



*Faculté des sciences  
Département de chimie  
Laboratoire de Spectrochimie et pharmacologie structurale*

*Mémoire de Master en Chimie Académique  
Option : Chimie physique et analytique*

**Investigation des taux de  
salinité dans la région de la  
station de dessalement Béni Saf**

*Présenté par : KHAROUBA Mohammed*

*Date : 11 septembre 2013*

*Membres de Jury :*

|                  | <i>Noms et Prénoms</i>     | <i>Grade université ABB Tlemcen</i> |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <i>Président</i> | <i>Mr. ZIANI CHERIF C.</i> | <i>Professeur</i>                   |
| <i>Examineur</i> | <i>Mr. DAHMANI B.</i>      | <i>Professeur</i>                   |
| <i>Examineur</i> | <i>Mr. HAREK Y.</i>        | <i>Professeur</i>                   |
| <i>Encadreur</i> | <i>Mr. BENSAOULA A. A.</i> | <i>Maitre de conférences</i>        |

*Année Universitaire 2012/2013*

UNIVERSITE TLEMCCEN  
FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE CHIMIE

LABORATOIRE DE SPECTROCHIMIE ET PHARMACOLOGIE STRUCTURALE

---

**Investigation des taux de salinité dans  
la région de la station de dessalement  
de Beni Saf.**

## Dédicace :

*Au nom de DIEU le Clément et le Miséricordieux Louange à ALLAH le Tout-puissant*

*En tout premier lieu, je remercie le bon DIEU, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux êtres les plus chers que j'ai au monde ; **Mes parents.***

*« Si je pouvais fleurir la terre de roses, si je pouvais illuminer le ciel entier d'étoiles scintillantes, je ne saurais jamais vous rendre, même un peu le bonheur et la lumière que vous avez toujours été dans ma vie ».*

*A la mémoire de mes grands-pères et mes grandes mères.*

*A mes adorables sœurs et frères.*

*A mes nièces **Lojain Radwa Raouane** et **Maroua Aridj**. Et mon neveu **Islam Ayham Djawad**.*

*A **Mr BENSOUA Abdelhakim** dont la disponibilité et le savoir-faire ne m'ont fait jamais défaut.*

*A ma grande famille : Oncles et Tantes, Cousins et Cousines grands et petits.*

*A tous mes professeurs qui m'ont transmis le meilleur de leur savoir.*

*A tous mes collègues.*

*A mes très chers amis qui sont devenus des frères et sœurs pour moi, **B.Moussaab**, pour leurs conseils et leur soutien sans faille.*

*Quand il y a la soif d'apprendre  
Tout vient à point à qui sait attendre*

## Remerciements :

*Au terme de ce modeste travail, je ressens aussi bien la joie que le devoir de remercier tous ceux et toutes celles qui m'ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de la présente étude et qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à ma formation scientifique.*

*A mon encadreur,*

*Mr BENSOUJA Abdelhakim maître de conférence à l'université de Tlemcen, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'il m'a accordé ainsi que pour ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.*

*Au Président du Jury,*

*Mr ZIANI CHERIF professeur à l'université de Tlemcen, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury. Hommage respectueux,*

*A Mr. DAHMANI*

*Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'être membre du jury de ce mémoire. Vifs remerciements.*

*A Mr. HAREK*

*Professeur à l'université de Tlemcen, pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans le jury. Sincères remerciements.*

*Je vous remercie sincèrement les techniciens de laboratoire spectroscopie et pharmacologie structurale.*

*Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce modeste mémoire.*





## Résumé :

Le dessalement de l'eau de mer est souvent inventé comme une solution magique et raisonnable à la rareté de l'eau et la soif des hommes surtout dans les régions sèches.

Malheureusement le dessalement de l'eau de mer a des conséquences terribles sur notre environnement. Ainsi que le plus grand dommage est causé par les rejets de ces stations de dessalement, qui sont très concentrés en sel et riches en plusieurs composés chimiques toxiques.

Le dommage ne touche pas notre entourage seulement mais notre santé aussi, puisque les rejets de ces stations se terminent dans la mer donc la contamination des fruits de mer connaissant que ces derniers occupent un bon classement dans notre régime alimentaire.

Pour cela notre travail sera basé sur quelques investigations physico-chimiques (température, pH, TDS, salinité, conductivité électrique, ETM) pour mieux connaître et caractériser ces effets nocifs sur notre entourage.

Notre investigation sera réalisée à l'aide des multimètres et un spectromètre d'émission optique par plasma d'argon à couplage inductif (ICP-OES) de type HORIBA JOBIN YVON Ultima 2.

Enfin, les résultats nous permettent de confirmer l'agressivité de ces stations sur notre environnement et notre santé. Et peut-être nous aidera à prendre les mesures et les précautions nécessaires pour réduire cette pollution.

***Mots clés:*** dessalement, environnement, dommage, santé, rejets, pollution, investigations physico-chimiques, ICP-OES.

## Abstract:

Desalination of seawater is often coined as a magical and reasonable solution to the scarcity of water and the thirst of men especially in dry areas.

Unfortunately, the desalination of seawater has terrible consequences on our environment. As more damage is caused by discharges of these desalination stations, which are highly concentrated in salt and rich in several toxic chemicals.

The damage not only affects our environment but also our health, because discharges of these stations end in the sea so the contamination of seafood knowing that they occupy a high ranking in our diet.

For that our work will be based on a few physical-chemical investigations (temperature, pH, TDS, salinity, electrical conductivity, MTE) to better know and characterize these detrimental effects on our environment.

Our investigation will be conducted using multimeters and optical emission spectrometer with inductively coupled argon plasma (ICP-OES) type HORIBA Jobin Yvon Ultima 2.

Finally, the results allow us to confirm the aggressiveness of stations on our environment and our health. And may help us to take measures and precautions to reduce this pollution.

***Keywords:*** desalination, environmental, damage, health, waste, pollution, physico-chemical investigations, ICP-OES.

# Glossaire

## *I. Sommaire*

|  |    |
|--|----|
| <b>Glossaire</b> .....   | vi |
| <b>Introduction Générale</b> .....                                 | 1  |
| <b>I. Synthèse Bibliographique</b> .....                           | 3  |
| I.1. La Méditerranée .....   | 3  |
| I.2. Caractérisation de la mer méditerranée.....                   | 4  |
| I.2.1. Composition de l'eau de mer .....                           | 4  |
| I.2.2. Salinité.....   | 6  |
| I.2.3. Chlorinité .....  | 7  |
| I.2.4. Conductivité électrique .....                               | 7  |
| I.2.5. pH.....   | 8  |
| I.2.6. La température .....  | 8  |
| I.2.7. Densité .....   | 8  |
| I.3. Les courants marins .....                                     | 9  |
| I.3.1. Les courants généraux .....                                 | 9  |
| I.3.2. Les courants côtiers.....                                   | 9  |
| I.3.3. Les courants de dérive littorale .....                      | 9  |
| I.4. La pollution marine .....                                     | 10 |
| I.4.1. Définition.....   | 10 |
| I.4.2. Les types de polluants .....                                | 11 |
| I.4.3. Les types de pollutions .....                               | 11 |
| I.4.4. Sources de pollution maritime dans la mer Méditerranée..... | 12 |
| I.5. Conclusion .....  | 15 |
| <b>II. Un point sur le dessalement de l'eau de mer</b> .....       | 16 |
| II.1. Définition .....   | 17 |
| II.2. Aperçu historique .....                                      | 17 |
| II.3. Les techniques de dessalement les plus utilisées .....       | 18 |
| II.3.1. Electrodialyse à membrane sélective .....                  | 18 |
| II.3.2. Osmose inverse.....  | 19 |
| II.3.3. La distillation.....                                       | 20 |
| II.4. Comparaison entre les techniques .....                       | 23 |
| II.5. Conclusion .....   | 24 |
| <b>III. L'impact de dessalement sur l'environnement</b> .....      | 25 |
| III.1. Impacts dus à la construction .....                         | 25 |
| III.2. Impacts dus au pompage de l'eau de mer .....                | 25 |
| III.2.1. Structures de prélèvement.....                            | 26 |
| III.2.2. Introduction d'organismes dans le circuit d'eau .....     | 26 |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| III.3.     | Impacts dus aux rejets d'une usine de dessalement .....                 | 26        |
| III.3.1.   | Le gaz à effet de serre.....  | 26        |
| III.3.2.   | Saumure .....   | 26        |
| III.3.3.   | Les rejets de prêt traitement .....                                     | 27        |
| III.4.     | Conclusion .....  | 28        |
| <b>IV.</b> | <b>Echantillonnage et méthodes d'analyses .....</b>                     | <b>29</b> |
| IV.1.      | Présentation de site d'étude .....                                      | 29        |
| IV.2.      | Présentation et Description du processus de dessalement de l'eau de mer | 29        |
| IV.2.1.    | Schéma générale d'une station de dessalement.....                       | 30        |
| IV.2.2.    | Description du processus de dessalement .....                           | 30        |
| IV.3.      | Les paramètres physico-chimiques mesurés.....                           | 32        |
| IV.3.1.    | Température.....  | 32        |
| IV.3.2.    | Conductivité électrique .....   | 32        |
| IV.3.3.    | Le Potentiel d'hydrogène ou pH .....                                    | 33        |
| IV.3.4.    | La salinité .....   | 33        |
| IV.3.5.    | Métaux traces.....  | 33        |
| IV.3.6.    | Total des solides dissous TDS .....                                     | 33        |
| IV.4.      | Méthodes et matériels .....   | 34        |
| IV.4.1.    | Protocole de prélèvement de l'eau de mer .....                          | 34        |
| IV.4.2.    | Analyse in-situ .....   | 35        |
| IV.4.3.    | Analyse au laboratoire.....   | 35        |
| <b>V.</b>  | <b>Résultats et discussions .....</b>                                   | <b>38</b> |
| V.1.       | Résultats .....   | 38        |
| V.1.1.     | Analyse in-situ.....  | 38        |
| V.1.2.     | Analyse ex-situ.....  | 39        |
| V.2.       | Commentaires et Discussions .....                                       | 42        |
| V.2.1.     | Température.....  | 42        |
| V.2.2.     | Salinité .....  | 43        |
| V.2.3.     | pH.....   | 43        |
| V.2.4.     | Conductivité électrique EC .....  | 44        |
| V.2.5.     | Total des solides dissous TDS .....                                     | 45        |
| V.2.6.     | Eléments traces métalliques .....                                       | 45        |
| V.3.       | Conclusion .....  | 50        |
|            | <b>Conclusion général et perspectives .....</b>                         | <b>51</b> |
|            | <b>Bibliographie .....</b>  | <b>52</b> |
|            | <b>Annexes .....</b>  | <b>55</b> |

## II. Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1 :</b> représentation géographique de la mer méditerranée et ses villes côtières.....  | 4  |
| <b>Figure 2 :</b> points chaudes de pollution .....   | 10 |
| <b>Figure 3 :</b> points chauds de pollution .....  | 11 |
| <b>Figure 4 :</b> les villes côtières méditerranéennes.....   | 13 |
| <b>Figure 5 :</b> Routes mondiales du transport maritime du pétrole brut en 1996.....   | 15 |
| <b>Figure 6 :</b> Ressources en eau naturelle renouvelable par habitant dans les différents bassins élémentaires méditerranéens (entre 1995 et 2005)..... | 16 |
| <b>Figure 7 :</b> le taux de dessalement dans les villes côtières méditerranées.....  | 17 |
| <b>Figure 8 :</b> les techniques de dessalement utilisés dans les villes côtières méditerranées.....  | 18 |
| <b>Figure 9 :</b> Schéma De Principe d'une électrodialyse.....  | 19 |
| <b>Figure 10 :</b> Schéma De Principe d'une osmose inverse.....   | 20 |
| <b>Figure 11 :</b> Schéma De Principe d'un distillateur simple effet.....   | 21 |
| <b>Figure 12 :</b> Schéma De Principe des distillateurs à effets multiples.....   | 21 |
| <b>Figure 13 :</b> Schéma De Principe d'un distillateur par détente successives.....  | 22 |
| <b>Figure 14 :</b> Schéma De Principe d'une Compression mécanique de vapeur.....  | 22 |
| <b>Figure 15 :</b> Puits côtier en Espagne.....   | 25 |
| <b>Figure 16 :</b> localisation de la station de dessalement de Beni Saf.....   | 29 |
| <b>Figure 17 :</b> Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....   | 30 |
| <b>Figure 18 :</b> les sites de prélèvements.....   | 34 |
| <b>Figure 19 :</b> l'ICP-OES utilisé.....   | 35 |
| <b>Figure 20 :</b> variation de la température au voisinage de BWC.....   | 42 |
| <b>Figure 21 :</b> variation de la salinité au voisinage de BWC.....  | 43 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure 22</i> :variation du pH au voisinage de BWC.....                         | 43 |
| <i>Figure 23</i> :variation de la conductivité électrique au voisinage de BWC..... | 44 |
| <i>Figure 24</i> :variation du total des solides dissous au voisinage de BWC.....  | 45 |
| <i>Figure 25</i> :teneur de fer au voisinage de BWC.....                           | 46 |
| <i>Figure 26</i> : teneur de nickel au voisinage de BWC.....                       | 47 |
| <i>Figure 27</i> : teneur de chrome au voisinage de BWC.....                       | 47 |
| <i>Figure 28</i> : teneur de cadmium au voisinage de BWC.....                      | 48 |
| <i>Figure 29</i> : teneur de plomb au voisinage de BWC.....                        | 49 |
| <i>Figure 30</i> : teneur de zinc au voisinage de BWC.....                         | 49 |

### III. Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35000 mg.kg <sup>-1</sup> .....                | 5  |
| <b>Tableau 2 :</b> les courants marins de la méditerranée .....   | 5  |
| <b>Tableau 3 :</b> Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer.....   | 6  |
| <b>Tableau 4 :</b> Salinité de l'eau pour différentes mers.....   | 7  |
| <b>Tableau 5 :</b> Conductivité de l'eau de mer ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ).....  | 8  |
| <b>Tableau 6 :</b> pH de l'eau de mer.....  | 8  |
| <b>Tableau 7 :</b> Comparaison entre les différentes techniques de dessalement.....   | 23 |
| <b>Tableau 8 :</b> Instrument de mesures sur terrain.....   | 35 |
| <b>Tableau 9 :</b> Longueur d'onde des éléments chimiques servant du dosage par Spectrophotométrie d'émission optique par plasma d'argon..... | 36 |
| <b>Tableau 10 :</b> les solutions d'étalonnage.....   | 36 |
| <b>Tableau 11 :</b> résultats des analyses in-situ.....   | 38 |
| <b>Tableau 12 :</b> résultats des analyses d'EC et TDS.....   | 39 |
| <b>Tableau 13 :</b> résultats de teneur d'ETM dans la surface de milieu marin au voisinage de BWC.....  | 40 |
| <b>Tableau 14 :</b> résultats de teneur d'ETM dans la profondeur de milieu marin au voisinage de BWC.....                                     | 41 |

## *IV. Abréviations*

***AEE*** : Agence Européenne pour l'Environnement.

***BWC*** : Beni Saf Water Company.

***Cl*** : Chlorinité.

***ETM*** : Eléments Traces Métalliques.

***ETM*** : Eléments traces métalliques.

***ICP-OES*** : Spectroscopie D'émission Optique Par Plasma D'argon A Couplage Inductif.

***MED*** : Distillation A Multiples Effets.

***MSF*** : Procédé Par Détentes Successives Ou Procédé Flash.

***MVC*** : Distillation Par Compression De Vapeur.

***OI*** : Osmoses Inverse.

***PB*** : Plan Bleu.

***S*** : Salinité.

***TDS*** : Total des solides dissous.

***TOD*** : Taux d'oxygène dissous.

***UNESCO*** : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture).

***WWF*** : World Wildlife Fund (Fonds mondial pour la faune).

## V. *Nomenclature*

**Al**: Aluminium

**Al<sup>3+</sup>**: Ion Aluminium

**B**: Bore

**Br<sup>-</sup>**: Ion brome

**Ca<sup>2+</sup>**: Ion calcium

**CaCO<sub>3</sub>**: Carbonate de calcium

**Cd**: Cadmium

**Cl<sup>-</sup>**: Ion chlore

**CO<sub>2</sub>**: Dioxyde de carbone

**CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>**: Ion carbonate

**Cr**: Chrome

**Cu**: Cuivre

**F<sup>-</sup>**: Ion fluor

**Fe**: Fer

**Fe<sup>3+</sup>**: Ion fer

**H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>**: Ion dihydrogénophosphate

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Bicarbonate ou hydrogénocarbonate

**Hg**: Mercure

**HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**: Ion hydrogénophosphate ou phosphate inorganique

**K<sup>+</sup>**: Ion potassium

**Mg<sup>2+</sup>**: Ion magnésium

**Mn**: Manganèse

**N<sub>2</sub>**: Diazote

**Na<sup>+</sup>**: Ion sodium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**: Ion ammonium

**Ni**: Nickel

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Ion nitrate

**Pb**: Plombe

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>**: Ion phosphate ou orthophosphate

**Si(OH)<sub>4</sub>**: Acide silicique

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**: Ion sulfate

**Sr<sup>2+</sup>**: Ion strontium

**Ti**: Titane

**Zn**: Zinc



## Introduction Générale

**D**e toutes les planètes du système solaire, la terre est la seule qui contient une hydrosphère, celle-ci recouvre plus de 70% de sa superficie . On estime qu'il y a sur la planète environ 1.4 Milliards de m<sup>3</sup> d'eau [1]. Cependant, la majeure partie (97%) de cette eau se présente sous forme d'eau salée dans les mers et les océans. Si l'on considère la proportion importante qu'occupent les océans qui recouvrent la terre, on peut en conclure à juste titre que l'océan est la règle et non l'exception. La Terre est, en fait, la planète de l'eau. On y retrouve toutes sortes de formes de vie ; du plancton (minuscules plantes et animaux) aux énormes baleines.

