

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHIA JIJEL

Faculté des sciences et de la technologie

Département d'électrotechnique

N° : 2023/2024

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE: Sciences et Technologies

FILIERE: Electromécanique

SPECIALITE: Electromécanique

Thème

**Optimisation des performances du système de refroidissement
par eau / analyse et améliorations**

(Centrale électrique à cycle combiné de Bellara)

Présenté Par : Naim Guellil

Samir Merabet

Encadré Par : Mme I. BOUTANA - HAFSAOUI

Nassir Guellil : ING. INC

Date de soutenance: 01/07/2024

Jury de Soutenance

Président : M. BOUKHNEF

Grade : MCB

Univ MSB jijel

Encadreur : Mme I. BOUTANA - HAFSAOUI

Grade : MCA

Univ MSB jijel

Examineur : Mme N. FERKHA - HACIB

Grade : MCB

Univ MSB jijel

Promotion : 2023 / 2024

Dédicace

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant qui m'a éclairé les chemins
du savoir, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie à
Mes très chers parents, avec tout mon amour, ma tendresse et
mon estime, je n'arriverai jamais à leurs rendre ce qu'ils ont fait pour
moi.*

Que Dieu vous protège.

*A mes sœurs, mes frères, ma femme et mes chères filles HADJER,
MENE*

pour tout l'amour qu'ils m'apportent et leur soutien.

A toute la famille: MERABET

A tous mes amis pour leurs encouragements.

Samir

Dédicace

*À mes grands parents Jeddi EL-MERKI et Jeddati NOUARA,
à mes parents la belle source des sentiments et de vie, à mes frères et sœurs
que j'abandonne jamais, et à tous ceux qui m'ont soutenu(e) et inspiré(e)
tout au long de ce parcours académique.*

*Ce travail de recherche est dédié à ceux qui ont été mes piliers, mes sources
de motivation et d'inspiration. À mon conjoint et mes enfants, qui ont
toujours cru en moi et m'ont encouragé(e) à poursuivre mes rêves. Votre
soutien indéfectible a été la lumière qui a guidé mes pas dans cette aventure
académique.*

*À mes enseignants et encadrants, dont la sagesse et les conseils
éclairés ont façonné mon apprentissage et ma compréhension du sujet. Votre
expertise et votre dévouement ont été des sources inestimables pour
l'élaboration de ce mémoire.*

*À mes amis et mes proches, qui ont partagé avec moi les hauts et les
bas de ce voyage, et qui ont été mes rochers dans la tempête. Votre présence
et votre soutien inconditionnel ont été le moteur qui m'a permis d'atteindre
cet accomplissement.*

*À toutes les personnes qui ont croisé ma route et ont contribué, à leur
manière, à ma croissance personnelle et académique, je vous adresse ma
plus profonde gratitude.*

*Que ce travail de recherche témoigne de mon engagement, de ma
passion et de ma détermination à poursuivre la voie du savoir et de la
découverte. Avec toute ma reconnaissance et ma sincérité.*

Naim

Remerciements

*Cher; Nassir Guellil notre encadreur de la start-up SONELGAZ, Madame Hafsaoui Ilham
encadreuse de la part de l'université de Jijel;*

Nous tenons à exprimer nos profonde gratitude pour votre précieuse contribution et votre soutien tout au long de la réalisation de notre mémoire de fin d'études .Votre expertise, vos conseils avisés et votre encouragement ont été des éléments clés dans l'aboutissement de ce travail de recherche.

Nous tenons également à remercier chaleureusement tout les responsables de la centrale de Bellara et du département Electrotechnique de notre établissement universitaire, tels que nos enseignants, nos collègues et amis, et à tous les membres de nos familles pour leur soutien et leur encouragement tout au long de ce parcours académique.

La réalisation de ce mémoire a été une expérience enrichissante qui nous permis d'approfondir, de développer nos compétences, et de relever des défis stimulants. Votre contribution a été essentielle à la réussite de notre projet.

Nous reste reconnaissants pour l'opportunité qui nous à été donnée de mener à bien ce travail de recherche et de contribuer, à notre manière, au domaine d'études que nous affectionnons.

Encore une fois, merci du fond du cœur pour votre soutien indéfectible. Avec toutes nos gratitudees, Veuillez agréer nos salutations distinguées.

Naim Guellil

et

Samir Merabet

Master Electromécanique

Faculté FST

Université de Jijel

Sommaire

Liste de figures

Liste de tableaux

Liste des abréviations

Avant propos

Introduction générale	1
ETAT DE L'ART	2
1. Introduction	2
2. Présentation de l'unité	3
2. 1. Historique de réalisation	4
2. 2. Disposition générale	7
2. 3. Description générale des composants principaux et auxiliaire	8
3. Aperçu sur le système combiné	10
3. 1. Turbines à gaz (TG).....	10
3. 2. Turbine à vapeur.....	11
3. 3. Mode en cycle combiné.....	11
3. 4. Système contrôle commande (DCS).....	13
4. Conclusion	13
CHAPITRE I : PRESENTATION DES ECHANGEURS THERMIQUES	14
I. 1. Introduction	14
I. 1. 1. Contexte et justification de l'étude sur les échangeurs thermiques dans le système de refroidissement par eau	14
I. 1. 2. Efficacité énergétique	14
I. 1. 3. Performance du système	15
I. 1. 4. Fiabilité et durabilité	15
I. 1. 5. Contraintes environnementales	15
I. 1. 6. Objectifs du chapitre	15
I. 2. Fondements théoriques des échangeurs thermiques	16
I. 2. 1. Principes de transfert thermique dans les échangeurs thermiques	16
I. 2. 2. Classification des échangeurs thermiques	19
I. 3. Mécanismes de transfert de chaleur impliqués dans les échangeurs	21
I. 4. Modélisation des échangeurs	22

I. 4. 1. Équations de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie appliquées aux échangeurs	22
I. 4. 2. Approches de modélisation : modèles thermiques, hydrauliques et thermo-hydrauliques	24
I. 4. 3. Méthodes de calcul des performances des échangeurs	25
I. 5. Types d'échangeurs et caractéristiques	26
I. 5. 1. Types d'échangeurs utilisés dans les systèmes de refroidissement par eau..	26
I. 5. 2. Exemples d'applications industrielles pour chaque type d'échangeur	34
I. 6. Facteurs et paramètres influençant les performances des échangeurs	34
I. 6. 1. Conception de l'échangeur	34
I. 6. 2. Matériaux de construction	34
I. 6. 3. Etat des surfaces d'échange	34
I. 6. 4. Débit des fluides	35
I. 6. 5. Différence de température	35
I. 6. 6. Isolation thermique	35
I. 7. Etats de fonctionnement	35
I. 7. 1. Paramètres géométriques	35
I. 7. 2. Paramètres thermodynamiques	37
I. 7. 3. Corrosion	38
I. 7. 4. Colmatage	93
I. 7. 5. Entartrage	39
I. 7. 6. Autre phénomènes	40
I. 8. Conclusion	40
 CHAPITRE II : PRESENTATION DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT PAR EAU EN CIRCUIT FERMEE (CCW)	 32
II. 1. Introduction	42
II. 1. 1. Objectif du chapitre	42
II. 1. 2. Contexte et importance du système de refroidissement dans la centrale électrique	42
II. 2. Présentation du système de refroidissement par eau en circuit fermé.....	43
II. 2. 1. Description du système de refroidissement par eau en circuit fermé	43
II. 2. 2. Description des composants clés du système	44
II. 2. 2. 1. Pompes de circulation	45
II. 2. 2. 2. Types d'échangeurs utilisés	47

II. 2. 2. 3. Ventilateurs de refroidissement (FIN FAN)	48
II. 2. 2. 4. Vases d'expansion en circuit fermé	48
II. 2. 2. 5. Réservoir du dosage des produits chimiques	49
II. 2. 2. 6. Instrumentations	51
II. 2. 2. 7. Types d'Instrumentations utilisés dans une centrale électrique	51
II. 2. 3. Instrumentations du système de refroidissement (CCW)	51
II. 2. 3. 1. Mesure de température	52
II. 2. 3. 2. Mesure de pression	53
II. 2. 3. 3. Mesure de niveau	54
II. 2. 3. 4. Mesure de débit	54
II. 2. 3. 5. Mesure de vibrations	54
II. 3. Consommateurs typiques du circuit fermé	55
II. 4. Principe de fonctionnement des consommateurs typiques	56
II. 5. Principe de fonctionnement du système (CCW)	56
II. 6. Conditions de fonctionnement du système (CCW)	57
II. 7. Analyse des performances du système actuel	59
II. 9. Conclusion	63
CHAPITRE III : RESULTATS	64
III. 1. Introduction	64
III. 2. Analyse de l'état actuel	64
III 2. 1. Modélisation du système de refroidissement	64
III 2. 2. Problématique	70
III. 3. Impact de la variation de la vitesse des ventilateurs	71
III. 4. Impact de la variation de la pression de la pompe	72
III. 5. Impact de la variation du débit de la pompe	73
III. 6. Le système d'arrosage comme solution	74
III. 6. 1. Système d'arrosage	75
III. 6. 2. Etude de l'amélioration	76
III. 7. Conclusion	79
IV. Conclusion générale et perspectives	80
Références bibliographique	81
Annexes	83

Liste des figures

Etat de L'art

Figure 1: Localisation géographique de la centrale électrique.....	3
Figure 2: Illustration générale de la centrale.....	4
Figure 3: Disposition générale de la centrale.....	7

Chapitre I : Présentation des échangeurs thermiques

Figure I. 1: Transfert thermique par l'ensemble des trois mécanismes.....	17
Figure I. 2: Principe du transfert thermique par conduction	18
Figure I. 3: Transfert thermique par convection.....	18
Figure I. 4: Transfert thermique par rayonnement.....	19
Figure I. 5: Echangeur de chaleur à plaques.....	27
Figure I. 6: Echangeur de chaleur à tubes et à ailette.....	28
Figure I. 7: Echangeur de chaleur a coquille et tubes.....	30
Figure I. 8: Echangeur de chaleur à faisceau tubulaire.....	30
Figure I. 9: Echangeur de chaleur à double tube.....	31
Figure I. 10: Echangeur de chaleur à jet d'eau.....	32
Figure I. 11: Echangeur de chaleur corrodé.....	39
Figure I. 12: Coupe d'un tube d'échangeur colmaté.....	39
Figure I. 13: Formation de Tartre dans un Échangeur.....	40

Chapitre II : Présentation du système de refroidissement par eau en circuit fermé

Figure II. 4: Localisation des différents composants du circuit CCW.....	43
Figure II. 5: Vue générale du système de refroidissement CCW.....	44
Figure II. 6: Groupe de pompes de circulation.....	45
Figure II. 7: Vue d'ensemble du refroidisseur par air (échangeurs/ventilateurs).....	46
Figure II. 8: Echangeurs à faisceaux tubulaire à ailettes autoporté.....	47
Figure II. 6: Ensemble des ventilateurs FIN FAN.....	48
Figure II. 7: Vases d'expansion en circuit fermée.....	49
Figure II. 8: Réservoir de dosage des produits chimiques	50
Figure II. 9: Représentation d'un thermocouple industriel.....	52

Figure II. 10: Résistance thermique.....	53
Figure II. 11: Principe de la résistance thermique.....	53
Figure II. 12: Capteurs de vibrations sismiques.....	54
Figure II. 13: Distribution du circuit CCW en temps réel dans le système contrôle commande.....	55
Figure II. 14: Concept de fonctionnement du circuit CCW.....	56
Figure II. 15: Surveillance du circuit via l'interface système contrôle commande.....	57
Figure II. 16: Ordre croissant des enclenchements des ventilateurs.....	59
Figure II. 17: Courbe de performance.....	60
Figure II. 18: Interface de logiciel Aspen Hysys.....	61
Figure II. 19: Environnement propriétés.....	62
Figure II. 20: Environnement Simulation et composants.....	62

Chapitre III : Résultats

Figure III. 1: Représentation du circuit de refroidissement en eau en circuit fermé.....	65
Figure III. 2: Interface pour paramétrer la pompe.....	65
Figure III. 3: Interface pour paramétrer l'échangeur.....	66
Figure III. 4: Variation des températures de l'air et de l'eau de refroidissement.....	67
Figure III. 5: Variation de la température de l'eau à la sortie pour différentes températures à l'entrée.....	68
Figure III. 6: Variation de la température à la sortie en fonction de nombre de ventilateurs en service.....	69
Figure III. 7: Comparaison de la variation de la température de l'eau à la sortie ; mesurée et Simulée.....	70
Figure III. 8: Variation de la température de l'eau à la sortie en fonction de la vitesse de rotation des ventilateurs.....	72
Figure III. 9: Température de l'eau à la sortie en fonction de la pression de la pompe...73	73
Figure III. 10: Température de l'eau à la sortie en fonction du débit de la pompe.....	74
Figure III. 11: Représentation du système d'arrosage installé.....	75
Figure III. 12: Pompe utilisée dans le système d'arrosage.....	76
Figure III. 13: Buses d'injection de l'eau pulvérisée.....	76
Figure III. 14: Variation de la température d'eau en fonction de la variation de la température de l'air après la mise en service du système d'arrosage.....	77

Liste des tableaux

Etat de L'art

Tableau 1:	5
Tableau 2: Puissances brutes et nettes de sortie tranche (I et II).....	6
Tableau 3: Puissances globales brutes et nettes de sortie tranche (I + II).....	6

Chapitre II : Présentation du système de refroidissement par eau en circuit fermé

Tableau II. 1: Conditions de fonctionnement des ventilateurs.....	58
Tableau II. 2: Démarrage des ventilateurs en fonction des températures.....	58

Liste des abréviations

<u>Abréviations</u>	<u>Signification</u>
ACC	Aérocondenseur (Aero Condenser Cooler)
AQS	Société sédurirgique mixte (Algerian Qatari Steel)
AUX	Chaudière auxiliaire (Auxiliary Boiler)
BOP	Auxiliaires centrale (Balance Of Plant)
BSDG	Groupe diesel de secours (Black Start Diesel Generator)
CCB	Bâtiment de Commande Centrale (Central command building)
CCR	Salle de commande centrale (Control Command Room)
CCW	Eau de refroidissement en circuit fermé (Closed Cooling Water)
DLN	Skid final du combustible gaz naturel
DWP	Station de déminéralisation (Demi Water plant)
FIN FAN	Ventilateur finale (Final Fan)
GE	GENERAL ELECTRIC (fournisseur Américain des turbines)
GIS	Appareillage de commutation à gaz (Gas Insulation Switch gear)
GT	Turbine à gaz (Gas turbine)
GTB	Bâtiment turbine à gaz (Gas turbine building)
GTG	Groupes des turbines à gaz (Gas Turbine Group)
HEX	Echangeur thermique (Heat Exchanger)
HRSG	Chaudière de récupération (Heath Recycler Steam Generator)
HYsys	Simulateur de processus chimiques
HYUNDAI	Constructeur korien de la centrale électrique
HVAC	Système de climatisation centrale (Heating and Ventilation Air Cooling)
H2	Gaz d'hydrogène
IN	Entrée (Input)
LCI	Convertisseur statique de fréquence (Static Starter)
M-n°	Numéro du collecteur (Manifold Number)
MW	Méga Watt
NGSS	Système d'alimentation en gaz naturel (Natural Gas Supply System)
Out	Sortie (Output)
PECC	Salle de commande des auxiliaires turbine (Package and Electric Control Room)

PH	Acidité
PGA	Circuit de refroidissement ouvert à air ventilé
PGB	Circuit de refroidissement fermé
PFD	Diagramme de flux de processus
RTD	Résistance thermique
SPE	Société Algérienne de production d'électricité (SONELGAZ)
ST	Turbine à vapeur (Steam turbine)
STB	Bâtiment de la turbine à vapeur (Steam turbine building)
STG	Groupes des turbines à vapeurs (Steam Turbine Group)
TG	Turbine à gaz (Gas Turbine)
TV	Turbine à vapeur
U/r/I	Tension /Résistance / Courant
VDC	Courant continu
VLV	Vanne (Valve)
A	Section transversale de la conduite
ε	Emissivité des corps
F	Force
m	Masse du fluide
P	Pression
ρ	Densité du fluide
Q	Flux thermique
\dot{Q}	Flux de chaleur entrant ou sortant
R_{th}	Résistance thermique de conduction
S	La section
T	Température
U	Coefficient de transfert de chaleur
V	Vitesse du fluide
W	Travail effectué sur le système
λ	Conductivité thermique des matériaux
σ	Constante de Stefan-Boltzmann

Avant propos

Dans le monde de production d'énergie électrique ; chef lieu de la thermodynamique et de l'ingénierie, les systèmes de refroidissement jouent un rôle vital pour assurer le bon fonctionnement des équipements des centrales électriques et de leurs processus essentiels .Et se distingue par ces performances élevées et sa fiabilité.

Le circuit de refroidissement eau/air en circuit fermé dans une turbine quelconque ; représente une solution innovante qui allie efficacité, durabilité et respect de l'environnement. En recyclant l'eau de refroidissement à travers un circuit fermé à travers les équipements chauds, absorbant la chaleur, puis est acheminée vers un échangeur de chaleur qui est généralement de type multitubulaires où elle cède sa chaleur à l'air. Ensuite, l'eau refroidie sera renvoyée vers les équipements pour répéter le processus.

Les composants clés de ce système comprennent des pompes pour faire circuler l'eau, des échangeurs de chaleur assistés par des ventilateurs pour transférer la chaleur de l'eau, des tuyaux pour relier les différents composants, et des dispositifs de contrôle pour réguler le débit et la température de l'eau.

Ce système offre non seulement une performance optimale, mais contribue également à la préservation des ressources hydriques et à la réduction des coûts opérationnels et du rendement globale de la centrale électrique.

Au cours de cette présentation, nous allons explorer les principes fondamentaux de fonctionnement et les avantages du circuit indiqué. Nous plongerons ensemble dans les mécanismes complexes qui régissent le transfert de chaleur et la régulation des températures, tout en mettant en lumière les meilleures pratiques pour optimiser l'efficacité de ce système essentiel.

Nous vous invite dans cet étude à explorer les aspects liée a l'optimisation et a la performance des systèmes de refroidissement par eau en circuit fermé permettant un contrôle précis de la température afin d'assurer un bon fonctionnement des équipements sensibles à la chaleur.

Introduction générale

Dans le contexte de la production d'électricité, les centrales électriques jouent un rôle capital en assurant la génération et la distribution d'énergie à grande échelle. Au cœur de ces installations, la gestion efficace des systèmes de refroidissement revêt une importance capitale pour garantir le fonctionnement optimal des équipements et assurer la sûreté des opérations.

La centrale électrique de Bellara, située dans la région d'El Milia Wilaya de Jijel, représente un anneau essentiel dans le réseau électrique, contribuant significativement à la fourniture d'électricité à une large zone géographique. Au sein de cette infrastructure, le système de refroidissement par eau en circuit fermé (*Close Cooling Water*) joue un rôle critique en assurant le refroidissement, essentiellement, de l'huile de lubrification et de l'hydrogène, des composants primordiaux au bon fonctionnement des unités de production d'électricité.

L'objectif principal de ce mémoire de Master est d'explorer les possibilités d'optimisation des performances, en mettant l'accent sur les défis rencontrés lors de la saturation thermique des échangeurs. En effet, La saturation thermique des échangeurs constitue un défi majeur dans le fonctionnement efficace du système de refroidissement par eau. Cette condition peut entraîner une diminution significative des performances globales du système, affectant la capacité de refroidissement et pouvant potentiellement compromettre la fiabilité des équipements. Pour aborder cette problématique, nous utiliserons le logiciel Aspen Hysys comme outil d'analyse. Cette plateforme de simulation, permettant une modélisation précise du système de refroidissement, nous permet ainsi d'identifier les zones de saturation thermique et de comprendre les facteurs qui contribuent à ce phénomène. En outre, notre travail vise à proposer des solutions concrètes pour améliorer l'efficacité globale du système, à travers une approche qui vise à explorer des pistes d'amélioration, telles que l'optimisation des paramètres de fonctionnement ou l'intégration de systèmes supplémentaires.

Dans le chapitre initial de cette étude, nous explorerons en profondeur le domaine des échangeurs thermiques industriels.

Nous nous attarderons particulièrement sur les mécanismes fondamentaux des échanges thermiques, essentiels à la compréhension de leur fonctionnement. De plus, nous examinerons les divers facteurs et causes qui influencent directement les performances des échangeurs thermiques.

Dans le second chapitre de ce mémoire, nous nous concentrerons sur une présentation détaillée du système de refroidissement en eau à circuit fermé, également connu sous le nom de "*Close Cooling Water*". Ce chapitre sera consacré à la présentation des composants clés de ce système, mettant en lumière leurs caractéristiques individuelles et leur rôle essentiel dans le processus de refroidissement. Nous examinerons également en détails le logiciel spécifique utilisé dans le cadre de cette étude. Ce logiciel joue un rôle important dans la modélisation, la simulation et l'optimisation des performances du système de refroidissement, offrant ainsi une compréhension approfondie des interactions entre les différents composants et des paramètres opérationnels influençant l'efficacité globale du système.

Le chapitre trois est dédié à une analyse approfondie du système de refroidissement en circuit fermé, modélisé à l'aide du logiciel Aspen Hysys. L'étude initiale a révélé plusieurs points faibles significatifs du système en place. Pour améliorer son exploitation et optimiser ses performances, ce chapitre propose des solutions concrètes axées sur l'amélioration de l'échange thermique. Ces solutions reposent sur une approche intégrant des changements technologiques visant à optimiser les caractéristiques des équipements du système. En contribuant à l'optimisation des systèmes de refroidissement industriels, ce travail vise à répondre efficacement aux exigences croissantes en matière de performance énergétique et environnementale.

Ce travail se termine par une conclusion générale qui souligne l'importance de l'optimisation des systèmes de refroidissement dans la centrale électrique.

Etat de l'art

1. Introduction

L'électricité est aujourd'hui essentielle au bon fonctionnement de la plupart des sociétés autour du globe. Pour produire de l'électricité, chacune d'elles utilise les moyens qui lui sont accessibles. Ceux-ci peuvent varier en fonction des ressources naturelles dont elles disposent, du territoire qu'elles occupent ainsi qu'aux fonds publics dont elles disposent.

Le choix de la réalisation d'un giga centrale électrique à cycle combiné dans la région d'El-milia ; à pour but d'assurer la demande supplémentaire en énergie électrique prévue par la zone industrielle de Bellara qui contiennent un ensemble important des grands fabricants sidérurgiques et industriels.

2. Présentation de l'unité

La nouvelle centrale électrique à cycle combiné se localise à la zone industrielle qui porte le nom du Chahid de la région ; *Bellara Taher* est située à environs de 350 km à l'est de la capitale du pays Alger dans la commune d'El-milia ; 55 km à l'Est du chef wilaya Jijel.



Figure 1. Localisation géographique de la centrale électrique

2. 1. Historique de réalisation

La réalisation de cette importante structure énergétique sur une superficie de 40 ha avec sa capacité de production qui dépasse les 1400 MW ; rentre dans le projet des 8000 MW lancé par la société nationale SONELGAZ PRODUCTION (SPE), est destinée à répondre aux impératifs suivants :

- Faire face à la demande grandissante et urgente en énergie électrique de la région notamment l'AQS (Algerian Qatari Steel).
- Assurer la fiabilité et la continuité de la qualité de service.
- Renforcer la sécurité de l'alimentation en énergie électrique.
- Assurer un appoint au réseau national interconnecté.



Figure 2. Illustration générale de la centrale

a) Parties prenantes et intervenants

Tableau 1 :

Noms des Intervenants	Nature des travaux	LOGO
Maître d'Ouvrage SPE (PRODUCTION D'ELECTRICITE)	Filiale groupe SONELGAZ	
Maitre d'Œuvre CEEG	La Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz filiale .SONELGAZ	
Constructeur EPC HUNDAI ENGINEERING. CO.LTD	la conception, l'ingénierie, la supervision des travaux de génie civil, la construction, les essais et la mise en service, la formation et le démarrage de la centrale	
Fabricant GENERAL ELECTRIC	Fourniture des équipements des Turbines à gaz (TG), Turbines à vapeur (TV), Alternateurs, systèmes de contrôle commande associés et les pièces de rechange y afférentes).	
Entrepreneur ENERGA	Filiale groupe SONELGAZ Réalisation des travaux de Génie civil.	
Montage électromécanique ETTERKIB	Filiale groupe SONELGAZ	
Transport Exceptionnel TRANSMEX	Filiale groupe SONELGAZ	
Montage Réservoirs de stockage METAL MIND	Indéfinie.	
Travaux de charpente et Piping	Indéfinie.	
Tirage des câbles TIE	Indéfinie.	
Sécurité du site SOR	Filiale groupe SONELGAZ	

b) Puissances installées

La centrale de Bellara est constituée de deux tranches de production similaires; chaque tranche est composée de deux turbines à gaz et une turbine à vapeur.

Les puissances de sortie de chaque tranche sont indiquées dans les tableaux suivants :

- **Tableau.2 : Puissances brutes et nettes de sortie tranche (I et II)**

Puissances	Gaz naturel	Combustible liquide
Puissance TG1	224.95 MW	223.910 MW
Puissance TG2	224.95 MW	223.910 MW
Puissance TV1	269.880 MW	250.990 MW
Totale brut tranche I	719.78 MW	698.80 MW
Auxiliaires tranche I	21.45 MW	29.28 MW
Totale net tranche I	698.330 MW	669.520 MW
Puissance TG3	224.95 MW	223.910 MW
Puissance TG4	224.95 MW	223.910 MW
Puissance TV2	269.880 MW	250.990 MW
Totale brut de la tranche II	719.78 MW	698.80 MW
Auxiliaires tranche II	21.45 MW	29.28 MW
Totale net tranche II	698.330 MW	669.520 MW

- **Tableau. 3 : Puissances globales brutes et nettes de sortie tranche (I + II)**

Puissances	Gaz naturel		Combustible liquide	
	Brute	Nette	Brute	Nette
Tranche I (2 TG+1 TV)	719.78 MW	698.330 MW	698.80 MW	669.520 MW
Tranche II (2 TG+1 TV)	719.78 MW	698.330 MW	698.80 MW	669.520 MW
Totaux (4 TG+2 TV)	1493.56 MW	1396.66 MW	1397.60 MW	1339.66 MW

c) Performances de la centrale électrique

La nouvelle technologie en cycle combiné fournie par le géant mondiale de l'énergie GENERAL ELECTRIC est capable également de renforcer le parc national en énergie électrique par un rendement très élevé issu de la récupération de l'énergie perdue par l'échappement des turbines à gaz.

