



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option: REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES

THEME :

**CONCEPTION D'UN SYSTEME DE
PRETRAITEMENT DE LA STATION DE
DESSALEMENT DE LA CENTRALE THERMIQUE DE
LA COMMUNE HADJRET ENNOUS W. DE TIPAZA**

Présenté par :
CHEMLI Sarra

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
AMMOUR Fadhila	M.A.A	Présidente
SADOUNE Samra	M.C.B	Examinatrice
DERNOUNI Youcef	M.A.A	Examinatrice
KOLIAI Djaffar	Associé	Examinateur
KAHLERRAS Djilali	M.C.B	Promoteur

Session Décembre 2020

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

La construction de ce mémoire n'aurait été possible sans l'intervention de certaines personnes. Qu'elles trouvent ici l'expression de mon plus sincère remerciement pour leurs précieux conseils.

Tout d'abord, j'exprime mes vives reconnaissances à **Mr KAHLERRAS DJILALI** pour son encadrement, ses conseils et sa disponibilité tout au long de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à **Mr SAIDI MOHAMED**, mon encadreur de la centrale thermique SNC LAVALIN pour son soutien, sa patience, orientation et confiance qui ont constitué un mémoire considérable, et à toute personne de la centrale qui m'a aidé de près ou de loin.

Pour la même occasion je tiens à remercier **Mr KHATEB MOHAMED**, directeur technique de la station de dessalement FOUKA, pour son accueil et son aide sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Je désire aussi remercier les membres de jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à l'homme qui a sacrifié toute sa vie pour que je sois là où je suis, à l'homme qui m'a poussé, qui m'a conseillé, motivé pour ne jamais baisser les bras avant d'y arriver. À mon chéri d'amour, mon père qui Dieu a choisi pour ne pas être là parmi nous, ma joie ne sera jamais complète sans toi je t'aime très fort.

À ma très chère mère, qui a été toujours là pour moi, qui m'a soutenu, encouragé et qui a cru toujours en moi, que Dieu te garde et que tu seras fier de moi.

À mes sœurs Lineb, Hayet et Rachida, mon frère Foudil, pour leur appui, encouragement permanent et leur soutien moral. Merci d'être là pour moi, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

À Mohamed et Mustapha pour leur encouragement.

À mes cousins d'amour Omar, Racim, Tasnim, Rana, Rahef et Rami que Dieu vous préserve.

À mes adorables copines, pour leur amour inconditionnel, soutien et leur sincère amitié, je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À ma moitié ; qui n'a jamais cessé de m'encourager qui m'a jamais laissé toute seule que Dieu te garde pour moi Mohamed.

ملخص

تستهلك محطات الطاقة الحرارية كميات هائلة من المياه، هذه المياه مأخوذة من مصادر مختلفة. في هذه الحالة تأخذها من مياه البحر.

يتركز الهدف من عملنا هذا على دراسة وتحجيم عملية المعالجة في محطة تحلية مياه البحر لمحطة توليد الكهرباء المتواجدة في حجرة النص بولاية تيبازة. وأيضاً، للتقليل من مشاكل الاختلال الوظيفي وتحسين المحطة، حيث اقترحنا انجاز خزان الترسيب الأساسي.

Résumé

Les centrales thermiques consomment d'énormes quantités d'eau, elles prélèvent cette eau de différentes sources, dans notre cas de l'eau de mer. L'objectif de notre travail est axé sur l'étude et le dimensionnement de la filière de prétraitement de la station de dessalement de l'eau de mer de la centrale thermique SNC LAVALIN Hadjret Ennous Wilaya de Tipaza. De plus, afin de minimiser certains problèmes de dysfonctionnement et d'améliorer la station, nous avons proposé la réalisation d'un décanteur primaire.

Abstract

Thermal power plants consume huge amounts of water. This water is taken from different sources, in our case from seawater. The objective of our work is to study and design the pretreatment line of seawater desalination plant of the thermal power plant SNCLAVALIN Hadjret Ennous in Tipaza. In order to minimize some problems of malfunction and improve the station, we proposed the realization of primary decanter.

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures.....	
Liste des planches.....	
Introduction générale.....	

CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude

Introduction	3
I.1 LOCALISATION DE LA CENTRALE.....	3
I.2 DESCRIPTION GENERALE.....	4
I.3 DESCRIPTION DETAILLEE DE LA CENTRALE.....	6
I.3.1 Composantes de la centrale.....	6
I.3.2 Approvisionnement de la centrale.....	6
I.3.3 Cycle thermique	6
I.3.4 Configuration générale.....	6
I.3.5 Turbine à gaz.....	8
I.3.6 Chaudière de récupération.....	9
I.3.7 Turbine à vapeur.....	10
I.3.8 Condenseur.....	10
I.3.9 Systèmes de refroidissement des équipements auxiliaires.....	11
I.4 EQUIPEMENTS CONNEXES.....	11
I.4.1 Utilisation de l'eau	11
I.4.1.1 Approvisionnement en eau.....	11
I.4.1.2 Unité de dessalement.....	12
I.4.1.3 Déminéralisation de l'eau.....	12
I.4.1.4 La purge de la chaudière	13
I.4.2 Transformateur et poste de départ.....	13
I.4.2.1 Génératrice de démarrage.....	13
I.4.2.2 Routes d'accès.....	13
I.4.2.3 Infrastructures de raccordement	13
I.4.3 Entreposage de combustibles et des produit chimiques.....	14
I.4.3.1 Entreposage de combustibles	14
I.4.3.2 Entreposage des produits chimiques	14
I.5 BATIMENTS CONNEXES.....	15
I.6 EXPLOITATION.....	16
I.7 ACTIVITES DE CONSTRUCTION	16
I.7.1 Calendrier des travaux de construction	16
I.7.2 Préparation de cite.....	16
I.7.3 Construction des bâtiments et mise en place des équipements	16
Conclusion.....	17

CHAPITRE II : Les différents procédés de dessalement

Introduction	19
II.1 CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER ET SAUMATRES	19
II.1.1 Les eaux de mer	19
II.1.2 Les eaux saumâtres	20
II.2 L'HISTOIRE DE DESSALEMENT	20
II.3 LE DESSALEMENT EN ALGERIE	20
II.4 LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE DESSALEMENT DES EAUX.....	21
II.4.1 Procédés thermique (changement de phase)	22
II.4.1.1 La distillation	22
II.4.1.2 La Congélation.....	27
II.4.2 Les procédés membranaires	27
II.4.2.1 L'électrodialyse.....	27
II.4.2.2 L'osmose inverse	28
II.4.3 Les procédés chimiques	28
II.4.3.1 L'échange d'ions.....	28
II.5 CHOIX D'UN PROCEDE DE DESSALEMENT	30
II.5.1 Critères économiques.....	30
II.5.2 Critères techniques.....	30
Conclusion.....	30

CHAPITRE III : Le procédé d'osmose inverse

Introduction	32
III.1 L'OSMOSE	32
III.2 DEFINITION ET PRINCIPE D'OSMOSE INVERSE.....	33
III.3 INSTALLATION D'OSMOSE INVERSE.....	34
III.3.1 Pompe haute pression	34
III.3.2 Membranes	34
III.3.2.1 Types de membranes	34
III.3.2.2 Caractérisations des membranes.....	37
III.3.2.3 Les paramètres qui influent sur la performance des membranes.....	38
III.3.3 Les modules d'osmose inverse	39
III.3.3.1 Les modules tubulaires	39
III.3.3.2 Les modules fibres creuses	40
III.3.3.3 Les modules plans	41
III.3.3.4 Les modules en spirales.....	42
III.3.4 Corps de pression	44
III.3.5 Configuration de l'installation –mode de fonctionnement.....	44
III.3.5.1 Procède discontinu.....	45
III.3.5.2 Procède continu multi-étage	46
III.3.6 Un système de récupération de l'énergie du concentrât	48
III.4 AVANTAGES DE L'OSMOSE INVERSE.....	48

III.5 INCONVENIENTS DE L'OSMOSE INVERSE.....	48
III.6 DESCRIPTION GENERALE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER PAR OSMOSE INVERSE DE LA CENTRALE THERMIQUE DE HADJRET ENNOUS	49
III.6.1 La prise d'eau	50
III.6.2 Rôle de prétraitement.....	50
III.6.3 Etapes de prétraitement	50
III.6.4 Poste d'osmose inverse	51
III.6.4.1 Dispositif de mise en pression	51
III.6.5 Le post-traitement.....	52
III.6.6 Stockage d'eau traitée	53
III.6.7 Système de rejet.....	53
III.7 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	53
Conclusion.....	53

CHAPITRE IV : Diagnostic de la station de dessalement de Hadjret Ennous

Introduction	55
IV.1 IDENTIFICATION ORIGINES ET CAUSES DES DYSFONCTIONNEMENTS DE LA STATION.....	55
IV.2 CORROSION.....	55
IV.2.1 Mécanismes de la corrosion	55
IV.2.2 Les conséquences de corrosion	56
IV.2.3 Méthodes de lutte contre la corrosion	56
IV.3 ENTARTRAGE	57
IV.3.1 Principaux dépôts de tartre rencontrés en dessalement	57
IV.3.2 Influence des tartres sur les installations.....	58
IV.3.3 Méthodes de lutte contre l'entartrage.....	58
IV.4 LE COLMATAGE.....	58
IV.4.1 Définition de colmatage des membranes.....	59
IV.4.2 Principe du colmatage	59
IV.4.3 Mécanisme de colmatage	62
IV.4.4 Colmatage des filtres à sables	63
IV.4.5 Conséquences du colmatage.....	63
IV.4.6 Méthode de luttés contre le colmatage.....	64
Conclusion.....	64

CHAPITRE V : Dimensionnement de la filière de prétraitement

Introduction	66
V.1 LES ETAPES DE PRETRAITEMENT	66
V.1.1 Paramètres d'eau brute	66
V.1.2 Paramètre du site.....	66
V.1.3 Le prétraitement physico-chimique	67
V.1.3.1 La prise d'eau	67
V.1.3.2 Système de dégrillage d'eau de mer	67
V.1.3.3 La coagulation-floculation.....	70
V.1.3.4 Filtration sur sable	71
V.1.3.5 Filtres à cartouches	76
V.1.3.6 Dimensions des cartouches.....	78
V.1.3.7 La décantation lamellaire.....	81

V.1.4 Le prétraitement chimique.....	86
V.1.4.1 Traitements biocides.....	86
V.1.4.2 Déchloration.....	87
V.1.4.3 Traitements biostatiques.....	88
V.1.4.4 Acidification et injection de séquestrant.....	88
V.2 OSMOSE INVERSE.....	89
V.3 EAU DESSALEE.....	91
V.3.1 Système de déminéralisation.....	91
V.3.2 Le système de reminéralisation.....	92
V.4 SYSTEME DE REJET DE LA CENTRALE.....	93
V.4.1 Eaux usées de procédé.....	93
V.4.1.1 Puisards locaux d’eaux usées.....	93
V.4.1.2 Puisard d’extraction.....	94
V.4.1.3 Puisard de neutralisation.....	94
Conclusion.....	96

CHAPITRE VI : Organisation de chantier

Introduction.....	98
VI.1. TRAVAUX DE REPARATIONS ET INSTALLATION DE CHANTIER.....	98
VI.1.1. Installations destinées aux personnels.....	98
VI.1.2. Installations destinées au stockage des matériaux.....	99
VI.1.3. Installations destinées à la réparation des engins.....	99
VI.2. MOYENS DES TRAVAUX DE CHANTIER.....	99
VI.2.1. Moyens humains.....	99
VI.2.2. Moyens matériels.....	99
VI.3. PLANIFICATION.....	100
VI.3.1. Attribution des durées de chaque opération.....	100
VI.3.2. Méthode basée sur le réseau.....	100
VI.3.3. Symboles des différentes opérations.....	101
VI.4. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF.....	103
VI.4.1. Estimation du cout total de la réalisation de la station.....	103
Conclusion.....	104

CHAPITRE VII : Protection et sécurité au travail

Introduction.....	106
VII.1. ASPECT HYGIENE, SECURITE ET ENVIRONNEMENT.....	106
VII.2. LES FACTEURS DE RISQUE PROFESSIONNEL.....	106
VII.2.1. Les facteurs liés à l’ambiance de travail.....	108
VII.2.2. Les conditions liées aux facteurs de risques.....	108
VII.3. POLITIQUE DE SANTE ET SECURITE DE TRAVAIL SST EN ALGERIE	108
VII.4. LES MESURES DE PREVENTION.....	110
VII.4.1. Les règles de base.....	110
VII.4.2. Les consignes d’urgence.....	110
VII.4.2.1. L’alarme de sureté du site.....	110
VII.4.2.2. L’alarme concernant la sécurité du personnel et du matériel.....	110
VII.4.3. Permis de travail.....	110
VII.4.4. Mise hors tension, séparation, verrouillage, étiquette.....	111
VII.4.5. Travaux en hauteur.....	111
VII.4.6. Procédure en cas de blessure.....	111

VII.4.7. Procédure en cas de personne électrisée	112
Conclusion	112
Conclusion générale	113
Références bibliographiques.....	

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Sommaire des caractéristiques de la centrale	7
Tableau I. 2 : Caractéristiques de la vapeur produite par chacune des chaudières de récupération	10
Tableau I. 3 : Combustibles et produits chimiques utilisés à la centrale	14
Tableau II. 1 : La salinité de l'eau de mer et d'océan.	19
Tableau II. 2 : Répartition de la production de l'eau dessalée (l'eau de mer).	20
Tableau II. 1 : programme de dessalement en Algérie.....	21
Tableau IV. 1 : Variation de la température de précipitation pour chaque forme de précipité	58
Tableau V. 1 : Caractéristique de l'eau de mer (condition de base du site).....	66
Tableau V. 2 : Propriétés des matériaux filtrants	73
Tableau V. 3 : Durée de vie de la solution en fonction de la concentration en poids	87
Tableau V. 4 : Caractéristiques de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse.....	89
Tableau V. 5 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de l'osmose	89
Tableau V. 6 : Critères du rejet des effluents liquides	95

Liste des figures

Figure I. 1 : vue Google Map de la centrale de Hadjret Ennous.....	3
Figure I. 2 : Photo de la centrale à cycle combiné de Hadjret Ennous (2013).....	4
Figure I. 3 : Maquette représentative de la centrale (2015)	5
Figure I. 4 : Configuration à arbre unique.....	7
Figure I. 5 : Le corps et les éléments de la turbine à gaz modèle PG9371FB de (GE).....	8
Figure I. 6 : Les composants de la chaudière de récupération.	9
Figure I. 7 : Le rotor de la turbine à vapeur	10
Figure I. 8 : Les composants du condenseur	11
Figure I. 9 : Schéma représentatif de la station de dessalement.....	12
Figure II. 1 : Le principe la distillation a simple effet. [5].....	23
Figure II. 2 : Le principe de la distillation a effet multiple (MED). [5].....	24
Figure II. 3 : Distillation par longs tubes verticaux. [6].....	24
Figure II. 4 : Distillation par détentes successives (MSF). [5]	25
Figure II. 5 : Schéma de distillation à compression de vapeur (MVC)	26
Figure II. 6 : Distillation par thermo compression.....	26
Figure II. 7 : Le principe de l'électrodialyse. [6].....	27
Figure II. 8 : Le principe de L'osmose Inverse. [5]	28
Figure II. 9 : Remplacement des cations par H ⁺ . [7].....	29
Figure II. 10 : La déminéralisation. [7].....	29
Figure III. 1 : L'osmose	32
Figure III. 2 : Osmose inverse	32
Figure III. 3 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	33
Figure III. 4 : Schémas de principe d'une unité d'OI [4].....	34
Figure III. 5 : Coupe d'une membrane composite fine.....	35
Figure III. 6 : Comparaison entre filtration classique (ou frontale) et filtration tangentielle	37
Figure III. 7 : Schéma de principe d'un module tubulaire [9]	39
Figure III. 8 : Modules à fibres creuses [9].....	41
Figure III. 9 : Module plan [10].....	42
Figure III. 10 : Description d'un module spiralé d'osmose inverse.	43
Figure III. 11 : Vue en coupe d'un module spiralé.....	43
Figure III. 12 : Mise en œuvre des éléments dans un corps de pression	44
Figure III. 13 : Schéma simplifié d'un système OI.....	45
Figure III. 14 : Procède discontinu avec recyclage.....	45
Figure III. 15 : Procède discontinu sans recyclage	46
Figure III. 16 : Système de dessalement continu mono-étagé	46

Figure III. 17 : Schémas d'un système d'OI a 2etages en série-rejet	47
Figure III. 18 : Procédé continu multi-étage en série production	47
Figure III. 19 : Schéma d'une unité de dessalement d'eau de mer par O.I.....	50
Figure IV. 1 : Micrographie représentative d'une membrane d'osmose inverse colmatée par des matières inorganiques obtenue par MEB	60
Figure IV. 2 : Dépôt de la silice sur une surface membranaire d'osmose inverse	60
Figure IV. 3 : Membrane d'osmose inverse colmatée par la silice (SiO ₂ 120 ppm).....	60
Figure IV.4 : Détérioration apparente d'une membrane d'acétate de cellulose par un microbe de forme hélicoïdale (a) et une bactérie non identifiée en forme de baguette (b)	61
Figure IV. 5 : Les différents mécanismes de colmatage des membranes	63
Figure V. 1 : La crépine à enroulement de fil triangulaire	67
Figure V. 2 : Schéma descriptif d'un filtre à sable sous pression	72
Figure V. 3 : Filtre bicouche	74
FigureV. 4 : Schéma de procédé d'un poste de microfiltration sur cartouches consommables	77
Figure V. 5 : Classification des différentes cartouches de microfiltration	78
Figure V. 6 : Vue éclatée d'une cartouche plissée	78
Figure V. 7 : Courbes d'évolution de l'efficacité en fonction de la taille	79
Figure V. 8 : Perte de charge par rapport à la longévité.....	81
Figure V. 9 : Principes généraux de la décantation lamellaire	82
Figure V. 10 : Schéma type d'un décanteur lamellaire	84
Figure VI. 1 : Réseau à nœud pour la réalisation du projet.....	102

Introduction générale

Devant les besoins croissants de l'eau domestique ou bien industrielle, et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'homme est conduit à étudier et à développer divers procédés permettant d'obtenir à partir des eaux de mer ou des eaux saumâtres une eau parfaitement exploitable.

En effet, parmi les différentes sources d'énergies utilisées pour la production de l'électricité, l'eau se trouve en haut d'échelle. L'Algérie qui est classée comme zone semi-aride a adopté une stratégie à moyen terme consistant la réalisation de centrales électrique ainsi que des stations de dessalement.

La station de dessalement au niveau de la centrale thermique de Hadjret Ennous, fonctionne suivant le procédé d'osmose inverse dans quatre unités identiques. Ces unités sont commandées et surveillées par des automates programmables, installés dans une salle de commande ou s'effectue la supervision par le pupitre de commande du fonctionnement de chacune des unités de dessalement.

L'eau dessalée passe par une étape de déminéralisation afin d'obtenir une eau ayant des caractéristiques conformes à une eau d'alimentation des chaudières et une étape de reminéralisation pour servir une eau potable et une eau de service.

L'objectif de notre travail après avoir étudié les problèmes de dysfonctionnement, est la conception d'un système de prétraitement de la station de la centrale thermique de la commune Hadjret Ennous dans la Wilaya de Tipaza, et cela se fera à travers huit (08) chapitres.

D'abord, nous avons commencé par les chapitres théoriques de base, tel que la présentation de la zone d'étude, les procédés de dessalement et le procédé d'osmose inverse détaillé. Ensuite, nous avons étudié et dimensionné la filière de prétraitement de la station de dessalement de la centrale thermique de Hadjret Ennous, et donné un apport par l'ajout d'un décanteur primaire pour améliorer cette dernière, en passant par un diagnostic global de notre station. Enfin, nous avons terminé par une étude d'organisation des travaux de chantier qui comporte le calcul du prix de réalisation de projet, et les consignes de protection et de sécurité au travail.

CHAPITRE I :

*Présentation de la zone
d'étude*

Introduction

L'Algérie a une puissance installée d'électricité d'environ 19589 MW dont 95% est constituée de centrales thermiques. Le 5% restant est essentiellement représenté par des centrales hydroélectriques. La croissance de la demande est de l'ordre de 6% annuellement, c'est-à-dire une puissance de 9300 MW pour l'année 2010. Les 2700 MW nécessaires pour répondre à la demande intérieure, une première tranche de 1200 MW a fait l'objet d'un appel d'offre pour la réalisation de la centrale thermique à cycle combiné de Hadjret Ennous.

Le projet a été réalisé par la société Shariket Kahraba Hadjret Ennous dont les actionnaires sont :

- SNC Lavalin (entreprise canadienne)
- Sonelgaz
- Sonatrach
- AEC (Algerian Energy Company)

I.1 LOCALISATION DE LA CENTRALE

La centrale à cycle combiné de Hadjret Ennous est située dans la Wilaya de Tipaza, à environ 80 Km à l'ouest d'Alger.



Figure I. 1 : vue Google Map de la centrale de Hadjret Ennous

Le site est limité :

- Au nord : par la mer Méditerranée
- Au sud : par la route nationale n°11
- A l'est : par la ville de Sidi Ghilès
- A l'ouest : par la ville de Hadjret Ennous

La centrale à cycle combiné de Hadjret Ennous s'étend sur une superficie de 35 hectares.



Figure I. 2 : Photo de la centrale à cycle combiné de Hadjret Ennous (2013) [1]

I.2 DESCRIPTION GENERALE

La centrale est constituée de plusieurs bâtiments dont trois principaux, couvrant chacun une superficie d'environ 2150 m². D'une hauteur maximale d'environ 30 m dans leur partie la plus haute, chaque bâtiment abrite une turbine à gaz et une turbine à vapeur et est muni de ponts roulants et de monorails servant à l'entretien turboalternateur. La chaudière de récupération (HRSG : Heat Recovery Stream Generator) et les systèmes de refroidissement sont situés à l'extérieur. Les autres bâtiments de la centrale abritent la cantine, l'unité de dessalement, les unités pour le traitement de l'eau, le poste de départ, les bureaux pour l'administration, la salle de contrôle, les équipements d'entretien et les entrepôts. Le poste de départ est situé au sud des trois îlots de production d'énergie.

La centrale est munie d'une prise d'eau de mer et d'une station de pompage. L'eau pompée sert principalement à refroidir la vapeur du condenseur (eau de circulation), ainsi que les auxiliaires de la centrale.

Les eaux de refroidissement sont rejetées dans la Méditerranée par trois émissaires.

Plan de la centrale :

1. Turbine à gaz, turbine à vapeur et générateur _tranche 1
2. Turbine à gaz, turbine à vapeur et générateur _tranche 2
3. Turbine à gaz, turbine à vapeur et générateur _tranche 3
4. Chaudière de récupération de chaleur _tranche 1
5. Chaudière de récupération de chaleur _tranche 2
6. Chaudière de récupération de chaleur _tranche 3
7. Chaudière auxiliaire
8. Transformateurs principaux

9. Bâtiments électriques
10. GIS poste électrique
11. Lignes d'évacuation 400 Kv
12. Poste de détente comptage de gaz
13. Station de pompage d'eau de circulation
14. Salle électrique de station de pompage de l'eau de mer
15. Brise _siphon
16. Poste de dessalement et déminéralisation
17. Refroidisseur d'eau
18. Réservoir de stockage d'eau dessalée
19. Réservoir de stockage d'eau déminéralisé
20. Réservoir d'eau de service et d'eau incendie
21. Réservoir d'entreposage du gasoil non traité
22. Réservoir d'entreposage du gasoil traité
23. Station de pompage et dessalage de gasoil
24. Groupe électrogène de lancement
25. Bâtiment administratif et entretien



Figure I. 3 : Maquette représentative de la centrale (2015)

I.3 DESCRIPTION DETAILLEE DE LA CENTRALE

I.3.1 Composantes de la centrale

La centrale a une puissance nette d'environ 1200 MW (garanti à 30°C-combustible gaz naturel) ou 1000 MW (combustible gasoil) comme combustible de secours. La centrale est prévue pour être exploitée toute l'année en charge de base pour répondre à la demande d'énergie vers un réseau général interconnecté. Sur une base annuelle, la centrale génère au maximum environ 10 TWh, ce qui correspond à une disponibilité de 94% ou à 8234 heures de fonctionnement par année.

I.3.2 Approvisionnement de la centrale

Le combustible principal de la centrale est le gaz naturel et le combustible de secours le gasoil (il est anticipé que le gaz naturel sera disponible 100% du temps). L'exploitation de la centrale nécessite approximativement 2000 millions de mètres cubes de gaz naturel par année.

Le gaz naturel est livré au site par l'intermédiaire d'une nouvelle conduite de gaz à haute pression installée par Sonelgaz.

Un poste détente et une station de mesurage installée sur le site de la centrale assurent l'ajustement définitif de la pression d'alimentation du gaz naturel.

I.3.3 Cycle thermique

Les centrales à cycles combiné sont reconnues pour produire le rendement net le plus élevé, soit environ 56%, rapporté au pouvoir calorifique inférieur de combustible (PCI). Ce rendement est obtenu en récupérant la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz (turbine à combustion) au travers des chaudières de récupération afin de produire de la vapeur haute pression, laquelle entraîne une turbine à vapeur. Les gaz d'échappement ainsi refroidis sont finalement évacués dans l'atmosphère par des cheminées. La vapeur haute pression détendue dans la turbine à vapeur est par la suite condensée par circulation d'eau froide dans un condenseur. Le condensat est retourné à la chaudière de récupération pour y être revalorisé, bouclant ainsi le cycle vapeur. En général, pour ce type de centrale, environ deux tiers de l'électricité est produits à partir des turbines à gaz alors que les turbines à vapeur produisent l'autre tiers.

I.3.4 Configuration générale

La centrale est pourvue des principales composantes suivantes :

- Turbines à gaz et alternateurs ;
- Chaudières de récupération ;
- Turbines à vapeurs et alternateurs ;
- Station de pompage, condenseur, système de refroidissement ;
- Transformateurs élévateurs et poste de départ.

La centrale est d'une configuration à arbre unique. Dans ce cas, la turbine à gaz et la turbine à vapeur sont assemblées sur un arbre commun et par conséquent, les deux turbines entraînent un seul alternateur.

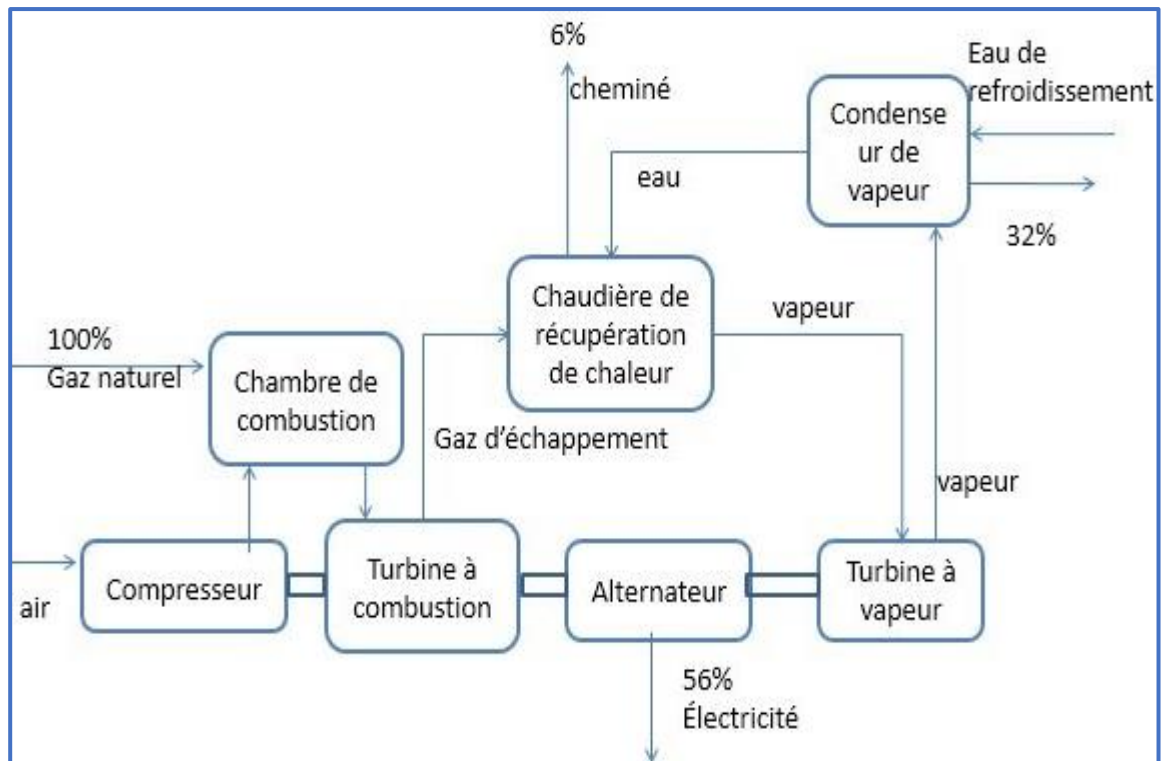


Figure I. 4 : Configuration à arbre unique

Le tableau I.1 présente un sommaire des caractéristiques du projet.

Tableau I. 1 : Sommaire des caractéristiques de la centrale

Caractéristique	
Modèle de turbine	PG9371FB ⁽²⁾
Puissance brute générée par les turbines à gaz ⁽¹⁾ (MW)	3 x 425
Puissance brute totale générée ¹ (MW)	1 275
Puissance totale nette (MW) (garantie à 30 ⁰ C)	1 227
Consommation de gaz naturel par turbine (t/h)	57,24
Vapeur générée par les chaudières de récupération (t/h)	3 x 381
Débit d'eau de circulation (m ³ /h)	84 000
Équipement intérieur :	
Turbines à combustion	3
Turbine à vapeur	3
Alternateurs	3
Condenseurs	3
Autres équipements intérieurs :	
Unité de dessalement de l'eau de mer	Oui
Systèmes auxiliaires	Oui
Unité de déminéralisation d'eau	Oui

Équipement extérieur :	
Cheminées	3
Transformateurs	3
Poste de départ	3
Chaudières de récupération	3
Contrôle des émissions atmosphériques	Turbine à faible dégagement d'oxydes d'azote (NOx)

Source : document officiel de la centrale

- (1) Puissance brute pour des conditions d'exploitation en base au gaz naturel, à une température ambiante de 30°C
- (2) Ces données pourraient être légèrement modifiées au cours de l'étape d'ingénierie détaillée

I.3.5 Turbine à gaz

La turbine à gaz constitue le cœur du cycle combiné et détermine les caractéristiques majeures des autres équipements de production en aval. Le modèle retenu est le modèle PG9371FB de General Electric (GE). Les turbines sont dotées d'un système de combustion étagé avec prémélange du combustible avec l'air et les gaz de combustion « Lean Premix », afin de réduire les émissions atmosphériques, ainsi que d'un système de suivi dynamique de la combustion.

Les alternateurs des turbines à gaz ont une capacité nominale d'environ 330 MVA à une température de gaz froid de 40°C et la sortie a une fréquence de 50 Hz et une tension de 15,75 kV ou 17,5 kV selon la configuration.

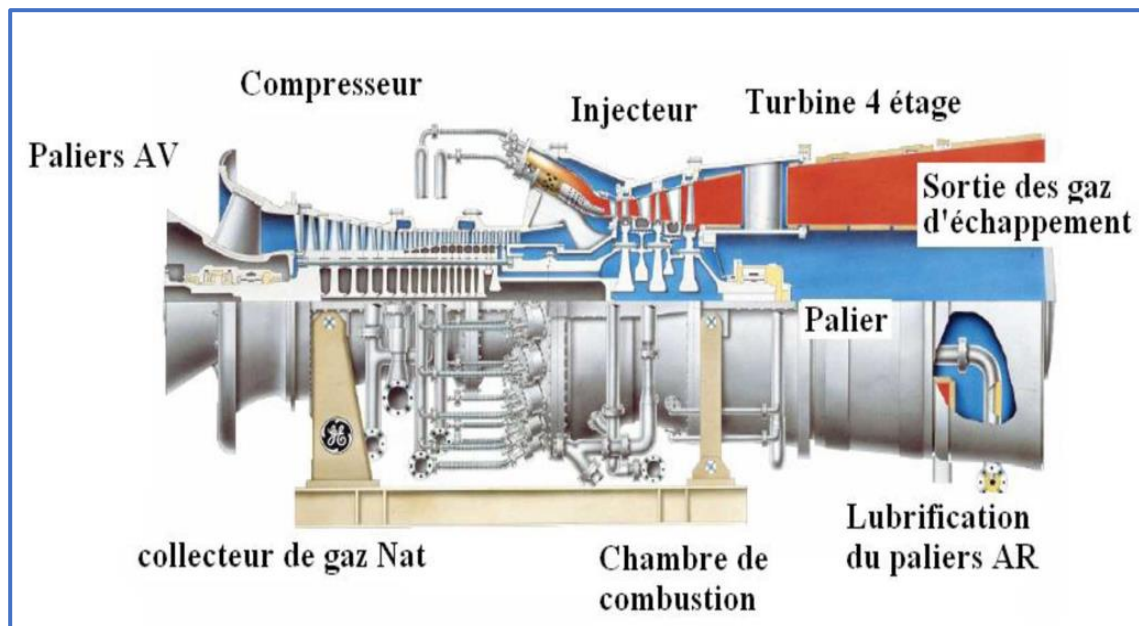


Figure I. 5 : Le corps et les éléments de la turbine à gaz modèle PG9371FB de (GE).

Les turbines à gaz ont leur propre enceinte acoustique dotée de dispositifs de levage ainsi que de systèmes de ventilation et de protection contre l'incendie. Elles sont reliées à un

alternateur à excitation statique refroidi à l'hydrogène. Le système de démarrage est à convertisseur statique. L'entrée des turbines à gaz est dotée de filtres à air autonettoyants à débit pulsé. Durant les périodes chaudes, afin d'augmenter le rendement des turbines à gaz, l'air de combustion est refroidi par des refroidisseurs.

I.3.6 Chaudière de récupération

Les trois turbines à gaz de la centrale sont chacune équipées d'une chaudière de récupération incluant des brûleurs appoint (HRSG — Heat Recovery Stream Generator). Cette dernière produit de la vapeur à trois niveaux de pression différents, ce qui permet une récupération très poussée de l'énergie thermique contenue dans les gaz d'échappement en limitant au maximum les pertes d'énergie à la cheminée. Les chaudières de récupération seront installées à l'extérieur des bâtiments principaux.

La hauteur minimale de chaque cheminée (environ 55 m) d'où sortent les gaz d'échappement correspondra à environ 1,9 fois celle du toit du bâtiment principal. La cheminée est dotée de systèmes de suivi continu des émissions.

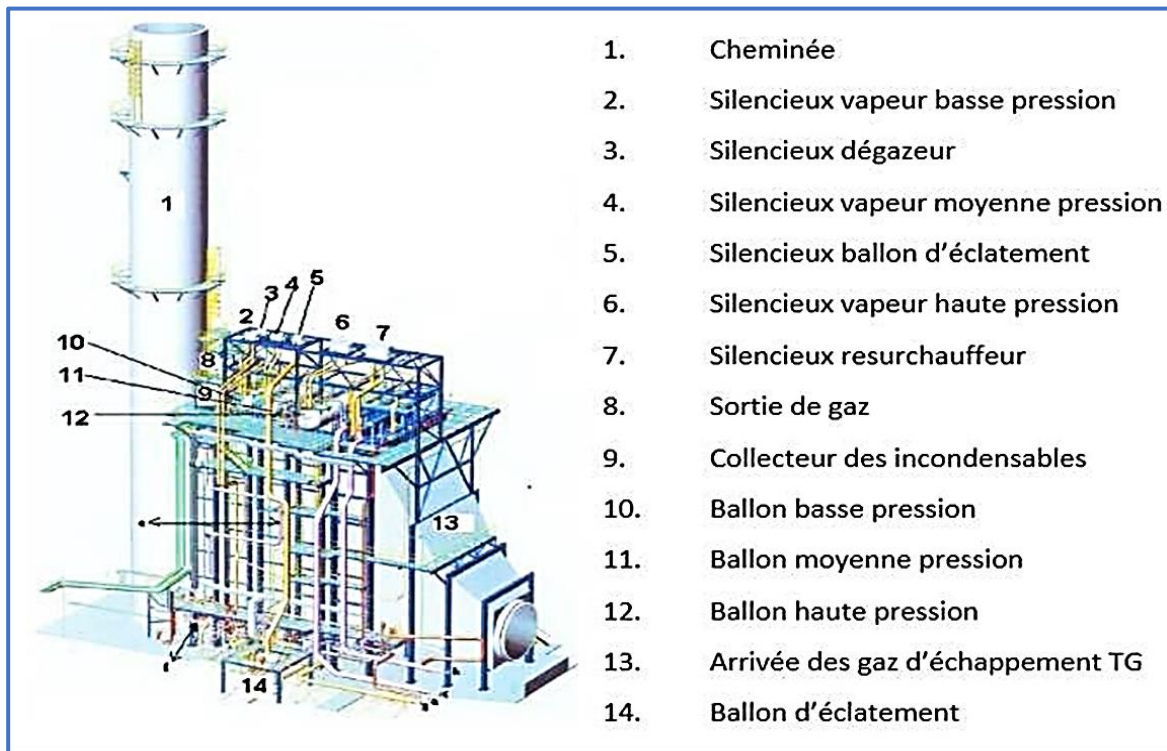


Figure I. 6 : Les composants de la chaudière de récupération.

