

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie de
l'Environnement

Laboratoire des Biotechnologies et Génie
des Procédés



Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie de l'environnement

Etude des impacts d'une centrale électrique sur l'environnement

**MECHEHED Mohamed
Mokrane**

Sous la direction de Pr. Nabil

MAMERI

Présenté et soutenu publiquement

le 08/07/2021

Composition du jury :

Président	Pr. Madani DROUCHE	Professeur	ENP, Alger
Promoteur	Pr. Nabil MAMERI	Professeur	ENP, Alger
Examineur	Dr. Ouiza KITOUS	Maitre de Conférences A	ENP, Alger

ENP 2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie de
l'Environnement

Laboratoire des Biotechnologies et Génie
des Procédés



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie de l'environnement

Etude des impacts d'une centrale électrique sur l'environnement

MECHEHED Mohamed
Mokrane

Sous la direction de Pr. Nabil

MAMERI

Présenté et soutenu publiquement

le 08/07/2021

Composition du jury :

Président	Pr. Madani DROUCHE	Professeur	ENP, Alger
Promoteur	Pr. Nabil MAMERI	Professeur	ENP, Alger
Examineur	Dr. Ouiza KITOUS	Maitre de Conférences A	ENP, Alger

ENP 2021

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة الآثار البيئية المختلفة لمحطة كاب جينات لتوليد الطاقة في دورة البخار ومقارنتها بالآثار البيئية لمحطة توليد الطاقة في دورة جديدة ولتحديد كمية التلوث الناتج عن المصنع ، أجرينا سلسلة من التحاليل لتصريف السائل من المصنع ثم قدرنا كميات غازات الدفيئة التي تطلقها المرجل. وكانت النتائج في حدود المعايير باستثناء تركيزات الكبريتات التي كانت في حدود 937 مغ/ل بالنسبة لمصنع دورة البخار و 1582 مغ/ل بالنسبة لمصنع الدورة المشتركة. واقتُرحت حلول للحد من هذا التلوث والارتقاء به إلى المستوى. وأجري تقييم لمختلف العمليات المقترحة. وفيما يتعلق بالتنقية الغازية ، استنتج أن سطح الغشاء الكثيف المطلوب هو 2667 متر مربع. أما بالنسبة للتهدئة ، فإن كمية الجير اللازمة كانت 120 كيلوغراما في اليوم.

الكلمات الرئيسية: تقييم التأثير ؛ والنباتات البخارية ؛ معمل الدورة المجمع.

Abstract

The objective of this work is to study the different environmental impacts of the Cap Djinet steam cycle power plant and compare them to those of a new cycle power plant. In order to quantify the pollution generated by the plant, we carried out a series of analyses of the liquid discharges from the plant and then estimated the quantities of greenhouse gases released by the boiler. The results were within the standards with the exception of sulphate concentrations which were in the order of 937 mg/l for the steam-cycle plant and 1582 mg/l for the combined-cycle plant. Solutions have been proposed to reduce this pollution and bring it up to standard. A sizing was carried out for the various processes proposed. For gaseous permeation it was concluded that the required dense membrane surface is 2667 m². As for softening, the amount of lime needed was 120 kg per day.

Keywords: Impact assessment; steam plant; combined cycle plant.

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier les différents impacts sur l'environnement de la centrale électrique à Cycle vapeur de Cap Djinet et de les comparer à ceux d'une nouvelle centrale à cycle combiné. Afin de quantifier la pollution générée par la centrale nous avons effectué une série d'analyse des rejets liquides de la centrale, puis nous avons estimé les quantités de gaz à effet serre dégagés par la chaudière. Les résultats étaient dans les normes à l'exception des concentrations en sulfates qui étaient de l'ordre de 937 mg/l pour la centrale à cycle vapeur et de 1582 mg/l pour la centrale à cycle combiné. Des solutions ont été proposées afin de réduire cette pollution et la rendre conforme aux normes. Un dimensionnement a été effectué pour les différents procédés proposés. Pour la perméation gazeuse il a été conclu que la surface de membrane dense nécessaire est de 2667 m². Quant à l'adoucissement, la quantité de chaux nécessaire était de 120 kg Par jour.

Mots clés : Étude d'impact; centrale à vapeur; centrale à cycle combiné.

Remerciements

Louange à Dieu seul, clément et miséricordieux

Tous d'abord, je tiens à adresser mes reconnaissances et vifs remerciements à mon encadreur Monsieur Nabil Mameri, qui m'a assisté durant toute cette période de stage avec son soutien moral et ses précieux conseils afin de mener à bien mon projet de fin d'études, dans l'espérance qu'il soit à la hauteur de ses attentes.

Mes sincères remerciements vont ensuite à Monsieur marouane hamalite et Mohamed Kherat, pour leurs assistances techniques et morale durant toute la durée du projet .

Je profite de cette occasion pour destiner à mes professeurs ayant contribué à ma formation mes Remerciements les plus sincères, ainsi qu'aux membres du jury qui me font l'honneur d'évaluer ce travail, le professeur Madani Drouiche en tant que président et la docteur Ouiza Kitous en tant qu'examinatrice.

Que toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de notre projet, veuille trouver ici le témoignage de gratitude et de remerciements.

MECHEHED Mohamed mokrane

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	9
Chapitre 1 :La centrale de cap Djinet	11
1.Presentation de la centrale de cap Djinet	12
1.1.Introduction	12
1.2. Plan de masse :	13
1.3.Organigramme	14
1.4.Caractéristiques techniques de la centrale	15
1.4.1.Combustible	15
1.4.2.Huiles dans le transformateur et huiles de lubrification	15
1.4.3.Descriptif des organes de la centrale	16
1.4.3.1.Générateur de vapeur	16
1.4.3.2. Alternateur	16
1.4.3.3.La turbine	16
1.4.3.4.La bâche alimentaire	17
1.4.3.5.Poste d'eau	17
1.4.3.6.Auxiliaires communs aux quatre tranches a.Station de dessalement	18
b.Station de déminéralisation	19
c.Station de production d'hydrogène	20
d.Station d'électrochloration	21
e. Commande et contrôle	21
f.Système de surveillance, d'alarme et d'analyse	21
1.5.Principe de fonctionnement	21
1.6.Fonctionnement d'une centrale à cycle combiné	24
Chapitre 2 : Matériel et méthodes	25

Matériel et méthodes	26
1.1.Dosage des sulfates	26
Principe	26
1.2. Dosage des nitrites	26
Principe	27
1.3. Dosage des phosphates	27
Principe	29
1.4. Mesure du pH	29
1.5. Mesure de la conductivité	30
1.6. Mesure des concentration	30
Chapitre 3 : Résultats et discussions	31
3.1.1.Résultats des analyses des rejets hydriques	31
3.1.2.discussion des résultats obtenu	31
pH	31
Conductivité	33
Sulfates	33
Nitrites	33
Phosphates	33
3.2.Rejets atmosphériques	33
3.3.Rejet des huiles	35
Chapitre 4 : solutions et alternatives	36
Solutions proposées	37
4.1.Permeation gazeuse	37
Definition	37
Caractéristiques de la perméation gazeuse	37
Structure d'un module membranaire	38
L'échangeur de chaleur	39
Principe	39
Dimensionnement de l'échangeur	40
Ordre de grandeur du captage du CO2	44

4.2.Adoucissement de l'eau	45
Conclusion	46
Références bibliographiques	48
Annexe	51
Contexte réglementaire	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : la centrale de Cap Djinet (fournie par la centrale)	12
Figure 2 : plan de masse de la centrale de Cap Djinet (fournie par la centrale)	13
Figure 3 : schéma représentatif du fonctionnement du procédé de dessalement multi stage flash (Abraha, 2015)	18
Figure 4 : échange d'ions (HOULDSWORTH, 1980)	19
Figure 5 : représentation d'un électrolyseur bipolaire ((Dincer, 2016)	20
Figure 6 : principe de fonctionnement d'une centrale à cycle vapeur	22
Figure 7 : schéma synoptique d'une tranche thermique (fourni par la centrale)	22
Figure 8 : fonctionnement d'une centrale à cycle combiné (Cihan, 2006)	24
Figure 9 : pH mètre	28
Figure 10 : conductimètre	29
Figure 11 : spectrophotomètre à uv visibles	29
Figure 12 : les différentes techniques dans l'alimentation en flux gazeux (Pfister, 2017)	38
Figure 13 : les différents types de modules membranaires (Pfister, 2017)	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : résultats des analyses des rejets liquides	31
Tableau 2 : les valeurs réglementaires algériennes sur la qualité de l'air et les valeurs guides de l'OMS (journal officiel de la république algérienne, guide de OMS)	34
Tableau 3 : Valeurs des coefficients d'émission (et de leurs sources) utilisés pour calculer les émissions de gaz à effet de serre (inventaire canadien des gaz à effet de serre)	34
Tableau 4 : débits des émission en gaz à effet de serre	35

Introduction

Le secteur de l'énergie représente un acteur majeur dans l'économie du pays et par ce fait il joue un rôle très important dans le développement et la prospérité de la nation. Parmi les différentes sources d'énergie qui existent l'électricité se démarque des autres étant indispensable quel que soit le secteur d'activité. Il est donc nécessaire de subvenir aux besoins en électricité d'une nation, pour y parvenir l'installation de centrales électriques s'impose. Il existe plusieurs types de centrales électriques, dont les centrales thermiques à vapeur.

Les centrales thermiques à vapeur jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en énergie électrique. Le cycle de vapeur selon Clausius-Rankin est aujourd'hui encore l'un des cycles les plus importants et les plus répandus dans l'industrie.

Dans une centrale thermique à vapeur, une turbine à vapeur entraînée par de la vapeur produit de l'énergie mécanique. Cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique dans des générateurs. La vapeur requise peut être produite, par exemple au moyen d'énergie nucléaire, de combustibles fossiles, d'énergie solaire ou par géothermie.

Dans le travail qui va suivre, nous allons tout d'abord commencer par présenter la centrale à vapeur de Cap Djinet qui sera notre sujet d'étude puis nous ajouterons un récapitulatif sur les nouvelles centrales à cycle combiné. Par la suite une série d'analyses sera effectuée sur les différents rejets liquides de la centrale à vapeur mais aussi de la nouvelle centrale à cycle combiné. Nous tenterons par la suite de quantifier les rejets atmosphériques générés par la centrale en se basant sur des estimations trouvées dans la bibliographie. Tout cela aura pour but d'étudier l'impact qu'aura la centrale sur l'environnement. Pour finir des solutions seront proposées afin de diminuer la pollution potentielle que pourrait générer cette centrale .

Chapitre 1 :La centrale de cap Djinet

1.Presentation de la centrale de cap Djinet

1.1.Introduction

La centrale thermique de Cap Djinet est une centrale de production d'électricité dont le principe de fonctionnement repose sur un cycle à vapeur. Située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Boumerdes, elle occupe une superficie de **35** hectares.

Le choix de ce site est fait sur la base des critères suivants :

- Proximité de consommateurs importants, situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Reghaia.
- les conditions du sous-sol favorable, elle ne nécessite donc pas de fondations profondes.

La centrale thermoélectrique de Cap Djinet, dont la construction a été décidée en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays, est composée de quatre groupes monobloc d'une puissance unitaire de **168 Méga Watts** (borne alternateur) totalisant une capacité installée de **672 Méga Watts** (borne usine).