Ce système exprime un cycle combinatoire entre Brayton et Rankine par l'association de deux turbines à gaz en cycles simples (2TG) à travers deux chaudières de récupérations des gazes brûlés sert à générer une vapeur à haute pression capable d'entraîner une turbine à vapeur (1TV) en cycle combiné.

Le type du cycle qu'on a est des turbines séparés c.à.d. à multi arbres (single shaft). Les conditions d'environnement établies du site de Bellara sont :

- Température ambiante : 40°C.
- Pression ambiante : 1010 mbar.
- Humidité relative : 72%.

2. 2. Disposition générale

Le plan de disposition générale de la centrale ci-après a été marqué afin d'identifier les zones et systèmes principaux :

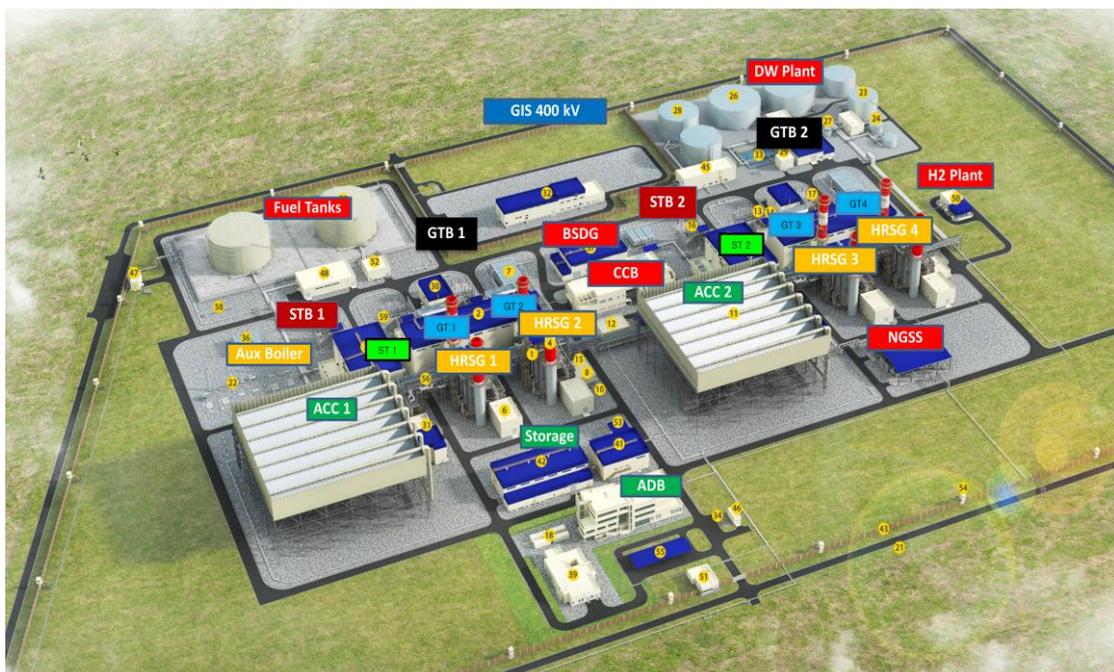


Figure 3. Disposition générale de la centrale

ACC	Aérocondenseur	ST	Turbine à vapeur
HRSG	Chaudière de récupération	GT	Turbine à gaz
CCB	Bâtiment contrôle-commande	BSDG	Groupe diesel de secours
GTB	Salles des machines TG	NGSS	Système d'alimentation en gaz naturel
STB	Salles des machines TV	Aux boiler	Chaudières auxiliaires
ADB	Bloc administratif	DWP	Station de déminéralisation
GIS	Appareillage de commutation à gaz	H2 Plant	Station production de l'hydrogène

2. 3. Description générale des composants principaux et auxiliaires centrale

La puissance nette de la centrale est environ de 1400 MW. Elle se compose de deux (2) cycles (blocs ou tranche) de puissance, chaque groupe est équipé de deux (2) turbines à gaz,(3) alternateurs, deux(2) chaudières de récupération (HRSG) et une (1) turbine à vapeur.

Le bloc comprend également (2) cheminées By-pass avec son damper de déviation entre la TG et la chaudière de récupération, ces appareils étant les équipements nécessaires pour séparer le cycle simple du cycle combiné. Ce système dispose également des équipements auxiliaires groupe et centrale appelés (BOP).

Donc en totale par bloc; en disposent un produit (cycle) combiné entre groupe de deux turbines à gaz (GTG) en cycle simple plus une turbine à vapeur aussi en cycle simple ; produisant un groupe de trois turbines (STG).Capables de fonctionner ; selon le choix ; en cycle simple comme en cycle combiné.

En peut avoir infiniment une puissance moyenne résultante de la turbine à vapeur égale à la moitié de l'une des deux turbines à gaz avec un rendement globale de plus en plus élevé. Fonctionnent normalement avec du gaz naturel comme combustible principal, et avec le liquide fuel (Gasoil) comme combustible de secours (réserve).

a. Composants auxiliaires (groupe) des cycles simples (TG+TV)

L'ensemble des auxiliaires d'un cycle combiné se compose de :

- Un système de refroidissement en circuit fermé séparé des composants essentiels de chaque cycle simple appelé (CCW).
- Un système de refroidissement par hydrogène des trois alternateurs du cycle.
- Un convertisseur statique de fréquence converti le générateur de la (TG) comme moteur de lancement appelé (LCI).
- Un système de lavage compresseur online et offline de chaque (TG).
- Compartiments combustible gaz et fuel à chaque (TG) appelé (DLN et atomisation fuel).
- Un système d'excitation pour chaque turbine du cycle.
- Systèmes d'évacuation et de soutirage électrique de chaque turbine.
- Une salle de commande locale à chaque turbine appelées (PECC), et une salle de commande centralisée appelée (CCR).
- Différents systèmes de lubrification, de levage et d'étanchéité de chaque turbine.
- Deux chaudières auxiliaires produisant de la vapeur nécessaire aux phases de démarrage et transitoires de la (TV).
- Un aérocondenseur appelé (ACC) assure la condensation de la vapeur issue de la turbine (TV).
- Système de dosage ou d'injections chimiques dans chaque circuit d'eau tel que les circuits de refroidissement des turbines (CCW), et les chaudières auxiliaires et de récupération.

b) Composants auxiliaires (centrale) du cycle combiné

Les auxiliaires centrales du cycle combiné sont les suivants :

- Un système de détente et de conditionnement du gaz naturel appelé (NGSS).
- Système de dépotage, stockage et distribution du combustible de secours (Gasoil).

- Systèmes de traitement et d'alimentation d'eau (eau brute, eau déminéralisé, eau potable, et eau de service).
- Avant poste d'évacuation électrique appelé (GIS).
- Groupes autonome diesel de secours appelé (BSDG).
- Système de production de l'hydrogène de refroidissement alternateurs.
- Système de production d'air comprimé de commande et de service.
- Système de traitement d'effluents.
- Systèmes de contrôle et instrumentation globaux.
- Systèmes d'analyse des gazes et des fumées (H₂/CH₄/CO/NOX).
- Systèmes d'analyse des eaux et de vapeur (Echantonnage).
- Système anti-incendie.
- Système de conditionnement des enceintes appelé(HVAC).

3. Aperçu au système combiné

3. 1. Turbines à gaz (TG)

La centrale est équipée de turbines et alternateurs de marque (GE 9FA) de type multi shaft. Lest turbines se composent d'un compresseur axial à multi étages, d'un système de combustion annulaire, et une turbine axiale à trois étages.

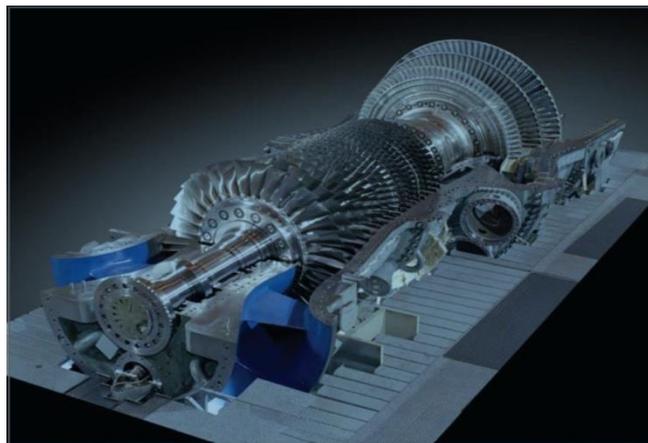


Figure 4. Vue en coupe d'un turbocompresseur

Le cycle de turbine à gaz est un cycle à débit constant avec un ajout constant d'énergie thermique. Le cycle de puissance de Brayton est le cycle thermodynamique idéal qui se rapproche du fonctionnement d'une turbine à gaz.

3. 2. Turbine à vapeur

Le cycle de puissance thermodynamique idéal de base impliquant la turbine à vapeur est le cycle de Rankine. Si comme l'air est le fluide de procédé utilisé dans le cycle de Brayton des turbines à gaz, le cycle de turbine à vapeur utilise de l'eau (vapeur). Les processus thermodynamiques pour ce cycle cités ci-après sont identiques à ceux du cycle de Brayton :

- Compression sans transfert de chaleur.
- Ajout de chaleur à pression constante.
- Dilatation du fluide sans transfert de chaleur.
- Dégagement de chaleur à pression constante.



Figure 5. Coupe d'une turbine à vapeur

La différence entre le cycle de Brayton et le cycle de Rankine est que le cycle de Rankine doit employer un échangeur de chaleur pour le processus d'ajout de chaleur. Donc le système emploie un condenseur pour accomplir le processus de rejet de chaleur.

3. 3. Mode en cycle combiné

La plus importante perte connue du rendement dans un cycle simple à gaz est la grande quantité d'énergie thermique qui sort de la cheminée des gaz d'échappements.

Afin de pouvoir utiliser cette réserve d'énergie, une chaudière de récupération de chaleur (HRSG) doit être installée dans la voie d'échappement des gaz brûlés. L'objectif est d'utiliser le maximum possible de cette énergie thermique pour produire de la vapeur.

Notre chaudière de récupération se compose d'un ballon (HP) à flux unique et d'un ballon (MP/BP) à passage direct à évacuant axialement vers le condenseur refroidi par air. La vapeur (HP) s'écoule vers la section de turbine (HP).

La vapeur d'échappement (HP) expansée est acheminée vers la ligne de réchauffage froide, renvoyée depuis le (HRSG) à travers la ligne de réchauffage chaude et ensuite ajoutée à la section de la turbine (MP). L'expansion supplémentaire est réalisée en même temps que la vapeur (BP) dans le corps turbine (BP). La vapeur échappée de la turbine (BP) s'écoule vers le condenseur.

3. 4. Système contrôle commande (DCS)

Le système de contrôle et de commande fourni par GE se compose d'un Système numérique de contrôle et de commande distribués (DCS) réparti par blocs fonctionnels et géographiques pour le contrôle et la surveillance globale de la centrale électrique depuis la salle de contrôle centrale (CCR).

Ce système est intégré avec le système de contrôle la turbine à gaz, par le système de contrôle de la turbine à vapeur, et par le système de contrôle des (BOP) tels que le système d'air comprimé, système HVAC, le système de détection d'incendie et de gaz.

Le contrôle des installations est généralement basé sur une architecture de contrôle distribuée avec trois niveaux différents :

- **niveau 0** : Instrumentation, actionneurs et tout dispositif de contrôle final.
- **niveau 1** : Contrôleurs de processus ou unités de processus, modules (E/S) et dispositifs de communication.
- **niveau 2** : Stations opérateur (DCS), stations opérateur (TV et TG, HMI) et imprimantes.
- **niveau 3** : Poste d'ingénierie et poste d'historisation de données.

Le DCS possède des capacités de contrôle complètes qui incluent le contrôle en boucle fermée, le contrôle en boucle ouverte, la protection et le démarrage/arrêt automatique, ainsi que le calcul et l'interfaçage pour l'acquisition de données, les affichages graphiques, l'enregistrement, les tendances, les rapports périodiques, les signalisations, la surveillance des performances, la séquence des événements, stockage historique et récupération.

Le système de contrôle à (API) est fourni par d'autres systèmes, tels que le système d'air comprimé, le système HVAC, le système de lutte contre l'incendie, le système de chaudière auxiliaire, etc. Les communications entre ces systèmes de contrôle (APIs) et le

(DCS) se font à travers une liaison souple et une logique câblée pour le contrôle, le feedback, et l'enregistrement.

La centrale intègre les dernières technologies et équipements de pointe, qui ont été essayés et éprouvés dans l'utilisation industrielle de la manière la plus efficace et la plus efficiente. Le fonctionnement de la centrale se fera à partir de la salle de contrôle et de commande centrale (CCR). Les événements de tous les systèmes peuvent surveiller et contrôler à distance (CCR.DN, GE...) en n'importe quel moment.

4. Conclusion

Dans cette présentation des systèmes interconnectés au sein d'une centrale électrique, il est clair que l'harmonie entre ces différents composants joue un rôle critique dans la garantie de la production d'énergie continue. Chaque système, qu'il s'agisse de la turbine, du générateur, du système de contrôle ou des circuits de transmission, contribue de manière synergique à la fiabilité et à l'efficacité globale de l'installation. Cette interconnexion intelligente permet non seulement de répondre aux exigences croissantes en matière d'énergie, mais aussi de faire face aux défis technologiques et environnementaux contemporains.

Ainsi, en comprenant et en optimisant ces interactions, nous pouvons non seulement assurer la stabilité des réseaux électriques, mais aussi avancer vers un avenir énergétique plus durable et résilient.

Chapitre I : Présentation des échangeurs thermiques

I. Introduction

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande partie de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés.

Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés.

L'étude des échangeurs dans les systèmes de refroidissement par eau s'inscrit dans le cadre d'une démarche d'innovation et d'amélioration continue. En explorant de nouvelles technologies, matériaux et méthodes de conception, les ingénieurs cherchent constamment à optimiser les performances des échangeurs et à repousser les limites de l'efficacité thermique.

1. 1. Contexte et justification de l'étude sur les échangeurs dans le système de refroidissement par eau

L'étude sur les échangeurs dans un système de refroidissement par eau est généralement motivée par plusieurs facteurs et nécessite un contexte bien défini pour justifier son importance.

Voici quelques éléments de contexte et de justification pour cette étude :

I. 1. 2. Efficacité énergétique

Les échangeurs dans un système de refroidissement par eau sont essentiels pour assurer une dissipation efficace de la chaleur générée par divers processus industriels ou par les moteurs thermiques.

Une étude vise à optimiser leur conception et leur fonctionnement pour minimiser la consommation d'énergie associée au processus de refroidissement.

I. 1. 3. Performance du système

Un système de refroidissement par eau bien conçu et fonctionnant efficacement est crucial pour maintenir la température optimale des équipements et des moteurs. Les échangeurs peuvent avoir un impact significatif sur la performance globale du système de refroidissement, en influençant la vitesse de refroidissement, la distribution de la chaleur et la stabilité thermique.

I. 1. 4. Fiabilité et durabilité

Les échangeurs défectueux ou mal conçus peuvent entraîner des pannes coûteuses et des temps d'arrêt imprévus. Une étude approfondie sur les échangeurs vise à garantir leur fiabilité et leur durabilité à long terme, en identifiant et en atténuant les risques de défaillance.

I. 1. 5. Contraintes environnementales

La gestion efficace de la chaleur résiduelle dans les processus industriels est souvent nécessaire pour se conformer aux réglementations environnementales strictes. Les échangeurs jouent un rôle crucial dans le contrôle des émissions de chaleur et peuvent contribuer à réduire l'empreinte carbone d'une installation industrielle.

En résumé, l'étude sur les échangeurs dans un système de refroidissement par eau est motivée par la nécessité d'assurer l'efficacité énergétique, la performance du système, la fiabilité opérationnelle, la conformité environnementale et l'innovation technologique. Ces aspects sont essentiels pour garantir le bon fonctionnement des processus industriels, la durabilité des équipements et la protection de l'environnement.

I. 1. 6. Objectifs du chapitre

Le chapitre sur la présentation des échangeurs dans un système de refroidissement par eau vise à fournir une compréhension approfondie de ces composants cruciaux, en mettant en évidence leurs caractéristiques, leurs types, leurs principes de fonctionnement et leur importance dans le système global. Voici les objectifs typiques de ce chapitre :

a. Définition des échangeurs

Clarifier la notion d'échangeur dans le contexte du refroidissement par eau, en mettant en évidence son rôle dans le transfert de chaleur.

b. Identification des types d'échangeurs

Présenter une classification des échangeurs en fonction de leur configuration, de leur mode de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) et de leur application spécifique.

c. Compréhension des principes de fonctionnement

Expliquer en détail comment les échangeurs opèrent pour transférer la chaleur entre le fluide chaud et le fluide de refroidissement, en mettant en évidence les mécanismes de transfert de chaleur impliqués.

d. Analyse des performances

Discuter des paramètres qui influent sur les performances des échangeurs, tels que l'efficacité thermique, la perte de charge et la capacité de refroidissement, ainsi que les méthodes d'évaluation de ces performances.

e. Impact sur le système de refroidissement

Examiner l'importance des échangeurs dans le contexte du système de refroidissement global, en soulignant leur contribution à la gestion thermique efficace et à la fiabilité du système.

I. 2. Fondements théoriques des échangeurs thermiques**I. 2. 1. Principes de transfert thermique dans les échangeurs**

Un transfert thermique, est l'un des modes d'échange d'énergie interne entre deux systèmes, un autre étant le travail [1] : c'est un transfert d'énergie thermique qui s'effectue hors de l'équilibre thermodynamique. On distingue trois types de transfert thermique, qui peuvent coexister :

- Conduction : due à la diffusion progressive de l'agitation thermique dans la matière.
- Convection : transfert thermique qui accompagne les déplacements macroscopiques de la matière.
- Rayonnement : qui correspond à la propagation de photons (radiation).

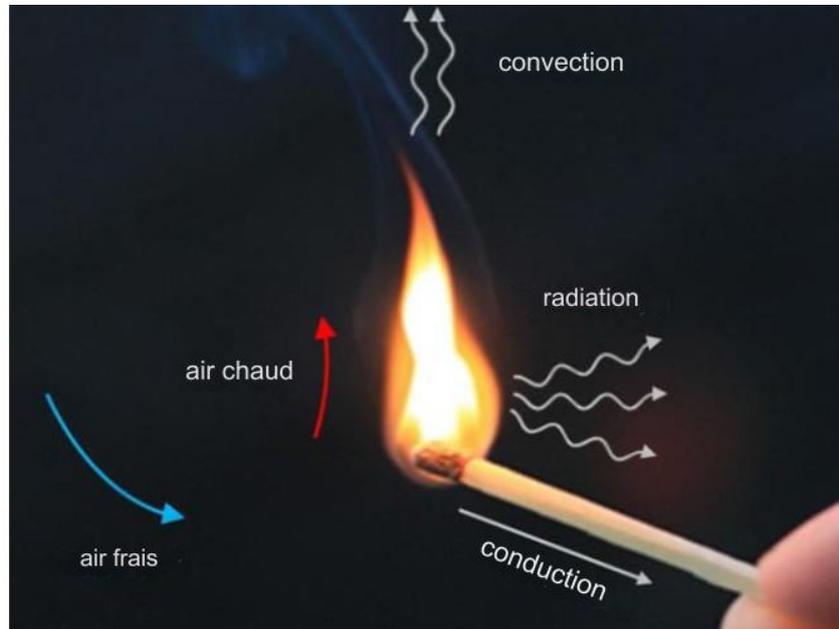


Figure I. 1. Transfert thermique par l'ensemble des trois mécanismes

a) Conduction thermique

La conduction thermique est le transfert de chaleur à travers un milieu solide ou entre deux milieux solides en contact direct. Dans les échangeurs, la conduction se produit à travers les parois des tubes, des plaques ou d'autres surfaces qui séparent les fluides en contact. Les matériaux des parois de l'échangeur doivent avoir une conductivité thermique élevée pour minimiser les pertes de chaleur et assurer un transfert efficace entre les fluides [1].

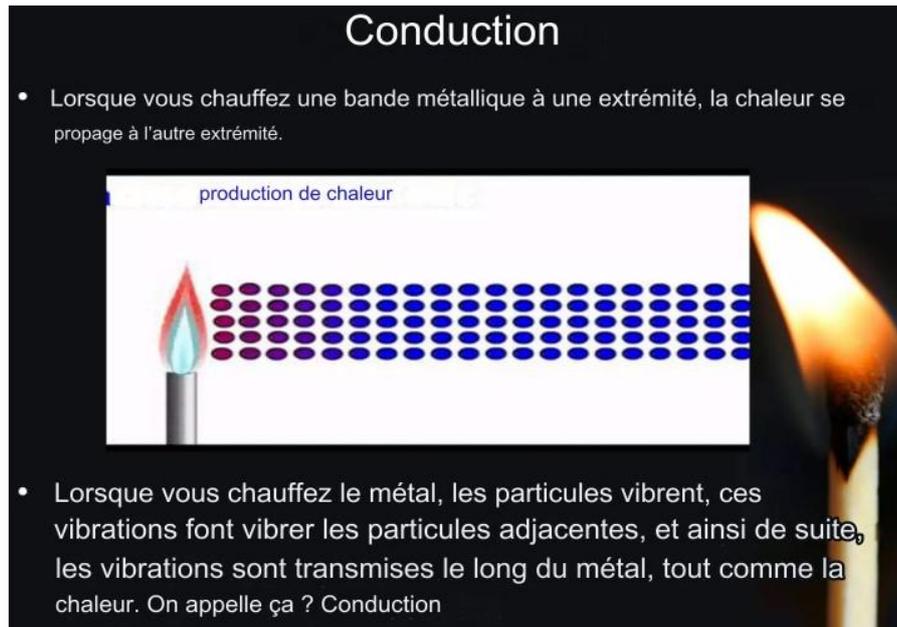


Figure I. 2. Principe de transfert thermique par conduction

b) Convection thermique

La convection implique le transfert de chaleur entre un fluide en mouvement et une surface solide ou entre deux fluides en contact. Dans les échangeurs, la convection joue un rôle crucial dans le transfert de chaleur entre les fluides en circulation.

La convection peut être naturelle (due à des différences de densité causées par des variations de température) ou forcée (induite par des pompes ou des ventilateurs).

Les échangeurs sont conçus pour maximiser la surface de contact entre les fluides afin d'optimiser le transfert de chaleur par convection [1].

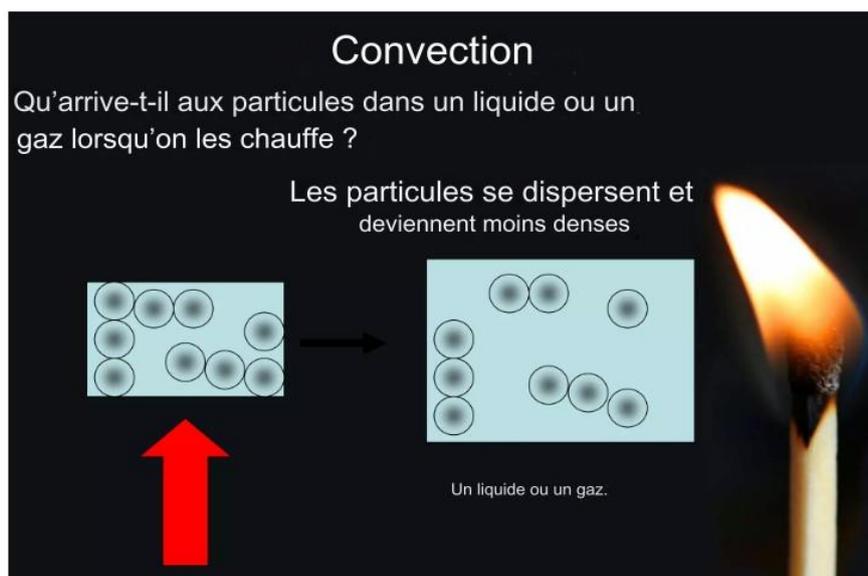


Figure I. 3. Principe de transfert de chaleur par convection

c) Rayonnement thermique

La radiation thermique est le transfert de chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques émises par les surfaces à une température supérieure à zéro absolu.

Bien que généralement moins significative que la conduction et la convection dans la plupart des échangeurs, le rayonnement peut contribuer au transfert de chaleur, en particulier à des températures élevées.

Les échangeurs peuvent être conçus pour minimiser les pertes de chaleur par rayonnement en utilisant des matériaux réfléchissants ou en incorporant des surfaces absorbantes [1].