Le Tableau I.2 représente les caractéristiques typiques de la vapeur produite par chacune des trois chaudières de récupération, soit 381 t/h.

Tableau I. 2 : Caractéristiques de la vapeur produite par chacune des chaudières de récupération

	Paramètres	Unités	Gaz naturel
Moyenne pression	Pression	Bar	124
	Température	°C	565
	Débit	t/h	465
	Pression	Bar	34
	Température	°c	565
	Débit	t/h	10
	Pression	Bar	4
	Température	°c	302
	Débit	t/h	7

Source : document officiel de la centrale

I.3.7 Turbine à vapeur

Les turbines à vapeur sont de type « à condensation avec resurchauffe ». La vapeur haute pression produite dans les chaudières de récupération est injectée dans les turbines où elle est détendue. Les turbines à vapeur de type à arbres multiples sont équipées d'un alternateur à excitation statique refroidi avec des échangeurs air/eau (TEWAC). Les alternateurs des turbines à vapeur ont une capacité nominale d'environ 270 MVA à une température de gaz froid de 40°C et la sortie a une fréquence de 50 Hz et une tension de 15,75 kV.

**Figure I. 7 :** Le rotor de la turbine à vapeur

I.3.8 Condenseur

La vapeur saturée qui s'échappe des turbines à vapeur est condensée dans un échangeur à faisceau tubulaire refroidi par une circulation continue d'eau de mer. Un condenseur est requis pour chaque turbine à vapeur. L'alimentation en eau de circulation est assurée par la station de pompage reliée à la prise d'eau par des conduites souterraines. Par la suite, la

station de pompage est reliée au condenseur par des conduites en surface et, à partir de l'entrée sur le site, par des conduites souterraines. L'eau ayant circulé dans le condenseur est rejetée en totalité dans la mer. Le condensat, qui circule en circuit fermé, est retourné aux chaudières de récupération afin d'y être de nouveau évaporé, pressurisé et surchauffé aux conditions requises par la turbine à vapeur

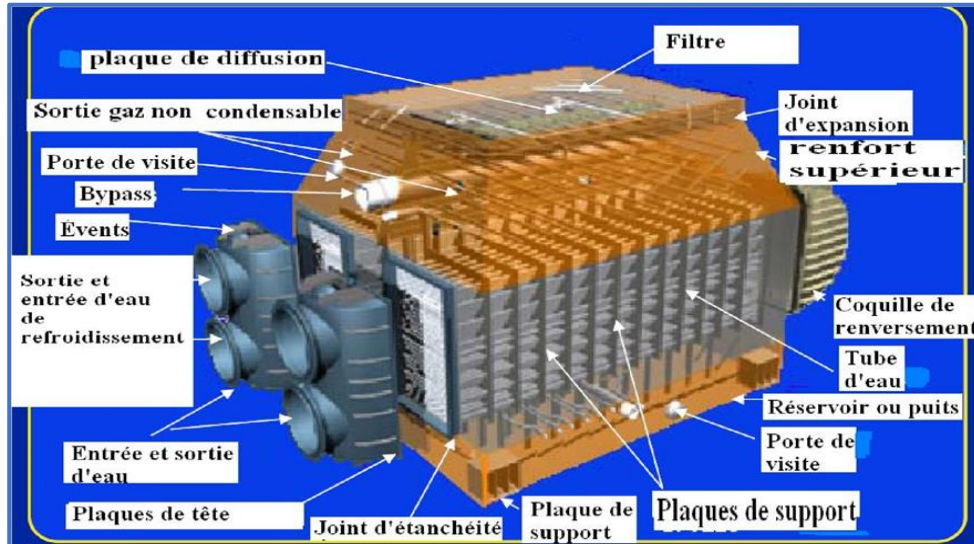


Figure I. 8 : Les composants du condenseur

I.3.9 Systèmes de refroidissement des équipements auxiliaires

La centrale est équipée d'un système de refroidissement pour chaque groupe incluant entre autres les turbines, les alternateurs, le circuit d'huile de lubrification, les pompes et les compresseurs.

Le refroidissement de chaque groupe est assuré par un circuit fermé où circulera de l'eau qui est refroidie en passant par un échangeur de chaleur à plaques, où circule de l'eau de mer.

I.4 EQUIPEMENTS CONNEXES

Les sections suivantes présentent les infrastructures connexes qui seront nécessaires pour assurer le fonctionnement de la centrale.

I.4.1 Utilisation de l'eau

I.4.1.1 Approvisionnement en eau

L'approvisionnement en eau nécessaire à la centrale se fait à partir d'une prise d'eau et d'une station de pompage. L'amenée d'eau de mer se fait à l'aide d'un canal de la mer à la station de pompage. L'entrée de la prise d'eau est munie d'un grillage métallique amovible afin de minimiser l'introduction de gros débris dans la station de pompage.

La station de pompage est dotée de dégrilleurs et de tamis rotatifs afin d'empêcher le passage des débris qui n'ont pas été arrêtés à la prise d'eau, de même que de batardeaux pour isoler les compartiments. Les pompes verticales de circulation d'eau (pour le condenseur) et les pompes d'alimentation du système de refroidissement auxiliaire et dessalement sont installées à la station de pompage.

La majeure partie (99%) de l'eau de mer, soit environ 84 000 m³/h, est utilisée directement dans le procédé, sans être dessalée, comme eau de circulation pour le condenseur (utilisation principale) et pour le refroidissement des systèmes auxiliaires du groupe turbines à vapeur. L'autre partie de l'eau de mer (1%) passe dans le système de dessalement avant d'être utilisée dans le procédé comme : [2]

- Eau d'appoint pour les chaudières de récupération (après traitement de déminéralisation) ;
- Eau de service (nettoyage des équipements, planchers, etc.) ;
- Eau de protection incendie ;
- Eau potable ;

I.4.1.2 Unité de dessalement

L'eau salée est traitée à partir de trois unités de dessalement d'une capacité de 500 m³/jour chacune. Ces unités fonctionnent avec le procédé d'osmose inverse, de façon à récupérer le maximum d'eau non salée.



Figure I. 9 : Schéma représentatif de la station de dessalement [1]

I.4.1.3 Déminéralisation de l'eau

L'eau d'appoint (environ 14 m³/h) des chaudières de récupération est déminéralisée afin d'éviter l'entartrage des tubes des échangeurs de chaleur. L'unité de déminéralisation possède deux (2) chaînes de traitement installées en parallèle qui fonctionnent en alternance afin d'assurer une production continue d'eau déminéralisée pendant la régénération des lits résiniques. Un réservoir hors terre d'eau déminéralisée permettra d'absorber les pointes de demande.

Le traitement de déminéralisation consiste à faire passer l'eau filtrée à travers une succession de lits résiniques fixes (lits cationiques, lits anioniques et lits mixtes de polissage). Afin d'assurer une efficacité optimale du traitement, les lits résiniques doivent être régénérée lorsqu'ils sont saturés. Cette régénération s'effectue par injection d'un acide

fort (acide sulfurique) ou d'une base forte (soude caustique) selon le type de lits. Les eaux de purge et de lavage du système de déminéralisation sont rejetées dans un réservoir de neutralisation. Les eaux y sont mélangées et des bases ou acides y sont injectées pour obtenir un pH entre 6,0 et 8,5. Par la suite, les eaux du réservoir sont rejetées dans l'émissaire.

I.4.1.4 La purge de la chaudière

La purge de la chaudière est dirigée vers un réservoir pour y être mélangé avec les autres eaux usées, avant d'être neutralisée pour obtenir un pH entre 6,0 et 8,5 et rejetée dans l'émissaire. Un coagulant est ajouté pour améliorer l'efficacité de la décantation et réduire son contenu en matières en suspension.

I.4.2 Transformateur et poste de départ

Afin d'élever la tension de livraison à 400 kV, un poste de départ est érigé au sud des trois bâtiments abritant les turbines. Ce poste comprend principalement trois transformateurs élévateurs de tension et différents appareils de commande.

Chacun de ces transformateurs contient environ 60 000 litres d'huile de refroidissement et est installé au-dessus d'une cuvette de rétention munie d'un lit coupe-feu fait de pierre concassée, afin de contenir tout déversement accidentel. L'aire des transformateurs est drainée vers un séparateur d'huile API.

I.4.2.1 Génératrice de démarrage

La centrale est équipée d'un ensemble de cinq à sept génératrices diesel (ou un diesel et une turbine à gaz de petite taille), ayant chacune une capacité d'environ 2,5 MW (12 à 16 MW au total selon les charges calculées), qui permettent d'alimenter les composantes critiques de la centrale dans l'éventualité d'arrêt ainsi que pour le redémarrage de la centrale. Ces génératrices sont alimentées au gasoil.

I.4.2.2 Routes d'accès

La centrale étant située en bordure de la route national n° 11, elle ne nécessite aucune construction de routes majeures. Seules les routes à l'intérieur du site sont aménagées.

I.4.2.3 Infrastructures de raccordement

a. Conduite de gaz naturel (par Sonelgaz)

Pour alimenter les 2 000 millions m³ /an de gaz naturel par année nécessaire à l'exploitation de la centrale, la centrale est raccordée au réseau du fournisseur local de gaz (Sonelgaz). Le point de raccordement pour la livraison du gaz au site se trouve à la limite de la zone de réception du gaz. Le gaz naturel est filtré, comprimé ou détendu et réchauffé avant d'être injecté aux turbines à gaz.

b. Ligne de raccordement au réseau interconnectée (par Sonelgaz)

Le poste de départ de la centrale comprend l'équipement d'interface entre les transformateurs élévateurs et les deux lignes à 400 kV. Ces lignes sont reliées au réseau de distribution électrique algérien. La compagnie d'électricité (Sonelgaz) fournit la ligne de transport qui relie la centrale à son réseau électrique.

I.4.3 Entreposage de combustibles et des produit chimiques

I.4.3.1 Entreposage de combustibles

Le système de gasoil comprend deux réservoirs de stockage (16 000 m³) hors sol conçus pour les distillats et munis d'une digue de confinement recouverte d'une membrane géotextile pour l'imperméabilisation et le contrôle de la contamination. Le gasoil sert pour les génératrices diesel et de combustible d'appoint pour les turbines à gaz, en cas d'interruption de l'alimentation en gaz naturel. Le volume de rétention à l'intérieur de la cuvette de la digue de confinement contient 125 % du plus grand réservoir

I.4.3.2 Entreposage des produits chimiques

L'utilisation principale de produits chimiques est associée à la production d'eau déminéralisée. L'exploitation de l'usine requiert des quantités limitées d'huile de lubrification et de certains produits chimiques industriels, qui sont stockés dans des aires d'entreposage confinées et conçues à cet effet. Le tableau I.3 donne un aperçu des combustibles et produits chimiques qui seront utilisés à la centrale.

Tableau I. 3 : Combustibles et produits chimiques utilisés à la centrale

Produits	Etat physiq	Utilisation	Type d'entreposage	Consommation annuelle	Unité
Gaz naturel	G	Turbine à gaz	n.a	2410 000 000	m ³
Gasoil	L	Turbine à gaz (combustible d'appoint)	Réservoir localisé dans une enceinte confinée	Au besoin	m ³
Diesel	L	Génératrice d'urgence -usage intermittent	Réservoir localisé dans une enceinte confinée	0,55	m ³
Huile de lubrification pour les turbines à gaz et les générateurs	L	Lubrification des éléments en rotation	Dans la tuyauterie et 1 réservoir à l'intérieur du bâtiment principal de la centrale. Barils d'huile de réserve dans la zone d'entreposage des matières dangereuses	0,90	m ³
Huile de lubrification pour la génératrice d'urgence	L	Lubrification des éléments en rotation	Huile de réserve entreposée dans les bidons dans la zone d'entreposage des matières dangereuses	0,07	m ³
Huile de lubrification pour le compresseur à gaz	L	Lubrification des éléments en mouvements dans le compresseur	Huile de réserve entreposée dans les bidons dans la zone d'entreposage des matières dangereuses	0,15	m ³

Huile hydraulique pour les turbines à vapeur	L	Valves et autres équipements de contrôle	Dans la tuyauterie et 1 réservoir à l'intérieur du bâtiment principal de la centrale. Barils d'huile de réserve dans la zone d'entreposage des matières dangereuses	0,21	m ³
Huile pour transformateur	L	Réfrigérant	Dans les transformateurs des turbines à gaz, aire de confinement prévue	0	m ³
Huile pour transformateur	L	Réfrigérant	Dans les transformateurs des turbines à vapeur, aire de confinement prévue	0	m ³
Huile pour transformateur	L	Réfrigérant	Dans les transformateurs auxiliaires, aire de confinement prévue	0	m ³
Hydrogène	G	Réfrigérant pour les générateurs des turbines à gaz et à vapeur	Bouteilles de gaz	0	m ³
Soude caustique (50%)	L	Système de traitement des eaux	1 ou 2 réservoirs munis d'une zone de confinement	250	m ³
Acide sulfurique (93%)	L	Système de traitement des eaux	1 ou 2 réservoirs munis d'une zone de confinement	170	m ³
Alun	L	Système de traitement des eaux	1 réservoir relié au procédé avec une zone de confinement	1500	m ³

Source : document officiel de la centrale

L : liquide, G : gaz ; S : solide

I.5 BATIMENTS CONNEXES

Autre que les bâtiments sur les turbines électriques, la centrale est dotée de divers bâtiments connexes :

- Bâtiment administratif/entretien. Ce bâtiment comprend des bureaux, une cantine et une aire d'entretien pour usage comme magasin et pour la réparation d'équipement et appareillage.
- Poste de garde
- Usine de dessalement /déméralisation
- Salles électrique et salle de contrôle

- Traitements des eaux
- Poste de communication (GIC)

I.6 EXPLOITATION

La centrale proposée est conçue pour fonctionner à longueur d'année de façon continue, 24 heures sur 24, et pour une durée de vie de 25 ans.

L'exploitation de la centrale a créé une cinquantaine d'emplois affectés directement au fonctionnement de la centrale. De plus, un nombre limité de personnes sont sur place pour effectuer les services de supports à l'exploitation.

Un stationnement d'une capacité d'environ 50 véhicules permet aux employés de stationner sur le site. La circulation de véhicules sur le site est faible, en raison du nombre limité d'employés requis.

I.7 ACTIVITES DE CONSTRUCTION

I.7.1 Calendrier des travaux de construction

Les travaux liés à la construction de la centrale se sont étalés sur une période d'environ vingt-huit (28) mois. Le début de la construction a commencé l'été de 2006, et la mise en service de la centrale en 2008. La main-d'œuvre nécessaire au chantier pour la construction de la centrale est évaluée à environ 700 années-personnes réparties sur une période de 28 mois.

I.7.2 Préparation de cite

Tout d'abord le sol est excavé pour préparer les fondations des divers bâtiments et des équipements importants. La couche de sol de surface propre à l'agriculture est enlevée dans un premier temps. Ces sols sont entreposés temporairement sur le site et mis en réserve pour l'aménagement paysager du site.

Un raccordement électrique temporaire a alimenté le chantier à partir d'une ligne électrique de 30 kV desservant le secteur. Les besoins en électricité étaient d'environ 2 000 kVA. La distribution temporaire sur le chantier s'est faite au moyen de lignes aériennes.

I.7.3 Construction des bâtiments et mise en place des équipements

Le béton nécessaire à la construction des fondations et autres composantes de l'usine était fabriqué par une usine de béton temporaire située sur place. La quantité totale de béton requise est estimée à environ 30 000 m³.

Lorsque les fondations et les dalles sur sol ont été coulées, les travaux se poursuivraient avec l'érection des charpentes d'acier. Les murs et toitures sont constitués d'un revêtement métallique.

La plupart des équipements ont été livrés au site en larges sections préassemblées, ce qui a permis de réduire les délais d'installation sur site. La livraison des équipements volumineux et lourds était effectuée par bateau. Une rampe de chargement était construite pour recevoir ces livraisons.

Les turbines à gaz, les turbines à vapeur de même que les chaudières de récupération sont constituées de larges modules qui étaient installés sur leurs fondations au fur et à mesure de leur arrivée sur le site. Cette phase majeure de construction a eu lieu majoritairement au cours de 2007 pour se terminer au début de 2008

Les travaux de mise en place des râteliers, des conduites et des raccords électriques ont commencé en parallèle avec l'alignement final des équipements majeurs. Lorsque ces travaux étaient à peu près terminés, on a effectué les travaux d'aménagement extérieurs, comme le pavage des routes et du stationnement.

Conclusion

Ce chapitre n'aurait pas abouti sans la courtoisie de SNC Lavalin qui a mis à notre disposition la documentation essentielle sur la conception de la centrale à partir de laquelle nous avons repris ou résumé certains passages.

A travers ce chapitre, nous avons détaillé les constituants et de la centrale ; leurs emplacement et fonctionnement pour bien comprendre c'est quoi une centrale thermique à cycle combiné.

CHAPITRE II :

*Les différents procédés de
dessalement*

Introduction

Le dessalement de l'eau de mer est un enjeu important pour l'avenir des régions arides et semi arides, également appelé dessalage ou désalinisation. Le dessalement est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment).

Il existe aujourd'hui de nombreux procédés de dessalement de l'eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel grâce au développement technologique de ce domaine. Les deux procédés les plus courants à travers le monde sont la distillation et l'osmose inverse.

II.1 CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE MER ET SAUMATRES

Le problème de dessalement concerne principalement deux catégories d'eau salée, l'eau de mer et les eaux saumâtres.

II.1.1 Les eaux de mer

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, pacifique) est de l'ordre est de 35 g/l, cette valeur est considérée comme la salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation.

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océanique (voir le tableau II.2).

Tableau II. 1 : La salinité de l'eau de mer et d'océan.

Mer ou océan	Salinité (mg/l)
Mer Baltique	7000
Mer Caspienne	13500
Mer Noire	20000
Mer Adriatique	25000
Océan Pacifique	33600
Océan Indien	33800
Océan Atlantique	36000
Mer Méditerranée	39000
Golfe Arabique	43000
Mer Rouge	43000
Mer Morte	270000

Source : Maurel.A(2006)

II.1.2 Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fin la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g de sels par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme mais d'eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl . [3]

II.2 L'HISTOIRE DE DESSALEMENT

Depuis des temps anciens on avait constaté qu'en portant à ébullition de l'eau saline on obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau douce.

La première application industrielle de l'évaporation-condensation a été faite à bord des navires à vapeur vers 1880. Bien que ce soit en 1920 que la première usine de dessalement par voie thermique fut installée à terre (Jeddah – Arabie Saoudite), ce n'est qu'à partir de 1960 que des usines de grande capacité voient le jour, principalement au Moyen-Orient.

Les usines de dessalement d'eau de mer utilisant le principe de l'osmose inverse apparaissent à la fin des années 1970. Elles sont tout d'abord adaptées aux faibles capacités de production, pour devenir petit à petit compétitives par rapport à la distillation, et ceci même pour les grandes capacités, du fait principalement de la diminution du prix des membranes et de leurs besoins en énergie électrique.

Actuellement, est d'après l'inventaire mondial de l'association internationale de dessalement (IDA), il existe plus de 15000 unités de dessalement dans le monde produisant enivrent 56 millions de m^3/j , dans 120 pays.

Les pays de moyen orient, est principalement ceux du Golf-Persique, atteignent 12 millions de m^3/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23.6% du totale elle est suivie par les Etats Unis avec 16.16%, les émirats arabes Unis avec 16.3% et le Koweït 6.4%.

Tableau II. 2 : Répartition de la production de l'eau dessalée (l'eau de mer).

	Eau dessalée en Mm^3/jour	%
Moyen-Orient	21	50
Amérique de nord	7.56	18
Asie	5.46	13
Europe	5.46	13
Afrique	2.52	6
Total	42	100

Source : Algérienne des eaux, disponible sur : www.ADE;dz

II.3 LE DESSALMENT EN ALGERIE

Pour pallier le manque d'eau potable ou bien pour la production d'énergie électrique dans le pays, l'Algérie a décidé de miser sur des usines de dessalement d'eau de mer. Un

manque que les autorités comptent atteindre 46 en 2020 pour répondre aux besoins nationaux.[5]

Selon les prévisions du Centre de recherche de dessalement au Moyen-Orient (Medrec), l'Algérie est appelée ainsi à se classer derrière l'Arabie saoudite, les Emirats arabes unis et les USA. L'Algérie sera à l'abri grâce aux méga stations qui sont ou sera réalisées dont la plus grande station de dessalement de la Maqta d'une capacité de production de 500 000 m³/j et plus de 30 stations d'une capacité allant de 2 500 à 500 000 m³/j, est produire plus de 2,5 millions de m³/j à travers ce vaste programme.

Tableau II. 3 : programme de dessalement en Algérie

Région	Nombre d'unités	Capacité (m ³ /j) En 2006	Capacite (m ³ /j) En 2010	Capacite (m ³ /j) En 2020-2030
Ouest	6	90 000	1 390 000	1 390 000
Centre	6		720 000	810 000
Est	4		150 000	380 000
Total	16	90 000	2 260 000	2 580 000

Source : Ministère Algérien des ressources en eau., *Rapport de mission*, 2008.

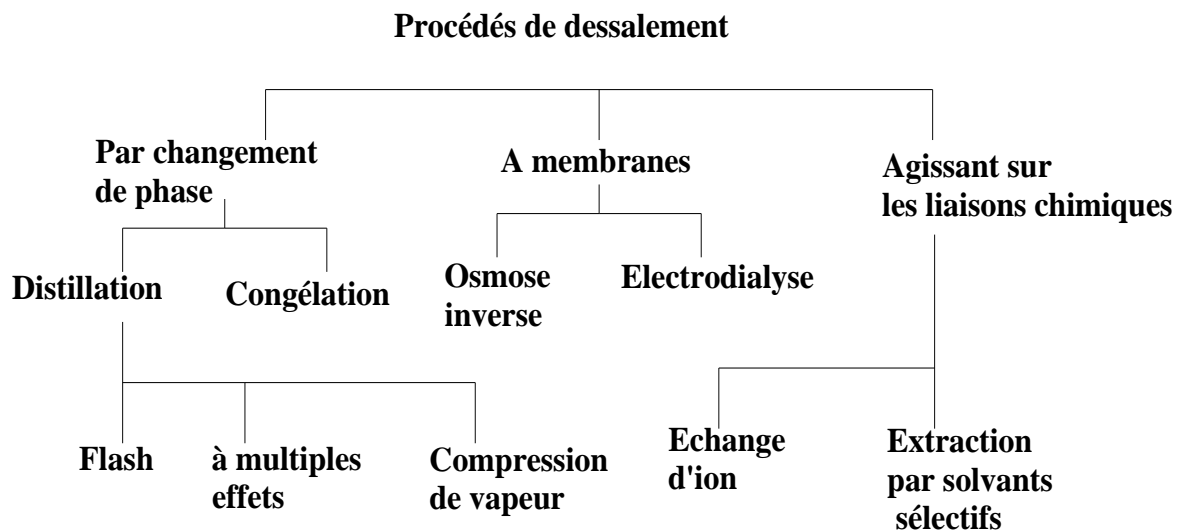
II.4 LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE DESSALEMENT DES EAUX

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

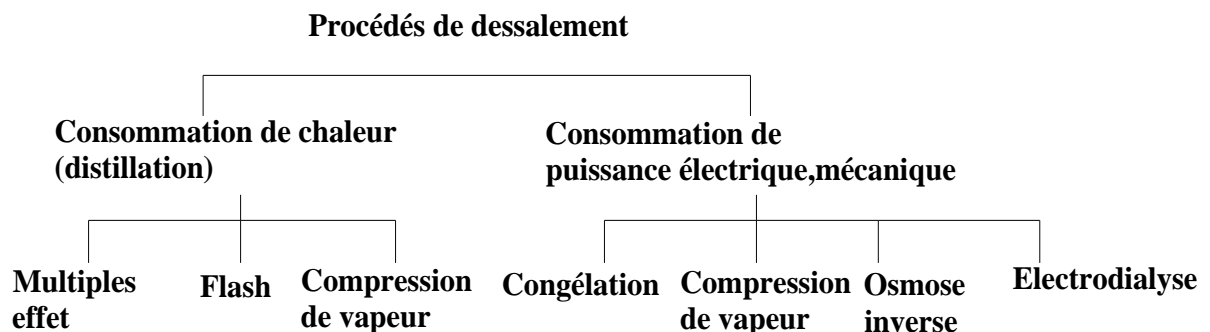
- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases.
- Les procédés utilisant des membranes.
- Les procédés chimiques.

Ces procédés peuvent être classés plus précisément, soit :

a. Selon le principe sur lequel ils se basent



b. Selon le type d'énergie consommée



II.4.1 Procédés thermique (changement de phase)

II.4.1.1 La distillation

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

a. Distillation à simple effet

C'est le premier procédé qui a été employé depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. 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 éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

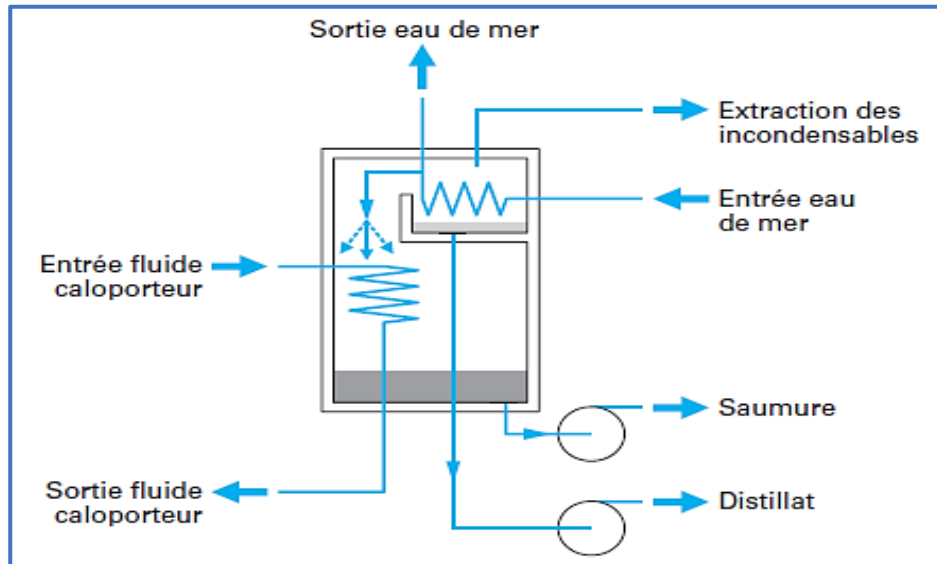


Figure II. 1 : Le principe la distillation a simple effet.

b. Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation : MED)

La distillation à multiples effets se base sur la recherche d'une récupération aussi poussée que possible de la chaleur libérée par la condensation et par une évaporation sous pression réduite.

La distillation à multiples effets c'est une installation constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure II.1). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide (Figure II.2).

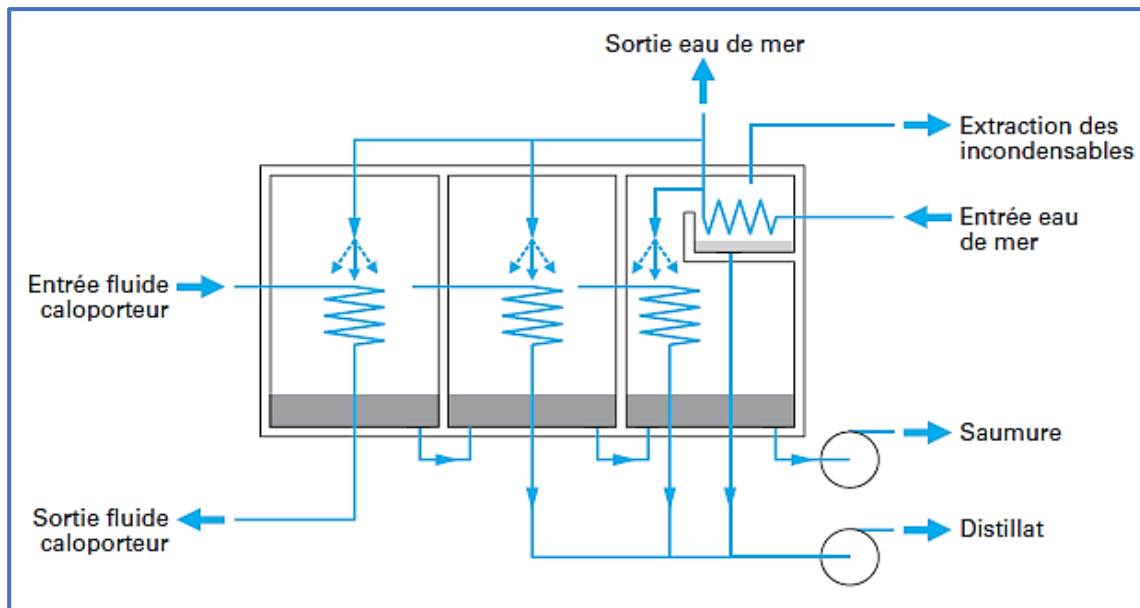


Figure II. 2 : Le principe de la distillation à effet multiple (MED).

➤ **Distillation par longs tubes verticaux**

L'eau de mer admise en A bout en descendant par les tubes B et la vapeur sert de source de chaleur pour l'étage suivant. Seul le premier est alimenté en vapeur spécialement produite. La vapeur en C se condense sur les tubes et l'eau douce est collectée en D. Comme la montre la figure ci-après.

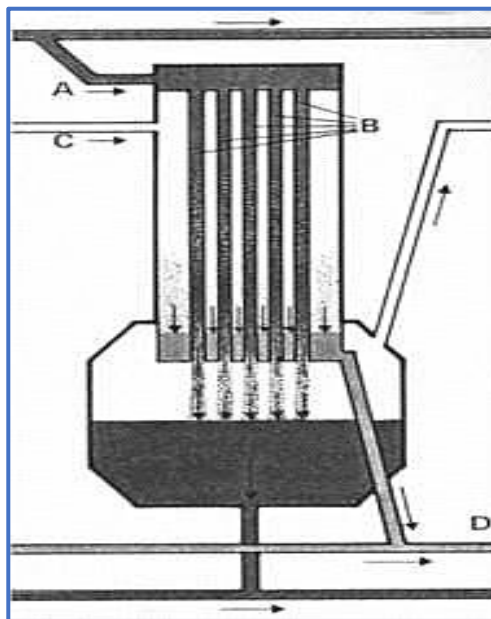


Figure II. 3 : Distillation par longs tubes verticaux. [6]

➤ **Distillation par longs tubes horizontaux**

Appelés aussi HTME dans la littérature anglo-saxonne (Horizontal Tube multiple Effect) dont le développement industriel date seulement d'une vingtaine d'années, constitués essentiellement de faisceaux tubulaires horizontaux chauffés intérieurement par de la vapeur et arrosés extérieurement par l'eau de mer.

c. Distillation par détentes successives ou multi flash (MSF)

Le procédé Flash est relativement ancien, la première unité est installée en 1928 en URSS mais a reconnu un essor notamment dans les pays du Golfe à partir des années 1960 par l'installation d'une unité de 4500 m³ au Koweït en 1957. Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par détentes successives de températures excessives jusqu'à T_{\max} et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

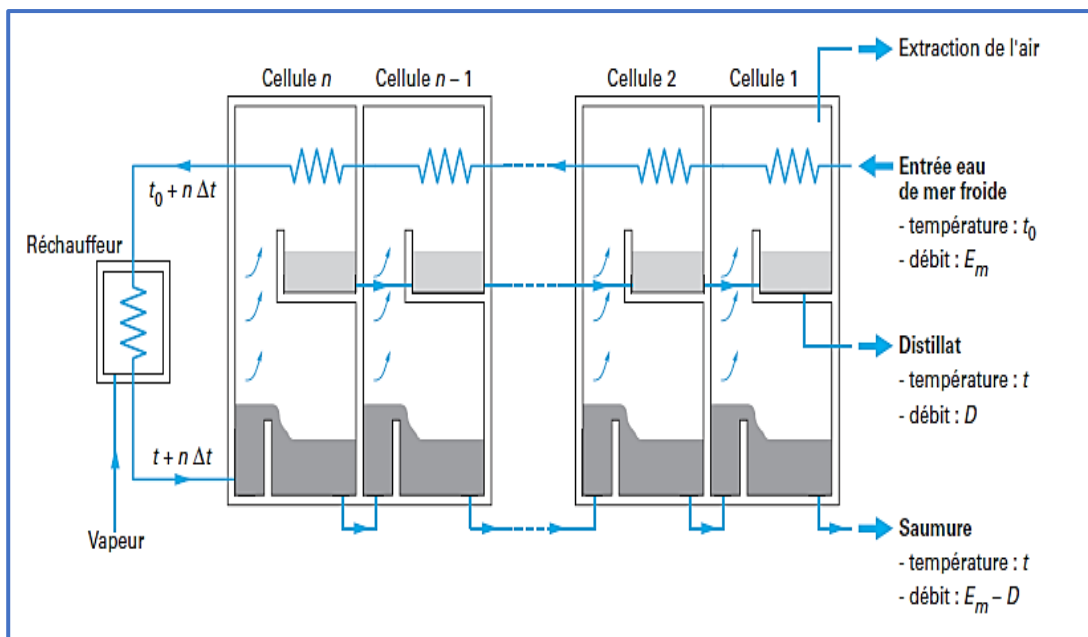


Figure II. 4 : Distillation par détentes successives (MSF).

d. Distillation à compression de vapeur (MVC)

Ce procédé a pour principe de récupérer la chaleur de condensation avec un apport d'énergie sous forme mécanique. On peut l'utiliser dans un évaporateur simple ou à multiples effets. Un compresseur aspire la vapeur produite dans le dernier effet ou dans l'effet unique s'il s'agit d'une petite installation. Après la compression, cette vapeur à haute pression a une température plus élevée que celle régnant dans l'évaporateur qui peut donc servir de condenseur pour cette vapeur qui le traverse dans un réseau de tuyaux, réchauffant l'eau à dessaler en lui cédant la chaleur de condensation et commencer de la sorte un nouveau cycle, avant d'être évacuée sous forme d'eau distillée.

Ce système, qui produit de l'eau pure, a un coût énergétique moyen de 7 à 14 KWh/m³ selon qu'il s'agit d'un ou de deux effets. Il ne fonctionne qu'à l'énergie électrique. Cependant, on peut associer au compresseur un échangeur thermique pour réchauffer l'eau salée en récupérant la chaleur perdue par les gaz d'échappement ou les vapeurs de combustion.

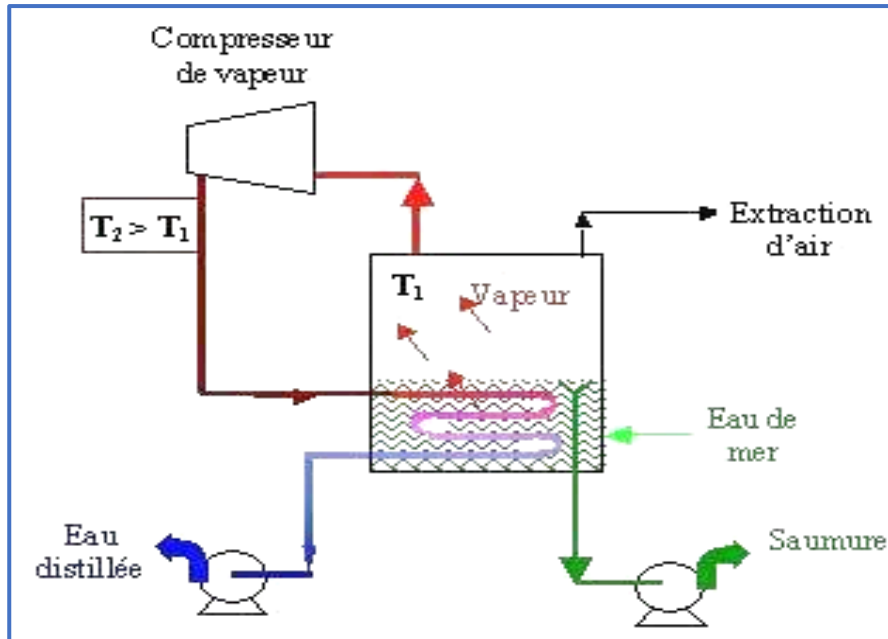


Figure II. 5 : Schéma de distillation à compression de vapeur (MVC)

e. Distillation par thermo compression

Le mélange d'eau de mer et de saumure est introduit par la pompe E autour des tubes F du condenseur. Le compresseur G injecte dans la chambre de la vapeur d'eau qui évapore de l'eau salée ce qui entretient la masse de vapeur brassée par le compresseur. Constamment, une partie de la vapeur se condense dans les tubes verticaux, fournissant l'eau douce, collectée en H.

