

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie  
Département Génie Mécanique

## Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de master en :

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

## THEME

*Analyse multicritères des performances de la  
station de dessalement de la nouvelle centrale à cycle  
combiné Cap Djinet*

*Présenté par*

*Hamoudi Ahcen*

*Tekli Mohammed sghir*

*Promotrice*

*M<sup>me</sup> : Bahloul Hassiba*

*Encadreur*

*M<sup>r</sup> : Tougherghi Farouk*

2021-2022

## **Résumé :**

*L'objectif de ce travail est d'étudier les performances de la station de dessalement au niveau de la centrale à cycle combiné de Cap Djinet.*

*Des généralités sur les procédés de dessalement, tels que les étapes, les technologies et les procédés utilisés au niveau de la centrale, on parle sur les différents processus qui contribuent au dessalement de l'eau de mer.*

*Le prétraitement est la première étape qui fait appel à une chloration et à une filtration. Après ce processus, on s'intéresse au procédé de dessalement par distillation à détentes successives qui produit une eau dessalée moins concentrée en sels, suivi par un procédé de déminéralisation à lit mélangé afin d'éliminer tous les sels. En fin de compte, nous obtenons une eau déminéralisée très pure nécessaire pour l'alimentation des auxiliaires électriques.*

*On analyse les performances des composantes de la station de dessalement et les facteurs qui affectent sur la production de l'eau dessalé, et la cause principale c'est le dépôt de sel au niveau des de l'évaporateur, on a donné des recommandations pour éviter ce problème.*

**Mots clés :** dessalement, évaporateur, dépôt de sel, énergie électrique.

## **Summary:**

*The objective of this work is to study the performance of the desalination station at the Cap Djinet combined cycle power plant.*

*General information on desalination processes, such as the steps, technologies and processes used at the plant level is discussed on the various processes that contribute to the desalination of seawater.*

*Pretreatment is the first step that involves chlorination and filtration. After this process, we are interested in the desalination process by successive detent distillation which produces desalinated water less concentrated in salts, followed by a demineralization process mixed bed in order to eliminate all the salts. At the end of the day, we get very pure demineralized water that is needed to supply the electrical auxiliaries.*

*The performance of the desalination plant components and the factors affecting the production of desalinated water are analyses, and the main cause is the deposition of salt in the evaporator, and recommendations have been given to avoid this problem.*

**Keywords:** desalination, evaporator, salt deposit, electrical energy.

## **ملخص:**

*الهدف من هذا العمل هو دراسة أداء محطة تحلية المياه في محطة توليد الكهرباء ذات الدورة المركبة راس جنات.*

*من العموميات المتعلقة بعمليات تحلية المياه، مثل الخطوات والتقنيات والعمليات المستخدمة على مستوى المحطة، نتحدث عن العمليات المختلفة التي تساهم في تحلية المياه.*

*المعالجة المسبقة هي الخطوة الأولى التي تتضمن الكلور والترشيح. بعد هذه العملية، نحن مهتمون بعملية التحلية عن طريق التقطير مع التوسعات المتتالية التي تنتج مياه محلاة أقل تركيزاً في الأملاح، تليها عملية إزالة المعادن باستخدام طبقة مختلطة متفاعلة. في النهاية، نحصل على مياه منزوعة المعادن نقية جداً ضرورية لتزويد الأجهزة الكهربائية المساعدة.*

*نقوم بتحليل أداء مكونات محطة التحلية والعوامل التي تؤثر على إنتاج المياه المحلاة، والسبب الرئيسي هو ترسب الملح على مستوى المبخر، وقد قدمنا توصيات لتجنب هذه المشكلة.*

**الكلمات المفتاحية:** تحلية، مبخر، ترسيب ملح، طاقة كهربائية.

## *Remerciement*

*Au nom de Dieu, et que les prières et la paix soient sur le meilleur de la création, Muhammad, que les prières et la paix de Dieu soient sur lui...*

*Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et le courage d'accomplir ce souvenir.*

*Je remercie mes encadrants M<sup>me</sup> Bahloul Hassiba et les promoteurs de Tugherghi qui ont suivi ce travail de près, pour leur aide, leurs orientations, leur disponibilité et tous les conseils qu'ils m'ont donnés dans la réalisation de ce travail.*

*Je tiens également à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin, remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils ont fait en l'acceptant d'être le correspondant de ma thèse.*

*Je tiens à remercier tous les professeurs de la majeure électromécanique mais aussi des autres disciplines.*

*Enfin, j'exprime toute ma gratitude à ma famille, mon père, mon frère et ma sœur à mes proches pour*

*Pour m'encourager, me prouver et surtout toujours avec moi.*

## *Dédicace*

*C'EST AVEC PROFONDE GRATITUDE ET SINCERES MOTS, QUE JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL DE FIN D'ETUDE A MES CHERS PARENTS, POUR LEUR PATIENCE, LEUR ENCOURAGEMENT ET LEUR SOUTIEN. J'ESPERE QU'UN JOUR, JE PUISSE LEURS RENDRE UN PEU DE CE QU'ILS ONT FAIT POUR MOI. QUE DIEU LEUR PRETE BONHEUR ET LONGUE VIE.*

*JE DEDIE AUSSI CE TRAVAIL*

*A MOI-MEME*

*A TOUT MA FAMILLE.....*

*A NOTRE EQUIPE DE TRAVAIL : HASSIBA BAHLOUL, TOUGHERGHI FAROUK, ET TOUS L'EQUIPES DE LA STATION DE CAP-DJINET.*

*A TOUS MES AMIS DE LA PROMOTION ÉLECTROMECANIQUE 2020/2021., ET A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS.*

*Hamoudi Ahcen*

## *Dédicace*

*C'EST AVEC PROFONDE GRATITUDE ET SINCÈRES MOIS, QUE JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL DE FIN D'ETUDE A MES CHERS PARENTS, POUR LEUR PATIENCE, LEUR ENCOURAGEMENT ET LEUR SOUTIEN. J'ESPERE QU'UN JOUR, JE PUISSE LEURS RENDRE UN PEU DE CE QU'ILS ONT FAIT POUR MOI. QUE DIEU LEUR PRETE BONHEUR ET LONGUE VIE.*

*JE DEDIE AUSSI CE TRAVAIL*

*A MOI-MEME*

*A TOUT MA FAMILLE.....*

*A NOTRE EQUIPE DE TRAVAIL : HASSIBA BAHLOUL, TOUGHERGHI FAROUK, ET TOUS L'EQUIPES DE LA STATION DE CAP-DJINET.*

*A TOUS MES AMIS DE LA PROMOTION ÉLECTROMECANIQUE 2020/2021., ET A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS.*

*Tekli Mohammed sghir*

## **Liste des Figures**

Figure I 1: La centrale électrique à cycle combiné de Ras-Djinet .....	1
Figure I 2: vue de la station de Cap Djinet .....	3
Figure I 3: Station thermique de la nouvelle centrale de RAS-DJINET .....	4
Figure I 4: Vue en section d'un cycle combiné .....	5
Figure I 5: Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale de RAS-DJINET .....	5
Figure I 6: Eléments de base de cycle combiné .....	6
Figure I 7: Composants de la turbine à gaz .....	6
Figure I 8: Composants de la chaudière de récupération (HRSG) .....	8
Figure I 9: Vue en coupe d'une turbine à vapeur .....	9
Figure I 10: Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné .....	12
Figure I 11: Refroidissement par film .....	16
Figure I 12: Salle de commande de la centrale à cycle combiné .....	17
Figure I 13: principe de fonctionnement d'un cycle combiné .....	18
Figure II 1: Schéma général d'une installation de dessalement .....	20
Figure II 2: Procédés de dessalement classés selon leurs principes .....	21
Figure II 3: Fonction de la membrane osmose inverse .....	22
Figure II 4: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse .....	23
Figure II 5: Principe d'électrodialyse .....	24
Figure II 6: Distillation à simple effet .....	26
Figure II 7: Principe de la distillation à multiple effet .....	27
Figure II 8: Principe de la distillation à détente étagées .....	28
Figure II 9: Principe de distillation à compression de vapeur .....	29
Figure III 1: Schéma général d'une installation de dessalement .....	33
Figure III 2: système d'eau et de vapeur .....	42
Figure III 3: schéma de distillation à effets multiples avec thermo-compresseur .....	48
Figure III 4: circuit d'eau de mer .....	52
Figure III 5: circuit de distillat .....	54
Figure III 6: schéma du thermo-compresseur .....	58
Figure III 7: distillation a multiples effets avec thermo-compresseur .....	59
Figure III 8: schéma d'un thermo-compresseur de vapeur .....	60
Figure III 9: Principe du procédé à multiple-effet (MED) .....	64
Figure IV 1: graphe d'eau dessalé .....	75
Figure IV 2: dépôts cellulaires avec de la chaux et de sel .....	77
Figure IV 3: Avant nettoyage manuel .....	80
Figure IV 4: Après nettoyage manuel .....	80
Figure IV 5: nettoyage cellule N2 .....	80
Figure IV 6: Figure : nettoyage cellule N3 .....	81
Figure IV 7: restriction d'accès aux donjons 2 et 3 .....	81
Figure IV 8: cellule N1 après le deuxième nettoyage .....	82

## **Liste des tableaux**

Tableau I 1: Les caractéristiques des différents corps de la turbine.....	9
Tableau I 2: Caractéristiques techniques de générateur .....	10
Tableau III 1: critères de conception pour les chaudières auxiliaires .....	40
Tableau III 2: résumé des données de la chaudière .....	40
Tableau IV 1: caractéristiques de l'évaporateur .....	68
Tableau IV 2: caractéristiques de chaudière .....	69
Tableau IV 3: performances de l'évaporateur.....	72
Tableau IV 4: performances chaudière auxiliaire.....	72
Tableau IV 5: performances Pompe condensat.....	73
Tableau IV 6: performances pompe distillat.....	73
Tableau IV 7: performances pompe DP dessalement.....	73
Tableau IV 8 : performances pompe 60 CWP ½ .....	74
Tableau IV 9: performances pompe 50 CWP ½ .....	74
Tableau IV 10: performances pompe refroidissement .....	74
Tableau IV 11: performances pompe alimentaire .....	75
Tableau IV 12: performances pompe saumure .....	75

## ***Symboles***

<b>SPE</b>	Société de la Production de l'Electricité
<b>HP</b>	Haute Pression
<b>IP</b>	Moyenne Pression
<b>LP</b>	Base Pression
<b>CEP</b>	Pompes d'Extraction de Condensat
<b>GSC</b>	Gland Stream Condenser
<b>SW</b>	sea water
<b>CCPP</b>	Combiné Cycle Power Plant (centrale à cycle combiné)
<b>A</b>	Ampère
<b>GTG</b>	Gaz d'échappement Turbo Générateur
<b>TAC</b>	Titre Alcalimétrique Complet
<b>GT</b>	Turbine à Gaz
<b>ST</b>	Turbine à vapeur
<b>GOR</b>	Gain Output Ratio
<b>MBE</b>	Echangeurs à lits mixtes
<b>MCC</b>	Machine à Courant Continu
<b>TBT</b>	Température supérieure saumure
<b>P&amp;ID</b>	Diagramme des Tubes et Instrumentation



## *Sommaire*

**Résumé**

**Remercîment**

**Dédicace**

**Liste des Figures**

**Liste des tableaux**

**Symboles**

**Introduction générale**

### **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA NOUVELLE CENTRALE DE CAP DJINET**

1	Introduction .....	1
2	Historique du cycle combiné .....	1
3	Fiche Technique .....	2
4	Situation Géographique .....	2
5	La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité .....	3
6	Eléments de base de cycle combiné .....	6
6.1	Turbine à gaz .....	6
6.2	Chaudière de récupération (HRSG) .....	6
6.3	Turbine à vapeur .....	8
6.4	Générateur .....	10
6.5	Le transformateur .....	10
6.6	Le poste d'eau .....	11
7	Les fonctionnements d'Eléments de base de cycle combiné .....	11
7.1	Fonctionnement de la chaudière de récupération (générateur de vapeur) (HRSG) .....	12
7.2	Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné .....	12
8	Le fonctionnement des autres composantes mécaniques du cycle combiné .....	13
8.1	Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP .....	13
8.2	Fonctionnement du système air comprimé-compresseur .....	13
8.3	Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière .....	13
8.4	Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat .....	14
8.5	Fonctionnement du condenseur .....	14

8.6	Fonctionnement de Gland Stream Condenseur .....	14
8.7	Fonctionnement d'éjection d'air à jet de vapeur .....	14
8.8	Fonctionnement de la chaudière auxiliaire .....	15
8.9	Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW) .....	15
8.10	Fonctionnement des pompes d'alimentation pour installation de dessalement .....	15
8.11	Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisée .....	15
8.12	Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaques) .....	15
8.13	Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout .....	16
8.14	La fonction du réservoir de stockage d'eau déminée .....	16
8.15	Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée .....	16
9	Salle de commande .....	16
10	Principe de production électricité au niveau de la centrale à cycle combiné .....	17
11	Conclusion .....	18

## **CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES STATIONS DES DESSALEMENTS**

1	Introduction .....	19
2	Définition du processus de dessalement .....	19
3	Etapes de dessalement .....	19
3.1	L'alimentation en eau de mer .....	19
3.2	Le prétraitement .....	19
3.3	Installation de dessalement .....	19
3.4	Le post-traitement .....	20
4	Les principales technologies de dessalement des eaux .....	20
5	Description des différents procédés de dessalement .....	21
5.1	Les procédés à membranes .....	22
5.1.1	Osmose inverse .....	23
5.1.2	L'Electrodialyse .....	24
5.1.2.1	Description du procédé .....	24
5.1.2.2	Principe de fonctionnement .....	24
5.2	Les procédés thermiques à changement de phases .....	25
5.2.1	Congélation .....	25
5.2.2	La distillation .....	25
5.2.2.1	Distillation à simple effet .....	26
5.2.2.2	La distillation à effet multiple (MED) .....	26
5.2.2.3	La distillation a détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) .....	27

5.2.2.4	Distillation par compression de vapeur (MVC)	29
6	Choix du procédé de dessalement	29
7	Principaux avantages et inconvénients de dessalement	30
7.1	Avantage	30
7.2	Inconvénients	30
8	Conclusion	31

### **CHAPITRE III : ETUDE ET FONCTIONNEMENT DE DESSALEMENT DE LA NOUVELLE CENTRALE A CYCLE COMBINE**

1	Introduction	32
2	Propriétés de l'eau de mer et Sources d'eau	32
2.1	Composition et caractéristiques de l'eau de mer	32
2.2	Les variations de température de l'eau	33
2.3	Installation de dessalement	33
2.4	Captation de l'eau de mer	34
2.5	Le prétraitement	34
2.6	Filtration de l'eau de mer	35
2.7	Déminéralisation	36
3	Contrôles et opérations d'avant démarrage	36
4	Théorie du processus de dessalement pour l'usine de dessalement de l'eau	39
4.1	La chaudière auxiliaire	39
4.1.1	Les données de la chaudière	40
4.1.2	Système d'eau et de vapeur	41
4.1.3	Principe de fonctionnement de la chaudière auxiliaire :	42
4.2	Unité de dessalement à Cap Djinet	44
4.2.1	Explication d'évaporateur à effet simple	45
4.2.2	Principe de fonctionnement de l'évaporateur à multi-effet	46
4.2.3	Systèmes supplémentaires	48
4.2.4	Évaporateur	49
4.2.5	Circuit de distillat	53
4.2.6	Circuit de la saumure	54
4.2.7	Vapeur HP et relatif système de condensat	54
4.2.8	Vapeur HP au système de vide	56
4.2.9	Système de vide (les éjecteurs)	57
4.2.10	Le thermo-compresseur	57

4.2.11	Système de dosage chimique .....	61
5	Influence du nombre d'effets .....	63
6	Le mécanisme à effets multiples (MED) pour la conservation de l'énergie .....	63
7	Conclusion .....	64

## **CHAPITRE IV : ETUDE CRITIQUE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT AU NIVEAU DE LA CENTRALE A CYCLE COMBINE CAP DJINET**

1	Introduction .....	66
2	Liste des équipements .....	66
3	Conditions climatiques et d'installation du site .....	66
3.1	Conditions climatiques et d'installation du site : .....	66
3.2	Conditions de conception : .....	67
4	Description du système .....	67
4.1	Généralités .....	67
4.2	Exigences techniques .....	68
5	Données techniques .....	68
5.1	Unité de dessalement .....	68
6	Rapport journalier d'exploitation centrale .....	72
6.1	Dessalement .....	72
6.2	Station de pompage .....	74
7	Production d'eau dessalée .....	75
8	Lessivage de l'évaporateur de dessalement .....	76
8.1	Procédure de nettoyage à l'acide .....	76
8.2	Préparation du système .....	76
8.3	Début de l'opération .....	77
8.4	Préparer le système pour recevoir l'acide .....	78
8.5	Injection d'acide et nettoyage .....	79
8.6	Un contrôle visuel a été réalisé pour les trois cellules .....	79
9	Conclusion .....	82

### **Conclusion générale**

### **ANEXE**

### **Bibliographie**



# **Introduction générale**

## ***Introduction générale***

Le secteur de l'énergie est l'un des plus importants de l'économie. Son importance dans le développement de tout pays est considérable. Une nation ne peut en faire une revendication crédible que si elle se procure d'abord une source d'énergie aussi essentielle que l'électricité.

Les centrales thermiques sont des structures qui transforment la chaleur d'une source d'énergie en énergie électrique. Ce dernier est créé de diverses manières typiques des centrales électriques (hydraulique, diesel, charbon, gaz, vapeur, etc.).

La centrale thermique de Cap Djinet est une centrale thermique à vapeur qui convertit l'énergie en utilisant les caractéristiques thermodynamiques de l'eau salée. A l'intérieur d'une chaudière, la combustion se produit, les tubes entretenant la circulation de l'eau. Cette dernière est transformée en vapeur, qui entraîne une turbine couplée à un alternateur, qui génère de l'énergie électrique.

L'eau de mer est très destructrice pour les matériaux de construction par nature. Les sels, les gaz dissous et les solides en suspension abondent. Il a également une gamme variée de plantes et d'animaux. Par conséquent, si elles ne sont pas traitées, leur utilisation entraîne un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations.

Selon l'utilisation prévue de l'eau, le but de ce traitement est de diminuer ou d'éradiquer totalement ces particules.

L'eau de mer sera traitée sensiblement différemment selon qu'elle est utilisée pour produire de l'eau de refroidissement ou pour alimenter des chaudières à haute pression.

Nos recherches consistent à découvrir plusieurs procédés de traitement d'eau de mer adaptés à une centrale électrique afin d'apporter de l'eau d'appoint aux chaudières haute pression. Nous baserons nos recherches sur le processus de dessalement et de déminéralisation dans une usine de dessalement, ainsi que sur le fonctionnement de divers organes.

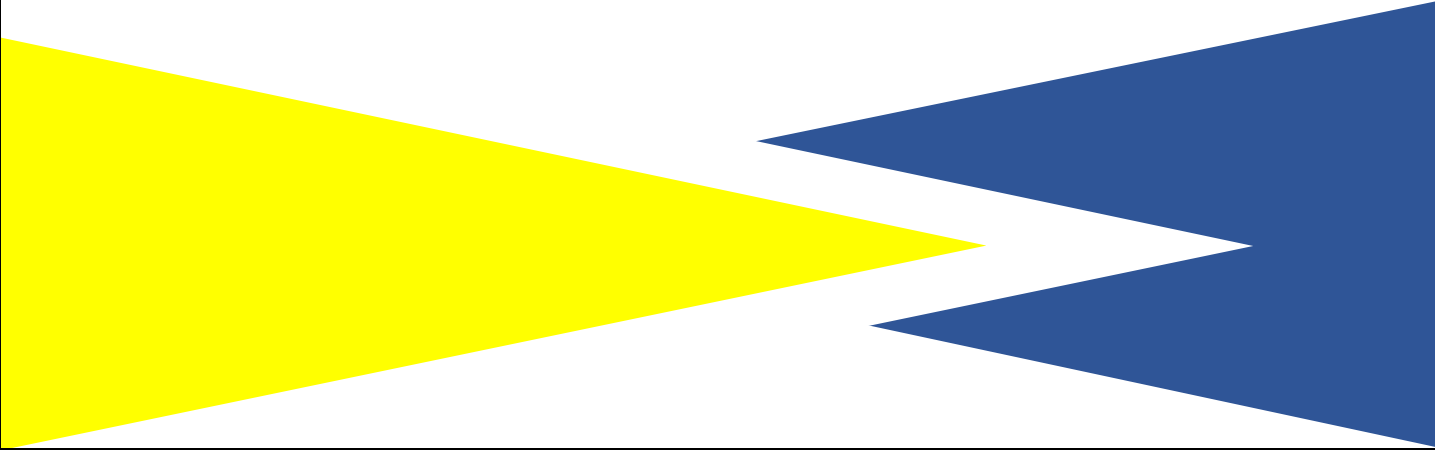
Notre projet est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'usine de dessalement, le deuxième à la présentation des nombreuses méthodes de dessalement de l'eau, et le troisième à la recherche et à l'exploitation de la nouvelle usine de dessalement à cycle combiné, le quatrième chapitre concernant les performances des équipements de dessalement et suivi quotidien et étude critique des performances de la station de dessalement de la centrale à cycle combiné Cap Djinet.



# **Chapitre I**

**Présentation de la nouvelle centrale à cycle combiné de Cap Djinet**





## 1 Introduction :

La production de l'énergie électrique est en plein essor, vu la diversité de la source de production qui sont soit renouvelables ou nos renouvelables, elle est de nous jours une énergie indispensable dans la consommation, elle nous permet la facilité de vie surtout dans les domaines économiques et industrielles.

Pour tous ces avantages de cette énergie, nous somme intéressera réaliser une étude qui rentre du cadre de mémoire de fin d'études master, celle-ci se sein d'une branche de la société SONALGAZ, c'est la nouvelle centrale thermique à cycle combiné qui est une source très intéressante pour la production d'électricité, dont les détails sur cette centrale.



Figure I 1: La centrale électrique à cycle combiné de Ras-Djinet

## 2 Historique du cycle combiné :

Les cycles combinés avec récupération de la chaleur, qui emploient la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz, ont été rendus faisables par augmentation du transfert thermique latéral par l'utilisation des tubes aillés. Les chaudières à tubes aillés ont été mises en service en 1959. Depuis 1960, le type de récupérateur de chaleur du cycle combiné est devenu dominant. Son application initiale était dans des applications de puissance et de chaleur là où son rapport de puissance à la chaleur était favorable dans beaucoup de processus chimiques et pétrochimiques.

Un nombre réduit de récupérateur de chaleur des cycles combiné ont été installés dans les centrales de production d'électricité dans les années 1960. Quand les turbines à gaz dont la capacité est plus de 50 MW ont été introduites dans les années 70 les expériences des récupérateurs de chaleur des cycles combinés ont rapidement augmenté dans les applications des compagnies d'électricité. Les années 80 et le début des années 90 ont apporté un grand nombre de systèmes utilisant le gaz naturel comme combustible (installations de production de puissance et de production de puissance et chaleur (cogénération). Les installations de puissance seule utilisent l'extraction minimale de vapeur pour le chauffage d'eau d'alimentation. Les systèmes de cogénération utilisent la vapeur d'échappement des turbines à vapeur dans d'autres processus. Quelques cycles combinés par cogénération exportent la vapeur directement du HRSG.

### 3 Fiche Technique :

- **Lieu de :** RAS-DJINET Wilaya de Boumerdes Surface : 18 Hectares.
- **Constructeur :** DAEWOO ENGINEERING & CONSTRUCTION (Corée du sud).
- **Puissance :** 1131,1 MW
- **Configuration :** 3 Tranches en Cycle Combinée.  
(1 Turbines à Gaz + 1 Turbine à vapeur+ 1 Alternateur)
- **Application :** Production d'électricité.
- **Combustible :** Gaz Naturel/Gasoil.

### 4 Situation Géographique :

Située à 29 km de l'Est du chef-lieu de la wilaya de Boumerdes et sur un terrain de 18 Hectares, au mitoyen de l'ancienne centrale à vapeur, la centrale de Cap Djinet qui rentre dans le projet des 4000 MW lancé par SPE, est destinée à répondre à la demande grandissante en énergie électrique de la région.



Figure I 2: vue de la station de Cap Djinet

## 5 La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité :

### ➤ Situation :

La centrale à cycle combiné de Ras-Djinet est une entreprise destinée à la production de l'énergie électrique, elle est située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Cap Djinet, dans la wilaya de Boumerdes. C'est la surface la plus idéale grâce à son large espace et à sa proximité de l'eau de mer et pour ses conditions du Sous-sol favorables, qui ne nécessitent pas de fondations profondes. En plus de sa situation à proximité des consommateurs importants, elle est située notamment dans la zone industrielle Rouïba- Reghaia.

### ➤ Caractéristiques :

La centrale de RAS-DJINET se compose principalement de trois (3) modules de centrale électrique à cycle combiné à arbre-simple, ainsi que les systèmes qui supportent l'équilibre de la centrale. Chaque module a une turbine à gaz (modèle : SIEMENSSGT54000F), une chaudière de récupération (HRSG) associé, une turbine à vapeur (Modèle : SIEMENSSST5- 3000 H-IL) et un générateur commun refroidi par hydrogène (Modèle : SIEMENS SGEN5-2000 H) situé sur le même arbre entre la turbine à gaz (GT) et la turbine à vapeur (ST). Les turbines à gaz sont conçues pour brûler le gaz naturel comme le combustible de base et le carburant diesel comme le combustible de secours.

