

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. M. OULHADJ - Bouira  
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie des Procédés  
Laboratoire de Génie des Procédés



# Mémoire

Présenté par

**LAROUCI Islam**  
**MAKHTOUR Abderahim**

Pour l'obtention du diplôme de

## MASTER

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

**Contrôle et suivi des impuretés dans le  
cycle Eau-Vapeur de la centrale électrique  
à cycle combiné de hadjret ennous**

Soutenu le 14/07/2024

Devant le jury composé de :

LOUNICI	Hakim	Pr	UAMO, Bouira	Président
KERNANI	Reda	MCA	UAMO, Bouira	Examineur
AOUDJIT	Farid	MCA	UAMO, Bouira	Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

## REMERCIEMENTS

Avant de présenter ce travail, tout d'abord, nous tenons à remercier notre grand seigneur Dieu tout puissant pour nous avoir donné la foi en lui, d'avoir éclairé notre route et de nous avoir guidé dans le meilleur et le bon chemin.

Nous tenons à exprimer notre profonde et respectueuse reconnaissance envers Mr.AOUDJIT, pour avoir dirigé ce mémoire, pour sa contribution scientifique et pour l'intérêt permanent qu'il a manifesté tout le long de ce travail.

Nos vifs remerciements vont à nos encadreurs au sein de Centrale Electric SKH Mr.OUHNICH dont l'aide et le support m'ont été précieux, à Mr.GHEZAL pour ses conseils et sa bonne humeur

Nous remercions les membres du jury Mr.LOUNICI et Mr.KERNANI d'avoir accepté d'évaluer notre travail

Enfin Nous désirons remercier tous nos enseignants et tous ceux qui de par leur aide et leur conseil, ont d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce travail, et qu'ils trouvent à travers cet écrit nos sincères gratitude

## DEDICACES

*En premier lieu, je tiens à remercier notre dieu, notre créateur, pour le courage et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.*

*Je dis merci à qui a été douceur de mes nuits et couleurs de ma vie et le bonheur à l'infini à ma très chère **Mère** pour ta patience et son sacrifice pour moi.*

*Et je dis merci au fond de mon cœur à mon **Père** pour son éducation et ton sacrifice, qui m'a permis d'avoir cette réussite.*

*À mes très chers frère et sœur **Mohamed** et **Yasmine**.*

*À mes très chers oncles **Yazid**, **Nadir** et **Watik***

*À mes très chers tantes **Nabila**, **Karima** et **Zahida***

*À mes grands-mères.*

*ISLAM*

*Avant tout, je dédie ce document de travail, qui est le résultat de plusieurs années d'efforts, à plusieurs personnes qui sont toujours présent dans mon esprit qui m'ont aidé, soutenu et encouragé. Je pense d'abord :*

*À mes parents qui n'ont cessé de m'encourager et j'espère qu'ils seront fiers de moi.*

*À ma sœur et À mon cher frère : **isyes***

*RAHM*

## Résumer

Cette étude vise à examiner les méthodes de contrôle et de suivi des impuretés dans le cycle eau-vapeur de la centrale électrique à cycle combiné de Hadjret Ennous. Le mémoire présente le fonctionnement général de ce type de centrale et identifie les sources potentielles d'impuretés. Il détaille ensuite les techniques mises en place pour contrôler et suivre la qualité de l'eau et de la vapeur. L'évaluation du système actuel permet de proposer des pistes d'amélioration pour optimiser la gestion des impuretés et accroître la fiabilité de la centrale. Dans l'ensemble, ce travail apporte un éclairage technique approfondi sur un enjeu essentiel pour le bon fonctionnement d'une centrale électrique moderne à cycle combiné.

## Abstract

This study aims to examine the methods for controlling and monitoring impurities in the water-steam cycle of the combined cycle power plant in Hadjret Ennous. The thesis presents the general operation of this type of power plant and identifies the potential sources of impurities. It then details the techniques used to control and monitor the quality of water and steam. The evaluation of the current system allows for proposing improvements to optimize the management of impurities and increase the reliability of the power plant. Overall, this work provides an in-depth technical insight into an essential issue for the proper functioning of a modern combined cycle power plant.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى فحص طرق التحكم والرصد في الشوائب في دورة المياه والبخار في محطة الطاقة الكهربائية المزدوجة الدورة في حجرة النص. يقدم البحث العمل التشغيل العام لهذا النوع من محطات الطاقة وتحديد المصادر المحتملة للشوائب. ثم يفصل التقنيات المستخدمة للتحكم والرصد في جودة المياه والبخار. يسمح تقييم النظام الحالي باقتراح تحسينات لتحسين إدارة الشوائب وزيادة موثوقية محطة الطاقة بشكل عام، يوفر هذا العمل رؤية تقنية معمقة في قضية أساسية لحسن أداء محطة الطاقة الكهربائية المزدوجة الدورة الحديثة.

# Table des matières

Remercîments

Dédicaces

Résumer

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE.....1

## CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1	Présentation de la centrale électrique .....	4
I.1.1	CYCLES COMBINES .....	4
I.1.1.1	Définition .....	4
I.1.1.2	Le processus d'un cycle combiné .....	4
I.1.1.3	Avantages et inconvénients de cycle combiné .....	5
I.1.2	Présentation de l'entreprise .....	6
I.1.2.1	SNC LAVALIN.....	6
I.1.2.2	Sharikat Kahraba Hadjret Enouss (SKH):.....	6
I.1.2.3	Plan de la centrale.....	8
I.1.2.4	Données techniques de la centrale.....	9
I.1.2.5	Situation géographique de la centrale .....	9
I.1.2.6	Caractéristique du centrale SKH.....	10
I.1.2.7	Composants du centrale électrique à cycle combiné SKH.....	10
I.1.2.7.1	Turbine à gaz.....	11
I.1.2.7.2	Caractéristique de TAG .....	12
I.1.2.7.3	Compresseur .....	12
I.1.2.7.4	Turbine à vapeur .....	13
I.1.2.7.5	Caractéristique de la TAV .....	14
I.2	Chaudière de récupération HRSG .....	15
I.2.1	Fonctionnement du HRSG .....	16
I.2.1.1	Economiseur.....	16

I.2.1.2	Evaporateur .....	16
I.2.1.3	Surchauffeur .....	16
I.2.1.4	Resurchauffeur .....	16
I.2.1.5	Ballon de vapeur .....	16
I.2.1.6	Composition du Chaudière HRSG.....	17
I.2.1.7	Production de la vapeur .....	18
I.2.1.8	Cycle eau-vapeur .....	20
I.2.1.8.1	Circuit basse pression.....	20
I.2.1.8.2	Circuit moyenne pression.....	21
I.2.1.8.3	Circuit haute pression .....	22
I.3	Prétraitement de l'eau d'alimentation de la chaudière HRSG.....	23
I.3.1	Introduction.....	23
I.3.2	Caractéristiques de l'eau de mer .....	23
I.3.3	Contrôle d'eau.....	24
I.3.3.1	Conductivités.....	24
I.3.3.1.1	Conductivité spécifique .....	24
I.3.3.1.2	Conductivité cationique.....	24
I.3.3.1.3	Conductivité cationique dégazée .....	24
I.3.3.2	PH.....	24
I.3.3.3	Potentiel redox .....	24
I.3.3.4	Oxygène dissous .....	24
I.3.4	Les impuretés .....	24
I.3.4.1	Minéraux dissous :.....	24
I.3.4.2	Silice :.....	25
I.3.4.3	Matières en suspension : .....	25
I.3.4.4	Gaz dissous :.....	25
I.3.4.5	Matières organiques :.....	25
I.3.4.6	Composés ioniques (cations et anions) : .....	25
I.3.5	Procédé de de traitement de l'eau : .....	26
I.3.5.1	Traitement de l'eau de mer : .....	26
I.3.5.1.1	La station de pompage : .....	26
I.3.5.1.2	Prés traitement de l'eau salée : .....	26

I.3.5.1.3	La filtration sur sable :.....	27
I.3.5.1.4	La microfiltration :.....	27
I.3.5.2	L'osmose inverse :.....	27
I.3.5.2.1	L'osmose :.....	28
I.3.5.3	L'électrodéionisation :.....	28
I.3.6	Paramètres de la limite maximale pour le projet.....	29
I.4	Problèmes liés à la chaudière de récupération HRSG.....	30
I.4.1	Introduction.....	30
I.4.2	Entartage .....	30
I.4.3	Formation des dépôts.....	31
I.4.4	Moussage et primage .....	31
I.4.5	CORROSION.....	32
I.4.5.1	Les risques de la corrosion dans la chaudière.....	32
I.4.5.1.1	Les risques de la corrosion sur la TV.....	33
I.4.6	LE TRAITEMENT CHIMIQUE DANS LA HRSG.....	33
I.4.6.1	Traitement all volatile (AVT).....	34
Avantages.....		34
Limites.....		34
I.4.6.2	Traitement aux phosphates.....	34
I.4.6.2.1	Phosphate hideout.....	35
I.4.6.3	Traitement caustique.....	35
I.4.6.4	Traitement oxygéné .....	36
I.4.7	Types de traitements et injection au sein du skh .....	36
I.4.8	Directives de pureté de la vapeur après le traitement chimique .....	38
I.4.9	Les niveaux de risques .....	38

## **CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES**

II.1	MATERIEL ET METHODES D'ANALYSES.....	40
II.1.1	Le spectrophotometer DR3900 .....	40
II.1.2	Reacteur thermique LT200.....	41
Ces caractéristiques :.....		41
II.1.3	METHODE D'ANALYSE PHYSICO CHIMIQUE.....	42
II.1.3.1	ANALYSE ET SUIVI EN LIGNE .....	42

II.1.3.2	ANALYSE AU NIVEAU DU LABORATOIRE (HORS LIGNE).....	44
	Échantillonnages .....	44
II.1.4	METHODES D'ANALYSES.....	44
II.1.4.1	PH.....	44
II.1.4.2	SILICE.....	45
	Préparation de blanc.....	45
	Préparations d'échantillon.....	46
	La mesure .....	47
II.1.4.3	PHOSTPHATE.....	47
II.1.4.4	Ammoniac.....	49
II.1.4.5	Fer .....	51
	Pre-analyse.....	51
	Analyse.....	51

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

III.1	CYCLE DE CONCENTRATION.....	55
III.1.1	Résultats de silice.....	55
III.1.1.1	Eau d'alimentation .....	55
III.1.1.2	Tranche 2.....	55
III.1.1.2.1	La concentration de la silice dans le ballon BP et condenseur .....	56
III.1.1.2.2	La concentration de silice dans les ballons MP et HP .....	56
III.1.1.2.3	La concentration de silice dans les vapeurs surchauffe HP et resurchauffe HP .....	57
III.1.1.3	Tranche 3.....	58
III.1.1.3.1	La concentration de la silice dans le ballon BP et condenseur .....	58
III.1.1.3.2	La concentration de la silice dans le ballon MP et HP .....	59
III.1.1.3.3	La concentration de la silice dans les vapeurs surchauffée HP et resurchauffée HP .....	59
III.1.2	SODIUM .....	60
III.1.2.1	Tranche 2.....	60
III.1.2.1.1	Au niveau du ballon MP .....	60
III.1.2.1.2	Relation de sodium avec le PH .....	60
III.1.2.1.3	Relation du sodium avec les conductivités (CC, Cs).....	61
III.1.2.1.4	Au niveau du ballon HP .....	61



III.1.2.1.5	Relation de sodium avec le PH .....	61
III.1.2.1.6	Relation du sodium avec les conductivités (cc, Cs).....	62
III.1.2.2	Tranche 3.....	63
III.1.2.2.1	Au niveau du ballon MP .....	63
III.1.2.2.2	Relation de sodium avec le PH .....	63
III.1.2.2.3	Relation du sodium avec les conductivités (CC, Cs).....	63
III.1.2.2.4	Au niveau du ballon HP .....	64
III.1.2.2.5	Relation de sodium avec le PH .....	64
III.1.2.2.6	Relation du sodium avec les conductivités (CC, Cs).....	65
III.1.2.2.7	Le pH et sodium.....	65
III.1.2.2.8	PH et les conductivité (CC, Cs) .....	66
III.2	CYCLE DE TRAITEMENT.....	66
III.2.1	LE PHOSPHATE .....	66
III.2.1.1	Tranche 2.....	66
III.2.1.1.1	AU niveau du ballon MP.....	66
III.2.1.1.2	Au niveau du ballon HP .....	67
III.2.1.2	Tranche 3.....	68
III.2.1.2.1	AU niveau du ballon MP.....	68
III.2.1.2.2	Au niveau du ballon HP .....	69
III.2.1.2.3	Relation du conductivité cationique et l'injection du $NA_3PO_4$ .....	70
III.2.1.2.4	Relation entre le PH et l'injection du $NA_3PO_4$ .....	70
III.2.2	L'AMMONIAC .....	71
III.2.2.1	Tranche 2.....	71
III.2.2.1.1	Au niveau de condenseur .....	71
III.2.2.1.2	Au niveau de B. BP .....	72
III.2.2.2	Tranche 3.....	72
III.2.2.2.1	au niveau de condenseur .....	72
III.2.2.2.2	Au niveau de B. BP .....	73
III.2.2.4	Conclusion .....	74
III.3	CYCLE DE FER.....	75
III.3.1	Tranche 2 .....	75
III.3.2	Tranche 3 .....	76

<b>III.3.3 Conclusion.....</b>	<b>76</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>77</b>
<b>Référence bibliographique.....</b>	<b>79</b>

# **Liste des abréviations**

**SKH** : sharikat kahraba hadjret ennous

**TAG** : turbine à Gaz

**TV**: turbine à vapeur

**HRS**G: Heat Recovery Steam Generator

**BP**: basse pression

**MP** : moyen pression

**HP** : haute pression

**Surch** : surchauffé

**Resurch** : resurchauffé

**Cond** : condenseur

**PH** : potentiel hydrogène

**CC** : conductivité cationique

**CS** : conductivité spécifique

**Ppm** : Partie par million

**PPb** : Partie par billion

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**DBO** : Demande biologique en oxygène

# Liste des figures

<b>Figure I-1:</b> disposition d'un cycle combine.....	5
<b>Figure I-2:</b> Vue aérienne de la station SKH .....	7
<b>Figure I-3 :</b> Maquette de la centrale.....	8
<b>Figure I-4 :</b> Vue Google Map de la Central de Hadjret En nous.....	9
<b>Figure I-5:</b> turbine à Gaz.....	12
<b>Figure I-6:</b> compresseur a 18 étages .....	12
<b>Figure I-7:</b> turbine à vapeur .....	13
<b>Figure I-8:</b> Composants d'une chaudière de récupération HRSG .....	15
<b>Figure I-9:</b> production de la vapeur dans HRSG .....	18
<b>Figure I-10:</b> schéma explicatif du cycle eau-vapeur.....	19
<b>Figure I-11:</b> circuit basse pression.....	20
<b>Figure I-12:</b> Circuit moyenne pression.....	21
<b>Figure I-13:</b> Circuit haute pression.....	22
<b>Figure I-14:</b> principe de l'osmose inverse .....	28
<b>Figure I-15:</b> l'electrodeionisation.....	29
<b>Figure I-16:</b> canalisation entartée [.....	31
<b>Figure I-17:</b> dépôts des particules solides sur les tuyaux .....	31
<b>Figure I-18 :</b> rupture de tuyaux.....	33
<b>Figure I-19:</b> corrosion dans la chaudière.....	33
<b>Figure I-20:</b> Glacage des aubes TV.....	33
<b>Figure I-21 :</b> pitting.....	33
<b>Figure I-22:</b> Phénomène de hideout mis en évidence durant une variation de charge .....	35
<b>Figure I-23 :</b> Réservoir d'injection du phosphate et ammoniacque du HRSG 2.....	37
<b>Figure II -1 :</b> caractéristique de DR3900 .....	40
<b>Figure II -2:</b> spectrophotomètre DR3900 .....	40
<b>Figure II -3</b> Réacteur thermique LT200 .....	41
<b>Figure II -4:</b> affichage des paramètres en ligne.....	43
<b>Figure II-5:</b> Report des Analyseurs au niveau de la salle de contrôle.....	43
<b>Figure II-6:</b> prise d'échantillonnage du ballon MP3 .....	44

<b>Figure II-7</b> : analyse physico-chimique du phosphate.....	49
<b>Figure II-8</b> : analyse physico-chimique de l'ammoniac.....	51
<b>Figure III-1</b> : profil de la concentration de la silice dans le B. BP 2 et condenseur 2.....	56
<b>Figure III-2</b> : variation de la concentration de la silice dans le B. MP 2 et B. HP 2.....	56
<b>Figure III -3</b> : variation de la concentration de la silice dans les vapeurs du tranche 2 .....	57
<b>Figure III -4</b> : variation de la concentration de la silice dans le B. BP 3 et condenseur 3 .....	58
<b>Figure III -5</b> : variation de la concentration de la silice dans le B. MP 2 et B. HP 2.....	59
<b>Figure III -6</b> : variation de la concentration de la silice dans les vapeurs du tranche 3 .....	59
<b>Figure III -7</b> : relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B.MP 2 .....	60
<b>Figure III -8</b> : relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B.MP 2 ...	61
<b>Figure III -9</b> : relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B. HP 2.....	62
<b>Figure III -10</b> : relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B. HP 2.	62
<b>Figure III -11</b> :relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B. MP3 .....	63
<b>Figure III -12</b> : relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B. MP3.	64
<b>Figure III -13</b> : relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B. HP3 .....	64
<b>Figure III -14</b> : relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B. HP3..	65
<b>Figure III -15</b> : relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. MP2 .....	67
<b>Figure III -16</b> : relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. HP2 .....	68
<b>Figure III -17</b> : relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. MP3 .....	60
<b>Figure III -18</b> : relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. HP2 .....	70
<b>Figure III -19</b> : relation entre la concentration d'ammoniac et le PH au niveau du condenseur 2 .....	71
<b>Figure III -20</b> : relation entre la concentration d'ammoniac et le PH au niveau du ballon BP2.	72
<b>Figure III -21</b> : relation entre la concentration d'ammoniac et le PH au niveau du condenseur 3 .....	73
<b>Figure III -22</b> : relation entre la concentration d'ammoniac et le PH au niveau du ballon BP3 ..	73
<b>Figure III -23</b> : Comparaison de la valeur de fer du tranche 2 aux normes.....	75
<b>Figure III -24</b> : Comparaison de la valeur de fer du tranche 3 aux normes .....	76

# Liste des tableaux

<b>Tableau I-1:</b> Données techniques de la centrale .....	9
<b>Tableau I-2:</b> sommaire des caractéristiques du centrale SKH .....	10
<b>Tableau I-3:</b> condition de base du site .....	23
<b>Tableau I-4:</b> limite maximale pour le projet.....	29
<b>Tableau I-5:</b> Directives de pureté de la vapeur après le traitement chimique .....	38
<b>Tableau I-6:</b> Niveaux de risque du centrale.....	38
<b>Tableau III-1:</b> Résultats des analyses de la silice de l'eau déminéraliser .....	55
<b>Tableau III-2:</b> Résultats de mesures de la silice dans la tranche 2.....	55
<b>Tableau III-3:</b> Résultats de mesures de la silice dans la tranche 3.....	58
<b>Tableau III -4:</b> résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon MP 2 .....	60
<b>Tableau III -5:</b> résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon MP2.....	61
<b>Tableau III -6:</b> résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon HP2.....	61
<b>Tableau III -7:</b> résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon HP2 .....	62
<b>Tableau III -8:</b> résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon MP3 .....	63
<b>Tableau III -9:</b> résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon HP2 .....	63
<b>Tableau III -10:</b> résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon HP3.....	64
<b>Tableau III -11:</b> résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon HP3 .....	65
<b>Tableau III -12:</b> Tableau V. 12 : résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon MP2.....	66
<b>Tableau III -13:</b> résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon HP2 .....	67
<b>Tableau III -14:</b> résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon MP3 .....	68
<b>Tableau III -15:</b> résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon MP2.....	69
<b>Tableau III -16:</b> résultats de mesure la concentration d'ammoniac et le PH dans le condenseur 2 .....	71

<b>Tableau III -17:</b> résultats de mesure de concentration d’ammoniac et le PH dans le Ballon BP272	
<b>Tableau III-18:</b> résultats de la mesure de concentration d’ammoniac et le PH dans le condenseur 3.....	72
<b>Tableau III-19:</b> résultats de la mesure de concentration d’ammoniac et le PH dans le Ballon BP3 .....	73
<b>Tableau III-20:</b> résultats d’analyse de fer dans la tranche 2.....	75
<b>Tableau III-21:</b> résultats d’analyse de fer dans la tranche 3.....	76

## **INTRODUCTION GENERALE**

La production d'énergie électrique par voie thermique occupe une place prépondérante au niveau mondial. En 2021, les centrales thermiques (charbon, gaz, fioul) ont représenté près de 60% de la production électrique globale [1]. Cette prédominance s'explique par la maturité des technologies thermiques, leur fiabilité et leur capacité à fournir une électricité pilotable, essentielle pour équilibrer les réseaux électriques.

Au sein de ce parc de production thermique, les centrales électriques à cycle combiné, ou CCGT (Combined Cycle Gas Turbine), se sont imposées comme une solution particulièrement performante. Le principe de ces centrales repose sur la combinaison de turbines à gaz et de turbines à vapeur. Les gaz brûlés dans la turbine à gaz sont valorisés dans une chaudière pour produire de la vapeur qui entraîne à son tour une turbine à vapeur.

Ce processus en deux étapes permet d'atteindre des rendements électriques supérieurs à 60%, soit un gain de 10 à 15 points par rapport aux centrales thermiques classiques [2]. De plus, les centrales CCGT présentent l'avantage d'être plus compactes et de disposer de temps de démarrage plus courts que les centrales à charbon ou nucléaires.

Cependant, le fonctionnement optimal des centrales CCGT dépend étroitement de la maîtrise du cycle eau-vapeur, véritable colonne vertébrale de leur architecture. En effet, la présence d'impuretés dans l'eau du cycle peut entraîner de nombreux problèmes techniques, tels que la formation de dépôts, la corrosion des équipements ou encore des dommages aux turbines. Il est donc primordial de mettre en place des mesures de contrôle et de suivi rigoureuses pour assurer la qualité de l'eau et la fiabilité du cycle.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent projet de fin d'études, réalisé au sein de l'entreprise SKH, spécialisée dans la production d'électricité à partir de centrales CCGT. L'objectif est d'évaluer les pratiques actuelles de contrôle et de suivi des impuretés dans le cycle eau-vapeur de l'une des centrales de l'entreprise, afin d'identifier des pistes d'amélioration potentielles.

Ce mémoire s'articule autour de quatre axes principaux :

- La présentation de l'entreprise SKH et de ses activités, permettant de situer le cadre de l'étude.



- L'analyse du prétraitement de l'eau d'alimentation, étape essentielle pour la qualité de l'eau du cycle. Cette partie abordera les différentes étapes du prétraitement mis en place par l'entreprise, ainsi que leur efficacité.

- L'étude des problèmes liés à la chaudière et des traitements chimiques utilisés pour y remédier. Cette section s'intéressera aux effets des impuretés sur le fonctionnement de la chaudière et évaluera l'efficacité des traitements employés.

- Résultats du suivi des impuretés dans le cycle eau-vapeur :

- Données collectées sur les principaux paramètres de qualité de l'eau (pH, conductivité, teneur en silice, etc.)
- Analyse de l'évolution de ces paramètres au sein du cycle
- Identification des principaux points critiques et des sources potentielles d'impuretés
- Comparaison avec les seuils recommandés et les bonnes pratiques du secteur

À travers cette analyse détaillée, ce projet de fin d'études vise à contribuer à l'optimisation du contrôle et du suivi des impuretés dans le cycle eau-vapeur de la centrale électrique de l'entreprise SKH. Les résultats de cette étude pourraient ainsi permettre d'améliorer la fiabilité et la durabilité du fonctionnement de la centrale, tout en favorisant des gains en termes de performance énergétique et environnementale.