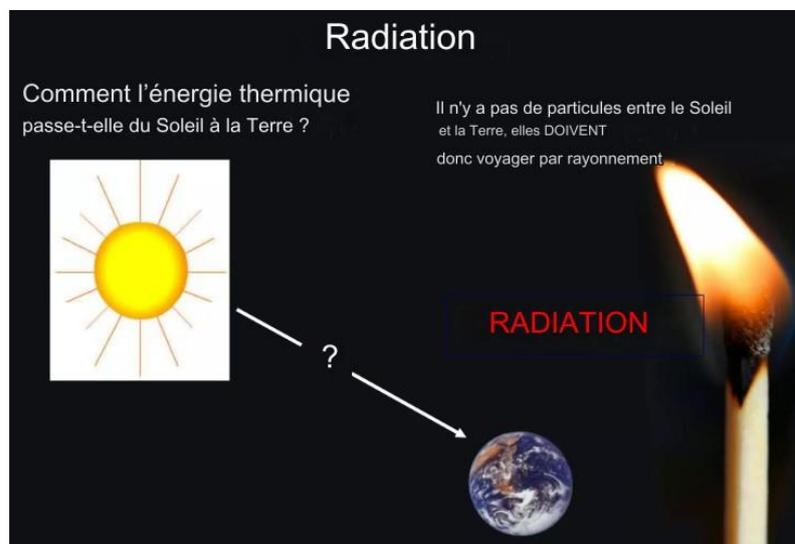


Figure I. 4. Transfert thermique par rayonnement

I. 2. 2. Classification des échangeurs

Les échangeurs thermiques peuvent être classés de différentes manières en fonction de plusieurs critères, notamment leur configuration, leur mode de transfert de chaleur, et leur application spécifique... etc. Voici une classification courante des échangeurs thermiques :

a) Classification selon la configuration physique

- Échangeurs à plaques : Ces échangeurs sont composés de plaques métalliques empilées pour former des canaux à travers lesquels s'écoulent les fluides chaud et froid.

- Échangeurs à tubes et à calandre : Ils se composent de tubes à l'intérieur d'une enveloppe, permettant le passage des fluides chauds et froids autour et à travers les tubes respectivement.
- Échangeurs à faisceau tubulaire : Ces échangeurs ont plusieurs tubes parallèles connectés à deux collecteurs, formant un faisceau à travers lequel les fluides circulent.
- Échangeurs à double tube : Ils constituent en deux tubes concentriques, permettant à un fluide de circuler à l'intérieur du tube intérieur tandis que l'autre fluide circule dans l'espace annulaire entre les deux tubes.

b) Classification selon le mode de transfert de chaleur

- Échangeurs de chaleur directe : Les fluides chaud et froid sont séparés par une surface.
- Échangeurs de chaleur indirecte : Les fluides chaud et froid sont séparés par une surface solide à travers laquelle la chaleur est transférée.

c) Classification selon l'application spécifique

- Echangeurs de chaleur air-air : Ils transfèrent la chaleur entre deux flux.
- Echangeurs de chaleur air-eau : Ils transfèrent la chaleur entre un flux d'air et un flux d'eau.
- Echangeurs de chaleur eau-eau : Ils transfèrent la chaleur entre deux flux d'eau.

d) Classification selon l'orientation du flux

- Échangeurs de chaleur à contre-courant : Les fluides chaud et froid circulent dans des directions opposées.
- Échangeurs de chaleur en courant croisé : Les fluides chaud et froid circulent perpendiculairement les uns aux autres.
- Échangeurs de chaleur en courant parallèle : Les fluides chaud et froid circulent dans la même direction.

e) Classification selon la construction et la disposition des éléments

- Échangeurs à circulation forcée : Ils utilisent des pompes ou des ventilateurs pour forcer le mouvement des fluides à travers l'échangeur.
- Échangeurs à circulation naturelle : Le mouvement des fluides est induit par des différences de densité thermique sans l'utilisation de pompes ou de ventilateurs.

Cette classification permet de catégoriser les échangeurs thermiques en fonction de divers critères, offrant ainsi une vue d'ensemble des différentes options disponibles en fonction des besoins spécifiques d'une application donnée.

I. 3. Mécanismes de transfert de chaleur impliqués dans les échangeurs

Dans les échangeurs thermiques, les mécanismes de transfert de chaleur jouent un rôle crucial pour permettre le transfert efficace de chaleur entre les fluides en contact. Voici comment chaque mécanisme - conduction, convection et rayonnement - est impliqué dans le processus [2]:

La conduction thermique est le processus de transfert de chaleur à travers un matériau ou entre deux matériaux en contact direct, sans mouvement macroscopique apparent des particules.

Dans un échangeur, la conduction se produit à travers les parois solides qui séparent les fluides chaud et froid. Par exemple, à travers les plaques d'un échangeur à plaques ou à travers les tubes d'un échangeur à tubes.

Les matériaux des parois de l'échangeur doivent avoir une conductivité thermique élevée pour minimiser les pertes de chaleur et permettre un transfert efficace entre les fluides.

La convection thermique implique le transfert de chaleur entre un fluide en mouvement et une surface solide ou entre deux fluides en contact, généralement accompagné de mouvement de fluide macroscopique.

Dans un échangeur, la convection joue un rôle essentiel dans le transfert de chaleur entre les fluides en circulation. Elle peut être naturelle (due à des différences de densité causées par des variations de température) ou forcée (induite par des pompes ou des ventilateurs).

Par exemple, dans un échangeur à tubes, le fluide chaud circule à l'intérieur des tubes, transférant sa chaleur à la paroi du tube par conduction, puis le fluide de refroidissement externe transfère cette chaleur par convection.

Le rayonnement thermique est le transfert de chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques émises par les surfaces à une température supérieure à zéro absolu. Bien que généralement moins significatif que la conduction et la convection dans la plupart des échangeurs, le rayonnement peut contribuer au transfert de chaleur, en particulier à des températures élevées.

Les échangeurs peuvent être conçus pour minimiser les pertes de chaleur par rayonnement en utilisant des matériaux réfléchissants ou en incorporant des surfaces absorbantes.

En bref, les échangeurs thermiques exploitent les mécanismes de conduction, de convection et éventuellement de rayonnement pour transférer la chaleur entre les fluides en contact. Une conception efficace des échangeurs prend en compte ces mécanismes pour maximiser l'efficacité du transfert de chaleur et assurer un fonctionnement optimal du système de refroidissement ou de chauffage.

I. 4. Modélisation des échangeurs

I. 4. 1. Équations de conservation de masse, de quantité de mouvement, et d'énergie appliquées aux échangeurs

Les équations de conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie sont des relations fondamentales pour analyser le fonctionnement des échangeurs de chaleur. Voici comment ces équations sont appliquées aux échangeurs [1] [3] :

a) Equation de conservation de la masse

Cette équation stipule que la masse totale d'un système fermé reste constante au fil du temps, sauf si des flux de masse entrent ou sortent du système. Dans le contexte des échangeurs de chaleur, cela signifie que la somme des débits massiques entrants doit être égale à la somme des débits massiques sortants pour tout instant et à tout emplacement dans le système. Mathématiquement, cela s'exprime comme :

$$\sum(\rho \cdot A \cdot V)_{entrant} = \sum(\rho \cdot A \cdot V)_{sortant} \quad (I.1)$$

Où ρ : est la densité du fluide, A : est la section transversale de la conduite, V : est la vitesse du fluide.

b) Equation de conservation de la quantité de mouvement

Cette équation exprime que la somme des forces agissant sur un système est égale au taux de variation de la quantité de mouvement du système. Dans le contexte des échangeurs de chaleur, cela signifie que la somme des forces qui agissent sur le fluide est égale à la somme des produits des pressions et des aires sur les surfaces d'échange. Ce qui est mathématiquement exprimé par :

$$\sum F = \frac{d(m.V)}{dt} \quad (I.2)$$

Où F est La force, m est la masse du fluide, V et sa vitesse.

c) Equation de conservation de l'énergie

Cette équation, souvent appelée le premier principe de la thermodynamique, stipule que l'énergie totale d'un système fermé reste constante si aucune énergie n'entre ou ne sort du système sous forme de chaleur ou de travail.

Dans le contexte des échangeurs de chaleur, cela signifie que la somme des énergies internes, de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle reste constante, sauf si une quantité de chaleur est échangée avec l'environnement ou du travail est effectué sur le système. Mathématiquement, cela s'exprime comme :

$$\sum \frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q} + \sum \dot{W} \quad (I.3)$$

Où \dot{Q} représente le flux de chaleur entrant ou sortant, \dot{W} représente le travail effectué sur le système.

En appliquant ces équations de manière appropriée, on peut analyser les performances et les caractéristiques des échangeurs de chaleur, tels que les transferts de chaleur, les pertes de charge et les efficacités thermiques.

I. 4. 2. Approches de modélisation : modèles thermiques, hydrauliques et thermo-hydrauliques

Les échangeurs de chaleur peuvent être modélisés à l'aide de différentes approches, notamment des modèles thermiques, hydrauliques et thermo-hydrauliques. Voici une explication de chacune de ces approches :

a) Modèles thermiques

Les modèles thermiques concentrent sur la description des transferts de chaleur à l'intérieur de l'échangeur. Ils prennent en compte les flux de chaleur à travers les parois, les variations de température à l'intérieur des fluides et les échanges thermiques avec l'environnement.

Ces modèles utilisent souvent des équations de conservation de l'énergie pour représenter les transferts de chaleur à travers les différentes parties de l'échangeur.

b) Modèles hydrauliques

Les modèles hydrauliques se concentrent sur la description des caractéristiques d'écoulement des fluides à l'intérieur de l'échangeur. Ils prennent en compte des paramètres tels que les pertes de charge, les vitesses d'écoulement, les profils de vitesse et les régimes d'écoulement.

Ces modèles utilisent généralement des équations de conservation de la quantité de mouvement pour représenter le comportement des fluides en mouvement à travers les conduits de l'échangeur.

c) Modèles thermo-hydrauliques

Les modèles thermo-hydrauliques combinent à la fois les aspects thermiques et hydrauliques de l'échangeur. Ils prennent en compte à la fois les transferts de chaleur et les caractéristiques d'écoulement des fluides pour fournir une description plus complète du comportement de l'échangeur.

Ces modèles intègrent des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie pour représenter simultanément les phénomènes thermiques et hydrauliques.

En utilisant ces approches de modélisation qui nous permet l'analyse et optimisation de divers aspects des échangeurs de chaleur, tels que leur efficacité

thermique, leurs performances hydrauliques, leurs pertes de charge et leurs caractéristiques de transfert de chaleur.

Ces modèles peuvent être implémentés sous forme d'équations mathématiques résolues numériquement ou sous forme de simulations informatiques pour prédire le comportement de l'échangeur dans différentes conditions de fonctionnement.

I. 4. 3. Méthodes de calcul des performances des échangeurs

Pour calculer les performances des échangeurs de chaleur, plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour évaluer des paramètres tels que l'efficacité, le coefficient de transfert de chaleur et la perte de charge. Voici quelques-unes de ces méthodes [1] [3].

a) Méthode d'efficacité thermique

L'efficacité thermique d'un échangeur de chaleur mesure l'efficacité avec laquelle l'échangeur transfère la chaleur entre les fluides chauds et froids. Elle peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Efficacité thermique} = \frac{\text{Chaleur réellement transférée}}{\text{Chaleur maximale théoriquement transférable}}$$

Cette méthode compare la chaleur réellement transférée avec la chaleur qui pourrait être transférée si les deux fluides atteignaient la même température à la sortie de l'échangeur.

b) Méthode du coefficient de transfert de chaleur

Le coefficient de transfert de chaleur (U) est une mesure de l'efficacité de l'échange de chaleur entre les fluides. Il peut être déterminé expérimentalement ou calculé à l'aide de modèles thermiques. Cette valeur est souvent utilisée dans les calculs de transfert de chaleur pour estimer les taux de transfert de chaleur entre les fluides et les surfaces d'échange de chaleur.

c) Méthode de la perte de charge

La perte de charge dans un échangeur de chaleur est une mesure de la résistance à l'écoulement des fluides à travers l'échangeur. Elle peut être calculée à l'aide de modèles hydrauliques en tenant compte des caractéristiques géométriques de l'échangeur, des propriétés des fluides et des conditions d'écoulement.

Cette mesure est importante pour évaluer les performances hydrauliques de l'échangeur et peut être utilisée pour dimensionner les pompes nécessaires pour maintenir un débit approprié.

**d) Méthode de la différence de températures logarithmique moyennes
(Logarithmic mean temperature difference LMTD)**

La différence de températures logarithmique moyennes (ΔT_{LM}) est utilisée pour calculer le taux de transfert de chaleur dans les échangeurs de chaleur à contre-courant ou à courant croisé.

Cette méthode est utilisée dans les équations de conception pour estimer la capacité de transfert de chaleur de l'échangeur en fonction des températures d'entrée et de sortie des fluides.

e) Méthode des performances globales

Cette méthode combine plusieurs paramètres, tels que l'efficacité thermique, le coefficient de transfert de chaleur et la perte de charge, pour évaluer les performances globales de l'échangeur. Elle fournit une mesure générale de l'efficacité et de l'adéquation de l'échangeur pour une application donnée.

En utilisant ces méthodes de calcul, on peut évaluer les performances des échangeurs de chaleur dans différentes conditions de fonctionnement et optimiser leur conception pour atteindre les objectifs de performance souhaités.

I. 5. Types d'échangeurs et caractéristiques**I. 5. 1. Types d'échangeurs utilisés dans les systèmes de refroidissement par eau**

Les systèmes de refroidissement par eau utilisent divers types d'échangeurs de chaleur pour transférer la chaleur des composants à refroidir vers le fluide de refroidissement, généralement de l'eau [5].

a) Échangeurs de chaleur à plaques

Les échangeurs de chaleur à plaques sont constitués de plaques métalliques minces empilées et serrées ensemble, formant des canaux à travers lesquels circulent les fluides. Les plaques comportent des motifs de turbulence pour améliorer le transfert de chaleur.

Ces échangeurs offrent une grande efficacité de transfert de chaleur grâce à leur grande surface d'échange et sont compacts, ce qui les rend populaires dans les systèmes de refroidissement par eau, notamment dans les applications résidentielles, industrielles et HVAC (chauffage, ventilation et climatisation).

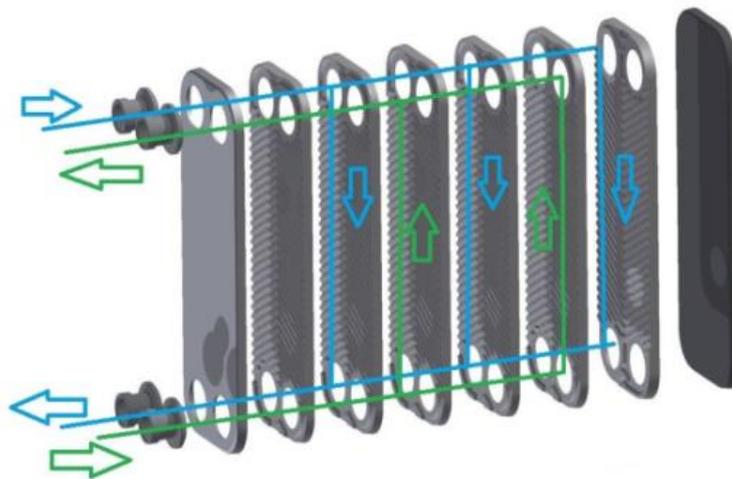


Figure I. 5. Echangeur de chaleur à plaques

➤ Avantages :

- Haute efficacité de transfert de chaleur en raison de la grande surface d'échange.
- Compacts et légers, nécessitant moins d'espace d'installation.
- Adaptés aux applications nécessitant un transfert de chaleur rapide et efficace.
- Faciles à nettoyer et à entretenir.

➤ Inconvénients :

- Coûts initiaux relativement élevés par rapport à d'autres types d'échangeurs.

- Sensibles aux dommages causés par les particules en suspension dans le fluide.
- Plus sensibles aux problèmes d'encrassement comparé aux autres types d'échangeurs.

b) Echangeurs de chaleur à tubes et ailettes (Air-Eau)

Ces échangeurs de chaleur sont composés de tubes à l'intérieur desquels circule le fluide à refroidir, entourés d'ailettes qui dissipent la chaleur vers l'air ambiant. Ils sont largement utilisés dans les radiateurs de véhicules automobiles, les refroidisseurs d'huile, les refroidisseurs de gaz d'échappement, etc. Les ailettes augmentent la surface d'échange et favorisent le refroidissement par convection.



Figure I. 6. Echangeur de chaleur à tubes et à ailette

➤ Avantages :

- Bonne capacité de refroidissement par convection grâce aux ailettes.
- Bonne résistance à la corrosion.
- Faible coût initial pour de nombreuses applications.
- Adaptés aux applications nécessitant une dissipation de chaleur vers l'air ambiant.

➤ Inconvénients :

- Limités par la température maximale admissible de l'air ambiant.
- Les ailettes peuvent se boucher en cas d'accumulation de poussière.
- Moins efficaces que d'autres types d'échangeurs pour les transferts de chaleur très élevés.

c) **Echangeurs de chaleur à coquille et tubes (Shell and tube)**

Dans ces échangeurs, les tubes contenant le fluide à refroidir sont entourés d'ailettes, mais ils sont immergés dans un réservoir d'eau pour un refroidissement plus efficace. Ils sont couramment utilisés dans les refroidisseurs de processus industriels, les refroidisseurs de compresseurs, les systèmes de refroidissement de machines-outils, etc.

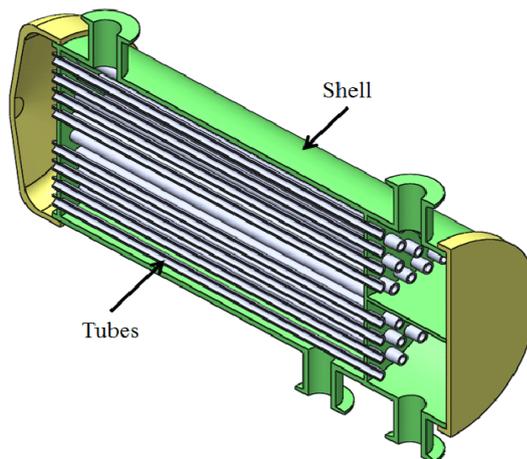


Figure 1.7. Echangeur de chaleur a coquille et tubes

➤ Avantages :

- Haute efficacité de transfert de chaleur grâce à la combinaison de tubes et d'ailettes.
- Adaptés aux applications nécessitant un refroidissement par eau.
- Résistants à la corrosion.

➤ Inconvénients :

- Coût initial plus élevé que les échangeurs à tubes simples.
- Plus complexes à nettoyer et à entretenir en raison des ailettes.

d) Echangeurs de chaleur à faisceaux tubulaires

Ces échangeurs de chaleur sont constitués de nombreux tubes à l'intérieur d'une enveloppe cylindrique (coquille). Un fluide circule à travers les tubes tandis que l'autre circule à l'extérieur des tubes, à l'intérieur de la coquille. Ils offrent une grande capacité de transfert de chaleur et sont utilisés dans une grande variété d'applications, y compris les centrales électriques, les systèmes de climatisation et les processus chimiques, etc.



Figure I. 8. Echangeur de chaleur à faisceaux tubulaires

➤ Avantages :

- Grande capacité de transfert de chaleur et adaptabilité à diverses applications.
- Résistants à la corrosion.
- Possibilité de nettoyage mécanique ou chimique des tubes.

➤ Inconvénients :

- Encombrants et plus lourds que certains autres types d'échangeurs.
- Coûts initiaux et d'exploitation plus élevés que certains autres types d'échangeurs.
- Possibilité de fuite au niveau des joints.

e) Echangeurs de chaleur à double tubes

Dans ces échangeurs, deux tubes concentriques sont utilisés pour permettre le passage des deux fluides à refroidir. Ils sont simples et économiques, mais leur surface d'échange est limitée, ce qui les rend plus adaptés aux applications de faible à moyenne puissance.

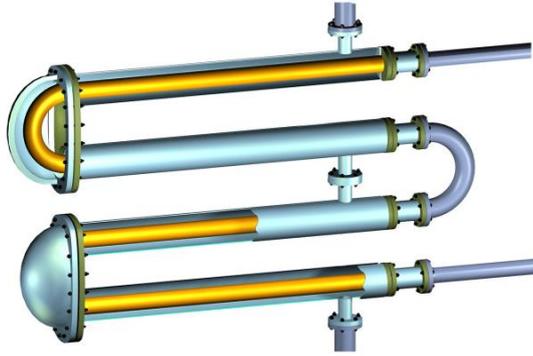


Figure I. 9. Echangeur de chaleur à double tubes

➤ Avantages :

- Simples et robustes, adaptés aux applications de faible à moyenne puissance.
- Simples et robustes, adaptés aux applications de faible à moyenne puissance.
- Faibles coûts de maintenance.

➤ Inconvénients :

- Surface d'échange limitée, moins efficace pour les transferts de chaleur très élevés.
- Sensibles aux problèmes d'encrassement dans les tubes.

f) Echangeurs de chaleur à jet d'eau (Jet coolers)

Ces échangeurs utilisent un jet d'eau à haute pression pour refroidir les surfaces chaudes, généralement des composants électroniques. L'eau évaporée absorbe la chaleur et est évacuée sous forme de vapeur, offrant un refroidissement efficace dans les environnements à haute densité de puissance.

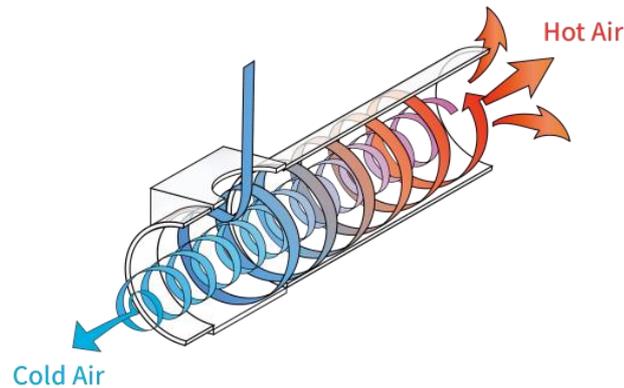


Figure I. 10. Echangeur de chaleur à jet d'eau

➤ Avantages :

- Refroidissement très efficace des composants électroniques à haute densité de puissance.
- Taille compacte et faible poids.
- Pas besoin de circulation d'air, adapté aux environnements fermés.

➤ Inconvénients :

- Dépendance à l'alimentation en eau à haute pression.
- Possibilité de corrosion sur les surfaces des composants électroniques.
- Nécessite une surveillance constante pour éviter les fuites et les problèmes d'humidité.

Chaque type d'échangeur de chaleur a ses propres caractéristiques, en termes de performances, de coûts et de maintenance, ce qui les rend plus ou moins adaptés à certaines applications spécifiques dans les systèmes de refroidissement par eau. Le choix de l'échangeur dépend souvent des besoins de refroidissement, de l'espace disponible, du budget et d'autres facteurs spécifiques à chaque projet.

I. 5. 2. Exemples d'applications industrielles pour chaque type d'échangeur

Les échangeurs thermiques sont des équipements essentiels dans de nombreuses industries pour transférer la chaleur d'un fluide à un autre [5].

a) Echangeurs de chaleur à plaques

- Industrie alimentaire : pasteurisation du lait, refroidissement des jus de fruits.
- Industrie chimique : refroidissement des réacteurs, récupération de chaleur dans les processus chimiques.
- HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) : échange de chaleur dans les systèmes de chauffage et de refroidissement des bâtiments.

b) Echangeurs de chaleur à tubes et calandre

- Raffineries pétrolières : refroidissement du pétrole brut, chauffage des hydrocarbures.
- Centrales électriques : refroidissement des condenseurs de vapeur.
- Industrie pharmaceutique : chauffage et refroidissement des réacteurs dans la production de médicaments.

c) Echangeurs de chaleur à coque et tube

- Industrie pétrochimique : refroidissement des gaz dans les processus de distillation.
- Industrie agroalimentaire : chauffage ou refroidissement des liquides dans la production alimentaire.
- Traitement des eaux : échange de chaleur dans les systèmes de traitement des eaux usées.

d) Echangeurs de chaleur à double tube

- Industrie chimique : chauffage ou refroidissement des réacteurs chimiques.
- Industrie métallurgique : refroidissement des métaux liquides dans les processus de fabrication.

- Systèmes de chauffage solaire : transfert de chaleur dans les systèmes de chauffage à énergie solaire.

e) **Echangeurs de chaleur à faisceau tubulaire**

- Industrie alimentaire : pasteurisation de la bière, du vin et d'autres boissons.
- Industrie pharmaceutique : chauffage et refroidissement des solutions médicamenteuses.
- Applications de cogénération : récupération de chaleur dans les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

I. 6. Facteurs et paramètres influençant les performances des échangeurs

Les performances des échangeurs thermiques peuvent être influencées par plusieurs facteurs et paramètres. Voici quelques-uns des plus importants :

I. 6. 1. Conception de l'échangeur

La conception de l'échangeur, y compris le type de configuration (à plaques, à tubes et calandre, à coque et tube, etc.), la disposition des passages de fluide et la surface de transfert de chaleur, a un impact significatif sur ses performances.

I. 6. 2. Matériaux de construction

Les matériaux utilisés pour fabriquer l'échangeur doivent être compatibles avec les fluides en circulation et capables de résister aux conditions de température et de pression rencontrées dans l'application. Les matériaux conducteurs de chaleur, tels que l'acier inoxydable, le cuivre et l'aluminium, sont couramment utilisés.

I. 6. 3. Etat des surfaces d'échange

L'efficacité du transfert de chaleur dépend de la propreté et de l'état des surfaces d'échange. L'accumulation de dépôts, de tartre ou d'autres contaminants peut réduire l'efficacité de l'échangeur et augmenter la résistance thermique.

I. 6. 4. Débit des fluides

Le débit des fluides à travers l'échangeur influence directement les performances de transfert de chaleur. Des débits élevés peuvent améliorer l'efficacité du transfert de chaleur en réduisant la couche limite thermique et en augmentant le taux de turbulence, mais cela peut également entraîner une augmentation de la consommation d'énergie pour la circulation des fluides.

