

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ DE SAAD DAHLAB**



Faculté de Technologie.  
Département: sciences de l'eau et de l'environnement.  
Mémoire du projet de fin d'étude



**THEME**

« Etude d'impact du dessalement sur l'environnement  
Etude de cas: SDEM Fouka ( MYAH TIPAZA)  
Wilaya de Tipaza »



Présenté par :  
**Mr MESLEK Fouad**  
*Mohamed*

Promoteur :  
*Mr BESSENASSE*

# SOMMAIRE

Introduction

I. Présentation de l'organisme d'accueil ;

II. Le dessalement et ses impacts ;

III. Description de la station de dessalement de Fouka (Tipaza) ;

IV. Analyses et interprétations ;

Conclusion générale .

De nos jours,  
L'Algérie est toujours confrontée à un énorme problème de pénurie d'eau, qui fait obstacle à l'amélioration du niveau de vie et au développement des secteurs qui en dépendent.

En **2001** un signal d'alerte a été lancé par le gouvernement suite à une longue sécheresse, ce dernier a mis en place un programme stratégique avec l'implantation de 11 Méga - stations de dessalement dont la capacité journalière globale est égale à 2,11 million de m<sup>3</sup>

➤ *alléger les besoins des ressources en Eaux*

Mais les effets engendrés par celui-ci cause un impact qui pourrait être néfaste sur nos milieux marins.



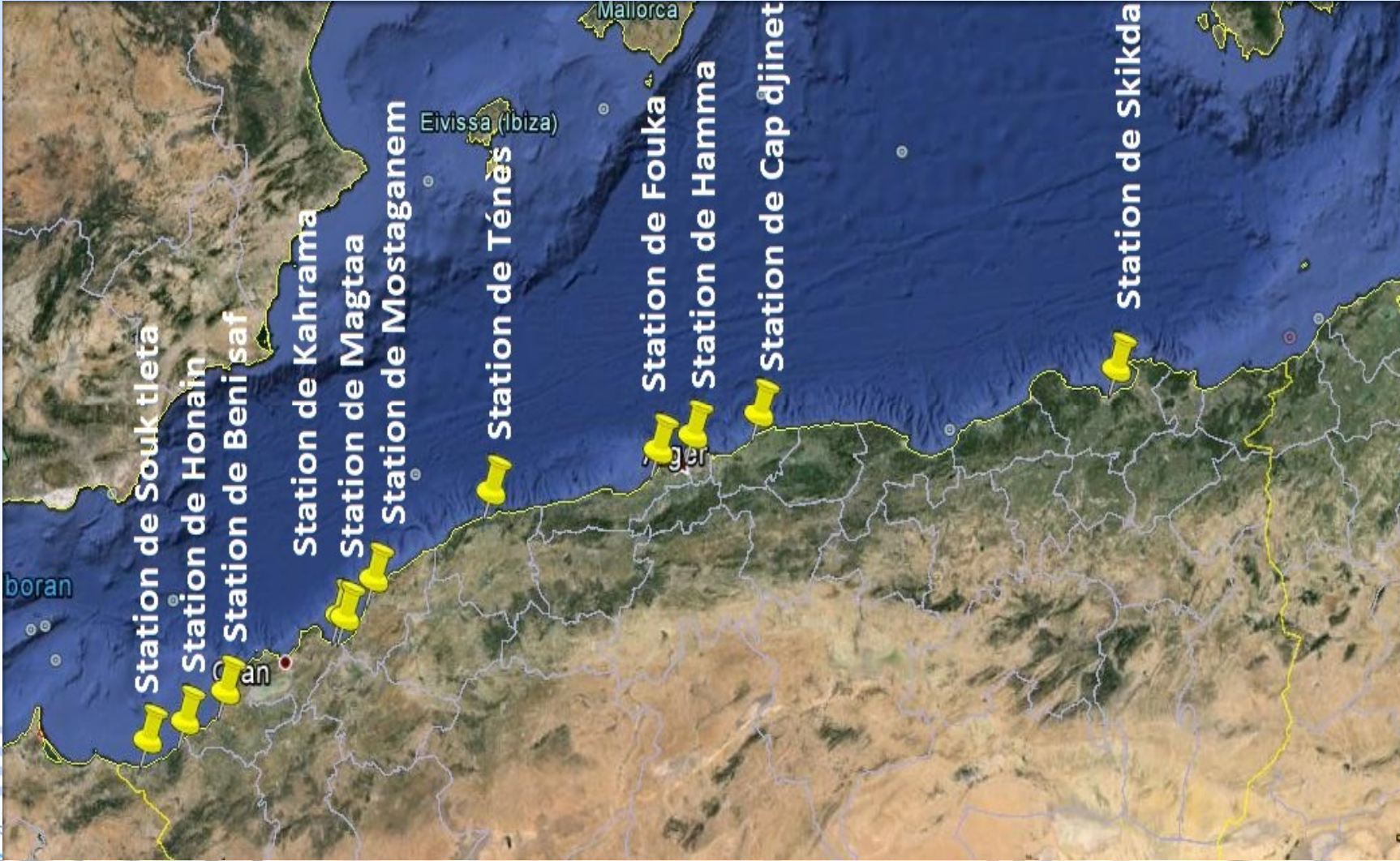
## Présentation du programme de dessalement d'eau de mer

|     |                            |                                 |
|-----|----------------------------|---------------------------------|
| 1.  | Complexe Kahrama - Arzew   | 88 880 m <sup>3</sup> /j (MSF). |
| 2.  | Usine de HWD – Hamma       | 200 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 3.  | Usine de ADS – Skikda      | 100 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 4.  | Usine de BWC – Béni Saf    | 200 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 5.  | Usine de SMD – Cap Djinet  | 100 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 6.  | Usine de MT – Fouka        | 120 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 7.  | Usine de STMM – Mostaganem | 200 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 8.  | Usine de MBH – Honaine     | 200 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 9.  | Usine de Souk Tlata        | 200 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 10. | Usine de Macta             | 500 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |
| 11. | Usine de Ténés             | 200 000 m <sup>3</sup> /j (RO). |

**TOTAL:**

**2 110 000 m<sup>3</sup>/j**

# Situation géographique des station de dessalement



# I. Présentation de l'organisme d'accueil

## Présentation de Algerian Energy Company



- Affiliée au secteur de l'Énergie, Algerian Energy Company est une société par actions créée en 2001 détenue à parts égales par Sonatrach et Sonelgaz.
- AEC est principalement chargée de Développer et gérer des projet de partenariat avec des sociétés étrangères dans le domaine de :
  - Génération d'énergie électrique;
  - Dessalement d'eau de mer.



## Présentation de la station de dessalement de Fouka

- La station de Fouka est une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse (120.000 m<sup>3</sup>/j) qui est située au bord de la côte méditerranéenne à la sortie de la ville de Douaouda marine et l'entrée de Fouka (à environ 35 Km à l'Ouest d'ALGER).
- Le projet est attribué sous la forme d'un contrat de conception et construction-exploitation par MIYAH TIPAZA **SPA**, qui est une coentreprise appartenant d'une part à SNC LAVALIN et ACCIONA d'autre part l'Entreprise l'Algerian Energy Compagny AEC (SONATRACH + SONELGAZ ) et l'ADE Algérienne des eaux Société étatique spécialisée dans le traitement et la distribution d'eau.



- l'usine est en exploitation depuis Aout 2011

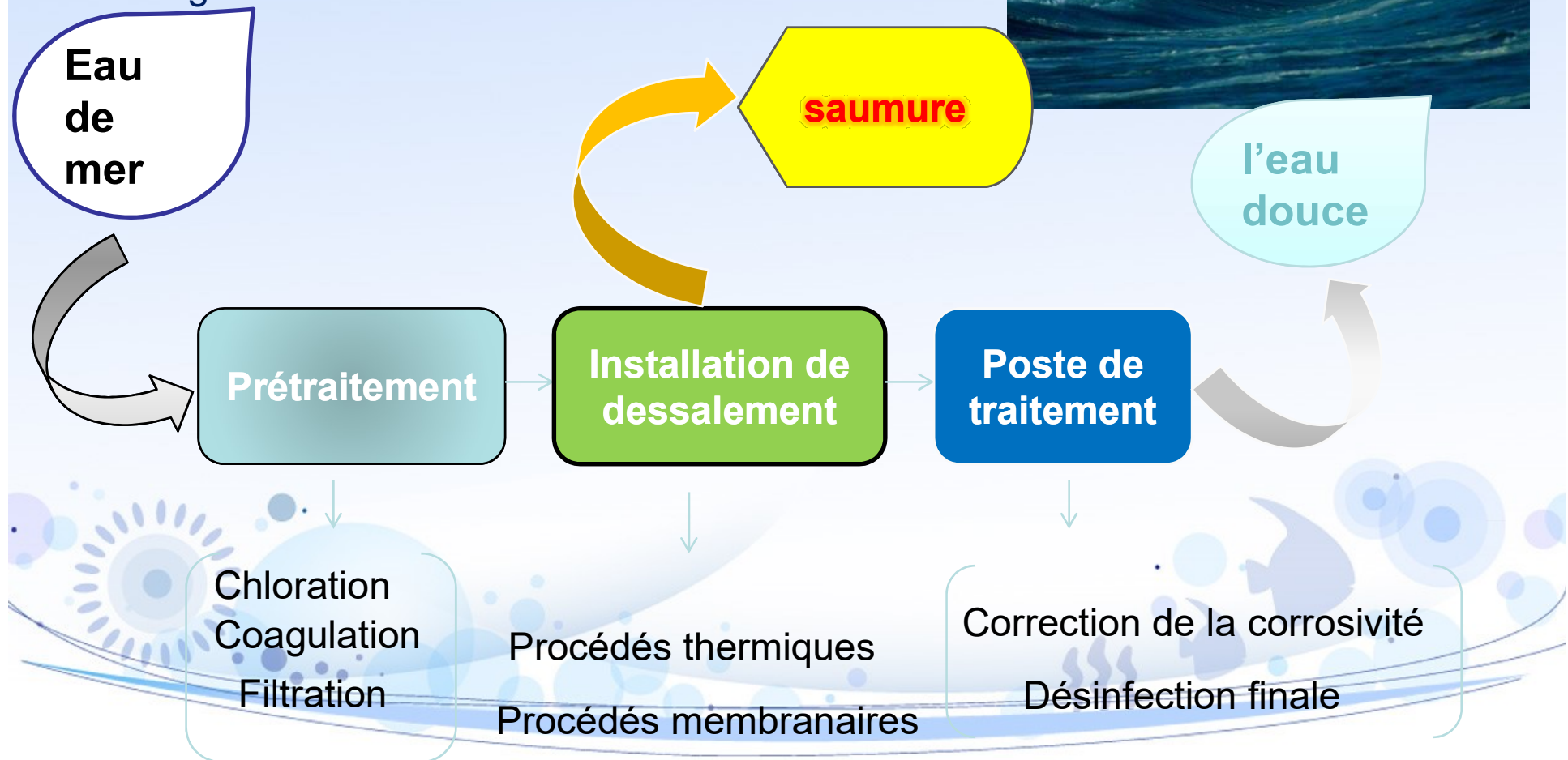


## III. Le dessalement et ces impacts

- Le **dessalement** de l'eau de mer est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment).



Schéma général d'une installation de dessalement

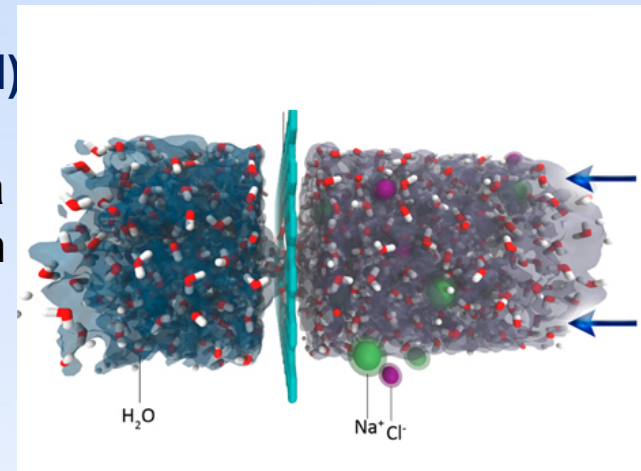




## Deux catégories majeures :

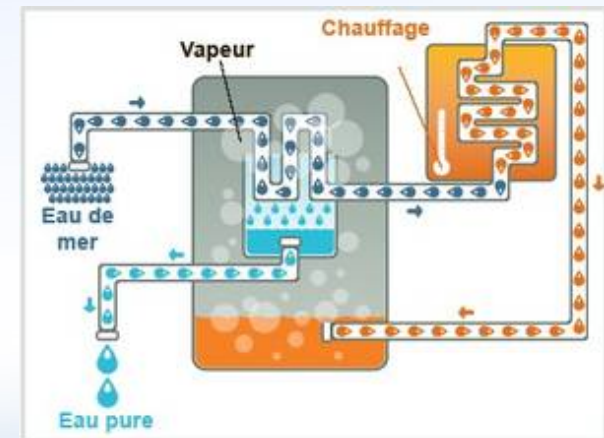
### La technologie membranaire (Osmose Inverse : OI)

- L'eau de mer est filtrée, sous l'action de la pression à travers une membrane laissant passer le perméat d'un côté et la saumure de l'autre.



### La technologie thermique :

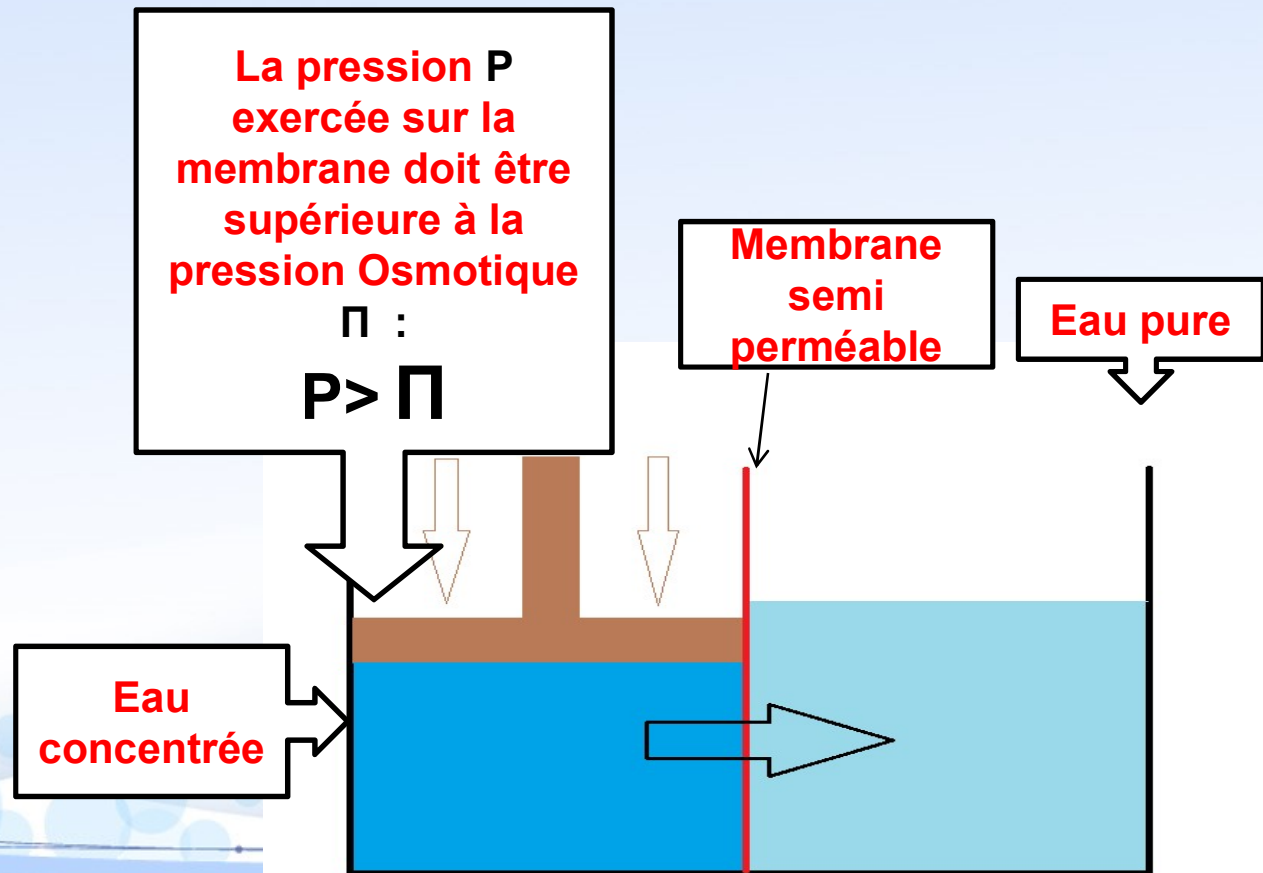
- L'eau de mer est vaporisée puis condensée pour obtenir un distillat sans sel
- Distillation à détente étagées (MSF)
- Distillation à effets multiples (MED)



## Définition de l'osmose

- Si deux solutions aqueuses ayant une concentration saline différente sont séparées par une membrane, l'eau **passé spontanément** de la solution la **moins concentrée** en sel à la **plus concentrée**.
- Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose diminue. Lorsque la pression est suffisante, le flux de transfert va s'annuler, on définit ainsi **la pression osmotique ( $\Pi$ )**

## Osmose inverse



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

$$\Pi = i.C.R.T$$

$i$  : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté

$C$  : la concentration molaire du soluté ( $\text{mol. m}^{-3}$ )

$T$  : la température (K)

$R$  : la constante des gaz parfaits ( $8,31 \text{ j. mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$\pi$  : est exprimée en bar.

A noter que cette relation est valable pour des solutions diluées.

### Exemple de la mer méditerranée:

La concentration massique de Na Cl  **$C_m = 37\text{g/l}$**

**$M = 58,5\text{g/mol}$** ,  $i = 2$  ( deux espèces Na et Cl),  $T = 25^\circ\text{C}$  ( $T = 25 + 273,15$ ) =  **$298,15^\circ\text{K}$**

$$C_m = C.M \rightarrow C = C_m/M \rightarrow C = 632.478 \text{ mol/m}^3$$

$$\cdot \Pi = 2 \cdot 632.478 \cdot 8.31 \cdot 298.15 \rightarrow \Pi = 3134091.6410 \text{ Pa} = \mathbf{31.34 \text{ bar}}$$

# Impact du dessalement

Le dessalement de l'eau de mer a un impact :

## 1. Positif:

- La disponibilité de l'eau

## 2. Négatif:

Les répercussions négatives sur l'environnement sont dues aux divers types de rejet.

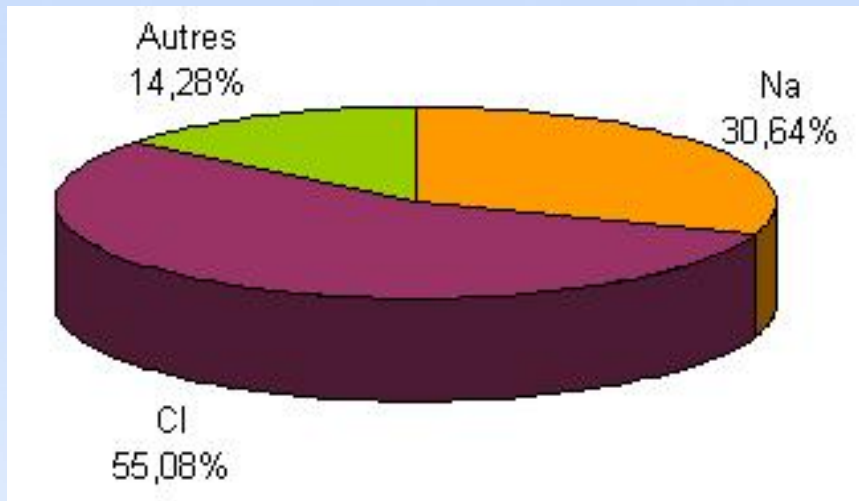
❖ **Rejets atmosphérique:** gaz carbonique, oxydes de soufre et d'azote.

- génère une grande quantité de gaz à effet de serre
- Impact négatif sur le climat et sur le cycle de l'eau.

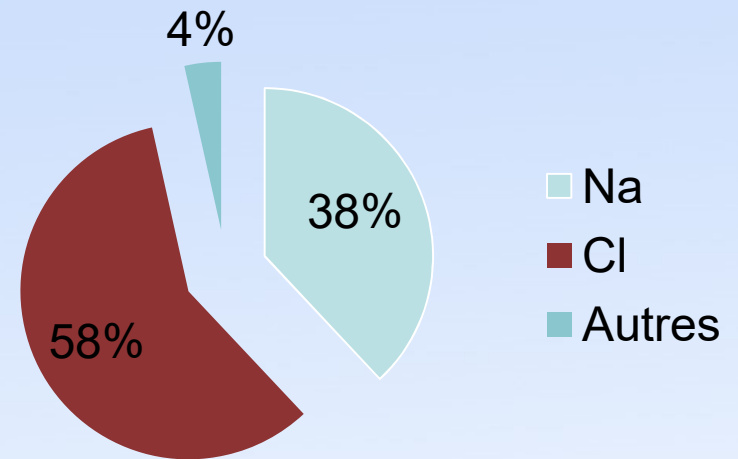
## ❖ **Rejets chimiques:**

○ **Saumure concentrée:** La salinité naturelle de l'eau de mer se situe entre 37 et 39 (g/l) alors que celle du concentrât est 2 fois plus élevée (jusqu'à 70g/l).





**Composition standard eau de mer**



**Composition de la saumure**

○ **Produits chimiques:**

-Le rejet des produits chimiques utilisés dans le prétraitement et le poste de traitement ou pour le nettoyage des membranes OI

➤ **Ils finissent par modifier la composition de la saumure**

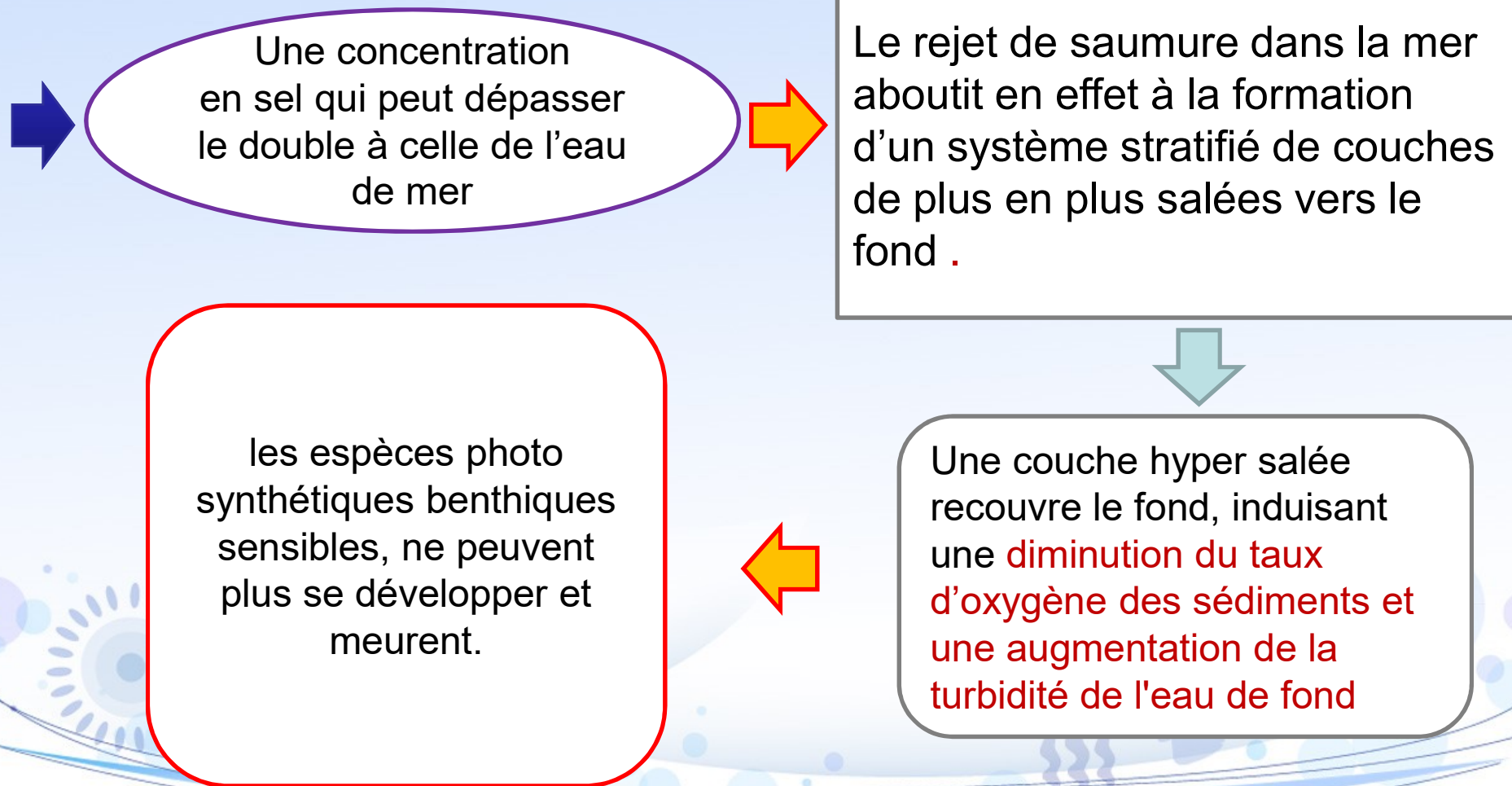
## Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer

| Analyse                       | Eau d'alimentation<br>mg/l | saumure<br>mg/l | Rapport (saumure/<br>eau d'alimentation) |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------|--|
| Ca <sup>2+</sup>              | 962                        | 1583            | 1,64                                     |
| Mg <sup>2+</sup>              | 1,021                      | 1,09            | 1,06                                     |
| Na <sup>+</sup>               | 11,781                     | 19,346          | 1,64                                     |
| K <sup>+</sup>                | 514                        | 830             | 1,61                                     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,004                      | 0,005           | 1,25                                     |
| HCO <sup>-3</sup>             | 195                        | 256             | 1,31                                     |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 3,162                      | 5,548           | 1,75                                     |
| Cl <sup>-</sup>               | 21,312                     | 43,362          | 2,03                                     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 2,6                        | 4               | 1,54                                     |
| PO <sup>-4</sup>              | 0,08                       | 0,4             | 5  |
| Salinité totale (TSD)         | 38,951                     | 63,840          | 1,64                                     |
| Conductivité                  | 46200 µs/cm                | 75300 µs/cm     |  |
| pH                            | 7,85                       | 6,92            |  |

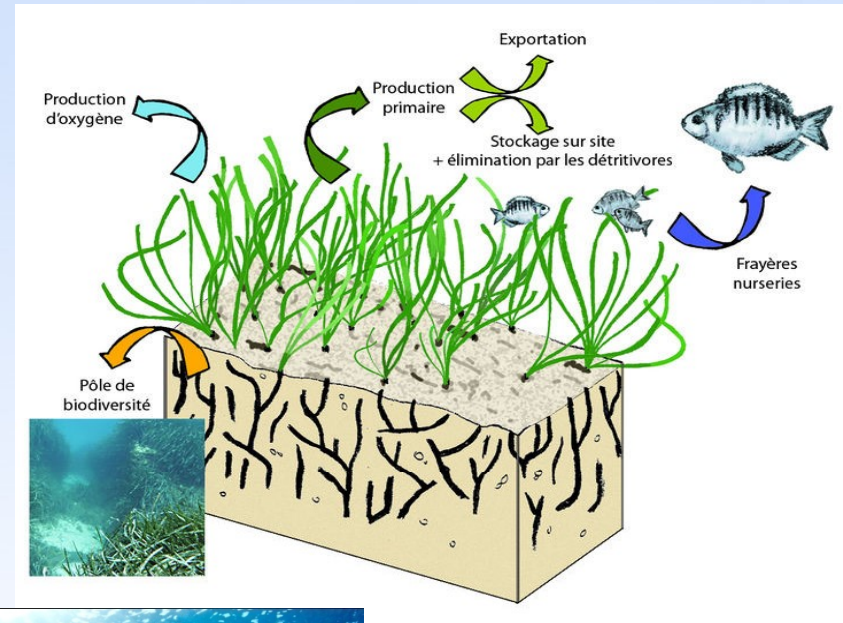
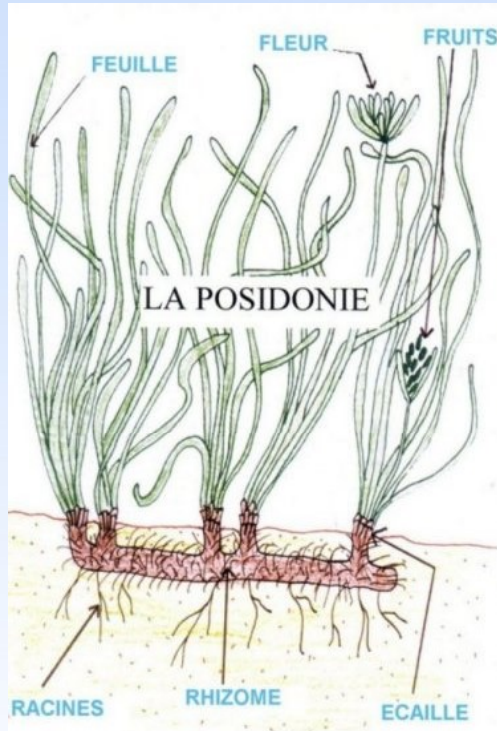
Donc:

Quel est **son impact sur** l'environnement?

## Impact de la saumure sur l'environnement:



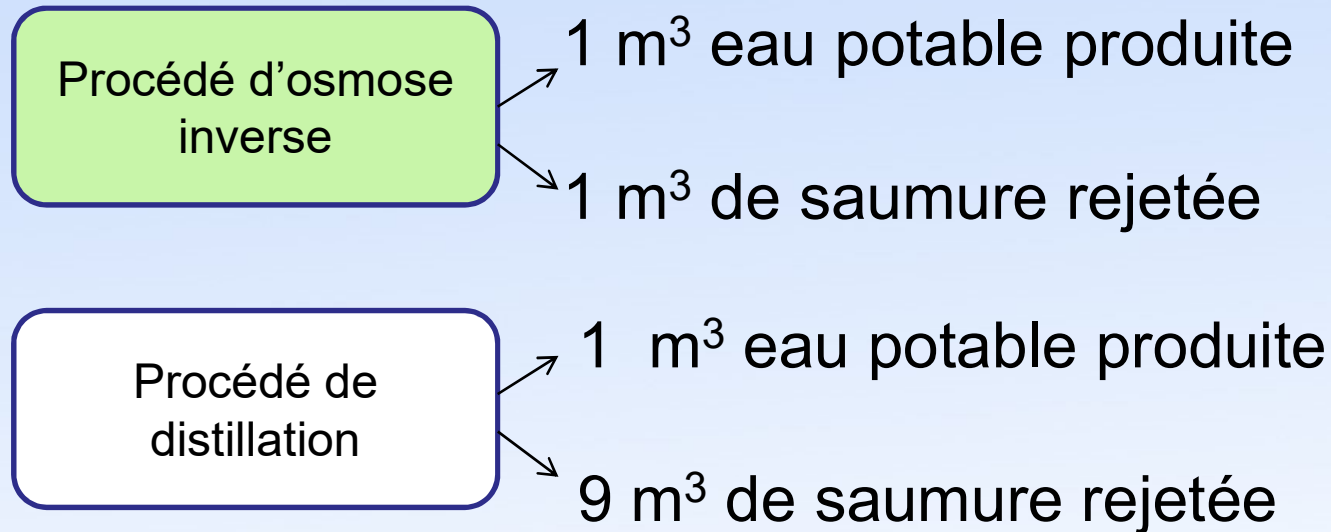
Des études en Espagne ont montré que la plante à fleur aquatique (**Posidonie océanique**) Est très sensible aux variations du taux de salinité. Des effets notables sur la structure de la plante ont été observés à des taux de salinité de 38.5g/l et sur sa vitalité dès 39.1g/l.





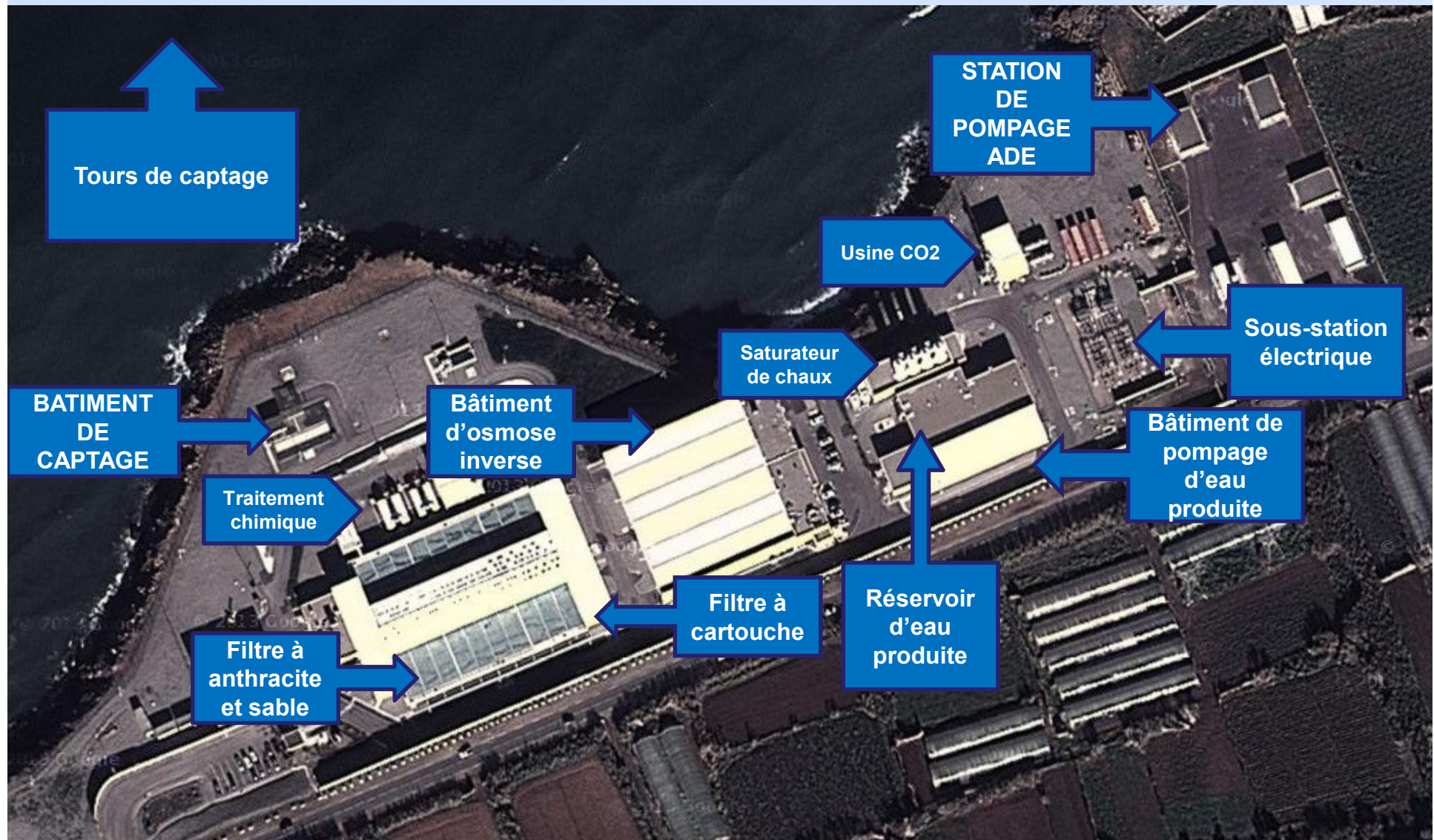
## Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources marines

- ✓ Le choix du procédé de dessalement;

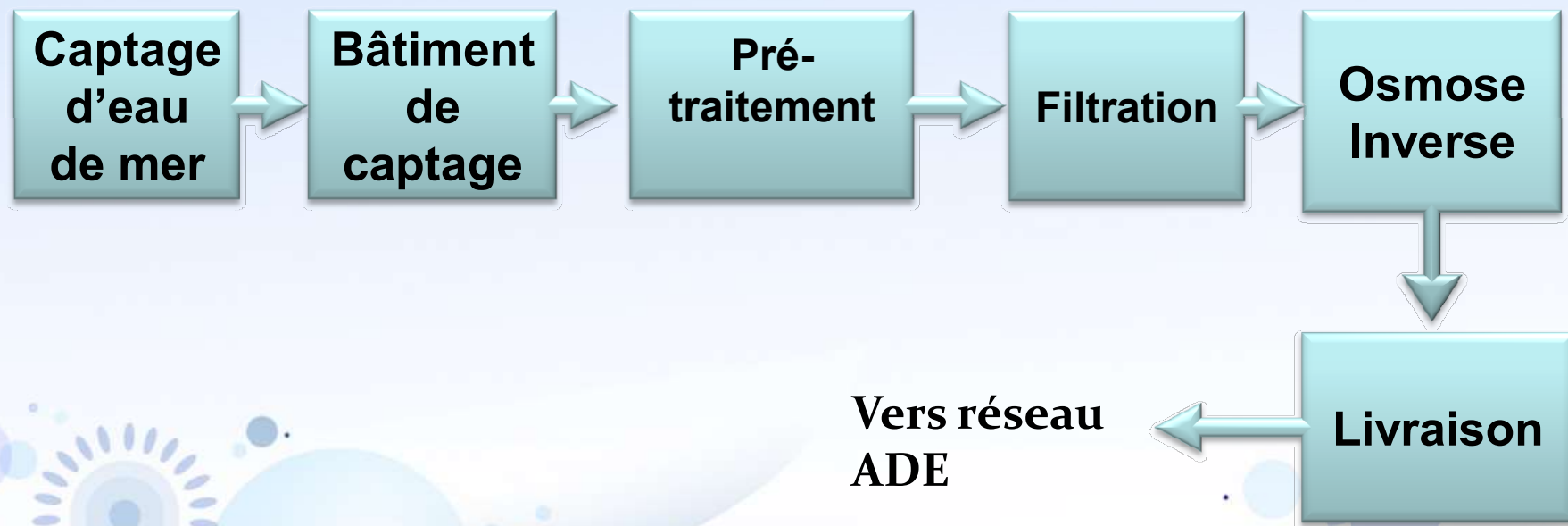


- ✓ traitement de la saumure;
- ✓ La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région;
- ✓ Le choix de l'emplacement du prélèvement d'eau de mer et de l'émissaire doit être effectué de manière à éviter les zones sensibles;
- ✓ L'émissaire doit être situé au large, mais non dans une zone à faible circulation d'eau.

### III. Description de la station de dessalement de Fouka (Tipaza)



# Processus de dessalement des eaux de mer



- Processus de dessalement -

# Dégrilleurs

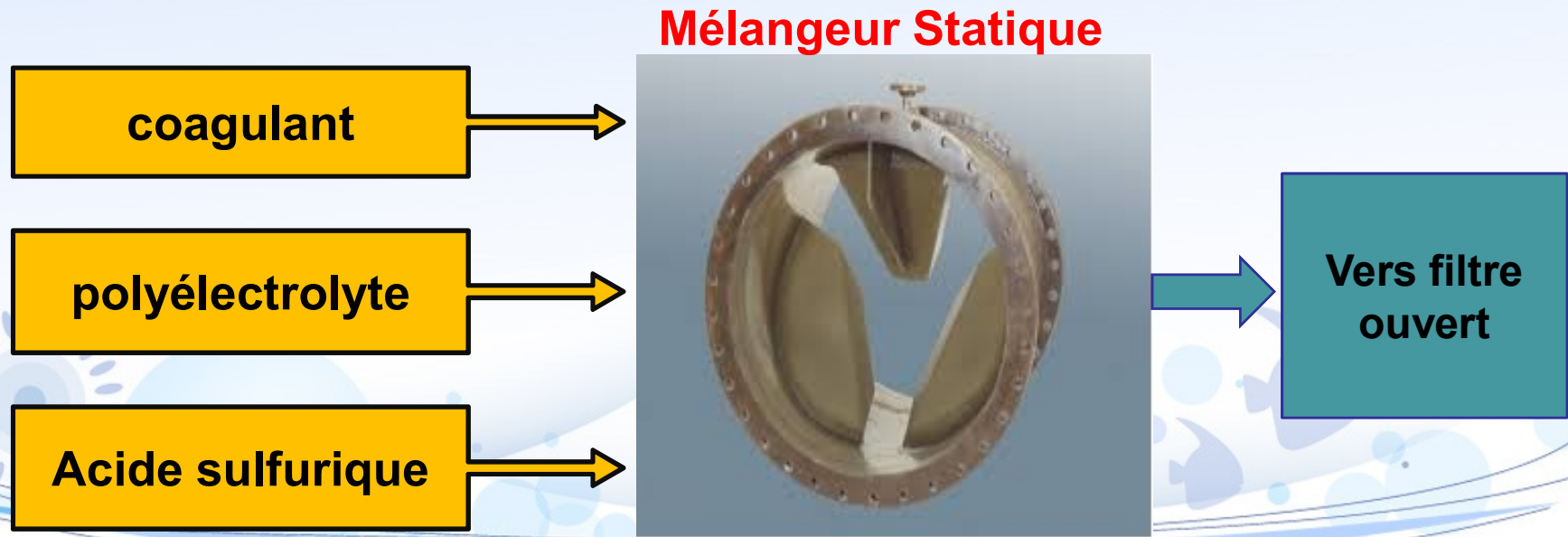
grilles



MESLEK.F

## Injection du coagulant et flocculant

- Le chlorure ferrique (coagulant:  $\text{FeCl}_3$ ) et le polyélectrolyte (flocculant) sont injectés dans un mélangeur statique installé à la sortie de la station de pompage eau brute .



## Remarque:

- les crépines sont remplacées par un faux fond en plastique renforcé .
- Les bassins de filtration ont été couverts par des dalles en plastique afin d'éviter le développement des algues(l'eutrophisation).



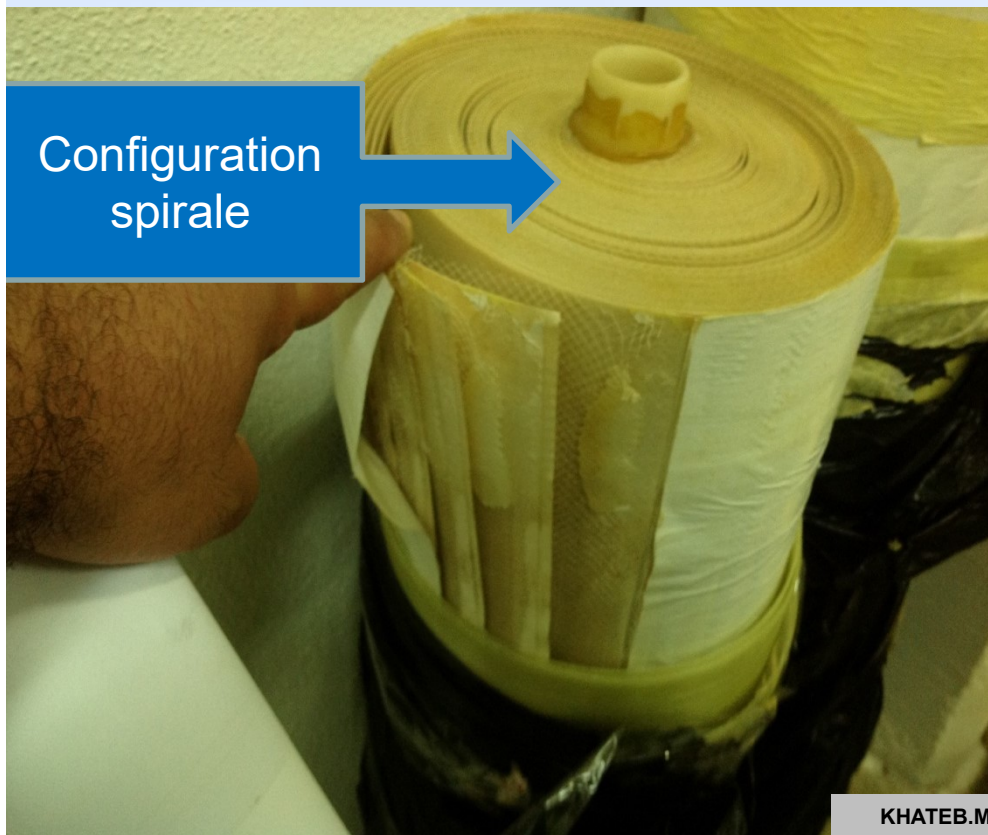
MESLEK.F



www.rippme

# Châssis d'Osmose Inverse

- Les membranes qui composent le châssis d'osmose inverse seront d'enroulement en spirale et elles seront installées en tuyaux à pression.



## **Système d'Osmose Inverse :**

- **Le système d'osmose proposé est constitué de membranes identiques disposées en parallèle avec (6) filières de production d'une capacité unitaire de 20.000 m<sup>3</sup>/jour pour une production nette totale de 120.000 m<sup>3</sup>/jour.**
- **Il est composé de:**
  - ✓ **Pompes à haute pression**
  - ✓ **Pompes booster**
  - ✓ **Système de récupération d'énergie**



La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs de pression.



KHATEB.M



MESLEK.F

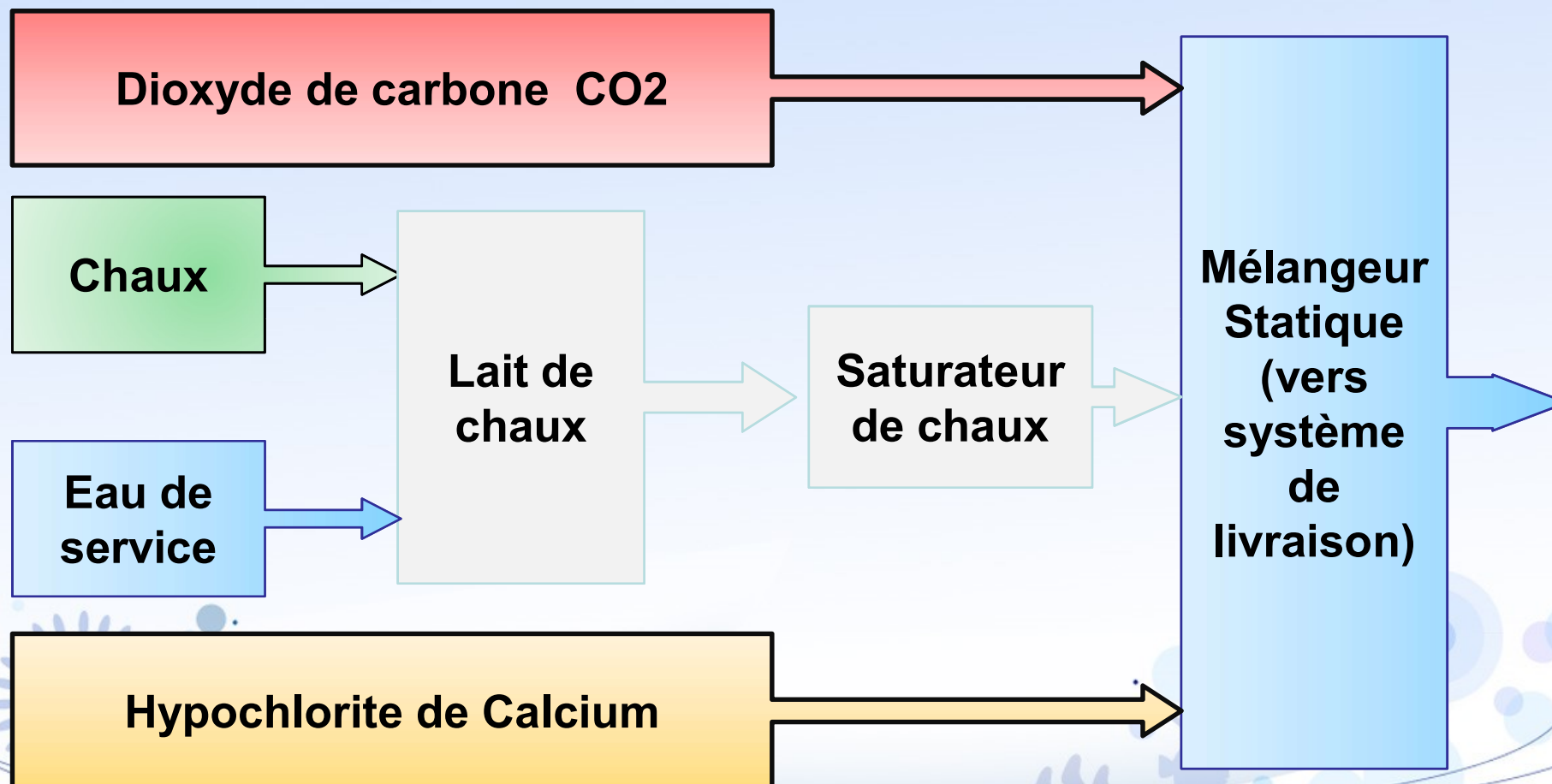
# Chaux hydratée ( $\text{Ca(OH)}_2$ )

## Généralités

- Les équipements de dosage de chaux hydratée (silo, cuve de dilution, pompes) permettent de doser en moyenne 60 mg/l de chaux pour un débit maximum d'eau traitée de 120 000 m<sup>3</sup>/j.



# Circuit de reminéralisation



## Bassin de stockage d'eau de livraison

- Les six pompes (6 +1R) de la station de pompage fonctionneront à débit fixe et/ou variable afin de garantir les fluctuations de débit et de pression.



## Rejets du procédé (réservoir d'effluent)

- Les rejets de procédé comprennent les eaux suivantes :
  - Les eaux de décharge des saturateurs de chaux;
  - les eaux de lavage des filtres;
  - les eaux de lavage et le rinçage de l'osmose inverse.
- > Ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement (neutralisation) des effluents et, de là, vers l'émissaire.
- > Le dosage de chaux et d'acide sulfurique est possible dans le réservoir afin de neutraliser les eaux avant rejet si requis.

## Réservoir de traitement des effluents



# Analyses et interprétation

## Résultats et discussions

### Paramètres physico-chimiques

#### Qualité de l'eau de mer

| Jour       | Température  | MES            | SDI 5           | TDS           |
|------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|
|            | Moyenne (°C) | Moyenne (mg/l) | Moyenne (sec-1) | Moyenne (g/l) |
| 01/05/2014 | 17,90        | 3,2            | 14,7            | 39,50         |
| 02/05/2014 | 18,80        | 6,4            | 14,5            | 41,10         |
| 03/05/2014 | 18,40        | 4,4            | 13,9            | 39,60         |
| 04/05/2014 | 18,20        | 9              | 9,6             | 38,20         |
| 05/05/2014 | 17,90        | 4,4            | 9,6             | 38,57         |
| 06/05/2014 | 17,70        | 10             | 11,8            | 38,90         |
| 07/05/2014 | 17,50        | 7,2            | 13,1            | 40,00         |
| 08/05/2014 | 17,80        | 10,2           | 14,9            | 39,00         |
| 09/05/2014 | 17,20        | 11,2           | 14,9            | 40,00         |
| 10/05/2014 | 17,40        | 8,2            | 13,2            | 40,30         |
| Max        | < 27         | 10             | < 15            | 40            |

Calcium (mg/l): 435  
Magnésium (mg/l): 1528  
Chlorures (mg/l): 20900

- Les chlorures : on pense qu'ils peuvent provenir de différentes sources, telles l'altération des roches, les pollutions liées aux rejets des eaux usées.
- Les sels de magnésium et de calcium : qui sont entraînés par les cours d'eau dans la mer.