**CHAPITRE I**  
**RECHERCHE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## INTRODUCTION

L'Algérie occupe une place stratégique dans le secteur de l'énergie électrique, tirant parti de ses importantes réserves en gaz naturel pour alimenter son réseau national. Le pays s'appuie principalement sur des centrales thermiques, notamment à cycle combiné, offrant une production électrique stable et à grande échelle. Parallèlement, l'Algérie investit de manière soutenue dans le développement des énergies renouvelables, avec l'objectif d'élargir son mix énergétique et de réduire son empreinte carbone.

### I.1 Présentation de la centrale électrique

#### I.1.1 CYCLES COMBINÉS

##### I.1.1.1 Définition

Les cycles combinés sont un type de centrale électrique qui combine deux processus thermodynamiques :

- Le premier consiste à produire de l'électricité à partir d'un moteur thermique,
- le second, à récupérer l'énergie thermique contenue dans les gaz d'échappement pour produire de la vapeur d'eau par l'intermédiaire d'une chaudière de récupération de chaleur et d'utiliser cette énergie dans une turbine de vapeur

##### I.1.1.2 Le processus d'un cycle combiné

Le processus commence avec la turbine à gaz, où du combustible tel que le gaz naturel, le fioul ou le charbon est brûlé dans une chambre de combustion.

La chaleur dégagée par la combustion fait tourner les pales de la turbine à grande vitesse, produisant de l'énergie mécanique.

Cette énergie mécanique est convertie en énergie électrique grâce à un générateur.

Au lieu de rejeter complètement la chaleur produite par la turbine à gaz, celle-ci est récupérée via un échangeur de chaleur.

Cette chaleur est utilisée pour produire de la vapeur à haute pression cette pression générée est acheminée vers une turbine à vapeur distincte.

Cette turbine à vapeur utilise la vapeur pour produire une autre rotation d'arbre, entraînant un deuxième générateur électrique qui produit de l'électricité supplémentaire.

Une fois que la vapeur a été utilisée dans la turbine à vapeur, elle est refroidie et condensée en eau pour être réutilisée dans le cycle.

En combinant ces deux processus, les centrales électriques à cycle combiné peuvent atteindre des efficacités élevées, car elles utilisent la chaleur résiduelle de la turbine à gaz pour produire de la vapeur supplémentaire pour entraîner une deuxième turbine, augmentant ainsi le rendement global de la centrale électrique. Cela en fait une option attrayante pour la production d'électricité à grande échelle.

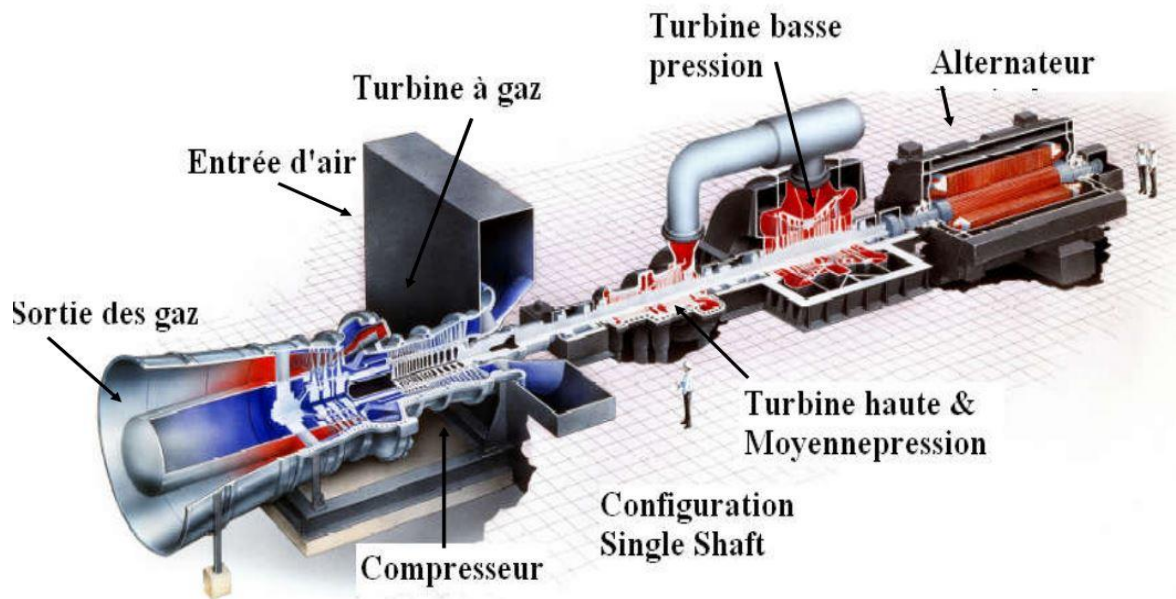


Figure I-1: disposition d'un cycle combiné

### I.1.1.3 Avantages et inconvénients de cycle combiné

#### Avantages :

- Les centrales sont rapides à construire.
- Cette technologie offre une grande flexibilité d'utilisation qui permet de répondre rapidement et Précisément à la demande
- La thermique permet de construire des centrales de grande puissance.

- La production ne dépend pas de conditions extérieures autres que l'approvisionnement en
- Combustible (l'énergie éolienne, par exemple, ne fonctionne pas sans vent).
- Coût de construction faible.

**Inconvénients :**

- Cette technologie engendre des émissions de produits polluants et des gaz à effet de serre.
- Les coûts de compensation des émissions polluants sont élevés.
- La thermique utilise souvent des sources fossiles (charbon, fioul, gaz) dont les réserves sont :
  - Physiquement limitées par la géologie terrestre et non-renouvelables à court et moyen terme.
  - Énergie non renouvelable. Compromet l'entente de Kyoto. [3]

**I.1.2 Présentation de l'entreprise****I.1.2.1 SNC LAVALIN**

SNC-Lavalin est l'un des plus grands groupes d'ingénierie et de construction au monde et un acteur majeur en matière de propriété d'infrastructures et de services d'exploitation et d'entretien. Les sociétés SNC-Lavalin assurent des services d'ingénierie, d'approvisionnement, de construction, ainsi que de gestion et de financement de projets dans divers secteurs, notamment l'agroalimentaire, le secteur biopharmaceutique, les hydrocarbures et produits chimiques, l'environnement, les grands travaux de génie civil, le transport en commun, les mines et la métallurgie, l'énergie et la gestion de l'eau.

**I.1.2.2 Sharikat Kahraba Hadjret Enouss (SKH):**

La centrale de Hadjret Enouss, qualifiée de "plus important projet de l'industrie électrique engagé en Algérie" par le PDG de Sonelgaz, aura une capacité de production de 1 227 MW. Ce projet implique huit partenaires, qui sont également actionnaires de la Société Kahraba Hadjret Enouss (SKH, Spa) :

- Côté algérien : Sonatrach (10%), Sonelgaz (10%) et Algérien Energy Company (AEC détenant 29% dans SKH);

- Côté étranger : SNC Lavalin (Canada) et Mubadala (Émirats Arabes Unis), regroupés au sein de la société mixte Algérien Utilities International Limited (AUIL), qui détiennent 51% de SKH.

Trois banques publiques algériennes (BEA, BNA et CNEP) apportent 70% du financement, soit 578 millions de dollars américains sur un montant global de 826 millions. Les 30% restants, soit 248 millions de dollars, sont fournis par les actionnaires de SKH : 121,5 millions (49%) par Sonatrach-Sonelgaz et AEC, et 126,5 millions (51%) par AUIL (SNC Lavalin et Mubadala). [5]



**Figure I-2:** Vue aérienne de la station SKH [6]

### I.1.2.3 Plan de la centrale

La figure I.3 ci-dessous représente une maquette de la centrale



**Figure I-3** : Maquette de la centrale

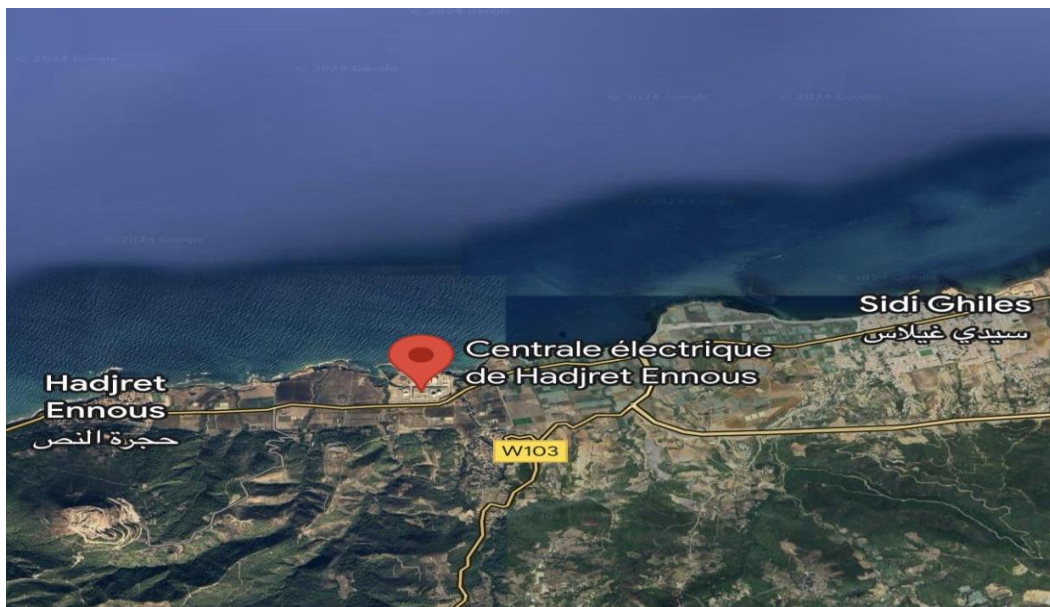
### I.1.2.4 Données techniques de la centrale

**Tableau 0-1:** Données techniques de la centrale [7]

Puissance installée	3 x 409 MW soit 1227 MW
Type	Cycle Combiné mono-arbre
Combustible principal	Gaz Naturel
Combustible de secours	Gasoil
Energie Produite annuellement	9900 GWh
Rendement	58%
Consommation Spécifique	6404 kJ/kWh (PCI : 45200kJ/kg)
Consommation de Gaz :	Environ 200.000 M3/h

### I.1.2.5 Situation géographique de la centrale

La centrale à cycle combiné de Hadjret En Nous est située dans la wilaya de Tipaza, a environ 80KM à l'ouest d'Alger



**Figure I-4 :** Vue Google Map de la Central de Hadjret En nous



### I.1.2.6 Caractéristique du centrale SKH

**Tableau 0-2:**sommaire des caractéristiques du centrale SKH [6]

Caractéristique	
Modèle de turbine	PG9371FB
Puissance brute générée par les turbines à gaza(1) (MW)	3 x 425
Puissance brute générée par les turbines à vapeur (MW)	
Puissance brute totale générée (MW)	1275
Puissance totale nette (MW) (garantie à 30°C)	1227
Consommation de gaz naturel par turbine (t/h)	57.24
Consommation de gaz naturel par brûleurs d'appoint (t/h)	0
Vapeur générée par les chaudières de récupération (t/h)	3 x 381
Débit d'eau de circulation (m3/h)	84000
Équipement intérieur :	
. Turbines à combustion	3
. Turbine à vapeur	3
. Alternateurs	3
. Condenseurs	3
Autres équipements intérieurs :	
. Unité de dessalement de l'eau de mer	Oui
. Systèmes auxiliaires	Oui
. Unité de déminéralisation d'eau	Oui
Équipement extérieur :	
. Cheminées	3
. Transformateurs	3
. Poste de départ	3
. Chaudières de récupération	3
Contrôle des émissions atmosphériques	Turbine à faible dégagement d'oxydes d'azote (NOx)

### I.1.2.7 Composants du centrale électrique à cycle combiné SKH

La composition d'un cycle combiné peut varier selon les spécifications de la centrale électrique et les technologies utilisées, voici la composition de la centrale électrique a hadjret ennous avec ses principales composantes :

- Turbine à gaz
- Compresseur
- Turbine à vapeur
- Condenseur
- Alternateur
- Chaudière de récupération de chaleur HRSG

#### **I.1.2.7.1 Turbine à gaz**

La turbine à gaz se compose principalement d'une chambre de combustion où les gaz subissent une détente en trois étapes successives en traversant des tuyères mobiles. Afin de supporter les températures élevées des gaz d'entrée, atteignant 1 396 °C, les aubes de la turbine sont refroidies par l'air provenant du compresseur. Cet air circule à l'intérieur des pales et est évacué par des orifices conçus pour ne pas perturber l'écoulement des gaz.

De plus, les aubes sont revêtues d'une couche protectrice les protégeant contre la corrosion, l'oxydation et la déformation. Les gaz sortent de la turbine à une température de 623 °C et une pression de 1 bar, avec un débit d'environ 2 365 t/h.

La turbine produit sa puissance de rotation en détendant les gaz de combustion, qui possèdent une grande quantité d'énergie, à travers des aubes fixes et mobiles. Cela permet d'atteindre de hautes vitesses circonférentielles, qui entraînent le rotor. Le nombre d'étages de la turbine est optimisé en fonction des limitations de capacité et des différences de pression entre les étages. Dans les turbines modernes, les aubes fixes et mobiles des premiers étages sont refroidies en raison des températures élevées des gaz d'échappement, ce qui augmente leur durée de vie.

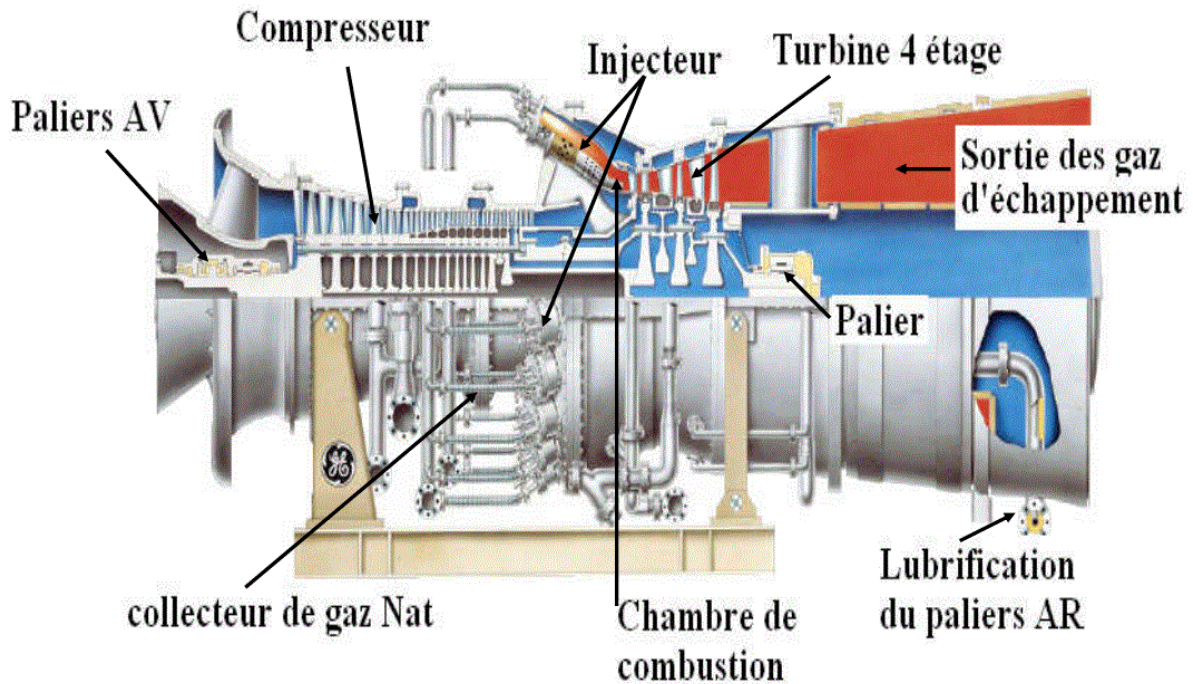


Figure I-5 : turbine à Gaz

#### I.1.2.7.2 Caractéristique de TAG

Puissance : 268,8 MW

Poids : 288 Tm

Combustible : Gaz Naturel ou/et gazole

Température de Gaz à l'entrée : 185 °C

Pression de Gaz à l'entrée : 28 bars

Nombre de brûleurs : 18

Nombre d'étages de turbine : 4 Température d'échappement : 623 °C

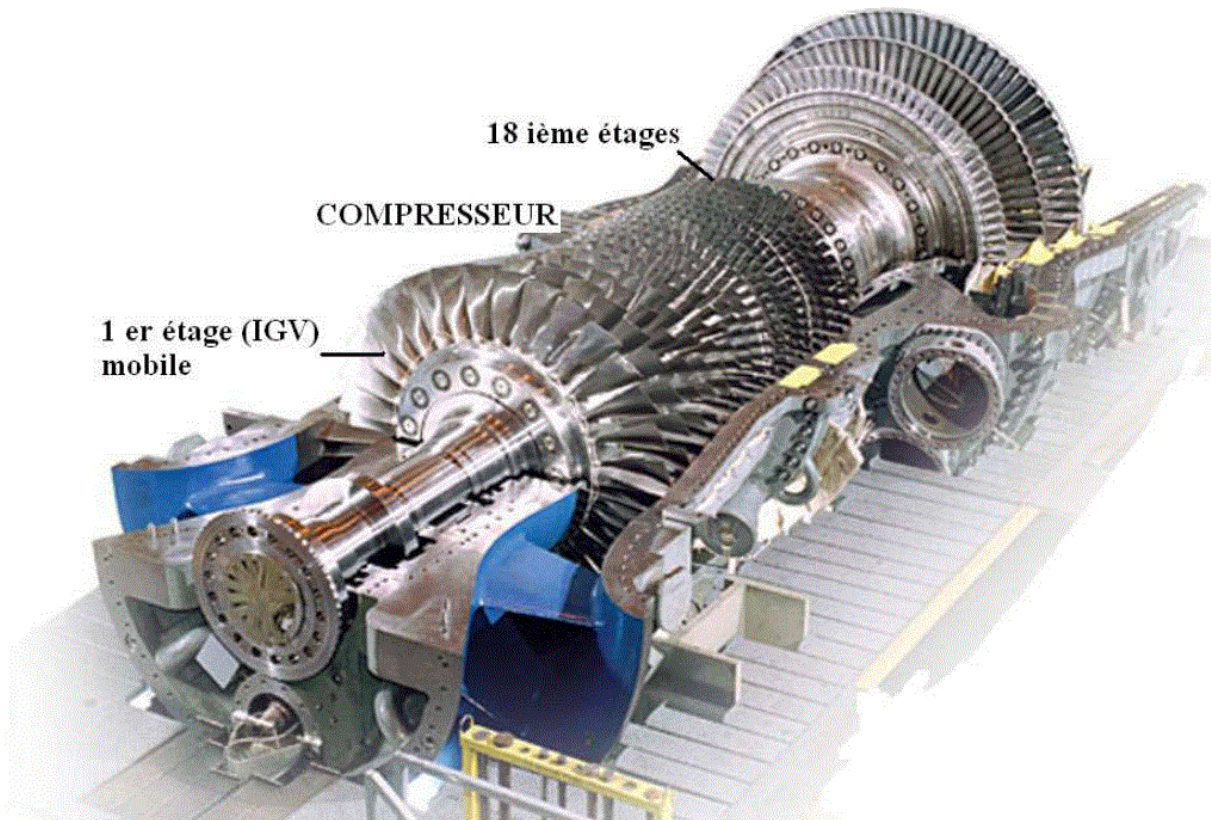
Charge : 18,3 kg/s

#### I.1.2.7.3 Compresseur

Un compresseur est un dispositif mécanique conçu pour comprimer de l'air augmentant ainsi sa pression et réduisant son volume

Le compresseur est à flux axial, 18 étages, Le taux de compression est de 18,3 et le débit d'air est d'environ 600kg/s.

Le compresseur absorbe 2/3 du travail généré par le compresseur Turbines à gaz (environ 180 MW)



**Figure I-6 : compresseur a 18 étages**

#### **I.1.2.7.4 Turbine à vapeur**

Les turbines à vapeur utilisées sont de type "à condensation avec resurchauffe". La vapeur haute pression produite dans les chaudières de récupération est injectée dans ces turbines, où elle subit une détente.

La turbine à vapeur a pour fonction de transformer l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique de rotation. Elle est composée de couronnes de pales fixes et mobiles, et comporte les sections suivantes :

- Section HP : 30 etages a reaction

- Section MP : 11 etages a reaction
- Section BP : 6 etages a reaction

Il existe trois niveaux de pression dans la turbine : haute pression (HP), moyenne pression (MP) et basse pression (BP).

Les rendements typiques de chaque section sont compris dans les fourchettes suivantes : HP 78 à 84%, MP 87 à 92%, BP 86 à 90%.

La répartition de l'énergie générée par chaque section est approximativement la suivante : HP 25 à 30%, MP 15 à 22%, BP 50 à 60%. Section MP : 11 étages à action

#### **I.1.2.7.5 Caractéristique de la TAV**

- **-Turbine de Haute Pression:**

Pression d'entrée : 147 bar

Température d'entrée. 565,5 °C

Débit de Vapeur d'entrée : 78,83 kg/s

- **-Turbine Moyenne pression:**

Pression d'entrée : 21.65 bar

Température d'entrée. 565,5 °C

Débit de Vapeur d'entrée : 86,69 kg/s

- **-Turbine basse Pression:**

Pression d'entrée : 3.654 bar

Température d'entrée. 312,8 °C

Débit de Vapeur d'entrée : 100,33 kg/s

Pression de sortie : 0.03691 bar (pression condenseur)

Température de sortie : 27,6 °C [8]



**Figure I-7 :** turbine à vapeur [9]

## **I.2 Chaudière de récupération HRSG**

La chaudière de récupération, également connue sous le nom de chaudière à récupération de chaleur ou HRSG (Heat Recovery Steam Generator), est un équipement utilisé pour récupérer la chaleur résiduelle provenant des gaz d'échappement des turbines à gaz ou des moteurs à combustion interne. Cette chaleur est alors convertie en vapeur d'eau, qui peut être utilisée pour produire de l'électricité.

La chaudière de récupération est constituée d'un ensemble d'échangeurs tubulaires de chaleur par convection, dans lesquels les gaz chauds d'échappement de la turbine à gaz réchauffent l'eau et la vapeur qui circulent à l'intérieur des tubes. Les chaudières de récupération de chaleur peuvent prendre différents types et configurations. Le type le plus répandu est celui à trois niveaux de pression, avec surchauffeur et réchauffeur intermédiaire.

Les paramètres de fonctionnement typiques de cette chaudière sont les suivants :

- Pression:98,57Bar, Temperature:566,5 °C, Debit:78,73kg/s

## **I.2.1 Fonctionnement du HRSG**

### **I.2.1.1 Economiseur**

La fonction de l'économiseur est d'élever la température de l'eau d'appoint au ballon basse pression jusqu'à des valeurs proches à la température de saturation, tout en s'assurant de ne pas commencer la vaporisation avant le ballon de vapeur.

### **I.2.1.2 Evaporateur**

Sa fonction fondamentale est celle d'assurer le changement de phase de l'eau, de liquide à vapeur, à travers un circuit de circulation naturelle. L'eau du ballon supérieur passe aux travers 3 tuyauteries appelées « tube de chute » pour entrer dans l'Évaporateur. Une fois que le flux de eau vapeur a fait son parcours ascendant par le circuit de l'évaporateur, la vapeur produite coule au ballon suivant à travers 6 tuyauteries dans les circuits MP et de LP et à travers 12 tuyauteries dans le circuit de HP ces tuyauteries sont appelées « risers » (tubes verticales).

### **I.2.1.3 Surchauffeur**

Il produit la surchauffe de la vapeur saturée à la sortie des ballons de vapeur pour l'adapter aux conditions de température requises pour son expansion dans la Turbine de Vapeur

### **I.2.1.4 Resurchauffeur**

Sa fonction est celle de resurchauffée la vapeur du circuit provenant de l'étage HP et de la vapeur réchauffée froid (VRF), jusqu'à obtenir les conditions de température requises pour son expansion dans le corps MP de la Turbine à Vapeur. Cette vapeur à la sortie du Resurchauffeur reçoit le nom de de vapeur resurchauffée (VRC).