I. 6. 5. Différence de température

La différence de température entre les fluides chauds et froids affecte également les performances de l'échangeur. Une plus grande différence de température peut généralement entraîner un transfert de chaleur plus efficace, mais cela peut également augmenter les contraintes thermiques sur les matériaux de l'échangeur.

I. 6. 6. Isolation thermique

Une isolation adéquate de l'échangeur est importante pour minimiser les pertes de chaleur et maintenir des conditions de fonctionnement efficaces.

I. 7. Etat de fonctionnement

Les conditions de fonctionnement de l'échangeur, telles que la pression, la température et la durée de fonctionnement, peuvent également influencer ses performances à long terme.

Le type d'échangeur (à plaques, à tubes, à faisceaux tubulaires, etc.) et sa configuration peuvent également jouer un rôle dans ses performances.

En prenant en compte ces facteurs et en optimisant les paramètres liés à la conception et à l'opération de l'échangeur, vous pouvez améliorer ses performances et son efficacité globale.

I. 7. 1. Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques d'un échangeur de chaleur telle que la surface d'échange, la configuration des canaux, l'espacement des plaques/tubes, etc. Jouent un rôle crucial dans ses performances. Voici quelques-uns des paramètres géométriques les plus importants et leur impact sur l'efficacité de l'échangeur.

a) Surface d'échange

Est la zone à travers laquelle la chaleur est transférée entre les fluides chauds et froids. Une surface d'échange plus grande permet un transfert de chaleur plus efficace. Pour augmenter la surface d'échange, on peut utiliser des échangeurs avec des configurations telles que des échangeurs à plaques avec de nombreux canaux ou des échangeurs à tubes avec des faisceaux tubulaires compacts.

b) Configuration des canaux

La configuration des canaux dans un échangeur détermine le chemin suivi par les fluides chauds et froids à travers l'échangeur. Une configuration efficace permet un contact maximal entre les fluides et la surface d'échange. Les configurations telles que les échangeurs à contre-courant, où les fluides circulent dans des directions opposées, sont souvent préférées car elles permettent un transfert de chaleur maximal.

c) Espacement entre des plaques/tubes

L'espacement entre les plaques dans un échangeur à plaques ou entre les tubes dans un échangeur à tubes est important car il affecte la résistance au flux des fluides. Un espacement plus petit peut augmenter la surface d'échange mais peut également augmenter la perte de charge, tandis qu'un espacement plus grand peut réduire la surface d'échange mais diminuer la perte de charge.

d) Forme et taille des plaques/tubes

La forme et la taille des plaques ou des tubes influencent la turbulence et la vitesse du fluide à l'intérieur de l'échangeur. Des tubes ou plaques de plus petit diamètre favorisent généralement un meilleur transfert de chaleur mais peuvent entraîner une augmentation de la perte de charge.

e) Orientation des canaux

L'orientation des canaux peut également avoir un impact sur les performances de l'échangeur. Par exemple, dans les échangeurs à plaques, l'orientation des plaques par rapport au flux de fluide peut influencer le régime d'écoulement et donc l'efficacité du transfert de chaleur.

En optimisant ces paramètres géométriques, il est possible d'améliorer l'efficacité et la performance globale de l'échangeur de chaleur dans diverses applications industrielles.

I. 7. 2. Paramètres thermodynamiques

Les paramètres thermodynamiques d'un échangeur de chaleur ont un impact significatif sur son efficacité et ses performances. Voici quelques-uns de ces paramètres et leur influence.

a) Température d'entrée/sortie des fluides

La différence de température entre les fluides chauds et froids à l'entrée de l'échangeur est un facteur clé influençant le taux de transfert de chaleur. Une plus grande différence de température peut généralement conduire à un transfert de chaleur plus efficace. La température de sortie des fluides peut également avoir un impact sur les performances de l'échangeur, car elle détermine la quantité de chaleur transférée.

b) Fluides de refroidissements utilisés

Les fluides de refroidissement utilisés dans un échangeur de chaleur doivent être choisis en fonction des exigences spécifiques de l'application. Par exemple, l'eau est couramment utilisée comme fluide de refroidissement dans de nombreuses applications industrielles en raison de ses excellentes propriétés thermiques.

Dans certaines applications, des fluides spéciaux tels que les huiles thermiques ou les réfrigérants peuvent être nécessaires pour répondre à des exigences spécifiques de température ou de sécurité.

c) Pression des fluides

La pression des fluides à l'intérieur de l'échangeur peut influencer les performances de l'échangeur, notamment la perte de charge et le taux de transfert de chaleur. Une pression plus élevée peut entraîner une meilleure efficacité du transfert de chaleur mais peut également nécessiter des matériaux de construction plus robustes.

d) Débit massique des fluides

Le débit massique des fluides à travers l'échangeur affecte directement le taux de transfert de chaleur.

Des débits plus élevés peuvent généralement conduire à un transfert de chaleur plus efficace en augmentant la turbulence et en réduisant la couche limite thermique.

e) Température de fonctionnement de l'échangeur

La température de fonctionnement de l'échangeur, c'est-à-dire la plage de température à laquelle il est exposé pendant son utilisation, est un facteur important à prendre en compte lors de la conception et de la sélection de l'échangeur.

Les matériaux de construction doivent être capables de résister aux températures et aux conditions de fonctionnement prévues.

En optimisant ces paramètres thermodynamiques, il est possible d'améliorer l'efficacité énergétique et les performances globales de l'échangeur de chaleur dans diverses applications industrielles.

f) Autres facteurs

La corrosion, le colmatage, l'entartrage, l'encrassement, et d'autres phénomènes peuvent considérablement affecter les performances des échangeurs de chaleur. Voici comment chacun de ces phénomènes peut influencer les performances [1]:

I. 7. 3. Corrosion

La corrosion peut endommager les surfaces internes des échangeurs, réduisant ainsi leur efficacité de transfert de chaleur. Les produits de corrosion peuvent obstruer les passages de fluide, augmentant la résistance au flux et réduisant la surface disponible pour le transfert de chaleur.

La corrosion peut également affaiblir les matériaux de construction de l'échangeur, entraînant une défaillance structurelle et des fuites.

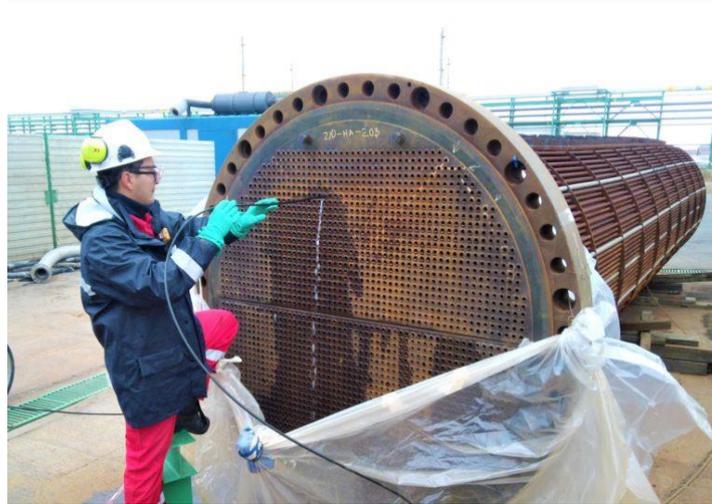


Figure I. 11. Echangeur de chaleurs corrodé

I. 7. 4. Colmatage

Le colmatage se produit lorsque des particules solides, des dépôts ou d'autres contaminants s'accumulent à l'intérieur de l'échangeur, obstruant les passages de fluide et réduisant ainsi le débit et la surface de transfert de chaleur disponible.

Le colmatage peut être causé par des particules en suspension dans les fluides, des dépôts de corrosion, des dépôts biologiques, etc.



Figure I. 12. Coupe d'un tube d'échangeur colmaté

I. 7. 5. Entartrage

L'entartrage se produit lorsque des dépôts minéraux se forment à la surface des tubes ou des plaques de l'échangeur, réduisant ainsi l'efficacité du transfert de chaleur. Les minéraux tels que le calcaire, le carbonate de calcium et le sulfate de calcium sont couramment responsables de l'entartrage.

L'entartrage réduit la conductivité thermique des surfaces d'échange et augmente la résistance au transfert de chaleur, ce qui entraîne une baisse de l'efficacité de l'échangeur.



Figure I. 13. Formation de Tartre dans un Échangeur

I. 7. 6. Autres phénomènes :

D'autres phénomènes tels que la croissance biologique (biofilm), la formation de glace, l'encrassement par des produits chimiques ou des résidus organiques peuvent également affecter les performances des échangeurs en obstruant les passages de fluide et en réduisant la surface de transfert de chaleur disponible.

Pour atténuer ces effets négatifs, il est important de mettre en œuvre des programmes de maintenance réguliers, y compris le nettoyage, la protection contre la corrosion et le suivi de la qualité des fluides circulant dans l'échangeur. Des matériaux de construction résistants à la corrosion et des revêtements anti-adhérents peuvent également être utilisés pour prolonger la durée de vie et maintenir les performances des échangeurs de chaleur.

I. 8. Conclusion :

Les échangeurs de chaleur sont des éléments cruciaux dans de nombreux domaines industriels, jouant un rôle vital dans le transfert efficace de chaleur entre les fluides.

Ce chapitre a mis en lumière l'importance des échangeurs de chaleur dans les systèmes de refroidissement par eau, en mettant en évidence leurs divers types, leurs paramètres de conception, leurs effets néfastes et les perspectives futures pour l'optimisation de leurs performances.

Les échangeurs de chaleur sont soumis à divers défis tels que la corrosion, le colmatage, l'entartrage, qui peuvent compromettre leurs performances. Cependant, en comprenant ces phénomènes et en mettant en œuvre des mesures de prévention et de maintenance appropriées, il est possible d'assurer un fonctionnement efficace et fiable des échangeurs de chaleur.

Chapitre II : Présentation du système de refroidissement par eau en circuit fermé

II. 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons explorer l'importance de l'un des éléments essentiels au bon fonctionnement des centrales électriques : le système de refroidissement par eau en circuit fermé ; qui utilise l'eau comme fluide de refroidissement pour dissiper la chaleur générée par divers équipements d'une turbine à gaz et de ces auxiliaires.

Puis on va faire une description de notre système au point de vue ces composants essentiels et son principe de fonctionnement, et en fin nous allons faire une représentation de l'outil de simulation et de modélisation utilisé qui nous permet une évaluation efficace des performances du système actuel et du rendement globale de la centrale.

II. 1. 1. Objectif du chapitre

Le but de ce chapitre est de démontrer les fonctions du système d'eau de refroidissement en circuit fermé. Les équipements et consommateurs du système doit répondre aux exigences de conception fonctionnelle pour démontrer la fiabilité et la continuité de processus.

II. 1. 2. Contexte et importance du système de refroidissement dans la centrale électrique

Lors de la production d'électricité et pour maintenir ces composants à des températures idéals et pour éviter la surchauffe, un système de refroidissement fiable et efficace doit être mis en place capable d'évacuer la chaleur excessive produite par les turbines et ces auxiliaires.

Des équipements clefs et essentiels participent à la production d'énergie électrique telle que les turbines et les alternateurs et d'autres équipements secondaire ne pouvant pas fonctionner sans le système de refroidissement adéquat.

Afin de pouvoir expliquer l'importance du circuit de refroidissement nous allons explorer le rôle crucial du système, son principe de fonctionnement, et ses différents types et technologies, ainsi que son impact significatif sur la performance et rendement globale de la centrale.

II. 2. Présentation générale du système de refroidissement

La conception du système de refroidissement en circuit fermé (CCW) de chaque deux turbine à gaz est regroupée en une seule zone mais avec deux circuits séparés. Le schéma suivant représente l'emplacement de différents éléments clés du système [1]:

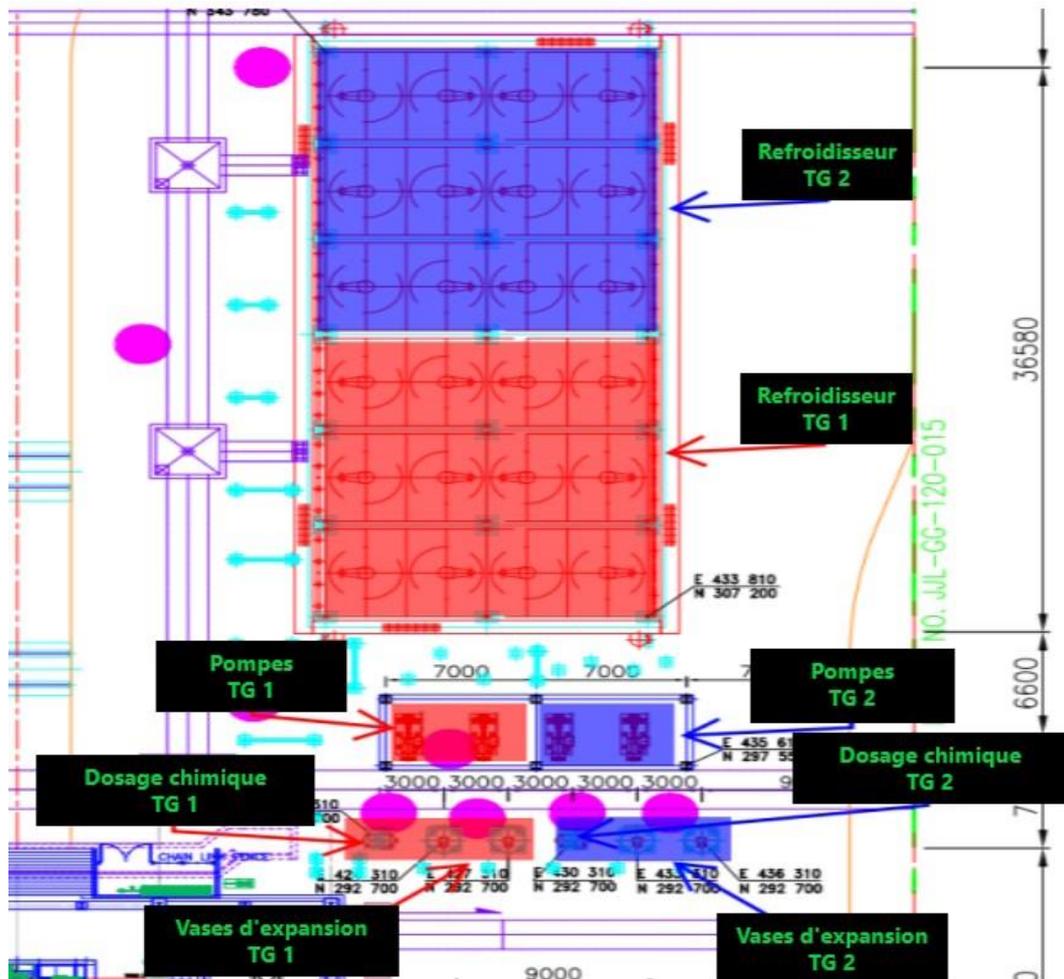


Figure II. 1 Localisation des différents composants du circuit (CCW)

II. 2. 1. Description du système de refroidissement par eau en circuit fermé (CCW)

Le système de refroidissement par eau en circuit fermé dans une centrale électrique est appelé en anglais the Closed Cooling Water (CCW). Ce dernier est comme nous disant avant est nécessaire pour refroidir les différents composants clés pourraient surchauffer et entraîner des pannes coûteuses, et voire des dommages irréversibles. En plus de garantir le bon fonctionnement des équipements, ce système contribue également à l'efficacité énergétique de la centrale en permettant un fonctionnement optimal des turbines et en réduisant les pertes de chaleur inutiles.

En résumé la fonction principale du système de refroidissement en boucle fermée est de fournir de l'eau déminéralisée aux skids turbine à gaz (TG) et auxiliaires turbine (BOP) qui nécessitent de l'eau de refroidissement [1] [2].

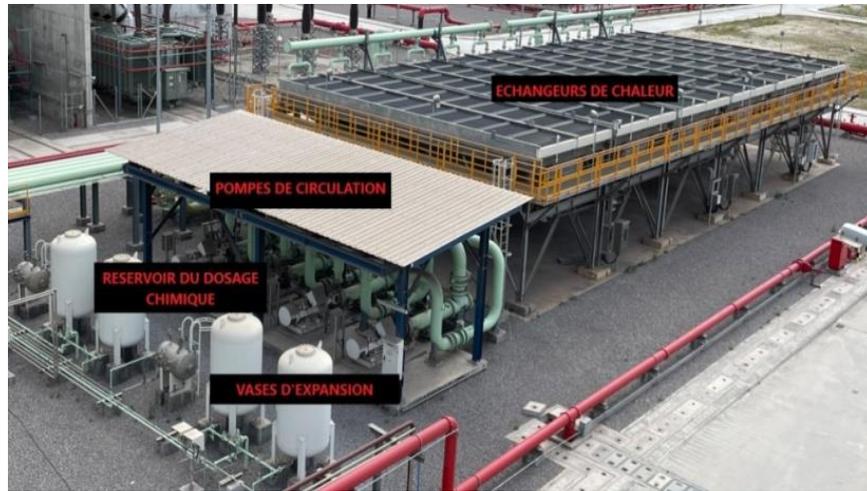


Figure II. 2. Vue générale du système de refroidissement CCW

II. 2. 2. Description des composants clés du système

Le circuit fermé (PGB) réfrigère les systèmes auxiliaires de la centrale[1], il est lui-même réfrigéré par le circuit ouvert (PGA) à air ventilé, et se compose principalement des éléments suivants :

- Pompes de refroidissement avec des clapets anti-retour au refoulement (rétablissement rapide en cas de déclenchement).
- Échangeurs de chaleur multitubulaires.
- Ventilateurs (FIN FAN).
- Un système d'appoint du fluide caloporteur(eau) déminéralisée assurant une bonne qualité avec contrôle de pH (environ 9), redox faible et agent antigel (glycol).
- Des vannes manuelles assurant un circuit équilibré de chaque consommateur avec un débit qui soit contrôlé et réglées une fois pour toute.
- Réservoirs d'expansion pour les phases transitoires.
- Un système de dosage chimique.

II. 2. 2. 1. Pompes de circulation

a) Fonctionnement et rôle dans le système global

Les pompes de circulation servent à assurer une circulation continue de l'eau à travers le circuit de refroidissement principal à fin de véhiculer rapidement la chaleur dissipée par les différents consommateurs de la turbine et ces auxiliaires aux échangeurs de chaleur principaux à air libre ; qui sont équipés des ventilateurs permettant une échange entre l'eau chaude et l'air [3].

Son fonction et de pomper le flux d'eau de refroidissement vers les différents consommateurs pour dissiper la chaleur produite pendant le fonctionnement normal de la turbine a gaz.



Figure II. 3. Groupe de pompes de circulation

b) Spécification technique des pompes de circulation

➤ Pompe à eau de refroidissement en circuit fermée pour TG :

- Fabricant : CW-Hydro, Inc.
- Type : Centrifuge Horizontale.
- Nombre : deux (2).
- Capacité : 950 m³/H.
- Hauteur totale : 45m.
- Vitesse : 1485 tr/min.

- Température de fonctionnement : 50°C / 60°C.
- Diamètre d'aspiration : 12''.
- Diamètre de refoulement : 10''.

➤ Moteur électrique pour pompe :

- Fabricant : Hyosung.
- Type rotor : cage d'écureuil.
- Tension d'alimentation : 400 V.
- Puissance : 175 KW.
- Vitesse de rotation : 1485 tr/min.

c) **Refroidisseurs d'eau (CCW)**

L'élément principal dans le circuit participant à l'échange thermique par convection entre la circulation forcée de l'air assistée par ventilateurs et l'eau transportée par les pompes à travers une surface d'échange importante permettant une dissipation rapide et efficace du chaleur amenée par l'eau des échangeurs secondaire (réfrigérants) dégagée par les différents consommateurs [4].



Figure II. 4. Vue d'ensemble du refroidisseur par air
(échangeurs/ventilateurs)

II. 2. 2. 2. Types d'échangeurs utilisés

L'échangeur de chaleur utilisé dans notre système est refroidi par air assisté par ventilateur à faisceaux tubulaires refroidi par ventilateurs à ailettes.

▪ Spécifications et caractéristiques techniques des échangeurs

- Fabricant : Daeryung.
- Type : Tube à ailettes autoporté (refroidi à l'air).
- Température max entrée/sortie: Côté eau 60,8°C / 55°C- Côté air 50°C /55,1°C.
- Volume total de liquide : 260,7 kg/sec.
- Vitesse des ventilateurs : 334,6 tr/min.
- Nombre de pales de ventilateur : Diamètre 4 / 3,35 mètres.
- Nombre de ventilateur : 12/unité (TG).
- Surface d'échange : 1444,1m².
- Forme de tubes : Circulaire.
- Nombre de tubes : 198.
- Dimensions : 25,4 x 2,11 x 15,500.
- Type de métal : SA179.
- Température maximale d'entrée de l'eau de refroidissement : 54,63°C.
- Température maximale de sortie de l'eau de refroidissement: 50°C.
- Débit : 260,07 kg/s.



Figure II. 5. Echangeurs à faisceaux tubulaire à ailettes autoporté

II. 2. 2. 3. Ventilateurs de refroidissement (FIN FAN)

La fonction des ventilateurs est de libérer la chaleur de l'eau chaude du système de refroidissement fermé dans l'atmosphère à l'aide de ventilateurs.



Figure II. 6. Ensemble des ventilateurs FIN FAN

▪ **Caractéristiques techniques des ventilateurs**

- Moteur de ventilateur :
 - Fabricant : HHI.
 - Tension d'alimentation : 3P/400 V.
 - Puissance : 30 KW.
 - Vitesse de rotation : 1475 tr/min.

- Réducteur de vitesse :
 - Type Power grip GT2 Ceinture.
 - Rapport 4,4 : 1.

II. 2. 2. 4. Vases d'expansion en circuit fermé

Récipients verticaux, cylindriques, et pressurisés (type vessie) par l'air comprimé de la centrale.



Figure II. 7. Vases d'expansion en circuit fermée

a) Rôle des vases d'expansion dans le circuit

Destinée pour l'absorption des fluctuations du volume d'eau de refroidissement dues aux changements de température du système, en maintenant une hauteur constante à l'aspiration des pompes de circuit.

b) Caractéristiques techniques des vases d'expansion

- Fabricant : Tae Yang.
- Type : Cylindrique / Vessie.
- Volume : 4,2 m³.
- Pression de fonctionnement : 2,7 ~ 3,7 bars.
- Exploitation : 17~60°C.
- Quantités : 2.

II. 2. 2. 5. Réservoir du dosage des produits chimiques

Collecteur ou bien réservoir de type horizontal et cylindrique de différents produits chimiques raccordé à la conduite principale du circuit de refroidissement. Permet un dosage automatique ou manuel régulier des agents chimique nécessaires à la protection du circuit et améliorent le rendement globale du système.

Son fonction essentielle est de contrôler la qualité de l'eau du système CCW par dosage manuel d'antigels et inhibiteur de corrosion.



Figure II. 8. Réservoir de dosage des produits chimiques

a) Importance du dosage chimique dans le circuit

L'eau circule dans le circuit de refroidissement nécessite l'ajout des additifs chimiques destinées a la protection des composants du système contre les effets de corrosion et les changements climatiques participant a d'empêchement de l'usure et de la dégradation de ces performances.

L'eau de refroidissement se compose principalement de:

- 90% d'eau déminéralisée.
- 10% antigel (glycol).
- Petite portion de dosage d'inhibiteur de corrosion (nitrite de sodium).

b) Caractéristiques techniques des réservoirs de dosage chimique

- Quantité / 1.
- Fabricant Tae Yang.
- Type Horizontal / Cylindrique.

- Volume 0,3 m³.
- Pression de fonctionnement 7,2 ~ 8,2 bars.

II. 2. 2. 6. Instrumentations

Le but de ce titre est de connaître les différents éléments d'une chaîne de mesure, et de découvrir les principes de mesure appliqués sur notre système de refroidissement en circuit fermé (CCW). Et d'avoir une vision globale des différents types de capteurs et transmetteurs [1].

II. 2. 2. 7. Types d'Instrumentations utilisés dans une centrale électrique

Les différentes instrumentations utilisées dans les processus industriels et les centrales électriques généralement les mêmes ; assurant les tâches suivantes :

- Transmission de signaux numériques.
- Transmission de mesures.
- La mesure de température.
- La mesure de pression.
- La détection gaz.
- La mesure de niveau.
- La mesure de débit.
- Le détecteur de flamme à ultraviolet.
- Les capteurs de vibrations.

II. 2. 3. Instrumentations du système de refroidissement (CCW)

Le système de refroidissement (CCW) nécessite beaucoup plus les mesures, indications, et transmissions suivantes :

- Mesures de vibrations et des grandeurs physiques telles que les températures, pressions, débits, et niveaux.
- Transmissions des signaux et des mesures.

II. 2. 3.1 Mesure de température

On constate les trois types suivants :

- Thermocouple.
- Résistance thermique (RTD).
- Thermostat à bilame.

a) Thermocouples

Il existe plusieurs types de thermocouples en fonction de la nature de leurs métaux ; le type employé sera défini par le processus en fonction de sa gamme de température, sa résistance (chimique, abrasive et vibratoire), des conditions requises d'installation (compatibilité avec les équipements existants ; par exemple les trous existants peuvent déterminer le diamètre des sondes...) et de sa précision.

Plusieurs gammes de précision sont disponibles pour chaque type. Le thermocouple de type K est le plus fréquemment utilisé de part sa gamme de mesure et son coût.