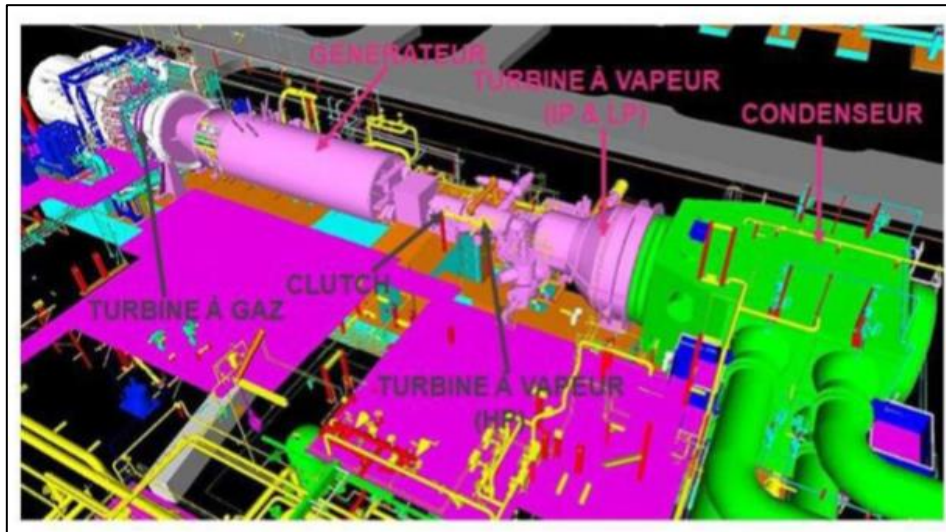


**Figure I 3:** Station thermique de la nouvelle centrale de RAS-DJINET

Les principaux composants mécaniques du cycle combiné de la nouvelle centrale de RAS- DJINET sont (figure I.4).

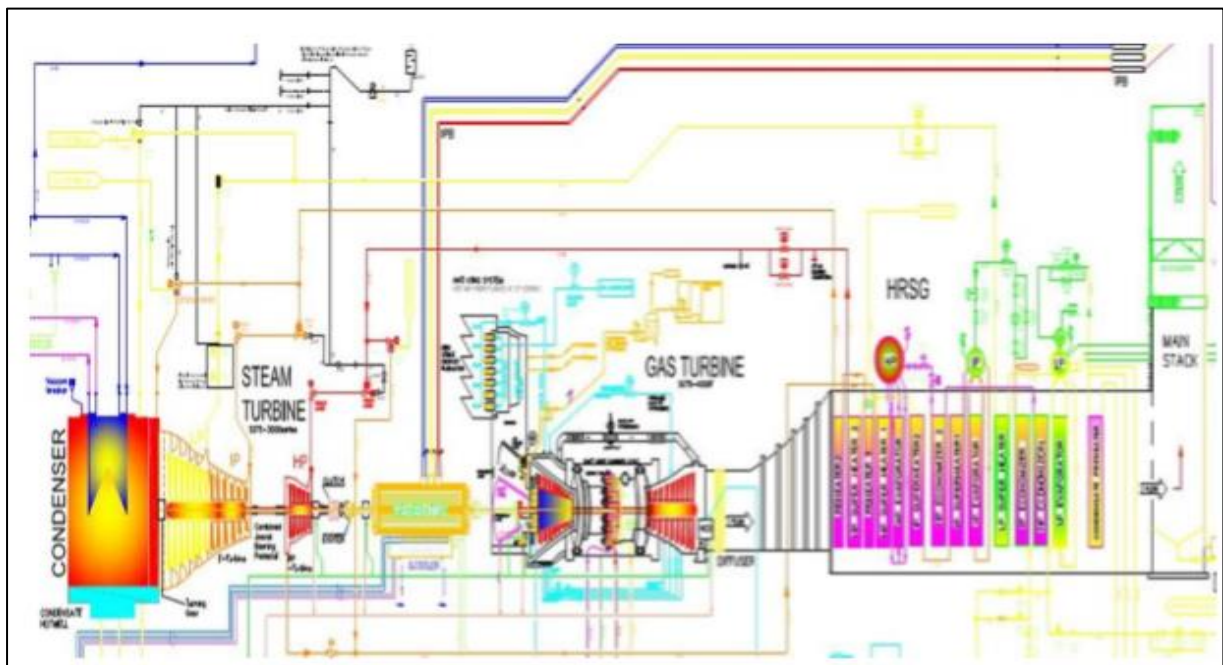
- ✓ Turbine à gaz.
- ✓ Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG).
- ✓ Turbine à vapeur.
- ✓ Vannes de by-pass HP, IP et LP.
- ✓ Système d'air comprimé–Pompes d'eau d'alimentation de la chaudière (BFP).
- ✓ Pompes d'extraction de condensat (CEP).
- ✓ Condenseur.
- ✓ Gland Stream Condenser (GSC).
- ✓ Éjecteur d'air à jet de vapeur.
- ✓ Chaudière auxiliaire.
- ✓ Pompes de circulation d'eau.
- ✓ Pompes d'alimentation usine de dessalement.
- ✓ Pompes d'eau de refroidissement déminéralisée.

- ✓ Échangeur de chaleur CCW (Type de plaque).



**Figure I 4:** Vue en section d'un cycle combiné

- ✓ Station d'alimentation en gaz naturel–Réservoirs de stockage de mazout.
- ✓ Réservoir de stockage d'eau DM.
- ✓ Réservoir de stockage d'eau dessalée.



**Figure I 5:** Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale de RAS-DJINET

## 6 Eléments de base de cycle combiné :

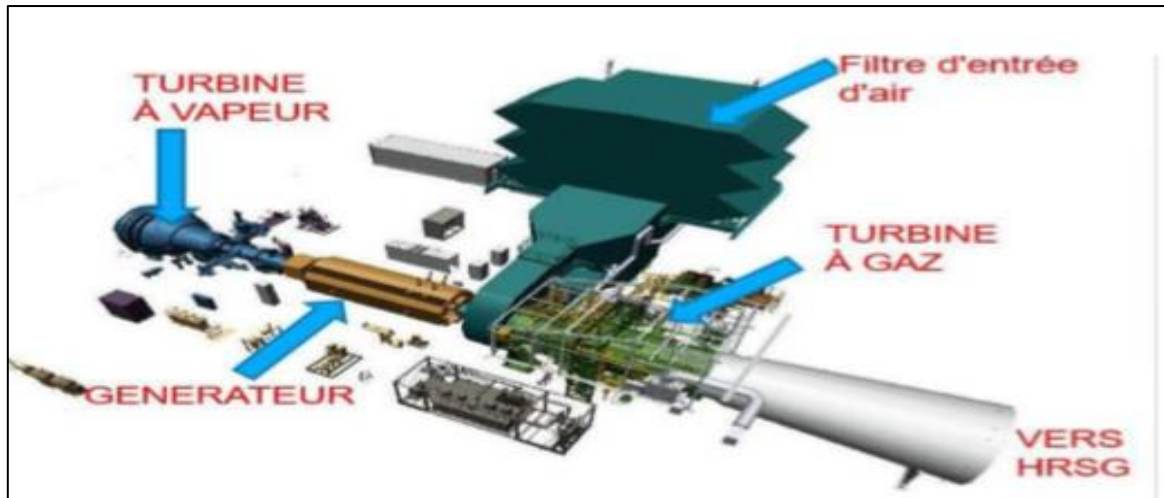


Figure I 6: Eléments de base de cycle combiné

### 6.1 Turbine à gaz :

Une turbine à gaz typique se compose d'un système d'air d'admission, d'un compresseur, d'un système de combustion, d'une turbine, d'un système d'échappement et d'un générateur comme il est illustré dans le schéma ci-dessous :

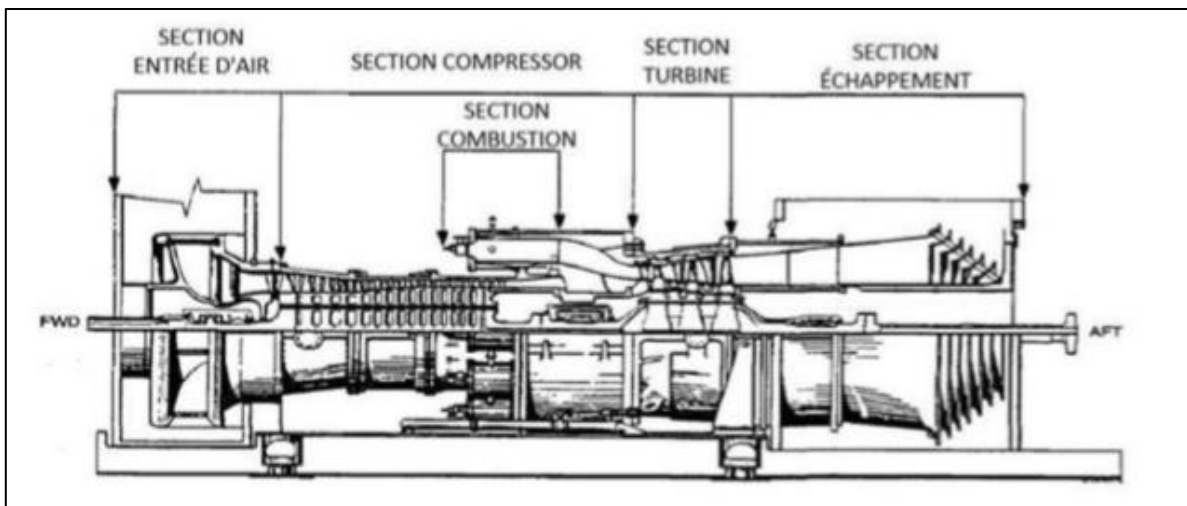


Figure I 7: Composants de la turbine à gaz

### 6.2 Chaudière de récupération (HRSG) :

- **Ballon vapeur pour chaque niveau de pression (HP, IP et BP)**

Le ballon vapeur est conçu pour séparer le mélange de vapeur et d'eau pour fournir de la vapeur saturée à la surchauffeur et pour absorber les à-coups de l'évaporateur pendant les transitoires de démarrage et de fonctionnement.

- **Sections économiseur pour chaque niveau de pression (HP, IP et BP)**

La fonction principale de la section économiseur du HSRG est de préchauffer l'eau de condensation (pour économiseur LP) ou bien l'eau d'alimentation (pour économiseur IP et économiseur HP)

- **Sections évaporateur pour chaque niveau de pression (LP, IP et HP)**

L'eau de condensation traversant la section économiseur entre dans le ballon vapeur et est répartie sur toute la longueur du ballon par un collecteur de distribution où il se mélange à l'eau saturée revenant de la section évaporateur. L'eau saturée est extraite du fond du ballon vapeur LP et traverse la section de l'évaporateur par le processus de circulation naturelle.

L'eau saturée entre dans le collecteur situé au fond de l'évaporateur et s'écoule vers le haut par évaporation dans les tubes de l'évaporateur. La section évaporateur fonctionne essentiellement à température constante.

- **Sections surchauffeur pour chaque niveau de pression (LP, IP et HP)**

La vapeur saturée est extraite du ballon vapeur vers le collecteur d'entrée de la surchauffeur, puis s'écoule à travers la structure grillagée des tubes à ailettes vers le collecteur de sortie. Le débit de vapeur est à courant du débit des gaz d'échappement. La section surchauffeur élève la température de la vapeur depuis la température de Saturation jusqu'à une température de surchauffe conforme aux exigences de la turbine à vapeur basse pression.

- **Section réchauffeur (pour la section IP)**

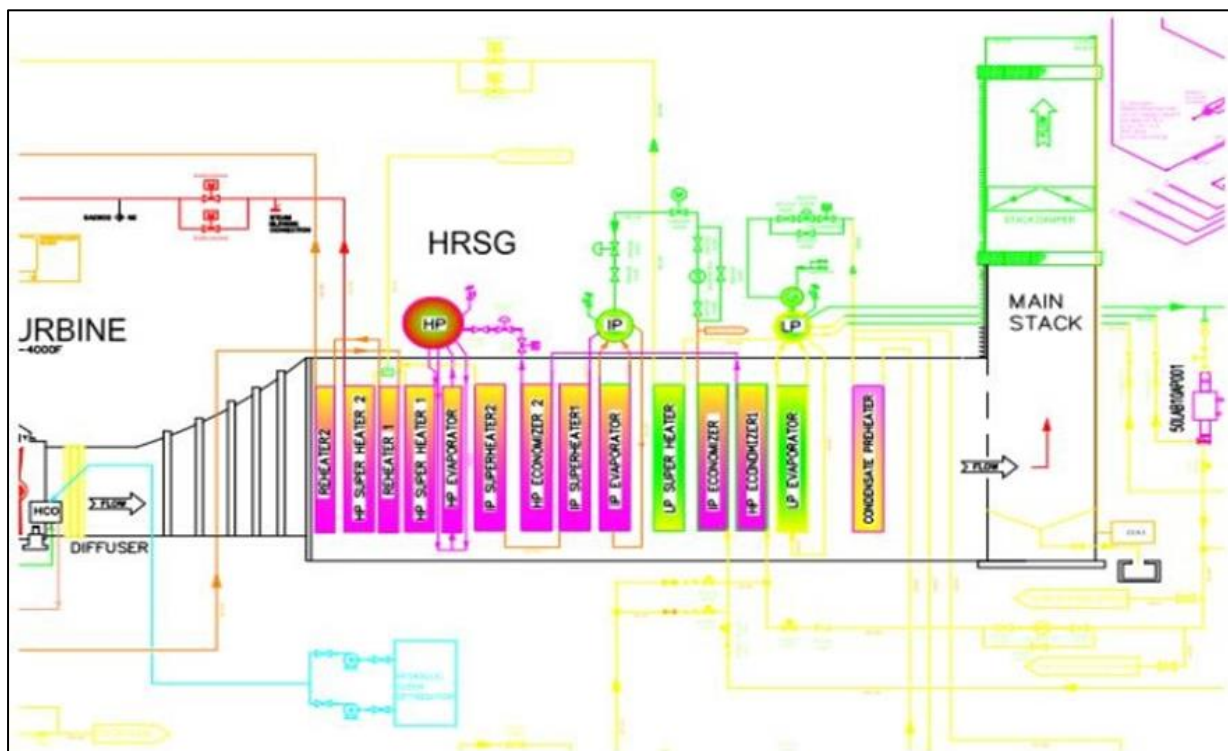
La fonction principale de la section réchauffeur est de chauffer la vapeur de réchauffage à froid (CRH) jusqu'à la température de vapeur de réchauffage à chaud (HRH).

- **Dégazeur intégral ballon LP**

Le dégazeur a pour fonction d'éliminer les gaz non condensables comme l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> des condensats lors du remplissage initial de la chaudière et du démarrage de l'installation. Il fait partie intégrante du ballon basse pression (LP). Le ballon LP agit comme un réservoir de stockage pour le dégazeur.

- **Cheminée HSRG avec silencieux**

La cheminée du HSRG et son silencieux sont fournis pour acheminer les gaz d'échappement de la turbine à gaz depuis la sortie du HSRG vers l'atmosphère. Des ports d'échantillonnage sont fournis dans la cheminée pour les contrôles d'émission. Les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz font du bruit. De ce fait, un silencieux est fourni afin de réduire le bruit en sortie de cheminée.



**Figure I 8:** Composants de la chaudière de récupération (HRSG)

### 6.3 Turbine à vapeur :

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec une turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000) ainsi que tous les accessoires nécessaires. La turbine à vapeur se compose d'un cylindre HP et d'un cylindre IP/LP à écoulement direct. La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur sera condensée dans le condenseur refroidi à eau. La turbine HP est de construction à simple flux et à double paroi avec un porte-lame fixe et un carter externe.

Elle est munie d'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale, soudée, soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieure est de type



cylindrique. Le carter extérieur IP/LP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement. Les demi-carter sont boulonnés ensemble par des boulons d'assemblage. Les sections d'entrée et d'échappement sont également boulonnées ensemble.

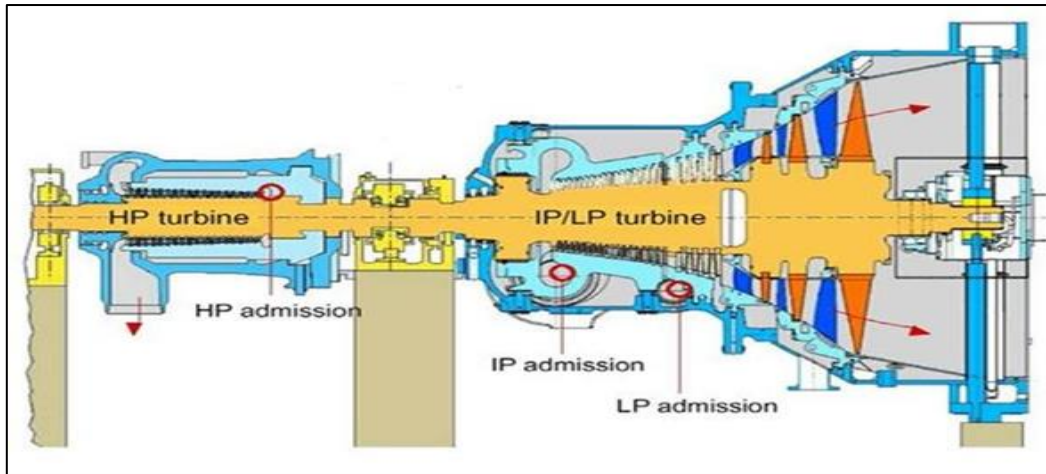


Figure I 9: Vue en coupe d'une turbine à vapeur

Caractéristiques des différents corps de la turbine :

Tableau I 1: Les caractéristiques des différents corps de la turbine

	Corps HP	Corps MP	Corps BP
<b>Pression admission</b>	138 bars	35,9 bars	5,5 bars
<b>Débit de vapeur</b>	523 t/h	407.9 t/h	40 t/h
<b>Température de vapeur</b>	535 °C	535 °C	282.5 °C
<b>Nombre d'étages à réaction</b>	23	2*20	2*8
<b>Nombre d'étages à action</b>	1	Aucun étage	Aucun étage
<b>flux</b>	Simple flux et Double enveloppe	Double flux et double enveloppe	Double flux et double enveloppe

#### 6.4 Générateur :

Le générateur est l'équipement électrique le plus important de toute la centrale électrique. Il est capable d'évacuer le courant de la sortie de la turbine à gaz (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est connecté sans dépasser la limite de température admissible stipulée par la norme pertinente sur l'ensemble de la plage de température ambiante du site.

Ce générateur à arbre unique a été utilisé pour ce projet. Celui-ci est directement couplé à la turbine à gaz à une extrémité et couplé à la turbine à vapeur à l'autre extrémité grâce à un dispositif de serrage.

**Tableau I 2:** Caractéristiques techniques de générateur

Tension nominale/tension maximale	400 kV/420 kV
Courant de la barre omnibus	5000 A
Niveau de défaut	40 kA pendant 1 s
Puissance apparente	431 MVA à 35 °C
Courant d'induit nominal	11 310 A
Tension d'induit nominale	22,00 kV $\pm$ 5 %
Vitesse	3 000 tr/min
Facteur de puissance	0,9 (inductif)
Excitation	Excitation statique
Type de refroidissement	Refroidi à l'hydrogène

#### 6.5 Le transformateur :

Un transformateur électrique est un convertisseur qui modifie les valeurs de tension et d'intensité du courant donné par une source d'énergie électrique distincte dans un système de tension et de courant avec des valeurs variées mais la même fréquence et même forme. Étant donné que le courant électrique de l'alternateur est

trop faible pour être livré par des avions haute tension, il est connecté à un transformateur d'ascenseur avec une plage de tension de 15,5 à 220 kV et une puissance de 220 MW via un disjoncteur de coupleur. Le transformateur est refroidi par la circulation d'huile forcée dans un circuit fermé, qui est refroidi par l'air.

### **6.6 Le poste d'eau :**

La station d'eau se compose des éléments suivants et comprend tout l'équipement de l'échappement de la turbine à l'entrée de la sauvegarde de la chaudière:

(Le condenseur - La bêche alimentaire et le dégazeur - Les pompes (d'extraction et d'alimentation). - Les réchauffeurs HP et BP).

#### **✓ Le condenseur :**

Le condenseur est un échangeur de chaleur surfacique installé sous le corps basse pression BP de la turbine. La vapeur se condense au contact des parois des tubes qui transportent l'eau de refroidissement marine. Un échange de chaleur fluide séparé avec des faisceaux de tubes est utilisé.

## **7 Les fonctionnements d'Eléments de base de cycle combiné :**

Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné :

Quand la turbine à gaz est mise en marche, l'air ambiant est aspiré à travers le système d'air d'admission où il est filtré et puis dirigé vers l'entrée du compresseur. L'air est comprimé par le compresseur et dirigé vers le système de combustion. À l'intérieur du système de combustion, l'air est mélangé au carburant (gaz naturel ou mazout ou les deux ou un autre carburant) et le mélange est allumé. Les gaz de combustion chauffés et comprimés circulent ensuite vers la turbine. Les gaz de combustible se dilatent au fur et à mesure qu'ils circulent à travers la turbine, induisant sa rotation. La turbine rotative actionne le compresseur et les équipements accessoires avec un excès d'énergie disponible pour produire une puissance d'arbre qui actionne le générateur électrique. Les gaz sortant de la turbine s'échappent dans l'atmosphère et sont dirigés vers l'équipement de récupération de chaleur à travers un système d'échappement.

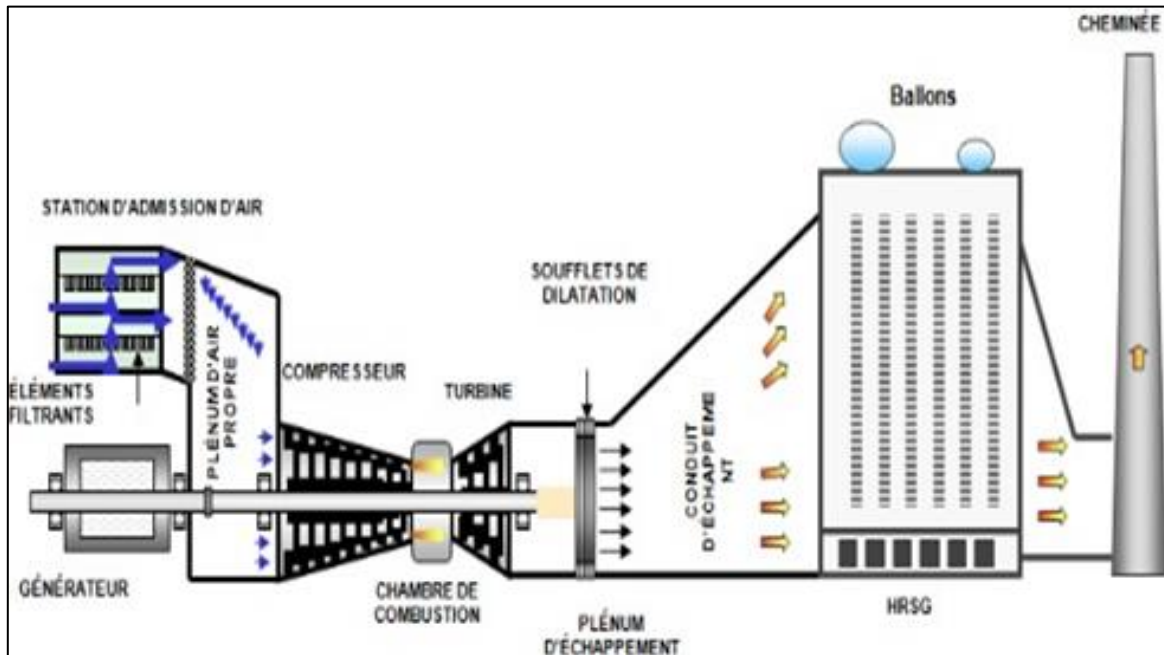


Figure I 10: Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné

### 7.1 Fonctionnement de la chaudière de récupération (générateur de vapeur) (HRSG) :

La chambre de combustion annulaire est située entre le compresseur et la turbine ; C'est une (HRSG) à débit horizontal sans postcombustion qui produira la vapeur échauffée à trois niveaux de pression.

Le condensat est fourni à l'économiseur à basse pression (BP) par les pompes d'extraction du condensat. Le désaérateur est intégré au ballon de la section à basse pression (BP).

La fonction principale du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) est de générer la quantité et la qualité nécessaires de vapeur en utilisant la chaleur rejetée par les gaz d'échappement du turbogénérateur à gaz (GTG) qui est ensuite transportée à la turbine à vapeur pour générer de l'électricité. Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec un générateur de vapeur à récupération de chaleur (HSRG) ainsi que tous les accessoires nécessaires.

### 7.2 Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné :

La turbine à vapeur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Les cycles des turbines à vapeur utilisent un fluide

compressible, qui change d'état au cours du cycle. Le changement d'état de la vapeur génère des variations importantes de l'enthalpie qui permet de transformer de grandes quantités de chaleur en travail. Dans une turbine la vapeur est détendue de façon continue dans un système de roues à aubes.

Cette propriété permet de fonctionner avec des débits importants et de pousser la détente sans l'effet de troncature, comme dans les machines alternatives.

## **8 Le fonctionnement des autres composantes mécaniques du cycle combiné :**

### **8.1 Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP :**

La fonction de la vanne de by-pass est de dévier la vapeur vers la conduite de réchauffage à froid (CRH) ou à chaud (HRH) et de maintenir le HRSG en fonctionnement pendant le démarrage ou l'arrêt de la turbine à vapeur, ou pendant d'autres états particuliers.

Le système de by-pass se compose d'une vanne d'arrêt de vapeur, d'une vanne de conditionnement de vapeur et d'une vanne de régulation de température pour chaque niveau.

### **8.2 Fonctionnement du système air comprimé-compresseur :**

Les compresseurs d'air sont de type à vis sans fin, sans huile, à entraînement par moteur, avec filtre d'aspiration, refroidisseurs d'air et instruments nécessaires. Les compresseurs sont de construction robuste et conçus pour un fonctionnement continu et intermittent à pleine ou faible capacité.

### **8.3 Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière :**

La fonction des pompes d'alimentation en eau de la chaudière est de fournir de l'eau du ballon LP, à la section économiseur haute pression (HP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur et, par un étage intermédiaire, à la section économiseur pression intermédiaire (IP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG). Les pompes d'alimentation en eau de la chaudière fournissent également de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour le système de by-pass HP et de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour la surchauffeur HP.