## Qualité de l'eau traitée

| Jour       | Dureté totale                        | Alcalinité | pH      | Indice de Langelier |
|------------|--------------------------------------|------------|---------|---------------------|
|            | Moyenne<br>(mg/l CaCO <sub>3</sub> ) |            | Moyenne |                     |
| 01/05/2014 | 98                                   | 62         | 8,4     | 0,14                |
| 02/05/2014 | 92                                   | 60         | 8,4     | 0,11                |
| 03/05/2014 | 90                                   | 60         | 8,3     | 0,08                |
| 04/05/2014 | 94                                   | 61         | 8,3     | 0,06                |
| 05/05/2014 | 90                                   | 61         | 8,3     | 0,07                |
| 06/05/2014 | 96                                   | 63         | 8,3     | 0,12                |
| 07/05/2014 | 92                                   | 61         | 8,3     | 0,05                |
| 08/05/2014 | 92                                   | 62         | 8,4     | 0,14                |
| 09/05/2014 | 94                                   | 61         | 8,3     | 0,10                |
| 10/05/2014 | 90                                   | 60         | 8,4     | 0,12                |
| OMS        | 150                                  | 100        | 6,5 à 9 | [-0,5 à 0,5]        |



## Qualité de l'eau traitée (suite1)

| Jour       | Chlore libre   | Chlore total | Bore | Conductivité    | TDS calculé    |
|------------|----------------|--------------|------|-----------------|----------------|
|            | Moyenne (mg/l) |              |      | Moyenne (uS/cm) | Moyenne (mg/l) |
| 01/05/2014 | 0,51           | 0,58         |      | 722             | 397            |
| 02/05/2014 | 0,5            | 0,54         |      | 700             | 385            |
| 03/05/2014 | 0,5            | 0,56         |      | 710             | 390            |
| 04/05/2014 | 0,51           | 0,58         |      | 718             | 395            |
| 05/05/2014 | 0,51           | 0,56         |      | 716             | 393            |
| 06/05/2014 | 0,53           | 0,58         |      | 668             | 367            |
| 07/05/2014 | 0,54           | 0,6          |      | 678             | 372            |
| 08/05/2014 | 0,51           | 0,56         |      | 672             | 369            |
| 09/05/2014 | 0,52           | 0,57         |      | 696             | 382            |
| 10/05/2014 | 0,5            | 0,53         |      | 708             | 389            |
| OMS        |                | 250          | 0,5  | 2500            | 1000           |

## Qualité de l'eau traitée (suite2)

| Jour       | Coliformes<br>totaux | Coliformes<br>fécaux | Strepto,<br>Fécaux | Calcium                 | Magnésium | Couleur            |
|------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|            | Moyenne (UFC/100 MI) |                      |                    | Moyenne (mg/l<br>CaCO3) |           | Moyenne<br>(Pt-Co) |
| 01/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 02/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 03/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 04/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 05/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 06/05/2014 | 0,0                  | 0,0                  | 0,0                | 24,1                    | 8,2       | 0,00               |
| 07/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 08/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 09/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 10/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| <b>OMS</b> |                      |                      |                    | <b>70</b>               | <b>50</b> |                    |

résultat des paramètres ajustés :

- TH (dureté) est entre 8 et 15°F,(9.2°F)
- TAC est de l'ordre de 7.62°F (7 à 10 °F)
- pH= 8.3 entre (6.5-9)
- L'indice de Langelier LSI= 0.1 (-0.5 et +0.5)

L'eau n'est pas agressive.

## Contrôle des effluents (saumure)

| Date              | pH             | Fer ( mg/l)       |
|-------------------|----------------|-------------------|
|                   | <b>6,5-8,5</b> | <b>Max 3 mg/l</b> |
| <b>07/05/2014</b> | 7,99           | 0,27              |
| <b>14/05/2014</b> | 8,05           | 1,47              |
| <b>21/05/2014</b> | 8,08           | 0,02              |
| <b>28/05/2014</b> | 7,87           | 0,09              |

La saumure passe dans un système de neutralisation à l'acide sulfurique et à hydroxyde de sodium avant le rejet en mer.

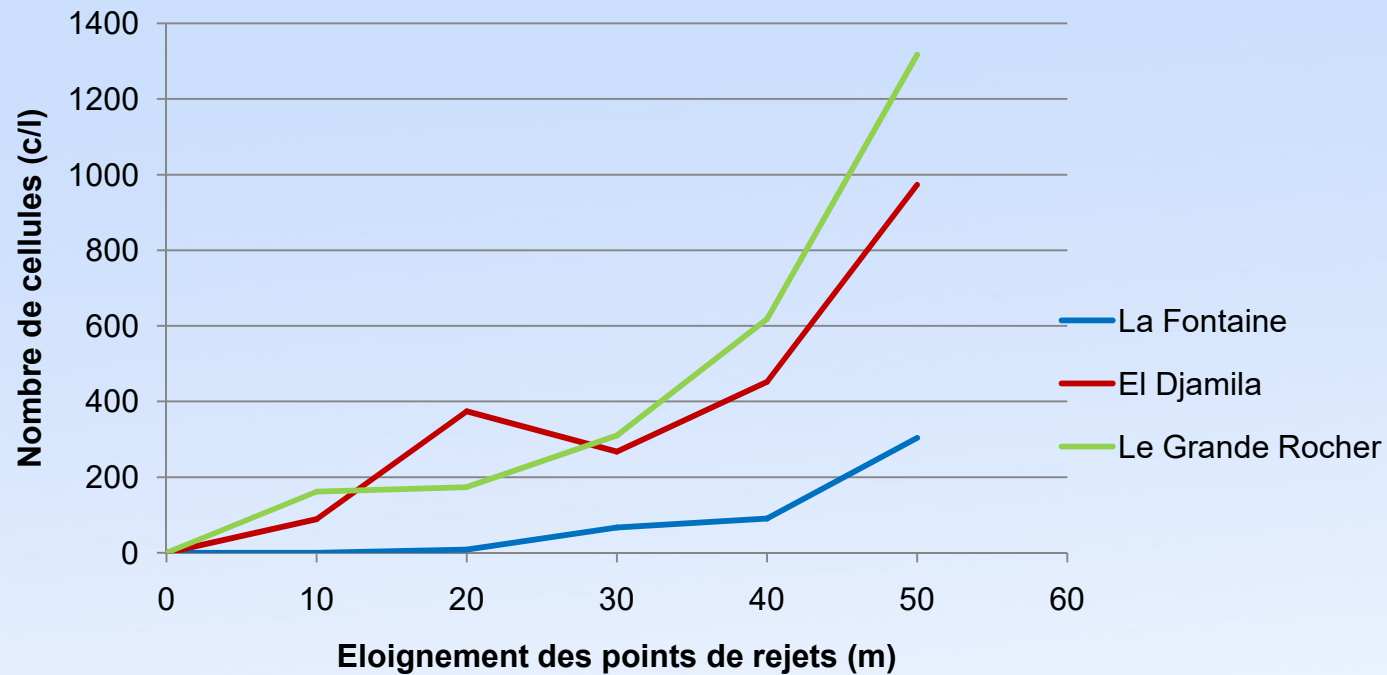
- pH= 8
- Fer (mg/l) est de l'ordre de 0.4 mg/l

Ce qui nous a permis de conclure que le concentrat rejeté se caractérise qu'avec un TDS (taux de salinité) élevé ( TDS= 69 000 mg/l).

## Analyses microbiologiques

- Ces analyses ne sont pas effectuées dans l'usine de Fouka, mais une étude d'impact de la station sur l'environnement a été réalisée par National Eau et Environnement (NEE) afin de minimiser l'effet de la salinité sur le milieu marin.
- Par contre, au niveau d'une petite station à AIN BENIAN l'analyse biologique est effectuée dans les laboratoires de SEAAL de Kouba et a pour but de mettre en évidence un certain nombre de planctons (phytoplanctons), dans l'eau brute et à différentes distances du point de rejet afin de démontrer l'impact de la salinité sur la survie de la faune et la flore.

| Distance        |           |      |      |      |      |      |
|-----------------|-----------|------|------|------|------|------|
| Plage           | unité     | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m |
| La Fontaine     | Cellule/l | 0    | 11   | 57   | 89   | 304  |
| El Djamila      | Cellule/l | 79   | 313  | 568  | 452  | 869  |
| Le Grand Rocher | Cellule/l | 162  | 159  | 310  | 618  | 1213 |



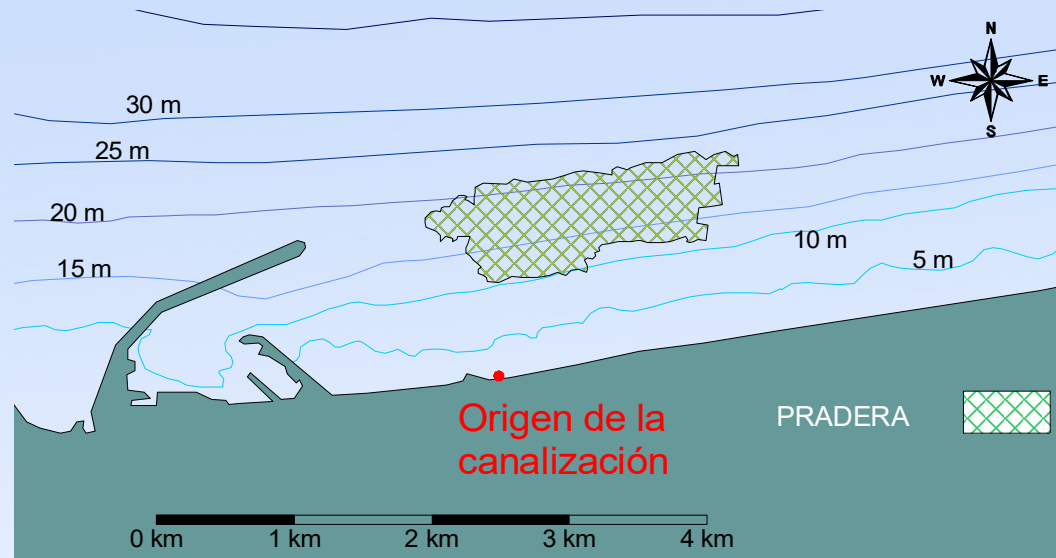
A travers les résultats obtenus, on remarque bien l'absence des phytoplanctons au point de rejet

**La station de dessalement d'Ain Benian** La conduite du rejet de saumure actuelle

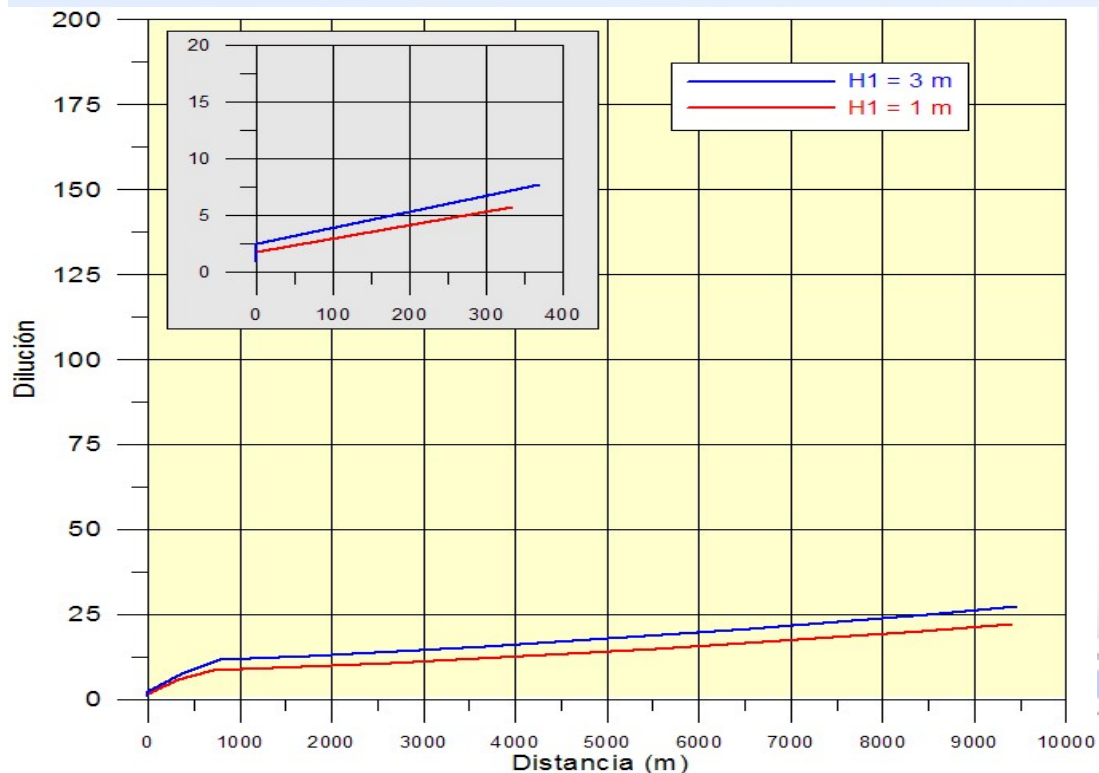


## Résultats du modèle CORMIX

- Localisation de l'origine des conduites en ce qui concerne la zone d'étude et le secteur occupé par la prairie
- CORMIX : modélisation de la dispersion de l'eau



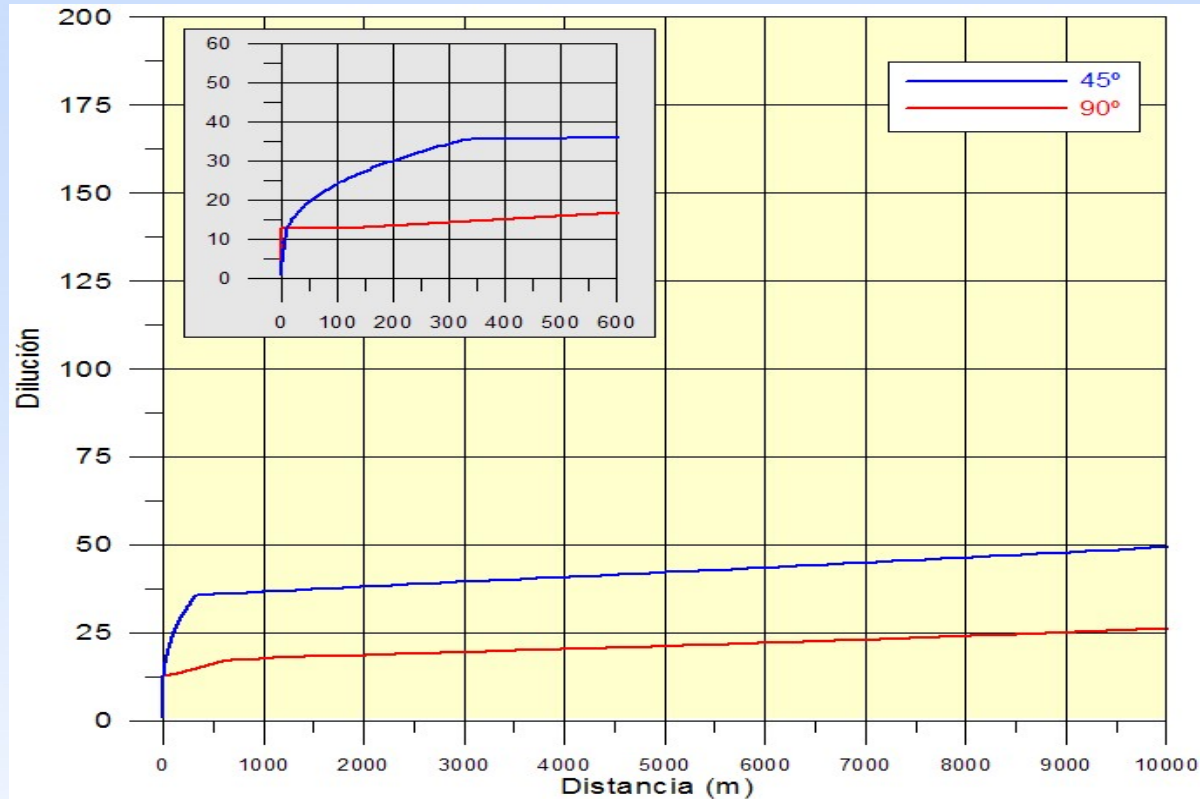
### 1. Hauteur de la cheminée



| <i>Paramètre</i>  | <i>Valeur</i>           |
|-------------------|-------------------------|
| Salinité du rejet | 69,53 g/l               |
| Salinité initiale | 39 g/l                  |
| Débit maximum     | 5.638 m <sup>3</sup> /h |



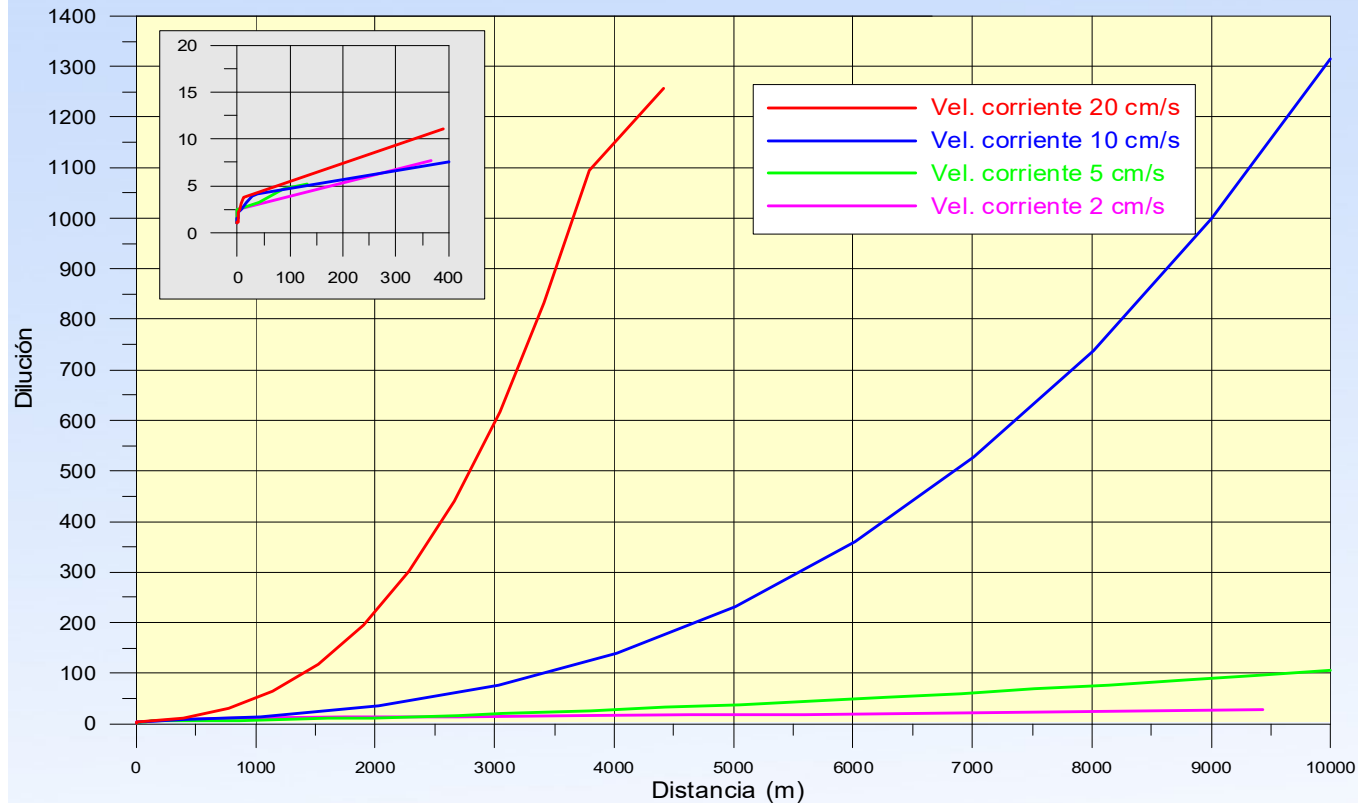
## 2. Inclination



## 3. Influence de la vitesse environnementale et de la vitesse de sortie du débit

| Vitesse<br>environnementale<br>( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | Distance au point de versée (m) |     |       |       |        |
|--|---------------------------------|-----|-------|-------|--------|
|  | 100                             | 500 | 1.000 | 4.000 | 10.000 |
| 2  | 3                               | 8   | 11,8  | 16    | 29,4   |
| 5  | 5                               | 6,1 | 8,4   | 30    | 106    |
| 10   | 5                               | 7,6 | 12,8  | 139   | 1.315  |
| 20   | 7                               | 12  | 60    | 1.100 | 3.000  |

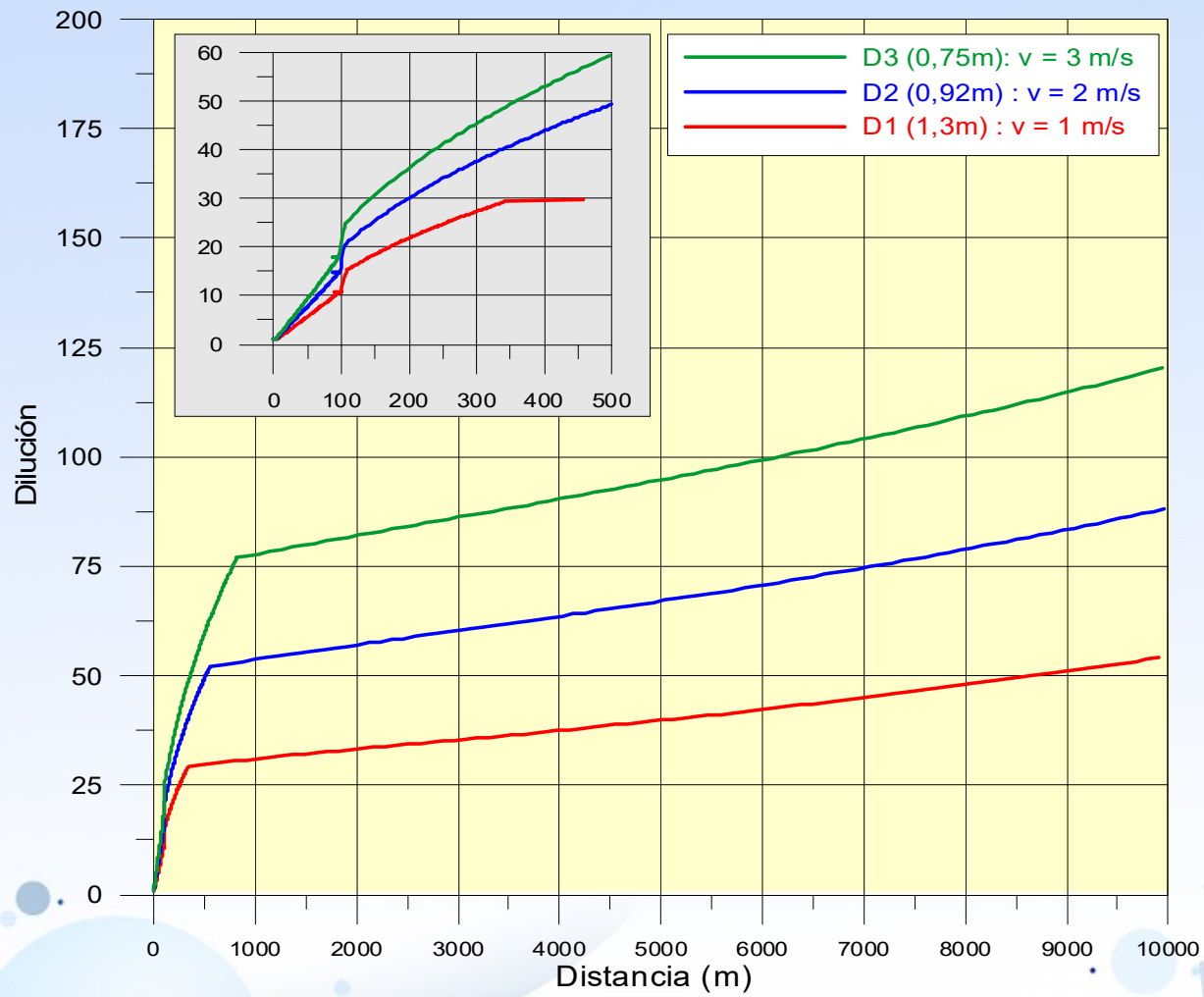
## vitesse environnementale



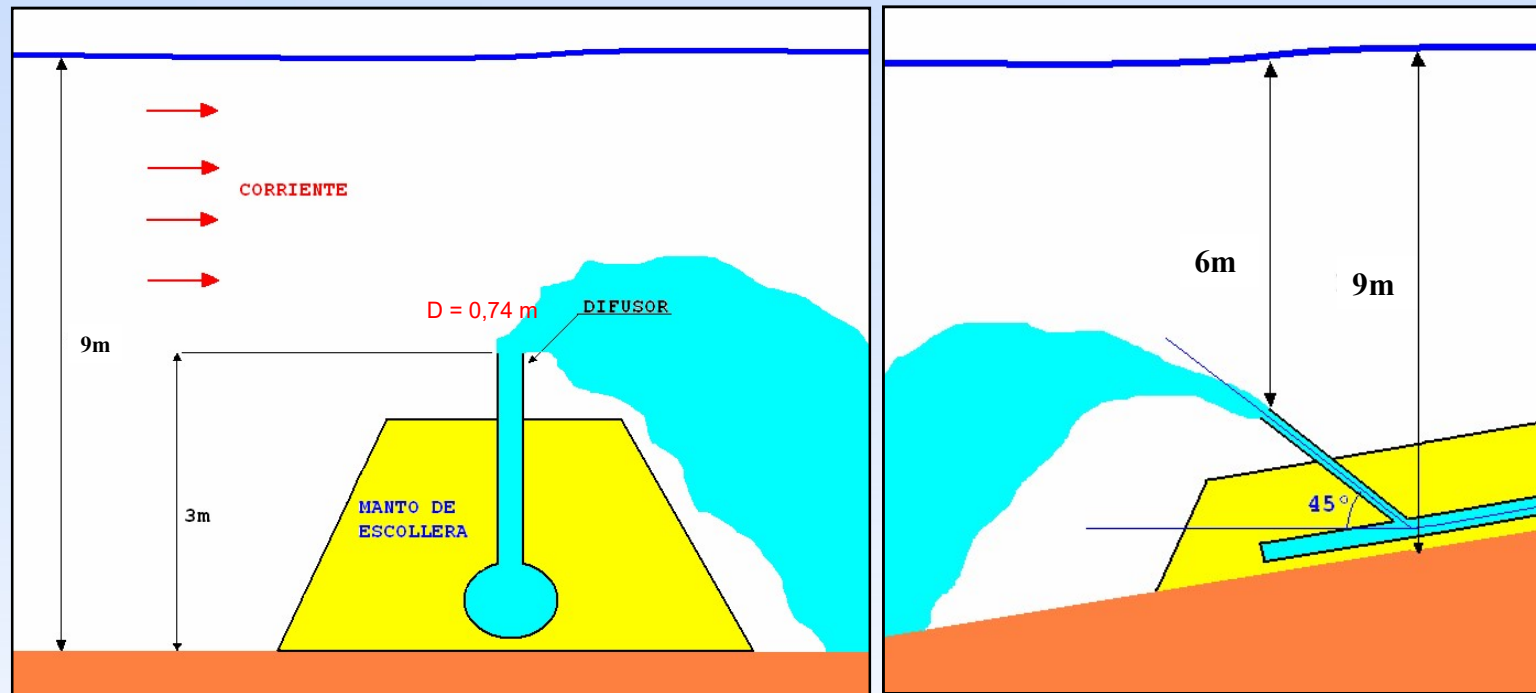
## vitesse de sortie du débit

On observe que la meilleure condition de dilution est donnée par des vitesses supérieures de sortie du débit par l'émissaire de déchet et, conséquemment diamètres inférieurs de la bouche de l'émissaire.





disposition de la meilleure sélection pour la conception de la conduite de déchet de la saumure du point de vue de dilution.



- Profondeur du point de rejet : 6,75mètres
- Coordonnées **X UTM** : 478,816 m et **Y UTM** 4.059.823 m
- Hauteur de la bouche de rejet sur le fond : 3 m
- Diamètre de la bouche : 1,41m
- Débit maximal versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h
- Salinité de l'effluent : 69 000 mg/l

Sachant que L'émissaire est composé d'une conduite de DN1400 en PEHD de 500 m de longueur. Celui-ci est décalé de 300 m à l'est de la prise d'eau.

- Le secteur touché avec une valeur supérieure à 39,5 g/l est de 750 m<sup>2</sup> (loin de 35m)

# Conclusion



- Cette étude ayant pour objectif de connaître le procédé de dessalement de la station de Fouka et l'interprétation des résultats obtenus.
- **Le premier point** de ma conclusion est destiné aux orientations qui sont prises et qui confirment que Le dessalement d'eau de mer apporte une solution rapide à la pénurie d'eau douce, mais pose beaucoup d'inconvénients.
- **Le deuxième point** concerne les résultats qui ont été obtenus à l'issue de cette étude concernant la propagation de saumure vers l'eau de mer en fonction du temps, la dispersion du sel concentré est meilleure en présence des vagues et des courants marins. Par conséquent, il y aura moins d'impact négatif sur l'environnement.
- Au calme total de l'eau de mer, la saumure se dirige au fond marin, et comme ceci présente une source continue et cumulative de pollution, il aurait comme conséquence des dommages continus sur la faune et la flore. Puisque la Méditerranée est caractérisée par sa grande profondeur à proximité de notre littoral, la dilution est plus rapide. Il est donc souhaitable de placer le point de rejet de saumure loin de la plage et des secteurs rocheux qui sont riches en organismes.
- **En perspective**, il serait intéressant d'installer des diffuseurs sur le canal du rejet pour tous les sites. La performance de l'opération de placement des diffuseurs dépend de leur nombre et de l'espace entre eux. Ceux-ci vont améliorer la dilution.

A la lumière des résultats de l'étude de diffusion par modélisation avec **le programme CORMIX** dans différentes conditions, la principale recommandation et les mesures d'atténuation des effets de rejets serait la réalisation d'un canal de rejet de l'usine en respectant la variante recommandée par l'étude marine suivante :

- Profondeur du point de rejet : 6,75 mètres
- Coordonnées X UTM : 478,816 m et Y UTM 4.059.823 m
- Hauteur de la bouche de rejet sur le fond : 3 m
- Diamètre de la bouche : 1,41 m
- Débit maximal versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h
- Salinité de l'effluent : 69 000 mg/l

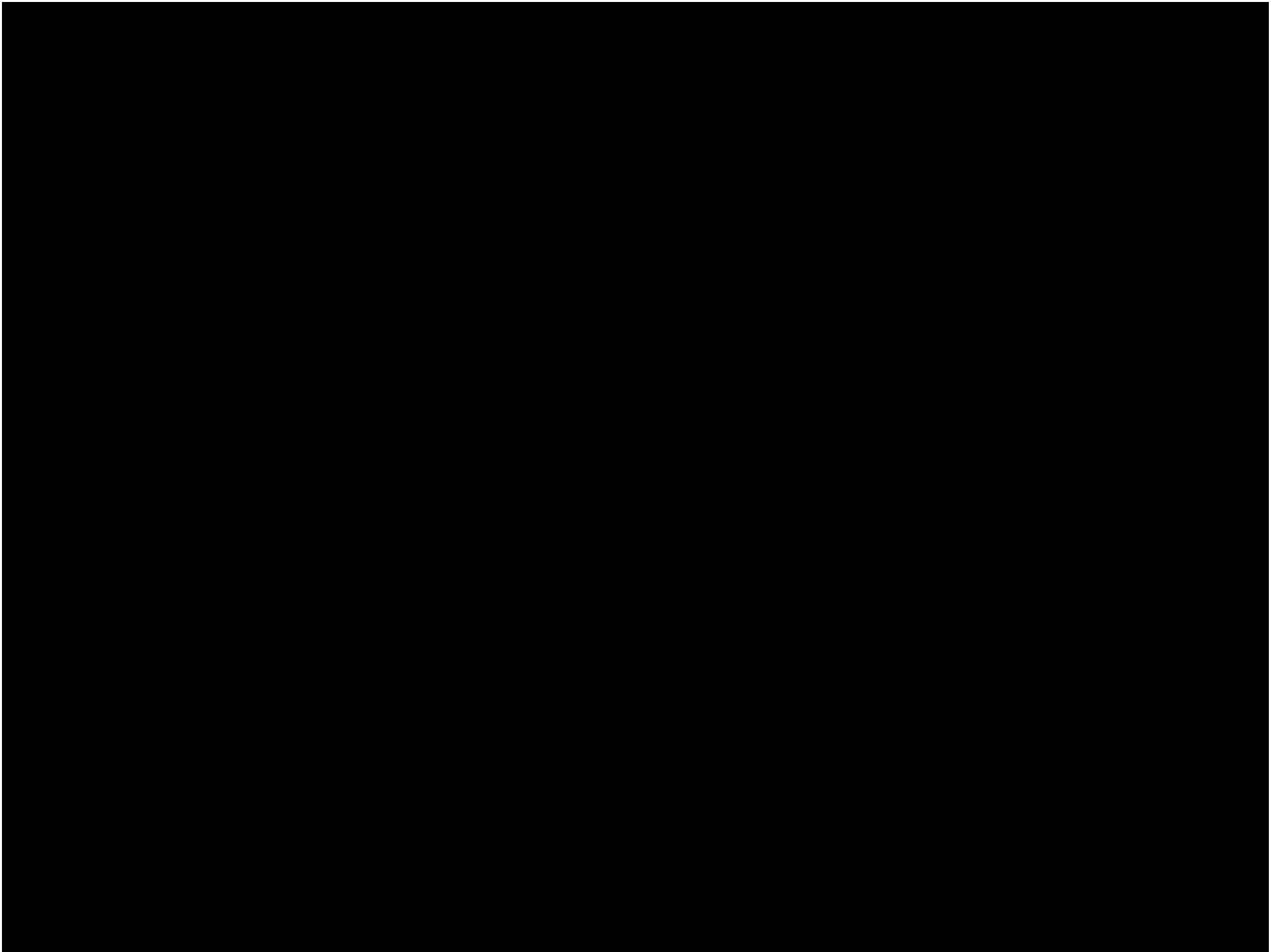
Sachant que l'émissaire est composé d'une conduite de DN1400 en PEHD de 500 m de longueur. Celui-ci est décalé de 300 m à l'est de la prise d'eau. Notons que les courants sont d'ouest en est. Le panache créé (eau de mer et concentrât) par l'émissaire sera donc loin de la prise d'eau.

Le positionnement du rejet devra être également précisé, en s'appuyant sur :

- **une investigation de la nature** biologique et écologique des fonds.
- **une bathymétrie** de la zone d'étude.

**Merci pour votre attention !!**  
MERCII BONIL AOTLE STREURIOU !!





## **Dédicaces**

Je dédie ce travail à :

Toute ma famille,  
Toute mes amis (ies).



# Remerciements

*Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier **Mr BESSENASSE Mohamed** pour son encadrement et son soutien.*

*Pour la même occasion je tiens à remercier mes maitres de stage **Mr KHATEB** et **Mr ZAMICHE** de m' avoir accueillis, suivi et aidé le long de ce travail.*

*Je remercie infiniment **l'ensemble des employés de l'Algerian Energy Company** dont la disponibilité, le savoir faire et le soutien ne m'ont jamais fait défaut.*

*Nous exprimons notre reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin a ce projet de fin d'étude.*

## ملخص:

يمكن بتحلية مياه البحر القضاء على نقص المياه الذي يعيق تحسين مستويات المعيشة وتطوير القطاعات التي تعتمد عليه، ولكن يمكن أن الآثار الناجمة عن هذه الأخيرة ان تكون خطيرة. هذه إطار في الدراسة نحن مهتمون بتحليه المياه بطريقة التناضح العكسي لمحطة فوكة لتقدير الأثر المحتمل على البيئة عن طريق سلسلة من التحاليل المنجزة على عينات من الماء (خام, معالج و الملوحة مركزة). البحرية البيئة في المالحه المياه توزيع ومراقبة

كلمات مفتاح : تحلية المياه,مركزة المياه , البيئة , الملوحة, ماء البحر .

## Résumé :

Le dessalement d'eaux de mer peut remédier au manque d'eau qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent, mais les effets engendrés par celui ci pourraient être graves.

Dans ce cadre d'étude, nous nous sommes intéressés à la station de dessalement par osmose inverse de Fouka, afin d'étudier son impact sur l'environnement par une série d'analyse effectuée sur des échantillons d'eau (brute, traitée et saumure) et observer la propagation de la saumure dans le milieu marin.

- Mots-clés : Dessalement, Saumure, Environnement, Eau de mer

## Summary:

The desalination of sea water can remedy the lack of water wich puts obstacle to the improvement of standards of living and to the development of the sectors wich depend on it, but the effects engendered by that could be grave.

In this frame of study, we were interested in the reverse osmosis desalination plant of Fouka, in order to study its impact on the environment through a series of analysis made on samples of water (feed water, treated, and brine) and observe the propagation of the brine in the marine environment.

- Keywords : Desalination, Brine, Environment, Sea water.

# SOMMAIRE

## Introduction.

### CHAPITRE I : PROPRIETES DE L'EAU DE MER.

|  |   |
|--|---|
| I-1-Composition de l'eau de mer.....       | 1 |
| I-1-1- Les éléments principaux.....        | 1 |
| I-1-2- Autres éléments minéraux.....       | 1 |
| I-1-3- Matières organiques.....            | 2 |
| I-2-Salinité.....                          | 3 |
| I-3-pH des eaux de mer.....                | 4 |
| I-4-Autres propriétés de l'eau de mer..... | 4 |
| I-4-1- Viscosité des eaux de mer.....      | 4 |
| I-4-2- densités des eaux de mer.....       | 5 |

### CHAPITRE II : PRINCIPALES TECHNOLOGIES DU DESSALEMENT.

|   |    |
|---|----|
| II-1- Introduction.....   | 6  |
| II-2-Les principales technologies de dessalement des eaux de mer.....             | 7  |
| II-2-1-Les procédés de distillation.....  | 9  |
| II-2-1-1-Distillation à simple effet.....   | 9  |
| II-2-1-2-Distillation à effet multiple (Multi-Effect distillation MED).....       | 10 |
| II-2-1-3-Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)..... | 12 |
| II-2-1-4-Distillation par compression de vapeur (VC).....                         | 14 |
| II-2-1-5-CONCLUSION.....  | 15 |
| II-2-2-Les procédés membranaire.....  | 16 |
| II-2-2-1-Osmose inverse.....  | 16 |
| II-2-2-2-Electrodialyse.....  | 19 |
| II-2-3-Autres méthodes.....   | 21 |
| II-3-Procédé d'osmose inverse.....  | 22 |
| II-3-1- Introduction.....   | 22 |
| II-3-2-Définition du dessalement.....   | 22 |
| II-3-3-Définitions et descriptions.....   | 22 |

|   |    |
|---|----|
| II-3-3-1- L'osmose inverse.....                                       | 22 |
| II-3-3-2-Membrane d'osmose inverse.....                               | 22 |
| II-3-3-3-Les modules.....   | 23 |
| II-3-3-4-Les espaceurs.....   | 23 |
| II-3-3-4-1-Définition.....  | 23 |
| II-3-3-4-2-Rôle des espaceurs.....                                    | 24 |
| II-3-4-Principe de l'osmose inverse.....                              | 24 |
| II-3-5-Pression osmotique.....  | 25 |
| II-3-6-Mode d'action des membranes d'osmose inverse.....              | 26 |
| II-3-7-Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse..... | 26 |
| II-3-7-1-Définitions.....   | 26 |
| II-3-7-2-Loi de Fick.....   | 27 |
| II-3-7-3-Loi de Henry.....  | 27 |
| II-3-7-4- sélectivité d'une membrane.....                             | 28 |
| II-3-8-Mécanisme de transfert.....                                    | 28 |
| II-3-9-Mise en œuvre et performance.....                              | 29 |
| II-3-9-1-Techniques d'amélioration des performances de procédés.....  | 29 |
| II-3-9-2-Choix des conditions de fonctionnement.....                  | 29 |
| II-3-9-2-1-Choix de taux de conversion.....                           | 29 |
| II-3-9-2-2-Choix de la pression.....                                  | 29 |
| II-3-9-2-3-Importance de prétraitement.....                           | 30 |
| II-3-10-Nettoyage des membranes.....                                  | 30 |
| II-3-10-1-Les facteurs d'influence.....                               | 31 |
| II-3-10-2-Conditions d'opération de nettoyage.....                    | 31 |
| II-3-10-3-Quelques signes de colmatage.....                           | 32 |
| II-3-10-4-Choix de la méthode de nettoyage.....                       | 34 |
| II-3-10-5- Fréquence de nettoyage.....                                | 34 |
| II-3-10-6- Procédure de nettoyage.....                                | 35 |
| II-3-10-7- Exemple de procédure de nettoyage.....                     | 35 |
| II-3-10-8- installation de nettoyage.....                             | 36 |
| II-3-11-Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse.....   | 37 |
| II-3-11-1- Les avantages.....   | 37 |
| II-3-11-2-Les inconvénients.....                                      | 37 |

## CHAPITRE III : LE DESSALEMENT EN ALGERIE.

|  |    |
|--|----|
| III-1-Introduction .....   | 38 |
| III-2-Les ressources hydriques en Algérie .....  | 38 |
| III-2-1-Les ressources en eau de surface.....  | 38 |
| III-2-2-Les ressources en eaux souterraines.....   | 39 |
| III-3-L'expérience Algérienne dans le dessalement.....   | 40 |
| III-3-1-Les stations existantes.....   | 40 |
| III-3-1-1-Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau .....                         | 41 |
| III-3-1-2-Stations installées par la Compagnie «SONELGAZ».....                                     | 41 |
| III-3-1-3-Stations installées par la Compagnie «SONATRACH».....                                    | 42 |
| III-3-1-4-Stations installées par d'autres Compagnies.....   | 43 |
| III-3-1-5-Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables<br>CDER..... | 43 |
| III-4- Le programme d'urgence (2002- 2003).....  | 44 |
| III-4-1-Les Stations Monoblocs réalisées .....   | 44 |
| III-4-2-Programme de réalisation des usines de dessalement.....                                    | 45 |
| III-5- Classification des différents procédés de dessalement.....                                  | 46 |
| III-6-Choix d'un procédé de dessalement.....   | 47 |

## CHAPITRE IV : IMPACT DU DESSALEMENT PAR OSMOSE INVERSE SUR L'ENVIRONNEMENT.

|   |    |
|---|----|
| IV-1- Introduction.....   | 48 |
| IV-2- Effets potentiels des rejets de saumures sur le milieu marin..... | 48 |
| IV-3- Origine et type des émissions et rejets.....                      | 49 |
| IV-3-1-La saumure concentrée.....                                       | 49 |
| IV-3-2-Les rejets chimiques.....  | 49 |
| IV-3-3- Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes.....    | 52 |
| IV-3-4- Les émissions atmosphériques.....                               | 53 |
| IV-4- Pollution sonore.....   | 54 |
| IV-5- Les enjeux techniques.....  | 54 |
| IV-6- L'aspect économique.....  | 54 |

|   |    |
|---|----|
| IV-7- Effets dus au prélèvement d'eau de mer..... | 56 |
|---|----|

## CHAPITRE V : LA STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA.

|   |    |
|---|----|
| V-1- Description de la station .....  | 57 |
| V-1-1- Capacité de la station et mode de fonctionnement.....                    | 58 |
| V-1-2- Les objectifs de notre étude expérimentale.....                          | 58 |
| V-1-3- Installation et processus.....   | 59 |
| V-2- Description du procédé .....   | 59 |
| V-2-1- Traitement d'eau de mer .....  | 60 |
| V-3- Description détaillée de l'usine.....                                      | 62 |
| V-3-1- Têtes des prises d'eau.....  | 62 |
| V-3-1-1- Critères de conception.....  | 62 |
| V-3-1-2- Conception.....  | 63 |
| V-3-2- Conduite de prise d'eau.....   | 63 |
| V-3-2-1- Critères de conception.....  | 63 |
| V-3-3- Station de pompage d'eau brute.....                                      | 65 |
| V-3-3-1- Critères de conception des dégrilleurs.....                            | 65 |
| V-3-4- Filtres bicouches gravitaires.....                                       | 66 |
| V-3-4-1- Couche filtrante.....  | 67 |
| V-3-4-2- Lavage des filtres.....  | 68 |
| V-3-5- Filtres à cartouches.....  | 69 |
| V-3-6- Osmose inverse.....  | 71 |
| V-3-6-1- Filières d'osmose inverse.....   | 71 |
| V-3-6-2- Configuration du système d'osmose inverse et taux de récupération..... | 72 |
| V-3-6-3- Dimensionnement des pompes haute pression.....                         | 73 |
| V-3-6-4- Système de récupération d'énergie.....                                 | 74 |
| V-3-6-5- Procédure d'arrêt des filières (rinçage).....                          | 75 |
| V-3-7- Reminéralisation.....  | 77 |
| V-3-8- Station de pompage d'eau traitée.....                                    | 78 |
| V-3-9- Laboratoire.....   | 79 |
| V-3-10- Salle de contrôle.....  | 80 |
| V-4- Etude expérimentale.....   | 80 |
| V-4-1- Analyses physico-chimiques des échantillons prélevés.....                | 80 |

|   |    |
|---|----|
| V-4-2- Analyses biologiques.....                                | 80 |
| V-4-3-Quelques généralités.....                                 | 80 |
| V-4-4-Ecologie marine (FOUKA) .....                             | 82 |
| V-5- Résultats et discussion.....                               | 85 |
| V-5-1- Résultats des analyses physicochimiques.....             | 85 |
| V-5-1-1-Qualité de l'eau de mer.....                            | 86 |
| V-5-1-2-Qualité de l'eau traitée.....                           | 87 |
| V-5-1-3-Contrôle des effluents (saumure).....                   | 90 |
| V-5-2-Discussion des résultats d'analyses physicochimiques..... | 90 |
| V-5-2-1-Qualité de l'eau de mer.....                            | 90 |
| V-5-2-2-Qualité de l'eau traitée.....                           | 90 |
| V-5-2-3-Qualité de l'eau rejetée.....                           | 91 |
| IV-5-3-Résultats des analyses biologiques.....                  | 91 |

## **CHAPITRE VI : LES MESURES D'ATTENUATION ET SOLUTIONS PROPOSEES.**

|   |     |
|---|-----|
| VI-1-Introduction.....  | 93  |
| VI-2- Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines.....  | 93  |
| VI-3-Programme de surveillance continue.....  | 94  |
| VI-3-1-Surveillance et informations de base sur les ressources marines avant la mise en service des usines..... | 94  |
| VI-3-2-Surveillance des effets sur les ressources marines après la mise en service.....                         | 94  |
| VI-4-Recommandations d'ordre général.....   | 95  |
| VI-5-L'élimination de la saumure.....   | 96  |
| VI-5-1- Dilution de la saumure.....   | 96  |
| VI-5-2-Dimensionnement du collecteur de rejet de la saumure .....   | 97  |
| VI-6-Les critères de choix du site de rejet et milieu récepteur.....  | 98  |
| VI-7-Exemple de la station de AIN BENIAN ( petite station de 5000 m <sup>3</sup> /j).....                       | 99  |
| VI-8-La station de FOUKA.....   | 100 |
| VI-8-1-Evaluation de l'impacte sur l'environnement marin.....   | 100 |
| VI-8-2: Les résultats du modèle CORMIX.....   | 102 |
| VI-8-3-Conclusion et résumé.....  | 107 |

### **Conclusion.**

### **Références bibliographiques.**

### **Annexes.**

## INTRODUCTION

Nous sommes aujourd'hui 7.2 milliards sur la Terre et en 2050 nous serons 9 milliards. Concentrés à 70% dans les villes. La pression sur les ressources planétaires en sera d'autant plus importante alors que nous observons déjà des signes de pénurie avec des tensions fortes sur les marchés des matières premières.

L'intense activité humaine de ces 100 dernières années s'est appuyée sur l'énergie fossile, entraînant un changement climatique qui menace directement notre mode de vie. La double croissance économique et démographique de notre planète a pour conséquence une pression importante sur l'ensemble des ressources naturelles. Jamais les tensions sur les matières premières n'ont été aussi fortes.

Avec plus de 2.4 milliards de personnes vivant près d'une mer, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une alternative, qui alimente déjà plus de 200 millions d'habitants. Plus de 1% de la production d'eau potable mondiale est produit par dessalement. [3]

L'apport en eau par moyens non conventionnels a été dominé durant ces dernières années par le développement de nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer qui sont basés sur les procédés thermiques ou membranaires, ces derniers sont devenus un enjeu économique pour pallier au problème de la disponibilité des ressources en eau et le stress hydriques, comme le cas de l'Algérie.

Face aux aléas climatiques observés ces dernières années, et pour répondre aux besoins de la population Algérienne qui atteindra 50 millions dans les vingt prochaines années, le gouvernement algérien a mis en place à court et moyen terme une véritable industrie de dessalement des eaux de mer et de déminéralisation des eaux saumâtres, comme moyen de



mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement : AEP, industrie et agriculture.

A travers ce travail nous allons étudier l'influence des rejets liquides issus du dessalement, entre autre la saumure sur la composition de l'eau de mer et son impact sur l'environnement et le développement durable.

A travers cette étude nous allons montrer l'impact d'une station de dessalement par osmose inverse sur l'environnement « cas de l'usine de MYAH TIPAZA FOUKA », et proposer par la suite les solutions adéquates pour réduire et minimiser cet effet préjudiciable sur l'écosystème marin.

**I-1-Composition de l'eau de mer :****I-1-1- Les éléments principaux :**

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Cette constance des proportions est souvent appelée loi de Marcet ou de Dittmar. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations sont données par le tableau 1. [3]

**Tableau I-1: Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 ‰, [4].**

| Eléments                                     | Concentrations (mg / kg) | Eléments2                     | Concentrations (mg / kg)<br>2 |
|--|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Chlorure (Cl <sup>-</sup> )                  | 19 353                   | Sodium (Na <sup>+</sup> )     | 10 160                        |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )     | 2 712                    | Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ) | 1 249                         |
| Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | 142                      | Calcium (Ca <sup>2+</sup> )   | 413                           |
| Bromure (Br <sup>-</sup> )                   | 67                       | Potassium (K <sup>+</sup> )   | 387                           |
| Fluorure (F <sup>-</sup> )                   | 1                        | Strontium (Sr <sup>2+</sup> ) | 8                             |
| Bore   | 4                        |                               |                               |

**I-1-2- Autres éléments minéraux :**

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (tableau 2). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension).

