

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

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA- BOUMERDES



Faculté des Sciences de L'Ingénieur
Département Génie de l'environnement
Laboratoire de Recherche de Technologie Alimentaire

LRTA

MEMOIRE DE MAGISTER

Pour l'obtention du titre de Magister en Génie de l'environnement

Option : Traitement des Effluents Industriels

Thème:

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES IMPACTS DU
DESSALEMENT DES EAUX DE MER SUR
L'ENVIRONNEMENT : CAS DU LITTORAL DE
BOUMERDES**

Présenté par :

M^{elle} HABET Lila

Devant le jury :

Mr.LOUHAB Karim	Professeur (UMBB)	Président
Mr. BENRACHEDI Khaled	Professeur (UMBB)	Rapporteur
Mr. BELHASNAT Khaled	Maître de conférences (ISMAL)	Examineur
Mr. NOURI L'Hadi	Professeur (UMBB)	Examineur
Mr. MESSAOUD BOUREGHDA Med .Ezzine	Maître assistant (UMBB)	Examineur

Année universitaire : 2009/2010

ملخص

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة انتشار المياه مركز الملوحة و مدى تأثيرها على المحيط المائي. في هذا الإطار، تم صنع و وضع مجسم لدراسة مختلف عوامل انتشار المياه مركز الملوحة. عدة نقاط لصب المياه مركز الملوحة تمت دراستها أفقيا و عموديا بموازاة مع مستوى سطح البحر، و ذلك في حالة هدوئه و هيجانه. النتائج المتوصل إليها بينت أن مصب المياه المالحة تكون أفضل عندما يكون البحر في حالة هيجان أو في حالة حركة، بحيث يكون موضع المصب بعيد عن الشاطئ و في عمق قاع البحر. من جهة أخرى المياه مركز الملوحة تؤدي إلى تأثير سلبي على الكائنات الحية البحرية، عند رميها في حالة هدوء البحر. الكلمات الدالة: تحلية مياه البحر، البيئة، مياه المركز الملوحة، مياه البحر.

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à étudier la propagation de la saumure et son impact sur le milieu marin.

Un pilote a été conçu et réalisé à cet effet. Il a été mis en place pour étudier les différents paramètres de propagation de la saumure.

Différents points de rejets de saumure ont été étudiés horizontalement et verticalement par rapport au niveau de la mer. Il en est de même pour une eau calme et une eau agitée.

Les résultats expérimentaux obtenus, montrent que la dispersion de saumure est meilleure lorsque la mer est en mouvement avec une position de point de rejet située loin et au fond de la mer. Par contre, la saumure provoque un impact négatif sur la faune et la flore située au fond marin si la mer est calme.

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

Summary

The objective of this study consists in studying the propagation of the brine and its impact on the marine environment.

A pilot was designed and carried out for this purpose. It was semi places from there to study the various parameters of brine propagation.

Various outlets from brine were studied horizontally and vertically compared to the sea level; it the same for a calm water and a water is agitated of it.

The experimental results obtained, show that the brine dispersion is better when the sea is moving with a position of outlet located far and at the sea-bed. On the other hand, the brine causes a negative impact on fauna and the flora located at sea-bed if the sea is calm.

Key words: Desalination, Environment, Brine, Sea water

REMERCIEMENTS

Dieu merci pour m'avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé.

Le présent travail a été réalisé au niveau du laboratoire de recherche de technologie alimentaire de l'université de Boumerdes (LRTA).

J'exprime mes remerciements à M^r K. BENRACHEDI, Professeur à l'université de Boumerdes, pour la confiance qu'il m'a témoigné en me proposant ce sujet, comme je lui exprime ma reconnaissance pour avoir dirigé ce travail.

Ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements s'adressent à M^r AMITOUCHE, Enseignant à l'université de Boumerdes, pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, ainsi que pour ses nombreux et précieux conseils.

Mes vifs remerciements à M^r K. LOUHAB, Professeur à l'université de Boumerdes, pour l'honneur qu'il m'a fait en président le jury de ma soutenance.

Je tiens également à remercier les membres du jury qui ont pris la peine d'examiner ce travail à savoir : M^r K. BELHASNAT Maître de conférences à l'ISMAL, M^r L. NOURI Professeur à l'université de Boumerdes et Mr M. BOURAGUDA Maître assistant à l'université de Boumerdes.

J'exprime ma profonde reconnaissance envers tous ceux et celles qui ont participé à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon père,

A ma chère mère,

A mon mari,

A ma fille,

A mes frères,

A mes sœurs.

Liste des tableaux

Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer.

- Tableau I.1** : Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 ‰ p (3)
- Tableau I.2** : Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au µg/l se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension p (4)
- Tableau I.3** : salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes. p (5)
- Tableau I.4** : viscosité relative η / η_0 de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité p (7)

Chapitre II : Les principales technologies du dessalement.

- Tableau II.1** : les technologies communes de dessalement p (8)
- Tableau II.2** : différentes installations en Algérie. p (25)
- Tableau II.3**: Stations «monobloc» en Algérie p (27)
- Tableau II.5** : caractéristique technique des pompes centrifuge de traitement. p (39)

Chapitre III: les impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

- Tableau III.1** : Écoulements d'eau de mer et de saumure p (47)
- Tableau III. 2** : Liste de produits chimiques et des quantités utilisées dans l'étape de prétraitement p (47)
- Tableau III.3** : nettoyage et rinçage des membranes p (48)
- Tableau III. 4** : évaluation de l'énergie destinée à des usines de dessalement p (52)
- Tableau III.5** :Indicateurs de durabilité pour une usine MSF à production simple p (53)
- Tableau III. 6** :Indicateurs de durabilité pour une usine OI avec une source locale de l'énergie électrique p (53)

Chapitre IV : Matériels et méthodes.

Tableau IV.1 : caractéristiques principales de l'eau de mer et du rejet de la station de Corso	p (72)
Tableau IV.2 : récapitulation de situation des points de rejets	p (74)

Liste des figures

Chapitre II : Les principales technologies du dessalement.

Figure II.1 : procédés de dessalement industrialisés	p (10)
Figure II.2 : Schéma général d'une installation de dessalement	p (10)
Figure II.3 : distillation à simple effet	p (11)
Figure II.4 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).	p (13)
Figure II.5 : un processus typique de MSF	p (14)
Figure II.6 : les grandes usines de dessalement par MSF s'est contractée dans les années 1994-2003.	p (16)
Figure II.7 : Principe de distillation à compression de vapeur	p (17)
Figure II.8 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse	p (19)
Figure II.9 : principe de l'électrodialyse	p (21)
Figure II.10 : carte de la wilaya de Boumerdes	p (30)
Figure II.11 : La carte de la circulation des courants de surface	p (31)
Figure II.12 : Filière globale de traitement de l'eau de mer de la station d'osmose inverse du Corso	p (34)
Figure II.13 : Situation géographique des stations de dessalement d'eau de mer	p (43)

Chapitre III : les impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

Figure III.1 : Estimation des rejets des agents Antitartre dans la méditerranée
--

(en kg/jour).	p (46)
Figure. III.2 : Estimation des rejets de cuivre dans la méditerranée (en kg/jour)	p (46)
Figure III.3: Rejet de l'usine de dessalement d'eau de mer d'Al-Doha, Koweit.	p (48)
Figure III.4 : Stratégies de décharge pour les effluents négativement flottables	p (51)
Figure III.5 : diagramme de toxicité du chlore sur les organismes marins	p (62)

Chapitre IV: Matériels et méthodes.

Figure IV.1 : schéma du bassin et ces accessoires	p (69)
Figure IV.2 : conductivimètre électrique	p (70)
Figure IV.3 : pompe de refoulement d'eau	p (71)
Figure IV.4 : schéma du bassin à P ₁ (position du point de rejet)	p (73)
Figure IV.5 : schéma du bassin à P ₂ (position du point de rejet)	p (73)
Figure IV.6 : schéma du bassin à P ₃ (position du point de rejet)	p (74)

Chapitre V : Résultats et interprétations

Figure V.1.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P ₁ , avec une eau de mer stable.	p (75)
Figure V.1.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 10 cm dans le bassin à P ₁ , avec une eau de mer stable.	p (76)
Figure V. 1.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P ₁ , avec une eau de mer stable	p (76)
Figure V.1.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P ₁ , avec une eau de mer en mouvement.	p (78)
Figure V.1.5 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 10 cm dans le bassin à P ₁ , avec une eau de mer en mouvement.	p (79)
Figure V.1.6 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P ₁ , avec une eau de mer en mouvement	p (79)
Figure V.2.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P ₁ , avec une eau de mer stable,	

á un temps $t = 5$ min . p (81)

Figure V.2.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_1 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 10$ min .

p (82)

Figure V.2.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_1 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 15$ min .

p (82)

Figure V.2.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_1 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 20$ min .

p (83)

Figure V.2.5 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_2 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 5$ min .

p (84)

Figure V.2.6 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_2 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 10$ min .

p (85)

Figure V.2.7 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_2 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 15$ min .

p (85)

Figure V.2.8 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_2 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 20$ min .

p (86)

Figure V.2.9 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_3 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 5$ min .

p (87)

Figure V.2.10 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_3 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 10$ min .

p (88)

Figure V.2.11 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_3 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 15$ min .

p (88)

Figure V.2.12 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer á une profondeur de 20 cm dans le bassin á P_3 , avec une eau de mer stable, á un temps $t = 20$ min .

p (89)

Figure V.2.13 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min . p (90)

Figure V.2.14 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 10 min . p (91)

Figure V.2.15 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min . p (91)

Figure V.2.16 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min . p (92)

Figure V.2.17 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min . p (93)

Figure V.2.18 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 10 min . p (93)

Figure V.2.19 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min p (94)

Figure V.2.20 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min . p (94)

Figure V.2.21 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min . p (95)

Figure V.2.22 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 10 min . p (96)

Figure V.2.23 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min . p (96)

Figure V.2.24 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min . p (97)

Figure V.2.25 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min . p (98)

Figure V.2.26 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 10 min . p (98)

Figure V.2.27 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min . p (99)

Figure V.2.28 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min . p (99)

Figure V.2.29 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min . p (101)

Figure V.2.30 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 10 min . p (101)

Figure V.2.31 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min . p (102)

Figure V.2.32 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min . p (102)

Figure V.2.33 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min . p (104)

Figure V.2.34 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 10 min . p (104)

Figure V.2.35 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min . p (105)

Figure V.2.36 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min . p (105)

Figure V.3.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 5 min , et a une température T = 25°C. p (107)

Figure V.3.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 10 min , et à une température T = 25°C. p (108)

Figure V.3.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 15 min , et à une température T = 25°C. p (108)

Figure V.3.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 20 min , et à une température T = 25°C. p (109)

Figure V.4.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin a P₁, en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à un temps t = 5min. p (110)

Figure V.4.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin a P₁, en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à t = 10min. p (111)

Figure V.4.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin a P₁, en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à t = 15min. p(111)

Figure V.4.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin a P₁, en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à t = 20min p (112)

Liste des abréviations

MSF : Multi-Stage-Flash distillation (distillation à détente étagées)

MED : Multi-Effect-Distillation (distillation à effet multiple)

RO ou OI : Reverse Osmosis ou Osmose Inverse

SWRO : Sea Water Reverse Osmosis (dessalement d'eau de mer par osmose inverse)

BWRO : Brackish Water Reverse Osmosis (dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse)

ED : Electrodialyse.

ERD : Electrodialyse inverse

VCD : Distillation par Compression de Vapeur

VTE : Tubes Verticaux Arrosés

Q_R : débit de rejet (l/min)

T : température (°C)

t : le temps (min)

ZIA : Zone Industrielle d'Arzew

MEDIPROD V-2 : Une compagnie de recherche qui réalise :(i) L'Etude de la circulation générale en Méditerranée occidentale (ii) L'Etude de la stabilité des courants côtiers et de la dynamique des tourbillons associés (iii) L'Etude des relations entre la production pélagique et les structures hydrodynamiques de moyenne échelle occidentale.

Liste des annexes

Annexe.I : Photos du bassin

Annexe.II : photos sur la propagation de la saumure à P₁ (sans ventilation)

Annexe.III : photos sur la propagation de la saumure à P₁(avec ventilation)

Annexe.IV : photos sur la propagation de la saumure à P₂ (sans ventilation)

Annexe.V : photos sur la propagation de la saumure à P₂ (avec ventilation)

Annexe.VI : photos sur la propagation de la saumure à P₃ (sans ventilation)

Annexe.VII : photos sur la propagation de la saumure à P₁ (sans ventilation)

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

Etude Bibliographique

Chapitre I

Propriétés de l'eau de mer

I / Composition de l'eau de mer	3
I.1- Les éléments principaux	3
I.2- Autres éléments minéraux	3
I.3- Matières organiques	4
II/ Salinité	5
III. pH des eaux de mer	6
IV. Autres propriétés de l'eau de mer	6
IV.1. Viscosité des eaux de mer	6
IV.2. densités des eaux de mer	7

Chapitre II

Les principales technologies de dessalement de l'eau de mer

I . Introduction.....	8
II. Les principales technologies de dessalement des eaux de mer.....	9
II.1. Les procédés de distillation	11
II.1.1. Distillation à simple effet	11
II.1.2. Distillation à effet multiple	12
II.1.3. Distillation à détente étagées.....	14
II.1.4. Distillation par compression de vapeur	16
II-1-5 Conclusion	17
II.2. Les procédés membranaire	18
II.2.1. Osmose inverse	18

II.2.2 Electro dialyse	21
II.3. Autres méthodes	22
III. Le dessalement en Algérie.....	23
III.1. Introduction	23
III. 2- Historique et constat de l'expérience Algérienne	23
III. 3- Les ressources en eau en Algérie	25
III. 4-Capacité installée	26
III. 5- Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie	27
III. 6- Aboutissement du dessalement dans le pays	28
III. 7- Soulagement de la demande en eau	29
IV. Présentation du littoral de Boumerdes.....	30
IV. 1/ Introduction	30
IV.2/ Caractéristiques hydrodynamiques – mouvement de l'eau en mer	31
IV.2-1- Courants	31
IV.2-2- les vents	32
IV.2-3- la houle	32
IV.2-4 les marées	32
IV. 3/ caractère physique des eaux de mer	33
IV. 3-1 Température	33
IV. 3-2 Salinité	33
V. Description de différentes usines de dessalement.....	34
V. I / Description de la station de Corso	34
V. II / Présentation de la centrale thermique de Cap Djinnet et de l'unité de dessalement.....	36

Chapitre III

Les impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement

I/pollution de la saumure	44
I- 1- Introduction	44
I-2- Composition de la saumure	44
I-3- Dispersion des sels concentrés	48

II- Impact du dessalement sur l'environnement	49
II.1. Impacts positifs	49
II.1.1. Conservation des ressources d'eaux souterraines.....	49
II.1.2. Fourniture de l'eau de bonne qualité	50
II.1.3. Source fiable à long terme de l'eau.....	50
II.2. impacts Négatives	50
II.2.1 L'impact indirect sur l'environnement dû à la nécessité d'augmenter la production d'électricité pour l'unité de dessalement	52
II.2.2. impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer	53
II.2.3. impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés dans le nettoyage des membranes et du nettoyage en prétraitement	54
II.2.4. Impact de bruit	55
II.2.5. Effet nuisible sur l'utilisation de la terre	55
II.2.6. Impact sur la couche aquifère	55
II.2.7- Mélange avec d'autre rejet	55
II.2.8- Impact socio-économique, y compris les impacts sur les citoyens	56
II.3. Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer	57
II.3.1. impact de la caléfaction	57
II.3.2. Impacts de salinité	60
II.3.3 Impact des additifs	61
II.3.4 Les produits de la corrosion	63
III. Techniques de minimiser les impacts négatifs du dessalement sur l'environnement	65

Etude expérimentale

Chapitre IV Matériel et méthodes

IV. 1- Etude de la propagation de la saumure sur station pilote	68
IV. 2- Matériels utilisés	68
IV. 3- Méthode d'analyse	72
IV. 3.1/ Préparation de la saumure et de l'eau de mer	72

IV. 3.2/ préparation du dispositif expérimental et mode opératoire	73
IV. 3.3/ Situation des points de rejets	73

Chapitre V

Résultats et interprétations

V.1/ Propagation de la saumure sur l'eau de mer en fonction de la profondeur du bassin.....	75
V.1.1 Eau de mer stable	75
V.1.2. Eau de mer avec ventilation	78
V.2/ Propagation de la saumure sur l'eau de mer en fonction du temps	81
V.2.1. Eau de mer stable	81
V.2.2. Eau de mer avec ventilation	90
V.3/ Effet de la température sur la propagation de saumure sur l'eau de mer en fonction du temps	107
V.4/ Effet de différents produits chimiques de prétraitement et de nettoyage de membrane sur la propagation de saumure sur l'eau de mer en fonction du temps	110
Conclusion	113

Références Bibliographique.

Annexes.

INTRODUCTION

Introduction :

L'insuffisance des ressources en eau douce et les besoins d'eau potable seront de plus en plus manifestés dans les années à venir. Il est très vraisemblable que le problème de l'eau sera considéré comme un des facteurs déterminants de la stabilité d'un pays. Près d'un milliard d'êtres humains à travers le monde sont dépourvus d'eau potable ; il faut donc leur assurer un minimum de 5 litres d'eau par jour et par habitant, conformément aux normes de l'OMS.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable sont déjà mises en place pour satisfaire les besoins de la population.

Une des techniques prometteuse pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer.

L'Algérie est classée comme une zone semi-aride a adopté une stratégie à moyen terme consistant la réalisation des stations de dessalement. Elle a choisie, comme alternative, le dessalement de l'eau de mer pour faire face à la demande croissante en eau potable. [1]

Deux techniques de dessalement ont survécu à l'épreuve du développement industriel : la distillation et l'emploi de membranes (osmose inverse et électrodialyse). [2]

Nous nous proposons à travers ce mémoire d'étudier l'impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement. Ces impacts proviennent principalement du rejet (saumure) produit au cours du dessalement mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans le nettoyage des modules d'osmose inverse. En effet, ces rejets provoquent des dommages potentiels pour le milieu récepteur (milieu marin). Bien que les travaux de recherche consacrés à la question soient restreint, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts sur la faune et la flore.

L'objectif de ce travail consiste a une étude sur un pilote de la propagation du rejet de saumure de la station de dessalement de Corso (Willaya de Boumerdes) sur l'environnement marin.

Le manuscrit s'articule en 5 chapitres :

Introduction.

- **Chapitre I** : Propriétés de l'eau de mer.

Cette partie est consacrée à la composition de différents paramètres physico-chimiques de l'eau de mer.

- **Chapitre II** : Les principales technologies de dessalement.

C'est une synthèse bibliographique qui présente les différentes technologies et installations des procédés de dessalement en Algérie et dans le monde.

- **Chapitre III** : Les impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement.

Elle est destinée à caractériser les principaux effets du rejet de saumure des usines de dessalement sur le milieu marin, ainsi que sur la faune et la flore aquatique.

- **Chapitre IV** : Matériel et Méthodes.

Elle débute par la description générale de la station de dessalement de Corso (Willaya de Boumerdes) ; elle se poursuit par la représentation du dispositif expérimental et la technique et les modes appliquées pour l'analyse.

- **Chapitre V** : Résultats et Interprétations.

Elle traite les résultats obtenus lors des suivis expérimentaux.

Conclusion générale.

Références bibliographiques.

Chapitre I

Propriétés de l'eau de mer

I / Composition de l'eau de mer :

I.1. Les éléments principaux :

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

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

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

I.2. Autres éléments minéraux :

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

Tableau I.2 : Concentrations des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au $\mu\text{g/l}$ se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension

Eléments	Concentrations en $\mu\text{g/l}$	Eléments	Concentrations en $\mu\text{g/l}$
Li	170	Cu	3
Al	10	Zn	10
Si	3000	As	3
P	70	Rb	120
Ti	1	Mo	10
V	2	I	60
Mn	2	Ba	30
Fe	10	U	30
Ni	2		

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

I.3. Matières organiques :

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de $0,5\mu\text{m}$ les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B₁₂, des monosaccharides, des amino-acides. Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension , [3].

II/ Salinité:

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

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

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluie et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part, [5]. Elle est donc de l'ordre de 35g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation, [6].

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

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

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

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

III/ pH des eaux de mer :

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

Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO₂ et par conséquent d'une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO₂ et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions comme les baies, les estuaires, le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment, dans des bassins isolés où il peut y avoir production d'H₂S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

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

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

IV. Autres propriétés de l'eau de mer :

IV.1. Viscosité des eaux de mer :

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité (tableau I.5). Cette dernière caractéristique est prise en compte dans l'équation suivante :

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

η_0 étant la viscosité du solvant à l'état pur, C la concentration du soluté, A et B des coefficients dépendant du soluté. Suivant la nature des ions, le coefficient B peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus ou moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité).

Tableau I.4 : viscosité relative η / η_0 de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité

(η_0 viscosité de l'eau pure à 0°C 1787 centipoises, [8])

température °C	5‰ S	10‰ S	20‰ S	30‰ S	40‰ S
0	1.009	1.017	1.032	1.056	1.054
5	0.855	0.863	0.877	0.891	0.905
10	0.738	0.745	0.785	0.772	0.785
15	0.643	0.649	0.662	0.675	0.688
20	0.568	0.574	0.586	0.599	0.611
25	0.504	0.510	0.521	0.533	0.545
30	0.454	0.460	0.470	0.481	0.491

IV.2. densités des eaux de mer :

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

Chapitre II

Les principales technologies du dessalement

1. Introduction :

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

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

Tableau II.1 : les technologies communes de dessalement

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

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

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

II. Les principales technologies de dessalement des eaux de mer :

Les différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

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

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

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

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

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

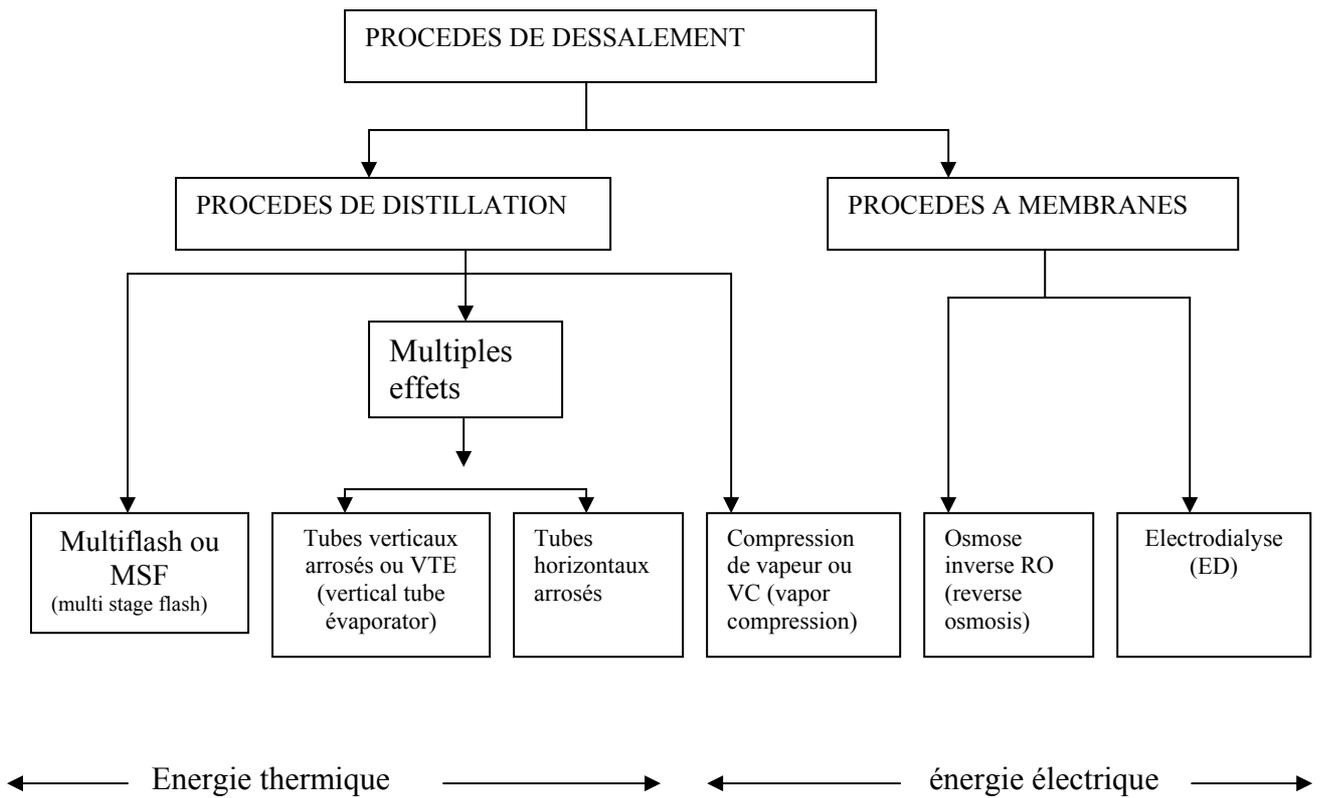


Figure II.1 : procédés industrialisés de dessalement, [6].

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

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

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement. Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

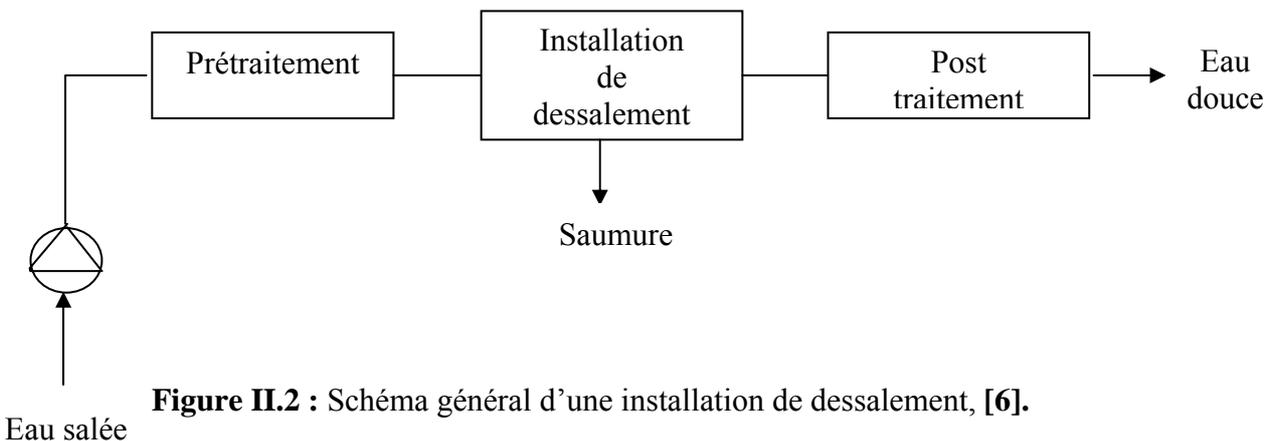


Figure II.2 : Schéma général d'une installation de dessalement, [6].

II.1. Les procédés de distillation :

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis long temps, [6].

II.1.1. Distillation à simple effet :

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (figure II.3). La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure, [15].

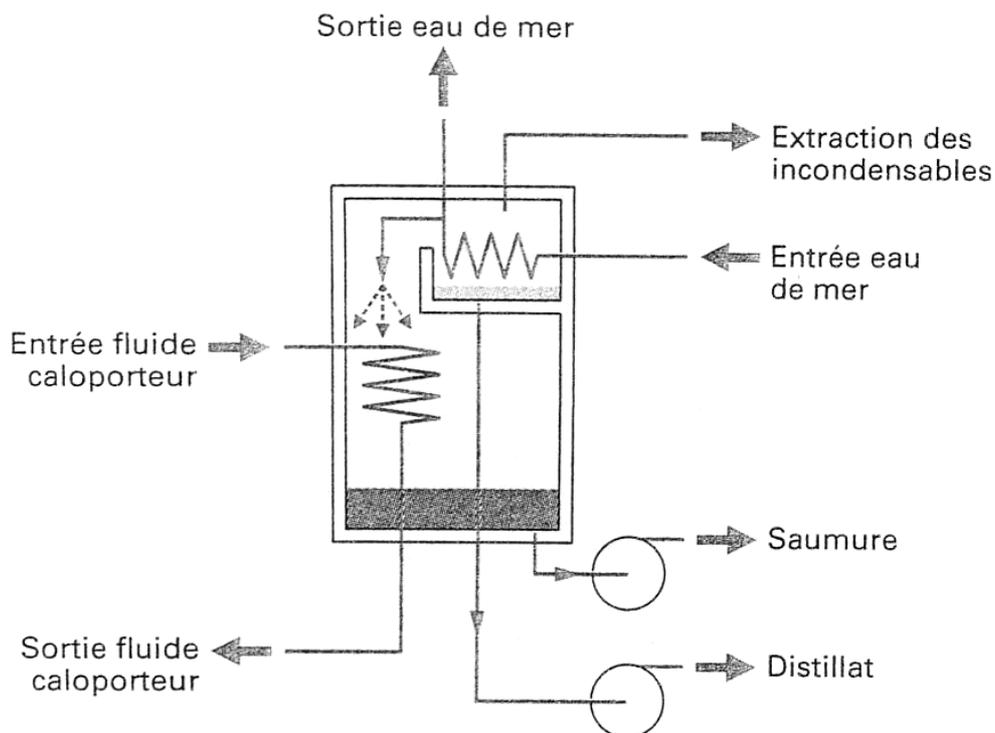


Figure II.3 : distillation à simple effet, source SIDEM

II.1.2. Distillation à effet multiple (Multi-Effect distillation MED):

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

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite (voir figure II.4). Ainsi ; seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite), [2].

Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

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

II.1.3. Distillation à décharges étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) :

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

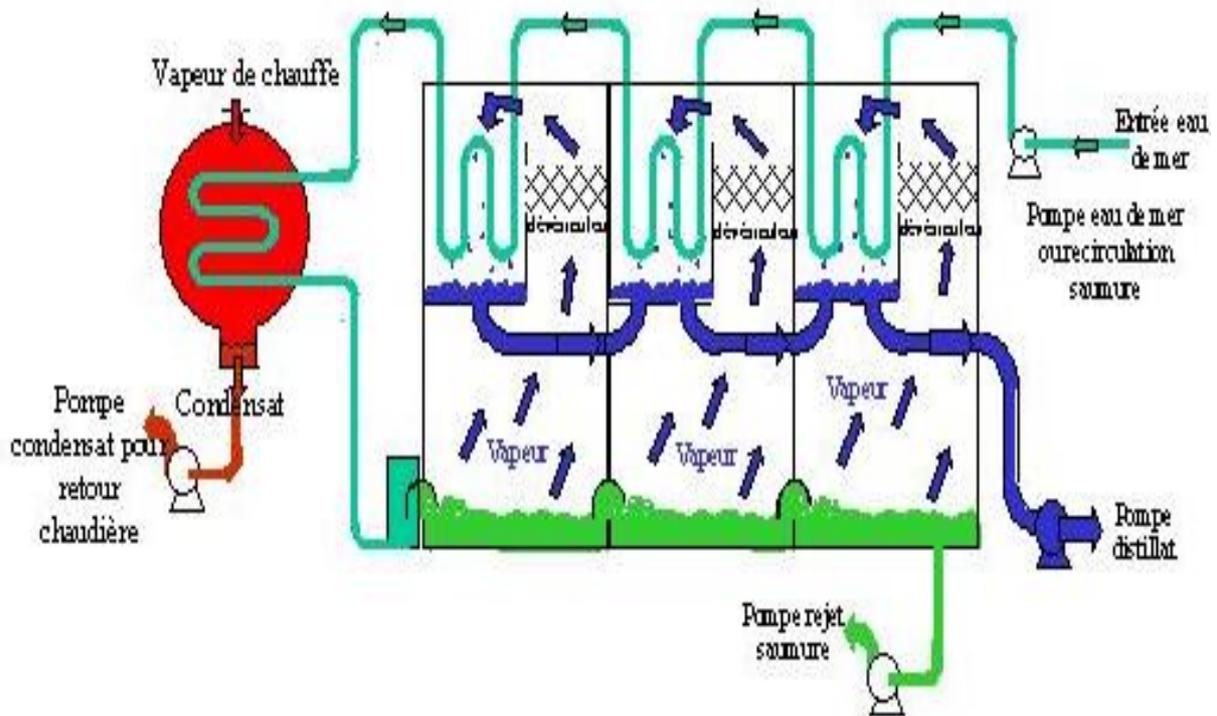


Figure II.5 : un processus typique de MSF, [20].

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

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

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

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

A la dernière étape, la saumure est divisée en jet recyclé et en jet d'échappement, qui est rejeté à la mer. Le jet recyclé est combiné avec la nouvelle alimentation et réintroduit à la section de récupération de la chaleur. La partie de réutilisation de saumure augmente l'extraction d'eau douce et réduit simultanément la consommation des produits chimiques en prétraitement de l'usine, [89].

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

Entre le rejet de chaleur et la section de récupération de la chaleur, l'eau entrante est également divisée en jet de décharge et en jet d'alimentation. La décharge sert seulement au refroidissement. Les produits chimiques résiduels sont présents dans l'échappement de la saumure de la dernière étape. Puisque la saumure rejetée est habituellement mélangée avec deux fois la quantité d'eau de refroidissement [91], la salinité, la température et les concentrations en produits chimiques seront diminuées avant la décharge à la mer.

En raison de l'opération du chauffage d'eau de mer, la conception du processus doit tenir en compte les problèmes qui résultent de cet environnement dur et les différentes étapes de prétraitement sont généralement nécessaires pour augmenter la durée de vie des installations de MSF, [92].

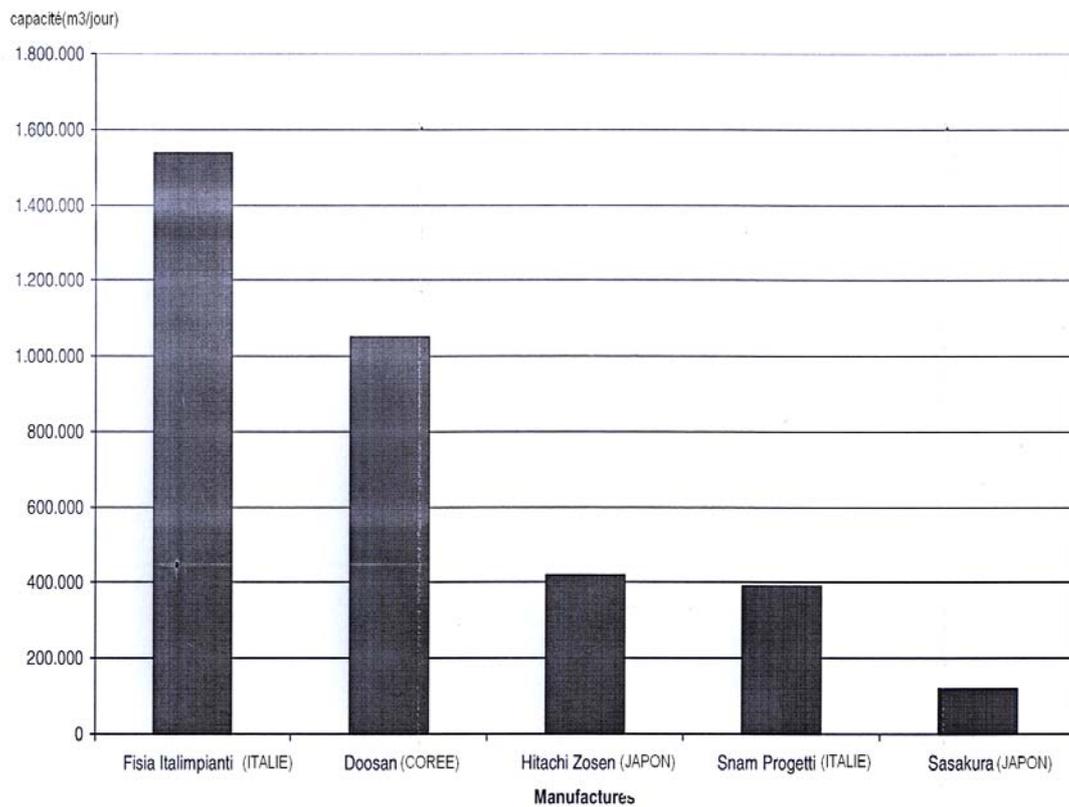


Figure II.6 : les grandes usines de dessalement par MSF s'est contractée dans les années 1994-2003. , [24].

II.1.4. Distillation par compression de vapeur (VC) :

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

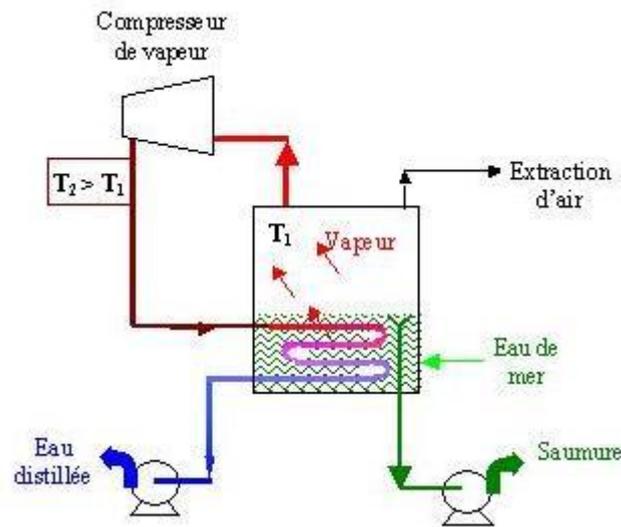


Figure II.7 : Principe de distillation à compression de vapeur, [2].

II-1-5 CONCLUSION :

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

II.2. Les procédés membranaire :

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

II.2.1. Osmose inverse :

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

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

Principe de l'osmose inverse

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

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure II.8). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure. Cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

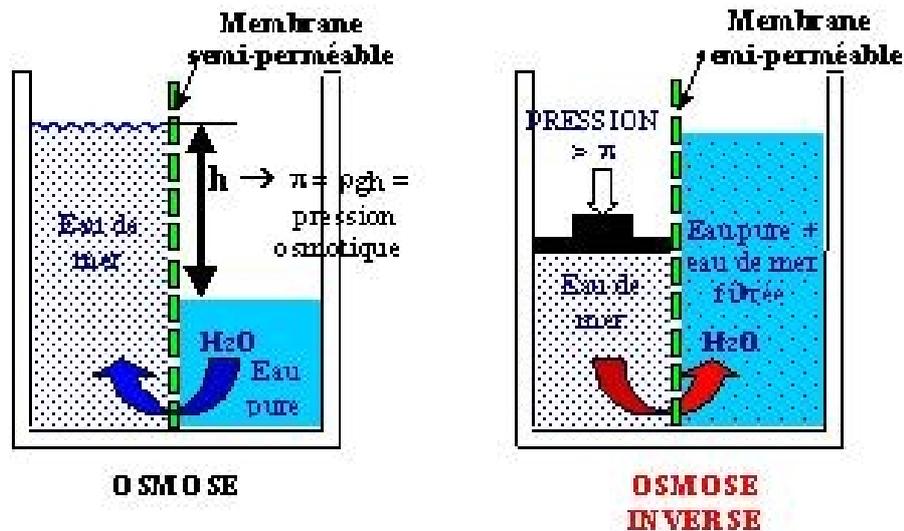


Figure II.8. Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure II.9), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse, [2].

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

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

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

Application :

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

Depuis 20 ans, un effort continu a été fait pour fournir de l'eau potable, sanitaire, ou d'irrigation dans des zones arides ou dépourvues de disponibilités locales d'une qualité standard ; la plupart des installations sont en territoire anglophone (Etats-Unis, Moyen-Orient, états du golfe persique), mais il en existe en Europe, en Afrique et en U.R.S.S. L'ensemble représentait en 1980 une production quotidienne voisine de 8 000 000 m³ d'eau potable, dont 5% à partir d'eau de mer, répartie sur quelques 2000 points du globe.

La charge est d'abord filtrée, microfiltrée (5µm), puis prétraité par ajustement de pH (≤ 7) et adjonction d'un inhibiteur de précipitation (hexamétaphosphate de sodium) pour protéger les membranes de la dégradation chimique et du colmatage. Des dépôts apparaissent néanmoins, sous forme de colloïdes organiques ou minéraux, de précipités (CaSO₄, CaCO₃) et de mucosités d'origine bactérienne. Pour enlever ces dépôts sans abîmer la membrane, on injecte des produits à action chimique (acide citrique, EDTA, détergents à enzymes, émulsifiants non ioniques, formaldéhyde) ou physique (frottement par lit de billes, inversion périodique et brève du flux), [27].

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

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

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

II.2.2 Electrolyse :

Principe et application :

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

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

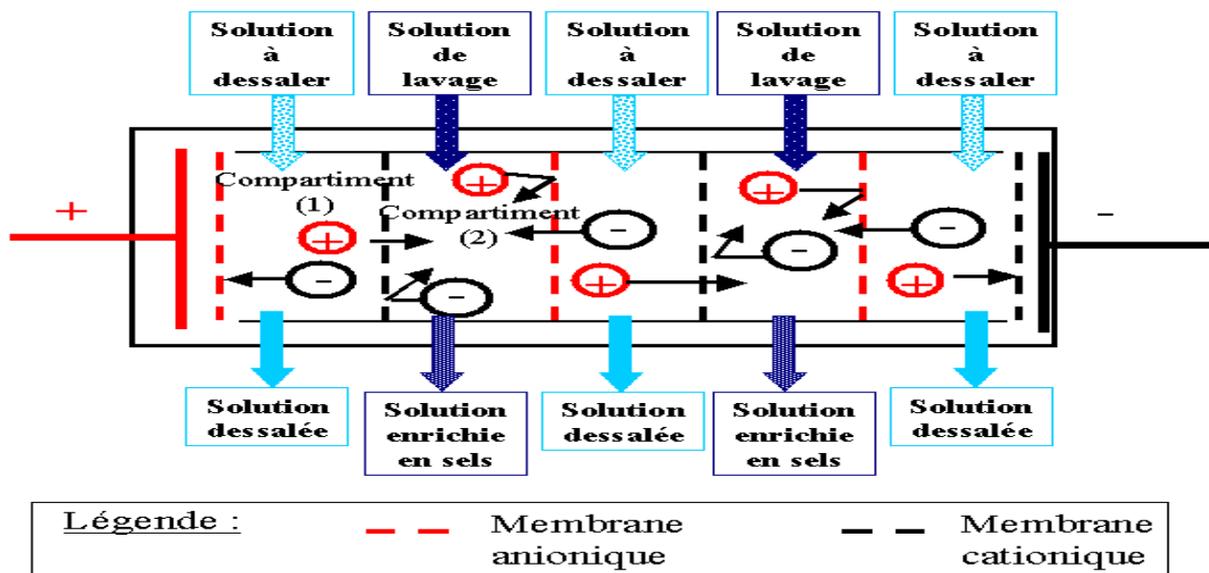


Figure II.9 : principe de l'électrodialyse

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

En effet, l'électrodialyse peut obtenir de divers effets de dessalement. Cependant, dans le cas du dessalement profond, le problème d'entartrage hérite le jeu, [29]. Il est relié à la précipitation des sédiments de CaCO_3 , de CaSO_4 et de Mg(OH)_2 sur la surface des membrane

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

Une autre solution est l'addition des produits chimiques appropriés au jet de concentré (un acide inorganique et hexamétaphosphate de sodium). Puisque le processus d'EDR n'élimine pas les ions gênant(lourd)(Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-}) de l'eau, il y a toujours un risque que les sédiments précipiteront sur la surface du concentré. Ce moyen, particulièrement à une concentration plus élevée en sel dans l'eau d'alimentation, la nécessité de changer la polarité de l'électrode assez souvent. Ceci a comme conséquence une diminution du recouvrement de l'eau parce que après chaque changement de la direction du champ électrique une certaine quantité du jet de produit doit être éliminé en jet de rebut, [30].

II.3. Autres méthodes :

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

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

III. Le dessalement en Algérie :

III.1. Introduction :

La crise de l'eau qui sévit un peu partout à travers le monde n'a pas épargné l'Algérie. Les spécialistes estiment, aujourd'hui, que la mobilisation de ressources supplémentaires devient impérative et passe –entre autres entre des mesures urgentes- par le recours à des solutions non conventionnelles telles que le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

L'engagement d'un ambitieux programme de dessalement de l'eau de mer est déjà entamé par les pouvoirs publics et envisage d'atteindre la capacité d'un million de mètres cubes par jour. Cependant, la concrétisation d'un tel défi impose la disponibilité de ressources humaines compétentes.

L'Algérie avec un climat semi-aride et avec des ressources en eau souvent utilisées intensivement, souffre temporairement en eau de stockage, avec un niveau élevé d'utilisation de ces ressources en eau. La demande en eau croît rapidement et l'eau disponible décroît.

L'Algérie a choisi le dessalement d'eau de mer pour faire face à la demande domestique et industrielle en eau dans le pays.

III. 2- Historique et constat de l'expérience Algérienne : [33]

L'expérience Algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant.

Une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution.

Il s'agit de l'unité de déminéralisation de Ouled Djellaba dans la wilaya de Biskra (sud-Est Algérien).

Dans l'industrie, la déminéralisation et le dessalement sont utilisés pour assurer la fourniture de l'eau :

- De chaudière ;
- De refroidissement ;
- De traitement.

En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est la distillation à multiple effet « **Multi effect distillation, MED** » .

En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. le procédé utilisé est le multi stage flash – MSF.

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (Cap Djenet à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

Il y a également quelques installations qui sont destinées, principalement dans le sud, à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières.

On retrouve l'ensemble des procédés classiques de déminéralisation : électrodialyse, échanges d'ions, distillation et osmose inverse.

On notera une forte concentration d'installation d'électrodialyse dans le sud et d'échanges d'ions à Annaba, ce qui traduit la confiance des exploitants dans un procédé leur ayant donné satisfaction. Il ressort aussi que si le nombre d'installation de dessalement fonctionnant par osmose inverse est réduit, il n'en demeure pas moins que du point de vue capacité de production, ce procédé occupe une place remarquable.

Le tableau ci-dessous présente les différentes installations qui sont mise en service

Tableau II.2 : différentes installations en Algérie.

sites	Nombre d'unités	Débit m ³ /j	procédé	Mise en service
Skikda	1	1440	Flash	1971
Skikda	2	720	Flash	//
Skikda	-	1440	Echangeurs d'ions	//
Annaba	2	960	//	//
Annaba	2	3600	//	1973
Ghazaouet	1	840	//	1974
Arzew	6	3888	Électrodialyse	1975
Arzew	-	960	Échangeurs d'ions	//
Hassi Messaoud	6	1000	Electrodialyse	//
Hassi Messaoud	2	110	//	1976
Hassi Touil	1	55	//	1977
Arzew	1	350	Thermocompression	1978
Annaba	3	14180	Multi flash	//
Hassi Messaoud	2	350	Electrodialyse	//
Bel Abbas	-	1500	Echangeurs d'ions	//
Haoud Berkaoui	1	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	2	300	//	//
Rhoud El Baguel	1	25	//	//
Arzew	1	960	Multi flash (5 étages)	//
Annaba	2	144	Echangeurs d'ions	//
Annaba	2	576	//	//
Hassi Rmel	3	792	Osmose inverse	//
Annaba	2	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	-	960	Osmose inverse	//
Arzew	1	960	Multi flash (6 étages)	//
Mostaganem	-	57600	Osmose inverse (6lignes)	//
Rhoud El Baguel	2	300	Electrodialyse	1981
Biskra	-	864	Osmose inverse	//
Annaba	1	1800	Echangeurs d'ions	//
Reghaia	-	160	//	1982
arzew	1	1200	Compression vapeur	//

III. 3- Les ressources en eau en Algérie :

En moyenne cent milliards de m³ d'eau précipite annuellement sur le nord de l'Algérie. 150 millions de mètres cubes seulement alimentent les nappes phréatiques. Le reste, soit 850 millions de mètres cubes s'évapore dans l'atmosphère. Les potentialités en eaux superficielles de l'Algérie sont estimées à environ 13 milliards m³ dont 11.5 milliards de m³ dans les bassins côtiers et 627 millions de m³ dans les bassins sahariens et 733 millions de m³ dans les hautes plaines.

Pour ce qui est des eaux souterraines, elles sont estimées à 1.8 milliards de m³ dans le Nord. Les ressources mobilisables totales en eau de surface sont évaluées à 5.7 milliards de m³ dans le sud du pays.

D'autres ressources non négligeables peuvent être mobilisées pour l'agriculture. Par exemple, il s'agit de traitement des eaux usées dont le volume est d'environ 600 millions de m³.

Si toutefois les stations d'épurations sont fonctionnelles. L'eau de mer dont 15 millions de m³ sont traitées annuellement par des unités de dessalement installées au long du littoral, [34].

III. 4-Capacité installée :

L'expérience Algérienne, dans le dessalement remonte aux années 60. La première installation a été implantée à Hassi Messaoud pour le traitement des eaux saumâtres par la SONATRACH. Vers le milieu des années 70, on avait prévu de réaliser une centrale électrique à Marsat El-Hadjadj, près d'Arzew utilisé pour alimenter une usine de dessalement de 800 m³/j soit près de 30 millions de m³ /an. Cette eau devrait subvenir aux besoins des unités de la zone industrielle d'ARZEW (ZIA).

Au début des années 80, la sécheresse qui sévissait en Oranais, mis en danger le fonctionnement de la ZIA.

En 2002, la sécheresse a menacé sérieusement les ressources en eau, où les réserves avaient atteint un niveau alarmant. Pour faire face, plusieurs petites unités ont été installées un peu partout.

Actuellement 23 stations « monobloc » d'une capacité totale de 57500 m³/j sont installées presque dans toutes les wilayas de la bande côtière, d'attendre 52 en 2010.

Une dizaine de grosses unités plus de 50000 m³/j installées dans les grandes villes (Hamma 200000 m³/j, Arzew 90000 m³/j). Le site le plus important à Hamma la plus grosse unité de dessalement en Afrique par procédé d'osmose inverse mise en fonction en février 2008 qui répond à 25% des besoins domestiques en eau de la capitale. D'autres stations sont en cours de réalisation (Jijel 50000 m³/j, El-Kala 50000 m³/j, Ain Timouchent 150000 m³/j, Annaba 100000 m³/j). D'atteindre le volume de 1040000 m³/j en 2009.

La quantité d'eau dessalée en Algérie est estimée à 60 millions m³ (dans le monde arabe 4537 millions de m³), [34].

Tableau II.3: Stations «monobloc» en Algérie : [35]

Numéro	Localisation	Capacité m ³ /j	Population à servir	L'année mise en service
01	Hamma	200000	1333.320	1 ^{er} trimestre 2008
02	Kahrama	90000	540000	3 ^{ème} trimestre 2005
03	Skikda	100000	666.660	2 ^{ème} trimestre 2007
04	Beni- Saf	150000	999.990	3 ^{ème} trimestre 2007
05	SoukTleta	100000	666.660	1 ^{er} trimestre 2007
06	Mostaganam	100000	666.660	3 ^{ème} trimestre 2007
07	Zéralda	100000	666.660	1 ^{er} trimestre 2008
08	Cap Djinet	100000	666.660	2 ^{ème} trimestre 2008
09	JJijel	50000	333.330	1 ^{er} trimestre 2009

III. 5- Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie :

Le dessalement d'eau de mer est un moyen moderne pour avoir de l'eau. C'est l'une des techniques les plus utilisées pour permettre de produire de l'eau non conventionnelle afin de pouvoir pallier les déficits constatés par rapport à la disponibilité de l'eau conventionnelle, [36].

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

- L'Algérie dispose d'un littoral de 1200 km.
- L'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer.
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (l'osmose inverse).
- Une importante demande en eau se situe à proximité de la côte ce qui réduit davantage les prix de revient d'eau.

L'un des grands avantages de dessalement d'eau de mer est la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas

aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalières qui dépassent les 200 000m³/j, [36].

Malgré que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau (domestique et industrielle), quelque soit le procédé utilisé il n'est pas sans inconvénients :

- Les installations de dessalement coûtent cher et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique ;
- Elles détruisent les zones côtières ;
- Elles bouleversent les écosystèmes, car elles rejettent des déchets appelés saumure (de l'eau fortement salée), certaines espèces ou végétations sont très sensibles à la salinité ;
- Présence de traces de métaux lourds échappés des installations ;

Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtres à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu, [36].

III. 6- Aboutissement du dessalement dans le pays :

L'implantation d'usine de dessalement, selon la démarche utilisée par l'Algerian Energy Company, a plusieurs aspects, nous citons notamment :

- Economique :
 - Non-recours à la garantie de l'Etat pour le montage de ces projets ;
 - Participation étrangère majoritaire dans le capital de la société de projet ;
 - Participation à l'absorption du déficit en eau au niveau national ;
 - Libérer les quantités d'eau utilisées par la population et l'industrie à l'agriculture, ce qui nous permettra d'améliorer les rendements et, par voie de conséquence, l'autosuffisance alimentaire ;
 - Création d'emploi pendant la réalisation et pendant l'exploitation de ces usines ;
 - Création de nouveaux métiers (spécialistes en dessalement).
- Social :
 - Rendre l'eau disponible d'une manière permanente pour satisfaire les populations ;
 - Amélioration de la qualité de vie de la population et l'hygiène ;

- Participation au bien-être de la population.

- Technologique :
 - Transfert des technologies de dessalement évident ;
 - Amélioration de la recherche et du développement dans ce domaine en vue d'atteindre d'autres performances.

- Environnemental :
 - Préserver nos réserves d'eau albiennes et, par voie de conséquence, préserver l'avenir des générations futures ;
 - Améliorer le cadre de vie ainsi que celui de l'environnement car la technique utilisée maîtrise les différentes émissions qui peuvent provenir de ces usines, [36].

III. 7- Soulagement de la demande en eau :

Du fait que les stations de dessalement seront installées tout au long du littoral, l'eau potable livrée par ces stations peut être utilisée pour couvrir les besoins des régions côtières et, par conséquent, les autres ressources non conventionnelles seront mobilisées pour satisfaire la demande se situant à l'intérieur du pays.

D'autre part, le dessalement d'eau de mer est une source inépuisable qui permet d'avoir une alimentation continue en eau de consommation (domestique et industrielle), [36].

IV. PRESENTATION DU LITTORAL DE BOUMERDES

IV. 1/ Introduction :

La wilaya de Boumerdes est issue de l'organisation territoriale en date de 1984, elle s'étend sur une superficie de 1456.68 km². [37]

Le linaire côtier a été estimé à 80.33 km par l'étude relative au littoral de la région Nord centre élaborée par le CNERU (centre national d'étude et de recherche appliquée en urbanisme) en 2004, [37].

Elle comporte deux stations de dessalement, une station de Corso basée sur le principe d'osmose inverse, et celle de l'unité de la centrale thermique de Cap Djinet basée sur le principe de MSF

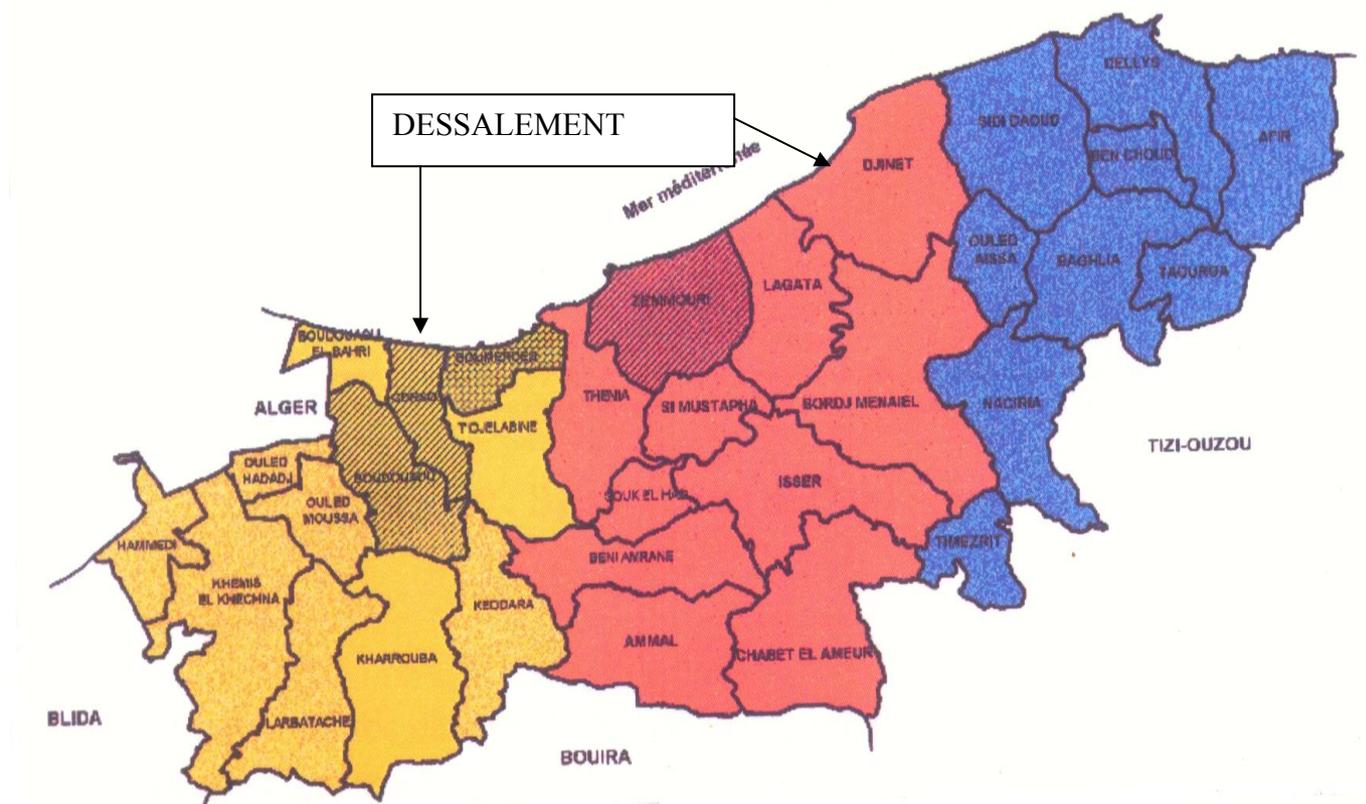


Figure II.10 : carte de la wilaya de Boumerdes, [38].