C'est dans les eaux côtières où se trouvent les récifs de corail que foisonne la vie. Il y a environ un demi-million d'espèces animales dans ces récifs. L'eau des mers joue un rôle très important dans la formation des nuages qui amènent la pluie aux différents continents (cycle de l'eau). Elle contribue également au contrôle de la température de notre planète par ses courants chauds et froids. Les mers sont aussi remplies de ressources. Chaque année on y extrait six millions de tonnes de sel marin. De plus, on retrouve dans les fonds marins de l'énergie sous forme de pétrole et de gaz. Généralement, les mers fournissent une très grande quantité de nourriture. On voit à quel point cette ressource naturelle est essentielle et pour cette importance La protection de l'environnement est depuis longtemps devenue un enjeu économique et politique majeur.

Mais L'intensité des activités humaines dans des régions entourant des mers fermées et semi-fermées, telles que la mer Méditerranée, a toujours à long terme une forte incidence environnementale se traduisant par la dégradation côtière et maritime.

Le littoral est généralement défini comme une zone de contact entre le continent et la mer. Il comprend le domaine public maritime, les bassins versants et les zones d'habitation. Cet espace a une grande importance commerciale (accès à la navigation, exploitations touristiques, installations industrielles).

Au cours des dernières décennies ; les zones côtières ont été le théâtre d'un développement accéléré et une pression démographique très étroite du littoral, en particulier dans les zones industrielles et portuaires, comme Alger, Oran, Annaba, Arzew, et de Skikda [2]. Selon le même auteur, la densité de la population au niveau des villes côtières est de 281 habitants au km<sup>2</sup> par rapport à la densité de la population nationale, qui est de 12.2 habitants au km<sup>2</sup>.

Les activités humaines développées dans la zone du littoral sont la source assurée de la pollution. La conséquence directe et reconnue de ces activités porte sur la qualité même du milieu marin, qui constitue le réceptacle de toutes les nuisances industrielles et urbaines, qui sont s'exprimés par des rejets divers (eau usées, ordures ménagères, déchets industriels) [3]. La plupart des déchets sont déversés en mer sans traitement. Certaines substances chimiques (métaux lourds, hydrocarbures) menacent directement la santé des populations (maladies) ou indirectement (destruction de l'écosystème marin et contamination des fruits de mer).



L'objectif de cette étude est d'établir un bilan de qualité du milieu marin en utilisant une approche basée sur le suivi des paramètres physico-chimiques et l'estimation des teneurs des métaux lourds (Pb, Zn, Ni, Cd, Fe, Cr, et Cu) dans les eaux côtières.

Le manuscrit s'articule autour de cinq chapitres divisés chacun en partie :

Le premier chapitre représente une synthèse bibliographique, c'est une définition de la méditerranée, leur caractérisations et les sources de pollution actuelles.

Le second chapitre, un point sur le dessalement, montre l'expérience algérienne et les techniques utilisés dans le dessalement de l'eau de mer.

Le troisième chapitre, les impacts de dessalement. En raison de sa valeur et son importance nous avons consacré un chapitre pour bien illustrer ce point.

Le quatrième chapitre, échantillonnage et méthodes d'analyse, décrit la stratégie expérimentale pour laquelle nous avons opté compte tenu des objectifs de l'étude. Ainsi les divers prélèvements, échantillonnages et techniques analytiques utilisés.

Le cinquième chapitre, il est subdivisé en deux parties, la première partie regroupe l'ensemble des résultats de notre étude où on a analysé et interprété ces résultats dans une deuxième partie.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale suivie par des perspectives.

## I.Synthèse Bibliographique

La mer méditerranée est soumise à un problème grave de pollution dû à l'accroissement des apports anthropogéniques côtiers de ses pays riverains en voie d'industrialisation. La civilisation moderne et l'activité de l'homme sont indéniablement les causes principales de la contamination de l'hydrosphère [4].

Les activités liées directement à la mer ont pris une place dominante. L'homme en investissant de plus en plus le milieu marin contribue au déséquilibre de ce milieu. Les ressources vivantes et la biodiversité sont menacées par les pressions anthropiques en termes de développement du milieu côtier, de pollution et d'exploitation.

### I.1. La Méditerranée

La mer Méditerranée (La figure 1) est un bassin semi-fermé et un espace étroit avec un littoral qui s'étend sur 3 millions de km carré, le renouvellement de sa masse d'eau superficielle ne se fait complètement que par le détroit de Gibraltar en 70 à 100 ans. Elle représente 0,7 % de la surface des mers du globe. Ses côtes s'étendent sur 46.000 km. Elle est entouré par trois continents, Europe, Asie et Afrique (21 pays) dont les côtes accueillent plus de vingt états et plus de 400 millions d'habitants, desquels 130 millions environ, c'est-à-dire 35%, vivent dans les zones côtières.

La mer Méditerranée contient plus de 25.000 espèces de végétaux, 650 espèces d'animaux marins (dont 28% seraient introuvables ailleurs) et 19 des 80 espèces connues de cétacés. Au cours des quinze dernières années plus de 60 nouvelles espèces seraient apparues en mer Méditerranée.

Malheureusement la mer Méditerranée souffre de la présence de l'intensité des activités humaines dans cette région fragile. A long terme ces activités auront des effets nocifs sur l'environnementales de la mer Méditerranée, sur ses ressources naturelles (forêts, terres, eau, pêcheries, plages, sur le paysage naturel et sur les zones littorales... etc.).



Fig.1: représentation géographique de la mer méditerranée et ses villes côtières.

## I.2. Caractérisation de la mer méditerranée

### I.2.1. Composition de l'eau de mer

#### ESPECES INORGANIQUES

- Constituants majeurs

En 1819, **Marcet** [5] fait analyser des eaux de mer provenant de diverses parties du domaine océanique et remarque que si les échantillons diffèrent les uns des autres par leur teneur globale en sel, ils contiennent tous les mêmes composants, et dans des proportions identiques les uns par rapport aux autres. Des décennies plus tard, **Maury (1855)** et **Dittmar (1884)** [5] affirment comme une règle générale que les constituants de l'eau de mer sont aussi constants que ceux de l'atmosphère, hors éléments polluants apportés par l'activité humaine. Cette propriété est évoquée sous l'appellation de « principe de Marcet » ou « loi de Dittmar ». Plus de 92 éléments naturels ont été analysés et détectés dans l'eau de mer. En pratique, on accepte comme constituants principaux ceux qui sont présents en concentration supérieure à  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Ils sont énumérés dans le tableau 1.

**Tab.1:** Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35000 mg.kg<sup>-1</sup> [6].

| Constituant  | Concentration (mg.kg <sup>-1</sup> ) |
|--|--------------------------------------|
| Na <sup>+</sup>  | 10770.0                              |
| Mg <sup>2+</sup>   | 1290.0                               |
| Ca <sup>2+</sup>   | 412.1                                |
| K <sup>+</sup>   | 399.0                                |
| Sr <sup>2+</sup>   | 7.9                                  |
| B <sub>total</sub>   | 4.5                                  |
| Cl <sup>-</sup>  | 19354.0                              |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                                  | 2712.0                               |
| HCO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | 118.0-146.0                          |
| Br <sup>-</sup>  | 67.3                                 |
| F <sup>-</sup>   | 1.3                                  |

▪ **Les éléments traces métalliques**

Les éléments traces métalliques sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (10<sup>-3</sup> mg.kg<sup>-1</sup>) en masse, ou moins. Le tableau 2 présente les principaux éléments traces métalliques dans l'eau de mer.

**Tab.2:** Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer [7].

| Constituant | Concentration<br>(× 10 <sup>-3</sup> mg.kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|--|
| Ti          | 1.000  |
| Zn          | 0.500  |
| Ni          | 0.480  |
| Al          | 0.400  |
| Cr          | 0.300  |
| Cd          | 0.100  |
| Cu          | 0.100  |
| Fe          | 0.055  |
| Mn          | 0.030  |
| Pb          | 0.002  |
| Hg          | 0.001  |

### ▪ Les éléments nutritifs

Éléments nutritifs (tableau 3) sont des constituants dissous de l'eau de mer inclus dans le métabolisme des organismes vivants. Bien que d'après cette définition un grand nombre d'éléments biologiquement actifs, constituants majeurs ou éléments traces, puissent rentrer dans cette catégorie, mais ils sont limités aux composés minéraux combinés de l'azote (nitrate, nitrite, ammonium), du phosphore (phosphate) et du silicium (silicate) [8].

Les plus importants de ces sels nutritifs sont l'azote et le phosphore qui sont assimilés par la biomasse végétale durant la photosynthèse. Ces éléments nutritifs sont le support du cycle de la vie biologique marine [9].

**Tab.3:** Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer [7].

| Eléments nutritifs | Espèces dissoutes possibles  | Concentration (mg kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|--|--------------------------------------|
| Azote              | N <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                 | 11.5                                 |
| Silicium           | Si(OH) <sub>4</sub>  | 2.00                                 |
| Phosphore          | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 0.06                                 |

## MATIÈRES ORGANIQUES

La matière organique contient des composés macromoléculaires complexes produits par la dégradation biologique et chimique des résidus de plantes et d'animaux [10].

La perturbation amorcée par de plus grandes charges organiques dans les milieux aquatiques peut causer des changements dans la structure communautaire et la diversité de la faune et flore [11].

## LES MATIÈRES EN SUSPENSION (MES)

Les matières en suspension (MES) ; ou poids sestonique ; est le terme employé pour indiquer les particules minérales et/ou organiques solides insolubles présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles rassemblent toutes les formes de sable, de boue, d'argile, de roche sous forme de débris, de matières organiques, dont la taille est comprise entre 0,45 µm et 1 cm.

### I.2.2. Salinité

La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est la salinité, dans sa première définition, donnée en 1902, la salinité de symbole S, définissait la masse totale des sels dissous par kilogramme d'eau de mer. Elle était exprimée en g/kg ou ‰.

Une douzaine d'espèces ioniques sont présentés dans l'eau de mer dont la salinité moyenne est voisine de 35 g/l. La salinité des mers fermées ou isolées peut être différente de celle des grands océans (voir Tableau 4) [12]. La salinité peut aussi varier au cours de l'année et en fonction de la saison.

**Tab.4:** Salinité de l'eau pour différentes mers [12].

| Mer              | Salinité (g/l) |
|------------------|----------------|
| Mer baltique     | 8              |
| Mer Caspienne    | 13             |
| Mer noire        | 22             |
| Mer d'Irlande    | 32             |
| Mer méditerranée | 35 à 39        |
| Golf arabique    | 57             |
| Mer morte        | 270            |

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable (Tableau 1). Cette constante des proportions est souvent appelée principe de Marcet [13], énoncé comme suit : bien que la teneur totale des sels de l'eau de mer peut être variable, les proportions des principaux constituants restent pratiquement constantes.

### I.2.3. Chlorinité

A cause de la constance des proportions entre les principaux ions, la mesure de la concentration d'un des constituants permet d'arriver aux valeurs des concentrations des autres éléments. C'est ainsi que l'eau de mer est caractérisée par sa chlorinité.

La relation entre la salinité et la chlorinité a été définie en 1902 à partir de nombreuses mesures de laboratoires sur des échantillons provenant de toutes les mers du globe. La chlorinité étant la quantité (en g/kg) d'ions chlore, brome et iode qui tous trois sont précipités lors du titrage au nitrate d'argent.

$$S = 0,03 + 1,805 Cl \quad (1.1)$$

S : salinité    Cl : chlorinité.

Un inconvénient majeur est que cette formule donne une salinité de 0,03 pour une chlorinité nulle. L'UNESCO a donc proposé en 1969 une nouvelle formule définissant ce qu'on appelle la salinité absolue

$$S = 1,80655 Cl \quad (1.2)$$

### I.2.4. Conductivité électrique

Elle est de l'ordre de  $40 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ . La conductivité de l'eau de mer subit des variations importantes suivant la température et la salinité (Tableau 5).

**Tab.5:** Conductivité de l'eau de mer ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) [14].

| Salinité (‰) | Température |        |        |
|--------------|-------------|--------|--------|
|              | 25°C        | 15°C   | 5°C    |
| 10           | 17.345      | 13.967 | 10.616 |
| 20           | 32.188      | 25.967 | 20.816 |
| 30           | 46.213      | 37.351 | 29.090 |
| 35           | 53.025      | 42.896 | 33.457 |

### I.2.5. pH

Le pH de l'eau de mer en surface est stable et proche de 8,3 [15]. Il varie très légèrement selon l'activité de la photosynthèse du plancton et des algues marines ainsi qu'avec la profondeur.

**Tab.6:** pH de l'eau de mer [16].

| Océan ou mer | pH   |
|--------------|------|
| Atlantique   | 8.25 |
| Indien       | 8.25 |
| Baltique     | 8.15 |
| Méditerranée | 8.00 |
| Rouge        | 8.20 |

### I.2.6. La température

La température des mers est entre  $-2^{\circ}\text{C}$ , qui est, à peu près, la température de congélation des eaux de mer, et un peu plus de  $30^{\circ}\text{C}$ . La température moyenne de l'Océan Mondial est de  $4^{\circ}\text{C}$ . Les eaux tièdes sont renfermées sur une faible épaisseur et les eaux sous-jacentes sont froides. Il y a deux exceptions, la Méditerranée où la température des eaux profondes n'est jamais inférieure à  $13^{\circ}\text{C}$  et la Mer Rouge où elle ne descend pas sous  $21,5^{\circ}\text{C}$ .

Les échanges thermiques entre la surface de l'eau de mer et l'atmosphère sont très importants : le climat est influencé par la température de l'eau de mer. Les océans se réchauffent et refroidissent moins vite que la terre. Pour cette raison, les régions qui bordent l'océan sont caractérisés par un climat océanique, plus tempéré (doux et humide) que celui des régions continentales, soumises à des extrêmes.

### I.2.7. Densité

L'eau de mer est 800 fois plus dense que l'air. Cette densité varie avec la température : plus l'eau est froide, plus elle est dense. Le maximum de densité est atteint aux environs de  $4^{\circ}\text{C}$ .

La densité est le paramètre fondamental pour l'étude de la dynamique des océans. De faibles variations horizontales de densité (causées par exemple par des différences de rayonnement solaire) conduit à des courants importants.

En toute rigueur

$$\text{densité} = \frac{\text{masse 1m d'eau de mer}}{\text{masse 1m d'eau distillée à 4 C}} \quad (\text{Pas d'unité}) \quad (1.3)$$

Cette propriété physique explique la tendance des eaux froides à couler vers le fond des océans.

### **I.3. Les courants marins**

#### **I.3.1. Les courants généraux**

En Méditerranée, on connaît un courant aléatoire (figure 2) bien que souvent constant, appelé courant général ou courant géotrophique. Ce courant général rentrant par le détroit de Gibraltar se dirigeant vers l'Est. Ce courant reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s au large des côtes algérienne [17].

Ce courant général est un courant de densité : en effet, l'été la chaleur provoque une forte évaporation, les eaux superficielles atteignent rapidement 20 à 25° et une salinité importante. En automne et en hiver, ces eaux lourdes auront tendance à plonger vers le fond. Ainsi, la température des grands fonds méditerranéens est plus élevée (12°C) par rapport aux fonds des océans (0°C).

#### **I.3.2. Les courants côtiers**

Les courants le long des côtes algériennes sont généralement faibles en direction Ouest et Est. Les courants côtiers dominants ont une vitesse de 0,25 m/s environ 75 % du temps. Elle est, 24 % du temps, inférieure à 0,5 m/s et seulement 1 % du temps supérieure à 1m/s [18].

#### **I.3.3. Les courants de dérive littorale**

La dérive littorale est présente lorsque la houle atteint la côte avec une certaine obliquité. La vitesse du courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

Lorsque la houle est oblique, le jet de dérive se fera dans la direction de la propagation. Par contre, le retrait des eaux se fera dans le sens de la plage [19].