**Tableau I-2 : Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au µg/l se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension**

| Eléments | Concentrations en µg/l | Eléments | Concentrations en µg/l |
|----------|------------------------|----------|------------------------|
| Li       | 170                    | Cu       | 3                      |
| Al       | 10                     | Zn       | 10                     |
| Si       | 3000                   | As       | 3                      |
| P        | 70                     | Rb       | 120                    |
| Ti       | 1                      | Mo       | 10                     |
| V        | 2                      | I        | 60                     |
| Mn       | 2                      | Ba       | 30                     |
| Fe       | 10                     | U        | 30                     |
| Ni       | 2                      |          |                        |

Un litre d'eau de mer contient entre 30 à 40 g de sels alors que les matières en suspension représentent quelques dizaines de mg par litre (mis à part aux embouchures de certains fleuves particulièrement chargés en matériaux terrigènes). Ces particules peuvent être finement divisées augmentant ainsi grandement les surfaces réactionnelles, ce qui peut avoir une importance notable sur les propriétés physico-chimiques de l'eau de mer , [3].

#### **I-1-3- Matières organiques :**

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0,5µm les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B<sub>12</sub>, des monosaccharides, des amino-acides. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension , [3].

**I-2-Salinité :**

La salinité est le caractère essentiel de l'eau de mer. La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

Un aspect important de l'eau de mer est que si la concentration totale des sels dissous varie en fonction du lieu, la proportion des composants les plus importants reste à peu près constante.

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluie et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part, [5]. Elle est donc de l'ordre de 35g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme 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, [6].

La salinité se mesure en PSU (Practical Salinity Unit), unité reposant sur la conductivité de l'eau de mer, équivalente au pour mille (‰) ou encore au g/kg, [7].

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques comme l'illustre le tableau 3, [5].

**Tableau I-3 : salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes.**

| ORIGINE                        | SALINITE (g/l) |
|--------------------------------|----------------|
| Mer baltique                   | 17             |
| Mer noire                      | 22 à 25        |
| Océans atlantique et pacifique | 32 à 38        |
| Mer méditerranée               | 37 à 40        |
| Mer rouge- Golf Arabique       | 40 à 47        |
| Mer morte                      | 270            |

**I-3-pH des eaux de mer :**

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8.2 avec des variations entre 7 et 8.4.

Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO<sub>2</sub> et par conséquent d'une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO<sub>2</sub> et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions comme les baies, les estuaires, le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment, dans des bassins isolés où il peut y avoir production d'H<sub>2</sub>S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19.5‰ et de pH= 8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0.0109, [8].

De même, une augmentation de pression de 100 bar produit une diminution du pH de l'ordre de 0.02 (pour un pH de 8.3).

**I-4-Autres propriétés de l'eau de mer :****I-4-1- Viscosité des eaux de mer :**

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité (tableau 4). Cette dernière caractéristique est prise en compte dans l'équation suivante :

$$\eta = \eta_0 (1 + A \sqrt{C} + BC)$$

$\eta_0$  étant la viscosité du solvant à l'état pur, C la concentration du soluté, A et B des coefficients dépendant du soluté. Suivant la nature des ions, le coefficient B peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus ou moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité).

**Tableau I-4 : viscosité relative  $\eta / \eta_0$  de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité**  
 ( $\eta_0$  viscosité de l'eau pure à 0°C 1787 centipoises, [8])

| température<br>°C | 5‰ S  | 10‰ S | 20‰ S 2 | 30‰ S 3 | 40‰ S 4 |
|-------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 0                 | 1.009 | 1.017 | 1.032   | 1.056   | 1.054   |
| 5                 | 0.855 | 0.863 | 0.877   | 0.891   | 0.905   |
| 10                | 0.738 | 0.745 | 0.785   | 0.772   | 0.785   |
| 15                | 0.643 | 0.649 | 0.662   | 0.675   | 0.688   |
| 20                | 0.568 | 0.574 | 0.586   | 0.599   | 0.611   |
| 25                | 0.504 | 0.510 | 0.521   | 0.533   | 0.545   |
| 30                | 0.454 | 0.460 | 0.470   | 0.481   | 0,49    |

#### I-4-2- densités des eaux de mer :

Rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4 °C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1.035 à 1.036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression.



Dans les cellules de concentré. Pour éviter le phénomène, on peut changer la polarité de l'électrode (ce processus est connu comme inversion d'électrodialyse (EDR)). [30,31].

Une autre solution est l'addition des produits chimiques appropriés au jet de concentré (un acide inorganique et hexamétaphosphate de sodium). Puisque le processus d'EDR n'élimine pas les ions gênant(lourd)( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) de l'eau, il y a toujours un risque que les sédiments précipiteront sur la surface du concentré. Ce moyen, particulièrement à une concentration plus élevée en sel dans l'eau d'alimentation, la nécessité de changer la polarité de l'électrode assez souvent. Ceci a comme conséquence une diminution du recouvrement de l'eau parce que après chaque changement de la direction du champ électrique une certaine quantité du jet de produit doit être éliminé en jet de rebut, [30].

### **II-2-3-Autres méthodes :**

D'autres méthodes sont de congélation, distillation à membrane, l'humification solaire et processus solaires et éoliens. Ces processus n'ont pas réalisé le même niveau du succès commercial, mais ils peuvent prouver l'objet de valeur dans des circonstances spéciales ou encore avec d'autres avances ou améliorations technologiques.

Les éléments communs à tous les processus sont le besoin d'énergie et de production d'un haut jet de concentré appelé le rejet de saumure ou le jet de rebut, ce qui prouve que les méthodes de distillation sont des consommateurs d'énergie élevée indépendamment de teneur en sel dans l'eau, considérant que OI a une demande énergétique inférieure selon la concentration en sels. Avances technologiques dans le transfert thermique, technologie de membrane, machines de récupération d'énergie, la fabrication des produits chimiques pour le traitement de l'eau et la combinaison des méthodes ou des processus ont réduit la consommation d'énergie par mètre cube,[26].



**II-1- Introduction :**

La crise de l'eau potable annoncée pour les années 2000-2020 relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalements moins chers, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement, [9].

Les technologies communes pour le dessalement d'eau de mer sont basées sur deux processus principaux : séparation par évaporation et par membrane, comme montré dans le tableau II.1, [10 ,11 , 12].

**Tableau II-1 : les technologies communes de dessalement**

|  |   |
|--|---|
| Osmose inverse (OI)                          | Processus membranaire, le système le plus commun en service. Une membrane semi-perméable sépare deux solutions de concentrations différentes.   |
| Electrodialyse                               | Processus membranaire. Une série de membranes est placée entre deux électrodes et subit un champ électrique. Il est en générale approprié à l'eau saumâtre et pour traiter les puits pollués.   |
| Distillation à détente étagée (MSF)          | Processus d'évaporation, en combinaison avec des centrales électriques. Le système inclut une série de compartiments. L'écoulement d'eau chaude dans un compartiment avec une basse pression résulte l'évaporation d'une partie de l'eau. |
| Distillation à effet multiple (MED)          | Processus d'évaporation, basé sur le cycle de la chaleur latente en produisant un ruisseau d'eau, habituellement utilisé en combinaison avec les centrales électriques.   |
| Distillation par compression de vapeur (VCD) | Processus d'évaporation, basé selon le principe d'une pompe à chaleur. Cycles répétés de condensation et d'évaporation  |

En général, tous les processus d'évaporation exigent de grandes quantités d'énergie et conviennent donc seulement aux secteurs qui sont riches en carburant à bon marché. Les coûts

d'énergie sont des dépenses principales de production aux usines de dessalement et, le processus d'osmose inverse est le procédé le plus efficace de dessalement en terme d'énergie et coûts, [13 , 14].

### II-2-Les principales technologies de dessalement des eaux de mer :

Les différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

- 1) les procédés faisant intervenir un changement de phase :
  - évaporation,
  - congélation.
- 2) les procédés de perméation sélective à travers une membrane :
  - transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse) ou d'un gradient de pression (piezodialyse),
  - transfert d'eau sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse) ou sous l'action d'un gradient de température (thermoosmose).
- 3) les procédés chimiques :
  - échange d'ions,
  - extraction par solvant.

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés par évaporation et les procédés de séparation par membranes qui sont plus récents (**figure I.1**),[6].

En regardant toutes les usines de dessalement dans le monde nous nous rendons compte simplement que trois technologies principales de dessalement sont employées :

- Le processus MSF : 43,5% de production du monde.
- L'osmose inverse : 43,5% de production du monde.
- Le processus MED ; qui a augmenté nettement dans le monde.

En ce qui concerne l'eau de mer comme eau d'alimentation, le MSF mène à 66,3% et l'OI à 22,4% , [16].

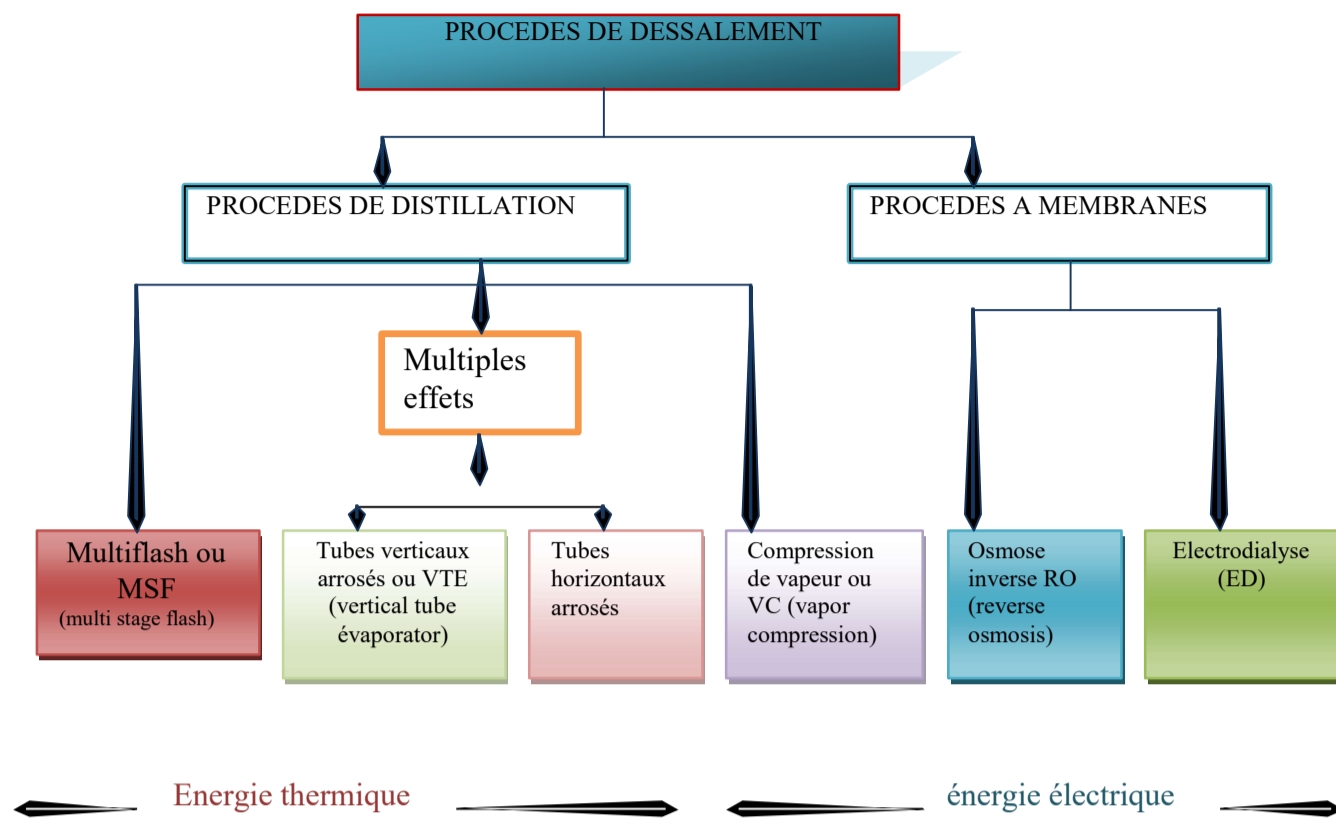


Figure II-1 : procédés industrialisés de dessalement, [6].

Une installation de dessalement peut-être schématiquement subdivisée en 4 postes :

- une prise d'eau
- un prétraitement
- l'installation de dessalement proprement dite
- post-traitement

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement.

Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

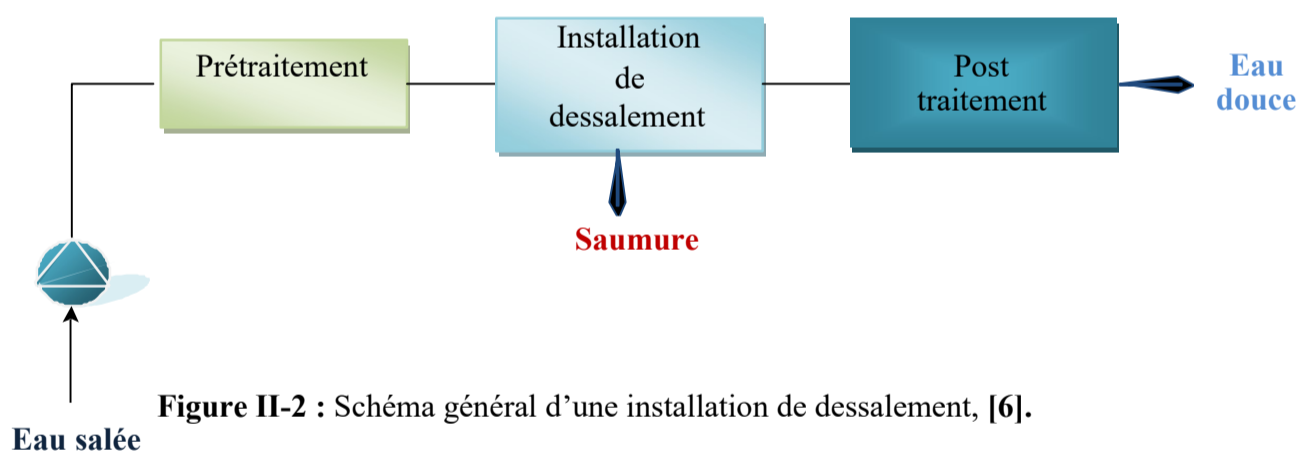


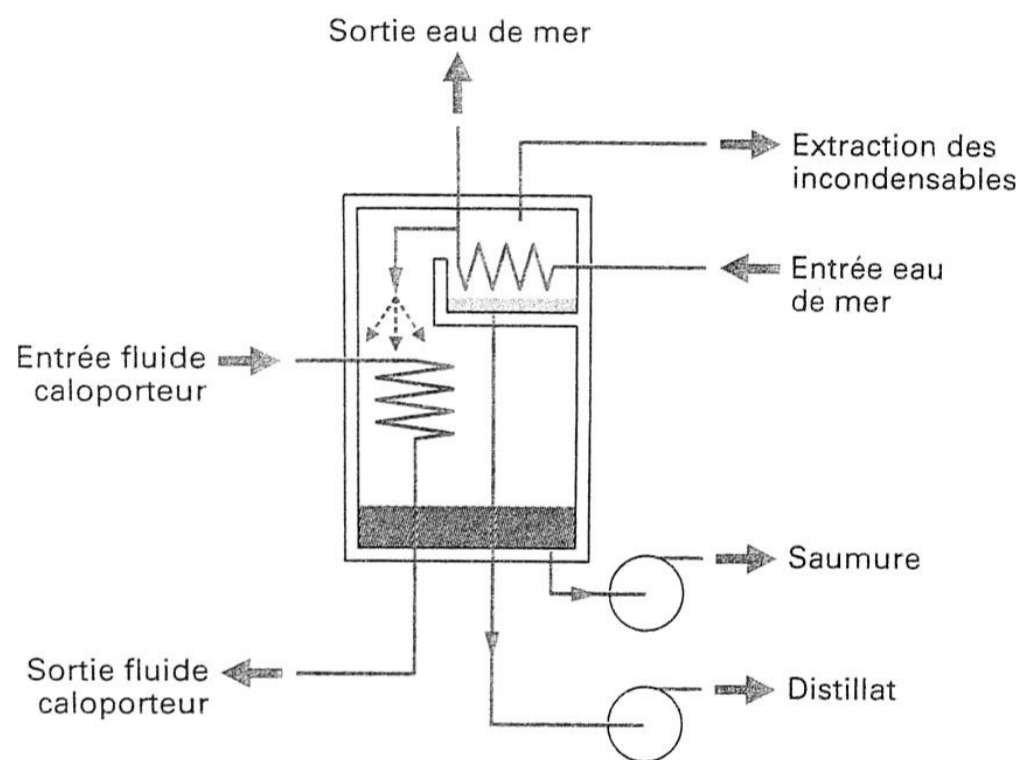
Figure II-2 : Schéma général d'une installation de dessalement, [6].

**II-2-1-Les procédés de 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 long temps, [6].

**II-2-1-1-Distillation à simple effet :**

Ce procédé est mis en œuvre 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 (figure I.3). 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, [15].



**Figure II-3 :** distillation à simple effet, [source: SIDEM]

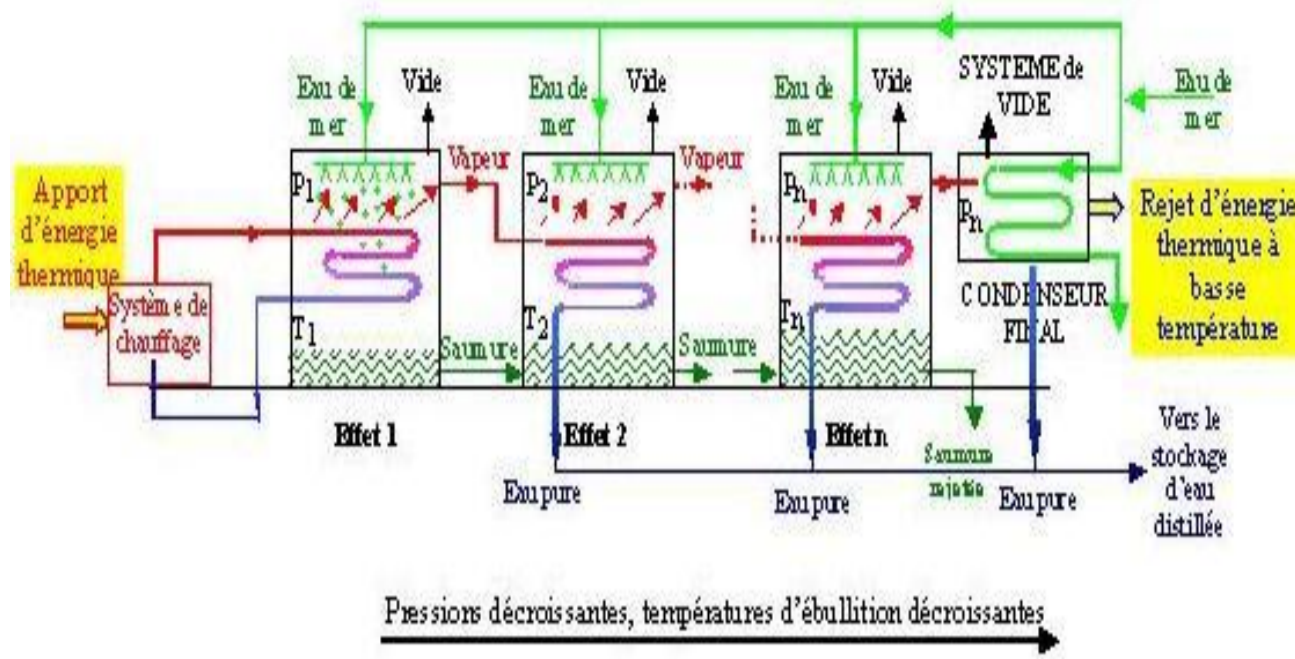
**II-2-1-2-Distillation à effet multiple (Multi-Effect distillation MED):**

Ce procédé est basé sur le principe d'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C, [16 , 2].

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite (voir figure I.4). Ainsi ; seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m<sup>3</sup> d'eau douce produite), [2].

Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

- Les évaporateurs à multiples effets à tubes horizontaux arrosés sont les appareils les plus utilisés actuellement. Dans ces appareils, le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur produite dans la calandre (enceinte cylindrique qui contient le faisceau de tubes) est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film de l'eau de mer. C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer, [2].



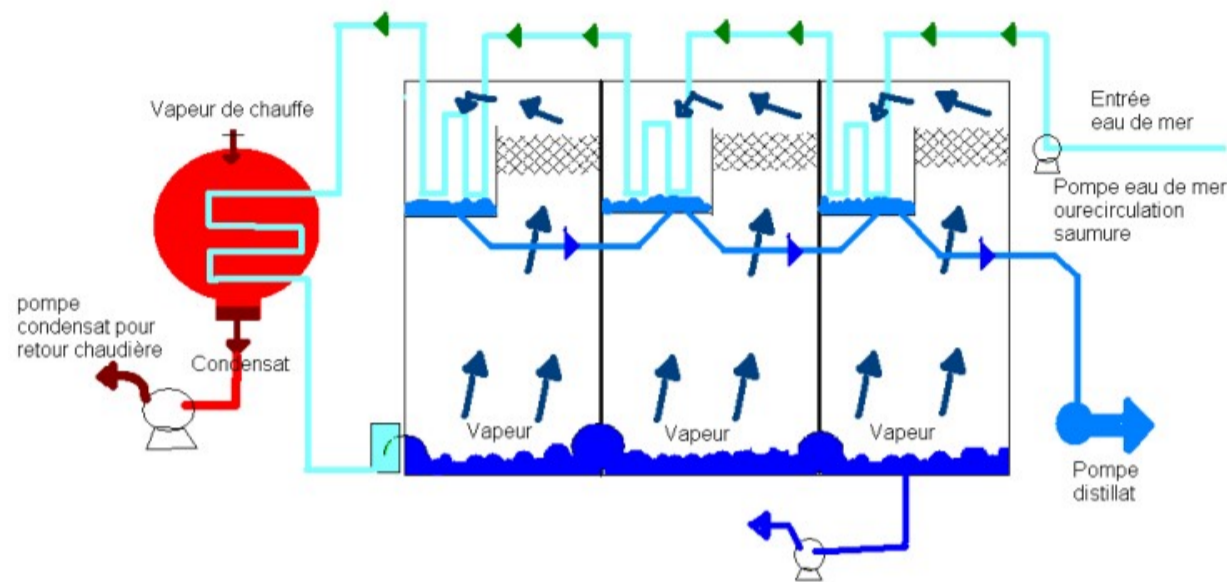
**Figure II-4.** Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).

□ Des évaporateurs multiples effets à plaques sont également en cours de développement. L'eau de mer à évaporer s'écoule alors sous forme de film mince le long d'une mince plaque métallique chauffée par la vapeur provenant de l'effet précédent qui s'écoule le long de l'autre face de la plaque métallique. De nombreuses plaques entre lesquelles s'écoulent alternativement l'eau de mer et la vapeur de chauffage sont associées en parallèle pour constituer un effet. La vapeur produite est recueillie dans une calandre cylindrique dans laquelle sont placées les plaques. Cette vapeur est ensuite envoyée entre les plaques situées dans une calandre qui constitue le deuxième effet et ainsi de suite.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière produisant le fluide de chauffage pour le premier effet. On peut cependant utiliser des chaleurs résiduelles en couplant le procédé MED à des usines de production d'électricité ou des usines rejetant produisant les eaux résiduelles à des températures de l'ordre de 80°C. Il faut également de l'énergie électrique pour les pompes de circulation et la production de vide, [17].

**II-2-1-3-Distillation à détentés étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) :**

La distillation est la plus vieille de toutes les technologies de dessalement. Processus de distillation (MSF) à détentés étagées (figure I.5) a été employée pendant beaucoup d'années et est maintenant le plus grand secteur dans l'industrie de dessalement, [18]. Le processus de MSF produit 56% en tout d'eau douce par rapport aux autres technologies de dessalement, [19].



**Figure II-5** : un processus typique de MSF, [20].

MSF n'a pas eu une grande efficacité mais une énorme capacité, [21]. Il est considéré comme une énergie intensive, [22].

Même si ce n'est pas la technologie de dessalement performante, MSF est le plus populaire. La principale raison c'est sa grande fiabilité, sa flexibilité d'opération et influence relativement une basse de salissure causée par le sel (tartres) dans les échangeurs de chaleur, [23].

La conception typique d'une installation de MSF se compose d'une section de rejet de chaleur, d'une section d'entrée de la chaleur et d'une section de récupération de la chaleur entre eux (figure I.5). L'eau de mer brute est examinée et chlorée avant d'entrée aux étapes successives. Elle sera pompée dans des tubes de condensateur d'une étape à l'autre, alors que la saumure chaude coule au fond de ces étapes dans la direction opposée.

La saumure passe partiellement (flash) en vapeur lors d'entrée dans la prochaine étape et se condense dans le tube externe du condensateur. Lorsque la température de la saumure diminue de l'étape à l'autre, la détente dans l'étape suivante est réalisée par le chauffage global à basse pression. Dans la section d'entrée de la chaleur, la vapeur du réchauffeur est ajoutée et se condense dans le tube du condensateur.

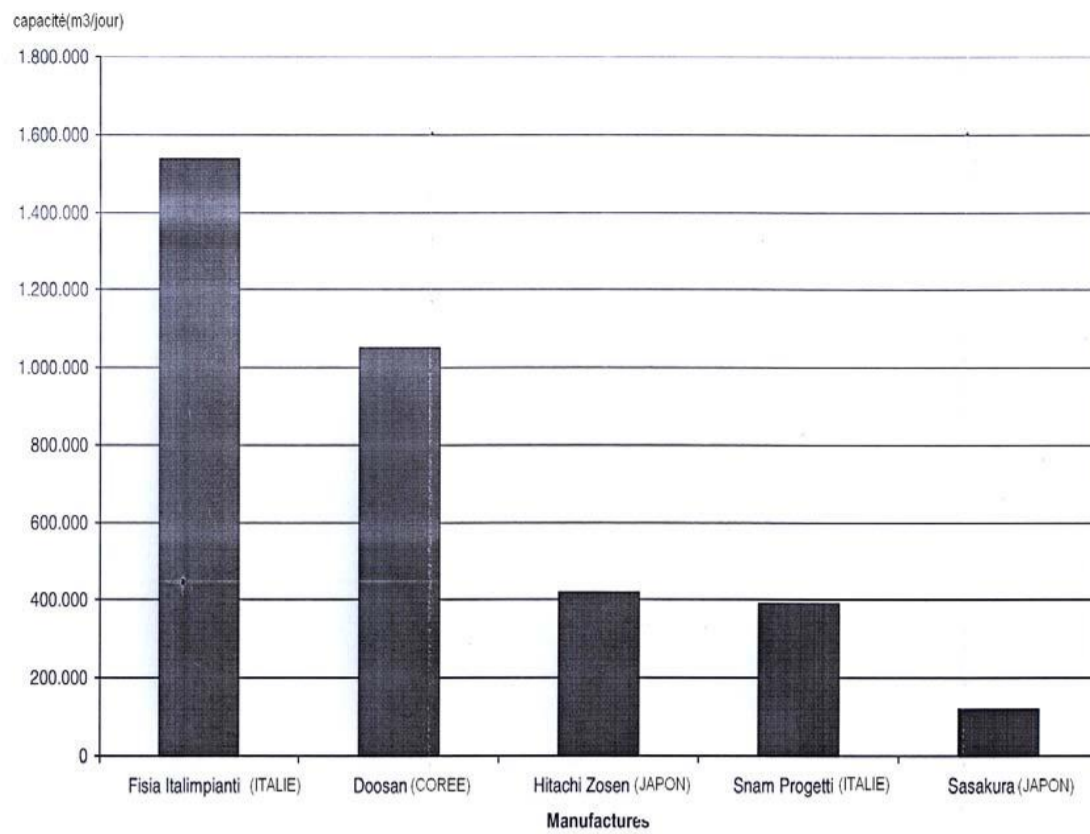
A la dernière étape, la saumure est divisée en jet recyclé et en jet d'échappement, qui est rejeté à la mer. Le jet recyclé est combiné avec la nouvelle alimentation et réintroduit à la section de récupération de la chaleur. La partie de réutilisation de saumure augmente l'extraction d'eau douce et réduit simultanément la consommation des produits chimiques en prétraitement de l'usine, [1].

Aujourd'hui, la plupart des usines de MSF fonctionnent avec recyclage de saumure mais Hamed et al. (1999), [90] déclarent que sans saumure recyclée, pas de nécessité d'anticalcaire et la saumure rejetée devient moins concentrée.

Entre le rejet de chaleur et la section de récupération de la chaleur, l'eau entrante est également divisée en jet de décharge et en jet d'alimentation. La décharge sert seulement au refroidissement. Les produits chimiques résiduels sont présents dans l'échappement de la saumure de la dernière étape. Puisque la saumure rejetée est habituellement mélangée avec deux fois la quantité d'eau de refroidissement [32], la salinité, la température et les concentrations en produits chimiques seront diminuées avant la décharge à la mer.

En raison de l'opération du chauffage d'eau de mer, la conception du processus doit tenir en compte les problèmes qui résultent de cet environnement dur et les différentes étapes de prétraitement sont généralement nécessaires pour augmenter la durée de vie des installations de MSF, [33].





**Figure II-6 :** les grandes usines de dessalement par MSF s'est contractée dans les années 1994-2003. , [24].

#### **II-2-1-4-Distillation par compression de vapeur (VC) :**

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée, [25].

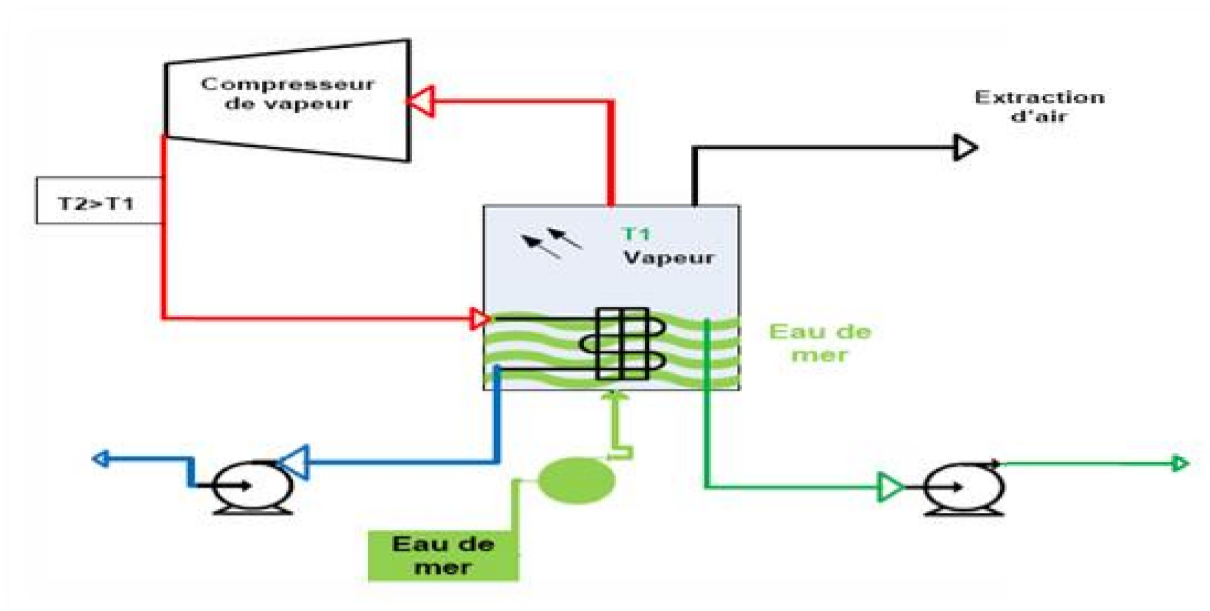


Figure II-7 : Principe de distillation à compression de vapeur, [2].

#### II-2-1-5-CONCLUSION :

La distillation, même si elle comporte quelques inconvénients où même si elle coûte assez chère est un procédé couramment utilisé pour le dessalement de l'eau de mer. C'est aussi un des plus connus et un des plus simples à reproduire. En effet, seule la source d'énergie est difficile à trouver. En fin, nous pouvons affirmer que cette technique restera longtemps en 1<sup>ère</sup> place dans la catégorie « dessalement d'eau de mer » jusqu'à la découverte d'un procédé plus performant et moins coûteux.

**II-2-2-Les procédés membranaire :**

Les membranes ont la capacité de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles au marché. L'électrodialyse (ED) est un processus qui emploie le potentiel électrique pour déplacer les sels sélectivement par une membrane. L'eau produite est sortie comme eau douce. L'osmose inverse (OI) est un processus à pression-conduit, la pression étant employé pour la séparation en permettant à l'eau douce de se déplacer à travers une membrane, et les sels se disposent dans la solution de saumure, [26].

**II-2-2-1-Osmose inverse :**

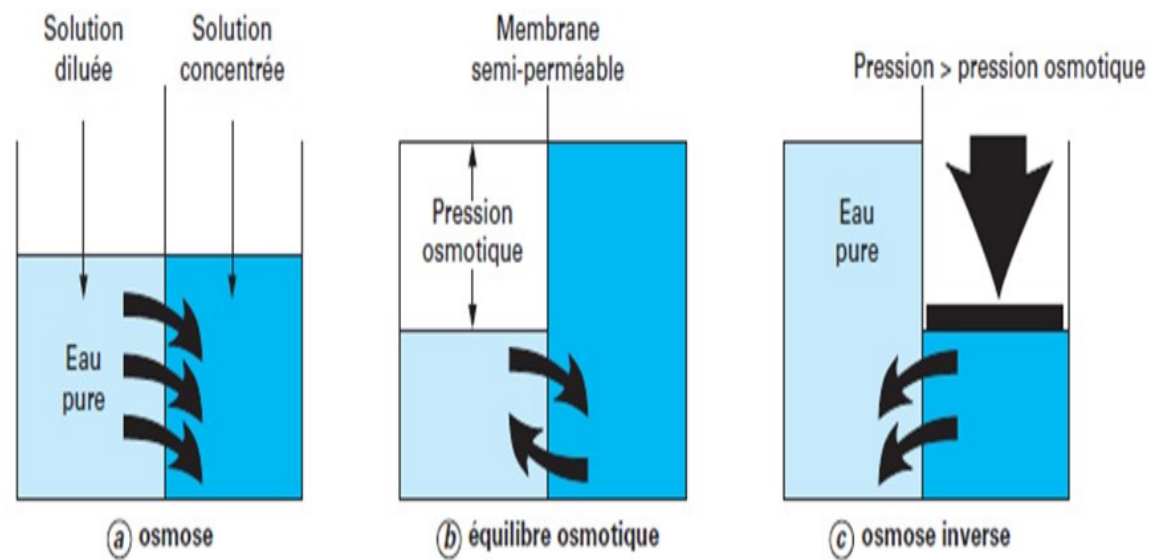
L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de  $10^{-7}$  mm de taille.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ , [2].

**Principe de l'osmose inverse**

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

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure I.8). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement 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 s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure. Cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.



**Figure II-8.** Principe de l'osmose et de l'osmose inverse, [source: google]

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure I.8), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse, [2].

La pression osmotique est importante, et ne peut pas être négligée devant la pression opératoire. Elle est de quelques bars pour une eau moyennement saumâtre, mais avoisine de 2,5 MPa (25 bars) pour l'eau océanique, et dépasse nettement cette valeur en mer rouge ou dans le golf persique, où sa concentration atteint 41 g/l, [27].

L'osmose inverse permet en principe d'atteindre deux objectifs, selon que le produit valorisable est constitué par le perméat (a) ou par le rétentat (b) :

- a) réduire la concentration totale en solutés ; les principales applications sont la production d'eau potable à partir de gisements saumâtres ou d'eau de mer, et l'amélioration de la qualité de l'eau à usage industriel, notamment dans l'industrie des composants électroniques.
- b) Augmenter la concentration d'une solution ; la déshydratation partielle des jus dans l'industrie alimentaire en constituant une application intéressante, à en juger par l'expansion du procédé par rapport aux méthodes concurrentes (évaporation, congélation), [27].

**Application :**

Le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer est l'application la plus importante (95%) de l'osmose inverse.

Depuis 20 ans, un effort continu a été fait pour fournir de l'eau potable, sanitaire, ou d'irrigation dans des zones arides ou dépourvues de disponibilités locales d'une qualité standard ; la plupart des installations sont en territoire anglophone (Etats-Unis, Moyen-Orient, états du golfe persique), mais il en existe en Europe, en Afrique et en U.R.S.S. L'ensemble représentait en 1980 une production quotidienne voisine de 8 000 000 m<sup>3</sup> d'eau potable, dont 5% à partir d'eau de mer, répartie sur quelques 2000 points du globe.

La charge est d'abord filtrée, microfiltrée (5µm), puis prétraité par ajustement de pH ( $\leq 7$ ) et adjonction d'un inhibiteur de précipitation (hexamétaphosphate de sodium) pour protéger les membranes de la dégradation chimique et du colmatage. Des dépôts apparaissent néanmoins, sous forme de colloïdes organiques ou minéraux, de précipités (CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>) et de mucosités d'origine bactérienne. Pour enlever ces dépôts sans abîmer la membrane, on injecte des produits à action chimique (acide citrique, EDTA, détergents à enzymes, émulsifiants non ioniques, formaldéhyde) ou physique (frottement par lit de billes, inversion périodique et brève du flux), [27].

La pompe d'alimentation génère un débit d'eau de mer à pression de 50 – 80 atmosphère, à travers le système de membrane. L'eau dessalée, qui est passée par les membranes d'osmose inverse, reçoit alors un traitement final ; ce qui inclut l'ajustement de son rapport de réactivité, la réduction de sa corrosivité et sa désinfection.

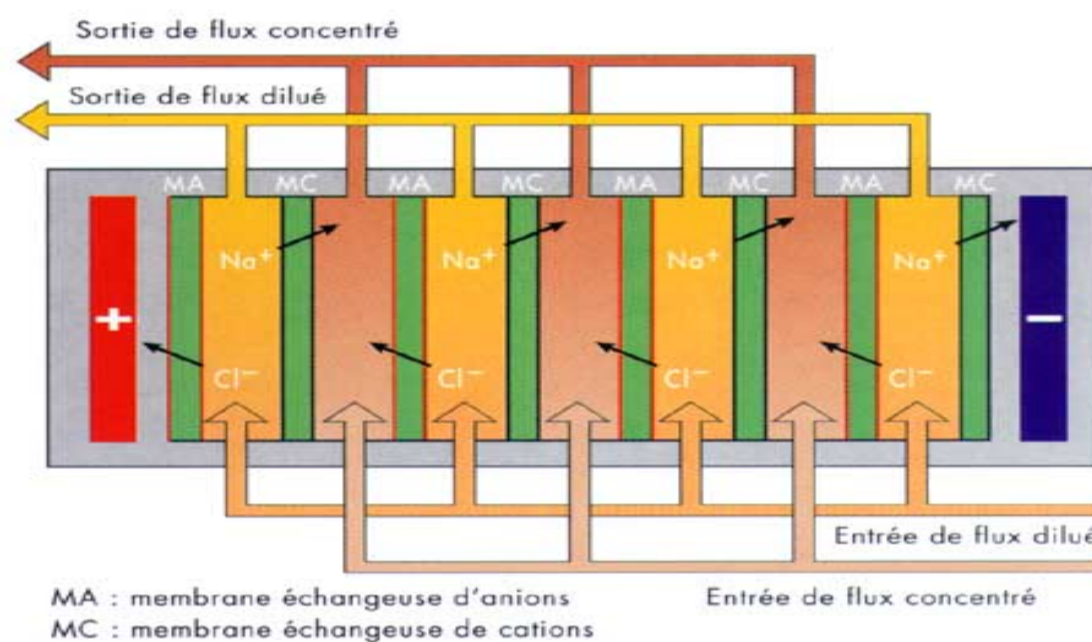
La saumure est déchargée par une turbine, ce qui récupère 30 - 40% de l'énergie investie par la pompe de ce processus et, est alors retournée à la mer.

Un système secondaire utilisé pour le nettoyage périodique des membranes est installé à chaque usine d'osmose inverse, [17].

**II-2-2-2-Electrodialyse :****Principe et application :**

L'électrodialyse est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes, telles que sels, acides ou bases, sont transportées à travers des membranes ioniques et sous l'action d'un champ électrique. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparant ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationique (C) et anionique (A). Grâce à une disposition alternée des membranes, les ions capables de traverser les membranes cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et réciproquement (figure I.9) ; il en résulte une augmentation de la concentration dans les compartiments de même parité (concentrat) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluât), [27].

Pour chaque faraday (96 490 coulombs) traversant l'appareil, il est séparé N/2 équivalent-gramme de sel, N étant le nombre total de compartiments autres que ceux qui contiennent les électrodes, [28].



**Figure II-9 :** principe de l'électrodialyse, [source: google]

L'électrodialyse est généralement appliquée dans le dessalement des eaux saumâtres.

En effet, l'électrodialyse peut obtenir de divers effets de dessalement. Cependant, dans le cas du dessalement profond, le problème d'entartrage hérite le jeu, [29]. Il est relié à la précipitation des sédiments de  $\text{CaCO}_3$ , de  $\text{CaSO}_4$  et de  $\text{Mg(OH)}_2$  sur la surface des membrane

**Tableau II-2: Dessalement de l'eau de mer: bilan des dernières avancées technologique ; bilan économique; analyse critique en fonction des contextes [16].**

| Tableau de comparaison des procédés           | MSF                          | MED                          | MED-TVC              | MVC                         | OI                          |
|---|------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Température de fonctionnement (°C)            | <120                         | <70                          | <70                  | <70                         | <45                         |
| Principale source d'énergie                   | thermique                    | thermique                    | thermique            | Mécanique (via électricité) | Mécanique (via électricité) |
| Consommation thermique (kWh/m <sup>3</sup> )  | 12                           | 6                            | 21                   | non applicable              | non applicable              |
| Consommation électrique (kWh/m <sup>3</sup> ) | 3,5                          | 1,5                          | 1,5                  | 8 à14                       | 4 à 7                       |
| Salinité de l'eau brute (g/l)                 | 30-100                       | 30-100                       | 30-100               | 30-50                       | 1-45                        |
| salinité de l'eau traitée (mg/l)              | <10                          | <10                          | <10                  | <10                         | <500                        |
| Capacité d'un train (m <sup>3</sup> /j)       | 5000-60000                   | 500-12000                    | 100-20000            | 10-2500                     | 1-10000                     |
| Avantages                                     | technique éprouvée           | 20% moins cher que le MSF    | capacité, robustesse | simplicité                  | modularité                  |
| Inconvénients                                 | investissement, consommation | capacité plus faible que MSF | consommation         | capacité limitée            | fragilité                   |

- Les membranes d'une station d'osmose inverse sont exposées aux encrassements.
- Nous citons quelque exemple de colmatage:
  - ✓ la précipitation de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$
  - ✓ la précipitation de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ), de Baryum ( $\text{BaSO}_4$ ) ou de strontium ( $\text{SrSO}_4$ )
  - ✓ les oxydes métalliques (Fer, manganèse, cuivre, Nickel)
  - ✓ les colloïdes inorganiques
  - ✓ le mélange des colloïdes inorganique ou organique
  - ✓ la matière organique naturelle (dans les eaux de surface en générale)
  - ✓ la matière de traitement ( polyélectrolytes, cationiques, séquestrant..)
  - ✓ biologiques ( bactéries, algues, etc. ), [44].

#### II-3-10-1-Les facteurs d'influence :

La nature et la rapidité du colmatage dépend de plusieurs facteurs, comme :

- la qualité d'eau d'alimentation.
- le taux de conversion . etc.

Un colmatage évolue progressivement

- il doit être contrôlé dès le début.
- il peut détériorer la membranes.
- il diminue d'une manière remarquable les performances des membranes dans un court délai.

#### II-3-10-2-Conditions d'opération de nettoyage :

Une nettoyage est nécessaire si les signe d'un colmatage apparaissent. Les signes de colmatage sont:

- une chute de 10 à 15% de débit de production normalisé.
- une chute de 10 à 15% de la qualité d'eau de production normalisée.
- une augmentation de 10 à 15% de la différence de pression normalisées, [44].



**II-3-10-3-Quelques signes de colmatage :**

Ce tableau résume quelques signes de colmatage en fonction de la nature des colmatant .

**Tableau II-4- Quelques signes de colmatage, [44]**

| Cause possible<br>(nature de<br>colmatage)                    | Localisation<br>possible                              | $\Delta P$ (pertes de<br>charge) | Pression<br>d'alimentation | Passage en sel              |
|---|---|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| - Oxydes<br>métalliques                                       | 1 <sup>er</sup> étage<br>1 <sup>ère</sup><br>membrane | Augmentation<br>rapide           | Augmentation<br>rapide     | Augmentation<br>rapide      |
| - Matière<br>colloïdale                                       | 1 <sup>er</sup> étage<br>1 <sup>ère</sup><br>membrane | Augmentation<br>graduelle        | Augmentation<br>graduelle  | Légère<br>augmentation      |
| - Colmatage minéral<br>(CaCO <sub>3</sub> BaSO <sub>4</sub> ) | Dernier étage<br>Dernière<br>membrane                 | Augmentation<br>Modérée          | Légère<br>augmentation     | Augmentation<br>remarquable |
| - Colmatage<br>organique                                      | Tous les<br>étages                                    | Augmentation<br>graduelle        | Augmentation<br>graduelle  | Diminution                  |
| - Polymérisation de<br>silice                                 | Dernier étage<br>Dernière<br>membrane                 | Augmentation                     | Augmentation               | Augmentation                |
| - Biologique  | Tous les étages                                       | Augmentation                     | Augmentation               | Augmentation                |
| - Séquestrant   | 2 <sup>ème</sup> étage                                | Augmentation                     | Augmentation               | Augmentation                |
| - Oxydation   | 1 <sup>er</sup> étage                                 | Diminution                       | Diminution                 | Augmentation                |
| - Fuite   | Partout   | Diminution                       | Diminution                 | Augmentation                |
| - Abrasion  | 1 <sup>er</sup> étage                                 | Diminution                       | Diminution                 | Augmentation                |
| - Hydrolyse   | Tous les étages                                       | Diminution                       | Diminution                 | Augmentation                |

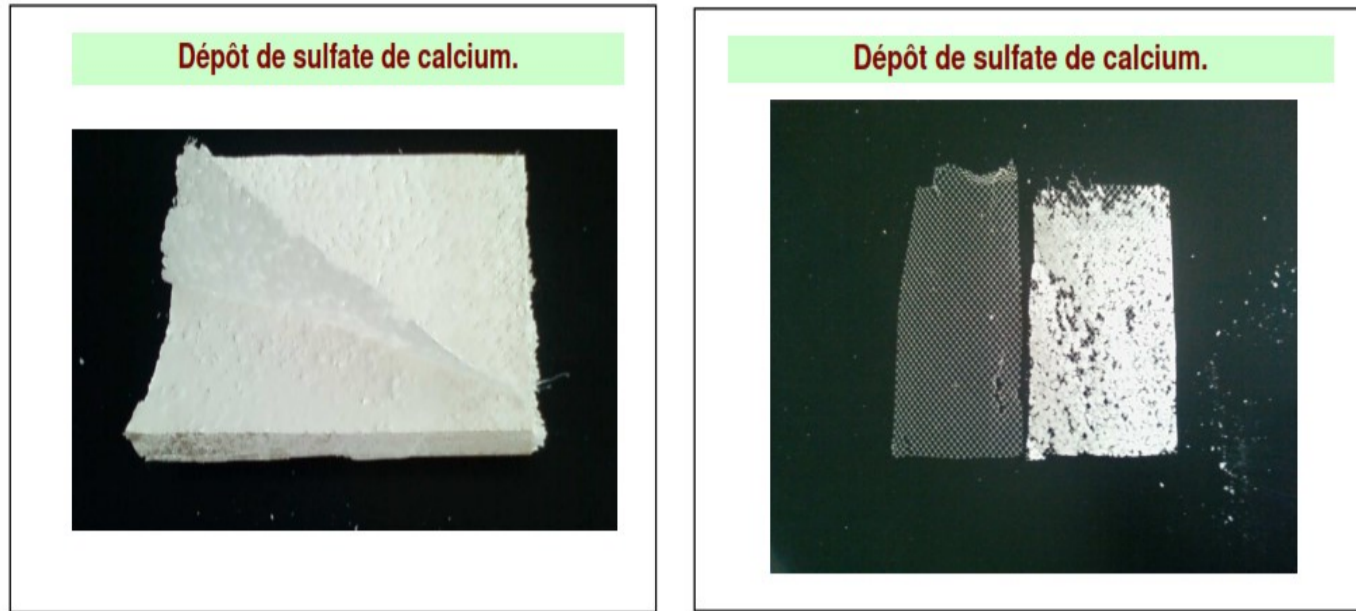


Figure II-13 : Dépôt de sulfate de calcium, [44].



Figure II-14 : Colmatage biologique, [44].

**II-3-10-4-Choix de la méthode de nettoyage :**

- Le choix de la méthode de nettoyage est tributaire de plusieurs facteurs.
- Le facteur le plus déterminant est la reconnaissance du type de colmatage.
- Le degré de colmatage influence le rendement de l'opération de nettoyage.
- Normalement, un nettoyage acide est utilisé en premier lieu pour dégager l'encrassement minéral.
- Un nettoyage basique pour dégager les matières organiques.
- Ce choix est inversé dans le cas du colmatage biologique ou un colmatage causé par les huiles.
- Une mauvaise méthode ou un mauvais produit peut conduire à un effet négatif de nettoyage.

**II-3-10-5- Fréquence de nettoyage :**

- La fréquence de nettoyage des membranes varie d'une station à une autre .
- Un nettoyage tous les trois à douze mois est considéré comme habituel .
- Si la fréquence est élevée, il faut revoir le prétraitement.
- Une fréquence élevée de nettoyage diminue la durée de vie des membranes.
- Le trempage des membranes dans l'eau osmosée pendant les moments d'arrêt diminue la fréquence de nettoyage.
- Une perte de performances normalisées entre 30 et 50% rend impossible le rétablissement de l'état de membrane, [44].