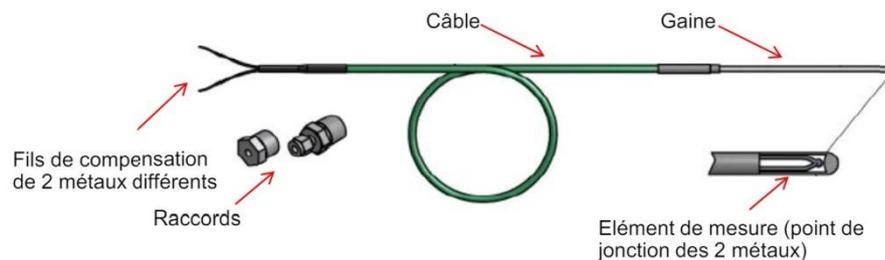


Figure II. 9. Représentation d'un thermocouple industriel

b) Résistances thermiques (RTD)

Principe de mesure: la résistivité de certaines résistances varie en fonction de la température.



Figure II. 10. Résistance thermique

En alimentant cette résistance, on peut donc mesurer sa valeur ($U=R.I$) et en déduire la température à laquelle elle est exposée.

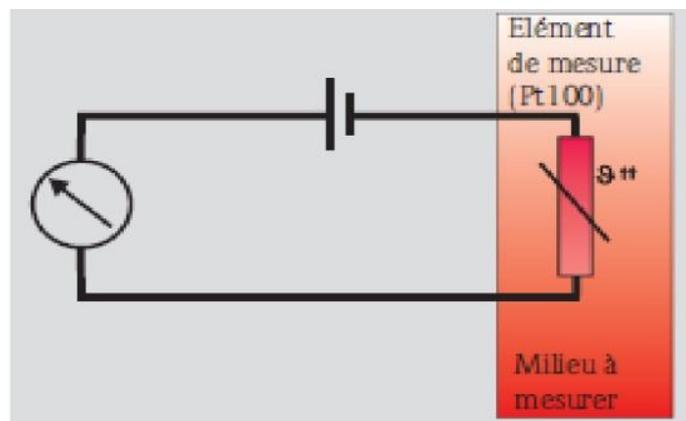


Figure II. 11. Principe de la résistance thermique

Les résistances thermiques sont généralement directement raccordées au système contrôle commande sur des cartes d'acquisition spécifique capables d'alimenter et de mesurer la valeur de résistance de la sonde et de la convertir en mesure de température en fonction du type de capteur déclaré.

On rencontre aussi des mesures de température réalisées par des résistances thermiques raccordées à un convertisseur local qui alimente la sonde et converti sa valeur en signal analogique lisible par les cartes d'acquisition analogiques standards système.

II. 2. 3. 2. Mesure de pression

- Capteur capacitif.
- Capteur résistif.
- Capteur inductif.
- Jauge d'extensiométrie.
- Jauge piézo-résistive.

Le speedtronic aliment la sonde en -24VDC. On mesure ensuite la valeur peak à peak des oscillations pour connaître le niveau de vibrations des paliers des ventilateurs donné en inch/secondes.

II. 3. Consommateurs typiques du circuit fermé

Les différents consommateurs typiques du circuit (CCW) sont :

- Alternateur (TG).
- Refroidisseurs de lube-oil (TG).
- Refroidisseur du LCI ; Load Commutating Inverter ;(convertisseur statique de fréquence).
- Sécheurs d'hydrogène.
- Refroidisseurs de l'huile hydraulique.
- Refroidisseur du compresseur d'air d'atomisation.
- Système de refroidissement des purges de gaz.
- Refroidisseur des détecteurs de flamme.

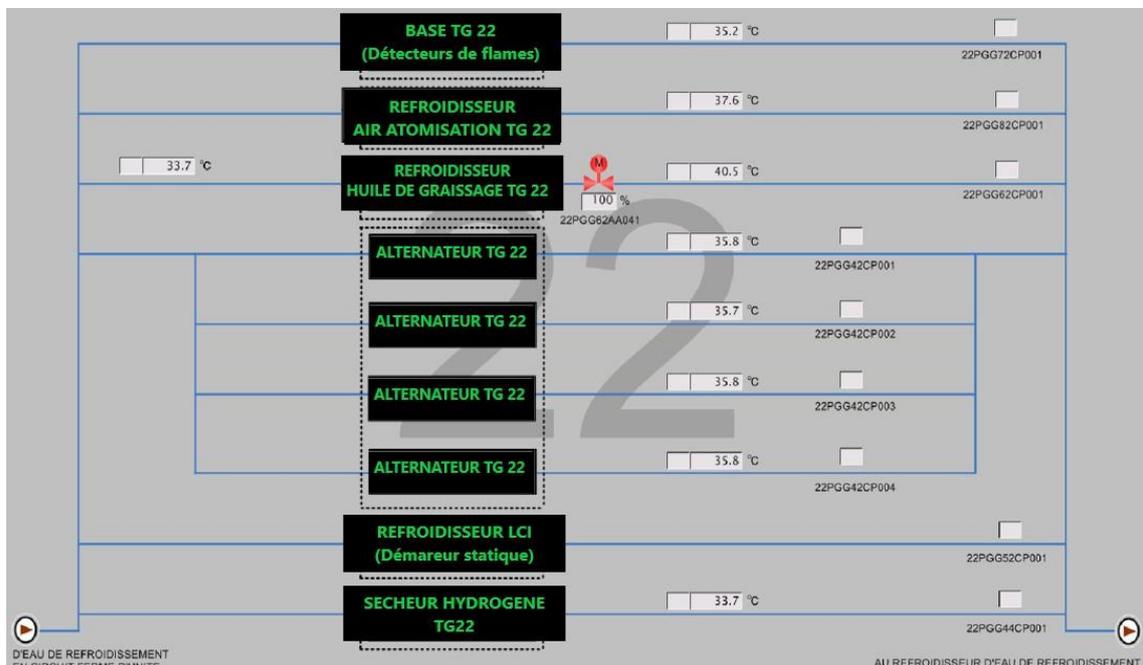


Figure II. 13. Distribution du circuit CCW en temps réel dans le système contrôle commande

II. 4. Principe de fonctionnement des consommateurs typiques

L'eau de refroidissement doit être pompée à travers tous les échangeurs auxiliaires de chaleur nécessitant un refroidissement et de là au refroidisseur d'eau refroidi par air (FFAC) où l'eau de refroidissement est refroidie et renvoyé à l'aspiration de la pompe à eau de refroidissement. Le refroidisseur d'eau refroidi par air (FFAC) doit être capable de permettre au système de refroidissement de maintenir la température de l'eau de refroidissement en dessous de la valeur maximale admissible à la température ambiante maximale prévue [1] [2].

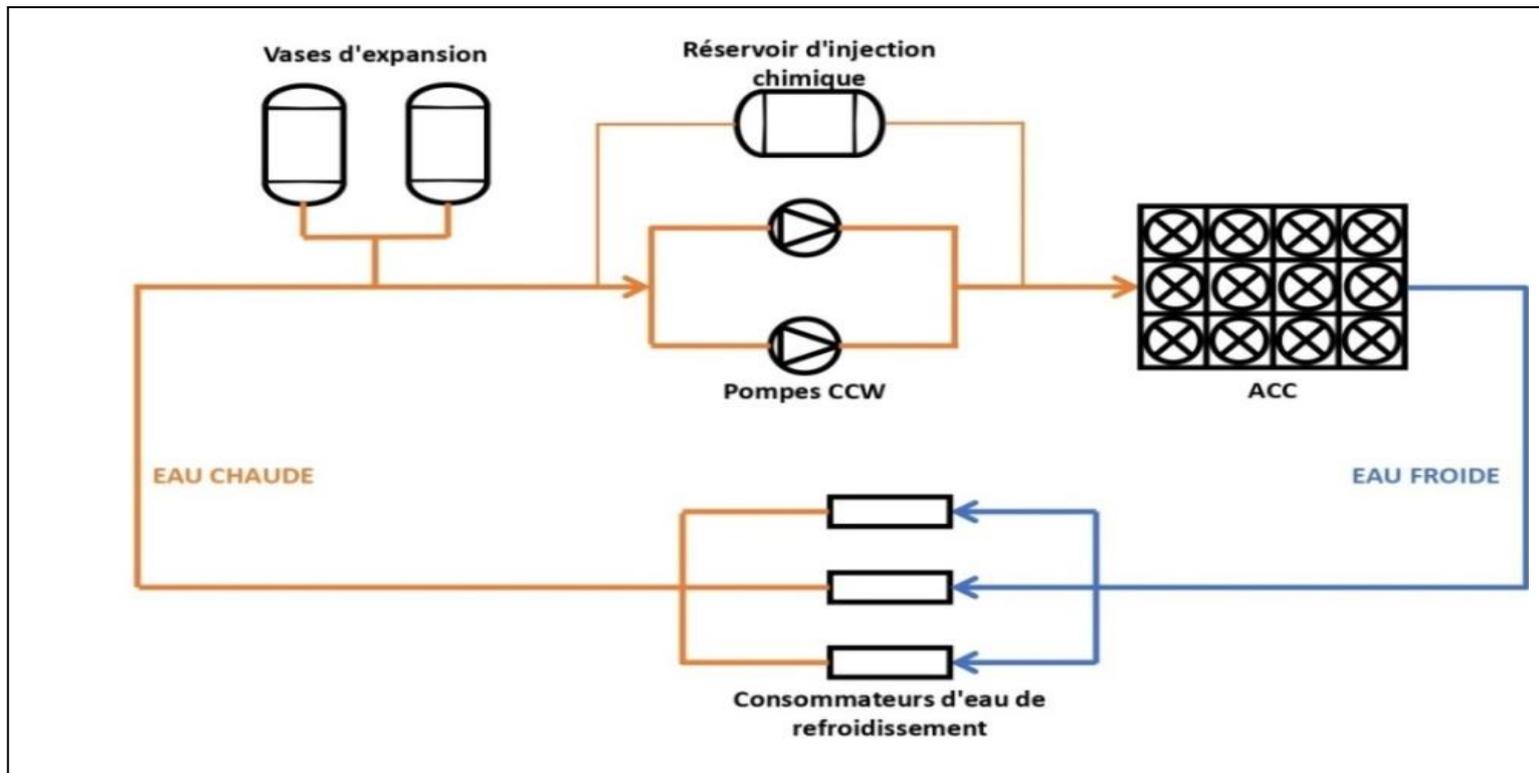


Figure II. 14. Concept de fonctionnement du circuit (CCW)

II. 5. Principe de fonctionnement du système (CCW)

La figure ci-après ; du système contrôle commande montre les emplacements des douze ventilateurs a travers la surface globales des échangeurs et l'ordre croissant des enclenchements par colonne. Ainsi que des valeurs en temps réel telle que les températures et les pressions entrée/sorties.

Au moins trois (3) ventilateurs de refroidissement fonctionnent essentiellement pendant le fonctionnement normal.

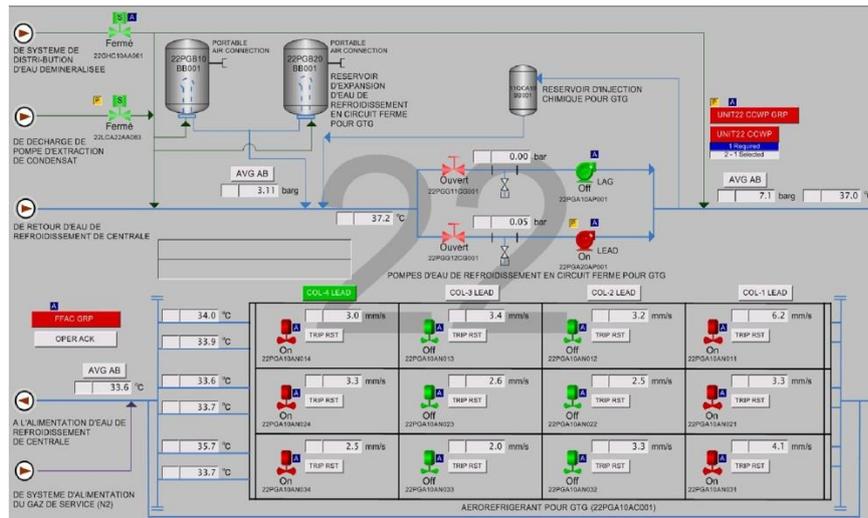


Figure II. 15. Surveillance du circuit via l’interface système contrôle commande

II. 6. Conditions de fonctionnement du système (CCW)

a) Spécifications du site

- 1) Altitude : +32mNGA.
- 2) Pression ambiante : 1010 mbar.
- 3) Température ambiante : 40 °C.
- 4) Humidité relative. : 72%.
- 5) Température Maximale et minimale : 45 °C/ 12 °C.

b) Condition eau de refroidissement à fournir

- 1) Qualité d’eau : Eau déminéralisé.
- 2) Température (Nor. /Max.) : 45/50 °C.
- 3) Pression (Nor. /Max.) : 5/8bar.
- 4) Pression nominale : 10 bars.

c) **Tableau II. 1. conditions de fonctionnement des ventilateurs**

CCW for GTG system	Operating conditions		
	Flow [m3/h]	Pressure [barg]	Temperature [°C]
Closed cooling water suction	950	2.7 – 3.7	<60.83
Closed cooling water discharge	950	7 – 8.1	<60.83
Fin fan cooler inlet	950	7	<60.83
Fin fan cooler outlet	950	6.5	<55
GT generator inlet	500	5.7	<55
GT generator outlet	500	5.1	<57.85
GT LCI cooler inlet	11.3	5.9	<55
GT LCI cooler outlet	11.3	5.5	<62.86
GT generator hydrogen dryer inlet	0.7	5.81	<55
GT generator hydrogen dryer outlet	0.7	5.78	<56.25
GT lube oil cooler inlet	227.4	5.6	<55
GT lube oil cooler outlet	227.4	4.1	<64.93
GT atomizing air cooler inlet	209.16	5.4	<55
GT atomizing air cooler outlet	209.16	3.6	<65.84
GT Base (flame detector) inlet	1.4	5.7	<55
GT Base (flame detector) outlet	1.4	4.8	<60.62

d) **Tableau II. 2. Démarrage des ventilateurs en fonction des températures :**

N°	Température d'entrée de l'air en , °C	Nombre de ventilateurs activés										Température de sortie en , °C
		3ea	4ea	5ea	6ea	7ea	8ea	9ea	10ea	11ea	12ea	
1	12 °C	47.9	45.5	43.5	42	39.8	38.5	36.5	34.8	33.5	32	
2	15 °C	48.5	46.5	44.5	43	40.8	39.5	38	36.3	35	34	
3	20 °C	49	47.5	45.7	44.5	42.5	41	40	38.5	37.5	36	
4	25 °C	50	48.5	47	46	44.2	43	42	40.7	40	39	
5	30 °C		50	48.2	47.5	46	45	44	43	42.5	41.5	
6	35 °C			50	48.7	47.7	47	46.1	45.3	45	44	
7	40 °C				50	49.5	48.8	48.3	47.7	47.5	47	
8	41 °C					50	49.2	48.7	48.2	48	47.5	
9	42 °C						50	49.2	48.6	48.5	48	
10	44 °C							50	49.5	49.3	49	
11	45 °C								50	49.7	49.4	

e) **Séquences et ordre de démarrage des ventilateurs**

Les ventilateurs commencent les séquences suivantes [4]:

- Trois(3) Ventilateurs toujours actif : AN011, AN021, & AN031.
- La séquence des fonctions de ventilateurs commencent dépendamment d'après la température du fluide d'après l'ordre croissant puis décroissant suivant :

0. Les trois premiers ventilateurs toujours actifs: (AN011, AN021, & AN031).
1. Les ventilateurs du deuxième ligne: (AN032, AN022, AN012).
2. Les ventilateurs du troisième ligne: (AN033, AN023, AN013).
3. Les ventilateurs du quatrième ligne: (AN034, AN024, AN014).

A partir de l'ordre suivant à l'arrêt des ventilateurs doit être d'un début plus tard :

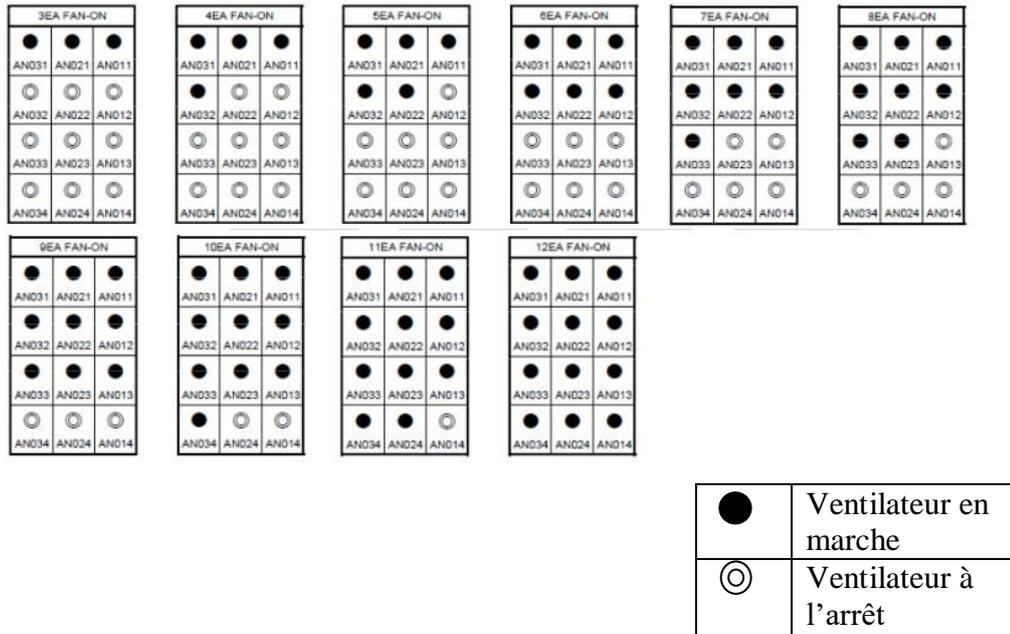


Figure II. 16. Ordre croissant des enclenchements des ventilateurs

II. 7. Analyse des performances du système actuel

a) Performances données (avec ventilateurs selon température de l'air ambiant)

Air et eau de refroidissement (FFAC) pour TG et BOP [5] :

- Mesurez la température de sortie du côté tube.
- Si vous dépassez la température de sortie spécifiée (47 °C), activez le ventilateur un par un pour atteindre la température de sortie .Il prend une minute pour vérifier la variation de température de sortie [5].
- Si la température de sortie est inférieure à la température de sortie spécifiée (42 °C), éteignez le ventilateur un par un pour atteindre la température de sortie .Il prend une minute pour vérifier la variation de température de sortie [5].

b) Courbe de performance [5]

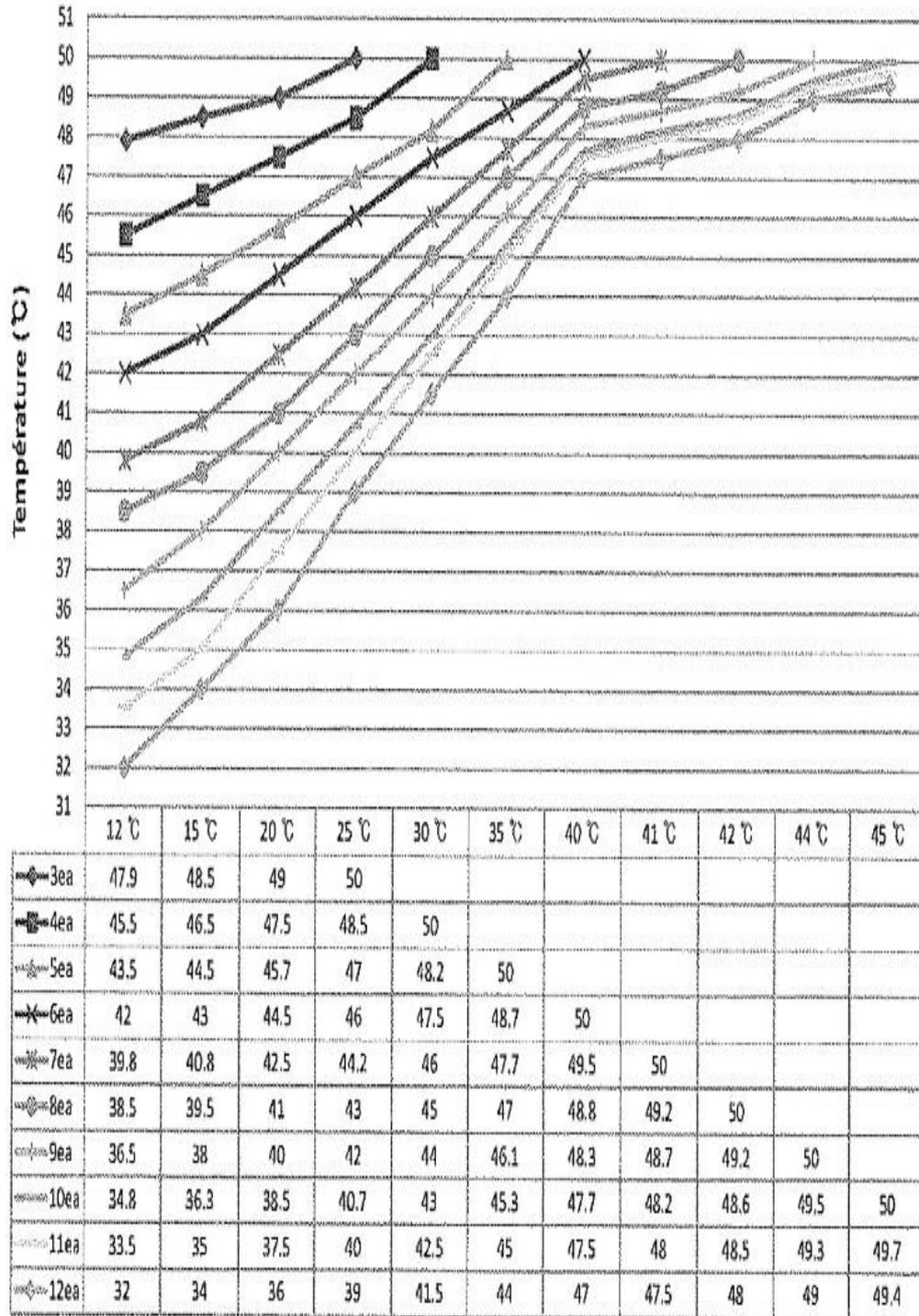


Figure II. 17. Courbe de performance

c) Outils de simulation et de modélisation utilisés dans l'évaluation des performances

Aspen HYSYS (ou simplement HYSYS) est un simulateur de processus chimiques développé par AspenTech et utilisé pour modéliser mathématiquement les processus chimiques, des opérations unitaires aux usines chimiques complètes et aux raffineries [6].

HYSYS est capable d'effectuer un bon nombre des calculs fondamentaux du génie chimique, notamment ceux liés au bilan massique, au bilan énergétique, à l'équilibre vapeur-liquide, au transfert de chaleur, au transfert de masse, et à la cinétique chimique [7].

HYSYS est largement utilisé dans l'industrie et le milieu universitaire pour la simulation en régime permanent et dynamique, la conception de processus, et la modélisation de performances et l'optimisation.

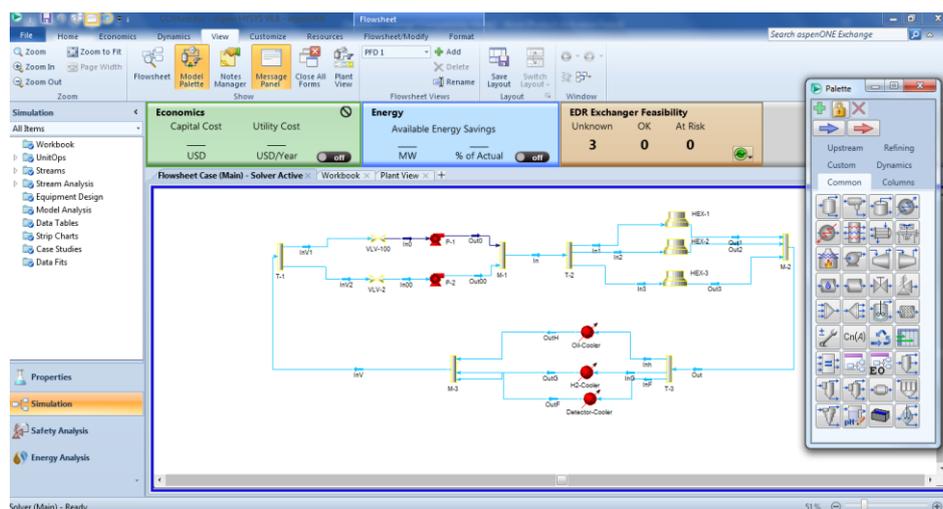


Figure II. 18. Interface de logiciel Aspen Hysys

Le logiciel de simulation Aspen Hysys présente plusieurs environnements essentiels pour faciliter la modélisation et l'analyse des processus. Parmi ces environnements, on trouve généralement l'environnement de configuration des propriétés, où l'utilisateur peut définir les composants et les méthodes de calcul des propriétés qui serviront de base à la simulation.

Ensuite, l'environnement de simulation permet à l'utilisateur de construire visuellement le flux de processus à l'aide d'un diagramme de flux de processus

(PFD). Cet environnement offre des outils pour définir, éditer et analyser les différentes parties du processus, y compris les flux, les modèles d'opérations unitaires et les outils d'analyse [8].

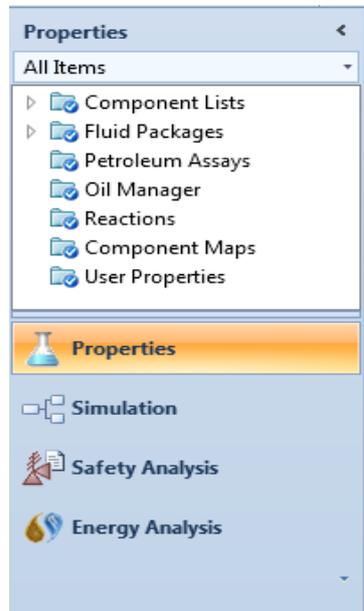


Figure II. 19. Environnement propriétés

L'environnement Propriétés permet de configurer des listes de composants et de les combiner avec des ensembles de propriétés (ensembles de méthodes de calcul de propriétés spécifiques ou adaptées à une tâche) pour former des "*packages fluides*" - les combinaisons de composants et de méthodes de propriétés que vous utilisez comme base pour simuler des flux de matériaux.