### **I.2.1.5 Ballon de vapeur**

La séparation de l'eau et de la vapeur est effectuée dans les ballons de vapeur, ce pourquoi ceux-ci sont pourvus à l'interne d'éléments mécaniques qui permettent cette séparation (séparateur de gouttelettes). Parfois, le secteur de décharge des séparateurs est pourvu de quelques chicane qui réduisent le risque d'entraînement ou d'emportement d'eau dans le collecteur de sortie de la chaudière vers les surchauffeurs.

**I.2.1.6 Composition du Chaudière HRSG**

1. Cheminée
2. Silencieux vapeur basse pression
3. Silencieux dégazeur
4. Silencieux vapeur moyenne pression
5. Silencieux ballon d'éclatement
6. Silencieux vapeur haute pression
7. Silencieux resurchauffeur
8. Sortie de gaz
9. Collecteur des incondensables
10. Ballon basse pression
11. Ballon moyenne pression
12. Ballon haute pression
13. Arrivée des gaz d'échappement TAG
14. Ballon d'éclatement [12]



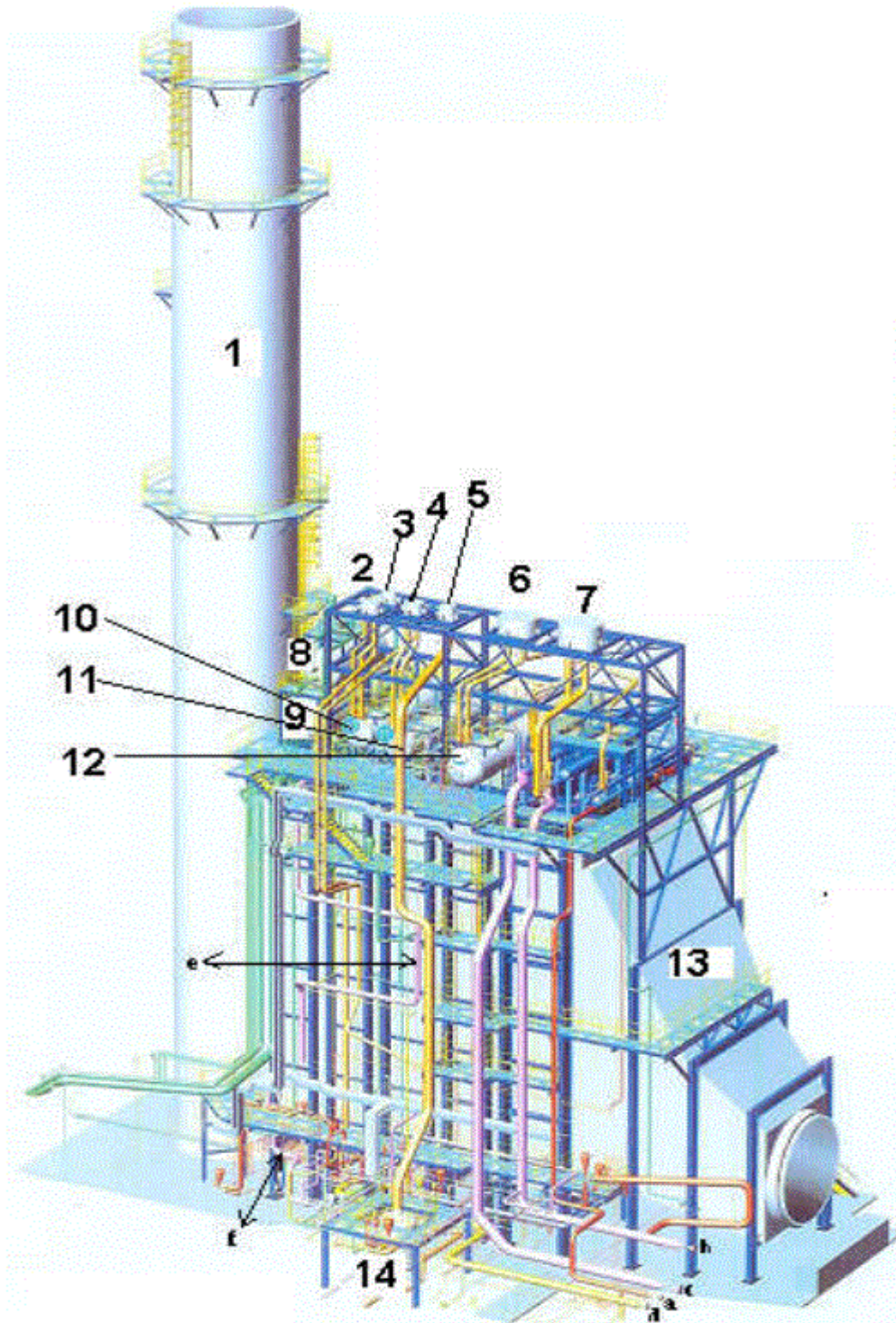


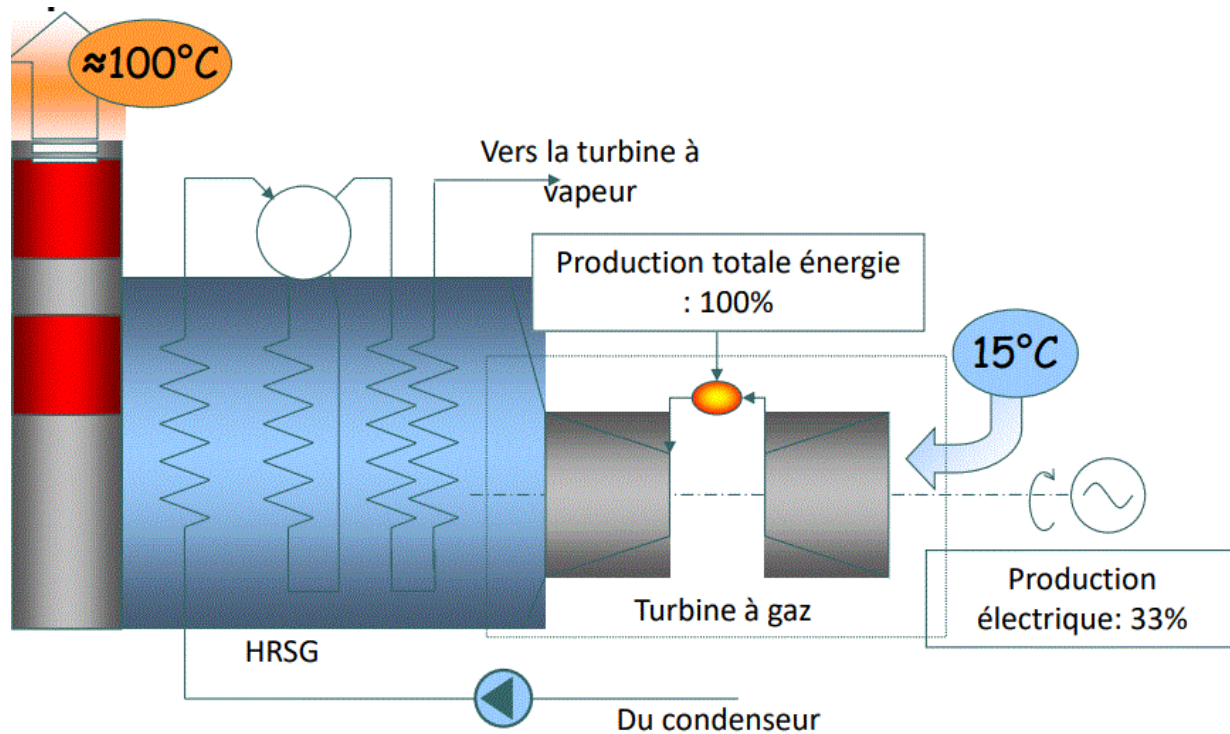
Figure I-8 : Composants d'une chaudière de récupération HRSG [12]

### I.2.1.7 Production de la vapeur

La vapeur est le gaz résultant de l'évaporation de l'eau. Nous pouvons différencier la vapeur sèche, appelée aussi vapeur saturée ou la vapeur surchauffée. L'état de vapeur est généralement

caractérisé par son enthalpie et sa pression ainsi que son entropie. L'état de vapeur est décrit dans un diagramme thermodynamique appelé « diagramme de Mollier ».

La vapeur est produite dans le HRSG (générateur de vapeur à récupération de chaleur). Fondamentalement, le HRSG emploie l'énergie de gaz d'échappement pour produire de la vapeur. La vapeur est alors dirigée vers la turbine à vapeur ou toute autre application de vapeur (chauffage, processus...).



**Figure I-9** : production de la vapeur dans HRSG

Dans le HRSG, la température des fumées va imposer la pression maximale d'opération (pendant que de la pression et la température de saturation sont liées). Elle impose également une disposition des différents échangeurs de chaleur, du plus chaud (surchauffeur) au plus froid (économiseur). [11]

### I.2.1.8 Cycle eau-vapeur

Dans le domaine de la thermodynamique, le concept de « cycle eau-vapeur » sert à élucider le processus complexe de transformation de l'eau en vapeur et son inverse, dans le contexte des centrales à vapeur et d'autres systèmes de production d'énergie thermique. [11]

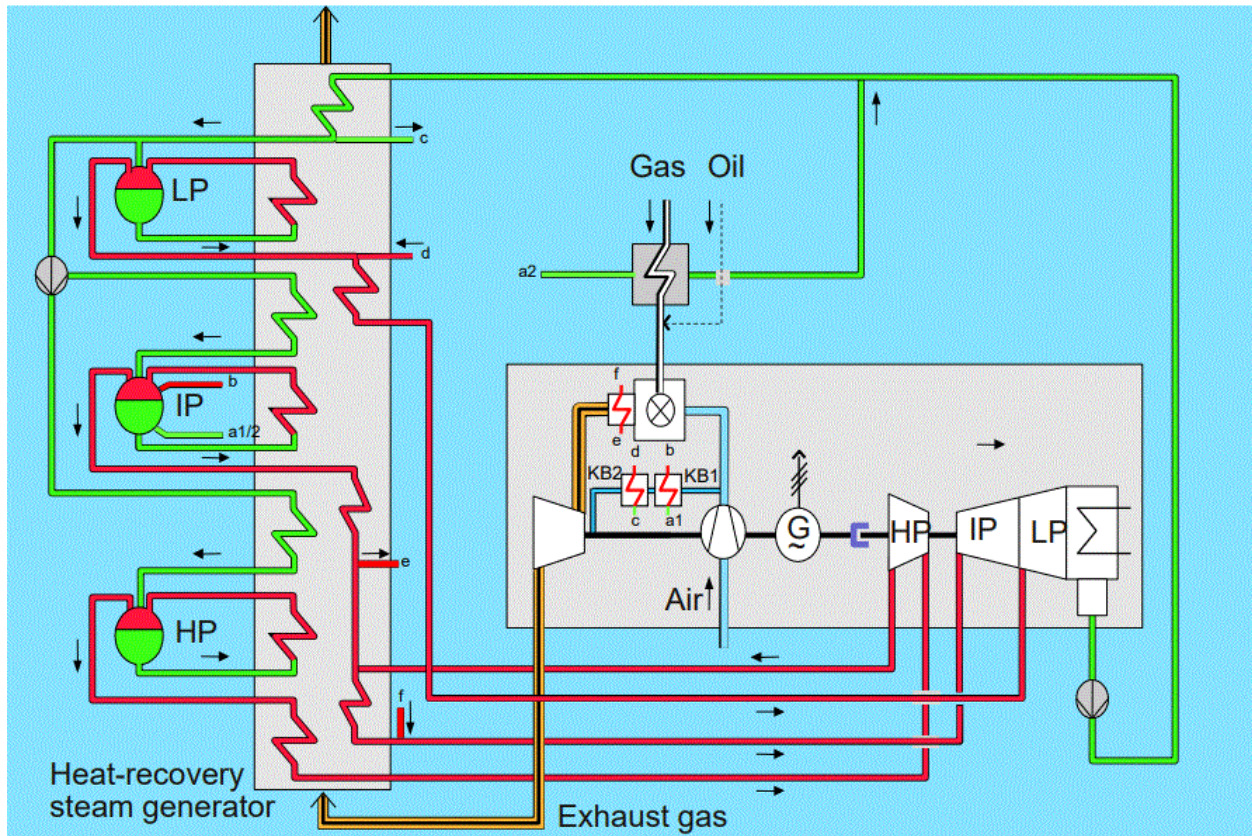


Figure I-10 : schéma explicatif du cycle eau-vapeur [11]

#### I.2.1.8.1 Circuit basse pression

Le circuit de basse Pression (BP) réchauffe l'eau condensé (provenance du condenseur) et produit de la vapeur surchauffée (296,9°C, 3.14 bars) pour le corps basse pression de la Turbine de Vapeur (TV). Le ballon de BP sert de réservoir d'alimentation pour l'approvisionnement des pompes d'eau d'alimentation des circuits moyenne et haute pression. Ce système se divise les sections suivantes dans le sens du flux d'échappement des gaz.

- Le réchauffeur BP.
- Évaporateur BP.
- Économiseur de BP avec sa pompe de recyclage [11]

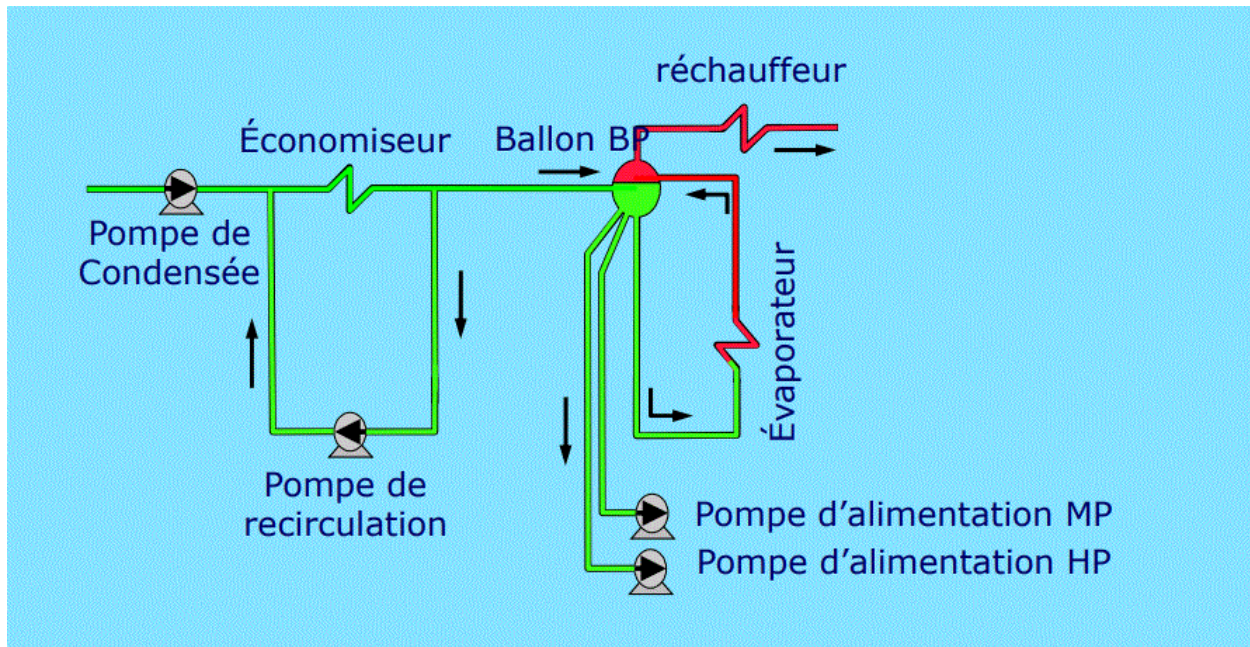


Figure I-11: circuit basse pression [11]

#### I.2.1.8.2 Circuit moyenne pression

La fonction du circuit Moyenne Pression (MP) est de réchauffer l'eau d'alimentation à une pression intermédiaire et produire de la vapeur surchauffée à environ  $300,9^{\circ}\text{C}$ , à un niveau de température semblable à la vapeur qui sort de la turbine Haute Pression, appelé vapeur réchauffée froid (VRF) ( $367,5^{\circ}\text{C}$ ), pour postérieurement, et avec ce VRF, procéder à un réchauffement de ce dernier jusqu'à obtenir les conditions de température requises ( $566,2^{\circ}\text{C}$ ), pour pouvoir être fourni au corps MP de la turbine vapeur en prenant le nom de vapeur réchauffée chaude (VRC). En même temps la vapeur surchauffée MP fournit la vapeur auxiliaire requise.

Aussi depuis le Ballon de vapeur MP, il existe une ligne de vapeur appelée « peggins Steam » au ballon BP et une extraction d'eau après l'économiseur qui nourrit le réchauffeur de gaz. Ce système se divise les sections suivantes disposées dans le sens du flux des gaz d'échappement

- Réchauffeur HT/LT
- Surchauffeur MP
- Évaporateur BP
- Économiseur BP [11]

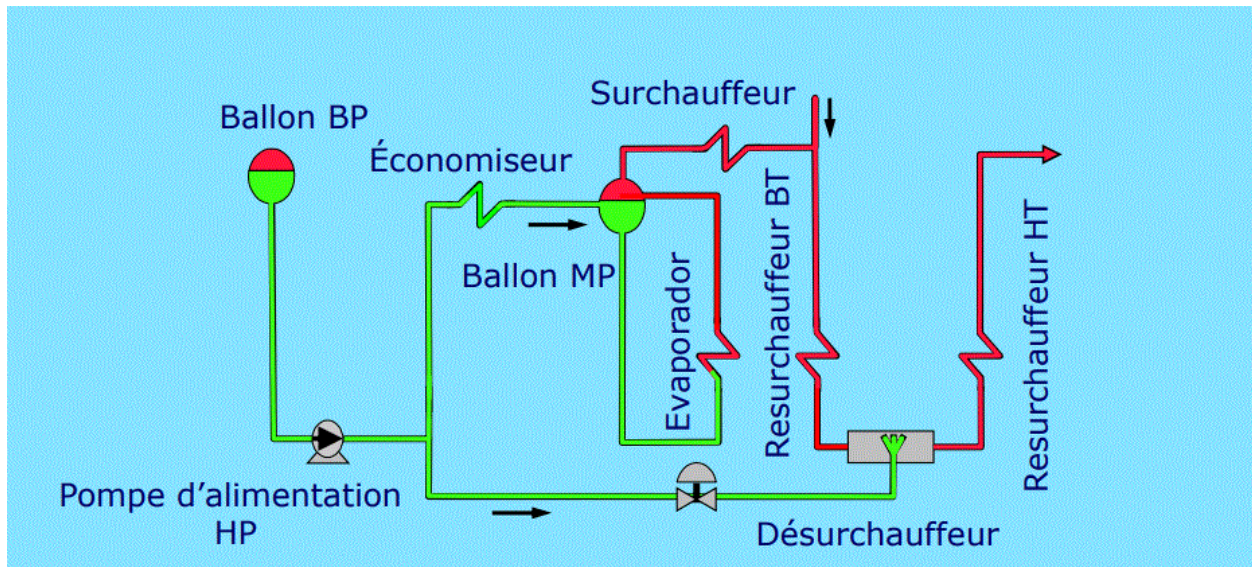


Figure I-12: circuit basse pression [11]

### I.2.1.8.3 Circuit haute pression

- Réchauffe l'eau d'alimentation haute pression et produit de la vapeur surchauffée ( $566,2^{\circ}\text{C}$ ) pour le corps haute pression HP de la turbine de vapeur. - Depuis le ballon HP, il existe une ligne de vapeur de « pegging Steam » pour alimenter le ballon MP.

- Ce système divise les sections suivantes disposées en ordre selon le sens de flux des gaz d'échappement de la Turbine de Gaz (GT) :

- Surchauffeur CV pour HT/IT/LT
- Évaporateur CV [11]

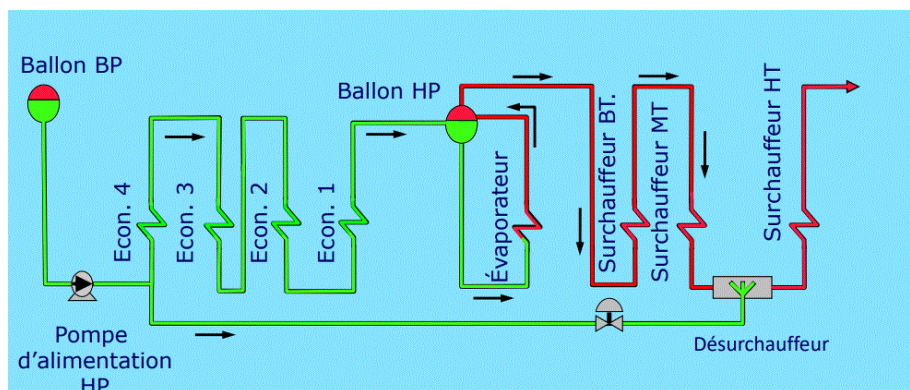


Figure I-13 : Circuit haute pression [11]

### I.3 Prétraitement de l'eau d'alimentation de la chaudière HRSG

#### I.3.1 Introduction

Le traitement de l'eau d'alimentation par osmose inverse est une étape cruciale avant son introduction dans la chaudière HRSG (Générateur de Vapeur Récupérateur de Chaleur). Ce chapitre abordera en détail ce procédé de purification permettant d'éliminer les impuretés dissoutes et les sels minéraux présents dans l'eau. L'objectif est de fournir une eau de très haute pureté afin de prévenir la formation de dépôts, de corrosion et de mousses qui pourraient nuire au fonctionnement optimal de la chaudière. Les principes de fonctionnement de l'osmose inverse et les paramètres de conception seront expliqués. Une attention particulière sera portée sur les exigences de qualité de l'eau d'alimentation requise pour la chaudière HRSG.

#### I.3.2 Caractéristiques de l'eau de mer

Les caractéristiques de l'eau de mer faisant l'objet du dessalement sont présentées dans le Tableau II.1. Il s'agit des conditions de base pour entamer l'opération de dessalement. [5]

**Tableau I-3** : condition de base du site

Paramètre	Unité	Condition de base de site du site la station de Hadjret En Nous
Les solides dissous total	g/L	40.074
Les matières en suspension	g/L	0.004
Chlore	g/L	22.0289
Sulfate	g/L	2.978
Calcium	g/L	1.047
Magnésium	g/L	1.545
Sodium	g/L	11.472
Bicarbonate	g/L	0.13
Potassium	g/L	0.583
Température	C°	24
PH	-	8.2

### **I.3.3 Contrôle d'eau**

#### **I.3.3.1 Conductivités**

##### **I.3.3.1.1 Conductivité spécifique**

La conductivité spécifique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, ce qui donne une indication sur la quantité de sels dissous. Une valeur élevée peut indiquer une forte minéralisation de l'eau.

##### **I.3.3.1.2 Conductivité cationique**

La conductivité cationique mesure la concentration des cations (charges positives) présents dans l'eau. Elle permet d'évaluer la qualité du traitement de l'eau.

##### **I.3.3.1.3 Conductivité cationique dégazée**

Cette mesure de la conductivité cationique est effectuée après dégazage de l'eau, ce qui permet d'éliminer l'influence du dioxyde de carbone dissous.

#### **I.3.3.2 PH**

Le pH indique l'acidité ou la basicité de l'eau. Un pH optimal est important pour le bon fonctionnement des équipements.

#### **I.3.3.3 Potentiel redox**

Le potentiel redox mesure l'état d'oxydoréduction de l'eau, ce qui permet d'évaluer sa capacité à subir des réactions chimiques.

#### **I.3.3.4 Oxygène dissous**

La concentration en oxygène dissous dans l'eau est un paramètre clé pour la prévention de la corrosion des équipements.