IV.2/ Caractéristiques hydrodynamiques – mouvement de l'eau en mer :

IV.2-1- Courants :

La méditerranée reçoit des fleuves qui y débouchent le tiers du volume d'eau qu'elle perd par évaporation, [39]. En conséquence, un courant de surface arrive de l'Océan Atlantique en passant par le détroit de Gibraltar.

La majeure partie de cette eau circule vers l'Est parallèlement à la côte Nord Africaine mais perd de sa force au fur à mesure qu'elle pénètre plus vers l'Est, [40].

A partir d'image satellitaire on estime que le courant Algérien est très instable et qu'il génère des tourbillons (50km de diamètre) se déplaçant le long de la côte d'Ouest en Est, [41] , [42] .

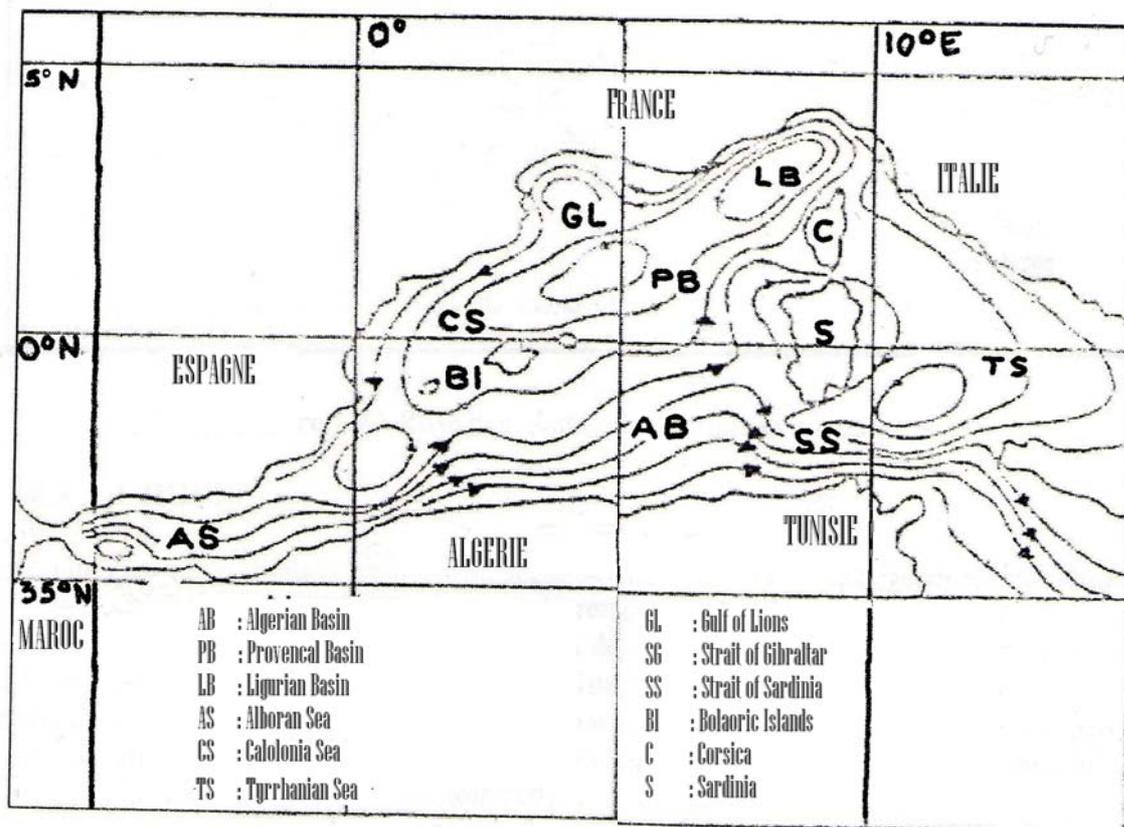


Figure II.11 : La carte de la circulation des courants de surface, [43].

IV.2-2- les vents :

Parmi les différents facteurs responsables de la dispersion des matières en suspension et de la contamination des mers, le vent occupe la place principale. En effet, le vent contribue énormément à la poussée de la matière en suspension vers la côte créant des zones où s'entassent différents objets d'usage domestique rendant la côte impropre aux loisirs, [40].

IV.2-3- la houle :

La houle est une oscillation de la partie superficielle d'un plan d'eau, générée initialement par le vent. Elle se propage plus ou moins régulièrement jusqu'à l'approche des côtes où elle subit des modifications par réfraction, diffraction et déferlement, [44]. L'intérêt principal des études de houle, est surtout l'action de celle-ci sur le littoral.

Arrivant au voisinage de la côte, la houle par les mouvements oscillatoires des particules d'eau qu'elle entretient au voisinage du fond met le matériau côtier suffisamment fin en agitation. Donc un transport est possible, [45].

L'étude de Benslama, [48] fait ressortir une nette répartition saisonnière des directions de propagation :

- ❖ En période hivernale (Novembre à Février), les directions dominantes sont relevées dans les secteurs d'Ouest à Nord-Ouest.
- ❖ En période estivale (Avril à Septembre) ce sont les houles d'Est et de Nord-Est qui sont de loin les plus fréquentes.

IV.2-4 les marées :

On sait qu'en méditerranée, d'une façon générale l'amplitude de marées est tellement faible qu'elle peut être pratiquement considérée comme nulle, [40]. En effet, sur le littoral Algérien, l'amplitude de la marée est de l'ordre de 30 cm, valeur trop faible pour créer un courant de marée, [46].

IV. 3/ caractère physique des eaux de mer :**IV. 3-1 Température :**

Les résultats de la campagne « MEDIPROD V-2 », indique une fluctuation verticale et temporelle de la température des eaux, valeurs oscillant en moyenne entre 14,5°C en surface et 13°C à des profondeurs de 800 mètres. Le refroidissement est remarqué sur toute la colonne d'eau avec une diminution sensible à partir de 400 mètres d'immersion pour atteindre 12,96°C à 800 mètres, [46].

IV. 3-2 Salinité :

La valeur de la salinité est le résultat du bilan de précipitation et d'évaporation du fait des faibles précipitations et d'une grande évaporation. Ce bilan est négatif pour la méditerranée. En général, elle emprunte à l'Atlantique l'eau en déficit à travers le détroit de Gibraltar, [47]. Pour la région de Boumerdes, elle est comprise entre 32 g/l et 33g/l en mois d'hivers et de 37g/l et 38g/l en mois d'été, et la répartition verticale des salinités montre un accroissement de ces dernières de la surface vers le fond.

V. Description de différentes usines de dessalement :

V. I/ Description de la station de Corso :

V.I. 1- Introduction :

La station de dessalement de Corso de la région de Boumerdes est localisée à 35 km de l'Est d'Alger. Elle est basée sur le principe d'osmose inverse. Cette station a été mise en service pour satisfaire les besoins en eau potable d'une capacité de 5000 m³/j. Elle est conçue pour traiter l'eau de mer provenant en bordure de la mer méditerranéenne. La conception de la station de Corso est installée dans un endroit bien choisi. La prise en pleine mer est utilisée pour alimenter la station.

La station est conçue pour un taux de récupération de 45% et un débit de 5000 m³/j avec une pression de 69 bars pour que le système d'osmose inverse puisse retenir les sels dissous. Le procédé de fonctionnement est constitué d'un traitement physique, chimique et membranaire (figure II.12).

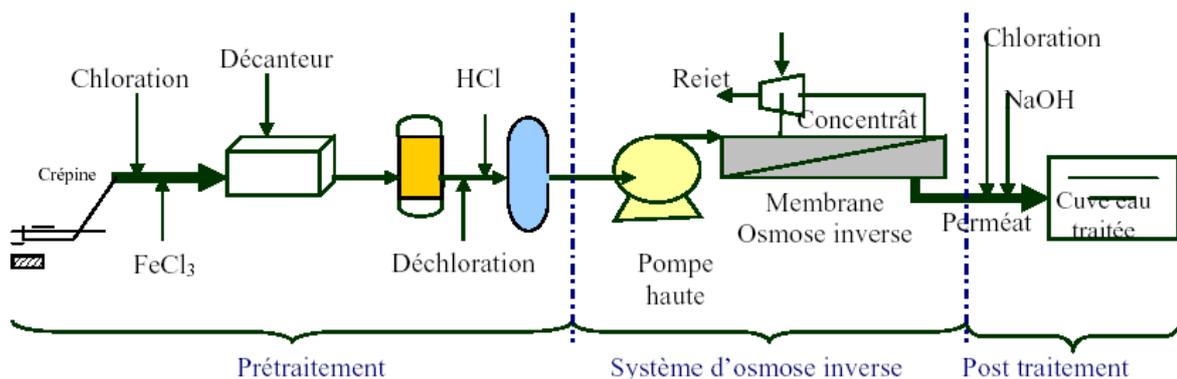


Figure II.12 : Filière globale de traitement de l'eau de mer de la station d'osmose inverse de Corso

V.I.2- Prétraitement et Post traitement :

L'eau de mer de la région de Boumerdes est caractérisée par une forte teneur en sel de l'ordre de 34g/L. L'eau est ainsi dominée par des fortes teneurs en sulfates et par une dureté importante (de calcium et magnésium). La température de l'eau d'alimentation de la station varie de 18 °C en hiver jusqu'à 22 °C en été.

Les procédés de prétraitement ont pour objectif :

- De désinfecter et stériliser l'eau afin de limiter le colmatage biologique par l'injection d'eau de javel;

- De réduire au maximum la présence des colloïdes de l'eau afin d'éviter l'encrassement colloïdale au niveau de la membrane par l'injection du coagulant flocculant;
- D'éliminer le chlore résiduel de l'eau afin d'éviter le colmatage irréversible de la membrane en ajoutant du bisulfite de sodium;
- D'empêcher les dépôts de précipitation des sels en ajustant le pH de l'eau d'alimentation par l'acide chlorhydrique;
- De retenir les matières solides en suspension résiduelles en procédant par décantation et filtration;
- De réduire les diverses substances organiques responsables du colmatage en utilisant la microfiltration à cartouche

Le post traitement est conditionné par une correction du pH jusqu'à un pH d'équilibre non nuisible aux ouvrages de béton et à la tuyauterie, et une chloration de l'eau par hypochlorite de sodium pour désinfecter l'eau contre toute contamination microbienne et bactérienne éventuelle.

V.I.3-Installation d'osmose inverse :

L'eau de mer prétraitée subit un traitement membranaire par un système d'osmose inverse qui comporte une seule filière de six lignes identiques (racks). Chaque ligne est constituée de 11 tubes de pression en parallèle. Les modules en série sont insérés dans des tubes de pression à raison de 7 modules par tube sont raccordés entre eux par des connecteurs. Le taux de conversion d'un tube de pression est fonction du nombre de modules, placés en série

La membrane utilisée est une membrane d'osmose inverse type spiralée de diamètre de 216 mm et de longueur de 1080 mm de type composite SWC3, conçue et fabriquée par la compagnie Hydranautics, dont la couche active est en polyamide.

La pression de fonctionnement maximale est de 70 bars. La température maximale de l'eau d'alimentation est de 45 °C. Le pH de fonctionnement de la membrane est compris entre 3 et 10. Par ailleurs les membranes d'osmose inverse ne doivent pas être exposées à l'action du chlore. En effet les concentrations supérieures à 0,1 ppm peuvent les endommager irréversiblement, [49].

V.I.4- Rejet (saumure) :

Le rejet des saumures issues du dessalement de l'eau de mer de la station se fait directement dans le milieu marin sans traitement préalable. Il est constitué d'une concentration élevée en sel, elle est de l'ordre de 60 g/l (*voir tableau IV.1*).

V.II. Présentation de la centrale thermique de Cap Djinet et de l'unité de dessalement :**V.II.1. Principe de fonctionnement de la centrale thermique**

Dans la centrale thermique l'eau peut être dans un état liquide comme il peut être dans un état vapeur, et ceci dépend du circuit traverser.

A. Circuit liquide

L'eau extraite du puits de condenseur passe par les trois réchauffeurs basses pressions (BP1), (BP2), (BP3) puis la bêche alimentaire. L'eau est pompée par les pompes alimentaires vers l'économiseur qui se trouve en fin de parcours des gaz de combustion et comme son rôle principale est le réchauffement de l'eau d'alimentation et puis il est conduit aux écrans vaporisateurs par les quatre colonnes de descentes. Après un temps d'échauffement, un mélange eau/vapeur monte vers le ballon chaudière où se produit une séparation entre l'eau et la vapeur.

B. Circuit vapeur

La vapeur séparée dans le ballon chaudière est menée par les tubes ascendants. Elle parcourt le premier désurchauffeur et ensuite par le deuxième surchauffeur, et elle traverse le deuxième désurchauffeur avant d'arriver au dernier surchauffeur.

La vapeur surchauffée quitte la chaudière et elle est détendue dans le corps (HP) de la turbine. Après la détente elle est récupérée pour être désurchauffé qui servent à la stabilité de la température de sortie.

La vapeur surchauffée est détendue dans le corps (MP) de la turbine et continue sa détente dans le corps (BP). Elle est ensuite dirigée vers le condenseur ou elle se condense dans le puits.

V.II.2. Présentation de l'unité de dessalement :

Toute centrale, type vapeur dispose généralement d'une installation de dessalement et de déminéralisation de l'eau brute (eau de mer) pour alimenter les chaudières.

Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique sont de l'ordre de **1100m³**. L'installation comprend quatre unités de dessalement indépendantes les unes des autres (trois unités sont en service et la quatrième est désinstallée), fonctionnant selon le principe de la distillation par détentes successives, et qui produit **500m³** d'eau dessalée par jour chacune, qui sera stockée dans deux réservoirs de **2700m³**.

L'eau de mer subit à des prétraitements avant d'être introduite dans l'unité de dessalement

V.II.2.1- Prétraitement de l'eau

2.1.1 La prise d'eau :

L'exploitation d'une centrale thermique de grande puissance demande pour réduire la chaleur résiduelle d'importantes quantités d'eau de refroidissement, les besoins de la centrale de Cap Djinet s'élèvent à **30m³/s**.

Cette eau est prélevée de la mer à **7m** de profondeur. La prise d'eau se trouve à **900m** du côté, l'arrivée de l'eau à la station de pompage se fait par trois canaux en béton d'un diamètre de **2.7m**, [50].

A) Station de pompage :

La hauteur de l'entrée dans la station est de **7.65m** sous le niveau de la mer.

A chaque entrée est prévue une fosse de révision, chacun des trois canaux est pourvu d'un batardeau.

La station de pompage est un ouvrage en béton armé étanche avec bord supérieur à plus de **7.5m** en dessus du niveau de la mer et se compose d'un bassin d'alimentation de quatre voies de filtration et des chambres d'aspiration pour les pompes de l'installation de dessalement, de la chloration et pour la pompe incendie.

Les batardeaux d'arrêt sont installés à l'avant de chacun des **8** pompes de circulation, [50].

B) Filtration de l'eau de mer :

Ce procédé sert à l'extraction par filtrage des impuretés de l'eau de mer utilisée comme eau de circulation principale et au rinçage de détritiques afin qu'ils puissent être transportés dans les paniers de récupération

Chaque tranche de la centrale est associée à une voie de filtration qui est équipée d'une grille avec grappin, d'un circuit d'arrosage et d'appareils de mesure de niveau grille différentiel de l'eau, [50].

C) La chloration

Dès la prise d'eau en mer, il faut bloquer la prolifération des organismes vivants dans l'eau de mer, sinon, on devra faire face à toute une série d'incidents tels que la réduction des échanges thermiques, l'obstruction partielle ou même totale de conduites, [15].

Le procédé le plus répandu consiste à injecter du chlore, réactif dont le stockage et la manipulation exigent des précautions strictes.

Pour éliminer le danger lié au chlore, on peut lui substituer l'hypochlorite de sodium (eau de javel).

D) L'électrochloration

C'est une technique qui permet la production in situ d'une solution diluée d'hypochlorite de sodium à partir d'une solution de chlorure de sodium, [15].

V.II.2.2 Description de l'unité de dessalement**A) L'évaporateur**

L'évaporateur est constitué de trois étages pour la dissipation de chaleur et de quinze étages de récupération de chaleur.

Le faisceau des tubes de condenseur se trouve dans la partie supérieure de chaque chambre.

Le dernier étage est muni d'un indicateur de niveau pour le distillat et la saumure. Tous les dispositifs, sont prévus pour vider et aérer totalement tous les étages, [50].

B) Le réchauffeur final :

La saumure de recirculation coule du dernier étage du condenseur au réchauffeur final pour y être chauffé ensuite le procédé de détente pourra commencer dans le premier étage d'évaporation.

Le réchauffeur final est un échangeur thermique à faisceaux de tubes droit , l'eau de mer traverse les tubes, alors que l'eau chaude circule sur les côté enveloppés.

Il consiste à chauffer la saumure sortant des zones de récupération de chaleur à une température de **83°C** , le débit est de **280m³/h** (côté enveloppés) .

La température d'entrée est de **95 °C** (côté enveloppés).

La température de la sortie est de **88°C** (côté enveloppés), [50].

C) La chaudière d'eau chaude :

C'est une chaudière à eau chaude et basse pression qui combine le principe de retour de flamme et le principe des trois passages.

Elle est équipée d'un brûleur approprié pour gaz et mazout avec une pompe de combustible et des électrodes d'allumage et réglage de brûleur automatique et d'une conduite de raccordement au réchauffeur final.

Elle est caractérisée par une température de service de **95°C** et d'un débit de **280m³/h**, [50].

D) Pompes :

Le tableau représente les différentes pompes utilisées et leurs caractéristiques.

Pompe	Pompe de recirculation	Pompe de saumure	Pompe distillat	Pompe de recirculation d'eau chaude
Débit m³/h	258	36	25	2.8
Puissance KW	68	2.75	4.7	8.1

Tableau II.4 : caractéristique technique des pompes centrifuge de traitement.

E) Système d'évacuation : mise sous vide

L'eau de mer naturelle utilisée pour le procédé d'évaporation est saturée de gaz incondensables tels que l'oxygène, et l'azote, ainsi que le gaz carbonique formé, par le bicarbonate, sont peu à peu libérés dans les étages de l'installation et peuvent nuire à l'échange de chaleur, ces gaz incondensables sont amenées de l'étage 2, jusqu'à l'étage 4, puis de l'étage 5 à l'étage 13 et enfin de l'étage 14 à l'étage 18, et sont évacués aux points d'aspiration des étages 1, 4, 13 et 18.

La pompe d'éjection d'eau est prévue pour aspirer les gaz de la pompe d'éjection de vapeur et ce des étages 2 à 13, l'eau motrice de l'éjecteur est mise en circulation par la pompe un réservoir de désaéragage fait partie de ce circuit, les gaz dissous dans l'eau sont libérés et évacués à l'atmosphère.

Pour éviter l'échauffement indésirable de l'eau motrice, on remplace une partie de cette eau, par la même quantité d'eau froide.

Ce système comprend aussi une pompe d'eau motrice qui a un débit de 103 m³/h, [50].

F) Le filtre de l'eau de mer :

Le filtre utilisé est de type à décolmatage par contre courant (auto-nettoyant), l'eau de mer à filtrer pénètre dans ce filtre à la bride d'entrée, traverse le double panier filtrant et quitte le filtre à la bride de sortie.

Les impuretés sont retenues dans le filtre par la toile filtrante de panier, lorsque par la suite d'un colmatage du filtre, on atteint la perte de charge limite, le procédé de décolmatage par contre courant se met en marche automatique, [50].

G) Injection des produits chimiques :

Les systèmes d'injection des produits chimiques ont pour but de protéger l'installation de dessalement d'eau de mer contre l'entartrage (BELGARD de CIBA-GEITY à base de polymères maléiques est le plus utilisé, [51]), les salissures (l'acide chlorhydrique à 5% environ, [51]) et la formation de mousse (Belite à 0.1mg/l, [51]).

L'eau de mer, pour la centrale thermique, est traitée au chlore actif, ce procédé détruit les organismes se trouvant dans l'eau de mer.

Le contenu de chlore actif est mesuré et si sa teneur augmente, on ajoute le bisulfite de sodium (Na_2SO_3) dans l'eau de mer servant d'eau d'alimentation, ce qui neutralise le chlore, [51].

H) Equipements de surveillance :

La conception de base du fonctionnement d'évaporateur se base sur la télécommande et la télésurveillance, les instruments indicateurs pour le fonctionnement et la surveillance sont arrangés sur les pupitres de commande ceux-ci comprennent en outre des boutons- poussoirs et interrupteurs pour démarrer et arrêter l'installation, des instruments de réglage et de télé contrôle, ainsi qu'un système d'alarme et un diagramme d'ensemble.

Additionnellement on a placé des instruments sur les appareils, tels que indicateurs de pression, de température de niveau, de conductivité ainsi qu'un dispositif de sécurité pour la chaudière, [50].

V.II.2.3 Description du procédé Multi Stage Flash (MSF) au niveau de la centrale :

La pompe d'eau de mer, refoule l'eau de mer à travers les condenseurs en passant par les filtres d'eau de mer, une partie de l'eau de mer est dérivée avant d'entrer à la chambre d'eau du 18^{ème} étage d'évaporateur, pour refroidir le système de recirculation de l'aspiration d'air.

L'eau réchauffée, provenant des étages de rejet de chaleur 16,17 et 18, sera retournée à la mer. D'abord une partie de l'eau de mer chaude sera dérivée à la sortie de l'étage 16 pour être amenée au procédé comme eau d'alimentation, elle remplace la saumure. L'eau d'alimentation sera mélangée par le réservoir de produits chimiques. Ensuite elle est dégazée dans le 18^{ème} étage d'évaporation par le vide se trouvant dans celui-ci, pour écouler ensuite dans la tuyauterie cotée aspiration de la pompe de recirculation, en se mélangeant avec la saumure de recirculation qui abandonnera le dernier étage de l'évaporateur.

La saumure de recirculation est refoulée à travers le faisceau de tubes du condenseur des étages de récupération de la chaleur 1 à 15 de l'évaporateur, et réchauffée par la chaleur d'évaporation de la vapeur condensable de chaque étage. Du dernier condenseur

d'évaporateur la saumure coule vers le réchauffeur final, ou elle est portée à la température maximale prévue.

Le réchauffeur final sera chauffé par l'eau de la chaudière. La pompe de recirculation fait circuler l'eau chaude à travers un circuit fermé.

La saumure chaude de recirculation sera amenée au premier étage d'évaporation, la pression dans la première chambre de détente est un peu plus réduite que la pression de saturation qui correspond à la température de la saumure entrant, de manière qu'une partie de la saumure s'évapore.

La vapeur ascendante coule à travers un séparateur d'humidité et se condense finalement sur les parois des tubes du condenseur dans la partie supérieure de l'étage d'évaporation.

Au fond de l'étage, la saumure coule par des passages spéciaux vers la prochaine chambre de détente où la pression est encore plus réduite que la pression de saturation, qui correspond à la température de saumure ; par ce fait une partie de la saumure s'évapore de nouveau. Ce procédé se répète dans chaque étage.

Le distillat goutte des parois des tubes dans les cuves à distillat existant dans chaque étage, ensuite il coule d'un étage à l'autre par les orifices de passage, pour être finalement évacué au dernier étage par la pompe de distillat.

Une partie de la saumure concentrée sera refoulée par la pompe de saumure du dernier étage au canal de saumure tandis que la partie principale de la saumure coule vers la pompe de recirculation. Les gaz non condensables, seront évacués par une pompe d'éjection de vapeur et par une pompe d'éjection d'eau, [50].

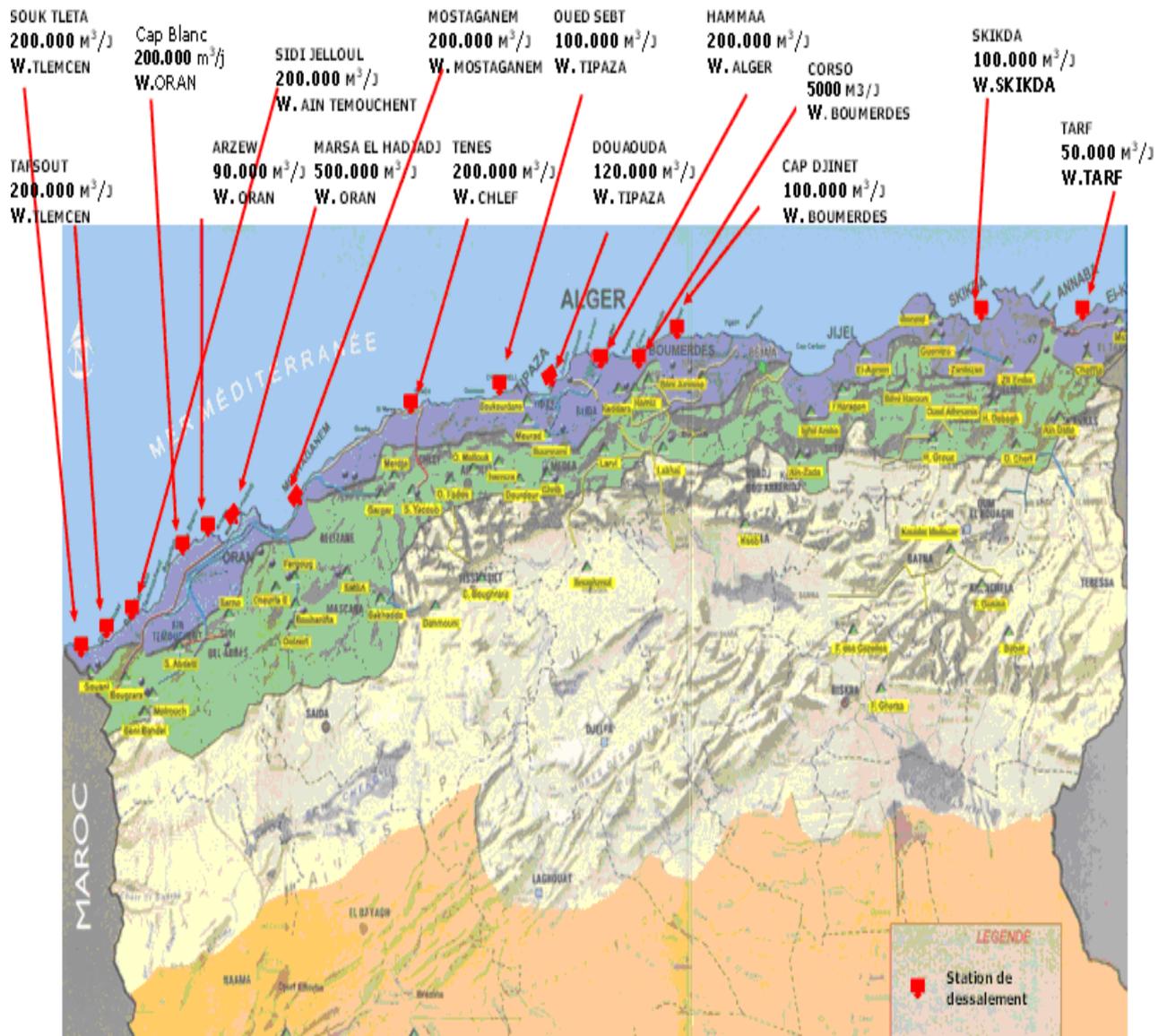


FIGURE II.13 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Chapitre III

Les impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement

I/pollution de la saumure :**I- 1- Introduction :**

La saumure est un sous produit du dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement, dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée (TDS) est autour de 70.000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant beaucoup d'années. Cependant, c'est maintenant qu'elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, comme elle constitue une couche hypersaline au fond de la mer dû à sa plus grande densité. Elle a un potentiel qui affect fortement la faune et la flore marines, [52, 53]. .