Les quatre groupes alternateurs sont alimentés par quatre chaudières à haute pression d'environ **160Bars** et de **530 m³/h** de débit. En ce qui concerne l'investissement global de la centrale, celui-ci s'élève à deux mille cinq cents millions de dinars (**2 500 000 000 DA**).



Figure 1 : la centrale de Cap Djinet (fournie par la centrale)

1.2. Plan de masse :

Il est présenté dans la figure ci- après :

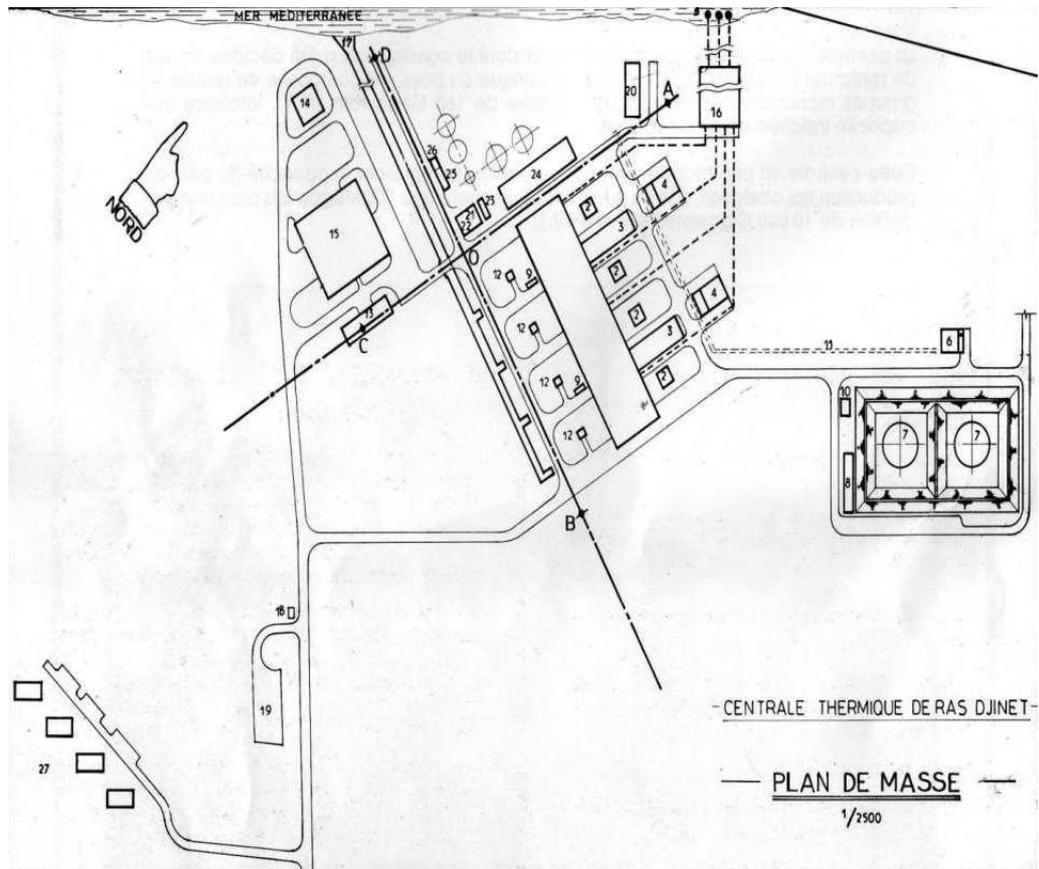
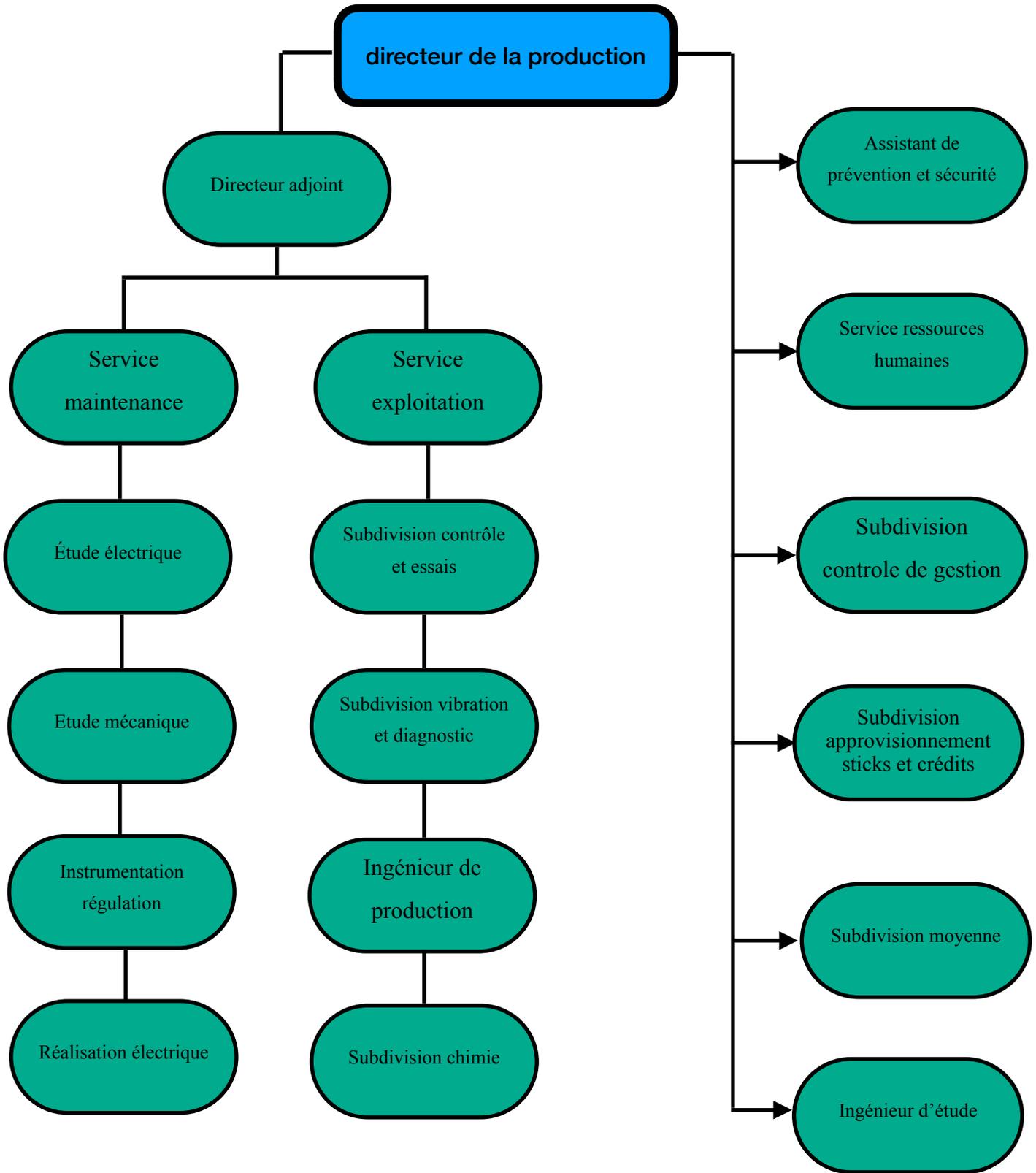


Figure 2 : plan de masse de la centrale de Cap Djinet (fournie par la centrale)

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1- Salle des machines. | 15- Atelier magazine. |
| 2- Chaudière. | 16- Station de pompage. |
| 3- Locaux des auxiliaires électriques. | 17- Canal et rejet d'eau de mer |
| 4- Locaux des auxiliaires mécaniques. | 18- Poste de garde. |
| 5- Tour de prise d'eau de mer . | 19- Parking. |
| 6- Station de détente de gaz. | 20- Station de chloration. |
| 7- Réservoir stockage fuel. | 21- Préparation d'eau potable. |
| 8- Station pompage et dépotage fuel. | 22- Déminéralisation |
| 9- Station de production H ₂ . | 23- Fosse de neutralisation. |
| 10- Poste d'incendie à mousse. | 24- Dessalement d'eau de mer. |
| 11- Rack à tuyauterie. | 25- Station des pompes d'incendie. |
| 12- Air des transformateurs. | 26- Pompes d'eau déminéralisée |
| 13- Bâtiment administrative. | 27- Logements d'exploitation. |
| 14- Cantine. | |

1.3.Organigrame



1.4.Caractéristiques techniques de la centrale

1.4.1.Combustible

Le combustible principal utilisé dans les chaudières est le **gaz naturel** de HASSI-R'MEL, acheminé par gazoduc. Un débit de **20 000 m³/h** de gaz est nécessaire pour assurer la pleine charge d'un groupe.

En cas d'indisponibilité du gaz naturel, le secours est assuré par du **fuel** «oïl domestique» à l'aide d'un dispositif d'alimentation composé de deux réservoirs de **10 000 m³** chacun.

1.4.2.Huiles dans le transformateur et huiles de lubrification

Les huiles dans les transformateurs sont utilisés pour des fonctions d'isolation ou comme produits de remplissage de matériel électrique tel que : les transformateurs (de puissance, de distribution, de mesure etc...),condensateurs, câbles etc. Leurs volumes varient suivant leur utilisation, de quelques litres pour les condensateurs à des dizaines de milliers pour les transformateurs de puissance (**nait djoudi, 2014**). Leur rôle essentiel est de diminuer et d'éliminer la quantité d'air et des autres gaz afin optimiser la tenue diélectrique de l'isolation solide. En plus de leurs fonctions diélectriques , les huiles jouent un role dans le transfert de chaleur. En effet même si les transformateurs peuvent atteindre des rendements de 99% ils ne peuvent hélas pas échapper à des pertes d'énergie qui se dissipent sous forme de chaleur . Ces pertes de chaleurs créent un besoin de refroidissement, pour se faire la chaleur sera véhiculé par circulation naturelle ou forcée de l'huile vers les radiateurs extérieurs (**Perrier, 2007**).

Les huiles de lubrification sont des huiles utilisées dans les différents organes de la centrale leur rôle étant de lubrifier les différentes pièces mécanique afin d'assurer leur bon fonctionnement .

1.4.3.Descriptif des organes de la centrale

1.4.3.1.Générateur de vapeur

Son rôle est de transformer l'eau en vapeur à haute pression afin d'alimenter le groupe turbo-alternateur. Il est de type pressurisé à circulation naturelle (circulation naturelle de l'eau et de la vapeur). L'eau arrive par gravité vers les tubes écrans puis s'évapore sous l'effet de la combustion, la vapeur produite sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité).

Ses éléments principaux sont:

- Chambre de combustion
- Les bruleurs
- Ballon chaudière
- Économiseur
- Surchauffeurs
- Désurchauffeurs
- Resurchauffeurs
- Colonnes de descente et écrans vaporisateurs
- Réchauffeur rotatif d'air de combustion

1.4.3.2. Alternateur

c'est une machine qui transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique, l'énergie disponible sur l'arbre de la turbine est communiquée à l'alternateur qui se compose essentiellement d'un rotor et d'un stator. L'application d'un courant direct au rotor produit un champ magnétique. La rotation du rotor provoque la rotation du champ magnétique, ce qui induit un courant triphasé.