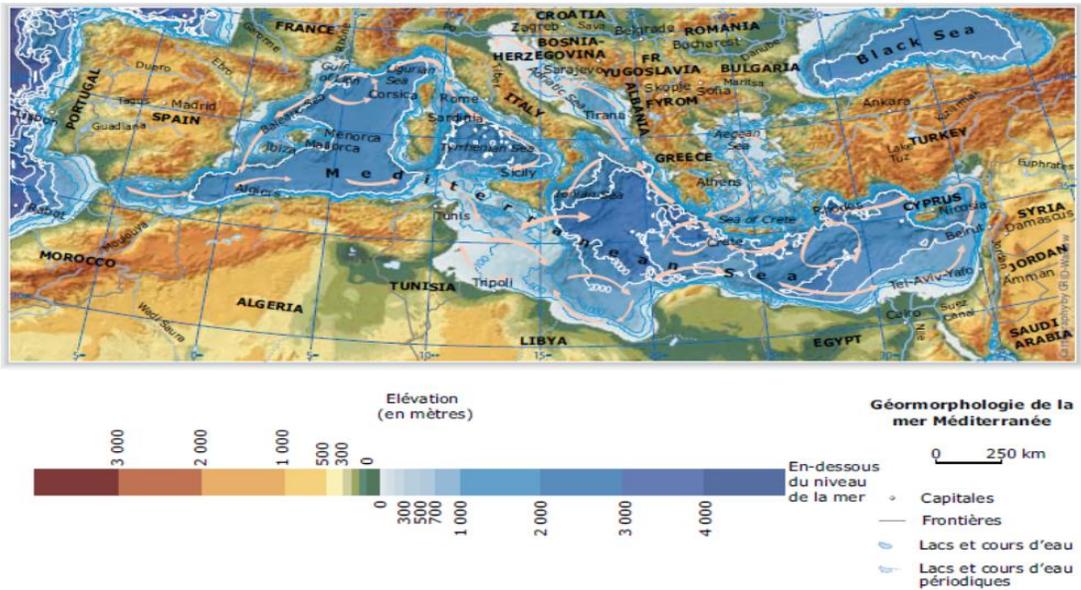


Fig.2: les courants marins de la méditerranée.

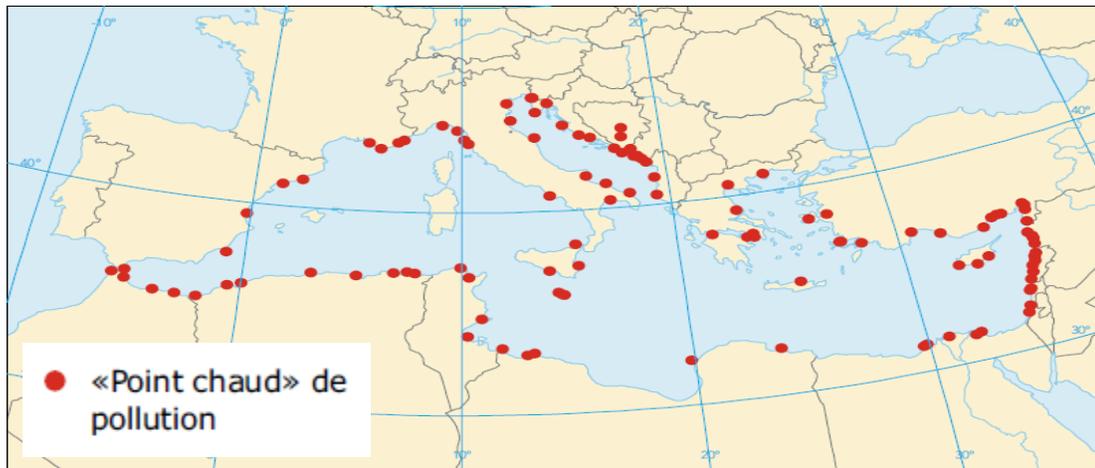
## I.4. La pollution marine

Le milieu marin côtier présente une certaine spécificité par rapport aux autres milieux aquatiques : il est à la fois le récepteur des pollutions terrestres et la zone la plus riche biologiquement, et le milieu où se développent de nombreuses activités (pêche et cultures marines, saliculture, tourisme, thalassothérapie). La zone côtière littorale est par conséquent fragile aux pollutions.

### I.4.1. Définition

la pollution est l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marine, risques pour la santé de l'homme, entrave aux activités maritimes, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément.

La figure 3 représente les villes les plus polluées au littoral méditerranéen.



*Fig.3*: points chaudes de pollution [20].

### **I.4.2. Les types de polluants**

Le polluant, tout agent physique, chimique ou biologique dans un hydrosystème, qui y provoque, par sa concentration dans l'eau, des désordres nuisibles à la stabilité de l'écosystème.

Les polluants sont classifiés selon **Mouchel & Thévenot [21]**

#### **LES MACROPOLLUANTS**

Ce sont des molécules naturelles qui se trouvent dans l'environnement à des concentrations grandes par rapport à l'énorme.

#### **LES MICROPOLLUANTS**

Ce sont des composés actifs minéraux ou organiques ont des actions toxiques à très faible concentration (de l'ordre du  $\mu\text{g}/\text{l}$  ou moins). L'intensité et la durée de leur présence dans l'écosystème conditionnent le risque pour les milieux aquatiques, ainsi que pour la santé humaine.

### **I.4.3. Les types de pollutions**

On distingue trois types de pollution

#### **POLLUTION CHIMIQUE**

C'est une pollution due au déversement de substances chimiques telles que les détergents, les pesticides, les hydrocarbures et les métaux lourds (Pb, Zn, Hg, Cd...) [22].

#### **POLLUTION PHYSIQUE**

On parle d'une pollution physique si on a une modification dans la structure physique dans le milieu marin par divers facteurs, il peut être, selon **Gravez et Bernard [23]** :

- Un rejet de l'eau douce qui fera baisser la salinité d'un milieu marin
- Un rejet d'une unité industrielle chaud ou froid qui modifie la température du milieu marin
- Un rejet liquide ou solide modifie la turbidité d'un milieu (boue, limon...).

#### **POLLUTION BIOLOGIQUE**

Il peut s'agir de pollution par des micro-organismes (virus, bactéries, champignons) provenant des égouts qui peuvent accroître à leur arrivée dans le milieu marin, bien que ce milieu ne soit pas préférable à la vie de la plupart des agents pathogènes [23].

#### **I.4.4. Sources de pollution maritime dans la mer Méditerranée**

La mer Méditerranée est exposée aux nombreuses sources de la pollution

##### **LA DEMOGRAPHIE**

Sur 30 ans, de 1970 à 2000, la population d'ensemble des pays bordiers a augmenté fortement, de 285 millions à 427 millions d'habitants, soit 50 % au total. Selon les statistiques établies par le «PB» [24] ce chiffre devrait passer à 520-570 millions en 2030, pour atteindre approximativement 600 millions en l'an 2050 et, éventuellement, plus de 700 millions à la fin du 21ème siècle. Avec deux phénomènes : la littoralisation et l'urbanisation.

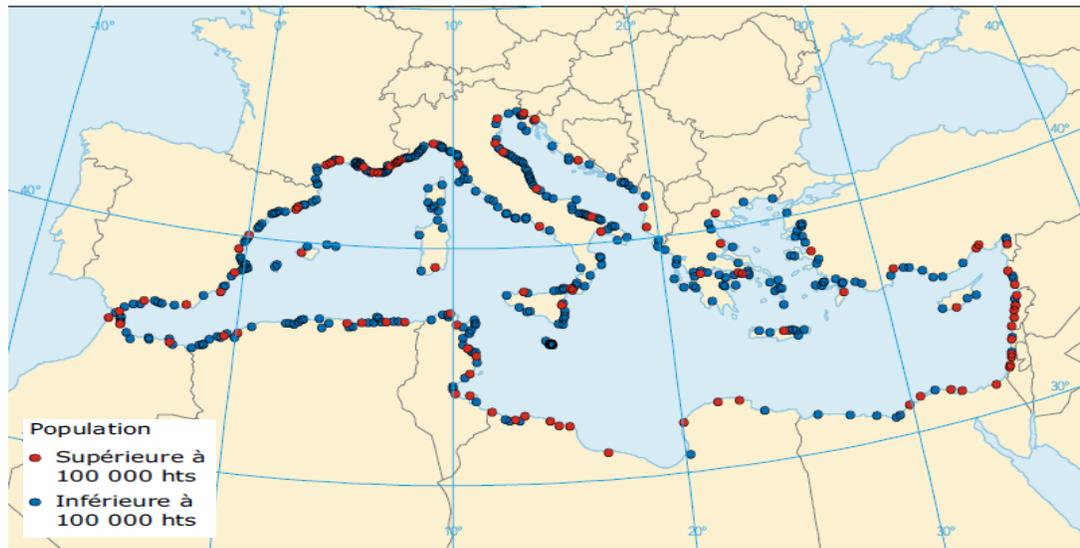
- La littoralisation

Les côtes de la mer Méditerranée sont surpeuplées (La figure 4) : plus de 150 millions d'habitants soit quasiment 1/3 de la population des pays riverains. Ce chiffre a quasiment doublé au cours des 40 dernières années. Ces côtes sont soumis, dans certaines parties, à une urbanisation exceptionnelle mal contrôlée.

- L'urbanisation

Une forte croissance urbaine : Entre 1970 et 2000, la population urbaine côtière a progressé de 10 millions d'habitants sur la rive Nord et de 30 millions d'habitants sur les rives Sud et Est.

Mais ceci ne doit pas cacher le fait que les rives de la Méditerranée comprennent également 85 villes dont la population évolue entre 300 000 et un million d'habitants.



*Fig.4:* Population des villes côtières méditerranéennes [20].

## TOURISME

En raison de la richesse naturelle, la beauté des paysages et le beau climat, les côtes Méditerranéennes sont une destination des touristes.

Le tourisme constitue actuellement la première source de devises étrangères de la région. Mais beaucoup ignorent l'importance de protéger l'environnement et d'appliquer les normes du développement durable.

Le nombre des touristes va passer à 235-250 millions en 2025 [24]. L'incidence du tourisme intensif sur l'environnement se traduit par l'utilisation des terres, la consommation des ressources d'eau, la pollution, les déchets et les pressions physiques, la réduction des sites naturels et des espaces libres, la modification des paysages côtiers.

## LE SECTEUR PRIMAIRE

### ▪ L'agriculture

En raison de la morphologie spécifique du bassin Méditerranéen, l'activité agricole est pratiquée de façon continue dans des plaines côtières.

L'agriculture constitue la principale source non ponctuelle de pollution de la mer Méditerranée, l'utilisation de produits chimiques dans l'agriculture fait que les eaux d'écoulement emportent des pesticides, des nitrates et des phosphates [25]. Les pesticides sont présents dans un tiers des rejets agricoles et que l'on retrouve dans 90 % des cours d'eau [26].

Les agriculteurs qui consomment près des 2/3 de l'eau utilisée pour l'arrosage des cultures et des plantes, sont les principaux responsables de la pollution par les nitrates et les pesticides [27].

Selon l'Agence Européenne pour l'Environnement [28] les impacts de l'agriculture dans les modifications de l'environnement côtier du bassin Méditerranéen sont plus indirects que directs et se traduisent par :

- Dans la plupart des pays, tous les types de pratiques agricoles sont traités comme des sources émettrices de pollution aquatique et sont donc difficiles à quantifier. Les terres agricoles constituent l'une des ressources où les pressions du développement sont les plus fortes.
- Les principales pressions issues de l'agriculture correspondent à l'érosion du sol et au surplus de nutriments lorsque des engrais sont utilisés en excès [28].

- Pêche

La Méditerranée se caractérise par ses conditions naturelles qui restent uniques : des paysages côtiers exceptionnels, une profondeur importante, des conditions climatiques très belles et rares.

Aussi la mer Méditerranée est un réservoir majeur de biodiversité : 10 000 à 12000 espèces marines (faune et flore). Avec 0.7% de la surface de l'océan mondial, elle héberge donc 8 à 9% de sa biodiversité ; c'est donc un pôle de biodiversité [29].

Mais ces espèces sont menacées en premier lieu par la surpêche surtout dans les pays du sud de la Méditerranée qui sont des pays en voie de développement où la protection de l'environnement n'est pas parmi leurs priorités, et qui n'appliquent pas des politiques strictes pour protéger le milieu marin.

## **L'INDUSTRIE**

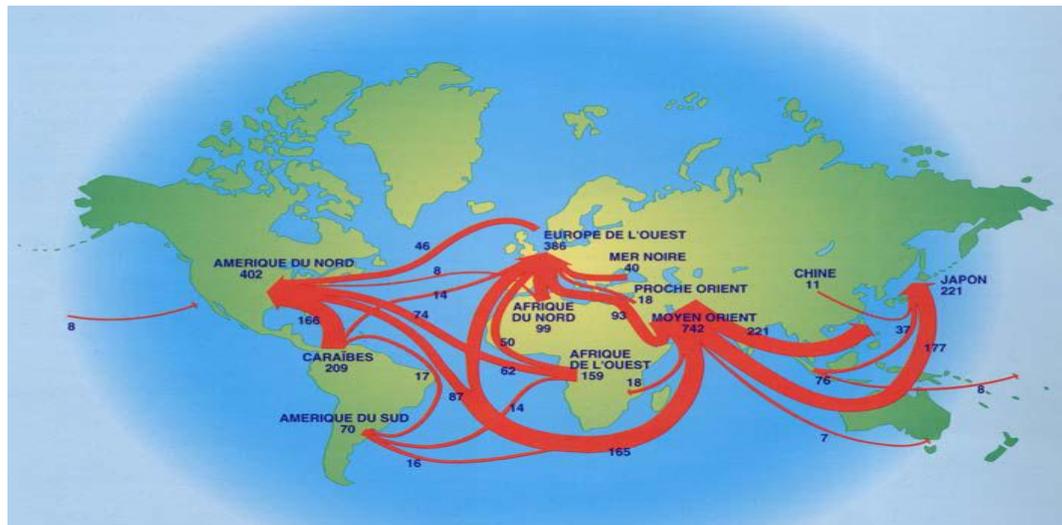
Face à l'avenir du développement industriel dans les côtés de la Méditerranée, de nombreux experts ont posé le problème de la capacité de cette mer à résister aux agressions.

Avec plus de 200 installations pétrochimiques et énergétiques, usines chimiques et unités de production de chlore et les stations de dessalement et quelques 80 grands cours d'eaux déplaçant une charge importante de pollution, le bassin Méditerranéen se trouve à l'heure actuelle dans un état de mal [30]. Une soixantaine de raffineries de pétrole déversent chaque année près de 20.000 tonnes d'hydrocarbures dans la mer [29].

Il est connu que, les activités industrielles ont des effets néfastes sur l'environnement, comme les rejets des déchets dangereux dans les cours des eaux qui finissent toujours dans la mer donc des risques sur l'écosystème.

## **LE TRANSPORT MARITIME**

La mer Méditerranée est menacée par la pollution pétrolière liée au trafic maritime (Figure 5). Le trafic maritime dans la mer Méditerranée est un trafic dense et en même temps la Méditerranée est une route importante de transit pour transporter les marchandises.



*Fig.5:* Routes mondiales du transport maritime du pétrole brut en 1996 [31].

La cause de la croissance de la pollution pétrolière de la mer Méditerranée est la croissance et le développement des opérations du transport de pétrole à travers les mers.

Le déversement de pétrole est l'une des sources de pollution dangereuses qui menace la sécurité maritime en raison des conséquences graves résultant de cette pollution.

### **I.5. Conclusion**

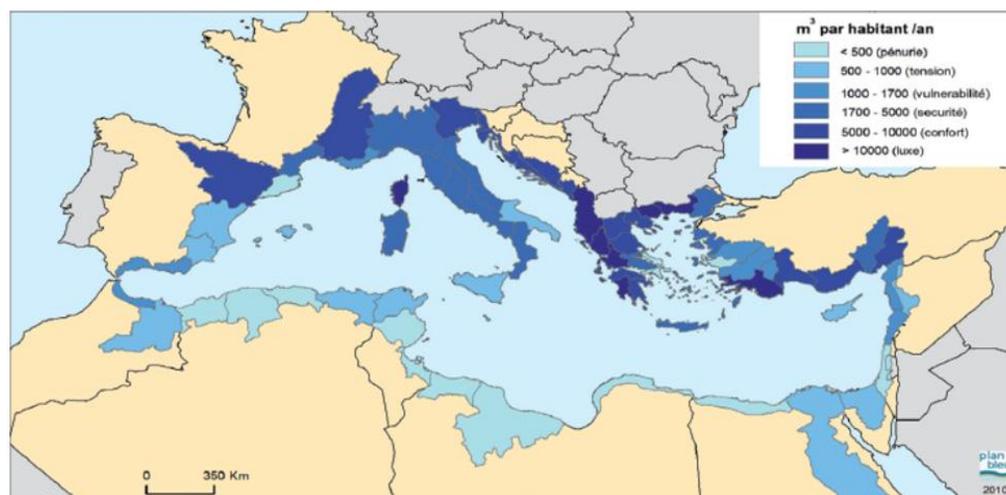
La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des ordures chimiques, du lessivage des terrains traversés, des rejets provenant d'industries divers et surtout des usines des stations de dessalement.

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

## II. Un point sur le dessalement de l'eau de mer

L'augmentation de la demande en eau est un phénomène mondiale fort, et les pénuries d'eau (Figure 6), qu'elles soient occasionnelles ou structurelles (en zone aride), sont une réalité peut s'amplifier avec le réchauffement climatique annoncé. A titre exemple, les pays de la méditerranée connaissent une pression sur leurs ressources dépassant leurs réserves renouvelables.