### **I.3.4 Les impuretés**

#### **I.3.4.1 Minéraux dissous :**

- Calcium, magnésium, sodium, chlorures, sulfates, etc.
- Peuvent former des dépôts de tartre sur les surfaces chaudes (chaudière, turbines)
- Augmentent la conductivité de l'eau et favorisent la corrosion

**I.3.4.2 Silice :**

- Provient de l'altération des roches
- Peut former des dépôts durs et adhérents sur les surfaces
- Diminue l'efficacité des échangeurs thermiques

**I.3.4.3 Matières en suspension :**

- Particules de limon, de sable, de rouille, etc.
- Peuvent se déposer et obstruer les canalisations ou les échangeurs
- Accélèrent l'usure des pompes et des vannes

**I.3.4.4 Gaz dissous :**

- Oxygène, dioxyde de carbone, hydrogène sulfuré, etc.
- Favorisent la corrosion des équipements métalliques
- Peuvent se dégazer et former des poches de gaz dans les circuits

**I.3.4.5 Matières organiques :**

- Acides humiques, tanins, algues, bactéries, etc.
- Favorisent le développement microbologique
- Peuvent former des dépôts et des boues

**I.3.4.6 Composés ioniques (cations et anions) :**

- Métaux lourds (Cu, Pb, Zn, etc.)
- Phosphates, nitrates, etc.
- Peuvent se concentrer dans les circuits et causer de la corrosion

Un traitement de l'eau adapté est nécessaire pour éliminer ces impuretés avant introduire cette eau aux chaudières de récupération HRSG



### **I.3.5 Procédé de de traitement de l'eau :**

#### **I.3.5.1 Traitement de l'eau de mer :**

L'eau étant un élément essentiel dans la centrale, son transport à travers les canaux et sa circulation dans les machines (pompes, chaudières...) peut causer des altérations aux différents matériaux avec lesquels elle est en contact : corrosion, entartrage...

A la longue ces altérations induiront à des défaillances techniques, des explosions et une Dégradation du matériel.

Afin d'optimiser le fonctionnement et garantir le rendement de la chaudière et parallèlement le rendement de la production en général, il est nécessaire de purifier l'eau d'alimentation des sels, des gaz (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) et des matières en suspension.

Ainsi, avant d'être fonctionnelle, l'eau pompée doit être traitée suivant le procédé adéquat et conforme aux normes. C'est à dire qu'elle doit être : dessalée, filtrée, déminéralisée, dégazée puis conditionnée par addition d'espèces réductrices.

##### **I.3.5.1.1 La station de pompage :**

La station de pompage est composée de :

- Canaux de pompages.
- 06 filtres rotatifs.
- Pompes auxiliaires.
- Pompes de circulation.

L'eau de mer est pompée à partir d'un canal préconstruit. Elle subit ensuite un traitement au chlore qui a pour but d'éliminer les bactéries présentes dans l'eau de mer puis l'eau passe à travers six filtres rotatifs afin de ne pas laisser passer les matières volumineuse (algues, bois, sable...).

##### **I.3.5.1.2 Prés traitement de l'eau salée :**

L'eau de mer contient des particules en suspension (stables) difficiles à éliminer, pour les rendre plus grosses et moins adhérentes aux pores, on leur fait subir une coagulation et une floculation. Il convient donc de neutraliser les charges négatives des matières en suspension pour casser leur état colloïdal en injectant des produits chargés positivement. Il s'agit de sels métalliques tels que le chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>) connu comme <<coagulant>>.

Le prétraitement commence d'abord par l'ajout du Meta bisulfite de sodium pour neutraliser le chlore ajouté précédemment au niveau de la station de pompage.

Puis, on rajoute un anti-salin pour éliminer les traces de calcium et de magnésium qui causent un entartrage au niveau des membranes. Enfin, le polymère a pour rôle de rassembler les matières en suspension déjà déstabilisé par l'agent coagulant pour constituer des floccs qui seront après facile à filtrer.

Avant que l'eau ne passe par les filtres à sables ont lui injecte de l'acide ( $H_2SO_4$ ) à de faibles doses de l'ordre de 20 ppm pour faire baisser le pH de l'eau de mer qui est d'environ 8 à un pH aux alentours de 7 et cela pour rentrer dans les conditions de bon fonctionnement des appareils par lesquels vas passer.

#### **I.3.5.1.3 La filtration sur sable :**

L'eau prétraitée passe alors par les 04 filtres à sables (figure 3) afin d'éliminer les floccs. Les couches composantes des filtres sont de granulométrie différente et d'épaisseur étudiée :

- 0,9 m gravier.
- 0,75 m sable.
- 0,75 m anthracite (famille charbon).

Les filtres à sables sont constamment nettoyés car ils se saturent et cela dès que l'écart entre la pression d'entrée de l'eau dans le filtre et la pression de sortie dépasse 1 bar.

#### **I.3.5.1.4 La microfiltration :**

Pour une meilleure purification, l'eau passe dans un micro filtre. Le but étant d'éliminer tous organisme biologique ou organique potentiellement existant.

Les pores du micro filtre vont jusqu'à 5  $\mu m$ . cette étape vient juste avant l'osmose inverse pour prévoir la présence de matières non souhaitées dans le but augmenter la durée de vie des cartouches de l'osmoseur.

#### **I.3.5.2 L'osmose inverse :**

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméabilité à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. [13]

### I.3.5.2.1 L'osmose :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée. [14]

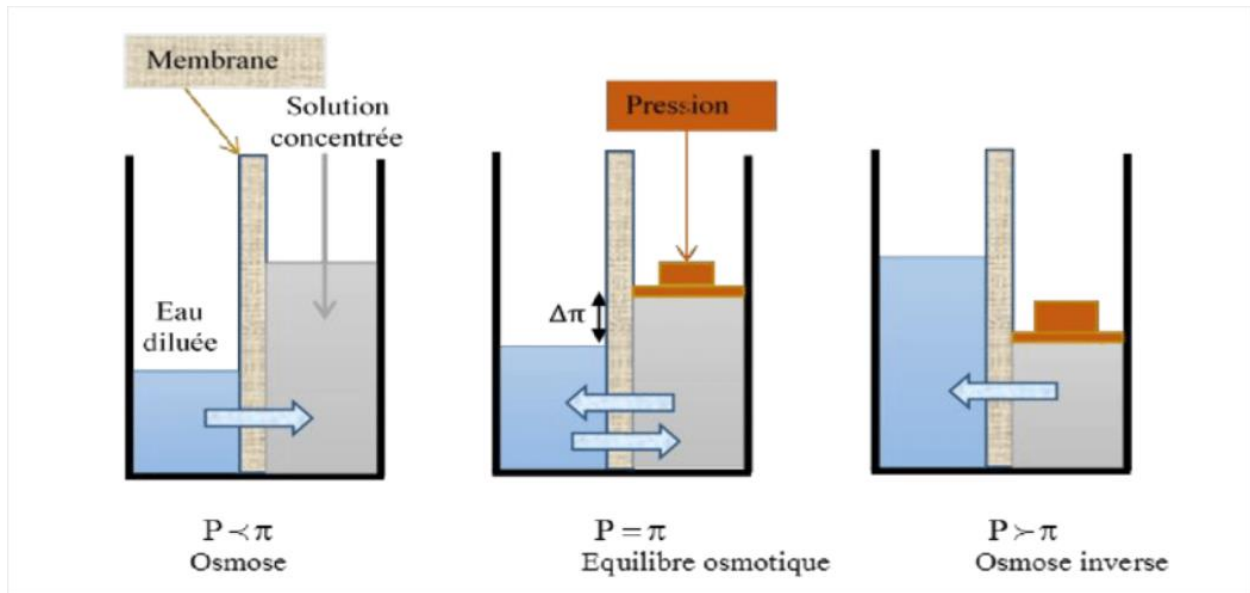


Figure I-14 : principe de l'osmose inverse [22]

### I.3.5.3 L'électrodéionisation :

L'eau obtenue est bien dessalée mais elle contient encore des ions ! On doit alors procéder à une dés-ionisation de l'eau.

L'Electro-dés-ionisation (EDI) est un procédé de purification combinant plusieurs technologies dont l'échange d'ions sur résines spécifiques, la séparation membranaire et l'électrodialyse.

À l'aide de membranes polarisées, un champ électrique permet de séparer des espèces ionisées minérales ou organiques.



**Figure I-15:** l'électrodeionisation

### I.3.6 Paramètres de la limite maximale pour le projet

**Tableau I-4 :** limite maximale pour le projet

Parameters	unite	Limite maximale pour le projet
Aluminium	Mg/L	3
Azote totale	Mg/L	30
Cadmium	Mg/L	0.2
Chrome total	Mg/L	0.5
Compose organique chlore	Mg/L	5
Cuivre total	Mg/L	0.5
DBO	Mg/L	35
DCO	Mg/L	120
Fer	Mg/L	3
Huiles et graisses	Mg/L	20
Hydrocarbures totaux	Mg/L	10
Maganés	Mg/L	1
Matière en suspension	Mg/L	35
Mercure totale	Mg/L	0.01
Nickel total	Mg/L	0.5
PH		Entre 6.5 et 8.5
Phosphore total	Mg/L	10
Plomb	Mg/L	1
Zinc total	Mg/L	3

## **I.4 Problèmes liés à la chaudière de récupération HRSG**

### **I.4.1 Introduction**

Les chaudières HRSG sont essentielles dans les centrales électriques fonctionnant à cycle combiné, mais elles peuvent être confrontées à divers problèmes opérationnels pouvant affecter l'efficacité et la durée de vie de ces équipements. Des traitements chimiques appropriés sont nécessaires pour prévenir et éliminer ces problèmes.

Les chaudières de récupération HRSG peuvent rencontrer divers problèmes pouvant affecter leur fonctionnement et leur fiabilité, les principaux risques pouvant survenir avec une chaudière de récupération HRSG sont les suivants :

- Entartage
- Formation des dépôts
- Moussage et primage
- Corrosion

### **I.4.2 Entartage**

L'entartrage des chaudières est causé par la précipitation des impuretés contenues dans l'eau, qui se déposent directement sur les surfaces de transfert de chaleur, ou par la sédimentation de matières en suspension qui deviennent dures et adhérentes au métal.

L'évaporation dans les chaudières entraîne une augmentation de la concentration en impuretés. Celles-ci interfèrent avec les transferts de chaleur et peuvent engendrer des points chauds, menant à des surchauffes locales.

Le mécanisme de l'entartrage est lié au dépassement des limites de solubilité des substances minérales, dû à l'élévation de la température et à la concentration des solides à l'interface tube/eau.

Les dépôts de précipités cristallins sur les parois des chaudières perturbent le transfert de chaleur et peuvent causer des points chauds, entraînant des surchauffes locales. Plus la conduction thermique est entravée, plus ces surchauffes peuvent devenir dangereuses.



**Figure I-16** : canalisation entartrée [16]

### I.4.3 Formation des dépôts

Les dépôts qui s'accumulent dans les chaudières de récupération de chaleur (HRSG) peuvent être composés de sels, de minéraux, de matières organiques et d'autres contaminants présents dans l'eau d'alimentation et les gaz d'échappement.

Ces dépôts s'accumulent sur diverses surfaces de la chaudière, telles que les tubes, les économiseurs et les surchauffeurs. Leur présence réduit l'efficacité des transferts thermiques au sein de l'équipement.

Cette dégradation des performances thermiques induite par l'entartrage des surfaces d'échange a un impact négatif sur le rendement global de la centrale équipée de cette chaudière de récupération. [17]



**Figure I-17** : dépôts des particules solides sur les tuyaux

### I.4.4 Moussage et primage

Le primage de l'eau de chaudière désigne la contamination de la vapeur par des solides présents dans l'eau. Ce phénomène se traduit par la formation de bulles ou de mousse à la surface

de l'eau, qui sont ensuite entraînées avec la vapeur. Ce moussage est causé par une forte concentration en solides dissous dans l'eau de la chaudière.

Certaines substances spécifiques, telles que les semences alcalines, les huiles, les corps gras, certains types de matière organique et les solides en suspension, sont particulièrement propices à la formation de mousse. En théorie, ces particules solides se rassemblent à la surface des bulles de vapeur, renforçant leur résistance à l'éclatement et favorisant ainsi l'accumulation de mousse.

Le primage correspond au transfert de grandes quantités de gouttelettes d'eau dans la vapeur (sous forme de mousse et de brouillard), ce qui dégrade les performances énergétiques de la vapeur et entraîne des dépôts de sels cristallins sur les surchauffeurs et dans les turbines. Le primage peut être causé par une conception inadaptée de la chaudière, des régimes de fonctionnement excessifs ou des fluctuations soudaines de la demande en vapeur. Ce phénomène peut être aggravé par la présence d'impuretés dans l'eau de la chaudière. [16]

#### **I.4.5 CORROSION**

La corrosion correspond au phénomène de retour d'un métal à sa forme de minerai d'origine. Par exemple, le fer retourne sous forme d'oxyde de fer sous l'effet de la corrosion.

Cependant, le processus de corrosion est en réalité une réaction électrochimique complexe, qui peut prendre diverses formes. La corrosion peut ainsi produire une attaque généralisée sur une large surface, ou bien résulter en une attaque très localisée.

La corrosion est un problème pertinent causé par l'eau dans les chaudières. En effet, les interactions entre l'eau et les surfaces métalliques peuvent engendrer des phénomènes corrosifs préjudiciables au bon fonctionnement de l'équipement.[16]

##### **I.4.5.1 Les risques de la corrosion dans la chaudière**

La corrosion des tubes et/ou les dépôts de particules solides sur les tubes de la chaudière sont un signe d'une mauvaise maîtrise de la qualité de l'eau d'alimentation. La corrosion peut entraîner des ruptures de tuyaux. Les dépôts dégradent l'efficacité du transfert thermique, donc le rendement global de la centrale (voire peuvent entraîner rupture thermique des tubes).



**Figure I-18** : corrosion dans la chaudière



**Figure I-19** : rupture de tuyau

#### **I.4.5.1.1 Les risques de la corrosion sur la TV**

Le pitting et le cracking sont les risques principaux liés à une mauvaise qualité de vapeur (présence de sels). Le glaçage est généralement dû à la présence de silice dans la vapeur. En dégradant la qualité de surface des aubages, ces phénomènes dégradent la qualité du turbinage et affectent la résistance mécanique des aubes TV.



**Figure I-20**: Glaçage des aubes TV



**Figure I-21**: pitting

#### **I.4.6 LE TRAITEMENT CHIMIQUE DANS LA HRSG**

Les HRSG sont des équipements essentiels dans les centrales de cogénération et les centrales électriques utilisant la vapeur. Elles permettent de récupérer la chaleur des gaz d'échappement d'une turbine à gaz pour produire de la vapeur, améliorant ainsi l'efficacité globale de l'installation.

Cependant, le fonctionnement d'une HRSG nécessite un traitement chimique approprié de l'eau d'alimentation et du circuit de vapeur afin de prévenir les problèmes liés à la corrosion, à la formation de dépôts et à l'entartrage. Différentes approches de traitement chimique sont donc employées pour assurer le bon fonctionnement et la longévité de ces équipements.

Les types de traitements chimiques appliqués dans la HRSG

Voici les quatre principaux types de traitement chimique appliqués dans une HRSG :



- Traitement all volatile
- Traitement aux phosphates
- Traitement caustique
- Traitement oxygène

#### **I.4.6.1 Traitement all volatile (AVT)**

Le traitement "All Volatile" est un système de traitement chimique qui n'utilise que des produits chimiques volatils, tels que l'ammoniac. Ces composés chimiques s'évaporent complètement lors de l'ébullition.

L'objectif de ce traitement est de maintenir un pH alcalin dans l'ensemble du circuit eau-vapeur, afin de prévenir la corrosion acide et la formation de dépôts minéraux.

En effet, le maintien d'un milieu alcalin permet de protéger les surfaces métalliques contre les phénomènes corrosifs, tout en limitant la précipitation des sels dissous qui pourrait entraîner l'entartrage de l'équipement.

Ce procédé de traitement "All Volatile" offre ainsi une solution efficace pour assurer l'intégrité et les performances du circuit eau-vapeur des chaudières sur le long terme [18].

##### **Avantages**

- Simplicité de mise en œuvre et de contrôle du traitement
- Absence de résidus solides pouvant former des dépôts
- Bonne protection contre la corrosion acide

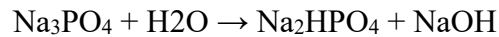
##### **Limites**

- Nécessite un apport d'eau de haute qualité
- Pas de tampon chimique
- Dangereux pour les alliages de cuivre
- Difficultés pour maintenir le pH dans le ballon MP

#### **I.4.6.2 Traitement aux phosphates**

Une technique de traitement de l'eau de chaudière désormais ancienne consiste en l'ajout de phosphate trisodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), éventuellement en mélange avec du phosphate disodique ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ). Dans l'eau, ces composés sont capables de libérer de la soude, provoquant ainsi une

augmentation du pH.



Le principal avantage du traitement aux phosphates réside dans leur effet tampon, qui accroît la tolérance aux intrusions d'impuretés pouvant affecter le pH de l'eau.

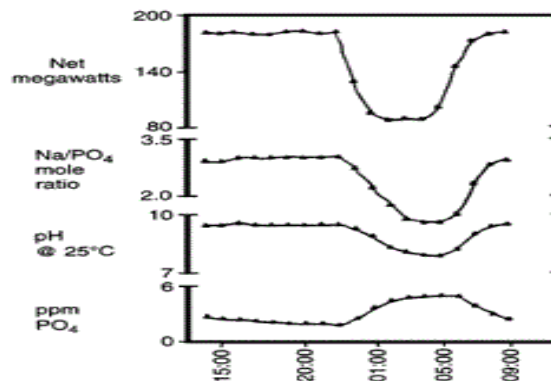
Un autre bénéfice de ce traitement est la réaction des phosphates avec les sels de calcium, de magnésium et la silice, formant ainsi des précipités non adhérents qui peuvent être aisément éliminés sous forme de boues lors des purges.

Cependant, les teneurs en phosphates doivent être maintenues à des niveaux très bas, typiquement inférieurs à 3 ppm, afin d'éviter les phénomènes de "hideout" qui pourraient perturber le contrôle du pH.[19]

Le Phosphate doit être maintenu à des niveaux très bas : < 3ppm pour éviter les phénomènes de « hideout »

#### I.4.6.2.1 Phosphate hideout

- Disparition du phosphate ionique à haute charge
- Précipitation/Recombinaison avec les oxydes présents
- Réapparition lorsque la charge baisse



- **Figure I-22** : Phénomène de hideout mis en évidence durant une variation de charge

#### I.4.6.3 Traitement caustique

Le traitement caustique est l'un des principaux types de traitement chimique utilisés pour la protection contre la corrosion dans les centrales à cycle combiné. Ce procédé implique l'injection d'hydroxyde de sodium (soude caustique) dans l'eau d'alimentation de la chaudière de récupération

de chaleur (HRSG) afin de maintenir un pH élevé, généralement compris entre 9,0 et 10,5, dans l'ensemble du circuit eau-vapeur.

La soude caustique réagit avec les acides présents dans l'eau, les neutralisant pour former des sels neutres. Ce pH alcalin élevé crée un milieu protecteur contre la corrosion acide, préservant ainsi l'intégrité des surfaces métalliques de l'équipement.

Ce traitement caustique s'avère particulièrement adapté lorsque le traitement au phosphate s'est révélé inefficace ou en présence de corrosion par érosion-corrosion sévère. Il permet alors d'assurer une protection efficace contre les phénomènes corrosifs dans le circuit eau-vapeur de la chaudière HRSG.[20]

#### **I.4.6.4 Traitement oxygéné**

Le traitement à l'oxygène consiste à injecter de l'oxygène dissous dans l'eau d'alimentation de la chaudière de récupération de chaleur (HRSG). L'oxygène réagit alors avec les surfaces métalliques pour former une couche de passivation protectrice, réduisant ainsi les phénomènes de corrosion.

Ce traitement à l'oxygène est souvent utilisé en combinaison avec d'autres approches, comme le traitement au phosphate ou le traitement caustique, afin d'assurer une protection optimale de l'équipement.

Bien que relativement simple à mettre en œuvre, le traitement oxygéné nécessite une surveillance attentive des niveaux d'oxygène dissous afin de maintenir une concentration adéquate. Cela permet d'assurer l'efficacité de la couche de passivation formée et de prévenir les dommages liés à la corrosion.

Lorsqu'il est correctement contrôlé, ce traitement à l'oxygène constitue une solution efficace pour protéger l'intégrité du circuit eau-vapeur de la chaudière HRSG. [19]

#### **I.4.7 Types de traitements et injection au sein du skh**

On utilise au sein de la centrale électrique SKH multiple traitement :

- Traitement all volatile avec injection d'ammoniaque au niveau du condenseur et ballon BP

- Traitement phosphate on injectons le trisodique du phosphate  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  au niveau des ballon MP et HP

Comme on utilise des autres compléments de traitements chimiques :

1. Purges des ballons MP et HP pour déconcentrer les sels et évacuer les solides.

Note : Pas de purges sur le ballon BP car l'eau circule suffisamment (bâche alimentaire)

2. Dégazeur sur ballon BP

L'eau du ballon est chauffée dans le dégazeur pour Éliminer les gaz dissous

3. Sparging Steam

Injection de vapeur auxiliaire dans le condenseur Pour évacuer les gaz dissous dans les condensats ( $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$ )

4. Les séparateurs d'humidité dans les ballons assurent une séparation correcte de l'eau et de la vapeur. Généralement, la CC de l'eau des ballons est beaucoup plus élevée que celle de la vapeur ( $\sim 10\mu\text{S}$  vs.  $\sim 0,1\mu\text{S}$ ). Il faut donc à tout prix empêcher un mélange des deux phases. [21]



**Figure I-23** : Réservoir d'injection du phosphate et ammoniacque du HRSG 2

### I.4.8 Directives de pureté de la vapeur après le traitement chimique

Tableau I-5 : Directives de pureté de la vapeur après le traitement chimique [21]

Target Parameter	Unit	Sample	N	1		2		3	Immediate shutdown
Sodium, as Na	ppb	C	≤ 3	> 3	≤ 6	> 6	≤ 12	> 12	20
Cation Conductivity@25°C	μS/cm	C	≤ 0.15	> 0.15	≤ 0.25	> 0.25	≤ 0.45	> 0.45	2.0
Silica, as SiO <sub>2</sub>	ppb	C	≤ 10	> 10	≤ 20	> 20	≤ 40	> 40	50
Chloride as Cl	ppb	T	≤ 3	> 3	≤ 6	> 6	≤ 12	> 12	20
Sulfate as SO <sub>4</sub>	ppb	T	≤ 3	> 3	≤ 6	> 6	≤ 12	> 12	20
Total organic Carbon as C	ppb	T	≤ 100	> 100					
Fe <sup>3+</sup>	ppb	W3	≤ 5	> 5	≤ 10	-	-	-	20

### I.4.9 Les niveaux de risques

Pour maintenir la pureté de la vapeur dans des limites acceptables pour assurer la fiabilité à long terme de l'installation, tout en gérant les risques de contamination et de corrosion pendant la phase de mise en service.

Les niveaux de risques du centrale électrique SKH représenter en tableau suivant :

Tableau I-6 : Niveaux de risque du centrale

Action level	Pureté de la vapeur	Heures Cumulées Pendant la Mise en Service	Niveau d'Action pour la Ligne Directrice Applicable sur la Pureté de la Vapeur
Action level 1		-----	Valeur conforme à la fiabilité à long terme
Action level 2		336 Heures (2semaine)	Conforme à l'expérience de l'industrie pendant la mise en service
Action level 3		48 Heures (2jour)	Potentiel de contamination et de corrosion. Rester à ce niveau uniquement si la pureté de la vapeur tend vers le niveau d'action 1 dans les 12 heures
Action level 4		8 Heure	Potentiel de corrosion rapide. Rester à ce niveau uniquement si la pureté de la vapeur tend vers le niveau d'action 2 dans l'heure

**CHAPITRE II**  
**MATERIEL ET**  
**METHODES**

## II.1 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Au sein de notre travail au laboratoire du skh on a utilisé des divers matériels pour notre analyse ainsi que :

- Le spectrophotomètre DR3900
- Réacteur thermique LT200
- PH-mètre
- Fer
- Balance
- Agitateur
- Purificateur d'eau ULTRA SCMK2

### II.1.1 Le spectrophotomètre DR3900

Le DR3900 est un spectrophotomètre de paillasse à spectre visible (320 - 1100 nm) et faisceau divisé avec plus de 220 méthodes préprogrammées optimisées pour l'analyse de l'eau en laboratoire.

