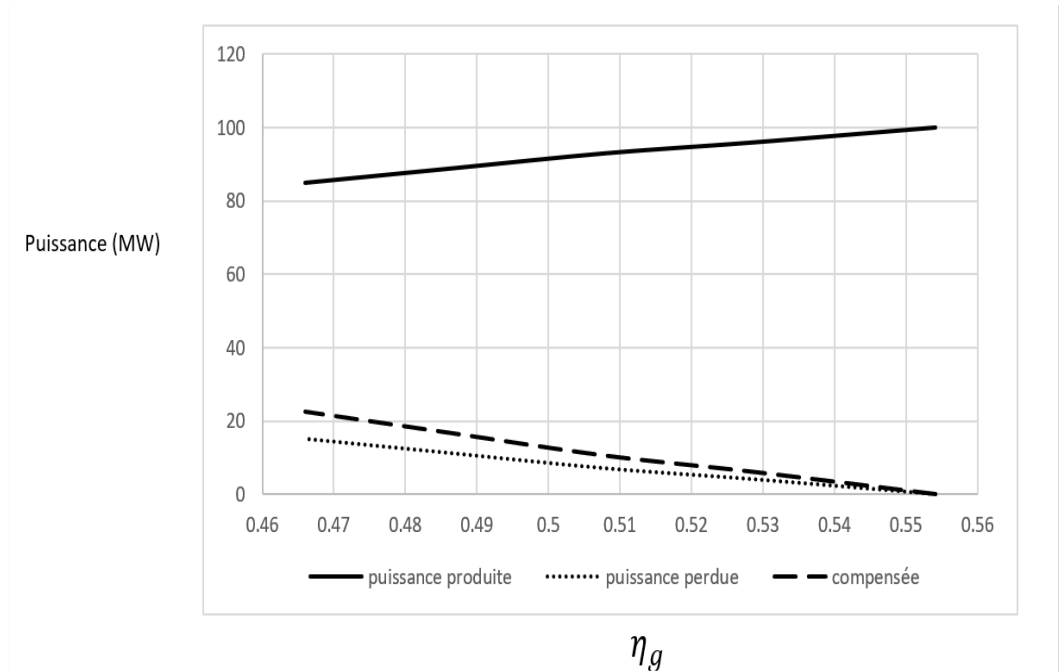


Figure IV. 9 : chute de puissance produite suite aux chutes dans le rendement de la turbine à gaz

IV.4 Proposition d'un plan pour l'entretien et la maintenance de la centrale hybride à cycle combiné gaz/solaire :

Dans la partie ci-dessus nous avons pu montrer à travers les calculs l'importance de l'entretien et de la maintenance systématique des équipements de la centrale et l'importance de chaque équipement dans la production électrique. Une chute de rendement de chaque équipement dû aux défaillances dans le contrôle et au manque d'un plan strict pour l'entretien et la maintenance peut entrainer des pertes d'énergie fossile (gaz) onéreuse rendant ainsi la centrale non rentable. Afin d'éviter cette situation nous allons dans ce qui suit proposer un plan de maintenance adéquat et stricte qui garantit la rentabilité de la centrale et assure une stabilité dans sa production.

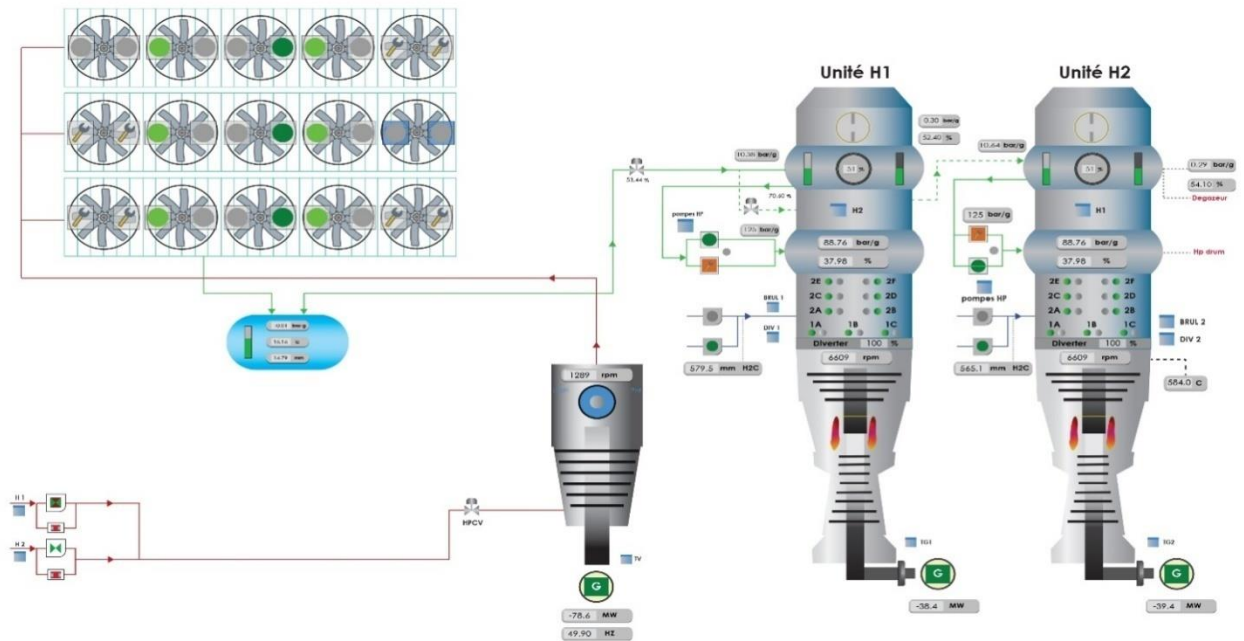


Figure IV. 10 : Schéma globale de la centrale hybride gaz/solaire

IV.1.4 La Maintenance Appliquée Sur Les Turbines A Gaz SGT800 :



Figure IV. 11 : Image réelle de la TAG SGT-800 [23]

Les inspections de la turbine à gaz peuvent être classées en deux types principaux :

Inspections mineures (ou de routine) : Ces inspections sont effectuées régulièrement dans le cadre du programme de maintenance préventive. Elles comprennent des vérifications générales, des contrôles visuels, des mesures de performance et d'autres tests pour s'assurer que la turbine fonctionne correctement. Les inspections mineures peuvent inclure le remplacement de petites pièces usées ou le nettoyage de certaines parties de la turbine.