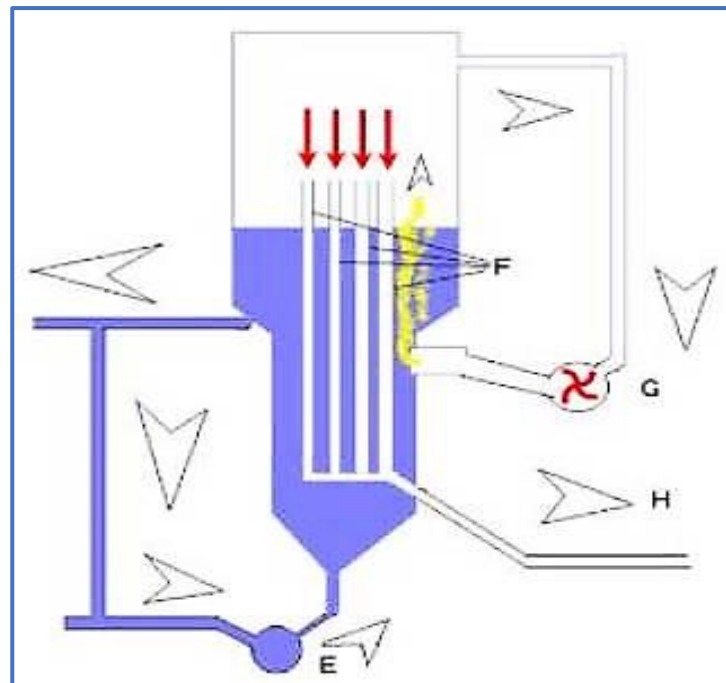


Figure III. 6 : Distillation par thermo compression

f. Distillation solaire

L'idée est très ancienne, utilisée par les grecs au III^e siècle avant J.C, dont le principe est le suivant : Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau saline de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi relativement froide du verre. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière.

II.4.1.2 La Congélation

C'est un procédé physique par changement de phase qui ne nécessite pas l'utilisation de réactifs ou des produits additionnels. Le principe de base de la congélation comme procédé de traitement des eaux est basé sur le fait que, lorsque l'on congèle une solution aqueuse (eau de mer), les cristaux de glace formés sont constitués d'eau pure, le soluté ou polluant restant dans la phase liquide aqueuse.

L'image du procédé de congélation que l'on peut mémoriser est que le cristal de glace en cours de formation ne se « nourrit » que de molécules d'eau pures.

II.4.2 Les procédés membranaires

II.4.2.1 L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution. L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives qui sont anionique (A) ou cationique (C) 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.

L'électrodialyse est généralement appliquée dans le dessalement des eaux saumâtres. En effet, il peut obtenir de divers effets de dessalement, Cependant, dans le cas du dessalement profond, le problème d'entartrage hérite le jeu, est relié à la précipitation des sédiments de CaCO_3 , de CaSO_4 et de Mg(OH)_2 sur la surface des membranes.

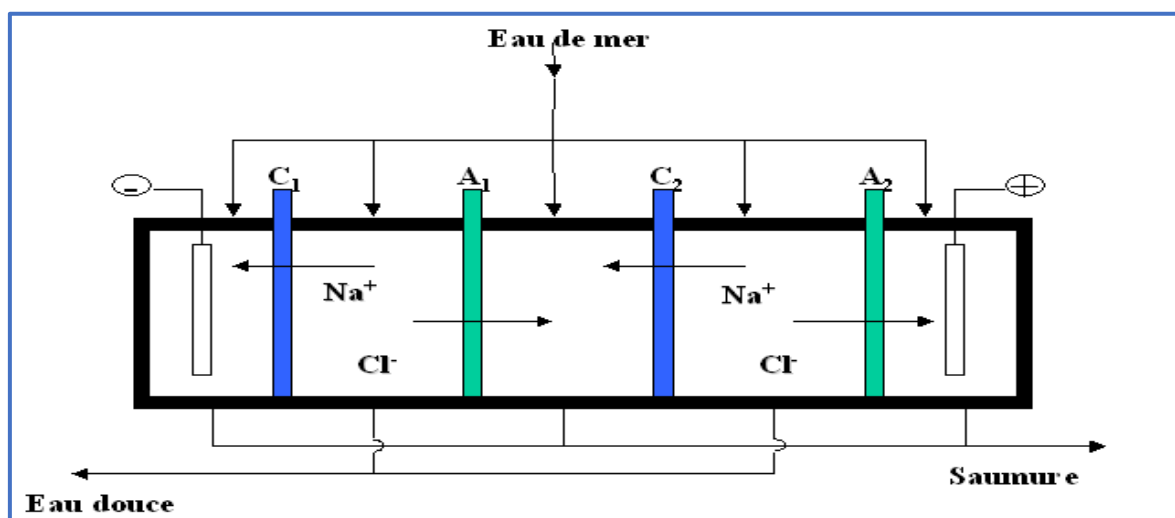


Figure II. 7 : Le principe de l'électrodialyse. [6]

II.4.2.2 L'osmose inverse

Le processus de dessalement par osmose inverse est basé sur l'utilisation de membranes semi-perméables. Ces membranes permettent le passage de l'eau mais ils sont imperméables aux sels. Dans des circonstances normales, lorsqu'une telle membrane est utilisée pour séparer deux solutions à différentes concentrations de sel, l'eau passe de la moins concentrée à la plus concentrée en sel. Ce processus, appelé osmose est un phénomène naturel. Cependant, si l'on exerce une pression suffisante sur la cuve à concentration de sel élevée, il est possible d'inverser la direction de l'eau pure, qui passera de la cote la plus salée à la cote la moins salée. C'est le principe de l'osmose inverse (voire Figure II.7).

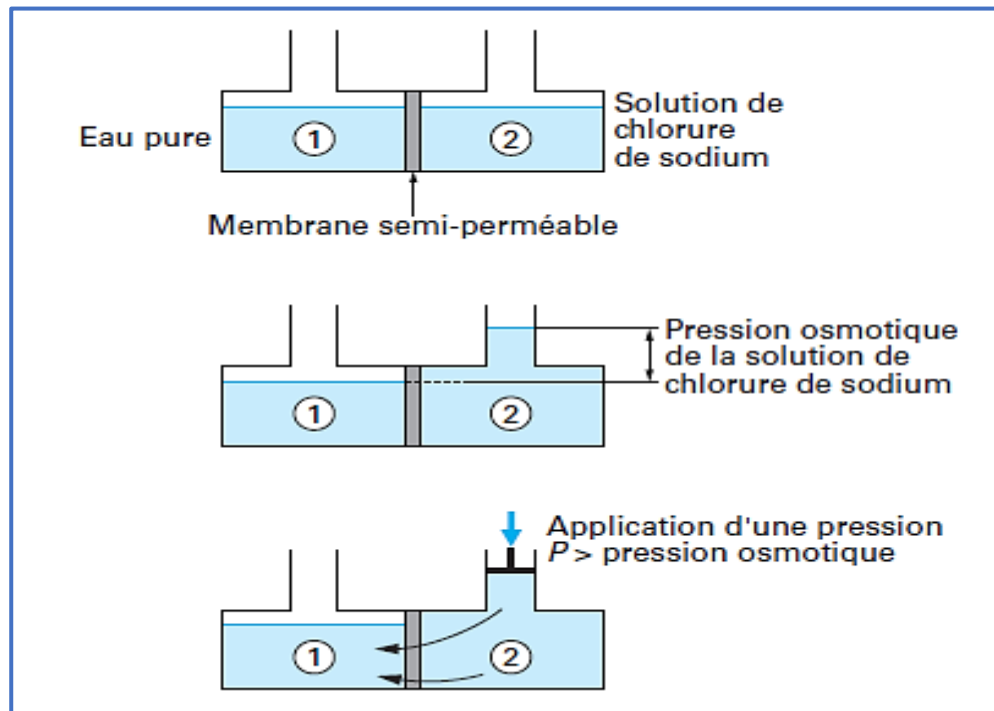


Figure II. 8 : Le principe de L'osmose Inverse.

II.4.3 Les procédés chimiques

II.4.3.1 L'échange d'ions

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (par exemple des cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés.

Si on remplace tous les cations dissous dans l'eau par des ions H^+ et tous les anions par des ions OH^- , ceux-ci vont se recombiner pour former de nouvelles molécules d'eau. Pour y parvenir, il faut avoir une résine échangeuse de cations sous la forme H et une résine échangeuse d'anions sous la forme OH. Tous les cations et anions de l'eau seront échangés, et le résultat net est une "disparition" complète des contaminants ionisés. La réaction d'échange de cations sera :





Dans ces équations, R' représente la résine échangeuse de cations. L'échange est illustré dans la figure (II.9). La résine est initialement sous forme hydrogène (H⁺).

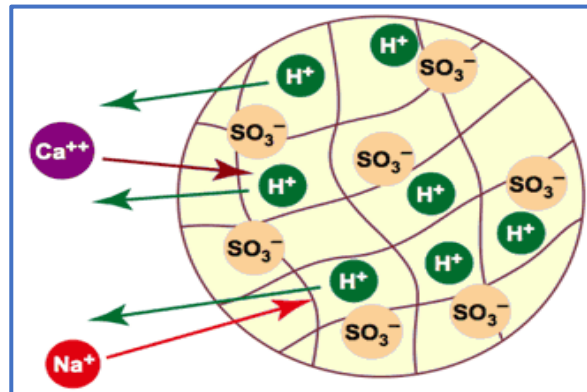


Figure II. 9 : Remplacement des cations par H⁺. [7]

De la même façon, une résine échangeuse d'anions sous forme OH⁻ peut éliminer tous les anions :



Où R'' représente la résine échangeuse d'anions. Tous les anions sont remplacés par des ions hydroxyde (OH⁻). À la fin du processus d'échange, les billes de résine ont fixé tous les cations et anions présents dans l'eau et les ont remplacés par des ions H⁺ et OH⁻ ions. Les résines sont presque entièrement saturées (figure II.10).

Ces ions H⁺ et OH⁻ se recombinent instantanément pour créer de nouvelles molécules d'eau :



Les contaminants ionisés ont été fixés sur les deux résines (Na, Ca et Mg sur l'échangeur de cations, Cl, SO₄ et HCO₃ sur l'échangeur d'anions) et l'eau a été complètement déminéralisée et sa salinité est réduite à presque rien.

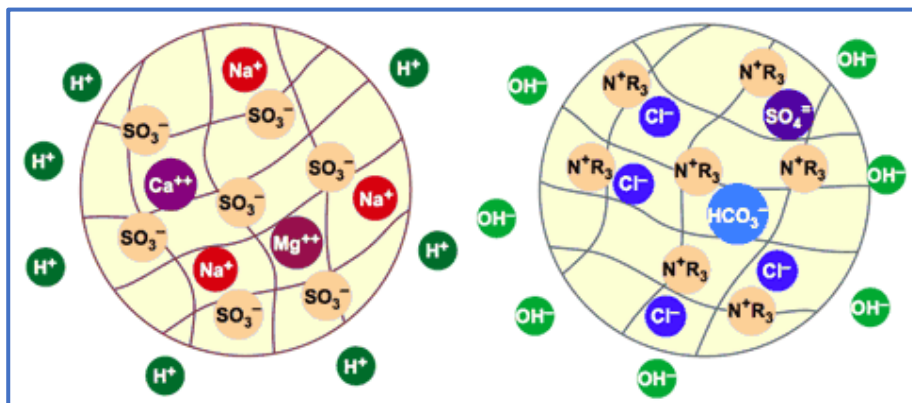


Figure II. 10 : La déminéralisation. [7]

Les billes de résine sont saturées des ions H⁺ et OH⁻ ont été relâchés dans l'eau.

II.5 CHOIX D'UN PROCEDE DE DESSALEMENT

Les facteurs à prendre en compte dans le choix d'un procédé de dessalement sont de deux ordres :

II.5.1 Critères économiques

- Coût de l'énergie : dépend de sa nature (énergie renouvelable, gaz, fuel), et de sa disponibilité locale (pays importateur, ou producteur...).
- Coût des produits chimiques : selon qu'ils sont disponibles localement, ou importantes.
- Fluctuation des monnaies : particulièrement pour les unités d'osmose inverse, provenant de manière quasi-exclusive des USA, et dont le coût dépend donc de la fluctuation du Dollar.

II.5.2 Critères techniques

- Salinité de l'eau à traiter : elle varie de 7g/kg dans la mer Baltique à 270g/kg dans la mer morte. En générale, les procédés de distillation permet de traiter des eaux de forte concentration, et les procédés à membranes sont généralement appliqués aux eaux saumâtres.
- Composition chimique de l'eau à traiter (particulièrement dans le cas des eaux saumâtres (teneur en sulfate, en carbonates).
- Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension,..) déterminent le type de prétraitement à utiliser, particulièrement dans les procédés à membranes, vue la fragilité de celle-ci.
- Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable à 15-30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle.
- Capacité nécessaire : la taille de l'installation peut aller de quelques m/jours à quelques centaines de milliers de m/jours.
- Source d'énergie disponible : gaz, pétrole, électricité, énergie renouvelable, énergie nucléaire, énergie récupérée
- Degré d'automatisation et de contrôle : la mise en place de mesure et/ou d'enregistrement du PH, de la sélectivité de l'eau produite, de la température, peut augmenter sensiblement les prix d'investissement des unités.

Conclusion

Le dessalement d'eau de mer est devenu ces dernières années une alternative éminente pour parer à la crise de l'eau potable dans le monde. Les améliorations faites ces dernières décennies ont fait des procédés de dessalement des techniques remarquablement viables et efficaces, dans la production d'une eau pure à des prix raisonnables.

À l'instar des procédés thermiques qui étaient la seule option perpétuelle pour dessaler l'eau de mer pendant plusieurs années, le procédé MSF et le procédé MED sont des technologies utilisées à une échelle commerciale et elles ont montré leur efficacité et leur compétitivité. Néanmoins, avec l'avènement des technologies membranaires, l'osmose inverse commence à gagner de la place sur le marché du dessalement.

CHAPITRE III :

*Le procédé d'osmose
inverse*

Introduction

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres a connu un développement important principalement au moyen orient (Arabie saoudite, pays du golf) entre **1975** et **1985** c'est-à-dire durant la période du « boom pétrolier »

Parmi les différents procédés disponibles, l'osmose inverse s'est généralisée pour le dessalement des eaux saumâtres, dont la salinité comprise entre 1et 10 g/l

Dans le cas de l'eau de mer, dont la salinité est comprise entre 35et 50g/l, l'osmose inverse est surtout utilisée pour les installations de faible capacité.

III.1 L'OSMOSE

➤ Principe

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration.

Considérons le système ci-dessous à deux compartiments séparés par une membrane sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes

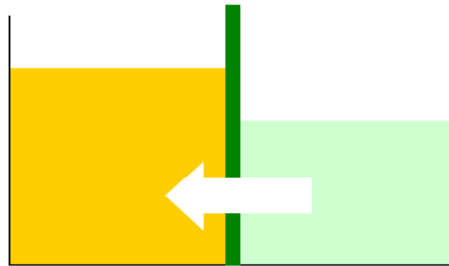


Figure III. 1 : L'osmose

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler.

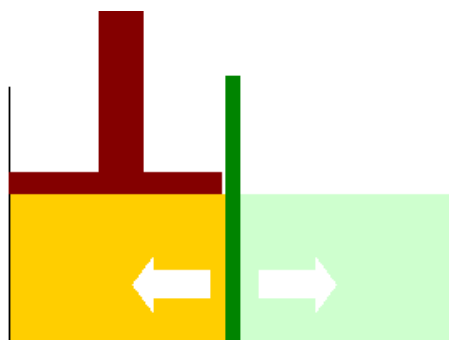


Figure III. 2 : Osmose inverse

Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique

III.2 DEFINITION ET PRINCIPE D'OSMOSE INVERSE

L'osmose inverse est l'hyperfiltration d'une solution au travers d'une membrane semi-perméable qui sépare le fluide initial en perméat (eau débarrassée de l'essentiel de ses sels) et en retentât ou concentrât (effluent contenant les sels retenus par la membrane) sous l'effet d'une pression supérieure à la pression osmotique.

Une pression supérieure à la pression osmotique de la solution est appliquée. L'eau diffuse à travers la membrane semi-perméable et les sels sont retenus dans le compartiment le plus concentré. Le processus s'effectue en sens inverse du processus naturel. La figure ci-après représente le principe d'osmose et d'osmose inverse

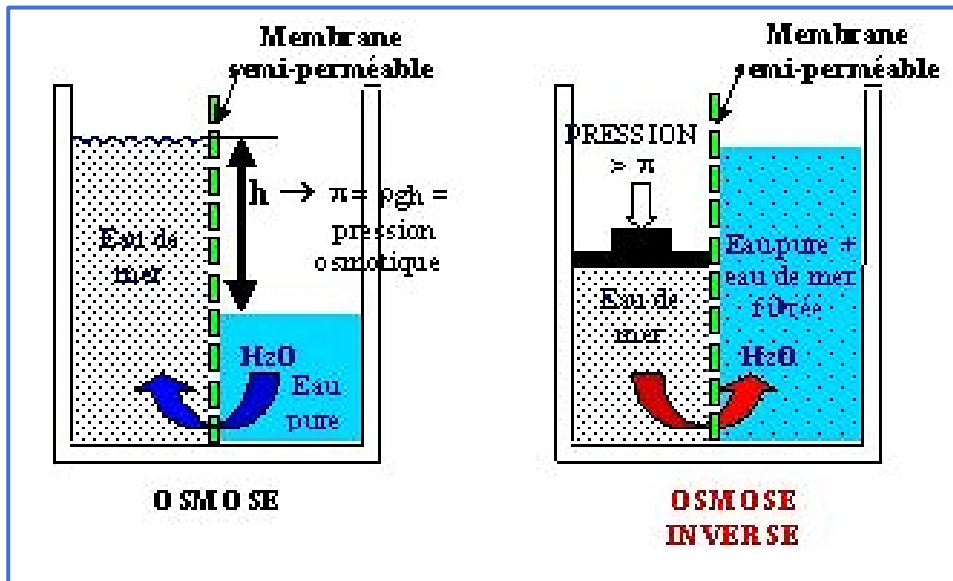


Figure III. 3 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

La pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celle des molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits :

$$\Pi V = n R T \quad (\text{III. 1})$$

- Π : Pression osmotique
- V : volume de la solution
- n : Nombre de moles de soluté
- R : constante des gaz parfaits
- T : température absolue

Si le soluté est dissocié en i ions la pression osmotique sera i fois supérieur.

La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté :

$$\Pi = i C R T \quad (\text{III. 2})$$

- Π : Pression osmotique en bar
- i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte
- C : Concentration molaire en mol/l
- R : Constante des gaz parfaits ($0.0821 \text{ bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
- T : Température absolue en °K

III.3 INSTALLATION D'OSMOSE INVERSE

Les principaux constituant d'une installation d'O.I sont les suivants :

- La pompe haute pression
- La membrane proprement dite
- Le module
- Eventuellement un système de récupération d'énergie.

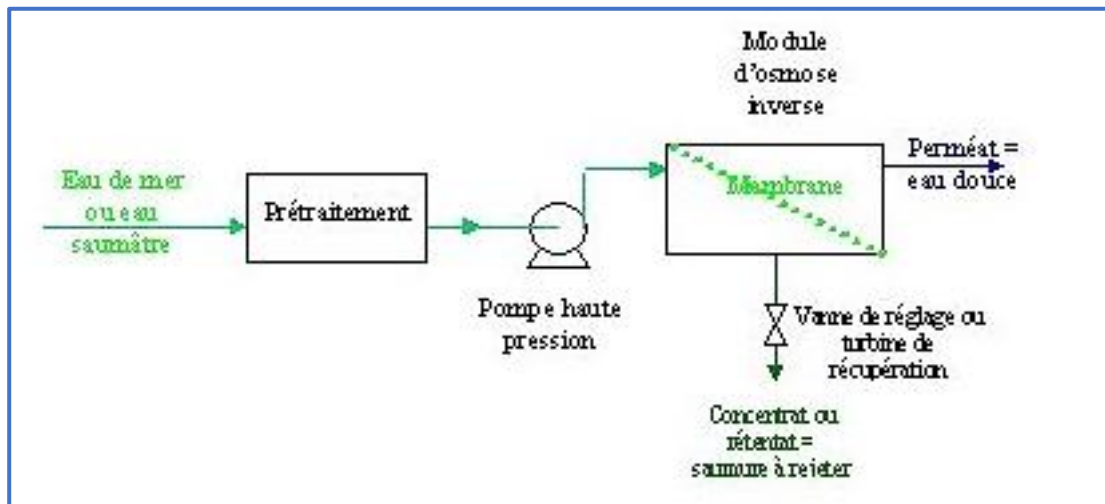


Figure III. 4 : Schémas de principe d'une unité d'OI

III.3.1 Pompe haute pression

La pression osmotique de l'eau de mer standard (35 g/l) à 15°C, est de 25 bars. Pour obtenir une productivité acceptable économiquement des membranes d'O.I, la pression d'alimentation doit être de l'ordre de 65 bar (P_{max} en fonction de l'origine des membranes : 56 à 90 bar). La mise en pression est assurée, soit par des pompes volumétriques (à pistons – à membranes), soit par des pompes centrifuges multi-étagées, les premières étant plutôt adaptées aux faibles débits. Pour maintenir des conditions optimales d'écoulement hydraulique dans les éléments d'O.I, un certain débit de déconcentration doit être maintenu. Le facteur de conversion ($((\text{débit perméat} \times \text{débit alimentation} - 1) \times 100)$) est de l'ordre de 40 à 60 %. C'est sur cette base que les prétraitements et les pompes haute pression sont dimensionnés.

III.3.2 Membranes

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certain transfert de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autre ou plus généralement en favorisant certain par rapport à d'autre

III.3.2.1 Types de membranes

Les membranes sont classifiées selon deux critères :

a. Selon la structure des membranes on cite

- Les membranes homogènes
- Les membranes asymétriques
- Les membranes composites

1. Membranes Homogènes

Percées de trous quasi-cylindriques, en général par une technique de bombardement suivi d'une attaque chimique (quelques membranes de microfiltration, ex. (membranes Nucléopore)

2. Membranes asymétriques

Préparées en une seule étape à partir du même matériau polymère mais dans lesquelles la couche perméable est réduite à une "peau" très fine, ceci afin de limiter la résistance au transfert qui est proportionnelle à l'épaisseur de cette couche. Celle-ci s'appuie sur une couche à pores beaucoup plus lâches, mais plus épaisse dont le rôle est d'assurer de bonnes propriétés mécaniques à la membrane sans freiner le débit d'eau de façon significative. On peut encore améliorer artificiellement ces propriétés en "coulant" la membrane sur un support textile renforçant la couche lâche.

3. Membranes Composites

Apparues plus récemment, des techniques permettent de déposer une peau perméable sur un support poreux préexistant, lui-même souvent asymétrique.

Les deux matériaux associés étant normalement de nature différente, ceci permet d'utiliser au mieux les propriétés des deux matériaux, mécaniques pour l'un, sélectives pour l'autre.

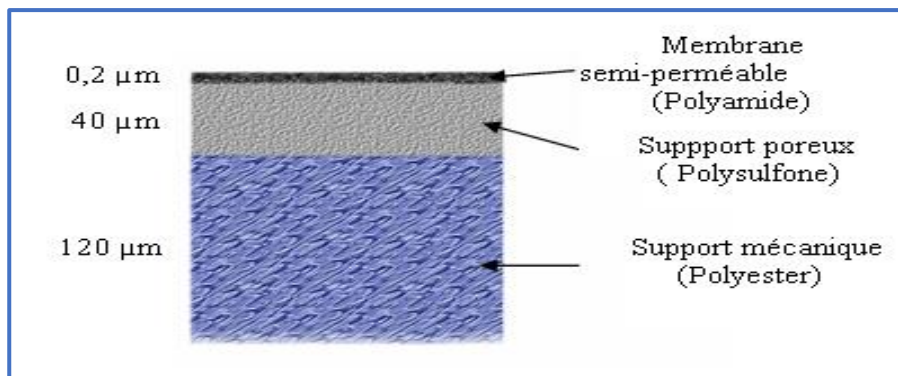


Figure III. 5 : Coupe d'une membrane composite fine

b. Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes

1. Membranes (organique) en acétates de cellulose

Le matériau de base est la cellulose dont, on remplace un plusieurs groupements hydroxyle par des groupements acétyle. On peut ainsi obtenir soit le dilacérant, soit le tri acétate de cellulose.

Ce type de polymère est le plus ancien mais il est encore utilisé par ce qu'il présente de nombreux avantages, en ayant certains inconvénients.

✓ **Avantage :**

- Présentent une perméabilité et sélectivités très élevées.
- La mise en œuvre est aisée
- Le matériau de base (cellulose) est très répondu et donc bon marché
- Une adsorption des protéines est faible d'où une tendance au colmatage mois élevée par rapport à d'autres matériaux membranaires.

✓ **Inconvénients :**

- Sensibilité à la température
- Sensibilité au PH
- Sensibilité au chlore
- Sensibilité aux micro-organismes
- Sensibilité au colmatage

2. Membrane en polyamide :

Compte tenu des inconvénients de l'acétate de cellulose, des membranes de type poly (amide) ont été développées principalement pour les applications en osmose inverse.

Polymères caractérisés par une liaison amide (-CONH-) dans la chaîne

✓ **Les Avantages par rapport aux membranes en acétate de cellulose**

- Meilleure stabilité chimique
- Meilleure stabilité thermique
- Meilleure résistance mécanique

✓ **Inconvénients**

- Très grande sensibilité aux oxydants, en particulier au chlore
- Faible perméabilité
- Problème d'adsorption, en particulier de protéines.

3. Membranes Minérales Ou Inorganiques

Ces techniques se sont diffusées plus tardivement que les membranes organiques. Ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux (matières céramiques, métal fritté, verre). Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane.

4. Membranes dynamique

Les membranes dites dynamiques sont fabriquées par l'utilisateur à partir de tubes poreux dont le diamètre des pores est compris entre 0.5 et 5 μm . Une dispersion colloïdale de zirconium associée à des copolymères est introduite à l'intérieur des tubes. Certaines de ces membranes peuvent trouver des applications en eaux usées.

✓ **Avantages**

- Investissement faible pour la fabrication
- Bonne tenue en température au PH et milieu oxydant

✓ **Inconvénient**

- Performances (perméabilité et sélectivité) médiocres en O.I
- Mise en œuvre nécessitant un savoir-faire important.

5. Membranes échangeuses d'ions

Introduites en 1950, elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge.

Les techniques d'électrodialyse, la dialyse et l'électrodéionisation font appel à cette technologie. Leur principal domaine d'application actuel est le dessalement de l'eau et le traitement des effluents des installations de protection et de décoration des métaux.

III.3.2.2 Caractérisations des membranes

Le taux de conversion et la sélectivité des membranes sont des deux grandes notions qui permettent de caractériser les membranes.

c. Définition du taux de conversion

Dans le cas des techniques à membrane, l'écoulement du fluide à filtrer peut-être continu et tangentiel (figure ci-dessous).

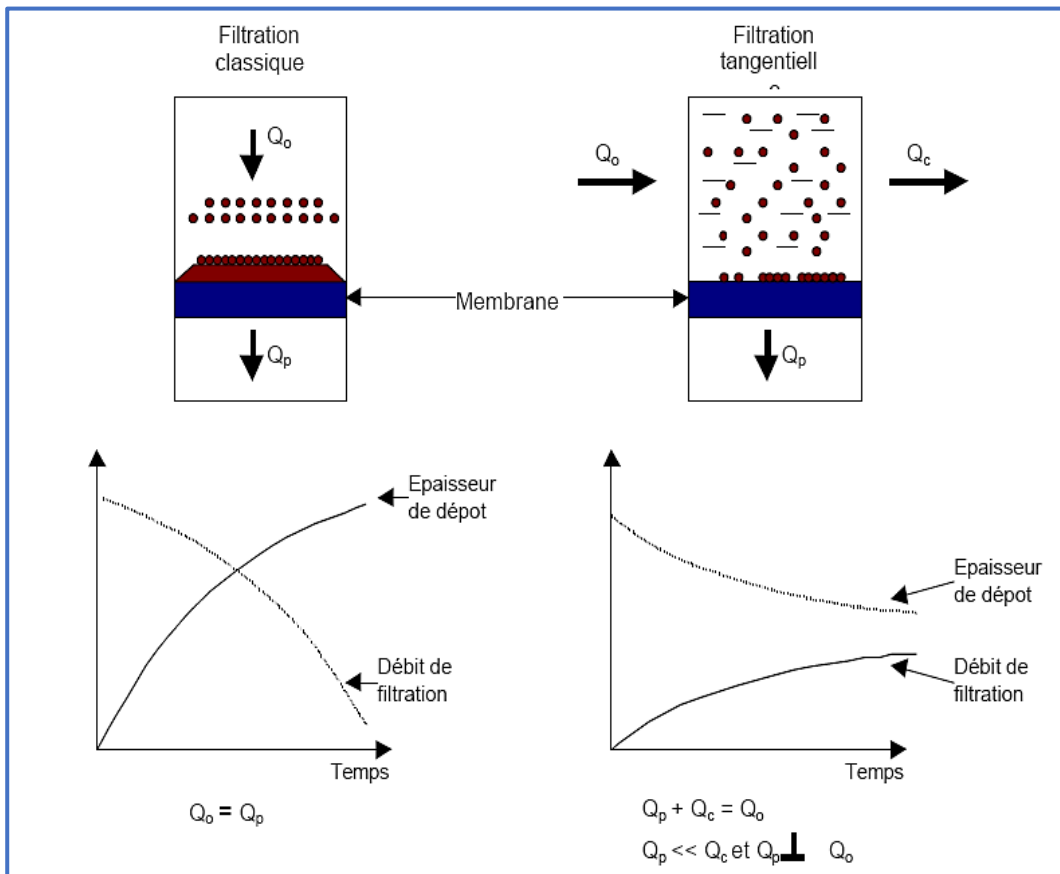


Figure III. 6 : Comparaison entre filtration classique (ou frontale) et filtration tangentielle

La solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- Une partie qui passe à travers la membrane ou perméat (débit Q_p)
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrat ou retentât (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

La fraction de débit du liquide qui traverse la membrane est appelée taux de conversion de l'opération de séparation :

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0} \tag{III. 3}$$

Dans le cas du traitement des eaux, c'est le perméat qui est le flux valorisé. Maurel,

d. Définition de la sélectivité

La sélectivité d'une membrane est, en général, définie par le taux de rejet (appelé aussi taux de rétention) de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir :

$$TR = \frac{c_o - c_p}{c_o} = 1 - \frac{c_p}{c_o} \quad (\text{III. 4})$$

Avec :

- C_o : concentration de l'espèce à retenir dans la solution
- C_p : concentration de la même espèce dans le perméat

Dans le cas de l'osmose inverse, le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (Na Cl), la déminéralisation des eaux étant l'application la plus importante.

Certaines membranes développées pour le dessalement de l'eau de mer ont un taux de rejet au chlorure de sodium de 99 % environ. D'autres, développées pour le dessalement des eaux saumâtres, présentent un taux de rejet au Na Cl de 96 %.

III.3.2.3 Les paramètres qui influent sur la performance des membranes**e. Facteurs physiques**

- **La Température**

Ce paramètre influence fortement les performances d'un osmoseur, en raison principalement de la modification de la viscosité de l'eau : une eau froide, d'une viscosité plus élevée, traverse moins facilement une membrane. La pression d'alimentation de l'osmoseur devra alors être plus importante.

Dans la pratique, la température maximale acceptable est entre 40 et 50°C.

- **Les matières en suspension dans l'eau à traité**

Les membranes perdent toute leur efficacité si le dépôt est trop important et empêche le passage de l'eau. Il faudra donc éliminer ces particules, dans le cas d'une eau très chargée, par l'utilisation de prétraitements (floculation, filtration...)

f. Facteurs Chimiques

- **Le pH**

Il peut provoquer des hydrolyses dans ses valeurs extrêmes.

On maintient donc un pH entre 4 et 7, voire de 2 à 11 avec les membranes composites.

- **La Précipitation**

Certains sels peu solubles tels les sulfates de calcium ou de baryum peuvent précipiter et boucher les pores de la membrane. Là encore, des prétraitements telle la décarbonatation, le désiliciage ou la défrisassions peuvent être mis en œuvre avant le traitement par osmose inverse

Remarque

Les calculs du renouvellement de membranes s'effectuent avec une projection de trois ans c'est cette valeur qui sert de référence aux garanties formulées.

III.3.3 Les modules d'osmose inverse

Les modules supportent les membranes, 4 grands types de modules sont commercialisés

- Modules tubulaires
- Modules fibres creuses
- Modules plans
- Module spirales

Plusieurs critères sont à prendre en compte pour le choix d'un type de module :

- Régime d'écoulement permettant de minimiser les phénomènes de polarisation (écoulement laminaire ou turbulent)
- Compacité qui est exprimée par le rapport de surface filtrante /volume de l'appareil
- Facilité de démontage et de remplacement des membranes défectueuses
- La facilité de nettoyage
- Le volume mort de l'appareil (exprimé en l/m²)
- Adaptation au produit à traiter (nécessité au non de préfiltration)

III.3.3.1 Les modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes.

Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiels. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement

L'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent, voire très turbulent. A cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne a priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations

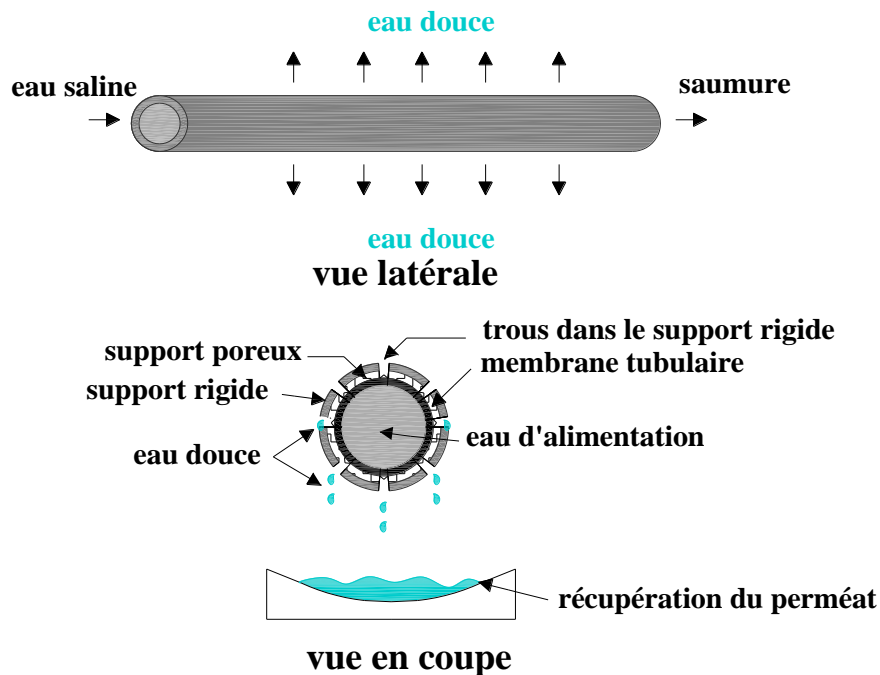


Figure III. 7 : Schéma de principe d'un module tubulaire [8]

✓ **Avantage**

- Prétraitement simplifié, car les diamètres sont importants
- Ce module tolère des fluides chargés en particules ainsi les particules d'une dimension $\leq 1/10$ du diamètre du tube.
- Facilité de nettoyage
- Remplacement simple d'une membrane défectueuse

✓ **Inconvénients**

- Consommation d'énergie électrique élevée dans le but d'effacer le risque des dépôts du aux phénomènes de polarisation de concentration
- Faible compacité : ces modules ont la surface de transfert par unité de volume la plus faible de tous les systèmes existants, soit entre 10 et 300m²/m³.

III.3.3.2 Les modules fibres creuses

Les fibres creuses sont assemblées en parallèle suivant deux configurations :

- Configuration Int-Ext : comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel canalisé à l'intérieur des fibres.
- Configuration Ext-Int : l'eau circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre.