L'Algérie est un pays semi- aride (200 mm à 400 mm de pluie par an) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de mètres cubes d'eau par an dont 12,4 milliards de mètres cubes sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (hydrologie, topographie, géologie) et la demande en eau douce, croit chaque année de 2 à 3 %, tandis que les ressources naturelles restent invariables



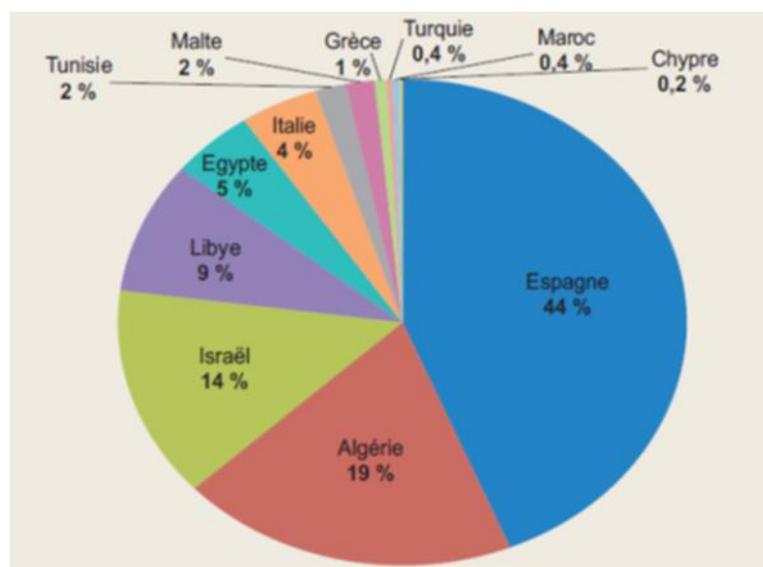
Sources : cartographie Plan Bleu

**Fig.6 :** Ressources en eau naturelle renouvelables par habitant dans les différents bassins élémentaires méditerranéens (entre 1995 et 2005).

Changements climatiques et baisse de précipitations aggravent bien évidemment une situation qui sera bientôt vitale. Quelles réponses peut-on apporter ?

Une première réponse consiste à promouvoir une politique d'économie de l'eau qui vise à réduire les grandes pertes et mauvaises utilisations.

Une deuxième réponse, déjà mise en œuvre, consiste à augmenter les ressources, par dessalement de l'eau de mer.



Source : Plan Bleu, 2008

*Fig.7:* le taux de dessalement dans les villes côtières méditerranéennes.

## II.1. Définition

Le dessalement (désalinisation ou dessalage) consiste à produire de l'eau douce à partir d'une eau salée ou saumâtre, généralement par extraction de l'eau douce ou par extraction du sel.

## II.2. Aperçu historique

Les premières unités de dessalement d'eau de mer sont produites avec les premiers bateaux à vapeur. L'usage du dessalement d'eau de mer pour la production d'eau douce (eau potable, usages domestiques et industriels, irrigation) s'est développé dans la seconde moitié du XXème.

Jusque dans les années 1960, la distillation à faisceaux noyés était le seul procédé industriel disponible. La température de chauffe très élevée, nécessaire à l'obtention d'un rendement acceptable, avec des arrêts pour détartrer le bouilleur. Des procédés de distillation plus performants sont apparus à partir des années 1960 : flash, compression de vapeur, etc. A la même époque sont apparues les premières unités utilisant des procédés membranaires. Les progrès accomplis par le procédé d'osmose inverse (qualité des membranes, récupération d'énergie, baisse des coûts, ...) lui ont permis de s'imposer pour les petites et moyennes unités et de rivaliser avec les procédés de distillation pour les grosses unités (Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime).

L'expérience algérienne dans le dessalement des eaux est liée au développement de l'industrie pétrolière. L'utilisation de l'eau dessalée pour l'alimentation de la population en eau potable est presque inexistante. Néanmoins une seule expérience a été essayée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellal dans la wilaya de Biskra (sud-est algérien).

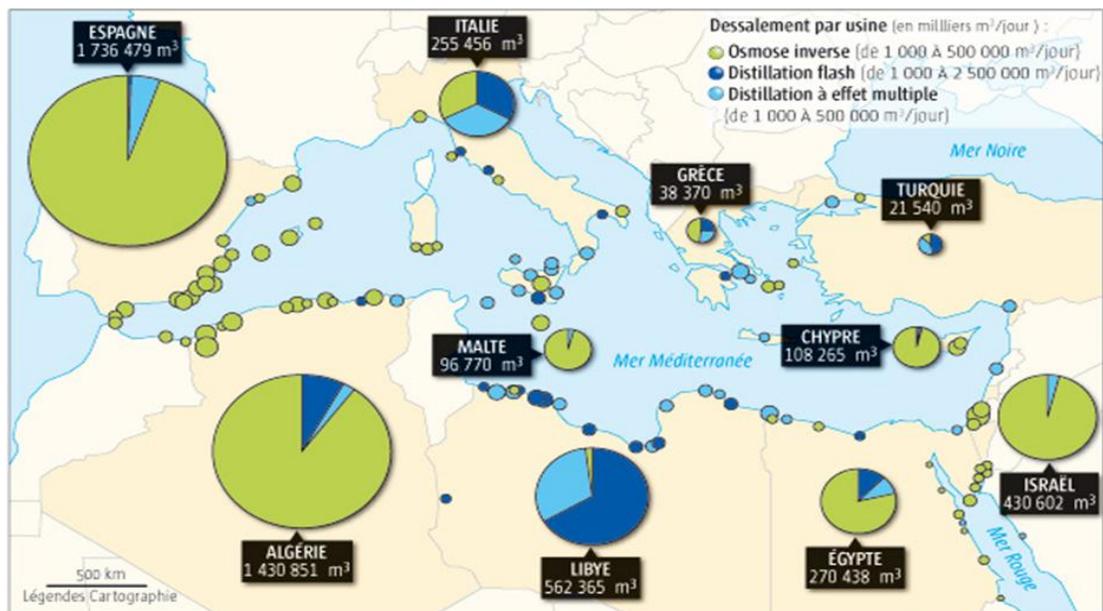
Dans l'industrie, la déminéralisation et le dessalement sont utilisés pour assurer la provision de l'eau de chaudière, de refroidissement, de traitement. En 1964, trois petits blocs de 8 m<sup>3</sup>/h chacun ont été installés

au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est « à tubes submergés » travaillant à basse pression. Et en 1969, une autre installation utilisant la MSF a été réalisée à Arzew avec une capacité de production de 4560 m<sup>3</sup>/j.

Dés lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place, d'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire à l'activité des complexes de production d'électricité (Cap Djénét à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda). Egalement quelques installations sont destinées, principalement dans le Sud pour fournir de l'eau potable dans les bases pétrolières

### II.3. Les techniques de dessalement les plus utilisées

La désalinisation peut être effectuée selon plusieurs principes physiques (La figure 8) : la distillation qui repose sur un changement de phase eau-vapeur, une séparation sel-eau faisant appel à des membranes semi-perméables où le moteur est la pression (osmose inverse), ou bien un champ électrique (électrodialyse).



*Fig.8*: des techniques de dessalement utilisées dans les villes côtières méditerranéennes.

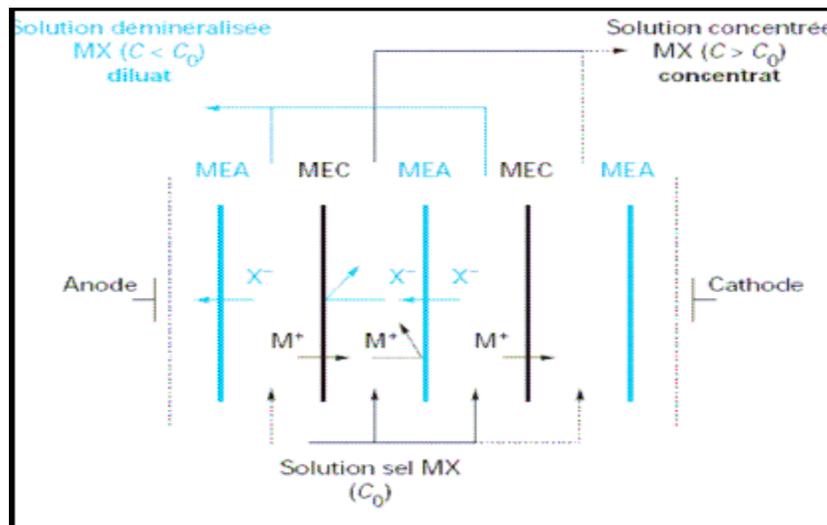
#### II.3.1. Electrodialyse à membrane sélective

L'électrodialyse est une méthode électrochimique qui utilise des membranes imperméables à l'eau et sélectives pour les ions, le sel est séparé de l'eau par transfert d'ions suivant un principe des plus simples. Les sels dissous sont ionisés, c'est-à-dire constitués par des atomes qui, au lieu d'être neutres, sont chargés positivement ou négativement. Par exemple, le sel de cuisine (NaCl), lorsqu'il est dissout, donne dans l'eau des ions positifs de sodium (Na<sup>+</sup>) et des ions négatifs de chlore (Cl<sup>-</sup>).

Lorsqu'on applique un courant continu à deux électrodes plongées dans une solution d'eau salée, le courant traverse le liquide. Les cations (ions positifs) sont attirés alors par la cathode (électrode négative)

alors que les anions, de charge négative se déplacent vers l'anode (ou électrode positive). Tel est d'ailleurs le principe de l'électrodialyse [32].

Dans l'électrodialyse, des membranes filtrantes imperméables pour les cations ou pour les anions, sont insérés alternativement entre les électrodes. La membrane qui laisse passer les cations à la propriété d'arrêter les anions ; celle qui est imperméable aux anions oppose une barrière infranchissable aux cations. Dans certains compartiments de la cuve, on peut donc collecter les ions retenus par chacune de ces deux membranes. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sel alternent avec d'autres où l'eau a été dessalée. Lorsque l'eau est insuffisamment désionisé (dessalée), elle est extraite de ces cellules.

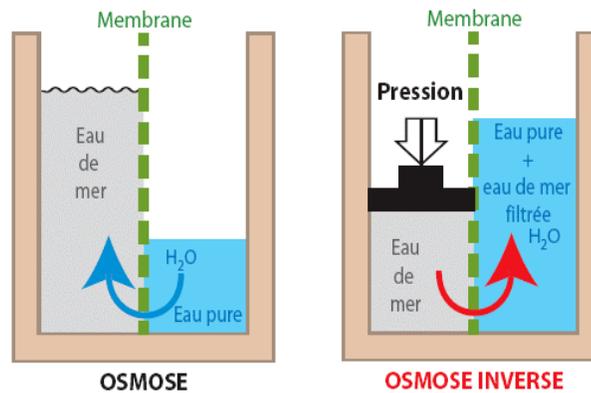


*Fig.9*: Schéma De Principe d'une électrodialyse [33].

### **II.3.2. Osmose inverse**

L'osmose inverse est un procédé agréable qu'on peut utiliser pour dessaler les eaux de mer ou les eaux saumâtres. Elle consiste à placer de l'eau salée et de l'eau douce, séparée par une membrane semi-perméable. Normalement l'eau pure (la moins concentrée) migre vers la solution concentrée appelée saumure. Mais si on exerce une pression sur l'eau salée, le processus est inversé, elle est alors appelée osmose inverse (figure 10).

Ainsi, la solution la plus concentrée passe vers le milieu de la solution diluée par l'action d'une pression exercée qui est de son côté supérieure à la pression osmotique. Cette membrane filtre tous les éléments indésirables que peut contenir l'eau.



**Fig.10**: Schéma De Principe d'une osmose inverse.

Les installations de dessalement par osmose inverse travaillent généralement sous des pressions de 40 à 80 bars selon la salinité de l'eau, mais elle nécessite un prétraitement efficace pour éliminer les particules en suspension (filtration par sable, filtration par cartouche), éviter le développement de microorganismes et empêcher la formation de précipités des carbonates. Et pour un grand rendement, les membranes doivent être entretenues par des lavages réguliers pour empêcher des phénomènes de colmatages des pores.

### **II.3.3. La distillation**

La distillation est un procédé qui comporte une vaporisation, une condensation et une récupération de la chaleur libérée par la condensation, la vaporisation utilise de l'énergie sous forme de chaleur (procédés thermiques) ou sous forme de travail mécanique (procédés par thermocompression). Le refroidissement est réalisé par l'eau de mer froide qui circule dans un échangeur ; des pompes récupèrent l'eau douce condensée et évacuent la saumure.

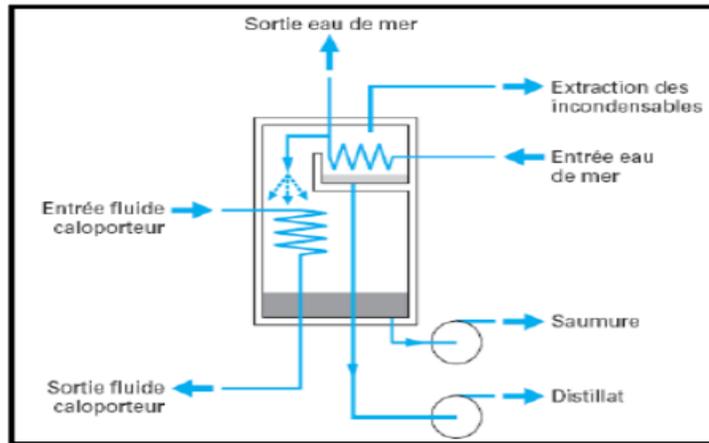
Pour de grandes installations, cette technique, coûteuse en énergie, a connu de nombreuses améliorations permettant de réutiliser une partie de la chaleur libérée par la condensation de la vapeur.

#### **DISTILLATION A SIMPLE EFFET**

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

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

Cette première solution est simple à mettre en œuvre met n'offre qu'un rendement réduit



**Fig.11** : Schéma De Principe d'un distillateur simple effet [33].

### DISTILLATION A MULTIPLES EFFETS (MED)

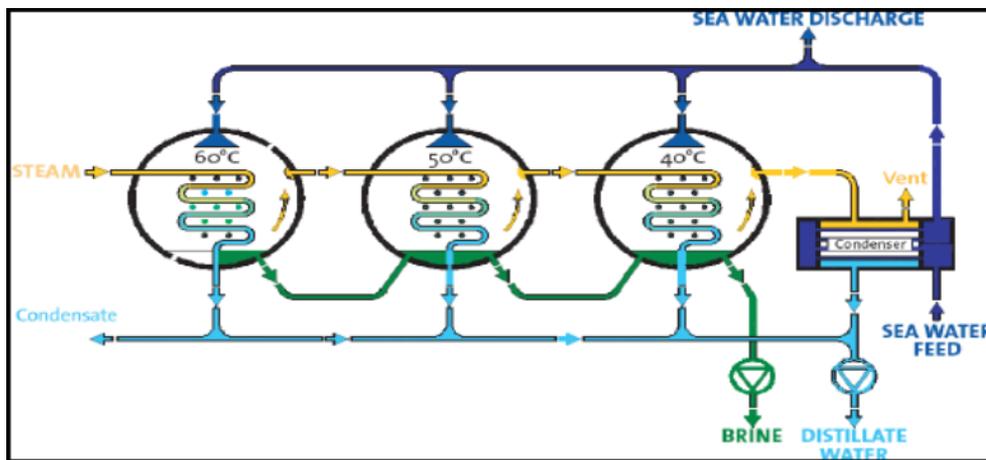
L'évaporateur MED est constitué de plusieurs cellules simples successives, dans lesquelles on diminue la pression (et la température) du premier (chaud) au dernier (le froid). Chaque cellule (aussi appelé effet) contient un faisceau de tubes. Le sommet du faisceau est arrosé avec l'eau de mer qui coule autour des tubes par gravité.

La chaleur dégagée lors de la condensation réchauffe l'eau de mer à l'extérieur des tubes qui s'évapore en partie. Après l'évaporation, l'eau de mer se concentre en donnant de la saumure au fond de la cellule.

La vapeur créée par l'évaporation de l'eau de mer est utilisée comme moyen de chauffage pour l'effet suivant où le processus se répète.

Dans la dernière cellule, la vapeur produite se condense dans un échangeur thermique. Cet échangeur, est refroidi par l'eau de mer.

À la sortie du condenseur final, la partie de l'eau de mer réchauffée est utilisée pour alimenter l'unité, l'autre partie est rejetée à la mer. La saumure et le distillat sont collectés dans chaque cellule d'où ils sont extraits par des pompes centrifuges.

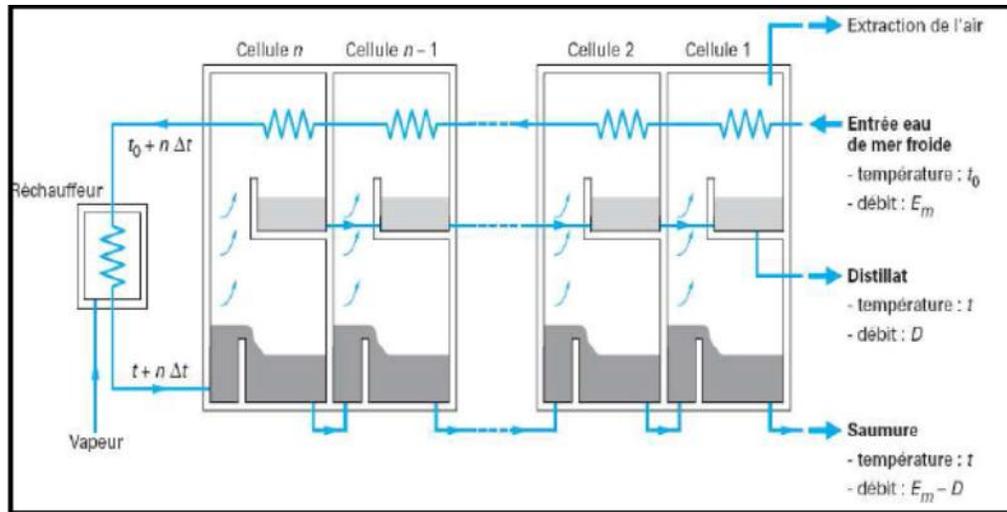


**Fig.12** : Schéma De Principe des distillateurs à effets multiples.

**PROCEDE PAR DETENTES SUCCESSIVES OU PROCEDE FLASH (MSF)**

Cette technologie est apparue en 1960 pour corriger problèmes d'entartrage que connaissaient les procédés de distillation à multiples effets.