Evidemment, l'importance des impacts sur l'environnement dépend des caractéristiques du processus du dessalement- détermination de la composition chimique de la saumure produite- mais également des conditions hydrodynamiques et bathymétriques normales aussi bien que des facteurs biologiques de l'environnement marin, [17].

I-2- Composition de la saumure :

Dans tous les processus de dessalement, les saumures déchargées, sont retournées à la mer. Les concentrations des saumures s'avèrent habituellement double ou près du double de l'eau de mer, [54].

En plus de la concentration élevée des sels, cette eau de décharge contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement du dessalement pour augmenter la floculation ou empêcher la formation de mousse par exemple, d'autres pour éviter la détérioration de la membrane comme la croissance biologique, [55].

Les types et les quantités des produits chimiques utilisés dépendent de la technologie choisie et de la qualité exigée de l'eau produite. Les produits chimiques qui sont susceptibles d'être trouvés dans les saumures incluent sur les matériaux désincrustantes, agents tensio-actifs, et acides utilisés pour abaisser le pH. Les sels retournés à la mer sont identiques aux participants dans l'eau d'alimentation, mais ils sont présents à une concentration plus élevée.

Aux usines d'osmose inverse, la concentration déchargée est de 30 – 70% supérieure à celle de l'eau d'alimentation. C'est une concentration plus élevée que celle trouvée pour les usines de MSF où le taux de récupération est de 1,1 – 1,5, [56 , 57].

a) Produit de la corrosion

Les usines de dessalement à procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du zinc et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production, comme par ex. le titane, [26]. En termes de concentrations, celles du cuivre et du fer sont les plus élevées, [7].

b) Agents antitartre

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement. La présence de tartre entraîne inévitablement des difficultés d'exploitation et/ou de perte de rendement. Les additifs antitartre le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique, [58]. Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces.

c) Agents antisalissures

Les salissures constituent un processus à phase multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries.

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

d) Agents antimousses

La mousse produite par l'eau de mer aux étages du procédé de distillation multistage est imprévisible mais a tendance à poser un problème plus grave quand les séparateurs sont proches de la surface du courant de saumure, ce qui ne permet pas de séparer qu'un volume réduit en phase aqueuse et la phase vapeur.

Les agents antimousses sont habituellement des polyglycols alkyles, des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tension-actifs à l'interface eau-vapeur et empêchent la formation de mousse. La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques.

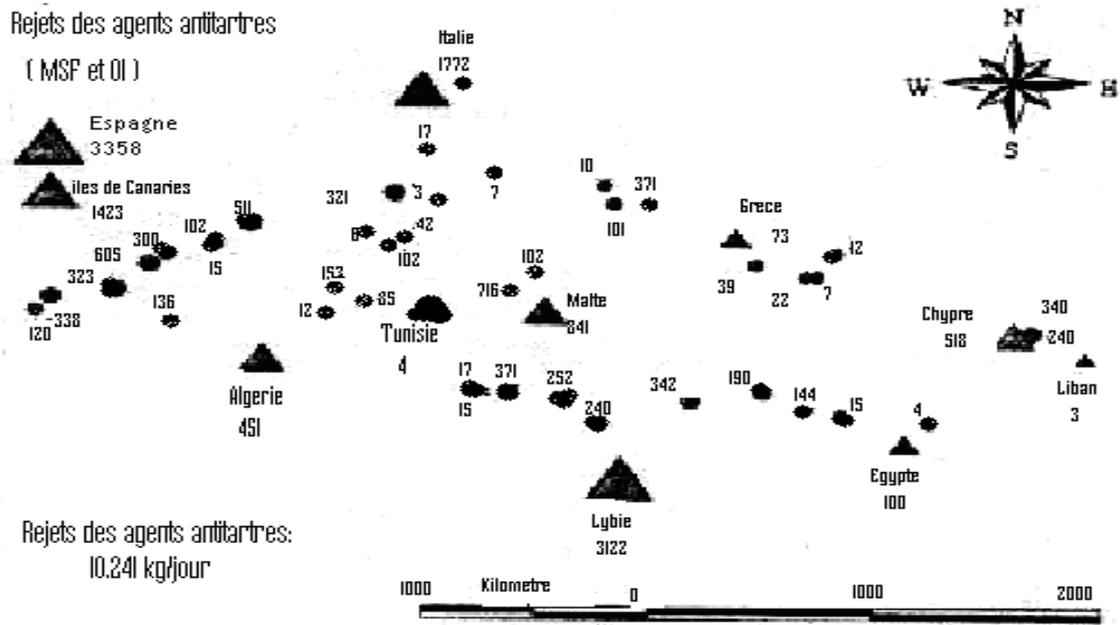


Figure III. 1 : Estimation des rejets des agents Antitartre dans la méditerranée (en kg/jour).

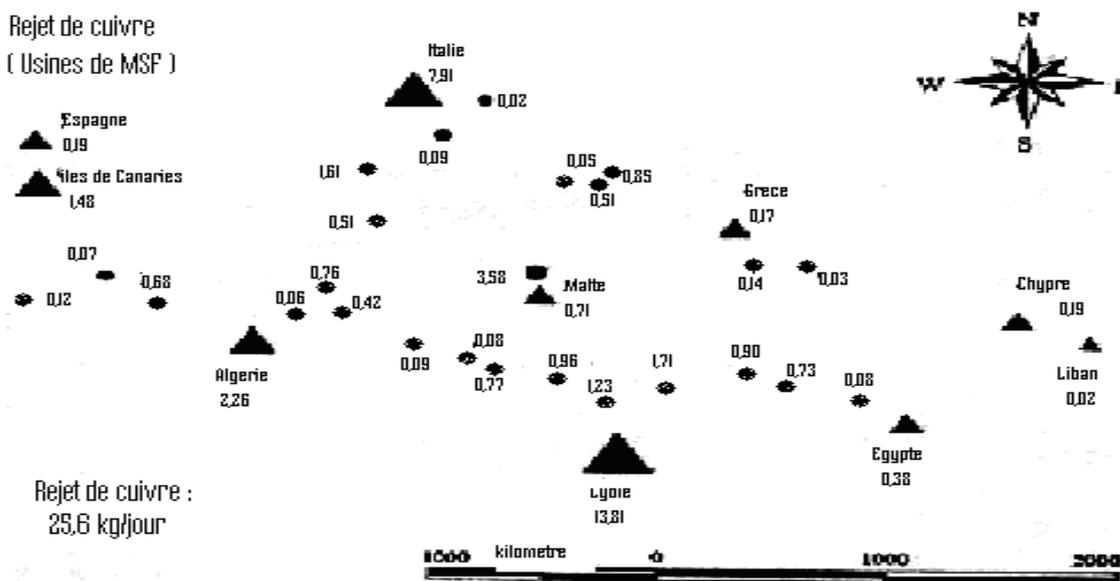


Figure III. 2 : Estimation des rejets de cuivre dans la méditerranée (en kg/jour)

*Les points indiquent les charges de rejet par site, et les triangles : les charges nationales totales [59].

e) Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI :

Dans les usines d'osmose inverse, le nettoyage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage de membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. Ces produits chimiques sont normalement épurés avant leur rejet dans la mer, [60].

Les tableaux III.1, III.2, III.3 montrent quelques évaluations concernant les matériaux, qui seraient retournés à la mer de l'usine de dessalement prévue à Ashkelon [61], cette dernière est une région d'Israël qui produit 320,000 m³/j basée sur le principe d'osmose inverse.

Tableau III.1 : Écoulements d'eau de mer et de saumure

	Alimentation - eau de mer	Saumure retournée à la mer (y compris l'eau de rinçage)
Écoulement horaire, m ³	13,000	6,750
Concentration des sels, g/l	40,500	77,920
Quantité total de sel, t/h	526	526

Tableau III. 2 : Liste de produits chimiques et des quantités utilisées dans l'étape de prétraitement

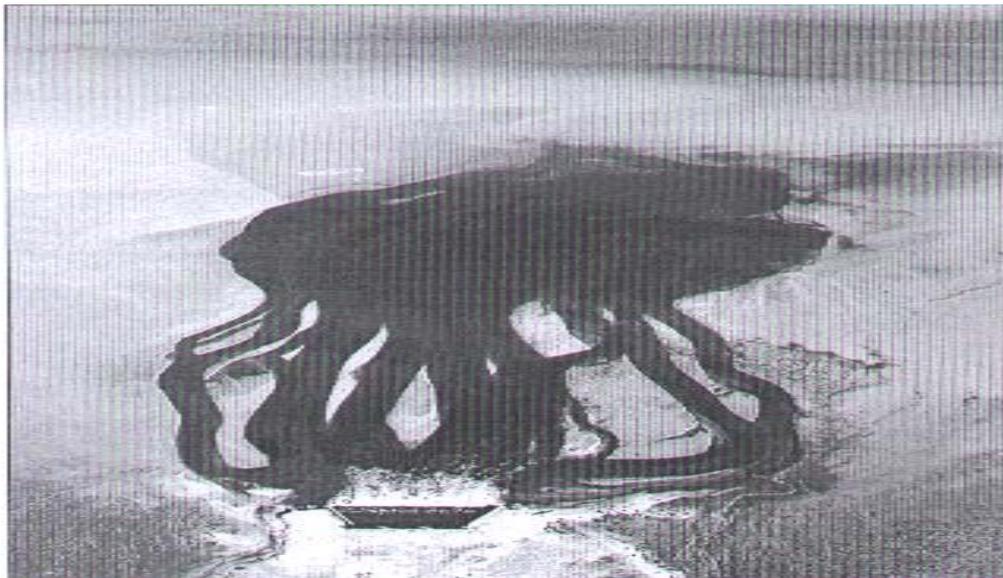
Produits chimiques	Doses, mg/l	Écoulement, kg/h	Quantité journalière, t	Volume accumulé (matière diluée), m ³
Hypochlorite de sodium	6	80	1,9	120
Acide sulfurique 98%	30	390	9,4	100
SHMP (anticalcaire)	6	80	1,9	120
Chlorure ferrique – flocculant pour traiter les colloïdes suspendus.	4	50	1,2	120
Bisulfate de sodium	4	50	1,2	120

Tableau III.3 : nettoyage et rinçage des membranes

Produits chimiques	Quantité annuelle, t	Volume de stockage, m ³
Acide citrique	70	30
Sodium	50	20
EDTA	30	10

I-3- Dispersion des sels concentrés :

Le principal problème environnemental lié à une usine de dessalement est comment se débarrasser de l'excédent des saumures concentrées. Dans la plupart des cas, ces saumures ne peuvent pas rester sur la terre en raison du danger qu'elles posent aux eaux souterraines et en raison d'autres potentiels graves et impact sur l'environnement. Une décharge normale pour ces saumures est la mer (figure III. 3), mais une technologie appropriée est exigée afin d'assurer la dispersion appropriée des solutions concentrées et réduire au minimum ainsi leurs effets nuisible sur l'environnement marin, [17].

**Figure III.3:** Rejet de l'usine de dessalement d'eau de mer d'Al-Doha, Koweït. [62].

Après le traitement, la saumure concentrée est rejetée en mer où, dessinant l'image d'un monstre tentaculaire, [62].

Plusieurs techniques alternatives sont disponibles à cette fin, et le choix entre elles dépendrait des conditions particulières dans le secteur, prenant en compte le milieu atmosphérique, machines et les aspects économiques.

Les techniques alternatives sont :

- Décharge la saumure par une longue canalisation loin de la mer ;
- Diriger la décharge des saumures au littoral ;
- Décharge des saumures par l'intermédiaire de la sortie de l'eau de refroidissement de la centrale électrique ;
- Diriger la saumure vers une usine de sel.

II- Impact du dessalement sur l'environnement :

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

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marine, la perturbation d'écosystèmes importants, le bruit, [63].

II.1. Impacts positifs

II.1.1. Conservation des ressources d'eaux souterraines

Premièrement, La conservation de la couche aquifère est importante, A titre d'essai le pompage d'eau de mer au cours des périodes d'une demande maximale d'eau -de sécheresse et d'été- peut avoir comme conséquence l'infiltration d'eau de mer qui se traduit par l'approvisionnement des eaux potables. L'évacuation de l'eau salée dans les couches aquifères côtières est devenu un problème écologique important, en particulier au développement rapide des secteurs côtiers (Carter 1988). Il est extrêmement coûteux et parfois impossible de réhabiliter les eaux souterraines une fois polluées.

Un deuxième argument pour la conservation de la couche aquifère côtière est que les fertilisants du littoral dépend de l'eau douce qui s'infiltré pour donner de l'eau de bonne qualité.

Perfectionnement :

- cet avantage a pu être encore augmenté en augmentant le rendement de l'usine de dessalement, mais peut s'avérer trop coûteux, [64].

II.1.2. Fourniture de l'eau de bonne qualité

La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et social des communautés locales. L'eau des couches aquifères est de mauvaise qualité et sa quantité est limitée. La région de ACWB (Albany Coast Water Board) mélange l'eau de bonne qualité avec de l'eau de mauvaise qualité des couches aquifère pour arriver à un profil de qualité et de coût acceptable avant distribution.

Perfectionnement :

- La qualité de l'eau peut seulement être améliorée en se mélangeant avec plus de 40 % de l'eau osmosée, mais ceci augmenterait le coût de l'eau proportionnellement, [64].

II.1.3. Source fiable à long terme de l'eau

Le dessalement est une source fiable de l'eau qui n'est pas soumise aux changements climatiques liés aux sources d'eau douce. Si la conception de l'unité est modulaire, Il y a utilisation minimale des produits chimiques dans le processus, et le rendement peut être facilement augmentées. Si c'est effectué convenablement, il y a peu d'impact sur l'environnement.

Perfectionnement :

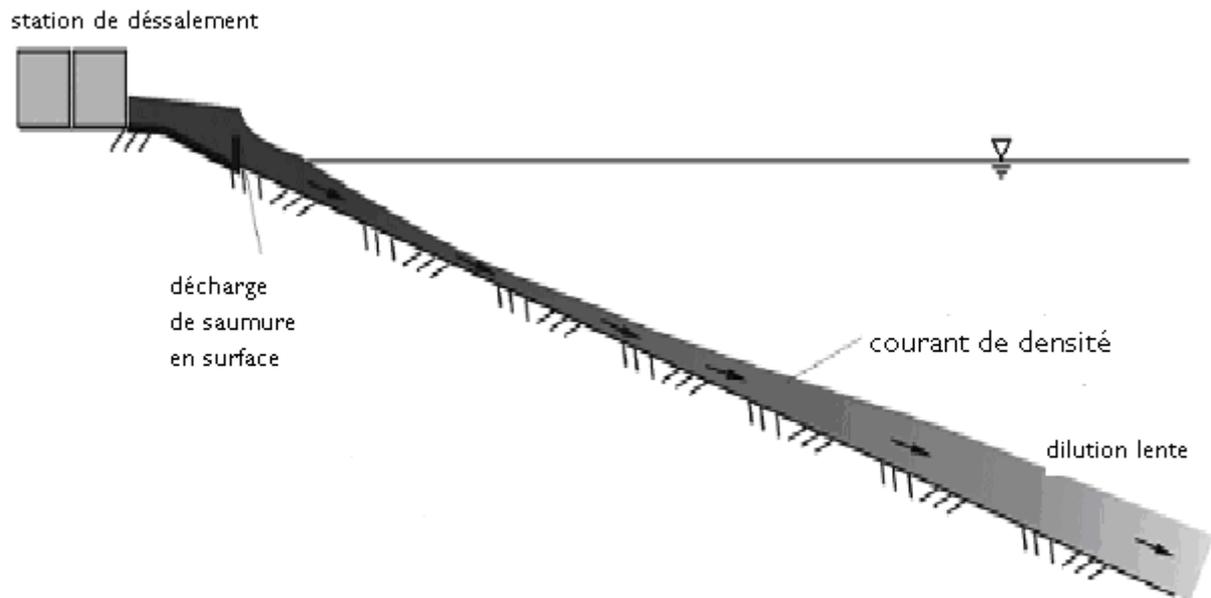
- Avoir un système d'installation successive des modules d'osmose inverse peut augmenter la fiabilité de l'usine. Les pompes et générateurs de secours assureront la production continue de l'eau au manque de quelques systèmes mécaniques et électriques, [64].

II.2. impacts Négatives

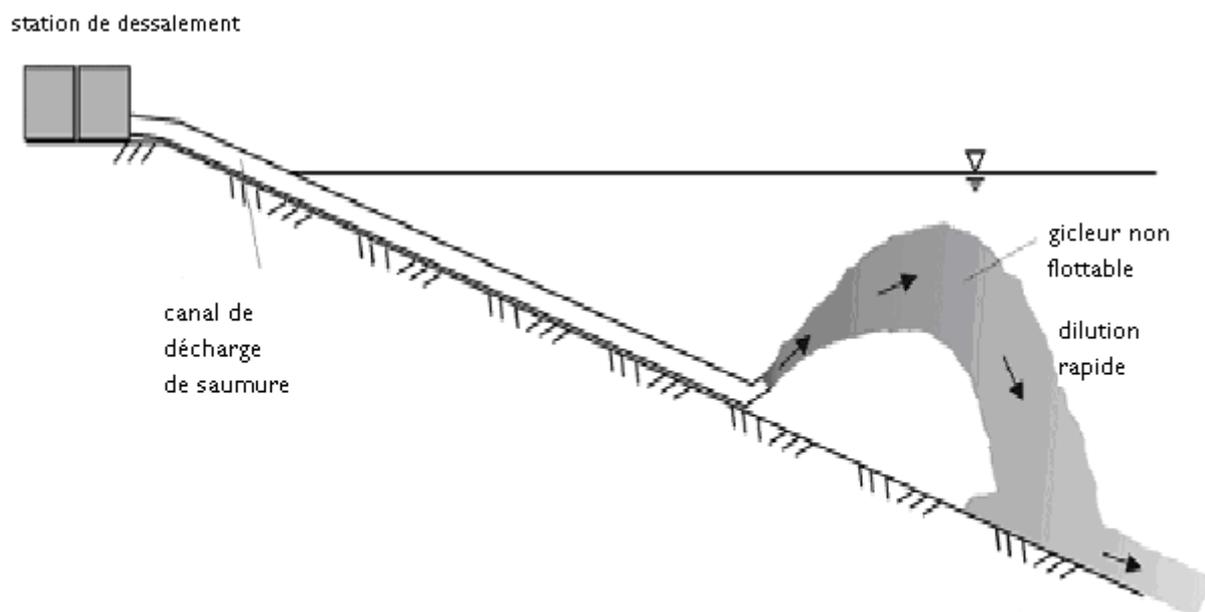
Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement. La plupart des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge de saumure, [17].

Les sources d'eau appropriées pour le dessalement peuvent avoir des origines de base fondamentaux : eau de mer et eau souterraine.

Le dessalement d'eau de mer ou de l'eau saumâtre des usines d'osmose inverse peuvent avoir plusieurs aspects négatifs directe ou indirecte sur l'environnement : [65]



(a) : Décharge sur le rivage par l'intermédiaire d'un canal ou d'un déversoir.



(b): Décharge submergée par l'intermédiaire de canalisation et bec ou diffuseur.

Figure III.4. Stratégies de décharge pour les effluents non flottables, [66 , 67].

II.2.1 L'impact indirect sur l'environnement dû à la nécessité d'augmenter la production d'électricité pour l'unité de dessalement :

La consommation d'énergie aux usines d'osmose inverse s'est améliorée avec de nouveaux progrès technologique dans le processus tels que les systèmes de récupération d'énergie utilisés. Ces unités de dessalement exigent une énergie électrique minimale produite par les usines thermiques. Pour produire l'électricité il est nécessaire de brûler des carburants par les usines thermiques, ce qui produit des fumées de pollution (par exemple anhydride carbonique) dispersées dans l'atmosphère.

En accord avec le protocole de kyoto au sujet du changement de climat, la majorité des pays industrialisés doivent réduire les décharges de gaz qui peuvent contribuer au chauffage global, en dessous de 5% pour la période prochaine 2008-2020. En Espagne, les centrales thermiques produisent une moyenne de 0.402 Kg CO₂/kWh, valeur de référence établie par les autorités. La plupart des usines de dessalement des années à venir ont besoin de nouvelle infrastructure électrique et, par conséquence, les nouvelles centrales thermiques augmentent la quantité de pollution par des émissions de gaz exceptées s'il y avait un remplacement des énergies conventionnelles par des énergies récupérées pour l'industrie de dessalement, [32].

Une méthode permettant d'évaluer l'énergie destinée à une usine de dessalement, avec des apports thermiques par kg d'eau produite, pour des usines types, [68] (tableau III.4).

Tableau III. 4 : évaluation de l'énergie destinée à des usines de dessalement

Procédé de dessalement		
Centrale associée	MSF Cycle combiné	OI Cycle combiné
Consommation de chaleur du procédé de dessalement en kJ/kg	282	-
Consommation de l'électricité du procédé de dessalement, en kWh/m ³	3,6	7,5
Energie de combustible pour la production d'eau, kJ/kg	149	75,0

Comme les émissions atmosphériques dues à un procédé de dessalement sont directement en rapport avec ses besoins respectifs en énergie, il va de soi que les émissions dues à l'OI sont moindres que celles dues à la MSF. L'étude d'Afgan et *al.* (1999), [69] qui porte sur des

usines de dessalement des pays de Golfe a permis de calculer des indicateurs de durabilité qui ont confirmé ce qui précède.

Tableau III.5 : Indicateurs de durabilité pour une usine MSF à production simple

Indicateur de ressources en combustible, kg combustible/m ³	11
Indicateur environnemental pour CO ₂ , kg CO ₂ /m ³	37
Indicateur environnemental pour SO ₂ , kg SO ₂ /m ³	0,09
Indicateur environnemental pour NO _x , kg NO _x /m ³	0,06

Tableau III. 6 : Indicateurs de durabilité pour une usine OI avec une source locale de l'énergie électrique

Indicateur de ressources en combustible, kg combustible/m ³	1,8
Indicateur environnemental pour CO ₂ , kg CO ₂ /m ³	6
Indicateur environnemental pour SO ₂ , kg SO ₂ /m ³	0,005
Indicateur environnemental pour NO _x , kg NO _x /m ³	0,009

II.2.2. impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer :

La saumure exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire.

A part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter. La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrodynamiques (courants, vagues,...) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement.

Par exemple, à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacité de production de 40 000 m³/jour, la saumure, d'une salinité d'environ 72 ‰, est rejetée dans la mer par un émissaire doté à son extrémité d'un multidiffuseur, à une profondeur d'environ 5 m et une à distance de 250 m du rivage; il en résulte un accroissement de la salinité dans un rayon de

200m à partir du rejet. De ce fait, la plus forte salinité ($\approx 54 \text{ ‰}$) a toujours été décelée au point de rejet et était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer ($\approx 39 \text{ ‰}$) jusqu'à 200 m du rejet.

La zone d'impact présentant une forte salinité varie selon la saison, l'impact le plus marqué se produisant durant les mois d'été, [70].

II.2.3. impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés dans le nettoyage des membranes et du nettoyage en prétraitement :

En plus de la concentration élevée des sels, la saumure déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et de post-traitement de l'unité de dessalement, y compris les agents antitartre.

a) Effets dus aux produits de la corrosion

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le chrome et zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspensions et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut pas atténuer les effets en diluant le rejet, [71].

b) Effets dus aux additifs antitartre

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartre les plus utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

c) Effets des additifs antisalissures

Si le chlore est un agent antisalissures à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer, [7].

d) Effets des additifs antimousse

Les agents antimousse sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire.

II.2.4. Impact de bruit :

Une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse est une usine bruyante. En général ce bruit est produit par des pompes à haute pression et par les turbines utilisées pour la récupération d'énergie [72, 73], le niveau de bruit est plus de 90 dB(A). donc, l'usine devrait être située loin des secteurs peuplés et être équipée de technologie acoustique appropriée pour réduire le niveau de bruit, [17].

II.2.5. Effet nuisible sur l'utilisation de la terre :

Les usines de dessalement sont situées à côté des zones côtières, loin de développements de touristes et de population. La zone exigée pour les usines de dessalement par osmose inverse est environ 10.000m² pour une production de 5.000 à 10.000 m³/jour. Il y a donc un effet nuisible de vue importante sur la conception de la typologie architecturale des bâtiments utilisés à ce genre de construction. En plus, il est nécessaire d'améliorer l'infrastructure comme le transport électrique d'énergie à l'usine, les conduites d'eau d'alimentation et de produits à transporter, saumure même les décharges concentrées au déversoir, ect... [65].

II.2.6. Impact sur la couche aquifère :

Les canalisations d'eau de mer et de saumure étendus au-dessus de la couche aquifère lui présente un danger, elles peuvent fuir et l'eau salée peut pénétrer facilement. La solution c'est d'utiliser des techniques appropriées de cachetage pour réduire au minimum son impact sur la couche aquifère, [65].

II.2.7- Mélange avec d'autre rejet :

Le couplage usines de dessalement avec les centrales thermiques a pour avantage de permettre d'utiliser de même infrastructure et d'économiser une grande quantité d'énergie grâce à la cogénération. Il permet aussi de mélanger les courants de déchets, comme les eaux usées épurées, peuvent aussi théoriquement servir à diluer la saumure mais leur réutilisation est préférable à leur élimination.

Impact : Le brassage des déchets à pour effet bénéfique de diluer les effluents salés résultant de dessalement avant leur élimination dans le milieu marin. Autrement, la salinité augmenterait au site de rejet ce qui pourrait nuire à la faune et la flore marines. La salinité est un facteur environnemental important pour les organismes marins qui vivent normalement dans un milieu dont la salinité se situe entre des valeurs limites optimales qui, si elle augmentent ou diminuent, peuvent atteindre un seuil qui ne peuvent pas tolérer.

II.2.8- Impact socio-économique, y compris les impacts sur les citoyens :

Le dessalement de l'eau de mer peut remédier à la pénurie d'eau et aux problèmes de qualité de l'eau qui autrement pourrait avoir des répercussions directes sur la santé et le bien être humain. Il y a des problèmes de santé qui peuvent être directement liés à l'accès à des quantités insuffisantes d'eau salubre pour la consommation humaine, ou on manque d'eau pour l'assainissement et l'hygiène.

Le dessalement des eaux de mer a donnée des solutions urgentes et sécurisantes, mais il peuvent aussi avoir des impacts non négligeables sur les citoyens comme suit :

- Changement des modes de consommation, voire l'utilisation abusive de l'eau sous l'impression qu'il est facile de s'en procurer.
- Concentration accrue du développement et de l'activité dans la zone côtière, migration de population des régions rurales/ de l'arrière pays vers les zones côtière/suburbaines ; dépendance à l'égard d'une technologie qui peut à son tour dépendre de l'impression de savoir faire ou d'énergie, ce qui expose la qualité de l'eau à la dégradation (par exemple : déversement de pétrole) et est centralisée généralement dans quelques sites qui exigent le transport de l'eau sur de grande distance.

II.3. Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer :

L'impact potentiel sur les communautés biotiques des estuaires se manifeste par la mort des différents niveaux d'invertébrés et de poissons due aux déperditions de leurs propres moyens de défenses lors de leur entraînement dans les systèmes. Beaucoup de ses organismes meurent soit par asphyxie en raison de mouvements gênants de leurs branchies soit par des dommages mécaniques internes ou externes subit lors de leur passage dans les systèmes traversés soit par les injections d'additives. La mortalité de cette faune pourra être immédiate ou latente. De même, la majorité des œufs et de larves d'invertébrés et de poissons sera détruite.

Cet enchaînement perturbe globalement certains facteurs biotiques de ses populations, telles que :

- la composition et l'abondance des espèces affectées ;
- leurs abondances dans les eaux adjacentes ;
- leur taux de survie en comparaison à la survie naturelle ;
- les rôles écologiques des organismes charriés et leurs stratégies reproductives.

Ces impacts sont plus probables à se développer dans des estuaires peu profonds fermés ou pauvrement mélangés, et dans des sites vulnérables quand la demande en eau de mer est importante (ex : cas des stations de dessalement couplées à des centrales thermiques ; l'existence de plusieurs groupement d'industries sur le même site).

L'impact global de la station de dessalement sur l'environnement estuaire dépend énormément de sa taille et de sa demande en eau de refroidissement ainsi que des conditions hydrographiques du site. Par conséquent, il y a lieu d'apporter un soin particulier au choix du site et de procéder à l'étude d'impact avant sa construction, [74].

II.3.1. impact de la caléfaction:

La chaleur perdue déchargée des usines thermiques de dessalement (généralement entre 8 et 15°C au-dessus de la température ambiante d'eau de mer) est finalement absorbée dans l'environnement marin. La température des substances réceptives augmente potentiellement lorsqu'on décharge une grande quantité du volume d'eau de refroidissement relativement à sa capacité de dispersion.