#### 8.4 Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat :

La fonction des pompes d'extraction de condensat est d'effectuer ce qui suit :

- Maintenir le niveau du puits du condenseur à son niveau normal en extrayant les condensats du puits du condenseur et fournir de l'eau de condensation au dégazeur en passant par l'économiseur LP.
- Fournir de l'eau pulvérisée désurchauffeur pour le système de by-pass IP et LP, la station auxiliaire de réduction de pression de vapeur et de désurchauffe (PRDS) et d'autres auxiliaires.
- De la turbine à vapeur, et fournir aussi de l'eau d'étanchéité aux vannes pour empêcher l'entrée d'air dans le système.

#### 8.5 Fonctionnement du condenseur :

Le condenseur axial refroidi à l'eau remplit la fonction de condenser la vapeur d'échappement de la turbine à vapeur et / ou du système de by-pass de vapeur haute pression (HP), pression intermédiaire (IP) et basse pression (LP).

Le condenseur reçoit la vapeur d'échappement de la turbine dans le sens horizontal. Il est équipé d'une soupape de dépression, de transmetteurs de pression, de transmetteurs de température et de transmetteurs de niveau pour la protection du condenseur et de la turbine.

#### 8.6 Fonctionnement de Gland Stream Condenseur :

Le Gland Stream Condenseur a pour fonction de condenser la vapeur évacuée par les joints d'étanchéité de l'arbre et de récupérer le condensat. Le Gland Steam Condenseur est refroidi avec les condensats provenant des pompes d'extraction de condensat.

#### 8.7 Fonctionnement d'éjection d'air à jet de vapeur :

##### ➤ Éjecteur d'air à jet de vapeur (HOGGING)

La fonction de l'éjecteur est d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables dans le condenseur lors de la mise en marche.

### ➤ Éjecteur d'air à jet de vapeur (HOGGING)

La fonction de l'éjecteur d'air à jet de vapeur est d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables dans le condenseur en fonctionnement normal. La source de vapeur motrice pour l'éjecteur d'air à jet de vapeur doit provenir du collecteur auxiliaire.

### 8.8 Fonctionnement de la chaudière auxiliaire :

La fonction de la chaudière auxiliaire est de fournir les besoins en vapeur auxiliaire lors du démarrage et le fonctionnement à faible charge de l'installation. La chaudière auxiliaire doit

fournir de la vapeur pour l'étanchéité à la turbine du presse-étoupe ainsi que pour l'usine de dessalement.

### 8.9 Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW) :

La principale fonction des pompes de circulation d'eau est d'alimenter en eau froide le condenseur à eau de mer pour absorber la chaleur du cycle. Chaque ligne de refoulement des pompes de circulation d'eau est équipée d'une vanne papillon motorisée. Deux (2 x 50%) pompes de circulation d'eau sont prévues pour chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP).

### 8.10 Fonctionnement des pompes d'alimentation pour installation de dessalement :

La fonction principale des pompes d'alimentation est de fournir de l'eau pour l'usine de dessalement.

### 8.11 Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisée :

La fonction principale des pompes à eau de refroidissement déminéralisée (DMCW) est de faire circuler l'eau de refroidissement pour des équipements et composants de la turbine à gaz, de la turbine à vapeur, du cycle eau / vapeur et du générateur.

### 8.12 Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaques) :

La fonction de l'échangeur de chaleur à plaques pour l'eau de refroidissement en circuit fermé est de transférer la chaleur absorbée par le circuit d'eau de refroidissement fermé au système de refroidissement auxiliaire à l'eau de mer.

### 8.13 Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout :

La fonction du réservoir de stockage de mazout est de stocker du mazout pour (Turbine à gaz / GT). Le mazout est utilisé comme carburant alternatif pour les turbines à gaz.

### 8.14 La fonction du réservoir de stockage d'eau déminérée :

Le Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau déminéralisée est de stocker l'eau déminéralisée pour eau d'appoint du cycle de puissance, eau d'appoint du cycle de puissance, eau d'appoint de la chaudière auxiliaire, eau d'appoint pour la génération d'hydrogène et le lavage du compresseur GT.

### 8.15 Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée :

La principale fonction du réservoir de stockage d'eau dessalée est de stocker l'eau dessalée pour l'approvisionnement en eau de l'usine d'eau DM, du système d'eau de service et du système d'eau d'incendie Dans la nouvelle centrale de RAS DJINET est utilisée selon le système de refroidissement par film. Et cette technique est représentée sur la figure I.11.

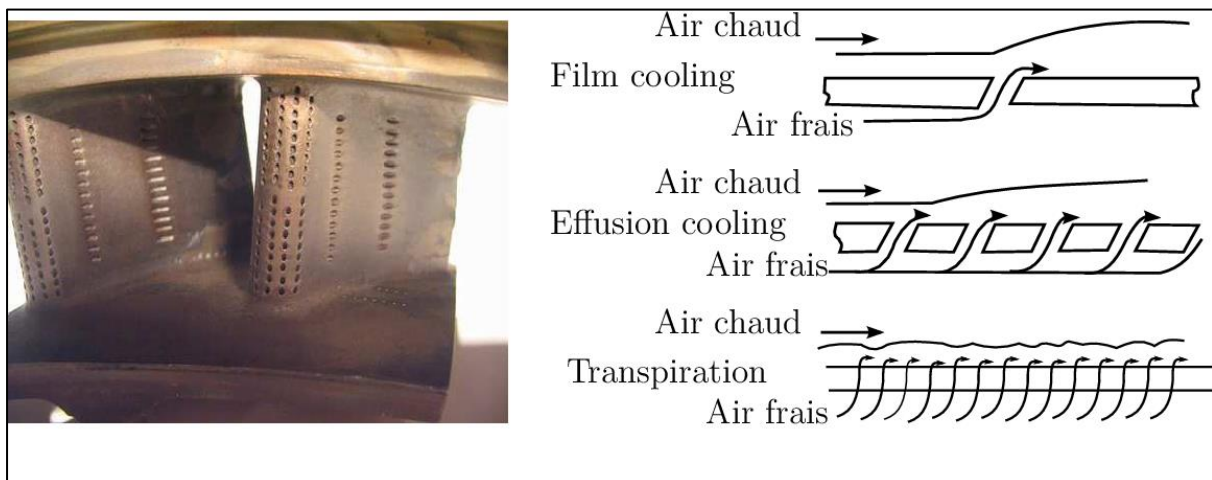


Figure I 11: Refroidissement par film

## 9 Salle de commande :

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis la salle de commande.

La salle de commande comprend pour chaque tranche :

- ✓ Deux (02) pupitres de conduites.



- ✓ Deux (02) tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
- ✓ Un (01) tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques



Figure I 12: Salle de commande de la centrale à cycle combiné

## 10 Principe de production électrique au niveau de la centrale à cycle combiné :

Une centrale à cycle combiné à gaz naturel est composée d'une turbine à combustion (TAC) et d'une turbine à vapeur (TAV). Dans un premier temps, le gaz naturel fait fonctionner la TAC. Ensuite, les gaz chauds d'échappement de la TAC sont utilisés pour produire de la vapeur, dirigée vers une deuxième turbine, la TAV. TAC et TAV entraînent alors un ou deux alternateurs.

La même quantité de combustible sert ainsi à une double production d'électricité : celle de la TAC et celle de la TAV, améliorant d'autant le rendement de la centrale.

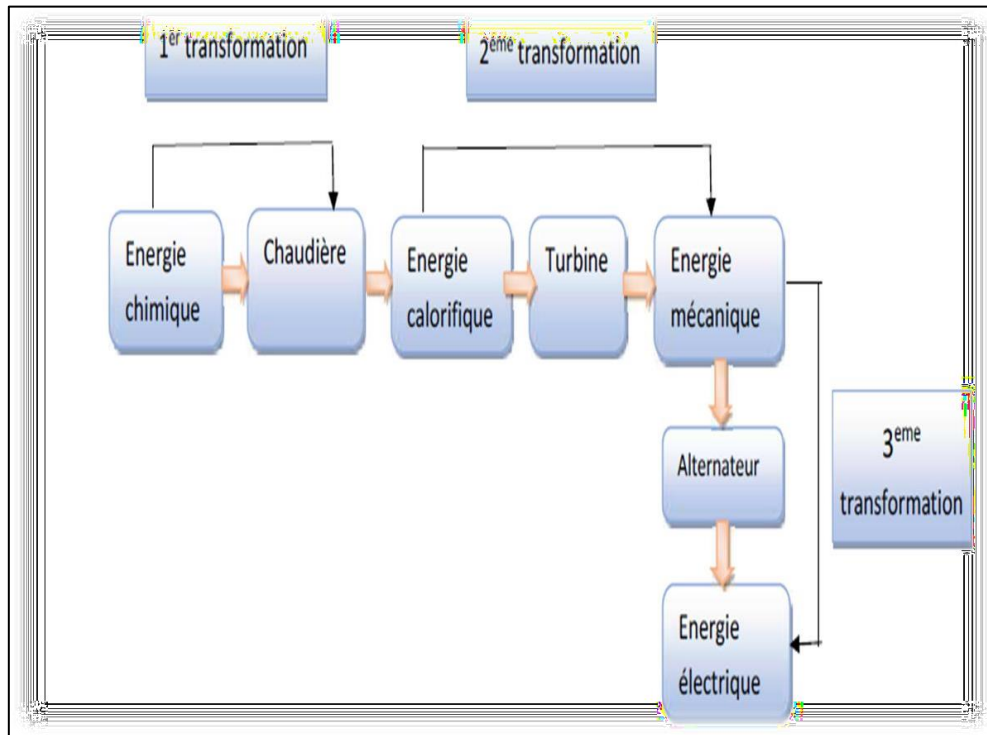


Figure I 13: principe de fonctionnement d'un cycle combiné

## 11 Conclusion :

Une présentation complète de la centrale à cycle combiné de Ras Djinet et de ses nombreux équipements, ainsi qu'une explication de son principe de fonctionnement, permettent une compréhension approfondie des phénomènes qui se produisent lors de la production d'électricité. Pour répondre aux besoins des consommateurs, la production d'énergie électrique doit être continue, ce qui nécessite la protection des personnes, la préservation de leur environnement et l'optimisation de la durée de vie des équipements de l'usine.



# **Chapitre II**

**Généralités sur les stations des  
dessalements**



## **1 Introduction**

L'eau de mer contient une salinité plus élevée, qui rend quasiment impossible son utilisation, les techniques de dessalement permettent de réduire sa salinité à des taux plus bas. C'est ce qu'on appelle communément le processus du dessalement d'eau de mer. Le processus de dessalement ce fait grâce à des techniques particulières, ces techniques se distinguent en deux familles : la distillation thermique, et les techniques à membranes. La présentation de ces techniques fera l'objet de ce chapitre.

## **2 Définition du processus de dessalement :**

Le dessalement de l'eau, appelé aussi dessalage est une technique de déminéralisation permettant de traiter l'eau salée afin de la rendre douce pour un usage domestique ou industriel. Ce procédé consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer les ions en solution responsables de sa minéralisation excessive, dont l'élimination porte suivant les procédés, sur divers éléments constituant la solution saline. (1)

## **3 Etapes de dessalement : (2)**

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent quatre étapes.

### **3.1 L'alimentation en eau de mer :**

Peut s'effectuer, soit par prise directe, soit par puits côtiers Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements.

### **3.2 Le prétraitement :**

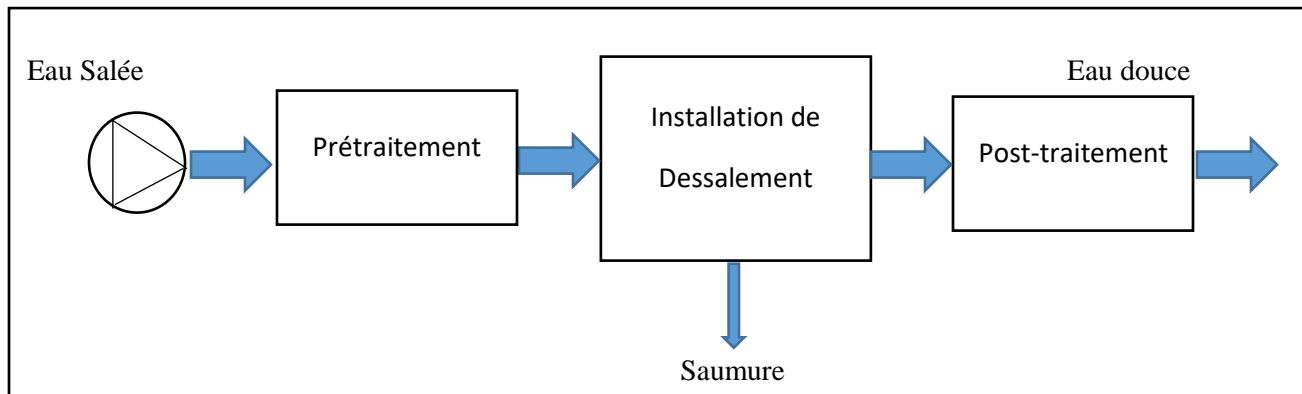
Les prétraitements ont pour rôle d'améliorer la qualité de l'eau d'alimentation avec une filtration plus fine.

### **3.3 Installation de dessalement :**

A pour rôle la séparation du per méat et du concentrât.

### 3.4 Le post-traitement :

En sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée. Le post traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite rend l'eau douce conforme aux normes selon les usages. A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.



**Figure II 1:** Schéma général d'une installation de dessalement (3)

## 4 Les principales technologies de dessalement des eaux : (2)

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le Principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse. La classification des procédés de dessalement est donnée par le récapitulatif suivant :

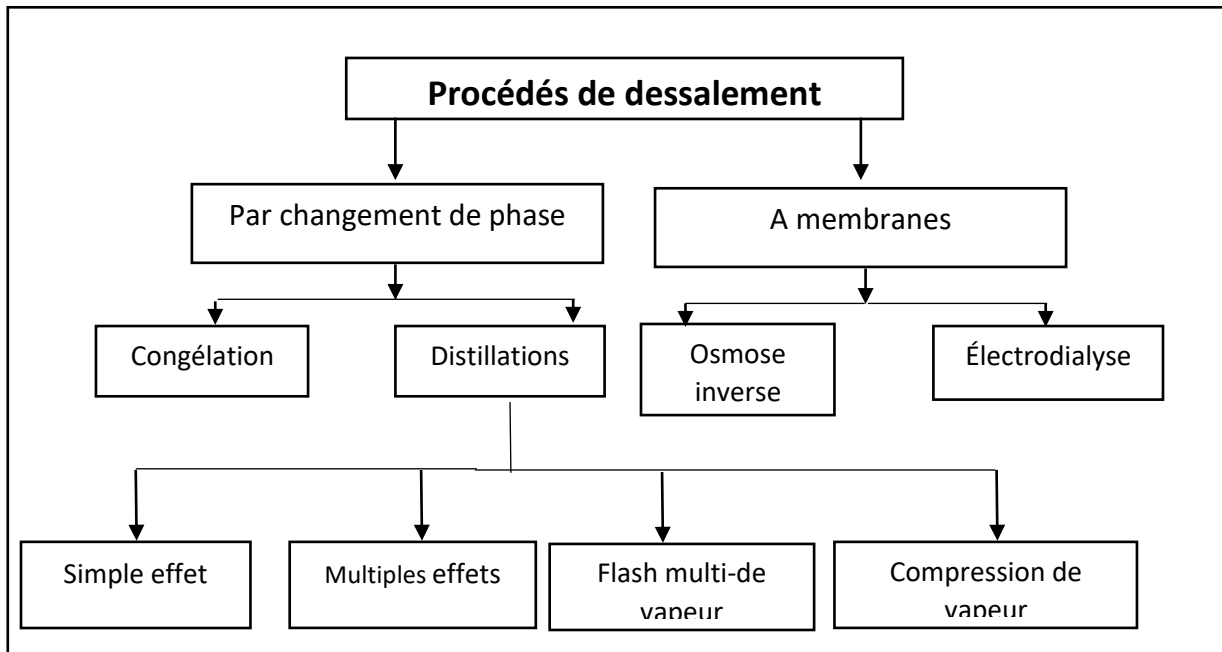


Figure II 2: Procédés de dessalement classés selon leurs principes (3)

## 5 Description des différents procédés de dessalement : (4)

Très rapidement, il est apparu que, pour limiter les phénomènes de corrosion et d'encrassement, et diminuer les inconvénients dus à la présence d'air, il faut opérer sous pression réduite, ce qui abaisse la température de distillation. En effet, la vitesse de corrosion augmente avec la température. L'eau de mer contient, en plus du chlorure de sodium, des sulfates et des carbonates de calcium et de magnésium qui sont des sels à solubilité inverse : une température élevée favorise leur précipitation sous forme de tartre. Si un nettoyage chimique permet d'éliminer le tartre formé par les carbonates, les sulfates sont quasiment insolubles. On doit donc choisir des températures de fonctionnement qui évitent leur formation. Sans traitement chimique préventif, la température maximum de l'eau de mer est généralement limitée à une soixantaine de degrés. La pression correspondante est environ 200 hectopascals (1 hPa = 1 millibar, mbar), soit un peu moins d'un cinquième de la pression atmosphérique. On parle de distillation sous pression réduite.

Par ailleurs différents procédés de distillation ont été développés dans le but de réduire l'énergie thermique consommée. La performance thermique des procédés de distillation est caractérisée par le Gain Output Ratio (GOR) qui est un nombre sans unité, généralement le rapport entre le débit d'eau produite, exprimé en tonnes par heure, et le débit de vapeur consommée, également en tonnes par heure.

### 5.1 Les procédés à membranes :

Qu'est-ce qu'une membrane ?

La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée. Dans le cas de l'osmose inverse, l'élimination des éléments physico chimiques et biologiques indésirables est quasiment totale

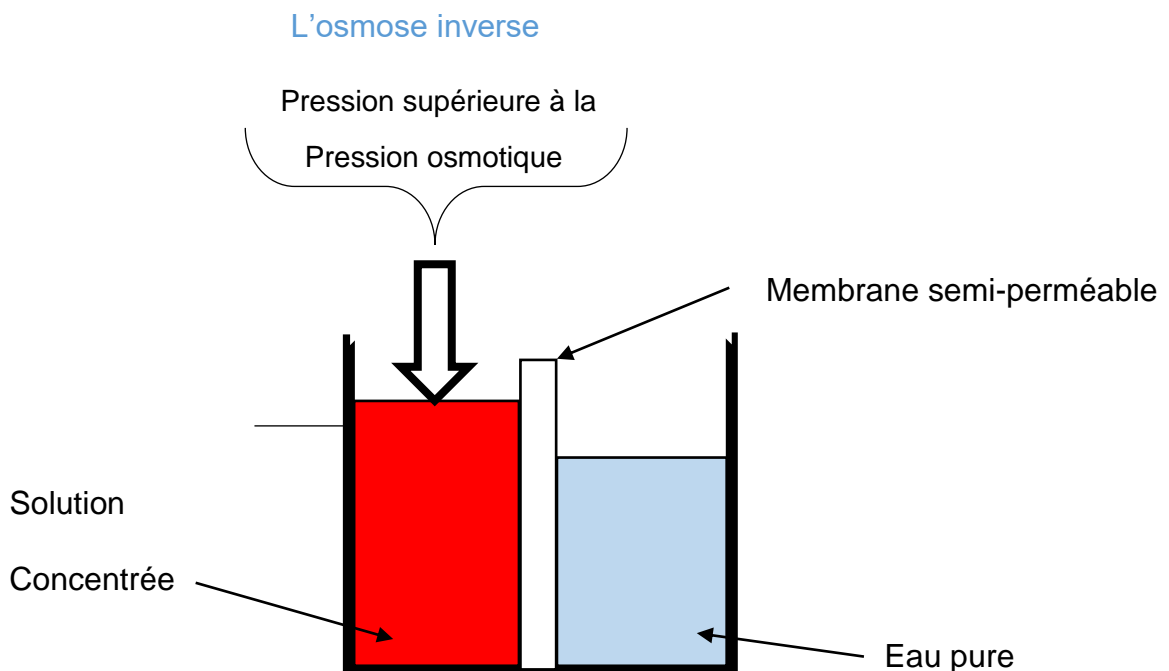


Figure II 3: Fonction de la membrane osmose inverse (4)

### 5.1.1 Osmose inverse :

L'osmose est un phénomène naturel. Si l'on considère deux solutions de concentrations salines différentes séparées par une membrane. L'eau migre spontanément de la solution diluée à la solution la plus concentrée. Si l'on applique une pression supérieure à la pression osmotique le solvant va migrer de la solution concentrée à la solution diluée c'est l'osmose inverse. La pression osmotique correspond à la pression qui doit être exercée sur la solution concentrée pour interrompre l'écoulement de solvant à travers la membrane. La figure suivante illustre les phénomènes d'osmose et de l'osmose inverse.

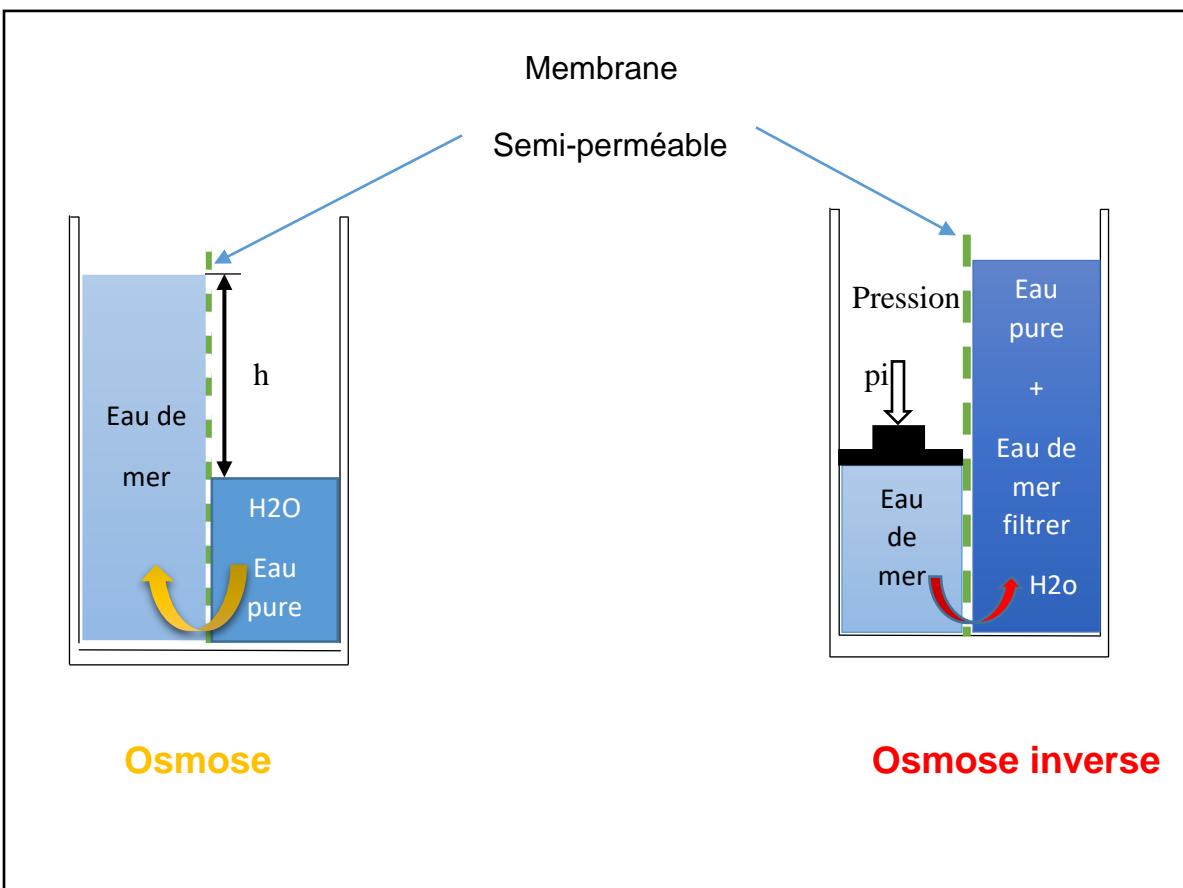


Figure II 4: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (5)

$$\pi = Mg = \text{pression osmotique}$$



### 5.1.2 L'Electrodialyse :

#### 5.1.2.1 Description du procédé :

L'extraction des ions se fait par migration de ces derniers à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques), sous l'action d'un champ électrique. Ainsi seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau. Les particules qui ne portent pas de charge électrique ne sont pas éliminées.