1.4.3.3.La turbine

La turbine est placée entre la source chaude (chaudière) et la source froide (condenseur), elle assure la transformation de l'énergie de la vapeur en énergie mécanique transmise à l'arbre de rotation de l'alternateur. Elle contient 3 corps:

Corps HP (haute pression) : est constitué d'une enveloppe externe en tonneau sous plan de joint axial et une enveloppe interne divisée, selon le même plan de joint axial et montée à l'intérieur de l'enveloppe externe.

Corps MP (moyenne pression) : est composé d'une enveloppe externe, sous plan de joint horizontal et une enveloppe interne à double flux, la vapeur resurchauffée pénètre au milieu de l'enveloppe par le bas et par le haut.

Corps BP (basse pression): est composé de trois enveloppes à plan de joint horizontal, le corps BP est de type double flux composé d'une carcasse et d'une double enveloppe, la vapeur qui sort du corps MP pénètre dans celui-ci pour empêcher la déformation des enveloppes sous l'effet des dilatations thermiques.

1.4.3.4. La bêche alimentaire

C'est un réservoir cylindrique combiné avec un dégazeur. Il reçoit l'eau en provenance des pompes d'extraction (eau qui traverse un certain nombre de réchauffeurs) et reçoit de la vapeur en provenance du soutirage de la turbine et le condensat auxiliaire du réchauffeur HP.

L'eau se réchauffe alors jusqu'à la température de saturation correspondante à la pression de soutirage en condensant la vapeur qui est prélevée de la turbine. Il permet donc simultanément de réchauffer l'eau et de conditionner la pression à l'aspiration de la pompe alimentaire.

1.4.3.5. Poste d'eau

Il se compose de :

- Un condenseur: il est placé directement sous le corps basse pression BP de la turbine pour condenser la vapeur évacuée du corps BP par la circulation de l'eau de mer de refroidissement.
- Les pompes d'extraction ce sont des pompes centrifuges à trois étages qui ont pour but de refouler les condensats principaux à la sortie du condenseur jusqu'à la bêche alimentaire et maintenir le niveau d'eau constant au sein du condenseur.
- Les pompes alimentaires servent à refouler l'eau de la bêche alimentaire vers la chaudière

1.4.3.6. Auxiliaires communs aux quatre tranches

a. Station de dessalement

Elle a pour rôle la production de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer pour alimenter la chaudière.

La centrale possède quatre unités de dessalement avec un débit de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune.

Distillation multi stage flash : Le principe de fonctionnement est le suivant: On commence en premier lieu par augmenter la température de l'eau de mer en la maintenant sous pression et ce jusqu'à atteindre la température de saturation correspondante. Par la suite elle sera introduite dans un étage où la pression sera inférieure à sa pression de saturation. Ceci induira donc une vaporisation immédiate par détente appelée flash. Suite à cela la vapeur d'eau s'étant ainsi formée se liquéfiera sur les tubes condensateurs situés en haut de l'enceinte flash. L'eau de mer est ensuite introduite dans un autre étage où la pression y est encore plus faible. La figure 3 représente une installation MSF. (Bandelier, 2016).

L'eau de mer brute est préchauffée en circulant d'abord dans les tubes des condensateurs du dernier étage vers le premier. Sa température augmente progressivement grâce à l'enthalpie de liquéfaction de la vapeur d'eau. Ceci permet de limiter la consommation globale d'énergie thermique puisqu'une grande partie est récupérée par le préchauffage de l'eau de mer. (Guimard, 2019).

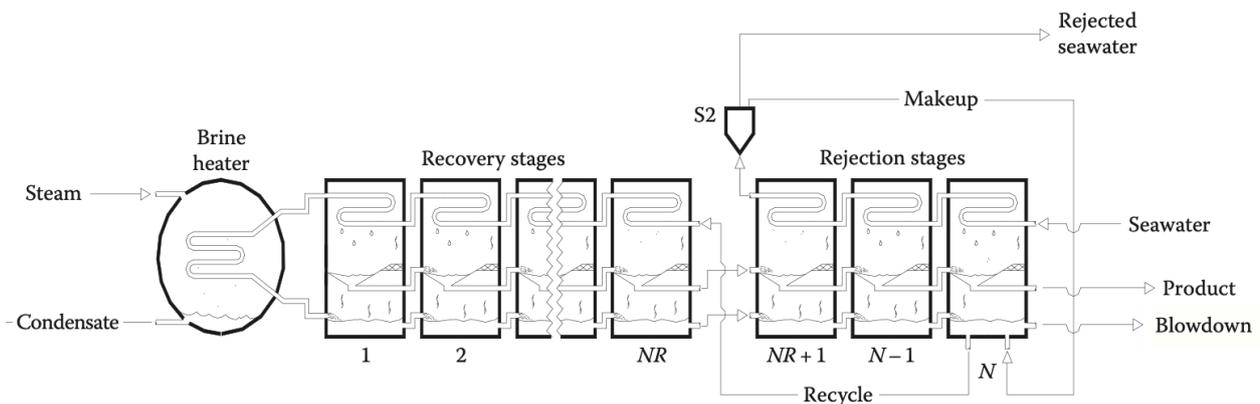


Figure 3 : schéma représentatif du fonctionnement du procédé de dessalement multi stage flash (Abraha, 2015)

L'eau dessalée est stockée dans deux réservoirs de 2700 m^3 chacun avant d'être déminéralisée. (Conductibilité $< 30 \mu\text{s}/\text{cm}$)

b.Station de déminéralisation

Deux chaînes de déminéralisation à lit mélangés de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le circuit eau-vapeur.

Échange d'ions : l'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'un certain signe contenus dans une solution sont retirés de cette solution par fixation sur un matériau solide (l'échangeur d'ion) pour être remplacés par d'autres ions de même signe libérés par le solide. L'échange d'ions est stœchiométrique : un ion sortant de l'échangeur doit être remplacé par un ion équivalent de la solution afin de préserver l'électroneutralité dans l'échangeur et dans la solution.

Les échangeurs d'ions se présentent le plus souvent sous forme de billes sphériques, mais peuvent exister parfois sous forme de fibres. Un échangeur d'ions est composé d'une matrice insoluble qui porte des groupes chargés (le groupe fonctionnel), chimiquement liés et des ions mobiles de charge opposée. La matrice peut se composer de silicates d'alumine, de résines synthétiques, de polysaccharides, etc. La nature de la matrice détermine principalement la stabilité mécanique, la porosité et la capacité d'échange. Les ions ayant la même charge que le groupe fonctionnel de l'échangeur sont appelés co-ions, tandis que ceux ayant une charge opposée sont dits contre-ions.

(lu,2018)

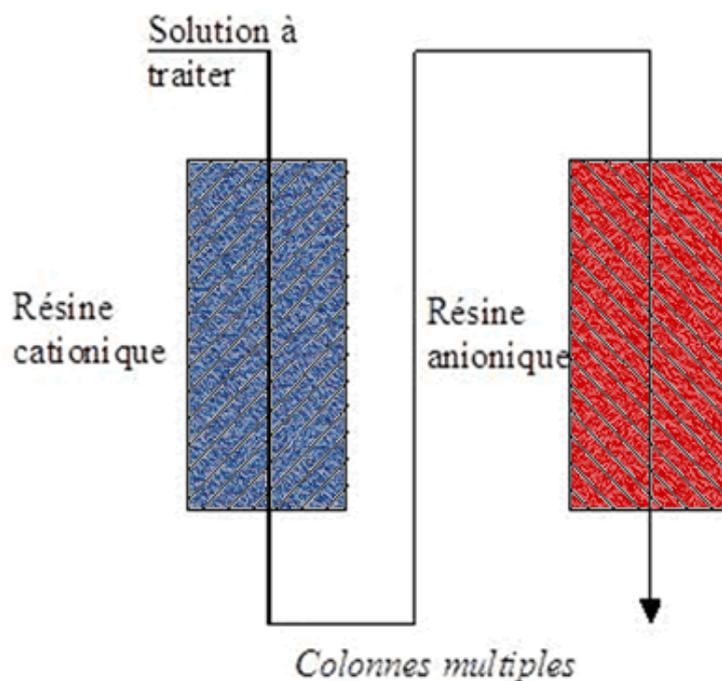


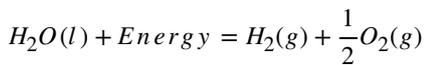
Figure 4 : échange d'ions (HOULDSWORTH, 1980)

Le stockage d'eau déminéralisé se fait dans deux réservoirs de 1500 m^3 chacun. (conductivité < $0,1 \mu\text{s}/\text{cm}$)

c. Station de production d'hydrogène

L'électrolyseur bipolaire permet la production d'hydrogène et d'oxygène de grande pureté, l'hydrogène produit sert au refroidissement des quatre alternateurs de la centrale. Sous une pression de **3 bars**, en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

Électrolyse alcaline: lorsqu'une molécule d'eau traverse un procédé électrochimique elle se divise en molécules de gaz d'hydrogène et d'oxygène, ce procédé est appelé électrolyse. On a recourt à l'électricité afin de séparer les molécules d'hydrogène et d'oxygène en leur formes gazeuses. L'équation simplifié de électrolyse s'écrit comme suit:



Ce procédé nécessite de l'énergie telle que l'énergie électrique, de plus l'ajout de base ou d'acide est requis afin d'augmenter la conductivité. Dans les électrolyseurs alcalins les bases sont communément le KOH ou le NaOH. Pour ce qui l'en est de la centrale la base utilisé est le KOH . La figure 5 résume le principe de fonction d'un électrolyseur bipolaire .(Dincer, 2016)

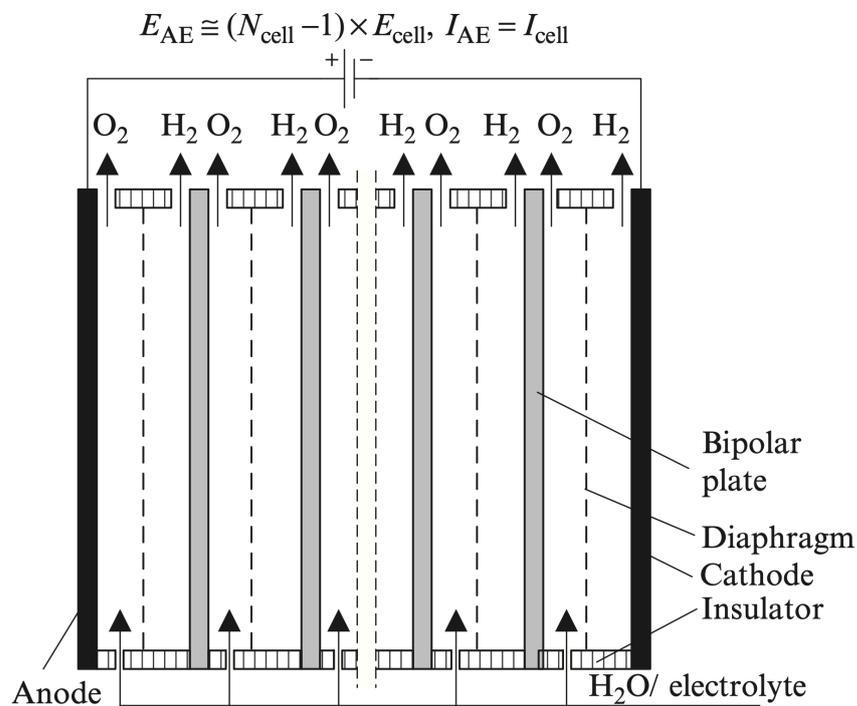


Figure 5 : représentation d'un électrolyseur bipolaire ((Dincer, 2016)

d.Station d'électrochloration

La chloration de l'eau de mer permet de préserver les équipements traversés par l'eau de mer contre la prolifération d'organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium. La production de ce dernière en est assurée par une station d'électrochloration (par électrolyse de l'eau de mer) d'une capacité de **150 kg/h** de chlore actif.

e. Commande et contrôle

La centrale se caractérise par un degré élevé d'automatisation et de centralisation des commandes. On dénombre une quarantaine de chaînes de régulation par groupe de production qui permet un pilotage automatique du groupe.

f.Système de surveillance, d'alarme et d'analyse

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production, des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau d'eau, vibrations, etc.) des différents équipement du groupe, sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil.