L'eau salée est introduite à  $T_0$  et circule à travers les différentes chambres en condensant de la vapeur au passage. Elle passe ensuite dans un réchauffeur où elle atteint  $T_{max}$  puis elle est introduite dans le bas des chambres où elle se vaporise puis se condense sur le serpentin. L'eau condensée est récupérée alors que la saumure est évacuée.



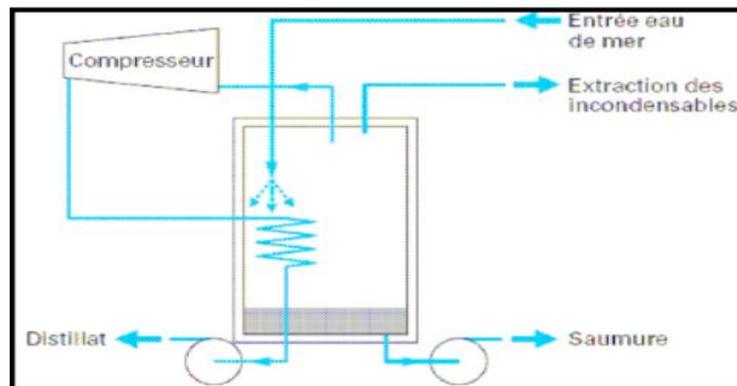
*Fig.13*: Schéma De Principe d'un distillateur par détentes successives [33].

**DISTILLATION PAR COMPRESSION DE VAPEUR (MVC)**

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement.

La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation.

Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.



*Fig.14*: Schéma De Principe d'une Compression mécanique de vapeur [33].

## II.4. Comparaison entre les techniques

Dans ce tableau, on a essayé de faire une bref comparaison ente les technique les plus commode :

*Tab.7:* Comparaison entre les déférentes techniques de dessalement.

|  | <b>MSF</b>                   | <b>MED</b>                  | <b>MVC</b>                  | <b>OI</b>                   |
|--|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>Température de fonctionnement (°C)</b>          | < 120                        | < 70                        | < 70                        | < 45                        |
| <b>Principale source d'énergie</b>                 | Thermique                    | Thermique                   | Mécanique (via électricité) | Mécanique (via électricité) |
| <b>Consommation thermique (kWh/m<sup>3</sup>)</b>  | 12                           | 6                           | Pas applicable              | Pas applicable              |
| <b>Consommation électrique (kWh/m<sup>3</sup>)</b> | 3.5                          | 1.5                         | 8-14                        | 4-7                         |
| <b>Salinité de l'eau brute (g/l)</b>               | 30 – 100                     | 30 – 100                    | 30 – 50                     | 1 – 45                      |
| <b>Salinité de l'eau traitée (mg/l)</b>            | < 10                         | < 10                        | <10                         | < 500                       |
| <b>Capacité d'un train (m<sup>3</sup>/j)</b>       | 5.000 – 60.000               | 500 – 12.000                | 10 – 2.500                  | 1 – 10.000                  |
| <b>Avantages</b>                                   | Technique éprouvée           | 20 % moins cher que le MSF  | Simplicité                  | Modularité                  |
| <b>Inconvénients</b>                               | Investissement, consommation | Capacité plus faible que MS | Capacité limitée            | Fragilité                   |

## **II.5. Conclusion**

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur production, notamment grâce aux innovations techniques des 10 dernières années qui ont déclenché une baisse de coûts de dessalement significative et une augmentation globale de la puissance des usines à dessalement. Rendre potable ces millions de km<sup>3</sup> d'eau de mer a toujours été une pensée plaisante pour l'homme et grâce à toutes ces nouvelles techniques procédés cela nous est désormais rendu possible tout en étant rentable.

Malgré cela, on redoute maintenant que ces usines à dessalement nuisent trop gravement à l'environnement. A nous maintenant d'utiliser le dessalement avec précaution et intelligence, mais seulement là où le dessalement améliore notre ressource en eau tout en restant rentable et en atténuant les risques pour l'environnement.

### **III. L'impact de dessalement sur l'environnement**

Alors qu'en 2004, les experts estimaient que la capacité de dessalement d'eau de mer mondiale augmenterait de 101% d'ici à 2015, ces prévisions semblent aujourd'hui sous-estimées. Face à ce développement rapide on peut s'inquiéter des impacts potentiellement négatifs que peut provoquer cette technique sur l'environnement et le climat, directement ou indirectement [34].

Tout d'abord, il convient de noter que les impacts des usines de dessalement sur l'environnement marin sont encore mal connus en raison du manque d'études réalisées sur le sujet, comme le signale WWF. Cependant, certains effets sont d'ores et déjà suspectés ou établis. Ces impacts peuvent être classés entre ceux liés au captage de l'eau de mer et ceux liés aux rejets des usines de dessalement.

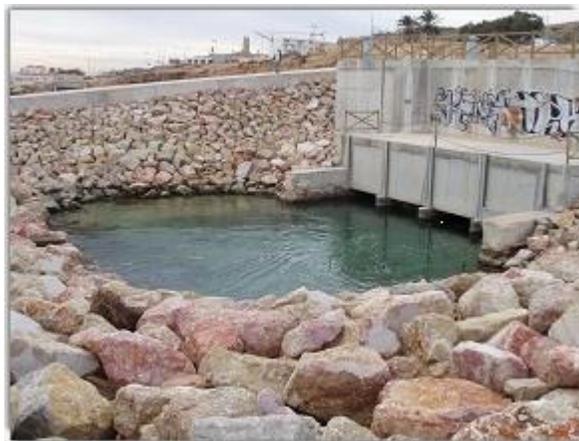
#### **III.1. Impacts dus à la construction**

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la construction et ceux qui sont liés à l'exploitation. Les impacts commencent avec l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, touchant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines.

#### **III.2. Impacts dus au pompage de l'eau de mer**

Ces impacts diffèrent selon le lieu de captage de l'eau. En effet, si l'eau est captée dans des puits côtiers, les effets sur les écosystèmes marins sont réduits non seulement aux captages (pas de conséquences sur la faune et la flore marine), mais aussi aux lieux de rejets.



*Fig.15*: Puits côtier en Espagne [34].

En effet, l'eau étant plus pure aux puits côtiers qu'au large (filtration par le sable), elle nécessite moins de traitements chimiques et implique donc des rejets moins pollués. En revanche, cette technique a l'inconvénient de ne pas être pratique aux grandes usines en raison du faible débit de pompage de l'eau dans ces puits.

En revanche, si l'eau est captée au large, différents effets nocifs sur les écosystèmes marins sont observés, qui sont détaillés par la suite. Il faut de plus ajouter à ces effets, les impacts liés aux canalisations permettant de conduire l'eau de mer jusqu'à l'usine.

### **III.2.1. Structures de prélèvement**

Les dispositifs de prélèvement de l'eau installés par les usines de dessalement ne sont pas sans impacts sur les écosystèmes. En effet, pour empêcher des débris ou des gros organismes de pénétrer dans le réseau d'eau de l'usine, des tambours tamiseurs d'un maillage moyen de 5 mm sont placés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation.

Or, des organismes marins tels que des poissons peuvent blesser ces tambours.

### **III.2.2. Introduction d'organismes dans le circuit d'eau**

Le maillage de 5 mm des tambours permet d'éliminer les organismes de moyenne et grande taille qui ne peuvent pas être entraînés dans le circuit d'eau d'alimentation. En revanche, les petits organismes marins tels que le phytoplancton, le zooplancton (petits invertébrés, bactéries etc.) sont aspirés avec l'eau de mer prélevée ce qui implique une baisse de la biomasse et de la biodiversité locales.

## **III.3. Impacts dus aux rejets d'une usine de dessalement**

### **III.3.1. Le gaz à effet de serre**

Les usines de dessalement consomment beaucoup d'énergie et par conséquent présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides, et donc le réchauffement climatique.

### **III.3.2. Saumure**

Bien que les différents procédés ont été développés pour le dessalement ; ils ont le même principe de séparer les substances minérales et les sels dissoutes de l'eau de mer. Il en résulte donc, dans tous les cas, 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 [35]. A titre d'exemple, pour produire par dessalement d'eau de mer les 2 L de consommation journalière d'eau de d'alimentation, il faut dessaler environ 4 L d'eau de mer, ce qui conduit au rejet de 160 g de sels.

La saumure rejetée par les stations de dessalement provoque

- Réduction de la capacité des racines des plantes à puiser de l'eau du sol, l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines d'extraire l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique.
- croissance de dangereuses familles d'algues si cette saumure n'est pas fortement diluée avant rejet en mer. En Méditerranée, ces rejets détruisent les herbiers à Posidonies lesquels sont le point de départ de la chaîne alimentaire de l'écosystème marin et ça conduit à une Perte de la biodiversité et fragilisation des écosystèmes.
- anoxie au niveau des fonds marins où la colonne d'eau se trouve divisée en deux : l'eau de mer constitue la couche supérieure et la saumure la couche inférieure. Dans des conditions de calme du milieu récepteur, avec un faible renouvellement des algues, la présence d'espèces benthoniques, consommatrices d'oxygène, peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.
- Diminution de la lumière : la présence d'un fluide hypersalin modifie le coefficient de réflexion de la lumière filtrée, provoquant la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.
- Affection des phanérogames marines : la mer Méditerranée est la zone du monde où le plus grand nombre d'études a été réalisé à ce sujet. On a détecté des effets négatifs sur les phanérogames marines. Notamment, en ce qui concerne la Posidonie océanique, on a détecté une augmentation de la mortalité des individus, apparition de nécrose sur les tissus et plus grande chute des feuilles. Les valeurs limites d'affection sont très variables selon les espèces

### **III.3.3. Les rejets de prêt traitement**

Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement. Les prétraitements mis en œuvre sont des techniques de clarification proches de celles employées de façon conventionnelle pour la potabilisation des eaux douces (coagulation, décantation ou flottation, filtration). Autrefois rejetés en mer, les résidus chimiques de ces prétraitements et les métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, ont impacté la flore et la faune au point de rejet, impact essentiellement lié à la turbidité des effluents rejetés qui perturbaient la photosynthèse et donc la production primaire.

La température représente un impact spécifique des traitements de distillation. Autrefois ignoré, cet impact a été à l'origine de dégradation de la faune et de la flore au point de rejet des concentrats de ces installations.

### **III.4. Conclusion**

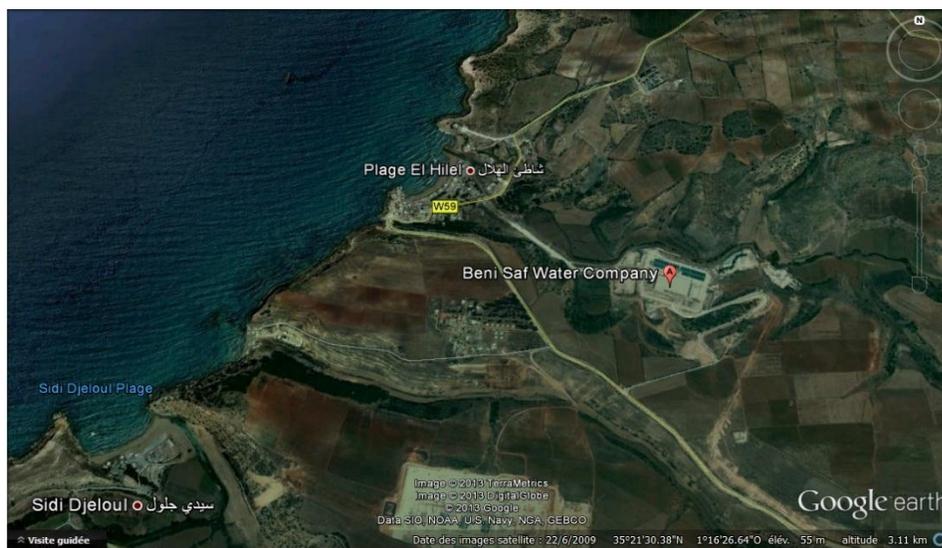
Le dessalement de l'eau de mer permet généralement d'augmenter la ressource en eau douce disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de faire face aux situations de pénuries et de crises. Reste plusieurs inconvénients : des besoins énergétiques importants (et donc un impact climatique, les usines étant essentiellement alimentées par des énergies fossiles) et un prix de vente élevé de l'eau ainsi produite des conséquences environnementales négatives (rejets de saumure, effluents chimiques...).

## IV. Echantillonnage et méthodes d'analyses

### IV.1. Présentation de site d'étude

Notre recherche sera réalisée dans la région de Chatt el Hillal (ex Oued el Hallouf). Elle se trouve sur le district municipal de Sidi Ben Adda, dans la wilaya d'Aïn-Temouchent.

La commune de Sidi Ben Adda est une zone urbano-industrielle et d'une surface générale estimée par 72,88 Km<sup>2</sup> et d'une population de 14.086 habitants (31/12/2010).



*Fig.16*: localisation de la station de dessalement de Beni Saf.

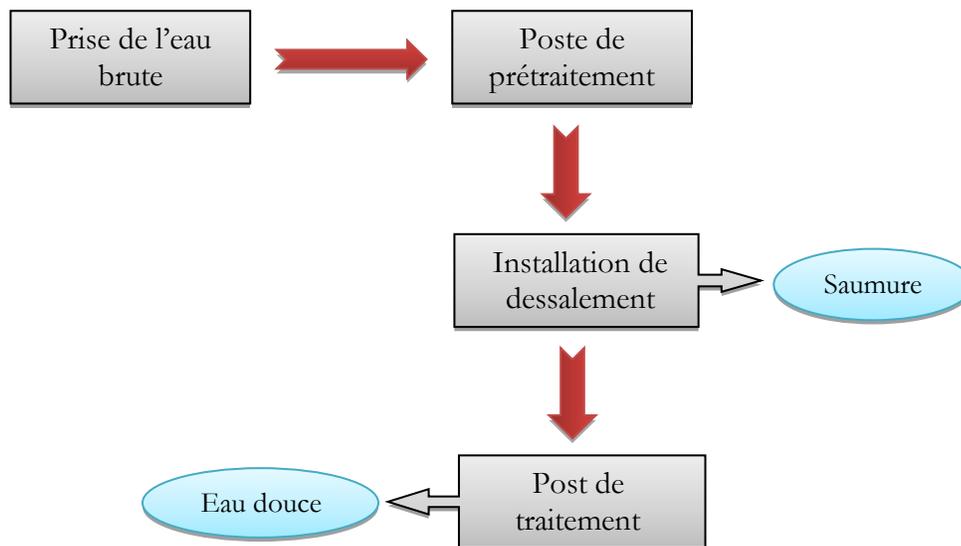
### IV.2. Présentation et Description du processus de dessalement de l'eau de mer

Le projet de la station de dessalement d'eau de mer de Beni Saf (BWC) fait partie d'un large programme de construction d'usines de dessalement entrepris par le gouvernement algérien pour fournir à l'Algérie une ressource stable en eau potable et permettre à la nappe phréatique de se renouveler.

La BWC utilise l'osmose inverse comme une technique de dessalement de l'eau de mer. Elle a commencé la production de l'eau potable en mars 2010 avec une capacité de production estimée par 200.000 m<sup>3</sup>/jour et une consommation énergétique moyenne de 4.15 kWh/m<sup>3</sup>.

### IV.2.1. Schéma générale d'une station de dessalement

On peut diviser une installation de dessalement en 4 postes principaux :



*Fig.17:* Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.

### IV.2.2. Description du processus de dessalement

Puisque nous n'avons pas l'accès pour faire un stage dans la station de dessalement de Beni Saf, notre description du processus de dessalement par osmose inverse reste une description théorique.

#### CAPTAGE ET POMPAGE DE L'EAU BRUTE

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une bonne qualité d'eau, en particulier du point de vue matières en suspension. Dans ce cadre, deux technologies peuvent être utilisées : les forages côtiers et les prises d'eau de surface [36].

#### PRETRAITEMENT DE L'EAU BRUTE

Les principaux modes du prétraitement sont les suivants

- **Coagulation**

D'après **Valiron.F [37]**, la coagulation est l'élimination des substances indésirables présentes dans les eaux, qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes par l'introduction des réactifs chimiques appelés coagulants. Donc, le but de la coagulation c'est la neutralisation des charges primaires qui permet d'annuler les forces de répulsion suivie par le piégeage

dans les précipités. Cette neutralisation se déroule par l'intermédiaire des composés de deux métaux lourds  $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ .

- **La floculation**

La floculation consiste à agglomérer sous forme de floes les particules colloïdales neutralisées au paravent par coagulation. Les membranes d'osmose inverse étant chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des floculants anioniques ou non ioniques [36].

On distingue des floculants naturels et synthétiques. Parmi les floculants synthétiques : les polymères chargés ou polyélectrolytes, qui définissent également par leur densité de charge [38].

- **La décantation**

Après l'étape de coagulation flocculation, si la densité de ces floes est supérieure à celle de l'eau, il y'a décantation. Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces : la force de pesanteur qui est l'élément moteur, permet la chute de cette particule et les forces de frottement dues à la traînée du fluide s'opposent à ce mouvement [39].