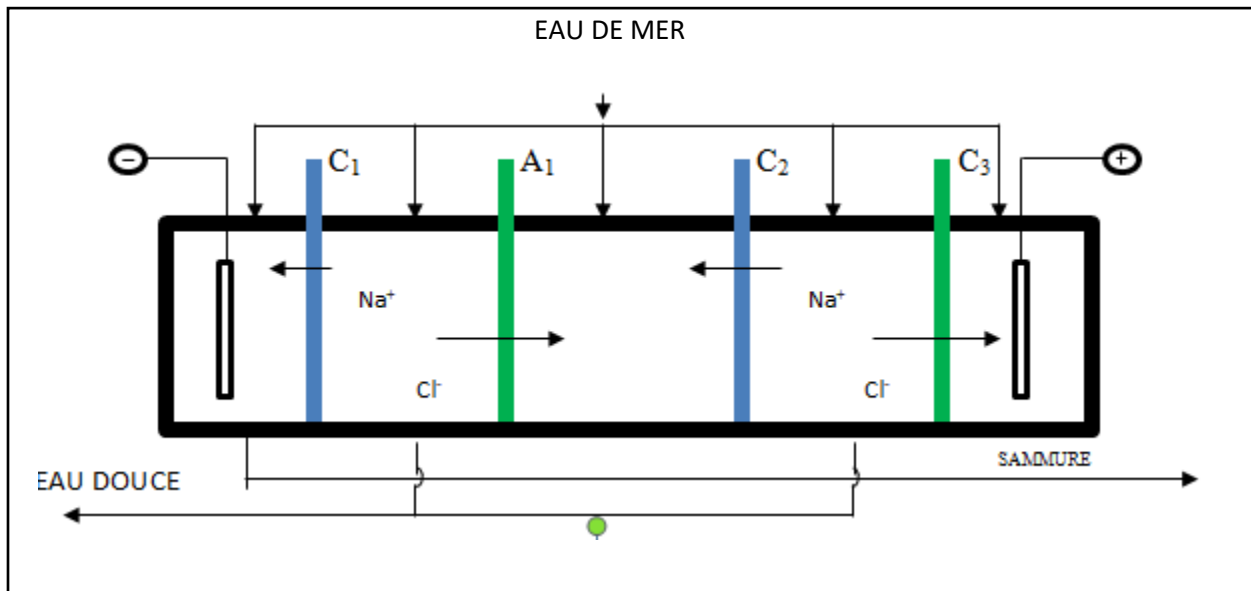


Figure II 5: Principe d'électrodialyse (4)

#### 5.1.2.2 Principe de fonctionnement :

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes, les ions  $\text{Na}^+$  sont attirés vers l'électrode négative et les ions  $\text{Cl}^-$  vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes ; les ions  $\text{Na}^+$  peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions  $\text{Cl}^-$  les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments.

Voire figure.

Les procédés à membranes permettent de diminuer par 3 ou 4, les consommations énergétiques par rapport au dessalement thermique.

## **5.2 Les procédés thermiques à changement de phases :**

### **5.2.1 Congélation :**

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure.

Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

- Le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide),
- La formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage),
- Le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite),
- La fusion des cristaux de glace.

### **5.2.2 La distillation :**

Le procédé par distillation reproduit le cycle naturel de l'eau puisqu'il consiste à chauffer de l'eau salée, et c'est la production de vapeur d'eau qui est à son tour condensée pour former de l'eau douce Dans l'usine, l'eau est chauffée jusqu'à ébullition pour produire la quantité maximale de vapeur. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet, pour transformer 1 kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut

environ 2250 kilo Joules (si le changement d'état se fait à 100°C). Il existe Plusieurs techniques de distillation :

### 5.2.2.1 Distillation à simple effet :

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- ✓ Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- ✓ La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
- ✓ Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

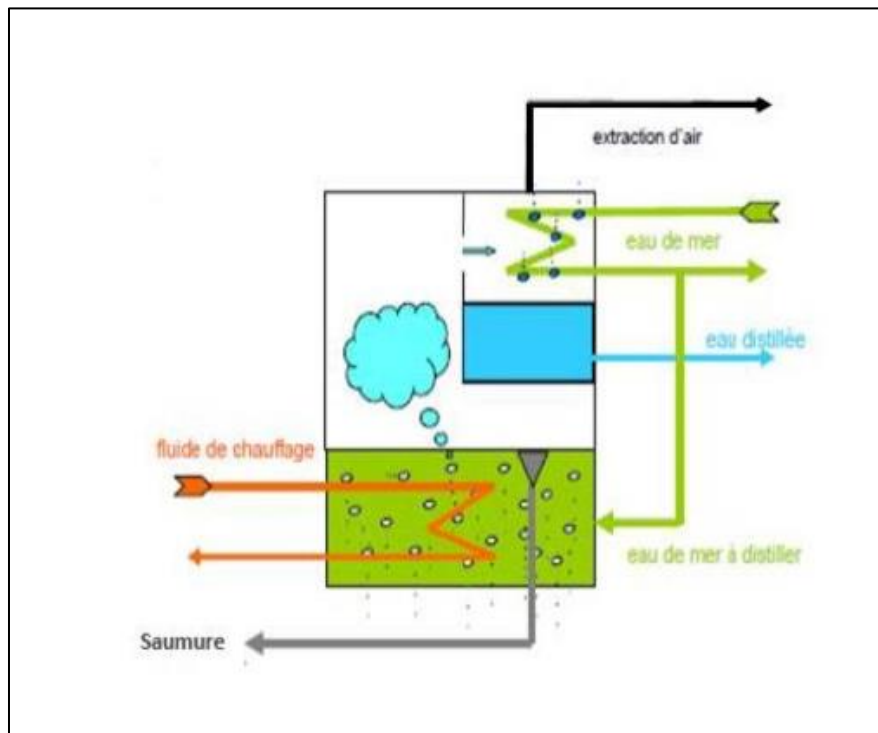


Figure II 6: Distillation à simple effet (6)

### 5.2.2.2 La distillation à effet multiple (MED) :

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variante entre 70 et 80°C.

L'évaporation de l'eau à lieu sur une surface d'échange, La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur.

La vapeur produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation. Le dernier serpentin est refroidi par l'eau de mer. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce.

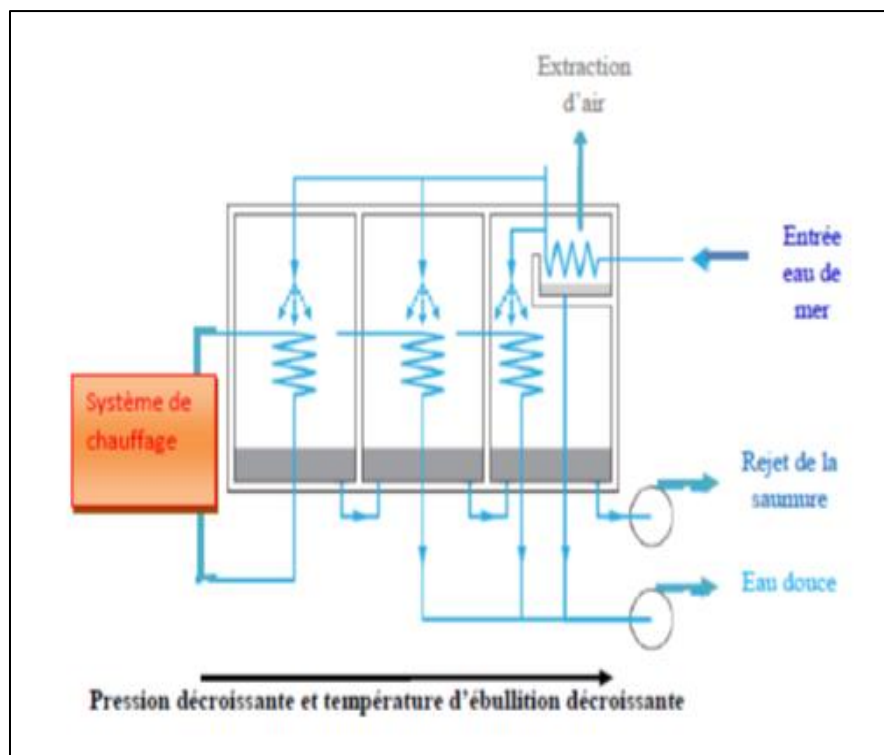


Figure II 7: Principe de la distillation à multiple effet (6)

### 5.2.2.3 La distillation a détentés étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) :

Dans le procédé de distillation à détentés étagées (multi stage flash), la vaporisation de l'eau de mer est obtenue par une succession de réduction de pression dans chaque étage. L'eau salée est tout d'abord chauffée puis introduite dans une

première chambre à basse pression, de sorte qu'une partie est instantanément vaporisée.

La vaporisation d'une partie de l'eau produit une diminution de température de la solution restante. Cette solution est introduite dans la chambre suivante à pression plus réduite et le processus est ainsi répété dans plusieurs étages (50 étages peuvent être installés dans une usine). La vapeur produite est refroidie par échange de chaleur avec l'eau de mer d'alimentation et condensée sous forme d'eau dessalée.

Les unités de dessalement par distillation à détente successives opèrent à des températures entre 120°C et 90°C ce qui tend à augmenter la productivité mais aussi le problème d'entartrage. Pour éviter l'entartrage, l'eau de mer est traitée par l'ajout d'inhibiteur d'entartrage.

La saumure est recyclée dans ce procédé pour réduire le débit de prétraitement de l'eau d'alimentation et par conséquent son coût. On remarque lors du phénomène de flash que des gouttelettes d'eau salée peuvent être entraînées avec la vapeur, elles sont séparées grâce à un dévésiculateur constitué par une sorte de grillage qui limite le passage des gouttelettes qui retombent au fond de l'enceinte.

Cette technique permet d'atteindre de très grandes capacités (supérieures à 25000m<sup>3</sup>/jour), mais la consommation énergétique est supérieure à celle de la distillation à multiple effet.

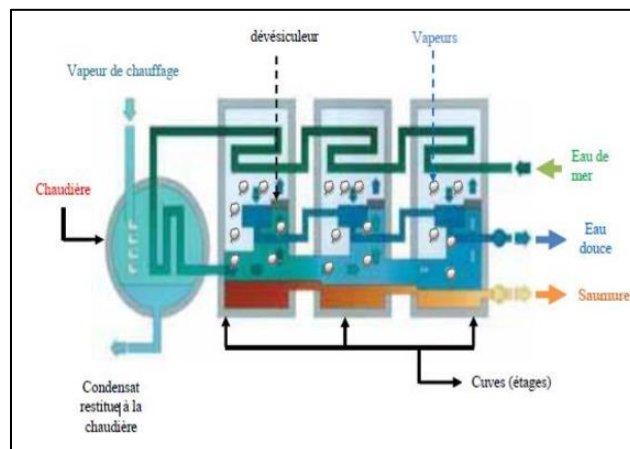


Figure II 8: Principe de la distillation à détente étagée

#### 5.2.2.4 Distillation par compression de vapeur (MVC) : (6)

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée Thermiquement. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense provoquant l'ébullition de l'eau salée.

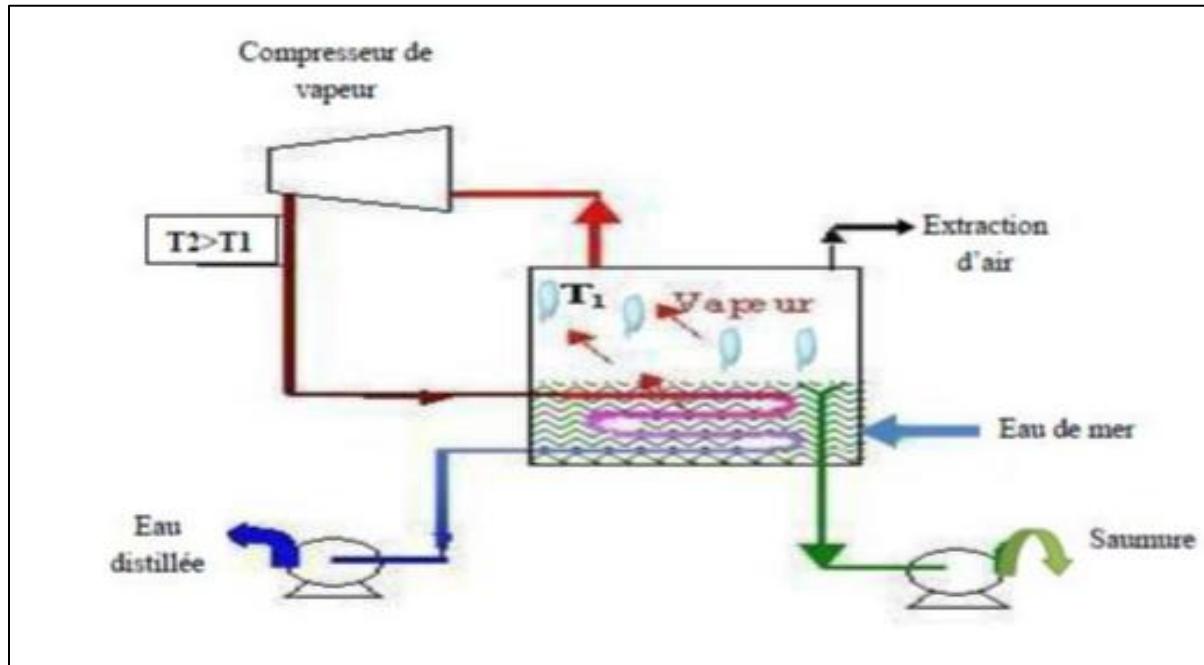


Figure II 9: Principe de distillation à compression de vapeur (4)

## 6 Choix du procédé de dessalement : (7)

Le dessalement est un processus très consommateur d'énergie. Pour le MED et les usines MSF, l'énergie principale est sous forme de chaleur, mais un peu d'énergie électrique est exigée pour les pompes et les auxiliaires. L'osmose inverse utilise seulement de l'énergie électrique, plus « noble ». Chaque procédé a une particularité technique qui la fera préférer dans un cas plutôt que dans l'autre. Ainsi, les techniques thermiques sont adaptées aux fortes salinités et aux hautes températures alors que les techniques à membranes sont meilleur marché dans des conditions de salinité moyenne et de température peu élevée (autour de  $25^{\circ}\text{C}$ ). D'autre part, le coût de l'énergie est très différent d'un pays à l'autre, donc le choix du procédé dépend de :

- L'utilisation de l'eau (usage domestique ou bien industrielle).
- L'eau obtenue par distillation est très pure (5 à 30mg/l). Pour la consommation domestique, cette salinité est très faible et il est nécessaire de l'augmenter aux environs de 300mg/l par rapport à des sels minéraux, donc ce procédé convient pour les usages industriels. La salinité de l'eau produite par électrodialyse est inférieure à 300-400mg/l, Pour l'osmose inverse, la salinité de l'eau produite varie entre 100et 500mg/l, Donc ces deux procédés conviennent principalement pour les usages domestiques.
  - ✓ Des caractéristiques de l'eau a dessalée.
  - ✓ Cout de dessalement.

## 7 Principaux avantages et inconvénients de dessalement :

Le dessalement de l'eau présente des avantages mais quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients. **(8)**

### 7.1 Avantage :

- Obtention de l'eau douce (potable) à partir d'une eau saumâtre ou eau de mer ;
- Alimenter les villes et villages situés près d'une côte ;
- L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée ;
- La sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues.

### 7.2 Inconvénients :

- Le dessalement de l'eau de mer reste un moyen cher parmi toutes les méthodes de fabrication d'eau potable.
- Grande consommation d'énergie.
- Les installations de dessalement dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique.

- Elles détruisent les zones côtières.
- Le rejet de la saumure très concentrée en sel résultant du dessalement dans la mer détruit les écosystèmes marins (certaines espèces ou végétations sont très sensible à la salinité).
- Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux de nettoyage contaminent le milieu.

## **8 Conclusion :**

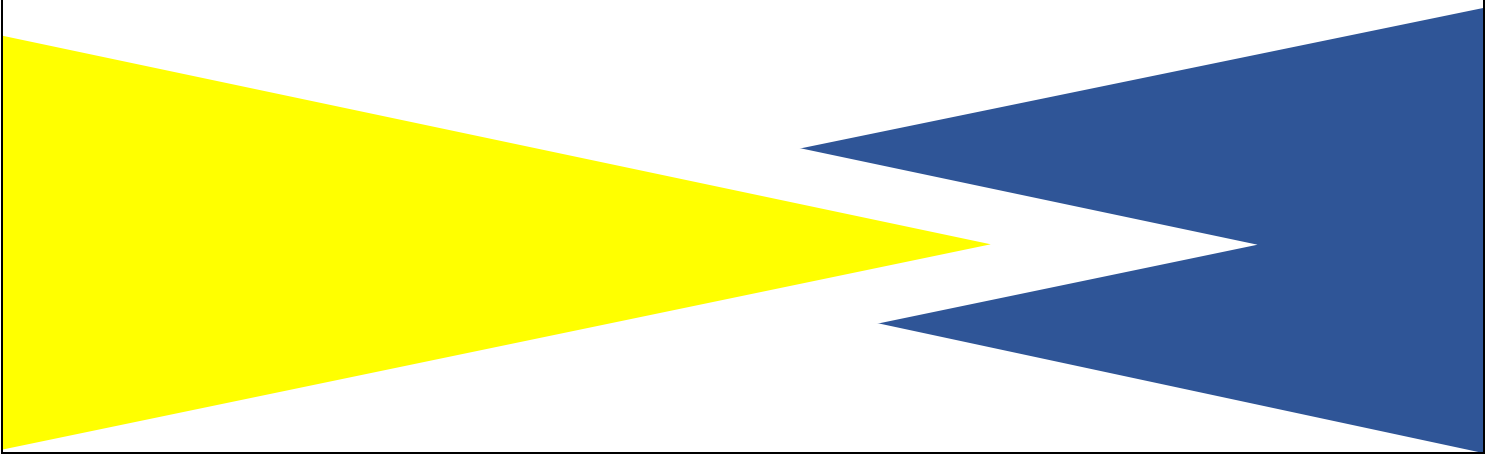
Dans ce chapitre nous avons pu illustrer les différentes techniques et procédures du dessalement d'eau de mer, leurs avantages et inconvénients, cette analyse bibliographique théorique est indispensable pour le chapitre suivant.





# **Chapitre III :**

**Etude et fonctionnement de  
dessalement de la nouvelle centrale à  
cycle combiné**



## 1 Introduction : (9)

Deux machines de dessalement sont proposées pour le projet de cycle combiné RAS DJINET et peuvent fonctionner en un seul mode.

- Les appareils sont regroupés dans la configuration « type multi-effets à compression thermique de vapeur (MED-TVC) » ; chaque unité d'évaporation comporte trois effets ou cellules agencées dans un réservoir.
- Les unités de dessalement RAS DJINET sont destinées à un rendement net en distillat de 1100m<sup>3</sup>/jour, hors retour vapeur condensat, avec des températures d'eau de mer allant de 16°C à 24°C. Chaque unité peut fonctionner à une température d'eau de mer maximale de 28°C, mais a une capacité de distillat inférieure (880 m<sup>3</sup>/jour).
- A une capacité théorique de 1100 m<sup>3</sup>/jour et une eau de mer à 24°C, le gain rendement est égal à 6 kg de distillat par jour.

## 2 Propriétés de l'eau de mer et Sources d'eau :

### 2.1 Composition et caractéristiques de l'eau de mer :

L'eau a la formule chimique H<sub>2</sub>O car elle est composée d'hydrogène et d'oxygène. Outre l'eau libre à la surface de la Terre et la glace des glaciers, l'eau est un composant important de l'atmosphère et des êtres vivants, représentant 50 à 90 % de leur poids. **(10)**

Une molécule d'eau est composée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogène (H) par deux liaisons covalentes solitaires faisant un angle de 104,5°. En raison de la forte électronégativité de l'atome d'oxygène, la molécule possède un moment dipolaire élevé. Cette polarisation est responsable de nombreuses caractéristiques extraordinaires de l'eau, y compris la production de liaisons hydrogène. La représentation compacte de la molécule d'eau donne une vue de la forme réelle de la molécule et de la taille des atomes qui la composent.

L'eau pure est un liquide insipide et inodore. Il a une teinte bleutée qui n'est visible que lorsqu'il crée une couche épaisse

L'une des qualités les plus importantes de l'eau à l'état liquide est son fort pouvoir solvant des éléments et des gaz minéraux, organiques et inorganiques.

## 2.2 Les variations de température de l'eau :

L'eau change d'état à une température qui dépend de la pression. L'eau se solidifie à 0 °C et devient vapeur à 100 °C. Cependant, la pression peut modifier ce rapport. Ainsi en haut de l'Everest, l'eau bout à 72 °C, la température d'ébullition décroissant avec la pression. C'est également ce qui permet aux patineurs de glisser sur la glace. En réalité, ils glissent sur une fine pellicule d'eau formée sous la pression du patin. Cette fine pellicule se solidifie immédiatement après le passage du patin.

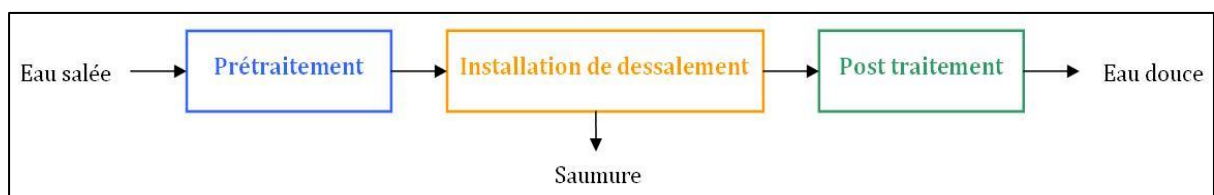
L'eau peut rester liquide à des températures inférieures à celles auxquelles elle gèle habituellement, jusqu'à - 40 °C : c'est ce que l'on appelle le phénomène de « surfusion ». C'est dû au fait qu'il faut souvent un petit corps solide ou une bactérie pour commencer ce processus de solidification. C'est ce procédé qui est appliqué pour la fabrication de la neige artificielle dans les stations de sports d'hiver.

## 2.3 Installation de dessalement :

La fonction principale d'une usine de dessalement est de réduire le pourcentage de sel dans l'eau. Le taux de conversion est défini comme le rapport entre l'eau douce produite et l'eau salée pompée. **(11)**

Le processus de dessalement de l'eau de mer est divisé en quatre phases (voir Figure I.1) : **(12)**

- ✓ La captation de l'eau de mer.
- ✓ Le prétraitement.
- ✓ Les différents procédés de dessalement.
- ✓ La déminéralisation.



**Figure III 1:** Schéma général d'une installation de dessalement **(13)**

## 2.4 Captation de l'eau de mer : (14)

Pompage de l'eau de mer vers l'installation de dessalement ; cette eau doit être exempte de solides en suspension. Cette étape utilise deux types de technologie.

- **Les forages côtiers** : soit verticaux, soit en forme de galeries horizontales pour obtenir une eau de qualité et réguliers.
- **La prise d'eau de surface** : peut être réalisé en pleine mer. Dans un monde idéal, la capture aurait lieu dans une zone profonde éloignée des côtes, à l'abri des polluants et des courants puissants.

## 2.5 Le prétraitement : (15)

Une manière très économique d'empêcher le colmatage biologique est la chloration d'eau de mer. Malheureusement, le chlore oxyde le matériau de la membrane et c'est pour cela que seulement 0.02 mg/L peut être toléré.

Un procédé standard de déchloration est l'injection de bisulfite de soude ou métabisulfite, qui agit comme un désactivant pour le chlore. Une autre solution est l'utilisation de charbon actif en granulés.

MO, particules et colloïdes peuvent être enlevés par un traitement conventionnel, à savoir une coagulation suivie d'une filtration sur média pour une eau peu trouble. Des étapes additionnelles comme la floculation et la décantation sont ajoutées dans le cas d'eaux très troubles provenant d'eaux peu profondes.

Le traitement non conventionnel pour les MO, particules et colloïdes est l'ultrafiltration.

Un anticalcaire devrait être ajouté avant le passage dans les membranes pour disperser les carbonates de calcium et les précipités de sulfate afin d'éviter l'entartrage.

Une filtration fine (5-micron) est requise juste avant le passage au travers des membranes d'osmose inverse afin d'éviter que des débris ou des particules de sable viennent endommager les membranes.

## 2.6 Filtration de l'eau de mer : (14)

La filtration est le processus de passage de l'eau à travers un milieu poreux et perméable qui retient les particules solides (matières organiques et sels) plus grosses que les pores du milieu.

Cette technique permet de séparer les polluants de l'eau salée utilisée comme eau de circulation principale et de rincer les débris avant de les transporter dans les paniers de récupération. Chaque élément de l'installation est relié à un canal de filtration qui comprend une grille avec tamis, un circuit d'arrosage et des appareils de mesure du niveau d'eau à grille différentielle.

### ➤ Filtration primaire (dégrillage) :

Un agencement composé d'une grille fixe et d'un tamis à commande électronique effectue la première filtration de l'eau de mer. Cette grille est conçue pour garder à distance les gros contaminants dans l'eau (plus de 40 mm).

Les éléments retenus par la grille sont élevés au niveau de l'élimination des ordures. A ce stade, le débit d'eau est de 12500m<sup>3</sup>/h.

### ➤ Filtration secondaire (tamisage) :

La filtration secondaire ultime est réalisée par des tambours filtrants, constitués d'une structure à rotation lente dans laquelle l'eau pénètre de chaque côté. Les panneaux filtrants sont installés sur la périphérie de la structure tournante et l'eau est évacuée vers l'extérieur depuis le centre du tambour à travers les mailles du filtre.

Les débris accrochés à l'intérieur des panneaux s'écoulent sur les paniers de collecte placés à l'intérieur du filtre lors de la rotation du filtre. Les panneaux cheminent au-dessus des congélateurs à eau situés à l'extérieur du filtre lorsqu'ils arrivent au-dessus des paniers.

### ➤ La chloration :

La prolifération des organismes vivants doit être stoppée dès que l'eau de mer est ingérée. Sinon, nous devons faire face à une multitude de problèmes, tels qu'un échange de chaleur réduit et une obstruction partielle ou totale des tuyaux.

La méthode la plus courante consiste à injecter du chlore réactif, qui doit être stocké et manipulé avec une extrême prudence. Pour éliminer les dangers liés au chlore, l'hypochlorite de sodium peut être utilisé à sa place (eau de Javel).

### **2.7 Déminéralisation : (9)**

L'eau dessalée provenant du système de dessalement passera au système de déminéralisation, pour produire de l'eau déminéralisée pour alimenter la chaudière. La déminéralisation se fait au moyen de 2 ensembles d'échangeurs à lits mixtes (MBE), un en service et l'autre en réserve. Les résines de l'échangeur sont régénérées en utilisant de l'acide chlorhydrique (taux de concentration 35%) et de l'hydroxyde de sodium (soude caustique) (taux de concentration 45%). L'eau déminéralisée sera stockée dans les réservoirs d'eau déminéralisée et transportée vers les points de consommation au moyen de deux (2) ensembles de pompes, chacune capable de supporter la charge à 100%. Il faudra disposer convenablement des moyens de contrôle régulier de la qualité de l'effluent et des débits sur l'unité de décharge du système de traitement correspondant. Les effluents sur pressurisés acides et bases venant de l'unité MBE seront directement transportés vers le système de traitement des eaux usées. Les effluents restants seront drainés dans un puisard et ensuite pompés dans le système de traitement des eaux usées.