Pour une meilleure analyse en cas d'incendie un consigneur d'état est installé. Il permet d'enregistrer les alarmes dans un ordre chronologique.

1.5.Principe de fonctionnement

La production de l'électricité commence par la transformation de l'énergie chimique renfermée dans le combustible. Cette énergie se voit alors transformée en énergie thermique qui se chargera de transformer l'eau en vapeur. La vapeur issue de l'étape procédante traversera la turbine vapeur. La turbine se mettra alors à tourner sous l'effet de la pression générée par la vapeur produisant ainsi une énergie mécanique. l'énergie mécanique sera à son tour transformée en énergie électrique grâce à des transformateurs. *(Benfattoum,2011)*

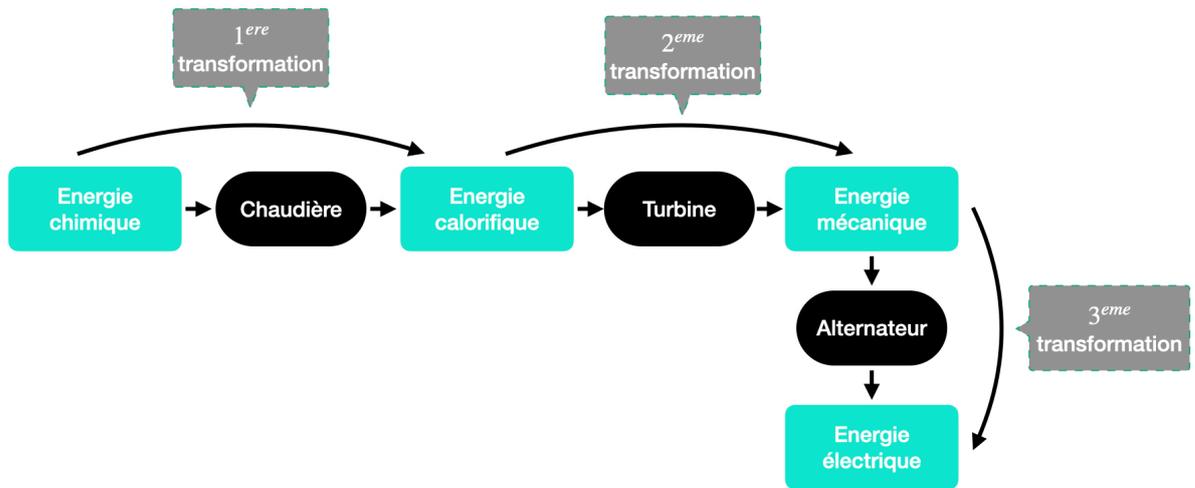


Figure 6 : principe de fonctionnement d'une centrale a cycle vapeur

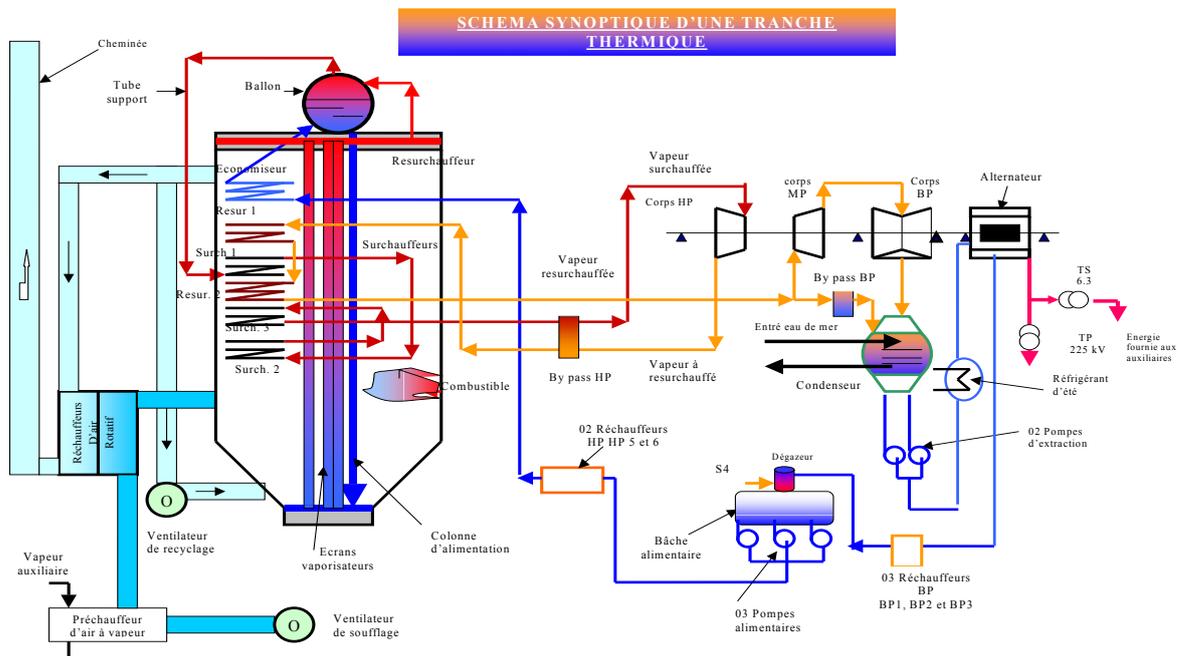


Figure 7 : schéma synoptique d'une tranche thermique (fourni par la centrale)

1.6.Fonctionnement d'une centrale à cycle combiné

Tout au long de notre travail nous nous focaliserons sur l'étude de la centrale à vapeur de Cap d'Or. Cependant, nous comparerons certains aspects concernant cette dernière à une centrale à cycle combiné afin de mettre en valeur les avantages des nouvelles technologies en ce qui concerne la production d'énergie électrique.

Le principe de fonctionnement d'une centrale à cycle combiné à gaz (ou CCCG) consiste à combiner deux équipements énergétiques (une turbine à gaz à une turbine à vapeur) pour générer de l'électricité. **(association des entreprises électriques Suisses, 2020)**

Production d'électricité par la turbine à gaz

L'air injecté dans un compresseur à haute pression est propulsé dans la chambre de combustion où est injecté le gaz naturel. L'énergie de la combustion du gaz naturel fait tourner la turbine à gaz. Le mouvement de rotation de la turbine crée une énergie mécanique qui sera par la suite transformée en énergie électrique grâce à des transformateurs.

Utilisation des gaz d'échappement de la turbine à gaz pour produire de la vapeur d'eau

Les gaz d'échappement de la turbine à gaz atteignent généralement des températures supérieures à 500°C, selon le type de turbine et les conditions ambiantes. La chaleur des gaz d'échappement est captée dans une chaudière de récupération pour vaporiser de l'eau déminéralisée.

Production d'électricité par la turbine à vapeur

La vapeur sous pression est envoyée vers une turbine à vapeur qui, en tournant, transforme l'énergie thermique en énergie mécanique. L'énergie produite est convertie en électricité et évacuée vers le transformateur.

Condensation de la vapeur d'eau

La vapeur issue de la turbine vapeur est dirigée vers un aérocondenseur pour être refroidie et retransformée en eau liquide. L'eau est ensuite renvoyée dans la chaudière de récupération. Le circuit vapeur est donc un circuit fermé.

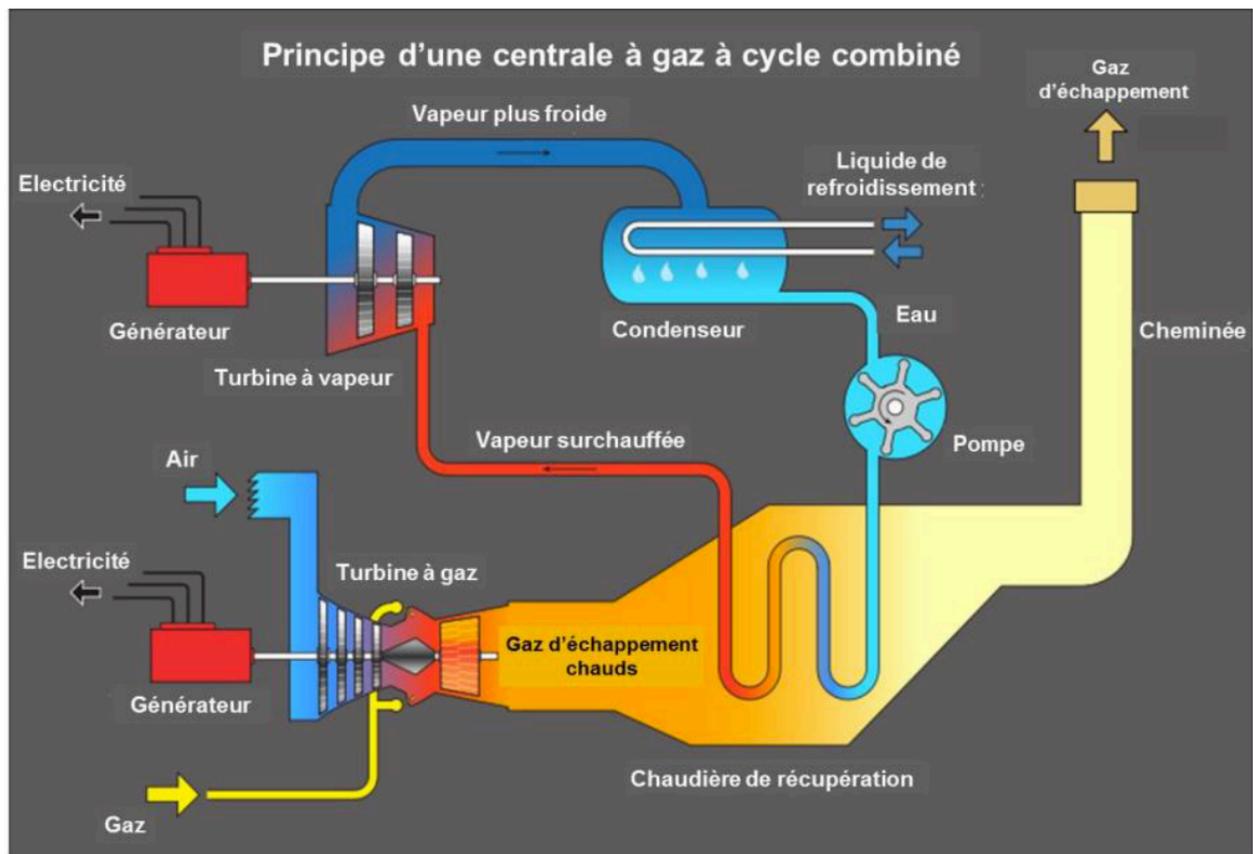


Figure 8 : fonctionnement d'une centrale à cycle combiné (Cihan, 2006)