Le DR3900 est conçu pour fournir rapidement des résultats précis avec les réactifs innovants TNT plus et LCK de Hach, permettant ainsi une préparation rapide et une exécution facile.. [23]

	caractéristiques
bande spectrale	320 à 1100 nm, largeur 5 nm
exactitude spectrale	±1,5 nm
reproductibilité	±0,1 nm
résolution	1 nm
précision photométrique	5 mAbs jusqu'à 0,5 Abs puis 1%
affichage	écran tactile rétroéclairé 7" (800 x 480 pixels)
interfaces	Éthernet, USB
mémorisation	2000 valeurs (résultats, date, heure, ID échantillon et utilisateur)
conditions ambiantes admissibles	-10 à +40°C / 80 % HR
alimentation / autonomie	secteur avec adaptateur universel 100 à 240 V
dimensions / poids	350 x 255 x h151 mm / 4,2 kg
cuves compatibles	Ø 13 mm, Ø 1 pouce, □ 10, □ 50 mm, 1 pouce (plastique, quartz, verre) cuves à circulation
<b>Spectrophotomètre</b>	<b>DR3900</b>
<b>accessoires</b>	
Kit RFID*	DR3910
Imprimante thermique	DR3920
Câble Éthernet 2 m	DR3930

Figure II -1 : caractéristique de DR3900 [24]

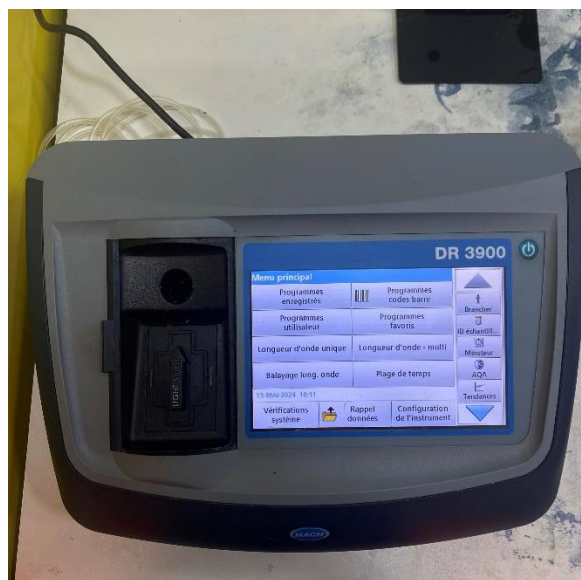


Figure II -2 : spectrophotomètre DR3900

Dans notre travail d'analyse d'eau déminéraliser on a utilisé le spectrophotomètre DR3900 pour la mesure de multiples impuretés tel que : le fer, la silice, l'ammoniaque et la nitrate

### II.1.2 Réacteur thermique LT200

La détermination de nombreux paramètres essentiels nécessite une préparation préalable des échantillons. Le thermostat LT200 vient idéalement compléter le système de tests en cuve Hach

Pour la mesure de ces paramètres. Les deux blocs de chauffage à commande indépendante

Permettent la préparation simultanée de cuves et d'éprouvettes à des températures et pendant des durées identiques ou différentes.

Le LT200 est doté d'une minuterie numérique avec arrêt automatique et signal sonore. Deux capots de Protection transparente protègent le thermostat contre les projections pendant le chauffage. La protection Contre la surchauffe intégrée, ainsi que la membrane externe isolée offrent une sécurité accrue [25]

#### Ces caractéristiques :

- Grande flexibilité
- Excellente reproductibilité
- Simple d'utilisation



**Figure II -3:** Réacteur thermique LT200



### II.1.3 MÉTHODE D'ANALYSE PHYSICO CHIMIQUE

#### II.1.3.1 ANALYSE ET SUIVI EN LIGNE

Pour assurer un contrôle précis et continu de la qualité d'eau ce qui est essentiel pour le bon fonctionnement et la fiabilité de notre installation, on utilise des méthodes en ligne pour la surveillance des paramètres physico-chimiques.

Chaque tranche est munie des principaux équipements suivants :

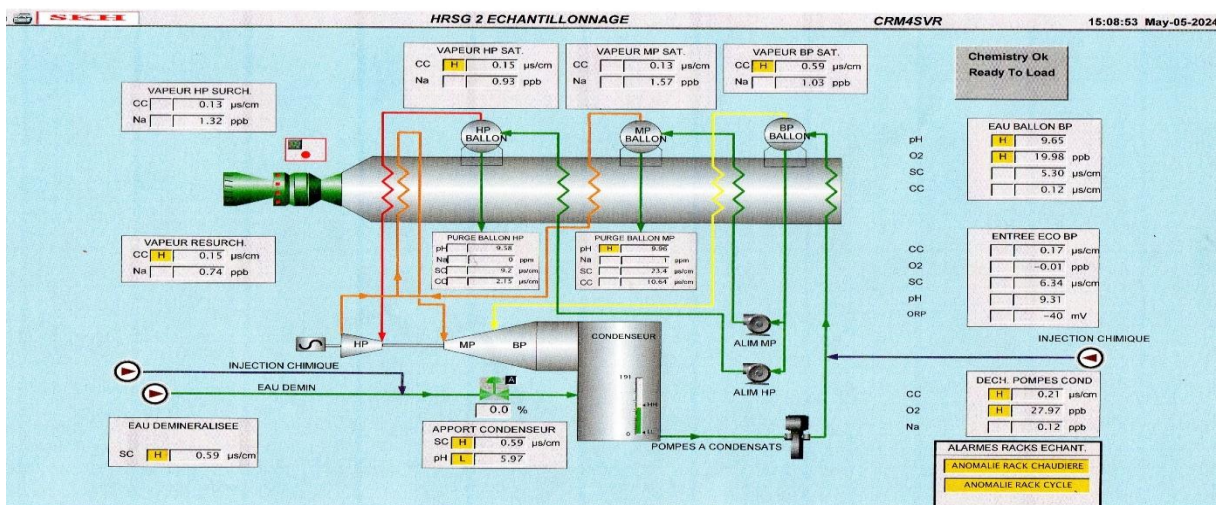
- Panneau d'échantillonnage pour le suivi de la chaudière HRSG (eau/vapeur) équipé de refroidisseurs et de pots de résine,
- Panneau d'analyseurs en ligne (continu) et de prise d'échantillon manuel pour le suivi de la chaudière HRSG (eau/vapeur), ce panneau contient :
  - **Analyseur des gaz dissous** : pour surveiller la concentration des gaz dans l'eau tels que : l'oxygène dissous cela pour but de détecter les fuites et anomalies dans le système de refroidissement
  - **Des capteurs** : des capteurs sont utilisés pour mesurer la conductivité spécifique ainsi que le pH et les cations présents dans l'eau tels que sodium ( $\text{Na}^+$ )

Les informations captées par les différents analyseurs en lignes sont transmises en temps réel vers la salle de Contrôle qui est les cerveaux de la centrale ce qui permet aux opérateurs de surveiller ces données et prendre des mesures ou informer les chimistes en cas où un problème ou une anomalie est détectée.



Figure II -4 : affichage des paramètres en ligne

Dans la figure suivante est un Exemple des informations transmissent aux salles de contrôle et c'est notre rôle autant que chimiste de prendre des interventions sur site en cas ou un problème



\\Site\Screens\21QU\_00.CIM  
18:53 PM 5/5/2024

Figure II -5 : Report des Analyseurs au niveau de la salle de contrôle

### II.1.3.2 ANALYSE AU NIVEAU DU LABORATOIRE (HORS LIGNE)

#### Échantillonnages

- Le prélèvement d'échantillonnage se déroule au niveau du panneau d'échantillonnage
- On prend des bouteilles de 500ml et les rince avec l'eau déminéraliser avant le prélèvement
  - Rincer les bouteilles une fois au site avec de l'échantillon même
  - Attendre 2min pour éviter les résidus de colmatage et tuyauterie
  - Remplirai chaque bouteille avec l'échantillon correspondant à son point d'échantillonnage



Figure II-6: prise d'échantillonnage du ballon MP3

### II.1.4 METHODES D'ANALYSES

#### II.1.4.1 PH

Le pH est défini comme le logarithme négatif de l'activité des ions hydrogène.

$$PH = -\log_{10} a_{H^+}$$

Elle est mesurée à l'aide d'une électrode de verre dont le potentiel évolue en fonction de la concentration de la solution.

Les ions hydrogène obéissent à l'équation de Nernst. Le potentiel est mesuré par rapport à l'électrode, Utilisez un potentiomètre à haute impédance, souvent appelé pH-mètre, comme référence.

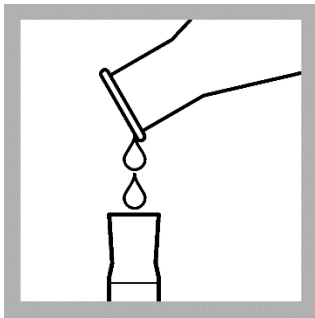
### II.1.4.2 SILICE

On effectue la mesure de silice au niveau des tranche 2 et 3 pour tous les ballons (bp,mp,hp)et les vapeurs (sur Hp,resur HP) et condenseur

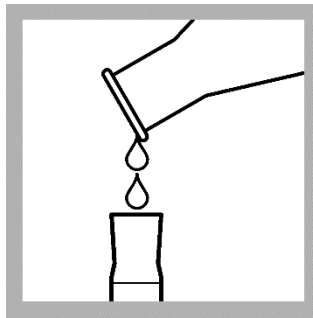
Cette analyse est divisée en trois étapes :

- Préparation de blanc
- Préparation d'échantillon
- Procédure de mesure

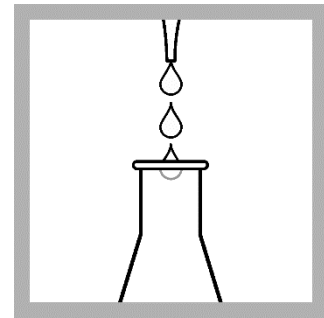
#### Préparation de blanc



1-En remplit 50ml d'échantillon (BP 2) dans une cylindre graduée



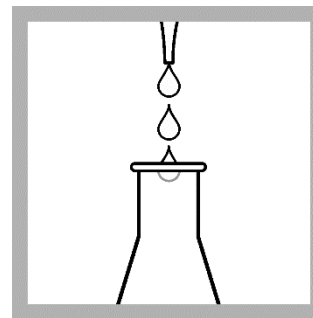
2-Verser échantillon 1 dans un erlenmeyer de 250ml



3-Ajouter 1 ml de molybdate et mixer



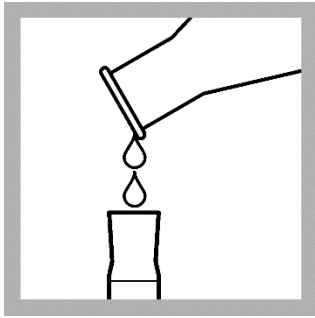
4- Attendre 4min



5- Ajouter 1ml d'acide citrique



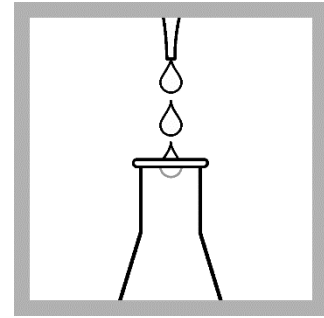
6 -Attendre 1min

**Préparations d'échantillon**

1- Remplir un cylindre gradué  
Avec 50 ml d'échantillon 1 (bp2)



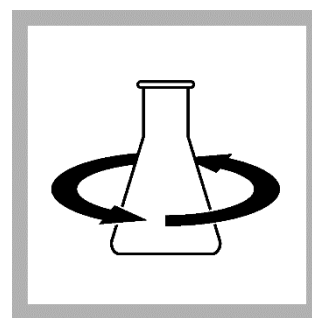
2- Pour cette 50ml d'échantillon  
dans un erlenmeyer de 250ml



3- Ajouter 1ml de  
molybdate et mélanger



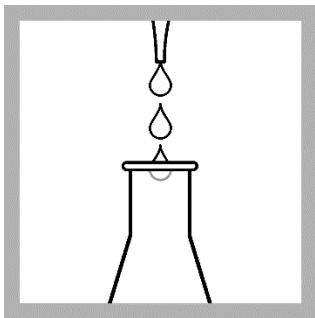
4- Attendre 4min



5- Ajouter 1ml d'acide citrique  
Et mélanger



6- Attendre 1min

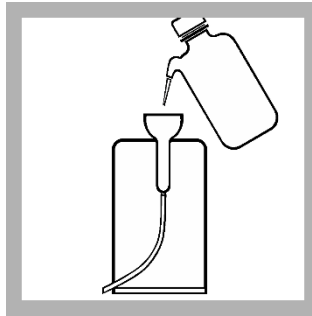


7- Ajouter 1ml d'acide amine

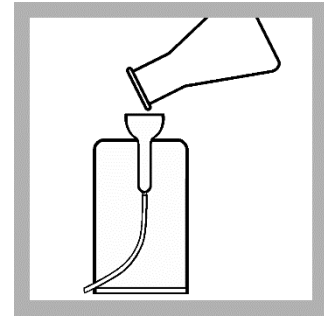
## La mesure



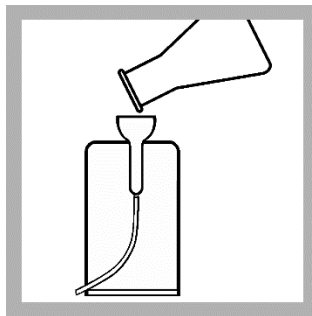
1-Allumer le spectrophotomètre choisir program 645silice ULR



2-Rincer la sonde de circulation



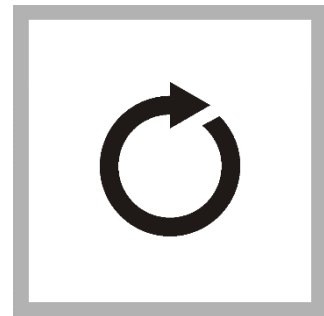
3 -On verse le blanc et en premier et appuyer 0



4-On verse notre échantillon



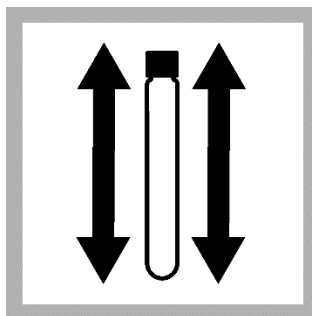
5-Appuyer sur mesurer et Lire le résultat (en ug/L sio<sub>2</sub>)



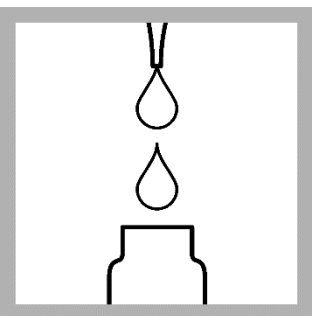
6-Rincer et faire le même avec les autres Échantillon

## II.1.4.3 PHOSTPHATE

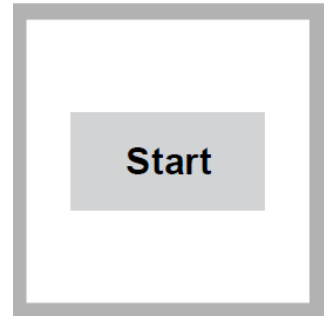
On effectue le mesure de phosphate pour les ballon (MP, HP) au niveau du tranche 2 et 3



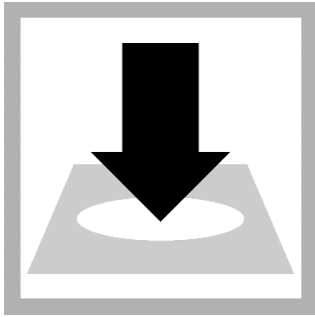
1-En prend un tube à essai de Phosphore réactif (test N tube Vial)



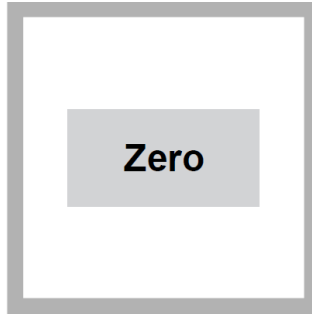
2- Ajouter 5ml d'échantillon 1 dans le tube à essai et mélanger



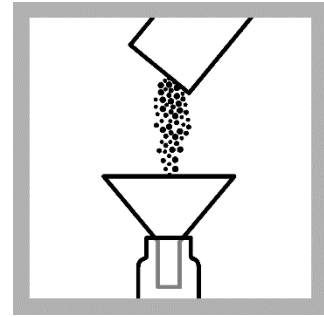
3-Allumer le (Dr3900) et choisir program 535 (P réact PV TNT)



4- Insérer le tube à essai dans  
Le spectrophotomètre



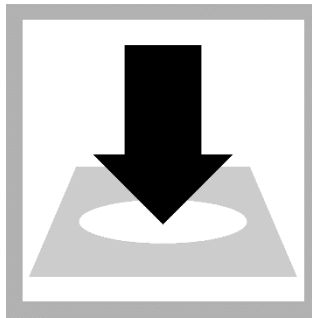
5- Appuyer sur zéro



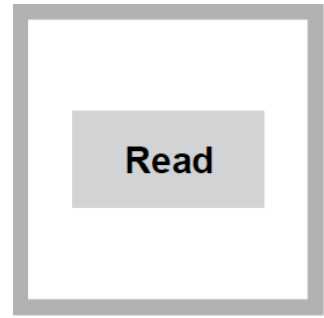
6- Ajouter un sachet de  
poudre de Phosver 3 et  
Mélanger



7- Attendre 2 min



8- Réinsérer le tube dans  
le spectrophotomètre



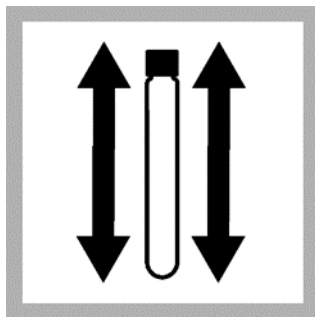
9- Appuyer sur READ  
Lire le résultat en mg/L



Figure II-7 : analyse physico-chimique du phosphate

#### II.1.4.4 Ammoniac

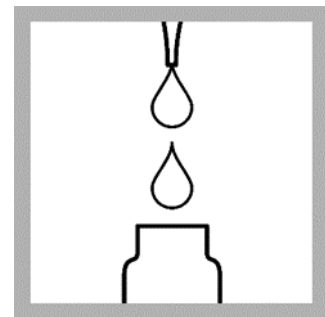
On effectue la mesure de l'ammoniac au niveau des tranches 2 et 3 pour tous les ballons (BP, MP, HP) et le condenseur



1-On prend un tube à essai  
Amver diluent reagent test N

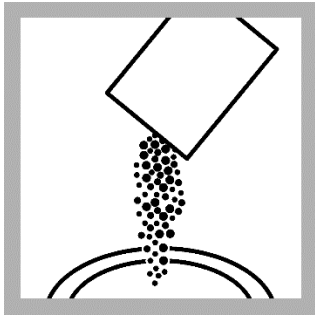


2- Préparer le blanc en ajoutant  
2ml de l'eau démine au tube  
D'essai

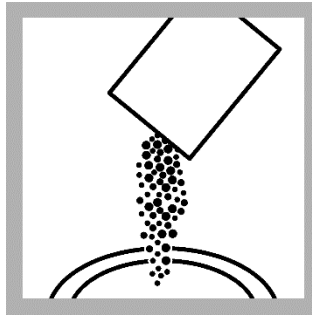


3-Ajouter 2ml de chaque  
échantillon au tube  
d'essai

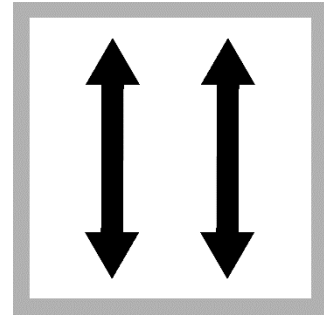




4-Ajouter un sachet de réactif Ammonia salicylate reagent a Chaque tube et mélanger



5- Ajouter un sachet de réactif Ammonia Cyanurate reagent powder à chaque tube



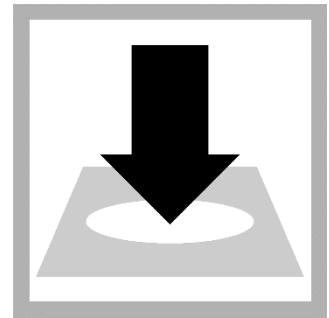
6-Melanger jusqu'a les réactifs dissous



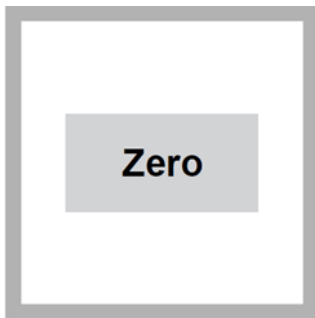
7-Attendre 20min



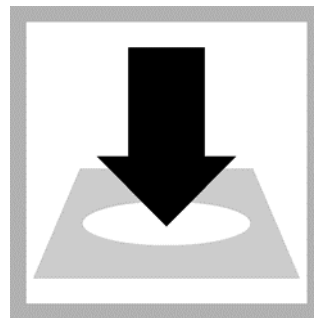
8- Allumer le spectrophotomètre DR3900 et choisir 342Ammonia LR TNT



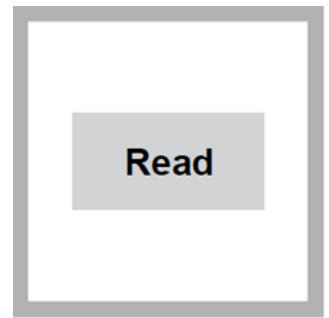
9- Insérait le blanc dans le spectrophotomètre



10-Appuyer sur zéro



11- Insérait les tubes dans le spectrophotomètre



12-appuyer sur mesurer et lire le résultat en mg/L



**Figure II-8: analyse physico-chimique de l'ammoniac**

### II.1.4.5 Fer

On effectue la mesure de fer au niveau des tranche 2 et 3 pour tous les ballons (BP, MP, HP), les vapeurs (sur HP, resur HP) et condenseur

#### Pre-analyse

En introduit l'eau déminée dans le ULTRA SC MK2 pour but d'éliminer toutes les traces de fer avant l'analyse

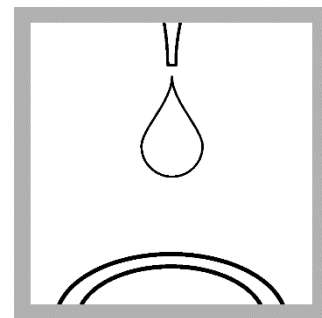
#### Analyse



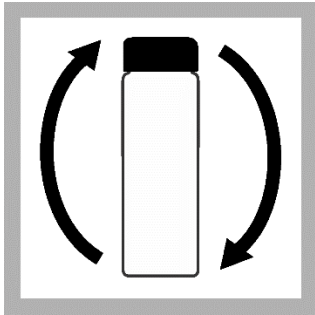
1- On prépare le blanc en  
Ajoutant 15ml de l'eau  
Déminée a un tube de 20ml



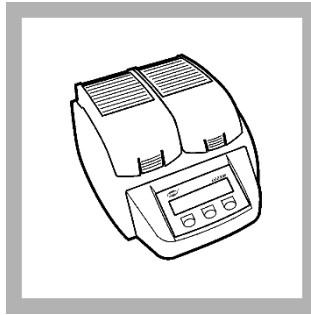
2- Ajouter 15ml d'échantillon  
a un tube de 20ml



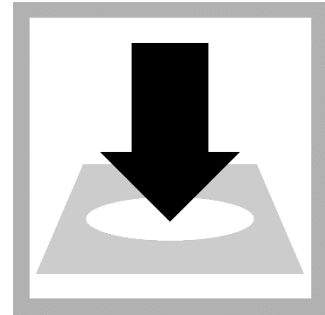
3- Ajouter 10gouttes de  
solution de feroZine  
a chaque tube



4-Mélanger bien



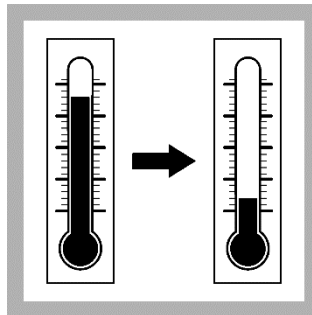
5- Allumez le thermo réacteur  
LT200 et ajuster la température  
À 150c



6- Insérait les tubes de  
réaction dans le thermo  
Réacteur LT200



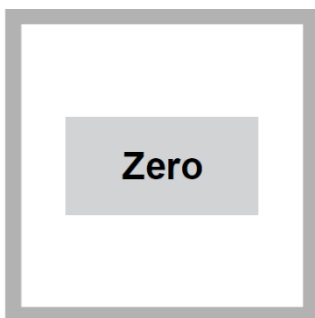
7-Attendre 30min



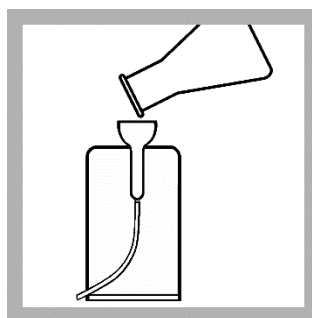
8-Laisser les tubes se refroidi



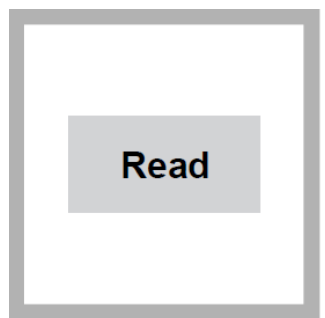
9- Allumez le DR3900  
et choisir le program 269  
IRON, total pourthru



10-Mettre le blanc en premier  
Et appuyer sur zéro



11-Pour l'échantillon dans la  
sonde de circulation



12- Appuyer sur mesurer  
et lire le résultat en ug/L

# **CHAPITRE III**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

- Nous présenterons dans ce dernier chapitre les résultats de notre suivi et analyse en ligne et au niveau de laboratoire.