Inspections majeures (ou révisions générales) : Ces inspections sont plus approfondies et sont réalisées à intervalles plus longs, généralement en fonction des heures de fonctionnement de la turbine ou de sa durée de vie estimée. Elles incluent le démontage partiel ou complet de la turbine pour inspecter, nettoyer et remplacer les composants critiques. Les inspections majeures permettent de détecter et de prévenir les problèmes plus graves, tels que l'usure excessive ou les défaillances potentielles des pièces essentielles.

En mettant en place un programme de maintenance préventive efficace basé sur ces deux types d'inspections, il est possible de prolonger la durée de vie de la turbine,

d'améliorer son efficacité et de minimiser les risques d'arrêts forcés et de pannes imprévues.

IV.1.5 Maintenance préventive :

IV.1.5.1 La Maintenance Conditionnelle (Inspection En Fonctionnement) :

Il est important de consigner toutes les observations réalisées lors du fonctionnement de l'unité de données en cours d'utilisation. Cela permettra d'évaluer les performances de l'équipement, de déterminer les besoins en entretien et en intervention, et d'identifier les alarmes qui pourraient entraîner l'arrêt de la turbine par la suite.

Les plus importants sont :

- ❖ Les vibrations des rotors de la turbine HP ;
- ❖ La température à l'échappement ;
- ❖ La température à la sortie du compresseur ;
- ❖ La température autour des chambres de combustion ;
- ❖ La température de l'huile de graissage ;
- ❖ La vitesse des roues HP ;
- ❖ Le débit de combustible à injecter ;
- ❖ La pression de refoulement du compresseur.

IV.1.5.2 La Maintenance Systématique (Les Inspections A L'arrêt) :

Elle requiert le démontage de la turbine à divers niveaux :

- ❖ Inspection de combustion (combustion inspection CI) : chaque 8000 h de fonctionnement ;
- ❖ Inspection du parcours des gaz chauds (hot gaz Parth inspection HPGI) : chaque 16000 h de fonctionnement ;
- ❖ Inspection majeur (major inspection MI) : c'est une révision générale qui est faite chaque 32000 h de fonctionnement.

A. Inspection De Combustion (Combustion Inspection CI)

L'inspection CI consiste à contrôler : chaque 8000 H De fonctionne

- ❖ Les injecteurs (pièces de recharge) ;
- ❖ Les flasques (les pièces vérifient) ;
- ❖ Tube à flamme (les pièces a contrôlé par la méthode ressuage) ;
- ❖ Tubes interconnexions.

B. Inspection HGPI (Inspection Partie Chaud) Hot Gaz Path Inspection

L'inspection HGPI consiste à contrôler : chaque 24000 H De fonctionne

- ❖ Les injecteurs ;
 - ❖ Les flasques ;
 - ❖ Tubes à flamme ;
 - ❖ Caisse turbine ;
 - ❖ Inspection de la directrice de 1^{er} étage ;
 - ❖ Inspection de la roue HP ;
 - ❖ Pièce de transition
- {
Nettoyage
Vérification de fesseur
La méthode ressuage

C. Inspection MI (Révision Générale) :

(Major inspection) : Chaque 48000H De fonctionnent

Lors de l'inspection MI, une révision complète est effectuée de l'admission jusqu'à l'accouplement de charge.

- ❖ Contrôler les ailettes du compresseur.
- ❖ Examiner les ailettes de la turbine.
- ❖ Remplacer les pales.
- ❖ Équilibrer le rotor.
- ❖ Inspecter les aubes de station.
- ❖ Vérifier les thermocouples.
- ❖ Vérifier l'alignement des arbres.
- ❖ Nettoyer à l'aide d'un jet d'oxyde d'aluminium.

- ❖ Contrôler les dimensions de la directrice et du diaphragme, effectuer une inspection visuelle et consigner les défauts observés.
- ❖ Examen par ressuage de la directrice et préparation d'une carte indiquant les défauts et fissures ;
- ❖ Soumettre un planning achevé et des rapports à l'Engineering ;
- ❖ Mesurer et enregistrer les dimensions finales du diaphragme ;
- ❖ Examen par ressuage du joint de rondelles d'écartement pour déceler les fissures ;
- ❖ Inspection visuelle des formes et des défauts ;
- ❖ Inspection complète de la directrice par ressuage ;
- ❖ Mesurer les diamètres de la directrice ;
- ❖ Prendre et enregistrer les dimensions des rétreints des pas et des hauteurs radiales.

IV.1.6. Maintenance corrective :

IV.1.6.1. Procédure D'une Révision Générale [10] :

IV.1.6.1.1. Préparation Du Kit Des Pièces De Rechange :

- ✓ Joints d'étanchéités ;
- ✓ Boulons, clavettes, tubes d'interconnexions...etc.

IV.1.6.1.2. Isolement De La Machine :

- ✓ Isoler électriquement la machine ;
- ✓ Fermer les conduites de gaz ;
- ✓ Isoler la machine réceptrice (le compresseur centrifuge).

IV.1.6.1.3. Phase de Démontage :

- ✓ Enlèvement des panneaux plus toiture ;
- ✓ Démontez les accouplements de charge et des auxiliaires ;
- ✓ Relever les alignements ;
- ✓ Démontez les bougies d'allumage, détecteurs de flamme, les captures de vibration, de vitesse et des thermocouples...etc. ;
- ✓ Mesurer les jeux sur le compresseur et la turbine.
- ✓ Contrôler les jeux d'assemblage des coussinets, du rotor et du labyrinthe d'étanchéité.