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

Afin d'avoir une idée plus précises sur la composition des rejets de la centrale, différentes analyses ont été faites sur les effluents liquides de la station de traitement de l'eau . La centrale ayant besoin d'une eau d'une grande pureté (avec une résistivité de l'ordre de 18.2 M Ω) afin de produire la vapeur qui circule dans la turbine, plusieurs étapes de traitement sont nécessaire, durant chaque étape on a recourt à un procédé différent. Ces procédés sont :

- dessalement multi stage flash
- déméralisation sur colonne a résines échangeuses d'ions
- production de H_2

En plus des rejets générés par la centrale à vapeur il y a eu la possibilité d'effectuer un prélèvement au niveau du canal de rejet de la nouvelle centrale à cycle combiné qui se trouve à proximité de la centrale à vapeur

1.1. Dosage des sulfates

– La méthode néphélométrique, directe a été utilisée. Elle convient pour les eaux contenant 5 à 40 mg/L. Cependant, la couleur de l'eau, les matières en suspension, les matières organiques, sont susceptibles de gêner le dosage. Dans notre cas, l'eau étant claire, ce problème ne s'est pas posé.

Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum à l'aide d'une solution de chlorure de barium. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre à une longueur d'onde de 650 nm (Rodier, 2009).

1.2. Dosage des nitrites

Suivant l'origine des eaux, la teneur en nitrites est assez variable. La méthode à la sulfanilamide (**par spectrométrie d'absorption moléculaire**) a une sensibilité de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Il sera nécessaire d'en tenir compte pour l'interprétation des résultats et de prendre toutes précautions utiles pour la pureté des réactifs et la propreté de la verrerie.

Sous l'action des phénomènes biologiques, l'équilibre entre l'ammoniaque, les nitrites et les nitrates peut évoluer rapidement. Il convient donc de procéder au dosage des nitrites le plus tôt possible après le prélèvement en le conservant à 4 °C.

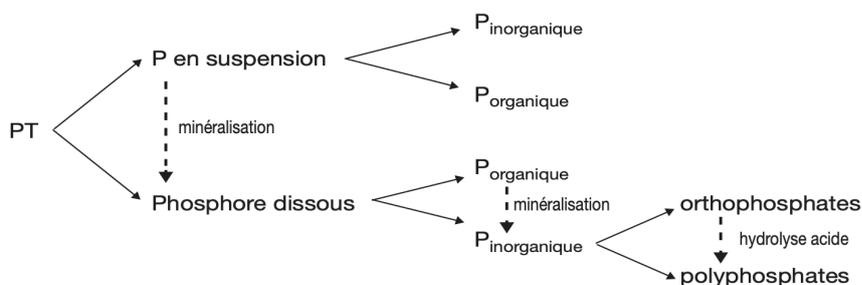
Principe

La diazotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de *N*-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique.

Pour l'analyse de nos échantillons, on introduit 50 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée avant de rajouter 1 mL de réactif de diazotation, puis l'absorbance est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 543 nm (2009,Rodier).

1.3. Dosage des phosphates

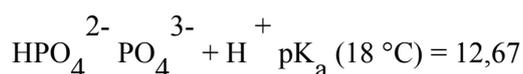
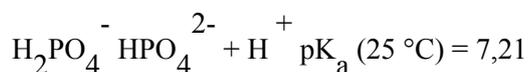
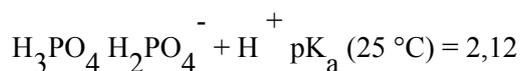
Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension. Le phosphore total dissous comprend le phosphore organique et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les orthophosphates et les polyphosphates).



Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrométrique sont considérés comme étant des orthophosphates, dont la teneur peut être exprimée en mg/L de P, de PO_4^{3-} ou de P_2O_5 .

$$1 \text{ mg/L } \text{PO}_4^{3-} = 0,747 \text{ mg/L } \text{P}_2\text{O}_5 = 0,326 \text{ mg/L P.}$$

Les orthophosphates ne sont pas (ou rarement) dans les eaux sous forme PO_4^{3-} qui est la base finale des trois équilibres suivants de l'acide phosphorique :



Aux pH des eaux naturelles (entre 7 et 8) les orthophosphates sont sous formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} principalement.

Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

1.4. Mesure du pH

La mesure du pH a été faite à l'aide d'un pH mètre de la marque metrohm model 691 pH meter.



Figure 9 : pH mètre

1.5. Mesure de la conductivité

La mesure de la conductivité a été faite à l'aide d'un conductimètre de la marque metrohm model 712 conductometer.



Figure 10 : conductimètre

1.6. Mesure des concentrations

La lecture des concentrations des analyses des sulfates, nitrites et phosphates a été effectuée sur un spectrophotomètre à uv visibles de la marque SECOMAM model UviLine 9400c.



Figure 11 : spectrophotomètre à uv visibles

Chapitre 3 : Résultats et discussions

3.1.1.Résultats des analyses des rejets hydriques

Les résultats des analyses effectuées sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 1 : résultats des analyses des rejets liquides

Échantillon	Plage	Canal de rejet centrale à vapeur	Canal de rejet centrale à cycle combiné	Fausse de neutralisation	Station de dessalement
pH	7,67	7,78	7,81	8,81	8,12
Conductivité (ms/cm)	48,38	48,20	49,42	0,29	60
Concentration des sulfates (g/L)	1,025	0,937	1,582	< limite de detection	0,980
Concentration des nitrites 5mg/L)	0,04	< limite de detection	< limite de detection	< limite de detection	< limite de detection
Concentration des phosphates (mg/L)	< limite de detection	< limite de detection	< limite de detection	< limite de detection	< limite de detection

Les résultats présentés dans le tableau précédent ont été obtenus suite à l'analyse d'échantillons prélevé durant le fonctionnement de la centrale. l'analyse des rejets a été faite en triplicata afin de donner des résultats fiables de la qualité de l'eau rejetée.

3.1.2.discussion des résultats obtenu

pH

Selon la réglementation algérien la valeur du pH des effluents liquides rejetés dans la mer doit être comprise entre 6,5 et 8,5. D'après les résultats obtenu lors des analyse on remarque que le pH des eaux du canal de rejet est de 7,78 pour la centrale à vapeur et de 7,81 pour la centrale à cycle combiné, par conséquent la centrale respecte la réglementation. On remarque aussi que la valeur du pH est pratiquement la même que celle relevée au niveau de la plage .

Conductivité

Les résultats des analyses indiquent une conductivité de 48,20 ms/cm pour l'eau du canal de rejet de la centrale à vapeur et de 49,42 ms/cm pour le canal de rejet de la centrale à cycle combiné. En comparaison avec la conductivité obtenue pour la plage (48,38) on remarque que les deux centrales n'ont pas un très grand effet, on peut même dire insignifiant .

Sulfates

Si on se penche sur le principe de fonctionnement de la centrale on peut voir que lors de la production de l'eau ultra pure il n'y pas d'introduction d'éléments pouvant générer des sulfates et afin de le prouver nous avons effectué des analyses de l'eau de mer et de l'eau du canal de rejet. En effet on a obtenu une concentration de 1,025 g/l en sulfate pour l'eau de mer et une concentration de 0,937 g/L pour le canal de rejet de la centrale a vapeur. Des résultat obtenu on peut déduire que la centrale n'introduit pas de sulfates dans le milieu marin elle n'a donc aucun effet pour ce type de composants chimique. D'autre part lorsque nous avons effectué des tests sur l'eau du canal de rejet de la central à cycle combiné on remarque que la concentration en sulfates contenu dans l'eau est de 1,582 g/l ce qui donne une élévation de 0,557 g/l par rapport à la concentration en sulfates contenus dans l'eau de mer, cependant n'ayant pas eu la possibilité d'accéder à la centrale à cycle combiné il est donc difficile d'expliquer la raison de cette élévation. Pour ce qui est de la réglementation algérienne la quantité de sulfates à ne pas dépasser est de 400 mg/l on en déduit que la centrale à cycle combiné n'entre pas dans les normes .

Il est à noter qu'au niveau de la central à vapeur les eaux usées ne sont pas rejeté à la mer ce qui maintient les sulfates à leur concentration initiale. Par contre pour la centrale à cycle combiné nous ne pouvons nous prononcer sur ce point.

Nitrites

Après avoir effectué plusieurs essais d'analyse à différentes dilutions il était toujours impossible de déterminer la concentration en nitrites dans les rejets de la centrale a vapeur mais aussi ceux de la centrale à cycle combine car elles étaient inférieures au seuil de détection.

Phosphates

Plusieurs essais d'analyse a différentes dilutions ont été effectués cependant il était toujours impossible de déterminer la concentration en phosphates dans les rejets de la centrale a vapeur mais aussi ceux de la centrale à cycle combine car elles étaient inférieures au seuil de détection.

3.2.Rejets atmosphériques

les rejets atmosphériques sont principalement dus à la combustion des gaz par la chaudière . Les rejets associés à d'autres types d'activité sur le site sont considérés comme mineurs et n'ont pas été pris en compte.

Les émissions sont évacuées par une cheminée favorisant la dispersion atmosphérique des gaz d'échappement. Cette cheminée dite principale est associée à chacune des tranches .

Les principales émissions atmosphériques proviennent de la combustion du gaz naturel. Les polluants atmosphériques émis par la combustion du gaz sont principalement :

- Des oxydes d'azote
- Du monoxyde de carbone
- Et dans une moindre mesure du dioxyde de soufre et des poussières.

L'installation est toutefois alimentée par du gazole durant les périodes d'indisponibilité du gaz naturel

Les principaux polluants émis par la combustion du gazole sont :

- Des oxydes d'azote;
- Du monoxyde de carbone;
- Du dioxyde de soufre;
- Des poussières.

L'évaluation des niveaux de concentration susceptibles d'être retrouvés dans l'air ambiant doivent être comparés dans le tableau suivant, aux objectifs de qualité de l'air, tels que définis par le décret exécutif 06-02 du 7 janvier 2006 ou aux valeurs guides de l'OMS.

**Tableau 2 : les valeurs réglementaires algériennes sur la qualité de l'air et les valeurs guides de l'OMS
(journal officiel de la république algérienne, guide de OMS)**

Parametres	Type de valeur	VALEURS REGLEMENTAIRES ALGERIENNES (EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VALEURS GUIDES OMS (EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Oxydes d'azote (NO _x)	Moyenne annuelle	Objectif de qualité: 135	40
Monoxyde de carbone (CO)	Moyenne annuelle	-	-
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Moyenne annuelle	Objectif de qualité: 150	20
PM ₁₀	Moyenne annuelle	Objectif de qualité: 80	50

Cependant ce travail n'a pas été effectué car il n'y pas eu la possibilité d'analyser l'air entourant la centrale , par absence de moyens d'analyse.