A) Impact de la caléfaction sur la qualité de l'eau :

La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. Les principales conséquences sont les suivantes :

- ❖ La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, ce qui place le biote dans des conditions de vie contraignante due à sa forte demande en oxygène. L'effet synergique des charges organiques et cette température élevée de l'eau accélère la respiration de bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été.
- ❖ La densité, viscosité, la tension de surface et la solubilité d'azote diminuent également avec l'augmentation de la température :
 - La différence de densité développe la stratification des masses de l'eau, quoique la circulation et la profondeur affectent aussi bien celle-ci ;
 - La diminution de la viscosité conduit à des taux accrus de dépôts qui influenceront la sédimentation.
 - La réduction de solubilité de l'azote peut contribuer, en retour, à sa détérioration lors de la production primaire.
 - L'élévation de la pression de vapeur à température élevée accélère l'évaporation surtout en mois d'été.

B) Impact de la caléfaction sur les organismes d'estuaire :

L'altération de taux de solubilité chimiques et des réactions biochimiques au niveau du milieu récepteur entraînent automatiquement des réponses physiologiques et des changements de comportement des organismes :

1) Production primaire : la charge thermique réduit la production primaire. Elle affecte le système aqueux dans son ensemble en combinaison avec d'autres modifications au niveau de la respiration des populations, de la composition de l'espèce, de la dynamique des nutriments et de la production secondaire, [75].

- 4) algues : différentes situations peuvent apparaître :
- la dépression du taux de photosynthèse phytoplanctoniques entraînant la diminution de la production algale.
 - Des populations normales d'algues tendent à être remplacées par espèce moins souhaitable ; situation d'eutrophisation.
 - Diminuer la production des populations macro-algales.
 - Diminuer l'abondance et la diversité du phytoplancton.
- 5) Le zooplancton : le métabolisme du zooplancton dépend également de la température. Celui-ci affecte fortement toute la physiologie et écologie du groupements planctonique par :
- une mortalité forte due à la tolérance thermique de l'espèce.
 - Impact sub-littoral tel que la réduction de la croissance et de la biomasse.
 - Fluctuation dans l'abondance de micro-zooplancton qui est traduit, par une réduction de larves de polychètes et de bivalves, de copépodes, ou par une augmentation des rotifères ou de larves de gastéropodes.
- 6) Invertébrés benthiques : en raison de leur mobilité relativement limitée, diverses situations peuvent être notées :
- la présence de la forme benthique moins riche en espèce ;
 - la réduction de croissance de la palourde et d'une croissance plus rapide des huîtres ;
 - un taux de mortalité significatif de l'espèce adulte.
- 7) Poissons : résistant à une bande de température limite, les poissons ne peuvent pas commander leurs équilibres thermiques internes activement. Ils disposent de récepteurs thermo-cutanés sensibles leur permettant d'éviter le faisceau thermique ou d'être attirés.

L'augmentation ou la réduction de la température influence sur leur vitesse de natation et leur comportement qui mène à une modification des diagrammes de leurs distributions.

Généralement, la productivité de poissons dans une zone exposée à la caléfaction devra augmenter ; cependant, la mort des poissons causée par le choc brutal froid ou chaud lors des opérations d'arrêt et de démarrage de l'unité de dessalement compense ce possible effet bénéfique.

Les altérations des réactions biochimiques du milieu peuvent éliminer la reproduction.

Les poissons succombent certains mécanismes tels que :

- rupture du péristaltisme de muscle ;
- dénaturation de la protéine dans les cellules ;
- augmentation de l'acide lactique dans le sang ;
- le déficit d'oxygène qui se traduit à augmenter l'activité de respiration ;

S'ils ne meurent pas, les poissons peuvent par contre subir des effets physiologiques sublittoral tels que:

- une baisse d'éclosion des œufs ;
- une inhibition du développement larvaire ;
- la dégénération des érythrocytes ;
- un abaissement du taux respiratoire.

II.3.2. Impacts de salinité :

a. Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur:

La concentration élevée de salinité entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le processus de photosynthèse. L'effluent de saumure contient des substances dissoutes concentrées provenant de l'eau de mer, son poids spécifique élevé lui fait couler au fond de mer et empêchera son mélange, de ce fait créant un désert de sel à proximité du canal de décharge, [74].

b. Sur les organismes marins :

- *Plancton* : une augmentation de la salinité du milieu du plancton peut réduire leur production jusqu'à leur extinction (principalement aux niveaux des larves et de jeunes individus).

La susceptibilité des invertébrés varie, principalement chez les crustacées, mais en générale, ceux avec l'estomac long sont plus sensibles à une élévation de salinité que ceux avec courte.

Les larves crustacées et invertébrées flottant dans la colonne d'eau sont également plus sensibles aux variations de niveaux de salinité que les individus entièrement développés, [75].

Certaines espèces ; principalement les diatomées, sont résistantes aux niveaux élevés de salinité, mais la plupart ne survivront pas longtemps, [52].

- *Poisson* : la susceptibilité à l'élévation de salinité varie de l'espèce à l'espèce d'un endroit à l'autre, et apparemment, aucun travail ou recherche n'ont été effectués pour examiner systématiquement la résistance des diverses espèces trouvées dans le secteur méditerranéen ou du Golf.

II.3.3 Impact des additifs :

A) Biocides : L'application de biocides dont le plus généralement utilisé sont le chlore, sous forme gazeux ou liquide, ou l'hypochlorite et ses dérivées, permettant de contrôler les taches biologiques et aussi, pour maintenir la performance des condensateurs et du système du circuit fermé de l'eau de refroidissement, mais cependant, pose d'autres problèmes en raison de leur toxicité en ce qui concerne toute vie animale ou végétale dans l'environnement marin.

En effet, ces biocides tuent facilement les organismes non ciblés tels que le phytoplancton, le meroplancton, le holozooplancton et l'ichthyoplancton. Ainsi les organismes marins peuvent être menacés par la capacité de biocide qui forme des composés organiques résiduels toxiques, tels que les chloramines ou par ces composants résiduels toxiques qui se trouve en abondance dans l'environnement marin lorsque les bromines seront libérées. Ces derniers sont cancérogènes et mutagènes.

La figure III.5 montre le diagramme de l'exposition au chlore illustrant les seuils de toxicité aiguë et subaiguë des organismes marins, [76].

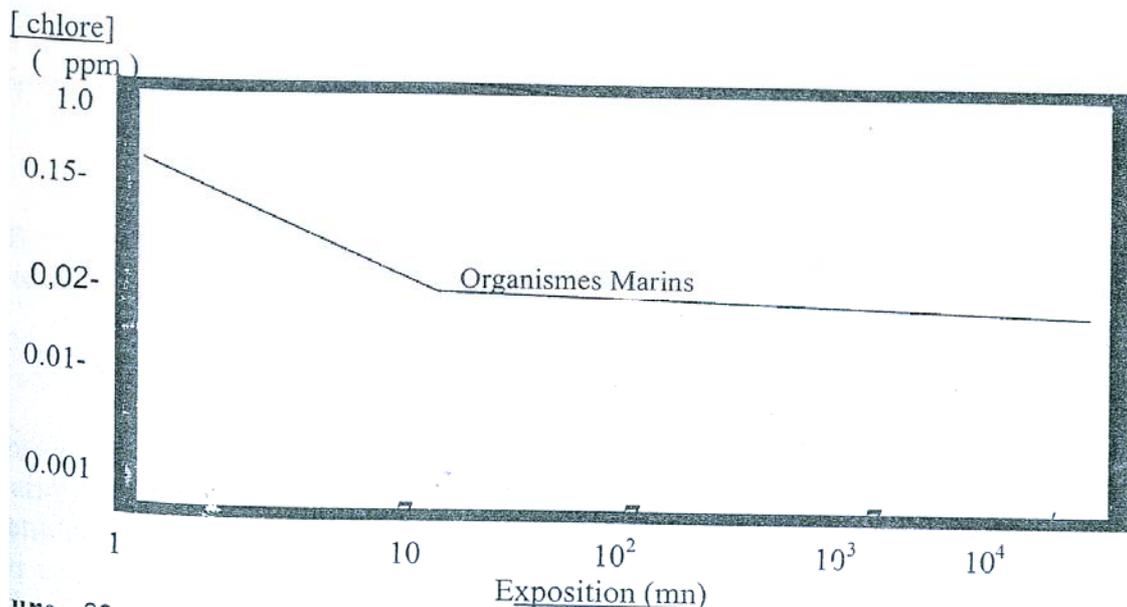


Figure III.5 : diagramme de toxicité du chlore sur les organismes marins, [74].

L'injection de biocides aux concentrations supérieures à 0.01 mg/l implique une diminution de la photosynthèse du phytoplancton marin et un effet mortel sur le zooplancton et les formes larvaires et post-larvaires des invertébrés et des poissons. On observe en même temps le chlore et les effets synergiques de la température avec du chlore libre et combiné.

La tolérance de l'ichthyoplancton au chlore paraît être en relation avec l'âge. Chez certaines espèces, les œufs nouvellement formés sont moins tolérants que les plus vieux, mais les nouvelles larves sont plus tolérantes que les vieilles.

Le chlore attaque les bronches de poissons entraînant une oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine avec mort de l'organisme par asphyxie. L'épithélium bronchiale tend à se gangrener, [77].

B) Les détartrants : ceux sont des macronutriments qui accroissent la production primaire et risquent de produire des phénomènes d'eutrophisation entraînant des détériorations dramatiques sur les conditions opératoires de l'unité de dessalement tels que l'accroissement des espèces biofouling, une demande plus accrue en biocides, une augmentation de teneur en matières organiques, des problèmes au niveau des filtres.

En raison de leurs inconvénients, ces dernières années la préférence est pour un polymère d'acide maléique ou l'acide polyacrilique qui influencent la solubilité du métal et sa dispersion et forment des produits complexés de Ca, Mg et de Fe, [78].

Leur persistance : durée de demi-vie est d'environ un mois.

Aucune étude en dehors de celle du producteur n'a été entreprise pour vérifier leur toxicité.

C) Agents antimousse :

Ce sont les détergents dont la concentration injectée est en fonction de la qualité de l'eau de mer. Ils perturbent le système intracellulaire de la membrane des organismes.

D) Agents anticorrosifs :

Leurs effets ne sont pas connus.

E) Le sulfite de sodium :

Il permet d'éliminer les traces d'oxygène régulièrement après le processus de désaération de l'eau qui peut pénétrer par des évasions. La toxicité résiduelle de ce produit n'est pas connue.

F) Acide sulfurique :

L'addition de cet acide permet de réduire au minimum la salissure et de diminuer le pH afin d'éviter une partie de carbonate dissous, au début, et puis augmenter le pH après la précipitation de carbonates et élimination du CO₂ résiduelle. La solution acide est alors déchargée en mer posant des dommages en combinaison avec les propriétés chimiques de l'eau sur les organismes marins.

II.3.4 Les produits de la corrosion :

Sont rejetés par les unités de dessalement et peuvent constituer une menace pour les organismes d'estuaire en raison de leur toxicité, [79 , 80]. Nous avons :

A) .Les traces de métaux :

Telles que le Ni, Mo, Fe, Cr, Zn, provenant de la dissolution de la tuyauterie et du système de condensateur de refroidissement et autres dépendants des alliages présents dans la ligne du process.

Un montant considérable de rejets de métaux lourds s'accumule au niveau des sédiments qui serviront comme réservoirs.

Le biote d'estuaires joue aussi un rôle dans l'absorption et la redistribution de ses métaux.

Ses métaux lourds agissent comme inhibiteur d'enzymes et peuvent entraîner la perte d'un nombre élevé d'organismes sensibles. Ils s'accumulent au niveau de la structure squelettique, des masses solidifiées ou des matrices intracellulaires de l'organisme et sont rejetés dans les fèces, les œufs et des produits de mues.

Ces métaux provoquent des stressés au niveau des communautés aquatiques et leurs effets seront plus marqués au niveau des habitats benthiques soumis à un enrichissement plus élevé de métaux trace.

B) Le cuivre :

Les concentrations trouvées au niveau des effluents sont plus de 200 fois supérieures à la concentration naturelle de l'eau de mer.

A faible concentration, le phytoplancton utilise cet élément comme essentiel et pour activer le système enzymatique qui catalyse les étapes majeures de la glycolyse, du cycle d'acide tricarboxylique, de la photosynthèse et du métabolisme protéinique.

Le zooplancton facilite son déplacement par consolidation dans les matières fécales qui se précipitent au fond de la mer et qui seront distribuées après grâce aux activités biofouisseuses du benthos. Toute la chaîne alimentaire accumule le cuivre, les poissons au niveau de leurs tissus.

A forte concentration, le Cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces sensibles.

Pour le phytoplancton, le Cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate.

Au niveau des poissons d'estuaire, des changements apparaissent dans la physiologie de l'organisme, la reproduction et le développement. L'exposition continue des organismes à des niveaux élevés produit souvent des réponses pathologiques défavorables comme

l'inflammation ou la dégénération des tissus, l'absence de repaire et de la régénération des tissus, la formation de néoplasmes et des dérangements génétiques.

C) Le Fer :

Le Fer est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse.

III. Techniques de minimiser les impacts négatifs du dessalement sur l'environnement :

Le rôle de l'eau et de la puissance des centres de recherches dans les pays Arabes, spécialement dans les pays du Golf, est très important pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement. C'est un grand défi sur l'utilisation des techniques du dessalement avec un minimum d'impact sur la qualité de l'eau et l'environnement.

Une étude complète d'évaluation d'impact sur l'environnement devrait être effectuée avant de construire une nouvelle usine de dessalement ou prolonger la capacité d'existence pour limiter l'impact négatif de l'usine.

L'eau et la puissance du centre de recherche à Abu-Dhabi et les autorités électriques ont installé des procédures à suivre sur la faisabilité d'étude des impacts du dessalement sur l'environnement et la capacité de construction des usines de dessalement. Ces procédures sont comme suit :

1) Collecte de données de ligne de base :

Les mesures sur le terrain devraient se composer de la qualité hydrodynamique de l'eau et des mesures biologiques comme suivent :

- Mesures hydrodynamiques sur le terrain : ces mesures devraient être effectuées à proximité de l'usine et devraient inclure les niveaux d'eau, les vitesses et directions d'écoulement, ainsi que la décharge. Les mesures hydrodynamiques seront employées en comprenant le modèle d'écoulement à proximité de l'usine et dans le calibrage du modèle hydrodynamique du secteur.
- Mesures de la qualité d'eau : les mesures de la qualité d'eau devraient être effectuées pour évaluer la concentration qui influx sur la qualité d'eau et les espèces aquatiques. Les substances incluent le chlore résiduel, l'oxygène dissous, la température ambiante et la salinité d'eau de mer, pH et ammoniacque. Les mesures seront employées pour évaluer la qualité de l'eau.

- Enquête biologique : un aperçu biologique devrait être effectué à proximité de l'usine pour évaluer l'écosystème dans le secteur. Une grille séparée de prélèvement devrait être construite à proximité de l'usine et être examinée par l'écologiste. Les données doivent fournir une description détaillée des habitats locaux et les espèces vivantes.

Pour l'écosystème, les photos de la grille doivent être prises par les plongeurs sous-marins. La valeur d'étude de l'écosystème dans le secteur peut être évaluée par l'écologiste en basant sur la conclusion de l'aperçu.

2) Développer le modèle hydrodynamique numérique d'écoulement :

Les vitesses et modèles d'écoulement sont un mécanisme principal de transfert et de dispersion de la décharge des effluents.

Un modèle numérique simule le modèle d'écoulement à proximité de l'usine, et, la configuration de la prise d'eau et la décharge de l'usine doit être développée et calibrée avec des mesures sur le terrain. Dans le Golf Arabe le moteur de la force hydrodynamique dans l'océan est la marée. Le modèle reproduira le type d'écoulement qui sera utilisé comme entrée pour le modèle de la qualité d'eau.

3) développer le modèle numérique de la qualité d'eau :

Un modèle numérique de la qualité d'eau doit être développé. Le but est de simuler la qualité des eaux autour de l'usine, qui est influencé par la décharge des usines de dessalement. La diffusion et la dispersion des substances déchargées dans l'eau de mer du modèle seront simulées. Le type d'écoulement du modèle hydrodynamique sera utilisé comme entrée pour le modèle de la qualité d'eau car il est le principal mécanisme du transport des substances. Le modèle de calibrage (d'étalonnage) sera effectué avec des mesures de la qualité d'eau.

4) évaluation des résultats de la qualité de l'eau :

Le modèle des résultats de la qualité d'eau doit être évalué contre les normes de la qualité d'eau. Si le modèle des substances n'obéit pas les normes de la qualité d'eau et peut affecter la vie marine, la configuration de la prise d'eau et la décharge de l'usine doivent être modifiées (c-à-d en utilisant la canalisation au lieu du canal ouvert) dans le modèle hydrodynamique et répéter les calculs du modèle de la qualité d'eau jusqu'au modèle des substances répondent aux exigences.

5) procédure d'évaluation des organismes de l'eau :

L'effet du changement de la qualité d'eau dû à la décharge doit être évalué contre la nature des espèces de l'eau de mer à proximité de l'usine.

Le rendement des concentrations, des substances modelées, obtenus du modèle de la qualité d'eau doit être comparé aux seuils d'espèce.

Si l'étude prouve que la décharge de l'usine compromettre l'environnement, les mesures doivent être prise pour réduire au minimum cet effet, comme par exemple de changer les configuration proposées de la prise d'eau et la décharge des structures pour redistribuer les substances dans l'effluent d'une manière de réduire leurs concentrations.

Les structures hydrauliques peuvent être conçues et étudiées pour guider le type et vitesse d'écoulement pour commander la diffusion et la dispersion des effluents. Ceci peut être aussi une solution pour réduire au minimum l'impact négatif des effluents sur l'environnement, **[81]**.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV. 1. Etude de la propagation de la saumure sur station pilote :

La saumure est un rejet du processus de dessalement. Elle se compose d'un cours d'eau avec une teneur élevée en sel. Dans le cas du dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, la teneur en sel de saumure est de double ou presque du triple par rapport à l'eau de mer. Par contre, dans le cas du processus thermique elle est approximativement de 10% plus que l'eau de mer. Ce courant d'eau contient également des produits chimiques de nettoyage de membrane et d'autres utilisés contre l'entartrage et pour le contrôle de la corrosion.

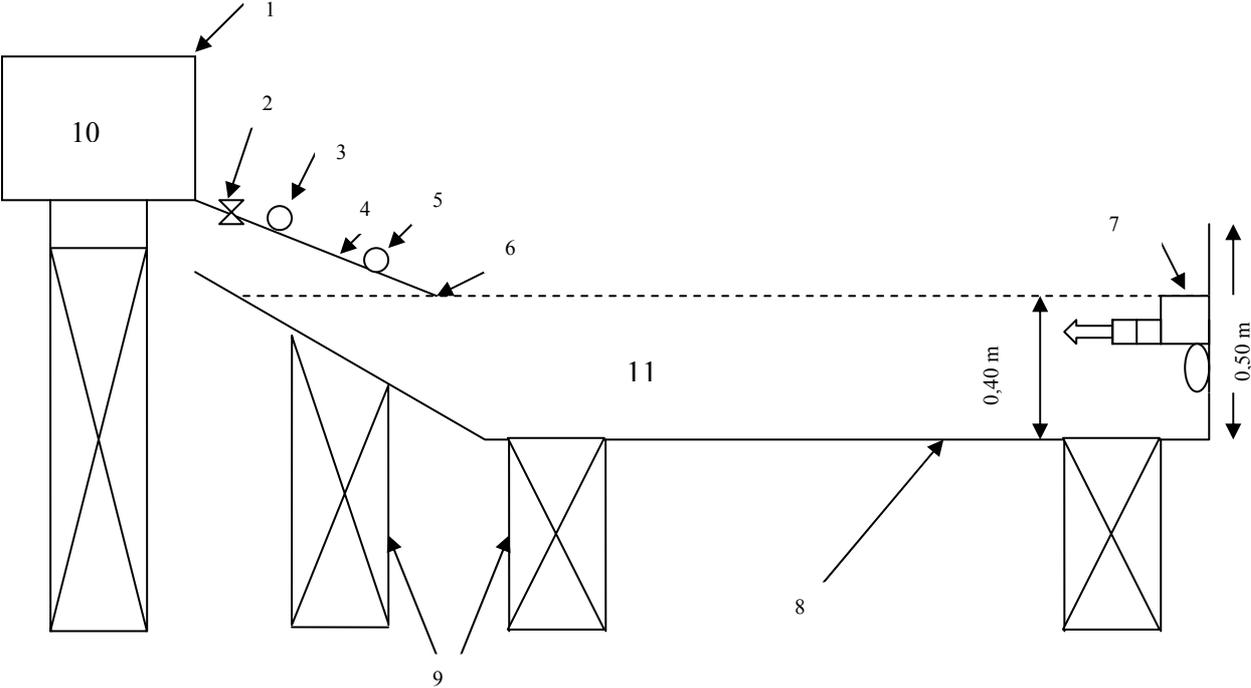
Dans notre recherche, nous avons étudié essentiellement la dispersion ou propagation de la saumure dans l'eau de mer et son effet sur la faune et la flore aquatique.

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé un pilote constitué d'un bassin d'eau de mer et un réservoir de saumure (**voir figure IV.1**)

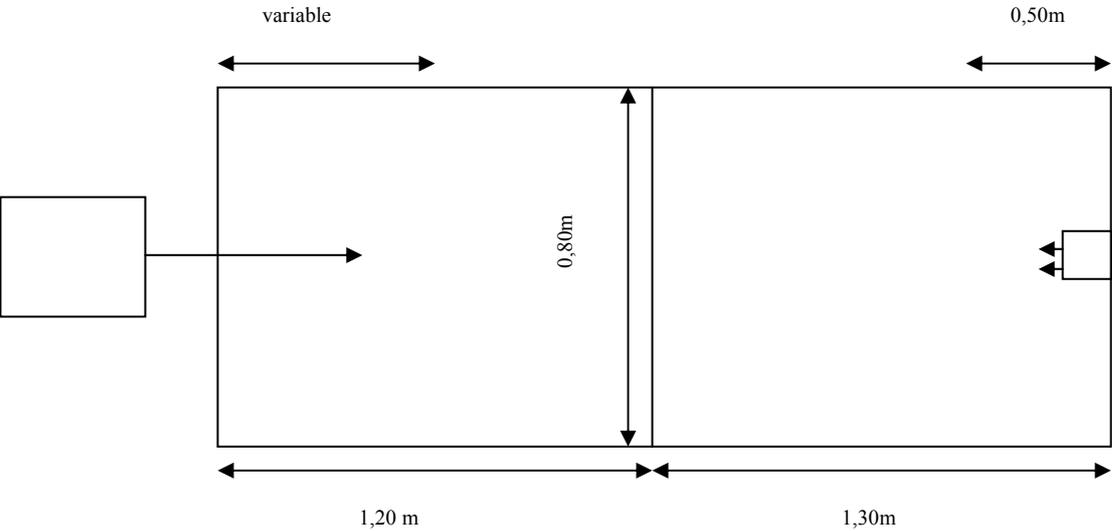
IV. 2. Matériels utilisés :

Nous avons utilisé dans cette étude le matériel suivant :

- Un réservoir gradué de saumure et un bassin d'eau de mer ; pour suivre la propagation de saumure dans l'eau de mer.



VUE DE FACE



VUE EN PLAN

Figure IV.1 : schéma du bassin et ces accessoires

Légende :

- 1- Réservoir gradué de saumure (volume = 10 litres)
- 2- Vanne de réglage du débit de rejet
- 3- Débitmètre pour mesurer le débit de rejet
- 4- Conduite de rejet en verre ou en plastique (PVC) de diamètre $d= 5\text{mm}$
- 5- Manomètre pour mesurer la pression de rejet
- 6- Position du point de rejet (variable)
- 7- Point de ventilation
- 8- Bassin gradué et transparent de l'eau de mer (volume = 760 litres en verre)
- 9- Supports métalliques
- 10- Saumure
- 11- Eau de mer

- Un conductivimètre électrique ; pour mesurer la salinité d'eau de mer et de la saumure.



Figure IV.2 : conductivimètre électrique

- Un générateur de vague artificiel ; pour le système de ventilation.

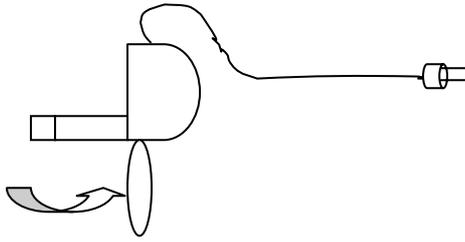


Figure IV.3 : générateur de vague

- Pipettes et béchers ; pour le prélèvement des échantillons d'eau de mer .

IV. 3. Méthode d'analyse :

IV.3.1/ Préparation de la saumure et de l'eau de mer :

- ❖ **Composition chimique de la saumure concentrée par rapport à celle de l'eau de mer :**

Tableau IV.1 : caractéristiques principales de l'eau de mer et du rejet de la station de Corso:

Type d'eau paramètres	Eau de mer	Rejet (saumure)
Conductivité (ms/cm)	47	73.5
Salinité (g/l)	32	60
Turbidité (NTU)	1,14	2,03
pH	7.61	7.31
T (°C)	20	20
[Ca ²⁺] (g/l)	0,449	0,841
[Mg ²⁺] (g/l)	0,998	2,013
Chlorure (g/l)	14,200	22,412
Sulfates (g/l)	3,700	2,573
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	13	28

Pour faire une similitude de la propagation de la saumure sur l'eau de mer de la station de Corso avec celle étudiée au laboratoire sur le bassin, nous avons préparé artificiellement, une saumure de salinité égale à 60 g/l. Par contre, un échantillon d'eau de mer de salinité égale à 32 g/l (à température constante = 15° C).

Pour cela nous avons maintenue un débit et une pression du rejet de saumure constants

➤ **Conditions opératoires :**

- ✓ Débit de rejet $Q_R = 0,15$ l/min.
- ✓ Pression du rejet à une position (P_1 et P_2) = 0,07 bar
- ✓ pression du rejet à une position (P_3) = 0.1 bar

➤ Les volumes préparés :

$$V_{\text{saumure}} = 10 \text{ litres}$$

$$V_{\text{eau de mer}} = 300 \text{ litres}$$

IV.3.2/ préparation du dispositif expérimental et mode opératoire :

- 1- préparation du matériel (dispositif expérimental)
- 2- mise de la saumure et de l'eau de mer successivement dans le réservoir et dans le bassin.
- 3- Mise en service du système de ventilation pour une vitesse constante, qui correspond à une hauteur d'onde constante.
- 4- Ouverture de la vanne (2) pour un débit constant.
- 5- Suivre dans le temps et dans l'espace, dont :
 - Pour différentes positions du point de rejet (6), on mesure :
 - L'évolution de la salinité dans le bassin, en fonction du temps et dans les trois directions (x,y,z) ; salinité (t,x,y,z)

X : distance parcourue de la salinité horizontalement à P₁, P₂, P₃

Y : distance parcourue de la salinité verticalement à P₁, P₂, P₃ .

Z : distance parcourue de la salinité en profondeur à P₁, P₂, P₃.

IV.3.3/ Situation des points de rejets :

- P₁ : point de rejet sur la côte et au centre du bassin.



Figure IV.4 : schéma du bassin à P₁ (position du point de rejet)

- P₂ : point de rejet au milieu du bassin et en surface.

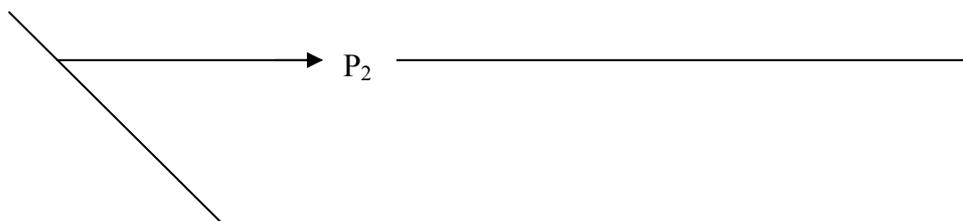


Figure IV.5 : schéma du bassin à P₂ (position du point de rejet)

- P_3 : point de rejet au fond du bassin.