- ✓ Démontez les chambres de combustion, les tubes à flamme, les tubes d'interconnexion et les pièces de transition.
- ✓ Retirez les carters supérieurs (la directrice).
- ✓ Examinez l'état de toutes les pièces démontées, en particulier celles soumises à des contraintes thermiques ou mécaniques, telles que les pièces de transition, les tubes à flamme, les aubes fixes et mobiles, les diaphragmes, etc.
- ✓ Retirez les caissons d'aspiration et d'échappement.
- ✓ Relevez la présence de fissures et d'usures aux points de surchauffe.
- ✓ Démontez et posez les rotors haute pression.
- ✓ Démontez la partie inférieure des paliers.

IV.1.6.1.4. Phase Réparation et Inspection :

- ✓ Vérification de l'état de chaque pièce, (des criques, déformation et fissure) ;
- ✓ Phase de réparation et inspection visuelle, par ressuage (Pénétration et révélateur afin de vérifier s'il y a présence de fissures ou non) ;
- ✓ Changement des pièces usées par des pièces réparées ou neuves ;
- ✓ Nettoyage de toutes les pièces.

IV.1.6.1.5. Phase De Remontage :

- ✓ Remontage des paliers de la partie inférieure ;
- ✓ Remontage du diaphragme ;
- ✓ Carter HP supérieur ;
- ✓ Enveloppe de la veine des gaz chauds ;
- ✓ Remontage de la directrice fixe et convoyeur des gaz chaud ;
- ✓ Diffuseur d'échappement ;
- ✓ Caisson et gaine d'admission ;
- ✓ Pièces de transition ;
- ✓ Carter chambres de combustion, puis tubes à flamme et tubes d'interconnexions et couvert chambres de combustion ;
- ✓ Bougies d'allumage, injecteurs et tuyauterie du gaz combustible ;
- ✓ Tuyauterie d'air de refroidissement...etc. ;
- ✓ Remontage de l'enceinte de la machine ;
- ✓ Remontage de l'accouplement auxiliaire et charge ;

- ✓ Vérification et inspection des axillaires, de la qualité et du niveau d'huile de graisse et d'étanchéité ;
- ✓ Démarrage de la turbine.

IV.1.7. Inspection Des Systèmes De Commande et de Protection :

Avant de démarrer la turbine les instrumentistes font un contrôle de tous les systèmes de commande et de protection comme par exemple :

- ✓ La chaîne de vibrations ;
- ✓ L'état des thermocouples ;
- ✓ Fonctionnement des servo-vannes ;
- ✓ Des manomètres ;
- ✓ Les moteurs électriques des auxiliaires ;
- ✓ Les systèmes de survitesse et de déclenchement ;
- ✓ Ainsi que toutes les boucles des systèmes de régulation (capteurs, transmetteurs, régulateurs, amplificateurs, organes d'exécution...etc.).

IV.1.8. Teste De Démarrage et Essai :

Tous les processus de démarrage seront contrôlés, et tout bruit anormal sera détecté pendant la phase de ventilation, avant l'allumage. Les paramètres seront relevés à 80 % et à 100 % de la vitesse nominale. La turbine est acceptée après 72 heures de fonctionnement.

IV.1.9. La Maintenance D'amélioration (Passage A La Nouvelle Technologie Pour La Turbine A Gaz SGT-800) [10] :

L'amélioration des équipements implique de réaliser des modifications, des changements et des transformations sur un matériel, dans le cadre de la maintenance d'amélioration. Dans ce domaine, il y a toujours des possibilités d'amélioration. Cela exige une mentalité axée sur la créativité.

Pour toute maintenance d'amélioration, une étude économique sérieuse est nécessaire pour garantir la rentabilité du projet. Aujourd'hui, les nouvelles technologies sont

largement utilisées dans divers secteurs de l'industrie, en particulier dans l'industrie des hydrocarbures, notamment dans la maintenance des machines tournantes (turbines, compresseurs, pompes, etc.), afin d'atteindre des objectifs spécifiques.

Parmi les nouvelles techniques appliquées aux installations de turbines à gaz, certaines visent à prolonger les cycles ou intervalles de maintenance. Cette technologie implique le remplacement de certaines pièces essentielles de la section des gaz chauds de la turbine à gaz par d'autres pièces, dont les matériaux ont été améliorés ou qui ont reçu un revêtement ou un traitement thermique pour résister aux hautes températures pendant une période prolongée. Exemples des pièces changées :

- ✓ Les tubes à flamme ;
- ✓ Les pièces de transition ;
- ✓ Les directrices des gaz chauds ;
- ✓ Les tubes d'interconnexion.

IV.1.9.1. Les Cycles Des Révisions :

Les inspections	Ancien cycle de maintenance	Nouveau cycle de maintenance
Inspection de combustion (CI)	8000 h	12000 h
Inspection du parcours des gaz chauds (HGPI)	16000 h	24000 h
Majeur inspection (MI)	32000 h	48000 h

Tableau IV. 1 : Cycles des révisions.

Les Durées Des Interventions :

- ✓ CI : 10 jours ;
- ✓ HGPI : 20 jours ;

✓ MI : 35 jours.

IV.1.10. Maintenance de la chaudière (HGRS) :



Figure IV. 12 : Photo réelle de la HRGS THERMAX INDIA [22]

IV.1.11. Maintenance préventive :

IV.1.11.1. Examen visuel des matériels :

La visite permettra d'examiner toutes les parties accessibles de la chaudière. Elle permettra également d'ajuster les contrôles recommandés afin de mieux comprendre les limites du matériel en situations critiques.