D'autre part nous nous sommes intéressé à l'évaluation de l'effet de serre généré par les fumées de la centrale. Pour se faire nous nous sommes tournés vers la recherche de publications permettant d'identifier et de quantifier ses gaz rejetés au niveau de la cheminé d'évacuation. Le tableau qui suit donne les coefficient d'émission en gaz a effet de serre suite à la combustion du gaz naturel:

Tableau 3 : Valeurs des coefficients d'émission (et de leurs sources) utilisés pour calculer les émissions de gaz à effet de serre (inventaire canadien des gaz à effet de serre)

Usage	CO ₂ (g/m ³ de combustible)	CH ₄ (g/m ³ de combustible)	N ₂ O(g/m ³ de combustible)
Chaudière de centrale électrique	1880	0,048	0,02
Chaudière industrielle	1880	0,048	0,02
Chaudière commerciale / Chaudière domestique	1880	0,043	0,02
Appareil de chauffage	1880	0,043	0,02
Autre	1880	0,043	0,02

- La centrale possède 4 tranches recevant chacune un débit de $20000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de gaz naturel .
- En moyenne 2 tranches tournent simultanément, ce qui donne un débit de $40000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.
- La centrale est mise en marche en moyenne 8000 h par an ce qui nous permet d'estimer le volume de rejet généré durant une année

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 4 : débits des émission en gaz à effet de serre

	CO_2	CH_4	N_2O
Emission (kg/h)	75200	1,920	0,8
Emission (tonne/an)	601600	15,36	6,4

Le captage du CO_2 permettrait d'améliorer la qualité de l'air de la région connu pour être une zone touristique et forestière. Nous allons proposer ultérieurement des alternatives offrant la possibilité de diminuer l'effet de serre causé par le rejet des ces gaz

3.3.Rejet des huiles

Une fois leur cycle de vie terminé les huiles utilisées au niveau de la centrale pour la lubrification des pièces et celles utilisées au niveau du transformateur sont récupérées, stockées puis transférées vers une entreprise spécialisée dans le traitement des déchets industriels ou elle seront traitées .

Chapitre 4 : solutions et alternatives

Solutions proposées

4.1. Permeation gazeuse

Definition

La perméation gazeuse offre la possibilité de séparer les composés gazeux qui ne peuvent être condensés. Elle fait parti des procédés de séparation dits physiques (ne faisant pas intervenir de réaction chimique), et est souvent qualifiée de procédé vert car elle ne nécessite pas l'utilisation de solvants. L'un des avantages majeurs avec ce procédé est sa capacité à s'adapter aux récentes technologies. Ce procédé de séparation continu met au profit la capacité sélectives des membranes denses afin de séparer les mélanges gazeux. Certains procédés de perméation gazeuse sont utilisés pour la séparation de l'air (O_2/N_2), du gaz naturel (CO_2/CH_4) et même dans la récupération de l'hydrogène (CO/CH_4). À l'inverse des membranes poreuses, dans ce type d'installations on ne fait pas face au problème de colmatage car on traite exclusivement des gaz. Les membranes denses ont généralement une durée de vie qui varie de 3 à 5 ans. Une fois ce seuil atteint la chute des performances de séparation devient trop contraignante. (Pfister, 2017)

Caractéristiques de la perméation gazeuse

La perméation gazeuse fait parti des quatre grandes familles de procédés se basant sur la technologie des membranes denses, et comme chacun de ces procédés elle possède ses propres spécificités. Dans un procédé de perméation gazeuse les membranes denses séparent deux phases gazeuses. Les modules membranaires sont des installations caractérisées par une entrée et deux sorties, le rétentat et le perméat. Le perméat étant le flux qui traverse la membrane et le rétentat étant le flux retenu par la membrane. Dans notre étude étant le captage du CO_2 en post combustion du gaz naturel, le rétentat sera donc le flux appauvri en CO_2 et le perméat le flux enrichi en CO_2 . Afin de générer un flux transmembranaire il suffit de créer une différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane ($p > p'$). Pour se faire, on a le choix entre trois voies différentes. Ces trois voies (compression en amont de la membrane, un vide en aval de la membrane ou les deux) sont présentées dans la figure dans cet ordre

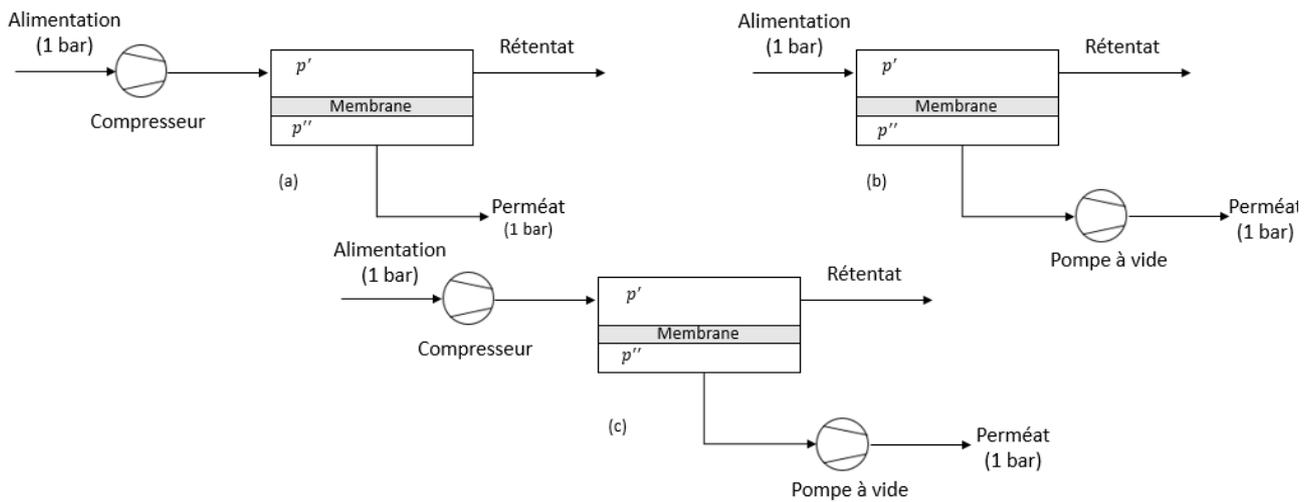


Figure 12 : les différentes techniques dans l'alimentation en flux gazeux (Pfister, 2017)

La perméation gazeuse fait face à des limitations en ce qui concerne la sélectivité et la productivité. Pour des objectifs de taux de capture en CO_2 élevée (>90%), lorsque la fraction volumique en CO_2 est faible (<20%), l'utilisation de procédés multi-étages est nécessaire. Cependant ce type de procédé présente un inconvénient majeur. Dans ce type d'installations la différence de pression doit être générée à chaque étage, ce qui impose l'utilisation d'un grand nombre de compresseurs et/ou de pompes à vide, causant ainsi une augmentation rapide du coût du procédé. La perméation gazeuse est un procédé qui ne dépasse pas les trois étages généralement.

Structure d'un module membranaire

Les membranes denses se constituent généralement de polymères, elles tolèrent les hautes pressions cependant elles sont très sensibles aux hautes températures. Les membranes denses ayant une structure solide, ceci offre une grande liberté sur le design et la forme du module membranaire. Trois géométries principales sont envisageables

Les modules plans ont été les premiers développés. Robustes, leur principal défaut est la faible compacité dans le module (compris entre $100 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ et $400 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$). Ce système n'est pas adapté aux modules à une grande surface membranaire.

Le module spiralé a une surface spécifique supérieure, autour de $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Il est composé d'un tube central qui collecte le perméat et des couches successives de membranes et d'espaceurs planes enroulés autour de ce dernier.

Les fibres creuses ont une forme cylindrique, l'alimentation pouvant passer soit à l'intérieur ou à l'extérieur des fibres en fonction de l'orientation de la couche active. Cette géométrie est la plus

compacte, entre $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ et $10000 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$.

Le schéma suivant représente des modélisations des types cités ci-dessus

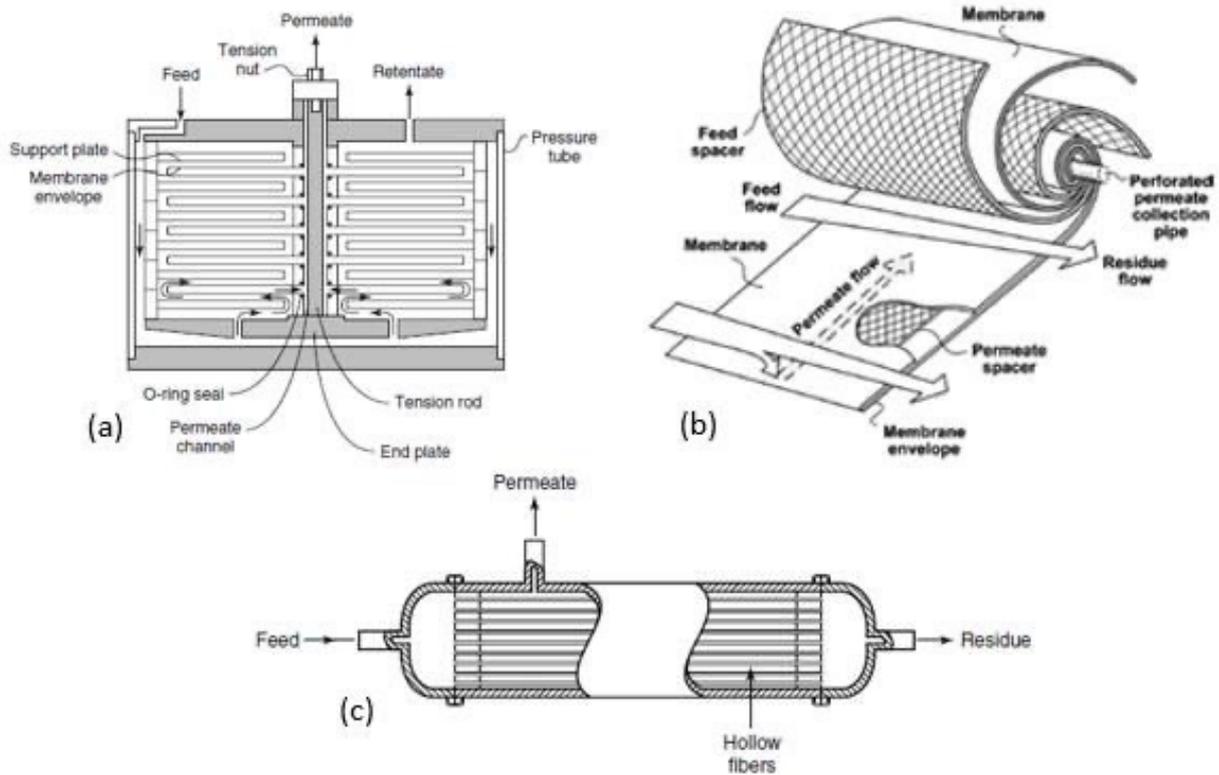


Figure 13 : les différents types de modules membranaires (Pfister, 2017)

L'échangeur de chaleur

Les fumées en sortie de la cheminée se retrouvent à une température avoisinant les 175° . Bien que les membranes denses puissent tolérer de hautes pressions, ce n'est pas le cas en ce qui concerne les hautes températures. En effet le seuil de température toléré est de 50° . Afin de remédier à ce problème, nous allons ajouter un échangeur de chaleur afin de refroidir les fumées. Afin de ne pas perdre d'énergie calorifique contenue dans les fumées, on utilisera la chaleur comme préchauffage au niveau de la station de dessalement.