**Tableau II-5. Quelques solutions de nettoyage, [44].**

| Solution | Produit          | Concentration     | pH   | Température |
|----------|------------------|-------------------|--|-------------|
| 1        | Acide citrique   | 2%                | Ajuster le pH à 4 avec $\text{NH}_4\text{OH}$                                      | 40°C        |
| 2        | STPP<br>Na- EDTA | 2%<br>0.8%        | Ajuster le pH à 10 avec  | 40°C        |
| 3        | STPP<br>Na- DDBS | 2%<br>0.25 %      | $\text{H}_2\text{SO}_4$ ou HCl<br>Ajuster le pH à 10 avec                          | 40°C        |
| 4        | HCl              | 0.5%              | $\text{H}_2\text{SO}_4$ ou HCl<br>Ajuster le pH à 2.5 avec $\text{H}_2\text{SO}_4$ | 40°C        |
| 5        | Hydrosulfite     | 1%                | -  | 35°C        |
| 6        | NaOH<br><br>SDS  | 0.19<br><br>0.03% | Ajuster le pH à 11.5 soit avec NaOH ou HCl   | 30°C        |
| 7        | NaOH             | 0.1%              | Ajuster le pH à 11.5 soit avec NaOH ou HCl   | 30°C        |

Le tableau suivant résume le choix des solutions de nettoyage

**Tableau II-6. choix des produits de nettoyage, [44].**

| Encrassement   | Nettoyage modéré | Nettoyage fort |
|--|------------------|----------------|
| CaCO <sub>3</sub>  | 1                | 4              |
| Ca SO <sub>4</sub> , Ba SO <sub>4</sub> , Sr SO <sub>4</sub> | 2                | 4              |
| Les oxydes et hydroxydes de Fer, Mn, Cu, Zn, Al              | 1                | 5              |
| Les colloïdes inorganique                                    | 1                | 4              |
| Les colloïdes mixtes   | 2                | 6              |
| Silice polymérisée   | -                | 7              |
| Biologique   | 2                | 3ou6           |
| Matière organique d'origine naturelle                        | 2                | 3ou6           |

#### II-3-10-6- Procédure de nettoyage :

- Utiliser l'eau osmosée sans chlore ou tout autre oxydant.
- Nettoyer le circuit de nettoyage (bâche, filtre...).
- Faire dissoudre les produits de nettoyage en agitant parfaitement le mélange.
- Au cours de nettoyage, suivre le comportement de votre solution et essayer de corriger les paramètres (exemple: pH).
- Pour démarrer l'opération de nettoyage s'assurer que le circuit de retour de produit chimique est ouvert.
- Éviter un démarrage brusque.
- Entre chaque nettoyage acide ou basique, rincer convenablement le circuit de nettoyage, et les membranes avec de l'eau osmosée jusqu'à atteindre son pH.
- Après chaque nettoyage il faut bien rincer les membranes avant de les mettre sous production.
- Au moment de la production il est préférable de jeter la première production au rejet.

#### II-3-10-7- Exemple de procédure de nettoyage :

- 1) Rincer les membranes avec du perméat.
- 2) Préparer dans le bâche de nettoyage une solution **0.5% EDTA** et **0.5%P3 Ultrasil**
  - ✓ La quantité EDTA est calculée comme suit:

$$Qt(kg) = V \cdot 0,005 \cdot 1000$$

- ✓ La quantité d'Ultrasil est calculée comme suit:

$$Qt(kg) = V \cdot 0,005 \cdot 1000 \quad V(\text{volume d'eau utilisé en m}^3)$$

- ✓ Le volume utilisé dépend du nombre des tubes à nettoyer et la tuyauterie.

3) Ajuster le pH de la solution si nécessaire avec de la soude ou de l'acide ( le pH est compris entre 11-12).

4) Bien agiter la solution avant l'utilisation pour dissoudre le produit de nettoyage.

5) Faire circuler la solution pendant 1 heure.

6) Laisser tremper pendant 1 heure.

7) Refaire la circulation pendant 1 heure.

- ✓ Si la solution devient trouble il faut la changer.

8) Rincer les membranes avec du perméat.

- ✓ Le débit de nettoyage est calculé à raison de 8-10m<sup>3</sup>/h/tube.

- ✓ La pression ne dépasse pas 4bars et la température 35°C, [44].

#### II-3-10-8- installation de nettoyage :

L'installation de nettoyage doit comporter:

- une bache de préparation des produits chimiques
- un agitateur
- les instruments de mesure de débit, de température et pression
- un circuit d'alimentation des membranes
- un circuit de retour de produits chimiques
- un filtre à cartouches 5μ
- des prises d'échantillonnage
- des pompes capables de fournir le débit et la pression voulus
- les matériaux de l'installation doivent résister aux conditions de nettoyage chimique, sans qu'il y'a corrosion, [44].

**II-3-11-Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :****II-3-11-1-Avantages :**

- Obtention d'une eau très pure après osmose inverse ;
- L'eau osmosée est antioxydant, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation ;
- Le pH légèrement acide de 6,6, idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments ;
- Le procédé d'OI ne demande pour sa mise en marche ou son arrêt que quelques secondes ;
- L'OI peut être schématisée par une pompe à haut pression et un ou plusieurs modules (simplicité de représentation) ;
- Faible consommation d'énergie, comparée à d'autres procédés [43].

**II-3-11-2-Inconvénients :**

- Nécessité d'un prétraitement de l'eau brute ;
- Le remplacement des membranes d'OI représente 5% du coût du traitement ;
- La séparation membranaire possède un talon d'Achille c'est le « le colmatage » qui est responsable dans trois quart des cas du vieillissement de la membrane ;
- La capacité unitaire d'un module d'OI ne dépasse pas 20 m<sup>3</sup>/j d'eau douce à partir de l'eau de mer, et donc une installation de grande capacité sera constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé.
- Impact négatif du rejet de la saumure sur l'environnement [43].

### **II-3-Procédé d'osmose inverse:**

#### **II-3-1- Introduction :**

Les opérations de filtration membranaire (OI, NF, UF) sont des procédés dynamiques de séparation en phase liquide par perméation à l'aide de membranes semi sélectives sous l'action d'un gradient de pression. La membrane permselective est une barrière qui permet certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare et qui en interdit d'autres ou, de façon moins restrictive, qui en favorise certains par rapport à d'autres.

#### **II-3-2-Définition de dessalement :**

Le dessalement est pratiquement l'extraction de l'eau douce de l'eau de mer, à l'aide d'un moyen ou un procédé pour accroître les ressources en eau potable et diminuer les pénuries dans le monde. [34]

#### **II-3-3-Définitions et descriptions :**

##### **II-3-3-1- L'osmose inverse :**

L'osmose inverse est le procédé par lequel l'eau passe au travers d'une membrane ultra fine, semi-perméable. Cette membrane n'est perméable qu'aux molécules relativement petites, telle que H<sub>2</sub>O. C'est un procédé basé sur les propriétés semi-sélectives qu'ont certaines membranes permettant la diffusion préférentielle de l'eau et la rétention des éléments minéraux dissous, des colloïdes et des bactéries. Ce procédé abouti à de très bons résultats, car il élimine les polluants (trihalométhanes, pesticides, insecticides, pcb...), les bactéries, mais aussi les minéraux contenues dans l'eau.[34]

##### **II-3-3-2-Membrane d'osmose inverse :**

Les matériaux utilisés pour la fabrication des membranes d'osmose inverse sont de nature organique (polymères de deux classes, à savoir les acétates de cellulose et les polyamides) ou minérale. Les membranes à base de polyamide sont à la fois plus sélectives et plus perméables et plus utilisées aujourd'hui que les membranes en acétate. Elles se présentent le plus communément sous forme de modules spiraux.

Le bon rôle que peut jouer une membrane consiste en une haute perméabilité associée à une haute sélectivité ainsi qu'une bonne résistance thermique, chimique et mécanique, pour un coût d'installation et de renouvellement contrôlé, relativement à l'application/produit considérés. La perméabilité des membranes est reliée la taille et à la densités des pores, mais aussi à l'épaisseur de la couche sélective.[35]

### II-3-3-3-Les modules :

Les membranes les plus répandues sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs membranes. Actuellement, trois principaux types de modules sont commercialisés, il s'agit des modules spirales (les plus utilisés), les modules tubulaires et les modules fibres creuses [35].

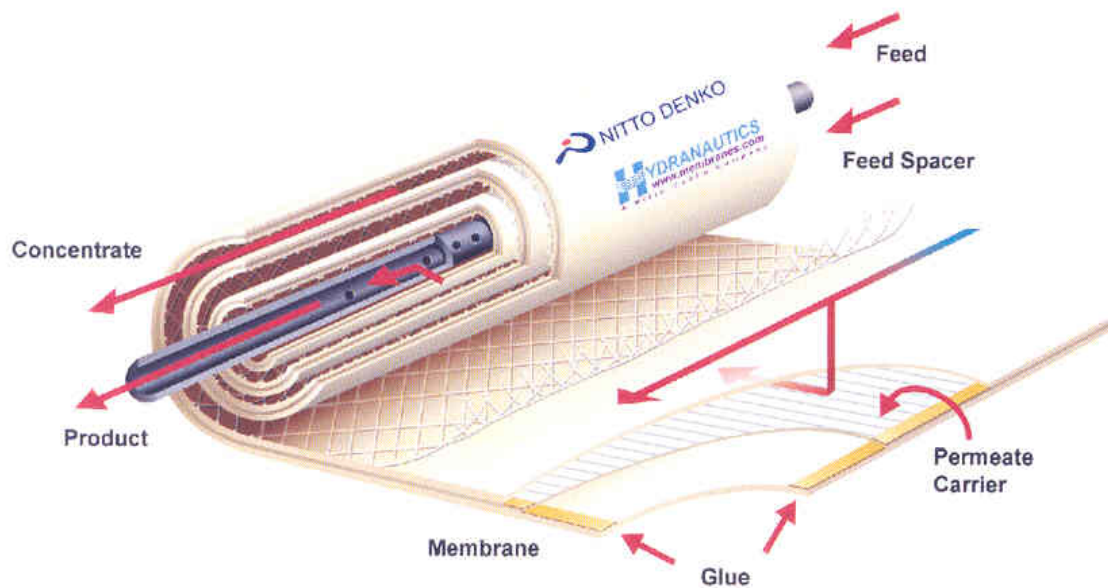


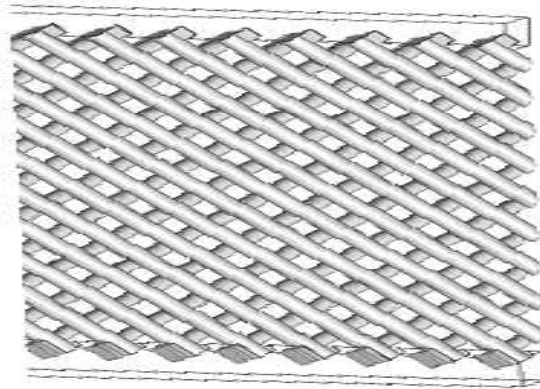
Figure II-10. Représentation d'un module spirale, [36]

### II-3-3-4-Les espaceurs :

#### II-3-3-4-1-Définition :

Les espaceurs sont considérés comme un composé de deux ensembles de droites parallèles tissées ou non-tissées de filaments (cylindriques ou carrés) en plastique, insérés entre les membranes d'osmose inverse, dans les modules en spirale (voir figure II.10). Deux types d'espaceurs sont commercialisés avec différentes caractéristiques d'espacement, à savoir, le diamètre du filament et la distance inter-filament. Ils provoquent des changements de direction du fluide qui s'écoule différemment dans le canal et sont par conséquent l'objet de plusieurs réflexions afin d'augmenter leur efficacité [37].





**Figure II-11:** Représentation d'un espaceur

#### **II-3-3-4-2-Rôle des espaceurs :**

Ces espaceurs jouent un double rôle, à savoir :

- Garder les membranes adjacentes en écart de manière à former un canal d'alimentation.
- Contribuer à la perturbation du fluide essentiellement sur les surfaces des membranes, de façon à maintenir par l'effet de cisaillement la surface de la membrane relativement propre.

L'efficacité et la performance des membranes dépendent de la fiabilité des espaceurs pour augmenter le transport de masse loin de la surface de la membrane et de réduire la polarisation de concentration en augmentant la vitesse du fluide à la surface de la membrane [37].

#### **II-3-4-Principe de l'osmose inverse :**

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

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique  $p$  (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'osmose inverse [1]. (voir figure II.12)

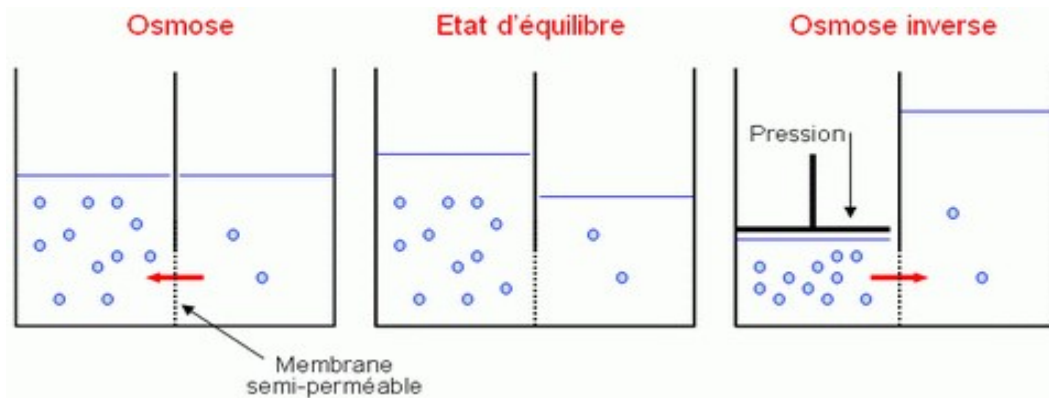


Figure II-12-Principe de l'osmose inverse

### II-3-5-Pression osmotique :

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits. La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume  $V$  et à la même température  $T$ . Si le soluté est dissocié en  $i$  ions, la pression osmotique sera  $i$  fois supérieure [38].

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en soluté selon la relation [38]:

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

$i$  : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté

$C$  : la concentration molaire du soluté ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$T$  : la température (K)

$R$  : la constante des gaz parfaits ( $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$\pi$  : est exprimée en bar.

A noter que cette relation est valable pour des solutions diluées.

#### Exemple de la mer méditerranée:

La concentration massique de Na Cl  $C_m = 37 \text{ g/l}$  ( $3\% = 3 \text{ g}/100 \text{ ml} = 30 \text{ g/l}$ );

$M = 58,5 \text{ g/mol}$ ,  $i = 2$  (deux espèces Na et Cl),  $T = 25^\circ \text{C}$  ( $T = 25 + 273,15$ ) =  $298,15 \text{ }^\circ \text{K}$

$C_m = C \cdot M \Rightarrow C = C_m/M$ ;  $C = 632,478 \text{ mol/m}^3$

$\pi = 2 \times 632,478 \times 8,31 \times 298,15 \Rightarrow \pi = 3134091,6410 \text{ Pa} = 31,34 \text{ bar}$ .

### II-3-6-Mode d'action des membranes d'osmose inverse :

Les membranes d'osmose inverse sont composées d'une couche mince, ou couche active, ou encore peau, de faible épaisseur, comprise entre 0,1 et 1,5  $\mu\text{m}$ , comportant des micropores; cette couche active est supportée par une ou plusieurs couches, à la fois plus poreuse et mécaniquement plus résistante.

C'est la couche mince qui contrôle le passage sélectif des substances. Il est couramment admis que la sélectivité et la perméabilité des membranes d'osmose inverse résultent des effets récurrents dus à la solubilité et à la diffusion des substances dans les matériaux membraneux. Ainsi, chaque constituant du milieu traité, solvant ou soluté, se dissout plus ou moins dans le matériau de la peau. Ensuite, les molécules ou ions dissous diffusent au travers du matériau de la couche mince sous l'action de la force motrice de transfert due au gradient de pression, essentiellement hydrostatique. En général, l'étape de dissolution est prépondérante, déterminant la nature des substances qui pourront traverser la membrane [39].

### II-3-7-Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :

#### II-3-7-1-Définitions:

Les éléments de base pour le fonctionnement d'une unité d'osmose inverse sont caractérisés par les paramètres suivants:

- **Le taux de conversion Y:** Le taux de conversion Y est, par définition, la fraction du débit du liquide qui traverse la membrane :

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

$Q_p$  : débit de perméat,

$Q_0$  : débit de l'eau à traiter.

Le choix de Y (exprimé souvent en %) résulte d'un compromis entre des considérations économiques et des impératifs techniques.[3]

Ce paramètre s'exprime aussi sous la forme du **facteur de conversion Fc**:

$$Fc = \frac{100}{100 - Y}$$

Si Y= 66 %, FC= 3, les sels seront donc concentrés trois fois en admettant qu'ils sont entièrement retenus par la membrane.

- **Le passage de sels PS** : se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation :

$$PS = 100 \cdot \frac{Cp}{Ca}$$

- **Le rejet de sels** : qui est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation :

$$RS = 100 \cdot \frac{Cr}{Ca} = 100 - PS$$

Les lois de Fick et de Henry permettent de relativiser les interactions entre ces paramètres.

### II-3-7-2-Loi de Fick :

Elle précise les paramètres influençant la production d'une membrane d'osmose :

$$Qm = Kp \cdot \frac{S}{e} (\Delta P - \Delta \pi) Kt \cdot Kc \quad (1)$$

Avec :  $Q_m$  : débit d'eau traversant la membrane.

$K_p$  : coefficient de perméabilité à l'eau de la membrane.

$S$  : surface de la membrane.

$E$  : épaisseur de la membrane.

$\Delta P$  : différence de pression motrice.

$\Delta p$  : différence de pression osmotique.

$K_t$  : coefficient lié à la viscosité de l'eau, donc à sa température.

$K_c$  : coefficient de compaction (= vieillissement de la membrane avec le temps de fonctionnement).

### II-3-7-3-Loi de Henry :

Cette loi précise les paramètres influents la rétention des sels par une membrane d'osmose inverse :

$$Qs = Ks \left( \frac{S}{e} \right) \Delta C \cdot Ks \cdot Kc \quad (2)$$

Avec:

$Q_s$  : flux de sels à travers la membrane.

$K_s$  : coefficient de passage de sels.

$\Delta C$  : différence de concentration.

Le tableau suivant résume les interprétations des résultats donné par les lois de Fick et Henry

**Tableau II-3: Interprétation des résultats donne par les lois de Fick et Henry.**

| Caractéristiques       | Débit produit ( $Q_p$ ) | Salinité produite ( $C_p$ ) |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Pression $\Delta P$ ↑↑ | ↑↑                      | ↑↑                          |
| Température T    ↑↑    | ↑↑                      | ↔                           |
| Salinité            ↑↑ | ↓↓                      | ↑↑                          |
| Conversion Y      ↑↑   | ↓↓                      | ↑↑                          |

**II-3-7-4- sélectivité d'une membrane:**

La sélectivité d'une membrane est généralement définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce que la membrane est sensée retenir. [34]

Les qualités recherchées pour une membrane eau de mer sont les suivantes.

- **Un rejet de sel élevé :** Par le chois des membranes capable de rejeter 99 % des sels, actuellement, les fabricants proposent des membranes affichant des rejets de sel entre 99,0 % et 99,8 %. Le rejet de sel est défini dans des conditions dites « standard », selon les fabricants : teneur en NaCl, pression de travail, température, pH, conversion.
- **La meilleure résistance à la compaction :** La membrane est soumise à de fortes pressions plus de 50 bars qui accélèrent le phénomène de compaction.
- **La meilleure stabilité chimique :** Aujourd'hui, une bonne membrane accepte en fonctionnement continu une eau dont le pH se situe entre 3 et 10. Cette fourchette est largement suffisante car le pH de l'eau de mer prétraitée est de l'ordre de 7. On s'intéressera plus à la fourchette de pH acceptable pendant le lavage ; plus large est cette fourchette, plus grande est la liste des solutions de lavage compatibles et finalement, l'exploitant disposera de moyens plus rapides pour laver les membranes.

**II-3-8-Mécanisme de transfert :**

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation-diffusion. Toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

### **II-3-9-Mise en œuvre et performance :**

#### **II-3-9-1-Techniques d'amélioration des performances de procédés :**

Une variété de techniques ont été développées afin de surmonter les problèmes de polarisation de concentration et de l'encrassement responsable de la baisse de performance induite dans les applications de filtration membranaire [37].

Il s'agit notamment:

- Choix des conditions de fonctionnement (pression, température.....)
- Des méthodes physiques tel que le lessivage de la surface de la membrane,
- Des méthodes hydrodynamiques, en l'occurrence l'introduction des espaceurs.

#### **II-3-9-2-Choix des conditions de fonctionnement :**

La performance des procédés d'osmose inverse est reliée à plusieurs variables qui sont :

##### **II-3-9-2-1-Choix de taux de conversion :**

Sur le plan économique, il est intéressant de choisir une conversion  $Y$  élevée pour diminuer simultanément la quantité d'eau brute à pomper (investissement plus faible pour les pompes, filtres...etc, et énergie consommée plus faible) et les rejets à éliminer. Ce dernier point est important puisque le rejet dans le milieu naturel d'une eau saumure concentrée n'est pas toujours possible et son retraitement par lagunage ou même par distillation est alors indispensable.

Sur le plan technique, un taux de conversion élevé a pour conséquence une augmentation de la concentration en sels pouvant dépasser la limite de solubilité de certains d'entre eux entraînant l'entartrage des modules. Une autre conséquence est l'augmentation de la salinité de l'eau produite. En pratique, avec un prétraitement correct, le taux de conversion atteint 60 % en eau de mer et 90 % pour les eaux saumâtres[40].

##### **II-3-9-2-2-Choix de la pression :**

La sélectivité et le flux augmentent avec la pression; on choisira donc la pression la plus élevée compatible avec les recommandations du fabricant du module [39]. Notons cependant que, pour une vitesse de circulation donnée, le flux n'augmente pas proportionnellement à la pression en raison de la polarisation de concentration. Dans la pratique, la pression est fixée entre 55 et 75 bars en dessalement d'eau de mer et entre 8 et 25 bars en dessalement d'eau saumâtre. Si la température augmente, le flux augmente d'environ 3% par degré : il faudra veiller éventuellement à diminuer la pression en cas d'augmentation forte de la température [40].

**II-3-9-2-3-Importance de prétraitement :**

Le choix du prétraitement est fondamental dans une filière incluant des membranes haute pression (osmose inverse ou nanofiltration) car il permet de protéger la membrane vis-à-vis du colmatage minéral, organique ou bactérien qui engendrerait rapidement un dysfonctionnement de l'étape membranaire, s'il s'avérait insuffisant[41].

Le prétraitement est destiné à :

- réduire très fortement la turbidité de l'eau brute ainsi que les matières en suspension qui y sont associées,
- éliminer toute forme d'hydrocarbures présents dans l'eau brute,
- éliminer les algues lors de leur développement saisonnier,
- réduire très fortement le pouvoir colmatant de l'eau en traitant par adsorption, absorption ou précipitation toutes les substances minérales ou organique qui y prennent part.

**II-3-10-Nettoyage des membranes :**

Même avec un prétraitement bien conçu et des conditions opératoires bien choisies, on constate toujours une altération des performances, et des nettoyages chimiques doivent être prévus régulièrement [42].

### III-1-Introduction :

L'Algérie qui compte plus de 38 millions d'Habitants, et qui se trouve dans une région semi-aride, souffre actuellement plus que jamais du problème d'insuffisance des ressources en eau.

La sécheresse qui a touché le pays en 2001, a poussé le gouvernement de dresser un grand programme de dessalement (Étude de faisabilité, choix de sites, construction d'usines) avec la participation de ministère des ressources en eau et le secteur industriel (l'Algérienne de l'Énergie).

### III-2-Les ressources hydriques en Algérie :

La pluviométrie est le paramètre le plus important dans l'évaluation des ressources en eau.

Elle varie de plus de 2000 mm/an sur les hauts reliefs en bordure de la mer méditerranéenne, à moins de 100 mm/an au nord du Sahara. Les moyennes annuelles des précipitations suivent une zonalité générale Nord-Sud, qui définit les zones climatiques.

Cependant, on note des également écarts notables entre l'Est et l'Ouest du pays. La région Oranaise (Ouest) est en général moins arrosée que le constantinois (Est), comme on peut le constater au Tableau I-1. [45]

**Tableau III-1: Les précipitations en Algérie (mm). [45]**

|                                | Ouest | Centre   | Est      |
|--------------------------------|-------|----------|----------|
| <b>Littoral</b>                | 400   | 700      | 900      |
| <b>Atlas Tellien (Plaines)</b> | 500   | 450      | 700      |
| <b>Atlas Tellien (Reliefs)</b> | 600   | 700-1000 | 800-1600 |
| <b>Hauts plateaux Tellien</b>  | -     | -        | 400      |
| <b>Atlas Saharien</b>          | 200   | 200      | 400_700  |
| <b>Sahara Septentrional</b>    | 50    | 50_150   | 150      |

Le pays compte 115 barrages, dont 45 ont une capacité supérieure à 10 millions de m<sup>3</sup> et 55 sont de capacité inférieure. À l'avenir d'autres barrages sont à l'étude. On estime à 19,2 milliards de m<sup>3</sup> le total des ressources en eaux de surface et souterraines.

#### III-2-1-Les ressources en eau de surface :

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m<sup>3</sup> pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km<sup>2</sup>), c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAIH) et qui intègrent des années de sécheresse, les ressources en eau de surface sont évaluées à 12.4



milliards de m<sup>3</sup> répartis par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

**Tableau III-2: Répartition des eaux de surface en Algérie, [46]**

| Bassin hydrographique                                 | Oranie<br>Chott<br>Chergui | Chelif<br>Zahrez | Algérois<br>Soummam<br>Hodna | Constantinois<br>Seybouse<br>Mellègue | Sud  | Total |
|---|----------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------------------|------|-------|
| Ressources pot.<br>(hm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 1025                       | 1840             | 4380                         | 4500                                  | 600  | 12,34 |
| Pourcentage (%)                                       | 8,7                        | 15,7             | 37,3                         | 38,3                                  | 0,48 | 100   |

### III-2-2-Les ressources en eaux souterraines :

#### a) Dans le Nord du pays :

Les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l'ANRH et la DGAIH dans le cadre du Plan nationale de l'eau à environ 1,9 milliard de m<sup>3</sup>. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique. Actuellement, on estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle.

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit:

**Tableau III-3: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays, [46]**

| Bassin hydrographique                    | Oranise<br>Chott<br>Chergui | Chelif<br>Zahrez | Algéroise<br>Soummam<br>Hodna | Constantinois<br>Seybouse<br>Mellègue | Total |
|--|-----------------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|
| Ressources pot.<br>(hm <sup>3</sup> /an) | 375                         | 231              | 745                           | 543                                   | 1894  |
| Total(%)                                 | 19,7                        | 12,2             | 39,2                          | 28,9                                  | 100   |

**b) Dans le Sud du pays :**

Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) exploité à 56% et le reste est du Complexe Terminal (CT). Ces des nappes fossiles ou semi fossiles. Les pourcentages d'exploitation sont indiqués sur le tableau suivant:

**Tableau III-4: Pourcentages d'exploitation des nappes du sud, [46]**

| Wilaya      | Prélèvements possibles (Hm <sup>3</sup> /an) |                   |        |
|-------------|--|-------------------|--------|
|             | Continental intercalaire                     | Complexe Terminal | Totaux |
| Biskra      | 24,6   | 9,3               | 33,9   |
| El Oued     | 310,5  | 713,9             | 1024,4 |
| Ouragla     | 507  | 1446,2            | 1953,2 |
| Ghrdaia     | 559  | –                 | 559,9  |
| Adrar       | 1180,1                                       | –                 | 1179,3 |
| Tamanrasset | 184,8  | –                 | 184,8  |
| Totaux      | 2766,9                                       | 2169,4            | 4936,3 |

**III-3-L'expérience Algérienne dans le dessalement:**

La variante du dessalement de l'eau s'avère la solution convenable : le pays dispose de 1200 km de cotes sur la mer méditerranée. La première installation de dessalement remonte à l'année 1964 à Arzew, d'une capacité de 576 m<sup>3</sup> /j travaillant en Multiples effets. L'installation de l'usine de Mostaganem en 1980 a été la plus grande du monde à cet époque, produisant environ 57.600 m<sup>3</sup> /j.

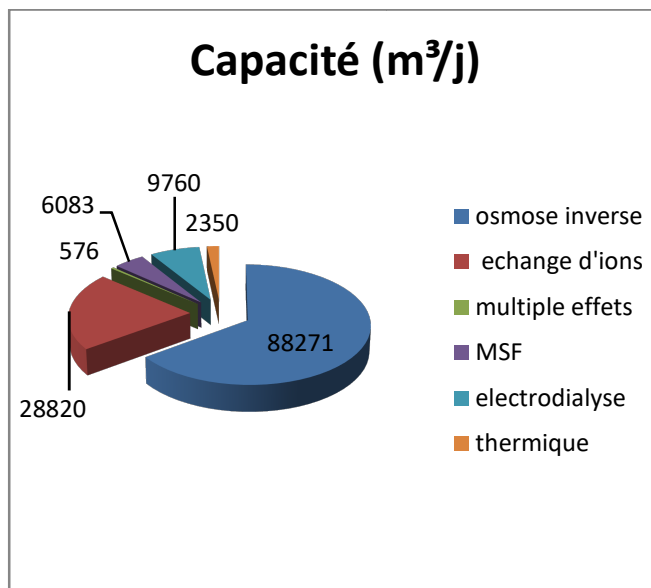
Le nombre de stations de dessalement installées à ce jour est de 56 stations ayant une capacité totale de 146.000 m<sup>3</sup> /j environ. Les techniques de dessalement qui ont été adoptées sont très diversifiées ; pratiquement tous les procédés membranaires et de distillation.

Divers organismes interviennent dans la construction des stations de dessalement (tutelle et exploitation): Ministère des ressources en eau (représenté par l'Algérienne Des Eaux : ADE), SONATRACH (la Compagnie nationale pétrolière), SONELGAZ (la Compagnie nationale de l'électricité et du gaz), la Compagnie nationale « l'Algérienne de l'Energie » (créée récemment entre SONATRACH et SONELGAZ), la société privée Tongo, etc, [45].

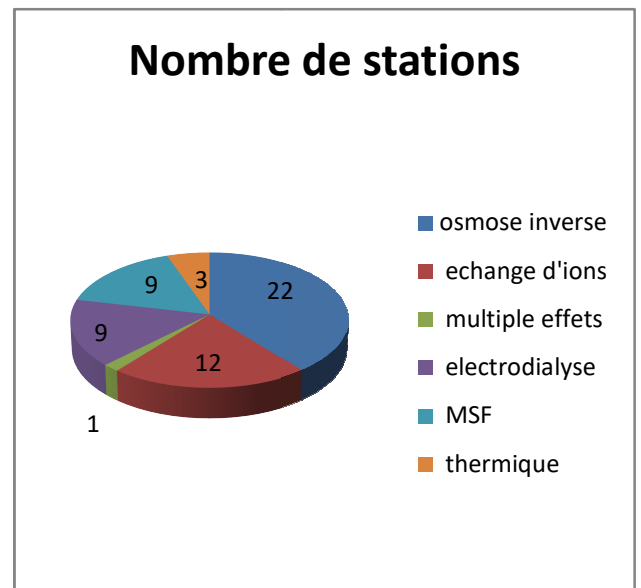
**III-3-1-Les stations existantes :**

Sur les 56 stations réalisées, 22 fonctionnent par la technique d'osmose inverse et produisent plus de 60% de la capacité totale installée, 12 fonctionnent par la technique

d'échange d'ions, 9 stations par l'électrodialyse, 3 stations par MFS, 3 stations par Multiples effets.



**Figure III-1 : Capacité de production des différentes techniques [45]**



**Figure III-2 : Nombre de stations pour les différentes techniques [45]**

### III-3-1-1-Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau :

Pour l'alimentation en eau potable, deux installations seulement ont été réalisées :

- L'installation de l'Ouenza dans la wilaya de Guelma, type Osmose Inverse et d'une capacité de production de 3.360 m<sup>3</sup>/J
- L'installation de Ouled Djellal, type électrodialyse et dont la capacité de production est de 4.320 m<sup>3</sup>/J ; mise en service en 1981.

### III-3-1-2-Stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»:

Pour des besoins de production d'énergie électrique et compte tenu de l'insuffisance et de la qualité des eaux distribuées dans les réseaux d'AEP, SONELGAZ a doté chacune de ces nouvelles centrales à vapeur, d'unité de dessalement d'eau de mer pour produire de l'eau nécessaire à l'appoint des chaudières.

**Tableau III-5: Stations exploitées par Sonelgaz [45]**

| Centrale        | Capacité (m <sup>3</sup> /j) | Technique          | Année d'installation |
|-----------------|------------------------------|--------------------|----------------------|
| Mers el Hadjadj | 1500                         | Thermo compression | 1977                 |
| Mers el Hadjadj | 2000                         | MSF                | 1991                 |
| Mers el Hadjadj | 500                          | Thermo compression | 1989                 |
| Cap Djinet      | 2000                         | MSF                | 1985                 |
| Djidjel         | 2000                         | MSF                | 1992                 |
| Djidjel         | 500                          | Osmose inverse     | 1992                 |

**III-3-1-3-Stations installées par la Compagnie «SONATRACH»:**

A l'époque de l'inauguration de la station de Mostaganem par la Compagnie citée plus haut, dont la capacité est de 57 600 m<sup>3</sup>/j, cette dernière a été la plus importante du monde.

La plus grande expérience dans le domaine de dessalement, ainsi que le plus grand nombre de stations installées revient à la Compagnie «SONATRACH», 31 centrales ont été construites pendant 18 ans : de 1964 à 1982. C'est l'équivalent de 107.401 m<sup>3</sup>/j produits par les différentes techniques, et dont la qualité de l'eau d'alimentation a été très diversifiée (eau de mer, eau chargée de barrage, eau saumâtre souterraine).

**Tableau III-6: Stations exploitées par «SONATRACH», [45]**

| Centrale       | Capacité m <sup>3</sup> /j | Technique          | Mise en service |
|----------------|----------------------------|--------------------|-----------------|
| Arzew          | 576                        | Multi effets       | 1964            |
| Arzew          | 4560                       | MSF                | 1969            |
| Skikda 1       | 2500                       | MSF                | 1971            |
| Skikda 2       | 2500                       | MSF                | 1971            |
| Skikda 3       | 5000                       | Echangeurs d'ions  | 1971            |
| Annaba         | 960                        | Echangeurs d'ions  | 1971            |
| Annaba         | 3600                       | Echangeurs d'ions  | 1973            |
| Ghazaouat      | 840                        | Echangeurs d'ions  | 1974            |
| Arzew          | 3888                       | Electrodialyse     | 1975            |
| Arzew          | 960                        | Echangeurs d'ions  | 1975            |
| Hassi Messaoud | 1000                       | Electrodialyse     | 1975            |
| Hassi Messaoud | 110                        | Electrodialyse     | 1976            |
| Gassi Touil    | 55                         | Electrodialyse     | 1977            |
| Arzew          | 350                        | Thermo-compression | 1978            |
| Annaba         | 14180                      | MSF                | 1978            |
| Hassi Messaoud | 350                        | Electrodialyse     | 1978            |
| Bel Abbes      | 1500                       | Echangeurs d'ions  | 1978            |
| Haoud Berkaoui | 55                         | Electrodialyse     | 1979            |

|                         |       |                   |      |
|-------------------------|-------|-------------------|------|
| <b>Hassi Messaoud</b>   | 300   | Electrodialyse    | 1979 |
| <b>Rhourd El Baguel</b> | 25    | Electrodialyse    | 1979 |
| <b>Arzew</b>            | 960   | MSF               | 1979 |
| <b>Annaba</b>           | 144   | Echangeurs d'ions | 1979 |
| <b>Annaba</b>           | 576   | Echangeurs d'ions | 1979 |
| <b>Bassi-Rmel</b>       | 792   | Osmose d'inverse  | 1979 |
| <b>Annaba</b>           | 6240  | Echangeurs d'ions | 1980 |
| <b>Ghardaia</b>         | 960   | Osmose d'inverse  | 1980 |
| <b>Arzew</b>            | 960   | MSF               | 1980 |
| <b>Mostaganem</b>       | 57600 | Osmose d'inverse  | 1980 |
| <b>Rhourd El Baguel</b> | 300   | Electrodialyse    | 1981 |
| <b>Annaba</b>           | 1800  | Echangeurs d'ions | 1981 |
| <b>Reghaia</b>          | 160   | Echangeurs d'ions | 1982 |

#### III-3-1-4-Stations installées par d'autres Compagnies:

Des petites stations sont aussi construites par des Compagnies du secteur économique privé pour répondre aux besoins de la production, comme la station construite par la Compagnie Tongo à Rouïba –Alger (production de boissons alcoolisées), donnant un débit de

1500 m<sup>3</sup>/j.

**Tableau III-7- : Stations exploitées par d'autres Compagnies, [45]**

| Campanie     | Localité | Capacité (m <sup>3</sup> /j) | Technique        | Réalisée par         | Année d'installation |
|--------------|----------|------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Tongo</b> | Rouïba   | 1500                         | Échangeur d'ions | Chriwa:<br>Allemagne | 2000                 |

#### III-3-1-5-Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER :

C'est la Station de Hassi- khebbi (Béchar): d'une capacité de 20,4 m<sup>3</sup>/j dont le procédé est l'osmose inverse, et fonctionnant à l'énergie solaire. Cette station est destinée au dessalement des eaux saumâtres souterraines dont la salinité est de 3,5 g/l afin d'alimenter en eau potable la localité de Hassi Khebbi comptant 800 Habitants. La station a une configuration permettant de travailler à un taux de conversion de 31% sous une pression de 12 bars. Cette installation dont la date de mise en œuvre remonte à 1975, se trouve actuellement à l'arrêt à cause des problèmes d'entretien.

**III-4- Le programme d'urgence (2002- 2003) :**

Le programme de dessalement annoncé au début de l'année 2002 a prévu la construction de 21 petites stations mobiles monoblocs, d'une capacité totale de 57 500 m<sup>3</sup>/j. Celles-ci ont été réalisées, dans le cadre d'un programme d'urgence, dans sept wilayas de la bande côtière. Deux grands opérateurs ont un quasi- monopole d'intervention en matière de réalisation de ces usines, il s'agit de l'Algérienne des eaux (ADE) et l'Algerian Energie Company (AEC) dont Sonatrach et Sonalgaz se partagent la propriété des actions.

**III-4-1-Les Stations Monoblocs réalisées :**

Les stations monoblocs réalisées sont consignées dans le tableau suivant

**Tableau III-8- : Les Stations Monoblocs réalisées, [45].**

| Wilaya       | Site          | Commune    | Capacité m <sup>3</sup> /j | Population à servir |
|--------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|
| Alger        | Palm Beach    | Staoueli   | 2 500                      | 16 660              |
| Alger        | Champ de tir  | Zéralda    | 5 000                      | 33 330              |
| Tlemcen      | Ghazaouet     | Ghazaouet  | 5 000                      | 33 330              |
| Tipasa       | Bou Ismail    | Bou Ismail | 5 000                      | 33 330              |
| Skikda       | L.BenMhidi    | L.BenMhidi | 7 000                      | 47 000              |
| Tizi Ouzou   | Tigzirt       | Tigzirt    | 2 500                      | 16 660              |
| Oran         | Bou Sfer      | Bou Sfer   | 5 500                      | 33 330              |
| Oran         | Les Dunes     | Ain Turk   | 5000                       | 33 330              |
| Alger        | La Fontaine   | Ain Benian | 5 000                      | 33 330              |
| A.Temouchent | Bou Zdjer     | Bou Zdjer  | 5 000                      | 33 330              |
| A.Temouchent | Chatt el Ward | Bou Zdjer  | 5 000                      | 33 330              |

La répartition de ces stations monoblocs dans la bonde côtière est représentée dans la figure suivante :

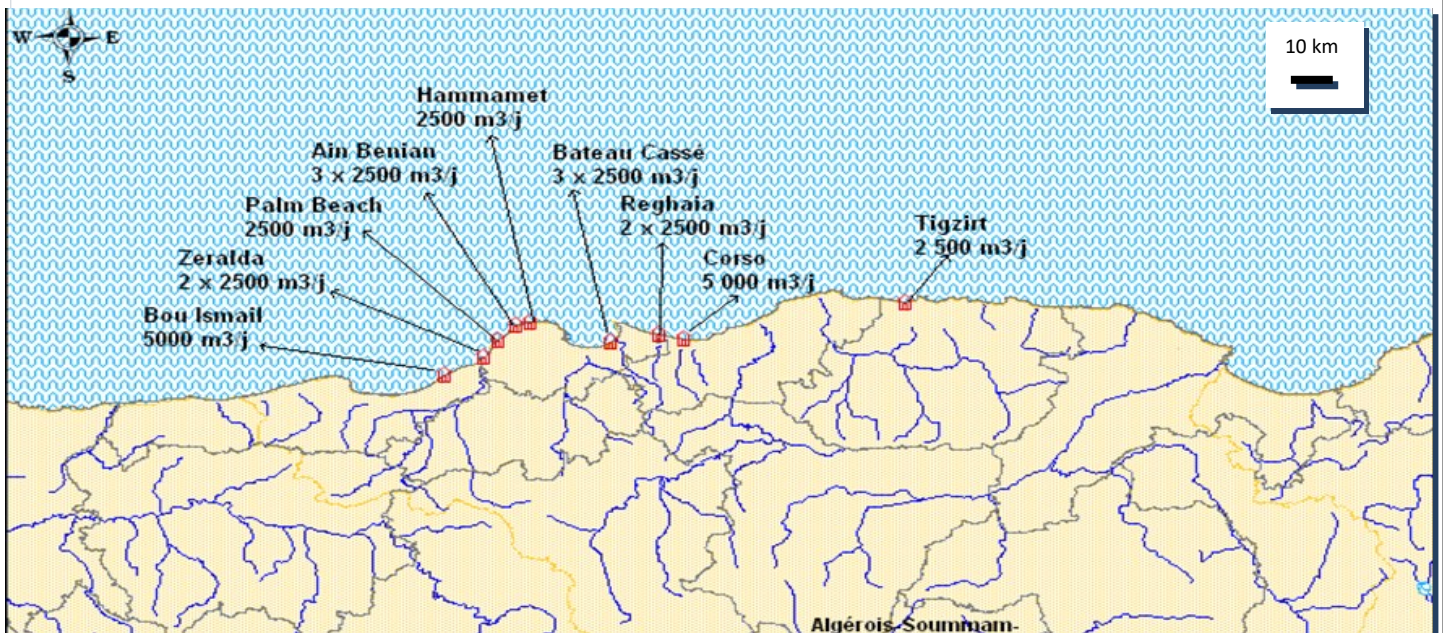


Figure III-3: Répartition des stations monobloc,[45]

#### III-4-2-Programme de réalisation des usines de dessalement:

L'objectif est la réalisation de 43 usines de dessalement opérationnelles d'ici 2019. Quinze grandes stations sont en cours de réalisation, certaines ont déjà été réceptionnées, leurs capacité de production dépassent les deux millions de  $m^3/j$ , une capacité plus importante que celle régulée par le grand barrage de l'Algérie (**Beni Haroune**) qui est destiné à alimenter 5 wilayas à travers un transfert géant.

Tableau III-9 : Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation, [45].

| Localité                | Capacité ( $10^3 m^3/j$ ) | Date de mise en service |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Kahram                  | 90                        | Novembre 2005           |
| Skikda                  | 100                       | Juin 2008               |
| Hamma (Alger)           | 200                       | Février 2008            |
| Beni Saf (A.Timouchent) | 200                       | 2010-2011               |
| Fouka (Tipaza)          | 120                       | 2010-2011               |
| Souk Telta (Tlemcen)    | 200                       | 2010-2011               |
| Magtaa (Oran)           | 500                       | Phase commssioning      |
| Mostaganem              | 200                       | 2011                    |
| Oued Sebt (Tipaza)      | 100                       | en cour de construction |

|                            |             |                         |
|----------------------------|-------------|-------------------------|
| Cap Djinet (Boumerdes)     | 100         | 2011                    |
| Tenes (Chelef)             | 200         | en cour de construction |
| Honaine                    | 200         | 2011                    |
| El Kala( El Taref)         | 50          | 2011                    |
| Djijel                     | 100         | -                       |
| Bejaia                     | 100         | -                       |
| <b>Total : 15 Stations</b> | <b>2460</b> |                         |

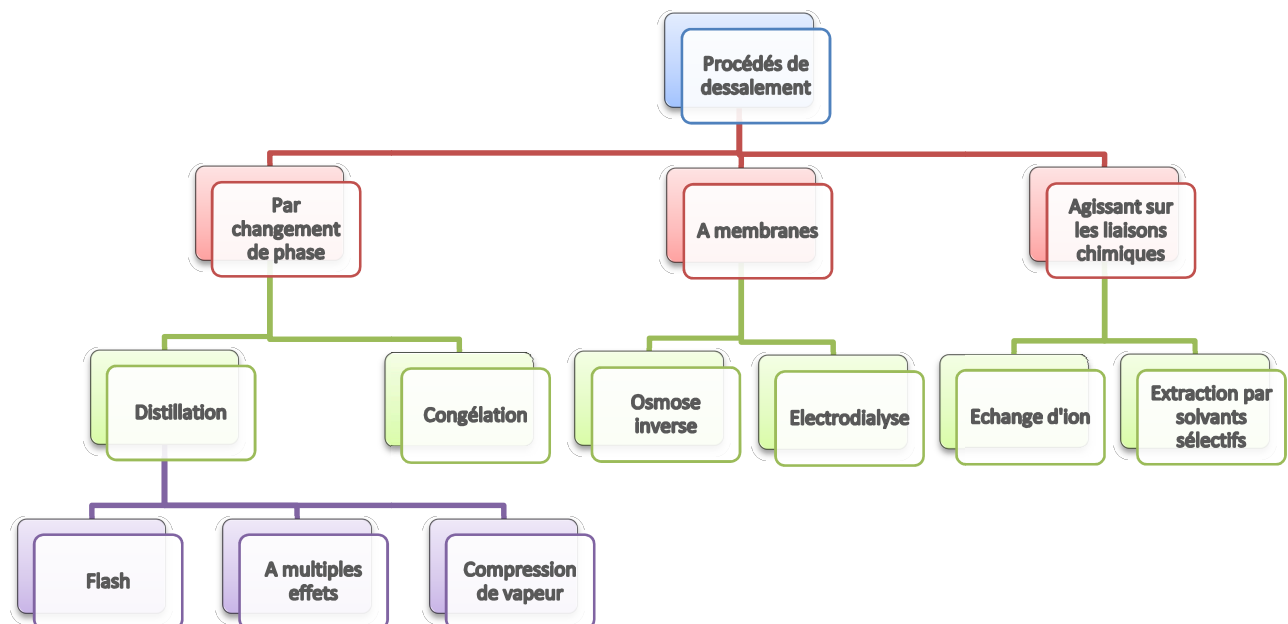
### III-5- Classification des différents procédés de dessalement :

On peut classer les méthodes de dessalement en fonction des procédés utilisés pour se faire, un auteur a recensé 27 procédés différents de dessalement, soient :

- Les procédés qui font intervenir un changement de phase (distillation et congélation) ;
- Les procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse) ;
- Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif).

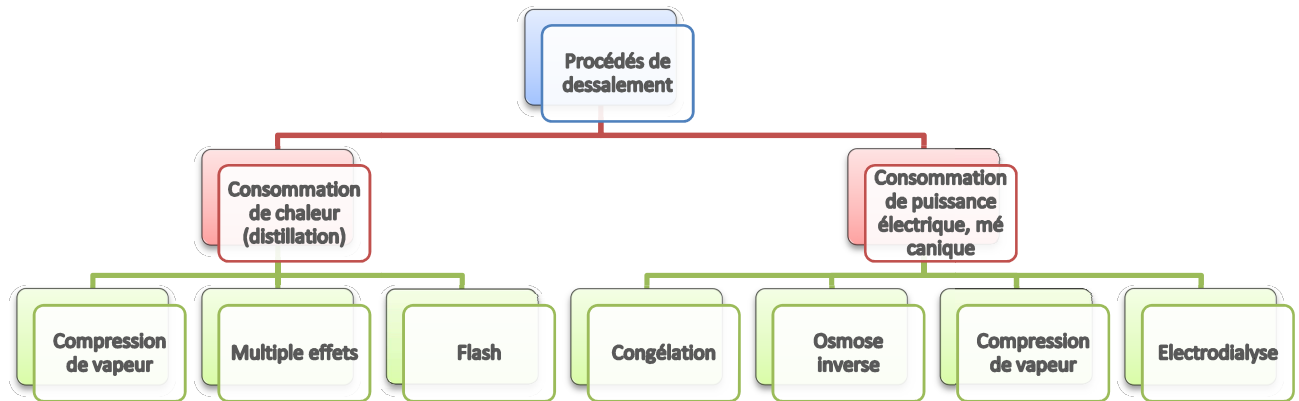
Ces procédés peuvent être classés plus précisément, soit :

#### A) Selon le principe sur lequel ils se basent :



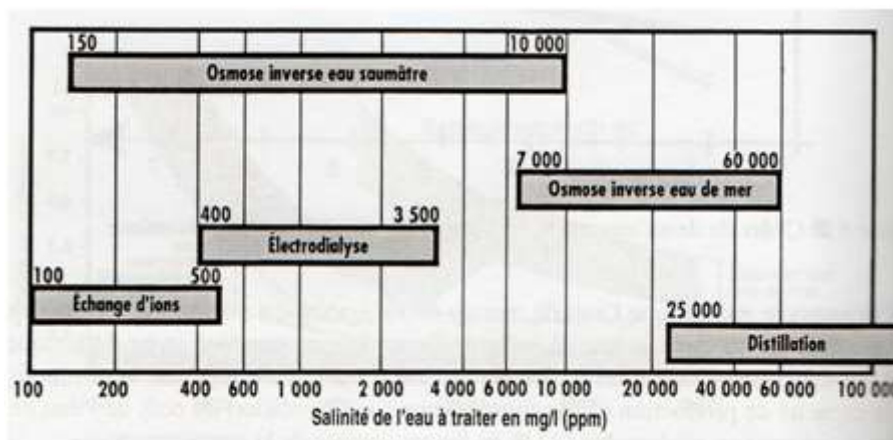


**B) Selon le type d'énergie consommée :**



**III-6-Choix d'un procédé de dessalement :**

Pour le choix d'un tel procédé de dessalement, plusieurs critères techniques et économiques rentrent en jeu. Pour les eaux saumâtres, l'osmose inverse est le procédé généralement retenu, alors que pour les eaux de mer, ce sont d'abord la nature et le coût qui orientent le choix vers une technologie plutôt que pour une autre et en tenant compte la minéralisation de l'eau. [6]



**Figure III-4 : Choix du procédé de dessalement selon la salinité des eaux, [47]**

### **IV-1- Introduction :**

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marine, la perturbation d'écosystèmes importants (herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations).

En dépit du fait que des procédés différents ont été mis au point pour le dessalement, ils ont tous en commun de consister à ôter de l'eau de mer les substances minérales et notamment mais pas exclusivement les sels qui y sont dissouts. Il en résulte donc, un effluent (concentré) qui a une composition chimique similaire à l'eau de mer d'alimentation mais dont la concentration est de 1,2 à 3 fois plus élevée, plus les produits chimiques utilisés au cours des phases de prétraitement et de post-traitement.

Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée.

### **IV-2- Effets potentiels des rejets de saumures sur le milieu marin :**

Le premier risque du dessalement vient du sel. En Méditerranée occidentale par exemple, la salinité naturelle de l'eau de mer se situe entre 37 et 38 (g/l), alors que la salinité du concentré osmotique peut atteindre les 70 g/l.