IV.1.11.2. Contrôles non destructifs :

- ❖ Ressuages :
 - ✓ Recherche des fissures générées par des fatigues mécanique ou thermique ;
 - ✓ Recherche des corrosions.
- ❖ Mesure d'épaisseur :
 - ✓ Recherche des corrosions internes ou externes.
- ❖ Mesure des diamètres des tubes :
 - ✓ Recherche des phénomènes de fluage.
- ❖ Essai de dureté ;

- ❖ Répliques : recherche de phénomène de fluage ou fatigue par examen micrographique de la structure externe des éléments.
- ❖ Ultrason : recherche de fissures internes ou défauts de matière.
- ❖ Radio gamma : recherche de défauts localisés dans le volume d'une pièce.
- ❖ Examens magnétoscopiques : recherche de fissures de fatigue non traversante.

IV.1.11.3. Contrôle destructif :

Prélèvement de manchettes de tubes pour examen métallographiques en laboratoire :

Examen visuel et dimensionnel ;

- ✓ Mesure de dureté à mi épaisseur ;
- ✓ Examen macrographique et micrographique ;
- ✓ Taux de salissures ;
- ✓ Examen des couches d'oxydes ;
- ✓ Teste de fatigue isobare.

IV.1.12. Maintenance Corrective :

- ✓ Remplacement de modules ;
- ✓ Pannes de tubes et remplacement de tubes ;
- ✓ Réparation et remplacement de tuyauteries à haute pression ;
- ✓ Retrait et remplacement de vannes ;
- ✓ Réparation de tuyauteries ;
- ✓ Travaux sur les joints d'étanchéité ;
- ✓ Réparation de doublures et d'isolations (réparation de points chauds) ;
- ✓ Réparation de déflecteurs de gaz ;
- ✓ Réparation de supports de vibration ;
- ✓ Ajout de filtres et de vannes ;
- ✓ Réparation de conduits ;
- ✓ Réparation des atomiseurs et des doublures d'atomiseur ;
- ✓ Réparation de la délamination des vannes ;
- ✓ Réparations des grilles d'ammoniac ;
- ✓ Réparations des brûleurs de conduit ;

- ✓ Réparations et remplacements des grilles de flux d'air ;
- ✓ Réparations internes des tambours ;
- ✓ Installation de nouvelles portes, de nouveaux joints de tuyauteries, de registres d'échappement ou d'autres pièces détachées.

IV.1.13. Maintenance Appliquée Sur Les Turbine à Vapeur SST-900 :



Figure IV. 13 : Photo réelle de la turbine à vapeur SIEMENS SST-900 [23]

Les installations techniques de la région de GL1K représentent un investissement important qui doit être préservé et géré efficacement. La division de maintenance doit regrouper un large éventail de compétences dans divers domaines, ce qui conduit à l'organisation de la maintenance autour de quatre services : turbomachines, électricité, instrumentation et mécanique industrielle.

Un programme de maintenance préventive est essentiel pour assurer une gestion adéquate des installations, notamment celles fonctionnant avec des turbines à vapeur. Les arrêts forcés de l'installation doivent être minimisés. Pour ce faire, les inspections de la turbine peuvent être classées en trois types :

IV.1.14. La maintenance conditionnelle (inspection en fonctionnement) :

Il est essentiel de consigner l'ensemble des observations effectuées pendant le fonctionnement de l'unité. Les données opérationnelles doivent être enregistrées afin

d'évaluer les performances de l'équipement, les besoins d'entretien et d'intervention, en particulier lorsque ces relevés signalent des alarmes qui déclenchent par la suite la turbine.

Les plus importants sont :

- ✓ Les vibrations des rotors de la turbine.
- ✓ La température de vapeur.
- ✓ La température d l'huile de graissage.
- ✓ La vitesse de la turbine.
- ✓ Le débit de vapeur.

IV.1.15. La maintenance systématique (les inspections programmées) :

IV.1.15.1. L'inspection E1 :

Cette inspection est faite en marche (sans arrêté l'installation). C'est des rondes et des contrôles visuels des différents équipements, pour objet de vérifier :

- ✓ Les fuites ;
- ✓ Vibrations et déplacement axial ;
- ✓ Bruit anormale ;
- ✓ Echauffement excessif...etc.

IV.1.15.2. L'inspection E2 : (à l'arrêt)

Les parties essentielles, telles que les paliers, les pompes à huile principale et auxiliaire, ainsi que les soupapes de fermeture rapide et de régulation, doivent être révisées plus fréquemment, c'est-à-dire tous les 1 à 2 ans.

Une visite préventive E2 du turbocompresseur se faite de manière suivante :

- ✓ Dépose chapeaux des paliers AV et AR.
- ✓ Utiliser le pont de levage pour déposer des coussinets AV et AR.
- ✓ Nettoyage et glaçage de la soie d'arbre.
- ✓ Contrôle des jeux radiaux des paliers.
- ✓ Remontage des paliers.

- ✓ Contrôle des jeux aux déflecteurs d'huile sur les paliers et sur la butée.
- ✓ Contrôle de l'état des patins de butée, glaçage et remontage.
- ✓ Remontage des prises d'impulsion sur les paliers porteurs.
- ✓ Pose des chapeaux des paliers.
- ✓ Connexion des appareils de mesure de température et de vibration par les instrumentistes.
- ✓ Remettre le graissage en service.

IV.1.15.3. L'inspection E3 : (à l'arrêt) :

La période entre deux révisions générales est principalement déterminée par le comportement du turbo groupe. Tant qu'aucune anomalie, comme une fuite, un changement dans la répartition de la pression dans les étages, ou un problème mécanique, n'apparaît auparavant, le constructeur recommande de procéder à une révision complète tous les 6 ans (ou plus tard après 50 000 heures d'opération).

Lors d'une révision générale, toutes les pièces du turbo groupe doivent être minutieusement inspectées et, si nécessaire, remises en état.