Dans les deux cas, les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le perméat de l'eau à traiter. Un module industriel peut-être constitué de dizaines de milliers de fibres. Les fibres creuses supportent des rétro lavages. L'écoulement à l'intérieur des fibres creuses est, selon toutes probabilités, laminaire.

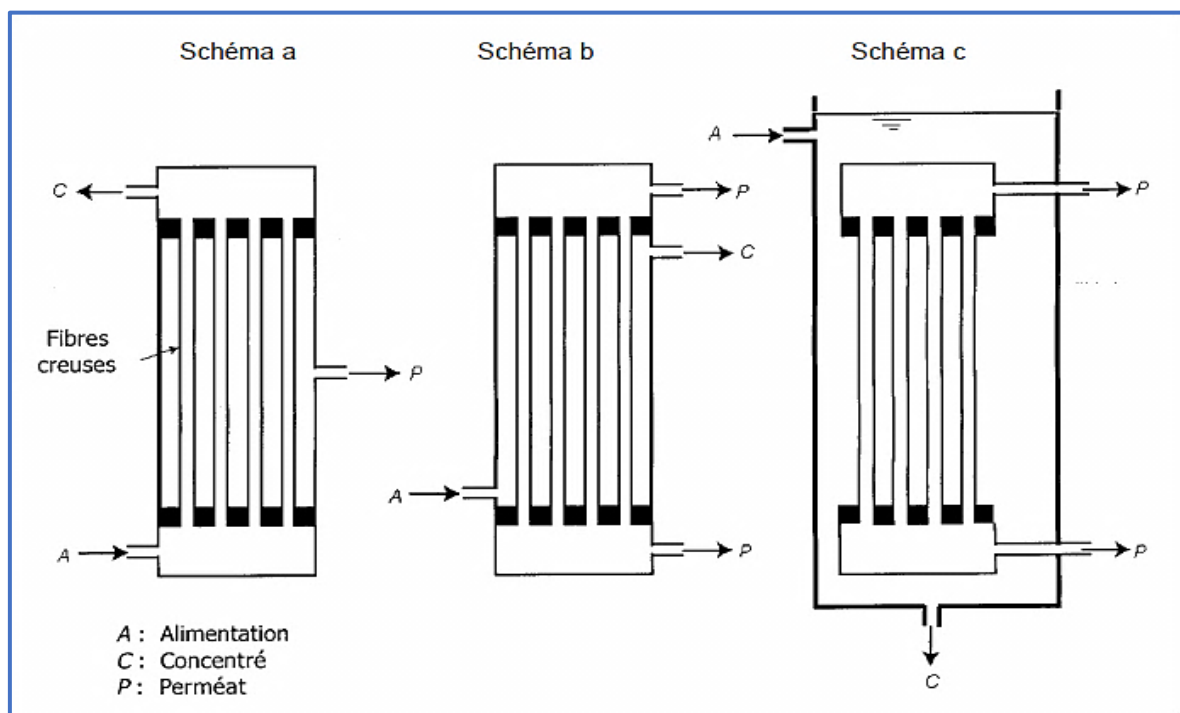


Figure III. 8 : Modules à fibres creuses [8]

✓ **Avantage**

- Capacité élevée : les modules fibres creuses ont la surface d'échange par unité de volume la plus élevée de tous les systèmes existants.
- Faible consommation d'énergie à cause d'une faible vitesse
- Position de nettoyage à contre-courant.

✓ **Inconvénients**

- Colmatage assez facile à cause du faible diamètre
- Prétraitement assez important.

III.3.3.3 Les modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides. Ces modules sont facilement démontables mais le rétro lavage est impossible

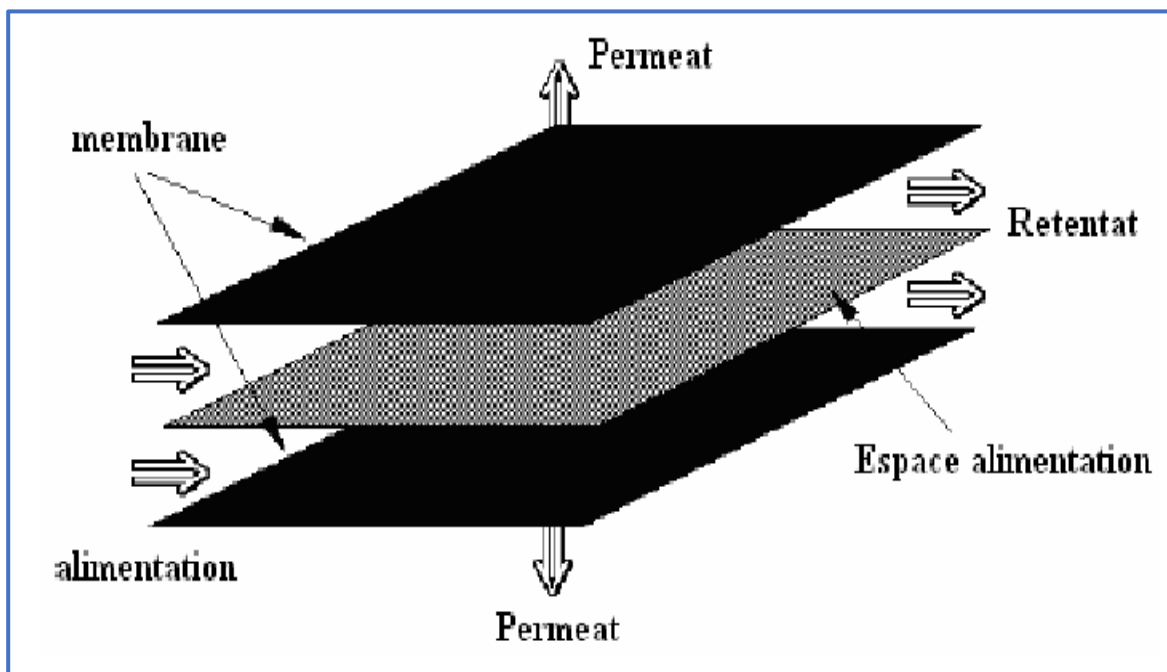


Figure III. 9 : Module plan [9]

✓ **Avantage**

- Système modulaire pouvant être modifié relativement aisément par l'utilisateur (augmentation ou diminution du nombre d'éléments)
- L'utilisateur change lui-même les membranes soit après usage, soit pour tester de nouveaux types de membranes
- Prétraitement simplifié car la distance entre membrane est de l'ordre de millimétré.

✓ **Inconvénients**

- Système peu compact.
- Investissement relatif élevé.

III.3.3.4 Les modules en spirales

Les modules spiraux représentent une approche tout à fait différente pour créer de grandes surfaces par unité de volume. Un diagramme schématisé est montré sur la figure IV 10. Deux feuilles rectangulaires de matériaux membranaires, sont scellées ensemble sur trois côtés, de manière que les couches actives sont tournées vers l'extérieur. Un espaceur est placé à l'intérieur de l'enveloppe ainsi formée, le coté ouvert de l'enveloppe est relié à un tube poreux de collecte et l'enveloppe est enroulée autour du collecteur. Un second espaceur est enroulé autour du rouleau ainsi formé. Cette surface libre devient le canal pour le débit de l'alimentation et du retentât, alors que la surface libre à l'intérieur de l'enveloppe devient le canal pour le débit du perméat qui aboutit dans le tube de collecte.

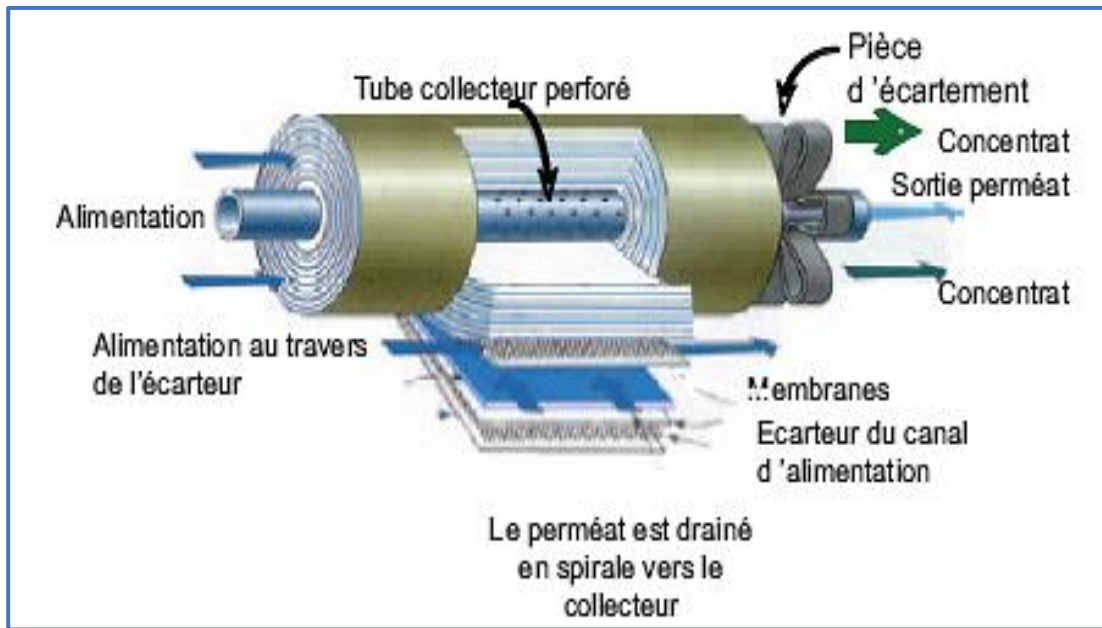


Figure IV. 10 : Description d'un module spirale d'osmose inverse.

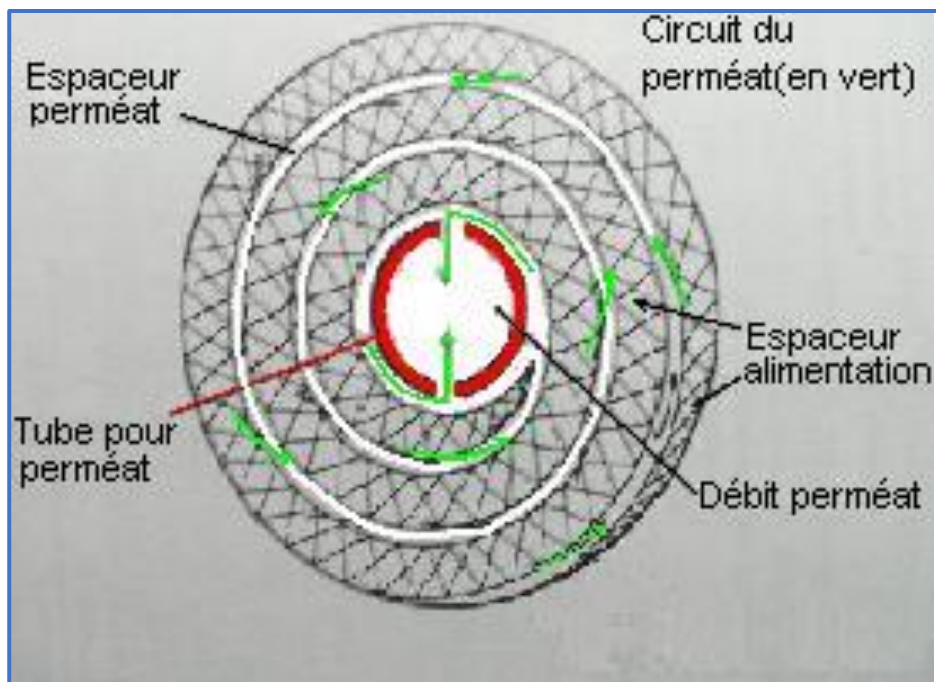


Figure III. 11 : Vue en coupe d'un module spirale

✓ **Avantages**

- Très compact
- Prix de revient assez faible
- Prétraitement moins sophistiqué que le module fibres creuses.

✓ **Inconvénients**

- Sensibilité relativement élevée au colmatage par suite de la faible distance entre les membranes et surtout de la présence d'un espacer
- Difficulté de nettoyage.

III.3.4 Corps de pression

Les éléments membranaires sont mis en œuvre dans des corps de pression.

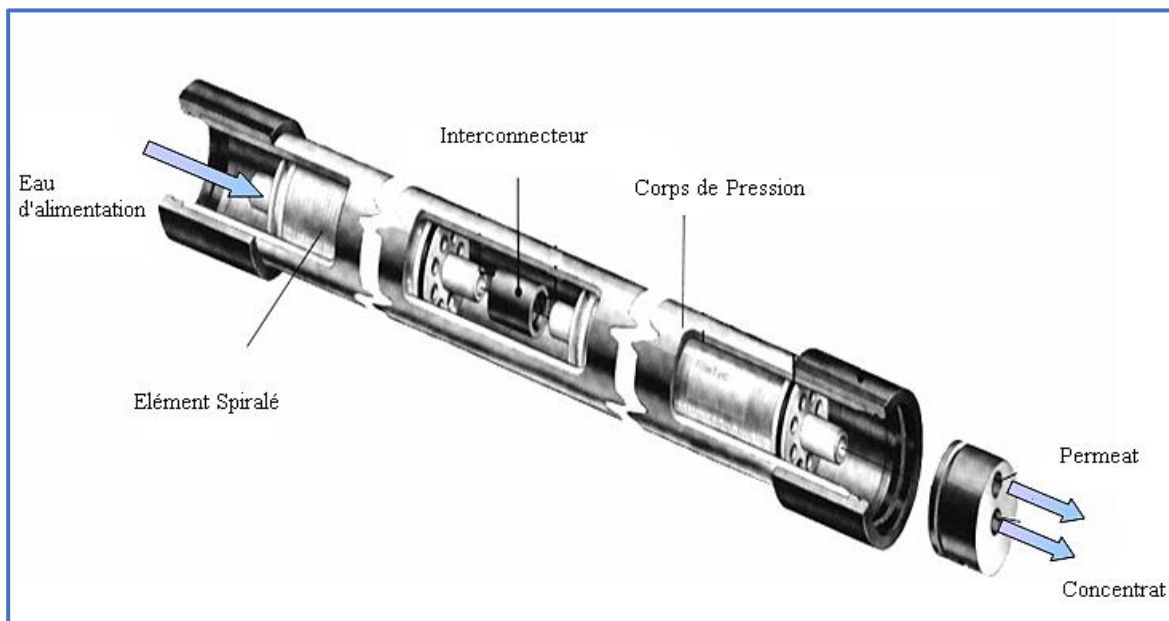


Figure III. 12 : Mise en œuvre des éléments dans un corps de pression

Il est à noter que ces éléments sont alimentés en série et que la production du perméat s'effectue en parallèle.

Ainsi le premier élément sera alimenté par de l'eau moins saline que le dernier, de ce fait la pression osmotique va aller en augmentant du premier au dernier élément, le différentiel entre pression d'alimentation et pression osmotique va donc en diminuant, ce qui entraîne une baisse de la production d'un élément au suivant.

III.3.5 Configuration de l'installation –mode de fonctionnement

Une unité industrielle de dessalement par O.I est constituée de la juxtaposition des modules élémentaires en série ou en parallèle définissant le mode série rejet et le mode série production, et fonctionnant selon différents modes dont chaque juxtaposition et son mode de fonctionnement définissent un procédé d'osmose inverse.

L'exemple le plus simple de la mise en œuvre d'un procédé d'O.I est représentée comme suit :

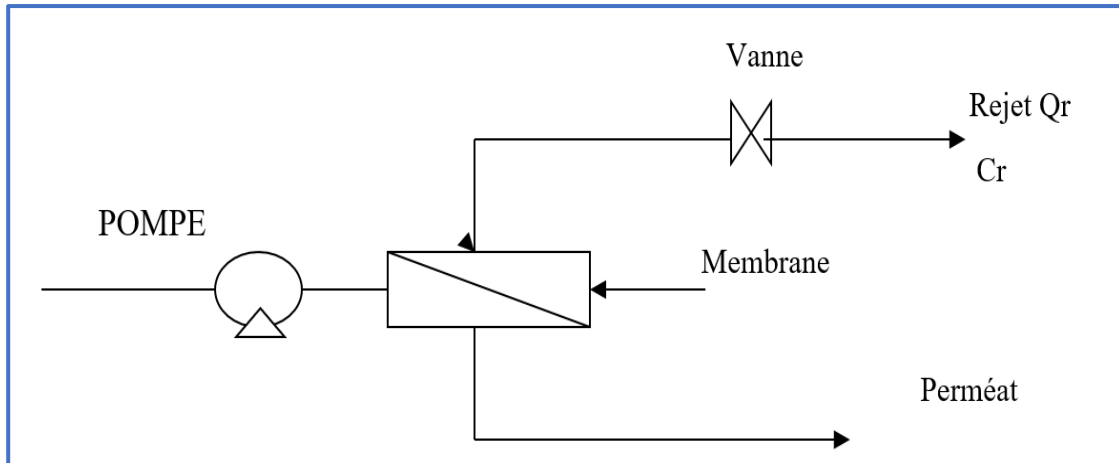


Figure III. 13 : Schéma simplifié d'un système OI

On distingue alors plusieurs procédés d'O.I dont les plus connus s'illustre ci-après :

III.3.5.1 Procède discontinu

Ce procédé est surtout utilisé pour de faibles volumes à traiter, il existe en principe deux procédés discontinus :

1. Procède discontinu avec recyclage

La solution à traiter est contenue dans un réservoir et sera envoyée dans les modules au moyen d'une pompe jusqu'à l'obtention de la concentration voulue.

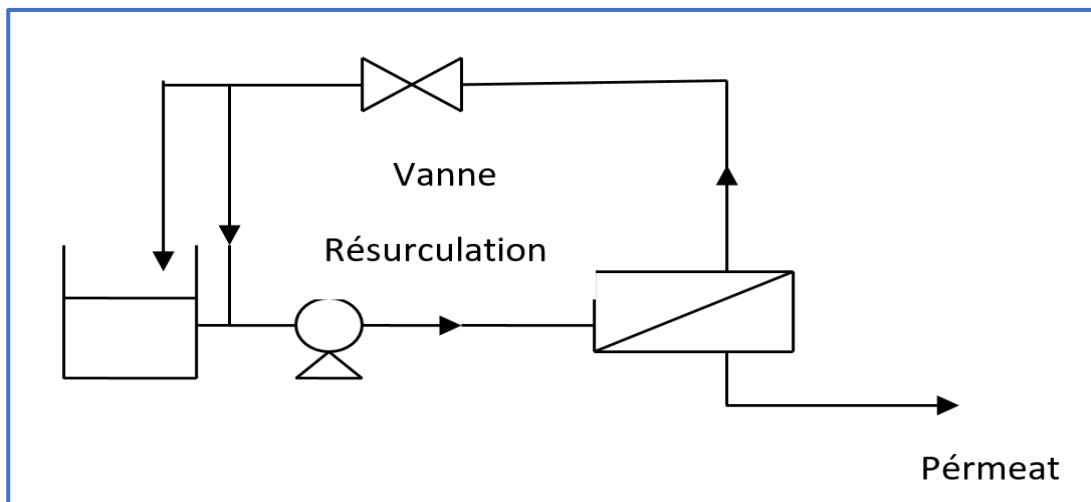


Figure III. 14 : Procède discontinu avec recyclage

2. Procède discontinu sans recyclage

Il s'agit en fait de la suppression de la conduite de circulation du rejet vers la pompe de refoulement afin de réduire la consommation d'énergie.

Ces procédés sont déconseillés pour le cas de dessalement à cause de la discontinuité de l'alimentation, ils sont seulement utilisés dans les essais au laboratoire.

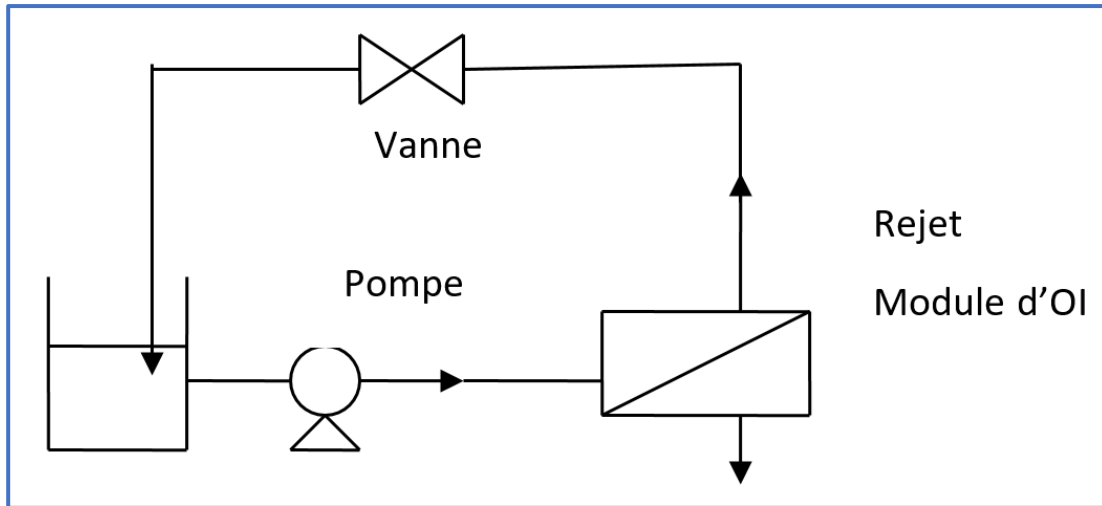


Figure III. 15 : Procède discontinu sans recyclage

3. procédé continu mono-étagé à recyclage

Dans le cas où l'alimentation se fait en continu : une vanne est placée sur la sortie du rejet pour contrôler le taux de conversion, pour le recyclage du rejet et pour régler la pression de fonctionnement.

Le système ici fonctionne avec une concentration supérieure à la concentration initiale du liquide à traiter, ce qui abaisse le taux de conversion.

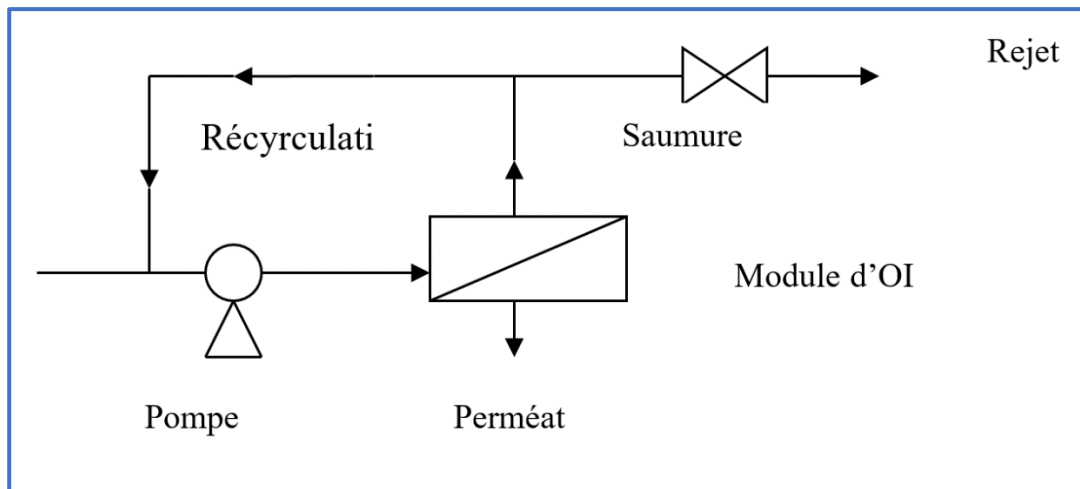


Figure III. 16 : Système de dessalement continu mono-étagé

III.3.5.2 Procède continu multi-étagé

1. Procède continu multi-étagé en série –rejet

On a recours à ce mode lorsqu'on veut travailler avec un taux de conversion élevé. Dans ce cas, le rejet du premier étage alimente le second étage et ainsi de suite selon le nombre d'étages.

Dans le premier étage on met un certain nombre de modules en parallèle, dans les autres étages le nombre de module diminue au fur et à mesure que la concentration du liquide à traiter augmente, cela permet d'augmenter progressivement les vitesses de circulation pour limiter la polarisation.

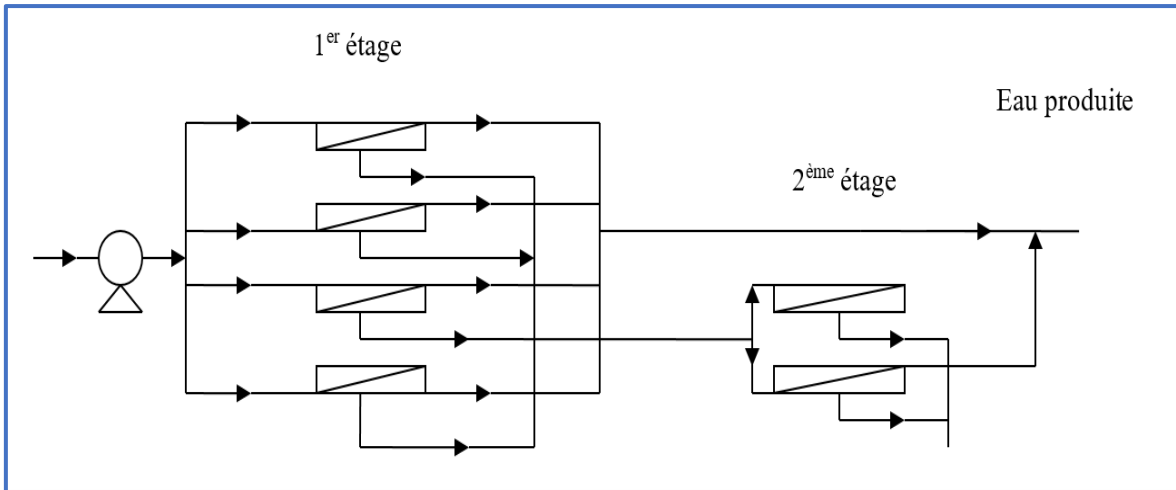


Figure III. 17 : Schémas d'un système d'OI a 2etages en série-rejet

Le choix du nombre d'étages, se fait sur la base de :

- Un taux de convention élevé
- Minimum de modules
- Minimum d'énergie consommé.

2. procédé continu multi-étage en seri -production

Ce type de montage est utilisé quand la sélection des membranes n'est pas suffisante pour avoir le facteur concentration souhait dans le cas d'un degré de salinité élevé.

Au lieu que le rejet du premier étage alimente le deuxième étage comme le cas du montage en série rejet, c'est le perméat du premier étage qui alimente le deuxième étage et ainsi de suite.

Le choix du nombre d'étages dans ce cas se fait principalement sur la base d'avoir :

- Un taux élevé de rejet des sels
- Le minimum de modules
- Le minimum d'énergie consommée.

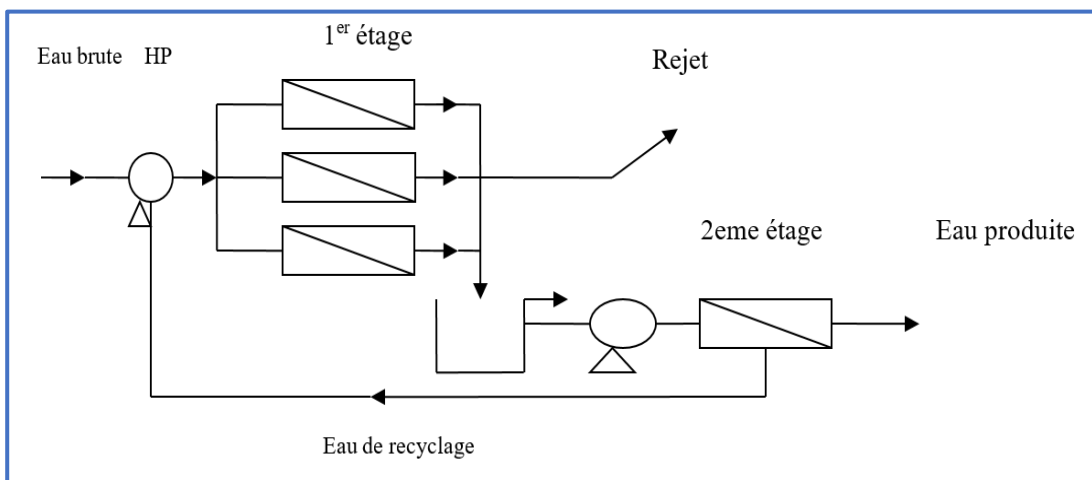


Figure III. 18 : Procédé continu multi-étage en série production

III.3.6 Un système de récupération de l'énergie du concentrât

Le système de récupération d'énergie permet de récupérer l'énergie de la pression résiduelle retenue par la saumure concentrée, qui est déchargée du module d'osmose inverse pour la réutiliser soit directement comme « force motrice », soit indirectement par production d'énergie électrique.

III.4 AVANTAGES DE L'OSMOSE INVERSE

L'osmose inverse est en concurrence dans des nombreux cas avec des procédés classiques de concentration par évaporation thermique. Elle présente par rapport à ces techniques les avantages suivants :

➤ **Faible consommation d'énergie**

Pour une eau saumâtre à 20.5g/l la consommation énergétique d'une unité d'osmose inverse est de l'ordre de 3kwh/m³; cela résulte des faibles pressions osmotiques (0.07 MPa environ pour une concentration saline de 1g/l), et par la même des faibles pressions utilisées 2 à 4 MPa

➤ **Simplicité du procédé**

Du moins en apparence ; l'osmose inverse peut-être schématisé par une pompe à haute pression (3 à 6 MPa) et un ou (plusieurs) modules d'osmose inverse, mais le prétraitement est souvent sous-estimé volontairement ou involontairement par le fournisseur.

L'osmose inverse présente en outre l'avantage de travailler à froid et de ne demander pour la mise en route ou l'arrêt que quelques secondes

➤ **Coûts d'investissement en générale plus faibles que ceux de la distillation**

Cela est très net dans le cas du dessalement des eaux saumâtres toute fois, l'écart des coûts d'investissement diminue lorsque la salinité de l'eau à traiter augmente. Dans le cas de l'eau de mer l'unité d'osmose inverse n'est très souvent que légèrement plus faible que celle d'une de distillation, surtout pour des installations de grande capacité.

- Elle est modulable pour augmenter la capacité d'une installation, il suffit d'augmenter la surface de membrane mise en œuvre : la production est toujours adaptée aux besoins
- Elle est facilement automatisable
- Elle ne génère pas de fluide indésirable comme dans le cas de l'épuration par échange d'ions
- La maintenance et l'entretien sont relativement faibles

III.5 INCONVENIENTS DE L'OSMOSE INVERSE

➤ **Nécessite un traitement de l'eau souvent complexe**

Si l'on peut éviter le colmatage des membranes, il est nécessaire d'éliminer la totalité des matières en suspension. Cela nécessite des étapes de filtration multiples, avec très souvent, une étape préalable de coagulation et floculation et décantation. Dans certains cas où le taux de conversion est élevé, une élimination partielle de certains ions (Ca⁺⁺ par ex) susceptibles de former des dépôts, est nécessaire

➤ **Incertitude sur la durée de vie des membranes**

Celles –ci représentent une part importante du coût d'investissement ainsi que du coût d'exploitation. or ces membranes sont relativement fragiles et peuvent être rendus inutilisables à la suite d'une erreur d'exploitation toujours possible, comme injection du chlore pour les membranes en polyamide aromatique et la dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose .

➤ **Effet d'échelle défavorable**

La capacité unitaire d'un module d'O.I ne dépasse pas environ 20m³/j d'eau douce à partir de l'eau de mer ; une installation de grande capacité va être constitué d'une multitude de modules (1000 pour une usine de 20000m³/j), ce qui entraîne une complexité relative de l'installation et par la même, un coût élevé.

C'est pourquoi les procédés de distillation sont choisis de préférence à l'osmose inverse dans certains cas :

- Quand l'eau de mer est très chargée en particules en suspension et en matières organique, ce qui nécessiterait osmose inverse avec un prétraitement très important
- Quand l'eau produit doit avoir une salinité très faible (quelques milligrammes par litres) en vue d'usage industriel.
- Quand le client dispose localement de vapeur à bas niveau thermique dont il n'a pas l'utilisation.
- Tenue en pression réduite ce qui ne permet pas d'obtenir des concentrations importantes.
- Tenue en température limitée ce qui pose des problèmes pour une utilisation dans des conditions ou des environnements particuliers (eau à traiter à haute température, liquide visqueux)

III.6 DESCRIPTION GENERALE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER PAR OSMOSE INVERSE DE LA CENTRALE THERMIQUE DE HADJRET ENNOUS

L'usine de dessalement comprendra les éléments fonctionnels suivants : (voir figure III.19).

- L'alimentation en eau brute ;
- Le prétraitement :
 - Physico-chimique
 - Chimique
- Le traitement par osmose inverse ;
- La pompe haute pression
- Un système de nettoyage des membranes,
- La reminéralisation de l'eau traitée,
- La déminéralisation de l'eau dessalé
- Le rejet des saumures et des eaux de nettoyage ;
- Le stockage
- La conduite de raccordement au reste des infrastructures :

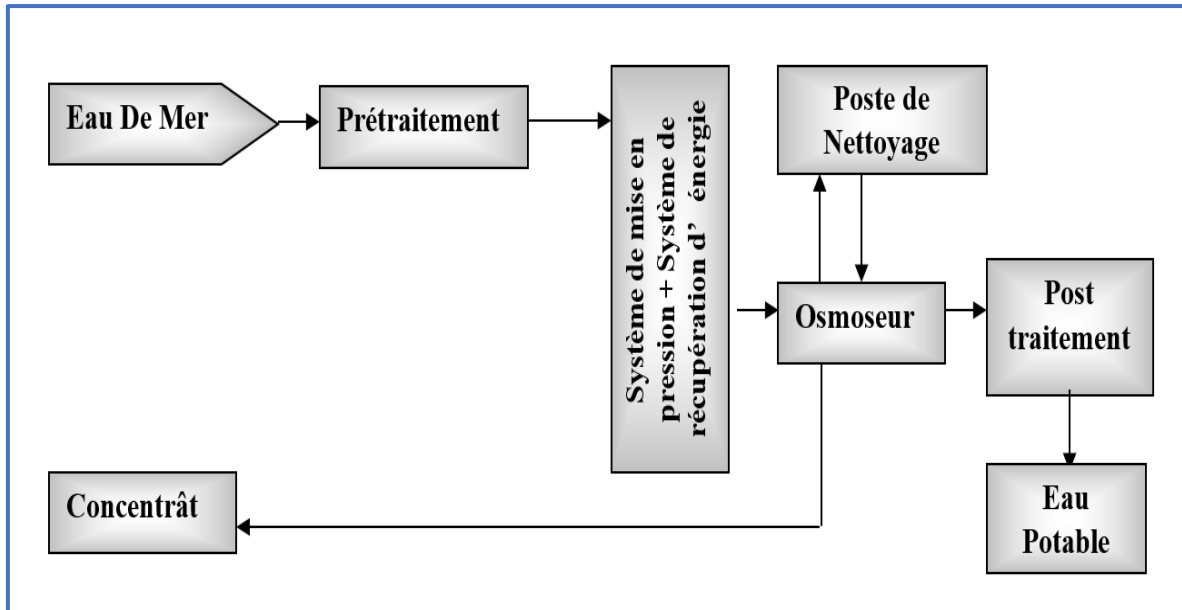


Figure III. 19 : Schéma d'une unité de dessalement d'eau de mer par O.I

III.6.1 La prise d'eau

Pour l'eau de mer il existe différents types de prises (ouverte, puits creusé, etc.)

Les prises d'eau à ciel ouvert sont principalement utilisées pour le refroidissement des centrales électrique et sont généralement situés en face de la centrale ce qui est le cas dans la centrale à cycle combinée de Hadjret Ennous.

III.6.2 Rôle de prétraitement

Le pré traitement est l'ensemble des opérations de correction effectuée sur l'eau brute en vue de la rendre compatible avec le bon fonctionnement du système d'osmose inverse de point de vue physique, chimique et bactériologique, pour obtenir un fonctionnement faible et optimum de l'installation.

III.6.3 Etapes de prétraitement

1) Prétraitement physico-chimique :

a. Système de dégrillage de l'eau de mer

Le système de dégrillage comprend six (6) tamis mobiles, leur fonction principale est la protection des pompes d'eau de mer contre les débris majeurs qui peuvent rentrer par la prise

b. La coagulation

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales, grâce à l'ajout d'un coagulant qui est le chlorure ferrique $FeCl_3$

c. La floculation

La floculation est l'agglomération des particules déstabilisées sous l'effet d'un gradient de vitesse utilisant un polymère

d. La filtration

La filtration est un procédé de séparation qui utilise le passage d'un mélange solide – liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les impuretés (MES, Colloïdes, floes) et laisse passer le liquide.

Pour le média, nous avons utilisé les filtres à sables bicouches

L'objectif de cette technique est d'effectuer une filtration en profondeur pour améliorer la qualité de l'eau produite et pour obtenir des cycles longs entre deux lavages.