Or, en Espagne, des études menées en laboratoire et sur le terrain, ont montré que la plante à fleurs aquatique « *Posidonia oceanica* » est très sensible aux variations du taux de salinité de ses habitats naturels. Des effets notables sur la structure de la plante ont été observés à des taux de salinité d'à peine 38,4 g/l et sur sa vitalité dès 39,1 g/l. La forte teneur en sel du concentré rejeté avec l'osmose inverse risque de porter préjudice aux bancs de *Posidonia* classés habitat prioritaire par la directive Européenne pour la conservation des habitats de la faune et de la flore. [48]



**Figure IV-1:** herbier de posidonies de Méditerranée, [48]

« **herbier de posidonies** » : Une plante à fleurs aquatiques très sensibles aux variations du taux de salinité. Ces herbiers constituent un écosystème de premier plan en Méditerranée et exercent une fonction protectrice des littoraux contre l'érosion marine. Ces herbiers sont le refuge d'un grand nombre d'espèces animales (mollusques, poissons, crustacés etc.).

### **IV-3- Origine et type des émissions et rejets :**

#### **IV-3-1-La saumure concentrée :**

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, à proximité de l'émissaire, une cause de mortalité parmi les organismes qui y sont sensibles. De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent se déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire. [49]

#### **IV-3-2-Les rejets chimiques :**

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont

des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée. [43]

Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les phases de traitement du procédé d'osmose inverse de production d'eau potable sont exposées sur le tableau suivant :

**Tableau IV-1 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des Produits utilisés [50].**

| Phases                            | objet   | Produits chimiques ajoutés                            | Devenir des produits  |
|-----------------------------------|---|---|---|
| <b>Ajustement du pH</b>           | -Diminue la concentration de carbonate.<br>-protège la membrane contre l'hydrolyse.                                   | Acide ( $H^2SO_4$ )                                   | -Modifie le pH de l'eau brute et de la saumure ;<br>Le sulfate est retenu dans la saumure concentrée. |
| <b>Antitartre</b>                 | -Prévient la formation de tartre sur les membranes  | Agents chélateurs et dispersants                      | -Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée   |
| <b>Coagulation - Flocculation</b> | -Prévient les salissures et l'encrassement des membranes  | Coagulants - Flocculants                              | -Les agents flocculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration.           |
| <b>Désinfection</b>               | -prévient l'encrassement biologique ;<br>- Elimine-les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes. | Chlore (ou biocide, UV)                               | -Chlore également répartie dans le perméat et la saumure concentrée.                                  |
| <b>Décoloration</b>               | -Protéger les membranes sensibles au chlore   | Bisulfite de sodium ou charbon actif granulaire (CAG) | Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure.         |
| <b>Oxygénation</b>                | -Accroît l'oxygène  |   |   |

|   |   |                                   |   |
|---|---|-----------------------------------|---|
|   | dissout à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique. | Aération                          | Accroît l'oxygénation dans la saumure concentrée.             |
| <b>Élimination d'autres formes chimiques.</b> | -Diminue tous les Polluants susceptibles d'être présents dans l'eau brute.            | Est fonction des formes chimiques | -Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée |

Les produits chimiques rejetés dans le milieu marin se répartissent entre les catégories suivantes:

- **Produits de la corrosion :**

Les produits de la corrosion ne sont pas si importants dans le procédé OI puisque celui-ci se déroule à des températures ambiantes et que les parties métalliques du système sont surtout en acier inoxydable.

- **Agents antitartre :**

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement industriel. La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou une perte de rendement. Dans les usines OI, l'acide sulfurique est utilisé avec des adjuvants polymères pour prévenir la formation de tartre.

- **Agents antisalissures**

Les salissures «fouling» constituent un processus à phases multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries. À ce premier biofilm adhèrent des périphtes, puis des microalgues, des protozoaires et des champignons, et enfin des débris, détritiques et particules inorganiques.

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures. Habituellement, on ajoute du chlore.

- **Agents antimousse**

La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques. Dans le cas de l'OI, il est donc nécessaire d'ajouter des agents antimousse.

#### IV-3-3- Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes:

Dans les usines OI, le nettoyage et le stockage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. De plus, une solution chimique de préservation (généralement à base de bisulfite de sodium) doit être utilisée si les membranes sont stockées pendant la fermeture de l'usine.

Un exemple de composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer dans une usine de dessalement des îles canaries est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau IV-2 : Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer [49].**

(Données analysées dans des échantillons provenant d'une usine OI des îles Canaries)

| Analyse                       | Eau d'alimentation<br>mg/l | saumure<br>mg/l | Rapport (saumure/<br>eau d'alimentation) |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------|--|
| Ca <sup>2+</sup>              | 962                        | 1583            | 1,64                                     |
| Mg <sup>2+</sup>              | 1,021                      | 1,09            | 1,87                                     |
| Na <sup>+</sup>               | 11,781                     | 19,346          | 1,64                                     |
| K <sup>+</sup>                | 514                        | 830             | 1,61                                     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,004                      | 0,005           | 1,25                                     |
| HCO <sup>-3</sup>             | 195                        | 256             | 1,31                                     |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 3,162                      | 5,548           | 1,75                                     |
| Cl <sup>-</sup>               | 21,312                     | 43,362          | 2,03                                     |

|                       |             |             |      |
|-----------------------|-------------|-------------|------|
| NO <sup>3-</sup>      | 2,6         | 4           | 1,54 |
| PO <sup>4-</sup>      | 0,08        | 0,4         | 5    |
| Salinité totale (TSD) | 38,951      | 63,840      | 1,64 |
| Conductivité          | 46200 µs/cm | 75300 µs/cm |      |
| pH                    | 7,85        | 6,92        |      |

#### IV-3-4- Les émissions atmosphériques :

Toute unité de dessalement doit généralement être accompagnée d'une unité de production d'énergie. Cette dernière génère évidemment une grande quantité de gaz à effet de serre, lesquels auront un impact négatif sur le climat et sur le cycle de l'eau. Certains craignent que la multiplication des usines de dessalement n'entraîne une relance à grande échelle de la construction de centrales nucléaires : chaque unité de dessalement serait accompagnée de son unité nucléaire « dédiée ».

Comme les émissions atmosphériques dues à un procédé de dessalement sont directement en rapport avec ses besoins respectifs en énergie, il va de soi que les émissions dues à l'OI sont moindres que celles dues à la MSF. L'étude d'Afgan (1999) qui porte sur des usines de dessalement des pays du Golfe a permis de calculer des indicateurs de durabilité qui ont confirmé ce qui précède, ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

**Tableau IV-3 : Indicateurs de durabilité pour les usines d'OI et de MSF avec une source locale d'énergie électrique [49].**

| Les indicateurs  | MSF  | OI    |
|--|------|-------|
| Indicateur de ressources en combustible, kg combustible /m <sup>3</sup>              | 11   | 1,8   |
| Indicateur environnemental pour CO <sub>2</sub> , kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | 37   | 7     |
| Indicateur environnemental pour SO <sub>2</sub> , kg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | 0,09 | 0,005 |
| Indicateur environnemental pour NO <sub>x</sub> kg NO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup>   | 0,06 | 0,009 |

**IV-4- Pollution sonore :**

Les usines d'osmose inverse utilisent des pompes à haute pression, des turbines et de récupérateurs d'énergie qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore. Ces installations devraient donc être situées loin des régions peuplées à moins que des moyens de mitigation ne soient utilisés pour réduire leur niveau sonore.

**IV-5- Les enjeux techniques :**

En ce qui a trait aux procédés de filtration par membrane, la perméabilité de celle-ci ainsi que la susceptibilité au colmatage et la dégradation seront évaluées. Le colmatage d'une membrane peut résulter soit de l'obstruction des pores à l'intérieur même de la membrane, soit de phénomènes d'adsorption, ou encore par un dépôt de matière.

La dégradation des membranes peut survenir si les conditions d'opération les exposent à des pH ou des substances chimiques qui ne correspondent pas à leur condition d'opération idéale. Ainsi, la qualité de l'eau de mer peut avoir une influence sur la durée de vie de la membrane.

**IV-6- L'aspect économique :**

La quantité d'énergie nécessaire demeure importante étant donné qu'il faut appliquer à l'eau salée une pression suffisante pour la faire passer à travers la membrane semi perméable, et donc la dépense de production est associée à l'énergie nécessaire pour le fonctionnement. Une autre dépense est associée aux systèmes de prétraitement qui comportent la filtration, la désinfection ....Etc. Des coûts importants sont aussi liés à l'achat des membranes qui ont une durée de vie limitée, quoique moindres que les dépenses décrites précédemment, ils doivent tout de même être considérés puisqu'ils sont récurrent et qui ils peuvent fluctuer en raison du marché ou de la technologie sélectionnée. [51]

**Tableau IV-4 : L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse [51].**

| Aspect     | Critère                              | Description   | Évaluation de l'impact |
|------------|--------------------------------------|---|------------------------|
| Economique | Coûts initiaux.                      | Moindre, en comparaison à d'autre procédés comme la distillation. | +                      |
|            | Coûts de maintenance et d'opération. | Nécessite un prétraitement.                                       | -                      |
|            | Consommation                         | Moindre que pour la   |                        |



|                      |   |  |   |
|----------------------|---|--|---|
| <b>Technique</b>     | énergétique.                              | distillation.  | + |
|                      | Capacité de traitement.                   | Le procédé consomme moins d'eau de mer que la distillation pour produire la même quantité d'eau potable. | + |
|                      | Membrane :<br>Colmatage ;<br>Dégradation. | Susceptible au colmatage et à la dégradation.  | - |
| <b>Environnement</b> | Écosystème marin.                         | Les produits chimiques utilisés lors du prétraitement peuvent contaminer le rejet.                       | - |
|                      | Bruit                                     | Utilisation de turbines et de pompes à haute pression bruyantes.   | - |
|                      | Source d'énergie                          | Consommation moindre.  | + |
|                      | Gestion des résidus                       | Les membranes ont une courte durée de vie et constituent des déchets.                                    | - |
| <b>Sociaux</b>       | Réponse au besoin                         | Possibilité d'usine à grande capacité.   | + |
|                      | Main d'œuvre                              | Procédé répandu et bien connu.   | + |
|                      | Acceptation                               | Procédé le plus populaire.   | + |
|                      | Santé humaine                             | Eau produite convient bien aux usages domestiques.   | + |

**Légende : + Impact positif, - Impact négatif.**

**IV-7- Effets dus au prélèvement d'eau de mer :**

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Ce processus comporte des impacts potentiels pour la flore et la faune de la zone concernée.

Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de pré-traitement .

Cependant, le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact :

- le heurt du poisson et d'autre organismes marins sur les tambours avec pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation.
- l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation, qui est une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton.

Les principaux impacts associés au passage dans les circuits de pré-traitement et de dessalement, sont liés à des activités tels que la chloration, les lésions de cisaillement et le changement rapide de pression dans le circuit. La conséquence générale de l'entraînement d'organismes dans le circuit est une réduction du recrutement pour les habitats existants et une chute de la productivité de l'écosystème. [49]

**V-1- Description de la station :**

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la wilaya de TIPAZA, Daira de FOUKA, Commune de FOUKA à la sortie de la ville de Douaouda marine et à l'entrée de Fouka.

A 20 km du chef lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger, elle est sillonnée par la route nationale RN°11 en provenance d'Alger et en direction vers Chlef ; et relié à Koléa par le chemin de wilaya N°110 et à Bou-Ismaïl par le chemin de wilaya N°126.

La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au Nord- Est de la ville de Tipaza. Elle est limitée :

- ✓ Au Nord : la mer Méditerranée ;
- ✓ Au Sud : la commune de Koléa ;
- ✓ A l'Est : la commune de Douaouda ;
- ✓ A l'Ouest : la commune de Bou Ismaïl ;



**Figure V-1 : Photo de la station de Fouka, [source: google earth]**

Il existe un petit port d'échouage au niveau de Fouka marine à environ 2.5 km à l'ouest du site, présentant environ 60 petits métiers de pêche pratiquant de la pêche artisanale. Occupant une plage d'une longueur de 200m.

Le site considéré pour l'usine de dessalement offre une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70-150 m.

Signalons aussi que l'oued Mazafran se situe à environ 4 km du côté est du site de la station de dessalement.

**V-1-1- Capacité de la station et mode de fonctionnement:**

La capacité de la station de traitement est de 120 000 m<sup>3</sup>/jour basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273 697 m<sup>3</sup>/jour.

La production est étalée sur une période de 24 h/jour soit 5 000 m<sup>3</sup>/heure.

Le système d'osmose inverse est conçu de façon modulaire. Il est composé de six (6) unités d'osmose inverse (OI) d'une capacité unitaire de 20 000 m<sup>3</sup>/jour chacune. Il n'y a pas d'unités en réserve. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes de débits journaliers suivantes :

**Tableau V-1-: Capacité de la station, [52]**

| Nombre d'unité d'osmose inverse en service | Débit (m <sup>3</sup> /jour) | % du débit nominal |
|--|------------------------------|--------------------|
| 1  | 20 000                       | 17 %               |
| 2  | 40 000                       | 33 %               |
| 3  | 60 000                       | 50 %               |
| 4  | 80 000                       | 67 %               |
| 5  | 100 000                      | 83 %               |
| 6  | 120 000                      | 100 %              |

De plus, l'usine pourra fonctionner avec une (1) des deux (2) conduites de la prise d'eau à l'arrêt. Il sera alors possible de passer 100% du débit dans une seule conduite pour une production de 120 000 m<sup>3</sup>/j, [52].

**V-1-2-Les objectifs de notre étude expérimentale :**

- Faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement et relever tous les dysfonctionnements ;
- Effectuer des prélèvements et analyser les échantillons : d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes phases de traitement ;
- Effectuer des prélèvements et analyser des échantillons d'eau de mer à différentes distances du rejet, pour voir l'étendu de l'impact sur les organismes marins (cas de Ain-Benian) ;
- Exploiter les résultats des analyses pour mettre en évidence l'impact de la saumure et des autres rejets sur l'écosystème marin ;
- Proposer des solutions pour pallier à ces problèmes .

**V-1-3-Installation et processus :**

1. une prise d'eau de mer;
2. un poste de prétraitement;
3. l'unité d'osmose inverse;
4. un poste de nettoyage en place CIP ( cleaning in place);
5. un poste de traitement et de re-minéralisation;
6. un laboratoire d'analyse;
7. une station de controle .

**V-2- Description du procédé :**

L'eau de mer sera pompée via une conduite d'une longueur de 50 m, de prise situés à la courbe bathymétrique de 15 m. L'eau est ensuite soumise à un processus de pré-traitement qui comprend :

- Un système de filtration primaire avec des filtres à sables. Une faible quantité de chlorure ferrique est injectée en amont des filtres pour agglomérer les particules contenues dans l'eau brute et les retenir sur les filtres.

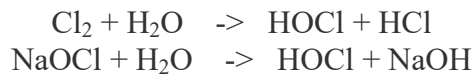
Dans le cas où l'eau de mer brute deviendrait extrêmement turbide un polyélectrolyte pourra également injecté dans le but d'améliorer l'agglomération et de retenir les particules sur les filtres.

- Un deuxième filtrage avec des filtres à cartouches de 5 microns.

Ce système de filtration de l'eau de mer empêchera à l'entrée du système de pompage le passage des débris, des algues, des poissons et d'autres éléments de la flore et de la faune marines.

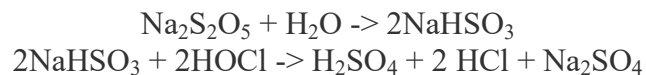
**V-2-1-Traitement d'eau de mer :**

1/ **une pré-chloration** est prévue à l'eau brute (soit au chlore gazeux ; où l'hypochlorite de calcium ; où l'hypochlorite de sodium) (970 l/hr), Ce dernier est utilisé comme traitement choc de l'eau à l'entrée de la station pour limiter la formation de biofilm dans les conduites de la prise d'eau et les filtres.

**2/ Coagulant et polymère**

Avec du chlorure Ferrique (110 l/hr) (où sulfite ferrique) est ajouté à l'eau brute en amont des filtres pour agir en tant que coagulant et agglomérer les particules fines. Un coagulant à base de polymère pourra être injecté lorsque l'eau brute sera très turbide (ex : lors d'un orage).

3/ **Le métabisulfite de sodium où Bisulfite sodium (200 l/hr)** pour éliminer le chlore résiduel où de l'oxydant lorsqu'il y a une préchloration à l'eau brute.



Ces oxydants doivent être éliminés parce que peuvent détériorer de façon irrémédiable les membranes de polyamide aromatique.

4 /polymère (occassionnel) de **(2500 l/hr)**.

5/ **L'acide sulfurique** (350 l/hr) pour réduire le pH =7 de l'eau de mer avant sont entrée aux filtres.

L'objectif de cette réduction est de :

- Garantir l'effet bactéricide du chlore
- Aider la performance du coagulant ;
- éviter la précipitation de  $\text{CaCO}_3$  à l'intérieur des membranes.

6/ Inhibiteur, pour limiter l'encrassement des membranes : **(9,4 l/hr)**

Après ces traitements, l'eau subira une microfiltration par osmose inverse : l'eau sera envoyée par six (une de réserve) pompes (60 bars) vers les membranes de type (membrane Koch ou Filmtec), l'eau de mer à pression passera à travers les membranes, produisant deux courants à la sortie des membranes : l'eau osmotisée et la saumure

L'eau produite sera stockée dans un réservoir d'une capacité de 5 000 m<sup>3</sup> en béton. Ce volume représente 5% de la capacité de l'usine, ce qui est faible par rapport aux règles de l'art : 15% à 20%.

L'eau produite sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable avant d'être envoyée vers le réseau de distribution.

Le traitement est constitué d'une injection de CO<sub>2</sub> et de la dissolution de calcaire pour augmenter la dureté, suivi d'une injection de soude caustique pour le PH et d'une injection d'hypochlorite de calcium de (85l/hr) pour la stérilisation.

La saumure, conservant une pression de (50 -60 bars) qui sera récupérée et transférée au courant d'eau de mer pré-traitée avant les pompes. d'où un gain d'énergie.

La saumure passera dans un système de neutralisation à l'acide sulfurique et à hydroxyde de sodium avant le rejet en mer. Le lieu de déversement a été déterminé par les résultats de l'étude marine afin d'atténuer les impacts, [53].

**V-3-Description détaillée de l'usine :****V-3-1-Têtes des prises d'eau :****V-3-1-1-Critères de conception :**

Les têtes des prises d'eau sont en béton armé. Elles reposent sur le fond marin. Au stade de la proposition, il est considéré que les têtes des prises d'eau reposeront sur un fond marin stable et qu'aucune fondation particulière n'est nécessaire.

Les grilles d'entrée de la prise d'eau sont à environ 6 m du fond marin pour éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et pour éviter une mise à l'air lors des houles extrêmes.

La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0,1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension et des débris. Des barreaux de 20 mm espacés de 100 mm c/c sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme de grillages amovibles qui peuvent être facilement démontables pour l'entretien. En effet, il est prévu que ces grilles constitueront des endroits propices à la prolifération de moules étant donné que la faible vitesse de l'eau à ces endroits favorise la croissance des larves.

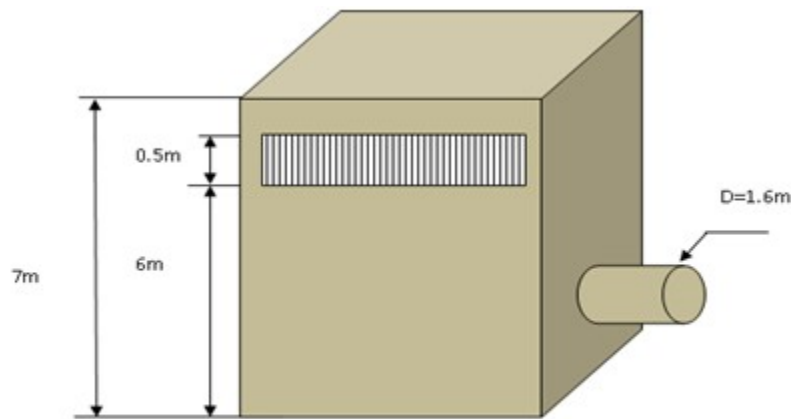
Une chloration choc est prévue à l'intérieur des têtes de prises d'eau. Il n'est cependant pas réaliste de considérer que les grilles, compte tenu de leur surface, seront exposées à des concentrations assez élevées de chlore pour empêcher la prolifération biologique. La chloration choc aura cependant un effet positif pour limiter la prolifération des organismes à l'intérieur des conduites.

Le dosage d'acide sulfurique à l'intérieur des têtes de prise sera prévu pour augmenter l'effet bactéricide du hypochlorite et protéger plus efficacement les conduites jusqu'au puits d'eau de mer.

Les prises d'eau sont munies de trappes d'accès permettant un accès aux conduites.

Les chambres seront remorquées jusqu'à leur emplacement et seront submergées de façon contrôlée sur un lit horizontal creusé auparavant dans le fond de la mer, [52].





**Figure V.2 : Tour de captage, [54].**

### V-3-1-2-Conception :

Basées sur deux (2) prises (chacune des deux (2) conduites de prise est munie d'une tête indépendante), les dimensions de chacune seront les suivantes :

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Débit d'eau brute instantané    | 11 404 m <sup>3</sup> /h   |
| Débit par prise                 | 5 702 m <sup>3</sup> /h    |
| Vitesse d'entrée au débit moyen | 0,1 m/s                    |
| Barreaux                        | 20 mm espacés à 100 mm c/c |
| Facteur d'encombrement          | 80 %                       |
| Surface requise d'entrée        | 39,6 m <sup>2</sup>        |
| Longueur de grille              | 20.0 m                     |
| Hauteur de grille               | 2.0 m retenu               |

### V-3-2-Conduite de prise d'eau :

#### V-3-2-1-Critères de conception :

Les critères de conception pour les conduites de prise d'eau sont les suivantes :

- deux conduites avec un diamètre DN1600 mm sont prévues (2 X 100%).
- en condition normale, chaque conduite passe 100 % du débit;

La conception des conduites d'amenée est aussi basée sur les principes suivants :

- Les conduites sont en PEHD.

- Le puits de pompage d'eau brute et les pompes sont conçus pour permettre le fonctionnement des prises d'eau lors de l'entretien d'une conduite.
- La longueur et l'emplacement des prises d'eau sont environ 1 100 m de longueur et à 15 m de profondeur d'eau.
- Les conduites d'adduction sont posées en pente constante à un niveau de radier croissant en direction de la berge afin d'éviter l'accumulation d'air ou de gaz.
- Des regards d'inspection sont prévus à tous les 300 m environ afin de permettre une inspection visuelle.
- La vitesse dans les conduites est comprise entre 1,0 et 2,0 m/s pour limiter la formation des dépôts et réduire l'incrustation de moules.
- Un coefficient de friction  $C = 150$  a été retenu pour les calculs. Des vérifications sont également réalisées pour un  $C = 130$ , soit la condition selon laquelle des algues se développeraient à l'intérieur des conduites en polyéthylène. Notons que la perte de capacité en raison de prolifération de moules zébrées à l'intérieur des conduites n'est pas prévue, car la vitesse à l'intérieur des conduites est supérieure à 1,0 m/s. En effet, la littérature indique que les moules ne peuvent se former à cette vitesse.
- Les conduites seront déposées sur le fond marin. Cependant, les 300 premiers mètres de conduite à partir de la station de pompage seront enfouis sous le fond marin pour protéger les conduites et assurer leur stabilité contre l'effet des vagues. Cette longueur correspond à une hauteur d'eau entre 5 et 6 m au-dessus des conduites, [52].



**Figure V-3 : Conduite en PEHD, [source: MESLEK.F, Fouka 5/2014 ].**

### V-3-3-Station de pompage d'eau brute :

La station de pompage d'eau brute sert à relever les eaux jusqu'aux filtres à sable.

Trois (3) dégrilleurs verticaux sont à l'entrée de la station pour la protection des pompes. Des vannes murales permettront l'isolation du puits de pompage pour l'entretien. Des vannes d'isolement sont également prévues de chaque côté des dégrilleurs pour isoler chacun d'eux pour entretien. Les pompes de type horizontale verticalisée sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer. La station de pompage est basé sur 6 + 1R pompes d'une capacité de 1974 m<sup>3</sup>/h chacune (total 11 844 m<sup>3</sup>/h > 11 404 m<sup>3</sup>/h pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable) ,[52].

#### V-3-3-1-Critères de conception des dégrilleurs :

|  |        |
|--|--------|
| Débit (m <sup>3</sup> /h)                      | 11 404 |
| Épaisseur des barreaux (mm)                    | 10     |
| Espacement entre les barreaux (mm)             | 50     |
| Vitesse à travers les barreaux (m/s)           | ≈ 1,0  |
| Section équivalente à travers les barreaux (%) | 83%    |



Figure V-4 : Dégrilleurs, [ source: MESLEK.F].



**Figure V-5 :** Station de pompage, [ source: KHATEB.M].

#### **V-3-4-Filtres bicouches gravitaires :**

Les filtres sont opérés à un niveau et débit constant.

- Au niveau de la filtration gravitaire, il est opté pour l'installation des filtres bicouches.

Dans les filtres bicouches, la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite dans notre cas). C'est dans cette première couche que la majorité des particules est retenue. La couche inférieure inclut un matériel fin et plus épais, constituant un traitement d'affinage, [54].

Les caractéristiques des filtres ouverts sont :

- Nombre d'unités en service : 18
- Nombre d'unités en maturation ou lavage : 2
- Type de filtre : Filtre ouvert
- Largeur: 5 m
- Longitude: 15,5 m
- Hauteur de couche : 1 000 mm

- Surface de filtration: 77,5 m<sup>2</sup>
- Surface totale: 1 395 m<sup>2</sup>
- Temps de rétention sur couche pour coagulation: 15 min
- Volume requis : 159 m<sup>3</sup>
- Hauteur d'eau : 2,1 m
- Perte de charge minimale: 0,32 m
- Perte de charge maximale admise: 2 m

#### V-3-4-1-Couche filtrante :

- **Anthracite**
  - Hauteur de couche 400 mm
  - Taille effective 1,5 mm
  - Coefficient d'uniformité 1,3
  - Volume par filtre 31 m<sup>3</sup>
  - Volume total 620 m<sup>3</sup>
  - Densité apparente 0,74
  - Poids par filtre 23 t
  - Poids total 459 t
- **Sable de silex**
  - Hauteur de couche 600 mm
  - Taille effective 0,66 mm
  - Coefficient d'uniformité 1,57
  - Volume par filtre 47 m<sup>3</sup>
  - Volume total 930 m<sup>3</sup>
  - Densité apparente 1,50
  - Poids par filtre 70 t
  - Poids total 1 395 t
- **Gravier (ou membrane filtrante)**
  - Hauteur de couche 100 mm
  - Taille effective 2 mm
  - Coefficient d'uniformité 1,45
  - Volume de sable par filtre 8 m<sup>3</sup>
  - Volume total 155 m<sup>3</sup>
  - Poids de sable par filtre 12 t
  - Poids total 233 t

Les crépines sont remplacées par des faux fond en plastique renforcé.

Les bassins de filtration ont été couverts avec des dalles en plastique afin d'éviter le développement des algues,[54].



**Figure V-6 : Filtres gravitaires, [ source: MESLEK.F].**

#### **V-3-4-2-Lavage des filtres :**

Le lavage des filtres se fait automatiquement à l'air et à l'eau.

Pour le lavage des filtres, un réservoir de saumure de 750 m<sup>3</sup> est prévu. Ce réservoir a une capacité suffisante pour réaliser un lavage de filtres.

Le lavage des filtres se fait avec de la saumure. Le remplissage du réservoir de saumure se fait grâce à une conduite d'un diamètre de 1 000 mm en GRP provenant du rejet des unités d'osmose.

Le lavage des filtres avec saumure est recommandé pour les raisons suivantes :

- La saumure est un sous-produit qui, dans ce cas, est réutilisée.
  - Le lavage avec saumure permet une diminution des besoins en eau filtrée et donc une économie énergétique dans le pompage d'eau de mer.
  - Le lavage avec saumure permet un choc osmotique aidant au contrôle de la croissance bactérienne.
- **Fréquence de lavage des filtres**
    - La fréquence de lavage des filtres est en fonction des matières en suspension (MES) contenues dans l'eau brute.
    - Les filtres sont conçus en fonction d'une charge massique de 2 kg/m<sup>2</sup>.
    - Pour une turbidité de 1,5 NTU (MES = 7,5 mg/l), le lavage s'effectue également aux 24 heures.

- En fonction de MES de l'ordre de 10 à 20 mg/l, les lavages s'effectueront respectivement aux 18 et 10 heures.

Le réservoir d'eau filtrée a un volume de 950 m<sup>3</sup>, il est prévu pour stocker les eaux filtrées avant leur pompage vers les filtres à cartouches. Le réservoir est séparé en deux compartiments pour en permettre l'entretien,[52].

### V-3-5-Filtres à cartouches :

Afin de filtrer les petites particules pouvant s'échapper des filtres à sable et protéger ainsi les membranes contre un encrassement, des filtres à cartouches capables de filtrer des particules jusqu'à 5 microns sont installés en amont des unités d'osmose.

Lorsque la baisse de pression à travers les filtres à cartouches dépasse une valeur préétablie (environ 1,5 bars), la cartouche du filtre doit être remplacée. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois l'an.

Les caractéristiques des filtres à cartouches sont les suivantes :

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| ▪ Nombre de vaisseaux            | 9 + 1R                   |
| ▪ Nombre de filtres par vaisseau | 360                      |
| ▪ Nombre total de filtres        | 3 600                    |
| ▪ Débit total maximum            | 11 409 m <sup>3</sup> /h |
| ▪ Débit par filtre               | 1 268 m <sup>3</sup> /h  |
| ▪ Salinité                       | 38 000 mg/l dans le CRS) |
| ▪ Densité                        | 1 030 kg/m <sup>3</sup>  |
| ▪ Température de l'eau           | 15 – 27 °C               |
| ▪ Solides totaux en suspension   | < 4 mg/l                 |
| ▪ Niveau de filtration           | 5 µm Nominal             |
| ▪ Pression à l'entrée            | 4 bars                   |
| ▪ Perte de charge                |                          |
| ▪ Minimum                        | 0,5 bar                  |
| ▪ Moyen                          | 1,0 bar                  |
| ▪ Maximum                        | 1,5 bars                 |
| ▪ Filtre                         |                          |
| ▪ Diamètre du filtre             | 1 700 mm                 |
| ▪ Longitude cylindrique          | 2 000 mm                 |
| ▪ Pression de design             | 7 bars                   |
| ▪ Composition des filtres        | Ebonited Carbon Steel    |
| ▪ Débit par vaisseau             | 1 268 m <sup>3</sup> /h  |
| ▪ Cartouches                     |                          |

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| ▪ Type                                     | Double open ended                   |
| ▪ Longueur unitaire des cartouches         | 1 500 mm (6 cartouches)             |
| ▪ Diamètre par cartouche                   | 63 mm                               |
| ▪ Débit par cartouche                      | 3,52 m <sup>3</sup> /h – 58,7 l/min |
| ▪ Débit max. autorisé par cartouche        | 100 l/min                           |
| ▪ Débit par 10" de cartouche               | 587 l/h                             |
| ▪ Débit recommandé par 10" de cartouche    | 600 l/h/10"                         |
| ▪ Composition des cartouches Polypropylène |                                     |



**Figure V-7 : L'unité des filtres à cartouches, [ source: MESLEK.F].**

Les paramètres suivants sont mesurés une dernière fois avant l'arrivée de l'eau aux membranes :

- Turbidité
- pH avec alarme de bas et haut niveaux
- Température avec alarme de bas et haut niveaux
- Potentiel redox avec alarme de bas et haut niveaux
- Chlore libre résiduel avec alarme de bas et haut niveaux
- Indice d'encrassement (SDI) (mesures manuelles périodiques)



**V-3-6- Osmose inverse :****V-3-6-1-Filières d'osmose inverse :**

Après le traitement, l'eau est pompée avec des pompes haute pression jusqu'aux modules d'osmose inverse. Six (6) filières d'osmose à une (1) passe sont installées. Les filières d'osmose sont raccordées à un collecteur commun alimenté pour les six (6) pompes haute pression.

Les paramètres de conception adoptés pour les unités d'osmose inverse sont résumés ici :

|   |                           |                              |
|---|---------------------------|------------------------------|
| ▪ Nombre de <i>racks</i> en opération       | 6                         |                              |
| ▪ Nombre de <i>racks</i> en <i>stand-by</i> | 0                         |                              |
| ▪ Conversion                                | ≈ 45 %                    | Total                        |
| ▪ Production par filière                    | 842 m <sup>3</sup> /h     | 121 200 m <sup>3</sup> /jour |
| ▪ Débit d'alimentation par filière          | 1 870 m <sup>3</sup> /h   | 269 333 m <sup>3</sup> /jour |
| ▪ Débit de rejet                            | 1 029 m <sup>3</sup> /h   | 148 133 m <sup>3</sup> /jour |
| ▪ Fluide                                    | Eau de mer                |                              |
| ▪ Salinité                                  | 38 000 mg/l               |                              |
| ▪ Nombre total de membranes                 | 9 072                     |                              |
| ▪ Espace libre                              | 10 %                      |                              |
| ▪ Caractéristiques des membranes :          |                           |                              |
| ▪ Configuration                             | Spiralée                  |                              |
| ▪ Matériel                                  | Polyamide                 |                              |
| ▪ Matériel du tube                          | Fibre de verre et époxy   |                              |
| ▪ Dimensions                                | Dia 8", longueur 40"      |                              |
| ▪ Pression maximale                         | 1 000 psi                 |                              |
| ▪ pH d'opération                            | 2 – 11                    |                              |
| ▪ Température maximale d'opération          | 45°                       |                              |
| ▪ Débit de perméat                          | 26,5 m <sup>3</sup> /jour |                              |
| ▪ Réjection de sel                          | 99,6 %                    |                              |
| ▪ Variation de débit admissible             | ± 10 %                    |                              |



Figure V-8 : Membrane(vue de l'intérieur), [54].

#### V-3-6- 2-Configuration du système d'osmose inverse et taux de récupération :

La station d'osmose inverse nécessite seulement une (1) passe afin d'atteindre le taux de solides dissous requis. Le taux de récupération est estimé à 45 %.

La station d'osmose est dotée des équipements suivants :

- six (6) pompes haute pression, six (6) dispositifs de récupération d'énergie et six (6) pompes *Booster*;
- six (6) trains d'osmose inverse 1<sup>ère</sup> passe;
- un système de nettoyage et de *flushing*.

Dans les conditions nominales du fonctionnement, la production est assurée par les six (6) filières.



Figure V-9 : Filières d'osmose inverse, [ source: MESLEK.F].

### V-3-6-3-Dimensionnement des pompes haute pression :

Les pompes HP sont dimensionnées de façon à pouvoir fournir une pression de 67 bar requise par les membranes à 15 °C et pour une salinité de 38 000mg/l.

- **Pompe à haute pression**

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| ▪ Nombre d'unités en opération | 6                       |
| ▪ Nombre d'unités en réserve   | 0                       |
| ▪ Variateur de vitesse         | NON                     |
| ▪ Fluide                       | Eau de mer              |
| ▪ Densité                      | 1 030 kg/m <sup>3</sup> |
| ▪ Débit de perméat             | 842 m <sup>3</sup> /h   |
| ▪ Perte de <i>leakage</i>      | 19 m <sup>3</sup> /h    |
| ▪ Débit de pompe               | 860 m <sup>3</sup> /h   |
| ▪ Puissance du moteur adoptée  | 2000 kW                 |



Figure V-10 : Pompe HP, [54].

#### V-3-6-4-Système de récupération d'énergie :

La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs de pression.

- **Système de récupération d'énergie**

- Numéro d'unités en service 6
- Numéro d'unités en *stand-by* 0



Figure V-11 : Système de récupération d'énergie PX, [source: MESLEK.F].

**V-3-6-5-Procédure d'arrêt des filières (rinçage) :**

La procédure suivante sera suivie pour arrêter une filière.

- **Inversion**

Aussitôt qu'une des filières d'osmose inverse s'arrête, le phénomène naturel d'osmose prend sa place. Ceci signifie que l'écoulement à travers les membranes est inversé et que l'eau traitée migre du côté du perméat vers le côté du concentrât.

Si le volume d'eau nécessaire à cette opération n'est pas disponible, les membranes pourraient être alors asséchées et endommagées.

Pour éviter le phénomène, il faudra évacuer les volumes de saumure à l'intérieur des tubes du système de *flushing* et de lavage.

- **Rinçage (*flushing*)**

Pour minimiser la corrosion des équipements (pompes, vannes, tuyaux) exposés à de l'eau salée stagnante et pour éviter les risques d'écrasement des membranes en présence de saumure stagnante, la saumure doit être évacuée des filières lorsqu'elles sont à l'arrêt.

Ceci est réalisé par le système de *flushing* et de lavage. Du perméat est pompé des réservoirs de *flushing* jusqu'à la filière d'osmose inverse.

- **Arrêt prolongé**

Pour des arrêts prolongés qui excèdent 2 à 3 semaines, il est recommandé de conditionner les membranes d'osmose inverse en les remplissant d'un biocide afin d'éviter la contamination et l'encrassement biologique.

- **Procédure de lavage des unités de RO**

Avec le temps, l'encrassement des membranes réduira le débit à travers celles-ci. Cet encrassement peut être causé par la présence de matière colloïdale, précipitation de fer, croissance biologique, etc.

Afin de bien contrôler cette situation et redonner les propriétés perdues aux membranes, elles doivent être nettoyées selon une cédule déterminée.

Peu importe la qualité de l'eau après prétraitement, un nettoyage périodique des membranes est requis pour redonner la performance maximale aux membranes. Le tableau suivant résume les différents types d'encrassement et leur effet sur la performance de l'unité d'osmose inverse.

**Tableau V-2: Causes et conséquences de différents types d'encrassement, [52]**

| Types et conséquences de l'encrassement sur la performance de l'usine |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Type d'encrassement   | Débit  | Passage des sels   | Chute de pression  |
| CaCO <sub>3</sub> autres sels   | Faible baisse<br>(< 10 %)                          | Augmentation de<br>10 à 25 %   | Augmentation lente<br>à modérée<br>10 à 40 %   |
| Oxydes de métaux et<br>silicates d'hydroxydes                         | Baisse rapide<br>< 24 h<br>Importante<br>20 à 40 % | Augmentation rapide<br>< 24 h<br>et importante : 2 fois<br>Limite : < 15 % | Augmentation rapide<br>< 24 h<br>Importante : 2*DP <sub>0</sub><br>Limite : < 1,5 bars       |
| Colloïdes organiques et<br>inorganiques                               | Baisse lente : semaines<br>Très importante<br>50 % | Augmentation lente<br>jours<br>Importante<br>2 fois<br>Limite : < 15 %     | Augmentation lente<br>jours/semaines<br>Très importante<br>2 à 4 fois<br>Limite : < 1,5 bars |
| Bio encrassement  | Baisse rapide<br>et très importante :<br>50 %      | Variable   | Augmentation rapide :<br>< 24 h<br>Importante : 2*DP <sub>0</sub><br>Limite : < 1,5 bars     |

Il n'est pas possible de déterminer, à priori, le type ou la fréquence de l'encrassement.

Trois (3) types de nettoyage sont généralement réalisés :

- nettoyage à l'acide à cause de l'encrassement avec des sels et des métaux;
- nettoyage aux détergents dans le cas d'encrassement par colloïdes et matières biologiques;
- nettoyage aux biocides dans le cas d'encrassement par bactéries, par levures ou par fungus.

De façon générale, il est recommandé d'effectuer un nettoyage préventif. Un nettoyage doit être entrepris lorsque :

- le débit du perméat a baissé de 10 à 15 % sous le débit nominal à pression normale;

- la pression différentielle entre la pression d'entrée et du concentrât augmente de 30 %;
- le passage de sels augmente de 10 à 15 %.

Les rejets résultant du nettoyage des membranes sont dirigés vers le réservoir de traitement des effluents pour neutralisation avant rejet, [52].

### V-3-7-Reminéralisation :

Le post-traitement est conçu pour rendre le perméat des unités d'osmose (une eau relativement agressive de faible salinité, de très faible dureté et d'alcalinité) moins agressif et plus approprié à la distribution dans le réseau municipal.

Le perméat d'osmose est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. L'usine de Fouka est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution, [52].

- Le système de reminéralisation se fait avec la chaux ( $\text{CaOH}_2$ ) et le  $\text{CO}_2$ .
- Une désinfection est réalisée avant distribution, un chlore résiduel de 0,5 mg/l est prévu au point de livraison.



Figure V-12 : Silos de la chaux , [source: KHATEB.M].



**Figure V-13 : CO<sub>2</sub> fabriqué sur site, [source: MESLEK.F].**

### V-3-8-Station de pompage d'eau traitée :

- le système de stockage d'eau est constitué d'un bac de stockage d'une capacité de 3 600 m<sup>3</sup> en béton armé.
- La station de pompage d'eau traitée permet de refouler l'eau commerciale jusqu'au point de livraison.
- Les six pompes (6 +1R) de la station de pompage fonctionnent avec un débit fixe et/ou variable afin de garantir les fluctuations de débit et de pression.

Le présent tableau résume les caractéristiques des pompes.

**Tableau V-3: Résumé des caractéristiques des pompes, [52]**

| Description                          | Ligne 1 |
|--------------------------------------|---------|
| Nombre de pompes                     | 6 + 1   |
| Débit des pompes (m <sup>3</sup> /h) | 833,3   |
| Pression des pompes (bars)           | 24      |
| Puissance électrique moteur (kW)     | 750 kW  |





**Figure V-14** : Station de pompage d'eau traitée, [source: MESLEK.F].

#### V-3-9-Laboratoire :

Les équipements de laboratoire permettent la mesure des paramètres suivants :

- calcium, magnésium, sodium, potassium, ammonium, barium, strontium, aluminium, fer et manganèse;
- chlorures, sulfates, phosphate, nitrates, bicarbonate, carbonate, fluor, silice, bore et CO<sub>2</sub> libre;
- fer total en ions et mg équivalent;
- pH;
- dureté totale, dureté calcique;
- alcalinité
- solides totaux dissous;
- coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques;
- conductivité;
- indice de Langelier;
- index *Stiff Davis*;
- SDI (automatique et manuel);
- Turbidité.

**V-3-10-Salle de contrôle :**

La salle de contrôle est munie de deux ordinateurs. L'opération de l'usine est suivie via un système SCADA installé dans les ordinateurs. L'opérateur a l'accès aux données d'opération tel que: l'état des équipements (ON-OFF-FAILURE) et des valeurs analogiques des différents éléments de l'usine. L'opérateur aura la possibilité de partir/arrêter les pompes via des les ordinateurs, [52].

**V-4-Etude expérimentale :****V-4-1-Analyses physico-chimiques des échantillons prélevés :**

Toutes les analyses physicochimiques sont mesurées dans le laboratoire de la station de Fouka.

**V-4-2- Analyses biologiques :**

Les analyses biologiques qui sont faites au niveau du laboratoire de la station de Fouka ont un objectif d'assurer la conformité de l'eau produite aux normes OMS.

Par contre, au niveau d'une petite station à AIN BENIAN l'analyse biologique est effectuée dans les laboratoires de SEAAL de Kouba et a pour but de mettre en évidence un certain nombre de planctons (phytoplanctons), dans l'eau brute et à différentes distances du point de rejet afin de démontrer l'impact de la salinité sur la survie de la faune et la flore.

Ces analyses ne sont pas effectuées dans l'usine de Fouka, mais une étude d'impact de la station sur l'environnement a été réalisée par National Eau et Environnement (NEE) afin de minimiser l'effet de la salinité sur le milieu marin.

Parmi les objectifs de cette étude :

- Évaluation de l'impact sur l'environnement
- Mesures d'atténuation des impacts.

**V-4-3-Quelques généralités :****a) Définition du phytoplancton :**

Le phytoplancton comprend des microalgues (que l'on ne voit pas à l'œil nu) qui se laissent transporter au gré des courants. Ces microalgues, qui possèdent des chloroplastes, croissent grâce à la lumière et produisent de l'oxygène. Elles consomment entre autres, des sels minéraux et des vitamines. Ce sont les producteurs primaires de l'océan, comme les plantes sont les productrices primaires sur la terre, [55].

### b) Définition du zooplancton :

Le zooplancton comprend les animaux du plancton, c'est-à-dire les animaux qui sont transportés aux grès des courants.

Il comprend des adultes de très petite taille (copépodes) et les petits (des larves). Les zooplanctons se nourrissent des phytoplanctons.

[55]

### c) La position des microalgues dans la chaîne alimentaire :

La base de la chaîne alimentaire du milieu aquatique est constituée par des organismes végétaux composant le phytoplancton. Ces derniers sont consommés par de petits animaux phytophages formant le zooplancton, eux-mêmes mangés par des espèces de zooplanctons carnivores.

Un grand nombre d'espèces marines, comme le hareng ou la baleine, microphages, se nourrissent à leur tour de zooplancton, tandis que les prédateurs de second ordre, macrophages, chassent les petits poissons. Au final, ils seront eux-mêmes chassés par des super prédateurs comme l'orque, [56].

Enfin, les déchets des organismes vivants et les cadavres sont décomposés par les détritivores qui les transformeront en éléments minéraux indispensables pour le phytoplancton.

La chaîne alimentaire peut être présentée de la manière suivante :

• **Phytoplancton > Zooplancton > Prédateurs microphages > Prédateurs macrophages > Super prédateurs**

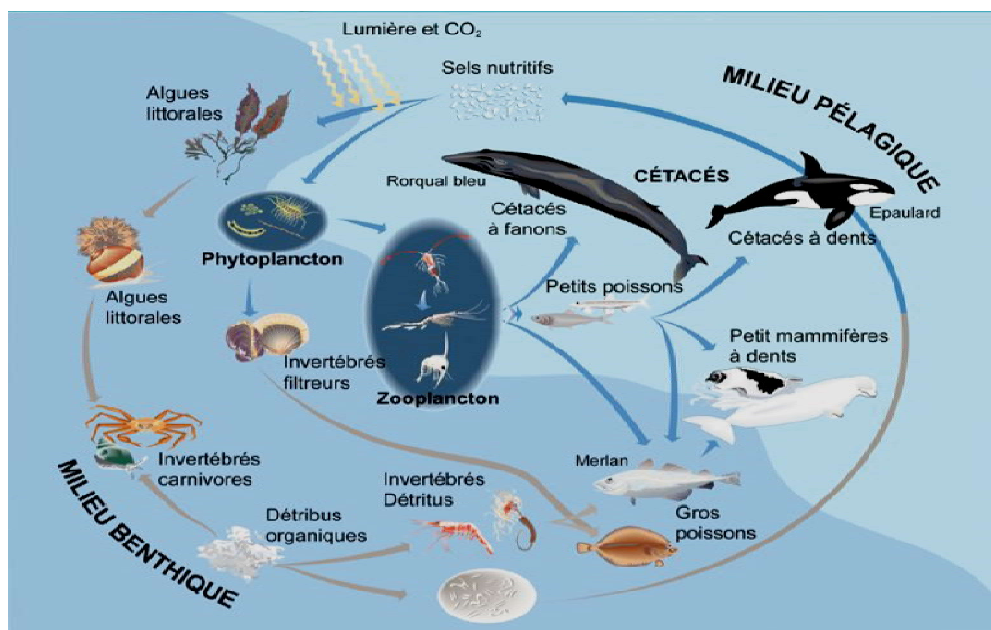


Figure V-15: Chaîne alimentaire du milieu marin, [56]

#### V-4-4-Ecologie marine de Fouka :

Une étude marine réalisée au cours du mois de juillet 2007 par **Conaima**, a permis d'identifier les biotopes présents dans la zone de Fouka.

##### - Méthodologie

Une méthodologie fondée à l'utilisation conjointe de plusieurs techniques de cartographie a été appliquée pour la caractérisation biologique de l'aire d'étude. Elle est détaillée en annexe.

La campagne d'étude marine a été effectuée durant la saison d'été .

##### - Résultats

Dans un tronçon de littoral, d'une superficie totale de 4 ha étudié, il a été observé, que la zone d'étude est constituée par différents peuplements benthoniques qui caractérisent les fonds de la zone d'étude :

L'interprétation combinée des registres de sonar et des vidéos ponctuelles effectuées a permis d'identifier les communautés bionomiques suivantes :

- **Communauté de gazon de *Cymodocea nodosa***
- **Communauté de sables fins bien calibrés**
- **Prairie de *Posidonia oceanica***
- **Communauté de sables lourds soumis à des courants de fond**
- **Communauté Photophile de rocher infralitorales**

##### ➤ **gazon de *Cymodocea nodosa***

Cette Communauté est affirmée sur les fonds de sables fins ou boueux, et bien qu'elle soit très bien représentée dans le secteur d'étude du aux conditions favorables de hydrodynamisme et sédimentation donnés, nous trouvons deux aspects différents de cette Communauté :

##### ➤ **Gazon de *Cymodocea nodosa***

Le gazon de *Cymodocea* proprement dit est la typologie qui domine dans les zones où les conditions hydrodynamiques et sédimentaires sont propices pour un règlement dense de cette phanérogame.

Dans ce cas la présence majoritaire de cette typologie, entre 6 et 15 m de profondeur , est à l'origine d'un accroissement substantiel des sédiments fins qui avec le hydrodynamisme modéré, transforment cette petite zone dans la meilleure situation pour cette communauté.

➤ **Gazon dispersé de *Cymodocea***

La communauté de *Cymodocea nodosa* dispersée apparaît dans des zones où les conditions d'effort hydrodynamique et sédimentaire ne permettent pas le règlement d'une prairie plus dense en apparaissant ainsi une prairie très fractionnée avec des couvertures de fond réduites et densités de faisceaux relativement faibles.

Dans ce cas elle se trouve à la profondeur limite et la seule différence avec la typologie précédente est la densité de faisceaux. Dans ce cas le gazon a une plus petite densité par la dynamique.

➤ **Communauté de sables fins bien calibrés**

La communauté qui est affirmée sur ce type de substrat doux est située dans ce cas dans la bande plus superficielle du secteur d'étude, depuis la ligne de côte jusqu'à la limite supérieure du gazon de *Cymodocea*. Ce substrat se caractérise par son homogénéité et son origine en majorité terrigène, en plus de ne pas présenter trop de boue et ne pas être soumis à l'important régime de courants, en plus de présenter une absence totale d'algues et phanérogames marines.

En outre cette typologie nous la trouvons dans les clairières ou la cuvette du gazon de *Cymodocea*. Dans la zone la plus profonde prospectée, nous continuons à trouver une bande de sables fins qui autant le lit marin gagne profondeur, il se transforme en fonds de sables avec une plus grande proportion de boues.