IV.1.16. Révision d'une turbine à vapeur :

Après arrêt turbo – compresseur, refroidissement turbine, et décalorifugeage :

- ✓ Dépose appareillage de régulation ;
- ✓ Dépose tuyauterie de communication BP et HP ;
- ✓ Dépose des quatre soupapes réglâtes ;
- ✓ Dépose des deux vannes d'admission ;
- ✓ Dépose carter d'accouplement et chapeaux de palier ;
- ✓ Prise du faux rond accouplement serré ;
- ✓ Contrôle ailettage première et dernière étage BP et HP ;
- ✓ Desserrage plan de joint ;
- ✓ Ouverture des paliers, contrôle centrage ;
- ✓ Désaccouplement – contrôle lignage ;
- ✓ Contrôle bâillement ouverture contrôle portage ;

- ✓ Déposé boîte étanche chemise supérieure – contrôle portage ;
- ✓ Dépose arbre et chemise de demies inférieure ;
- ✓ Examen de l'ailettage ;
- ✓ Travaux d'ailettage ;
- ✓ Prise des plombs ailettage et boîte étanche ;
- ✓ Remplacement des goujons ;
- ✓ Remontage ;
- ✓ Serrage ;
- ✓ Habillage ;
- ✓ Calorifuge ;
- ✓ Contrôle organe de réglage (soupape raclant et vannes d'admission et mano-statique et limiteur de pression) ;
- ✓ Nettoyage des caisses à huiles des filtres, réfrigérant d'huile. Lessivage circuit d'huile de lubrification, force, et de réglage ;
- ✓ Essais après révision (technique).

IV.1.17. Maintenance des pompes :

IV.1.17.1. Pompes pneumatiques :



Figure IV. 14 : Pompe pneumatique à membrane [23]

IV.1.17.1.1. Mancontact hydropneumatique :

Tournez l'écrou de réglage du ressort dans le sens horaire pour augmenter la pression de réglage. Tournez-le dans le sens antihoraire pour diminuer la pression de réglage.

IV.1.17.1.2. Lubrificateur d'air :

- ✓ Assurez-vous que le lubrificateur d'air est rempli d'huile de lubrification SAE 10W ;
- ✓ Ouvrez le robinet de purge du lubrificateur pour en vidanger l'humidité accumulée ;
- ✓ Le débit doit être réglé sur six (6) gouttes par minute. [8]

IV.1.17.1.3. Filtre à air :

- ✓ Vidangez et évacuez l'humidité accumulée. Ouvrez l'orifice de vidange manuelle sur le boîtier du filtre ;

Pour remplacer l'élément filtrant [8] :

- ✓ Isolez l'alimentation en air et relâchez la pression ;
- ✓ Dévissez le boîtier et enlevez le joint torique et le volet ;
- ✓ Déposez et remplacez l'élément filtrant ;
- ✓ Assurez-vous que le joint de cuve est en bon état ;
- ✓ Remplacez les pièces et le boîtier.

IV.1.17.1.4. Crépine :

Nettoyez-la ou les crépines de type Y.

- Arrêtez-la ou les pompes ;
- Fermez les vannes d'aspiration des pompes ;
- Déposez les bouchons de crépine de type Y ;
- Déposez les éléments de crépine ;
- Ouvrez-la ou les vannes d'aspiration pour rincer les tuyauteries puis fermez les vannes ;
- Nettoyez les éléments de crépine à l'aide d'eau chaude ou de kérosène ;
- Remplacez les éléments et les bouchons de crépine de type Y ;

- Ouvrez les vannes d'aspiration des pompes ;
- Démarrez les pompes.

IV.1.17.1.5. Garnitures d'étanchéité des pompes :

Le presse-étoupe des pompes est comprimé et réglé par un ressort.

Aucun entretien n'est nécessaire.[7]

IV.1.17.2. Pompe électrique :



Figure IV. 15 : Photo réelle Pompe électrique siemens [22]

IV.1.17.2.1. Manocontact électrique :

➤ Remplacement du contacteur de limite :

- 1) Desserrez la vis de blocage sur la tige du boîtier ;
- 2) Déposez le raccord de pression du boîtier ;
- 3) Déposez le raccord d'extension de la vis de réglage ;
- 4) Déposez les vis de montage de la patte du bornier ;
- 5) Desserrez les vis sur les branchements du bornier ;
- 6) Retirez le bornier ;
- 7) Desserrez l'écrou de retenue à la base de l'ensemble comportant le tube de bourdon ;
- 8) Déposez le tube et le contacteur et remplacez-les par un tube et un contacteur neuf (nécessaire de réparation) ...

➤ Garnitures d'étanchéité des pompes :

La garniture d'étanchéité doit être suffisamment serrée pour éliminer les fuites, tout en étant suffisamment lâche pour lubrifier les pistons avec un mince film d'huile. Un serrage excessif de la garniture peut endommager le moteur.

IV.1.17.2.2. Carter :

- ✓ Vérifiez le carter de pompe pour vous assurer qu'il est rempli d'huile propre de bonne qualité. Le grade peut varier selon la température ambiante ;
- ✓ Nettoyez toute boue accumulée dans le carter de pompe.

IV.1.17.2.3. Carter de chaîne :

- ✓ Déposez le bouchon de vidange inférieur. Nettoyer toute accumulation d'eau ou de boue ;
- ✓ Vérifiez le niveau d'huile dans le carter de chaîne à barbotage. Le carter devrait être rempli jusqu'au niveau du bouchon de débordement ;
- ✓ Réglage de la tension de chaîne et réglages de base.

IV.1.17.2.4. Roulements des moteurs :

- ✓ Lubrifiez les roulements.

IV.1.18. Dépannage de certaines pannes de pompes :

IV.1.18.1. PROBLÈME 1 : Les pompes fonctionnent excessivement.