- **La filtration de dégrossissage**

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas, elle a pour but d'obtenir une clarification poussée de l'eau par l'élimination des dernières particules en suspension [37].

- **Le conditionnement chimique**

Après filtration à sable, des équipements de dosage font partie du prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes.

On trouve comme prétraitements chimiques

#### L'acidification de l'eau brute

Cette étape provoque la décomposition des bicarbonates et aussi c'est un moyen efficace pour éviter les dépôts de  $CaCO_3$ .

#### Le dosage de réducteur de chlore (bisulfite de sodium) ou bien déchloration

La réduction du chlore se fait par addition de bisulfite de sodium, afin de ne pas endommager les membranes et pour protéger les tuyaux contre la corrosion et en même temps acidifie légèrement l'eau d'apport. [40].

#### Le dosage d'anti-incrustant

Cet équipement est nécessaire pour éviter la précipitation de sels (le calcium, le magnésium, le strontium et le baryum), qui produisent une rapide Bouchage des membranes et par conséquent une diminution du débit d'eau traitée [40].

## EQUIPEMENTS D'OSMOSE INVERSE

### ▪ La filtration de sécurité ou microfiltration

Cette opération a pour l'objectif de retenir les particules qui peuvent être entraînées par l'eau filtrée ou par les produits de conditionnement, pour protéger les pompes de haute pression et les membranes d'osmose inverse.

### ▪ Pompe à haute pression

Avant l'entrée dans les membranes d'osmose inverse, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité.

### ▪ Système de membranes d'osmose inverse

Ce système a pour but de laisser passer les molécules d'eau à travers les pores très fins de la membrane, alors que les autres substances sont rejetées par la membrane.

## POSTE DE TRAITEMENT

### ▪ Ajustement du pH

L'eau produite par osmose inverse est agressive, son pH est inférieure au pH de saturation. Ensuite, la correction de pH se fait par une solution alcaline en fonction du pH(NaOH).

### ▪ Chloration

Puisque les membranes d'OI retiennent tous les micro-organismes (bactéries et virus), une désinfection reste nécessaire pour éviter toute contamination et développement biologique [37].

La méthode la plus commode est la chloration par la solution d'hypochlorite de sodium.

## IV.3. Les paramètres physico-chimiques mesurés

### IV.3.1. Température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau [41].

### IV.3.2. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'évaluer la minéralisation globale et d'estimer la totalité des sels solubles dans l'eau [42].

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.

### **IV.3.3. Le Potentiel d'hydrogène ou pH**

Le pH (potentiel Hydrogène) d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes  $H^+$  présents dans cette eau. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques.

### **IV.3.4. La salinité**

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, il ne faut pas le confondre avec la dureté de l'eau qui est relative à son dosage en calcium et magnésium. Le chlorure de sodium ( $NaCl$ ) n'est qu'un des très nombreux sels composant la solution. C'est le caractère essentiel de l'eau de mer.

Elle permet de saisir la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte.

### **IV.3.5. Métaux traces**

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité [43].

On appelle en général « Métaux Lourds » les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à  $5 \text{ g/cm}^3$  [44]. La classification des métaux lourds est souvent discutée car certains métaux ne sont pas particulièrement « lourds » : cas du Zinc, et certains éléments ne sont pas tous « des métaux » : cas de l'Arsenic. Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation « Métaux Lourds », l'appellation « Éléments en Traces Métalliques » (ETM), « Éléments Traces » ou encore « Métaux Traces » [45].

Le suivi des concentrations en métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement.

### **IV.3.6. Total des solides dissous TDS**

Total des solides dissous (TDS) sont les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques qui sont dissous dans l'eau. Leurs principaux constituants sont habituellement les cations calcium, magnésium, sodium et potassium et les anions carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate.

## **IV.4. Méthodes et matériels**

### **IV.4.1. Protocole de prélèvement de l'eau de mer**

#### **TECHNIQUE DE PRELEVEMENT DE L'EAU**

D'une manière générale ; l'échantillonnage de l'eau doit être homogène et représentatif :

- Avant le prélèvement le flacon est rincé par l'eau à analyser
- Les flacons doivent être fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air.
- Le remplissage des flacons est effectué à plus que 30 cm de la surface pour éviter l'effet du film
- Tous Les prélèvements sont effectués à la même période.

#### **MATERIELS DE PRELEVEMENT**

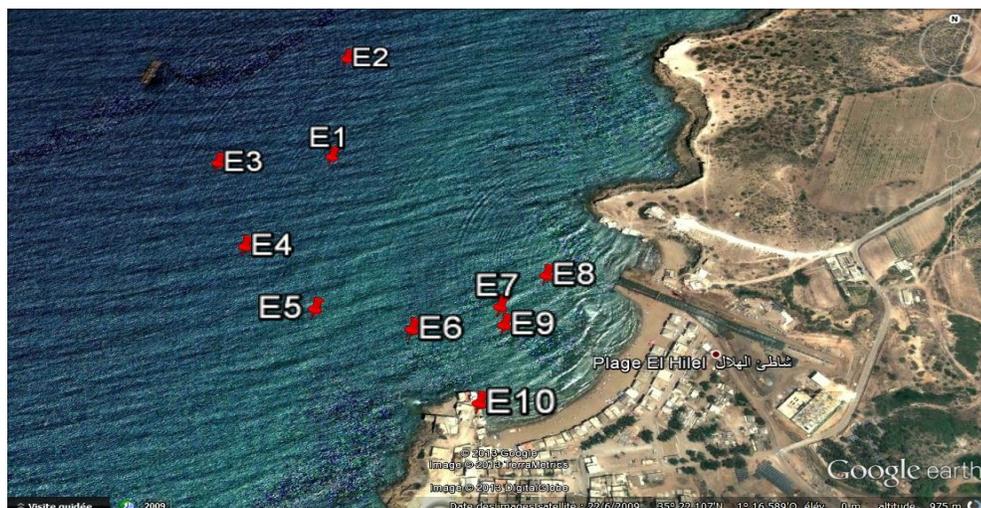
Il est composé de :

- Une glacière contenant les flacons ombrés de 180 ml
- La glace placée avec les échantillons pour limiter au maximum toute activité microbologique pouvant fausser les résultats
- Des flacons ombrés de 180 ml pour contenir l'eau prélevée
- Un bloc note pour noter nos observations et résultats.
- une tige galvanisée pour faire remplir la bouteille sous une profondeur de 1 mètre.

Les analyses sont faites dès que possibles, au maximum 72 heures après la prise d'échantillons

#### **PRELEVEMENTS DE L'EAU**

Nos travaux ont porté sur 10 points, dont pour chaque point on prélève une bouteille de la surface et une autre bouteille de profond (1 mètre).



*Source* : Google Earth.

*Fig.18*: les sites de prélèvements.

#### **IV.4.2. Analyse in-situ**

Les mesures de la salinité, la température, le pH ont été réalisées in situ. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

*Tab.8*: Instrument de mesures sur terrain.

| Le paramètre | L'instrument  |
|--------------|---------------|
| salinité     | Refractomètre |
| pH           | PHH-126       |
| température  | PHH-126       |

#### **IV.4.3. Analyse au laboratoire**

La mesure de la conductivité électrique, le total des solides dissous (TDS) et le dosage des métaux traces est réalisé au sein de laboratoire de recherche Spectrochimie et Pharmacologie Structurale.

La mesure de la conductivité électrique et le total des solides dissous se fait par un multimètre de type HACH sens ion7

Le dosage des métaux traces est réalisé par spectroscopie d'émission optique par plasma d'argon à couplage inductif (ICP-OES) de type HORIBA JOBIN YVON Ultima 2.

#### **PRESENTATION DE LA TECHNIQUE DE L'ICP-OES**

La spectroscopie d'émission optique par plasma d'argon à couplage inductif est une technique spectrochimique qui permet l'analyse qualitative et quantitative des éléments, dans une limite de détection qui varie entre la partie par million et la partie par milliard. En théorie tous les éléments peuvent être détectés à l'exception de l'argon. Cette méthode d'analyse a l'avantage de pouvoir mesurer simultanément la concentration de plusieurs éléments d'un échantillon, en étant efficace sur une large gamme de concentrations.



*Fig.19* : l'ICP-OES utilisé.

## PRINCIPE DE LA TECHNIQUE

Le "plasma à couplage inductif", associé à la spectroscopie d'émission optique (ICP-OES), est une méthode d'analyse chimique qui utilise comme source d'ionisation un plasma. La détection des éléments présents dans l'analyte se fait par émission. L'échantillon à analyser se présente sous forme liquide. L'analyte est entraîné par une pompe péristaltique et est nébulisé. L'aérosol ainsi obtenu est alors transporté dans le plasma où il est désolvaté, vaporisé, atomisé ou ionisé. Le retour à un état d'énergie plus bas s'accompagne de l'émission de radiations caractéristiques des éléments analysés. Un monochromateur permet la séparation des différentes longueurs d'ondes. Cette mesure se fait en réglant l'appareil sur les longueurs d'ondes spécifiques (tableau 9). Elles sont transformées en signaux électroniques qui sont convertis en informations pour nous.

**Tab.9:** Longueur d'onde des éléments chimiques servant du dosage par Spectrophotométrie d'émission optique par plasma d'argon.

| Eléments             | Fe      | Ni      | Cr      | Cd      | Pb      | Zn      |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Longueur d'onde (nm) | 273.955 | 231.604 | 205.552 | 228.802 | 220.353 | 213.856 |

## PROTOCOLE EXPERIMENTALE

### ▪ Filtration

L'eau de mer a été filtré à l'aide d'un papier filtre pour le but d'éliminer toutes matières en suspension qui peuvent boucher notre appareil ICP-OES.

### ▪ Dilution

On prépare une solution diluée 4 fois de l'eau de mer c'est-à-dire on prend 2.5 ml de l'eau de mer dans une fiole jaugée de 10 ml et on complète par l'eau distillée jusqu'à le trait de jauge.

Cette opération consiste à diminuer le taux de saturation en sel pour une meilleure fiabilité de mesure.

### ▪ Etalonnage de l'ICP-OES

L'étalonnage de notre ICP-OES est réalisé par un standard d'étalonnage de type « *JYICP-MIX 23* » d'une concentration connue est égale à 1000 mg/l.

Donc, on a préparé 4 solutions étalons

**Tab.10:** les solutions d'étalonnage.

| solution             | Etalon 01 | Etalon02 | Etalon 03 | Etalon 04 |
|----------------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Concentration (µg/l) | 0         | 10       | 20        | 30        |

Ce choix a été fondé sur plusieurs facteurs :

- Les contraintes de temps.
- Le prix du gaz d'argon et de la difficulté de l'obtenir.
- La difficulté de passer d'une concentration de 1000 mg/l à une concentration moins de 10 µg/l. où on a essayé plusieurs dilutions moins que celle-là mais on n'a pas obtenu des bons courbes d'étalonnages.
- Essayer de se rapprocher des valeurs prévues des concentrations des métaux lourds dans la région d'étude.

## V. Résultats et discussions

### V.1. Résultats

Nos résultats regroupent des analyses physicochimiques de l'eau de surface et l'eau de la profondeur de la mer méditerranéenne.

#### V.1.1. Analyse in-situ

Tous les prélèvements sont effectués le 23/06/2013.

*Tab.11* : résultats des analyses in-situ.

| Nom de l'échantillon | <i>Echantillons de la surface</i> |                  |      |                              | <i>Echantillons du profond</i> |                  |      |                              | Position GPS               |
|----------------------|-----------------------------------|------------------|------|------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------------------------------|----------------------------|
|                      | Salinité (g/l)                    | Température (°c) | pH   | Date et heure de prélèvement | Salinité (g/l)                 | Température (°c) | pH   | Date et heure de prélèvement |                            |
| E1                   | 37                                | 23.9             | 7.63 | 09 :15                       | 37                             | 22.9             | 7.20 | 09 :17                       | N35 22 080<br>W001 16 779  |
| E2                   | 36                                | 22.9             | 8.24 | 09 :29                       | 39                             | 22.6             | 7.40 | 09 :31                       | N35 22 189<br>W001 16 782  |
| E3                   | 35                                | 23.4             | 8.25 | 09 :35                       | 39                             | 21.2             | 7.57 | 09 :36                       | N 35 22 070<br>W001 16 881 |
| E4                   | 36                                | 23.4             | 8.20 | 09 :43                       | 37                             | 22.1             | 7.53 | 09 :45                       | N35 21 991<br>W001 16 839  |
| E5                   | 36                                | 22.1             | 8.23 | 09 :50                       | 40                             | 21.5             | 7.50 | 09 :51                       | N35 21 939<br>W001 16 770  |
| E6                   | 36                                | 23               | 8.38 | 09 :57                       | 40                             | 21.4             | 7.53 | 09 :59                       | N35 21 925<br>W001 16 689  |
| E7                   | 35                                | 22.6             | 8.20 | 10 :05                       | 39                             | 21.1             | 7.36 | 10 :07                       | N35 21 946<br>W001 16 619  |
| E8                   | 36                                | 23.4             | 8.21 | 10 :14                       | 38                             | 21.4             | 7.40 | 10 :17                       | N35 21 974<br>W001 16 582  |
| E9                   | 35                                | 23.4             | 8.27 | 10 :20                       | 37                             | 22.4             | 7.31 | 10 :23                       | N35 21 931<br>W001 16 615  |
| E10                  | 38                                | 23.9             | 8.21 | 10 :45                       | 36                             | 21.7             | 7.55 | 10 :48                       | N35 21 931<br>W001 16 631  |

### V.1.2. Analyse ex-situ

Comme analyse ex-situ on a réalisé deux mesures

#### ANALYSE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE ET TOTALE DES SOLIDES DISSOUS

Tab.12 : résultats des analyses d'EC et TDS.

| Nom de l'échantillon | Echantillons de la surface   |           | Echantillons du profond      |           |
|----------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
|                      | EC ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) | TDS (g/l) | EC ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) | TDS (g/l) |
| E1                   | 50.9                         | 35.2      | 48.9                         | 35.0      |
| E2                   | 50.2                         | 35.6      | 50.3                         | 36.1      |
| E3                   | 48.7                         | 35.9      | 49.1                         | 35.5      |
| E4                   | 48.5                         | 35.6      | 48.6                         | 35.5      |
| E5                   | 49.2                         | 35.8      | 49.3                         | 35.7      |
| E6                   | 49.4                         | 36.0      | 48.5                         | 35.5      |
| E7                   | 49.1                         | 35.8      | 49.0                         | 35.6      |
| E8                   | 48.6                         | 35.8      | 49.2                         | 35.6      |
| E9                   | 49.4                         | 35.6      | 49.8                         | 35.7      |
| E10                  | 47.0                         | 35.4      | 50.0                         | 35.6      |

#### ANALYSE DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES

Puisque nos échantillons sont dilués, il faut tenir compte le facteur de dilution

$$C1 * V1 = C2 * V2 \quad (5.1)$$

Avec C1 : concentration de l'élément dans l'eau de mer brute.

C2 : concentration de l'élément dans l'eau de mer diluée (concentration donné par ICP-OES).

V1 : volume prélevé de l'eau de mer brute (2.5 ml).