➤ **Prairie de *Posidonia oceanica***

La prairie continue maintient sa représentation dans l'environnement de notre zone d'étude à partir de la limite inférieure du gazon de *Cymodocea* autour des 15-17 m de profondeur. Dans ce cas il s'agit d'une prairie sur laquelle agit un hydrodynamisme plus modéré que dans le cas précédent, en favorisant la présence de la prairie continue.

Dans les limites de la prairie, cette continuité est perdue à cause de la forte dégradation qu'elle présente. Nous pouvons même observer des zones avec buisson mort en formant de petites taches.

➤ **Communauté de sables lourds soumis à des courants de fond**

Dans quelques points situés sur la prairie de *Posidonia* nous observons que les fonds doux présentent *ripple marks*, structures ondulées produites par les courants en agissant sur la

surface du dépôt. Ceux "ripple" sont, par conséquent, un indice d'un fort hydrodynamisme au niveau local, qui conditionnera le règlement d'unes ou d'autres Communautés dans la zone.

➤ **Communauté photophile des rochers infralitorales.**

Dans le secteur de travail on a uniquement localisé deux zones rocheuses aptes pour le règlement de cette communauté, toutes les deux situées dans les extrémités de la prospection dans zone plus superficielles. Ces deux zones se caractérisent pour être affirmées des communautés d'algues photophilles et c'est la projection de la roche existante dans le tronçon du littoral, en pouvant être des décollements provoqués des petites falaises côtières, [53].

**Information additionnelle sur *Cymodocea nodosa* :**

Nom scientifique : *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson.

**Description :**

La cymodocée n'est pas une algue mais une plante à fleurs. Son appareil végétatif comprend une tige rampante ou rhizome portant des racines et des feuilles étroites formant des touffes. Le rhizome rose, cassant, cerclé cylindrique, est mince (quelques mm de diamètre), à croissance horizontale; elle porte des feuilles alternes, disposées sur 2 rangs opposés et donc situées dans un même plan.

Les feuilles vert clair, étroites (3 mm), allongées (jusqu'à 30 cm), à fines nervures parallèles, à bords dentelés (*Zostera noltii* ayant des bords lisses) et dont l'extrémité du limbe porte de petites dents.

**Distribution et habitat :**

cette plante se distribue par la Méditerranée, côte atlantique du nord de l'Afrique jusqu'au Sénégal et dans les archipels macaronésiens de Madère et des Iles Canaries. Par sa fréquence, sa densité et son extension géographique, *C. nodosa*, est la deuxième espèce de phanérogames marines en Méditerranée.

En Méditerranée, elle se développe en mer ouverte où elle colonise préférentiellement les biotopes relativement abrités, les zones portuaires, l'intérieur des digues et les fonds sableux superficiels entre la côte et la limite supérieure des herbiers à *P. Oceanica*.

Son habitat sont les substrats sablonneux ou bien sablonneux - boueux, dès des eaux superficielles jusqu'aux 35 - 40 mètres de profondeur, dans des ambiances bien illuminées et relativement abrités des vents et des courants dominants, comme baies et anses, bien que parfois ils apparaissent dans des zones plus ouvertes. Ils requièrent aussi une certaine quantité de matière organique dans le dépôt.

Elle peut également donner lieu à de vastes herbiers entre la surface et une trentaine de mètres de profondeur. Plus tolérante à la dessalure, en milieu lagunaire, l'extension bathymétrique de

*C. nodosa* est plus réduite (-2 à -3 m), mais elle colonise de grandes surfaces, notamment dans les lagunes présentant une salinité suffisante, [53].

**Menaces et conservation :**

la construction de ports commerciaux et industriels, ports sportifs, digues d'abri, plages artificielles, émissaires sous-marins, ainsi que les déchets des eaux résiduelles et de saumure de plantes de dessalation, de résidus et y compris certaines modalités de pêche et de cultures marines, ils constituent les principales menaces sur les prairies de phanérogames marines.

Cette espèce est indicatrice de haute qualité environnementale étant sensible à tout taux de perturbation. La dégradation par pollution organique ou industrielle entraîne :

- Un accroissement généralisé des acomptes boueux.
- La disparition progressive des espèces plus sensibles (*Cymodocea nodosa*,...).
- L'expansion d'espèces de vaste valence écologique (*Caulerpa prolifera*,...).
- La survivance de certains polichètes dans la phase la plus dégradée (*Capitella capitata*,...).

**V-5- Résultats et discussion :**

**V-5-1- Résultats des analyses physicochimiques :**

Les résultats obtenus sont exprimés dans les tableaux ci après :

## V-5-1-1-Qualité de l'eau de mer :

Tableau V-4: Qualité de l'eau de mer pendant le moi de mai, [57]

| Jour       | Température     | MES               | SDI 5              | TDS              |
|------------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------|
|            | Moyenne<br>(°C) | Moyenne<br>(mg/l) | Moyenne<br>(sec-1) | Moyenne<br>(g/l) |
| 01/05/2014 | 17,90           | 3,2               | 14,7               | 39,50            |
| 02/05/2014 | 18,80           | 6,4               | 14,5               | 41,10            |
| 03/05/2014 | 18,40           | 4,4               | 13,9               | 39,60            |
| 04/05/2014 | 18,20           | 9                 | 9,6                | 38,20            |
| 05/05/2014 | 17,90           | 4,4               | 9,6                | 38,57            |
| 06/05/2014 | 17,70           | 10                | 11,8               | 38,90            |
| 07/05/2014 | 17,50           | 7,2               | 13,1               | 40,00            |
| 08/05/2014 | 17,80           | 10,2              | 14,9               | 39,00            |
| 09/05/2014 | 17,20           | 11,2              | 14,9               | 40,00            |
| 10/05/2014 | 17,40           | 8,2               | 13,2               | 40,30            |
| 11/05/2014 | 17,70           | 9                 | 13,6               | 40,40            |
| 12/05/2014 | 17,80           | 3,8               | 8,4                | 40,90            |
| 13/05/2014 | 18,00           | 4,2               | 10,2               | 38,40            |
| 14/05/2014 | 17,70           | 1,2               | 8,4                | 39,00            |
| 15/05/2014 | 16,50           | 5,2               | 14,8               | 39,50            |
| 16/05/2014 | 16,00           | 4,9               | 12,9               | 40,80            |
| 17/05/2014 | 15,30           | 6,6               | 14,0               | 39,60            |
| 18/05/2014 | 15,50           | 2                 | 10,5               | 39,10            |
| 19/05/2014 | 16,70           | 1,4               | 9,6                | 39,70            |
| 20/05/2014 | 16,90           | 1,2               | 10,9               | 38,90            |
| 21/05/2014 | 17,70           | 7,4               | 12,9               | 39,20            |
| 22/05/2014 | 17,90           | 2,8               | 13,3               | 39,10            |
| 23/05/2014 | 17,80           | 4,6               | 12,8               | 38,80            |
| 24/05/2014 | 18,00           | 6                 |                    | 39,20            |
| 25/05/2014 | 19,00           | 6,2               | 13,1               | 38,70            |
| 26/05/2014 | 19,10           | 7,6               | 13,1               | 39,10            |
| 27/05/2014 | 19,60           | 11                | 12,6               | 41,20            |
| 28/05/2014 | 19,50           | 3,4               | 14,3               | 38,50            |
| 29/05/2014 | 19,50           | 10,4              | 13,8               | 38,40            |
| 30/05/2014 | 20,00           | 6,4               | 13,8               | 40,40            |
| 31/05/2014 | 19,80           | 9,8               | 10,8               | 40,40            |
| Max        | < 27            | 10                | < 15               | 40               |

Calcium (mg/l): 435

Magnésium (mg/l): 1528

Chlorures (mg/l): 20900



## V-5-1-2-Qualité de l'eau traitée :

Tableau V-5: Qualité de l'eau traitée pendant le moi de mai, [57]

| Jour       | Dureté totale                     | Alcalinité | pH      | Indice de Langelier |
|------------|-----------------------------------|------------|---------|---------------------|
|            | Moyenne (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) |            | Moyenne |                     |
| 01/05/2014 | 98                                | 62         | 8,4     | 0,14                |
| 02/05/2014 | 92                                | 60         | 8,4     | 0,11                |
| 03/05/2014 | 90                                | 60         | 8,3     | 0,08                |
| 04/05/2014 | 94                                | 61         | 8,3     | 0,06                |
| 05/05/2014 | 90                                | 61         | 8,3     | 0,07                |
| 06/05/2014 | 96                                | 63         | 8,3     | 0,12                |
| 07/05/2014 | 92                                | 61         | 8,3     | 0,05                |
| 08/05/2014 | 92                                | 62         | 8,4     | 0,14                |
| 09/05/2014 | 94                                | 61         | 8,3     | 0,10                |
| 10/05/2014 | 90                                | 60         | 8,4     | 0,12                |
| 11/05/2014 | 90                                | 60         | 8,4     | 0,16                |
| 12/05/2014 | 92                                | 61         | 8,3     | 0,06                |
| 13/05/2014 | 90                                | 61         | 8,3     | 0,09                |
| 14/05/2014 | 92                                | 61         | 8,3     | 0,07                |
| 15/05/2014 | 94                                | 61         | 8,4     | 0,09                |
| 16/05/2014 | 96                                | 62         | 8,3     | 0,05                |
| 17/05/2014 | 92                                | 61         | 8,4     | 0,14                |
| 18/05/2014 | 98                                | 60         | 8,3     | 0,03                |
| 19/05/2014 | 96                                | 61         | 8,3     | 0,05                |
| 20/05/2014 | 94                                | 60         | 8,3     | 0,03                |
| 21/05/2014 | 96                                | 60         | 8,3     | 0,03                |
| 22/05/2014 | 90                                | 64         | 8,4     | 0,14                |
| 23/05/2014 | 92                                | 61         | 8,3     | 0,09                |
| 24/05/2014 | 96                                | 61         | 8,4     | 0,14                |
| 25/05/2014 | 92                                | 63         | 8,3     | 0,07                |
| 26/05/2014 | 92                                | 60         | 8,4     | 0,13                |
| 27/05/2014 | 92                                | 61         | 8,4     | 0,18                |
| 28/05/2014 | 94                                | 61         | 8,3     | 0,09                |
| 29/05/2014 | 92                                | 61         | 8,3     | 0,11                |
| 30/05/2014 | 90                                | 61         | 8,3     | 0,13                |
| 31/05/2014 | 92                                | 62         | 8,4     | 0,14                |
| OMS        | 150                               | 100        | 6,5 à 9 | [-0,5 à 0,5]        |

Tableau V-6: Qualité de l'eau traitée pendant le moi de mai (suite1), [57]

| Jour       | Chlore libre   | Chlore total | Bore | Conductivité    | TDS calculé    |
|------------|----------------|--------------|------|-----------------|----------------|
|            | Moyenne (mg/l) |              |      | Moyenne (uS/cm) | Moyenne (mg/l) |
| 01/05/2014 | 0,51           | 0,58         |      | 722             | 397            |
| 02/05/2014 | 0,5            | 0,54         |      | 700             | 385            |
| 03/05/2014 | 0,5            | 0,56         |      | 710             | 390            |
| 04/05/2014 | 0,51           | 0,58         |      | 718             | 395            |
| 05/05/2014 | 0,51           | 0,56         |      | 716             | 393            |
| 06/05/2014 | 0,53           | 0,58         |      | 668             | 367            |
| 07/05/2014 | 0,54           | 0,6          |      | 678             | 372            |
| 08/05/2014 | 0,51           | 0,56         |      | 672             | 369            |
| 09/05/2014 | 0,52           | 0,57         |      | 696             | 382            |
| 10/05/2014 | 0,5            | 0,53         |      | 708             | 389            |
| 11/05/2014 | 0,51           | 0,56         | 0,3  | 694             | 382            |
| 12/05/2014 | 0,51           | 0,57         |      | 703             | 386            |
| 13/05/2014 | 0,5            | 0,55         |      | 724             | 398            |
| 14/05/2014 | 0,52           | 0,57         |      | 680             | 374            |
| 15/05/2014 | 0,5            | 0,55         |      | 710             | 390            |
| 16/05/2014 | 0,52           | 0,56         |      | 709             | 389            |
| 17/05/2014 | 0,53           | 0,57         |      | 706             | 388            |
| 18/05/2014 | 0,51           | 0,57         |      | 731             | 402            |
| 19/05/2014 | 0,5            | 0,55         |      | 739             | 406            |
| 20/05/2014 | 0,55           | 0,62         |      | 752             | 414            |
| 21/05/2014 | 0,53           | 0,6          |      | 714             | 393            |
| 22/05/2014 | 0,51           | 0,58         |      | 712             | 391            |
| 23/05/2014 | 0,55           | 0,61         |      | 720             | 396            |
| 24/05/2014 | 0,57           | 0,64         |      | 748             | 411            |
| 25/05/2014 | 0,56           | 0,61         | 0,8  | 739             | 406            |
| 26/05/2014 | 0,5            | 0,55         |      | 721             | 396            |
| 27/05/2014 | 0,51           | 0,56         |      | 711             | 391            |
| 28/05/2014 | 0,53           | 0,59         |      | 850             | 467            |
| 29/05/2014 | 0,56           | 0,61         |      | 860             | 473            |
| 30/05/2014 | 0,53           | 0,57         |      | 850             | 467            |
| 31/05/2014 | 0,55           | 0,62         |      | 846             | 465            |
| OMS        |                | 250          | 0,5  | 2500            | 1000           |

Tableau V-7: Qualité de l'eau traitée pendant le moi de mai (suite 2), [57]

| Jour       | Coliformes<br>totaux | Coliformes<br>fécaux | Strepto,<br>Fécaux | Calcium                 | Magnésium | Couleur            |
|------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|            | Moyenne (UFC/100 MI) |                      |                    | Moyenne (mg/l<br>CaCO3) |           | Moyenne<br>(Pt-Co) |
| 01/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 02/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 03/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 04/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 05/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 06/05/2014 | 0,0                  | 0,0                  | 0,0                | 24,1                    | 8,2       | 0,00               |
| 07/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 08/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 09/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 10/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 11/05/2014 | 0,0                  | 0,0                  | 0,0                | 23,3                    | 8,2       | 0,00               |
| 12/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 13/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 14/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 15/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 16/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 17/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 18/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 19/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 20/05/2014 | 0,0                  | 0,0                  | 0,0                | 24,9                    | 10,2      | 0,00               |
| 21/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 22/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 23/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 24/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 25/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 26/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 27/05/2014 | 0,0                  | 0,0                  | 0,0                | 24,9                    | 7,8       | 0,00               |
| 28/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 29/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 30/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| 31/05/2014 |                      |                      |                    |                         |           |                    |
| OMS        |                      |                      |                    | 70                      | 50        |                    |

**V-5-1-3-Contrôle des effluents (saumure) :****Tableau V-8: Contrôle des effluents pendant le moi de mai, [57]**

| Date              | pH             | Fer ( mg/l)       |
|-------------------|----------------|-------------------|
|                   | <b>6,5-8,5</b> | <b>Max 3 mg/l</b> |
| <b>07/05/2014</b> | 7,99           | 0,27              |
| <b>14/05/2014</b> | 8,05           | 1,47              |
| <b>21/05/2014</b> | 8,08           | 0,02              |
| <b>28/05/2014</b> | 7,87           | 0,09              |

**V-5-2-Discussion des résultats d'analyses physicochimiques :****V-5-2-1-Qualité de l'eau de mer :**

On constate une concentration très importante des paramètres analysés :

- Les chlorures : on pense qu'ils peuvent provenir de différentes sources, telles l'altération des roches, les pollutions liées aux rejets des eaux usées.
- Les sels de magnésium et de calcium : : qui sont dissout lors des pluies et que renferment les roches des terres émergées, est entraîné par les cours d'eau dans la mer sont peu présents et légèrement moins solubles que les sels de sodium.
- Le pH est toujours compris entre 6,5 et 8,5

Tandis que les autres paramètres, telle que la température, qui est toujours inférieure à 25°C a une grande importance car elle influe fortement sur les performances des membranes, à température basse ( $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ), l'eau devient moins visqueuse et pour la dessaler il faut plus d'énergie.

**V-5-2-2-Qualité de l'eau traitée :**

La comparaison des paramètres physicochimiques et de la minéralisation globale de l'eau brute et de l'eau traitée prouve l'efficacité du procédé de dessalement par osmose inverse, ainsi que l'eau produite est de bonne qualité.

résultat des paramètres ajustés :

- TH (dureté) est entre 8 et 15°F,(9.2°F)
- TAC est de l'ordre de 7.62°F (7 à 10 °F)
- pH= 8.3 entre (6.5-9)
- L'indice de Langelier LSI= 0.1 (-0.5 et +0.5)

L'eau n'est pas agressive.

**V-5-2-3-Qualité de l'eau rejetée :**

La saumure passe dans un système de neutralisation à l'acide sulfurique et à hydroxyde de sodium avant le rejet en mer.

- pH= 8
- Fer (mg/l) est de l'ordre de 0.02 mg/l

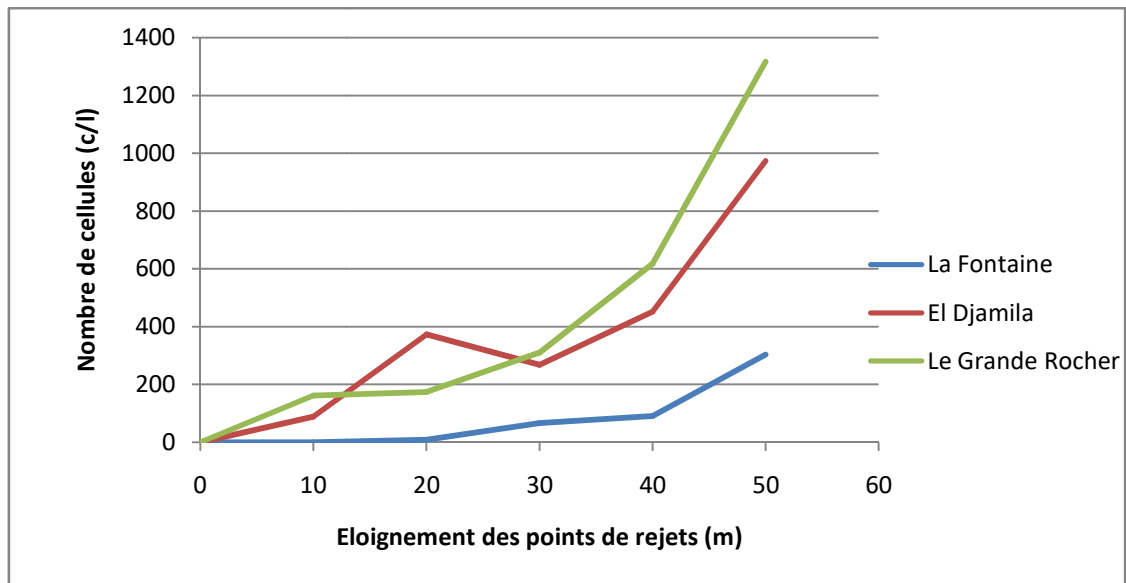
Ce qui nous a permis de conclure que le concentrat rejeté se caractérise qu'avec un TDS (taux de salinité) élevé (TDS= 69 000 mg/l).

**IV-5-3-Résultats des analyses biologiques :****Exemple de la station de AIN BENIAN ( petite station de 5000 m<sup>3</sup>/j):**

Les résultats du comptage des planctons de l'eau brute à différentes distances de pointe de rejet pour la plage de la Fontaine, et à différentes distances de côte d'arrivée au large pour les plages El Djamilia et Le Grand Rocher sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau V-9: Les résultats des analyses biologiques, [58]**

| Distance        | unité     | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m |
|-----------------|-----------|------|------|------|------|------|
| Plage           |           |      |      |      |      |      |
| La Fontaine     | Cellule/l | 0    | 8    | 67   | 91   | 304  |
| El Djamilia     | Cellule/l | 89   | 307  | 668  | 452  | 987  |
| Le Grand Rocher | Cellule/l | 162  | 174  | 310  | 618  | 1317 |



**Figure V-16 :** La répartition des phytoplanctons par rapport au point de rejet, [58]

A travers les résultats obtenus, on remarque bien l'absence des phytoplanctons au point de rejet pour la plage la Fontaine et plus on s'éloigne de celui-ci, plus il ya une net croissance surtout pour la plage el Djamila et qui s'explique par la composition biologique initiale de l'eau de mer de plage la Fontaine qui est pauvre en phytoplanctons, la preuve donc que les microalgues sont sensibles aux variations de la salinité d'eau de mer et qu'à partir d'une certaine concentration leur survie est menacée.



**Figure V-17 :** Photos des phytoplanctons, [source: google ]

**VI-1-Introduction :**

Les impacts du rejet de la saumure sur l'environnement peuvent être réduits au minimum si un certain nombre de mesures sont prises en ce qui concerne la conception du système de prélèvement d'eau et de l'émissaire de l'usine.

Parmi les moyens à adopter pour atténuer l'impact du rejet de la saumure, il y a ceux à mettre en œuvre durant la phase de projet et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation (Programme de surveillance continue).

**VI-2- Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines :**

Les mesures d'atténuation proposées pour réduire les impacts sur les ressources marines sont les suivantes :

- 1) La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région.
- 2) Le choix de l'emplacement du prélèvement d'eau de mer et de l'émissaire doit être effectué de manière à éviter les zones sensibles, dans le respect de la flore et de la faune marines.
- 3) Le choix de l'emplacement et la conception de l'émissaire doivent assurer un taux de brassage et un volume de dilution suffisants pour réduire au minimum les effets dommageables.
- 4) L'émissaire doit être situé au large, mais non dans un estuaire ou autre zone à faible circulation d'eau.
- 5) Il convient d'utiliser des techniques de prétraitement qui réduisent au minimum la nécessité de produits chimiques dangereux, et de bonnes techniques de post-traitement et désinfection qui permettent d'espacer le nettoyage régulier des membranes en raison de leur encrassement.
- 6) Dans la mesure du possible, il convient d'éliminer du flux de saumure, avant son rejet, les constituants qui sont dangereux (prévoir un bassin de neutralisation).
- 7) Prévoir un bassin d'évaporation de la saumure et récupération du sel.
- 8) -La dilution des saumures avec l'eau de mer (2 à 4 volumes d'eau de mer pour un volume de saumure) offre une solution intéressante, dans le cas où il y a des zones à protéger .

**VI-3-Programme de surveillance continue :**

On dispose de fort peu de données concernant les impacts sur le milieu marin imputables aux usines de dessalement de l'eau de mer. Très peu d'études, pour ne pas dire aucune, sont menées dans la région méditerranéenne, le Proche-Orient et d'autres parties du monde, pour observer en permanence les effets des rejets d'usines de dessalement sur les ressources marines.

La surveillance continue des impacts sur le milieu marin est essentielle et indispensable, à l'égard notamment à la mise en service récente d'usines de dessalement de très grande capacité.

**VI-3-1-Surveillance et informations de base sur les ressources marines avant la mise en service des usines :**

Avant la mise en service d'une usine de dessalement, les informations de base ci-après seront utiles à l'autorité nationale chargée d'évaluer les incidences des rejets sur les ressources marines :

- Données concernant les conditions hydrographiques, courants, vagues, etc., de la zone marine où l'émissaire sera situé;
- Application de modèles pour déterminer à l'avance les modalités de la dispersion de la saumure dans la zone de l'émissaire;
- Inventaire des organismes marins dans la zone de l'émissaire;
- Inventaires à long terme des organismes marins benthiques dans les quelques mm de la couche supérieure du fond de la mer;
- Données sur les sédiments de la zone de l'émissaire, y compris une analyse des particules;
- Données de base sur la qualité microbiologique de la zone marine où est prélevée l'eau d'alimentation de l'usine;
- Données sur l'état trophique de la zone de prélèvement d'eau d'alimentation.

**VI-3-2-Surveillance des effets sur les ressources marines après la mise en service :**

- mesure des impacts sur les habitats du fond de mer;
- mesure des impacts sur le poisson dans la colonne d'eau;
- évaluation de la température, de la salinité et de la densité le long de la trajectoire du panache;



- tests aux moyen de colorant non toxique ou d'élément trace pour évaluer la dilution; échantillonnage des sédiments;
- mesure de la salinité à diverses stations d'échantillonnage au large.

#### **VI-4-Recommandations d'ordre général**

Avant de prendre toute décision concernant la construction d'une usine de dessalement, les autorités nationales devraient explorer toutes les autres options qui s'offrent pour l'approvisionnement en eau afin de s'assurer de la nécessité de cette construction.

##### **a) Consommation d'énergie**

Les technologies de production couplée (eau + électricité), d'énergie alternative ou de réduction de la consommation d'énergie devront être prises en considération pour les nouveaux projets d'aménagement d'usines de dessalement.

Aussi les énergies renouvelables sont appelées à jouer un rôle important dans la protection de l'environnement.

##### **b) Produits chimiques dangereux**

Il convient de choisir les technologies et procédés qui réduisent au minimum les rejets des produits dangereux dans la mer. Il conviendrait de recourir au traitement et nettoyage des éléments de l'usine au moyen de produits respectueux de l'environnement.

##### **c) Dilution des rejets**

Il convint d'évaluer les options consistant à mélanger la saumure avec les rejets des centrales. Mélanger la saumure avec l'eau de refroidissement rejetée par la centrale est probablement la meilleure solution pour réduire au minimum les impacts dommageables résultant de l'indice de dilution.

##### **d) Étude d'impact sur l'environnement :**

Il convient de réaliser au préalable une étude d'impact sur l'environnement, pour toute nouvelle usine de dessalement, y compris pour la sélection du site. Les critères de sélection du site devraient comprendre entre autres: le milieu marin doit offrir une eau d'alimentation de bonne qualité avec un risque minimal de contamination due à d'autres activités proches le site choisi doit être proche d'une infrastructure de distribution d'eau en vue d'un raccordement facile et rapide de l'usine au réseau existant.

Les informations concernant les impacts potentiels des rejets prévus sur les ressources marines peuvent être obtenues lors de la surveillance effectuée avant la mise en service et tirées des résultats de la surveillance continue recueillis pour d'autres usines de dessalement.

**VI-5-L'élimination de la saumure :**

Dans la plupart des cas, la manière la plus facile de se débarrasser du débit important de saumure (55 à 70% du débit d'alimentation) est de le décharger dans la mer grâce à une conduite.

La concentration en saumure varie de 50 à 75 g/L et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer. De ce fait, la saumure tombe sur le sol sous-marin proche de la sortie de la conduite (effet panache) et forme ainsi une couche très salée pouvant engendrer des impacts négatifs sur la faune et la flore maritime ainsi que d'éventuelles activités humaines [59]

Il existe trois concepts identifiés réalistes pour l'élimination de la saumure:

- Mélange.
- Dilution.
- Diffusion.

Afin d'éviter l'effet panache, il est avantageux de placer la sortie de la conduite au niveau d'un courant fort, optimisant ainsi le mélange de la saumure et de l'eau de mer.

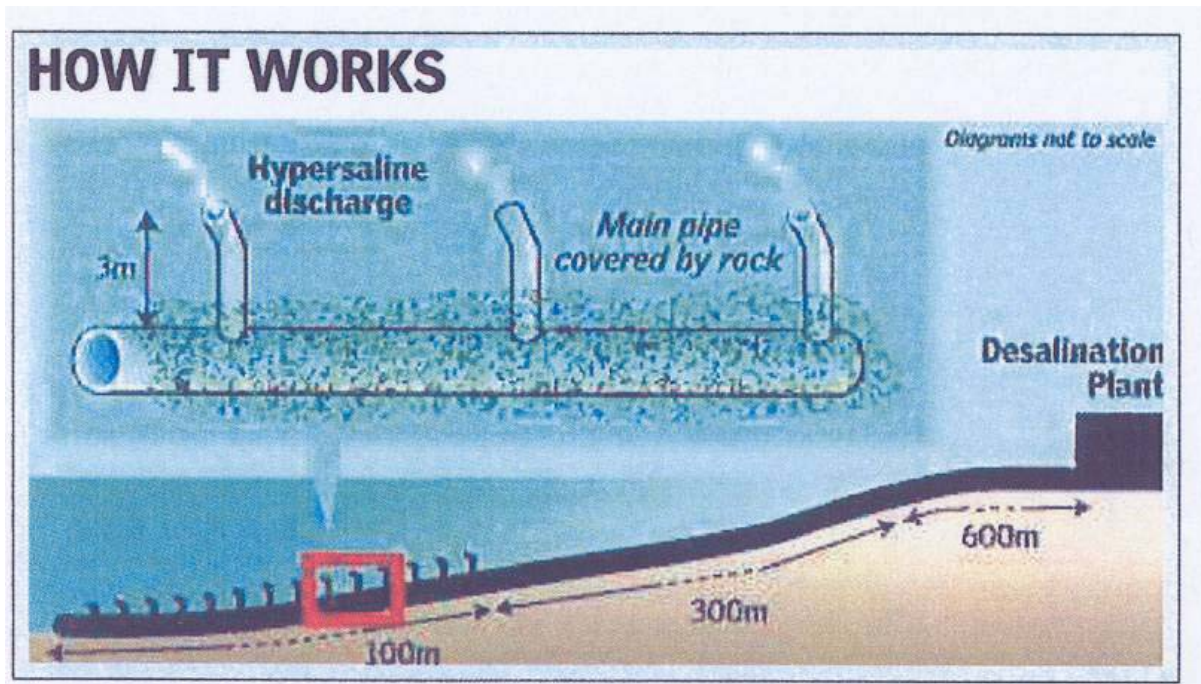
La diffusion de la saumure peut être réalisée à l'aide d'une conduite perforée installée sur le sol sous-marin. Les diffuseurs consistent en des vannes anti retour caoutchouc. Une pompe de décharge doit alors être prévue afin de fournir une pression suffisante.

**VI-5-1- Dilution de la saumure :**

Une solution déjà adoptée par Degremont, l'un des pionniers de la technologie de dessalement par osmose inverse qui met tout en œuvre, dans la conception des installations et dans l'exploitation des usines, pour contrôler et minimiser la perturbation des écosystèmes, [55].

En premier lieu, l'emplacement du rejet est soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures. L'utilisation de modèles de courants et la cartographie des écosystèmes les plus sensibles permettent de choisir judicieusement ces emplacements. Localement, des études de bathymétries ont réalisées afin de déterminer la meilleure localisation pour les rejets, par exemple dans un courant fort, permettant ainsi un mélange rapide. L'énergie envoyée aux diffuseurs peut accélérer ce mélange.

Afin d'éviter la perturbation du milieu par une concentration en sel trop élevée, les saumures sont rejetées à travers un système de diffuseurs, qui permettent de diluer rapidement la salinité et de retrouver les concentrations du milieu naturel.



**Figure VI-1:** Schéma d'un émissaire de rejet par diffusion, [55].

La modélisation hydraulique est utilisée afin de déterminer un positionnement et un type de prise d'eau et de diffuseurs qui minimisent l'impact sur l'environnement. Des études de bathymétrie, étude des courants, etc... sont réalisées afin d'évaluer les procédés, et des modèles sur maquette permettent de tester les différents systèmes, puis de choisir le procédé le plus adapté.

De plus, la qualité de l'eau, les rejets et l'efficacité des diffuseurs sont analysés en permanence afin d'étudier les impacts sur l'environnement.

#### **VI-5-2-Dimensionnement du collecteur de rejet de la saumure :**

Dans le but de contrôler et minimiser la perturbation des écosystèmes. On a opté pour une solution qui paraît la plus stratégique du point de vue technique et économique.

À cet effet on a prévu un collecteur de rejet de la saumure situé au large, et dont l'emplacement est soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures.

**VI-6-Les critères de choix du site de rejet et milieu récepteur :**

Il est essentiel que les caractéristiques hydrographiques, météorologiques, géologiques et topographiques de la zone côtière réceptrice soient étudiées au préalable. A cet égard, il convient de recueillir les informations suivantes:

- Carte bathymétrique du site au large et de ses environs ;
- Conditions géologiques et géomorphologiques de la zone de prélèvement d'eau d'alimentation et de l'émissaire de saumure, y compris les affleurements rocheux, les conditions sédimentologiques et la stabilité des falaises;
- Renseignements hydrographiques et météorologiques:
  - courants de surface dans diverses conditions de marée et météo
  - courants à la profondeur du rejet de saumure
  - existence et caractéristiques de la thermocline
  - température et salinité de l'eau de mer et leur variation en fonction de la profondeur
  - vitesse et direction des vents;
  -
- Conditions biologiques:
  - État de la faune et de la flore benthiques et types de sédiment (gravier, boue et sable)
  - qualité microbiologique des eaux
  - connaissances disponibles sur la capacité de survie des agents pathogènes dans le milieu marin;
- Émissaire:
  - longueur et diamètre de l'émissaire, profondeur, matériaux constitutifs
  - méthode de pose de l'émissaire: sur le fond de la mer, enfoui dans le fond de la mer ou sur l'eau
  - méthode de contrôle de la corrosion
  - vitesse du rejet

**VI-7-Exemple de la station de AIN BENIAN ( petite station de 5000 m<sup>3</sup>/j):**

- Site de rejet existant :

Le rejet de la saumure de cette station se trouve juste à la sortie de l'usine à 7 m seulement dans le large, la saumure est rejetée sur place et sa dispersion est loin d'être réalisé. Ce qui est préjudiciable pour notre milieu marin.

La station de dessalement d'Ain Benian

La conduite du rejet de saumure actuelle



**Figure VI-2** :L'emplacement du rejet existant dans la station d'Ain Benain, [source: Mirade .N 11/09/12]

**VI-8-La station de FOUKA :****VI-8-1-Evaluation de l'impacte sur l'environnement marin :**

- **Impacts sur la flore marine provoqués par le rejet de saumure et de nettoyage des filtres et membranes :**

Pendant l'exploitation, un mélange de saumure, d'eau de refroidissement, d'effluents de lavage des filtres et membranes sera rejeté par le canal de rejet proposé. la saumure a une concentration en TDS d'environ 69 000 mg/l. Le débit de rejet opérationnel est de 5638.33 m<sup>3</sup>/h.

En raison du taux élevé d'évaporation et des faibles apports d'eau douce, la salinité en Méditerranée occidentale est d'environ 38.000 ppm. En rejetant à la mer une saumure contenant une concentration en TDS de 69.000 mg/l, la salinité localisée au voisinage immédiat de la canalisation de rejet augmentera. L'effet pourra se répercuter localement sur la flore et la faune marines.

Afin d'étudier les effets du rejet de saumure un modèle CORMIX (Système Cornell de modélisation pour la dispersion de l'eau) a été élaboré. CORMIX est un progiciel USEPA validé et approuvé pour l'évaluation des rejets par référence aux limites réglementaires stipulées. Il modélise la dispersion dans les modules proches et lointains distincts et donne des descriptions qualitatives du comportement du panache.

Les résultats du modèle CORMIX montrent que la variante ayant l'impact le plus faible sur la prairie correspond aux paramètres suivants :

- Profondeur du point de rejet : 6,75 mètres
- Coordonnées **X UTM** : 478.816 m et **Y UTM** 4.059.823 m
- Hauteur de la bouche de rejet sur le fond : 2 m
- Diamètre de la bouche : 1,41 m

Afin d'évaluer les impacts des rejets hyper salins (augmentation de la salinité, turbidité, produits chimiques toxiques, nutriments, matières organiques) sur les communautés végétales benthoniques en général et, plus concrètement, sur la prairies de *Cymodocea nodosa*.

Afin de connaître les variations de salinité prévues par le déchet de saumure, dans cette étude nous avons analysé différentes configurations de conception du versement.

Nous avons observé qu'en augmentant la vitesse de sortie (3 m x s-1), situer la bouche à une hauteur de 2 m par rapport au fonds et lui donner un angle de 45° au diffuseur, améliore sensiblement les dilutions obtenues.

**Les** recommandations reprises dans la législation espagnole indiquent un seuil maximal de salinité de 39.5 ups pour *Cymodocea* et 38.5 ups pour *Posidonia*.

Dans ce cas, l'importante dispersion initiale du déchet de saumure fait que les concentrations baissent très rapidement et bien que le déchet est effectué à quelque 35 m de la limite de la prairie de *Cymodocea*, un secteur relativement petit dépasse le seuil recommandé de 39,5 ups. Le secteur touché avec une valeur supérieure à celui recommandé, est d'approximativement de 750 m<sup>2</sup>.

Ainsi, avec ces accroissements de salinité de niveaux qui pourraient supposer une menace pour la survivance des prairies cartographiées ne seront pas atteints, ce pourquoi l'impact sur la végétation marine considérée par le déchet de saumure est évalué comme **faible**.

Comme pour le cas de la flore, les communautés faunistiques peuvent être affectées par les rejets de saumure.

En ce qui concerne les populations de poissons, le comportement de ceux-ci ne semble être affecté par les déchets de saumure bien qu'ils s'enfuient clairement des émissions troubles associées à des opérations de maintien des plantes.

En tenant compte des légers accroissements de salinité prévus si la variante la plus favorable est sélectionnée- très éloignée des 39 p.s.u. l'impact qui sera produit sur la faune marine est évalué comme d'intensité faible, durée moyenne et l'impact est **faible**, [53].

#### **Pour les autres espèces :**

Des recherches ont été élaborées sur les effets de rejets de saumure sur des espèces indicatrices comme les échinodermes (*Paracentrotus lividus*) et mysidacés (*Leptomysis posidoniae*) :

1/ La plus part des échinodermes sont sténohalins et donc très susceptibles aux changements de salinité, par rapport à la durée d'exposition et la concentration de sels dans la colonne d'eau.

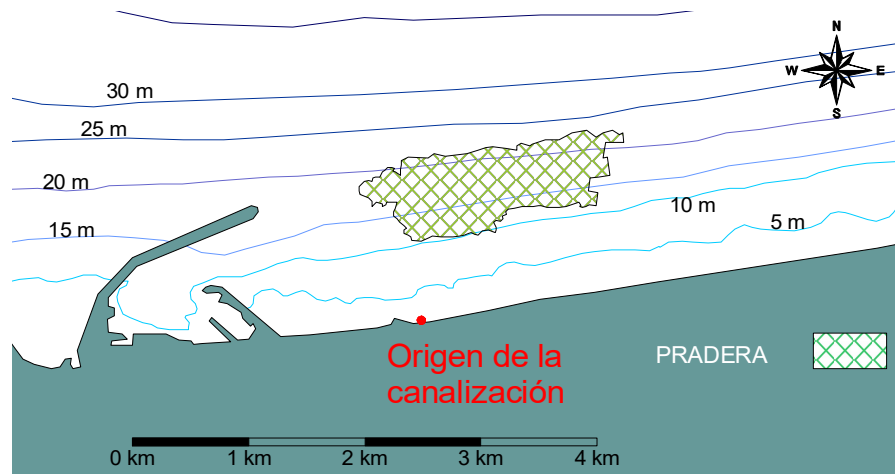
Les études effectuées indiquent que le groupe des échinodermes en général, et particulièrement *Paracentrotus lividus*, sont des organismes sessiles ou de faible mobilité et exempts de tout mécanisme d'osmorégulation efficace, ils peuvent être un bon indicateur de l'impact environnemental des rejets des unités de dessalement en milieu marin. Selon toujours ces études, la salinité qui provoque la mortalité de 50% de la population après une exposition continue durant 96 heures a oscillé entre 40.550 ppm et 42.830 ppm.

2/ Les mysidacés, invertébrés de l'épifaune vagile (des animaux mobiles liés aux feuilles ou à la surface du substrat), l'effet combiné de la température et la salinité ont démontré avoir en effet clair sur la mortalité de *Leptomysis posidoniae*. Cette espèce a présenté une grande mortalité à partir de 45.000 ppm et à haute température à partir de 40.000 ppm.

L'émissaire devra être conçu selon la variante ayant le moins d'impact et donc une salinité inférieure à 40.000 ppm l'impact sera faible,[53].

### VI-8-2: Les résultats du modèle CORMIX :

Dans la Figure VI-3 on montre la localisation de l'origine des conduites de la station de dessalement et le facteur obstacle environnemental imposé par la présence de la prairie de *Cymodocea*.



**Figure VI-3:** Localisation de l'origine des conduites en ce qui concerne la zone d'étude et le secteur occupé par la prairie, [53]

Les caractéristiques de l'effluent à verser par l'émissaire sont celles du Tableau 1.

**Tableau VI-1: Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka, [53]**

| <i>Paramètre</i>      | <i>Valeur</i>           |
|-----------------------|-------------------------|
| Salinité du rejet     | 69,53 g/l               |
| Salinité initiale     | 39 g/l                  |
| Variation de salinité | 35.500 mg/l             |
| Débit maximum         | 5.638 m <sup>3</sup> /h |

Les paramètres techniques initiaux de la décharge par l'émissaire sous-marin de la station de dessalement de Fouka, avec lesquelles on a effectué les simulations dans différentes situations océanographiques caractéristiques de cette zone de la Méditerranée, sont les suivantes :

- Nombre de diffuseurs = 1
- Vitesse de décharge = 1.7 m/s (Diamètre = 1.4 m)
- Décharge du débit dans la verticale



Quant aux conditions environnementales de l'eau réceptrice, a cause de la manque de données on n'a pas analysé les types de profils de densité de la colonne d'eau propres des saisons d'hiver, été et fin du printemps, dans laquelle on peut établir une pycnocline à ces profondeurs dans la latitude de cette zone.

D'autre part, on a simulé différentes valeurs de la vitesse du courant qui affecte le jet ou la plume verse, en démontrant les pires conditions pour la dilution du déchet. La direction du courant dans toutes les analyses est parallèle à la ligne de côte, c'est-à-dire, en suivant approximativement la ligne Est-ouest, en rappelant que ce la valeur du courant partagé en deux verticalement. Dans tous les cas analysés on a supposé une vitesse du vent de 2 m/s (valeur recommandée du point de vue de la sécurité pour la conception de ce type d'installations).

- D'abord on a étudié l'effet de la hauteur de la bouche de décharge en ce qui concerne le fonds et de l'inclination de sortie du jet, en maintenant une géométrie de l'émissaire vu et une vitesse environnementale de la courante moyenne de 5 cm/s :
  - Profondeur dans la bouche de déchet : 10 m
  - Diamètre bouche émissaire : 1.4 m (vitesse de sortie du débit de 1 m/s)

Versé verticale

- Débit versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h (1,56 m<sup>3</sup>/s)
- Salinité de calcul eau de mer : 39,38 g/l
- Variation de concentration initiale : 35,50 g/l
- Salinité eau de mer (20°C) : 28,1 kg/m<sup>3</sup>
- Salinité effluent (20°C) : 55,1 kg/m<sup>3</sup>
- Vitesse environnementale du courant 5 cm/s
- Deuxièmement on a analysé la dilution avec différentes vitesses environnementales du courant marin.
- Ensuite, avec la même configuration et la vitesse environnementale la plus défavorable on a étudié l'effet de la vitesse de sortie du débit.

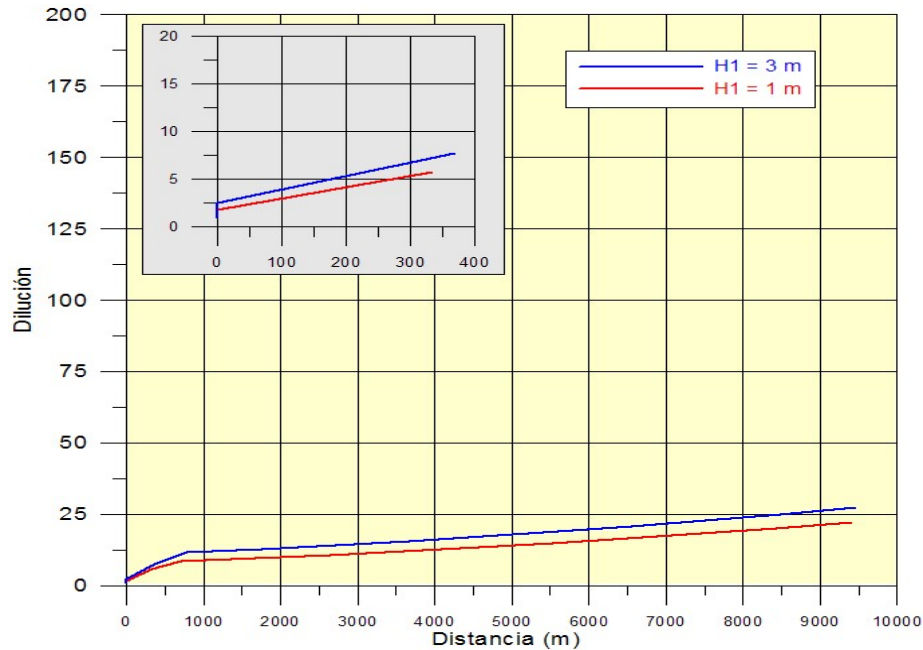
## A) Configurations de déchet (Hauteur et inclination de la cheminée).

### a) Hauteur de la cheminée

Dans la Figure VI-4 on peut voir ce qui est graphiques de la dilution pour deux hauteurs des cheminées depuis le fonds différentes, correspondant 1 m et à 3 m, en conservant le même profondeur moyen de 10 m. Ces limites sont établies pour éviter des enterrements des tuyauteries et optimiser l'effet sur la dilution de la masse d'eau mise au-dessus du point de déchet.

La vitesse environnementale du courant est de 5 cm/s.

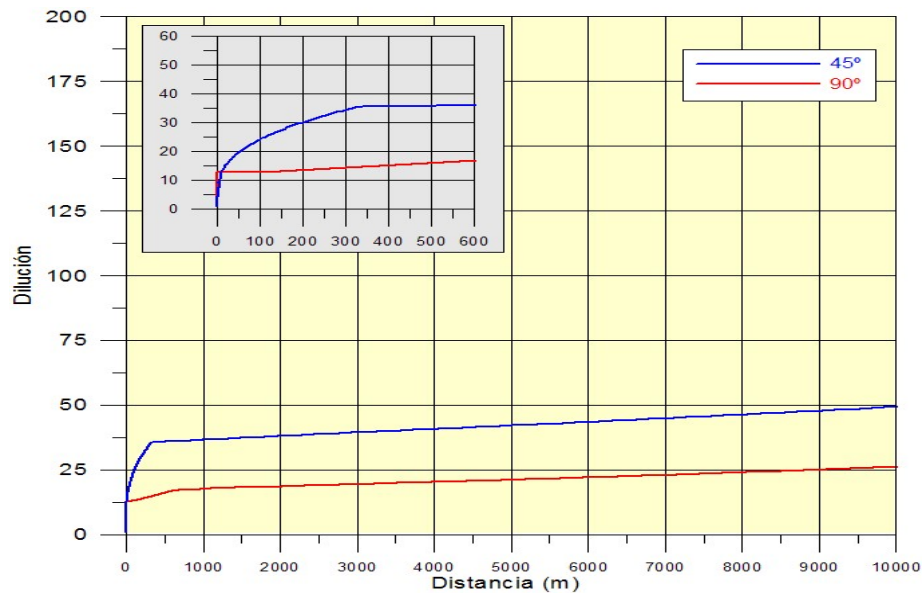
On observe que la meilleure condition de dilution est donnée par des hauteurs depuis le fonds des supérieurs ( $H1=3$  m), c'est-à-dire qu'autant de la plus grande est la hauteur de la bouche du déchet en ce qui concerne le fonds marin meilleur sera sa dilution. Le modèle Cormix ne permet pas que la hauteur de la bouche sur le fonds soit plus grande de la troisième partie de la profondeur totale existante dans la zone de déchet.



**Figure VI-4:** Graphiques des dilutions en fonction de différentes hauteurs de la cheminée,[53]

### b) Inclination

Dans la Figure VI-5 on voit ce qui est graphique de la dilution pour deux inclinaisons du diffuseur en conservant la même profondeur moyen de 10 m. Dans ces calculs la direction du courant environnemental est maintenue perpendiculaire à la direction du flux de sortie de l'effluent. On observe que la meilleure condition de dilution est donnée par un angle de  $45^\circ$  d'inclinaison de la bouche du diffuseur. L'angle de  $90^\circ$  indique que le déchet est effectué dans la verticale.



**Figure VI-5:** Graphiques des dilutions en fonction de différentes inclinations du diffuseur, [53]

### **B) Influence de la vitesse environnementale et de la vitesse de sortie du débit**

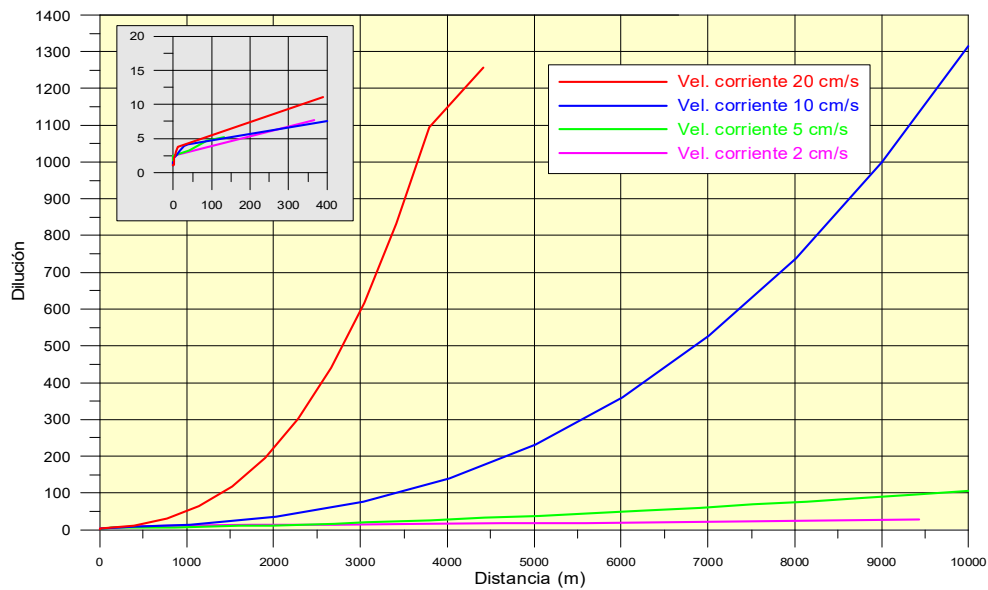
On a étudié la dilution du déchet de saumure avec différentes vitesses des courants environnementaux, considérant les ampleurs des vitesses enregistrées dans la zone. On ne fait pas une distinction entre la trajectoire est et Ouest de la plume de déchet hyper salin du au fait que, dans les simulations, les résultats sont symétriques dans l'une ou l'autre direction.

À la Figure VI-6 on représente les dilutions dans différents cas de vitesse et avec la géométrie l'émissaire et les conditions de décharge fixes (voir paragraphe précédent).

On observe que les pires conditions de dilution se présentent avec des vitesses comprises entre des valeurs de 2 et 5 cm/s, tandis qu'avec des vitesses très hautes la dilution améliore notamment étant donné les processus de mélange turbulents. Par conséquent, des vitesses de l'ordre de 2cm/s peuvent se considèrent de comme les pires pour la dilution (Tableau 2).