- **CAUSE 1** : La vanne de contournement du manocontact de pompe pneumatique est ouverte ou défectueuse (si elle est présente).

MESURE :

1. Remettez à zéro le manocontact automatique pour arrêter les pompes pneumatiques ;
2. Les unités comportant des pompes électriques et pneumatiques doivent être réglées sur 2900 psi ;
3. Les unités comportant uniquement des pompes pneumatiques doivent être réglées sur 3000 psi.
 - **CAUSE 2** : Les joints hydrauliques du manocontact automatique ont perdu leur étanchéité.

MESURE :

1. Arrêtez les pompes ;
2. Ouvrez la vanne de purge et relâchez la pression du système ;
3. Déposez et inspectez le manocontact automatique ;
4. Remontez le manocontact automatique et ajustez le réglage ;
5. Fermez la vanne de purge ;
6. Démarrez les pompes ;
7. Vérifiez les réglages du manocontact.

IV.1.18.2. PROBLÈME 2 : Les pompes s'arrêtent à une pression incorrecte.

- **CAUSE 1** : Les manocontacts des pompes pneumatiques sont déréglés.

MESURE :

1. Arrêtez les pompes ;
2. Fermez les vannes d'isolement du collecteur de l'accumulateur ;
3. Ouvrez la vanne de purge et relâchez la pression du système ;
4. Fermez la vanne de purge ;
5. Ouvrez-la ou les vannes d'alimentation en air ;
6. Réglez la pression de coupure à la valeur voulue
7. Relâchez la pression du collecteur par l'intermédiaire de la vanne de purge ;
✓ **Remarque** : Répétez l'étape N° 7 pour assurer l'exactitude du réglage.
8. Ouvrez les vannes d'isolement du collecteur de l'accumulateur ;
9. Placez le démarreur en position AUTO.
➤ **CAUSE 2** : Le manocontact électrique est dérégulé.

MESURE :

- ✓ **Remarque** : Les réglages de manocontact ont tendance à dériver et il est nécessaire de procéder à un étalonnage périodique. Ceci s'applique tout spécialement lorsque l'équipement a été déplacé.

Pour ajuster le réglage du manocontact :

1. Fermez-la ou les vannes d'alimentation en air ;
2. Déposez le couvercle antidéflagrant du manocontact électrique ;
3. Ouvrez la vanne de purge. Purgez le système pour l'amener à la pression de démarrage souhaitée ;
4. Fermez la vanne de purge ;
5. Déplacez la roue de réglage vers le haut jusqu'à ce que la pompe démarre, atteigne la pression de coupure et s'arrête ;
6. Ouvrez la vanne de purge et vérifiez que le démarrage s'effectue à la pression voulue ;
7. Fermez la vanne de purge ;
8. Remplacez le couvercle antidéflagrant ;
9. Ouvrez-la ou les vannes d'alimentation en air.

IV.1.18.3. PROBLÈME 3 : Les pompes ne produisent pas de pression.

- **CAUSE 1 :** Perte d'amorçage de l'une des pompes par suite d'un faible niveau de fluide.

MESURE :

Pour rétablir le niveau de fluide :

1. Fermez les vannes d'isolement du collecteur de l'accumulateur si le manomètre du collecteur indique que la pression est confinée ;
2. Arrêtez les pompes ;
3. Ouvrez la vanne de purge et relâchez la pression du système ;
4. Ajoutez du fluide à un niveau d'au moins 30 cm au-dessus des conduites d'aspiration des pompes ;
5. Démarrez une pompe à la fois puis faites-les fonctionner à pleine pression ;
6. Observez l'écoulement du fluide par les orifices d'inspection / remplissage du réservoir ;
7. Arrêtez les pompes ;
8. Ouvrez les vannes d'isolement du collecteur de l'accumulateur ;
9. Vérifiez le niveau de fluide du réservoir et ajoutez du fluide (le cas échéant) ;
10. Fermez la vanne de purge ;
11. Démarrez les pompes.

- **CAUSE 2 :** La vanne d'aspiration est fermée.

MESURE : Assurez-vous que toutes les vannes d'aspiration des pompes sont en position complètement OUVERTE.

IV.1.18.4. PROBLÈME 4 : Les pompes fuient.

- **CAUSE 1 :** La garniture d'étanchéité de piston des pompes pneumatiques est usée ou endommagée.

MESURE :

1. Serrez l'écrou de garniture d'étanchéité ;

Si la fuite persiste :

2. Arrêtez les pompes ;
3. Vérifiez que la lubrification du piston est correcte. Le piston doit être couvert d'un mince film de fluide hydraulique ;
4. Si la pompe continue à fuir, remplacez la garniture d'étanchéité.
 - **CAUSE 2** : La garniture d'étanchéité de la pompe à moteur électrique est usée.

MESURE : Remplacez la garniture d'étanchéité.

IV.2. Maintenance Applique sur le champ solaire :



Figure IV. 16 : Photo réelle du champ solaire SPP1 [22]

IV.2.1. Partie Electrique :

- ✓ Recherche d'échauffements et de sons inhabituels ;
- ✓ Vérification des contacteurs et des câbles ;
- ✓ Contrôle du serrage des connexions ;
- ✓ Test du fonctionnement des dispositifs de coupure et de protection ;
- ✓ Vérification sur moteur pompe ;

- ✓ Intervention sur le disjoncteur au niveau du bâtiments Electrique.