V2 : volume totale de l'eau de mer après dilution (10 ml).

$$C1 = \frac{C2 \cdot V2}{V1} \quad (5.2)$$

Donc ça nous donne :

$$C1 = 4 * C2 \quad (5.3)$$

▪ analyse de l'eau la surface

**Tab.13 :** résultats de teneur d'ETM dans la surface de milieu marin au voisinage de BWC.

| Nom de l'échantillon | ETM (µg/l) |        |       |       |        |        |
|----------------------|------------|--------|-------|-------|--------|--------|
|                      | Fe         | Ni     | Cr    | Cd    | Pb     | Zn     |
| E1                   | 18.944     | 12.436 | 1.212 | 2.792 | 25.692 | 18.736 |
| E2                   | i          | 5.288  | i     | 1.944 | 43.628 | 28.924 |
| E3                   | 6.332      | 12.160 | 1.040 | 0.144 | 0.372  | 32.204 |
| E4                   | i          | 8.540  | 1.936 | 3.568 | i      | 53.760 |
| E5                   | 26.572     | 11.640 | 2.620 | i     | 2.592  | 12.448 |
| E6                   | 8.232      | 8.564  | i     | 1.240 | 22.072 | 14.540 |
| E7                   | 13.696     | 9.592  | 1.512 | i     | i      | 18.628 |
| E8                   | i          | 4.444  | 1.244 | i     | 21.784 | 13.924 |
| E9                   | i          | 4.156  | 0.436 | 0.056 | 6.772  | 4.908  |
| E10                  | 0.356      | 8.172  | 1.368 | 0.472 | 8.540  | 13.076 |

\* i : indétectable

▪ analyse de l'eau de profondeur

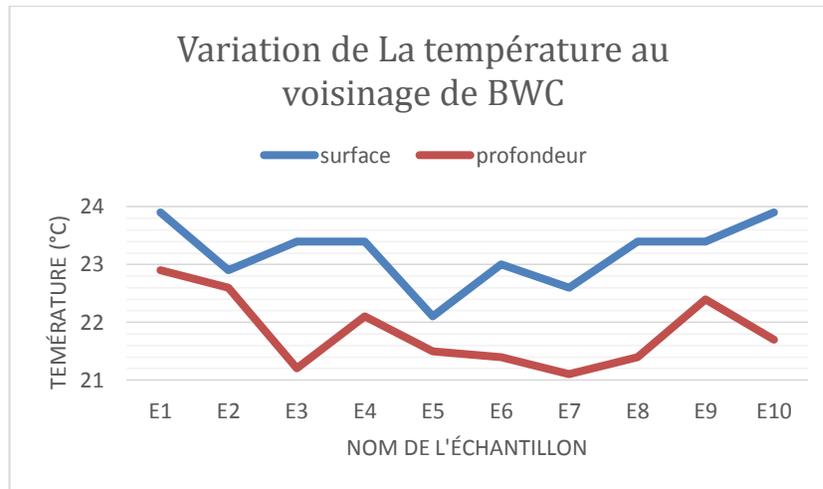
**Tab.14 :** résultats de teneur d'ETM dans la profondeur de milieu marin au voisinage de BWC.

| Nom de l'échantillon | ETM (µg/l) |        |       |       |       |        |
|----------------------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|
|                      | Fe         | Ni     | Cr    | Cd    | Pb    | Zn     |
| E1                   | 15.464     | 14.112 | 0.744 | 1.208 | i     | 17.016 |
| E2                   | i          | 3.928  | 2.176 | 0.884 | i     | 20.380 |
| E3                   | 29.120     | 9.460  | i     | 1.372 | i     | 57.264 |
| E4                   | 29.968     | 9.880  | 0.716 | i     | i     | 8.772  |
| E5                   | 5.308      | 9.724  | 0.640 | i     | 7.204 | 24.324 |
| E6                   | 5.780      | 4.536  | 0.852 | 1.572 | i     | 9.964  |
| E7                   | 8.020      | 6.068  | 0.584 | i     | 1.676 | 9.280  |
| E8                   | 0.080      | 5.640  | 1.676 | i     | 3.576 | 5.136  |
| E9                   | 6.836      | 6.320  | 1.224 | 0.036 | 7.196 | 7.912  |
| E10                  | 6.828      | 6.176  | 0.516 | i     | 16.28 | 4.556  |

\* *i* : indétectable

## V.2. Commentaires et Discussions

### V.2.1. Température



**Fig.20** : variation de la température au voisinage de BWC.

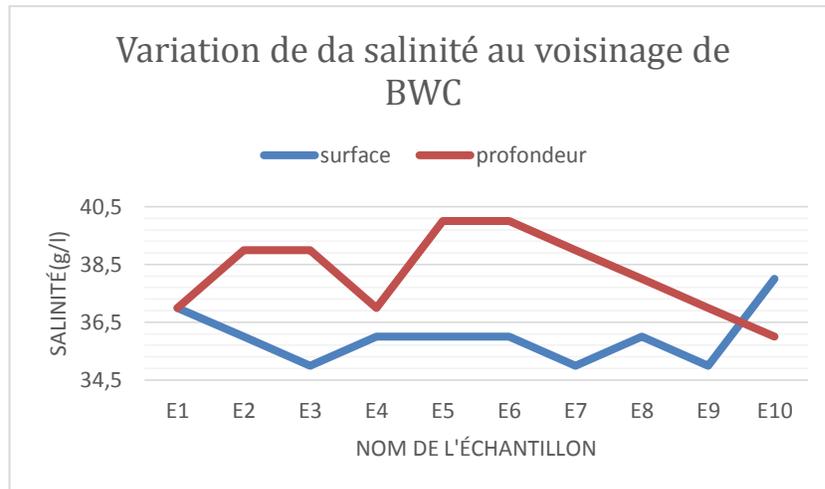
La température correspond à un élément fondamental en océanographie. Sa variation dépend de la température atmosphérique et des mélanges des masses d'eau

Les températures moyennes enregistrées pendant le prélèvement varient entre une valeur minimale de 22.1°C et une valeur maximale de 23.9°C dans la surface de la méditerranée au voisinage de BWC ; par contre sous 1 mètre de la surface elles varient entre 21.1°C et 22.9°C.

On a bien remarqué qu'il y a une très faible différence entre les températures de la surface et celles de la profondeur et ça revient à la faible profondeur choisie pour les mesures de profondeur (1 mètre).

D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et représentables du niveau thermique de la saison de l'échantillonnage.

### V.2.2. Salinité

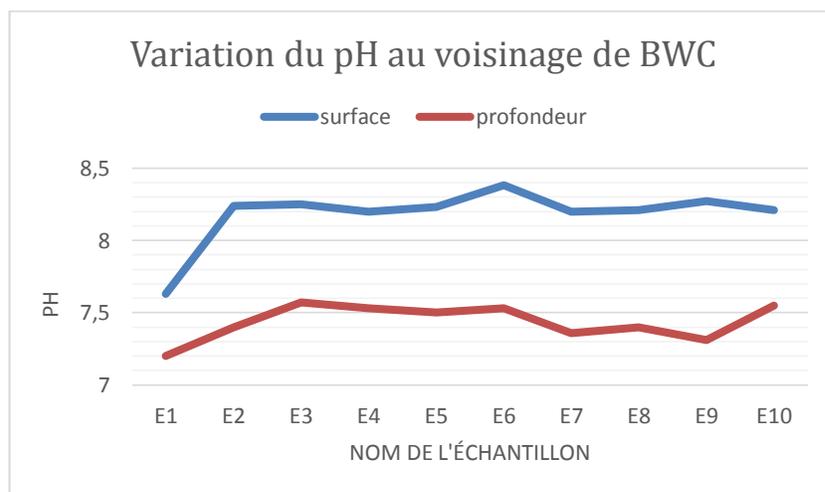


*Fig.21* : variation de la salinité au voisinage de BWC.

Les valeurs moyennes de salinité trouvées lors de cette étude sont tout à fait attendues : une salinité dans les normes dans la surface, elle est entre une valeur minimale de 35 g/l et une valeur maximale de 38 g/l. Mais nous avons vu une augmentation significative de salinité dans la profondeur ou elle est intercalée entre une valeur de 37 g/l et une valeur de 40 g/l qui est relativement élevée par rapport à la salinité idéale de la méditerranée qui a été estimée par une valeur maximale de 39 g/l.

Cette augmentation considérable dans la salinité est due aux rejets de la station de dessalement de Beni Saf, puisque comme nous avons déjà expliqué dans le chapitre 3, les saumures sont 1.2 à 3 fois plus concentrées en sel que l'eau de mer.

### V.2.3. pH

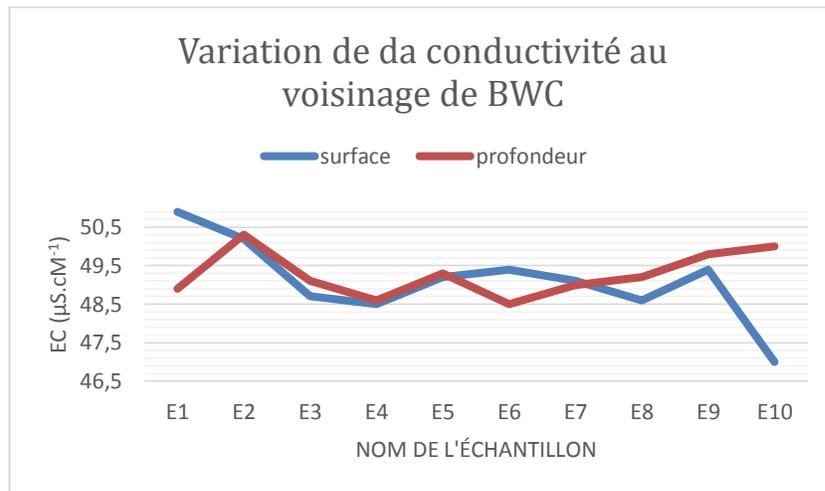


*Fig.22* : variation du pH au voisinage de BWC.

On a constaté que les valeurs du pH de la surface d'eau dans notre zone d'étude sont très stables et dans les normes théoriques, elles sont dans l'intervalle entre 8.2 et 8.38, sauf la première lecture qui est probablement une erreur expérimentale

Par contre ; des baisses très importants et bien visibles des valeurs de pH ont été observées dans la profondeur, elles sont entre une valeur minimale de 7.2 et une valeur maximale de 7.55. Elle est probable que ces diminutions étaient dues aux rejets chimiques des unités industriels ; et surtout la station de dessalement de Beni Saf puisqu'elle est la plus proche de notre zone d'étude.

#### V.2.4. Conductivité électrique EC



**Fig.23** : variation de la conductivité électrique au voisinage de BWC.

Les valeurs des conductivités électriques obtenues dans la surface et la profondeur de notre zone d'étude sont très homogènes et représentatives, elles sont intercalées entre  $47 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et  $50.9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  dans la surface et entre  $48.9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et  $50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  dans la profondeur.

Ces résultats sont dans les normes puisque la conductivité électrique théorique est de l'ordre de  $53 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  dans une température de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , connaissant que la conductivité électrique est directement proportionnelle avec la température (la température de notre milieu est comprise entre  $21.1 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $23.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### V.2.5. Total des solides dissous TDS

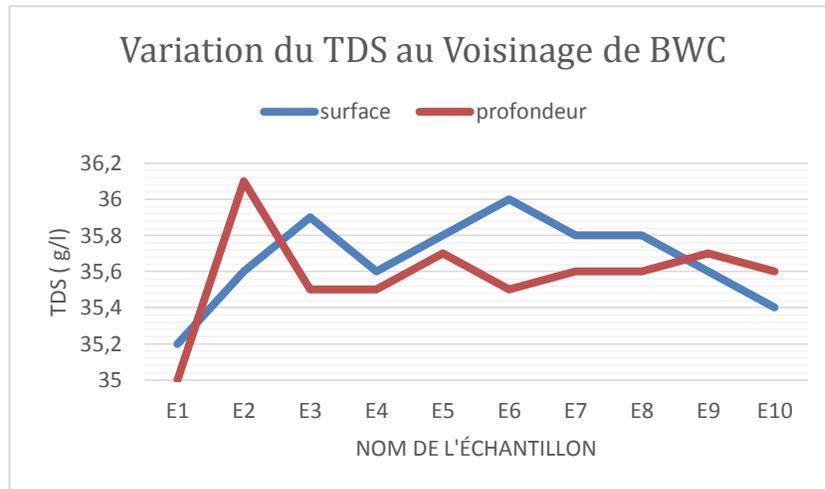


Fig.24 : variation du total des solides dissous au voisinage de BWC.

Les valeurs de la totale des solides dissous dans la surface et la profondeur sont très proches ; presque égaux. Elles sont comprises entre une valeur minimale de 35 g/l et une valeur maximale de 36.1 g/l.

Ces valeurs sont dans les normes puisque la concentration idéale est comprise entre 35 et 45 g/l.

### V.2.6. Eléments traces métalliques

Pour les résultats concernant l'analyse des éléments traces métalliques, on a deux commentaires à poser :

- Pour étalonner notre appareil ICP-OES on a passé d'une solution mère d'étalonnage d'une concentration de 1000 mg/l à une solution fille des concentrations de 10 µg/l, 20 µg/l et 30 µg/l. Malheureusement, on raison du fait qu'on a réalisé une grande dilution, des incertitudes bien claires ont été générées.
- Puisque presque toutes les longueurs d'ondes spécifiques pour la détection des éléments traces métalliques sont très proches de la limite de détection de notre appareil, l'absence de l'azote alimentant notre machine ICP-OES conduit à un manque de fiabilités et précision.

LE FER

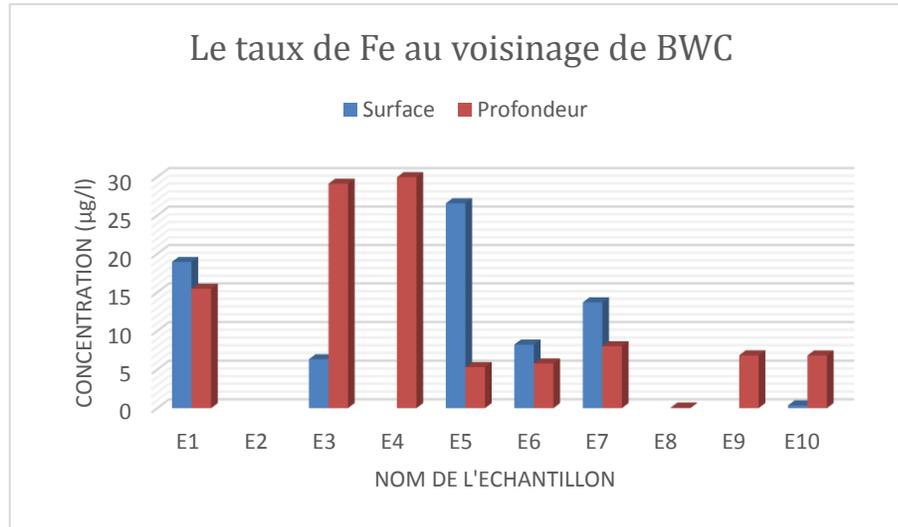


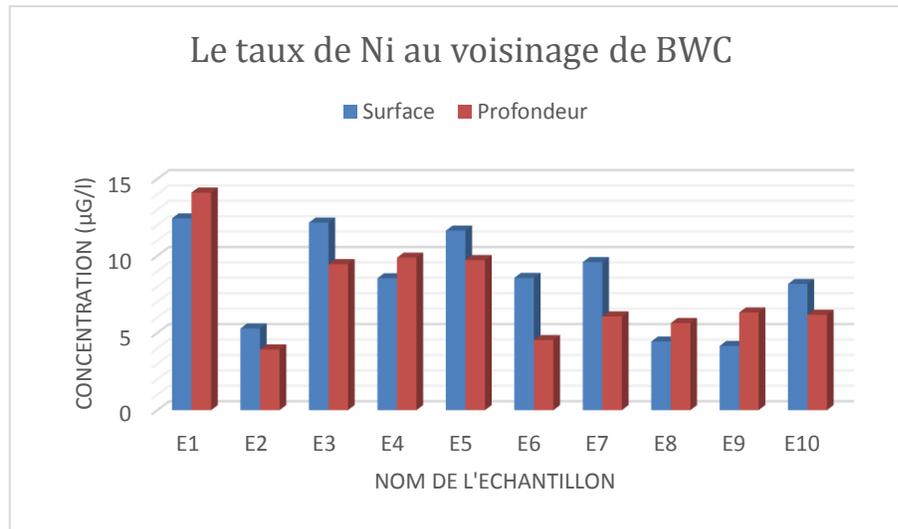
Fig.25 : teneur de fer au voisinage de BWC.

Les valeurs des concentrations obtenues de fer dans la zone d'étude sont très élevées par rapport à celles de l'énorme 0.055 µg/l, elles sont atteintes une valeur maximale de 29.968 µg/l.

Cette grande pollution par le fer peut être due à :

- Les rejets des unités industrielles citant le BWC où on trouve le fer dans les opérations de prétraitement (soit le Fe ou bien Al) connaissant bien sûr que tous ces éléments chimiques utilisés seront trouvés dans la saumure.
- La corrosion des bateaux de pêche.
- la corrosion d'alliages de fer qui sont déversés sous forme de déchets solides directement dans la mer
- La corrosion des installations de canalisation de l'unité industrielle.

**LE NICKEL**

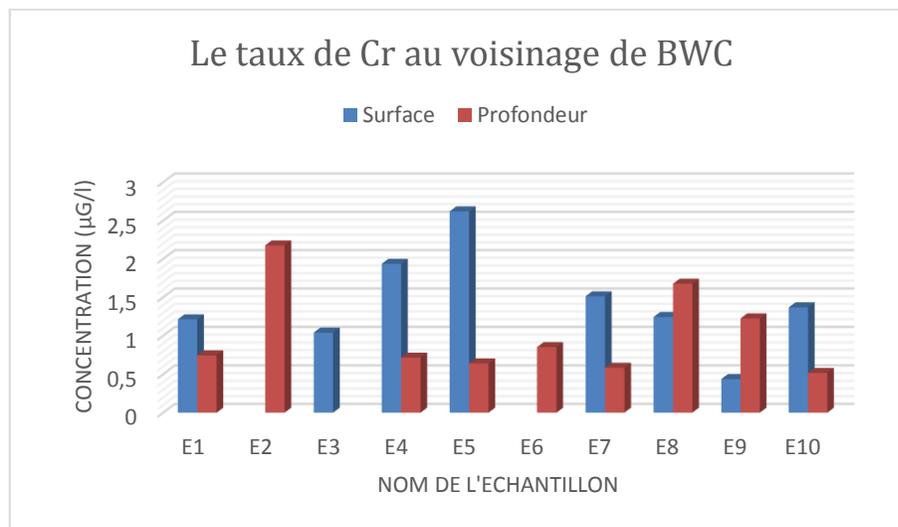


*Fig.26* : teneur du nickel au voisinage de BWC.

Les concentrations de nickel dans la surface et la profondeur sont très homogènes, elles sont comprises entre 3.928µg/l et 14.112 µg/l. cet intervalle de concentration reste toujours très grand par rapport à la concentration idéale de nickel dans la méditerranée qui est égal à 0.48 µg/l.

Cette pollution est due à la corrosion d'alliages de nickel qui sont soit sous forme de déchets solides déversées directement dans la mer, soit des réseaux de canalisation dans la station de dessalement BWC.

**LE CHROME**



*Fig.27* : teneur du chrome au voisinage de BWC.