L'inconvénient des filtres bicouches est que les débits d'eau de lavage sont très importants afin de recréer la stratification des deux couches, avant la remise en service.

e. La microfiltration : (filtre à cartouche)

Le poste de micro filtration constitue la dernière étape de la filtration de l'eau destinée à alimenter l'étage d'osmose inverse, elle a triple rôle :

- Affinage de l'eau ayant été filtré préalablement sur un média granuleux, afin
- Améliore la turbidité et l'indice de colmatage.
- Barrière de sécurité pour les membranes.
- Permet d'arrêter les impuretés contenues dans les solutions injectées en amont.

Différents types de cartouches consommables sont distinguées :

Généralement de 5 à 10 microns dans notre cas, les filtres à 5 microns sont utilisés

2) Prétraitement chimique :

➤ La désinfection (pré chloration)

La désinfection est l'étape qui permet l'élimination de la charge bactérienne (germes pathogènes). Et empêché sa croissance dans les différentes sections de l'installation, le désinfectant utilisé est l'hypochlorite de sodium

Procédé à destine l'élimination des micro-organismes qui sont entraines par les eaux de mer vers l'installation de traitement et éviter la formation des algues dans les bassins de décantation.

➤ L'acidification et injection de séquestrant

En injectant de l'acide sulfurique (H_2SO_4) qui a pour but d'éviter la précipitation de carbonate de calcium et ou l'injection d'un séquestrant pour éviter la précipitation des autres sels

➤ Dechloration

Pour éviter la dégradation des membranes, nous utilisons le bisulfite de sodium

III.6.4 Poste d'osmose inverse

III.6.4.1 Dispositif de mise en pression

La pression osmotique de l'eau de mer standard (35 g/l) à 15°C, est de 25 Bar.

Pour obtenir une productivité acceptable économiquement des membranes d'osmose inverse, la pression d'alimentation doit être de l'ordre de 65 bar

La mise en pression est assurée par des pompes volumétriques.

III.6.5 Le post-traitement

A la sortie de l'osmoseur il est constaté que :

- La minéralisation du perméat est constituée à 90 % de sodium et de chlorures, ce qui confère à l'eau un goût fade ;
- Un TH Calcique et un TAC très faibles ;
- Un pH très faible.

Par conséquent cette eau est de qualité très agressive et corrosive.

On doit conclure que la minéralisation doit être corrigée pour obtenir une eau apte à la distribution, agréable à boire.

L'équilibre calco-carbonique doit être atteint.

1) La reminéralisation

La reminéralisation qui consiste à augmenter les valeurs du TH Ca et TAC, pour atteindre 8° F pour les deux paramètres, peut être obtenue de plusieurs façons.

En faisant percoler l'eau à travers du carbonate de calcium. Le CO₂ présent dans l'eau va dissoudre le carbonate de calcium, ce qui provoquera l'augmentation de la dureté calcique (10 g/m³ de CO₂ neutralisés apportent environ 2,3 °F). Mais du fait d'une concentration très faible du CO₂ dans le perméat, il faudrait en rajouter avant l passage sur le carbonate de calcium.

En injectant de la chaux (CaOH₂) sous forme d'eau de chaux. Là encore la concentration en CO₂ est insuffisante.

En injectant des réactifs permettant d'apporter du calcium et des bicarbonates. On utilise du bicarbonate de sodium (NaHCO₃) qui élèvera le TAC (16,8 g de NaOHCO₃ 100% l'élève de 1°F)

➤ Correction du pH :

Après reminéralisations il est nécessaire de mettre à l'équilibre calco carbonique l'eau en corrigeant son pH.

La correction du pH s'effectue à l'aide de : Soude (NaOH)

➤ Désinfection :

Bien que le perméat soit d'une qualité bactériologique excellente, il est nécessaire de le désinfecter avant distribution, pour protéger l'eau contre toute pollution ultérieure lors de son stockage et de sa distribution.

La désinfection permet également d'oxyder les polluants pouvant être apportés par l'injection des solutions de produits de post-traitements.

Elle est assurée par injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium

2) Déminéralisation

Le traitement de déminéralisation consiste à faire passer l'eau filtré à travers une successions de lits résiniques fixe. (Voir chapitre VI)

III.6.6 Stockage d'eau traitée

Nous avons un réservoir de stockage d'eau potable ; d'eau déminéralisée et d'eau de service

III.6.7 Système de rejet

Les rejets d'usine de dessalement contiennent :

- Les eaux de lavage de la filtration ;
- Les concentrât de l'osmose inverse ;
- Les eaux des extractions des générateurs de vapeur

Les informations collectées sur la qualité de l'eau brute et sur la réglementation seront utilisées pour apprécier la nécessité de prévoir un dispositif de traitement avant le rejet des saumures. La modélisation du milieu marin apportera également des éléments concernant le positionnement du rejet par rapport à la prise.

III.7 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

➤ Effet de la construction d'une station de dessalement d'eau de mer

Face au challenge du dessalement d'eau de mer, le gouvernement a dû prendre des décisions rapides pour faire face à la pénurie d'eau (2001-2002).

L'Algérie en 2008, avait atteint une capacité de production d'eau de mer dessalée d'environ 1 million m³/jour (en 2020 l'Algérie a atteint une production de 770 Mm³/ans [5]).

Certaines études d'impacts des usines de dessalement ont permis de constater que dans la plupart des usines installées elles sont à proximité des côtes qui ne reste pas sans incidence sur la valeur récréative du site côtier touristique, avec des intrusions de l'eau salée aux couche aquifères d'eau douce.

Le prélèvement de grandes quantités d'eau dans les points de la prise en mer, peut engendres une perturbation de l'équilibre aquatique.

Dans toutes les stations la décharge de la saumure est effectuée directement au bord de la plage, provoquant ainsi tous les problèmes liés à la dispersion de la saumure chargé aux sels et au produits chimique utilisés dans l'exploitation des usines d'osmose de la région centre.

Plus dense que l'eau de mer, la saumure a tendance à couler lorsque mal diluée par les courants, endommageant localement la flore. <<pour une bonne dilution, la saumure doit être rejetée le plus loin possible du littoral, insiste Alain Maurel consultant et auteur d'un livre référence sur le dessalement. Pour les eaux saumâtres éloignées des côtes, elle est acheminée par canalisation jusqu'à la mer, évaporée par le soleil ou rejetée dans l'oued avec les eaux usées comme à Ryad.

Conclusion

Dans ce chapitre on a détaillé le procédé d'osmose inverse car actuellement c'est le procédé le plus utilisé notamment dans le bassin méditerranéen, aussi bien pour le dessalement des eaux saumâtres que les eaux de mer, et on a décrit la station de dessalement de la centrale thermique qui fait l'objet de notre étude.

CHAPITRE IV :

*Diagnostic de la station de
dessalement de Hadjret
Ennous*

Introduction

Les principaux problèmes que l'on rencontre dans la station de dessalement de l'eau de mer de Hadjret Ennous sont des problèmes de corrosion, entartrage, des problèmes de colmatage des surfaces d'échange et cavitation des pompes d'eau de mer

Dans ce chapitre, on va présenter ces différents problèmes qui ont un impact très important sur le fonctionnement d'une station de dessalement, Ceci nécessite une approche scientifique pour donner plus d'informations qui permettent une bonne compréhension afin de résoudre ces sérieux problèmes.

IV.1 IDENTIFICATION ORIGINES ET CAUSES DES DYSFONCTIONNEMENTS DE LA STATION

L'eau de mer est chargée de sel, de gaz dissous et de solides en suspension, elle contient une variété très riche de faune et de flore. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations, et réduit les performances de la station de dessalement. La chute de performances d'une installation d'osmose inverse est due à l'entartrage, corrosion et au colmatage des surfaces de membranes qui sont très sensibles à la température, au pH et aux différents oxydants.

Le choix d'un prétraitement est d'une importance majeure pour les procédés de dessalement en particulier l'osmose inverse, puisqu'il assure aux membranes une durée de vie maximale et optimise les performances du système. Ce choix n'est jamais simple, il dépend de l'origine et de la qualité de l'eau brute, et du procédé de dessalement retenu.

Le diagnostic effectué sur les différents ouvrages de la station permet d'exposer les problèmes suivants :

IV.2 CORROSION

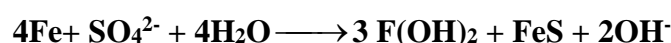
La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux. La corrosion est une réaction entre un métal et un réactif. Si ce dernier est gazeux, on parle de corrosion sèche ; s'il est liquide, il s'agit de la corrosion en solution.

IV.2.1 Mécanismes de la corrosion [9]

➤ Oxydoréduction

La corrosion est toujours composée de réactions d'oxydoréduction, l'exemple le plus courant de corrosion en solution est la rouille de fer, réaction chimique complexe dans laquelle le fer se combine à la fois avec l'oxygène et avec l'eau pour former l'oxyde de fer hydraté.

Le phénomène est illustré par l'équation globale suivante :



➤ **Aspects électrochimiques de la corrosion**

Les principaux facteurs de la corrosion sont les suivants :

- Nature des matériaux ;
- Effet de l'humidité ;
- Présence des sels ;
- Facteurs du milieu.

Il existe deux aspects de corrosion :

- Aspect thermodynamique ;
- Aspect cinétique.

a. Aspects thermodynamiques

Si un métal M est plongé dans un électrolyte, à l'interface métal – solution se forme une couche double, dont la première est compacte par les ions adsorbés : c'est la couche Helmholtz qui est chargée de la charge du métal. $M \longrightarrow Mn^+ + ne^-$

La deuxième couche est une couche diffuse dont laquelle la concentration des ions métalliques est supérieure à celle du milieu où se mêlent des colloïdes chargées électriquement c'est la couche Guy Chapman.

b. Aspect cinétique

L'aspect cinétique est défini par les mécanismes qui conditionnent la vitesse de corrosion, cette dernière est intimement liée à l'intensité du courant de corrosion.

IV.2.2 Les conséquences de corrosion

- Rupture des conduites ;
- Augmentation de la rugosité ;
- Fuites d'eau ;
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs.[10]

Dans notre station ; la corrosion existe mais son influence sur le fonctionnement de la filière de prétraitement n'est pas importante, mais malgré ça, nous suggère quelques méthodes de lutte pour l'éviter, dont on propose :

IV.2.3 Méthodes de lutte contre la corrosion

a. Choix du matériau

Le choix des matériaux d'une unité de dessalement par osmose inverse doit tenir compte des conditions particulières du procédé :

- Température ambiante (0 à 45°C) ;
- Eau saline complètement aérée ;
- PH pouvant être légèrement acide (PH=6) ;
- Cycles de lavage à PH acide (PH=2) et basique (PH=12) ;
- Pression élevée (50 à 70 bar) ;
- Vitesses variables.

Pour le circuit basse pression, les matériaux plastiques (PVC, polyéthylène) sont le plus souvent utilisés et les plus compatibles.

Le choix de matériaux ne pose un problème que pour le circuit haute pression qui englobe :

- La pompe haute pression ;
- Les canalisations haute pression (entre pompes et modules et entre modules et vannes de réglage).

b. Lutte contre la corrosion par piqûres [9]

La corrosion par piqûres est initiée par la création des points faibles dus aux inclusions de sulfures ou d'oxydes. Elle progresse si le potentiel Redox de l'électrolyte est plus élevé que le potentiel de piqûres de l'acier inoxydable. On utilise en particulier la notion de « Pitting Resistance Equivalent » ou « PRE » :

$$PRE = Cr \% + Mo \% \quad (IV. 1)$$

On a constaté qu'une teneur élevée en azote augmentait la résistance aux piqûres, on introduit un nouveau coefficient appelé PRE_N défini comme suit :

$$PRE_N = Cr \% + Mo \% + x N\% \quad (IV. 2)$$

➤ x étant compris entre 15 et 30.

Pour éviter les corrosions par piqûres, on a intérêt à choisir un matériau ayant un PRE élevé tout en vérifiant la vitesse de circulation.

IV.3 ENTARTRAGE

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur la surface d'échanges contenant des ions présents dans les eaux salines (Ca^{+2} , Mg^{+2} , CO_3^{-2})

Ces dépôts constitués principalement par du carbonate de calcium ($CaCO_3$), de l'hydroxyde de magnésium ($Mg(OH)_2$) et de sulfate de calcium ($CaSO_4$).

Pour qu'il y ait des dépôts de tartres sur une surface d'échange, deux conditions principales doivent être réunies :

- **Une condition thermodynamique** : il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation
- **Une condition cinétique** : il faut que la vitesse de déposition soit suffisamment rapide

L'entartrage est lié à la formation de solides amorphes ou cristallisés qui est fonction de la température (diminution de la solubilité quand la température augmente) et de la composition de l'eau.

IV.3.1 Principaux dépôts de tartre rencontrés en dessalement

Les principaux dépôts que l'on rencontre en dessalement :

- Les carbonates ;
- Les hydroxydes ;
- Les sulfates.

Les variations de la température de début de précipitation pour les principaux types de tartre sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau IV. 1 : Variation de la température de précipitation pour chaque forme de précipité

Nature des précipitations	CaCO ₃	Mg(OH) ₂	CaSO ₄
Température de début de précipitation	60-70°C	90°C	105-110°C

IV.3.2 Influence des tartres sur les installations

Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage ;
- Dégradation des états de surface ;
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit ;
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant ;
- Obturation de la conduite du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre.

IV.3.3 Méthodes de lutte contre l'entartrage

La formation de tartre doit être évité pour maintenir un fonctionnement correct des installations. Une première solution consiste à jouer sur le procédé même : apport d'énergie calorifique supplémentaire dans le cas des procédés de distillation, application d'une pression supérieure dans celui des procédés membranaires. Une deuxième solution consiste à prétraiter l'eau par :

- L'ajout d'acide qui induit une décarbonation du milieu par dégazage du gaz carbonique formé à partir des hydrogénocarbonates ;
- L'ajout de chaux et de germes de cristallisation qui favorisent la précipitation du carbonate de calcium
- L'emploi d'inhibiteurs d'entartrage : polyphosphate, organophosphate, polymères, polycarboxylique.

Quelle que soit la solution adoptée, elle augmente le cout du dessalement

L'entartrage est parmi les problèmes dont on rencontre souvent sur les installations de dessalement, dans la station de Hadjret Ennous qui fais l'objet de notre étude, l'entartrage est négligeable devant le problème principal qui se pose dans le poste de prétraitement qui est le colmatage.

IV.4 LE COLMATAGE

En raison de la faible porosité, de la rugosité et de la sensibilité chimique des membranes, du facteur de concentration des sels dans l'osmoseur, les phénomènes d'entartrage, d'encrassement et de dégradation chimique, peuvent affecter les performances du système :

- Diminution du débit.
- Augmentation de la salinité.
- Augmentation des pertes de charges.
- Réduction de la durée de vie des membranes.

IV.4.1 Définition de colmatage des membranes

Le terme colmatage peut être défini comme l'ensemble de phénomènes physique, chimique et biologique se produisant à l'interface membrane/solution ou dans le volume poreux, provoquant la modification des propriétés filtrantes d'une membrane, exceptée la compaction et les propriétés chimiques. [11]

Le colmatage résulte du passage de la matière de la phase liquide à la phase solide. Rejetée par la membrane cette matière non transportée par le flux de concentrat s'accumule et forme dans le temps un dépôt sur et/ou dans la structure du matériau membranaire. Le colmatage résulte également des attractions entre solutés et/ou entre soluté et membrane, le solvant à son tour peut être un facteur favorisant ces attractions. L'origine des dépôts peut être varié : [12]

- Concentration trop élevée (soit la concentration moyenne, soit les surconcentrations locales dues aux phénomènes de polarisation) ;
- Présence de matière en suspension qui se déposent sur les membranes par suite de conditions hydrodynamiques favorables (vitesses faibles) ;
- Réaction d'adsorption entre certaines molécules et le matériau membranaire

IV.4.2 Principe du colmatage

Il existe quatre principales catégories de colmatage :

- Le colmatage inorganique
- Le colmatage organique
- Le colmatage par les matières colloïdales
- Le bio-colmatage

c. Le colmatage inorganique (Encrassement)

Les composés inorganiques dissous qui présentent de faibles solubilités dans l'eau tels que les sels de Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , de silice ou du Fer, sont les principaux produits engendrant de tels problèmes de colmatage inorganique.

En effet, si l'un de ces sels est rejeté par une membrane d'osmose inverse, sa concentration peut dépasser la limite de solubilité et il précipite sur la surface membranaire soit seul, soit en combinaison avec d'autres espèces présentes dans la solution, et par conséquent un dépôt se forme causant un encrassement particulaire (Figure V.2). Il est également possible que ce dépôt puisse se produire par les effets locaux de la température, du pH de la solution d'alimentation ou par la présence d'autres substances comme dans le cas du colmatage par la silice.

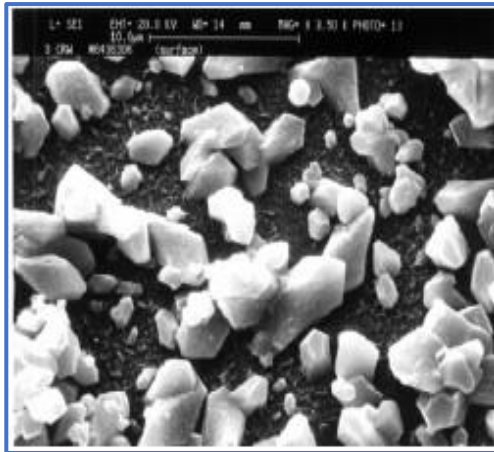


Figure IV. 1 : Micrographie représentative d'une membrane d'osmose inverse colmatée par des matières inorganiques obtenue par MEB

d. Le colmatage particulaire (Colloïdal)

Le colmatage particulaire est dû à l'accumulation des particules colloïdales sur la surface membranaire ou à l'intérieur des pores. Cette accumulation engendre une résistance hydraulique additionnelle à l'écoulement de l'eau à travers la membrane, ce qui réduit le taux de perméation c'est à dire le flux convectif du perméat.

Les colloïdes peuvent être de nature organique ou inorganique, leur dimension varie entre quelques nanomètres et quelques micromètres. L'argile, les colloïdes de silice, le Fer, l'aluminium, l'oxyde de manganèse, les colloïdes organiques et les précipités du carbonate de calcium sont les principales particules provoquant le colmatage colloïdal qui affecte la quantité et la qualité du produit (flux de perméat et teneur en solutés) . Plusieurs études ont été consacrées à l'étude de ce type de colmatage et à l'investigation des interactions physiques et chimiques pouvant l'affecter.

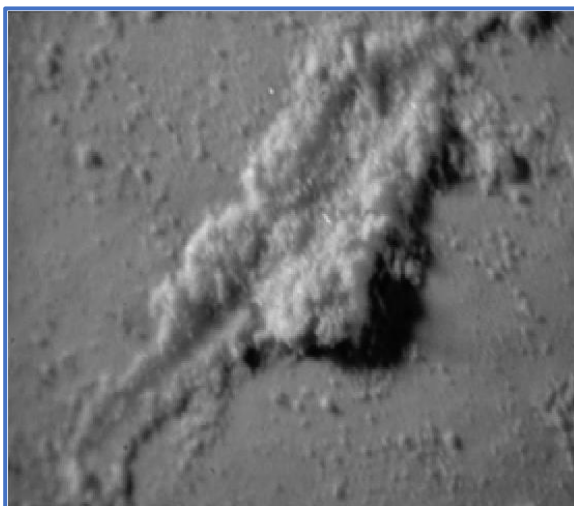


Figure IV. 2 : Dépôt de la silice sur une surface membranaire d'osmose inverse

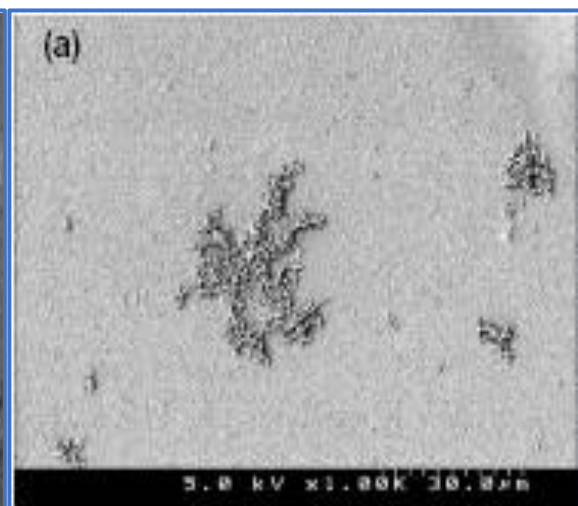


Figure IV. 3 : Membrane d'osmose inverse colmatée par la silice (SiO_2 120 ppm)

e. Le colmatage organique

Les matières organiques peuvent être présentes dans les eaux de surface comme les eaux de rivières et des lacs. Le mécanisme de colmatage par ces matières dépend de la taille et de la nature chimique des agents colmatants. Les composés de poids moléculaire élevé peuvent agir comme des particules et obstruent les pores des séparateurs. Cette obstruction peut être aggravée par la présence des particules minérales telles que l'argile, et les hydroxydes métalliques. Tandis que les composés de faible poids moléculaire colmatent les surfaces membranaires par des interactions chimiques, par exemple, les chlorophénols adhèrent sur la surface membranaire par des liaisons hydrogènes ce qui peut provoquer des pertes remarquables en flux de perméat et ce même pour de faibles concentrations.

Parmi les substances organiques colmatantes lors de la filtration membranaire des eaux de surface, un intérêt particulier est porté à la M.O.N (matière organique naturelle), en particulier aux substances humiques constituées de macromolécules qui possèdent un noyau hydrophobe et des groupements anioniques (chargées négativement).

f. Le bio-colmatage

Le bio-colmatage est dû à une croissance microbienne sur la surface de séparation des membranes et dans les éléments constituant les modules. Il résulte des interactions complexes entre le matériau membranaire, le fluide et les microorganismes. La matrice bactérienne s'établit sur la surface membranaire en absorbant et concentrant les nutriments solubles près des parois cellulaires afin de permettre à ces dernières de proliférer.

La prolifération entraîne la formation d'un film biologique « biofilm » qui s'adsorbe sur la surface de la membrane et sur les séparateurs. La prolifération est conditionnée par les facteurs suivants : la température (supérieure à 25 °C), le pH, la quantité de l'oxygène dissous, la vitesse d'écoulement, la pression et la présence des nutriments organiques et minéraux.

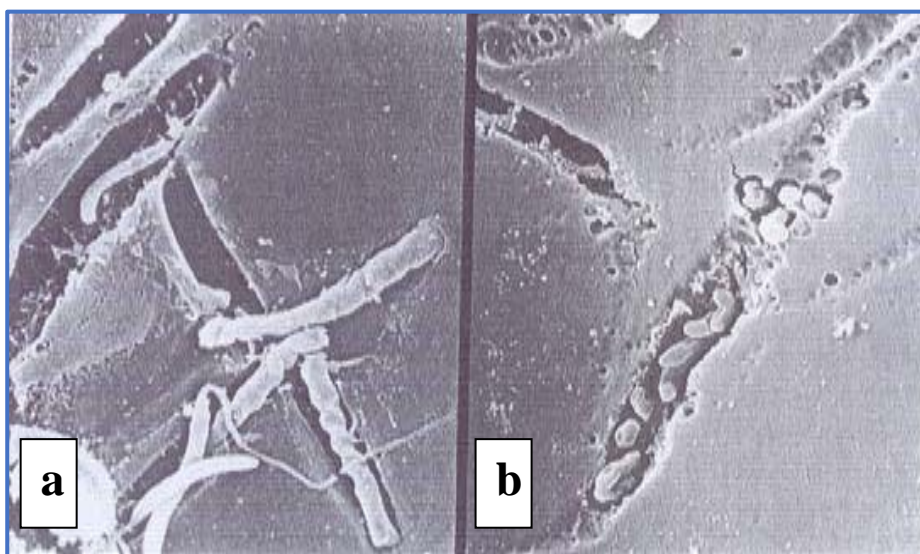


Figure IV. 4 : Détérioration apparente d'une membrane d'acétate de cellulose par un microbe de forme hélicoïdale (a) et une bactérie non identifiée en forme de baguette (b)

IV.4.3 Mécanisme de colmatage

Il existe plusieurs mécanismes de colmatage qui, dans la pratique, sont généralement présents simultanément. Cependant, il est rare que plusieurs mécanismes de colmatage aient une importance égale. L'essentiel est de déterminer celui qui est prépondérant et dans quelles conditions, afin de prendre les mesures aptes à en réduire les causes et / ou l'intensité.

a. Adsorption

L'adsorption se produit sous l'effet d'interactions entre certains constituants du fluide et la membrane. Elle peut avoir lieu en mettant simplement le fluide au contact de la membrane, avant même que la filtration ait commencé et provient des interactions fortes conduisant à des couches irréversibles stables.

L'adsorption peut intervenir aussi bien à la surface de la membrane qu'à l'intérieur des pores, et contribue donc à la fois au colmatage externe et au colmatage interne. L'adsorption sur une membrane dépend de la nature physicochimique du matériau (les protéines s'adsorbent davantage sur une membrane hydrophobe), du type de molécules, du pH (point isoélectrique, pHi, pour les protéines), et de la présence des cations spécifiques tels que le calcium. D'une manière générale, les paramètres qui favorisent l'adsorption sont les mêmes que ceux qui déstabilisent l'espèce dans la solution.

L'adsorption d'un soluté pénétrant par diffusion dans les pores de la membrane, peut se produire sur la surface interne des pores, dont l'aire est bien supérieure à l'aire externe de la membrane. Ainsi, la diffusion du soluté dans le pore contrôle les cinétiques d'adsorption dépendant aussi des conditions opératoires de la filtration. L'augmentation de la concentration des solutés retenus à la paroi par polarisation de concentration, déplace l'équilibre et accélère les cinétiques d'adsorption. L'adsorption des composés peut influencer le caractère hydrophile du matériau membranaire, qui à son tour induit les variations du flux de perméat.

b. Dépôt de matière par convection

Lorsque les fluides contiennent des particules, le flux de convection vers la membrane conduit à un simple phénomène de dépôt. Si aucun phénomène n'élimine l'excès de particules à la surface de la membrane (filtration frontale), alors le dépôt croît et le flux décroît de manière continue au cours du temps.

En filtration tangentielle, l'épaisseur du dépôt peut être limitée par les différents phénomènes de transfert "de retour". Les caractéristiques du dépôt (porosité, densité, stabilité) dépendent des interactions interparticulaires, de la forme des particules, de leur taille, de leur distribution de taille, du mode d'empilement (aléatoire, orienté par la gravité ou le cisaillement, etc.), du flux et d'une certaine manière, de l'âge du dépôt.

c. Colmatage en profondeur par obstruction des pores

Ce colmatage se produit à l'intérieur de la surface membranaire, dans le cas où la taille des substances qui constituent la couche de dépôt est inférieure à la taille des pores membranaires, provoquant ainsi l'obstruction des pores, et donc la réduction de leurs tailles. Ces conséquences engendrent par la suite une résistance à l'écoulement du perméat à travers

la membrane. Ce type de colmatage se rencontre principalement en ultrafiltration et en microfiltration et il est difficile à éliminer.

La figure IV.5 illustre les trois principaux mécanismes de colmatage susceptibles de se produire sur une surface membranaire d'osmose inverse ou de nanofiltration et leur relation avec la taille des particules.

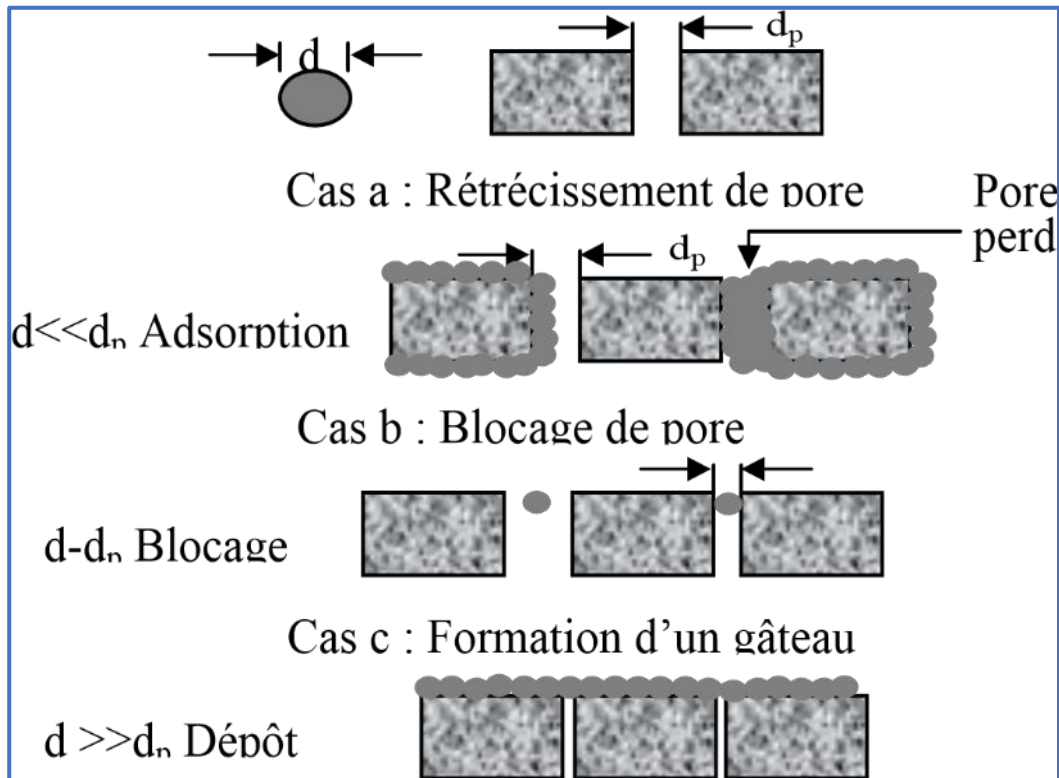


Figure IV. 5 : Les différents mécanismes de colmatage des membranes

IV.4.4 Colmatage des filtres à sable

Le colmatage des filtres est le phénomène par lequel le système filtrant se trouve obstrué, bouché, jointés et empêchant le passage du fluide qui pouvait le traverser

Le mécanisme de la filtration consiste dans l'adsorption et la rétention sur les grains des matériaux filtrant des particules floculées.

Ce phénomène a pour conséquence, un grossissement des grains réduisant la dimension des espaces interstitiels et la section de passage offerte à l'eau.

Le colmatage qui se produit ainsi accroît la perte de charge due au mal fonctionnement des filtres à cause d'un mauvais prétraitement qui le précède dont on a la coagulation/floculation qui se fait directement dans la conduite qui alimente le filtre et l'absence d'un bassin de décantation ce qui conduit à un lavage excessif des filtres et donc une durée de vie des filtres réduite.

IV.4.5 Conséquences du colmatage

Quelle que soit la nature de ses composants, un colmatage se traduit par un ou plusieurs effets

- Diminution du flux de perméat ;
- Variation de la sélectivité ;
- Augmentation de la perte de charge ;
- Dégradation des membranes ;
- Dégradation de la qualité de l'eau filtré ;
- Augmentation du cout énergétique et de maintenance
- Utilisation massive de produits chimiques

IV.4.6 Méthodes de lutte contre le colmatage

Le colmatage peut constituer un élément limitant important dans l'application des procédés membranaires. Dans les systèmes d'osmose inverse la pollution par les colloïdes peut sérieusement diminuer les performances en diminuant la productivité.

- Moyen de prétraitement : dans le cas présent l'ajout d'un décanteur
- Contre lavage des membranes avec de l'eau ou de l'air
- Nettoyage chimique

Les étapes du nettoyage chimique :

Le rinçage des corps de pression avec du perméat jusqu'à ce que la conductivité sortie égale à celle du perméat

- Préparation de la solution de nettoyage choisie en fonction du type de colmatage ou d'entartrage ;
- Évacuation à l'égout du fluide de rinçage en alimentant les corps de pression a petit débit ;
- Circuler la solution pendant un heure a 75% de débit maximum ;

Laisser la membrane dans une solution pendant 2 heures en respectant le programme suivant :

- Trempage pendant 30min
- Circulation pendant 15 à 30 min et en renouvelant 4 fois le cycle trempage/circulation
- Vérification la valeur de PH
- Circulation e la solution du débit maximum pour évacuer les matières de crochées de la surface de la membrane par le nettoyage
- Remise en service de l'osmoseur après que tous les tubes de pression de la ligne aient été nettoyés
- Mise à l'égout du perméat jusqu'à obtention de la qualité désirée.

Conclusion

Dans ce chapitre on a relevé tous les problèmes de disfonctionnements au sein de la station de dessalement de Hadjret Ennous qui sont dus principalement à l'entartrage, corrosion et surtout au colmatage des filtres à sables, pour remédier ces problèmes, nous avons proposé l'ajout d'un décanteur lamellaire, un ajout qui va améliorer la filière de prétraitement et surtout éviter certains problèmes.

CHAPITRE V :

*Dimensionnement de la
filière de prétraitement*

Introduction

Toutes les sources d'eau potentielles à dessaler devraient subir un contrôle physico-chimique et bactériologique pour identifier la qualité de l'eau brute et les sources potentielles de contamination qui pourraient affecter le processus de traitement de dessalement ; ce qui explique une dégradation de la qualité de l'eau produite.

V.1 LES ETAPES DE PRETRAITEMENT

L'eau de mer est dessalée dans l'usine de dessalement de la centrale utilisant un procédé à osmose inverse. Dans ce procédé, l'eau est filtrée, conditionnée et sa salinité ramenée de 38 000 -39 000mg /l à environ 200-400 mg/l l'eau dessalé va ensuite être déminéralisée pour servir d'eau d'alimentation de chaudière ou reminéralisée pour servir d'eau potable et d'eau de service pour la centrale. [2]

L'eau de mer est approvisionnée à partir d'une prise d'eau ouverte. Elle est d'abord filtrée par une grille à barreaux et un tamis rotatif avant d'être refoulée dans un puisard avec pompes. Dans ce puisard, l'eau de mer est chlorée par hypochlorite de sodium puis pompée à travers des filtres autonettoyants avant d'alimenter l'usine de dessalement.

L'usine de dessalement comprend 4 tranches de 500m³ /j chacune, ce qui permet de garder la plupart du temps deux tranches en réserve.

V.1.1 Paramètres d'eau brute**Tableau V. 1** : Caractéristique de l'eau de mer (condition de base du site).

Paramètres	Unité	Condition de base du site de la station de Hadjret Ennous
Température	C°	24
Les solides dissous total	g/l	40 .074
Les matières en suspension	g/l	0.004
Chlore	g/l	22.0289
Calcium	g/l	1.047
Sulfate	g/l	2.978
Magnésium	g/l	1.545
Sodium	g/l	11.472
Potassium	g/l	0.583
Bicarbonate	g/l	0.130
Ph		8.2

Source : document officiel de la centrale

V.1.2 Paramètre du site

- Température ambiante :6°C à 45°C
 - Pression barométrique :764,1 mce
- niveau de la mer maximum : 0,5 m
niveau de la mer minimum : -0,5 m

- Humidité relative :30 % - 100%

niveau du sol :10,5 m

V.1.3 Le prétraitement physico-chimique

V.1.3.1 La prise d'eau

Pour une alimentation par prise directe en mer il convient d'éliminer toutes les matières grossières avant qu'elles ne pénètrent dans le système.

Pour ce faire, la conduite de prise en mer doit être équipée d'une crépine.

Plus les orifices de la crépine seront petits, meilleure sera l'efficacité, mais plus la perte de charge sera importante, et plus importants seront les risques de colmatage.

Pour les éviter et ne pas à avoir à nettoyer manuellement les crépines, on choisira des crépines à fentes, obtenues par enroulement d'un fil de section triangulaire, dont l'angle est orienté vers l'intérieur de la crépine, dans le sens de la filtration, ce qui les rend peu sensibles au colmatage (se reporter à la figure V.1).

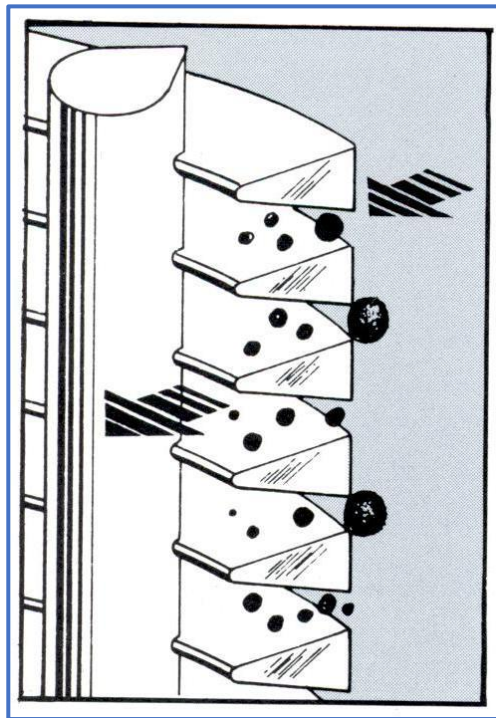


Figure V. 1 : La crépine à enroulement de fil triangulaire

Le nettoyage périodique de la crépine s'effectue par un lâcher brutal d'air comprimé.