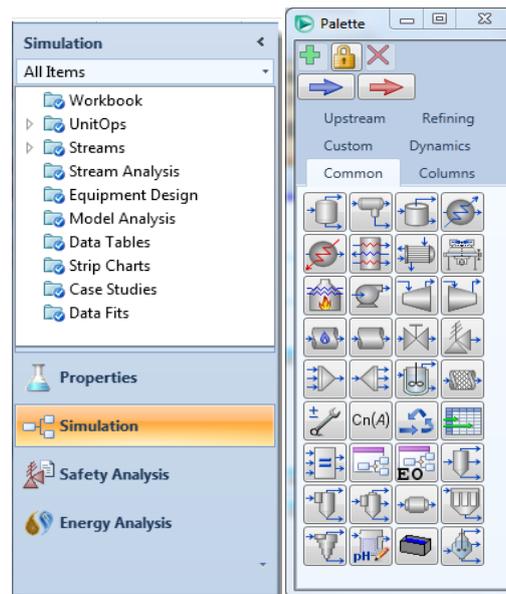


Figure II. 20. Environnement Simulation
et composants

L'environnement de Simulation est utilisé pour construire une représentation visuelle du flux de processus, ou diagramme de flux de processus (PFD). Le volet de navigation vous donne un accès rapide aux outils vous permettant de définir, éditer et analyser les différentes parties du processus ; les flux, les modèles d'opérations unitaires et les outils d'analyse dont vous aurez besoin pour modéliser un processus, enregistrer et analyser les résultats. Pour accéder à l'Environnement de Simulation, cliquez sur Simulation dans le volet de navigation principal.

II. 8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail le système de refroidissement en eau en circuit fermé installé, en mettant l'accent sur les équipements clés tels que les pompes, l'échangeur, les ventilateurs, ainsi que l'instrumentation nécessaire pour surveiller et contrôler efficacement le processus.

De plus, nous avons introduit le logiciel de simulation qui joue un rôle important dans la modélisation et l'analyse de ce système. En combinant ces éléments, nous avons établi une base solide pour comprendre le fonctionnement et l'optimisation du système de refroidissement, tout en soulignant l'importance de l'intégration des technologies modernes telles que la simulation pour améliorer la conception, la performance et l'efficacité des systèmes industriels. À travers cette exploration, nous avons jeté les bases nécessaires pour aborder de manière approfondie les aspects pratiques et théoriques de notre étude

Chapitre III : Résultats

III. 1. Introduction

Dans ce chapitre, on va concentrer sur l'évaluation et la simulation du système actuel, mettant en lumière ses performances dans la prédiction du comportement thermique. Commençons par la présentation des résultats obtenus à partir de la simulation et de la mesure du système en place, démontrant ainsi l'utilité du logiciel AspenHysys dans la prédiction des variations thermiques. Cependant, une problématique majeure émerge lorsque le système atteint son point de saturation thermique, entraînant une diminution de son efficacité et un échange thermique insuffisant. Pour aborder cette problématique, on peut proposer l'évaluation des trois solutions potentielles suivantes:

- Ajuster la vitesse des ventilateurs.
- Modifier la pression et le débit de la pompe.

En outre, et par l'examen d'une solution alternative la plus économique, à savoir l'implémentation d'un système d'arrosage pour améliorer le dispositif de refroidissement. Ce chapitre vise à identifier les limitations du système actuel et à explorer des avenues prometteuses pour optimiser son efficacité thermique.

III. 2. Analyse de l'état actuel

III. 2. 1. Modélisation du système de refroidissement

AspenHysys est un logiciel reconnu dans le domaine de la modélisation et de l'analyse des processus industriels [1]. Ce logiciel offre une plateforme puissante pour simuler et étudier le comportement thermique des circuits de refroidissement en créant des environnements virtuels qui reproduisent fidèlement les modèles réels [2].

Grâce à ses fonctionnalités, AspenHysys permet de représenter avec précision les interactions complexes entre les différents composants du système, tels que les pompes et les échangeurs de chaleur. Les paramètres de ces éléments sont intégrés de manière à correspondre étroitement à ceux du modèle réel, garantissant ainsi des résultats précis et fiables [3].

La figure ci-après illustre un exemple de modèle de circuit de refroidissement étudié à l'aide de ce logiciel, démontrant ainsi sa capacité à visualiser et à analyser efficacement les processus thermiques.

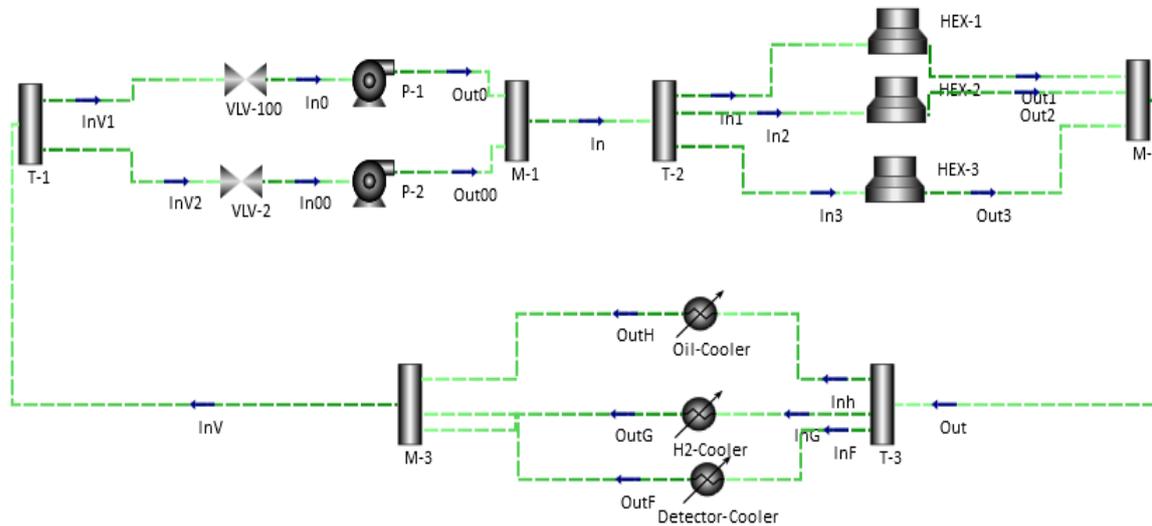


Figure. III. 1. Représentation du circuit de refroidissement par eau en circuit fermé

Une interface permet d'insérer facilement les caractéristiques de la pompe dans le modèle. Cette interface est schématisée dans la (figure III. 2), offrant une représentation visuelle des paramètres de la pompe à configurer.

Parmi les paramètres clés on peut spécifier la pression à l'aspiration et au refoulement de la pompe, ainsi que le débit de refoulement. Ces données essentielles sont intégrées dans le modèle pour refléter fidèlement le comportement de la pompe dans le système de refroidissement simulé.

Pump: P-1			
Design Rating Worksheet Performance Dynamics			
Worksheet	Name	In0	Out0
Conditions	Vapour	0,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	37,00	37,00
Composition	Pressure [kPa]	311,0	601,3
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	5,597e+004	5,597e+004
	Mass Flow [kg/h]	1,008e+006	1,008e+006
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1010	1010
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole-C]	-2,853e+005	-2,853e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	56,77	56,76
	Heat Flow [kJ/h]	-1,597e+010	-1,597e+010

Figure. III. 2. Interface pour paramétrer la pompe

L'interface d'échangeur thermique offre un outil robuste où l'utilisateur peut aisément spécifier les paramètres de l'échangeur. Parmi ces paramètres figurent la puissance de l'échangeur, un élément crucial déterminant sa capacité à transférer la chaleur efficacement.

En permettant aux utilisateurs de saisir cette valeur, l'interface offre une flexibilité pour explorer divers scénarios et optimiser les performances thermiques de l'échangeur. De même, la possibilité de définir le nombre de ventilateurs constitue un aspect essentiel de la conception de l'échangeur thermique. Plus le nombre de ventilateurs est élevé, plus le flux d'air traversant l'échangeur peut être augmenté, ce qui peut avoir un impact significatif sur son efficacité.

Enfin, la vitesse de rotation des ventilateurs est un autre facteur déterminant qui influe directement sur la quantité d'air déplacée à travers l'échangeur.

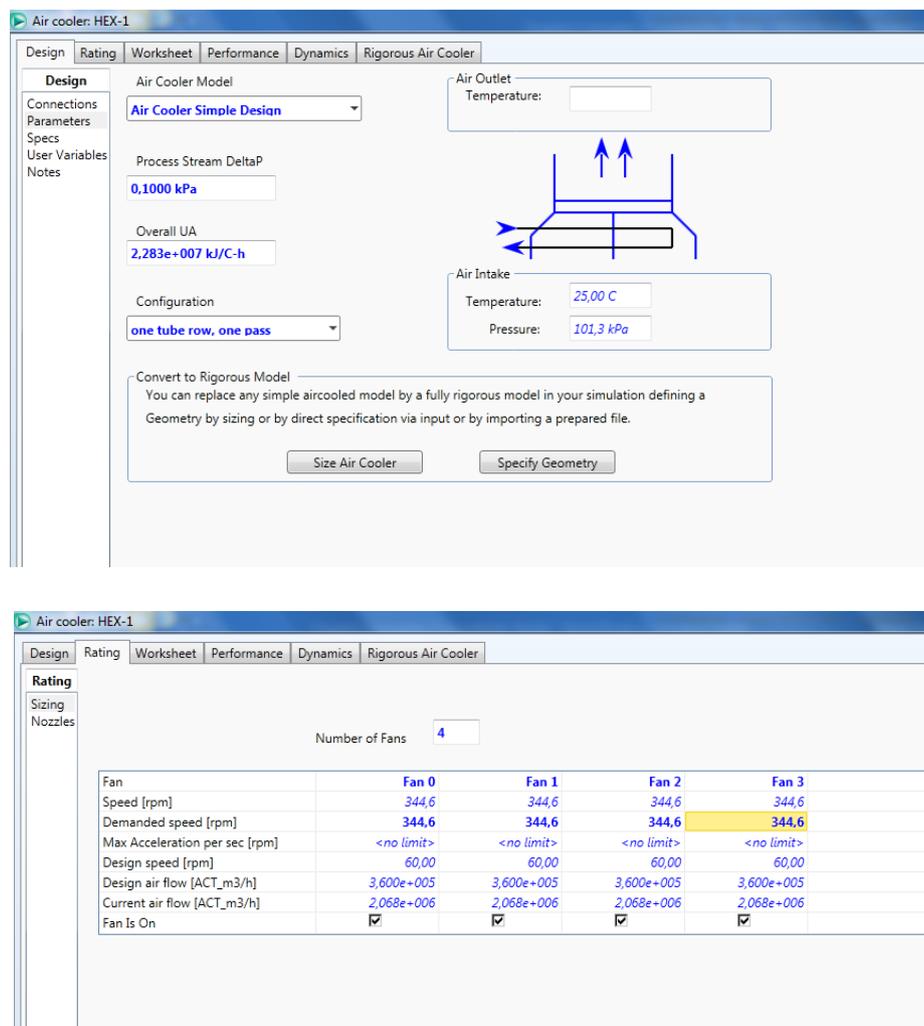


Figure. III. 3. Interface pour paramétrer l'échangeur

Le système de refroidissement actuel est conçu pour maintenir la température de l'eau à des niveaux optimaux, assurant ainsi un fonctionnement efficace de nos équipements.

Un graphe, (figure III. 4), illustrant l'évolution de la température de l'eau à la sortie révèle des tendances significatives. Nous observons que lorsque la température de l'air de refroidissement correspond à celle de l'eau à refroidir, l'efficacité de l'échange thermique diminue considérablement. Au-delà de ce point, l'eau cesse de se refroidir et commence même à se réchauffer.

Cette observation souligne l'importance cruciale de maintenir une différence de température appropriée entre l'air de refroidissement et l'eau à refroidir pour garantir des performances optimales du système de refroidissement.

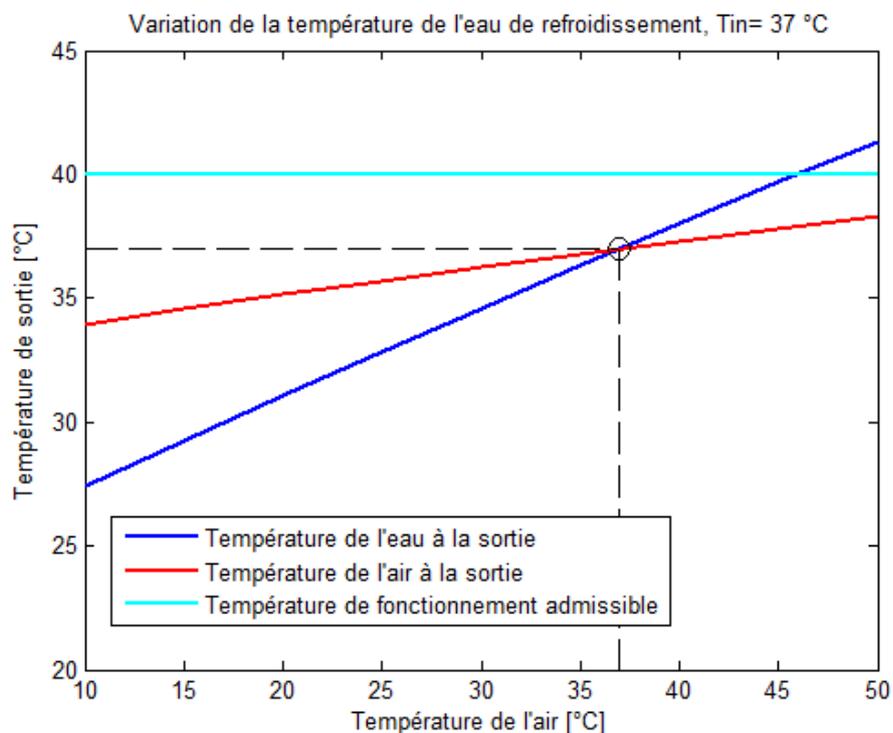


Figure. III. 4. Variation des températures de l'air et de l'eau de refroidissement

L'évolution de la température de l'eau de refroidissement est étroitement liée à la température de l'air ambiant et à la différence de température entre l'eau à l'entrée et l'air. Lorsque l'eau entre dans le système de refroidissement à des températures de 35°C, 40°C ou 45°C, elle est soumise à un processus de refroidissement qui dépend principalement de la température de l'air environnant.

Si l'air est plus chaud, le potentiel de refroidissement de l'eau est réduit, ce qui signifie que la différence de température entre l'eau entrante et l'air est moindre. Par conséquent, la température de l'eau à la sortie du système de refroidissement est moins refroidie dans ces conditions.

Ce phénomène est illustré par les courbes présentées sur la figure ci-dessous, où l'on peut observer que pour des températures d'eau à l'entrée plus élevées, la température de l'eau à la sortie reste plus proche de la température d'entrée lorsque la température de l'air augmente.

En revanche, lorsque la température de l'air est plus basse, la capacité de refroidissement de l'eau est plus efficace, entraînant une plus grande différence de température entre l'eau entrante et sortante, voir la (figure III. 5).

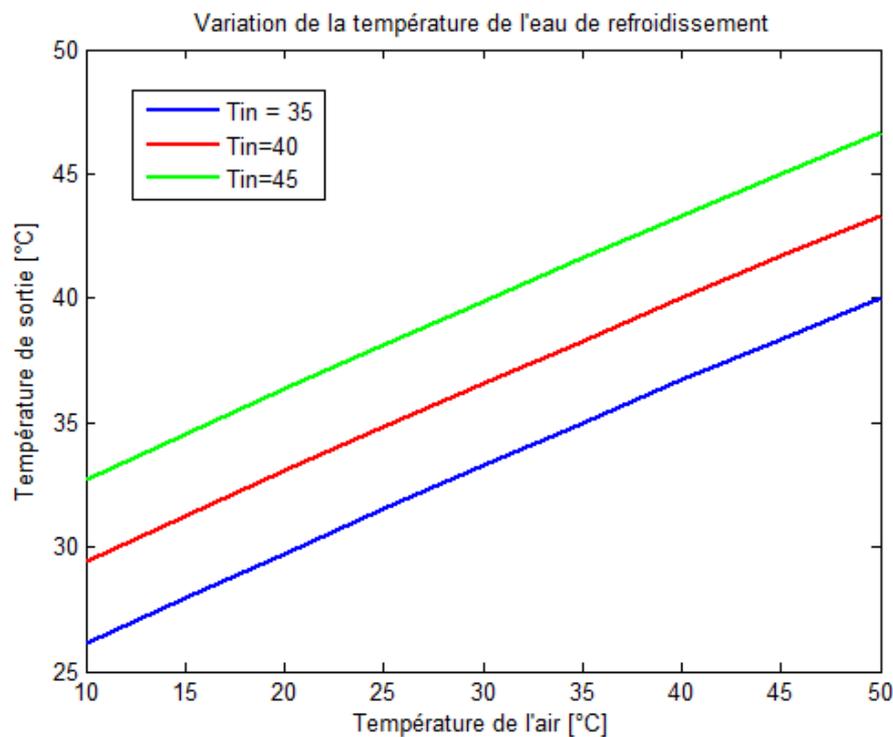


Figure. III. 5. Variation de la température de l'eau à la sortie pour différentes températures à l'entrée

Dans le cas où l'échangeur est doté de 4 ventilateurs, chaque ventilateur contribue à la dissipation de la chaleur de manière significative. En évaluant la température à la sortie avec un ventilateur arrêté à la fois, nous constatons une corrélation directe entre le nombre de ventilateurs en marche et l'efficacité de l'échange thermique. Plus le nombre de ventilateurs en fonctionnement augmente plus l'échange thermique est efficace, voir la (figure III. 6).

Lorsque la température à l'entrée est maintenue à 40°C, il est observé qu'à un certain point, lorsque la température de l'air avoisine les 40°C, l'efficacité de l'échange thermique atteint son maximum. Au-delà de cette température, un phénomène de saturation se produit, où l'eau à la sortie absorbe d'avantage de chaleur tandis que l'air chaud devient plus froid. Cela peut être dû à une capacité limitée des ventilateurs à extraire la chaleur de l'eau lorsque l'air ambiant est déjà proche ou au-dessus de la température de l'eau d'entrée.

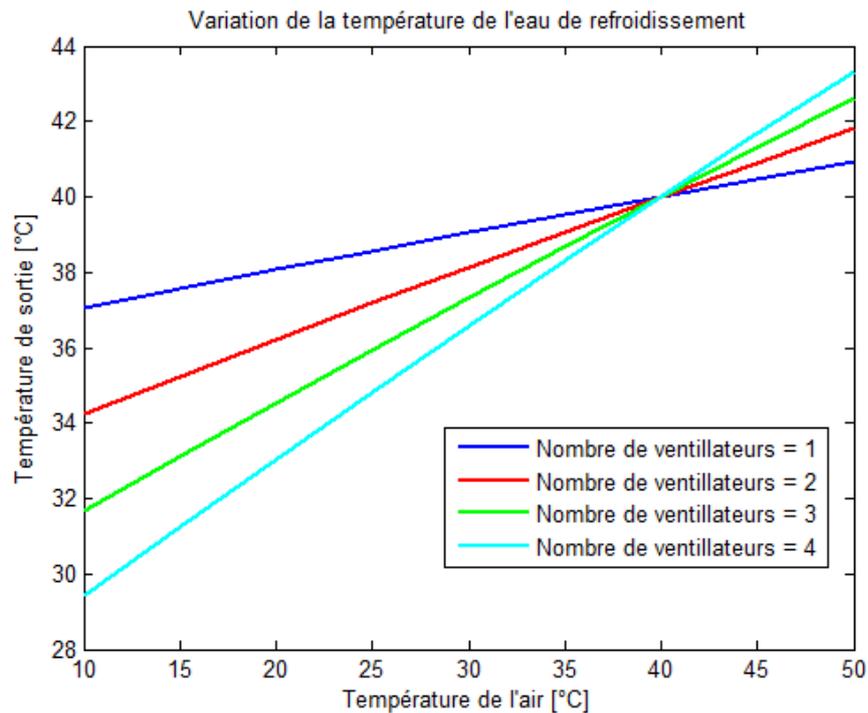


Figure. III. 6. Variation de la température à la sortie en fonction de nombre de ventilateurs en service.

Les résultats présentés sur la (figure III. 7) illustrent la comparaison entre les températures de l'eau à la sortie simulées et mesurées à partir du système de refroidissement réel. Les deux courbes mettent en évidence l'évolution de la température au fil du temps, fournissant ainsi une représentation visuelle de la performance de notre modèle par rapport aux données réelles.

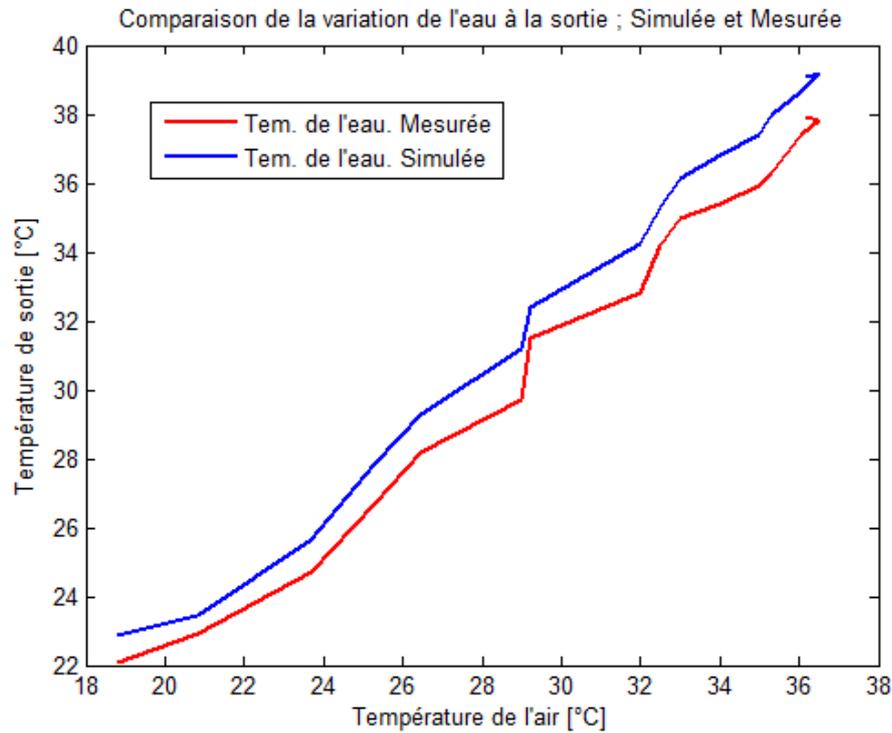


Figure. III. 7. Comparaison de la variation de la température de l'eau à la sortie ; mesurée et Simulée.

Cette courbe souligne la cohérence remarquable entre notre modèle de simulation et les conditions réelles du système de refroidissement. En constatant cette proximité entre les deux ensembles de données, avec une différence maximale de (1.5°C). Il devient évident que notre système simulé est en phase avec le système réel, confirmant son utilité dans la prédiction du comportement thermique.

III. 2. 2. Problématique

La zone de Bellara, particulièrement pendant les périodes caniculaires, est sujette à un phénomène de saturation thermique, où l'efficacité de l'échange thermique peut être compromise voire réduit à un niveau insignifiant. Ce problème est critique car il impacte directement les systèmes de refroidissement, entraînant une inefficacité dans la dissipation de la chaleur, ce qui peut conduire à des dysfonctionnements et des surchauffes.

Dans le cadre de notre travail visant à améliorer le système de refroidissement dans cette zone, nous concentrons sur la recherche de solutions pour surmonter ce phénomène de saturation thermique. À cette fin, nous avons entrepris des simulations pour évaluer différentes approches et leurs effets sur l'échange thermique.

À travers nos simulations, nous avons pu observer les performances de ces différentes solutions et évaluer leur efficacité respective dans la réduction du phénomène de saturation thermique. Les résultats obtenus nous fournissent des indications précieuses pour orienter nos efforts vers les approches les plus prometteuses afin d'améliorer significativement le système de refroidissement dans la zone de Bellara, même pendant les périodes caniculaires.

III. 3. Impact de la variation de la vitesse des ventilateurs

En augmentant la vitesse de rotation des ventilateurs, nous pouvons observer une réduction significative de la température de l'air. Ce phénomène s'explique en partie par l'effet d'expansion, basé sur la loi de Boyle, qui régit le comportement des gaz. Lorsque la vitesse des ventilateurs est accrue, l'air est comprimé et accéléré à travers les pales du ventilateur, ce qui entraîne une augmentation de la pression et une diminution du volume, conformément à la loi de Boyle (équation III. 1) [4]. Cette expansion rapide de l'air à la sortie du ventilateur contribue à abaisser sa température [5] [6].

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (III.1)$$

Supposons maintenant que la vitesse des ventilateurs soit variable, contrôlée par un variateur de vitesse. Pour évaluer son impact, nous avons mené des tests en faisant varier la vitesse des ventilateurs à 500, 750, 1000, 1250 et 1500 tr/min. Les résultats de ces tests ont été représentés graphiquement sur la (figure III. 8).