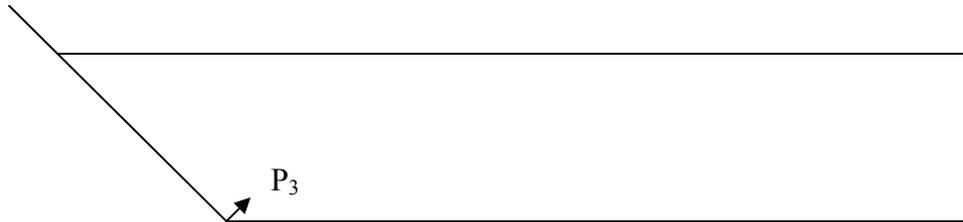


Figure IV.6 : schéma du bassin à P_3 (position du point de rejet)

Tableau IV.2 : récapitulation de situation des points de rejets

positions	Prélèvement sur l'axe z (profondeur)	ventilation
P_1	- en surface. - à 10cm - à 20cm	-
	- en surface. - à 10cm - à 20cm	+
P_2	- à 20cm	-
	- en surface. - à 20cm	+
P_3	- à 20cm	-
	- en surface. - à 20cm	+

(-) Sans ventilation (eau stable)

(+)..... Avec ventilation (eau de mer en mouvement) .

Chapitre V

Résultats et interprétations

V.1/ PROPAGATION DE LA SAUMURE SUR L'EAU DE MER EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DU BASSIN:

Introduction :

La surveillance de l'évolution de salinité sur l'eau de mer a été faite à trois profondeurs : en surface (profondeur=0), peu profond (à 10 cm), en profondeur (à 20 cm).

A chaque profondeur, nous avons mesuré la salinité de l'eau de mer horizontalement (distance sur l'axe (x)) et verticalement (distance sur l'axe (y)).

Les mesures de la salinité ont été effectuées à un temps $t = 20 \text{ min}$, et ceux, lorsque l'eau de mer est stable, et par la suite, des mesures de la salinité – avec les mêmes conditions opératoires- lorsque l'eau de mer est en mouvement.

V.1.1 EAU DE MER STABLE : avec un temps $t = 20 \text{ min}$

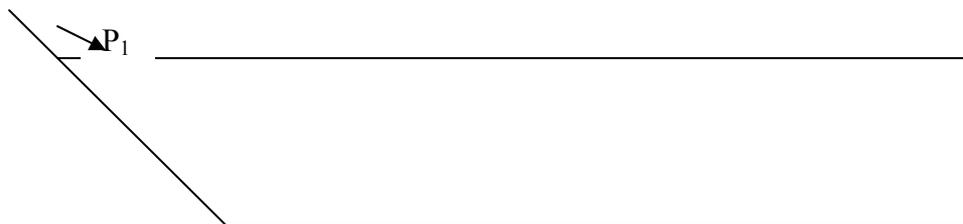


Schéma V-1-1 : schéma du bassin d'eau de mer stable, avec un point de rejet situé à P₁

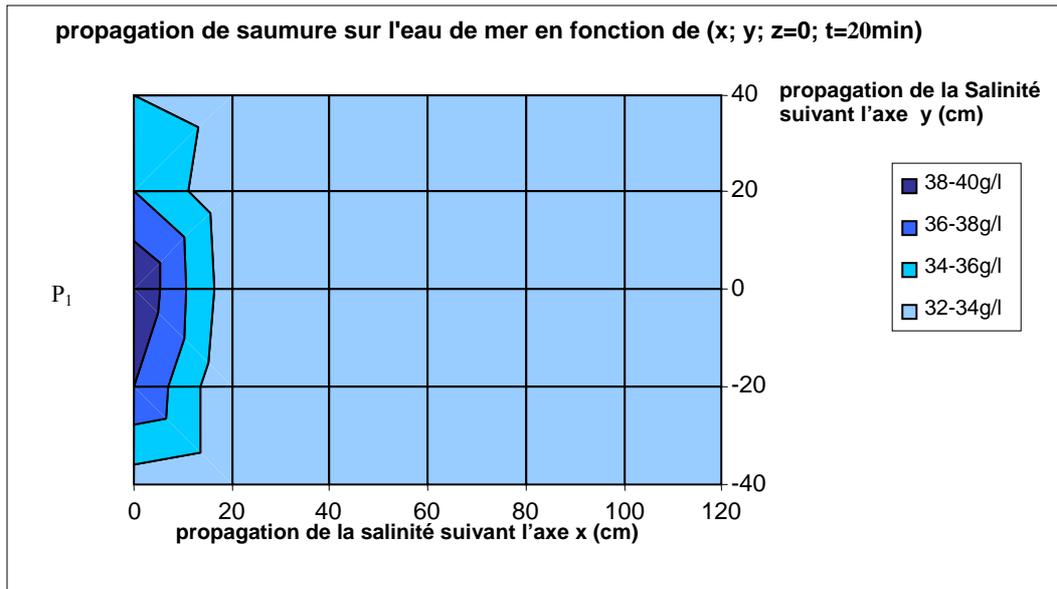


Figure V.1.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer stable

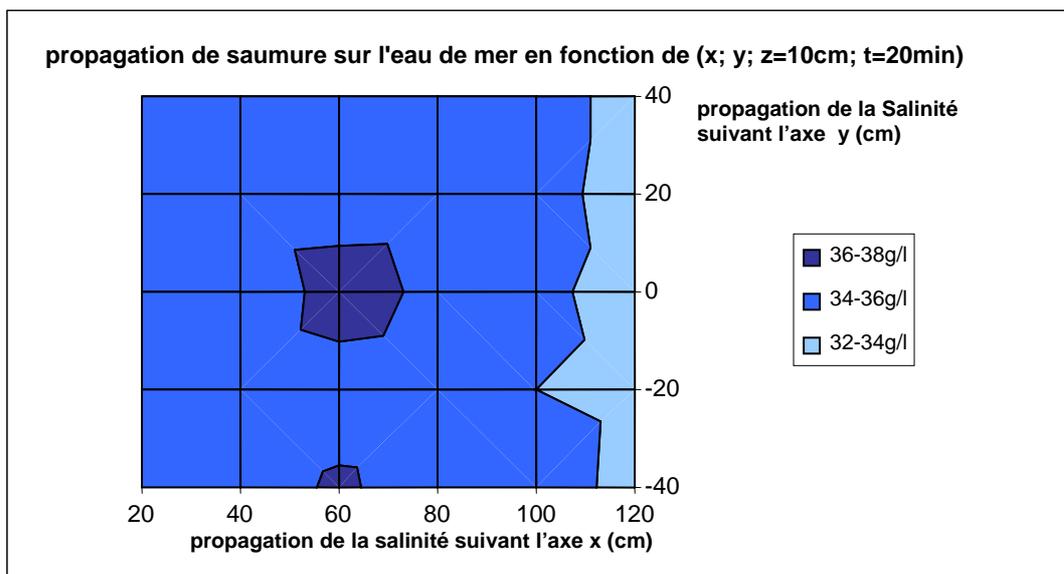


Figure V.1.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 10 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable.

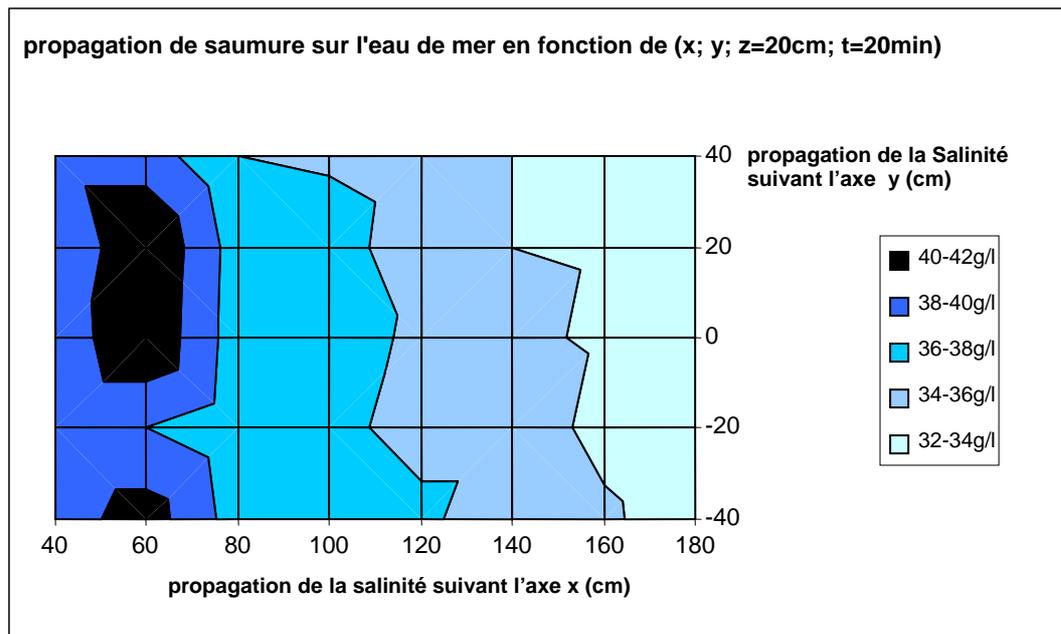


Figure V. 1.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable.

D'après les résultats illustrés dans les figures : **V.1.1 ; V.1.2 ; V.1.3** , nous remarquons qu'au point de décharge de saumure, la salinité est trop élevée. Elle diminue en surface de la mer à partir de 10 cm sur l'axe (x), ceci a été montré par les travaux de **J.J. Malfeito et al. (2005),[82]** dans le canal de Fantana de la station de dessalement à Javea en Espagne. Par contre, elle forme une plume au fond de la mer fortement saline où elle arrive à une concentration de 42g/l . Cela est dû à la différence de densité entre la mer et la saumure. Elle se prolonge à une distance de 120 cm. Donc elle provoque des dommages continus sur la faune et la flore aquatique, surtout aux habitants marins côtiers.

D'après les travaux de **Jacqueline L Dupavillon et al. (2009),[83]** les concentrations de saumure de 50 g/l ont un effet inhibiteur sur la croissance et le développement des embryons d'apama de Sepia, ainsi sur les bactéries microscopiques ou les mycètes pathogènes.

V.1.2. EAU DE MER AVEC VENTILATION : avec un temps $t = 20 \text{ min}$

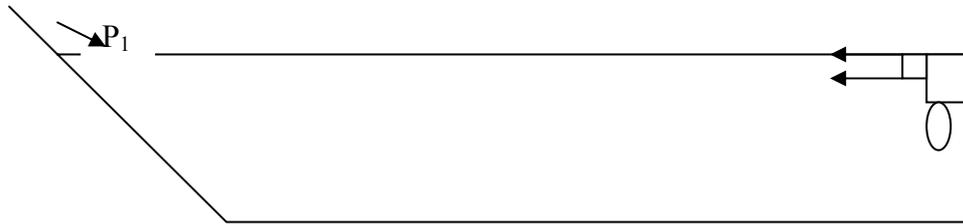


Schéma V-1-2 : schéma du bassin d'eau de mer en mouvement, avec un point de rejet situé à P_1

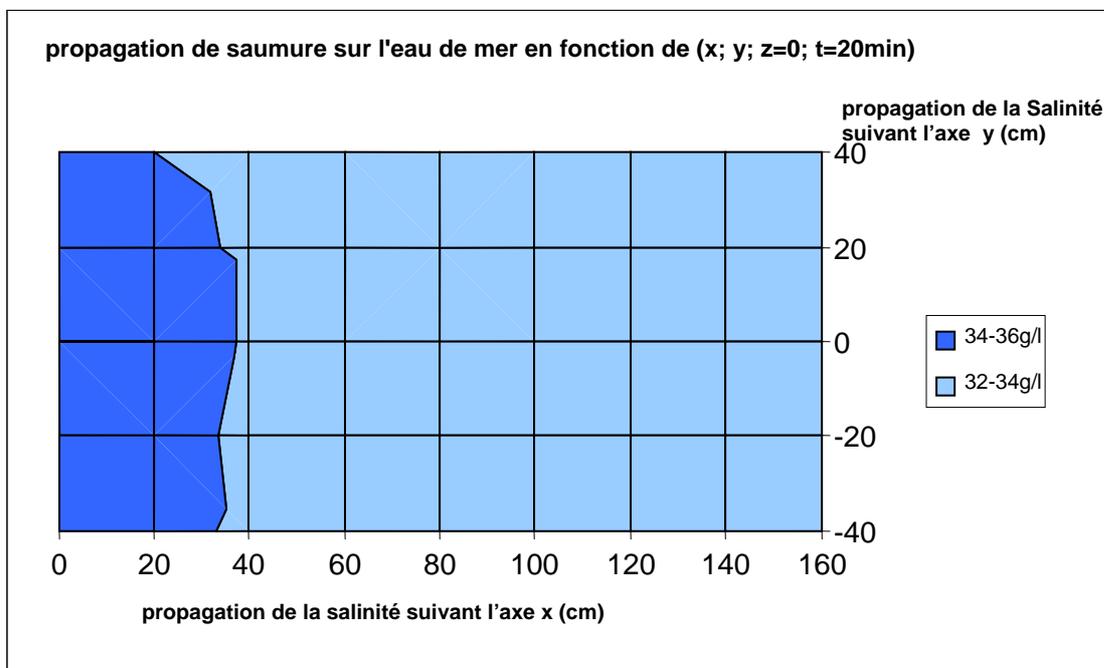


Figure V.1.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P_1 , avec une eau de mer en mouvement.

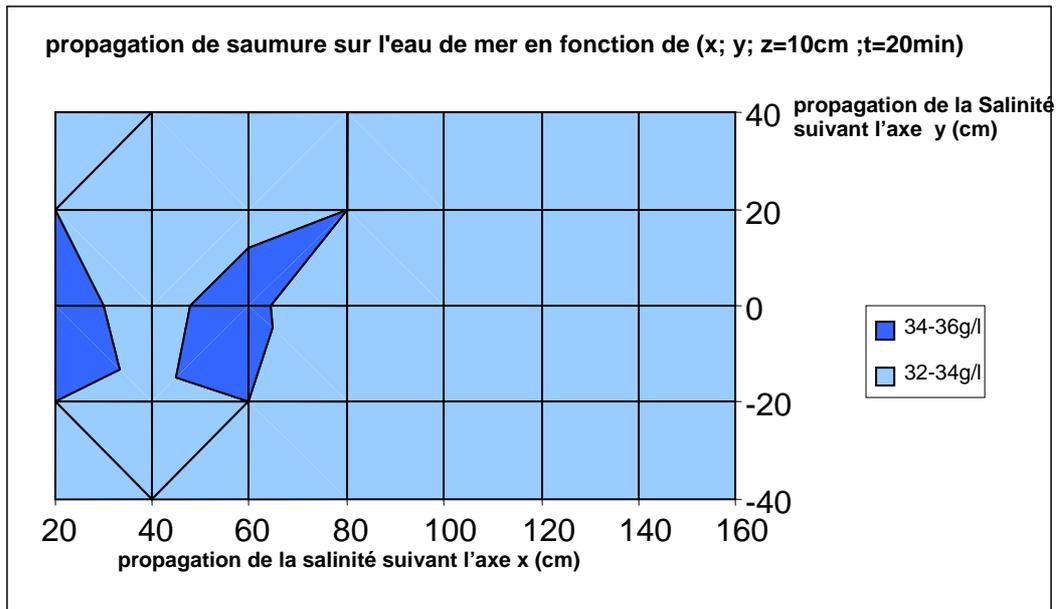


Figure V.1.5 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 10 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement.

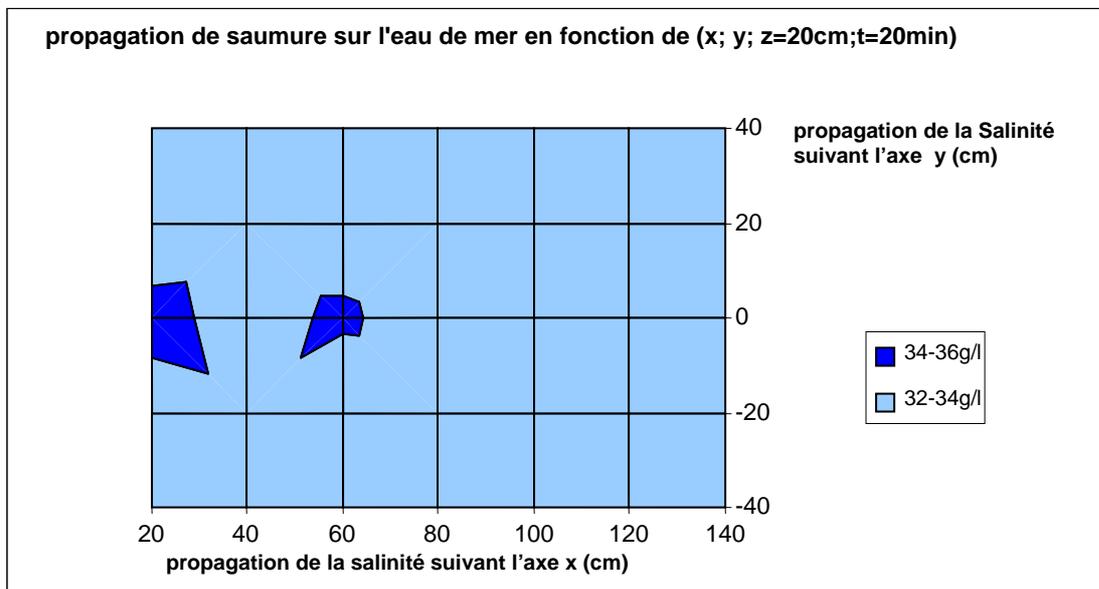


Figure V.1.6 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement.

On remarque d'après les résultats obtenus illustrés dans les figures : **V.1.4** ; **V.1.5** ; **V.1.6** que la saumure se concentre au point de décharge, avec une homogénéité de salinité sur tout le long du bassin à la surface et en profondeur, car la saumure est emportée par les courants marins.

Sur les figures **V.1.5** et **V.1.6**, on constate que la salinité augmente jusqu'à 36 g/l à une distance de 60cm (obstacle) horizontalement, cela peut s'expliquer que le courant marin n'arrive pas à celle-ci. Donc, on aura un impact négatif de la faune et la flore au niveau des roches sous marin.

V.2/ PROPAGATION DE LA SAUMURE SUR L'EAU DE MER EN FONCTION DU TEMPS :

Introduction :

La surveillance de l'évolution de salinité sur l'eau de mer se fait en fonction du temps c-à-d : chaque 5 minute on prélève les échantillons d'eau de mer horizontalement et verticalement et à une profondeur (z) de 20cm en absence de ventilation, et à deux profondeurs (z) (à la surface et à 20cm, respectivement) avec ventilation.

V.2.1. EAU DE MER STABLE : prélèvements à une profondeur de 20cm

P₁ : position du point de rejet sur la côte



Schéma V.2.1 : schéma du bassin d'eau de mer stable à P₁

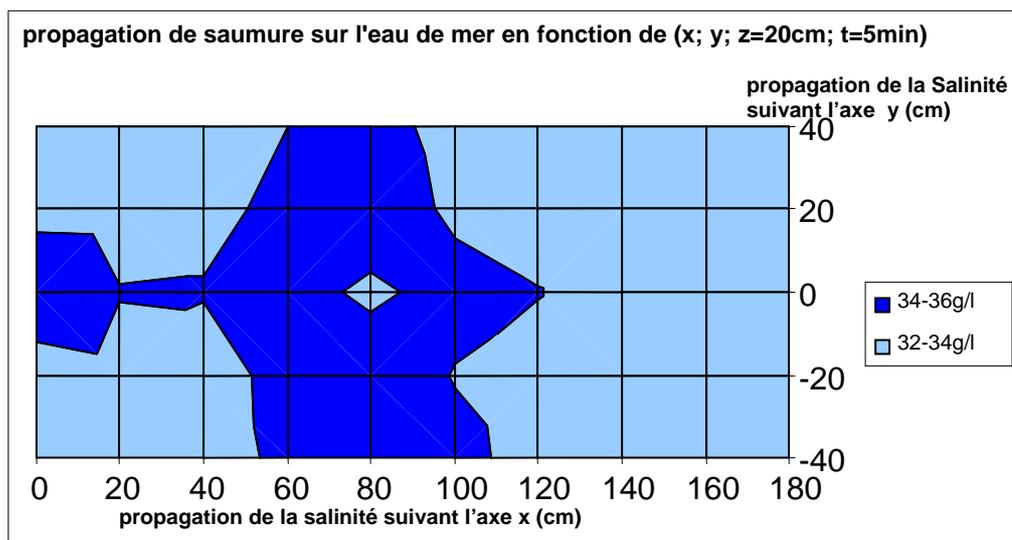


Figure V.2.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 5 min .

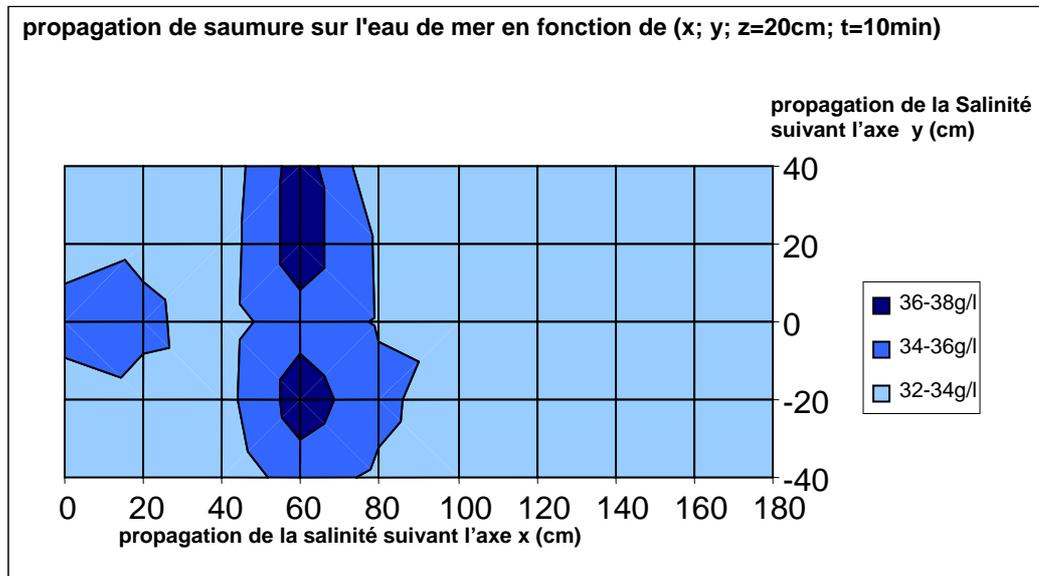


Figure V.2.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 10 min .

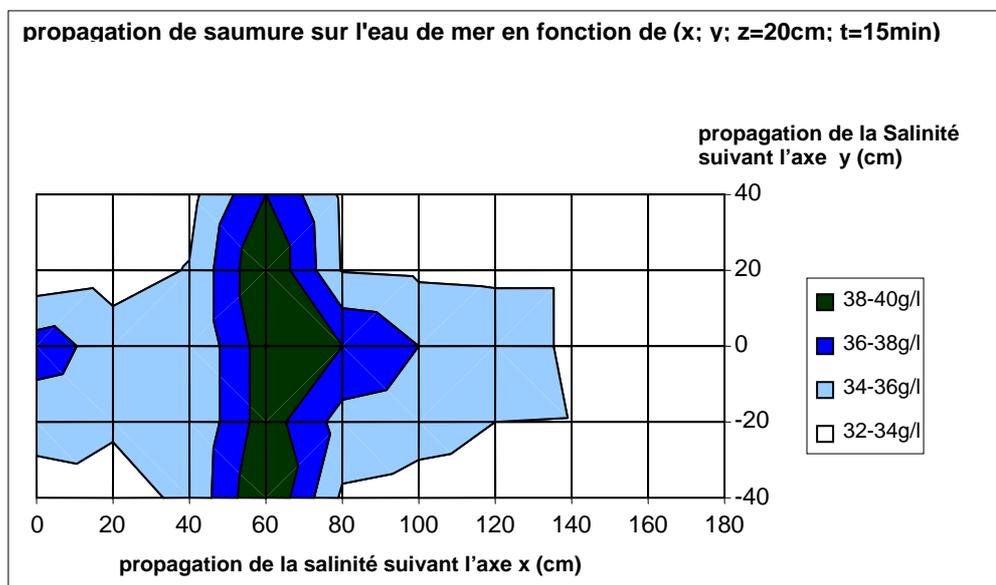


Figure V.2.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 15 min .

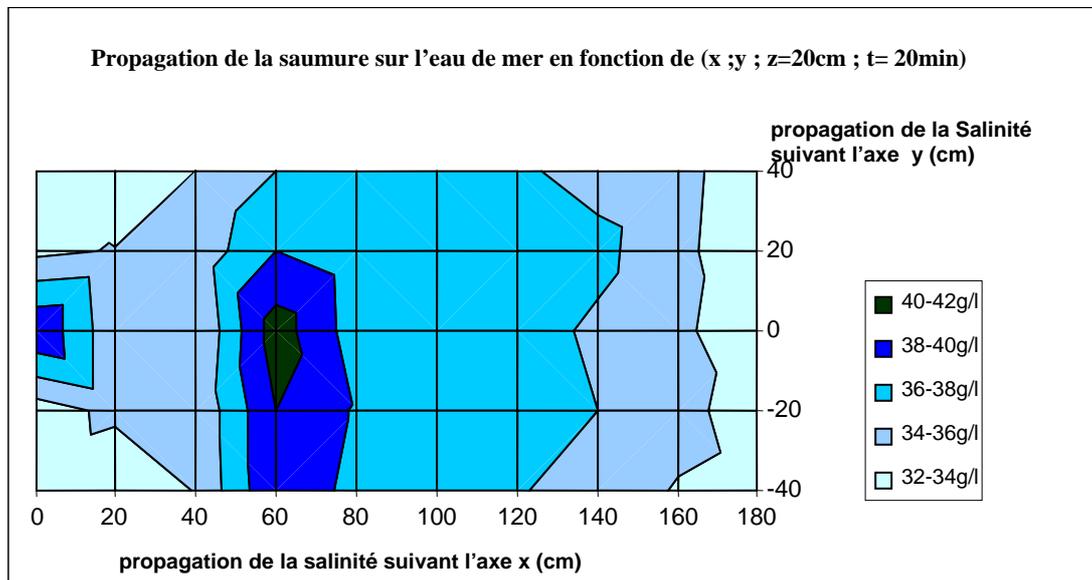


Figure V.2.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t = 20 min .