**Tableau VI-2:** Valeurs de dilution à différentes distances du point de déchet et par différentes ampleurs de la vitesse environnementale, [53]

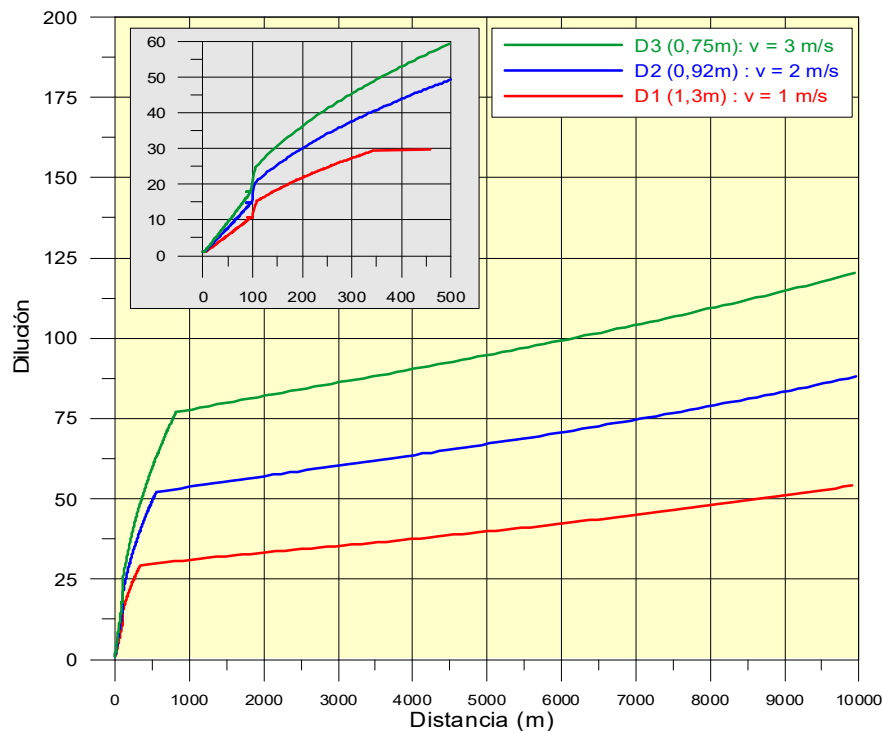
| Vitesse environnementale<br>( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | Distance au point de versée (m) |     |       |       |        |
|---|---------------------------------|-----|-------|-------|--------|
|   | 100                             | 500 | 1.000 | 4.000 | 10.000 |
| 2   | 3                               | 8   | 11,8  | 16    | 29,4   |
| 5   | 5                               | 6,1 | 8,4   | 30    | 106    |
| 10  | 5                               | 7,6 | 12,8  | 139   | 1.315  |
| 20  | 7                               | 12  | 60    | 1.100 | 3.000  |



**Figure VI-6:** Graphiques de dilutions en fonction de différentes amplitudes de la vitesse environnementale. Dans le cadre supérieur apparaissent les dilutions à des distances inférieures à 400m du point de déchet, [53]

Dans la Figure VI-7 on voit les graphiques de la dilution pour trois diamètres différents, correspondant à une vitesse de sortie de 1 m/s ( $D1 = 1.3$  m), de 2 m/s ( $D2 = 0.92$  m) et de 3 m/s ( $D3 = 0.75$  m) en conservant la même profondeur moyenne de 10 m, la hauteur de 3 mètres de la bouche de déchet sur le fonds et une vitesse environnementale de 2 cm/s.

On observe que la meilleure condition de dilution est donnée par des vitesses supérieures de sortie du débit par l'émissaire de déchet et, conséquemment diamètres inférieurs de la bouche de l'émissaire.



**Figure VI-7:** Graphiques des dilutions en fonction de différents diamètres du diffuseur, [53]

### VI-8-3-Conclusion et résumé :

L'impact le plus important sur l'environnement marin pendant l'exploitation sera l'effet de rejet de saumure, de lavage des filtres et membranes, sur la flore et la faune marines. A la lumière des résultats de l'étude de diffusion par modélisation avec le programme CORMIX dans différentes conditions, la principale recommandation et mesure d'atténuation des effets de rejets est la réalisation du canal de rejet de l'usine de dessalement en respectant la variante recommandée par l'étude marine suivante :

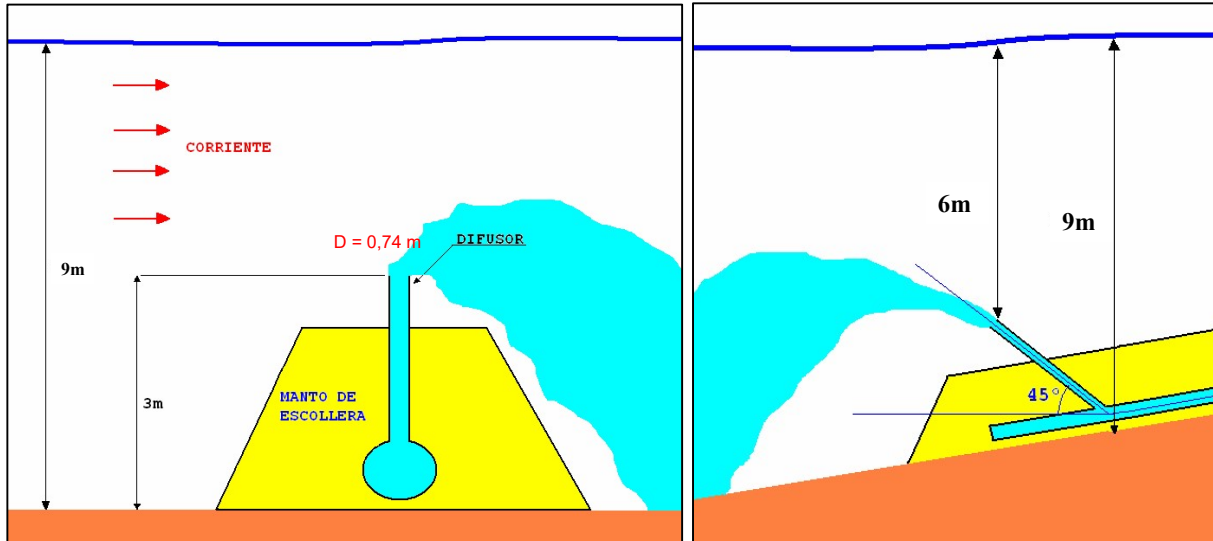
- Profondeur du point de rejet : 6,75mètres
- Coordonnées **X UTM** : 478,816 m et **Y UTM** 4.059.823 m
- Hauteur de la bouche de rejet sur le fond : 3 m
- Diamètre de la bouche : 1,41m
- Débit maximal versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h
- Salinité de l'effluent : 69 000 mg/l

Sachant que L'émissaire est composé d'une conduite de DN1400 en PEHD de 500 m de longueur. Celui-ci est décalé de 300 m à l'est de la prise d'eau. Notons que les courants sont d'ouest en est. Le panache créé par l'émissaire sera donc loin de la prise d'eau.

Le positionnement du rejet devra être également précisé, en s'appuyant sur :

- une investigation de la nature biologique et écologique des fonds.
- un recensement des zones de pêche (professionnelle et amateur) à proximité de la zone d'études
- une bathymétrie de la zone d'étude.

Dans la Figure 19 on montre deux images avec la disposition de la meilleure sélection pour la conception de la conduite de déchet de la saumure du point de vue de dilution.



**Figure VI-8:** Conception de la conduite de déchet de la saumure. La profondeur du point de déchet est de 9 m, la hauteur de la bouche de déchet sur le fonds est de 3 m, le diamètre de la bouche est de 0.74 m (avec le débit de conception de  $1.33 \text{ m}^3/\text{s}$  la vitesse de sortie est de 3 m/s) , [53]

## CONCLUSION

Le dessalement d'eau de mer apporte une solution rapide à la pénurie d'eau douce, mais apporte avec lui beaucoup d'inconvénients.

La production d'eau douce par des procédés non conventionnels comme le dessalement de l'eau de mer, est caractérisée par la production en parallèle d'une eau saumâtre fortement chargée en sel.

La saumure est un polluant nocif sur la vie marine. A cet effet, La protection des zones côtières est l'un des enjeux majeurs pour notre pays qui possède une façade maritime.

L'étude de la propagation de saumure sur l'eau de mer en fonction du temps, nous a permis de conclure que la dispersion du sel concentré est meilleur en présence de vagues et les courants marins. Par contre, il y aura moins d'impact sur l'environnement.

Au calme total de l'eau de mer, la saumure se dirige au fond marin, et comme ceci présente une source continue et cumulative de pollution, il aurait comme conséquence des dommages continus sur la faune et la flore à proximité du point de rejet, et seraient liés à l'augmentation de la concentration du sel et de la température. Puisque la Méditerranée est caractérisée par sa grande profondeur, la dilution est plus rapide. Il est donc souhaitable de placer le point de rejet de saumure loin de la plage et des secteurs rocheux qui sont riches en organismes.

En perspective, il serait intéressant d'installer des diffuseurs sur le canal du rejet pour tous les sites. la performance de l'opération de placements des diffuseurs dépend de leur nombre et de l'espace entre eux.

Ceux-ci vont améliorer la dilution.

A la lumière des résultats de l'étude de diffusion par modélisation avec le programme CORMIX dans différentes conditions, la principale recommandation et mesure d'atténuation des effets de rejets serait la réalisation d'un canal de rejet de l'usine en respectant la variante recommandée par l'étude marine suivante :

- Profondeur du point de rejet : 6,75mètres
- Coordonnées **X UTM** : 478,816 m et **Y UTM** 4.059.823 m
- Hauteur de la bouche de rejet sur le fond : 2 m
- Diamètre de la bouche : 1,41m

- Débit maximal versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h
- Salinité de l'effluent : 69 000 mg/l

Sachant que L'émissaire est composé d'une conduite de DN1400 en PEHD de 500 m de longueur. Celui-ci est décalé de 300 m à l'est de la prise d'eau. Notons que les courants sont d'ouest en est. Le panache créé par l'émissaire sera donc loin de la prise d'eau.

Le positionnement du rejet devra être également précisé, en s'appuyant sur :

- une investigation de la nature biologique et écologique des fonds.
- un recensement des zones de pêche (professionnelle et amateur) à proximité de la zone d'études
- une bathymétrie de la zone d'étude.



## Annexes

### **ÉTUDE D'ALTERNATIVES. MODÈLE DE DIFUSION DU DÉCHET DE SAUMURE (CORMIX)**

Dans les différentes actions du Projet d'une station de dessalement celle qu'a une plus grande importance du point de vue environnementale est le déchet du rejet de saumure, puisqu'il s'agit d'un déchet continu d'un important débit avec une salinité importante. Cette différence de salinité conditionne le comportement du déchet dans le milieu.

Pour déterminer ce comportement on a étudié à nouveau la dispersion de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin.

Pour atteindre cet objectif on a évalué les caractéristiques de dilution du futur émissaire et on a estimé les concentrations de la saumure versée dans les conditions les plus défavorables que de la décharge. On a de même effectué l'analyse des différentes alternatives de conception (nombre de bouches, diamètre de la tuyauterie, orientation des diffuseurs, profondeur du point de déchet, etc..) qui permettent d'améliorer l'efficacité de la conduite de déchet afin d'augmenter la dilution de la saumure.

Pour cela on a utilisé le modèle CORMIX en analysant la dispersion de l'effluent à verser par l'émissaire sous-marin dans diverses conditions océanographiques vent et courant, afin de déterminer la scène la plus défavorable.

Dans un premier rapprochement, une station de dessalement travaille en recueillant un volume déterminé d'eau de mer, en récupérant (comme ordre d'ampleur) la moitié de ce volume comme eau dessalée et en rejetant approximativement le 50% restant comme eau avec une salinité de l'ordre du double à celle à l'origine recueillie. Par conséquent, un effluent d'eau de rejet de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  implique un captage de, approximativement,  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  d'eau de la mer.

Du point de vue l'émission ou le déchet, il faudra tenir compte des facteurs suivants :

- Pour une température moyenne de  $18^\circ\text{C}$ , le pas d'une salinité de 37 à 74 U.SP implique un accroissement de densité de 1026,8 à  $1055.5 \text{ kg/m}^3$ . C'est à dire, un accroissement de la densité de  $28,7 \text{ kg/m}^3$ .

Cet accroissement de densité signifie, contrairement aux déchets d'effluents d'eaux continentales par d'émissaires sous-marins, que l'effluent a une flottabilité négative et, par conséquent, on ne peut pas profiter de la montée de la plume jusqu'à la couche de capture (ou la surface) comme facteur de dilution.

Réciproquement, on pourrait profiter de la force d'effondrement comme facteur de dilution, mais des facteurs divers limitent les déchets superficiels près de la côte et les déchets par l'intermédiaire d'émissaires sous-marins dont les diffuseurs se trouvent à un niveau important en ce qui concerne le fonds de la mer.

Dans ce contexte, il faut tenir compte que les principaux facteurs pour une dilution efficace de l'effluent sont :

- Le déplacement vertical (favorisé par l'existence d'un important gradient de profondeur ou pente à partir du point de déchet).
- Le déplacement horizontal (favorisé par les courants marins).
- La diffusion (de plus petite importance que les précédents).

Compte tenu du fait que, en général, les courants sont amortis avec l'augmentation de profondeur faut chercher un équilibre entre la distance à la côte et la profondeur de déchet dans le but d'éviter la création d'atmosphères hyper salins.

## Annexes

### 1.-. Méthodologie de calcul

On a utilisé le modèle CORMIX v. 4.2GT pour étudier le processus dispersion de domaine proche afin de déterminer de manière plus efficace les différents paramètres de la dilution du déchet de la Station de dessalement de Fouka. Le code CORMIX est recommandé par l'EPA, Environmental Protection Agency (USA). Le CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System) est un software pour l'analyse, la prévision, et la conception de déchets toxiques, salins, thermiques ou simplement de déchets flottants dans des corps d'eau.

Près de la bouche (ou bouches) de sortie de l'émetteur le processus de mélange dans la direction du tube étant donné la vitesse de sortie de du débit et de celui de mélange vertical étant donné la flottabilité (positive ou négative selon l'est la différence de densités entre un milieu récepteur et le liquide versé) prévaut sur l'effet d'advection provoqué par les courants marins qui existent dans la zone. Pour cette raison on a utilisé ce software qui décrit de manière adéquate les processus de mélange dans la phase de domaine proche.

Dans la Figure 1 et la Figure 2 on peut voir les définitions géométriques d'épaisseur transversale, épaisseur verticale et semi- largeur sur le plan horizontal que le programme CORMIX emploie pour décrire la dispersion du déchet.

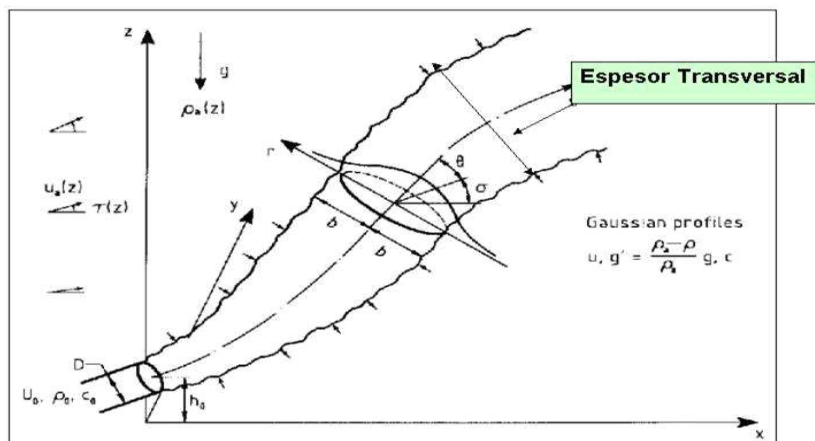


Figure 1. Définition d'épaisseur de la plume selon la section transversale.

Ce modèle assume que le profil de vitesse des courants marins, qui affectent l'effluent versé est homogène dans toute la colonne d'eau, c'est-à-dire qu'on considère seulement des courants partagés en deux dans la profondeur.

Dans ce travail on a analysé les divers facteurs qui incluent dans la dilution des saumures, ceux environnementaux comme ceux de conception de l'émissaire. D'abord on a étudié l'effet de la hauteur de la bouche de décharge de l'émissaire en ce qui concerne le fonds marin, en gardant une configuration type de l'émissaire et avec une vitesse environnementale moyenne de 5 cm/s. Deuxièmement on a évalué l'influence de la vitesse environnementale dans la dilution, ensuite on a analysé l'effet de la vitesse de sortie du courant sur la dilution et, finalement la dilution avec différentes configurations de diffuseurs multiples.

## Annexes

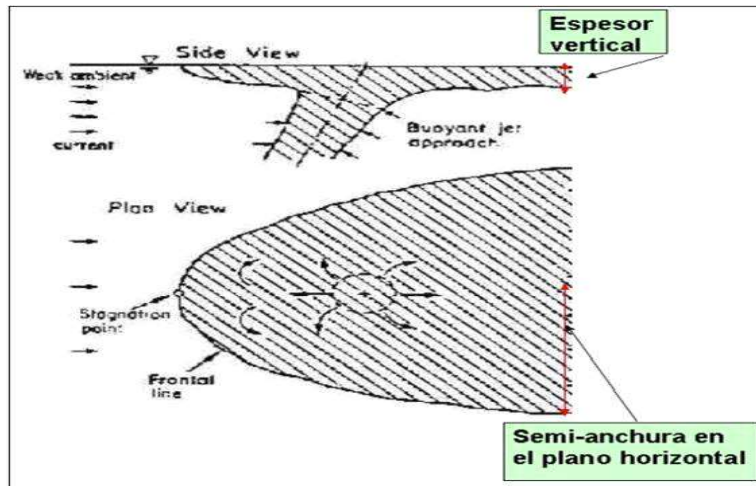


Figure 2. Définitions d'épaisseur verticale et de demi largeur de la plume de dispersion.

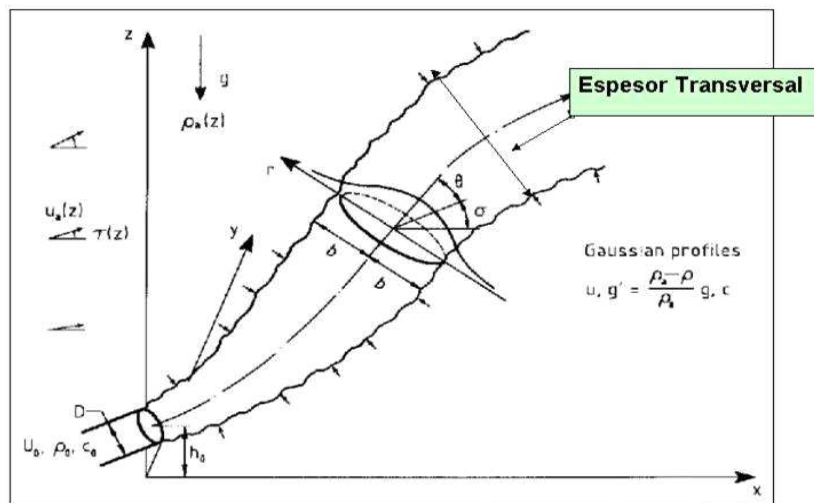


Figure 1. Définition d'épaisseur de la plume selon la section transversale.

Ce modèle assume que le profil de vitesse des courants marins, qui affectent l'effluent versé est homogène dans toute la colonne d'eau, c'est-à-dire qu'on considère seulement des courants partagés en deux dans la profondeur.

Dans ce travail on a analysé les divers facteurs qui incluent dans la dilution des saumures, ceux environnementaux comme ceux de conception de l'émissaire. D'abord on a étudié l'effet de la hauteur de la bouche de décharge de l'émissaire en ce qui concerne le fonds marin, en gardant une configuration type de l'émissaire et avec une vitesse environnementale moyenne de 5 cm/s. Deuxièmement on a évalué l'influence de la vitesse environnementale dans la dilution, ensuite on a analysé l'effet de la vitesse de sortie du courant sur la dilution et, finalement la dilution avec différentes configurations de diffuseurs multiples.

## Annexes

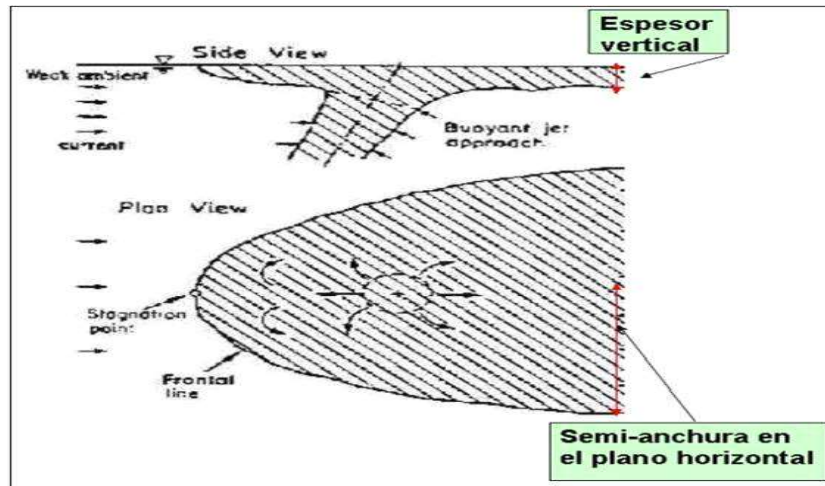


Figure 2. Définitions d'épaisseur verticale et de demi largeur de la plume de dispersion.

## **2. Résultats**

L'hydrodynamique d'un effluent qu'il décharge continuellement dans un corps d'eau récepteur peut être considérée comme un processus de mélange qui se produit dans deux régions séparées. Dans la première région, les caractéristiques du jet initial de flux au moment, de flux de flottabilité et la géométrie de l'émissaire conditionnent la trajectoire du jet et le mélange. Cette région est appelée domaine proche et inclut l'interaction entre le jet flottant et toute surface, fonds ou couche finale. Quand la plume turbulente sera séparée de la source, les caractéristiques de la décharge sont moins importantes. Les conditions existantes dans l'environnement contrôleront la trajectoire et la dilution de la plume, par la dispersion flottante et la diffusion passive étant donné la turbulence ambiante. Cette région est appelée domaine éloigné. Il faut souligner que la distinction entre domaine proche et domaine éloigné est purement faite du point de vue hydrodynamique.

### **Conditions de l'étude**

Dans la Figure 3 on montre la localisation de l'origine des conduites de la station de dessalement et le facteur obstacle environnemental imposé par la présence de la prairie de *Cymodocea* (voir paragraphe 2.4. du présent rapport).

## Annexes

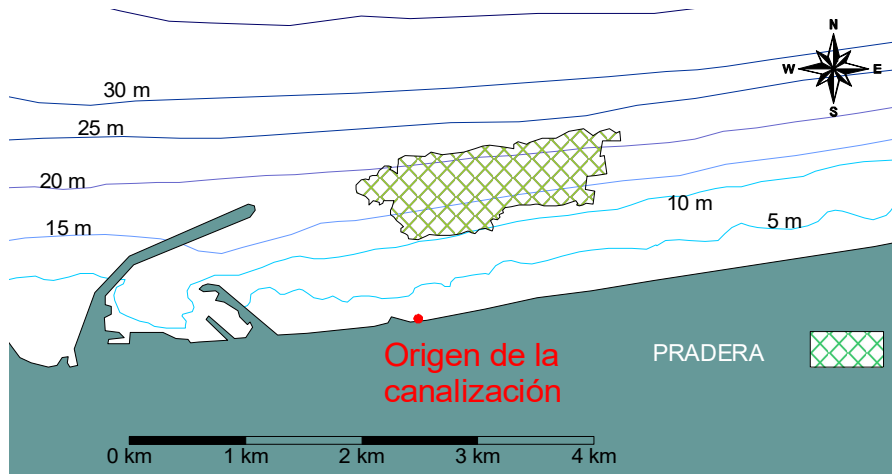


Figure 3. Localisation de l'origine des conduites en ce qui concerne la zone d'étude et le secteur occupé par la prairie.

Les caractéristiques de l'effluent à verser par l'émissaire sont celles du Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka.

| <i>Paramètre</i>      | <i>Valeur</i>           |
|-----------------------|-------------------------|
| Salinité du rejet     | 69,53 g/l               |
| Salinité initiale     | 39 g/l                  |
| Variation de salinité | 35.500 mg/l             |
| Débit maximum         | 5.638 m <sup>3</sup> /h |

Les paramètres techniques initiaux de la décharge par l'émissaire sous-marin de la station de dessalement de Fouka, avec lesquelles on a effectué les simulations dans différentes situations océanographiques caractéristiques de cette zone de la Méditerranée, sont les suivantes :

- Nombre de diffuseurs = 1
- Vitesse de décharge = 1 m/s (Diamètre = 1.3 m)
- Décharge du débit dans la verticale

Quant aux conditions environnementales de l'eau réceptrice, à cause de la manque de données on n'a pas analysé les types de profils de densité de la colonne d'eau propres des saisons d'hiver, été et fin du printemps, dans laquelle on peut établir une pycnocline à ces profondeurs dans la latitude de cette zone.

D'autre part, on a simulé différentes valeurs de la vitesse du courant qui affecte le jet ou la plume verse, en démontrant les pires conditions pour la dilution du déchet. La direction du courant dans toutes les analyses est parallèle à la ligne de côte, c'est-à-dire, en suivant approximativement la ligne Est-ouest, en rappelant que ce la valeur du courant partagé en deux verticalement. Dans tous les cas analysés on a supposé une vitesse du vent de 2 m/s

## Annexes

(valeur recommandée du point de vue de la sécurité pour la conception de ce type d'installations).

- D'abord on a étudié l'effet de la hauteur de la bouche de décharge en ce qui concerne le fonds et de l'inclination de sortie du jet, en maintenant une géométrie de l'émissaire vu et une vitesse environnementale de la courante moyenne de 5 cm/s :

- Profondeur dans la bouche de déchet : 10 m
- Diamètre bouche émissaire : 1.3 m (vitesse de sortie du débit de 1 m/s)

Versé verticale

- Débit versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h (1,56 m<sup>3</sup>/s)
  - Salinité de calcul eau de mer : 39,38 g/l
  - Variation de concentration initiale : 35,50 g/l
  - Salinité eau de mer (20°C) : 28,1 kg/m<sup>3</sup>
  - Salinité effluent (20°C) : 55,1 kg/m<sup>3</sup>
  - Vitesse environnementale du courant 5 cm/s
- Deuxièmement on a analysé la dilution avec différentes vitesses environnementales du courant marin.
  - Ensuite, avec la même configuration et la vitesse environnementale la plus défavorable on a étudié l'effet de la vitesse de sortie du débit.
  - Finalement, considérant les pires conditions de vitesses environnementales qui peuvent se présenter, et la configuration géométrique précédente (profondeur et hauteur des bouches sur le fonds) on a évalué différentes dispositions de diffuseurs multiples.

On a considéré des valeurs caractéristiques de salinité et de densité de la zone d'étude, et on n'a pas pris en considération les variations saisonnières de ces paramètres.-Analyse de la dilution

A) Configurations de déchet (Hauteur et inclination de la cheminée).

a) Hauteur de la cheminée

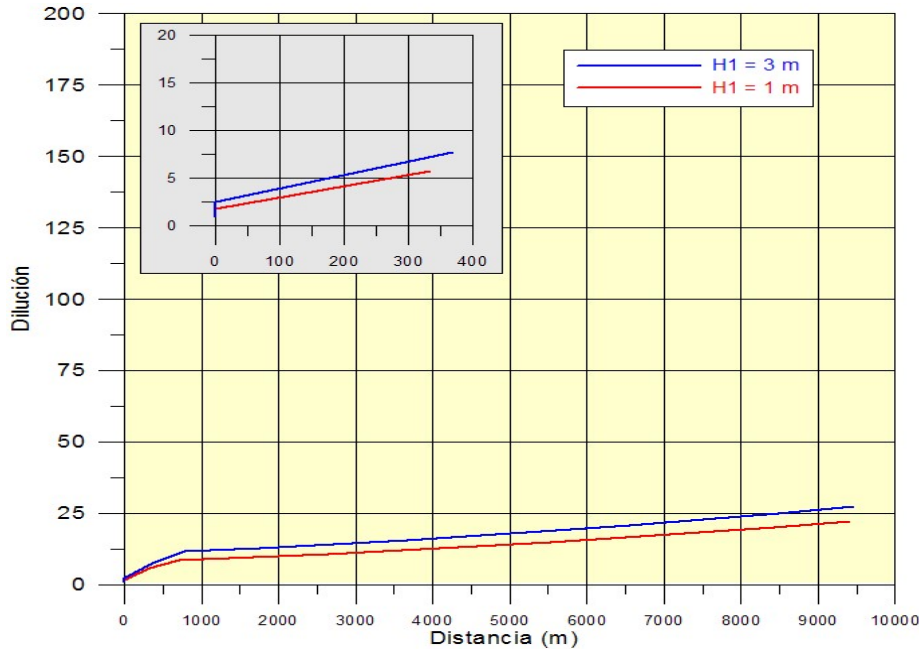
Dans la Figure 4 on peut voir ce qui est graphiques de la dilution pour deux hauteurs des cheminées depuis le fonds différentes, correspondant 1 m et à 3 m, en conservant le même profondeur moyen de 10 m. Ces limites sont établies pour éviter des enterrements des tuyauteries et optimiser l'effet sur la dilution de la masse d'eau mise au-dessus du point de déchet.

La vitesse environnementale du courant est de 5 cm/s.

**On** observe que la meilleure condition de dilution est données par des hauteurs depuis le fonds des supérieurs (H1=3 m), c'est-à-dire qu'autant de la plus grand est la hauteur de la bouche du déchet en ce qui concerne le fonds marin meilleur sera sa dilution. Le modèle Cormix ne permet pas que la hauteur de la bouche sur le fonds soit plus grande de la troisième partie de la profondeur totale existante dans la zone de déchet.

## Annexes

Figure 4. Graphiques des dilutions en fonction de différentes hauteurs de la cheminée.



### b) Inclination

Dans la Figure 5 on voit ce qui est graphiques de la dilution pour deux inclinations du diffuseur en conservant la même profondeur moyen de 10 m. Dans ces calculs la direction du courant environnemental est maintenue perpendiculaire à la direction du flux de sortie de l'effluent. On observe que la meilleure condition de dilution est donnée par un angle de 45° d'inclination de la bouche du diffuseur. L'angle de 90° indique que le déchet est effectué dans la verticale.

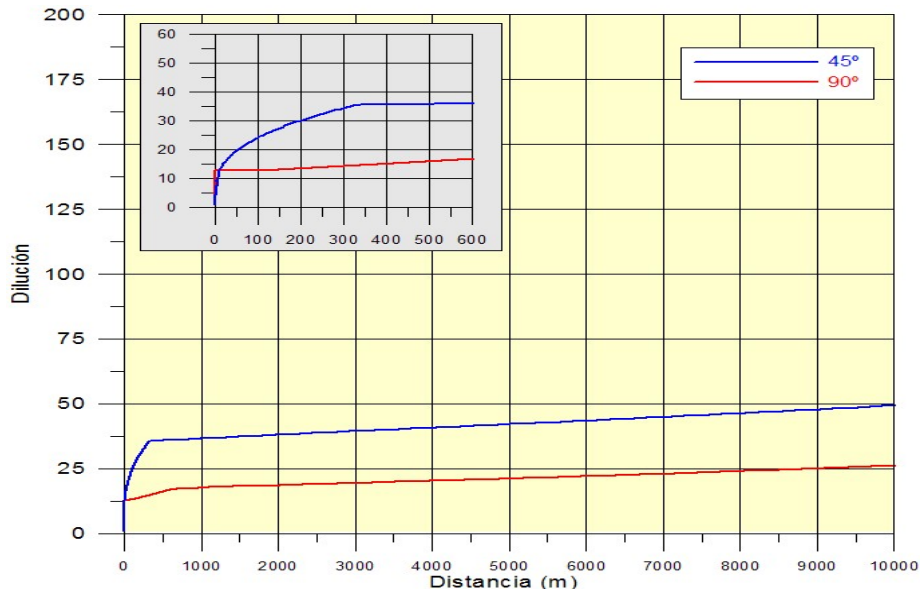


Figure 5. Graphiques des dilutions en fonction de différentes inclinations du diffuseur.

### B) Influence de la vitesse environnementale et de la vitesse de sortie du débit

On a étudié la dilution du déchet de saumure avec différentes vitesses des courants environnementaux, considérant les ampleurs des vitesses enregistrées dans la zone. On ne fait

## Annexes

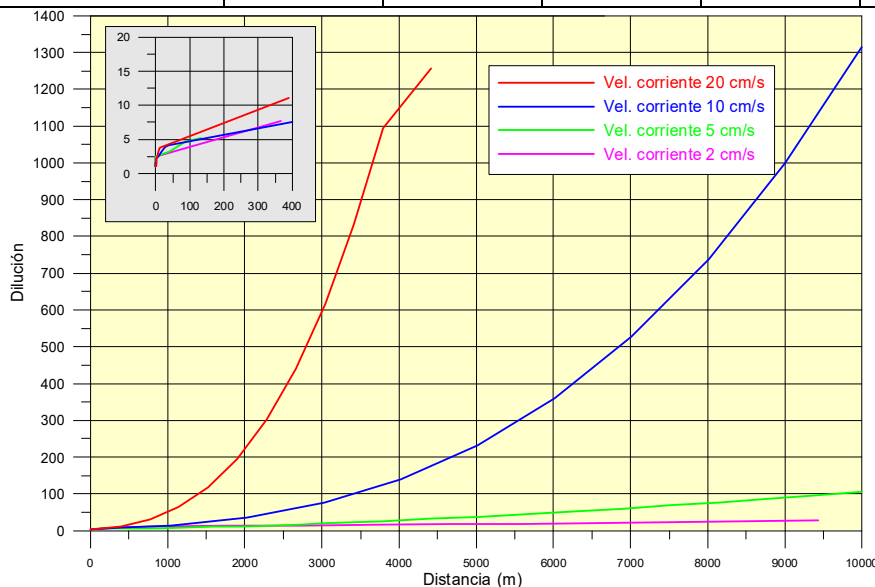
pas une distinction entre la trajectoire est et ouest de la plume de déchet hyper salin du au fait que, dans les simulations, les résultats sont symétriques dans l'une ou l'autre direction.

À la Figure 6 on représente les dilutions dans différents cas de vitesse et avec la géométrie l'émissaire et les conditions de décharge fixes (voir paragraphe précédent).

On observe que les pires conditions de dilution se présentent avec des vitesses comprises entre des valeurs de 2 et 5 cm/s, tandis qu'avec des vitesses très hautes la dilution améliore notamment étant donné les processus de mélange turbulents. Par conséquent, des vitesses de l'ordre de 20 cm/s peuvent se considérer de comme les pires pour la dilution (Tableau 2).

*Tableau 2. Valeurs de dilution à différentes distances du point de déchet et par différentes ampleurs de la vitesse environnementale.*

| Vitesse environnementale<br>(cm·s <sup>-1</sup> ) | Distance au point de versée (m) |     |       |       |        |
|---|---------------------------------|-----|-------|-------|--------|
|   | 100                             | 500 | 1.000 | 4.000 | 10.000 |
| 2   | 3                               | 8   | 11,8  | 16    | 29,4   |
| 5   | 5                               | 6,1 | 8,4   | 30    | 106    |
| 10  | 5                               | 7,6 | 12,8  | 139   | 1.315  |
| 20  | 7                               | 12  | 60    | 1.100 | 3.000  |



*Figure 6. Graphiques de dilutions en fonction de différentes ampleurs de la vitesse environnementale. Dans le cadre supérieur apparaissent les dilutions à des distances inférieures à 400m du point de déchet.*

Dans la Figure 7 on voit les graphiques de la dilution pour trois diamètres différents, correspondant à une vitesse de sortie de 1 m/s (D1 = 1.3 m), de 2 m/s (D2 = 0.92 m) et de 3 m/s (D3 = 0.75 m) en conservant la même profondeur moyenne de 10 m, la hauteur de 3 mètres de la bouche de déchet sur le fonds et une vitesse environnementale de 2 cm/s.

On observe que la meilleure condition de dilution est donnée par des vitesses supérieures de sortie du débit par l'émissaire de déchet et, conséquemment diamètres inférieurs de la bouche de l'émissaire.



## Annexes

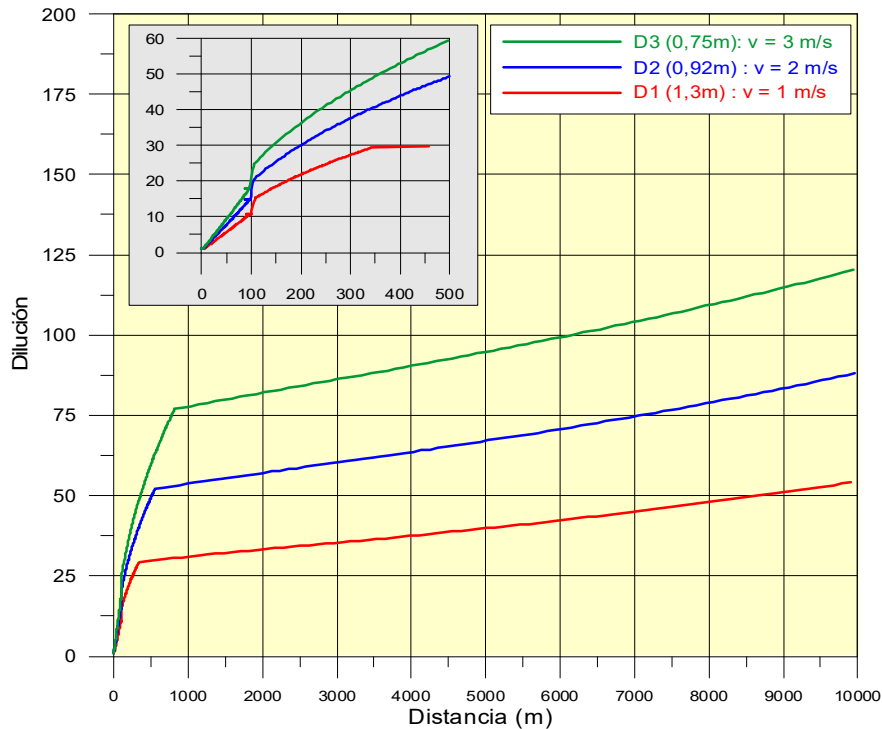


Figure 7. Graphiques des dilutions en fonction de différents diamètres du diffuseur.

### C) Effets d'un diffuseur avec différentes bouches de sortie

Dans la Figure 8 on montre les graphiques de la dilution pour diverses configurations de diffuseurs avec plus de une bouche de sortie, en conservant la même profondeur moyenne de 10 m, et une inclinaison des bouches de 45°. Dans ces calculs la direction du courant environnemental (de 2 cm/s) est maintenue perpendiculaire à la direction du flux de sortie de l'effluent.

On compare trois diffuseurs différents (avec de multiples sorties, Tableau 3), avec la dilution obtenue par la configuration optimale trouvée pour un diffuseur avec une seule bouche de sortie (t-3). La longueur est celle du tronçon de l'émissaire compris entre la première et la dernière des bouches de sortie du déchet.

Peut-on voire comme avec les conditions imposées le tronçon diffuseur n'améliore pas les dilutions obtenues, fondamentalement du au fait que la dilution au domaine proche est celle qui détermine avec les faibles vitesses environnementales la dilution de la saumure tandis que, la dilution de domaine éloigné est faible dans ce cas.

Par cette raison, avec les spécifications du déchet, spécialement étant donné le débit de  $1.56 \text{ m}^3/\text{s}$  le facteur qui prédomine est la vitesse de sortie du débit, que, étant plus la haute possible cause que dans les alentours du point de déchet une importante partie de la colonne d'eau agisse comme facteur de dilution, tandis que, avec le déchet dans différents diffuseurs le débit unitaire par diffuseur diminue et la partie de la colonne d'eau qui prend part à la dilution initiale de la saumure est plus petite.

## Annexes

Tableau 3. Configuration des diffuseurs, employé dans les calculs de dilution.

| Type diffuseur | Longueur du tronçon diffuseur (m) | Radio bouche (m) | N° bouches |
|----------------|-----------------------------------|------------------|------------|
| Dif. 1         | 100                               | 0,44             | 3          |
| Dif. 2         | 100                               | 0,34             | 5          |
| Dif. 3         | 100                               | 0,26             | 9          |

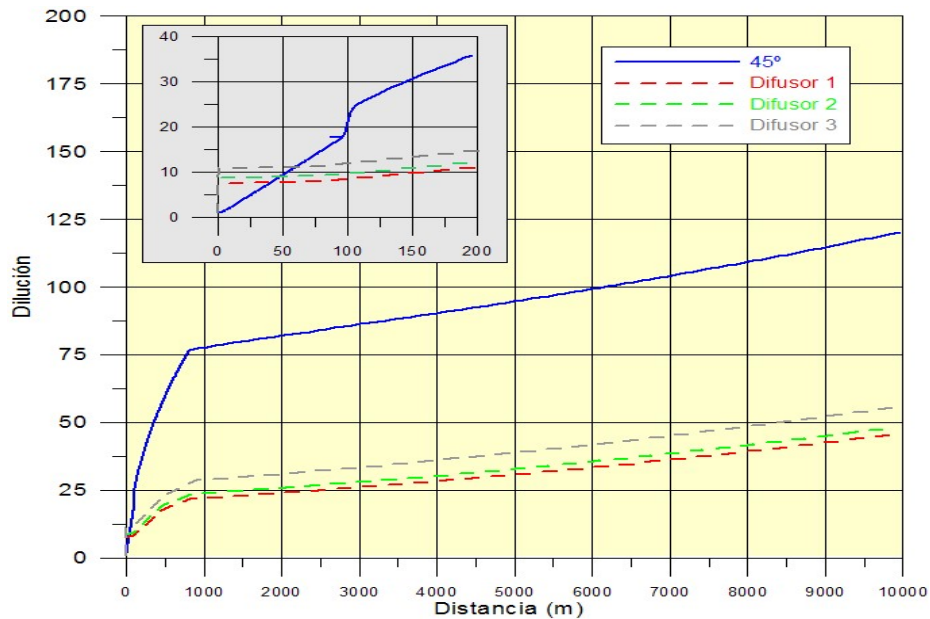


Figure 8. Graphiques des dilutions en fonction de différentes configurations de diffuseurs.

### D). Influence du profondeur sur la décharge du déchet

Une fois établie la meilleure configuration de versée, on étudie la dilution en variant la profondeur du point de versée, en maintenant comme hauteur depuis le fonds aux bouches de décharge le principe permis pour une dilution optimale. Les données de départ sont :

- Diamètre bouche émissaire : 0.74 m (vitesse de sortie 3 m/s)
- Versé incliné 45° par rapport a la verticale
- Débit versé : 5.638 m<sup>3</sup>/h (1,56 m<sup>3</sup>/s)
- Salinité de l'eau de mer : 39,38 g/l
- Variation de concentration initiale : 35,50 g/l
- Salinité eau de mer (20°C) : 28,1 kg/m
- Salinité effluent (20°C) : 55,1 kg/m
- Vitesse environnementale du courant 2 cm/s
- Hauteur de la bouche de décharge sur le fond 3 m

Dans la Figure 9 on montre ce qui est graphiques de la dilution avec différentes profondeurs au point de versé : à 10, 20 et 30 mètres de profondeur, respectivement. Dans le Tableau 4 on montre les différentes longueurs approximatives des tuyauteries nécessaires pour atteindre ces profondeurs.

## Annexes

Tableau 4. Longueur prévue des tuyauteries de conduite en fonction de la profondeur moyen du point de déchet.

| Profondeur (m) | Longueur tuyau (m) |
|----------------|--------------------|
| 10             | 790                |
| 20             | 1.320              |
| 30             | 1.960              |

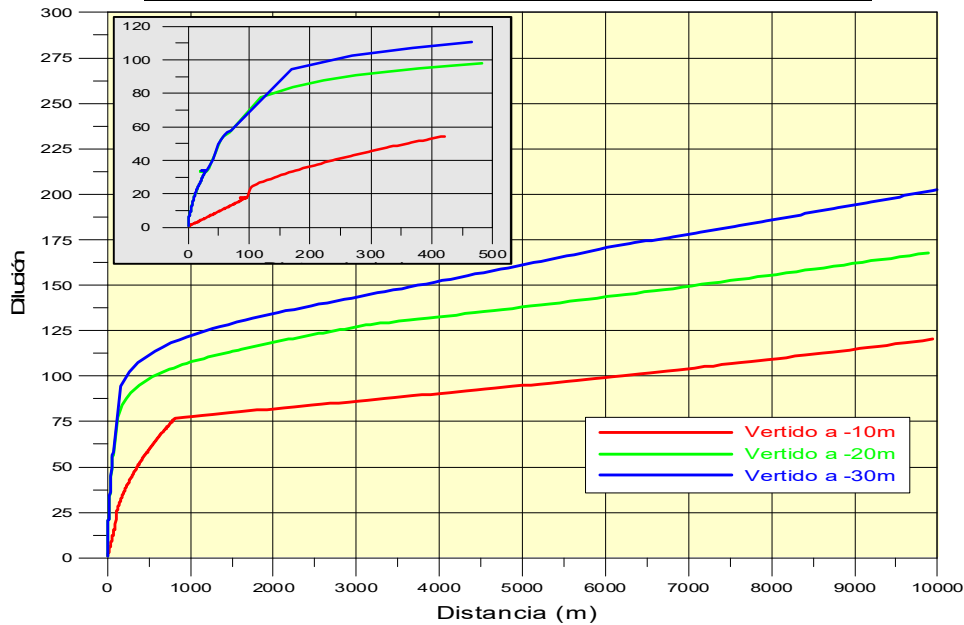


Figure 9. Graphiques de la dilution pour la même configuration de diffuseurs en fonction de la profondeur de versée.

La meilleure dilution est obtenue pour une profondeur du point de versé de 30 mètres, mais les différences par rapport au versé déchet a 20 mètres de profondeur sont presque inexistantes à moins de 100 mètres de distance du point de versé et, elles sont seulement rendus appréciables à des distances supérieures à 1 km.

### E) Étude d'alternatives

On dispose de l'information de cartographie bionomique des prairies existantes dans la zone de l'étude, laquelle apparaît dans la Figure 10. On dispose en outre d'une bathymétrie détaillée de la zone d'étude, montrée dans la Figure 11, peut on observer que, entre la bathymétrie de -3 et celle de -8 il existe une vaste zone avec présence de barres et ripples, qui indiquent que le secteur est soumis à l'action de la montée subite et que le fond est actif, ce pourquoi il existe le danger de remblaiement de la bouche de versé ce pourquoi il s'avère comme ne pas adéquat de les installer à moins de 10 mètres de profondeur.

## Annexes

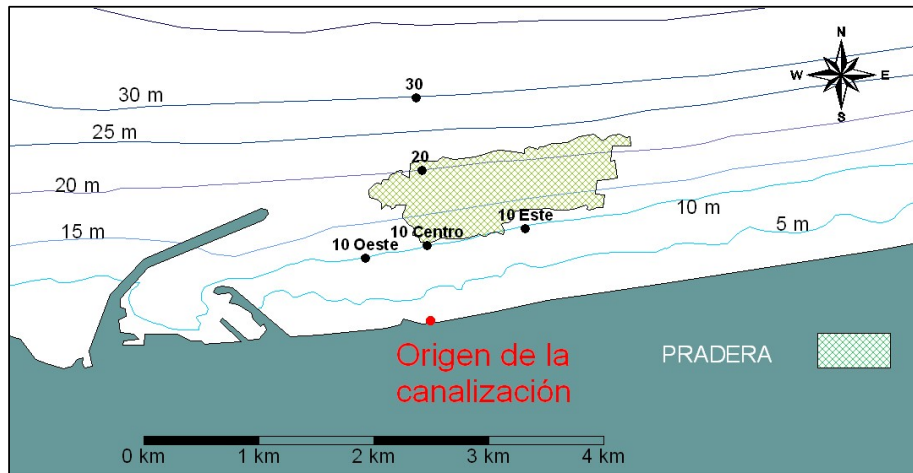


Figure 10. Localisation des prairies de *Cymodocea nodosa* dans la zone d'étude.

Dans la Figure 10 apparaissent les 6 variantes étudiées: les 5 évaluées d'abord, 3 situées sur le niveau bathymétrique de 10 mètres, une autre à 20 mètres et une autre à 30 mètres de profondeur et une dernière a 9 mètres de profondeur. Les coordonnées UTM de chacune de ces variantes sont :

Tableau 5. Positions des alternatives étudiées.

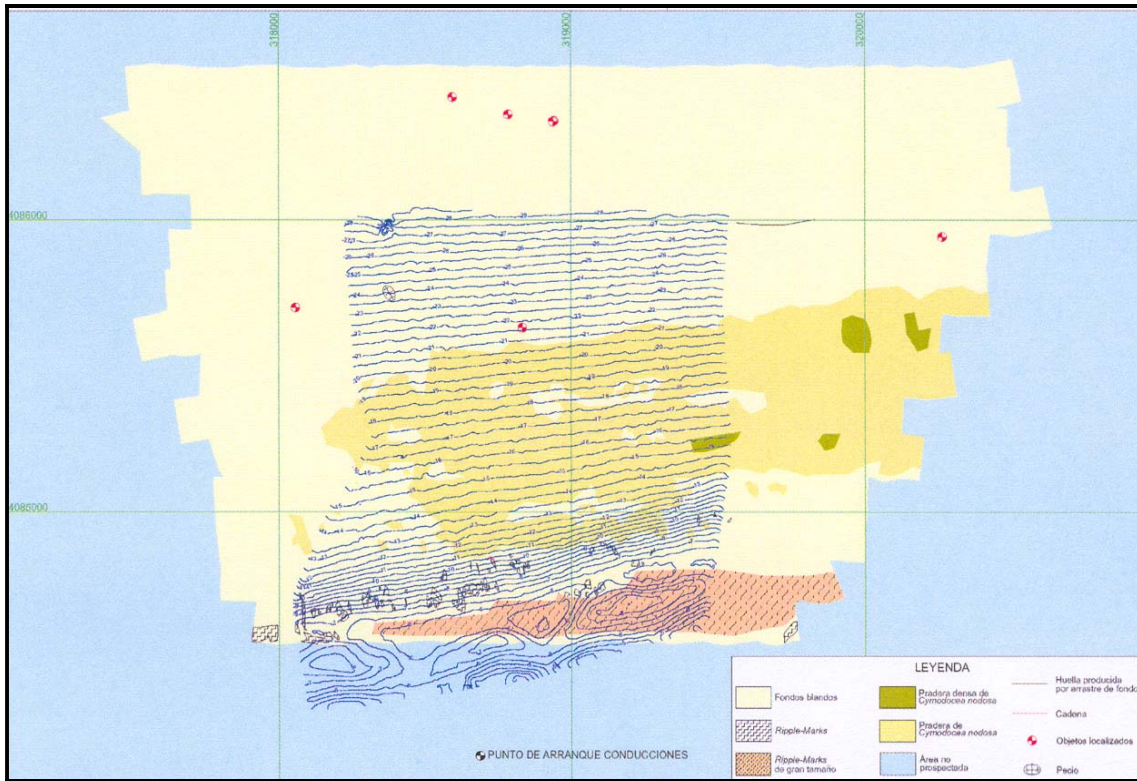
| Variante   | X UTM (m) | Y UTM (m) |
|------------|-----------|-----------|
| 10 Central | 318.663   | 4.084.822 |
| 10 Est     | 319.517   | 4.084.972 |
| 10 Ouest   | 318.123   | 4.084.714 |
| 20 m       | 318.621   | 4.085.481 |
| 30 m       | 318.569   | 4.086.112 |
| 9 Este     | 319.517   | 4.084.942 |

Les conditions environnementales sont d'une vitesse de 2 cm/s (la pire du point de vue de la dilution). Le diamètre de la bouche de sortie du débit est de 0.74 m (une vitesse de sortie de 3 m/s avec le débit de 1.33 m<sup>3</sup>/s) et la hauteur de la bouche sur le fonds est dans tous les cas de 3 mètres.