V.1.3.2 Système de dégrillage d'eau de mer

Le système de dégrillage d'eau de mer comprend six (6) tamis mobiles, chacun étant équipé d'une grille pour service intensif située en amont, empêchant les gros débris comme des branches, des algues, des poissons d'atteindre les tamis mobiles. Les tamis mobiles filtrent les débris d'une taille supérieure à 12 mm.

Les tamis mobiles sont équipés d'un système de lavage automatique servant à les nettoyer en ôtant les débris accumulés, puis déversés dans un contenant séparé pour enlèvement par le personnel d'entretien.

Deux pompes d'eau de lavage, l'une en service et l'autre en attente, sont installées pour fournir l'eau de lavage, à un débit et une pression adéquats pour maintenir les tamis mobiles en bon état de propreté.

➤ Détection d'encrassement des tamis :

La comparaison entre les niveaux d'eau amont et aval permet de détecter en encrassement éventuel des tamis. Lorsque la différence entre les niveaux indiqués par les transmetteurs de niveau d'eau atteint ou dépasse une valeur prédéterminée, le système de lavage automatique à contre-courant doit être mis en marche. Lorsque la différence de niveau atteint une valeur légèrement supérieure, il y a obligatoirement mise en marche de la deuxième pompe d'eau de lavage et amorce de la séquence de lavage à contre-courant du deuxième filtre.

➤ Le dégrilleur :

Les grilles manuelles dans le pompage d'eau de mer auront la fonction de protection des pompes d'eau de mer, contre les débris majeurs qui peuvent rentrer par la prise.

L'expression mathématique qui permet de calculer la surface de dégrillage s'écrit : [13]

$$S = \frac{Q_e}{v \cdot O \cdot C} \quad (\text{V. 1})$$

Avec :

- Q_e : débit d'alimentation (m^3/s)
- V : vitesse de l'eau (m/s)
- C : coefficient de colmatage

$$O = \frac{\text{espace libre entre barreaux}}{\text{espace libre} + \text{épaisseur de barreaux}} \quad (\text{V. 2})$$

Données :

- Q_e : $2576 \text{ m}^3/\text{h} = 0,72 \text{ m}^3/\text{s}$
- V : $0,5 \text{ m/s}$
- C : pour une grille manuelle, est compris entre 0,1 et 0,3 ; on prend 0,1
- Epaisseur des barreaux : $l = 10 \text{ mm}$
- Espacement entre les barreaux : $e = 25 \text{ mm}$
- Largeur des barreaux : $d = 10 \text{ mm}$
- Hauteur immergée des barreaux : 2100 mm
- Vitesse d'approche dans le canal : $0,45 \text{ m/s}$

$$O = \frac{25}{25+10}$$

$$O = 0,7$$

$$\text{Donc ; } S = \frac{0,72}{0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,7}$$

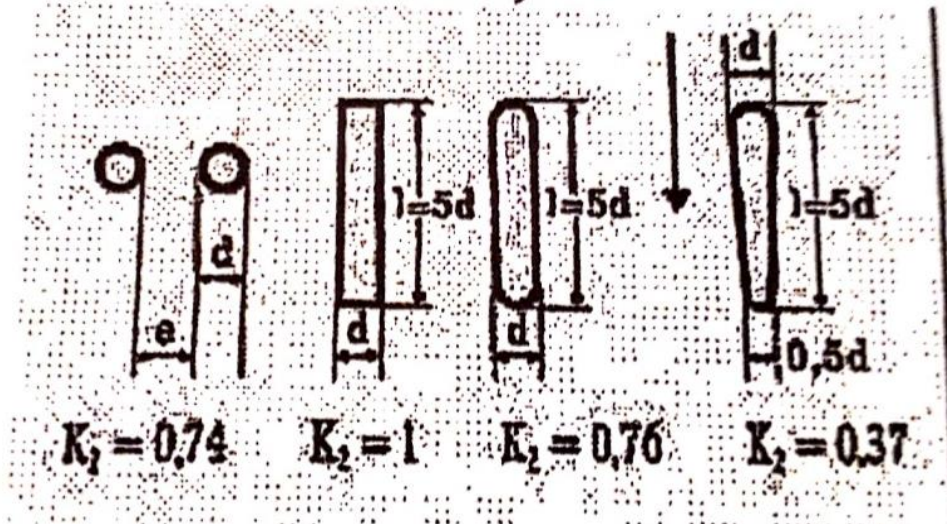
$$S = 20,57 \text{ m}^2 \approx 21 \text{ m}$$

➤ Pertes de charge à travers une grille [14]

$$\Delta h = K_1 K_2 K_3 \frac{v^2}{2g} \quad (V. 3)$$

- V : vitesse d'approche dans le canal (m/s)
- K₁ : valeur d'encrassement tel que k₁ = 1 (pour une grille propre)
- K₂ : valeurs de K₂ selon la forme de la section horizontale des barreaux

- Valeurs de K₂ (forme de la section horizontale des barreaux)



- K₃ : valeurs de K₃ section de passage entre les barreaux

- Valeurs de K₃ (section de passage entre barreaux).

$\frac{l}{4} \left(\frac{2}{e} + \frac{1}{h} \right)$	$\frac{e}{e+d}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
4 e h	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,4	2	3	
0	245	51,5	18,2	8,25	4,0	2,0	0,97	0,42	0,13	0
0,2	230	48	17,4	7,70	3,75	1,87	0,91	0,40	0,13	0,01
0,4	221	46	16,6	7,40	3,60	1,80	0,88	0,39	0,13	0,01
0,6	199	42	15	6,60	3,20	1,60	0,80	0,36	0,13	0,01
0,8	164	34	12,2	5,50	2,70	1,34	0,66	0,31	0,12	0,02
1	149	31	11,1	5,00	2,40	1,20	0,61	0,29	0,11	0,02
1,4	137	28,4	10,3	4,60	2,25	1,15	0,58	0,28	0,11	0,03
2	134	27,4	9,9	4,40	2,20	1,13	0,58	0,28	0,12	0,04
3	132	27,5	10,0	4,50	2,24	1,17	0,61	0,31	0,15	0,05

e = espacement entre barreaux.

d = largeur des barreaux.

l = épaisseur des barreaux.

h = hauteur immergée des barreaux, verticale ou oblique.

Ces différentes valeurs sont à exprimer avec la même unité.

- Calcul de la perte de charge :

Nous avons :

- K₁ = 1 (grille propre)

- $K_2=0,74$ (selon la forme : dans notre cas nous avons la forme 1)
- K_3 =du tableau :

$$\frac{e}{e+d} = \frac{25}{25+10} = 0,71$$
$$\frac{l}{4\left(\frac{2}{e} + \frac{1}{h}\right)} = \frac{10}{4\left(\frac{2}{25} + \frac{1}{2100}\right)} = 0,2$$

Par projection, on obtient : $k_3 = 0,91$

$$\text{Donc ; } \Delta h = 1,0,74 \cdot 0,91 \frac{0,45^2}{2,9,81}$$

$$\Delta h = 0,007\text{m} = 7\text{mm}$$

- **Station de pompage d'eau de mer :**

Nous avons quatre (4) pompes de surpression d'alimentation assurent le pompage d'eau de mer vers les filtres (à sable et à cartouche) ; 2 en marche et 2 en attente d'une capacité de 50 m³/h dont la pression appliquée est de 3 .5 bar

- **Ajustement du PH**

Pour un meilleur comportement du coagulant (chlorure ferrique) le PH doit être baissé jusqu'au optimum PH.

Quand l'hypochlorite de sodium est dosé, la dose d'acide sulfurique devra être majeure que pendant le temps où il n'y a pas de dosage de désinfectant, due au caractère basique d'hypochlorite de sodium

La dose réelle d'acide sulfurique viendra déterminée pendant l'opération pour ajuster au PH optimum désiré

Nous avons un réservoir d'acide sulfurique d'une capacité de **2000 litres** ses dimensions sont de 3m.1.2m .0.65m donc son volume est :

$$V = L \times l \times H = 3 \times 1.2 \times 0.65$$

$$V = 2.34 \text{ m}^3 = 2340 \text{ L}$$

La pompe d'injection d'acide a une capacité de **1.9 l/h** à une pression de **7 bar**

V.1.3.3 La coagulation-floculation

a. La coagulation

Les sels métalliques les plus employés dans le traitement des eaux sont le sulfate d'alumine et le chlorure ferrique.

Mais pour le traitement de l'eau destinée à l'alimentation des osmoseurs, le sulfate d'alumine n'est jamais employé, car son minimum de solubilité ne peut être atteint dans la gamme des pH de l'eau de mer (~ 8,00). Ainsi le résiduel d'aluminium se trouvant dans l'eau, présentant des charges positives, réagira avec les produits séquestrants et les membranes elles-mêmes, tous deux étant chargés négativement.

C'est donc le chlorure ferrique qui est choisi, car pour tout pH supérieur à 5,5, l'eau ne présentera aucun résiduel de fer pouvant dégrader la solution de séquestrant où colmater fortement les membranes.

Le dosage se fait à l'aide d'une pompe d'une capacité de **3,8 l/h** à une pression de **7bar**

b.La floculation

Pour grossir les microflocs il est employé des polymères anioniques (-) et non cationiques car ces derniers pourraient colmater irrémédiablement les membranes (-) par formation d'un gel.

L'utilisation d'un polymère permet d'améliorer très sensiblement l'indice de colmatage

Le polymère est injecté par une pompe qui a une capacité de **7 l/h** d'une pression de **7 bar**

Un réservoir de coagulant d'une capacité de **1250 litres** et un réservoir de polymère d'une capacité de **500 litres** sont mis en place pour satisfaire les besoins

c. Mise en œuvre de la coagulation-floculation

Le coagulant et le floculant sont injectés directement dans la conduite alimentant le poste de filtration

Le coagulant est injecté en premier. Après chaque point d'injection on ménage 2 ou 3 coudes pour assurer la bonne diffusion des produits dans toute la veine liquide, avant l'admission de l'eau dans le poste de filtration.

Les doses requises sont déterminées en effectuant un jar-test.

V.1.3.4 Filtration sur sable

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux.

On peut classer les filtres suivant différents critères :

- Type de milieu poreux utilisé
- Mode de fonctionnement hydraulique
- Vitesse de filtration
- Mode de rétention
- Type de prétraitement de l'eau
- Suivant son homogénéité, sa taille, sa répartition dans le filtre

Selon le mode de fonctionnement hydraulique on distingue :

- Filtres gravitaires
- Filtres sous pression
- Filtres en mode ascendant
- Filtres en mode descendant
- Filtres horizontaux

Dans notre cas on utilise un filtre à sable sous pression dont la pression appliquée est de 6 à 9 bar.

La filtration sous pression est un procédé destiné à traiter l'eau préoxydée par ajout de produits chimiques en la faisant traverser un milieu filtrant composé de couches successives d'antracite et de sable. Ce procédé permet un enlèvement de la couleur, de la turbidité, des particules en suspension, des bactéries et de certains goûts et odeurs.

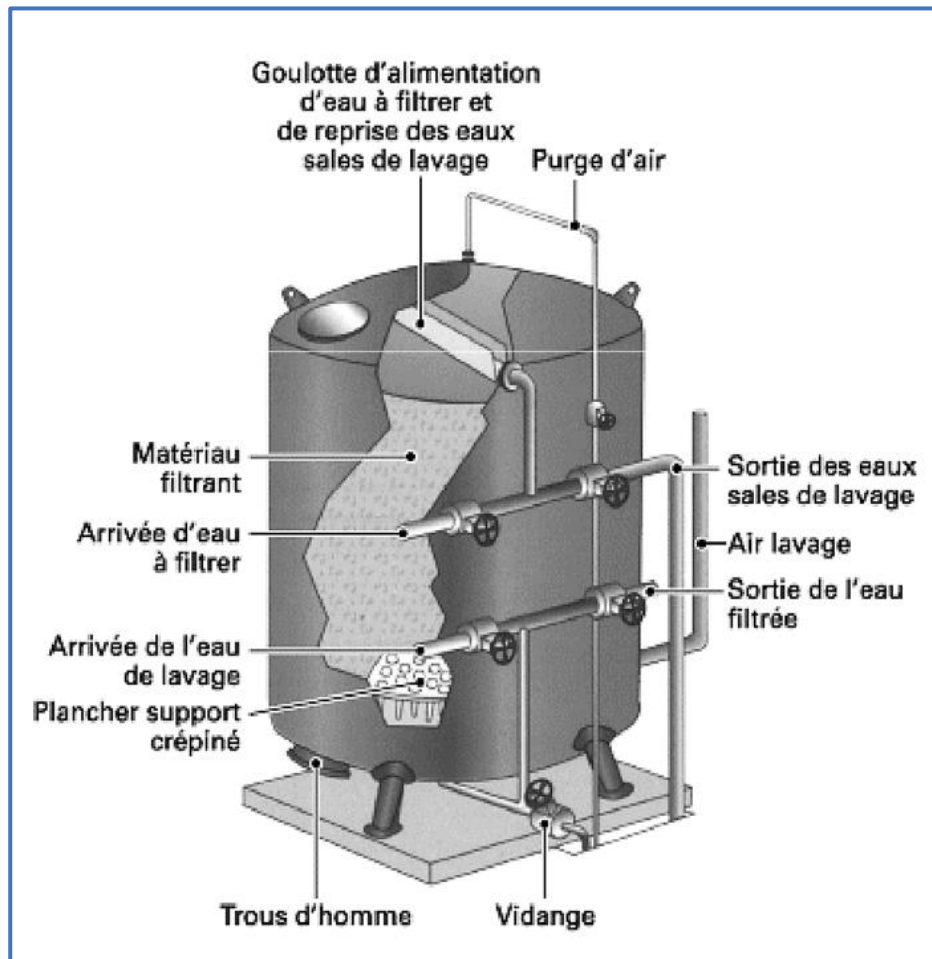


Figure V. 2 : Schéma descriptif d'un filtre à sable sous pression

L'efficacité d'un filtre est fortement influencée par le mode de régulation de son débit et du taux (vitesse) de filtration. On doit éviter dans la mesure du possible les brusques variations de débit. En ce sens, il est préférable que le filtre opère continuellement à débit réduit plutôt qu'en marche-arrêt fréquents à fort débit ; les filtres fermés sous pression acceptent des vitesses de filtration très élevées, elles varient de **5 à 20 m/h** et la perte de charge peut atteindre **1,5 bar**

a. Calcul du filtre à sable :

Données :

- Nombre d'unités : 4
- Capacité de filtration : 200 m³/h (50 m³/h par unité)
- Dimensions : 2,8 m Ø par 2 m hauteur
- Pression d'opération théorique : 650 Kpa (94,27 Psi)
- Viscosité dynamique du fluide : $\eta = 1,01.10^3 \text{ Kg/m.s}$
- La porosité du sable : 10 à 450 μm

- La hauteur totale du lit filtrant : 7 m

1)-calcul de la surface de filtration :

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (2,8)^2}{4}$$

$$S = 6,2 m^2$$

Donc la surface totale de filtration est :

$$S_t = S \times 4 = 6,2 \times 4$$

$$S_t = 24,8 m^2$$

2) calcul de taux de filtration nominal :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{50}{6,2}$$

$$V = 8,06 m/h$$

b. Calcul de la perte de charge

La perte de charge d'un filtre est la diminution de la pression de l'air à sa traversée. Elle dépend de la résistance du filtre et de la vitesse de l'air, elle est définie par :

$$\Delta_h = P_{amont} - P_{aval} \quad (V. 4)$$

$$\Delta_h = 650 - 620$$

$$\Delta_h = 30 Kpas$$

c. Les éléments de construction d'un filtre

Tout filtre est composé de trois parties, on trouve le fond le gravier support et le matériau filtrant.

Les filtres comportent 2 couches : typiquement dans les filtres bicouche on utilise du sable et d'anthracite qui retiennent les particules (incluant les hydroxydes métalliques) ainsi qu'une grande partie de la matière organique.[14]

Différence de densité relative (1,5 vs 2,6), donc sable sédimente plus rapidement qu'anthracite

Pour la hauteur de la couche filtrante : plus elle est importante, meilleur sera la qualité. En général, on choisira la hauteur de couche supérieure ou égale à 1000 fois la taille effective du sable [15],

Tableau V. 2 : Propriétés des matériaux filtrants

Matériau	Forme	Densité	Dureté	Porosité	Diamètre
Sable de silice	Arrondie	2.6	7	42	0,4 – 1,0
Sable de silice	Non arrondie	2.6	7	44	0,4 – 1,0
Anthracite	Anguleuse	1.5	3	55	0,4 – 1,4
Anthracite	Arrondie	1.5	3	50	0,5 – 1,0

Source : « C. CARDOT »

La constitution des filtres bicouche sable-anthracite offre une grande capacité de rétention car la porosité est élevée, ainsi qu'une répartition uniforme des grains après lavage. [13]

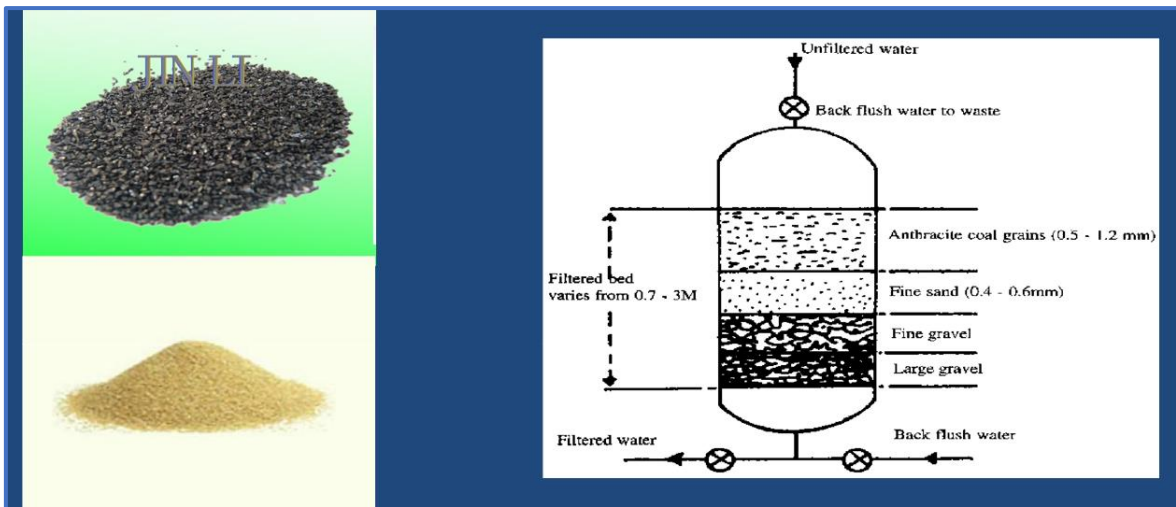


Figure V. 3 : Filtre bicouche

1. Anthracite

La couche supérieure du milieu filtrant est composée d'anthracite et possède une hauteur de **750mm**. Sa taille effective est de **1,5 mm** et son coefficient d'uniformité est inférieur à **1,5**. L'anthracite se charge de l'enlèvement des particules grossières ou préalablement oxydées. En raison de sa faible densité relative, l'anthracite est redispesé sur la couche supérieure du filtre par le détassage de celui-ci produit lors du lavage à contre-courant.

2. Sable

La couche inférieure du milieu filtrant est composée de sable et possède une hauteur de **600 mm**. Sa taille effective est de **0,75 mm** et son coefficient d'uniformité est inférieur à **1,6**. Le rôle premier du sable permet est d'éliminer les fines particules résiduelles non captées par la couche supérieure d'anthracite.

3. Graviers de support

Le gravier support situé immédiatement au-dessus du filtre, permet :

- De retenir le sable du milieu filtrant
- D'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans les filtres

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond et de celles du milieu filtrant

d.Lavage des filtres :

1. Généralités

Comme tout filtre se colmate au fur et à mesure que son lit se charge en matières retenues, il est essentiel de procéder périodiquement au lavage du lit filtrant lorsque la qualité de l'eau se détériore ou que la perte de charge atteint une valeur prédéterminée. Il est

indispensable que les lavages permettent de redonner au lit ses qualités initiales faute de quoi le filtre deviendrait de moins en moins efficace.

Le lavage est une opération très importante : lorsqu'il est insuffisant, il entraîne le colmatage permanent de certaines zones, ne laissant à l'eau qu'un passage réduit ; la perte de charge s'accroît alors plus vite et la filtration devient localement plus rapide et moins efficace. Des lavages trop fréquents entraînent un gaspillage inutile d'eau traitée.

Pour laver le matériau filtrant, on le soumet à un courant circulant de bas en haut, destiné à détacher les impuretés et à les entraîner ensuite dans une goulotte d'évacuation. Le matériau filtrant doit subir une expansion et être agité dans le courant d'eau lors de cette opération.

2. Le processus est généralement le suivant

- Vidange partielle
- Détassage à l'eau à faible débit de l'ordre de 5 à 7 m³/ (h .m²) durant 2 minutes
- Lavage à fort débit d'air et faible débit d'eau pour brasser le sable et décoller les impuretés (3 à 5 minutes)
- Dégazage pendant quelques minutes pour éviter toute embolie gazeuse du filtre (2 minutes)
- Rinçage à fort débit d'eau, pour éliminer les impuretés, jusqu'à obtenir de l'eau claire (7 à 8 minutes)
- Maturation (30 minutes)

Vitesses des fluides de lavage :

- air : 50 à 60 m/h
- eau : 50 à 60 m/h suivant sa température

Dans notre cas nous avons un réservoir de lavage à contre-courant d'une capacité de **40 m³**

Et une pompe de rétro-lavage avec un débit de **185 m³/h**

3. Qualité de l'eau filtrée

- Élimination du nombre de particules supérieures à 10 µm : 95 % environ
- Turbidité : 0,5 NFU, ou moins
- Indice de colmatage : inférieur à 5

- Equipements de contrôle :

- Manomètre à l'entrée et à la sortie, pour mesurer le degré d'encrassement du média (maximum 0,4 bar pour un filtre fermé) ;
- Prises d'échantillon sur les circuits d'eau à traiter et d'eau filtrée, pour vérifier l'efficacité du traitement.

4. Les inconvénients et les avantages d'un filtre à sable sous pression

Les inconvénients inhérents à ces filtres peuvent se résumer comme suit :

- Le traitement de l'eau sous pression complique sérieusement le mélange, la coagulation et la décantation de l'eau à filtrer
- Il est difficile d'introduire des produits chimiques dans l'eau sous pression
- Il n'est pas possible d'observer l'aspect de l'eau en cours de filtration
- La forme de filtres sous pression ne facilite pas l'installation de canalisations d'eau de lavage bien conçues garantissant que les matières retirées de sable seront rejetées et non refoulées dans d'autres parties de la couche filtrante
- Il est difficile d'examiner, de nettoyer et de remplacer le sable, le gravier et les drains inférieurs des filtres sous pression
- Le fonctionnement des filtres sous pression favorise l'aspiration ou l'injection d'eau dans les couches filtrantes à vitesse excessive.

Les avantages des filtres sous pression sont cependant suffisants pour que l'on continue à l'utiliser dans les petites stations car on peut les monter entièrement à l'usine et les expédier ensuite sur place où ils seront aisément installés. Le meilleur procédé est d'envoyer l'eau brute soit par gravité, soit au moyen de pompes à basse pression dans des bassins de floculation et sédimentation ouvert où s'effectue également la préchloration ensuite l'eau décantée à travers quatre filtres sous pression, les filtres doivent être lavés à l'eau filtrée ; il faut éviter de les laver à l'eau brute ou simplement décantée.

V.1.3.5 Filtres à cartouches

a. Rôle du poste de microfiltration

Le poste de microfiltration constitue la dernière étape de la filtration de l'eau destinée à alimenter l'étage d'osmose inverse.

Il a un triple rôle :

- Affinage de l'eau ayant été filtrée préalablement sur un média granuleux, afin d'améliorer la turbidité et l'indice de colmatage (SDI ou fouling index) ;
- Barrière de sécurité pour écrêter des pointes en teneur en matières en suspension, accidentelles ou non ;
- Mélangeur des produits chimiques de prétraitement dans tout le flux. Ce rôle est joué par le corps de filtre à l'intérieur duquel règne un régime très turbulent.

Pour que la microfiltration assure efficacement son rôle d'affinage, il faut que le premier étage de filtration ait arrêté la grande majorité des matières en suspension.

b. Objectifs de la microfiltration

En sortie du poste de microfiltration :

- La turbidité doit être inférieure à 0,5 NFU. La valeur recommandée est inférieure ou égale à 0,2 NFU pour éviter des nettoyages de membranes trop fréquents ;
- L'indice de colmatage doit être inférieur à 5. La valeur recommandée est de 3,0 à 3,5.

Il existe deux types de filtre à cartouche :

- Cartouches consommables
- Cartouches régénérables

Le type de microfiltration choisie dans notre installation est filtres à cartouche consommables

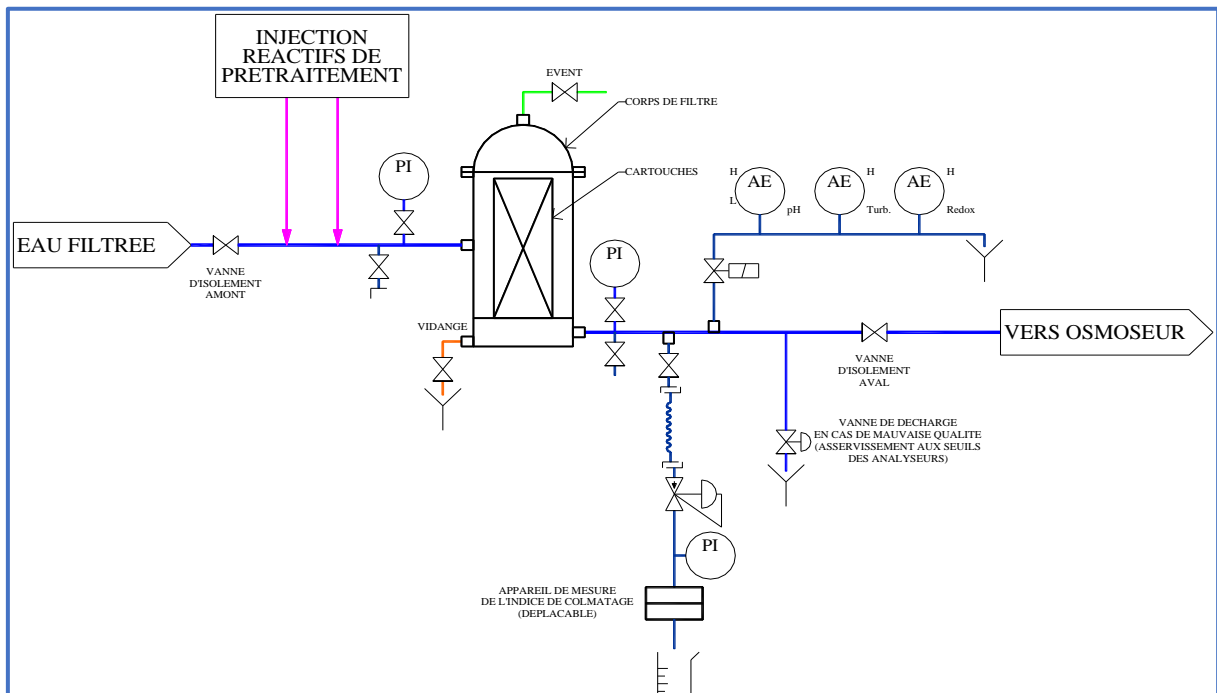


Figure V. 4 : Schéma de procédé d'un poste de microfiltration sur cartouches consommables

Remarque : La microfiltration étant l'étape finale des prétraitements de l'eau d'alimentation, c'est en aval de ce poste que sont installés les analyseurs permettant de contrôler leur efficacité.

Il est traité, par l'automate programmable, sur les signaux analogiques délivrés par les différents analyseurs, des seuils « bas » et « haut » à ne pas dépasser. Toute initiation de ces seuils entraîne la mise à l'égout automatique de l'eau prétraitée, jusqu'à ce que les qualités requises soient atteintes.

Le défaut est signalé à l'exploitant qui neutralisera l'alarme après avoir recherché les causes.

c. Les différents types de cartouches consommables

La figure V.5 définit les différents types de cartouches existants sur le marché.

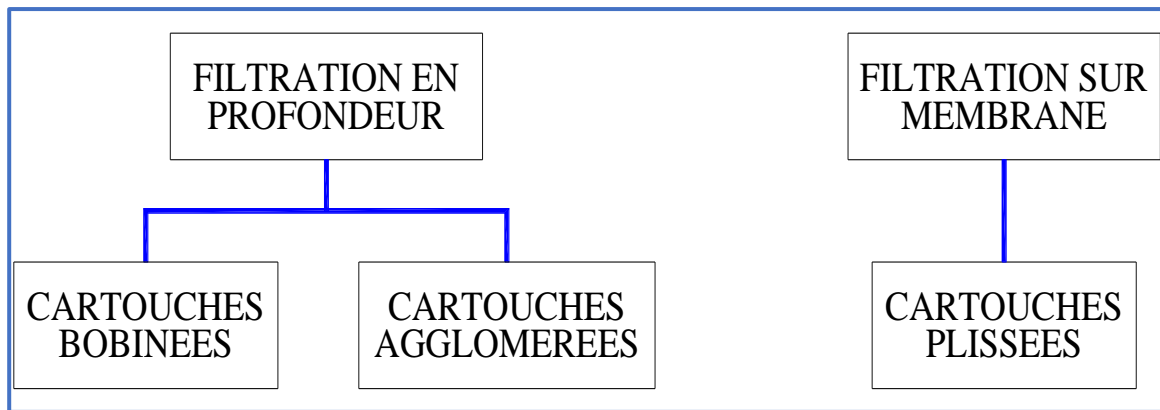


Figure V. 5 : Classification des différentes cartouches de microfiltration

Les cartouches bobinées sont constituées par un fil (en polypropylène) enroulé d'une manière croisée et continue autour d'un noyau. Pour que la filtration s'effectue en profondeur la tension du fil diminue des couches inférieures vers les cartouches supérieures lors de l'enroulement, la filtration s'effectuant de l'extérieur vers l'intérieur.

Les cartouches agglomérées sont constituées de fibres longues thermosoudées entre elles et comprimées. La dimension des pores va en décroissant de l'extérieur vers l'intérieur.

La constitution d'une cartouche à membrane plissée est illustrée par la figure 6.

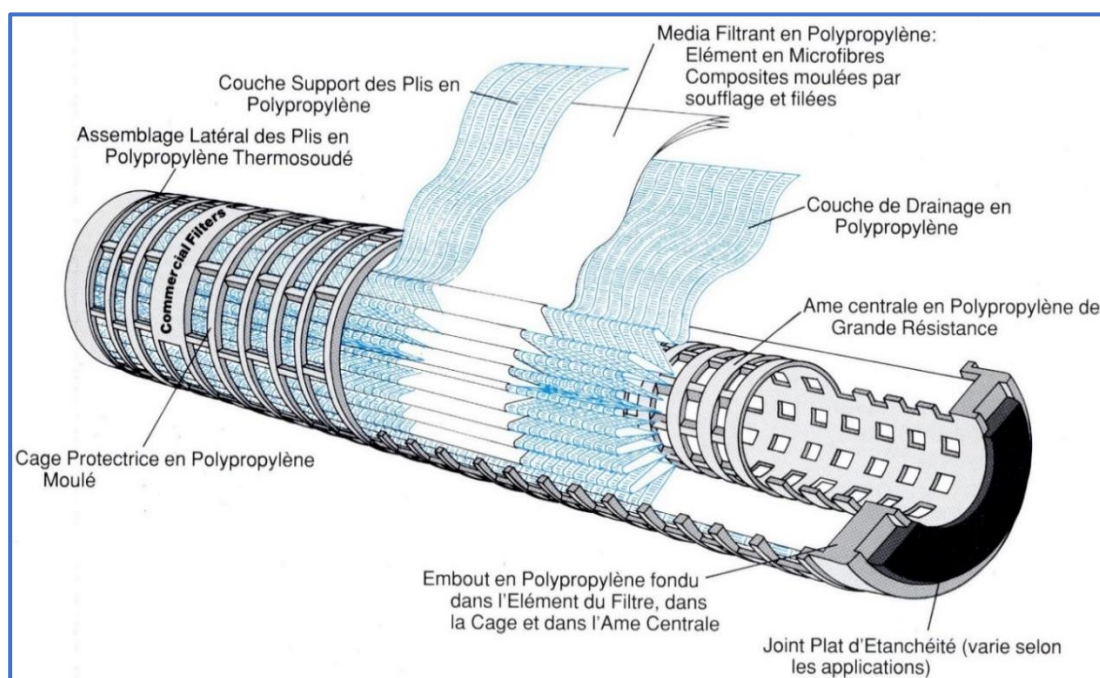


Figure V. 6 : Vue éclatée d'une cartouche plissée

Les cartouches plissées sont très efficaces et se singularisent par leur très grande surface de filtration. Elles sont les plus utilisées pour la protection des membranes d'osmose inverse.

V.1.3.6 Dimensions des cartouches

- Les longueurs sont des multiples de 10".
- Longueurs standards :
 - 10" (254 mm)

- 20" (508 mm)
- 30" (762 mm)
- 40" (1 016 mm)

- Les diamètres les plus courants sont compris entre 2,5 et 2,7".

On a toujours avantage à prendre les cartouches les plus longues et de plus grand diamètre, afin de réduire au maximum les risques de fuite.

Il existe maintenant des cartouches plissées ayant un diamètre de 6,3" (160,4 mm) et des longueurs de 40" (1 016 mm) ou de 60" (1 524 mm). Ces cartouches sont montées dans des tubes de pression ayant la même configuration que ceux logeant les éléments d'osmose inverse (diamètre nominal des corps de pression : 8"). Chaque corps de pression contient une cartouche de 40" ou 60".

Une cartouche de microfiltration est caractérisée par :

- Son seuil de rétention exprimé en μm ;
- Son efficacité, pour le seuil de rétention donné. L'efficacité est exprimée en % de particules retenues.

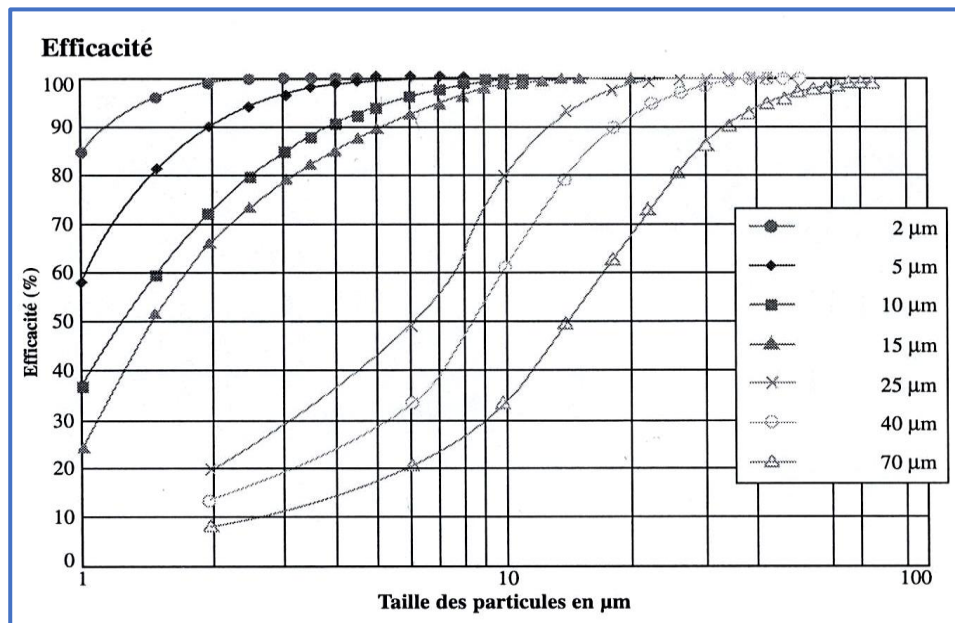


Figure V. 7 : Courbes d'évolution de l'efficacité en fonction de la taille

Pour la protection des membranes d'osmose inverse on choisira un seuil de rétention de 5 μm avec une efficacité de 99,9 %.

a. Dimensionnement du filtre à cartouche

Données :

- Débit par filtre : 50 m^3/j
- Débit total : $50 \times 4 = 200 \text{ m}^3/\text{j}$
- Perte de charge : 1 bar
- Diamètre de cartouche : 160,4 mm
- Longueur de cartouche : 1016 mm
- Vitesse de filtration : 8 m/h

- Seuil de rétention : 5 μm
- Efficacité 99%

Calcul de la surface de cartouche

$$S_c = \emptyset \times L \quad (\text{V. 5})$$

$$S_c = 0,1604 \times 1,016$$

$$S_c = \mathbf{0,16 \text{ m}^2}$$

Calcul du nombre de cartouche nécessaire par filtre

$$N = \frac{Q}{v \times S} \quad (\text{V. 6})$$

$$N = \frac{50}{8 \times 0,16}$$

$$N = \mathbf{39}$$

Le nombre de cartouche adopté est :**40**

Calcul de surface par filtre

$$S = S_c \times N \quad (\text{V. 7})$$

$$S = 40 \times 0,16$$

$$S = \mathbf{6,4 \text{ m}^2}$$

Calcul de vitesse de filtration adopté

$$V = \frac{Q}{S} \quad (\text{V. 8})$$

$$V = \frac{50}{6,4}$$

$$V = \mathbf{7,8 \text{ m/h}}$$

Plus la vitesse de filtration sera élevée :

- Plus la capacité de rétention diminuera pour une cartouche définie. De ce fait les cartouches devront être changées plus fréquemment, d'où une augmentation du coût de production ;
- Plus la perte de charge sera élevée.

b. La perte de charge par filtre

La perte de charge maximum tolérable pour les cartouches, due au colmatage par les particules, doit être limitée à 1 bar, ce qui correspond à 76 % de leur durée de vie maximum, comme l'indique la figure 8.