### **3 Contrôles et opérations d'avant démarrage : (9)**

Le démarrage de l'installation MED nécessite une préparation minutieuse. Tous les circuits de l'installation doivent être soigneusement vérifiés. Chaque composant doit être contrôlé individuellement afin de déterminer son état/disponibilité pour le fonctionnement. Avant le démarrage, il faut s'assurer que l'installation est prête à tous égards et toutes les conditions de sécurité ont été respectées.

Il est très important qu'une inspection minutieuse est effectuée pour composants desserrés, cassés ou endommagés ou pour les connexions sur les parties fonctionnant sous vide, (effets de l'Évaporateur, côté corps du Rejet condenseur et préchauffage l'Eau de réintégration, Thermo compresseur, système de Vide et tuyauterie associée). En effet, les pertes ci-dessus donneront lieu à un fonctionnement défectueux de l'éjecteur, un mauvais vide et à une production de

distillat réduite. Les connexions défectueuses dans la tuyauterie d'aspiration des pompes résulteront dans un fonctionnement insatisfaisant.

Tous les niveaux d'huile de lubrification et les quantités de graisse des machines tournantes, des vannes de contrôle pneumatique activées et d'autres équipements nécessitant une lubrification doivent être inspectés. Les plans de graissage pour chaque composant sont résumés dans le et dans chaque Manuel de Maintenance et Fonctionnement du Constructeur.

L'eau de service, vapeur HP, eau de service, air pour les instruments, eau de mer de réintégration et tout l'équipement auxiliaire doit être alignés et prêts à fonctionner les unités de dessalement.

Un contrôle étroit de tous les systèmes doit être effectué.

S'assurer de la disponibilité des fluides de processus et chimiques nécessaires comme :

- ✓ Eau de mer
- ✓ Vapeur LP et HP
- ✓ Antitartre, Anti mousse et Déchloration

S'assurer que tous les systèmes en aval de la B.L. sont prêts et disponibles, comme :

- ✓ Lignes de vapeur.
- ✓ Lignes d'entrée et de sortie d'eau de mer.
- ✓ Lignes de décharge de la saumure.
- ✓ Lignes de condensat, inclus rejet à l'eau de mer de sortie.
- ✓ Lignes distillat, inclus rejet à l'eau de mer de sortie.

S'assurer de la disponibilité de l'énergie électrique et que tous les MCC et les sous-systèmes sont sous tension pour alimenter tous les moteurs électriques comme :

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| - Pompes Eau de mer | - Filtres Eau de mer  |
| - Pompe saumure     | - Pompes de distillat |

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| - Pompes de condensat   | - Pompes anti mousse    |
| -Pompes antitartre      | - Pompes déchlorination |
| - Mixeur anti mousse    | - Mixeur antitartre     |
| - Mixeur déchlorination | - Pompes de puisard     |

Sur le circuit de l'air pour les instruments, vérifier que :

- ✓ Les compresseurs d'air sont prêts à fournir l'air à tous les consommateurs
- ✓ La pression d'air à la station de distribution de l'installation est à sa valeur normale

Ensuite vérifier les suivants :

- ✓ Ouvrir la vanne d'isolement d'air au point de connexion de l'unité
- ✓ Ouvrir l'air d'instrument à tout l'équipement pneumatique locale, comme vannes de régulation et vannes pneumatiques actionnées on-off

Autres contrôles :

- ✓ Vérifier tous les drains pour une fermeture correcte
- ✓ Ouvrir les vannes de purge sur les lignes d'eau de mer
- ✓ Où possible, vérifier la circulation libre des machines tournantes, surtout si elles étaient hors service depuis longtemps
- ✓ Vérifier toutes les pompes de processus pour être prêts à démarrer ; niveau d'huile, graissage, instruments, raccords, etc.
- ✓ Ouvrir les vannes d'aspiration des pompes de processus
- ✓ Sélectionner la pompe qui doit être en service et la deuxième pompe en réserve
- ✓ Préparer les lignes de vapeur pour recevoir la vapeur, par exemple drainer et chauffer les lignes d'entrée et ouvrir les vannes purgeuses de vapeur, etc.



- ✓ Vérifier les vannes on-off de conductivité de distillat et de condensat pour la sélection correcte (vannes de rejet ouvertes, vannes de production normales fermées)

Pour rendre claire la procédure de démarrage, toutes les vannes sont prévues être initialement en position fermée (à noter que la plupart des vannes sur les lignes de processus sont fermées en fonctionnement normal, par exemple les vannes de drainage et de purge, etc.) Toutefois une exception importante est faite pour tous les instruments comme les indicateurs de niveau, transmetteurs de niveau, commutateurs de niveau, manomètres, pressostats, débitmètres, etc. Les vannes d'isolement de tous ces instruments sont prévues être régulièrement en position ouverte et restent ouvertes quand l'installation est arrêtée. De la même façon, tous les drains des instruments ou des lignes d'instrument sont prévus être en position fermée ; aussi les vannes by-pass installées sur les lignes d'impulsion de dispositifs de pression différentielle sont prévues être fermées. Ensuite, selon cette procédure de démarrage, tous les instruments sont prévus être prêts à fonctionner.

Pendant la préparation des circuits de tuyauterie, il est recommandé de vérifier que toutes les vannes de contrôle à distance sont prêtes à être actionnées. La procédure de contrôle comprend l'ouverture et la fermeture complète des vannes et le contrôle local de bon fonctionnement. Vérifier aussi la vanne de by-pass (si installée) pour la condition normale de fermeture.

#### **4 Théorie du processus de dessalement pour l'usine de dessalement de l'eau : (9)**

La centrale de dessalement de la centrale thermique de Cap Djinet à cycle combinée de 1131,4MW réalisée par DAEWOO ENGINEERING & Construction se compose de deux parties, la première partie c'est la chaudière auxiliaire et la deuxième c'est l'évaporateur.

##### **4.1 La chaudière auxiliaire :**

La capacité d'évaporation de la chaudière sera de 8 t/h à une pression de 20,5 bars et une température de vapeur surchauffée de 225°C. Les critères de conception de la chaudière auxiliaire étaient les suivants :

Tableau III 1: critères de conception pour les chaudières auxiliaires

SI No	Description	Unité	Description
1	No de chaudière	Nos	2 (2*100 %)
2	Carburant	/	Gaz
3	La pression de sortie de la chaudière	Bar(g)	20.5
4	Température de sortie de la chaudière	°C	225± 5 °C
5	Le débit de vapeur de la chaudière	tph	8
6	Température de l'eau d'alimentation	°C	105
7	Température de retour de condensat	°C	App 73.5
8	Flux de retour de condensat	tph	8
9	Eau d'appoint		eau déminéralisée
10	Capacité du réservoir journalière de gasoil	m <sup>3</sup>	6

#### 4.1.1 Les données de la chaudière :

Tableau III 2: résumé des données de la chaudière

Nombre de la chaudière	2 unités (2*100 %)
Evaporation (à S/H out let)	8000 kg/h
Condition de vapeur (à S/H out let)	Conception (25 bars) Fonctionnement (20.5 bars)
Température de l'eau d'alimentation	105 °C
Condition ambiantes	Température (conception) 40 °C
Système de drainage	Drainage forcée
Système de bruleur	Bruleur à gas & à gasoil

- **Condition de site :**

- La température ambiante moyenne : 40 °C
- Humidité relative moyenne 76 %
- Température de l'eau de mer : 16-28 °C

- **Condition d'utilité :**

- Refroidissement du réservoir de purge à l'eau

Température fournie : 30°C

- Refroidissement par eau pour un système de refroidissement en boucle fermée

Température fournie : Max 41 °C

- Instrument d'air

Qualité : air séché sans huile

Pression fournie : 5.5 – 8.5 bars

Température fournie : Max 45 °C

- Air service

Pression fournie : 5.5 – 8.5 bars

Température fournie : Max 45 °C

- **Emission :** à base de gaz naturelle

NOx: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub> base)

SOx: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub> base)

CO<sub>2</sub>: 50 mg/Nm<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub> base)

#### 4.1.2 Système d'eau et de vapeur :

Le système se compose des équipements suivants :

Chaudière auxiliaire (-Tambour à vapeur -Tambour de l'eau -Tube de l'eau-Surchauffeur)

- Economiseur
- Purge système avec réservoir de purge
- L'approvisionnement en gaz d'azote
- Désurchauffeur
- Silencieux

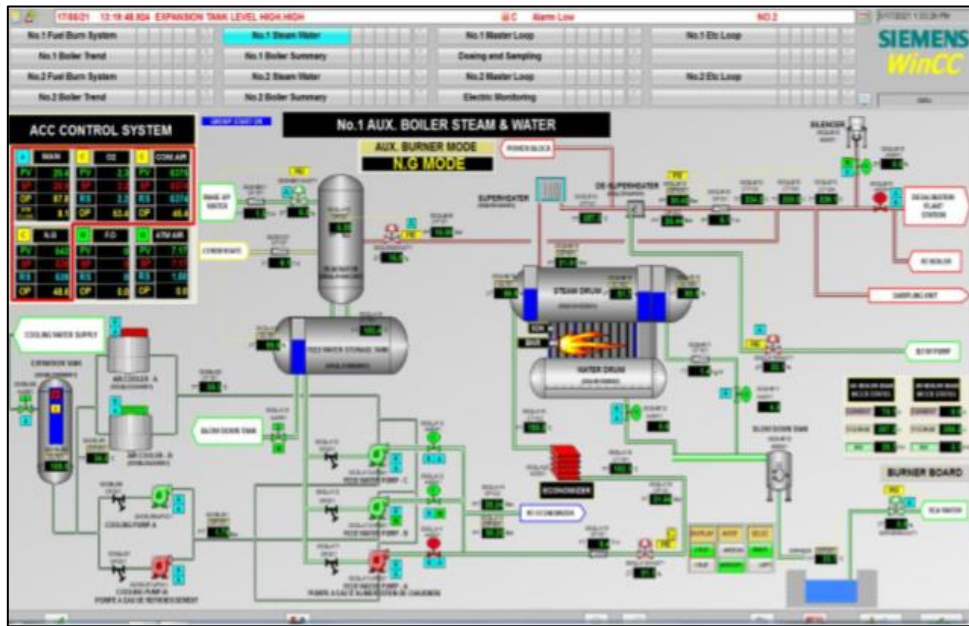


Figure III 2: système d'eau et de vapeur

#### 4.1.3 Principe de fonctionnement de la chaudière auxiliaire : (9)

Le système d'allumage de la chaudière auxiliaire fonctionne au gaz propane et les flammes sont allumées par une tige électrique sur le brûleur d'allumage. Après l'allumage du combustible principal, le brûleur pilote s'éteint.

L'eau déminéralisée du circuit d'eau alimentaire est préchauffée par l'économiseur avant d'être combinée à la vapeur au sein de la chaudière auxiliaire.

Le tambour à vapeur est alimenté en eau d'alimentation de la chaudière qui a traversé l'économiseur et la vapeur est générée par transfert de chaleur dans le tube d'eau. À ce stade, la vapeur est collectée dans le tambour à vapeur et l'eau d'alimentation de la chaudière est dirigée vers le tambour à eau par une conduite d'eau. Le séparateur de vapeur et d'eau est installé dans le tambour à vapeur pour garder la vapeur sèche.

En traversant la surchauffeur, la vapeur saturée produite par la chaudière est transformée en vapeur surchauffée.

➤ **La surchauffeur :**

L'échange de chaleur entre les gaz de combustion à haute température et la vapeur saturée convertit la phase en vapeur surchauffée.

➤ **L'économiseur :**

Est un échangeur de chaleur de type tubulaire installé à l'arrière d'une chaudière pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière en récupérant la chaleur perdue du gaz de sortie de la chaudière. Il est installé afin d'améliorer l'efficacité thermique du système de chaudière.

➤ **Les contrôles désurchauffeur :**

De la vapeur surchauffée était produite en pulvérisant de l'eau d'alimentation de la chaudière fournie par une ligne ramifiée à partir de l'extrémité arrière de la pompe d'eau d'alimentation de la chaudière pour fournir une alimentation continue en vapeur dans les conditions du procédé.

➤ **Le réservoir de purge :**

Est un réservoir qui sert d'intermédiaire entre la vidange intermittente et le condensat à haute température, l'eau de vidange, etc. pour le drainage. Il fonctionne à la pression atmosphérique et une petite partie de la vapeur évaporée est libérée dans l'atmosphère via une conduite d'évent supérieure, tandis que l'eau chaude restante est refroidie à la température de l'eau salée.

➤ **Le silencieux :**

Est installé pour éviter le bruit lorsque la soupape de sécurité de la chaudière est ouverte et que de la vapeur s'échappe de la ligne de démarrage de l'évent.

➤ **Le conduit d'alimentation d'azote :**

Lors de l'entretien, il est relié à la chaudière et au brûleur pour une conservation à long terme.

Étant donné que l'oxygène dans l'eau d'alimentation est une cause majeure de corrosion, il doit être contrôlé à une quantité spécifiée. En chauffant l'eau d'alimentation jusqu'à la saturation en vapeur de chauffage, le déserteur élimine la teneur en oxygène. L'eau d'alimentation dégazée est stockée dans un réservoir.

La pompe d'injection de phosphate trisodique, qui est un dispositif de montée en pression pour alimenter le ballon vapeur, est utilisée pour le dosage chimique. L'unité d'injection d'ammoniac est utilisée pour réguler le pH de la chaudière. Pour éliminer l'oxygène dissous de l'eau d'alimentation de la chaudière, le dispositif d'injection de carbohydrazide est utilisé.

#### **4.2 Unité de dessalement à Cap Djinet :**

Chaque train de dessalement a été développé conformément aux données générales du projet, qui sont les suivantes :

➤ **Traitement d'alimentation de l'eau de mer :**

Filtration à l'entrée de l'unité commune avec un filtre de type autonettoyant jusqu'à 0,5 mm (500 microns). L'eau de mer entrante a un degré de filtration de 5 mm Dosage de la déchloration.

➤ **Traitement d'alimentation eau de réintégration :**

- ✓ Dosage antitartre
- ✓ Dosage anti mousse

➤ **Capacité de distillat de conception :**

1100 m<sup>3</sup>/jour, soit 45,50 t/h, à des températures d'entrée d'eau de mer allant de 16°C à 24°C.

➤ **Capacité opérationnelle min de distillat (50%) :**

550 m<sup>3</sup>/jour, soit 22,75 t/h, à des températures d'entrée d'eau de mer allant de 16°C à 28°C.

➤ **Capacité max du distillat avec eau de mer à 28 °C :**

880 m<sup>3</sup>/jour équivalent à 36.40 t/h.

➤ **Température de distillat :**

≤ 40 °C

➤ **Température de distillat :**

< 10 ppm

➤ **Totale des solides dissous (TDS) :**

≤ 0.03 ppm (approx)

➤ **Silice comme SiO<sub>2</sub> :**

≤ 20 μS/cm

#### **4.2.1 Explication d'évaporateur à effet simple : (9)**

Se référer à la figure No.1 jointe à la page suivante.

La cellule de l'évaporateur comprend deux échangeurs de chaleur - un de chauffage, et un de condensation. Le but de la section de chauffage est de transférer l'énergie de la source de chaleur à l'eau de mer à distiller. La source de chaleur normale est la vapeur condensée ; la vapeur après la libération de son énergie de chauffage à l'eau de mer bouillante, est renvoyée au cycle thermique comme débit du condensat. La chaleur est transférée à l'eau de mer sur l'extérieur du faisceau de tubes. La vapeur produite est condensée par l'échangeur de condensation (ou rejet) dans lequel circule l'eau de mer de refroidissement. Cette vapeur condensée représente l'eau produite par l'évaporateur, et est extraite par la pompe de distillat. L'eau de mer qui circule à travers le condenseur de distillat est réchauffée par la chaleur latente libérée par les vapeurs condensées, une partie de cette eau chaude est utilisée comme eau de réintégration pour alimenter la cellule. La partie restante d'eau est rejetée à la mer.

L'évaporateur est une machine thermodynamique pur, où le condenseur de distillat représente la "source froide" du processus et il est nécessaire éliminer la chaleur ajoutée par la vapeur à l'échangeur de chauffage qui représente la "source chaude". L'eau de mer de réintégration entre dans la cellule par le haut, et par une série de nébuliseurs est nébulisée à la partie supérieure du faisceau de chauffage situé horizontalement à l'intérieur de la cellule; l'eau de mer nébulisée formera un

"film descendant" sur l'extérieur du faisceau de tubes; ensuite en raison du principe de processus, seule une partie de cette eau évaporera formant les vapeurs de distillat, donc le reste de l'eau de mer concentrera le sel produit par le processus d'évaporation. Cette eau de mer concentrée appelée "saumure" est extraite par la pompe saumure. La concentration de saumure est définie comme le rapport entre le débit d'eau de mer de réintégration et le débit de la saumure.

#### 4.2.2 Principe de fonctionnement de l'évaporateur à multi-effet : (9)

L'évaporation multi-effets est obtenue en connectant plusieurs cellules ou effets en séquence. Chaque cellule est principalement constituée d'un faisceau de chauffage-condensation, avec un échangeur de condensation ou condenseur de distillat après la dernière cellule. La température des cellules diminue de manière significative avec la pression de la première cellule ou cellule "chaude" à la cellule finale ou "froide".

La vapeur chauffée du thermo-compresseur (TVC) donne de l'énergie à l'eau de mer qui se réintègre et en vaporise une partie dans la première cellule. Les vapeurs produites pénètrent dans le faisceau de tubes chauffants du second effet, où elles se condensent. La chaleur latente des vapeurs de distillat du premier effet est absorbée par l'eau de mer de réintégration descendant dans le second effet, et les vapeurs de distillat se condensent tandis qu'une partie de l'eau de mer de réintégration descendant dans le second effet se vaporise.

La vapeur issue du dernier effet est séparée en deux flux : le premier est recyclé vers la première cellule par le thermo-compresseur, et le second est condensé par l'eau salée froide entrante dans la section de rejet de chaleur (condenseur de distillat). Le condenseur de distillat met fin au processus en rejetant la chaleur sensible délivrée dans le système avec la vapeur et en la renvoyant à l'eau de refroidissement. Pour augmenter l'efficacité du processus, une partie de l'eau chauffée est utilisée comme eau de réintégration cellulaire.

Il est à noter que le distillat de sortie de l'évaporateur P est à peu près égal (pertes de chaleur exclues) :

$$P = 2 \times N \times S \text{ (la valeur de } 2 \times N \text{ est } 6)$$



Où  $S$  est le débit massique de vapeur d'eau introduit dans le premier effet ou échangeur de chaleur et  $N$  est le nombre de cellules dans l'évaporateur.

En général, le faisceau de tubes pour chaque effet est divisé en deux passes, la première passe comprend environ 90% des tubes formant le faisceau ; et les 10% restants sont installés lors de la deuxième passe. Le premier passage est situé dans la partie inférieure du faisceau et le second passage est disposé dans la partie supérieure.

La première passe reçoit de la vapeur de chauffage ou motrice (uniquement dans la première cellule) ou des vapeurs de distillat (dans les autres cellules). Au premier passage, la vapeur est condensée par l'eau froide de réintégration qui descend à l'extérieur du faisceau. Le condensat distillé est collecté dans une boîte à condensation.

Le deuxième passage est situé dans la partie supérieure de la cellule, où les vapeurs restantes vont se condenser par l'eau de réintégration plus froide qui descend ; le condensat distillé récupéré au deuxième passage circule à l'intérieur des tubes dans une boîte à condensat plus petite qui est installée à la fin du deuxième passage. Un tuyau relie cette petite boîte à la grande boîte.

L'eau salée de réintégration est prélevée à la sortie du condenseur de distillat et introduite dans le faisceau via des nébuliseurs situés dans chaque cellule au sommet du faisceau.

L'eau et la saumure produites sont transportées d'une cellule à l'autre via des tuyaux en forme de U. Une pompe extrait la saumure de la dernière cellule, tandis que le distillat est extrait de la moitié inférieure du condenseur de distillation.

Le thermo-compresseur fournit la vapeur de chauffage d'entrée à la première cellule, qui est un mélange de vapeur HP de chaudière et de vapeur de processus de recirculation de la cellule précédente. Il se condense dans le faisceau chauffant de la cellule ou de l'effet initial.

Les condensats produits par le premier effet sont collectés dans la boîte à condensation et répartis en deux flux : le premier, d'un débit égal au débit total de vapeur HP entrant dans l'unité, est renvoyé au générateur de vapeur par des pompes à condensats dédiées ; le second, à travers une boucle du tuyau de distillat,

circule vers le second effet, où il est partiellement refroidi par flash et mélangé avec l'eau produite par cet effet.

Le condensat ou l'eau distillée collectée dans le deuxième effet est acheminée vers la boîte de condensation du troisième effet via une boucle de tuyau, où elle est partiellement refroidie par éclair et combinée avec le produit de cet effet.

Le distillat circule vers la décharge du condenseur après le troisième effet.

Il se combine avec le condensat relatif. En conséquence, toute l'eau distillée produite dans l'évaporateur est collectée dans les déchets du condenseur et acheminée vers les réservoirs de distillat à l'aide de pompes à distillat spécifiques.

Lorsque la vapeur détendue se condense, elle crée presque une quantité équivalente de vapeur dans la première cellule, qui se condense dans la deuxième cellule, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle atteigne la dernière cellule, où le cycle est fermé par le condenseur final attaché.

Des blocs antibuée sont installés le long du faisceau de tubes sur chaque cellule pour améliorer la pureté de l'eau distillée.

Le maximum est fixé à 68 °C, ce qui reflète la TBT (température supérieure de l'eau glycolée) obtenue à la charge maximale de l'évaporateur (100 %) sur la base de la température de conception maximale de l'eau de mer de 24 °C (charge de température). été). La procédure d'évaporation est effectuée sous vide.

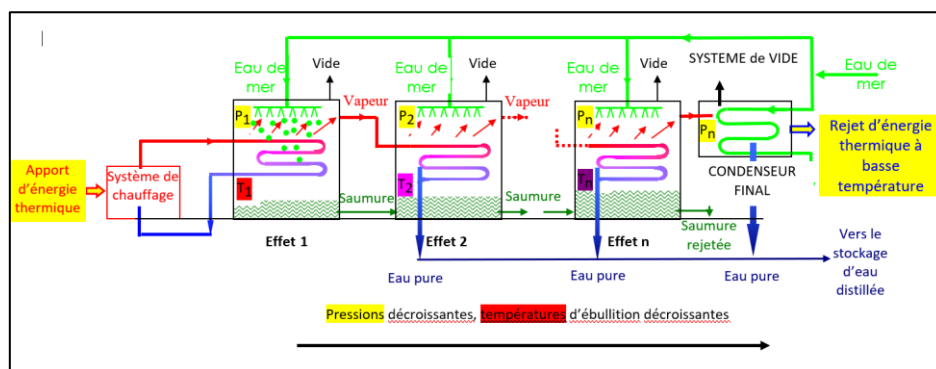


Figure III 3: schéma de distillation à effets multiples avec thermo-compresseur (16)

#### 4.2.3 Systèmes supplémentaires :

Un système de vide est nécessaire pour maintenir le vide en place. Le système de vide des unités RAS DJINET dispose de deux éjecteurs à jet de vapeur ;

le système de vide est responsable du maintien du vide et de l'extraction des gaz incondensables. La désaération de l'eau salée en réintégration et la décomposition des sels de calcium produisent ces gaz incondensables, à savoir O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>.

Pour commencer le processus de distillation rapidement, l'air stocké dans les cellules de l'évaporateur doit être éliminé avant d'ajouter la vapeur de chauffage ; un éjecteur de bordure à vapeur est ajouté pour accomplir cette tâche.

L'eau salée de réintégration est chauffée au sein du condenseur de distillat puis dans un préchauffeur avant d'être injectée dans les cellules. Le préchauffeur fonctionne comme un échangeur de chaleur, condensant une partie de la vapeur retirée de la cellule et transférant la chaleur produite à l'eau de mer recyclée qui circule à l'intérieur des tubes du préchauffeur. Chaque installation RAS DJINET dispose d'un préchauffeur, et la vapeur de chauffage est extraite du second effet. De plus, une paire de condenseurs de vapeur intégrés au système de vide chauffe l'eau de mer de réintégration qui alimente le premier effet.

Chaque unité d'évaporateur de l'installation RAS DJINET est équipée d'un refroidisseur à plaques de saumure et d'un refroidisseur à plaques de distillat. Le travail du refroidisseur de saumure consiste à refroidir la saumure avant de la renvoyer à la mer, et la chaleur extraite est utilisée pour préchauffer l'eau de mer avant qu'elle n'atteigne le condenseur de distillat. Ce refroidisseur est utilisé comme by-pass en hiver et comme refroidisseur en été.

Le travail du refroidisseur de distillat consiste à refroidir le distillat avant de le renvoyer dans le réservoir. Ce refroidisseur est toujours opérationnel.

#### **4.2.4 Évaporateur : (16)**

Les unités de dessalement construites dans l'installation RAS DJINET, comme expliqué précédemment, fonctionnent conformément au projet MED-TVC, dans lequel l'eau (eau de mer) bout progressivement à des températures décroissantes lorsqu'elle est soumise à des pressions progressivement plus faibles. La méthode est simplement une distillation sous vide (nombreux effets), avec de la vapeur recirculée du dernier effet au premier à travers un éjecteur de vapeur (compression thermique de vapeur).