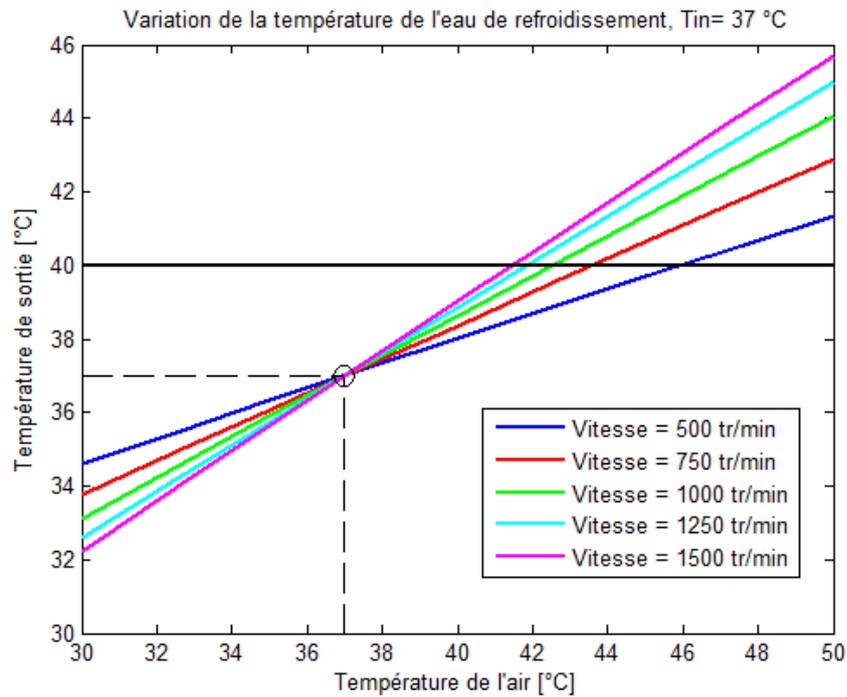


Figure. III. 8. Variation de la température de l'eau à la sortie en fonction de la vitesse de rotation des ventilateurs.

En dépit de l'efficacité notable de l'augmentation de la vitesse des ventilateurs pour réduire la température de l'air, il convient de noter que cette approche peut ne pas résoudre complètement le problème de refroidissement de l'eau dans certains cas. La température de l'eau à la sortie peut ne pas subir de grands changements en raison d'une convection insuffisante, où la vitesse de l'air peut perturber le processus naturel de convection de la chaleur de l'eau vers l'air ambiant.

Cette solution peut également être compliquée et nécessite un coût supplémentaire pour l'installation de variateurs de vitesse, ce qui peut ne pas être économiquement fiable dans toutes les situations. Ainsi, une approche plus complète et intégrée, prenant en compte les différentes variables du système de refroidissement, peut être nécessaire pour résoudre efficacement le problème de la température de l'eau.

III. 4. Impact de la variation de la pression de la pompe

Une autre approche considérée consiste à ajuster la pression de la pompe utilisée pour propulser l'eau à travers le système de refroidissement. Cependant, nos résultats expérimentaux révèlent que cette manipulation ne conduit pas nécessairement à une amélioration notable de l'échange thermique.

Bien que l'on puisse s'attendre à ce qu'une augmentation de la pression de la pompe accroisse potentiellement le débit d'eau à travers le système, cette augmentation ne se traduit pas toujours par une amélioration significative du transfert de chaleur entre l'eau et l'air.

Il est noté que d'autres variables, telles que la répartition de la chaleur dans l'eau et les conditions environnementales, peuvent être influencées de manière importante l'efficacité du processus de refroidissement.

Les résultats détaillés de nos tests sont présentés sur la (figure III. 9) suivante. Les courbes se chevauchent pour former une seule courbe.

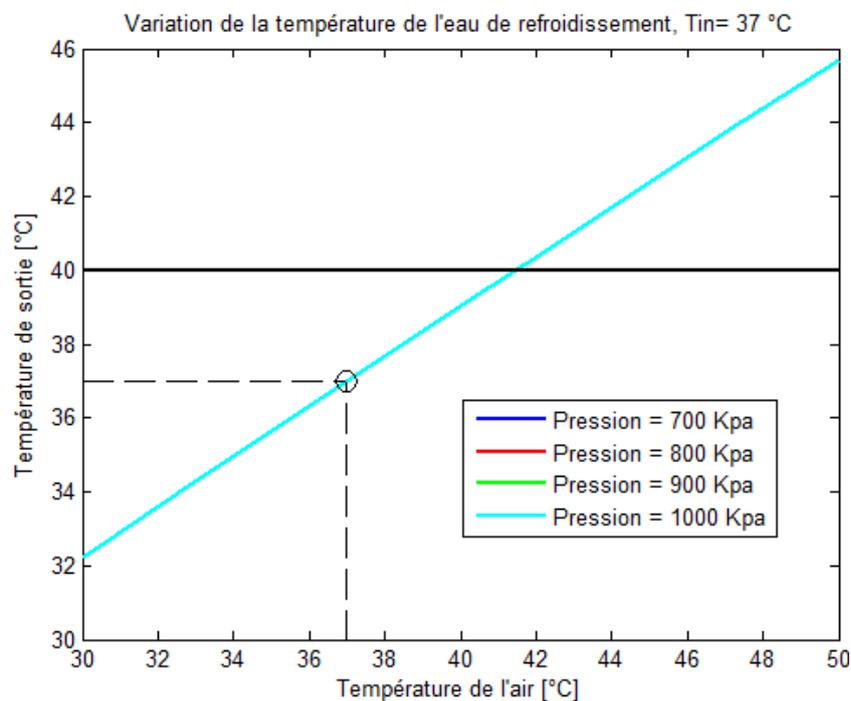


Figure. III. 9. Température de l'eau à la sortie en fonction de la pression de la pompe.

III. 5. Impact de la variation du débit de la pompe

Le changement du débit de la pompe tout en maintenant une pression constante a conduit à une observation significative : une amélioration notable du système de refroidissement. Comme illustré dans la figure suivante, les débits choisis, à savoir 300, 400, 500 et 600 kg/h, ont été méticuleusement étudiés. Cette approche s'est avérée plus efficace par rapport aux solutions précédemment envisagées.

Cependant, elle comporte un inconvénient majeur : elle nécessite des modifications des dimensions de la pompe et de la tuyauterie existantes. Cette adaptation entraîne inévitablement des coûts supplémentaires, rendant cette solution moins économique à mettre en œuvre à grande échelle.

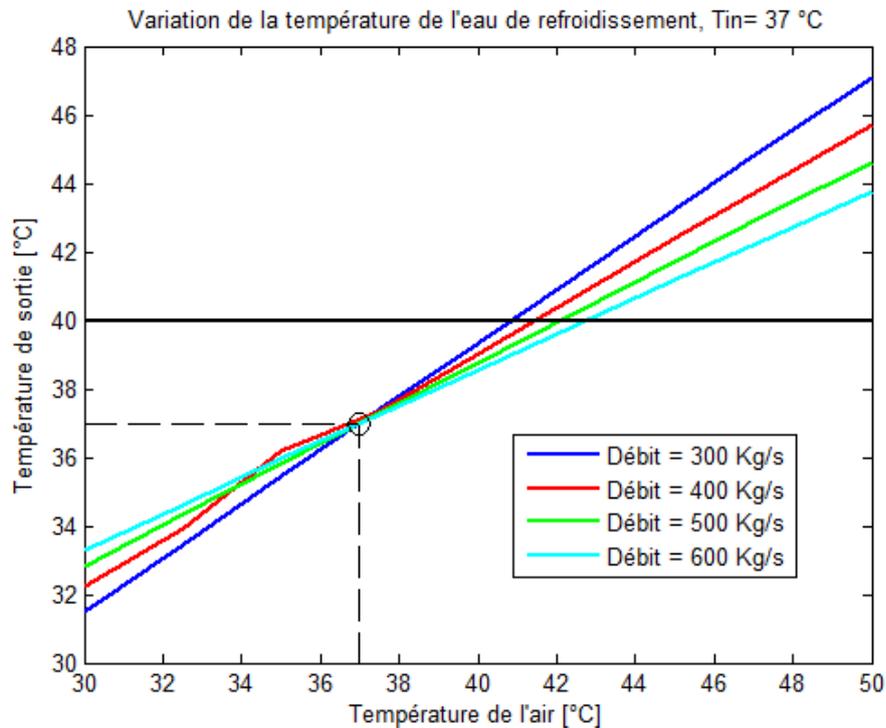


Figure. III. 10. Température de l'eau à la sortie en fonction du débit de la pompe.

III. 6. Le système d'arrosage comme solution

Après avoir expérimenté trois solutions visant à améliorer le système de refroidissement de l'eau, il est devenu évident que ces approches n'étaient pas efficaces soit en termes de réduction de la température, soit sur le plan économique. Face à ces résultats, il est judicieux de conserver les dimensions actuelles du système de refroidissement tout en explorant une alternative plus prometteuse : l'utilisation d'un système de refroidissement auxiliaire, tel qu'un système d'arrosage. Cette approche permettrait de réguler la température de l'air environnant, offrant ainsi une solution plus viable et efficace pour maintenir les performances du système de refroidissement tout en optimisant les coûts.

III. 6. 1 Système d'arrosage

Le système d'arrosage joue un rôle essentiel dans la régulation de la température ambiante, offrant une solution continue de refroidissement de l'air environnant. Constitué d'une pompe haute pression et d'un réseau de buses d'injection d'eau, chaque ventilateur est équipé d'une de ces buses.

Lorsque le système est activé, la pompe haute pression propulse l'eau à travers les buses, créant ainsi un fin brouillard qui est dispersé dans l'air par les ventilateurs. Ce processus permet une réduction significative de la température ambiante en évaporant l'eau dans l'air, offrant un soulagement bienvenu lors des journées chaudes et ensoleillées. La (figure III. 11) suivante représente une schématisation de notre système d'arrosage.

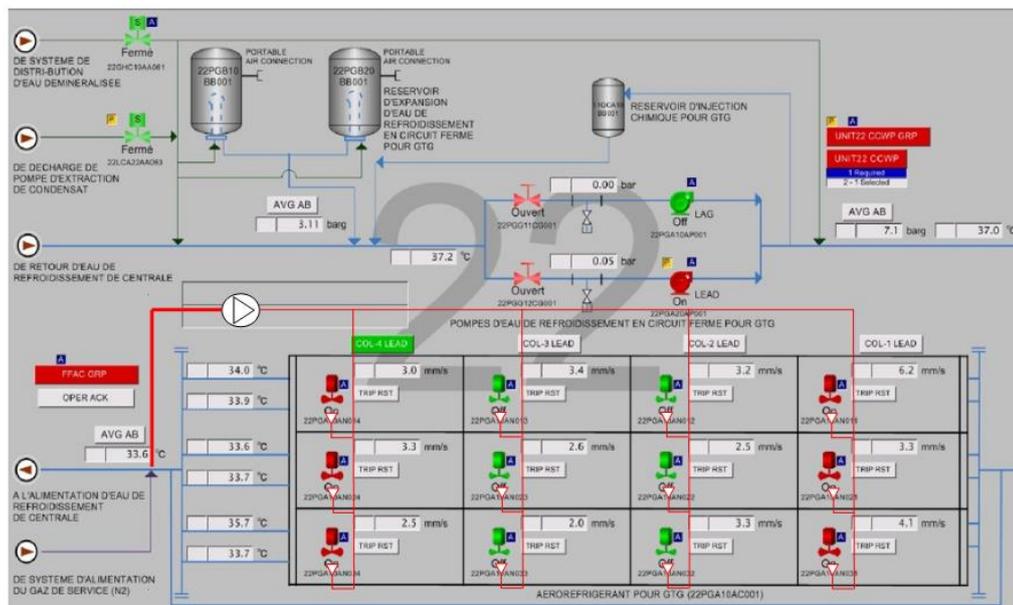


Figure. III. 11. Représentation du système d'arrosage installé.

Dans notre système d'arrosage, nous avons plusieurs composants essentiels qui travaillent de concert pour distribuer l'eau de manière efficace. Tout d'abord, nous avons la source d'eau, qui est généralement prise à partir de la sortie d'eau froide.

Cette source alimente ensuite la pompe, qui est responsable d'augmenter la pression de l'eau jusqu'à 80 bars pour permettre une distribution adéquate dans tout le système. Les tuyaux et conduites, transportent de l'eau depuis la pompe vers les zones à arroser. Ces tuyaux sont soigneusement disposés pour couvrir l'ensemble de la zone de manière efficace.

En fin, les buses, ou les gicleurs, sont les éléments finaux du système, dispersant l'eau de manière contrôlée et uniforme sur la surface ciblée.



Figure. III. 12. Pompe utilisée dans le système d'arrosage

- Poids : 3.5 kg.
- Puissance : 1.35 kW.
- Pression maximale : 80 bars.
- Débit maximal : 8 litre/min.
- Vitesse de rotation : 1450 tr/min.



Figure. III. 13. Buses d'injection de l'eau pulvérisée

III. 6. 2 Etude de l'amélioration

Grâce au système d'arrosage installé, nous avons mesuré une baisse d'environ(0,5) degré Celsius dans la température de l'air ambiant grâce au système d'arrosage installé. Cette diminution significative témoigne de l'efficacité du système dans le maintien d'une atmosphère plus agréable et confortable.

En abaissant la température ambiante, nous diminuons également la température de l'eau utilisée dans le processus de refroidissement. Cette baisse de température de l'eau contribue à améliorer l'efficacité globale du système de refroidissement en circuit fermé.

Lorsque le nombre de buses est important, la dispersion de l'eau couvre une surface plus large, ce qui favorise un meilleur échange thermique avec l'air ambiant. Par conséquent, une baisse de (0.5, 1, 1.5 ou 2) degrés de la température de l'air peut être obtenue en ajustant le nombre de buses en conséquence.

En augmentant le nombre de buses, la surface d'interaction entre l'eau et l'air augmente, ce qui permet une dissipation thermique plus efficace. Ainsi, il est clair que plus le nombre de buses est élevé, plus la baisse de température de l'eau sera significative à la sortie du système de refroidissement.

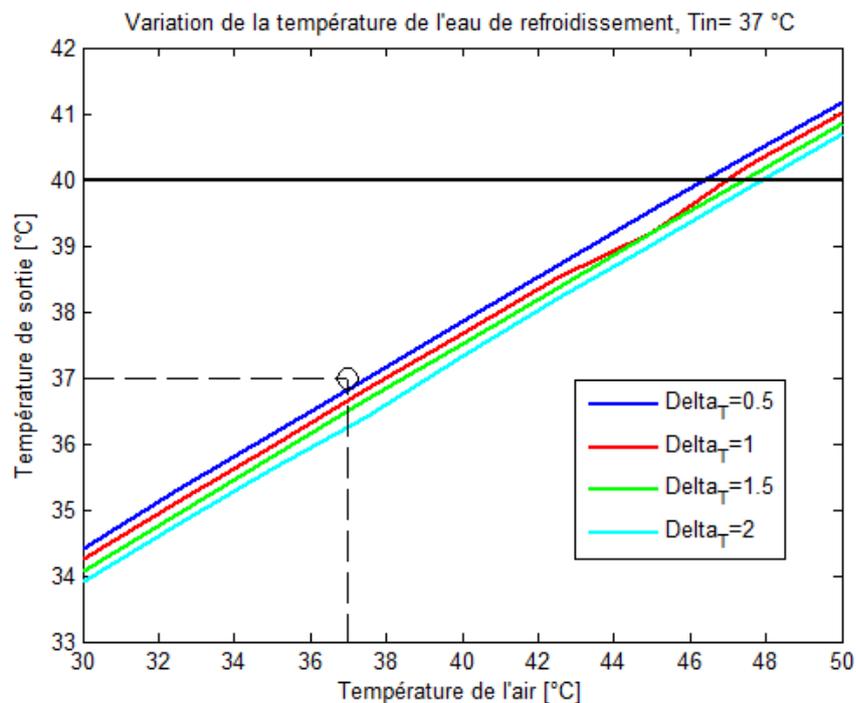


Figure. III. 14. Variation de la température de l'eau de refroidissement en fonction de la variation de la température de l'air après la mise en service du système d'arrosage

La (figure III. 14) ci-dessus illustre l'évolution de la baisse de température de l'eau en fonction de la différence de température avant et après arrosage. En observant les différents points de données représentant des baisses de température de (0.5, 1, 1.5 et 2) degrés, il est clair que l'augmentation du nombre de buses entraîne une diminution plus prononcée de la température de l'air.

Cette corrélation directe entre le nombre de buses et la baisse de température confirme l'importance de l'optimisation du nombre de buses dans la conception des systèmes de refroidissement pour obtenir les performances thermiques souhaitées.

III. 7. Conclusion

Dans cette étude de simulation du système de refroidissement en circuit fermé à l'aide du logiciel AspenHysys, nous avons démontré la cohérence entre le modèle simulé et la réalité du système. Face au défi de l'inefficacité à des températures d'air plus élevées, nous avons présenté trois solutions potentielles. L'ajustement de la vitesse de rotation des ventilateurs et le changement de pression de la pompe n'ont pas significativement amélioré le processus de refroidissement. Bien que l'augmentation du débit de la pompe se soit révélée efficace, cette solution s'avère coûteuse.

Nous avons donc exploré une alternative plus économique : un système d'arrosage injectant de l'eau pulvérisée dans l'air pour abaisser la température ambiante, et ainsi améliorer sensiblement l'efficacité du refroidissement. Malgré ses avantages, ce système se limite à une seule buse en raison de contraintes budgétaires, empêchant ainsi son développement approfondi.

En définitive, cette étude met en lumière l'importance de l'optimisation des ressources pour parvenir à des solutions de refroidissement efficaces et économiques.

IV. Conclusion Générale

Dans le cadre de cette thèse, on a exploré en profondeur le système de refroidissement en circuit fermé de la centrale électrique de Bellara, utilisant le logiciel Aspen Hysys pour créer un environnement virtuel précis pour modéliser et simuler ce système. Notre étude a mis en lumière les défis critiques rencontrés, notamment la saturation thermique des échangeurs, qui compromet gravement l'efficacité globale du système de refroidissement.

L'importance capitale du système de refroidissement par eau en circuit fermé pour la centrale électrique ne peut être sous-estimée, car il assure le refroidissement essentiel de l'huile de lubrification et de l'hydrogène, des éléments cruciaux pour le bon fonctionnement des unités de production d'électricité. Cependant, la présence de phénomène de saturation thermique représente un défi significatif, affectant directement la capacité de refroidissement du système et la fiabilité opérationnelle des équipements à refroidir tel que le générateur et les paliers turbine.

Les solutions proposées, telles que l'optimisation des paramètres opérationnels des équipements comme le débit et la pression de la pompe, la vitesse des ventilateurs et l'intégration de nouveaux équipements auxiliaire, offrent des solutions pour renforcer l'efficacité globale du système. Cette étude démontre que l'investissement dans l'optimisation des systèmes de refroidissement est non seulement nécessaire pour maintenir la fiabilité des équipements, mais aussi indispensable pour répondre aux défis croissants en matière de performance énergétique et environnementale.

En conclusion, ce travail offre un aperçu approfondi des défis existants dans le domaine de l'échange thermique, en mettant particulièrement en lumière les complexités rencontrées dans la gestion des systèmes de refroidissement en circuit fermé des centrales électriques, comme illustré par l'étude de la centrale de Bellara. Les perspectives de ce travail sont prometteuses, car elles se concentrent sur le développement d'échangeurs de chaleur dont la conception est modélisée de manière précise. En utilisant des outils comme Aspen Hysys pour simuler et optimiser ces modèles, il est possible de repousser les limites actuelles de l'efficacité thermique.

Voici quelques recommandations essentielles que nous pouvons envisager pour le maintien et l'amélioration des performances optimales du circuit de refroidissement :

➤ Optimisation du débit d'eau et d'air :

Assurer que le débit d'eau et d'air est correctement ajusté pour garantir un transfert de chaleur efficace. Des débits inadéquats peuvent entraîner une inefficacité du système.

➤ Nettoyage régulier des surfaces d'échange :

Veiller à nettoyer régulièrement les surfaces d'échange, tel que les échangeurs de chaleur, pour éliminer tout dépôt qui pourrait réduire l'efficacité du transfert de chaleur.

➤ Contrôle de la température de l'eau et de l'air :

Surveiller et maintenir les températures de l'eau et de l'air à des niveaux optimaux pour garantir un refroidissement efficace sans surconsommation d'énergie.

➤ Utilisation de technologies de pointe :

Envisagez d'investir dans des technologies de refroidissement plus avancées, telles que des ventilateurs à vitesse variable, des pompes à haute efficacité énergétique ou des systèmes de contrôle automatisés.

➤ Maintenance préventive régulière :

Planification des routines de maintenance préventive pour vérifier et entretenir régulièrement tous les composants du système de refroidissement afin d'éviter les pannes et de maintenir des performances optimales.

➤ Surveillance continue des performances :

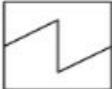
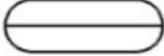
Instaurez un suivi régulier des performances du système à l'aide de capteurs et d'instruments de mesure pour détecter les éventuels problèmes en temps réel et apporter des ajustements si nécessaire. En mettant en œuvre ces recommandations et en adoptant une approche proactive pour l'entretien et l'optimisation du système de refroidissement eau/air en circuit fermé.

- [1]. Benbrik. Cours de Transfert de chaleur, photocopié, Boumerdès, 2011
- [2]. Y. A. Çengel and R. H. Turner. Fundamentals of Thermal Fluid Sciences. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [3]. F. P. Incropera and D. P. DeWitt. Introduction to Heat Transfer. 4th ed. New York: JohnWiley & Sons, 2002.
- [4]. F. Kreith and M. S. Bohn. Principles of Heat Transfer. 6th ed. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 2001.
- [5]. Kirk D. Hagen. Heat Transfer with Applications. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1999.
- [1]. Manuel: DESCRIPTION DU SYSTEME POUR AEROREFROIDISSEUR.
- [2]. Manuel: FICHE TECHNIQUE POUR AEROREFROIDISSEUR (CYCLE COMBINE).
- [3]. Manuel: TECHNICAL SPECIFICATION FOR FIN FAN AIR COOLER (COMBINED CYCLE).
- [4]. Manuel: OPERATION & MAINTENANCE MANUAL FOR FIN FAN AIR COOLER.
- [5]. Manuel: PERFORMANCE CURVE FOR FIN FAN AIR COOLER (COMBINED CYCLE).
- [6]. **"Aspen Plus: Historical Footnotes"**. *Chemical Engineering Junkie*. Archived from [the original](#) on 7 March 2017.
- [7]. **"FTC Orders Aspen Technology, Inc. to Divest Assets from its 2002 Purchase of Hyprotech, Ltd"**. *Federal Trade Commission*. Archived from [the original](#) on 2008-06-02.
- [8]. **"Aspen Technology Signs Definitive Transaction with Honeywell as Part of Settlement with the Federal Trade Commission"**(PDF). Retrieved 10 December 2016.
- [1]. **"Aspen Plus: Historical Footnotes"**. *Chemical Engineering Junkie*. Archived from [the original](#) on 7 March 2017.
- [2]. **"FTC Orders Aspen Technology, Inc. to Divest Assets from its 2002 Purchase of Hyprotech, Ltd"**. *Federal Trade Commission*. Archived from [the original](#) on 2008-06-02.

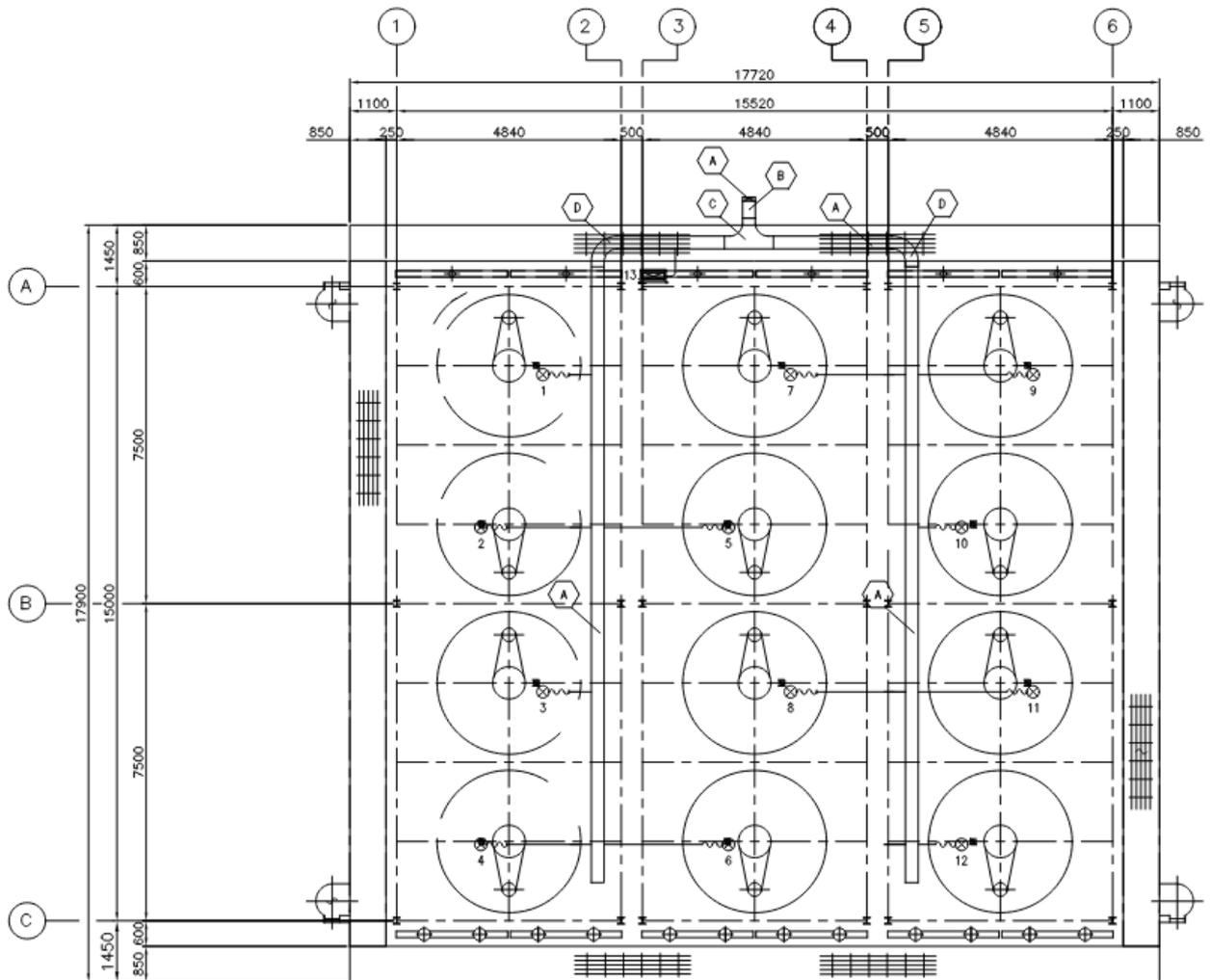
- [3]. "Aspen Technology Signs Definitive Transaction with Honeywell as Part of Settlement with the Federal Trade Commission"(PDF). Retrieved 10 December 2016.
- [4]. Lucien Borel et Daniel Favrat, *Thermodynamique et énergétique*, vol. 1, Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 2005.
- [5]. Danielle Baeyens-Volant, Pascal Laurent et Nathalie Warzée, *Chimie générale : Exercices et méthodes*, Dunod, 2019, p. 384.
- [6]. Michel Lagièrre, *Physique industrielle des fluides : Notions fondamentales et applications numériques*, Paris, Éditions Technip, 1996, p. 122.