Principe

Un échangeur de chaleur est un dispositif qui permet de transférer l'énergie thermique entre deux fluides. Les deux fluides sont habituellement séparés par une paroi solide.

Les échangeurs de chaleur possèdent plusieurs utilités parmi lesquelles :

- Refroidir un fluide à l'aide d'un autre fluide

- Lorsque deux réseaux de distribution doivent être séparés pour des problèmes sanitaires ou de corrosion
- Lorsque deux réseaux de distribution doivent être séparés pour des problèmes de pression

Les échangeurs peuvent être classés comme suit

- Selon le type d'écoulement : courant parallèles qu'ils soient de même sens ou de sens contraires, courant croisés, combinaison des deux.
- Selon le type de fluide utilisé : 2 fluides ayant des caractéristiques thermiques similaires, 2 fluides possédant des caractéristiques thermiques différents
 - Selon la surface d'échange : via une paroi matérielle ou par contact direct

Dimensionnement de l'échangeur

Le dimensionnement des échangeurs se fait généralement via le calcul du bilan thermique, tout en prenant en compte les pertes de charges. (BONTEMPS, 1995)

La puissance d'un échangeur s'écrit comme suit

$$P = KS\Delta T_m \quad (1)$$

Tel que :

- K le coefficient de transmission thermique surfacique moyen
- S la surface d'échange
- ΔT_m l'écart de température moyen entre les deux fluides

Afin de déterminer la surface d'échange il nous suffira de calculer les valeurs de P , ΔT_m et K

Détermination de K

La relation permettant de déterminer la valeur de K est donnée par

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + R_{ec} + R_{ef} \quad (2)$$

tel que h_c pour le CO_2 et le h_f pour l'eau froide

Les valeurs de e et λ sont respectivement 6,02 mm et $3650 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ tel que e l'épaisseur de la paroi et λ la conductivité thermique de la paroi.

Les valeurs de R_{ec} et R_{ef} sont données par le tableau suivant

Fluides	Valeur moyenne de $R_e(m^2K/W)$
Eau de mer T < 50°C	10^{-4}
Eau de mer T > 50°C	2.10^{-4}
Eau de rivière « sale »	10 à 20.10^{-4}
Eau industrielle	2.10^{-4}
Vapeurs non grasses	10^{-4}
Air industriel	4.10^{-4}
Liquide réfrigérant	4 à 6.10^{-4}
Gas-oil	2.10^{-4}

donc $R_{ec} = 4.10^{-4}(m^2K/w)$ et $R_{ef} = 10^{-4}(m^2K/w)$

Pour ce qui est des valeurs de h_c et h_f elles seront déterminées via un logiciel basé sur les relations suivantes

$$R_e = \frac{\rho V d}{\mu} \text{ tel que } R_e \text{ le numéro de Reynolds}$$

$$Nu = \frac{h d}{\lambda}, Nu = 0,028 R_e^{0,8} Pr^{0,4}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \text{ tel que } Pr \text{ le numéro de Prandtl}$$

$$\text{On aura donc } h = \frac{Nu \lambda}{d}$$

Les résultats obtenus sont comme suit

Avec les propriétés thermo-physiques du CO_2

T (°C)	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(J/KgK)$	Z	$\mu(Kg/m.s)$	$\lambda(W/m.K)$
175	1,96	650	0,7124	0,00001275	0,03659

$$T_x = T_p - (T_p - T_e) \exp\left[-\frac{P d h x}{m C_p}\right]$$

$$R_e = 343648,4389$$

$$Pr = 0,22649631$$

$$Nu = 340,9131779$$

$$h = 206,8658902 w/m^2$$

Avec les propriétés thermo-physiques du H_2O

T (°c)	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(J/KgK)$	Z	$\mu(Kg/m.s)$	$\lambda(W/m.K)$
25	964	4185	5.10^{-10}	0,35	0,66

$$R_e = 6157,118021$$

$$Pr = 2219,318182$$

$$Nu = 539,1599783$$

$$h = 5901,253494 \text{ w/m}^2$$

On peut donc déterminer la valeur de K

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + R_{ec} + R_{ef} \quad (2)$$

Ce qui nous donnera donc

$$K = 145 \text{ w/m}^2K$$

Determination de P

$$P = KS\Delta T_m = \dot{m}_c CP_c(T_{ce} - T_{cs}) = \dot{m}_f CP_f(T_{fe} - T_{fs}) \quad (3)$$

\dot{m}_c sera le débit massique des fumées qu'on considérera comme étant celle du CO_2 , les autres particules étant en quantité insignifiante par rapport au CO_2 tel que \dot{m}_c sera donc $\dot{m}_c = 75200kg/h = 20,88kg/s$, $CP_c = 650j/kgK$, $T_{ce} = 175^\circ c$, $T_{cs} = 25^\circ c$

$$AN: P = 208 \times 650 \times (175 - 25) = 2036000j/s = 2036kw/h$$

$$P = 2036000j/s$$

Determination de ΔT_m

$$\Delta T_m = \frac{\delta - \Delta}{\ln(\frac{\delta}{\Delta})} \quad (4)$$

Tel que $\Delta = T_{ce} - T_{fe}$ et $\delta = T_{ce} - T_{fs}$

Tel que T_{ce} (température de la phase chaude d'entrée), T_{fe} (température de la phase froide d'entrée),

T_{fs} (température de la phase froide de sortie)

T_{ce} et T_{fe} sont connues il suffit donc de déterminer T_{fs}

On a

$$P = KS\Delta T_m = \dot{m}_c CP_c(T_{ce} - T_{cs}) = \dot{m}_f CP_f(T_{fe} - T_{fs})$$

Ayant P on peut donc déterminer T_{fs}

$$P = \dot{m}_f C P_f (T_{fe} - T_{fs}) \text{ on aura donc } T_{fs} = \frac{P}{\dot{m}_f C P_f} + T_{fe}$$

$$\dot{m}_f = 139 \text{ kg/s}, C P_f = 1850 \text{ j/kgK}, P = 2036 \text{ Kwh}, T_{fe} = 25^\circ \text{c}$$

$$\text{AN: } T_{fs} = \frac{2036000}{1850 \times 139} + 25 = 32,91^\circ \text{c}$$

On va donc à présent déterminé les valeur de δ et Δ

$$\Delta = T_{ce} - T_{fe} \text{ tel que } T_{ce} = 175^\circ \text{c et } T_{fe} = 25^\circ \text{c}$$

$$\delta = T_{ce} - T_{fs} \text{ tel que } T_{fs} = 32,9^\circ \text{c}$$

$$\text{AN: } \Delta = 175 - 25 = 150^\circ \text{c} = 423 \text{K}, \delta = 175 - 32,9 = 142,1^\circ \text{c} = 415,1 \text{K}$$

On peut donc déterminer ΔT_m

$$\Delta T_m = \frac{\delta - \Delta}{\ln\left(\frac{\delta}{\Delta}\right)}$$

$$\text{AN: } \Delta T_m = \frac{413,1 - 423}{\ln\left(\frac{413,1}{423}\right)} = 419 \text{ K}$$

$$\Delta T_m = 419 \text{K}$$

Après avoir déterminé les 3 grandeurs nécessaire nous pouvons finalement déterminer la surface d'échange nécessaire

$$P = K S \Delta T_m \text{ on aura donc } S = \frac{P}{\Delta T_m K} \quad (5)$$

$$K = 145 \text{ w/m}^2 \text{K}$$

$$\Delta T_m = 419 \text{K}$$

$$P = 2036000 \text{ j/s} = 2036 \text{ kw}$$

$$\text{AN: } S = \frac{2036000}{145 \times 419} = 33,51 \text{m}^2$$

Ordre de grandeur du captage du CO₂

En se référant aux travaux de Pfister (2017) sur le captage du CO₂ en post combustion il est possible de dimensionner la surface de la membrane nécessaire afin de traiter les fumées dégagées au niveau de la centrale .

On sait que la perméance de la membrane est de $15m^3(STP)/m^2 \cdot h \cdot bar$

Le débit volumique du CO₂ est de $40000m^3/h$ car le débit massique est de $75800kg/h$ en divisant par la masse volumique du CO₂ nous Avons obtenu le débit volumique

Nous avons donc pour une pression de 1 bar

$$15m^3/h \rightarrow 1m^2$$

$$40000m^3/h \rightarrow x$$

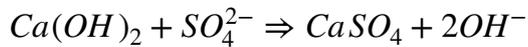
$$x = \frac{40000}{15} = 2667m^2$$

Nous avons donc besoin d'une surface de membrane de $2667 m^2$

Selon la même étude les modules spiralés ont une surface spécifique d'environ $1000m^2/m^3$ nous auront donc besoin d'approximativement 3 modules spiralés . **(Pfister, 2017)**

4.2. Adoucissement de l'eau

Pour ce qui est de la pollution sulfatée causée par les rejets liquides des deux centrales nous avons opté pour un procédé d'adoucissement chimique utilisant de la chaux éteinte. L'équation décrivant la réaction chimique ayant lieu lors du traitement est donnée par :



L'objectif de cet adoucissement est de rendre conforme les rejets de ces centrales à la norme algérienne qui est de 400 mg/l .

Une étude antérieure a été effectuée sur l'adoucissement des eaux avec une concentration en sulfates du même ordre de grandeur que nos rejets (**Bouchahm, 2016**). il a été noté qu'une concentration de 40 mg/l avait un rendement d'élimination des sulfates de l'ordre de 75%. Ce qui rendrait conforme les rejets des deux centrales et les amènerait à des concentrations de l'ordre de 234,5mg/l pour les rejets de la centrale à vapeur et de 395,5mg/l pour la centrale à cycle combiné.

Le débit de sortie des rejets liquides était de 2880 m³/jour . En se référant à l'étude citée préalablement la quantité en chaux éteinte à fournir serait de l'ordre de 120 kilos par jour.

$$m_{chaux\ einte} = 2880 * 40 * 1000 = 115,2 \text{ kg}$$

Nous constatons que cette quantité est relativement faible et peu coûteuse vu sa disponibilité en Algérie. Ceci permet donc de recommander vivement le traitement des sulfates par cette technologie et rendre conforme ainsi les rejets a la réglementation algérienne

Conclusion

Le travail ci-dessus avait pour but d'étudier l'impact d'une centrale à vapeur sur l'environnement.

Plusieurs analyses des rejets générés par la centrale ont été effectuées. Les résultats obtenus étaient dans les normes à l'exception de la concentration en sulfates pour les rejets des deux centrales .

La concentration en sulfates des deux rejets était supérieur à la norme, nous avons eu une concentration en sortie de 937 mg/l pour les rejets de la centrale à vapeur et une concentration de 1582 mg/l pour les rejets de la centrale à cycle combiné. Pour remédier à cela un adoucissement sur chaux éteinte a été proposé afin que les rejets soient conformes aux normes algériennes. Une estimation de la quantité de réactifs nécessaires afin de réaliser ce procédé a montré que les quantités nécessaires n'étaient pas importantes et que cette solution était réalisables.