Le processus principal se produit dans l'évaporateur, qui est le composant principal d'une usine de dessalement à effets multiples. L'évaporateur est du type tube à film tombant horizontal, à trois effets ou cellules organisés dans un corps d'évaporateur ; le refoulement du condenseur est situé en bout d'évaporateur. L'évaporation d'une certaine quantité d'eau de mer, qui est pulvérisée sur les faisceaux de tubes de l'évaporateur, produit une quantité progressive de distillat à l'intérieur de l'évaporateur. Une quantité fixe de vapeur de faible qualité est introduite dans le premier effet pour simuler la chaleur d'entrée (cellule 1).

La vapeur basse pression entre dans la première cellule et circule à l'intérieur des tubes du faisceau ; ici, la chaleur latente de vaporisation est restituée à l'eau de mer nébulisée descendant à l'extérieur des tubes ; de ce fait, la vapeur se condense à l'intérieur des tubes tandis que l'eau de mer se vaporise à l'extérieur. L'évaporation de l'eau de mer se produit alors brutalement du fait de la dépression formée à l'intérieur de l'évaporateur.

La proportion d'eau salée de réintégration sur distillat générée dans chaque cellule est en moyenne égale à 2,8 : c'est-à-dire qu'à partir de 2,8 tonnes d'eau de mer amenées en effet, une seule tonne de distillat est créée. Il s'agit d'un chiffre approprié pour minimiser l'énergie de pompage pour l'alimentation en eau de mer et le rejet de saumure. À toutes les charges et situations de fonctionnement, ce rapport doit être maintenu à ou au-dessus de 2,8. En raison de concentrations trop élevées de sels résiduels, des nombres inférieurs entraîneront la production rapide de dépôts de sel dangereux sur les tubes. Les faisceaux de tubes sont divisés en deux sections :

La vapeur est condensée par l'eau de réintégration qui a déjà été chauffée à la température de l'effet lors de la première passe, qui comprend environ 90 % des tubes. Une boîte de condensation récupère l'eau distillée condensée à l'intérieur de chaque tube à la fin du premier passage. Le deuxième canal, composé des tubes restants, est placé dans la partie supérieure du faisceau ; dans cette partie, la vapeur est condensée par l'eau de réintégration entrant dans l'effet, qui est à une température inférieure à l'effet.

Une boîte de condensation récupère l'eau distillée condensée à l'intérieur de chaque tube à la fin du second passage. De plus, dans chaque effet, les gaz

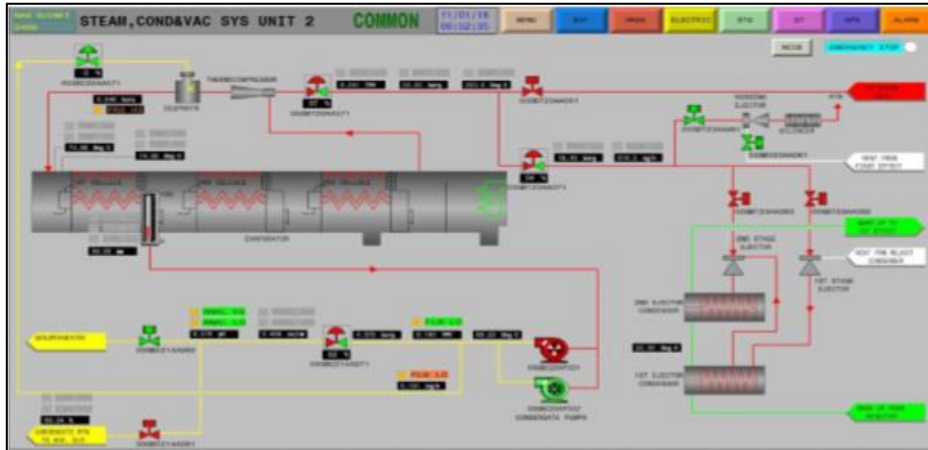
incondensables sont extraits par deux tubes en U parallèles reliant le côté tubes et le côté corps de l'évaporateur.

Une infime partie des vapeurs distillées produites par évaporation est condensée dans un préchauffeur, qui est un condenseur spécial du type corps et tube d'évaporateur. Le préchauffeur est fixé à l'espace de vapeur du second effet et permet de chauffer l'eau de réintégration pour le second effet. Le distillat produit par ce préchauffeur est envoyé dans la boîte à distillat du troisième effet. Par un trou de restriction, les gaz incondensables piégés dans la partie supérieure du préchauffeur sont dirigés vers la décharge du condenseur.

L'eau de mer de réintégration, qui fournit le premier effet, est chauffée dans deux condenseurs à vide, qui condensent la vapeur d'eau émise par les éjecteurs à vide. Pendant le processus de vaporisation, des gaz incondensables (principalement  $O_2$  et  $CO_2$ ) sont libérés ; ces gaz traversent les tubes puis pénètrent dans l'espace vapeur au-dessus du faisceau par des conduites de forme spéciale installées dans la partie supérieure du deuxième passage du faisceau (côté eau de mer).

Les gaz se déplaceront d'une cellule à l'autre jusqu'à ce qu'ils atteignent la décharge du condenseur. Tous les gaz incondensables sont collectés dans l'espace de vapeur de décharge du condenseur, où ils sont finalement récupérés par des éjecteurs à vide (éjecteur de première phase) et rejetés dans l'atmosphère par l'éjecteur de seconde phase.

En raison du différentiel de pression (vide) entre les effets premier et final, tous les fluides tels que la saumure, le distillat et les gaz incondensables sont transmis d'une cellule à l'autre.



**Figure III 4:** circuit d'eau de mer

Deux pompes centrifuges, une en fonctionnement et une en réserve, remontent l'eau de mer nécessaire à l'usine de dessalement. Les pompes sont logées dans une station de pompage d'eau de mer. Deux filtres autonettoyants de type maille 0,5 mm, un en fonctionnement et un en réserve, filtrent l'eau de mer qui alimente les évaporateurs. Le flux d'eau salée (220 t/h) est dirigé vers chaque unité, où il est séparé en deux flux : un pour le refroidisseur de distillat et un pour le rejet du condenseur. Pendant l'hiver, l'eau de mer froide entrante peut passer par le refroidisseur de saumure avant d'entrer dans la décharge du condenseur, où elle est réchauffée par la saumure chaude récupérée du dernier effet. Le débit d'eau de mer après avoir traversé la décharge du condenseur est contrôlée par une vanne de régulation de débit, qui a pour fonction d'évacuer l'excès d'eau chaude de la décharge du condenseur vers la mer. Cette fonction est pilotée en cascade par le régulateur de température qui détecte la température de vapeur de la cellule finale et, par conséquent, régule l'ouverture de la vanne. Plus la température de la vapeur est élevée, plus l'ouverture de la soupape de décharge d'eau de mer est importante

**(16)**

Le reliquat servira à créer le flux d'eau de mer de réintégration (129 t/h) qui alimentera les cellules de l'évaporateur. L'eau salée réintégrée est préchauffée dans les échangeurs de chaleur suivants avant d'entrer dans l'évaporateur :

- ✓ Préchauffeur pour la réintégration de l'eau aux premiers et deuxièmes effets.
- ✓ Les condenseurs sous vide sont utilisés pour réintégrer l'eau au premier effet.

Les lignes de nébulisation de chaque cellule sont munies d'orifices de restriction pour équilibrer le débit nébulisé individuel à des niveaux nominaux afin d'assurer le bon débit d'eau de réintégration (43 t/h chacun) pour chaque effet.

Une série de nébuliseurs sont positionnés à l'intérieur des cellules (16 nébuliseurs par cellule, sur deux lignes).

#### **4.2.5 Circuit de distillat : (16)**

La vapeur distillée formée dans le premier effet est transférée au second effet, où la source de chaleur est utilisée pour vaporiser l'eau de mer descendante ; à ce stade, le processus d'évaporation se produit; le processus est ensuite répété avec chaque effet jusqu'à ce que le troisième effet soit atteint ; ici, la vapeur formée est divisée en deux flux : le premier est recyclé vers la première cellule par le thermo-compresseur ; le deuxième flux est condensé dans le condenseur de rejet ou de distillat par l'évaporateur .

Dans chaque effet, des blocs antibuée sont montés pour éviter l'entraînement de sels, qui peuvent dégrader la qualité du distillat.

Les vapeurs de distillat qui se condensent à l'intérieur des premiers et deuxièmes passages des tubes de chaque effet sont recueillies dans des boîtes à l'extrémité de chaque faisceau. Le distillat est ensuite extrait par deux pompes centrifuges, une en service et une en réserve, lors de son passage dans les tubes en U de cellule en cellule jusqu'à ce qu'il atteigne l'effet final et le condenseur final. Un refroidisseur de distillat est inclus avec l'unité pour réduire la température du distillat à 40°C ou moins. Un régulateur régule la température du distillat à sa sortie.

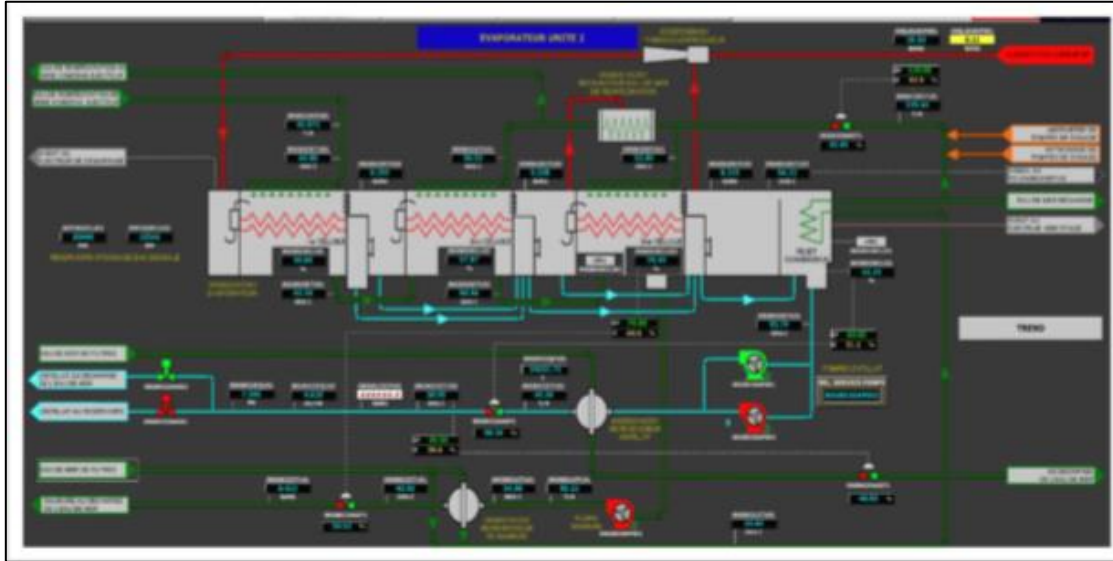


Figure III 5: circuit de distillat

#### 4.2.6 Circuit de la saumure :

La saumure produite par le surplus d'eau de mer qui pénètre dans les effets transporte les sels résiduels du distillat vaporisé. La saumure est collectée au fond de chaque cellule et déplacée de cellule en cellule à l'aide de tuyaux en U. La saumure est collectée au fond de la dernière cellule et évacuée par une pompe centrifuge (pompe simple). La pompe refoule dans la mer via la ligne de sortie d'eau de mer.

Une vanne de contrôle de niveau située après le refroidisseur de saumure régule le refoulement de la pompe.

La saumure peut s'écouler via le refroidisseur à plaques de saumure sur son chemin vers le raccord de décharge dans la conduite de sortie d'eau de mer. La saumure chaude (nominale 55°C) est refroidie dans cet échangeur à une température proche de la température d'entrée d'eau de mer, provoquant un échauffement de l'alimentation en eau de mer. L'objectif du refroidisseur de saumure est de maintenir la température de l'eau salée en aval à environ 24°C.

#### 4.2.7 Vapeur HP et relatif système de condensat : (9)

La vapeur HP arrive à la B.L. des évaporateurs des chaudières auxiliaires situées dans le même bâtiment. Une vanne d'isolation pneumatique pourvoit à arrêter le débit de vapeur à chaque unité, en cas de défaillance du système.



La vapeur HP totale d'entrée est divisée en deux flux, l'un pour le thermo compresseur et l'autre pour le système de vide.

Le débit de vapeur au thermo-compresseur est contrôlé par la vanne de contrôle de débit. Un débitmètre est installé pour mesurer le débit de vapeur au TVC. C'est le régulateur principal de l'unité de dessalement que l'augmentation ou diminution de production du distillat est directement obtenue par augmentation ou diminution de la vapeur au débit du thermo-compresseur.

Étant la température du mix. De la vapeur déchargée par le thermo-compresseur de 115°C env., il est nécessaire de désurchauffer la vapeur avant l'entrée dans le premier effet (température réduite à 80°C). Le débit de désurchauffée est réglé par une vanne de contrôle de température. Le contrôle est activé par une boucle de régulation de la température, qui comprend deux régulateurs indicateurs de la température redondante.

La vapeur qui entre dans le premier effet est complètement condensée dans les deux faisceaux de tubes de passage de la cellule. Le condensat récupéré du premier et deuxième passage est collectés dans la boîte de condensation. D'ici le condensat est extrait par les deux pompes de l'eau de condensation, une en service et l'autre en réserve. La quantité de condensat extraite est contrôlée par la vanne de contrôle de débit selon le régulateur de débit du condensat, afin de retourner à la chaudière auxiliaire le même débit de la vapeur HP totale d'entrée. Afin de s'assurer que le débit de la pompe de condensat soit toujours supérieur au débit continu minimum admissible pour les pompes à condensat, une petite ligne munie d'orifice de débit recycle une partie de condensat vers le premier effet. Après la FCV le circuit est divisé en deux branches, où deux vannes contrôlent le débit de condensat. Si la qualité du condensat est supérieure à 10 µS/cm, le condensat est déchargé dans le système de sortie de l'eau de mer à travers la vanne de rejet. Pendant le fonctionnement normal avec la qualité du condensat dans les limites de spécification, le condensat est renvoyé dans le cycle thermique (système d'eau d'alimentation de la chaudière), par la vanne. Ce contrôle est activé par une boucle de mesure de conductivité, qui inclut un capteur de contrôle. La qualité de l'eau de condensation est contrôlée aussi par un pH-mètre. Un débitmètre, pour mesurer le débit de condensat, est installé en amont des vannes de contrôle de débit.

Le débit de la pompe de l'eau de condensation est toujours assuré en cas de haute conductivité du condensat ou en cas de réservoir de condensat de la Chaudière Aux. Complètement rempli. En fait, dans les deux cas, le condensat est déchargé à l'embouchure de décharge eau de mer par l'ouverture de la vanne et par la fermeture de la vanne. Comme indiqué dans le P&ID f. 3, le fonctionnement de l'installation de dessalement est intégré avec le fonctionnement de la chaudière auxiliaire sur les côtés de la vapeur et du condensat (signaux appropriés de haut niveau de réservoir de condensat au PLC du Dessale.). En cas de niveau HH (90%), le condensat est déchargé à l'embouchure d'eau de mer par l'ouverture de la vanne et par la fermeture de la vanne. Quand le niveau du réservoir de condensat diminue au niveau H (83.3%), la vanne est fermée et la vanne est ouverte.

#### **4.2.8 Vapeur HP au système de vide : (9)**

La vapeur HP pour système de vide est dérivée du collecteur de la vapeur HP totale d'entrée.

La pression de la vapeur au système de vide est contrôlée par la vanne de contrôle de la pression. Un débitmètre est installé pour mesurer le débit de vapeur au système de vide. Puis, la vapeur est distribuée à deux consommateurs de processus : un éjecteur de démarrage et deux éjecteurs de vide permanents.

La vapeur déchargée par l'éjecteur de démarrage avec l'air extrait, est conduite à l'atmosphère par un silencieux.

La vapeur déchargée par les deux éjecteurs de vide permanents est condensée par deux relatifs éjecteur condenseurs "à tubes et virole", appelés respectivement, condenseur 1ère phase (ou inter condenser), fonctionnant sous vide, et condenseur 2ème phase (ou aftercondenser), fonctionnant à pression atmosphérique.

L'eau condensée du aftercondenser (à travers un purgeur), et l'eau condensée du inter condenser, sont déchargées, par une boucle, à l'évaporateur. Cette eau condensée peut être envoyée soit à la boîte du condensat du 2ème effet, ou à l'espace de la saumure du 2ème effet. Normalement, le système doit être connecté à la boîte du condensat, mais pendant le démarrage ou, si la qualité de

condensat déchargé par le système passe les valeurs spécifiées, doit être connecté à l'espace de la saumure.

#### **4.2.9 Système de vide (les éjecteurs) : (16)**

Un éjecteur de départ, deux éjecteurs permanents et des condenseurs relatifs composent le système d'aspiration ou d'extraction d'air. L'éjecteur de démarrage est chargé de fournir la première dépression requise pour les conditions de démarrage. Un silencieux est également placé pour diminuer le bruit produit par le dégagement de vapeur HP dans l'atmosphère. Il a fallu près d'une heure pour atteindre la condition de vide (environ 0,24 bar).

Deux éjecteurs permanents garantissent que les conditions de vide sont maintenues tout au long du fonctionnement normal de l'évaporateur.

Il existe deux types d'éjecteurs : les éjecteurs de première phase (amont) et les éjecteurs de deuxième phase (aval) (aval). L'échappement du condenseur est aspiré dans l'éjecteur du premier étage, qui aspire l'air et les gaz incondensables. La vapeur motrice et les vapeurs aspirées et expulsées par l'éjecteur sont ensuite condensés par le premier éjecteur condenseur, qui est relié à la décharge de l'éjecteur ; le reste du débit inhalé à partir de la décharge du condenseur est fourni à l'orifice d'aspiration de l'éjecteur du deuxième étage. La vapeur éjectée de l'éjecteur sera ensuite condensée par le second éjecteur condenseur. Les gaz incondensables sont relâchés dans l'atmosphère via la soupape de décharge du deuxième éjecteur du condenseur.

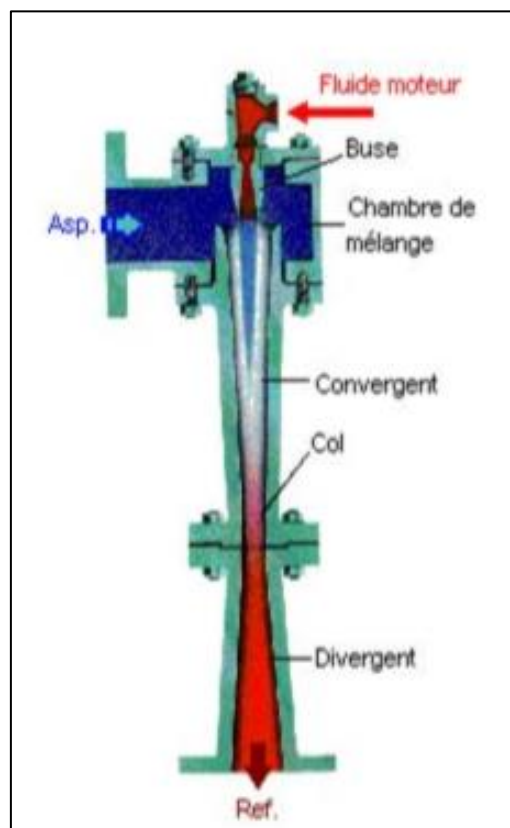
#### **4.2.10 Le thermo-compresseur : (17)**

Pour booster le taux de production (GOR), il est possible de prévoir la thermo-compression, dans laquelle une partie de la vapeur issue du dernier effet est mélangée à la vapeur motrice via un thermo-compresseur (la pression motrice devant être supérieure à 3b abs). À une pression et une température intermédiaire, le mélange de vapeur à basse pression et de vapeur "vivante" produira plus de vapeur que la vapeur "vivante" seule. Ce système double presque le GOR.

Pendant de nombreuses années, cette technologie a progressivement supplanté la technologie MSF, réduisant le coût d'investissement ainsi que le coût de l'eau générée. La consommation spécifique de ce type d'unité peut être inférieure à

70 kcal kg<sup>-1</sup> d'eau produite, et l'écart de température entre les effets varie de 4 à 10°C. Il permet la construction d'usines d'une capacité unitaire journalière allant jusqu'à 22 000 m<sup>3</sup>.

Le thermo-compresseur est un éjecteur à faible taux de compression (généralement inférieur à 2 ou 2,5) qui sert principalement à décompresser les vapeurs dans les opérations d'évaporation/cristallisation et de distillation. L'évaporation, la distillation, le refroidissement, la cristallisation, la désodorisation, le dégazage et le séchage sous vide sont tous effectués avec des compresseurs à jet de vapeur. **(18)**

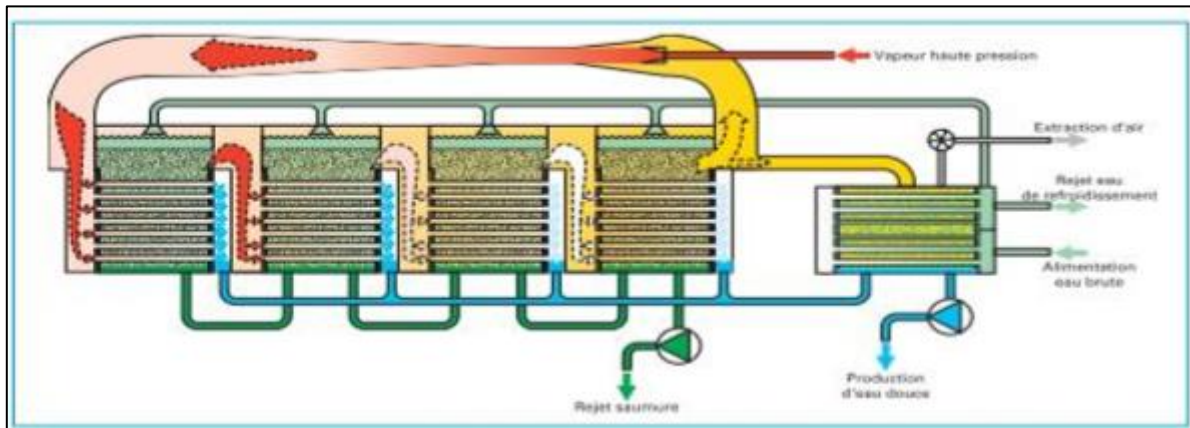


**Figure III 6:** schéma du thermo-compresseur **(19)**

- **Mode de fonctionnement :** **(20)**

L'énergie d'un courant de vapeur à haute pression est utilisée par des compresseurs à jet de vapeur pour comprimer un courant de vapeur à basse pression à un niveau de pression moyenne. La vapeur est généralement utilisée à la fois comme fluide d'entraînement et d'aspiration dans les compresseurs à jet de vapeur. Ils peuvent cependant fonctionner avec n'importe quelle vapeur.

Lors de la construction d'un compresseur à jet de vapeur, les circonstances opérationnelles doivent être soigneusement prises en compte ; sinon, l'équipement peut mal fonctionner ou ne pas fonctionner du tout. De plus, afin de mieux comprendre le fonctionnement de la compression par injection de vapeur, il est nécessaire de considérer le comportement de l'équipement dans des conditions de travail changeantes.



**Figure III 7:** distillation à multiples effets avec thermo-compresseur (21)

Dans ce cas, la vapeur produite par la cellule la plus froide est captée par un éjecteur de vapeur. Plus la pression de la vapeur en mouvement est élevée, plus l'enthalpie du mélange de séparation est élevée. Pour évaluer l'intérêt de cette méthode, considérons la situation d'une unité à quatre impacts.

La vapeur est introduite dans la cellule la plus chaude par l'éjecteur. En raison de l'eau de mer froide qui coule à l'extérieur, elle se condense à l'intérieur du faisceau de tubes. La condensation génère la chaleur nécessaire à l'évaporation d'une partie de l'eau de mer.

La vapeur produite est transmise à la seconde cellule, où elle se condense et évapore un second volume d'eau salée. La même chose se produit dans la troisième et quatrième cellule. Une partie de la vapeur est condensée à la sortie de la dernière cellule pour servir de secours à la chaudière. Le complément est recyclé lorsque l'éjecteur le comprime.

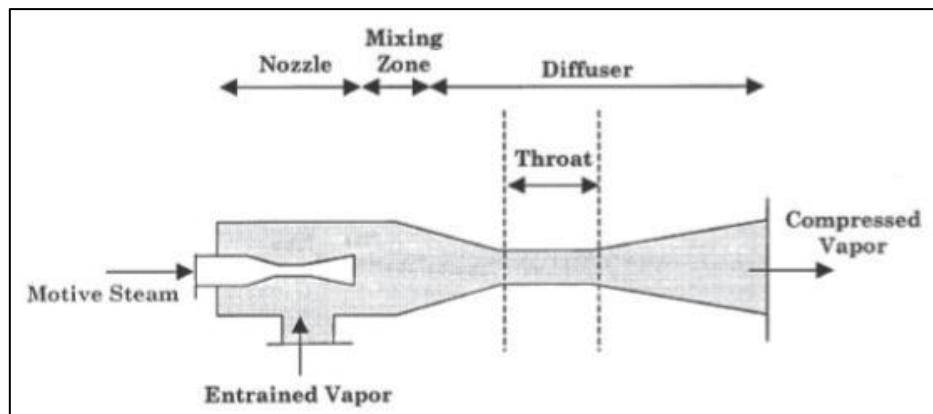
- **Avantage de thermo-compresseur :**

Bien que les économies de coûts ne soient pas aussi importantes qu'avec la compression de vapeur mécanique, la thermo-compression présente d'autres avantages :

- ✓ Un investissement faible
- ✓ Un fonctionnement simple
- ✓ Des couts de maintenance réduits : Parce qu'il n'y a pas de pièces rotatives dans le système, il est moins sensible à l'usure mécanique.
- ✓ Une grande simplicité d'installation : Le thermo-compresseur nécessite peu d'espace au sol et est simple à installer.

Le thermo-compresseur est particulièrement intéressant sur les machines de petite capacité, où il permet de réduire les coûts sans nécessiter un investissement important.