Annexes

Table des symboles

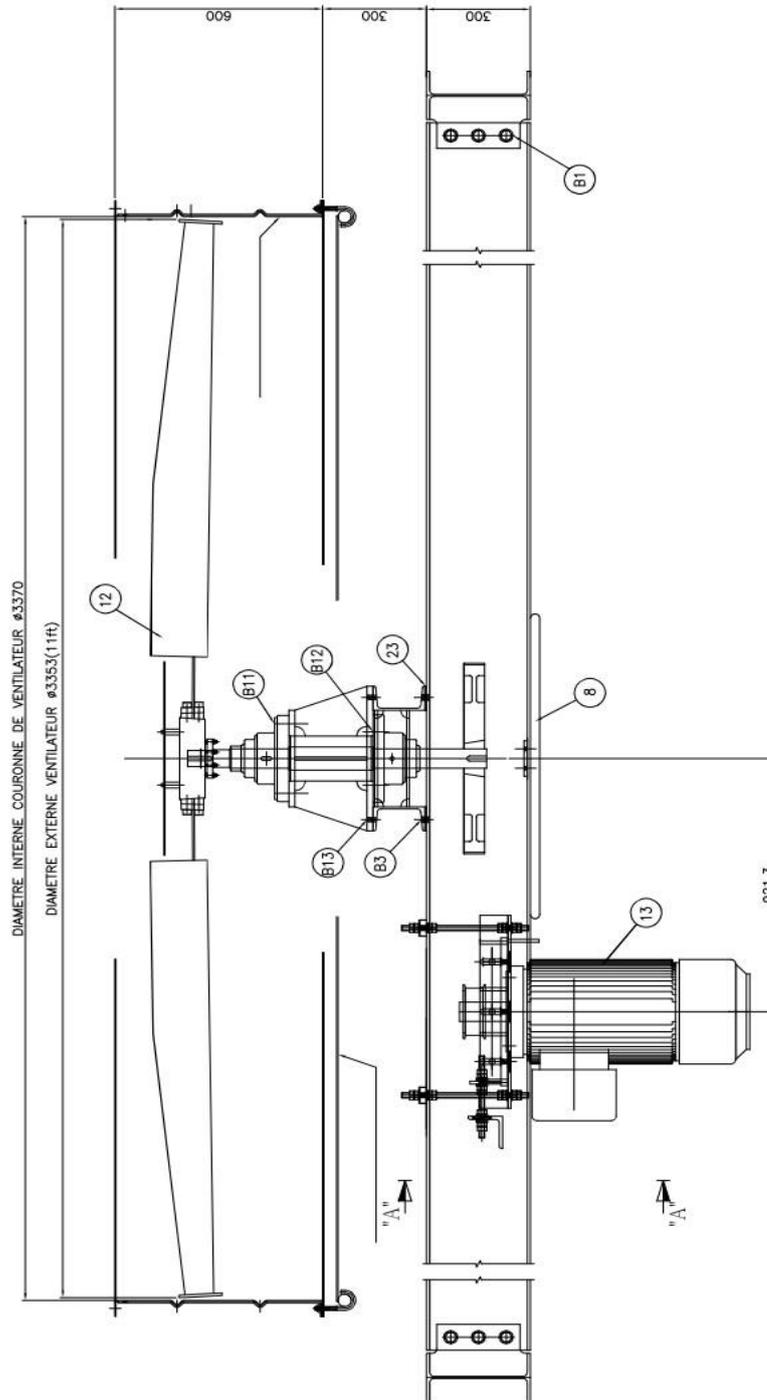
Symbole	Signification	Symbole	Signification
	Pompe		Réservoir
	Ventilateur		Bâche
	Échangeur		Moteur
	En salle de contrôle		Local
	Filtre		Robinet à soupape NO
	Robinet à boule NF		Clapet de non-retour
	Robinet à boule NO		Vanne à papillon
	Identification du système		Condition de ligne.
	Changement du système.		Changement de ligne

Annexe A

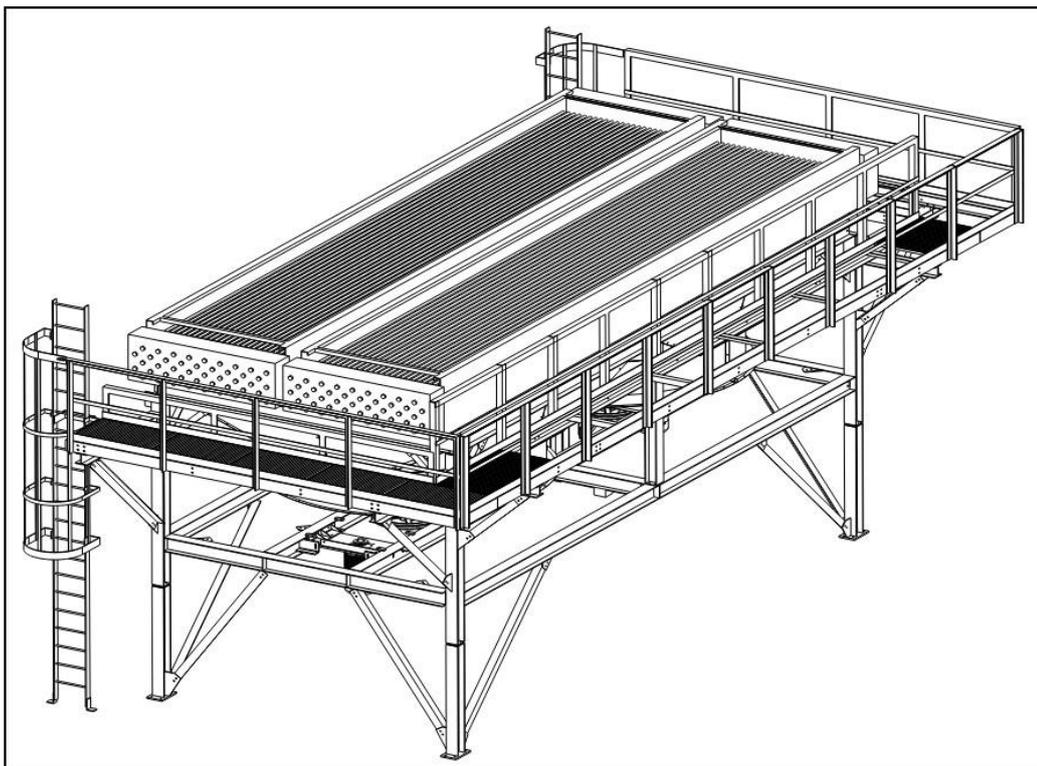
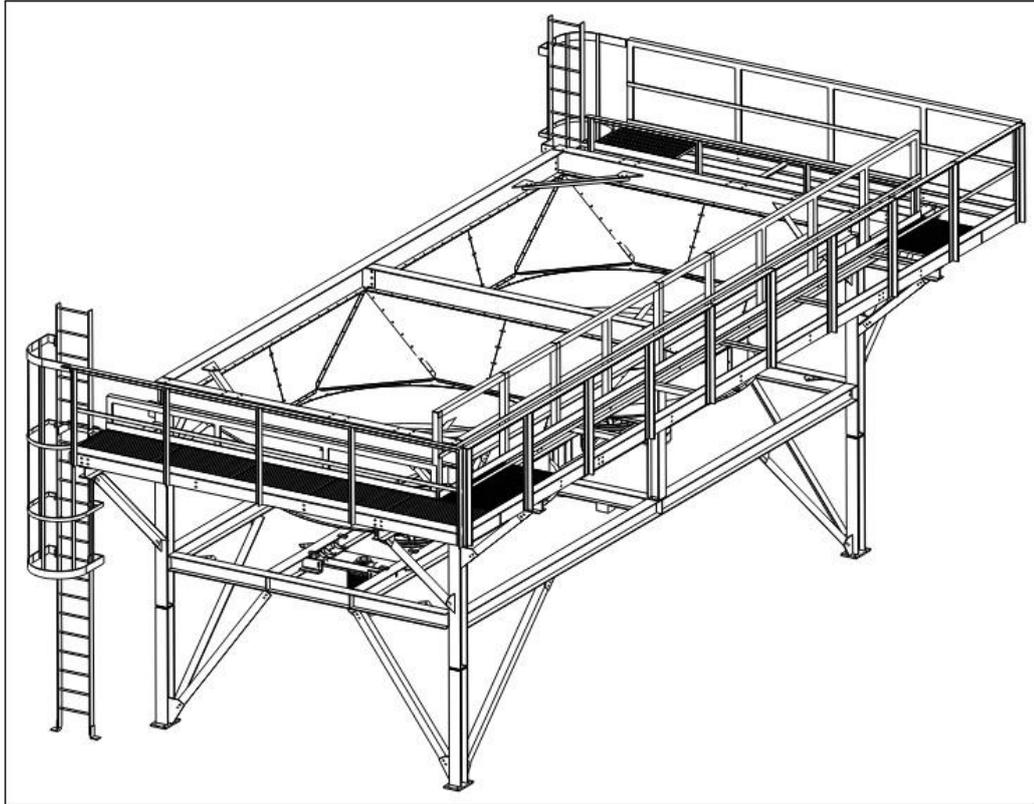


Dimensionnements du système de refroidissement (CCW)
(Vue de haut)

Annexe B



Vue d'assemblage partie rotative d'un ventilateur
 (CCW)



Disposition des faisceaux de tubes du système de refroidissement (CCW)

Annexe C

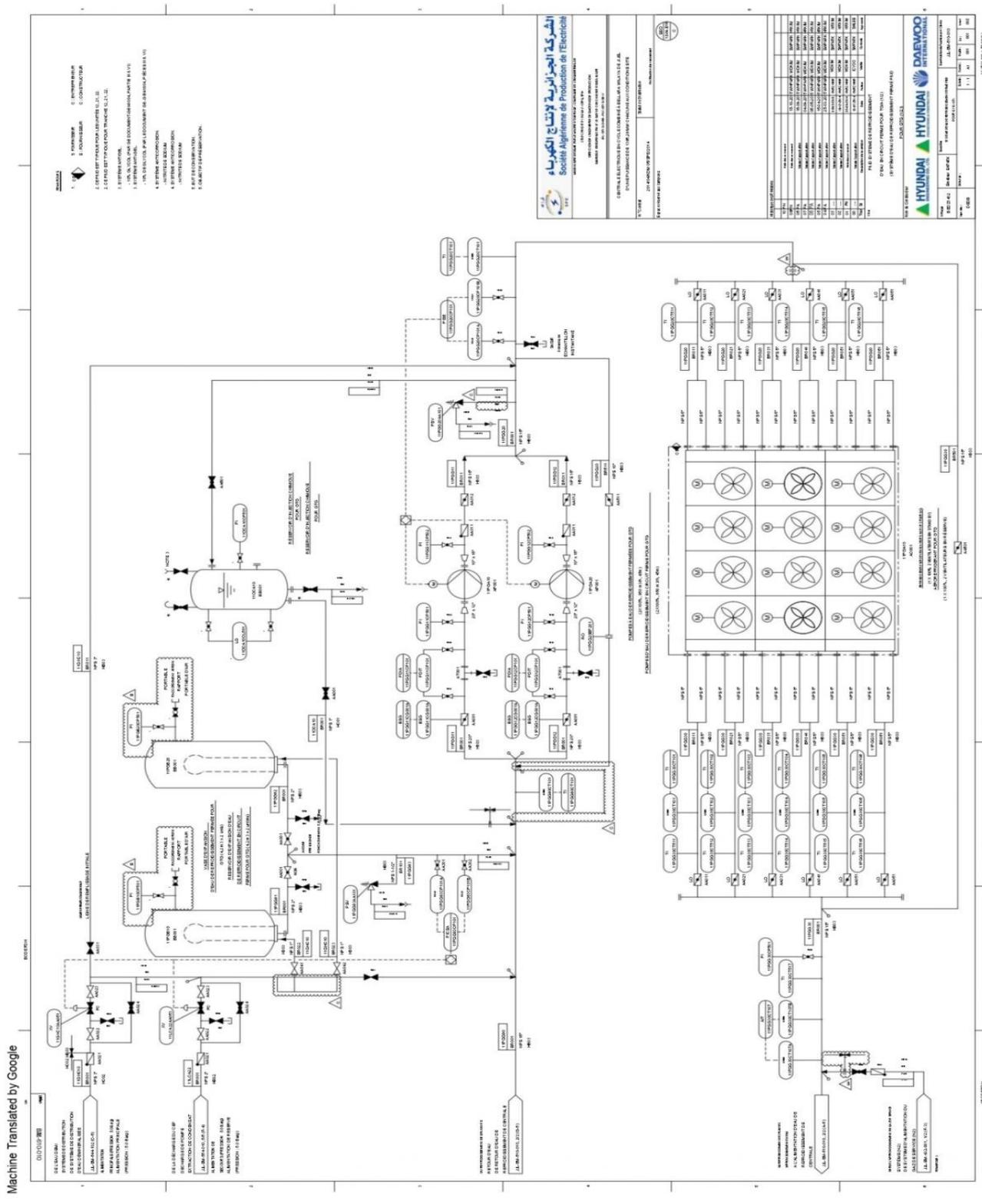


Diagramme générale du système de refroidissement en circuit fermé (CCW) de la turbine à gaz

Machine Translated by Google

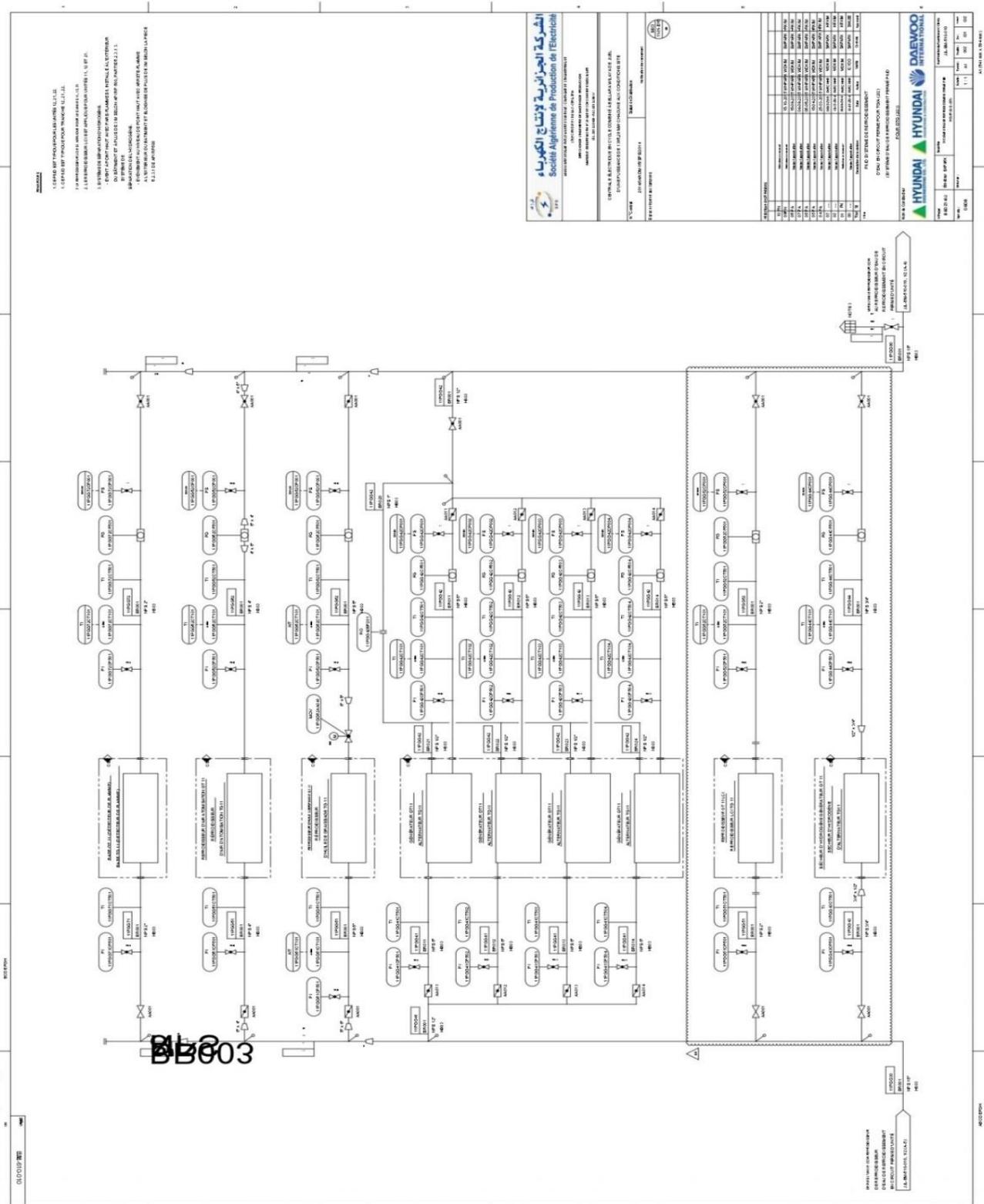


Diagramme générale des consommateurs typiques du système de refroidissement en circuit fermé (CCW)

Annexe D

Pression de conception	1000	(kPaG)	Code de spécification	<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.8 Div.1	<input checked="" type="checkbox"/> API 661
Température de conception	100	(°C)	Sceau	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non
Pression d'essai	1600	(kPaG)	TUBE		
Taille du faisceau (Larg.x.long., m)	2.44	x	15.5	Matériau	SA179
Baie(s)/Unité(s)	3			Diamètre extérieur	25.4 (mm)
Faisceau(x)/Baie	2			Épaisseur de la paroi	2.11 (mm)
No. Rangées de tubes	6			Nombre de faisceaux	198
No. Passages	2			Longueur	15.5 (m)
Pente du tube	0	(mm/m)		Angle	69.85 (mm)
COLLECTEUR			AILETTES		
Type	Plug		Type	Extruded	
Matériau	SA516-70		Matériau	Aluminum SB221-#1060-O	
Matériau de branchement	SA105		Diamètre extérieur	57.15 (mm)	
Joint de branchement	SOFT IRON		Épaisseur de la base	0.55 (mm)	
Joint de couvercle	No		Dentité de l'ailette	433 (ailette/m)	
Surépaisseur de corrosion	3	(mm)	DIVERS		
Qté/Dimension embouT ENTRÉE	2	,	6	Éléments structurels	<input type="checkbox"/> Échafaudage tubulaire <input checked="" type="checkbox"/> Au sol
Qté/Dimension embouT SORTIE	2	,	6	Structure du faisceau	HD Galva.
Cote et surface	#150 WNRF		Acier de construction	HD Galva.	
PI & TI	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non	,	Transmetteurs de vibration	Oui, 1 par ventilateur
Vent. et drain.	<input checked="" type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	1	Défecteur	No
Collecteur	Peinture spéc.			Serpentin à vapeur	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
Joint entre le tube et la feuille du tuyau	En expansion			Système à recirculation	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
NDE	<input checked="" type="checkbox"/> UT	<input type="checkbox"/> rayon gamma		TTAS	<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Configuration du joint du collecteur	<input checked="" type="checkbox"/> Coin	<input type="checkbox"/> MOYEU		Fixation de l'embout	<input checked="" type="checkbox"/> Extérieure <input type="checkbox"/> Intérieure

Caractéristiques techniques des échangeurs du système
de refroidissement (CCW)

VENTILATEUR		MOTEUR ÉLECTRIQUE	
Fabricant	Cofimco	Fabricant	Hyundai
Nombre par baies	4	Nombre par baies	4
No. Var. automatique/baie	0	No. Var. automatique/baie	0
Régime (tr/min.)	270	kW/entraînement	30
Diamètre	3.353 (m)	Régime/min	1475
Nombre de pales	4	Boîtier	TEFC
Matériau de fab. des pales	AL	Volt,Cycle,Phase	400 , 50 , 3
Matériau de fab. du moyeu	AL/CS	RÉDUCTEUR DE VITESSE	
Puissance du ventilateur,kW, temp. de conception	22.8 (kW)	Type	Power Grip GT2 Belt
Puissance du ventilateur,kW, temp. min. ambiante	26 (kW)	Nombre par baie	4
Niveau de pression acoustique à 1 m sous l'équipemen	85 ±2 (dB(A))	Rapport	5.4 : 1

Caractéristiques techniques des ventilateurs
de refroidissement (CCW)

Nom du liquide	:	eau déminéralisée		Service légal	<input type="checkbox"/> Oui		<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Volume total de liquide	(kg/s)	260.07			ENTRÉE		SORTIE	
		ENTRÉE	SORTIE		Liquide	Vapeur	Liquide	Vapeur
Température	(°C)	54.63	50	Densité	986.1	-	988.26	- (kg/m ³)
Liquide	(kg/s)	260.07	260.07	Viscosité	0.5071	-	0.5469	- (mN-s/m ²)
Vapeur	(kg/s)	0	0	Chaleur spécifique	4.1796	-	4.1784	- (kJ/kg-°C)
Non condensé	(kg/s)	0	0	Conductivité	0.6457	-	0.6408	- (W/m-°C)
Vapeur d'eau	(kg/s)	0	0	Vélocité(entrée/sortie)	1.26		/	1.26 (m/s)
Eau	(kg/s)	260.07	260.07	Résistance à l'encrassement				0.00017 (m ² -K/W)
Pression d'entrée	(kPaA)	601.33		R-V-SQ	1371	/	1368	(kg/m-s ²)
Baisse de pression (adm./calculée)	(kPa)	50	28.692					

Caractéristiques techniques des pompes
de circulation du système de
refroidissement (CCW)

Résumé

Ce mémoire de Master se concentre sur l'optimisation des performances du système de refroidissement par eau à circuit fermé de la centrale électrique de Bellara, essentiel à la sécurité et à l'efficacité opérationnelle de l'installation. En explorant les défis liés à la saturation thermique des échangeurs, l'étude utilise le logiciel Aspen Hysys pour modéliser et analyser précisément le système. L'objectif est d'identifier les zones critiques de saturation thermique et de proposer des solutions concrètes pour améliorer l'efficacité globale du système. Les chapitres détaillent les fondements des échangeurs thermiques industriels, les composants spécifiques du système de refroidissement et les approches technologiques pour optimiser les performances thermiques. Ce travail contribue ainsi à répondre aux exigences croissantes en performance énergétique et environnementale des centrales électriques.

Mots clé : système de refroidissement par eau à circuit fermé, échangeur thermique, Aspen Hysys, Système d'arrosage, Optimisation des performances.

Abstract

This Master's thesis focuses on optimizing the performance of the closed cooling water system at the Bellara power plant, crucial for the safety and operational efficiency of the facility. Addressing the challenges posed by thermal saturation of heat exchangers, the study employs Aspen Hysys software for precise modeling and analysis of the system. The aim is to pinpoint critical areas of thermal saturation and propose concrete solutions to enhance overall system efficiency. Chapters delve into the fundamentals of industrial heat exchangers, the specific components of the cooling system, and technological approaches to optimize thermal performance. This work aims to meet increasing demands for energy and environmental performance in power plants.

Keywords: Closed-loop water cooling system, Heat exchanger, Aspen Hysys, Water sprays system, Performance optimization.

ملخص

تتركز هذه الأطروحة على تحسين أداء نظام التبريد المغلق في محطة إنتاج الكهرباء بلارة وهو أمر بالغ الأهمية للسلامة والكفاءة التشغيلية للمنشأة ولمواجهة التحديات التي يفرضها التشبع الحراري للمبدلات الحرارية، تستخدم الدراسة برنامج خاص لوضع نماذج وتحليلات دقيقة للنظام الهدف منها هو تحديد المناطق الحرجة للتشبع الحراري واقتراح حلول ملموسة لتعزيز كفاءة النظام بشكل عام. تتعمق الفصول في أساسيات المبادلات الحرارية الصناعية، والمكونات المحددة لنظام التبريد، والأساليب التكنولوجية لتحسين الأداء الحراري ويهدف هذا العمل إلى تلبية الطلب المتزايد على الطاقة والأداء البيئي في محطات توليد الطاقة.

الكلمات المفتاحية: نظام Aspen Hysys، نظام الرش، تحسين أداء نظام تبريد الماء ذو الحلقة المغلقة، المبدل الحراري.