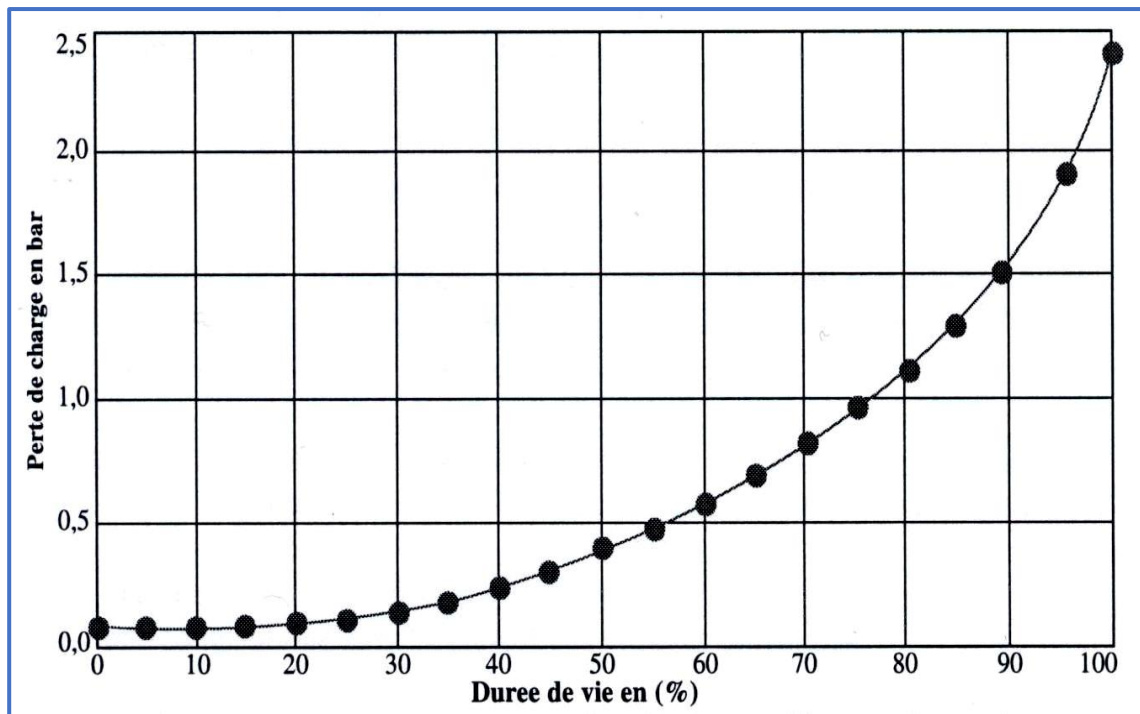


Figure V. 8 : Perte de charge par rapport à la longévité

On voit donc qu'il n'est pas économique d'aller au-delà de 1 bar de perte de charge, car pendant les 24 % de vie restante, on augmente la pression nécessaire au refoulement des pompes basse-pression, et donc la consommation en énergie électrique, sans compter les risques de relargage de particules.

✓ **Tendances actuelles**

Afin de protéger encore plus les membranes d'osmose inverse et permettre des densités de flux plus importantes, la tendance actuelle est d'abaisser le seuil de rétention à 0,1 µm. Pour cela il est utilisé des éléments de microfiltration lavables par rétro-lavage à l'eau (filtrat), avec de l'air ou non, constitués de fibres creuses.

Il peut être obtenu des indices de colmatage inférieurs ou égaux à 2,00

Pour une amélioration de la filière de prétraitement et du traitement physico-chimique et pour éviter tout problèmes liés au colmatage des filtres à sables nous avons proposé un ajout du décanteur lamellaire en aval des filtres

V.1.3.7 La décantation lamellaire

La nécessité de disposer de décanteurs de faible surface pouvant admettre de forts débits exigea une modification de la technologie de décantation. Pour remplir cet objectif, on dispose des lamelles, tubes ou hexagonaux selon un angle α par rapport à l'horizontale. Chaque élément est un décanteur unitaire.

La décantation est le premier type de traitement primaire possible. On distingue la décantation simple et la décantation physico-chimique qui consiste à injecter coagulant et floculant

a. Les différents types de décanteur lamellaire

Il existe différents types de décanteur lamellaire

✓ **A contre-courant**

Son alimentation se fait par le bas, et la circulation de l'eau s'effectue en sens inverse de la décantation de la boue

✓ **A courant croiser**

L'eau et la boue circulent perpendiculairement. L'alimentation en eau floculée se fait par le coté afin d'éviter la zone entre les plaques ou l'eau remonte avec une vitesse opposée à la chute du floc.

✓ **A co-courant**

Dans ce cas, l'eau et la boue circulent dans le même sens et la décantation n'est pas gênée

Actuellement la décantation à contre-courant est le système le plus simple et le plus fiable dans lequel s'engagent les constructeurs. En effet, les forts problèmes de reprise des eaux décantées en co-courant compliquent le système et la décantation à flux croisés pose de problèmes d'équirépartition des flux hydrauliques

b.Principes généraux de la décantation lamellaire

La décantation lamellaire consiste à multiplier dans un même ouvrage les surfaces de séparation eau-boue. Ainsi le positionnement de faisceaux lamellaires (tubes ou plaques parallèles) dans la zone de décantation crée un grand nombre de cellules élémentaires de séparation. Afin d'assurer l'évacuation des boues, il est nécessaire d'incliner les lamelles d'un angle α par rapport à l'horizontale.

La décantation en tubes ou entre plaques inclinés est plus rapide que la décantation classique. En effet, les boues se forment assez rapidement sur la génératrice inférieure d'un tube ou sur les plaques d'un faisceau de plaques parallèles, puisque les particules suivent un chemin relativement court pour y parvenir.

La surface de décantation offerte par un élément de décantation inclinée d'un angle α est donnée par :

$$S'_d = \frac{\Omega}{h} \quad (V. 9)$$

La hauteur de chute des particules est donnée par

$$h = \frac{e}{\cos \alpha} \quad (V. 10)$$

$$S'_d = \frac{\Omega}{h} \cos \alpha \quad (V. 11)$$

$$Sd' = Sd \cos \alpha \quad (V. 12)$$

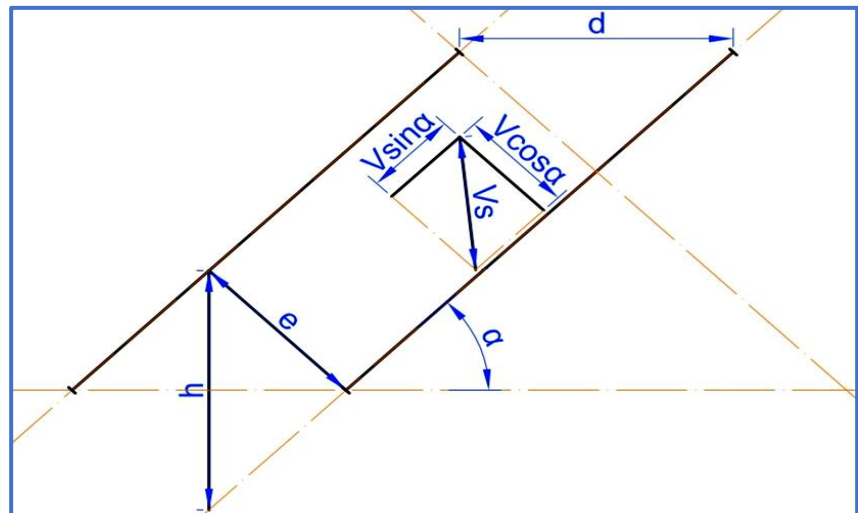


Figure V. 9 : Principes généraux de la décantation lamellaire [16]

Et pour un nombre « n » de modules on a une surface totale de décantation est donnée par :

$$STP = nS_d \cos \alpha \quad (\text{V. 13})$$

Avec :

- S_d : surface élémentaire de décantation
- Ω : volume du contrôle

Pour un débit d'exploitation Q, l'expression de la charge hydraulique superficiel (vitesse de Hazen) est donnée par : [17]

$$v_H = \frac{Q}{nS_d \cos \alpha} \quad (\text{V. 14})$$

Remarque très importante : A la base de calcul de tout décanteur lamellaire, cette formule est établie dans l'hypothèse que le débit Q serait réparti équitablement dans chaque module et que le débit qui passe à travers un module est égal à $(\frac{Q}{n})$. Mais en réalité, cette notion d'équirépartition de débit n'est qu'hypothétique. A la limite on admet une certaine variation autour de cette valeur $(\frac{Q}{n})$ selon la précision qu'on veut apporter à notre conception. En effet, la répartition du débit dans l'ouvrage dépend en grande partie de la géométrie et surtout des conditions d'entrée et de sortie d'eau. Dans ces conditions, la résolution du problème se fait cas par cas, néanmoins il existe déjà des modèles proposés par les constructeurs.

c. Paramètres caractéristiques d'un décanteur lamellaire

Deux caractéristiques fondamentales définissent les décanteurs lamellaires :

- L'espace inter-lamellaire
- Inclinaison des lamelles
- ✓ **L'espace inter-lamellaire « e » :**

C'est l'écartement orthogonal de deux lamelles successives. Cet espace constitue un décanteur élémentaire ou un module lamellaire. Sa valeur résulte d'un compromis entre la possibilité de réduire la hauteur de chute et la nécessité de ne pas trop rapprocher les lamelles afin d'éviter la remise en suspension des flocs déposés et pour éviter les risques de bouchage.

- ✓ **L'inclinaison des lamelles « α »**

C'est l'angle que font les lamelles avec l'horizontale. Sa valeur résulte d'un compromis entre la nécessité d'adopter une pente permettant l'évacuation facile des flocs déposés par écoulement gravitaire et le gain de performance que procure une faible inclinaison.

- ✓ **Autres paramètres**

Il existe aussi d'autres caractéristiques telles que

- Largeur des lamelles : la valeur pratique se situe entre 1 et 1,25 [m]

- Épaisseur : on essaie d'avoir des épaisseurs les plus petits possibles : de l'ordre du millimètre et même moins

Forme : au début, on a utilisé la forme la plus simple : lamelles à profil plan. Ensuite, différentes formes ont été conçues afin d'obtenir une importante surface de décantation : les formes ondulées, hexagonales.

La forme la plus utilisée est la forme hexagonale, car elle permet de augmenter la surface de décantation pour une surface au miroir identique. Les ouvrages obtenus sont très compacts.

Notre décanteur est composé de trois compartiments :

1^{ère} chambre :

L'eau brute pénètre dans la première chambre par faible débit afin que le phénomène de coagulation floculation s'opère ; ou l'eau circule de bas à haut

2^{ème} chambre :

C'est la chambre de décantation, Elle a pour fonction la retenue des Floccs (boue). L'eau partiellement décantée s'écoule vers la 3^{ème} chambre à travers un collecteur.

3^{ème} chambre :

Ce compartiment est une retenue d'eau et en même temps il termine la décantation.

Voir schéma du décanteur. (Figure V.10)

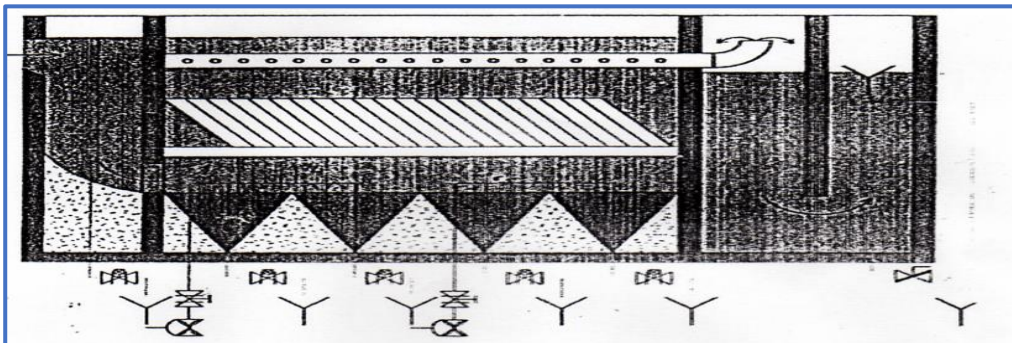


Figure V. 10 : Schéma type d'un décanteur lamellaire

d. Dimensionnement du décanteur lamellaire

L'ouvrage de décantation est nécessaire lorsque l'eau brute est trop chargée pour subir une filtration directe (MES supérieures à 15 mg/l environ).

Dans notre cas nous avons comme données les valeurs suivantes de MES dans l'eau :

Valeur moyenne : 10 à 20 mg/l et une valeur maximale de 1000 mg/l ; de ces valeurs on conclut que notre eau est trouble et l'implantation d'un décanteur dans la filière de prétraitement est nécessaire

✓ Les hypothèses de dimensionnement :

- un régime laminaire permanent
- équirépartition du débit

Le modèle choisit est le modèle de Hazen parce qu'il reste le simple et le plus pratique. Le principe consiste à comparer la vitesse de sédimentation des particules V_s , avec la charge hydraulique superficielle V_h (rapport de débit Q et la surface de décantation S)

Cette notion est établie en adoptant les hypothèses simple (citer avant) mais constitue une base solide pour le dimensionnement de tout type de décanteur. C'est donc le modèle idéal de décantation donnée par la relation :

$$V_s > V_h$$

La vitesse de Hazen recommandé par le constructeur : elle doit être inférieure à 0,6 m/h

Le débit d'alimentation est de 200 m³/h

Nous avons choisi un décanteur lamellaire d'une forme hexagonale et de type contre-courant

Les valeurs prise pour le dimensionnement [le choix était fait après une discussion avec le personnel de la centrale] :

- Largeur du décanteur : $l=1250$ mm
- Longueur de décanteur : $L=1700$ mm
- Hauteur des lamelles : $H=750$ mm
- Séparation des lamelles : $e=50$ mm
- Inclinaison des lamelles : $\alpha = 60^\circ$
- Longueur hexagone : $L_h = 70$ mm
- Hauteur hexagone : $H_h = 36$ mm
- Largeur hexagone : $l_h = 45$ mm
- Calcul du nombre de plaques :

$$N = \frac{L}{e^2} \quad (\text{V. 15})$$

$$N = \frac{1,7}{(0,05)^2}$$

$$N = 680$$

Calcul de la largeur utile

$$L_u = \frac{l \times l_h}{L_h} \quad (\text{V. 16})$$

$$L_u = \frac{1,25 \times 45}{70}$$

$$L_u = 0,8 \text{ m}$$

Calcul de la surface utile

$$S_u = L_u \times N \times H \quad (\text{V. 17})$$

$$S_u = 0,8 \times 680 \times 0,75$$

$$S_u = 408 \text{ m}^2$$

Calcul de la surface totale projeté

$$STP = S_u \times \cos \alpha \quad (\text{V. 18})$$

$$STP = 408 \times \cos 60$$

$$STP = 204 \text{ m}^2$$

La surface du décanteur lamellaire est en moyenne de $10 \text{ m}^2/\text{m}^2$ d'emprise au sol, la taille du bassin sera réellement de **204/10** qui égale à **20,4 m²** d'emprise au sol.

Il faut vérifier si la vitesse de Hazen est inférieure à 0,6 m/h

Par analogie avec la théorie de Hazen nous avons déterminé la vitesse limite de décantation d'un décanteur lamellaire à contre-courant et elle est égale à : [16]

$$V_{lim} = \frac{q}{N.I.(L.\cos \alpha + e.\sin \alpha)} \quad (\text{V. 19})$$

$$V_{lim} = \frac{200}{680 \times 1,25(1,7 \times \cos 60 + 0,05 \sin 60)}$$

$$V_{lim} = 0,26 < 0,6 \text{ donc la condition est x vérifiée}$$

Le temps de rétention dans un décanteur lamellaire varie d'une demi-heure jusqu'à deux heures [13] **$T_r = 0,5 \text{ h} - 2 \text{ h}$**

✓ **Types de matériaux choisis :**

Les deux types de matériaux existants sont : P.V.C et tôle galvanisée ; la nature du matériau recherchée est importante sur trois points :

- 1) Rugosité : la plus faible possible
- 2) Rigidité
- 3) Longévité

Le Galva au cours des années révèle une rugosité plus élevée. Celle-ci empêche le glissement de la boue et entraîne des dysfonctionnements liés à :

- Des phénomènes d'anaérobiose sur les plaques
- Des phénomènes de colmatage [18]

Donc il est préférable de choisir le **P.V.C**

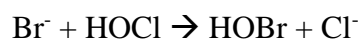
V.1.4 Le prétraitement chimique

V.1.4.1 Traitements biocides

Le biocide le plus couramment utilisé est le chlore, soit sous forme de granulés (hypochlorite de calcium), soit sous forme liquide (hypochlorite de sodium) qui est utilisé dans la station de dessalement de la centrale.

Contrairement à ce qui se passe lors de la chloration d'eau douce, où l'acide hypochloreux constitue la partie active, la chloration d'eau de mer fait intervenir un autre principe actif.

L'eau de mer contient des bromures (concentration typique : 65 mg/l), qui vont réagir rapidement avec l'acide hypochloreux pour former de l'acide hypobromeux, qui servira de biocide.



L'acide hypobromeux ainsi formé est beaucoup plus stable que l'acide hypochloreux. Ainsi à pH 8, pH usuel de l'eau de mer, il ne subsiste que 28 % de HOCl, alors qu'il subsiste 83 % de HOBr.

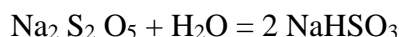
Il est à noter que les analyseurs de chlore mesurent indifféremment l'acide hypochloreux ou l'acide hypobromeux.

L'injection de chlore est effectuée avant d'entamer le prétraitement physico-chimique. Pour qu'il ait le temps de réagir sur les matières biologiques, il est nécessaire d'aménager un temps de contact entre le chlore et l'eau.

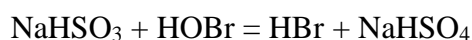
Le temps de contact est de l'ordre de 20 à 30 minutes. La dose de chlore à introduire est celle qui permet d'obtenir un résiduel de chlore, en sortie du bassin de contact, de 0,2 à 0,5 mg/l. La valeur du résiduel ne doit pas être trop importante afin qu'il puisse se développer autour des grains du média filtrant, un biofilm qui contribuera à atteindre la qualité désirée pour l'eau d'alimentation des membranes.

V.1.4.2 Déchloration

Pour ne pas dégrader les membranes il faut éliminer toute trace d'oxydants. Cela s'effectue à l'aide de métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_5$). Ce produit en poudre, mélangé à l'eau pour obtenir une solution injectable, se transforme en bisulfite de sodium suivant la réaction :



Le bisulfite de sodium réagit sur l'acide hypobromeux suivant la réaction :



On constate donc qu'il y a formation d'acide bromique et de bisulfate de sodium qui vont acidifier l'eau.

L'injection de bisulfite de sodium permet en général de s'affranchir de l'acidification, par injection d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique, pour protéger les membranes contre les précipitations de carbonate de calcium.

La solution de bisulfite de sodium a une durée de vie qui est limitée dans le temps et qui dépend de sa concentration.

Tableau V. 3 : Durée de vie de la solution en fonction de la concentration en poids

Concentration (%) en poids	Durée de vie de la solution
10	1 semaine
20	1 mois
30	6 mois
* Concentration conseillée	

La dégradation de la solution est due à la réaction du bisulfite de sodium avec l'oxygène de l'air.

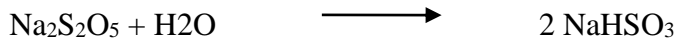
Pour que la déchloration soit efficace et rapide il faut que la teneur en oxygène soit la plus faible possible, et que la concentration en chlore soit également faible à la sortie du poste de filtration.

Pour limiter la présence d'oxygène dans l'eau on prélèvera l'eau de mer en un point peu agité, on évitera les chutes d'eau dans le réservoir de tête, on éliminera toute prise d'air dans les équipements et les tuyauteries.

La dose stœchiométrique de métabisulfite de sodium pour réduire 1 g de chlore est de 1,34 g. En réalité il faut augmenter ce dosage à 3 g.

Si on a un résiduel de 0,3 g/m³ de chlore, la dose de Na₂S₂O₅ à mettre en œuvre est donc de 0,9 g/m³.

La relation entre le métabisulfite (Na₂S₂O₅) et le bisulfite (NaHSO₃) est :



M Na₂S₂O₅ = 190 g/mol

M NaHSO₃ = 104 g/mol

Donc 1 g de Na₂S₂O₅ donne 1,1 g de NaHSO₃.

Le taux de dosage pour la déchloration exprimé en NaHSO₃ est donc de 3,3 g par g de chlore.

Nous avons 4 pompes doseuses du bisulfite de sodium deux seulement en marche avec un débit de 7 l/h à une pression de 7 bar et un réservoir de stockage d'une capacité de 2000 litres.

V.1.4.3 Traitements biostatiques

Les traitements biostatiques ont pour but, non pas d'oxyder les matières biologiques, mais d'empêcher leur développement en réduisant l'oxygène dissous nécessaire à leur respiration.

Le réducteur employé est le bisulfite de sodium, utilisé également pour la déchloration et accessoirement pour l'acidification.

Le traitement peut s'effectuer en continu ou en traitement de choc.

La dose à injecter en continu est de 50 mg/l de Na₂S₂O₅.

V.1.4.4 Acidification et injection de séquestrant

✓ Généralités

L'acidification et l'injection de séquestrant ont pour but d'éviter la précipitation des sels normalement dissous dans la zone alimentation/concentration des éléments d'osmose inverse, si leur concentration dépasse leur produit de solubilité.

Mais il peut apparaître des précipitations ponctuelles même si le produit de solubilité n'a pas été atteint en prenant en considération le système membranaire complet, car à certains endroits la valeur du facteur de conversion peut être très élevé, comme par exemple dans les irrégularités de la surface des membranes.

C'est pour cette raison qu'une marge de sécurité doit être prise. Ainsi on envisagera toujours un conditionnement chimique de l'eau d'alimentation pour que la concentration des sels concernés soit au maximum égal à 70 % de leur solubilité maximum.

Pour conditionner chimiquement l'eau pour éviter les phénomènes d'entartrage, on utilisera :

- Soit un acide (acide sulfurique, acide chlorhydrique) qui empêchera la précipitation du carbonate de calcium ;
- Soit un séquestrant, pour les autres sels (sulfate de calcium, sulfate de strontium, ...) ;
- Soit une combinaison des deux produits.

L'acide le plus employé est l'acide sulfurique, car il est plus économique tandis que les produits anti-scalant sont utilisés pour éviter l'entartrage des surfaces des membranes avec de très faibles doses de 1 à 5 mg/l dans l'eau d'alimentation à l'aide d'une pompe d'un débit de 1,9 l/h et un réservoir de stockage d'une capacité de 300 litres.

V.2 OSMOSE INVERSE

A la rentrée d'unité d'osmose inverse, nous avons ces résultats :

Tableau V. 4 : Caractéristiques de l'eau à l'entrée de l'osmose inverse

Température	C	22,3
PH	-	7,8
Conductivité	µs/cm	47136
Turbidité	NTU	0,06
Chlore libre	Ppm	Nul
TDS	Ppm	-
SDI	-	< 3

L'eau traitée sortant des filtres est pressurisée à la pression osmotique voulue par des pompes haute pression et cette eau alimente les unités d'osmose inverse dans lesquelles elle est séparée en flux de perméat et flux de rétentat sous l'effet de la pression.

✓ Caractéristique de l'osmoseur

Tableau V. 5 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de l'osmose

Caractéristiques	1^{er} pass sans dilution	1^{er} pass avec dilution	2^{ème} pass
Type de membranes	TM 820 -400	TM 820 -400	TM 720-400
Température °C	15 – 26	15 – 26	15 – 26
Salinité µs/cm	56 000 à 20°C	52 000 à 20°C	<400 à 20 °C
Conversion %	42	42	84
Débit d'alimentation m³/h	50	50	40
Âges des membranes ans	3	3	3
Pression d'alimentation bar	55	50	19
Contre pression sur perméat bar	0 – 0,7	0–0,7	4
Minéralisation de l'eau produite µs/cm	<400 à 20 °C	<200 à 20°C	<4 à 20°C

Consommation KWh/m³	énergétique	2,7	2,3	0,77
---	--------------------	-----	-----	------

Source : document officiel de la centrale

Environ 42% de l'eau de mer d'alimentation traverse les membranes pour construire le flux de perméat ; le reste de l'eau d'alimentation (rétentat) est envoyé au système de récupération d'énergie, dans lequel la pression de rejet est utilisé pour pressuriser l'eau d'alimentation des unités d'osmose inverse. Le rétentat servira ensuite en partie d'eau de lavage des filtres à contre-courant et sera rejeté à l'évacuation en aval

✓ **Calcul du débit produit et débit de rejet pour les osmoseurs**

Pour le **premier passage** nous avons les mêmes données :

Débit d'alimentation : $Q_a = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

Facteur de conversion : $Y = 42\%$

Débit de production = débit d'alimentation \times le facteur de conversion

$$Y = \frac{Q_p}{Q_a} \Rightarrow Q_p = Q_a \times Y \quad (\text{V. 20})$$

$$Q_p = 50 \times 0,42$$

$$Q_p = 21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Débit de rejet = débit d'alimentation – débit de production

$$Q_r = Q_a - Q_p \quad (\text{V. 21})$$

$$Q_r = 50 - 21$$

$$Q_r = 29 \text{ m}^3/\text{h}$$

✓ **Calcul de la concentration de Retrait**

Le taux de rejet de la membrane TR est entre 95 à 99% (comme nous avons indiqué au chapitre 4) dans notre étude on prend $TR = 96\%$

$$TR + 1 - \frac{C_p}{C_a} \quad (\text{V. 22})$$

Avec $C_a = 0,1 \text{ g/l}$

$$C_p = (1 - TR) \times C_a = (1 - 0,96) \times 0,1$$

$$C_p = 0,004 \text{ g/l}$$

$$Q_a \times C_a - Q_r \times C_r = Q_p \times C_p \quad (\text{V. 23})$$

$$Q_r \times C_r = Q_a \times C_a - Q_p \times C_p \Rightarrow C_r = \frac{Q_a \times C_a - Q_p \times C_p}{Q_r} = \frac{50 \times 0,1 - 21 \times 0,004}{29}$$

$$C_r = 0,17 \text{ g/l}$$

Le deuxième passage :

Débit d'alimentation : $Q_a = 40 \text{ m}^3/\text{h}$

Facteur de conversion : $Y = 84\%$

$$Q_p = Q_a \times Y = 40 \times 0,84$$

$$Q_p = 33,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_r = Q_a - Q_p; Q_r = 40 - 33,6$$

$$Q_r = 6,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pour les mêmes données qu'au premier passage, nous allons trouver :

$$C_R = 4 \text{ g/l}$$

Des résultats, on constate que la concentration du retrait est plus importante en deuxième passage qu'au premier passage

V.3 EAU DESSALEE

Un réservoir de stockage reçoit l'eau dessalé du système d'osmose inverse et alimente les systèmes de déminéralisation et de reminéralisation

V.3.1 Système de déminéralisation

Installation de déminéralisation comprend une unité d'osmose inverse de traitement de l'eau saumâtre suivie d'une électrodéionisation (EDI)

✓ Caractéristiques de l'EDI

- Type de stack : MK2
- Température de calcul : $15 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$
- Salinité de l'eau brute : $< 4 \text{ } \mu\text{s/cm}$ à 20°C
- Facteur de conversion : 90%
- Débit d'eau d'alimentation : $34 \text{ m}^3/\text{h}$
- Age des stacks : 10 ans
- Pression nette d'alimentation : 4 bar
- Contre-pression sur perméat : 1 bar
- Minéralisation de l'eau brute : $< 0,05 \text{ } \mu\text{s/cm}$ à 20°C
- Consommation énergétique : $0,07 \text{ KWh/ m}^3$

Le principe de base de l'installation de déminéralisation consiste à faire passer l'eau dessalée dans un second étage d'osmose inverse afin d'obtenir de l'eau ayant une très faible concentration de matières en suspension. Cette eau est alors envoyée au système d'électrodéionisation constitué de membranes échangeuse d'anions et de cations avec mélange interposé de résines cationiques et anioniques. Un potentiel CC est appliqué aux bornes de la cellule et décompose les molécules d'eau en ions hydrogène et ions hydroxyle. Les ions hydrogène et hydroxyle sont entraînés à travers les membranes cationiques et anioniques vers une chambre distincte, dans laquelle ils se combinent en eau très pure. La production et la migration de ces ions assurent en permanence la régénération du lit de résines.

Les ions contaminants s'attachent à leurs résines échangeuses d'ions respectives et rejoignent la migration dans une chambre distincte. L'eau concentrée saturée d'ions contaminants est recirculée partiellement afin d'accroître la vitesse d'écoulement dans un

empilage de membranes, améliorant ainsi le rendement et favorisant le mélange. L'eau évacuée peut être déversée à l'égout ou réinjectée dans l'alimentation du dessalement.

Un système de dosage caustique est installé en amont des unités d'OI et EDI pour le contrôle du PH final du produit (une pompe de dosage d'un débit de **7 l/h** et un réservoir d'une capacité de **1000 litres**)

Un dispositif de dosage de saumure permet de maintenir une conductivité minimale (environ 50 µs/cm) dans la boucle de recirculation de l'unité de l'EDI

✓ **Dimensionnement du réservoir d'eau dessalée/déminéralisée**

• **Conditions de calcul**

- Température ambiante : 0°C – 45 °C
- Température de service : 70 °C
- Densité : 1
- Pression : Atm
- Vitesse adoptée du vent : 52,77 m/ s (190Km/h)

• **Données :**

- Diamètre : 16 m
- Hauteur : 8,2 m

La surface du réservoir :

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{V. 24})$$

$$S = \frac{\pi \times 16^2}{4}$$

$$S = 201 \text{ m}^2$$

Le volume du réservoir :

$$V = S \times H \quad (\text{V. 25})$$

$$V = 201 \times 8,2$$

$$V = 1648 \text{ m}^3$$

La quantité d'eau déminéralisée emmagasinée dans le réservoir est de 1500 m³

V.3.2 Le système de reminéralisation

Du fait que l'osmose inverse élimine davantage des ions divalents et trivalents que les ions monovalents, le perméat d'osmose inverse est généralement très adouci et son degré de dureté peut être dangereux pour la santé lorsqu'on l'utilise comme eau potable

L'eau dessalé doit être reminéralisée par injection de gaz carbonique (CO₂) et d'oxyde de calcium (Ca(OH)₂), dont la réaction entraîne la formation de bicarbonate de calcium (Ca(HCO₃)₂), qui permet de préserver la dureté et l'alcalinité du produit

L'hypochlorite de sodium est injecté à titre d'agent désinfectant contrôlant la croissance bactérienne

L'eau reminéralisée est utilisée comme eau potable et eau de service

a. Eau potable

Le réservoir du système d'eau potable est alimenté par le système d'eau reminéralisée. Le réservoir est équipé de deux transmetteur de niveau redondants, avec sélecteur de signal de sortie et indicateur du niveau local.

Le système de distribution d'eau potable s'effectue à l'aide de deux pompes à eau l'une est en service l'autre est en attente.

b. Eau de service

Il y a deux réservoirs d'eau de service, utilisée en parallèle. La partie inférieurs des deux réservoirs est réservé à l'eau de protection contre incendie ; chaque réservoir est équipé de deux transmetteurs de niveau redondants et un indicateur de niveau local

✓ Dimensionnement du réservoir d'eau de service :

• Données :

- Température ambiante : 0°C – 45 °C
- Température de service : 70 °C
- Densité : 1
- Pression : Atm
- Vitesse du vent : 44 ,4 m/s
- Diamètre : 17 m
- Hauteur : 8 m

Calcul de la surface du réservoir :

$$S = \frac{\pi D^2}{4} ; S = \frac{\pi \times 17^2}{4}$$

$$S = 227 \text{ m}^2$$

Le volume du réservoir est :

$$V = S \times H ; V = 227 \times 8$$

$$V = 1816 \text{ m}^3$$

La capacité totale des deux réservoirs est de 1700m³/réservoir. les 300 m³ du dessus sont utilisés pour l'eau de service le reste est réservé pour la protection contre incendie

V.4 SYSTEME DE REJET DE LA CENTRALE

V.4.1 Eaux usées de procédé

Les eaux usées de procédé de la centrale sont des eaux d'une qualité relativement élevée, provenant des extractions des générateurs de vapeur à récupération de chaleur, des drains d'eau de mer, des drains de condensat, des drains de plancher, des rejets des filtres et des rejets de l'installation de dessalement.

V.4.1.1 Puisards locaux d'eaux usées

Le puisard d'eaux usées peut recevoir de l'eau huileuse aussi bien que de l'eau propre. Par conséquent, l'eau recueillie est pompée dans des séparateurs eau-huile, avant d'aboutir dans le puisard de neutralisation

Le puisard d'eaux usées est équipé de deux pompes à membranes à commande pneumatique. Le puisard contient un transmetteur-contrôleur de niveau, qui envoie un signal d'ouverture d'une électrovanne en cas de niveau haut.

- **Séparateur eau-huile**

Deux séparateurs eau-huile sont installés en parallèle. Chacun d'eux est conçu pour un débit de 45 m³/h d'eau huileuse. Les séparateurs comprennent une première chambre dans laquelle les solides lourds décantent. Dans les chambres qui suivent, l'huile se prépare de l'eau par différence de densité et au moyen de plaques ondulées. L'eau propre sort du séparateur par gravité, tandis que l'huile demeure dans le compartiment à l'huile.

V.4.1.2 Puisard d'extraction

Il existe trois puisards d'extraction dans la centrale, un pour chacune des tranches. Les puisards d'extraction recueillent l'eau non huileuse provenant des drains de condensat, des drains d'eau de mer, de l'extraction des générateurs de vapeur à récupération de chaleur et des drains des HRSG. Avant pompage dans le puisard de neutralisation, les eaux d'extraction et de drainage des HRSG sont refroidi à 60°C par l'eau de mer.

L'eau refroidi est acheminée par gravité à la fausse de neutralisation

✓ **Dimensionnement du réservoir d'eau d'extraction :**

Données :

- Température ambiante : 0°C – 45 °C
- Température de service : 70 °C
- Densité : 1
- Pression : 0,02 bar
- Vitesse du vent : 53 m/s
- Diamètre : 5 m
- Hauteur : 5,5 m

La surface du réservoir :

$$S = \frac{\pi D^2}{4} ; S = \frac{\pi \times 5^2}{4}$$

$$S = 19,7 \text{ m}^2$$

Donc le volume est

$$V = S \times H ; V = 19,7 \times 5,5$$

$$V = 108,35 \text{ m}^3$$

La quantité d'eau dans le réservoir est de **107 m³**

V.4.1.3 Puisard de neutralisation

Toutes les eaux usées de procédé aboutissent dans un puisard de neutralisation, à l'exception de l'eau de mer utilisée uniquement pour le refroidissement dans les échangeurs à plaques et les condenseurs de turbine. Il est prévu un réglage de PH dans le puisard de neutralisation

A la sortie de puisard de neutralisation, le PH est mesuré et les valeurs envoyées vers le système DCS (Distributed Control System). Les solides en suspension, l'huile et la graisse, ainsi que le chlore résiduel, font l'objet de mesures manuelles. Certains autres paramètres sont mesurés manuellement une fois par mois, selon la réglementation environnementale :

Tableau V. 6 : Critères du rejet des effluents liquides

Paramètres	Unités	Valeur max (décret exécutif n°06-141)
Aluminium	mg/l	3
Azote total kjeldahl	mg/l	30
Cadmium	mg/l	0,2
Chrome total	mg/l	0,5
Composés organiques chlorés	mg/l	5
Cuivre total	mg/l	0,5
DBO₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Fer	mg/l	3
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Manganèse	mg/l	1
MES	mg/l	35
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
PH		6,5 -8,5
Phosphore total	mg/l	10
Plomb	mg/l	1
Zinc total	mg/l	3

Source : document officiel de la centrale

Le puisard de neutralisation comprend deux étages. Les effluents arrivent dans la première section, qui correspond à l'étage un ; dans ce compartiment, le temps de rétention est d'environ 40 minutes. Il y a une pompe opérant en circuit fermé pour maintenir l'agitation, un point d'injection d'acide et un point d'injection de soude caustique. Il y a également un transmetteur de PH contrôle l'ajout d'acide sulfurique et d'hydroxyde de sodium. A ce stade, il ne s'agit pas d'atteindre la valeur finale du PH cible. Le principe consiste à conserver un PH situé du même côté de la courbe de PH de l'influent dans l'étage 1. On évite ainsi d'avoir à ajouter trop d'acide ou de soude caustique ou des deux.