Tout d'abord, nous allons examiner les résultats de l'analyse de cycle de concentration qui consiste à :

- Premièrement la silice dans l'eau déminée et au niveau des tranches 2 et 3
- Et deuxièmes le sodium et sa relation avec les conductivités spécifique et cationique

Nous présenterons ensuite les résultats de l'analyse du cycle de traitement de l'ammoniaque et du phosphate, ainsi que leur interaction avec d'autres paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité (cc) et la conductivité spécifique (Cs). Enfin, nous examinerons l'efficacité de notre traitement à base de fer pour évaluer la qualité du traitement chimique.

### III.1 CYCLE DE CONCENTRATION

#### III.1.1 Résultats de silice

##### III.1.1.1 Eau d'alimentation

Afin de garantir la pureté de l'eau d'alimentation de notre cycle eau-vapeur, nous commencerons par analyser les résultats des tests de silice de l'eau déminéralisée provenant de la station de traitement d'eau de mer.

**Tableau III-1** : Résultats des analyses de la silice de l'eau déminéraliser

DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	16-May	22-May
SiO <sub>2</sub> (µg/L)	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3

Les limites de concentration en silice dans l'eau déminéralisée doivent être inférieures à 10 µg/L. D'après les résultats obtenus lors de cette analyse, les concentrations relevées se situent entre 2 et 3 µg/L. Par conséquent, le traitement appliqué à notre eau est fiable et l'eau est prête à alimenter notre cycle eau-vapeur.

##### III.1.1.2 Tranche 2

**Tableau III-2** : Résultats de mesures de la silice dans la tranche 2

DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	29-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	16-May	20-May	22-May
COND	5	5	9	6	2	6	5	6	4	4	3	4
BP	4	7	13	-18	2	8	5	7	6	6	4	5
MP	128	577	690	1548	186	779	593	1094	207	208	176	190
HP	121	262	256	138	272	260	192	284	136	170	162	150
SURCH	3	5	5	7	2	6	6	8	4	5	4	4
RESURCH	6	4	4	5	3	5	8	5	4	4	4	4

- la présence de la silice dans les ballons MP et HP est visiblement grande par rapport aux vapeurs et au condenseur.

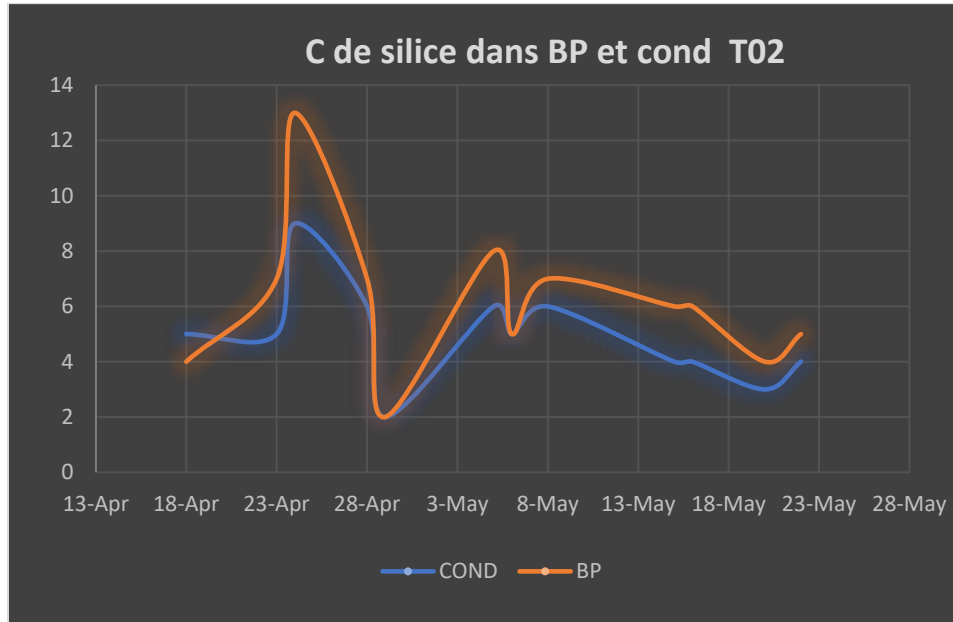
- Notons tout d'abord que dans la journée du 28 avril le taux de silice au niveau du ballon BP est inférieur à 0 ce qui signifie que l'échantillon prélevé est contaminé à cause de résidu du colmatage et tuyauterie et donc il faut refaire le prélèvement et ainsi l'analyse.

Après, qu'on ait refait notre analyse, on a obtenu une valeur de silice qui est égale à 7µg/L.

- le 28 avril : la concentration de silice est élevée dans le ballon MP

Les résultats ont été présentée sous forme des graphes

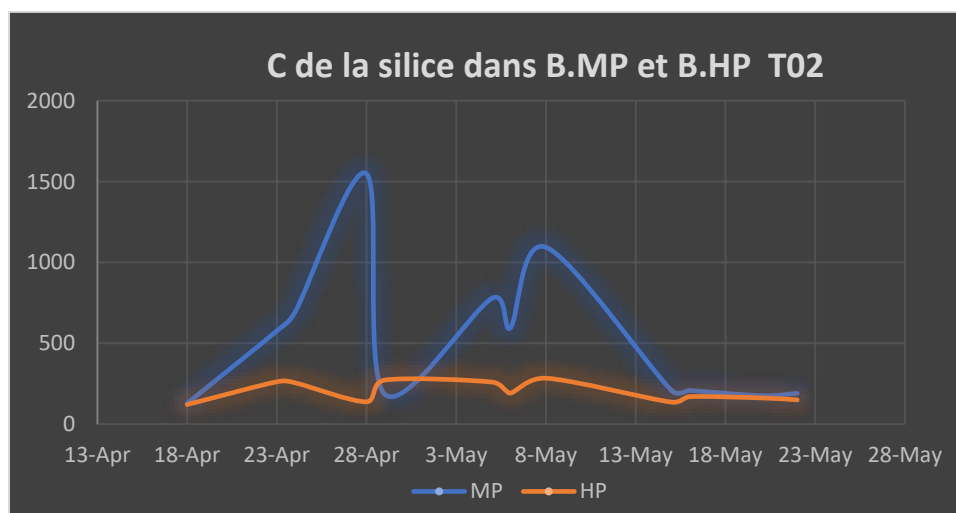
### III.1.1.2.1 La concentration de la silice dans le ballon BP et condenseur



**Figure III-1:** profil de la concentration de la silice dans le B. BP 2 et condenseur

Les résultats obtenus le 24 avril et 5 mai indiquent que toute augmentation de la concentration en silice dans le condenseur sera perceptible dans le ballon basse pression.

### III.1.1.2.2 La concentration de silice dans les ballons MP et HP

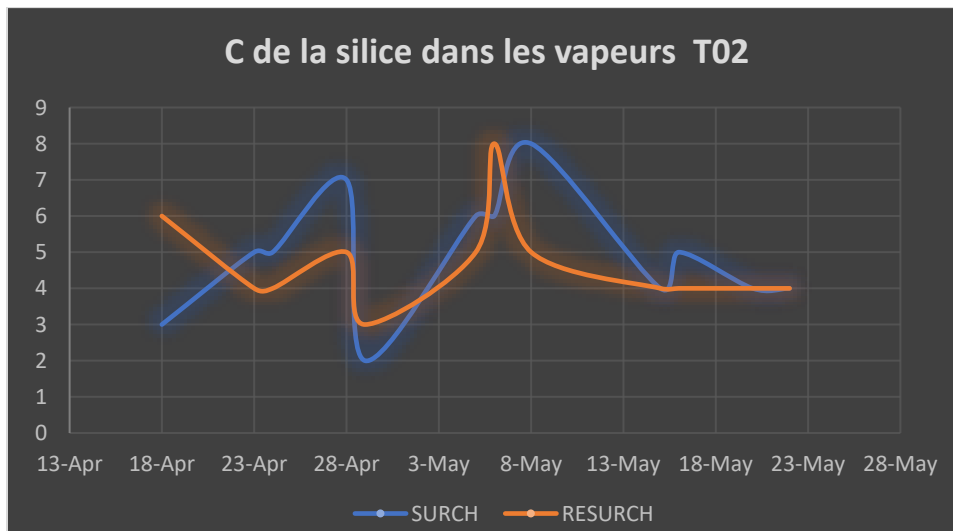


**Figure III-2:** variation de la concentration de la silice dans le B. MP 2 et B. HP 2

Entre le 18 avril et le 28 avril, on a constaté une hausse du taux de silice, qui a atteint un pic de 1548  $\mu\text{g/L}$ . Cette augmentation est due à une accumulation de silice dans le ballon MP. Afin d'éviter que cette valeur ne dépasse la limite autorisée (2000  $\mu\text{g/L}$ ), nous avons procédé à une déconcentration de la silice en augmentant le débit des purges de 1% à 5%.

-au niveau du ballon HP : une petite augmentation le 29 avril suite à l'accumulation de la silice dans le ballon MP le jour avant donc ont conclu qu'il y a une relation directe entre les 2 Ballon

### III.1.1.2.3 La concentration de silice dans les vapeurs surchauffe HP et resurchauffe HP



**Figure III-3:** variation de la concentration de la silice dans les vapeurs du tranche 2

Suite à la mise en place de la déconcentration, les teneurs en silice dans les vapeurs sont désormais conformes aux normes en vigueur. Cette opération a été réalisée en amont de la transmission de la silice vers les vapeurs, permettant ainsi de prévenir tout dépassement des limites autorisées.



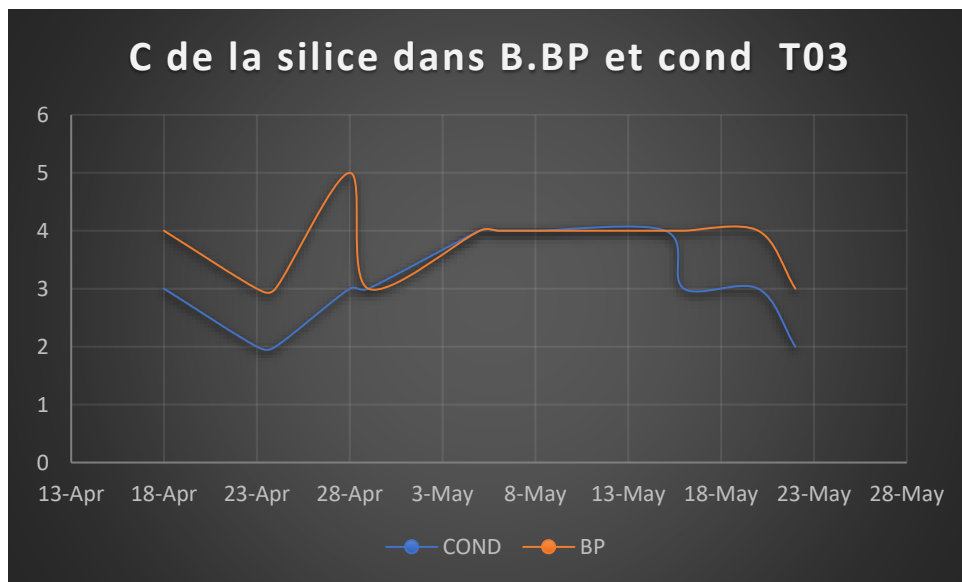
### III.1.1.3 Tranche 3

**Tableau III-3** : Résultats de mesures de la silice dans la tranche 3

DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	29-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	16-May	20-May	22-May
COND	3	2	2	3	3	4	4	4	4	3	3	2
BP	4	3	3	5	3	4	4	4	4	4	4	3
MP	68	102	111	77	129	134	131	123	130	133	116	119
HP	82	280	89	169	84	81	81	88	91	81	78	78
SURCH	4	3	2	2	3	3	4	3	3	3	3	3
RESURCH	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	2	3

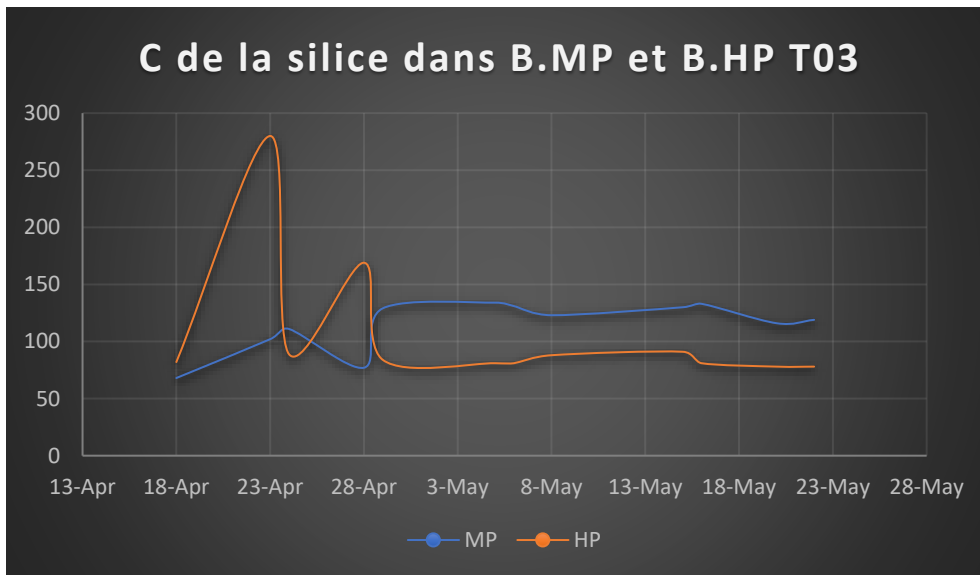
Toutes les valeurs sont dans les normes

#### III.1.1.3.1 La concentration de la silice dans le ballon BP et condenseur



**Figure III-4:** variation de la concentration de la silice dans le B. BP 3 et condenseur 3

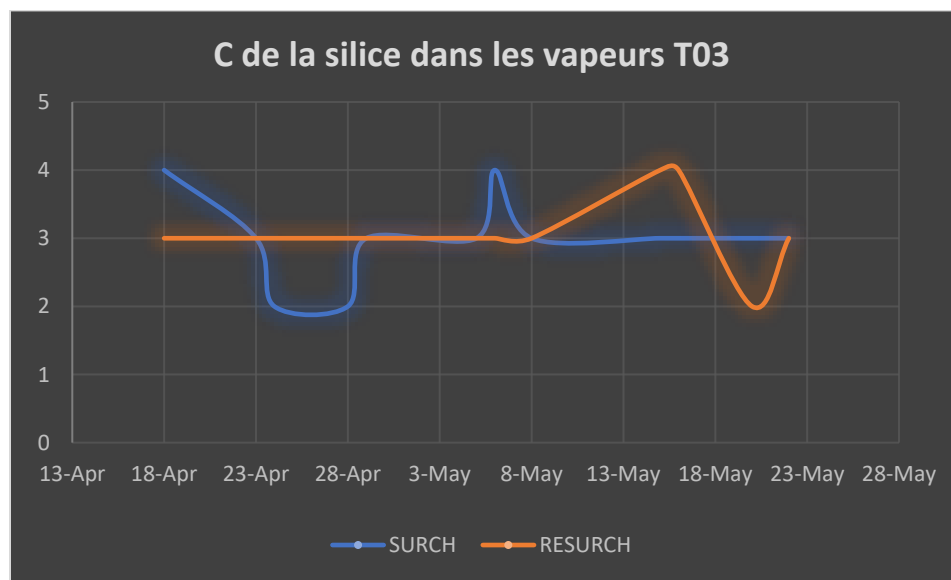
### III.1.1.3.2 La concentration de la silice dans le ballon MP et HP



**Figure III-5:** variation de la concentration de la silice dans le B. MP 2 et B. HP 2

Le 23 avril, une accumulation de la concentration en silice a été constatée dans le ballon haute pression. Afin de remédier à cette situation, le taux d'ouverture des purges a été augmenté de 1% à 5%, permettant ainsi une déconcentration de la silice.

### III.1.1.3.3 La concentration de la silice dans les vapeurs surchauffée HP et resurchauffée HP



**Figure III-6:** variation de la concentration de la silice dans les vapeurs du tranche 3

Le contrôle et le suivi de la silice dans la chaudière revêtent une importance capitale, comme le montre la partie théorique. En effet, une augmentation de la concentration de silice due à une température et à une pression élevée dans les ballons MP, HP et la vapeur peut provoquer la formation de dépôts solides sous la surface des ballons. Ces dépôts peuvent entraîner des problèmes de colmatage, de réduction de l'efficacité thermique et de corrosion.

Comme elle peut interagir avec des autres composant ex : sodium pour former des silicates de sodium ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ou des silicates ( $\text{SiO}_4$ ) qui se forment de l'interaction de silice avec des oxydes métalliques ces particules peut causer de l'encrassement et réduire l'efficacité thermique

### III.1.2 SODIUM

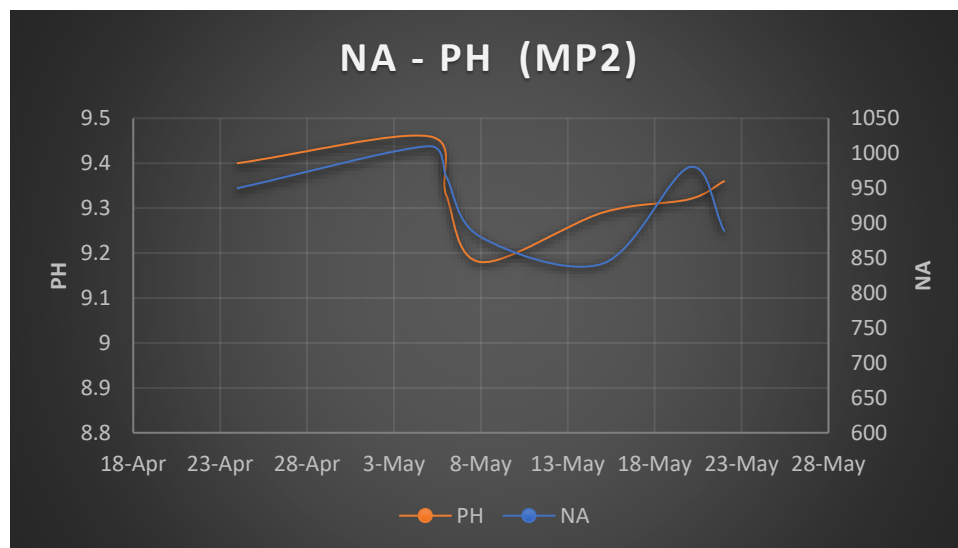
#### III.1.2.1 Tranche 2

##### III.1.2.1.1 Au niveau du ballon MP

##### III.1.2.1.2 Relation de sodium avec le PH

**Tableau III-1:** résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon MP 2

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	950	1010	967	880	842	980	889
PH	9.4	9.46	9.33	9.18	9.29	9.32	9.36

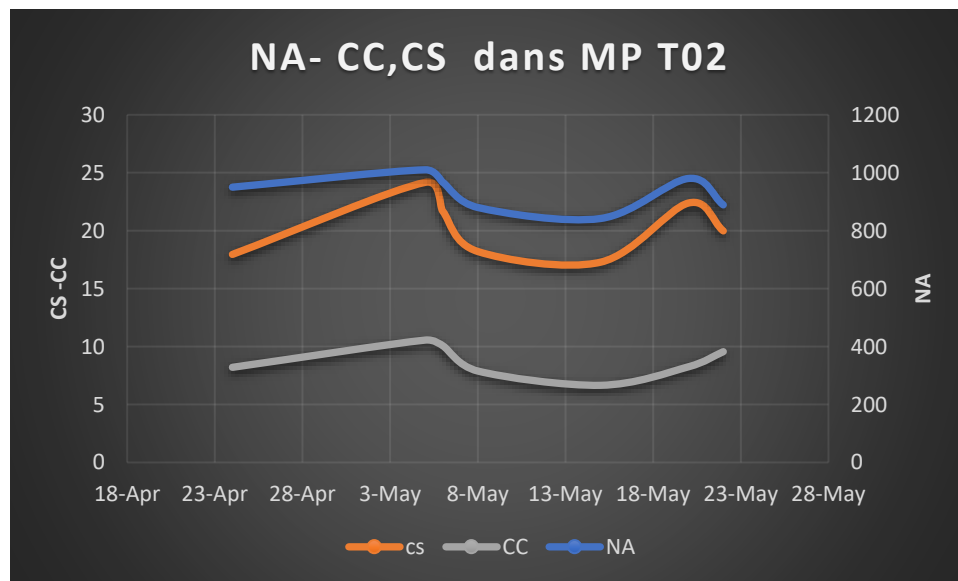


**Figure III-7:** relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B.MP 2

### III.1.2.1.3 Relation du sodium avec les conductivités (CC, Cs)

**Tableau III-2:** résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon MP2

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	950	1010	967	880	842	980	889
cs	17.95	24.17	21.68	18.2	17.28	22.38	19.98
CC	8.21	10.56	10.07	7.89	6.66	8.25	9.56



**Figure III-8:** relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B.MP 2

### III.1.2.1.4 Au niveau du ballon HP

### III.1.2.1.5 Relation de sodium avec le PH

**Tableau III-3:** résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon HP2

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	596	385	730	690	347	450	611
PH	9.41	9.17	9.49	9.4	8.69	9.11	9.25