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.2.1** ; **V.2.2** ; **V.2.3** ; **V.2.4** une augmentation progressive de salinité dans le bassin en fonction du temps. En effet, la valeur de la salinité d'eau de mer enregistrée après 20 min de décharge de saumure atteint une valeur maximale égale à 42 g/l. Cela est dû à des obstacles situés au fond du bassin. Cette concentration élevée en sel peut affecter les habitants marins locaux. En effet, ces remarques ont été soulevées par les travaux de **Jacqueline L Dupavillon et al. (2009)**. [83]

P_2 : position du point de rejet 40 cm loin de la cote

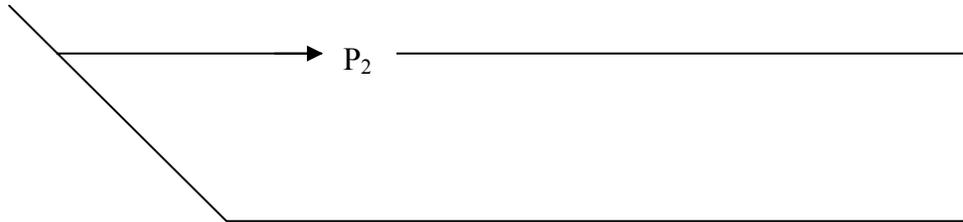


Schéma V.2.2 : schéma du bassin d'eau de mer stable à P_2

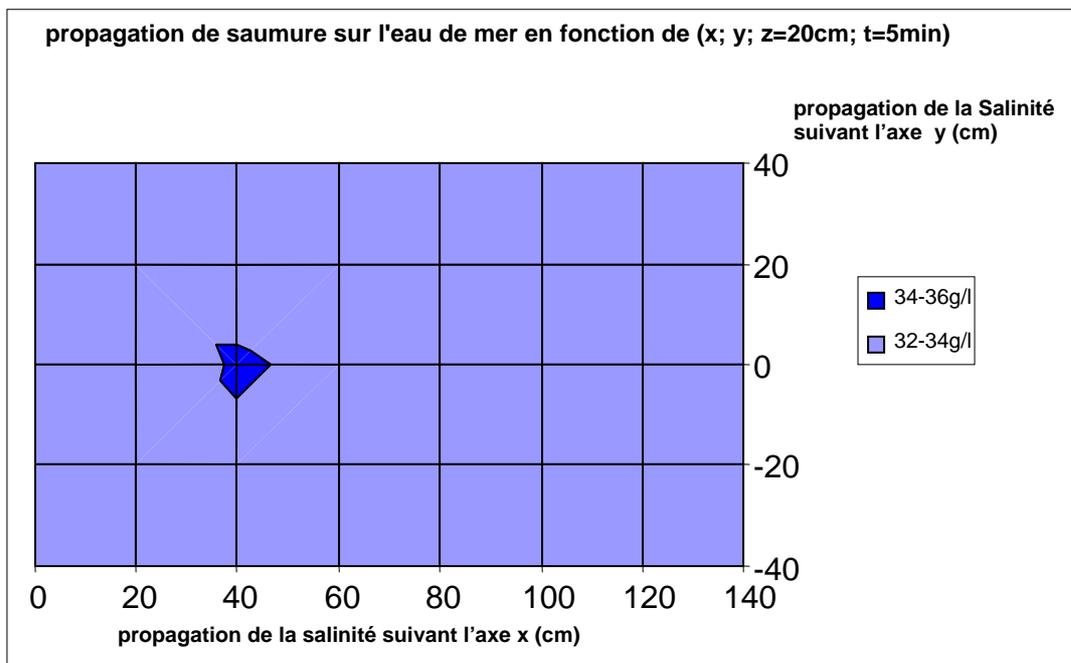


Figure V.2.5 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P_2 , avec une eau de mer stable, à un temps $t = 5$ min

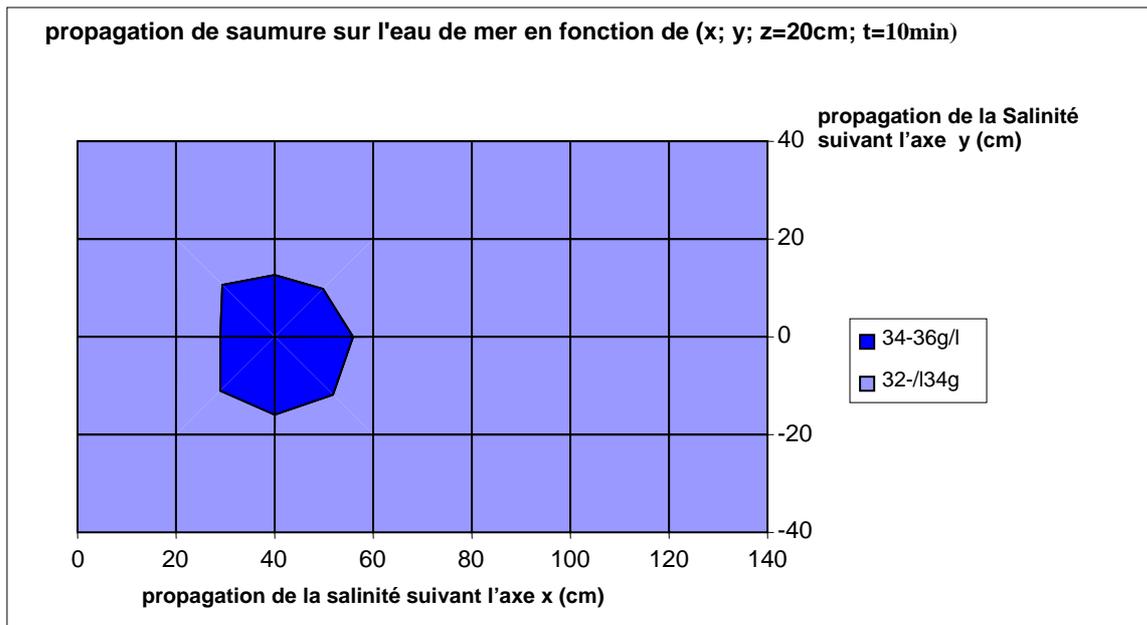


Figure V.2.6 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer stable, à un temps t =10 min

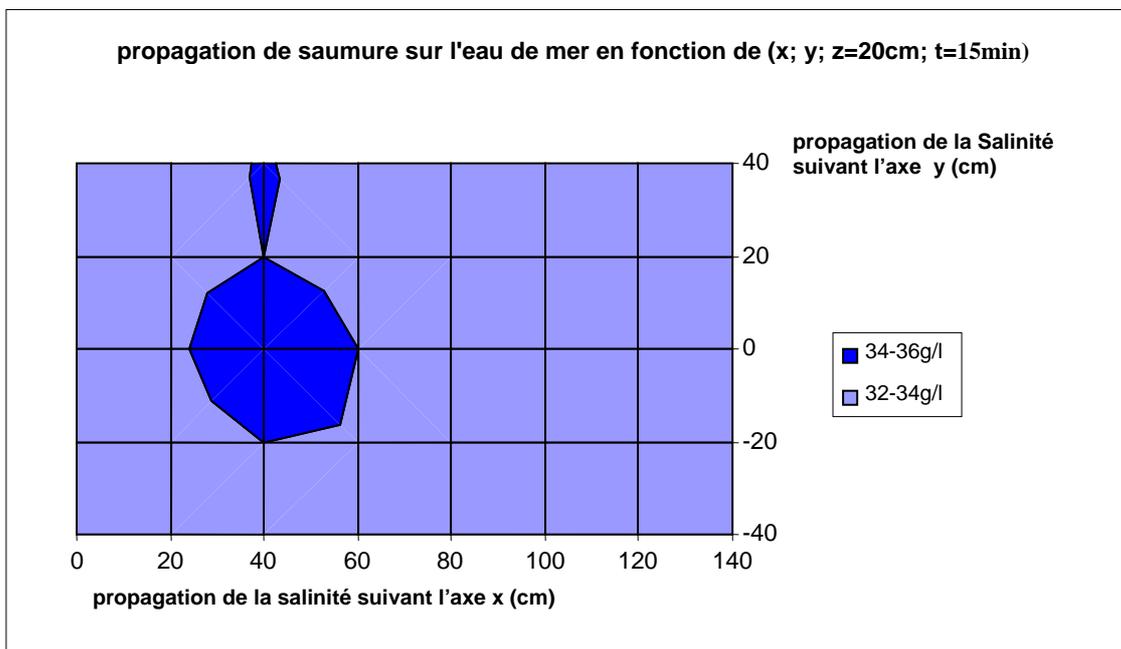


Figure V.2.7 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer stable, à un temps t =15 min

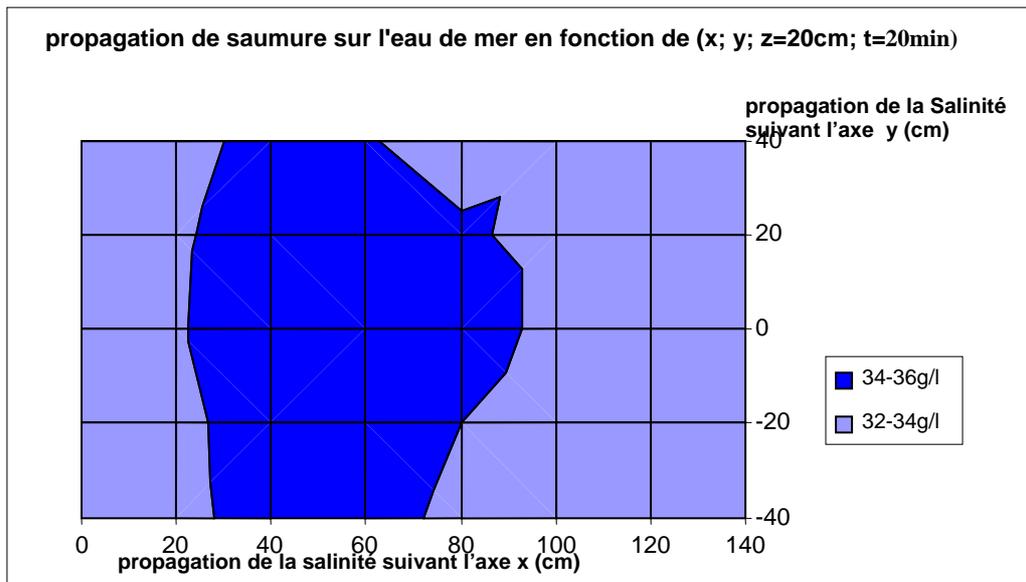


Figure V.2.8 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer stable, à un temps t=20 min

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : V.2.5 ; V.2.6 ; V.2.7 ; V.2.8 La concentration du sel est toujours élevée au point de décharge et se prolonge en fonction du temps. La saumure peut aller plus loin mais à de faibles concentrations. Cela est dû à la grande profondeur par rapport au point de décharge.

Selon les travaux de Villanueva, R et al. (2007) [84], des taux de croissance de céphalopodes sont affectés par cette faible concentration de salinité, d'où une faible salinité de saumure augmente la taille de statolith. Mais cause également les déformations des embryons. Cette remarque a été enlevé par les travaux de Paulij, W.P et al. (1990) . [85]

Selon R. Einav (2002) [17], où il a travaillé sur les mêmes conditions, aucun aperçu d'impact sur l'environnement n'a été observé dans la région de Malte (information personnel de Domovic Darko).

P₃ : position du point de rejet 40 cm loin de la cote, situé au fond du bassin

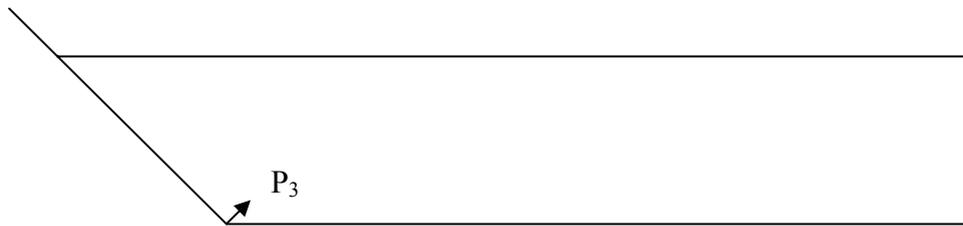


Schéma V.2.3 : schéma du bassin d'eau de mer stable à P_3

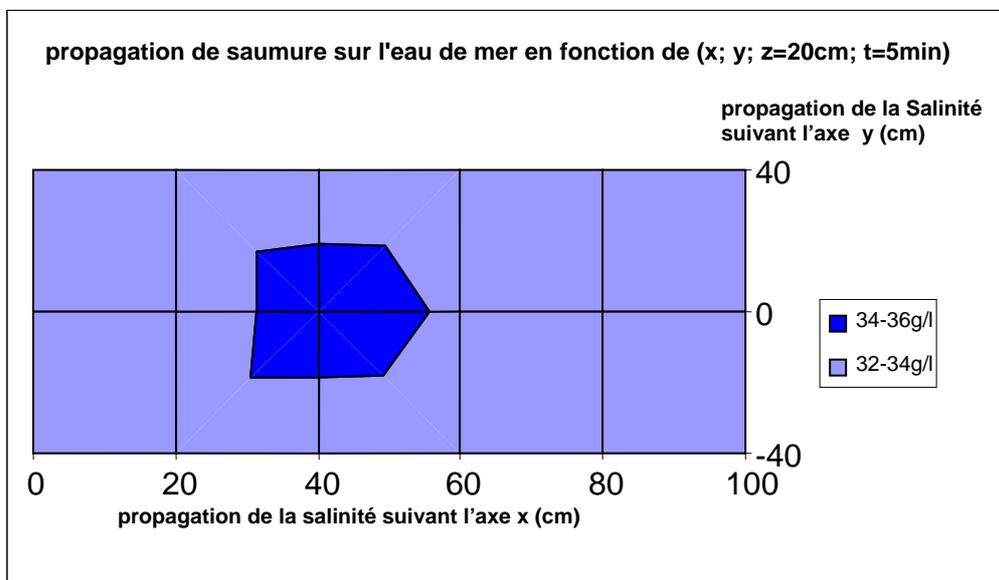


Figure V.2.9 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P_3 , avec une eau de mer stable, à un temps $t=5$ min .

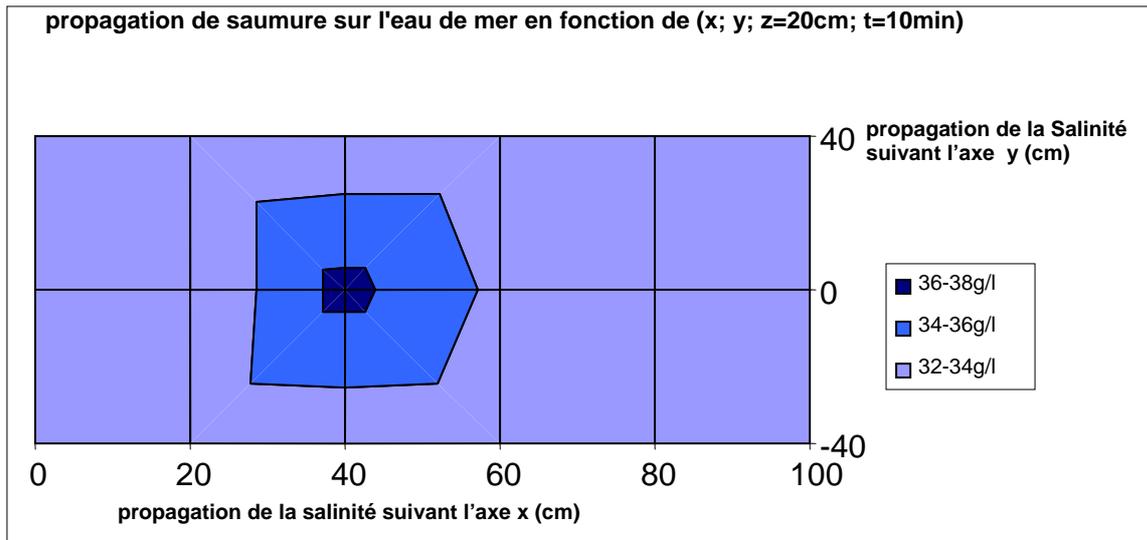


Figure V.2.10 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer stable, à un temps t=10 min

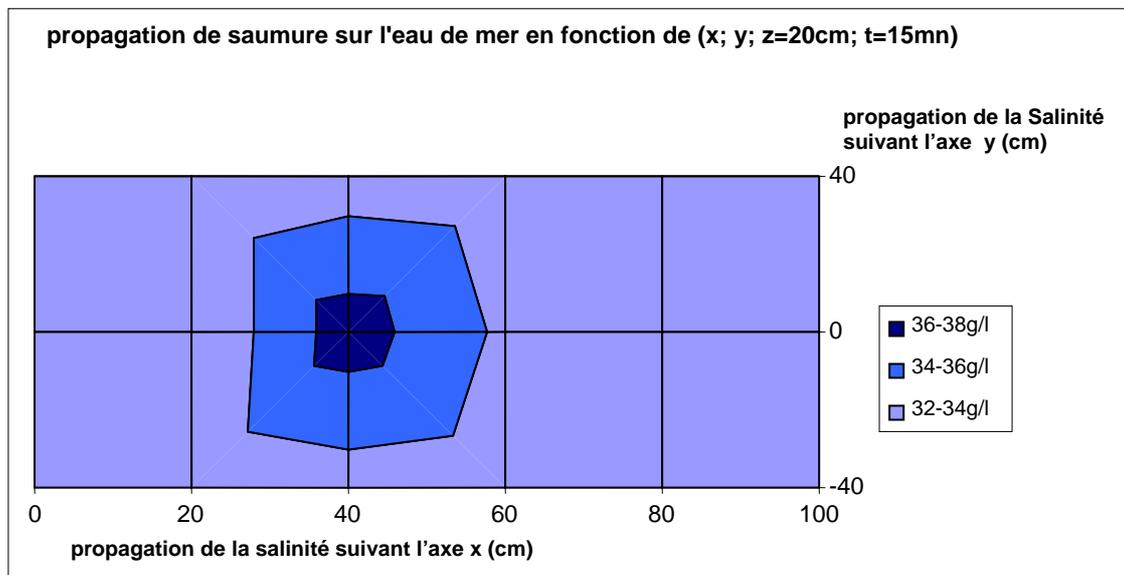


Figure V.2.11 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer stable, à un temps t=15 min

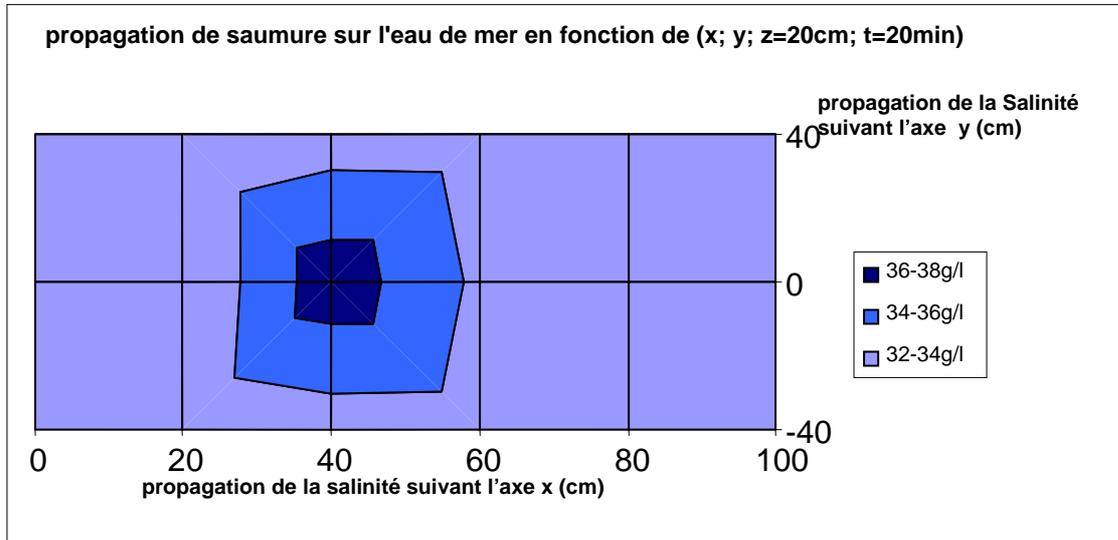


Figure V.2.12 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer stable, à un temps t=20 min

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.2.9** ; **V.2.10** ; **V.2.11** ; **V.2.12**, La concentration du sel est toujours élevée au point de décharge. Elle se propage faiblement en fonction du temps. Car la décharge du rejet de saumure forme un jet d'eau, dû à la pression $P' = 1,2 \text{ bar}$ ($P' > P$), et à l'inclinaison du point de décharge vers le haut à un angle de 30° . Ce qui correspond à une dilution rapide. En effet, ces remarques ont été soulevées par les travaux de **T.Bleninger et al. (2006)**. [66]

Selon les travaux de **R. Zimmerman, 1999**, [57] où il a travaillé sur les mêmes conditions, le jet de saumure se dispose sur une surface bien déterminé (selon le débit et la vitesse du jet). Le courant de densité du jet peut provoquer l'érosion au niveau du fond, cela implique la difficulté de stabiliser les prairies d'herbes et végétation aquatiques (études faites dans les îles Canaries – la région de Sardina Del Norte)

Les dépôts sableux enlevés par le phénomène de l'érosion peuvent se disposer sur les trous des roches, qui sont un habitat marin important à différents poissons et donc diminution de celle-ci et disparition de végétations et les benthos aquatiques.

V.2.2. EAU DE MER AVEC VENTILATION :

A) Prélèvements en surface :

P₁ : position du point de rejet sur la côte



Schéma V.2.4 : schéma du bassin d'eau de mer en mouvement à P₁

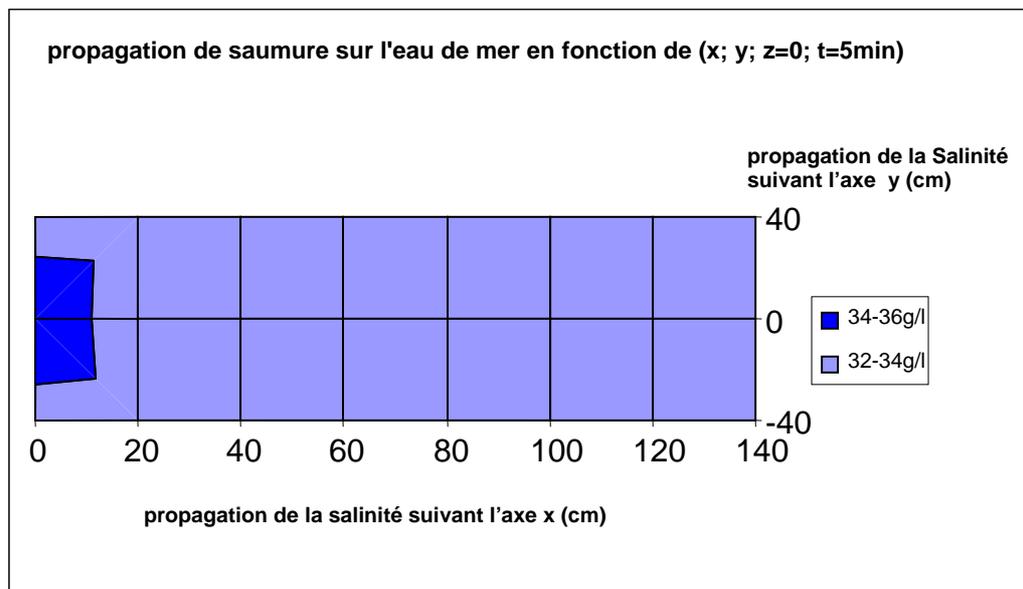


Figure V.2.13 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =5 min .

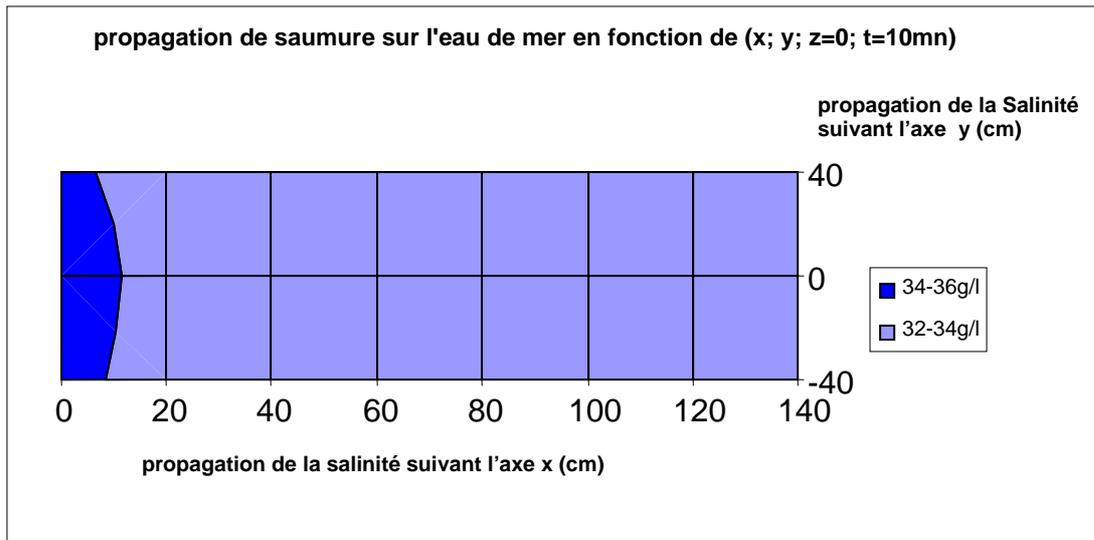


Figure V.2.14 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P_1 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 10$ min .

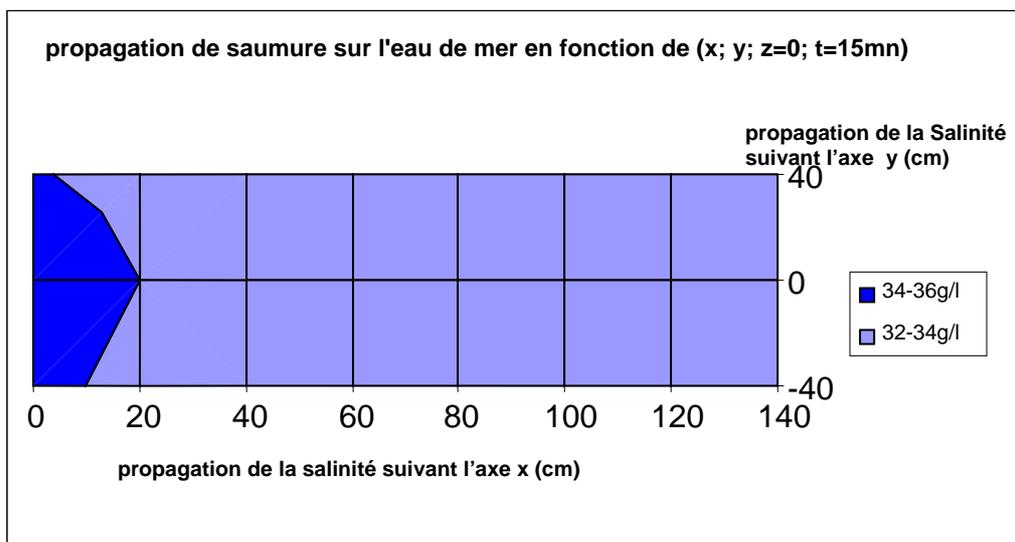


Figure V.2.15 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P_1 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 15$ min .

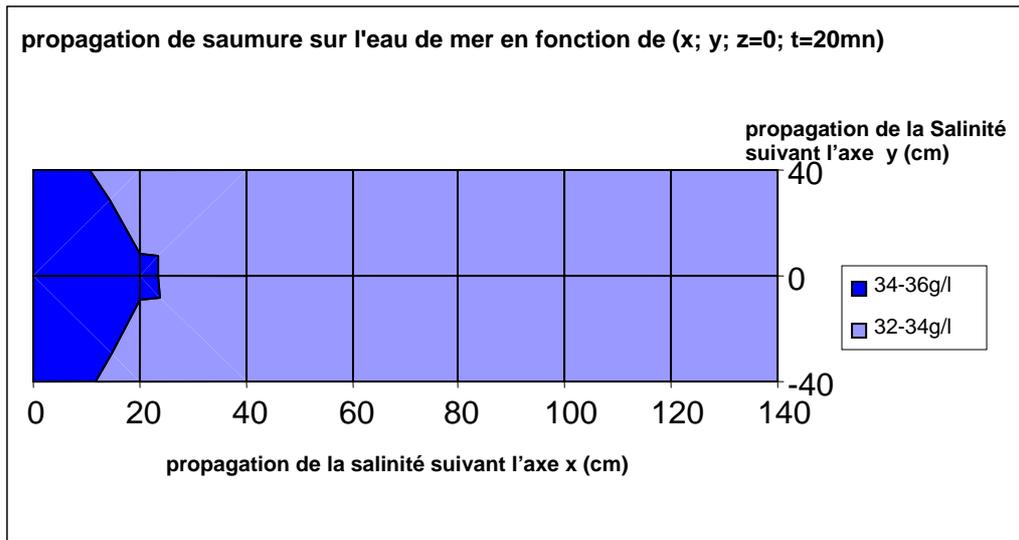


Figure V.2.16 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l’eau de mer en surface du bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =20 min .

P₂ : position du point de rejet 40 cm loin de la cote

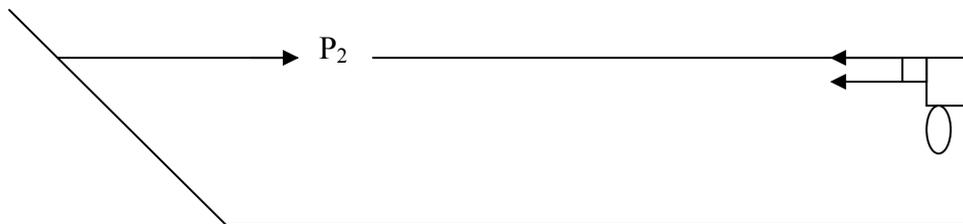


Schéma V.2.5 : schéma du bassin d’eau de mer en mouvement a P₂

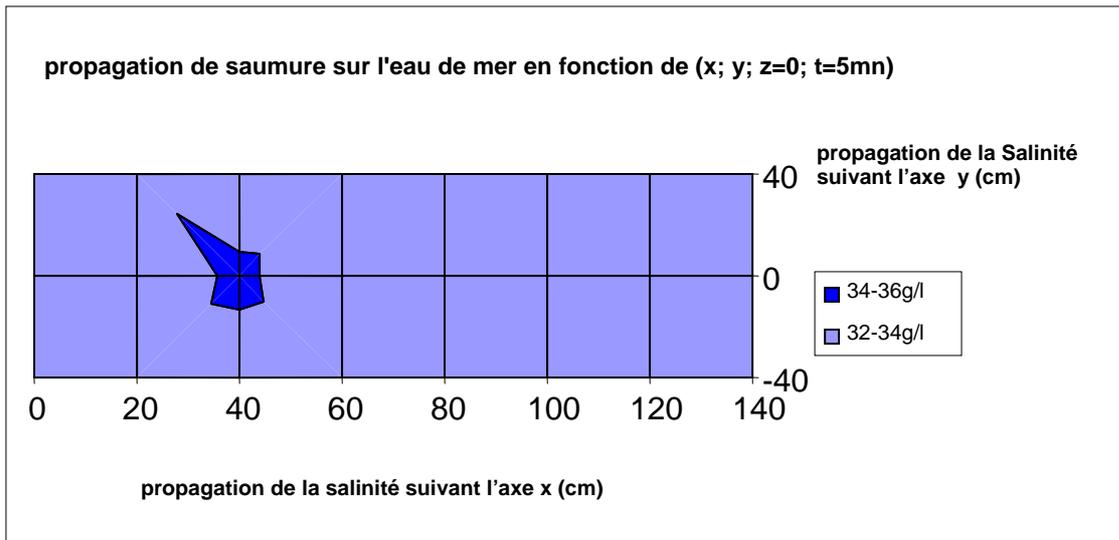


Figure V.2.17 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =5 min .