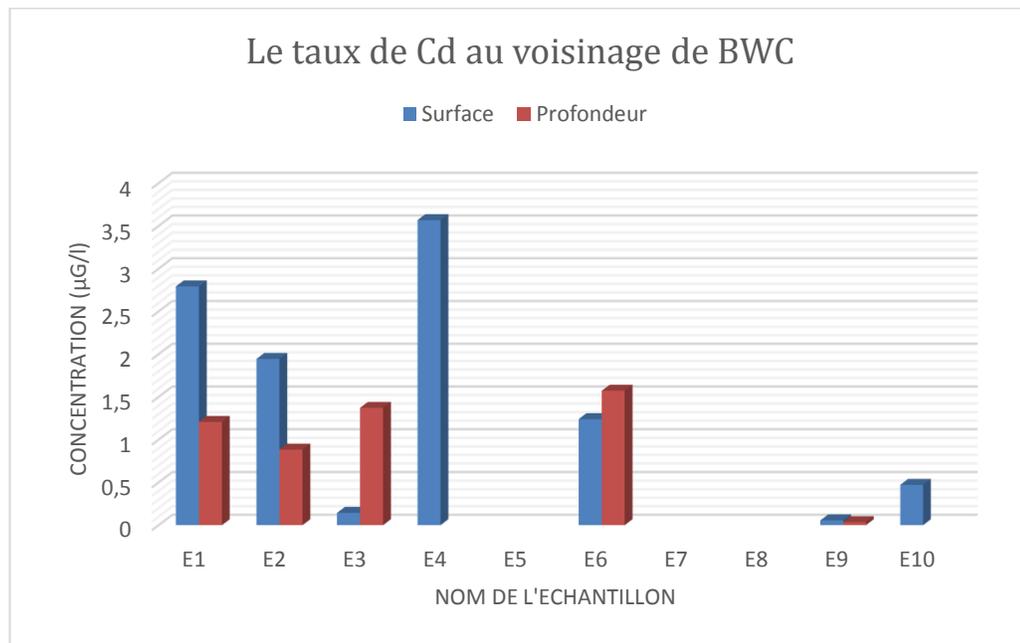
Toujours, nous avons remarqué le même phénomène de toxicité dans le cas du chrome, ou ce dernier atteint une concentration de 2.62 µg/l connaissant que la concentration de référence est 0.3 µg/l.

Il y a plusieurs raisons pour que cette toxicité atteigne cette limite :

- Effluents industriels.
- L'omniprésence du chrome qui est utilisé comme pigment pour la peinture, caoutchouc et papier

Et puisque notre mer devient une poubelle publique ces raisons restent les plus convaincantes.

### LE CADMIUM

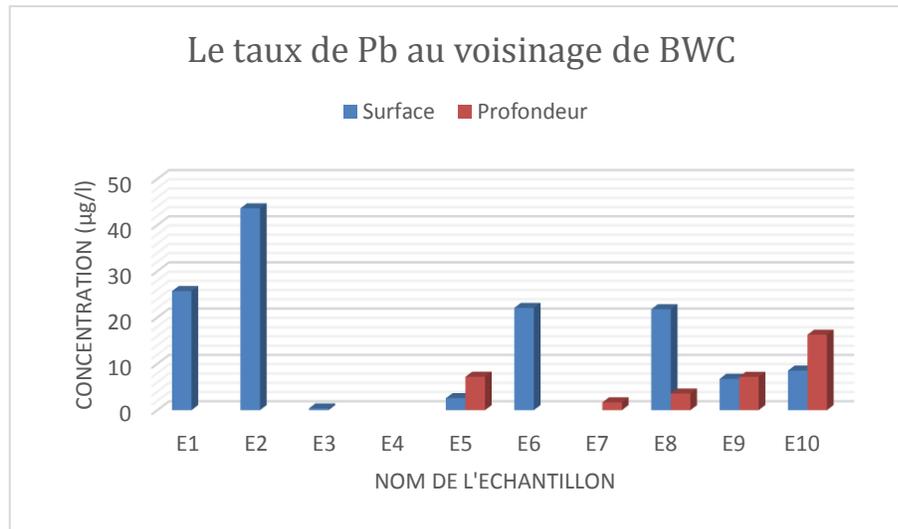


**Fig.28** : teneur du cadmium au voisinage de BWC.

La concentration du cadmium est limitée entre une valeur minimale de 0.036 µg/l et une valeur maximale de 3.568 µg/l, comparativement à la concentration optimale du cadmium dans l'eau de mer 0.1 µg/l; cette concentration est très élevée et très toxique.

Il y a plusieurs sources conduisent à augmentation de la concentration du cadmium dans la mer on peut signaler les alliages de cuivre, caoutchouc, plastique qui sont jetés à la mer ainsi que les eaux usées qui se terminent souvent dans la mer.

**LE PLOMB**

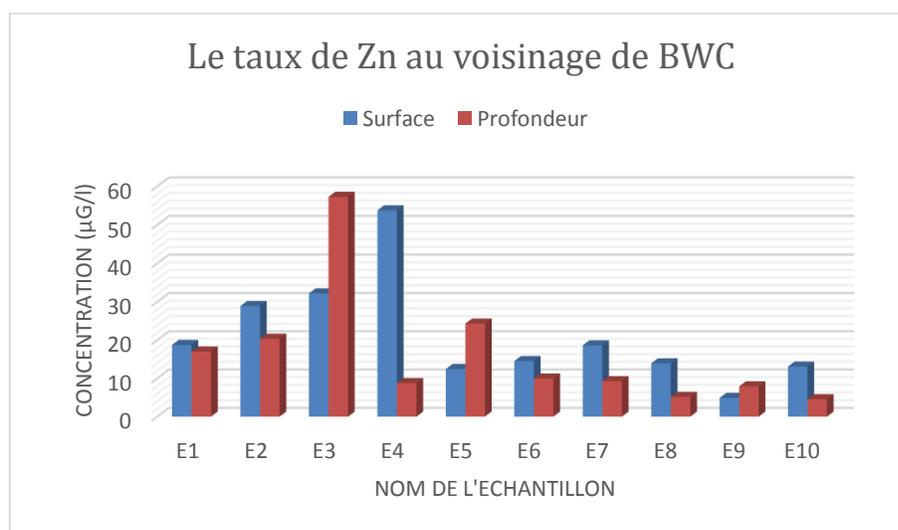


*Fig.29* : teneur du plomb au voisinage de BWC.

Dans le cas du plomb, la situation est très critique dans lequel la concentration de ce métal atteint des niveaux très élevés par rapport à la concentration de la référence 0.002 µg/l.

Parmi les plus importantes sources de cette pollution sont les rejets de l'industrie et l'utilisation de l'essence puisque ce dernier reste le premier émetteur du plomb, connaissant que notre zone d'étude est une zone de pêche où tous les bateaux sont des bateaux à moteurs d'essence ou gasoils.

**LE ZINC**



*Fig.30* : teneur du zinc au voisinage de BWC.

Comparant les concentrations du zinc avec les autres concentrations des métaux lourds, on peut facilement distinguer que notre zone d'étude souffre d'une grande pollution du zinc, ou on a estimé cette toxicité atteint une concentration confiné entre 4.556  $\mu\text{g/l}$  et 57.264  $\mu\text{g/l}$ , c'est une concertation énorme par rapport à la concentration du référence 0.5  $\mu\text{g/l}$ .

Cette pollution peut résulter de l'industrie du zinc à Ghazaouet où les courants marins généraux (chapitre1) jouent un rôle important dans le transfert de ces pollutions de l'ouest vers l'est.

### **V.3. Conclusion**

Nos résultats nous montrent l'existence d'une pollution au voisinage de la station de dessalement, puisque on a remarqué une augmentation de salinité et une grande accumulation des métaux lourds.

Cette pollution est susceptible d'augmenter jusqu'à des niveaux largement critiques, parce que :

- La méditerranée est une mer semi-fermé.
- Le temps de renouvellement de la masse d'eau du méditerrané est très long (70 à 100 ans).
- Le nombre des zones industrielles, surtout les stations de dessalement, sur la bande côtière du méditerrané est très grand.

## **Conclusion général et perspectives**

Cette étude a pour objectif l'évaluation d'une éventuelle pollution physico-chimique introduite directement dans le milieu marin au voisinage de station de dessalement de Beni Saf.

Les résultats obtenus ont montré que le milieu marin au voisinage de la station BWC est exposé à des rejets industriels qui ont conduit à une pollution confirmée.

La protection de la qualité du milieu marin littoral nécessite non seulement une connaissance quantitative des apports polluants vers l'environnement marin, mais également une connaissance des niveaux de présence des contaminants chimiques toxiques identifiés dans cet environnement.

La présence des résidus de métaux lourds et des produits chimiques dans les denrées alimentaires (poissons généralement) pose un problème sérieux pour la santé publique, donc, vis-à-vis de cette réalité, une campagne de sensibilisation est très nécessaire

En perspectives, nous proposons de :

- ✚ Faire des études de pollution sur les organismes marins (étude biologique) pour mieux connaître les niveaux de contaminations.
- ✚ Prolonger la période d'étude pour voir les variations saisonnières et leurs influences.
- ✚ Augmenter le nombre des sites de prélèvement.
- ✚ Réalisation d'un stage au sein de la station de dessalement.
- ✚ L'utilisation des instruments bien spécifiques.

## Bibliographie

[1]- **HARROIS MONIN F.-1977**, L'eau et Nous Revue Science et Vie, Hors-série, Décembre, pp.108-1180.

[2]- **Grimes, S., 2003**. Bilan et Diagnostic National de la pollution marine de la côte algérienne liée à des activités menées à terre. Programme d'actions stratégiques (PAS) destiné à combattre la pollution due à des activités menées à terre et de sa stratégie opérationnelle. Rapport PAM/PAS MED/MEDPOL.

[3]- **Grimes, S., Ruellet, T., Dauvin, J.D., Boutiba, Z., 2010**. Ecological Quality Status of the soft-bottom communities on the Algerian coast: General patterns and diagnosis. Mar. Pollut. Bull., 60, 1969-1977.

[4]- **Salomon. J.N., 2003**. Danger pollutions !. Collection « Scieteren », Presse Universitaire de Bordeaux, France, 170 P.

**Houma F., 2005(a)**. The development of a methodology to characterise and determine the seawater pollution by hydrocarbons using satellite images. 3<sup>rd</sup> International Conference on Marine Waste Discharges and Marine Environment. CIESM Espagne 2004; INOC Izmir Turkey 12-14/11/2005.

**Lambert Castel F., et Penot M., 1981**. Actions des pétroles de l'Amoco Cadiz sur la croissance et certains aspects du métabolisme d'une algue phytoplanctonique *Pavlova lutheri* (DROPP) Green. In Indices Biochimiques et milieux marins. Actes du colloque des journées du GABIM, 14, CNEXO, Brest, pp.411-422.

[5]- **TANSAKUL Chatkaew.** ; Thèse de doctorat : Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, 2009 pp.9-10.

[6]- **Copin-Montégut G.,** Chimie de l'eau de mer, Institut Océanographique, 1996.

[7]- **Brown E., Colling A., Park D., Phillips J., Rothery D. et Wright J.,** Seawater: Its composition, properties and behaviour, The Open University, Second edition, 1997.

[8]- **SPENCER, C. P. (1975)**. The micronutrients elements. In: Chemical Oceanography 2<sup>nd</sup> edition, vol. 2. J. P. Riley and G. Skirrow (Eds), Academic Press London: 245-300.

[9]- **TAOUDIAT, S. (2009)**. Hydrologie et sels nutritifs dans les eaux de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur. Ismal ; PP : 1-55. + annexes.

[10]- **MA, H ; ALLEN, H.E et YIN, Y. (2001)**. "Characterization of isolated fractions of dissolved organic matter from natural waters and a wastewater effluent." Wat. Res. 35(4): 985-996.

[11]- **WARWICK, R.M et CLARKE, K.R. (1993)**. Increased variability as a symptom of stress in marine communities. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 172 (1-2), 215-226.

- [12]- **W. Huppertz et H. Meissner**, Effect of the temperature and Salt Content of Sea Water on the Corrosion Behaviour of Aluminium. *Werstoffe und Korrosion*, vol.38, 709-710, 1987.
- [13]- **A. Marcet**, *Phil. Trans. Royal Society* n°206, p.161 (1919).
- [14]- **J.P.Riley, G. Skirrow**, *Chemical Oceanography*, Academic Press (1965).
- [15]- **Aminot A., Kerouel R., 2004**. hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses .Éd. IFREMER, paris : 336p.
- [16]- **M. Roche**, protection contre la corrosion des ouvrages maritimes pétroliers, Institut Français du pétrole (1978).
- [17]- **LABORATOIRE D'ETUDES MARITIMES (LEM), (2006)**. Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger.
- [18]- **AICHIOU, L et ECHCHATABI, L. (2006)**. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de baignade des deux plages de la commune de Bab El Oued : R'mila et Kittani, Mémoire d'ingénieur en environnement marin, ISMAL, 73p.
- [19]- **OTTMANN, F. (1965)**. Introduction à la géologie marine et littorale. Edition Masson, Paris. 259p.
- [20]- **Mouchel, J.M., Thévenot, D. 2003**. Support de cours d'Ecotoxicologie du CEREV « Centre d'Enseignement et de Recherche Eau Ville environnement ».
- [21]- **HCMR, 2005**. Assessment of the trophic level and ecological quality status of Saronikos Gulf. Zeri Ch. et Siokou-Frangoul. (Sous la direction de), Centre hellénique pour la recherche marine, Rapport technique, p. 78 (en Grec).
- [22]- **GIS, Posidonie. 1996**. Groupement d'Internet Scientifique d'études et de protection de l'environnement marin. Biologie méditerranéenne, nuisance et pollution.
- [23]- **Gravez, V., Bernard, G., 2006**. Pollution marine : Les définitions. [www.com.univ-mrs.fr](http://www.com.univ-mrs.fr).
- [24]- **Le milieu marin et littoral Méditerranéen - état et pressions**, Rapport de l'AEE, op.cit., p.11.
- [25]- **La Méditerranée - une goutte d'eau (vitale) dans les océans**, op.cit., p.8.
- [26]- **GACHOT (G.)**, La pollution marine en Méditerranée, *La Revue Maritime*, n° 483, Novembre, 2008, p.68.
- [27]- **Ibid**, p.69.
- [28]- **Le milieu marin et littoral Méditerranéen - état et pressions, Rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE)**, op.cit., pp.13-14.
- [29]- **Mohamad ALBAKJAJI, 2011**. La pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures p.45.

[30]- **Les grands pollueurs – industrie -, centres urbains et agriculture**, op.cit., p.10.

[31]- **Sadi Abdelkrim** 'Le Dessalement Solaire : Considérations Techniques'.

**Raymond Desjardins**, Le traitement de eaux, 2ème édition de l'Ecole Polytechnique de Montréal,1990, P242,P6,P241,P248,P251.

[32]- **Elf (1998) Mieux comprendre l'environnement** : les marées noires. Elf. Direction Recherche, Technologie, Environnement, Paris : 56 pp

[33]- **Danis P., juin 2003**. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700, 15 p.

[34]- **WWF rapport 2007**

[35]- **Vanhems, C. (1992)**, Critical Review of Desalination Concentrate Disposal to Surface Water, U.S.A.

[36]- **Maurel.A, 2006**. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Edition : Tec et Doc. 286 p.

[37]- **Valiron.F, 1994**. Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement (Tome 1). Edition : Tec et Doc. Paris. 435p.

[38]- **Cardot.C, 1999**. Génie de l'environnement, Les traitements de l'eau. Edition : Ellipses. 247 p.

[39]- **Bonnin.J, 1986**. Hydraulique urbaine. Edition: Eyrolles. 228p.

[40]- **Mémoire technique, 2003**. Rapport de traitement d'eau de mer par osmose inverse. Edition : Hydrotraitement.

[41]- **RODIER J. (1984)**. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.

[42]- **PESCOD M.B. (1985)**. Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescodand Arar, 93-114.

[43]- **MIQUEL, G. (2001)**. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. 346 p + Annexes.

[44]- **HOLLEMAN, A.F et WIBERG, E. (1985)**. Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin-New York 568-570.

[45]- **CHIFFOLEAU, J.F ; CLAISSE, D ; COSSA, D ; FICHT, A ; GONZALEZ, J.L ; GUYOT, T ; MICHEL, P ; MIRAMAND, P ; OGER, C et PETIT, F. (2001)**. La contamination métallique. Programme scientifique Seine-Aval, IFREMER édit. 8: 1-39.

## Annexes

### I. La conductivité de l'eau de mer

**TAB. I:** Conductivité de l'eau de mer ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) [14].

| Salinité (‰) | Température (°C) |        |        |
|--------------|------------------|--------|--------|
|              | 25               | 15     | 05     |
| 10           | 17.345           | 13.967 | 10.616 |
| 20           | 32.188           | 25.967 | 20.816 |
| 30           | 46.213           | 37.351 | 29.090 |
| 35           | 53.025           | 42.896 | 33.457 |

### II. La teneur des métaux lourds dans la méditerranée

**TAB. II:** Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer [7].

| Constituant | Concentration<br>( $\times 10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}$ ) |
|-------------|--|
| Ti          | 1.000  |
| Zn          | 0.500  |
| Ni          | 0.480  |
| Al          | 0.400  |
| Cr          | 0.300  |
| Cd          | 0.100  |
| Cu          | 0.100  |
| Fe          | 0.055  |
| Mn          | 0.030  |
| Pb          | 0.002  |
| Hg          | 0.001  |