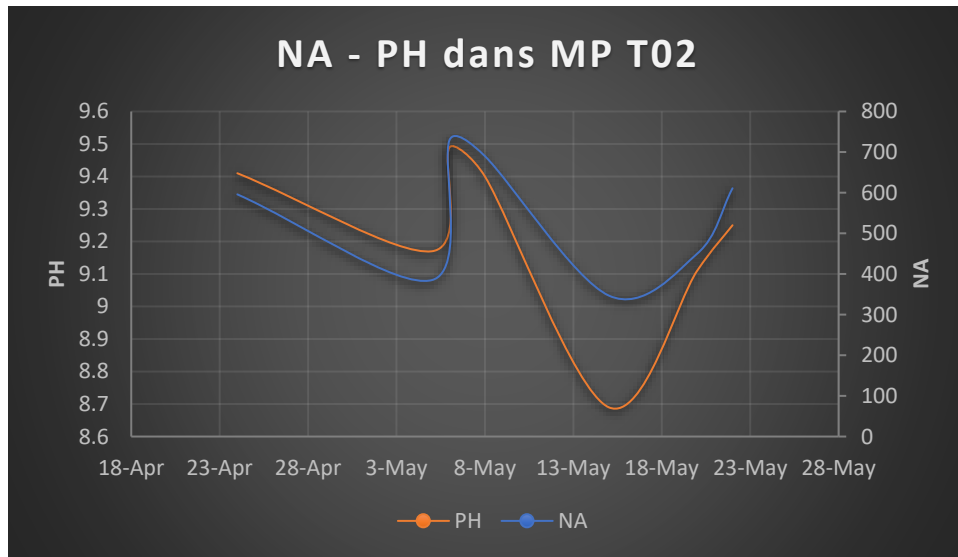


Figure III-9: relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B. HP 2

III.1.2.1.6 Relation du sodium avec les conductivités (cc, Cs)

Tableau III-4: résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon HP2

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	596	385	730	690	347	450	611
cs	9.68	6.39	14.9	12.41	7.64	8.77	12.81
CC	2.03	1.4	3.39	2.8	1.5	1.83	3.56

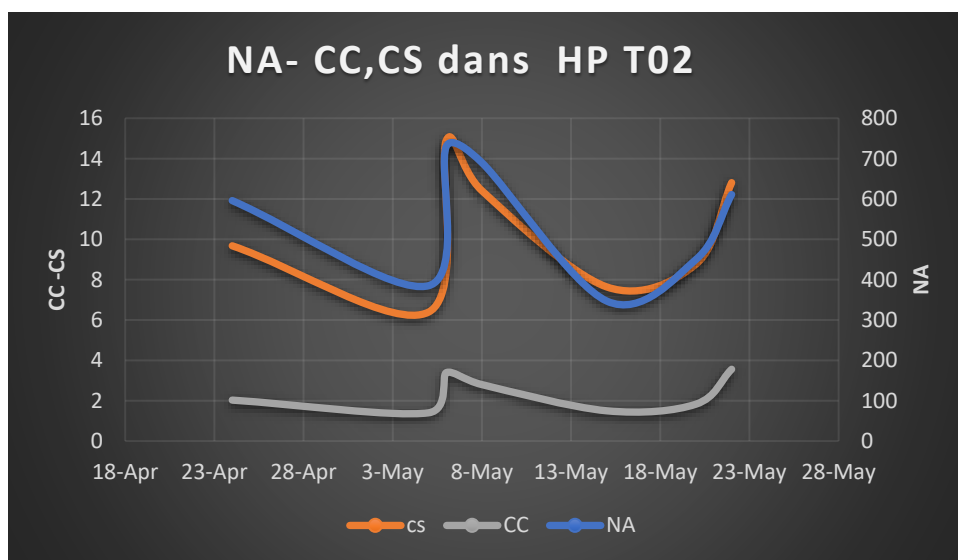


Figure III-10: relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B. HP 2

III.1.2.2 Tranche 3

III.1.2.2.1 Au niveau du ballon MP

III.1.2.2.2 Relation de sodium avec le PH

Tableau III-5: résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon MP3

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	1790	473	481	1230	241	760	420
PH	9.57	9.4	9.42	9.45	9.3	9.36	9.5

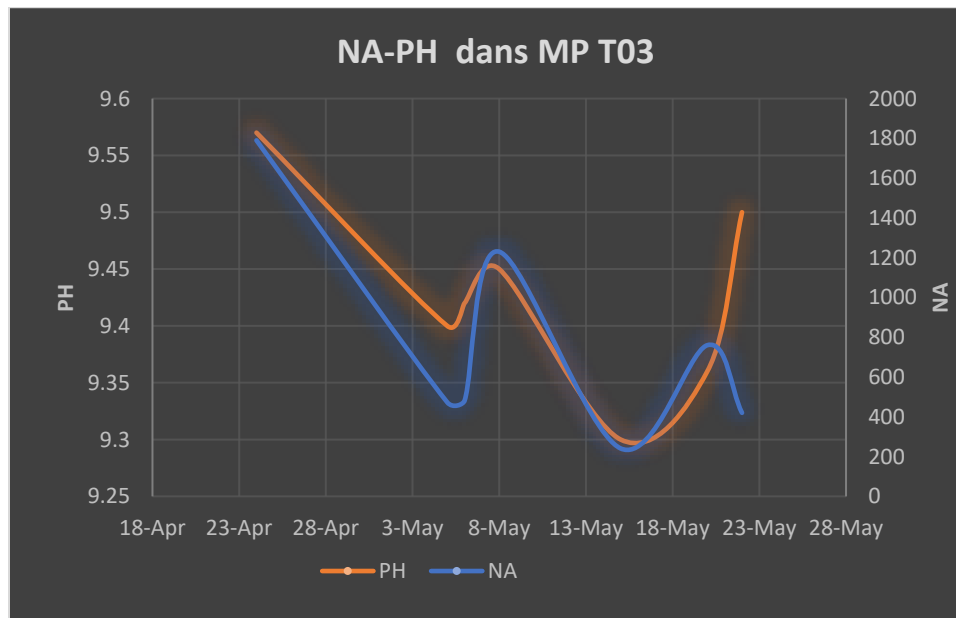
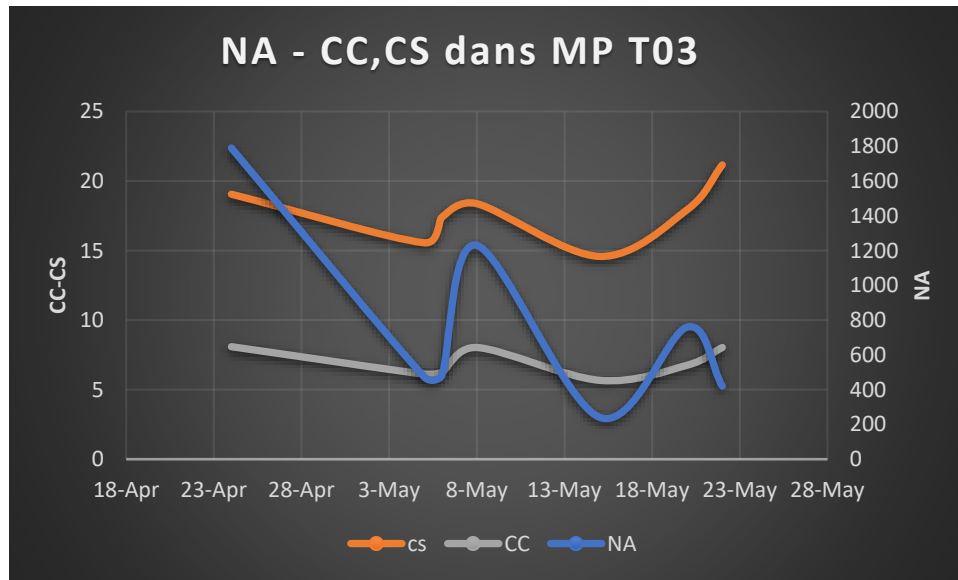


Figure III-11: relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B. MP3

III.1.2.2.3 Relation du sodium avec les conductivités (CC, Cs)

Tableau III-6: résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon HP2

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	1790	473	481	1230	241	760	420
PH	9.57	9.4	9.42	9.45	9.3	9.36	9.5
cs	19.05	15.56	17.39	18.37	14.58	17.94	21.16
CC	8.09	6.12	6.25	8.03	5.67	6.76	8.03



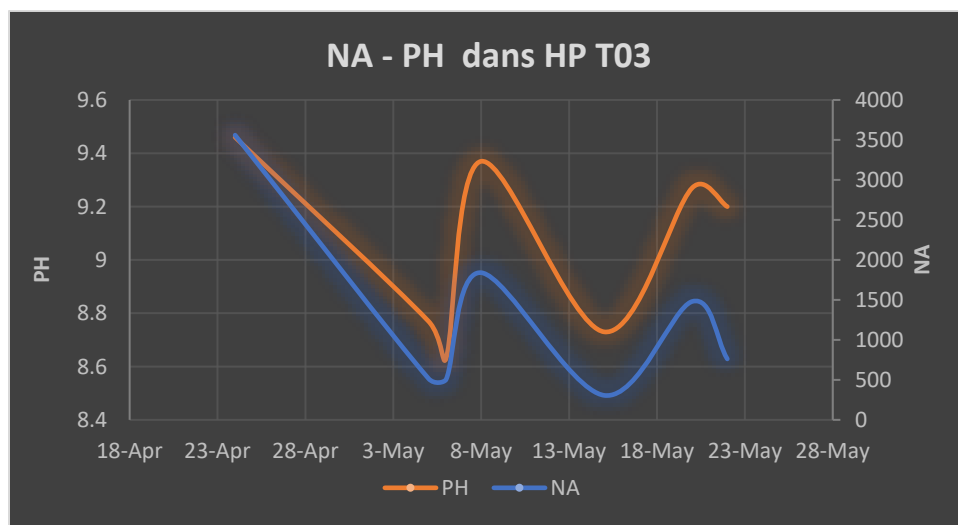
**Figure III-12:** relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B. MP3

**III.1.2.2.4 Au niveau du ballon HP**

**III.1.2.2.5 Relation de sodium avec le PH**

**Tableau III-7:** résultats de la concentration du sodium et le ph dans le ballon HP3

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	3560	517	504	1840	306	1480	762
PH	9.46	8.77	8.63	9.37	8.73	9.27	9.2

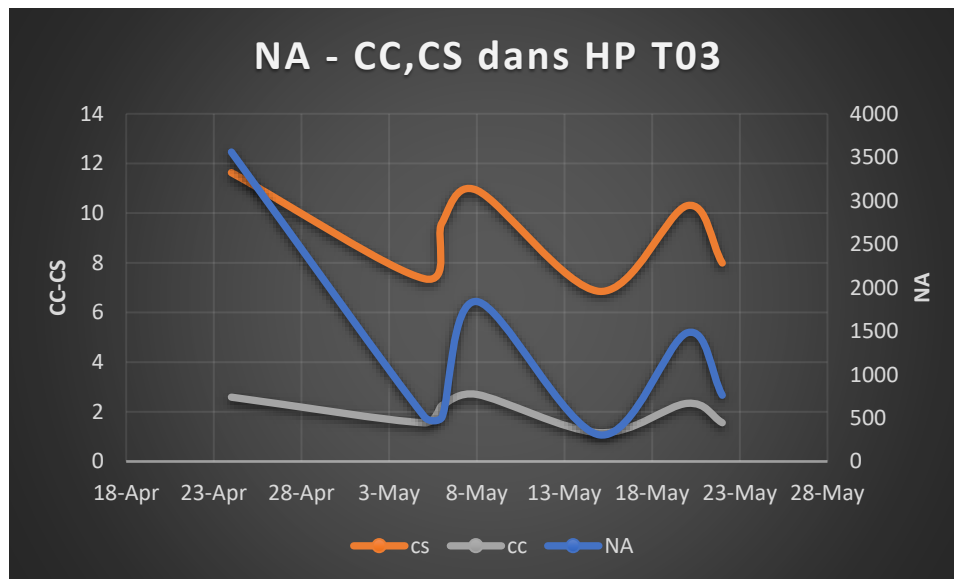


**Figure III-13:** relation entre la concentration de Sodium et le ph au niveau du B. HP3

### III.1.2.2.6 Relation du sodium avec les conductivités (CC, Cs)

**Tableau III-8:** résultats de la concentration du sodium et les conductivités (CC, Cs) dans le ballon HP3

DATE	24-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	20-May	22-May
NA	3560	517	504	1840	306	1480	762
PH	9.46	8.77	8.63	9.37	8.73	9.27	9.2
CS	11.63	7.36	9.59	10.92	6.85	10.3	7.99
CC	2.59	1.56	2.25	2.7	1.16	2.34	1.56



**Figure III-14:** relation entre la concentration de Sodium et là (CC, Cs) au niveau du B. HP3

### III.1.2.2.7 Le pH et sodium

Le pH de l'eau d'alimentation a un impact direct sur la solubilité et la mobilité des espèces ioniques, notamment le sodium. Un pH trop bas favorise la dissolution du sodium, entraînant son accumulation dans les ballons et pouvant mener à des phénomènes de corrosion des équipements. À l'inverse, un pH trop élevé peut induire la précipitation du sodium sous forme de dépôts, obstruant les circuits et perturbant le fonctionnement de l'installation.



Il est donc essentiel de maintenir un équilibre optimal entre le pH et la teneur en sodium, afin de garantir l'intégrité des composants du cycle vapeur, en particulier au niveau des ballons MP et HP où les conditions de pression et de température sont les plus sévères.

### III.1.2.2.8 PH et les conductivité (CC, Cs)

La conductivité cationique permet de quantifier la contribution des cations à la conductivité électrique de l'eau. Cette mesure donne une indication sur la présence d'espèces ioniques potentiellement agressives, comme le sodium. Une augmentation de la conductivité cationique peut ainsi signaler une hausse de la teneur en sodium.

Quant à la conductivité spécifique, elle reflète la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, en tenant compte de l'ensemble des ions dissous. Cette mesure globale peut être corrélée à la concentration en sodium, dans la mesure où ce dernier contribue de manière significative à la conductivité de l'eau.

## III.2 CYCLE DE TRAITEMENT

### III.2.1 LE PHOSPHATE

Les résultats ci-dessous représente les valeurs de phosphate, PH, et la conductivité cationique

#### III.2.1.1 Tranche 2

##### III.2.1.1.1 AU niveau du ballon MP

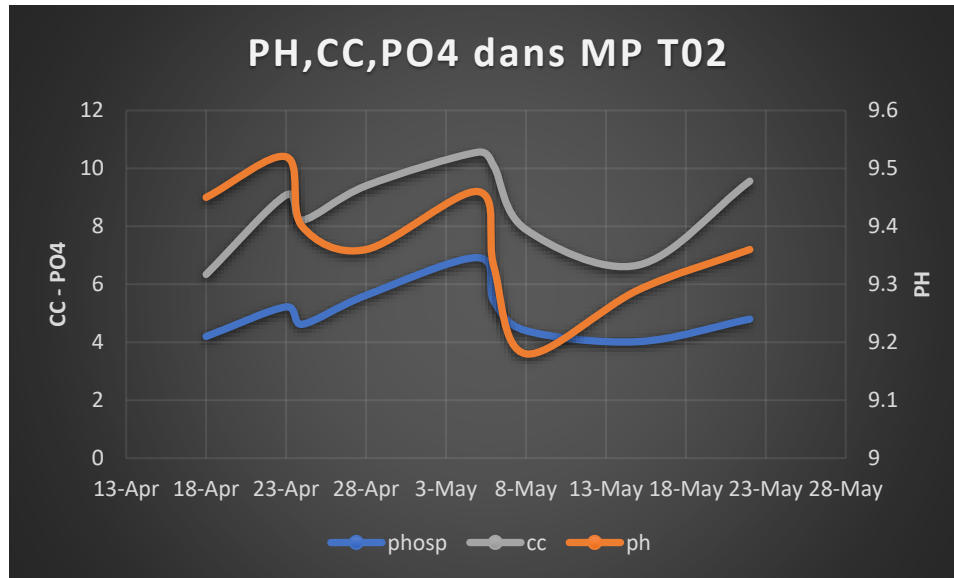
**Tableau III-9:**Tableau V. 12 : résultats du mesure de (PO<sub>4</sub>, PH, CC) dans le ballon MP2

DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	22-May
PO <sub>4</sub>	4.2	5.22	4.62	5.62	6.92	5.41	4.4	4.02	4.8
ph	9.53	9.52	9.4	9.36	9.46	9.33	9.18	9.29	9.36
cc	6.34	9.08	8.21	9.4	10.56	10.07	7.89	6.66	9.56
debit inj	10%	10%	10%	10%	5%	5%	15%	10%	10%

-Dans le 5mai la concentration du phosphate a dépassé les normes (6mg/L) donc on a diminué le débit d'injection du phosphate du 10% à 5%

-le 8mai : le ph est légèrement en dessous des normes (9.2) donc on augmente le débit d'injection a 15%

Pour une meilleure compréhension et une interprétation adéquate de nos résultats, on représente graphiquement la relation entre les paramètres (pH, cc, po4) en fonction des jours.



**Figure III-15:** relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. MP2

#### III.2.1.1.2 Au niveau du ballon HP

**Tableau III-10:** résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon HP2

DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	22-May
PO4	0.68	1.4	1.19	0.7	0.51	2.04	1.45	0.79	2.19
PH	9.06	9.42	9.41	9.3	9.17	9.49	9.4	8.69	9.25
cc	1.46	2.28	2.03	1.7	1.4	3.39	2.8	1.5	3.56
debit inj	15%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	20%	10%

Dans les journées de 18avr et 5mai on distingue une chute de concentration du phosphate qui a influencé les valeurs du ph, pour ajuster ces résultats en augment le débit d'injection du phosphore a 15%

Le 15mai une diminution intéressante dans le PH donc on augmente le débit d'injection du 10% à 20%

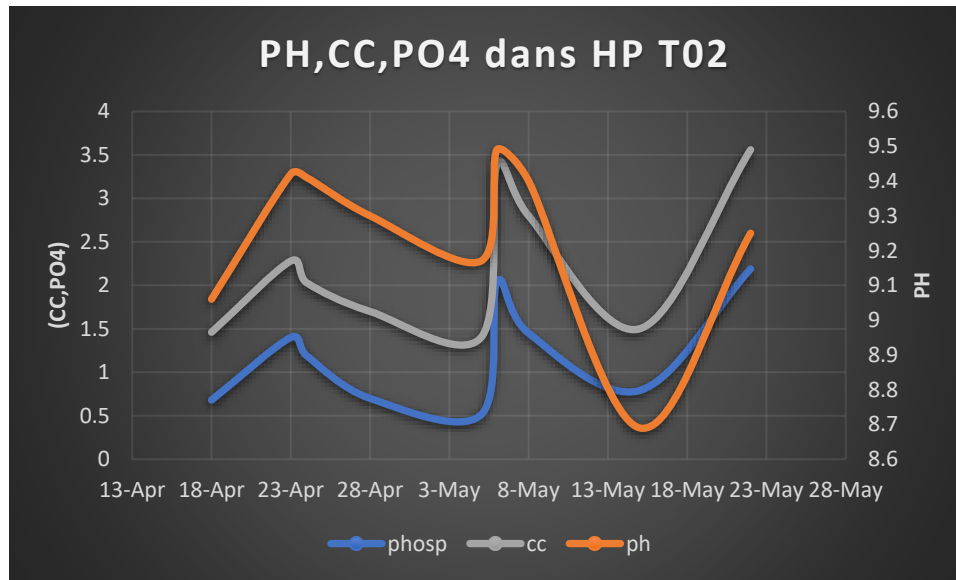


Figure III-16: relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. HP2

III.2.1.2 Tranche 3

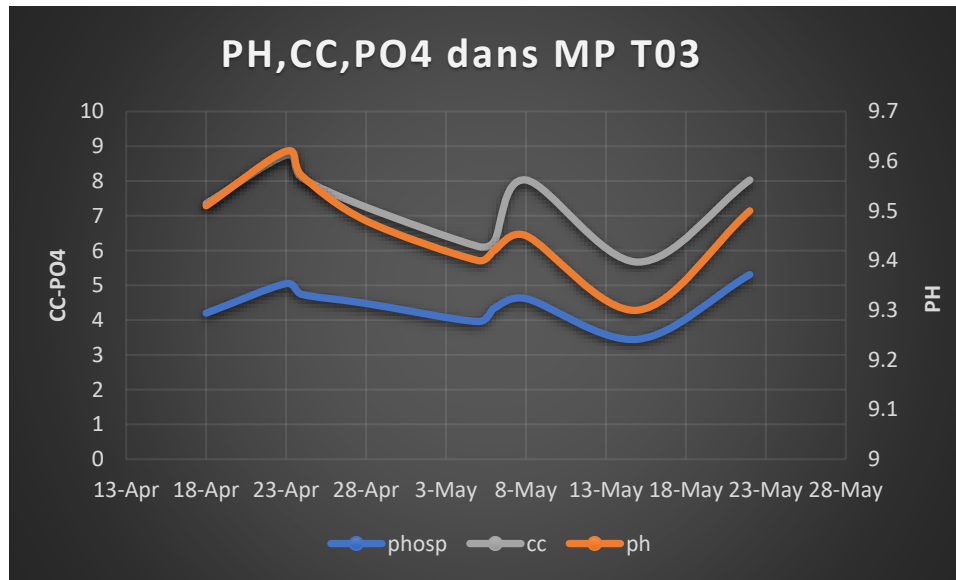
III.2.1.2.1 AU niveau du ballon MP

Tableau III-11: résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon MP3

DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	22-May
PO4	4.2	5.05	4.74	4.89	3.96	4.34	4.62	3.45	5.31
ph	9.51	9.62	9.57	9.48	9.4	9.42	9.45	9.3	9.5
cc	7.35	8.74	8.09	7.25	6.12	6.25	8.03	5.67	8.03
debit inj	10%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	15%	5%

Le 23 avril la valeur du ph est légèrement supérieure aux normes donc ont diminuée le taux d’injection du phosphore a 5%

La valeur min du PO4 (3.45) = La valeur min du cc (5,67) et donc il Ya une réaction direct entre la Cc et le PO4



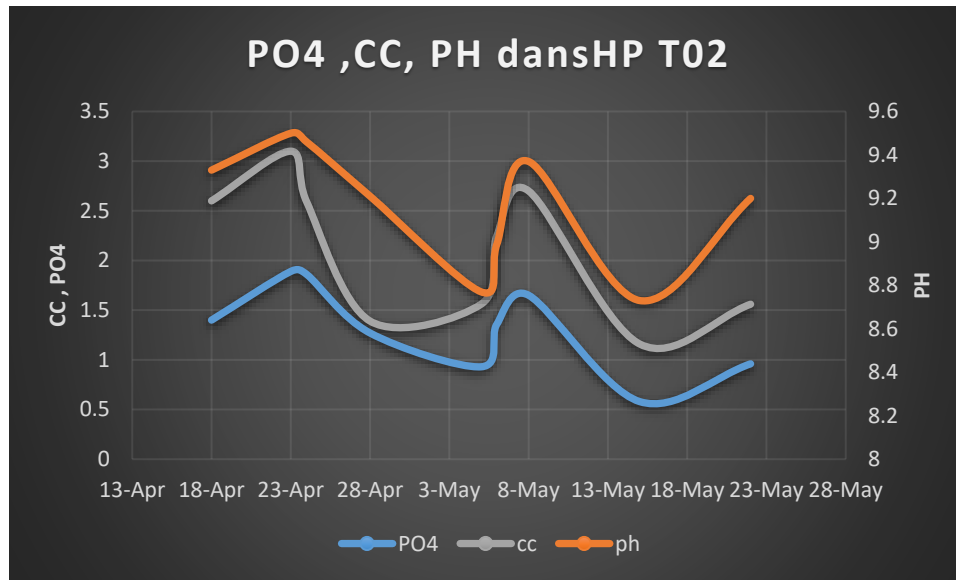
**Figure III-17:** relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. MP3

**III.2.1.2.2 Au niveau du ballon HP**

**Tableau III-12:** résultats du mesure de (PO4, PH, CC) dans le ballon MP2

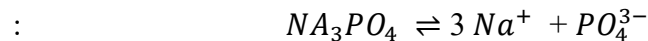
DATE	18-Apr	23-Apr	24-Apr	28-Apr	5-May	6-May	8-May	15-May	22-May
PO4	1.4	1.89	1.86	1.27	0.93	1.36	1.65	0.58	0.96
ph	9.33	9.5	9.46	9.21	8.77	8.99	9.37	8.73	9.2
cc	2.6	3.1	2.59	1.39	1.56	2.25	2.7	1.16	1.56
debit inj	10%	10%	10%	5%	20%	20%	10%	20%	10%

Une deminution interessante des valeurs du ph les jours du 5,6 et 15mai donc on augmente le debit d injection du phosphore a 20%



**Figure III-18:** relation entre la concentration de PO4 et là (CC, PH) au niveau du B. HP2

Lorsque  $Na_3PO_4$  est ajouté à une solution aqueuse, il se dissocie selon l'équation suivante

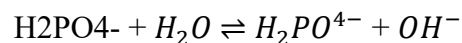
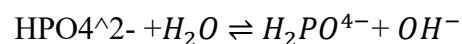
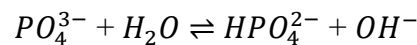


### III.2.1.2.3 Relation du conductivité cationique et l'injection du $NA_3PO_4$

Lorsque on injecte du  $NA_3PO_4$  il se dissocie en ions ( $Na^+$ ) et ( $PO_4^{3-}$ ), Ces ions en solution augmentent la concentration d'espèces ioniques chargées positivement (les cations  $Na^+$ ) dans le milieu ce qui accroît la conductivité cationique.