La performance du thermo-compresseur est directement liée à la quantité de vapeur utilisée. L'obtention de rendements acceptables nécessite l'utilisation de vapeur à haute pression. (4 à 2 bars) **(22)**



**Figure III 8:** schéma d'un thermo-compresseur de vapeur **(22)**

Le taux d'entraînement, défini comme la masse de vapeur entraînée par unité de masse de vapeur motrice, caractérise l'efficacité d'un éjecteur à vapeur.

Malgré leurs performances limitées, les systèmes de thermo-compression ont des coûts d'investissement et de maintenance peu élevés, ce qui rend cette technologie particulièrement intéressante. Il est toujours associé au procédé à effets

multiplés pour des considérations énergétiques. Dans cette situation, de la vapeur haute pression doit être fournie au thermo-compresseur, mais la consommation est plus faible qu'en alimentation directe car la vapeur entraînée provient d'un des effets finaux de l'installation. Une partie de la vapeur créée au dernier effet est couramment utilisée comme vapeur à basse pression. Et la vapeur à moyenne pression résultante est utilisée comme vapeur de chauffage au premier niveau d'effet.

#### **4.2.11 Système de dosage chimique : (9)**

Juste en amont de ses filtres communs l'eau de mer d'entrée est ajoutée avec un additif chimique de déchloration. Le système d'injection de déchloration est installé dans un châssis, commun pour les deux unités de dessalement, qui comprend :

- Un ensemble de Nos. 2 pompes de dosage volumétriques, No. 1 pompe pour chaque unité.
- Un réservoir de stockage 0.5 m<sup>3</sup> avec un mixer vertical. Le réservoir est équipé aussi avec indicateur de niveau magnétique locale et commutateurs de niveau pour l'alarme et l'arrêt pompe/mixer, en cas de bas et très bas niveau. Une ligne d'eau distillée (de système d'eau potable pendant le démarrage, si nécessaire) est aussi connectée au réservoir, bien que la déchloration est dosée sans dilution. Les pompes sont programmées pour être l'une en service et une en réserve. La ligne d'injection du système est complétée par un récipient de calibration, un dumper de pulsation et deux vannes de sûreté installées sur les lignes d'alimentation et de deux filtres d'aspiration de type Y. Un débitmètre est installé dans la ligne d'alimentation avant le point d'injection, situé en amont des filtres autonettoyants eau de mer. En cas de bas débit, une alarme se produit. La capacité du réservoir est suffisante pour garantir 72 heures (3 jours) le fonctionnement d'une unité de dessalement à 100% de charge. Le débit de dosage de la solution de déchloration est automatiquement réglé proportionnellement au contenu en chlore libre résiduel dans l'eau de mer après les filtres, afin d'avoir moins de 0.1 ppm de FRC.

Avant d'entrer dans les effets, l'eau de réintégration est traitée avec injection des additifs antitartres et anti mousse.

- ✓ Le système d'injection antitartre est installé dans un châssis, commun pour les deux unités de dessalement, qui comprend :

- Un ensemble de Nos. 2 pompes de dosage volumétriques, No. 1 pompe pour chaque unité. - Un réservoir de stockage 0.5 m<sup>3</sup> avec un mixer vertical. Le réservoir est équipé aussi avec indicateur de niveau magnétique locale et commutateurs de niveau pour l'alarme et l'arrêt pompe/mixer, en cas de bas et très bas niveau. Une ligne d'eau distillée (de système d'eau potable pendant le démarrage, si nécessaire) est aussi connectée au réservoir, pour préparer la solution antitartre à 20% w/w. Les pompes sont programmées pour être l'une en service et une en réserve. La ligne d'injection du système est complétée par un récipient de calibration, un dumper de pulsation et deux vannes de sûreté installées sur les lignes d'alimentation et de deux filtres d'aspiration de type Y. Un débitmètre est installé dans la ligne d'alimentation avant le point d'injection de chaque unité de dessalement, situé en amont de la FCV de l'eau de réintégration. En cas de bas débit les unités de dessalement seront fermées dans les 30 minutes après l'événement. La capacité du réservoir est suffisante pour garantir 72 heures (3 jours) le fonctionnement d'une unité de dessalement à 100% de charge. Le débit de dosage de la solution antitartre est automatiquement réglé proportionnellement au débit d'eau de réintégration.

- ✓ Le système d'injection anti mousse est installé dans un châssis, commun pour les deux unités de dessalement, qui comprend :

- Un ensemble de Nos. 2 pompes de dosage volumétriques, No. 1 pompe pour chaque unité. - Un réservoir de stockage 0.5 m<sup>3</sup> avec un mixer vertical. Le réservoir est équipé aussi avec indicateur de niveau magnétique locale et commutateurs de niveau pour l'alarme et l'arrêt pompe/mixer, en cas de bas et très bas niveau. Une ligne d'eau distillée (de système d'eau potable pendant le démarrage, si nécessaire) est aussi connectée au réservoir, pour préparer la solution anti mousse à 2% w/w. Les pompes sont programmées pour être l'une en service et une en réserve. La ligne d'injection du système est complétée par un récipient de calibration, un dumper de pulsation et deux vannes de sûreté installées sur les lignes d'alimentation et de deux filtres d'aspiration de type Y. La capacité du réservoir est suffisante pour garantir 72 heures (3 jours) le fonctionnement d'une unité de dessalement à 100%



de charge. Le débit de dosage de la solution anti mousse (contrôle manuel), doit être maintenu constant pour toutes les charges de production.

Le système de dosage chimique comprend aussi Nos.2 pompes électriques portables de transfert, pour transférer les produits chimiques commerciaux liquides (additifs de déchloration, antitartre et anti mousse) des fûts commerciaux aux respectifs réservoirs de dosage.

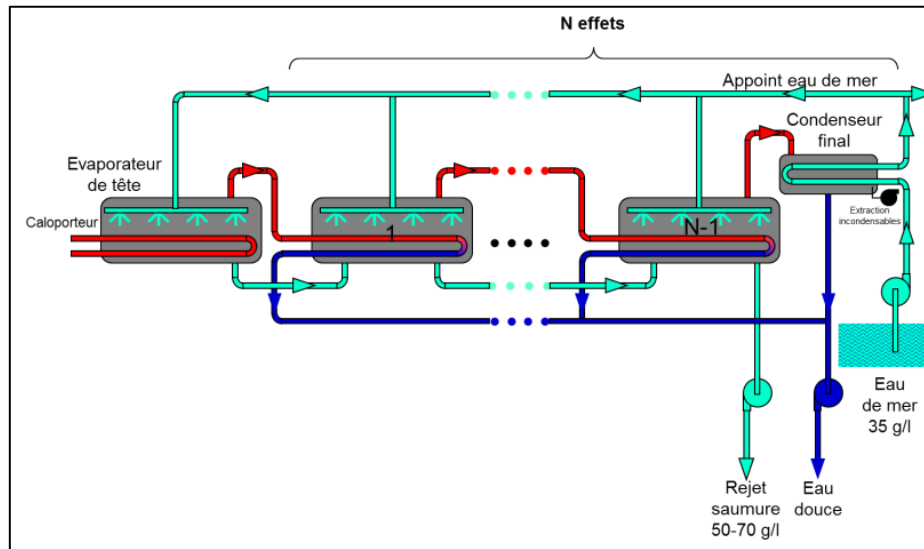
## **5 Influence du nombre d'effets : (17)**

Pour améliorer le ratio de production (GOR ou global output ratio : quantité d'eau distillée produite rapportée à la quantité de vapeur utilisée, exprimée en kg d'eau produite par kg de vapeur utilisée) et ainsi baisser le coût de production d'eau douce, la chaleur produite par la condensation de la vapeur du premier effet est utilisée dans le faisceau chauffant d'un second évaporateur, suivie de la chaleur produite par la condensation de la vapeur du second effet dans le bu Cette réutilisation de la vapeur en cascade n'est possible que par abaisser les pressions de fonctionnement de chaque effet, le condenseur final fonctionnant à la pression la plus basse.

Parce qu'une même vapeur de chaudière produit de l'eau à chaque impact, augmenter le nombre d'effets augmente le GOR mais augmente la chaudronnerie à mettre en œuvre, un optimum économique doit être établi en fonction principalement du prix de l'énergie locale.

## **6 Le mécanisme à effets multiples (MED) pour la conservation de l'énergie :**

Le procédé de distillation multi-effets (MED) a été créé principalement pour économiser l'énergie thermique. Les premières tentatives remontent au XIXe siècle. Un fluide caloporteur - fluide porteur de chaleur - apporte de la puissance thermique à l'évaporateur de tête, qui sert à évaporer l'eau de mer. La vapeur créée est condensée dans l'évaporateur suivant, appelé premier effet.



**Figure III 9:** Principe du procédé à multiple-effet (MED) (23)

La quantité totale d'eau douce produite est théoriquement égale au premier effet multiplié par le nombre d'effets. Chaque effet d'eau de mer peut être alimenté en parallèle, à co-courant depuis l'évaporateur de tête jusqu'au dernier effet, ou à contre-courant, cette dernière configuration étant cependant déconseillée car les effets plus chauds en tête sont alors alimentés avec l'eau de mer la plus concentrée, résultant dans les conditions les plus sales. Lorsque le nombre d'effets augmente, l'énergie thermique consommée diminue à peu près linéairement, donc le GOR est égal au nombre d'effets réduit de 10 à 20 % du fait des irréversibilités.

Le nombre d'effets, comme avec la méthode « flash », est limité à la fois par des irréversibilités, qui limitent l'écart de température entre les effets à environ deux degrés, et par des considérations économiques.

## 7 Conclusion :

Le principal principe de dessalement utilisé dans l'usine de dessalement RAS DJINET est la "distillation sous vide", qui se déroule à basse température. Comme nous le savons tous, l'abaissement de la pression de l'eau bouillante fait chuter la température d'ébullition. Par exemple, au niveau de la mer, le point d'ébullition de l'eau est de 100°C, mais à 6200 mètres au-dessus du niveau de la mer, où la pression à la surface de l'eau est nettement inférieure, l'eau bout.

à 84°C. Ainsi, si nous réduisons davantage la pression en générant un vide, l'eau peut bouillir à basse température.

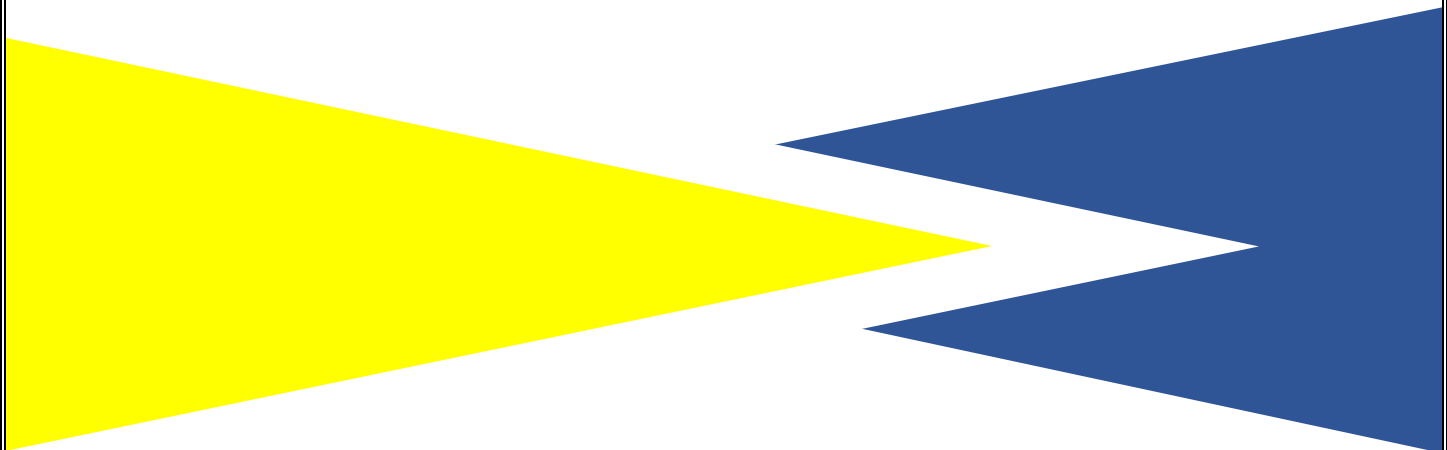
Deux unités de dessalement sont déployées à l'usine RAS DJINET. Ces unités sont conçues en utilisant "l'évaporation à effets multiples" avec des faisceaux de tubes horizontaux et un film nébulisé descendant."

Le composant qui effectue la distillation est appelé "évaporateur" et peut avoir de nombreux compartiments appelés "effets" ou "cellules" ; dans le cas du RAS DJINET, l'évaporateur cylindrique est divisé en trois effets, le dernier effet étant relié à un compresseur thermique.



# **Chapitre IV :**

**Etude critique des performances de la  
station de dessalement de la centrale à  
cycle combiné Cap Djinet**



## 1 Introduction :

L'une des choses importantes au station de dessalement d'eau de mer est de maintenir les performances de cette dernière en suivant les performances des éléments qui les composent.

Dans ce chapitre, nous étudierons les performances de certains éléments nécessaires au station de dessalement au niveau de la centrale à cycle combiné de Cap Djinet après son fonctionnement pendant une longue période, et découvrirons les facteurs les plus importants qui affectent les performances de la station.

## 2 Liste des équipements :

Chaque station comprendra les suivants éléments :

- Évaporateur à effets multiples
- Thermo compresseur
- Refroidisseur de distillat
- Refroidisseurs de saumure
- Système mise à vide
- Préchauffeur d'appoint
- Pompes d'eau distillée
- Pompe de décharge de saumure
- Pompes de recirculation de condensat

Les unités de dessalement seront complétées avec les dispositifs communs suivants :

- Système de nettoyage chimique
- Système de dé chloration
- Système de dosage de produit anti tartre
- Système de dosage de produit anti mousse

## 3 Conditions climatiques et d'installation du site :

### 3.1 Conditions climatiques et d'installation du site :

Il faut Température maximale ambiante (40 °C) et Température minimale ambiante (4,9 °C).

### 3.2 Conditions de conception :

- a) Température d'eau de mer : 16 °C ~ 24 °C
- b) Capacité de production : 1100 m<sup>3</sup>/jour à 19 °C
- c) Garantie de performance : moins de 10 ppm de matières solides dissoutes (TDS),
- d) Température de saumure de tête : moins de 70 °C
- e) Rapport de production : 50% à 100%, à charge totale pour chaque unité
- f) Caractéristiques de la vapeur : 225 °C avec une variation de  $\pm 5$  °C, 20 bar (g).

## 4 Description du système :

### 4.1 Généralités :

Le système de dessalement sera de type à multiples effets, avec thermo-compresseur de vapeur (MED+TVC), L'eau d'alimentation venant de la prise d'eau de mer à la station de dessalement sera filtrée par des crépines d'auto-nettoyage avec reflux automatique. Ensuite l'eau de mer sera traitée avec des produits détartrants et anti-mousse, et elle est dé-chlorée avant de passer aux stations de dessalement MED-TVC. L'eau de mer ainsi traitée est distribuée en parallèle (conception d'alimentation en parallèle) dans trois effets (calandres) et est uniformément arrosée en film sur la surface supérieure des tubes horizontaux dans chaque effet. La vapeur venant de la chaudière auxiliaire est transportée dans les tubes du 1er effet, où elle se condensera. Lorsque la vapeur se condense dans les tubes, elle réchauffe l'eau de mer arrosée en film sur l'extérieur des tubes, la transformant en vapeur qui sera utilisée pour l'effet suivant ; dans celui-ci le même procédé de distillation-évaporation s'applique, et ainsi de suite jusqu'à l'effet final. L'eau de mer est également employée comme agent refroidisseur, pour extraire la chaleur. Les gaz non condensables seront continuellement écoulés par un système à vide, qui sera aussi employé pour créer le vide initial dans l'effet. Il faudra disposer convenablement, sur l'unité de décharge du système correspondant, des moyens de contrôle régulier de la qualité de la saumure, ainsi que des débits assignés. La saumure issue du système de dessalement sera diluée adéquatement et rejetée dans la mer.

## 4.2 Exigences techniques :

La station de dessalement sera conçue pour une exploitation continue de 8000 heures par an, durant 30 ans. Le rapport de gain opérationnel (GOR, Gain Output Ratio) du système devra être d'au moins 6 kg de distillat/kg de vapeur (20 bar (g), 225° C avec une variation de  $\pm 5^\circ$  C), sans compter le système de vide et le débit de retour du condensat de vapeur. La quantité d'eau distillée venant du premier effet sera la même que l'eau alimentée transférée aux refroidisseurs. Tous les composants de la station de dessalement en contact avec l'eau seront en matériau résistant à la corrosion, ou revêtus d'une couche d'anticorrosif. Tous les entraînements, c'est à dire, les pompes, vannes et auxiliaires du système de dessalement seront actionnés par un système de contrôle basé sur API. Chaque unité de dessalement MED-TVC sera équipée d'un système d'événements, pour évacuer les gaz non condensables et maintenir le vide lors de la mise en service et l'exploitation normale des unités de dessalement.

## 5 Données techniques :

### 5.1 Unité de dessalement :

- Évaporateur (00GBG10AT001/00GBG20AT001)
  - Quantité : 2 ensembles  $\times$  100%
  - Type : Type à faisceau de tubes horizontaux MED+TVC
  - Capacité par unité en m<sup>3</sup>/jour : 1100
  - Nombre d'effets : 3
  - Matériau des calandres : Acier inox. Duplex UNS S32205
  - Matériau du faisceau des tubes d'échauffement

**Tableau IV 1:** caractéristiques de l'évaporateur

Pression d'entrée (bar)	20
Pression refoulement (bar)	1.2
Température d'entrée (°C)	225

Température refoulement (°C)	39
Débit d'eau condensat	7.7

➤ chaudière auxiliaire

**Tableau IV 2:** caractéristiques de chaudière

Pression d'eau (bar)	20.5
Pression gaz avant détente (bar)	5
Pression gaz après détente (bar)	1.5
Température à gaz (°C)	24
Température d'eau (°C)	105
Débit gaz	550
Température vapeur (°C)	225
Débit vapeur t/h	8

➤ Thermo-compresseur (00GBT11BN001/00GBT21BN001)

- Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité d'évaporateur)
- Type : Jet de vapeur
- Débit vapeur : 7.583 kg/h
- Matériau : Acier inox 316L
- Pression (bar) 3

➤ Refroidisseur de distillat (00GBD11AC001/00GBD21AC001)

- Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité d'évaporateur)
- Type : Échangeur thermique à plaques
- Aire de surface : 7,3 m<sup>2</sup>
- Matériau des plaques : Titane SB 265 Degré 1



- Matériau du châssis : Acier au carbone peint ou équiv.
- Refroidisseur de saumure (00GGB11AC001/00GGB21AC001)
  - Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité d'évaporateur)
  - Type : Échangeur thermique à plaques
  - Aire de surface : 35,3 m<sup>2</sup>
  - Matériau des plaques : Titane SB 265 Degré 1
  - Matériau du châssis : Acier au carbone peint ou équiv.
- Système de vide
  - Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité d'évaporateur)
  - Composition
    - ✓ Éjecteur de premier étage (00GBV10BN001/00GBV20BN001)
    - ✓ Éjecteur de deuxième étage (00GBV10BN002/00GBV20BN002)
    - ✓ Condensateur du premier éjecteur (00GBV10AC001/ 00GBV20AC001)
    - ✓ Condensateur du deuxième éjecteur (00GBV10AC002/00GBV20AC002)
    - ✓ Éjecteur de démarrage (00GBV10BN003/00GBV20BN003)
    - ✓ Silencieux (00GBV10BS001/00GBV20BS001)
    - ✓ Pression d'entrée (bar) 0.24
- Préchauffeur d'appoint (00GBJ11AC001/00GBJ21AC001)
  - Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité évaporateur)
  - Type : échangeur de chaleur à tubes et calandre
  - Aire de surface : 50 m<sup>2</sup>
  - Matériau des tubes : Titane B338 Degré 2 ou équiv.

Matériau de la calandre : Acier inox Duplex UNS S32205 ou équiv.

- Pompes d'eau distillée (00GBD10AP001/002 et 00GBD20AP001/002)
  - Quantité : 2 ensembles × 100% (pour chaque unité évaporateur)
  - Type : Centrifuge, horizontale
  - Débit : 63 m<sup>3</sup> /h
  - Hauteur de colonne : min. 30 MH
  - Matériau
    - ✓ Corps : Acier d'alliage moulé 1.4408
    - ✓ Entraînement : Acier d'alliage moulé 1.4408
    - ✓ Arbre : Acier d'alliage 1.4462
  
- Pompe de décharge de saumure (00GBB10AP001/00GBB20AP001)
  - Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité évaporateur)
  - Type : Centrifuge, horizontale ou verticale
  - Débit : 115 m<sup>3</sup> /h
  - Hauteur de colonne : min. 30 MH
  - Matériau
    - ✓ Corps : Acier inox. Duplex 1.4593
    - ✓ Entraînement : Acier inox. Duplex 1.4593

Arbre : Acier inox. Duplex 1.4462

- Pompe de recirculation de condensat (00GBC10AP001/002 et 00GBC20AP001/002)
  - Quantité : 1 ensemble (pour chaque unité évaporateur)
  - Type : Centrifuge, horizontale ou verticale
  - Débit : 11,5 m<sup>3</sup> /h
  - Hauteur de colonne : min. 40 MH

- Matériau
  - ✓ Corps : Acier d'alliage moulé 1.4408
  - ✓ Entraînement : Acier d'alliage moulé 1.4408
  - ✓ Arbre : Acier d'alliage 1.4462

## 6 Rapport journalier d'exploitation centrale :

### 6.1 Dessalement :

- Evaporateur :

**Tableau IV 3:** performances de l'évaporateur

	30/04/2022	01/05/2022	La nuit	
	12h00	4h00	00h00	4h00
Pression d'entrée (bar)	20.57	20.5	20.2	20.2
Pression refoulement (bar)	1.05	1.08	1.07	1.1
Température d'entrée (°C)	222	222	222.4	222.4
Température refoulement (°C)	38.5	38.7	38.3	38.5
Débit d'eau condensat	7.5	7.54	7.5	7.5

- Chaudière auxiliaire :

**Tableau IV 4:** performances chaudière auxiliaire

	La journée		La nuit	
	12h00	4h00	00h00	4h00
Pression d'eau (bar)	21.5	21.5	21.8	
Pression gaz avant détente (bar)	5	5	5	5
Pression gaz après détente (bar)	1.5	1.5	1.5	1.5
Température à gaz (°C)	24	27	21.7	21.6
Température d'eau (°C)	102	102	102.6	102.6
Débit gaz	550	551	554	549

Température vapeur (°C)	224	223	226	224
Débit vapeur t/h	8.1	8.1	8.1	8.1

➤ Pompe condensat

**Tableau IV 5:** performances Pompe condensat

	La journée		La nuit	
	12h00	4h00	00h00	4h00
Pompe en service	A	A	A	A
Pression refoulement (bar)	3.1	3.1	3.2	3.2
Température refoulement (°C)	73	73	73	72.8
débit refoulement	7.5	7.48	7.5	7.5

➤ Pompe distillat :

**Tableau IV 6:** performances pompe distillat

	La journée		La nuit	
	12h00	4h00	00h00	4h00
Pompe en service	A	A	A	A
Pression refoulement (bar)	4.5	4.5	4.4	4.4
Température refoulement (°C)	51	52	51.4	51
débit refoulement	42	41	41	41

➤ Pompe DP dessalement :

**Tableau IV 7:** performances pompe DP dessalement

	La journée		La nuit	
	12h00	4h00	00h00	4h00
Pompe en service	B	B	B	B
Pression refoulement (bar)	5.42	5.42	5.4	5.4
Température refoulement (°C)	16	17	17	17
débit refoulement	186	190	189	190

- Pompe 60 CWP ½ :

**Tableau IV 8** : performances pompe 60 CWP ½

	La journée				La nuit			
	12 PM		4 PM		12 AM		4 AM	
Pompe en service	1	2	1	2	1	2	1	2
Pression refoulement (bar)	1.9	2	1.9	2	1.9	2	1.9	2
Température refoulement (°C)	16	16	17	17	17	17	17	17

## 6.2 Station de pompage :

- Pompe 50 CWP ½ :

**Tableau IV 9**: performances pompe 50 CWP ½

	La journée				La nuit			
	12 PM		4 PM		12 AM		4AM	
Pompe en service	1	2	1	2	1	2	1	2
Pression refoulement (bar)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Température refoulement (°C)	16	16	17	17	17	17	17	17

- Pompe refroidissement :

**Tableau IV 10**: performances pompe refroidissement

	La journée		La nuit	
	12 PM	4 PM	12 AM	4 AM
Pompe en service	B	B	B	B
Pression refoulement (bar)	3.1	3.1	3.2	3.2
Température refoulement (°C)	21	23	19	18
débit refoulement	/	/	/	/

➤ Pompe alimentaire :

**Tableau IV 11:** performances pompe alimentaire

	La journée		La nuit	
	12 PM	4 PM	12 AM	4 AM
Pompe en service	B	B	B	B
Pression refoulement (bar)	25.6	25.4	25.6	26
Température refoulement (°C)	102	102	102	102.5
débit refoulement	9	10.5	9.6	8.7

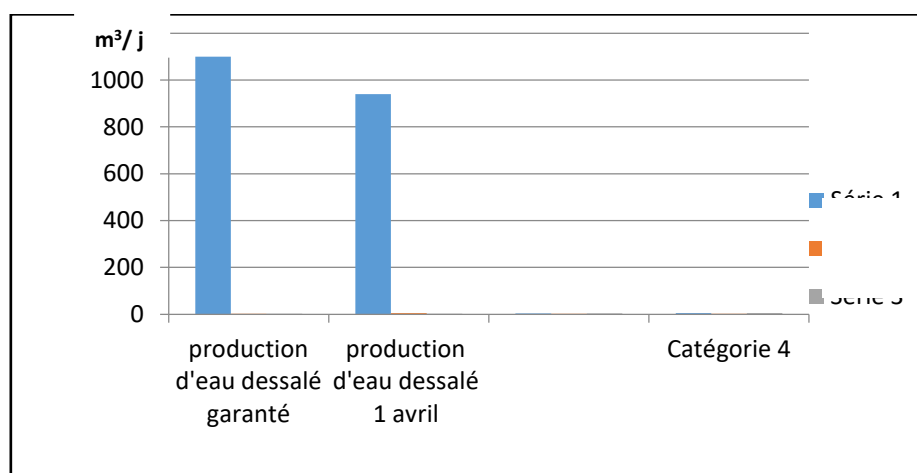
**Tableau IV 12:** performances pompe saumure

➤ Pompe saumure :

	La journée		La nuit	
	12 PM	4 PM	12 AM	4 AM
Pression refoulement (bar)	3	3	3	3
Température refoulement (°C)	52	53	52	51.6
débit refoulement	97	86	77	84

## 7 Production d'eau dessalée :

Il y a une diminution des performances de certains équipements entraînant une diminution de la quantité de 1131 m<sup>3</sup> à 940 m<sup>3</sup>.