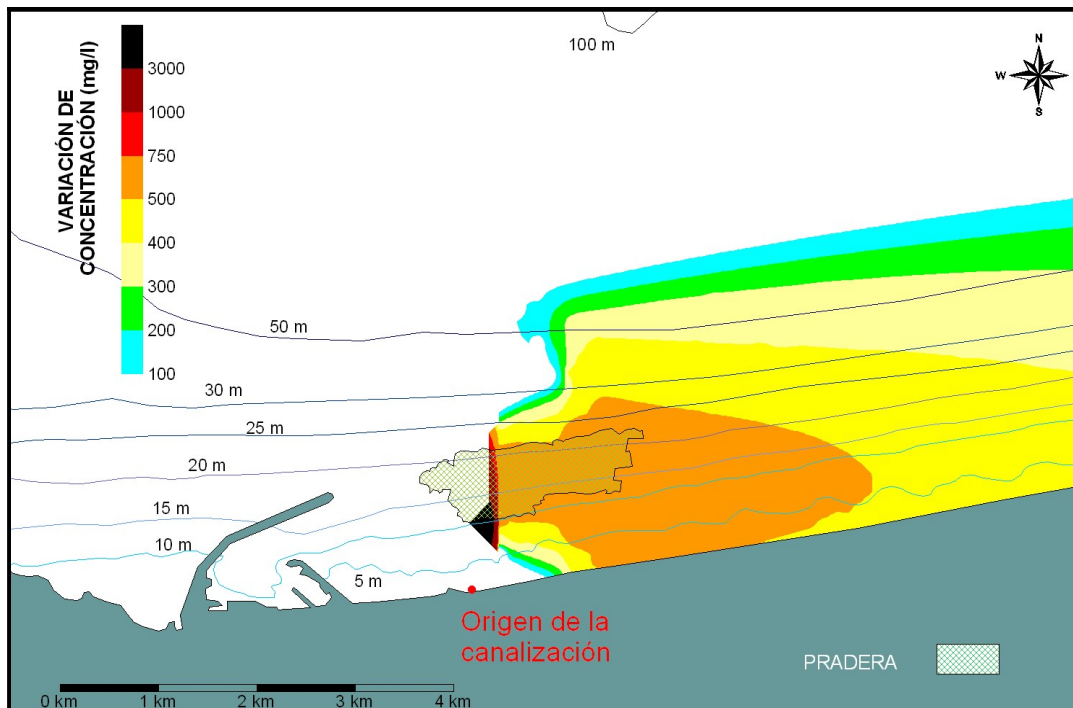
Dans la Figure 12 on montre la plume de l'accroissement de la concentration de sels dans le cas du déchet 10 mètres de profondeur dans la position 10 Centre. Dans la Figure 13 apparaît l'image de la plume de salinité avec le déchet à 10 mètres de profondeur dans la position de l'Est et dans la Figure 14 l'image correspondant à la position de 10 mètres de l'Ouest.

Finalement, dans la Figure 15 on peut voir les résultats des accroissements de salinité dus aux versés des saumures si celui l'on effectue à 20 mètres de profondeur et dans la Figure 16 les résultats avec le déchet à 30 mètres.

## Annexes



*Figure 11. Bathymétrie et cartographie bionomique de la zone d'étude.*



*Figure 12. Plumes d'accroissement de salinité du au versé de saumures avec l'émissaire situé à 10 mètres de profondeur dans la position 10 Central.*

## Annexes

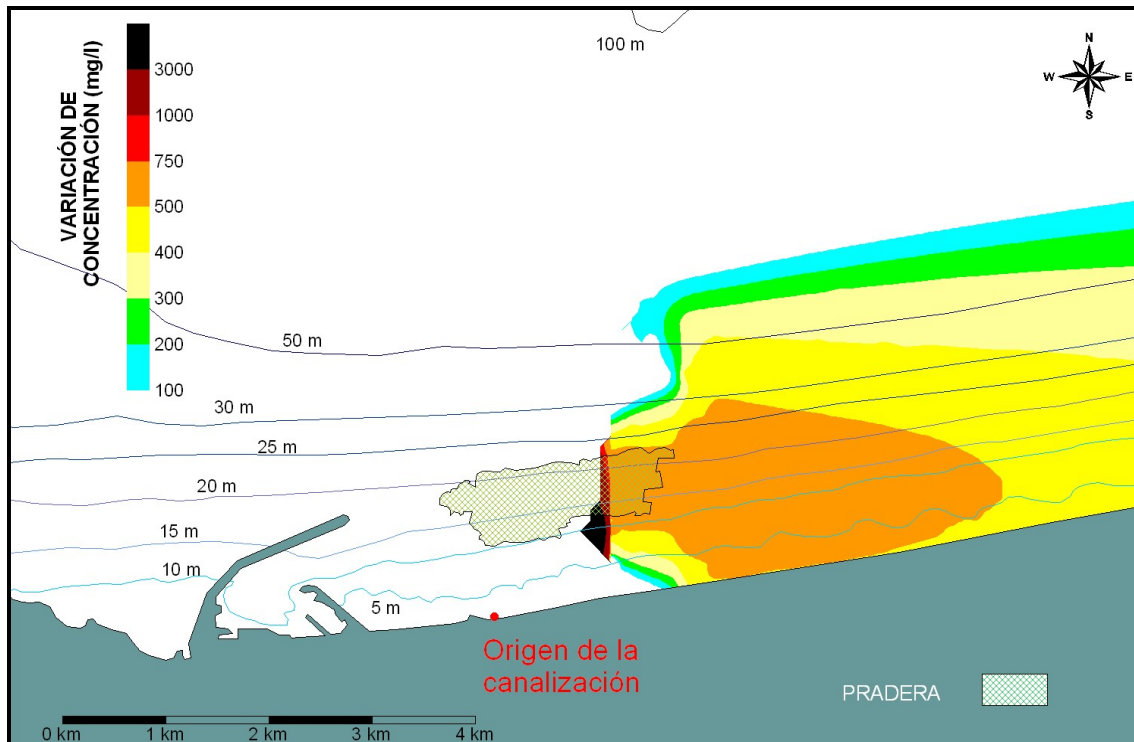


Figure 13. Plumes d'accroissement de salinité du au versé de saumures avec l'émissaire situé à 10 mètres de profondeur dans la position 10 Est.

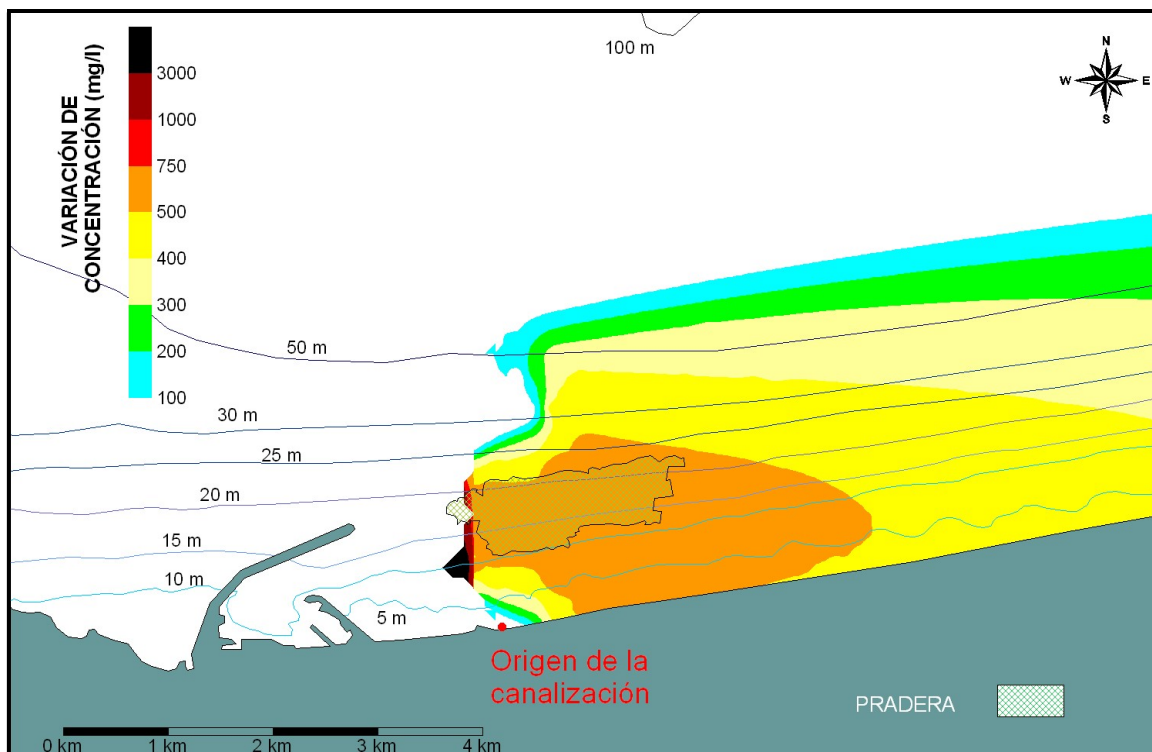


Figure 14. Plumes d'accroissement de salinité du au versé de saumures avec l'émissaire situé à 10 mètres de profondeur dans la position 10 Ouest.

## Annexes

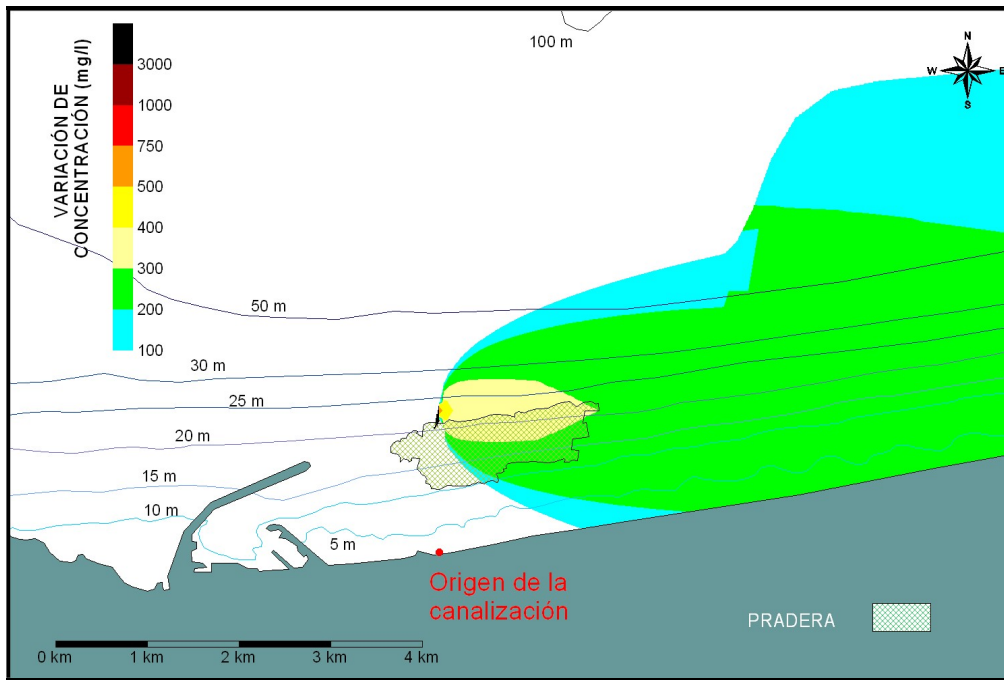


Figure 15. Plumes d'accroissement de salinité du au versé de saumures avec l'émissaire situé à 20 mètres de profondeur

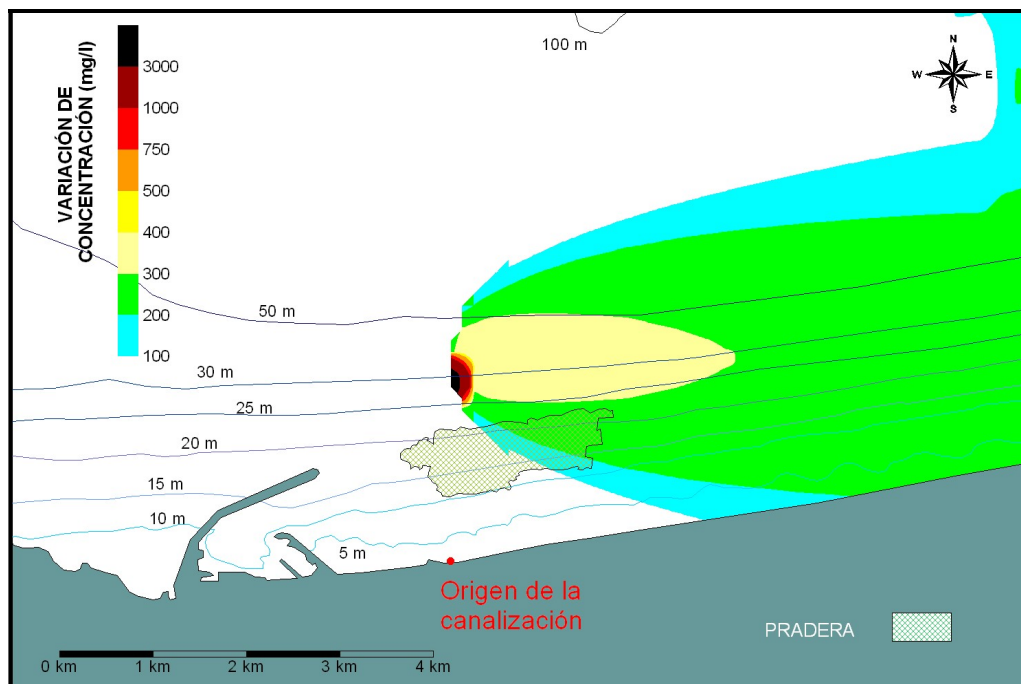


Figure 16. Plumes d'accroissement de salinité du au versé de saumures avec l'émissaire situé à 30 mètres de profondeur

Le secteur total de la prairie dessinée sur les cartes est de 119 ha. Dans le Tableau 6 on peut voir le résumé des résultats obtenus pour les 6 variantes étudiées. Il a été calculé: Secteur de prairie affecté, accroissement maximal de salinité dans la prairie, accroissement minimal et accroissement moyen dans le secteur de prairie affecté.

On peut voir que la variante avec un moindre impact sur la prairie est celle de 30 mètres de profondeur, bien qu'elle représente l'émissaire le plus long. Cependant, la variante de 10 mètres dans la position Ouest bien qu'elle maximise le secteur de prairie (cartographiée)

## Annexes

affecté (118 ha), dans la pire des conditions environnementales montre un accroissement de salinité moyen à l'intérieur de la zone de prairie de 0.56 gr/l et l'accroissement de salinité maximal de 1.25 gr/l, valeurs est très inférieures aux deux autres cas.

*Tableau 6. Résumé de résultats de : Secteur de prairie touchée (Ha), accroissement maximal de salinité dans la prairie touchée (GR/l), accroissement moyen de salinité dans la prairie (GR/l) et accroissement minimal de salinité dans la prairie (GR/l) avec les points de déchet situés à 10 centre, 10 Ouest, 10 Ce, 9 Ce, 20 et 30 mètres de profondeur. On a considéré la pire de la situation environnementale du point de vue du courant (2 cm/s), une vitesse de sortie du débit par le biais de l'émissaire de 3 m/s et une hauteur de la bouche sur le fonds de 3 mètres.*

| <b>Profondeur au point de versée</b> | <b>Surface de prairie affectée (ha)</b> | <b><math>\Delta S</math> maximum (gr/l)</b> | <b><math>\Delta S</math> moyen (gr/l)</b> | <b><math>\Delta S</math> minimum (gr/l)</b> |
|--------------------------------------|---|---|---|---|
| <b>10 Centre</b>                     | 91                                      | 15,90                                       | 0,57                                      | 0,49  |
| <b>10 Ouest</b>                      | 118                                     | 1,25  | 0,56                                      | 0,50  |
| <b>10 Est</b>                        | 34,5                                    | 3,46  | 0,60                                      | 0,54  |
| <b>9 m</b>                           | 28,0                                    | 0,90  | 0,60                                      | 0,51  |
| <b>20 m</b>                          | 88                                      | 21,45                                       | 0,30                                      | 0,05  |
| <b>30 m</b>                          | 74,5                                    | 0,32  | 0,27                                      | 0,04  |
| <b>9 Est</b>                         | 28                                      | 0,90  | 0,60                                      | 0,51  |

Il faut prendre en considération que l'option de l'Est à 10 mètres de profondeur suppose un secteur plus petit de prairie touchée, mais, qu'on a disposé de cartographie dans la zone d'étude, il faudrait supposer que probablement aussi il y ait prairies de *Cymodocea* à l'Est de la zone d'étude donc la surface de prairie touchée serait plus grande.

Comme variante complémentaire pour diminuer l'accroissement de salinité produit par la saumure sur la prairie de *Cymodocea* cartographiée et éviter des interférences avec la parcelle voisine à l'Ouest et avec d'autres installations sous-marines existantes, on a aussi analysé une alternative avec le point de déchet à 9 mètres de profondeur, considérant se celle-ci la profondeur limite sous laquelle le mouvement de sédiments dans le fonds peut produire le remblaiement de la bouche de versé.

Dans la Figure 17 on peut voir la plume d'accroissements de salinité étant donné le déchet de saumure dans le cas que la profondeur du point de versé soit de 9 mètres, la hauteur de la bouche de déchet sur le fonds soit de 3 mètres, le diamètre de la bouche 0.74 m (qu'avec le débit de conception de 1.33 m<sup>3</sup>/s donne une vitesse de sortie de 3 m/s) et la vitesse environnementale de 2 cm/s. Les coordonnées UTM de ce point sont : 319.517 m et 4.084.942 m. Dans ce cas le secteur affecté est de 28 ha, l'accroissement maximal de concentration de sels causé sur la prairie de *Cymodocea* cartographiée est de 0.90 gr/l, l'accroissement moyen de concentration sels il est de 0.60 gr/l tandis que, l'accroissement minimal qui souffrira la prairie dans cette scène est de 0.51 gr/l.



## Annexes

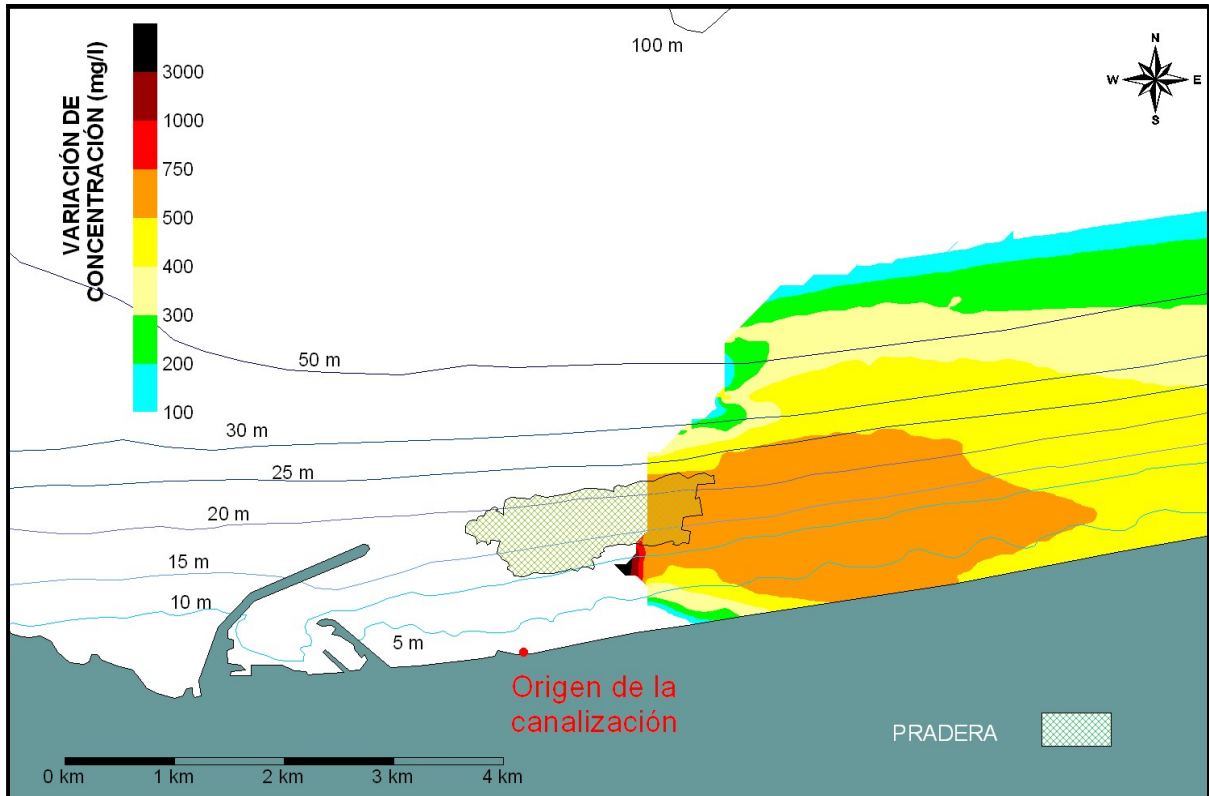


Figure 17. Plumes d'accroissement de salinité étant donné le déchet de saumures avec l'émissaire situé à 9 mètres de profondeur.

### F) Épaisseur de la plume

Afin d'évaluer l'épaisseur de la plume (en ligne discontinue) on représente dans la Figure 18 les courbes de position de la limite supérieure de la plume de la saumure dans le cas de la configuration de déchet indiquée comme optimale et avec des vitesses environnementales de 2 et 5 cm/s, dans est même graphique a été dessiné l'accroissement de salinité produit par le déchet (ligne continue).

Comme il peut être observé dans les cas simulés la dilution de domaine éloigné augmente en augmentant la vitesse du courant tandis que, la couche d'eau touchée par le déchet de saumures une fois qu'on s'éloigne du point de déchet est maintenue collée au fonds et avec une épaisseur inférieure à 3.5 mètres.

## Annexes

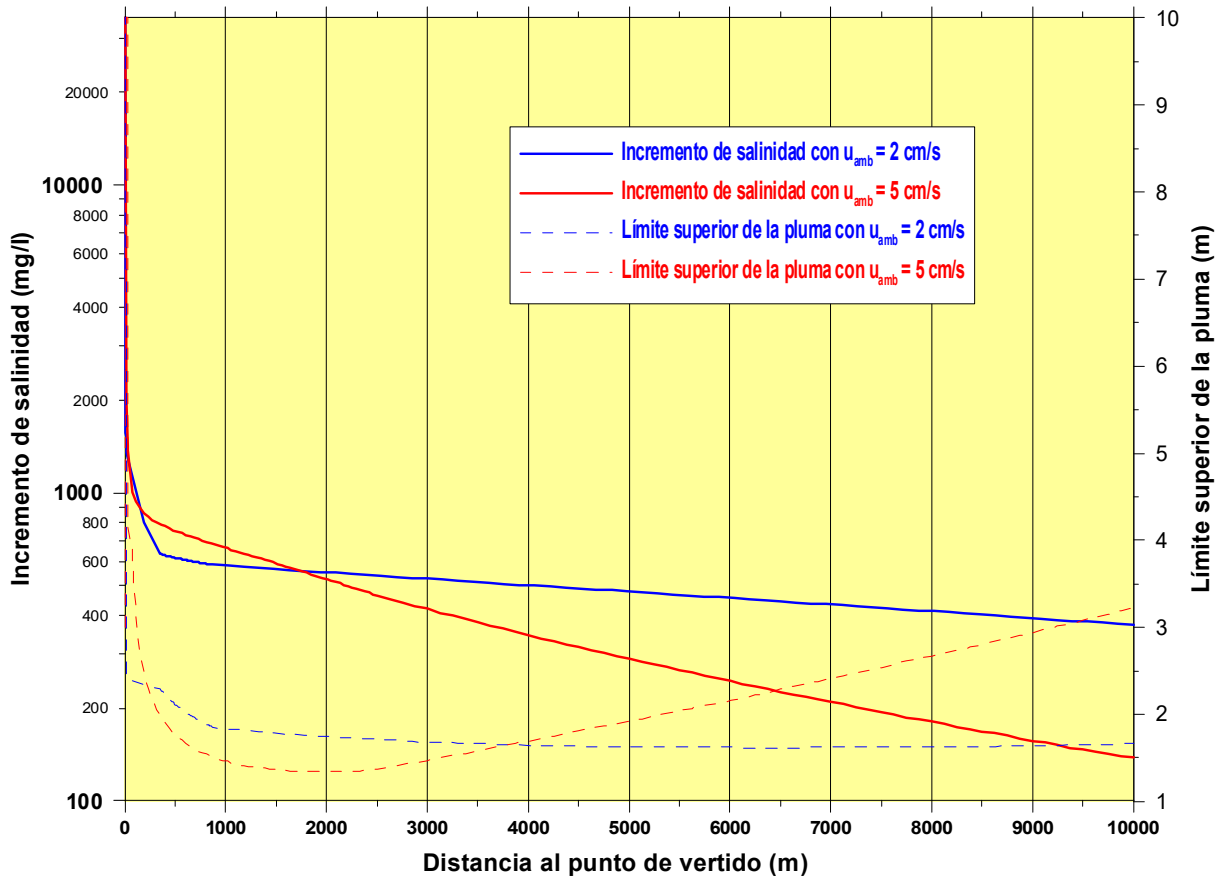


Figure 18. Position de la limite supérieure des plumes de saumure (ligne discontinue) et accroissements de concentration de sel (ligne continue) dans le cas de vitesses environnementales de 2 et 5 cm/s. On a considéré une profondeur du point de déchet de 10 m, une vitesse de sortie du débit par l'émissaire de 3 m/s (diamètre de 0.74 avec le débit de conception de  $1.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et une hauteur de la bouche sur le fonds de 3 m.

### 3.4.3. Résumé et conclusions

Dans ce travail on a effectué des simulations de dispersion de déchet hyper salin, de la station de dessalement de Fouka, avec le programme CORMIX afin d'étudier la dilution spatiale du déchet avec les caractéristiques suivantes:

- Débit maximal versé :  $5.638 \text{ m}^3/\text{h}$
- Variation de concentration initiale :  $35,50 \text{ g/l}$
- Salinité eau de mer :  $28,1 \text{ kg/m}$
- Salinité effluent :  $55,1 \text{ kg/m}$

D'une part on a analysé différentes configurations de conception du versé et d'autre c'est recherché quelle est la pire condition environnementale quant à vitesse moyenne du courant dans la colonne d'eau.

Établis ces paramètres a été analysé l'effet d'augmenter la vitesse de sortie de la saumure à travers la conduite de déchet, l'effet d'augmenter la hauteur sur le fonds de la bouche de l'émissaire et l'effet de donner une certaine inclinaison au diffuseur. On a observé

## Annexes

qu'augmenter la vitesse de sortie (3 m/s), situer la bouche la plus haute possible (à 3 mètres du fonds) et lui donner un angle de 45° au diffuseur améliore sensiblement les dilutions obtenues. On a analysé de même les différentes distributions de diffuseurs sans obtenir des meilleurs résultats de dilution du déchet de saumure.

La pire condition du point de vue de la dilution a été celle de calmes, avec des faibles vitesses du courant, de l'ordre de 2 cm/s.

Finalement, on a étudié 6 positions alternatives pour la situation du diffuseur de l'émissaire, une à 9 mètres de profondeur, trois à 10 mètres de profondeur, une à 20 mètres et une autre à 30 mètres, en étant calculé quel est l'accroissement de salinité dans la prairie de *Cymodocea* cartographié.

On n'a pas considéré de points de déchet à moins de 9 mètres de profondeur puisqu'on a observé que sous cette profondeur il existe le danger de remblaiement de l'installation, avec le préjudice conséquent pour la station de dessalement.

Du point de vue de minimisation de l'impact du déchet sur la prairie la meilleure des alternatives analysées est celle du déchet à 30 mètres de profondeur. Dans ce cas le secteur de prairie touchée dans la pire des situations de vitesse du courant est de 74.5 ha, avec un accroissement maximal de la salinité dans la prairie de 0.32 gr/l et une augmentation moyenne dans la prairie touchée de 0.27 gr/l.

Dans le Tableau 6 on peut voir le résumé des principaux résultats obtenus dans les simulations effectuées dans la pire scène possible de courants avec la meilleure conception de l'émissaire et les 6 positions et les profondeurs considérées.

Les variantes avec le point de versée à 10 mètres de profondeur sont relativement semblables quant à impact moyen sur la prairie bien que la meilleure de toutes soit celle située à l'Ouest, c'est à dire, la plus proche au Port de Fouka. Cependant, cette alternative n'est pas viable pour interférer avec un conduit sous-marin existant dans la parcelle adjacente à l'emplacement de la dessaleuse. Afin de diminuer l'impact sur la prairie on a considéré une variante à 9 mètres de profondeur située à l'Est de la zone d'étude (319.517 m et 4.084.942 m) et qui se trouve dans la limite de profondeur considéré touchée par des mouvements du dépôt de fond. Celle-ci a résulté la variante la plus convenable du point de vue de minimisation de l'effet du déchet sur la prairie et, qu'à son tour, il demande le moins longueur d'émissaire ; puisque l'accroissement maximal de salinité produit par le déchet est de 0.90 gr/l tandis que, l'accroissement moyenne attendue dans la prairie touchée est de 0.60 gr/l ; la surface totale de prairie touchée est estimée 28 ha du point de vue de la prise, dans tous les cas analysés l'épaisseur de la plume en domaine éloigné (à une distance de plus de 500 mètres du point de versé) est inférieur à 4 mètres et le déchet s'est collé au fonds sous l'effet de sa plus grande densité. Dans cette situation la prise pourrait se situer proche à la ligne de côte de l'eau de la mer des deux premiers mètres depuis la surface.

## Annexes

Dans la Figure 19 on montre deux images avec la disposition de la meilleure sélection pour la conception de la conduite de déchet de la saumure du point de vue de dilution.

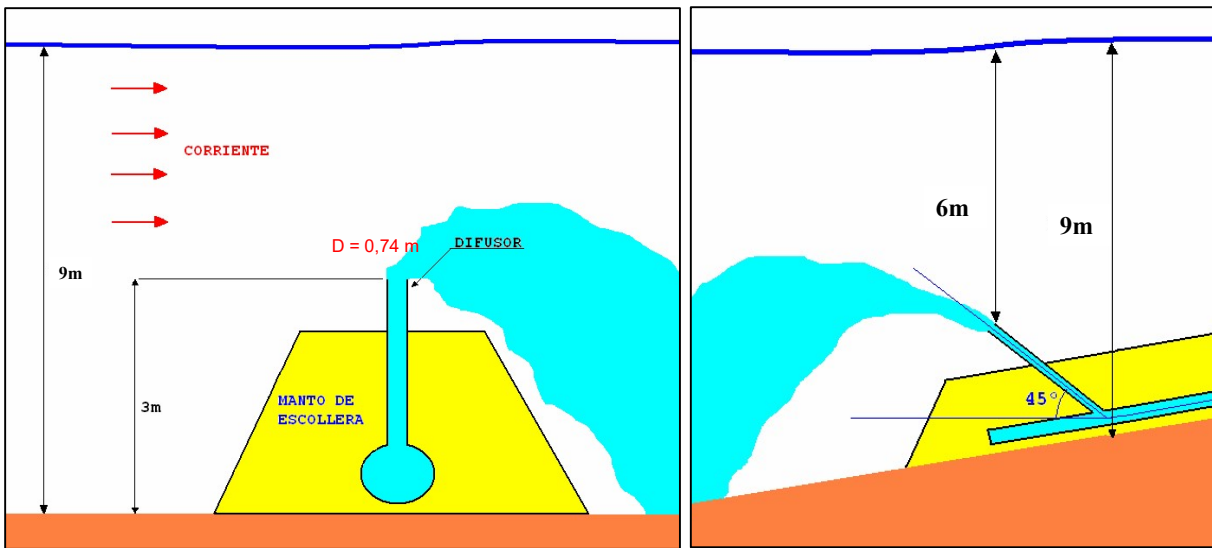


Figure 19. Conception de la conduite de déchet de la saumure. La profondeur du point de déchet est de 9 m, la hauteur de la bouche de déchet sur le fonds est de 3 m, le diamètre de la bouche est de 0.74 m (avec le débit de conception de  $1.33 \text{ m}^3/\text{s}$  la vitesse de sortie est de 3 m/s).

## ANNEXE 2: DIAGRAMME GENERAL (FOUKA)

## Liste des abréviations

|          |   |
|----------|---|
| APPL :   | l'Agence pour la Promotion et la Protection du Littoral Algérois. |
| CORMIX : | Cornell Mixing zone expert system                                 |
| COT :    | Carbone organique total.  |
| DWEER :  | Dual Work Exchange Energy Recovery                                |
| EDC :    | Electrodialyse conventionnelle.                                   |
| EDI :    | Electrodéionisation.  |
| EIE :    | Etude d'impact environnementale.                                  |
| ERI :    | Energy Recovery Inc   |
| EDTA :   | Ethylène Diamino Tetra Acétique.                                  |
| MED :    | Distillation à multiples effets.                                  |
| MES :    | Matières en suspension.   |
| MSF :    | Distillation par détente successive.                              |
| NEE :    | National Eau et Environnement                                     |
| NEP :    | Nettoyage en place.   |
| OI :     | Osmose inverse.   |
| PX :     | pressure exchange   |
| SCADA :  | Supervisory Control And Data Acquisition                          |
| SDI :    | Silt Density Index .  |
| SMBS :   | Meta bisulfite de sodium.   |
| SEAAL :  | Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger                   |
| TAC :    | Titre alcalimétrique complet.                                     |
| TH :     | Titre Hydrométrique (dureté totale).                              |
| TSD :    | Taux de sels dissouts.  |
| USEPA :  | Environmental Protection Agency                                   |
| UTM :    | Universal Transverse Mercator                                     |

## Alphabets

$\Delta C$  : Différence de concentration  
 $C_A$  : La concentration côté alimentation  
 $C_i$ : Concentration moyenne dans la membrane  
 $C_P$ : La concentration côté production  
 $C_R$ : La concentration côté rejet  
E: Epaisseur de la membrane  
FC: Facteur de conversion  
FI: Force ionique  
 $K_c$ : Coefficient de compaction  
 $K_p$ : Coefficient de perméabilité à l'eau de la membrane  
 $K_s$ : Coefficient de passage de sels  
 $K_r$ : Coefficient lié à la viscosité de l'eau, donc à sa température  
nm : Nanomètre  
P : Pression appliqué  
 $\Delta P$  : Différence de pression motrice  
PS : Le passage de sels  
 $Q_a$ : Le produit de solubilité dans le rejet  
 $Q_c$ : Débit d'alimentation  
 $Q_{eau}$ : Débit de concentrât  
 $Q_m$ : Débit d'eau dans la conduite  
 $Q_s$ : Flux de sels à travers la membrane  
R: Constante molaire des gaz  
RS : Le rejet de sels  
S : Surface de la membrane  
T : Température  
Y : La conversion

## Liste des annexes

Annexe 1: étude d'alternatives. modèle de diffusion du déchet de saumure (CORMIX).

Annexe 2: diagramme général (FOUKA).

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I-1:</b> Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 ‰.....  | 1  |
| <b>Tableau I-2:</b> Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au µg/l se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension .....    | 2  |
| <b>Tableau I-3 :</b> salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes.....   | 3  |
| <b>Tableau I-4 :</b> viscosité relative $\eta / \eta_0$ de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité ( $\eta_0$ viscosité de l'eau pure à 0°C 1787 centpoises)..... | 5  |
| <b>Tableau II-1 :</b> les technologies communes de dessalement.....  | 6  |
| <b>Tableau II-2:</b> Dessalement de l'eau de mer: bilan des dernières avancées technologique ; bilan économique; analyse critique en fonction des contextes.....                       | 20 |
| <b>Tableau II-3:</b> Interprétation des résultats donne par les lois de Fick et Henry.....   | 28 |
| <b>Tableau II-4:</b> Quelques signes de colmatage.....   | 32 |
| <b>Tableau II-5:</b> Quelques solutions de nettoyage.....  | 34 |
| <b>Tableau II-6:</b> choix des produits de nettoyage.....  | 35 |
| <b>Tableau III-1:</b> Les précipitations en Algérie (mm).....  | 38 |
| <b>Tableau III-2:</b> Répartition des eaux de surface en Algérie.....  | 39 |
| <b>Tableau III-3:</b> Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.....  | 39 |
| <b>Tableau III-4:</b> Pourcentages d'exploitation des nappes du sud.....   | 40 |
| <b>Tableau III-5:</b> Stations exploitées par Sonelgaz.....  | 42 |
| <b>Tableau III-6:</b> Stations exploitées par «SONATRACH».....   | 42 |
| <b>Tableau III-7:</b> Stations exploitées par d'autres Compagnies.....   | 43 |
| <b>Tableau III-8:</b> Les Stations Monoblocs réalisées.....  | 44 |
| <b>Tableau III-9:</b> Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation.....  | 45 |
| <b>Tableau IV-1:</b> Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des Produits utilisés.....   | 50 |
| <b>Tableau IV-2:</b> Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer.....   | 52 |
| <b>Tableau IV-3:</b> Indicateurs de durabilité pour les usines d'OI et de MSF avec une source locale d'énergie électrique.....   | 53 |
| <b>Tableau IV-4:</b> L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse.....   | 54 |
| <b>Tableau V-1:</b> Capacité de la station.....  | 58 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tableau V-2:</b> Causes et conséquences de différents types d'encrassement.....  | 76  |
| <b>Tableau V-3:</b> Résumé des caractéristiques des pompes.....   | 78  |
| <b>Tableau V-4:</b> Qualité de l'eau de mer pendant le moi de mai.....  | 86  |
| <b>Tableau V-5:</b> Qualité de l'eau traitée pendant le moi de mai.....   | 87  |
| <b>Tableau V-6:</b> Qualité de l'eau traitée pendant le moi de mai (suite1).....  | 88  |
| <b>Tableau V-7:</b> Qualité de l'eau traitée pendant le moi de mai (suite 2).....   | 89  |
| <b>Tableau V-8:</b> Contrôle des effluents pendant le moi de mai.....   | 90  |
| <b>Tableau V-9:</b> Les résultats des analyses biologiques.....   | 91  |
| <b>Tableau VI-1:</b> Caractéristiques de l'effluent versé par l'émissaire sous-marin de station de dessalement de Fouka.....                        | 102 |
| <b>Tableau VI-2:</b> Valeurs de dilution à différentes distances du point de déchet et par différentes ampleurs de la vitesse environnementale..... | 105 |



## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure II-1</b> : procédés industrialisés de dessalement.....  | 8  |
| <b>Figure II-2</b> : Schéma général d'une installation de dessalement. ....                                     | 8  |
| <b>Figure II-3</b> : distillation à simple effet. ....  | 9  |
| <b>Figure II-4</b> . Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).....                 | 11 |
| <b>Figure II-5</b> : un processus typique de MSF.....   | 12 |
| <b>Figure II-6</b> : les grandes usines de dessalement par MSF s'est contractée dans les années 1994-2003. .... | 14 |
| <b>Figure II-7</b> : Principe de distillation à compression de vapeur. ....                                     | 15 |
| <b>Figure II-8</b> . Principe de l'osmose et de l'osmose inverse. ....  | 17 |
| <b>Figure II-9</b> : principe de l'électrodialyse. ....   | 19 |
| <b>Figure II-10</b> : Représentation d'un module spirale.....   | 23 |
| <b>Figure II-11</b> : Représentation d'un espaceur. ....  | 24 |
| <b>Figure II-12</b> :Principe de l'osmose inverse. ....   | 25 |
| <b>Figure II-13</b> : Dépôt de sulfate de calcium. ....   | 33 |
| <b>Figure II-14</b> : Colmatage biologique. ....  | 33 |
| <b>Figure III-1</b> : Capacité de production des différentes techniques. ....                                   | 41 |
| <b>Figure III-2</b> : Nombre de stations pour les différentes techniques. ....                                  | 41 |
| <b>Figure III-3</b> : Répartition des stations monobloc. ....   | 45 |
| <b>Figure III-4</b> : Choix du procédé de dessalement selon la salinité des eaux. ....                          | 47 |
| <b>Figure IV-1</b> : herbier de posidonies de Méditerranée. ....  | 49 |
| <br>  |    |
| <b>Figure V-1</b> : Photo de la station de FOUKA. ....  | 57 |
| <b>Figure V-2</b> : Tour de captage. ....   | 63 |
| <b>Figure V-3</b> : Conduite en PEHD. ....  | 64 |
| <b>Figure V-4</b> : Dégriilleurs. ....  | 65 |
| <b>Figure V-5</b> : Station de pompage. ....  | 66 |
| <b>Figure V-6</b> : Filtres gravitaire. ....  | 68 |
| <b>Figure V-7</b> : L'unité des filtres à cartouches. ....  | 70 |
| <b>Figure V-8</b> : Membrane(vue de l'intérieur). ....  | 72 |
| <b>Figure V-9</b> : Filières d'osmose inverse. ....   | 73 |
| <b>Figure V-10</b> : Pompe HP. ....   | 74 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figure V-11</b> : Système de récupération d'énergie PX. ....  | 74  |
| <b>Figure V-12</b> : Silos de la chaux. ....   | 77  |
| <b>Figure V-13</b> : CO <sub>2</sub> fabriqué sur site. ....   | 78  |
| <b>Figure V-14</b> : Station de pompage d'eau traitée. ....  | 79  |
| <b>Figure V-15</b> : Chaîne alimentaire du milieu marin. ....  | 81  |
| <b>Figure V-16</b> : La répartition des phytoplanctons par rapport au point de rejet. ....   | 92  |
| <b>Figure V-17</b> : Photos des phytoplanctons. ....   | 92  |
| <b>Figure VI-1</b> : Schéma d'un émissaire de rejet par diffusion. ....  | 97  |
| <b>Figure VI-2</b> : L'emplacement du rejet existant dans la station d'Ain Benain.....   | 99  |
| <b>Figure VI-3</b> : Localisation de l'origine des conduites en ce qui concerne la zone d'étude et le secteur occupé par la prairie. ....  | 102 |
| <b>Figure VI-4</b> : Graphiques des dilutions en fonction de différentes hauteurs de la cheminée.  | 104 |
| <b>Figure VI-5</b> : Graphiques des dilutions en fonction de différentes inclinations du diffuseur.....  | 105 |
| <b>Figure VI-6</b> : Graphiques de dilutions en fonction de différentes ampleurs de la vitesse environnementale. Dans le cadre supérieur apparaissent les dilutions à des distances inférieures à 400m du point de déchet. ....  | 106 |
| <b>Figure VI-7</b> : Graphiques des dilutions en fonction de différents diamètres du diffuseur.....  | 107 |
| <b>Figure VI-8</b> : Conception de la conduite de déchet de la saumure. La profondeur du point de déchet est de 9 m, la hauteur de la bouche de déchet sur le fonds est de 3 m, le diamètre de la bouche est de 0.74 m (avec le débit de conception de 1.33 m <sup>3</sup> /s la vitesse de sortie est de 3 m/s). .... | 108 |

## Références bibliographiques

- [1] El Dessouky, H. « Multi-stage flash desalination technologies». Eurosummer School short course on sustainability assessment of water desalination technologies, Vilamoura, Portugal, November (2000).
- [2] Viviane Renaudin, « le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », CNRS, Nancy, 2003
- [3] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel – comité des techniques ; « circuits eau de mer (traitement et matériaux) » ; édition technique, Paris – 1993.
- [4] J.P.RILEY, G.SKIRROW. «Chemical Oceanography» .Academic Press,1965
- [5] Mémento technique de l'eau, dégrément (1995)
- [6] Alain .MAUREL. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation, 2001
- [7] Eric Guilyardi; « Quand le sel de l'océan pimente le climat » ; La météologie No 33- Mai 2001.
- [8] R.A. HORNE, « Marine chemistry the structure of water and the chemistry of the hydrosphere», Wiley-Interscience, 1969.
- [9] Philippe Bandelier et Jean-Claude Deronzier. « Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques (GRETh) ». Direction de la recherche technologique CEA/Grenoble (mise à jour septembre 2001)
- [10] A.Zfaty, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 1997 (in Hebrew)
- [11] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 2000 (in Hebrew)
- [12] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 1998 (in Hebrew, ADN4285a)
- [13] W.S. Winston and K. Sirkar, « Membrane Handbook », 1992.
- [14] T. Altman, « New Power and Water Co-generation concept with Application of Reverse Osmosis (RO) Desalination », Salzgitter Anlagenbau GmbH, 2000.
- [15] Patrick DANIS, « dessalement de l'eau de mer », technique de l'ingénieur, Doc.J2700
- [16] Khalid Z. Al-Subaie, « Precise way to select a desalination technology », Desalination, Vol. 206, pp: 29–35 ,(2007)
- [17] Rachel Einav<sup>\*\*\*</sup>, Kobi Hamssib, Dan Periyb , «The footprint of the desalination processes on the environment », Desalination, Vol. 152, pp: 141-154 ,(2002)
- [18] M.S. Tanvir, I.M. Mujtaba\*, « Neural network based correlations for estimating temperature elevation for seawater in MSF desalination process », Desalination Vol.195,

pp: 251–272, (2006)

[19] Hussain.A, ed., « Integrated Power and Desalination Plants ». Oxford, Eolss Publishers Co. Ltd., 2003.

[20] [http:// www.CultureScience](http://www.CultureScience), Chimie.Ens.Fr/dossiers chimie –société -article dessalement.

[21] I.S. Park, S.M. Park, J.S. Ha, « design and application of thermal vapour compressor for multi-effect desalination plant », Desalination ,Vol.182 ,pp: 199-208 ,(2005).

[22] Marian G. Marcovecchio, Sergio F. Mussati, Pio A. Aguirre, Nicolas J. and Scenna; « optimization of hybrid desalination processes including multi stage flash and reverse osmosis systems », Desalination, vol. 182, pp: 111–122, (2005).

[23] P. Fiorini, E. Sciubba; « Thermo-economic analysis of a MSF desalination plant »; Desalination, Vol. 182, pp: 39–51, (2005).

[24] Roberto Borsani, Silvio Rebagliati; « Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies »; Desalination, Vol. 182, pp: 29–37, (2005)

[25] S.NISAN. «Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires » .pdf 2007

[26] Nicos X. Tsiourtis, « Desalination and the environment »; Desalination ,Vol.141, pp : 223-236, (2005).

[27] J.P. BRUN; « procédés de séparation par membranes » ; MASSON ; 1989

[28] Paul VAURS ; « le dessalement de l'eau de mer » ; juil 2005.

[29] Jacek Wisniewski, Agnieszka Rozanska ; « Donnan Dialysis with anion-exchange membranes as a pretreatment step before electro-dialytic desalination » ; desalination Vol.191,pp: 210-218 ,(2006).

[30] F.H. Meller ; « Electrodialysis and electro-dialysis reversal technology » ; Ionics brochure. 1984.

[31] H . Strathmann ; « Ion-Exchange Membrane Separation Processes » ; Elsevier, Amsterdam,2004 .

[32] Oldfield, J. and Todd, B.; « Environmental aspects of corrosion in MSF and RO desalination plants»; Desalination, Vol. 108, pp: 27-36, (1996).

[33] Heitmann, H – G.; «Saline water processing»; VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 332p; (1990).

[34]A.D.E « Dessalement en ALGERIE », situation actuelle et programme de développement.

[35] S.D. Jean-Christophe REMIGY, Filtration membranaire (OI, NF, UF) Présentation des membranes et modules, Techniques de l'ingénieur ed., 2007.

- [36] Degrement, Mémento technique de l'eau, Degrement ed., 2005.
- [37] V.V.R. Ashwani Kumar, Y.H. Zurigat, in, The Middle East Desalination Research Center Muscat, Sultanate of Oman, 2004.
- [38] P. DANIS, Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur ed., 2003.
- [39] R. AUDINOS, Membranes semi-perméables: Membranes d'osmose inverse, Techniques de l'ingénieur ed., 2000.
- [40] P. APTEL, Filtration membranaire (OI, NF, UF), Applications en traitement des eaux Techniques de l'ingénieur ed., 2006.
- [41] Kader Gaid, Yvan Treal, Le dessalement des eaux par osmose inverse : l'expérience de Véolia Water, Desalination, 203 (2007) 1-14.
- [42] P. AIMAR, Filtration membranaire (OI, NF, UF), Mise en oeuvre et performances Techniques de l'ingénieur ed., 2006.
- [43] « Comparaison technico- économique entre l'osmose inverse et l'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres », par Melle : A. REZIG, ENSH de Blida 2008.
- [44] FETHI KAMEL, Les systemes de prise d'eau et les techniques de pretraitement en osmose inverse, Le nettoyage des membranes.
- [45] A.D.E « Dessalement en ALGERIE », situation actuelle et programme de développement.
- [46] A.N.R.H « Bilan des ressources d'eau en ALGERIE » 2005.
- [47] PHILIPPE APTEL, « Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120- (2-3).
- [48] « Dessaler l'eau nuit encore trop à l'environnement », <http://www.ecolife.fr> .
- [49] Sabine Lattemann, Le dessalement est-il écologique ?.
- [50] M. BESSENASSE<sup>1</sup> – A. GUENDOZ<sup>2</sup>, ALGERIE EQUIPEMENT n° 50.  
 - <sup>1</sup> Université SAAD Dahleb (BLIDAA)  
 - <sup>2</sup> Université SAAD Dahleb (BLIDAA)
- [51] Annie BISONETTE de l'Université de Sherbrooke, « Utilisation de Nanomembranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation » janvier 2008.
- [52] Contrat EPC Annexe 2, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005.
- [53] National Eau et Environnement (NEE), étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de FOUKA

**[54]** ZAMICHE.S, présentation du projet de dessalement de FOUKA, 2014.

**[55]**-« le phytoplancton et le zooplancton », <http://www.plancton>.

**[56]**-« Les relations alimentaires dans l'écosystème marin »  
<http://www.vieecoceano.free.fr/pafcadre.html>.

**[57]** KHATEB.M, valeurs quotidiennes-laboratoire de la station de dessalement de FOUKA.

**[58]** Laboratoire SEAL, analyses biologique-Ain Benian.

**[59]** Raymond Desjardins « le traitement des eaux » 2ème édition de l'école polytechnique de Montréal, 1990.