### III.2.1.2.4 Relation entre le PH et l'injection du $NA_3PO_4$

Lorsque la décomposition du  $NA_3PO_4$  L'ion phosphate  $PO_4^{3-}$  réagit avec l'eau pour former différentes espèces de bases conjugués, affectant le pH du milieu :



Les ions phosphate  $PO_4^{3-}$  ont un caractère basique, ce qui fait augmenter la concentration en ions hydroxyde ( $OH^-$ ) dans la solution et on effet le PH du milieu.

Ont conclu que le phosphate a un double effet tampon :

- Il stabilise le pH en régulant les équilibres acido-basiques.
- Il influence la conductivité cationique en affectant la concentration et la distribution des différentes espèces ioniques présentes.

### III.2.2 L'AMMONIAC

Les résultats ci-dessous représente les valeurs de l'ammoniac et PH

#### III.2.2.1 Tranche 2

##### III.2.2.1.1 Au niveau de condenseur

Tableau III-13: résultats de mesure la concentration d'ammoniac et le PH dans le condenseur 2

date	5-May	16-May	20-May	22-May
NH3	0.78	1.15	1.22	1.12
PH	9.1	9.25	9.15	9.04

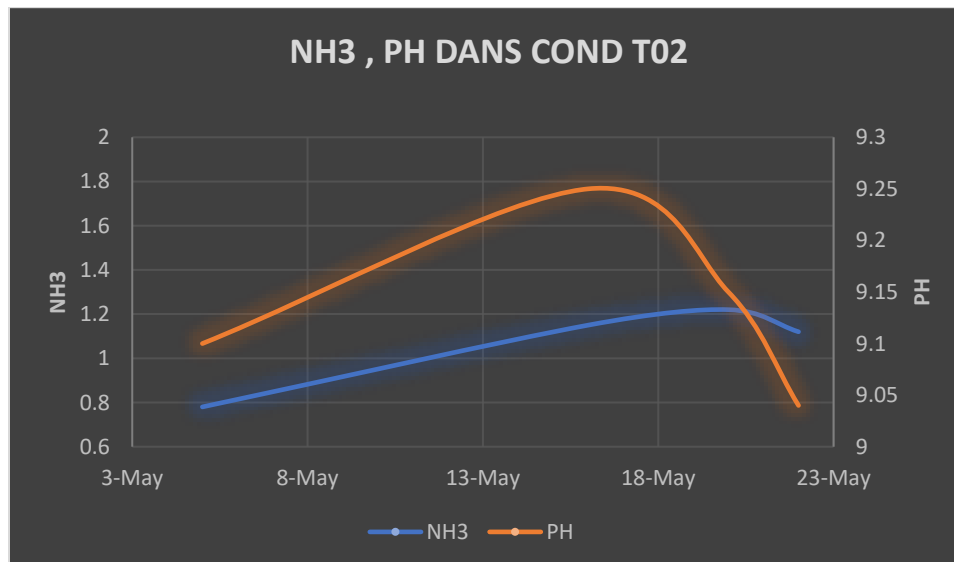
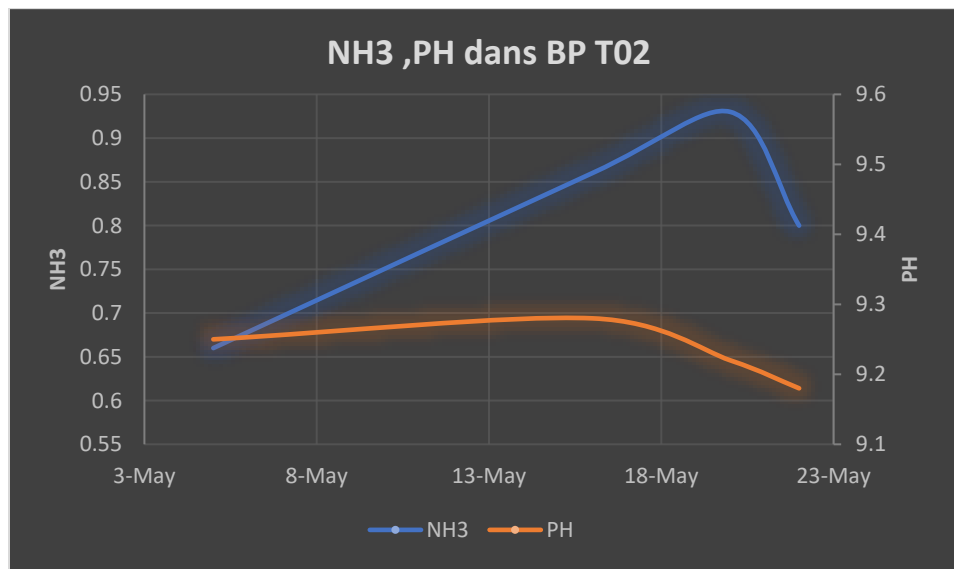


Figure III-19: relation entre la concentration d'ammoniac et le PH au niveau du condenseur 2

### III.2.2.1.2 Au niveau de B. BP

**Tableau III-14:** résultats de mesure de concentration d'ammoniac et le PH dans le Ballon BP2

date	5-May	16-May	20-May	22-May
NH3	0.66	0.86	0.93	0.8
PH	9.25	9.28	9.22	9.18



**Figure III-20 :** relation entre la concentration d'ammoniac et le PH au niveau du ballon BP2

## III.2.2.2 Tranche 3

### III.2.2.2.1 Au niveau de condenseur

**Tableau III-15:** résultats de la mesure de concentration d'ammoniac et le PH dans le condenseur3

DATE	24-Apr	5-May	16-May	27-May
ph	9.28	9.29	9.28	9.34
NH3	0.9	1.02	1.27	1.38

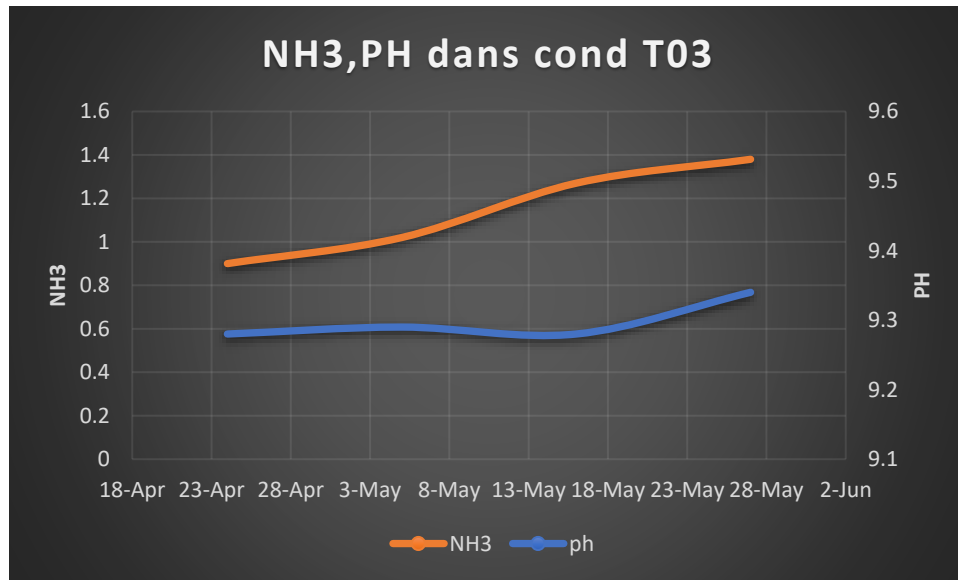


Figure III-21: relation entre la concentration d’ammoniac et le PH au niveau du condenseur 3

III.2.2.2.2 Au niveau de B. BP

Tableau III-16: résultats de la mesure de concentration d’ammoniac et le PH dans le Ballon BP3

DATE	24-Apr	5-May	16-May	27-May
PH	9.28	9.34	9.37	9.43
NH3	0.58	0.8	0.96	1.05

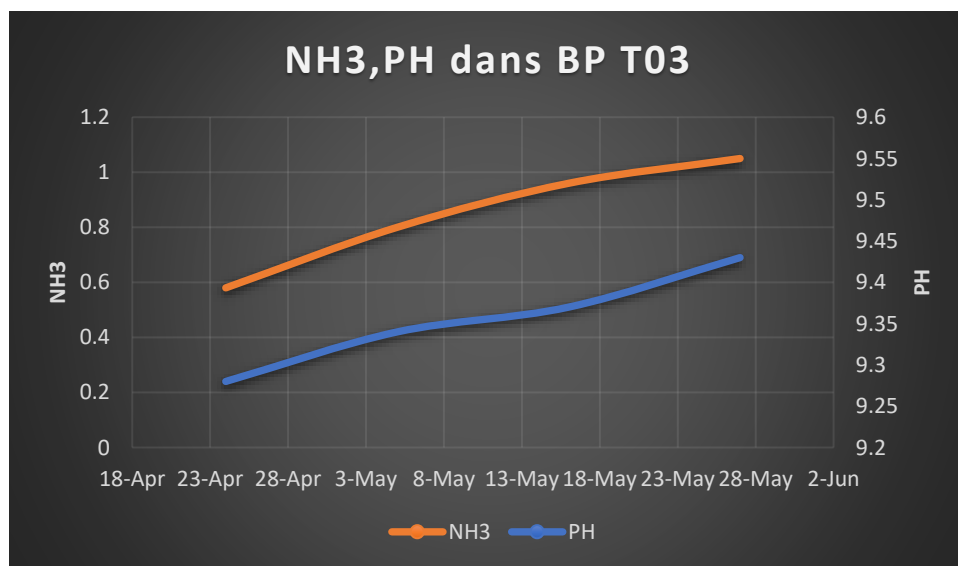
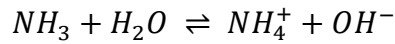


Figure III-22: relation entre la concentration d’ammoniac et le PH au niveau du ballon BP3



L'ammoniac est une base faible qui forme des ions ammonium ( $NH_4^+$ ) et des ions hydroxyde ( $OH^-$ ) lors la dissociation dans l'eau là selon la relation suivante :



L'augmentation des ions hydroxydes dans l'eau a pour effet d'augmenter le ph du milieu, donc les valeurs de ph sont en relation directe avec le débit d'injection d'ammoniac.

#### Conclusion

L'injection de l'ammoniac est une étape clé pour le contrôle de la chimie de l'eau dans la chaudière et le condenseur,

Maintenir le PH dans la plage cible a pour but de prévenir la corrosion, limiter les dépôts solides sur les surfaces et optimiser l'efficacité thermique de la chaudière.

#### III.2.2.3 Conclusion

L'ammoniac étant le composant le plus volatil, son injection s'effectue au niveau du condenseur et du ballon BP. En présence de températures et de pressions élevées, l'ammoniac s'évapore et peut être facilement libéré, d'où l'utilisation de phosphate dans les ballons MP et HP.

Le contrôle du pH et la protection contre la corrosion sont deux éléments essentiels pour assurer le bon fonctionnement d'une chaudière. L'injection d'ammoniac et de phosphate permet de répondre à ces enjeux de manière complémentaire.

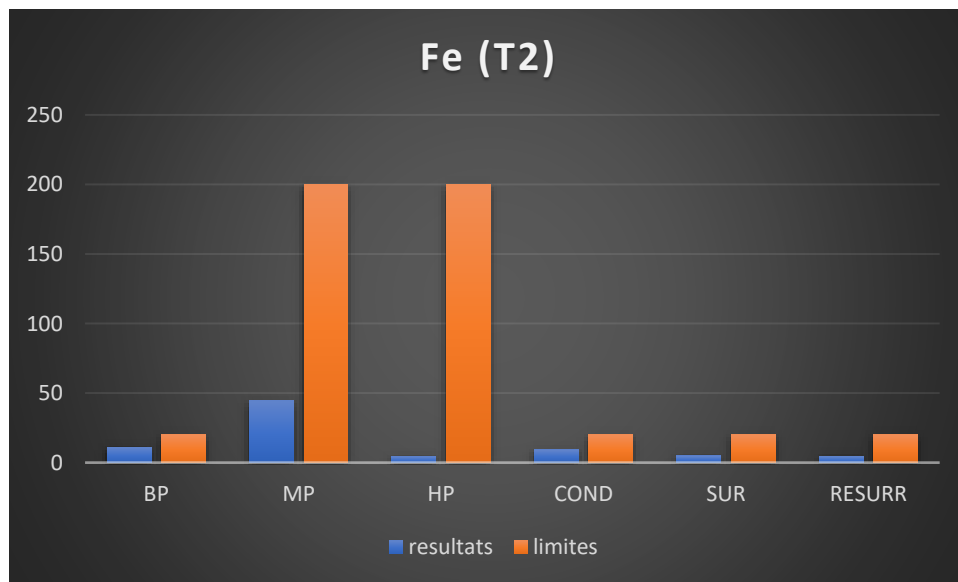
### III.3 CYCLE DE FER

Le suivi du fer est une étape importante pour déterminer la fiabilité et l'efficacité de notre traitement chimique donc la mesure au minimum une fois par semaine est une nécessité, les résultats de notre suivi présente dans les tableaux suivants :

#### III.3.1 Tranche 2

**Tableau III-17:** résultats d'analyse de fer dans la tranche 2

DATE	16-Apr	22-Apr	29-Apr	5-May	12-May	19-May	resultats	limites
BP	4.6	6.1	22.1	5.8	6.6	9.8	11	<20
MP	20.3	24.2	94.6	22.9	30.8	29	44.36	<200
HP	2.1	2.3	10.8	3.2	1.5	2.8	4.54	<200
COND	3.8	6.7	17.5	8.1	2.5	7	9.12	<20
SUR	2.1	3.5	7.9	2.8	2.3	5.9	4.9	<20
RESURR	2.4	5.6	7.2	2.6	1.5	3.8	4.62	<20

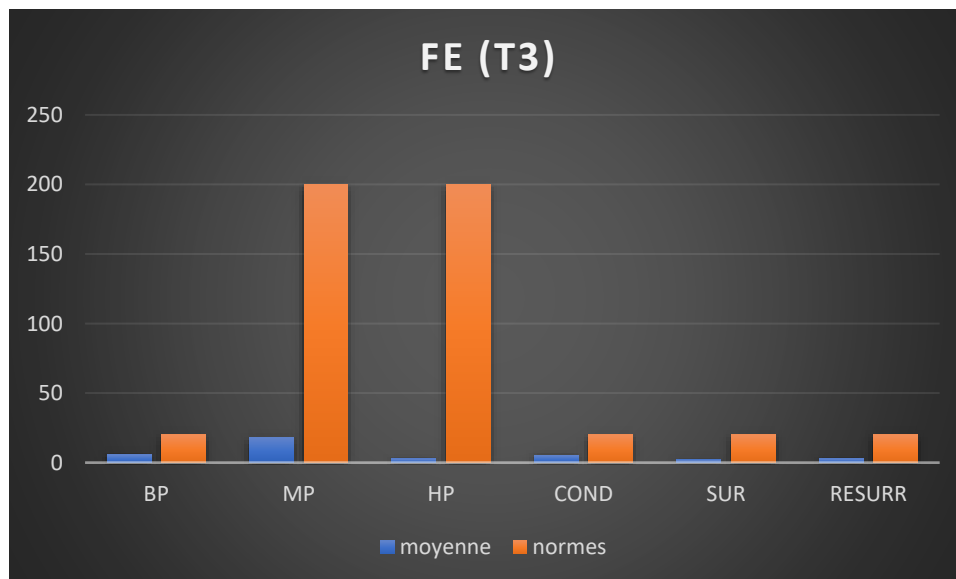


**Figure III-23 :** Comparaison de la valeur de fer du tranche 2 aux normes

### III.3.2 Tranche 3

**Tableau III-18:** résultats d'analyse de fer dans la tranche 3

DATE	16-Apr	22-Apr	5-May	12-May	19-May	26-May	moyenne	normes
BP	3.1	4.3	6.9	5.2	5.8	8.8	5.86	<20
MP	14.6	17.8	20.5	18.8	14.3	22.4	18.07	<200
HP	3.3	2.2	3.7	2.5	3.2	2.6	2.92	<200
COND	4	4.3	9.2	3.6	3	8.1	5.37	<20
SUR	3.2	1.2	2.6	2.2	1.2	1.5	1.98	<20
RESURR	4.4	2.3	2.9	2.8	3.2	2	2.93	<20



**Figure III-24:** Comparaison de la valeur de fer du tranche 3 aux normes

Selon les analyses effectuées, les résultats montrent que les niveaux de fer se situent dans les limites acceptables définies par les réglementations en vigueur. Les valeurs moyennes se situent autour de 200ppm, ce qui est conforme aux spécifications techniques de la centrale.

### III.3.3 Conclusion

Le fer est un paramètre représentatif de la qualité du traitement chimique des fluides au sein de la centrale et constitue un facteur déterminant dans l'évaluation de la corrosion et de la formation de dépôts solides. Ces phénomènes peuvent avoir une incidence significative sur l'efficacité thermodynamique globale du processus.

## CONCLUSION GENERALE

En conclusion de cette étude approfondie sur le contrôle et le suivi des impuretés dans le cycle eau-vapeur d'une centrale électrique à cycle combiné, il convient de souligner l'importance stratégique de cette problématique pour assurer la fiabilité, l'efficacité énergétique et la durabilité à long terme de cette infrastructure énergétique essentielle.

L'analyse du cycle de concentration a permis d'étudier en détail l'évolution des teneurs en silice et en sodium, deux impuretés majeures présentes dans le cycle. Les résultats ont montré que ces éléments ont tendance à se concentrer progressivement au fil du temps, en particulier dans des conditions de température et de pression élevées caractéristiques du fonctionnement de la chaudière. Cette accumulation d'impuretés peut favoriser la formation de dépôts et accélérer les phénomènes de corrosion, compromettant ainsi le bon fonctionnement et la durée de vie des équipements. Face à ce constat, la mise en place d'un système de purge régulière s'est avérée indispensable pour éviter une concentration excessive de ces paramètres critiques.

La deuxième partie de l'étude s'est concentrée sur le cycle de traitement, avec une analyse approfondie des taux de phosphates et d'ammoniac. En effet, le traitement chimique de l'eau utilisé dans la centrale fait appel à des composés à base de phosphates dans les ballons moyenne et haute pression, ainsi que d'ammoniac dans le ballon basse pression et le condenseur. L'étude de l'interaction de ces paramètres avec des indicateurs clés comme le pH et la conductivité a mis en évidence la nécessité d'un suivi rigoureux et d'un système de régulation précis de l'injection de ces produits chimiques. Une maîtrise fine de ces équilibres chimiques s'avère cruciale pour prévenir les risques de corrosion et garantir l'intégrité des installations.

Enfin, l'analyse du cycle du fer a permis d'évaluer la fiabilité des traitements mis en œuvre dans les deux cycles précédents. Les résultats ont montré que la teneur en fer dans le cycle eau-vapeur constitue un indicateur révélateur de l'efficacité globale du système de contrôle des impuretés. Une maîtrise du cycle du fer, qui traduit la qualité des processus de traitement de l'eau, permet ainsi de garantir la pérennité des performances et de la durée de vie des équipements de la centrale.

L'intégration de la gestion du contrôle des impuretés dans une approche globale de la conduite et de la maintenance de la centrale, en coordination étroite avec les autres systèmes de

production, de régulation et de sécurité, s'est révélée déterminante pour optimiser les performances et la durabilité de l'ensemble de l'infrastructure. Cette approche systémique, fondée sur une surveillance continue et une adaptation dynamique des procédures de traitement, a permis de maximiser l'efficacité des solutions mises en œuvre.

En définitive, le contrôle et le suivi rigoureux des impuretés dans le cycle eau-vapeur d'une centrale électrique à cycle combiné constituent un levier essentiel pour garantir la fiabilité, l'efficacité et la durabilité de cette infrastructure énergétique cruciale, tant sur le plan technique qu'économique et environnemental. La maîtrise de cette problématique complexe, qui nécessite une expertise pointue et une coordination étroite des différents services, s'avère déterminante pour assurer la pérennité de la production d'électricité à grande échelle, dans un contexte de transition énergétique exigeant.

## Référence bibliographique

- [1] Agence internationale de l'énergie (AIE), Statistiques de l'électricité mondiale 2022. Int
- [2] Ministère de la Transition écologique, "Les centrales électriques à cycle combiné", 2020.int
- [3] <https://www.rts.ch/decouverte/sciences-et-environnement/environnement/centrales-thermiques/8949202-avantages-et-inconvenients-des-centrales-thermiques.html>
- [4] Atkins Realis. (2011). 2011 Annual Notice. Récupéré de : <https://www.atkinsrealis.com/~media/Files/A/atkinsrealis/investor-briefcase/fr/2011/2011-annual-notice-annuelle-282.pdf>
- [5] MOKHTAR OUKACAI (2017) OPTIMISATION DU PRETRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE (COAGULATION-FLOCCULATION) DE DESSALEMENT PAR OSMOSE INVERSE, Mémoire présente pour obtenir le diplôme de licence en génie chimique, université Akli Mohand Oulhadj-bouira
- [6] <https://skh-dz.com/photos.html>
- [7] <https://skh-dz.com/qui-sommes-nous.html>
- [8] Ismail SELLAM (2017) Maîtrise des risques majeurs liés à l'alternateur de la centrale à cycle combiné de Hadjret-En Nouss SNC-LAVALIN, Mémoire présente pour obtenir le diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI, Ecole Nationale Polytechnique
- [9] <https://www.teamturbo-machines.fr/turbine-vapeur/>
- [10] BOUCHAMA Mohamed Saïd (2017) Dimensionnement du condenseur de la centrale thermique de Hadjret Ennouss mémoire présente pour obtenir le diplôme de master en Energetique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA
- [11] Documentation Sharikat Kahraba Hadjret ennous (cycle combiné)
- [12] Documentation Sharikat Kahraba Hadjret ennous (composition du centrale)
- [13] <https://www.espritsante.com/articles/osmose-inverse-separation-phase-liquide?lang=en>
- [14] <https://condorchem.com/fr/blog/losmose-inversee-et-ses-differentes-applications>
- [15] <https://www.lenntech.fr/applications/process/chaudiere/chaudiere/entartrage.htm>
- [16] <https://www.nouvenergie.fr/e-formation/traitement-de-l-eau/calcaire/>
- [17] Wen, J., Gu, A., & Wang, L. (2016). Investigation on corrosion and deposition behavior in heat recovery steam generator. Applied Thermal Engineering, 103, 1206-1215.
- [18] Proceedings: International Conference on BTF and HTF, and Inspections. November 2004.
- [19] <http://processs.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=5540#Traitement%20volati>

[20] EPRI (Electric Power Research Institute). "Guidance for Phosphate Treatment in Combined Cycle/HRSG Power Plants." EPRI, 2019.

[21] Documentation Sharikat Kahraba Hadjret ennous (corrosion)

[22] Mare, T., & BYRNE, L. (2013). Les systèmes innovants de dessalement d'eau de mer, 15, 1206-1215

[23] <https://fr.hach.com/kit-spectrophotometre-dr3900-rfid-loc100/product?id=26370506807>

[24] labomoderne2019\_analyse\_eau\_658.pdf

[25] doc 062.77.00361.pdf

[26] <https://www.omega.fr/prodinfo/ph-metre.html>