**Figure IV 1:** graphe d'eau dessalé

Après le suivi et l'étude quotidiens de la station, on constate une diminution de la quantité d'eau résultant de sa valeur de référence 1100 à 940, due au dépôt de sels au niveau de l'évaporateur, ce qui a entraîné une baisse des performances de la station

Nous pouvons résoudre ce problème en nettoyage d'acide.

## 8 Lessivage de l'évaporateur de dessalement :

### 8.1 Procédure de nettoyage à l'acide :

Dans les unités de dessalement RAS DJINET, est installé un système de nettoyage à l'acide communséparé. Il comprend:

- ✓ Réservoir d'acide complet avec mixeur
- ✓ Absorbeur acide
- ✓ Pompes transfert d'acide
- ✓ Pompe de déchargement d'acide
- ✓ Réservoir de soude caustique
- ✓ Pompes de soude caustique

### 8.2 Préparation du système :

-Enlever le filtre provisoire (si encore installé) dans la ligne d'aspiration de la pompe saumure

-Isoler le refroidisseur de saumure et le système de décharge de la saumure, en fermant les vannes.

-La vanne de contrôle du niveau de la saumure LCV.

-Doit être mise en mode manuel et fermée; fermer ses vannes d'isolement et de by-pass

-La vanne de contrôle de décharge d'eau de mer FCV doit être mise en mode manuel et fermée; fermer ses vannes d'isolement -AA002 et de by-pass

-La vanne de contrôle de débit d'eau de réintégration FCV doit être mise en mode manuel et fermée.

-Fermer les vannes d'isolement manuelles -002 sur l'eau de réintégration FCV

- Ouvrir la vanne de by-pass d'eau de réintégration FCV
- Fermer les vannes d'aspiration de la pompe de condensat -002
- Fermer les vannes d'aspiration de la pompe de distillat -002
- Ouvrir la vanne d'eau de service pour laver le presse-étoupe de la pompe à saumure
- Ouvrir la vanne 00GBB11AA003 (connexion entre le circuit de la saumure et le circuit d'eau de réintégration)
- S'assurer que toutes les vannes de drainage installées dans les systèmes d'eau de mer/saumure/eau de réintégration sont fermées
- Les vannes de purge partiellement ouvertes dans les circuits d'eau de mer/saumure/eau de réintégration utilisées pour le nettoyage à l'acide.

### 8.3 Début de l'opération :

Une inspection générale avant de commencer l'opération :

- ❖ **constat** Les images montrent la présence de tartre et de plaques qui provoquent le blocage des cellules.



**Figure IV 2:** dépôts cellulaires avec de la chaux et de sel



#### 8.4 Préparer le système pour recevoir l'acide :

-L'acide choisi est l'acide chlorhydrique commercial @ 35% (poids spécifique de 1.18 environ).

-Démarrer la pompe de déchargement pour transférer l'acide chlorhydrique du camion au réservoir d'acide. Capacité du réservoir est de 1 m<sup>3</sup>

-La quantité d'acide nécessaire estimée pour effectuer le nettoyage à l'acide pour une unité, pour toutes les cellules, est de 600 kg env. (~ 0.5 m<sup>3</sup>), i.e. 200 kg par moyenne de cellule

-Ensuite, la quantité d'acide à être déchargé dans le réservoir devrait être, avec une certaine quantité supplémentaire:

- ✓ Nettoyage à l'acide seulement de la cellule No. 1 (300 kg (~ 0.25 m<sup>3</sup>))
- ✓ Nettoyage à l'acide seulement des cellules Nos. 1 et 2 550 kg (~ 0.47 m<sup>3</sup>)
- ✓ Nettoyage à l'acide des trois cellules 750 kg (~ 0.65 m<sup>3</sup>)

-Conformément à l'instruction de l'Inhibiteur MFR, la quantité d'inhibiteur à ajouter sur l'acide est de 2% w/w.

-L'inhibiteur peut être ajouté dans le réservoir utilisant la buse spécifique prévue sur le toit du réservoir.

-Pour aider le mixage, démarrer le mixeur du réservoir.

-A ce point les fonds des cellules doivent être remplis avec eau de service.

-Ouvrir la vanne d'entrée d'eau de service à l'unité; isoler le refroidisseur de distillat, ouvrir la vanne by-pass du refroidisseur de la saumure.

-Remplir l'évaporateur pour atteindre ~ 450 mm de niveau du fond de la cellule

-Démarrer la pompe saumure et régler la vanne by-pass d'eau de réintégration FCV pour maintenir le débit à 130 t/h env., mesuré par FIAL

-Si le nettoyage est effectué sur la première cellule (ou à la première et deuxième cellule), régler le débit de la pompe saumure à env. 45 t/h (ou 90 t/h) pour assurer le juste débit à chaque cellule à nettoyer.

-Fermer les vannes de purge dans les circuits d'eau de mer/ saumure/eau de réintégration utilisées pour le nettoyage à l'acide.

-Une fois que la pompe saumure est démarrée, le niveau à l'intérieur de l'évaporateur diminue à env. 300 mm du fond de la cellule (indication sur l'indicateur magnétique local LI- à env. 960 mm ou 77% de la plage)

-Vérifier le niveau dans tous les effets, par l'instrumentation locale.

### **8.5 Injection d'acide et nettoyage :**

-S'assurer que la vanne de recirculation d'acide au réservoir, 00GBE02AA005, est partiellement ouverte.

-Démarrer une pompe de transfert d'acide (la pompe qui a déjà été sélectionnée).

-Ouvrir la vanne d'injection d'acide 00GBE10AA002 et fermer lentement la vanne de recirculation d'acide.

Injecter l'acide pour abaisser le pH à 1 environ, vérifié par le pH-mètre QIAL/H et par le Laboratoire.

-Fermer la vanne d'injection d'acide et arrêter la pompe d'acide

-Laisser circuler la solution d'acide

-Le pH augmentera dessus 2 ÷ 3

-Injecter encore l'acide pour abaisser le pH à 1 environ

-Contrôler encore l'évolution du pH

-Si le pH augmente encore dessus 2 ÷ 3, injecter encore l'acide pour le réduire à 1 environ, etc.

-Quand le pH n'augmente plus, et reste stable à pH 2 environ, le nettoyage à l'acide peut être considéré terminé.

### **8.6 Un contrôle visuel a été réalisé pour les trois cellules :**

#### **➤ Constat cellule N 1 :**

Présence des taches de tartre a la partie inférieure de la cellule reste un nettoyage mécanique (estimation de nettoyage 80%).



Figure IV 3: Avant nettoyage manuel



Figure IV 4: Après nettoyage manuel

➤ **Constat cellule N 2 :**

Visuellement un bon nettoyage effectué pour la cellule voire photo.



Figure IV 5: nettoyage cellule N2

➤ **Constat cellule N 3 :**

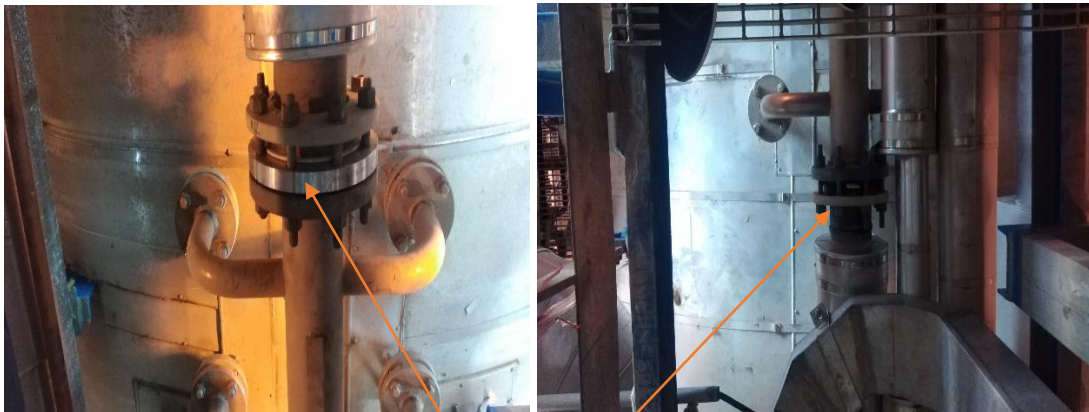
Absence des tache de tartre sur toutes les parties de la cellule même entre tube.(un très bon nettoyage effectué).



**Figure IV 6:** Figure : nettoyage cellule N3

**NB :**

Après cette inspection il a été décidé de continuer le nettoyage à l'acide pour la première cellule seulement donc on va brider l'entrée des cellules 2 et 3 (pulvérisation) voir photo



**Bride**

**Figure IV 7:** restriction d'accès aux donjons 2 et 3

➤ **Constat cellule N 1 2eme fois :**

Visuellement Présence toujours les petites taches de tartres mais mieux nettoyé par rapport au premier nettoyage.



**Figure IV 8:** cellule N1 après le deuxième nettoyage

Remise en état de l'unité et préparation pour un démarrage.

## 9 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre nous avons mené une analyse multicritère des performances de la nouvelle centrale de dessalement à cycle combiné ; Machines (évaporateur, chaudière auxiliaire, compresseur de chaleur, etc.) en tenant compte des conditions climatiques et de fonctionnement de conception ainsi que des paramètres thermodynamiques et physico-chimiques de ces machines

Cette étude a conclu aux résultats suivants :

La forte utilisation des éléments constitutifs entraîne une diminution de leurs performances en raison de l'accumulation de sels au niveau des cellules de l'évaporateur

- Réduisant ainsi la production d'eau dessalée (de 1 100 m<sup>3</sup> /j à 940 m<sup>3</sup> /j)

Pour cela, nous nous sommes déplacés pour résoudre ce problème en nettoyant les machines par HCl



**Conclusion générale**

### **Conclusion générale :**

Parmi les sources d'énergie largement utilisées figurent les centrales thermiques, qui contiennent des usines de dessalement. La déminéralisation est une technique de déminéralisation pour traiter l'eau salée afin de la rendre douce pour un usage domestique ou industriel. Nous avons évoqué différentes techniques de dessalement de l'eau de mer. Ce procédé a été présenté comme la deuxième partie de notre travail dans notre étude après que nous ayons présenté la station de dessalement à cycle combiné de Cap Djinet.

Le principe principal de dessalement utilisé dans l'usine de dessalement RAS DJINET est la "distillation sous vide", qui se fait à des températures plus basses. Si nous réduisons davantage la pression en générant un vide, l'eau peut bouillir à une température plus basse.

Deux unités de dessalement ont été déployées à l'usine RAS DJINET. Ces unités sont conçues en utilisant "l'évaporation multi-effets" avec des faisceaux de tubes horizontaux et des vaporisateurs à film vers le bas. "

Le composant qui effectue la distillation est appelé "l'évaporateur" et peut contenir de nombreuses pièces appelées "impacts" ou "cellules" ; Dans le cas de RAS DJINET, l'évaporateur cylindrique est divisé en trois effets, et le dernier effet est relié à un compresseur de chaleur.

Nous avons conclu de cette étude que la technique de «distillation sous vide» est l'une des techniques modernes les plus récentes et les plus réussies utilisées pour dessaler l'eau de mer.

Enfin, nous avons mené une analyse multicritère des performances de la nouvelle centrale de dessalement de la centrale à cycle combiné dans ce dernier chapitre, en tenant compte des conditions climatiques et opérationnelles de dimensionnement ainsi que des paramètres thermodynamiques et physico-chimiques de ces machines (évaporateur, chaudière, compresseur de chaleur, etc.).

Les résultats de cette enquête ont conduit aux conclusions suivantes :

En raison de l'utilisation fréquente des éléments constitutifs pendant une longue période, leurs performances sont réduites, ce qui entraîne une diminution de la quantité d'eau dessalée produite (1100 m<sup>3</sup> /jour à 940 m<sup>3</sup> /jour).

Pour cette raison, nous avons résolu le problème en utilisant HCL pour nettoyer les machines.



# ANEXE

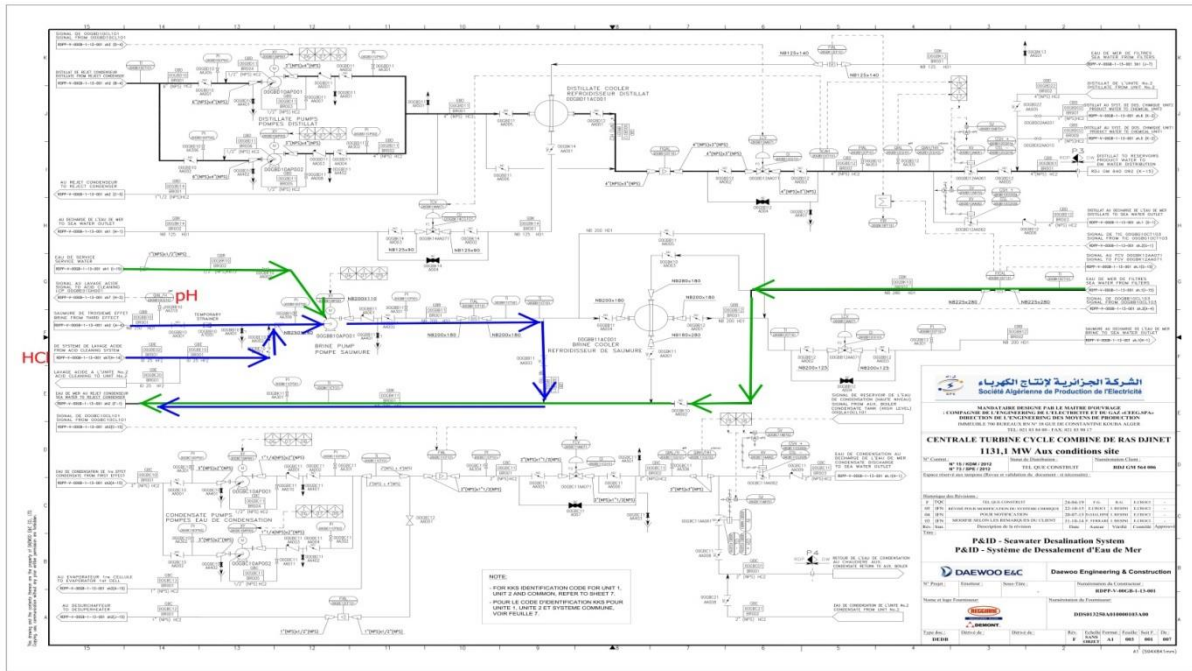


Schéma générale de l'installation de dessalement de la centrale

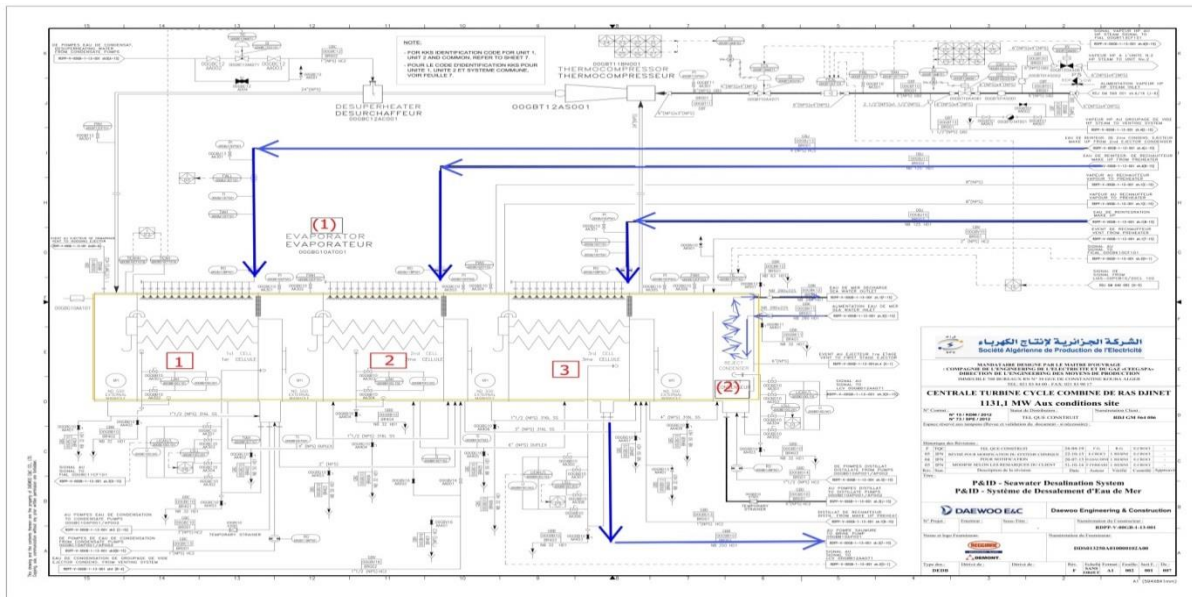


Schéma générale des cellules de l'évaporateur

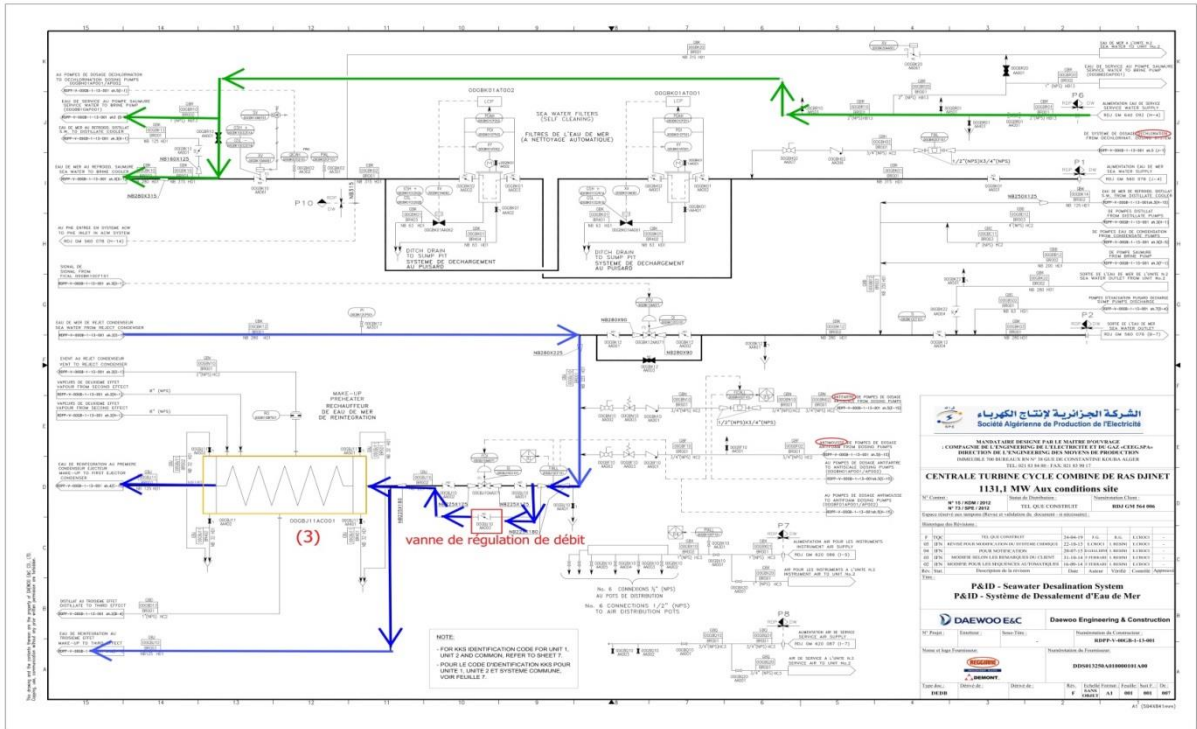


Schéma générale de filtration de l'eau de mer

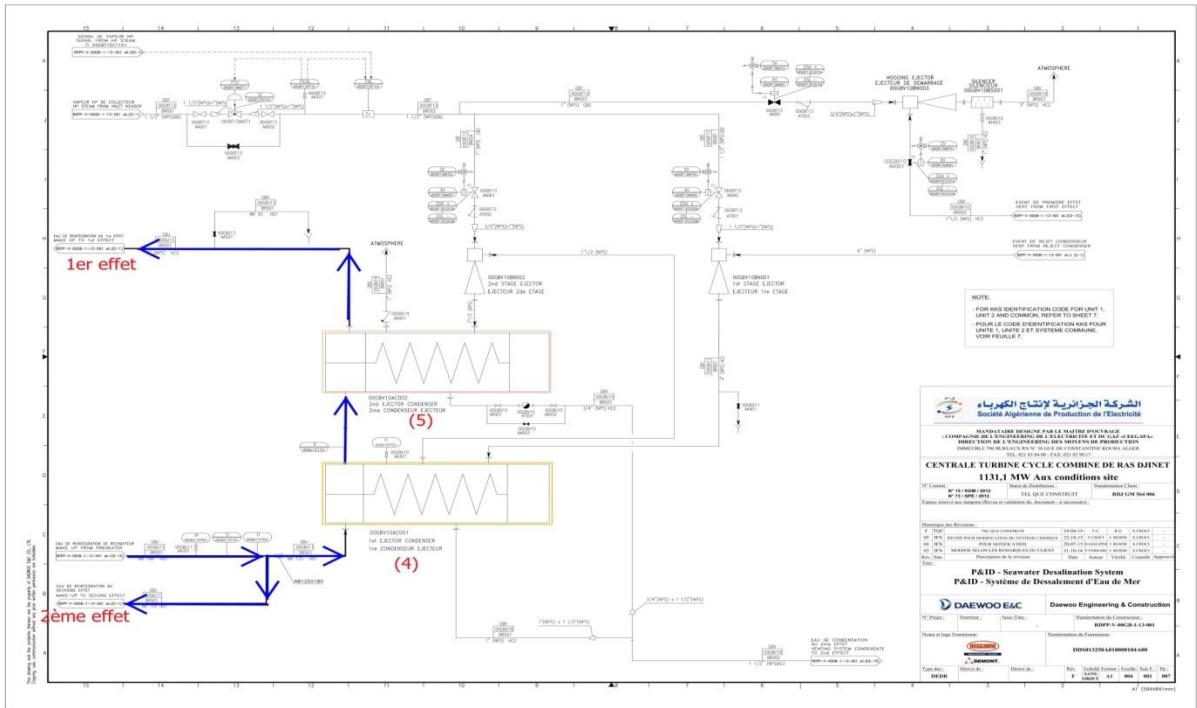


Schéma générale des effets d'eau de réintégration de réchauffeur par le condenseur



## **Bibliographie**

1. [www.opg.com/learningzone](http://www.opg.com/learningzone). [En ligne]
2. <http://www.wikiwater.fr>. . [En ligne]
3. *Documentation constructeur (Pompe WE)* .
4. « *dessalement de l'eau de mer : bilans des dernières avancées technologiques ; bilan* .
5. *Documentation technique des constructeurs de la centrale (siemens Autriche, siemens KWU Allemagne, SGP Autriche...)*. .
6. *Comment ça marche, production de l'électricité*.
7. *Documentations internes de CAP DJINET*.
8. [www.ac-grenoble.fr](http://www.ac-grenoble.fr). . [En ligne]
9. *document de station de ras djinet (CENTRALE TURBINE CYCLE COMBINE DE RAS DJINET 1131,1 MW Aux conditions site)*.
10. *dessalement de l'eau de mer pour le fonctionnement des turbines de la centrale thermique de cap-djinet, mémoire fin d'étude master option : génie de l'environnement université m'hamed bougera BOUMRDES dirigée par MR. R. YEDDOU et R. DJEBEL 2005/2006*.
11. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-usine-dessalement-13409/>. [En ligne]
12. *Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico chimique de l'eau dessalée de la station de cap djinet de la wilaya de Boumerdes, mémoire fin d'étude master université Abderrahmane MIRA de Bejaïa option*.
13. <https://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/schema-general-dune-installation-de-dessalement>. [En ligne]
14. *mémoire de fin d'étude thème : traitement de l'eau de mer par dessalement et évaluation de l'impact environnemental de la saumure sur le milieu marin DIRIGE par Mr. Amirouche umbb 2017/2018. 101pages*.
15. <https://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/pretraitement/dessalement/dessalement-pre-traitement.htm>. [En ligne]

16. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux>. [En ligne]

17. <https://www.suezwaterhandbook.fr>. [En ligne]

18. <http://www.levideindustriel.com/Thermocompressers>. [En ligne]

19. <http://processs.free.fr/Page>. [En ligne]

20. <https://www.gea.com/fr/produces/pumps-valves-low-components/jet-pumps/thermo-compressors>. [En ligne]

21. thèse présentée par M. MOUDJBER Djamel-Eddine THEME : utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement : cas de l'Algérie département : génie mécanique thèse présentée et soutenue à Mostaganem le 28 janvier 2015.

22. Laura Guimard. *Étude du comportement et modélisation d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation soumise à des régimes transitoires. Génie des procédés. Université de Lyon, 2019, France*.

23. <https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumates/>. [En ligne]