IV.2.2. Partie Instrumentation :

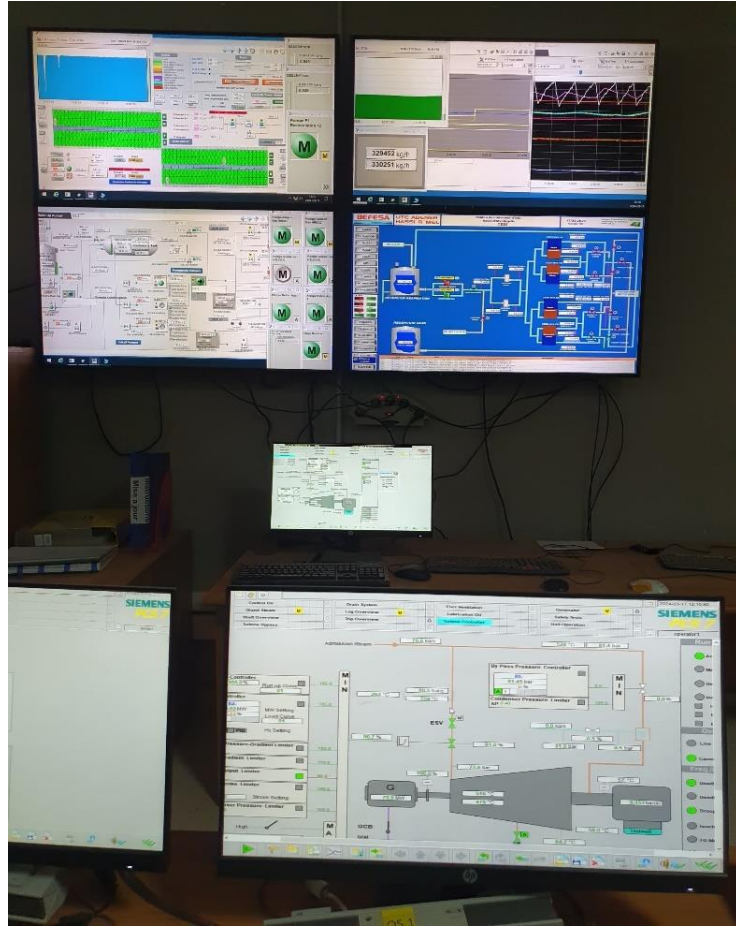


Figure IV. 17 : Contrôle du paramétrage de la régulation de la centrale depuis la salle de contrôle [22]



Figure IV. 18 : Partie Instrumentation dans l'armoire (Contrôle de communication). [22]

- ✓ Vérification de l'état des capteurs et de leurs supports ;
- ✓ Test du fonctionnement des vannes d'arrêt ;
- ✓ Contrôle du paramétrage de la régulation ;
- ✓ Vérification de la stabilité des sondes (positionnement et connexions électriques) ;
- ✓ Test du bon fonctionnement des sondes ;
- ✓ Vérification du système de régulation solaire ;
- ✓ Contrôle de communication (perte).
- ✓ Test des alarmes de mouvement ;
- ✓ Test des alarmes de fin d'course des positions.

IV.2.3. Partie Mécanique :

- ✓ Vérification de l'état de la protection mécanique du calorifuge extérieur ;
- ✓ Contrôle de la position des vannes d'équilibrage ;
- ✓ Examen du liquide caloporteur ;
- ✓ Contrôle du liquide ;
- ✓ Contrôle de vérins (fuite, endommagement) ;
- ✓ Vérification des Miroirs (cassure ou fissure) ;
- ✓ Contrôle visuelle tube récepteur (cassure, fissure).

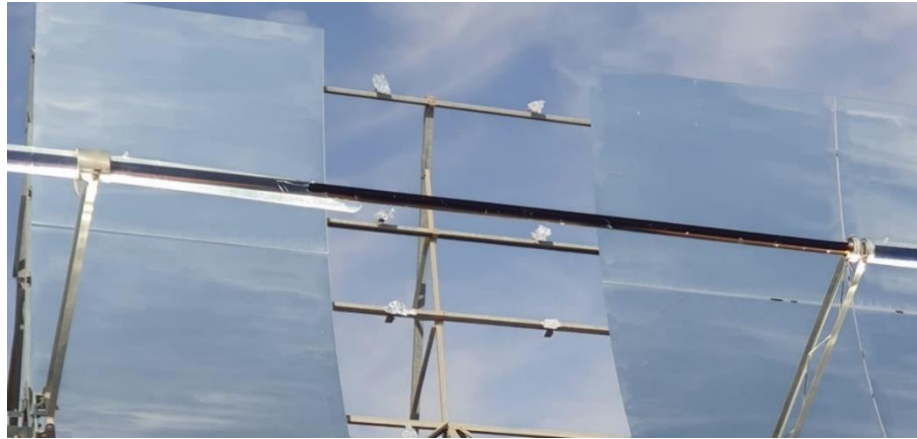


Figure IV. 19 : La cassure du Tube récepteur



Figure IV. 20 : L'État de cassure des miroirs

➤ **Pompe de circulation :**

- ✓ Inspection visuelle du bon fonctionnement (bruit, échauffement, vibrations) ;
- ✓ Vérification de l'étanchéité des presse-étoupes et garnitures ;
- ✓ Vérification électrique ;
- ✓ Test de fonctionnement.

➤ **Échangeur de chaleur :**

- ✓ Vérification de l'étanchéité ;
- ✓ Contrôle de l'état du calorifuge ;
- ✓ Vérification des pertes de charge de l'échangeur.

IV.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons élaboré un plan de maintenance pour chaque équipement de la centrale hybride gaz/solaire destinée à la production d'électricité. Ce plan strict et adéquat repose sur une étude préliminaire de la performance de la centrale. Nous avons débuté par la détermination de l'expression du rendement global de la centrale électrique. Cette expression intègre tous les rendements des équipements impliqués dans la production d'électricité, ce qui nous a permis d'appréhender l'importance du rendement de chaque équipement sur le rendement global de la centrale. De plus, cela a mis en évidence l'importance de la surveillance et du contrôle de ces équipements, ainsi que l'importance de l'entretien et de la maintenance pour assurer la stabilité de la production d'électricité. Ceci est essentiel pour éviter, le cas échéant, une compensation de la production en post-combustion.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous nous sommes penchés sur l'étude de la maintenance d'une centrale de production d'électricité à cycle combiné hybride (solaire-gaz). Notre choix s'est arrêté sur la centrale de Hassi R'mel afin de mener à bien cette analyse. La centrale hybride de Hassi R'mel incarne un modèle innovant d'intégration des énergies renouvelables et fossiles. Cette combinaison permet non seulement d'améliorer l'efficacité énergétique, mais également de garantir une production électrique stable et fiable.