Dans le second étage, l'eau s'écoule par débordement du débordement du compartiment un dans le compartiment deux. Il y a un point d'injection d'acide et un point

d'injection de soude caustique. Il y a également un transmetteur de PH qui contrôle l'ajout d'acide sulfurique et d'hydroxyde de sodium. Cet étage sert au réglage final. Il doit être possible d'atteindre le PH cible en n'ajoutant qu'une petite quantité d'acide ou de soude caustique. Deux pompes sont installées dans ce compartiment pour évacuer les effluents vers la structure de décharge à la mer. Le système de pompage est muni d'une recirculation conçue pour maintenir une agitation adéquate dans le compartiment et pour maintenir un débit minimum de protection des pompes

Conclusion

Ce présent chapitre englobe tous les calculs de dimensionnement de la filière de prétraitement, l'osmose inverse et les réservoirs de stockage de la station de dessalement ainsi notre apport par ajout d'un décanteur primaire de type lamellaire d'une surface totale projeté de 204 m² et une surface d'emprise de sol de 20,4 m² qui va éliminer 60% de MES et 90% de la matière minérale ainsi réduire et minimiser toute problèmes de colmatages des filtres diversifiés.

CHAPITRE VI :
Organisation de chantier

Introduction

Un chantier est défini par une installation permanente dans un lieu généralement ouvert et fermé au public, il dure le temps de la construction de l'ouvrage.

L'organisation d'un chantier consiste à prévoir toutes les ressources nécessaires en moyens humain, matériel et matériaux, en imposant un rythme de travail pour une bonne utilisation de ces moyens dans le but de chercher : la rapidité, la qualité et l'économie. Pour cela il faut :

- Comprendre afin de prévoir, d'organiser, de préparer avant d'agir ;
- Bien exécuter, ordonner et coordonner le programme d'action des travaux ;
- Contrôler pour savoir si nos prévisions étaient valables et que nous pouvons les exécuter pour les prochains chantiers.

L'étude relative à l'organisation d'un chantier, quelle que soit son importance est une technique utile et bien précise tendant à assurer l'exécution des travaux dans les meilleurs délais avec le moindre coût.

Donc en vue de la bonne organisation d'un travail, on cherche à le rendre plus économique, de bonne qualité et les délais les plus brefs possibles.

VI.1 TRAVAUX DE REPARATIONS ET INSTALLATION DE CHANTIER

Pour avoir une installation convenable du chantier, on doit se disposer d'un terrain vaste et spacieux pour ménager les différentes aires de stockages de matériaux, des pistes de circulation d'engins, les locaux, les postes fixes de travail. On distingue les installations suivantes dans un chantier.

VI.1.1 Installations destinées aux personnels

Dans tout chantier de génie civil on trouve généralement les mêmes installations destinées aux personnels : les dortoirs, les réfectoires, les vestiaires, les sanitaires, infirmerie et les bureaux en nombre suffisant.

La base vie doit au minimum être raccordée en : eau potable, assainissement, électricité, et téléphonie.

Les circulations piétonnes doivent être matérialisées, celle-ci doivent permettre durant toute la phase de construction les circulations suivantes :

- Base de vie – zone de travail ;
- Base de vie – lieux de stationnement des véhicules de personnels ;
- Zone de travail – centrale à béton ;
- Zone de travail – lieux de stockage de matériaux ;
- Et l'ensemble de cheminements qui seront réalisées par les ouvriers.

VI.1.2 Installations destinées au stockage des matériaux

Les aires de stockage doivent figurer sur le plan d'installation de chantier en précisant le type de matériel/matériau qui y sera stocké, la surface disponible et les mesures prises pour protéger l'environnement (géotextile, surface bétonnée, ...etc.)

Le matériau de construction doit être stocké et protégé des facteurs climatiques et des intempéries. Pour les ciments nous utilisons soit des silos métalliques, soit des baraquements en bois ou en métal, les agrégats stockés peuvent être en plein air, on doit cependant prévoir un croisement entre les différents types existants pour éviter leur mélange et faciliter le dosage du béton. Les aciers sont stockés des baraquements ou des hangars.

VI.1.3 Installations destinées à la réparation des engins

En général, les grosses réparations ne se font pas sur le chantier lui-même, mais il importe de disposer d'un atelier suffisamment bien équipé pour assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

VI.2 MOYENS DES TRAVAUX DE CHANTIER

VI.2.1 Moyens humains

Concernant les moyens humains (en personnels), l'entreprise devra indiquer une personne responsable du chantier et son intérimaire, avec précision des titres et compétences et spécifier leurs rôles et leurs tâches, cela est applicable aussi pour toute personne intervenant dans le chantier.

On trouve le personnel compétent pour la réalisation des études préalables tel que les géotechniciens, hydrologues, topographe, ingénieur béton armé, dessinateur, ...etc.

VI.2.2 Moyens matériels

Pour l'ensemble de matériels l'entrepreneur doit mentionner la marque, le type, puissance, rendement et nombre d'engins affectés au chantier ainsi que leur mode d'intervention suivant le phasage des travaux.

a. Matériels de terrassement

Le matériel de terrassement comprend les engins de terrassement pour la réalisation des fouilles, l'extraction, et le transport de matériaux de construction, le bétonnage et la finition.

Généralement on fait appel aux engins suivant : bulldozer, chargeur, camion benne, pelle hydraulique, décapeuse, camion-citerne, grue à portique, camion malaxeur et autre si nécessaire.

b. Matériel de bétonnage

On utilise le plus souvent des bétonnières pour la fabrication du béton nécessaire pour la construction des ouvrages en béton

Le matériel lié au bétonnage doit également comprendre les dispositifs de coffrage et les engins nécessaires à la vibration du béton ainsi qu'à son nettoyage et à son repiquage, en vue du traitement des reprises de bétonnage.

VI.3 PLANIFICATION

Le rôle de la planification est de permettre de chercher la meilleure façon d'exploitation des moyens humains et matériels en assurant une succession correcte des travaux dans les délais programmés avec le moindre coût possible. C'est une méthode consiste en :

- Installation des postes de travail ;
- Observations instantanées ;
- Analyse des tâches ;
- Chronométrage ;
- Définition des objectifs et des attributions ;
- Simplification des méthodes ;
- Stabilisation des postes de travail.

VI.3.1 Attribution des durées de chaque opération

Pour attribuer le temps à une opération, il faut tenir compte du nombre de ressources humaines et matériels disponibles face à la dimension et la grandeur de projet, en appliquant la formule suivante :

$$T = \frac{Q \times N}{n} \quad (\text{VI. 1})$$

T : temps de travail

Q : quantité de travail

N : rendement

n : nombre d'équipes

On distingue deux techniques de planification :

c. Plan de travail au plus tôt

Pour ce cas les opérations commencent en leur date au plus tôt. L'entreprise opte pour ce planning lorsqu'elle est bien fournie de moyens et travaille sur plusieurs chantiers.

d. Plan de travail au plus tard

Toutes les opérations commencent au plus tard, les tâches ne sont pas retardées. L'entreprise opte pour ce type de planning lorsqu'elle est limitée de moyens.

VI.3.2 Méthode basée sur le réseau

Le réseau est la représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer les relations entre les différentes opérations (ordre d'exécution) pour atteindre l'objectif de la planification selon deux réseaux :

a. Réseau à flèches

L'opération est représentée par une flèche et la liaison entre deux opérations par un nœud.



b. Réseau à nœud

L'opération est représentée par un nœud est la succession des opérations par des flèches.



La méthode basée sur le réseau est aussi appelée méthode de chemin critique (C.P.M), elle consiste à faire un calcul allé et retour en utilisant les paramètres de la grille suivante :

DCP	Tr
DFP	DCPP
$DFP = DCP + Tr$	$DCPP_i = DFPP_i - Tr$
DFPP	MT
$DFP_i = DCP_{i+1}$	

- DCP : date de commencement au plus tôt
- Tr : temps de réalisation de l'opération
- DFP : date de finition au plus tôt
- DCPP : date de commencement au plus tard
- DFPP : date de finition au plus tard
- MT : Marge totale

Le chemin critique (C.C) est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTP) reliant les opérations ayant la marge totale nulle par une double flèche sur le réseau. Pour retrouver le chemin critique, il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$MT = 0 ; \text{ et } \sum Tr_{cc} = DTP$$

VI.3.3 Symboles des différentes opérations

Les principales opérations à exécuter sont :

- A. Décapage de la couche de terre
- B. Bétonnage
- C. Construction de la prise d'eau
- D. Installation de dégrilleur
- E. Installation de la station de pompage de l'eau de mer
- F. Installation des filtres à sable
- G. Installation des filtres à cartouche
- H. Installation de l'unité d'osmose inverse
- I. Assemblages des tuyaux
- J. Construction des réservoirs de stockage
- K. Les travaux de finition

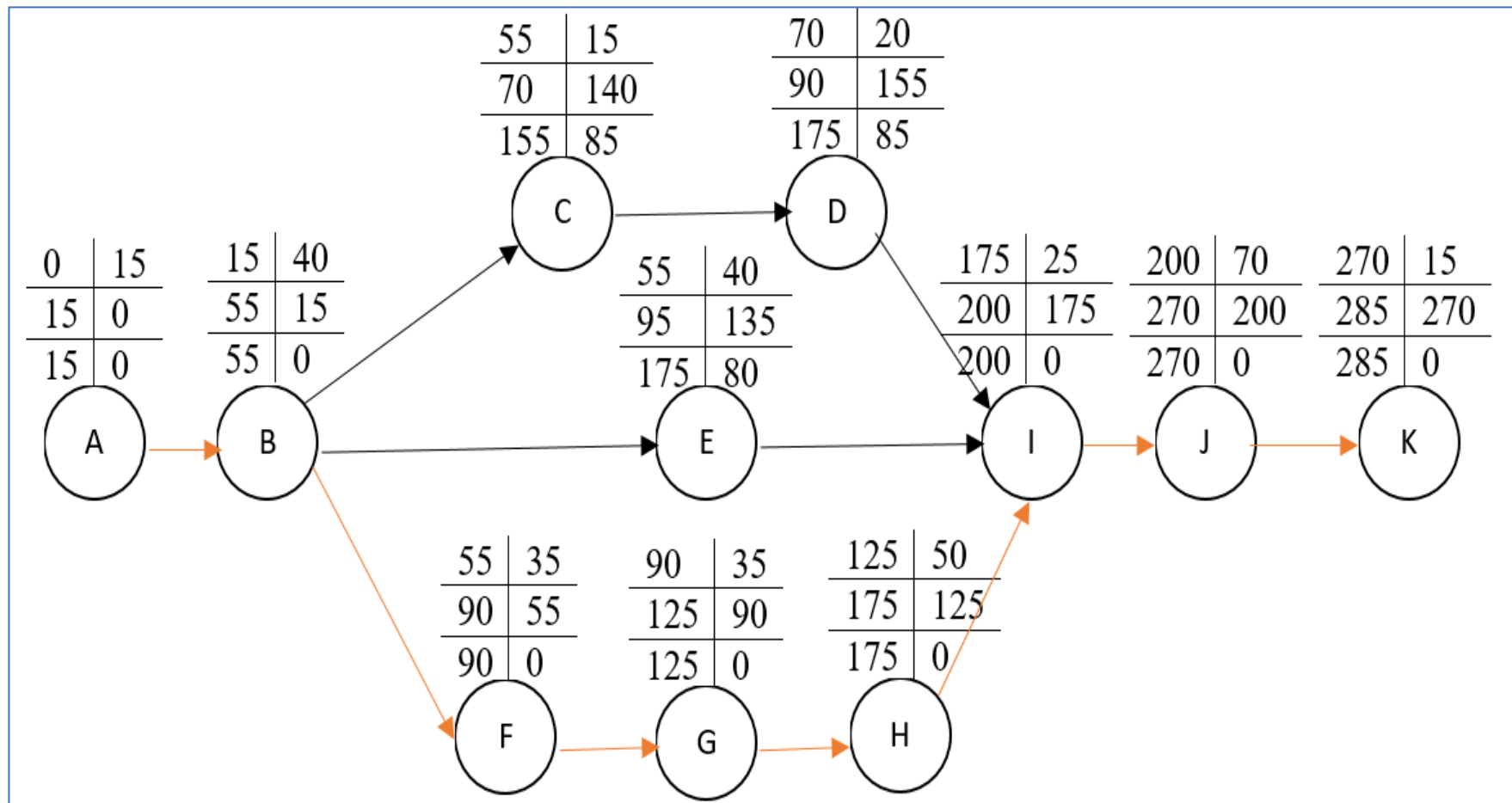


Figure VII. 1 : Réseau à nœud pour la réalisation du projet

Le chemin critique est indiqué en rouge : A-B-F-G-H-I-J-K

La durée totale du projet est estimée de : **285 Jours**

VI.4 DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Pour aboutir à une valeur de consommation pouvant être considérée comme représentative, l'établissement du cout d'exploitation se basera sur plusieurs paramètres relevant de l'exploitation à savoir énergie électrique, consommables, maintenance ...etc. de ce fait la maîtrise et la connaissance de ces différents postes est primordiale dans le calcul.

Le coût des projets de dessalement est principalement engendré par :

a. Coût d'investissement

- Coût de génie civil : L'usine de dessalement doit supporter et abriter le poids total des différents équipements ;
- Coût de prise d'eau : c'est le coût de pompage de l'eau ;
- Coût des équipements : ces équipements couvrent :

Equipements électriques ;

Canalisations et vannage ;

Pompes : pompage d'alimentation, de production, de mise en pression, pompage de recirculation...etc.

- Coût du système de contrôle : Toute station est équipée par un système de contrôle automatique central, dans le but de réduire les coûts de maintenance et le maintien de niveau de prétraitement ainsi que celui des performances affectées par le colmatage, d'autre part de contrôler la vitesse et la température et d'avoir le maximum de souplesse et le minimum de risque de panne.
- Coût du transport des équipements et leurs mises en œuvre
- Coût auxiliaire : On trouve celui du chauffage, du système de décharge des déchets chimiques et du système de refroidissement de l'eau.

VI.4.1 Estimation du cout total de la réalisation de la station

Le cout total de la réalisation de la station est la somme des éléments qui le constituent, ainsi on note : [20]

Les frais d'investissement englobent les coûts des équipements électromécaniques et des travaux de génie civil.

$$I = E + G \quad (VI. 2)$$

E : coûts des équipements

G : coût du génie civil

a. Equipements

Fourniture et montage des systèmes de raccordements de la prise d'eau et réservoir de stockage : 11641812 DA

Amenée d'énergie électrique y compris le poste de transformation : 786450 DA.

Fournitures et installation des groupes électrogènes : 3358950DA.

Equipements électromécaniques : 6894300 DA ;

Equipements de laboratoire : 7191596 DA.

Le transport et la mise en œuvre : 3458810 DA

Donc :

$$E = 11641812 + 786450 + 3358950 + 6894300 + 7191596 + 3458810$$

$$E = 33\,331\,981 \text{ DA}$$

b. Génie civil

Bâti béton armé
Charpente métallique
Cloisonnement.

$$G = 517\,560 \text{ DA}$$

Donc on trouve : $I = E + G = 33\,331\,981 + 517\,560$

$$I = 33\,849\,478 \text{ DA}$$

Conclusion

Ce chapitre a résumé les différentes procédures à prendre en charge pour la réalisation de notre projet étudié de l'organisation de chantier pour assurer le bon déroulement de la mise en œuvre.

Ainsi, nous sommes arrivés à une estimation approximative du cout du projet d'une somme égale à trente-trois millions huit cent quarante-neuf mille quatre cent soixante-dix-huit dinars.

CHAPITRE VII :

*Protection et sécurité au
travail*

Introduction

Le monde du travail est en constante mutation : les risques professionnels ne peuvent plus être négligés. Ils exigent de nouvelle connaissance et des compétences indispensables à une approche plus globale de la santé ou la prévention tient une place de choix

VII.1. ASPECT HYGIENE, SECURITE ET ENVIRONNEMENT

Le système de gestion santé et sécurité et environnement pour les activités de la centrale :

C'est un programme qui résume les procédures de santé et sécurité et l'environnement qui sont mises en œuvre pour tous les projets d'exploitation, l'objectif global du programme SSE pour les activités d'exploitations et assurer la qualité et l'intégrité à l'égard de tous les aspects de l'exploitation de toutes les autres activités tout en assurant la santé et la sécurité de tout le personnel des clients et protection de la propriété.

Cet objectif peut être atteint en adoptant les politiques de prévention des accidents et incidents qui suivent :

- Minimiser les conditions dangereuses, les accidents sont causés par l'état physique non sécuritaire de l'équipement ou une exposition mécanique dans l'environnement de travail
- Minimiser les gestes dangereux en exerçant une supervision rigoureuse pour s'assurer que les travailleurs utilisent les techniques et méthodes appropriées.
- Profiter de toutes les occasions pour corriger les conditions ou des gestes dangereux avant qu'une blessure survienne.
- Introduire des procédures pour prévenir tout abus causé par de fausses réclamations de blessure ou de maladie

VII.2. LES FACTEURS DE RISQUE PROFESSIONNEL

Les facteurs de risque agissent sur le danger en augmentant la fréquence ou la gravité d'un phénomène aux effets néfaste, les risques professionnels comprennent les dommages corporels des accidents de travail, les maladies professionnelles, les effets protoxiques, tératogène, les effets psychologiques, on distingue les effets aigus et immédiats et chroniques et tardives, les risques professionnels peuvent être classés selon qu'ils sont :

a. Les risques mécaniques

Heurts par les parties mobiles en mouvement des machines, écrasement par des chutes d'objet ou des véhicules, coupures et perforations par les outils de travail, projections de particules solides (copeaux de métal, de bois, de roche) ou de matière

b. Les risques physiques

Il s'agit de l'électricité, de radiation et des vibrations

- L'électricité est de nos jours la principale source d'énergie utilisée en milieu de travail malgré les efforts consentis pour maîtrise du risque électrique, on enregistre encore de nombreux accidents de travail et des cas de mortels, l'électricité soit statique ou alternative les effets sur le corps humain sont multiples et certaine complication peuvent survenir longtemps après l'accident.

- La fabrication artisanale puis industrielle des radio éléments s'est traduit par une augmentation considérable du nombre et de la nature des usages de produits radioactifs divers dans les domaines de la médecine, de la recherche, de l'industrie et du commerce, les risques peuvent être initiés ou augmentés par les conditions particulières de travail, les principales pathologies associées sont: les radiodermites, les leucopénies, l'anémie et l'aplasie
- si dans le domaine des nuisances physiques rencontrées aux postes de travail, le bruit apparaît comme un élément de premier plan, l'action des vibrations mécaniques reste souvent méconnue les outils vibrants tenus par la main sont les marteaux piqueurs, les outils rotatifs, ces vibrations sont à l'origine des lésions ostéo-articulaires localisées au niveau des os de la main, du poignet et du coude. Les vibrations peuvent également être à l'origine des troubles au niveau des vaisseaux sanguins et des nerfs.

c. Les risques chimiques

Dans le monde du travail, les différents acteurs de la production de biens et services sont exposés à nombreux produits ou substances chimiques, ces produits se présentent sous différentes formes: solide liquide gazeux vapeurs ou sous forme de poussières, ces substances chimiques sont généralement la cause des intoxications, de brûlures ou d'irritation au milieu professionnel, au nombre des intoxications on peut citer le saturnisme ou l'intoxication aux sels de plomb, le benzolisme ou l'intoxication au benzène etc.. Les acides et les bases sont à l'origine des brûlures et enfin les hydrocarbures et certains gaz provoquent des irritations au niveau des voies respiratoires et de la peau, en général les différents produits chimiques produisent à la longue des cancers, exposition à des substances chimiques par inhalation, ingestion ou contact cutané, produits gazeux, liquides ou solides, cancérigènes, mutagènes toxiques corrosifs, irritants, allergisants.

d. Les risques biologiques

Représentés par les animaux sauvages, les plantes vénéneuses ou irritantes, les parasites et les microorganismes qui peuvent provoquer des altérations de la santé de l'homme au travail, plusieurs corps professionnels sont quotidiennement exposés aux agents biologiques, il s'agit des vétérinaires, des techniciens de laboratoire d'analyse biomédicales, des forestiers des agriculteurs, des chercheurs; les pathologies sont très variées, les plus redoutables sont les zoonoses, l'hépatite virale et plus récemment le VIH/SIDA, l'exposition à des agents infectieux (bactéries parasites, virus fongiques) et allergisants par piqure morsure inhalation voie cutanée muqueuse.

e. Les risques radiologiques

Existence de radiations ionisantes et radioéléments, de rayonnements laser, de radiation UV et IR, rayonnements électromagnétiques divers.

f. Les risques psychologiques

Agression physique ou verbale sur le lieu de travail par un client élève partaient, harcèlement moral ou sexuel par un supérieur hiérarchique, stress managérial, charges mentales excessives.

VII.2.1. Les facteurs liés à l'ambiance de travail

Facteurs liés à l'ambiance de travail sont ceux relatif à la luminosité, la ventilation, les ambiances sonore et thermiques.

- Les yeux jouent un rôle très important dans la vie professionnelle de l'homme, pour un confort de vision selon les activités il a été prévu par la législation une luminosité adaptée au poste de travail, en effet une luminosité trop faible ou excessive provoque des troubles de la vision tels que la baisse de l'acuité visuelle, la perte de vision etc.... la valeur moyenne de l'éclairage pour une tâche administrative de bureaux est 200 lux.
- En milieu de travail une bonne ventilation est requise elle permet un renouvellement constant de l'air afin d'assurer le confort thermique et la réduction de concentration des polluants atmosphériques, une atmosphère de travail viciée expose les travailleurs à des affections respiratoires et des intoxications étant donné que la voie respiratoire est principale voie de pénétration des toxiques dans l'organisme.
- En milieu de travail les ambiances thermique sont de deux sortes, il s'agit des ambiance thermiques chaude et ambiance thermiques froides, les ambiances thermiques chaudes sont générées par des procédés de travail utilisant des machines thermiques qui au cours de leur fonctionnement dégagent d'importantes quantité de chaleur, les ambiances thermiques froides dans un environnement tropical se retrouvent dans les chambres froides et autre procédés de travail requerront une d'ambiance thermiques froides , ces ambiance froide ou chaude sont source d'inconfort au travail avec d' importants troubles préjudiciables à la santé des travailleurs.

VII.2.2. Les conditions liées aux facteurs de risques

Les facteurs de risque professionnels sont souvent relatifs à des conditions des lesquelles une énergie non contrôlée est libérée, gravitationnelle (chutes) chimique (incendie) cinétique (heurts collisions) la durée d'exposition à la matière ou à la condition dangereuse, le mode d'exposition influence considérablement l'incidence des facteurs de risque.

c'est ainsi que , pour les risques de toxicité, ils proviennent d'abord des propriétés physicochimique des produits mais aussi des voies pénétration dans l'organisme, la composition chimique de la substance est souvent déterminante, mais les atteintes néfastes sur une ou plusieurs fonction psychologiques ne dépendent pas que de la structure moléculaire de produit la silice par exemple est inerte en soi et ne devient dangereuse que lorsqu'elle est inhalée en fines particules dans ce cas c'est donc la granulométrie et la façon de pénétrer dans le corps qui détermine la toxicité, de même pour les fibres le risque est d'avantage lié à la structure physique de la fibre qu'à sa structure chimique , généralement il y a une relation entre la dose reçue, qui augmente avec l'intensité , la fréquence et la durée d'exposition, et l'intensité des effets toxiques.

VII.3. POLITIQUE DE SANTE ET SECURITE DE TRAVAIL SST EN ALGERIE

L'élaboration de toute politique de sécurité et santé au travail (SST) ainsi que l'établissement et tout programme de prévention des risques professionnels nécessite une

connaissance approfondie du système déjà en place et besoins tant au niveau national qu'au niveau de l'entreprise.

Le ministère du travail de l'emploi et de la sécurité sociale, en charge de la sécurité et de la santé au travail en liaison avec les institutions concernées et partenaires sociaux, veille à l'élaboration et à la mise en place de la politique et des programmes nationaux de prévention des risques professionnels.

La politique nationale de protection de la santé des travailleurs s'appuie en particulier sur une connaissance et actualisation permanente du dispositif de prise en charge de la santé et de la sécurité des travailleurs, l'état des lieux en matière des risques professionnels et les actions menées pour réduire.

Cette politique nationale s'inscrit dans le cadre de la démarche internationale et des orientations et recommandations de la conférence internationale du travail qui dans sa 91^{ème} session 2003 recommandait un plan d'action pour la promotion de la sécurité et la santé au travail les enjeux de prévention des risques professionnels tendent à

- Protéger la santé la sécurité des travailleurs.
- Créer un emploi de qualité
- Adapter au mieux le travail à l'homme
- Répondre aux obligations de prévention
- Contribuer à la performance de l'entreprise par l'existence d'une ressource humaine protégée.

L'Algérie a mis en place tout un dispositif de prévention basé sur un ensemble de moyens :

- Législatifs et réglementaire
- Techniques : services d'hygiène et sécurité service de médecine de travail
- Des niveaux de concertation : commission d'hygiène et sécurité, conseil nationale d'hygiène de sécurité et de médecine de travail
- Comité de participation
- De contrôle : inspection de travail
- Des instruments (règlements intérieurs des organismes employeurs)

Aussi le gouvernement s'est attelé, en application d'une politique de prévention des risques professionnels clairement affichée et de concert avec les partenaires sociaux, à entreprendre une série d'actions de nature à favoriser la mise en œuvre de cette politique.

- Renforcement du cadre juridique : de nombreux textes réglementaires ont été promulgués durant les cinq dernières années.
- Mise en place de mécanisme de dialogue : mesures concertées lors de rencontres gouvernement/ partenaires sociaux ainsi qu'au sein du conseil national d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail.

VII.4. LES MESURES DE PREVENTION

VII.4.1. Les règles de base

- Les visiteurs et les sous-traitant doivent en tout temps être accompagnés par une personne ayant droit d'accès au site.
- Les visiteurs et les nouveaux employés et tous les intervenants doivent suivre une séance d'accueil avant de rendre sur le site
- Il est strictement interdit de fumer sur le site, à l'exception des zones prévus à ces effets.
- Respecter les consignes de sécurité pour ce qui a trait à la circulation sur le site et transport.
- Utiliser les installations sanitaires.
- Laver les mains souvent
- Obligation de porte des EPI (casque, lunette de protection, chaussures de sécurité, gilet de sécurité)

VII.4.2. Les consignes d'urgence

Sur le site SNC-LAVALIN il existe 2 types d'alarme sonore :

VII.4.2.1. L'alarme de sureté du site

En cas de nécessité, une alerte sera déclenchée(3modulation) dès le retentissement de la sirène, rejoindre rapidement, les refuges :

1. 1^{er} étage du bâtiment administratif.
2. Au niveau de la salle de contrôle tr2
3. Ou reste à l'intérieur de la tranche dans laquelle ou vous trouvez dans tous les cas éloignez-vous des issues, des baies vitrées et des fenêtres
4. Un essai de la sirène d'alarme de sureté est effectué tous les lers mercredi de chaque mois à 12.00

VII.4.2.2. L'alarme concernant la sécurité du personnel et du matériel

1. Demeurer calme
2. Ne prendre que les effets personnels requis
3. Marcher sans courir jusqu'au point de rassemblement
4. Rendre compte de sa présence à son responsable
5. Attendre jusqu'à ce que son nom ait été enregistré
6. Ne pas entrer à nouveau dans le site avant d'avoir obtenu l'autorisation

VII.4.3. Permis de travail

Le permis de travail est le document obligatoire à posséder avant de débiter toute activité sur le site.

Il est délivré par le chef de quart qui effectue une analyse globale des risques liés à l'intervention.

- Le chef de quart de même que le responsable SSE ont tous le pouvoir de suspendre, voire annuler un permis de travail, en cas de manquement dans l'application de règle de sécurité.

- Des audits sont réalisés quotidiennement sur tous les aspects du permis de travail (analyse de risque, moyens retenus, application sur le terrain etc....)
- Les intervenants doivent impérativement être en possession du document dûment rempli et présenter à la demande.
- Le permis de travail doit être rapporté au chef de quart en fin d'intervention (avant 16.30) il sera rouvert en cas de poursuite de travaux.
- Il ne sera fermé qu'après avoir constaté l'achèvement de l'intervention et la remise de l'état initial des lieux de l'intervention.

VII.4.4. Mise hors tension, séparation, verrouillage, étiquette

- Avant toute intervention, l'équipement sur lequel porte le travail doit être mis à disposition (toute énergie qui se connecte sur ces équipements sont neutralisées)
- La neutralisation d'un processus plus connu sous l'appellation qui se déroule en 4 étapes
 1. Mise hors tension, mise hors pression, etc...
 2. Séparation (isolation)
 3. Verrouillage
 4. Identification, étiquetage + test de mise en service

La consignation est décidée lors de l'analyse de risque, effectuée durant la préparation du permis de travail pour l'intervention.

- Ce document est obligatoire pour débuter toute activité.
- L'intervenant doit disposer du document en tout temps et le présenter en cas de demande.

VII.4.5. Travaux en hauteur

- L'analyse de risque doit évaluer le danger, en termes de chute (à partir de 1.80m)
- L'accès aux échafaudages, mis à la disposition des intervenants est tributaire d'une inspection préalable.
- Le résultat de l'inspection est affiché sur l'échafaudage au moyen d'une étiquette de couleur :
- Verte conforme-dispositif antichute non requis.
- Jaune en construction -dispositif antichute requis
- Rouge- ne pas utiliser

VII.4.6. Procédure en cas de blessure

- Tout incident ou blessure doit être rapporté immédiatement au responsable SSE.
- Toute blessure, même légère doit être aussitôt traitée dans le cadre des premiers soins, si nécessaire.
- Demeurer calme
- Avertir immédiatement votre superviseur ou accompagnateur
- Ne touchez pas la victime, à moins que vous ayez les compétences acquises lors d'une formation en premiers soins
- Appeler la salle de contrôle

VII.4.7. Procédure en cas de personne électrisée

Ne pas perdre un second soustraire la victime aux effets du courant par mise hors tension si la mise hors tension n'est pas possible par le sauveteur prévenir le distributeur, tout intervention imprudente du sauveteur risque de l'accidenter lui-même.

1. Alerter
2. Basculez prudemment la tête en arrière et soulevez le menton
3. Observez écoutez et appréciez le souffle
4. 4. insufflez s'il y a arrêt respiratoire
5. Évacuation éventuelle de corps étrangers en position latérale de sécurité
6. Massage cardiaque si nécessaire par sauveteur forme et entraîne.

Conclusion

Pour la réalisation de l'ensemble des tâches dévolues à l'agent chargé de la prévention et de la sécurité, il faut qu'il soit assisté par les structures d'entretien et d'exploitation de l'unité.

Le chef de l'unité par sa responsabilité et son pouvoir doit personnellement appuyer les actions engagées dans le cadre de la prévention, d'après la loi N^o 88-07 du 26 janvier 1988 et le décret exécutif N^o 91-05 du janvier 1991 fixe la prescription générale de protection applicable en matière et sécurité en milieu de travail.

Conclusion générale

Nous vivons dans un monde en constante évolution où la demande en eau augmente continuellement et cela entraîne un manque de ressources naturelles, d'où notre intérêt au dessalement de l'eau de mer, considéré comme la solution adéquate pour satisfaire les besoins.

Dans notre étude, nous avons fait le dimensionnement de la filière de prétraitement de la station de dessalement par osmose inverse de la centrale thermique SNCLAVALIN de HADJRET ENNOUS, où nous avons trouvé un taux de filtration nominal des filtres à sables sous pression de **8,06 m/h** et une vitesse de filtration adoptée de **7,8 m/h** pour les filtres à cartouche.

L'osmose inverse a connu un développement technologique, avec l'apparition sur le marché des différents types de membranes plus stables et dont la durée de vie est plus importante, la consommation énergétique est beaucoup plus faible par rapport aux autres procédés de dessalement, ce qui explique le coût du mètre cube d'eau dessalé le moins cher.

Dans cette étude, nous avons aussi abordé les problèmes de dysfonctionnement rencontrés dans la station de dessalement et qui sont liés principalement au colmatage des membranes, corrosion et entartrage. Dans cette perspective, nous avons proposé l'ajout d'un décanteur primaire de type lamellaire pour améliorer le prétraitement dont la condition à vérifier est que la vitesse ascensionnelle limite soit inférieure à **0,6 m/h**, un résultat atteint dans notre étude.

Références bibliographiques

- [1] : skh-dz.com
- [2] : documents official de la centrale thermique de Hadjret Ennous
- [3] : Alain. Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 2^{ème} éditions, 286 P. 2006.
- [4] : BESSENAS.M et BELKACEM FELALI.M.2014. « Impact du dessalement sur environnement en Algérie » ; université Saad Dahleb Blida 1
- [5] : www.businessfrance.fr
- [6] : Arnoult et Fournier. Dessalement de l'eau de mer, 1999.
- [7] : Annik.Bouroche, Michèle le Bars, « Techniques de séparation par membranes : vocabulaire français-anglais. » P 60. 1994.
- [8] : Etori. A.Vieillissement chimique de membranes d'osmose inverse ,Thèse de Doctorat, l'université de Toulouse, Toulouse,240P. (2011)
- [9] : Mehdi.M.: optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse : conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Alger, 187P. (Juin 2006)
- [10] : Alain. Maurel. « Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtre technique et des autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce 1^{ère} édition » Lavoisier TEC et DOC paris, 226P. (2001)
- [11] : Maurel, A, Technique séparatives à membranes, Technique de l'ingénieur, J2, J279 (Tome 1) 1993
- [12] : Aimar, P, P. Aptel, Membrane preparation, fouling emerging process, fouling and process design, Récents progrès en genie des procédés, European Society of Membrane Science and Technology, (J, A, Howell, membrane application, Centre University of Bath).
- [13] : Claude Cardot « Technique appliquées au traitement de l'eau (niveau B) »
- [14] : Hubert cabana « conception : usine de traitement des eaux potables », chapitre 5, 2009
- [15] : www.sifrac.com
- [16] : DEGREMONT : -mémento technique de l'eau. Edition du Cinquantaine 1989, Neuvième édition 2 tome.
- [17] : FIGUE J-F. MORIN A. Et AIRES N simulation numérique des écoulements dans un décanteur lamellaire à contre-courant 2009, 14p.
- [18] : Documentation technique F.N.D.A.E. N °18.

- [19] : Cours épuration des eaux industrielles Mm BETATACHE.
- [20] : Alain Maurel, osmose inverse et ultrafiltration, II technologie et applications, Techniques de l'ingénieur Imprimerie Strasbourgeoise, 1996. Paris.
- [21] : energy.gov.dz
- [22] : TAIBI.S.2015. « Mémoire fin d'étude » ; étude de performance de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de Fouka wilaya de Tipaza ; ENSH, Blida
- [23] : Ministère Algérien des ressources en eau., *Rapport de mission*, 2008.
- [24] : Maurel, A, Technique séparatives à membranes, Technique de l'ingénieur, J2, J279 (Tome 1) 1993
- [25]: Aimar, P, P. Aptel, Membrane preparation, fouling emerging process, fouling and process design, Récents progrès en genie des procédés, European Society of Membrane Science and Technology, (J, A, Howell, membrane application, Centre University of Bath).
- [26] : www.bernarderic4926.perso.fr
- [27] : BOUKEMIDJA.S.2007« Mémoire fin d'étude » ; Dimensionnement d'une station de dessalement par osmose inverse dans la ville de Ouargla ; ENSH, Blida