Pour ce qui est des rejets atmosphérique il a été possible d'estimer approximativement les quantités de gaz à effet de serre rejetés dans l'atmosphère. Suite à cela, une solution de captage du CO_2 en post combustion par un procédé de perméation gazeuse sur membrane dense a été proposée. Un dimensionnement du système, qui comprend un échangeur de chaleur et des modules de membranes a été effectué. Les estimation de l'étude ont montré qu'il serait possible de réduire le taux de CO_2 dans les rejets de 80%

Références bibliographiques

Abraha, W. (2015). Multi-stage Flash Desalination (Modeling, Simulation, and Adaptive Control). In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. CRC Press.

Bandelier, P. (2016). Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres. *Encyclopédie de l'Energie*.

Benfattoum, K. (2011). Etude et suivi du processus de traitement de l'eau de mer dans la centrale thermique de Cap Djinet. Université M'Hamed Bougara -Boumerdès-.

Bontemps, A., Garrigue, A., Goubier, C., Huetz, J., Marvillet, C., Mercier, P., & Vidil, R. (1995). *Échangeurs de chaleur Dimensionnement thermique*.

Cihan, A., Hacıhafizoğlu, O., & Kahveci, K. (2006). Energy-exergy analysis and modernization suggestions for a combined-cycle power plant. *International Journal of Energy Research*, 30(2), 115–126. <https://doi.org/10.1002/er.1133>

Dincer, I. (2016). *Production Sustainable Hydrogen*. Elsevier.

Guimard, L. (2019). Étude du comportement et modélisation d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation soumise à des régimes transitoires [Université de Lyon]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02091474>

Houldsworth, D. W. (1980). Demineralization of whey by means of ion exchange and electro dialysis. *International Journal of Dairy Technology*, 33(2), 45–51. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1980.tb01470.x>

Lu, W. (2018). Étude de l'échange d'ions modulé électriquement : application du couplage échange d'ions-électrodialyse à la séparation de biomolécules [Institut National Polytechnique de Lorraine - École doctorale RP2E École Nationale Supérieure des Industries Chimiques Laboratoire Réactions et Génie des Procédés]. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748797>

Nait djoudi, A. (2014). Caractérisation de l'huile pour transformateurs en service. Université Mouloud Mammeri de tizi-ouzou.

Nora, Hecini, L., & Kherifi, W. (2016). Adoucissement des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien: Cas de la région de Biskra. *Revue Des Sciences de l'Eau*, 29(1), 37–48. <https://doi.org/10.7202/1035715ar>

Perrier, C. (2007). Etude des huiles et des mélanges à base d ' huile minérale pour transformateurs de puissance. l'ecole doctorale electronique, Electrotechnique, Automatique de lyon.

Pfister, M. (2017). Captage du CO₂ en post combustion par procédé de perméation gazeuse.

Rodier, J. (2009). Jean Rodier - L'analyse de l'eau. In *International Journal of Biological and Chemical Sciences* (Vol. 1, Issue 1, p. 1579).

Association des entreprises électriques suisses,. (2020). Centrales à gaz à cycle combiné (CCC). Ccc, 2–11.

Annexe

Contexte réglementaire

Le cadre juridique algérien relatif à la protection de l'environnement en Algérie est principalement défini par la Loi 03-10 du 19 juillet 2003. Cette loi cadre, qui a pour objet la mise en œuvre de la politique nationale de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

La loi 03-10 est fondée sur les principes suivants :

- Préservation de l'environnement et réduction des impacts
- Intégration de l'environnement dans tout le processus de développement
- Promotion des technologies propres
- Implication et responsabilisation des pollueurs
- Implication et responsabilisation des citoyens et associations.

Le décret exécutif 06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement, complété par le décret exécutif 07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Ce décret exécutif 06-198 définit les régimes d'autorisation et de déclaration d'exploitation des établissements classés ainsi que leurs modalités de délivrance. L'présente sous forme de logigramme les procédures d'approbation de l'EIE et les modalités de délivrance de l'autorisation d'exploitation.

Lois generales

- Loi 04-09 du 14 Août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable
- Loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
- loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement et à la prévention de la pollution industrielle dans le cadre du développement durable
- Loi 02-01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations
- Loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets

Protection de l'eau

La protection de l'eau est prévue dans les textes ci-après :

- Décret exécutif 14-96 du 04 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, modifiant et complétant le décret exécutif 11-125 du 22 mars 2011

- Décret exécutif 11-219 du 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations
- Décret exécutif 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine
- Décret exécutif 11-262 du 30 juillet 2011 portant création de l'agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau « AGIRE »
- Arrêté du 10 janvier 2010 fixant la liste des oueds et des tronçons d'oueds frappés d'interdiction d'extraction de matériaux alluvionnaires ;
- Décret exécutif 10-317 du 21 décembre 2010 fixant les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons des ressources en eau souterraine et superficielle
- Décret exécutif 10-318 du 21 décembre 2010 fixant les modalités d'octroi de la concession d'utilisation des ressources en eau dans les systèmes aquifères fossiles ou faiblement renouvelables, ainsi que les cahiers des charges type y afférent ;
- Décret exécutif 10-291 du 23 novembre 2010 portant organisation de l'administration centrale du ministère des ressources en eau, modifié et complété par le décret exécutif n° 2000-325 du 25 octobre 2000 ;
- Décret exécutif 10-73 du 6 février 2010 relatif à la protection quantitative des nappes aquifères; Décret exécutif 10-24 du 12 janvier 2010 relatif au cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau. Complété par le Décret exécutif 11-165 du 24 avril 2011
- Décret exécutif 10-25 du 12 janvier 2010 fixant les modalités d'octroi de la concession pour l'établissement d'installations de prélèvement d'eaux souterraines ou superficielles, en vue d'assurer un approvisionnement autonome de zones ou unités industrielles ;
- Décret exécutif 10-01 du 4 janvier 2010 relatif au plan directeur d'aménagement des ressources en eau et au plan national de l'eau ;
- Arrêté interministériel du 24 janvier 2010 fixant les critères d'éligibilité des projets d'équipement du secteur des ressources en eau aux grands projets d'équipement public de l'État ;
- Arrêté du 3 mai 2010 fixant les modalités de contrôle de l'eau fournie par citernes mobiles;
- Arrêté du 15 octobre 2009 portant définition des documents techniques requis pour la réalisation de chaque type d'ouvrage ou installation d'utilisation des ressources en eau ;
- Loi 09-06 du 11 Octobre 2009 Portant approbation de l'ordonnance 09-02 du 22 juillet 2009 modifiant et complétant la loi 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau ;
- Ordonnance 09-02 du 22 juillet 2009 modifiant et complétant la loi n 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 aout 2005 relative à l'eau ;

- Décret exécutif 08-148 du 21 mai 2008 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation l'utilisation des ressources en eau ;
- Décret exécutif 07-399 du 23 décembre 2007 Relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau ;
- Décret exécutif 06-126 du 27 mars 2006 fixant les modalités de l'application de la redevance due en raison de l'usage à titre onéreux du domaine public hydraulique par prélèvement d'eau pour son injection dans les puits pétroliers ou pour d'autres usages du domaine des hydrocarbures.
- Loi 05-12 du 4 Août 2005 relative à l'eau, modifiée et complétée par la loi 08-03 du 23 janvier 2008;
- Décret 04-196 du 15 juillet 2004 Relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source (modifié et complété par Décret exécutif 13-298 du 18 Août 2013) ;
- Décret 93-163 du 10 juillet 1993 réglementant la qualité des eaux superficielles.

Rejet liquide

Les textes suivants doivent être pris en compte pour la gestion des rejets liquides :

Loi 17-11 portant loi de Finances pour 2018 institue une taxe complémentaire sur les eaux usées industrielles, basée sur le volume rejeté et la charge de pollution générée par l'activité en dépassement des valeurs limites, telles que fixées par la réglementation en vigueur ;

Arrêté du 6 janvier 2013 qui a pour objet de fixer les valeurs limites maximales et les données particulières relatives aux rejets d'effluents, de déversements ou de dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique ;

Arrêté interministériel du 02 janvier 2012 qui a pour objet de fixer les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation ;

Décret exécutif 10-88 du 10 mars 2010 fixant les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation de rejets d'effluents non toxiques dans le domaine public hydraulique ;

Décret exécutif 10-23 du 12 janvier 2010 fixant les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées ;

Décret exécutif 09-209 du 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration ;

Décret exécutif 07-300 du 27 septembre 2007 fixant les modalités d'application de la taxe complémentaire sur les eaux usées industrielles ;

Décret exécutif 06-141 du 19 Avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels ;

Décret exécutif 93-163 du 10 juillet 1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles ;

Décret exécutif 93-162 du 10 juillet 1993 fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées.

Décret exécutif 93-161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel ;

Décret exécutif 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels.

Rejets atmosphériques

Les textes ci-dessous doivent être pris en compte afin de garantir la conformité des rejets atmosphériques :

Loi 17-11 portant loi de Finances pour 2018 institue une taxe complémentaire sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle sur les quantités émises dépassant les valeurs limites

Arrêté du 8 septembre 2015 relatif à l'article 18 du décret 05-375, portant sur la désignation des membres du conseil scientifique de l'agence nationale des changements climatiques ;

Décret exécutif 2000-73 du 1er avril 2000 complétant le décret exécutif 93-165 du 10 juillet 1993 réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes ;

Loi n°13-01 du 20 février 2013 modifiant et complétant la loi 05-07 du 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures, interdit le torchage du gaz sauf après autorisation préalable par ALNAFT ;

Décret exécutif 13-110 du 17 mars 2013 réglementant l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent ;

Décret Exécutif 13-400 du 27 novembre 2013 définissant les conditions d'octroi par l'agence nationale pour la valorisation des ressources en hydrocarbures (ALNAFT), d'une autorisation exceptionnelle de torchage de gaz, les seuils admissibles ainsi que les conditions de tarification spécifiques dans les zones éloignées ou isolées ;

Décret exécutif 07-207 du 30 juin 2007 réglementant l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent ;

Décret exécutif 07-299 du 27 septembre 2007 fixant les modalités d'application de la taxe complémentaire sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle ;

Décret présidentiel 07-94 du 19 mars 2007 portant ratification de l'amendement au protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone, adopté à Beijing le 3 décembre 1999 ;

Décret exécutif 06-138 du 15 Avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle;

Décret exécutif 06-02 du 07 Janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique

Décret 03-410 du 05 novembre 2003 fixant les seuils limites des émissions de fumées de gaz toxiques et de bruits par les véhicules automobiles ; Décret 01-285 du 24 septembre 2001 fixant les lieux publics où l'usage du tabac est interdit et les modalités d'application de cette interdiction ;

Décret exécutif 2000-73 du 01 avril 2000 réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz poussières, odeurs et particules solides des installations fixes ;

Arrêté du 20 juin 1983 relatif aux conditions d'émission de fumées produites par les véhicules automobiles. **(Journal officiel de la république algérienne)**