L'intégration de l'énergie solaire dans ce système réduit significativement la dépendance aux combustibles fossiles, entraînant ainsi une baisse notable des émissions de gaz à effet de serre. Par conséquent, cette centrale joue un rôle actif dans la lutte contre le changement climatique. De plus, elle garantit un approvisionnement énergétique plus durable et respectueux de l'environnement, participant ainsi à la préservation des ressources naturelles pour les générations futures.

Notre visite sur site et le stage que nous avons effectué au sein de cette centrale nous ont permis d'acquérir une compréhension approfondie de cette nouvelle technologie de production d'électricité. Cette expérience nous a donné l'opportunité d'observer de près les différents processus de production d'électricité ainsi que les équipements utilisés. Grâce à cela, nous avons pu proposer une maintenance adaptée à chaque équipement, garantissant ainsi la performance optimale et la durabilité de la centrale hybride.

En conclusion de ce mémoire, nous avons élaboré un schéma approprié visant à assurer le bon fonctionnement de cette centrale et une production d'électricité optimale. Dans le cadre de nos recommandations, nous préconisons des mesures de contrôle systématique de ce cycle, résumées comme suit :

- 1) Effectuer une surveillance régulière des panneaux solaires et du réseau de fluide caloporteur.
- 2) Réaliser une surveillance périodique des turbines à gaz et de la turbine à vapeur.
- 3) Assurer une surveillance continue de la chaudière.

- 4) Effectuer une surveillance régulière du système de condenseur.
- 5) Procéder à une surveillance périodique des installations de tuyauteries.
- 6) Veiller à une surveillance régulière des capteurs (pression et température) et du circuit électrique.
- 7) Assurer une surveillance continue des pompes.
- 8) Réaliser une surveillance périodique des génératrices d'électricité.
- 9) Effectuer une surveillance régulière du système de contrôle et d'automatisation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. Zwingelstein, La maintenance basée sur la fiabilité HERMES, Paris, 1996
- [2] Guide de la maintenance : DANIELBOITEL et CLAUDE HAZARD
- [3] [MFM - solution IoT de maintenance conditionnelle - WEG France NEWS](#) .
- [4] HERZALLAH,A., "Étude thermo dynamique Maintenance et Fiabilité d'une turbine à gaz MS 5002", mémoire d'ingénieur, Université de Boumerdes, 2006.
- [5] BELKHAMSA, S. ABD ESSELAM, S., "Contribution à l'étude et au calcul des cycles thermodynamiques des turbines à gaz", mémoire d'ingénieur, Université Ouargla, 2008.
- [6] BENDJEDIDI,S., "Pompe centrifuge",Rapport de stage, Université de Batna, 2012.
- [7] BEN AMOR, Y. REZIG, T., "Calcul énergétique d'une turbine à gaz à cycle combiné", mémoire d'ingénieur (Université Mohamed Khider – Biskra, 2010
- [8] BENNARA,I., "Etude et calcul de vérification d'un turbo-alternateur" Mémoire d'ingénieur, Université M'hamed Bouguara Boumerdes, 2009.
- [9] TEBIB, W. Slatni, Y., "Investigation des conditions optimales de soutirages dans les turbines à vapeur", Mémoire d'ingénieur, Centre Universitaire Tbessa, 2007.
- [10] MEGHARBI, W., "Etude comparative de l'auto consommation de cycle turbine à gaz avec cogénération et turbine à vapeur pour l'unité GNL 6P du complexe GL1/K", mémoire, Ecole Nationale Polytechnique.
- [11] Turbine à gaz à cycle combiné, URL : Www.Wikipédia.com
- [12] BOUCHTIL, I., "Contribution à l'étude d'une centrale solaire thermodynamique à capteur cylindro-paraboliques dans une

zone aride", mémoire master, Université hadj Lakhdar – Batna, 2012.

- [13] Derraji M.B., Les tendances des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le monde. [On line] (2010) www.creg.gov.dz
- [14] ELGHARBI N., La centrale hybride de Hassi R'mel, Recherche et Développement. (2011).
- [15] Mémoire de MECHKKEF Fouad Matouk Mohammed, Etude thermodynamique de la centrale hybride solaire- gaz de Hassi R'mel. 2019
- [16] Mémoire de MEKHLLOUFI Mohammed Lamine SALHI Messoud, Etude Technicoéconomique et Environnementale de la Centrale Hybride de Hassi R'mel. 2019
- [17] Turbine à gaz, in : Techno-Science [on line] (2013) <http://www.techno-science.net>
- [18] Mémoire de KHELASSI Aham KHELASSI Hichem, Influence ambiante sur les performances de la centrale hybride de Hassi R'mel.2019
- [19] Mémoire de AYDAROORS Yacin SEDOUM Ahmed, Dimensionnement d'une installation à concentration d'énergie solaire pour la production d'électricité en Algérie. 2017
- [20] Derradji B., Le projet de centrale hybride Solaire/gaz de Hassi R'Mel, New Energy Algeria Spa. (2008).
- [21] Behar O., Kellaf A., Mohamedi K., Belhamel M., Instantaneous performance of the first Integrated Solar Combined Cycle System in Algeria, Energy Procedia. (2011) 6.
- [22] Des photos réelles sur site SPP1
- [23] Site officielle SIMENS [gas-turbine-sgt-800.pdf \(siemens.com\)](http://www.siemens.com/gas-turbine-sgt-800.pdf)