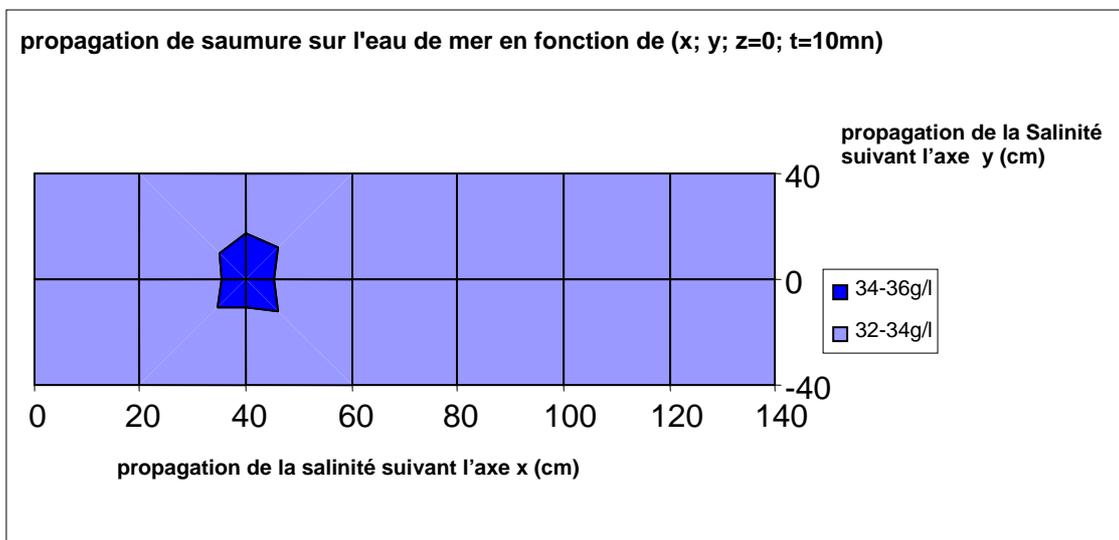


Figure V.2.18 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =10 min .

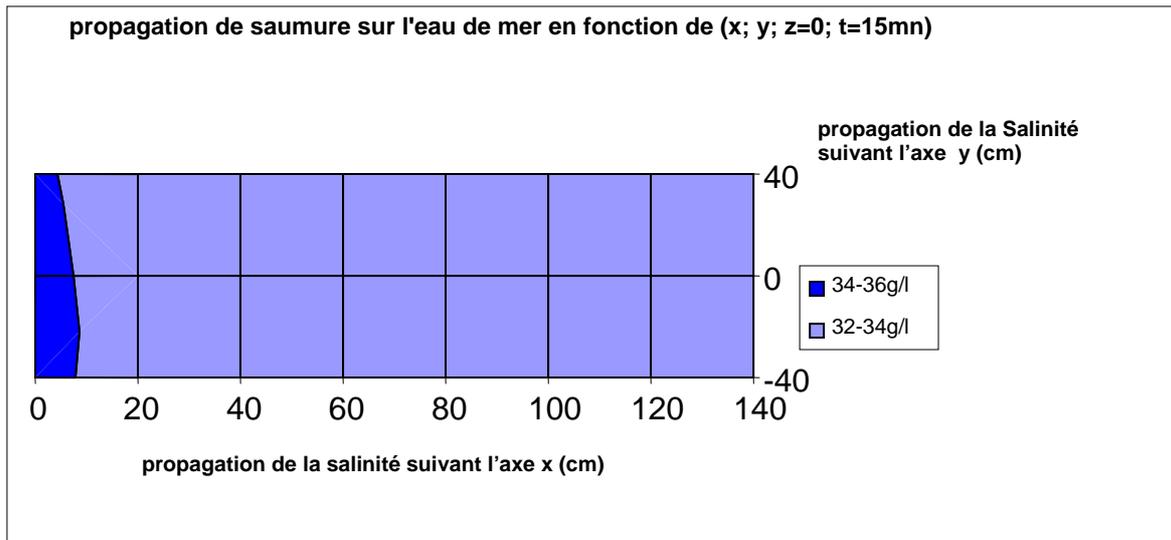


Figure V.2.19 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =15 min .

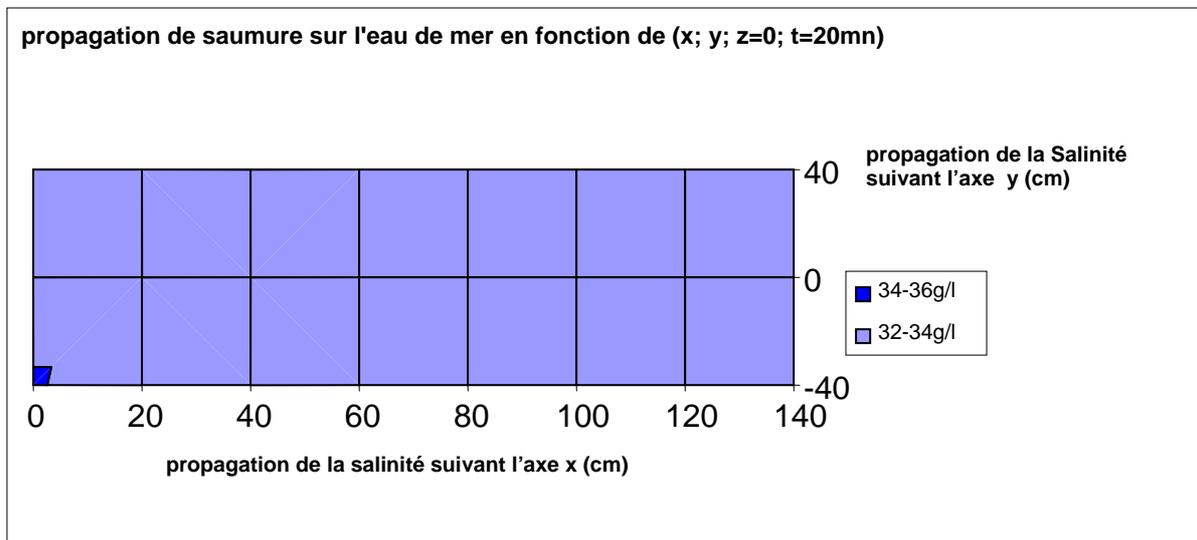


Figure V.2.20 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =20 min .

P₃ : position du point de rejet 40 cm loin de la cote, situé au fond du bassin

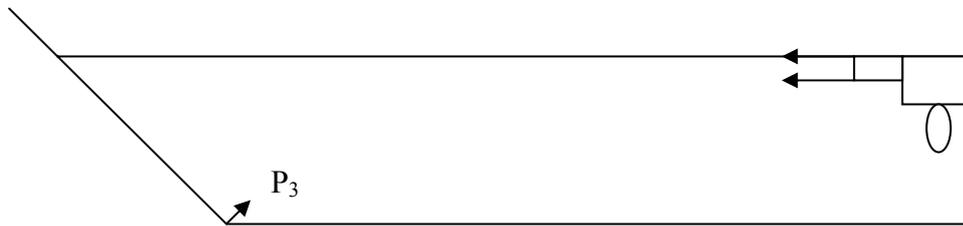


Schéma V.2.6 : schéma du bassin d'eau de mer en mouvement à P₃

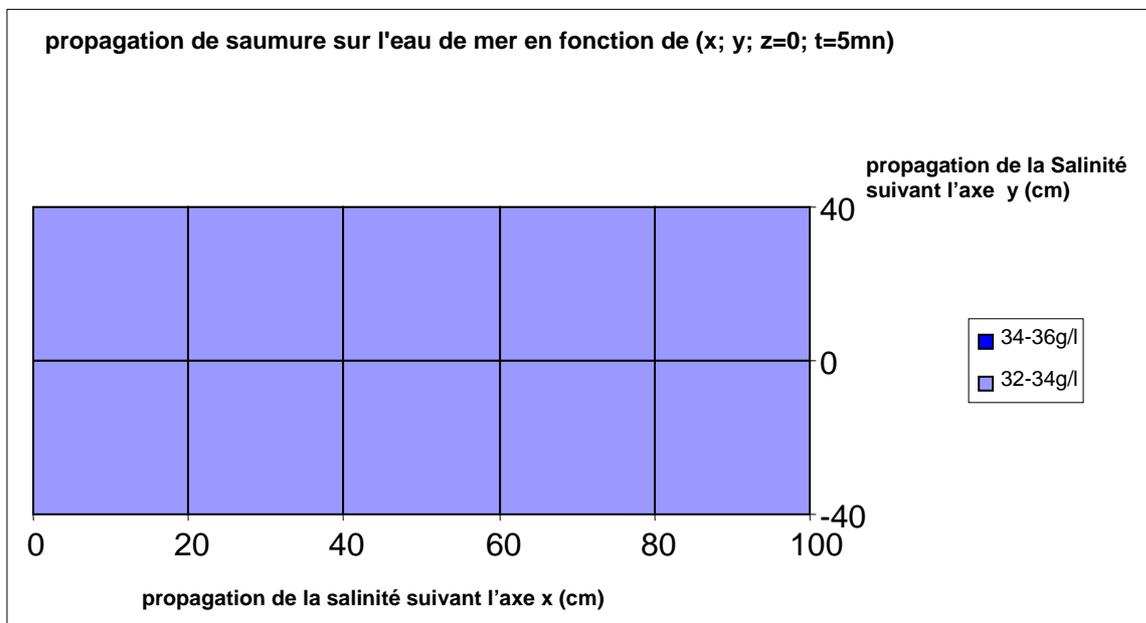


Figure V.2.21 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 5 min .

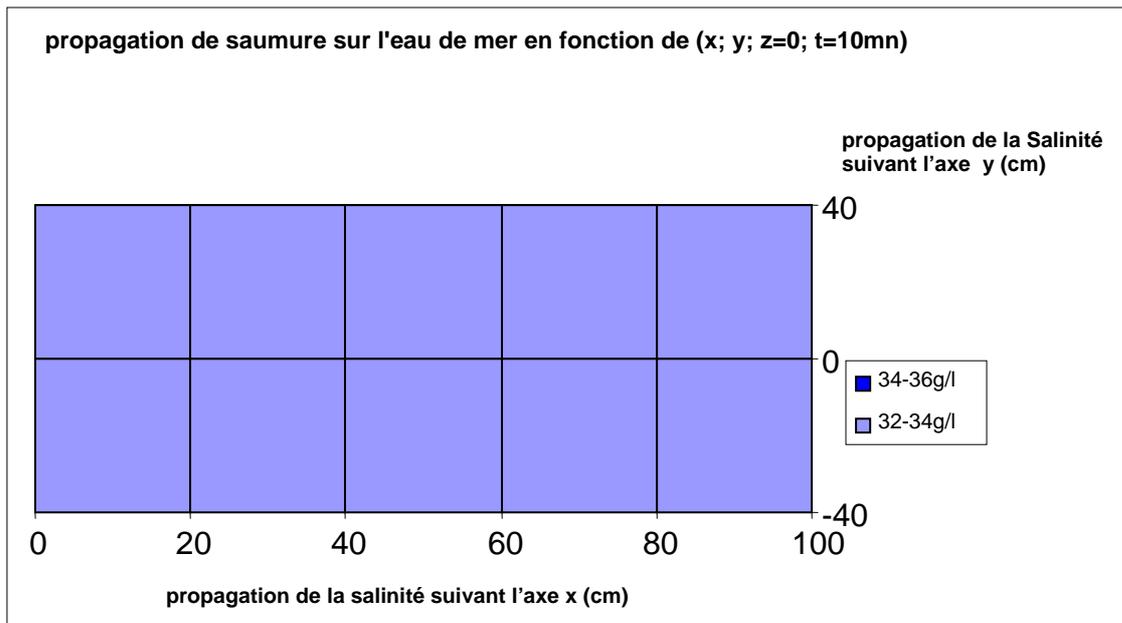


Figure V.2.22 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P_3 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 10$ min .

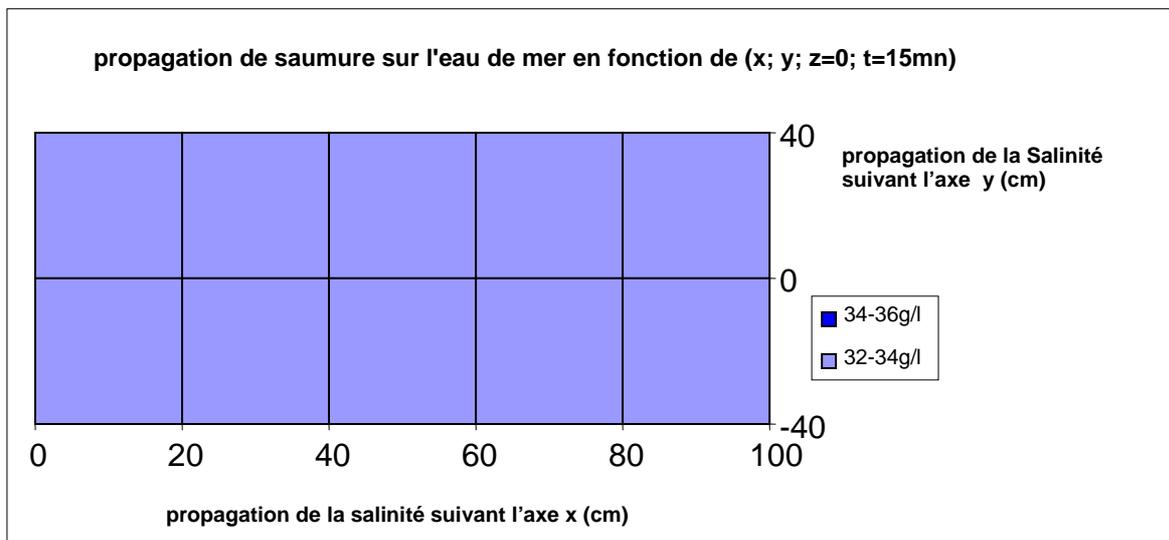


Figure V.2.23 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P_3 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 15$ min .

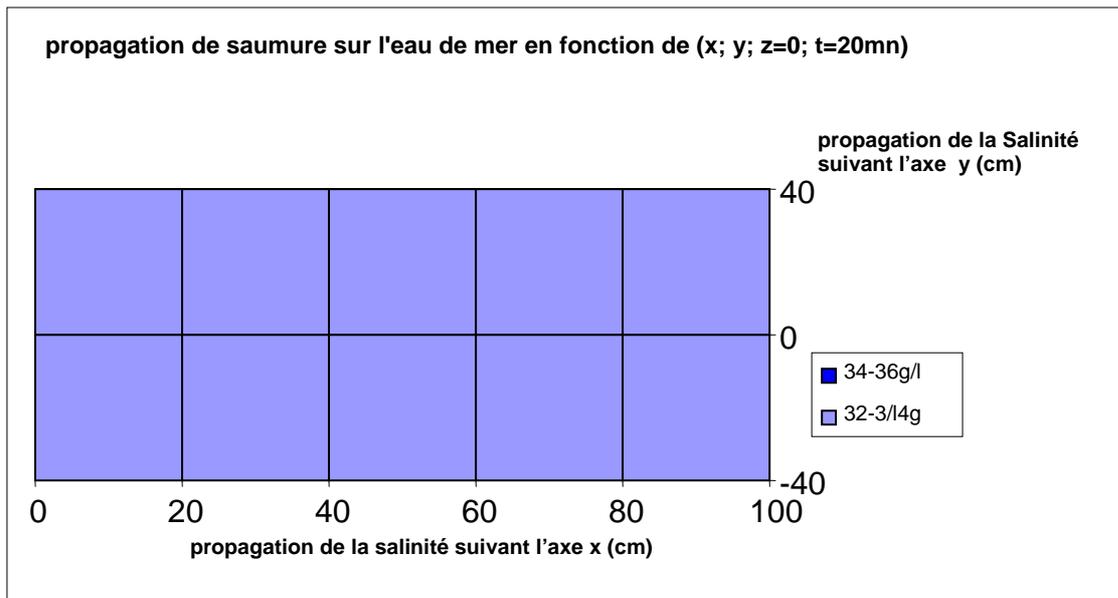


Figure V.2.24 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en surface du bassin à P_3 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 20$ min .

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.2.13 ; V.2.14 ; V.2.15 ; V.2.16 ; V.2.17 ; V.2.18 ; V.2.19 ; V.2.20 ; V.2.21 ; V.2.22 ; V.2.23 ; V.2.24** , la salinité de l'eau de mer varie entre 32 g/l et 34 g/l sur toute la surface du bassin , pour les trois position du point de décharge (P_1 , P_2 , P_3), elle est légèrement concentré au point de décharge (environ de 35g/l). Cela est dû à la ventilation exercée dans le bassin qui a pour rôle d'homogénéiser l'eau de mer dans le bassin (diffusion aléatoire).

B) Prélèvements en profondeur :

P₁ : position du point de rejet sur la côte

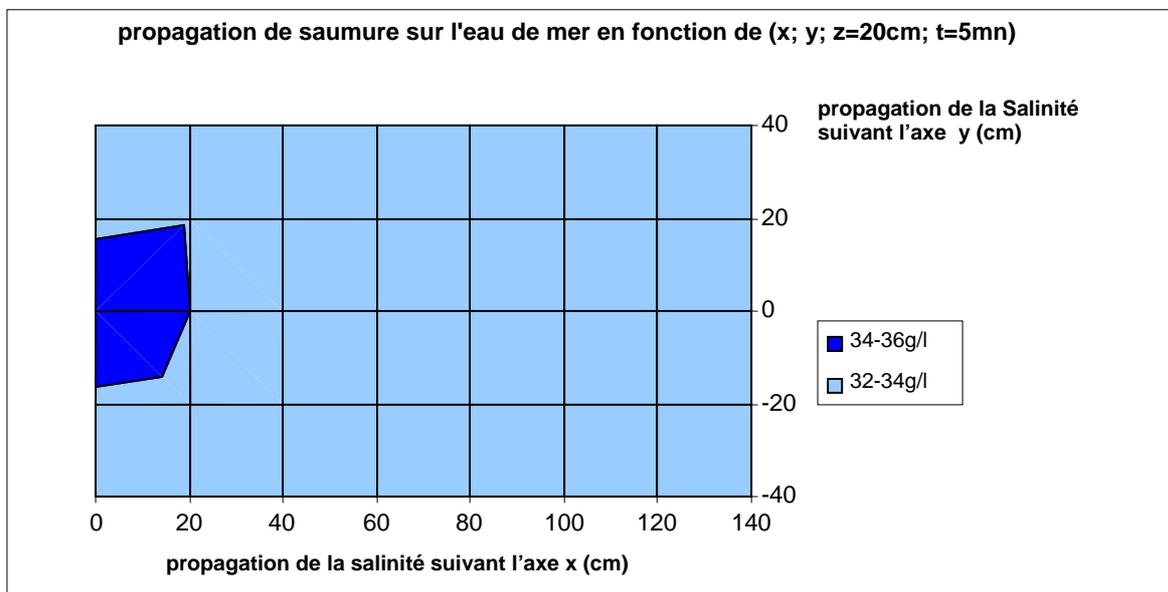


Figure V.2.25 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =5 min .

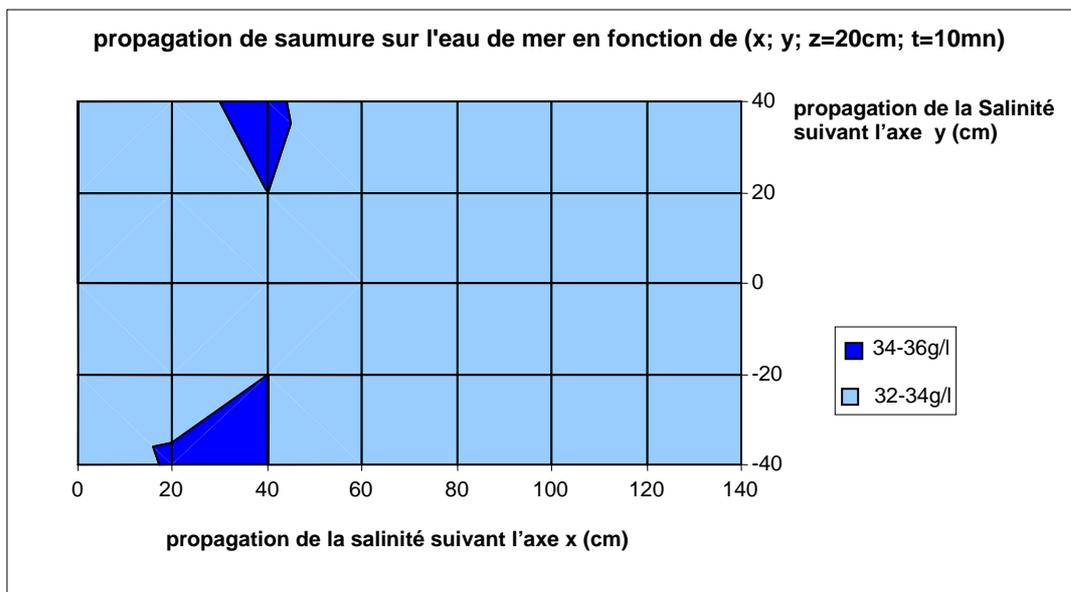


Figure V.2.26 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =10 min .

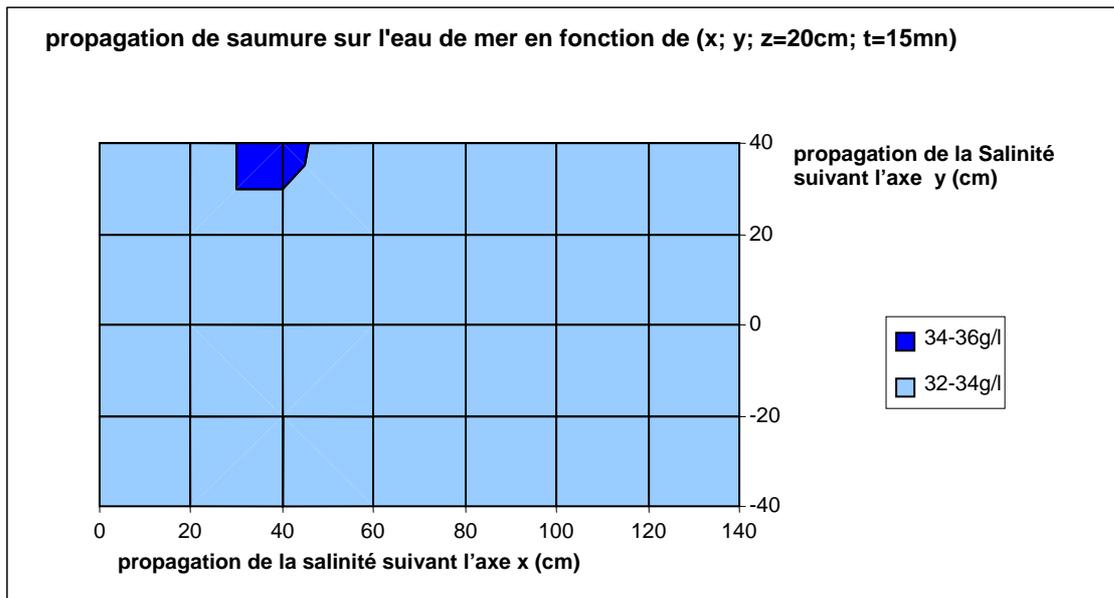


Figure V.2.27 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P_1 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 15$ min .

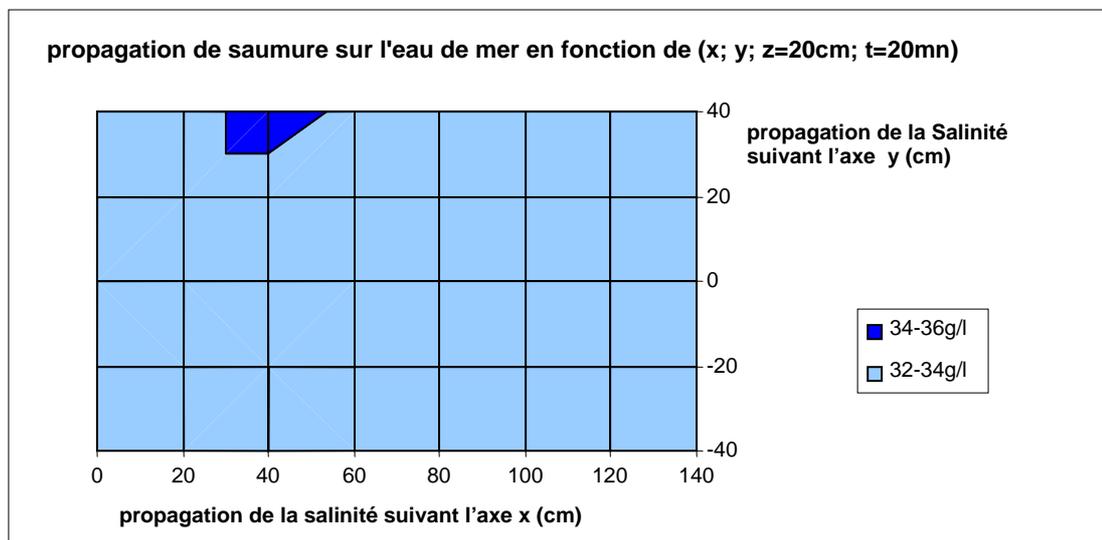


Figure V.2.28 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P_1 , avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 20$ min .

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.2.25** ; **V.2.26** ; **V.2.27** ; **V.2.28** ,La salinité de l'eau de mer en mouvement varie entre 32 g/l et 34 g/l sur toute la profondeur du bassin, mais peut être concentré au niveau du point de décharge.

R. Einav et al. (2003) [52] indiquent que l'ampleur de la vulnérabilité de salinité de l'environnement marin diffère d'un endroit à l'autre. Il est mesuré par la nature de l'habitat marin : récif de corail, plages rocheuses ou surfaces arénacées et par l'origine de l'organisme marin. En effet, cette remarque a été soulevée par les travaux de **A.T. Hidrotecnia et al. (1999). [86]**

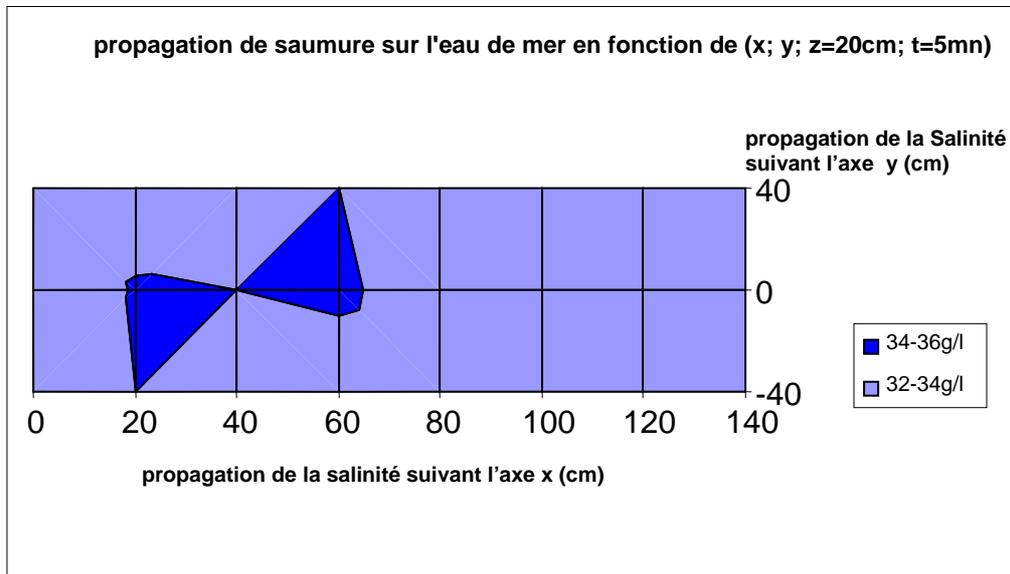
P₂ : position du point de rejet 40 cm loin de la cote

Figure V.2.29 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 5$ min .

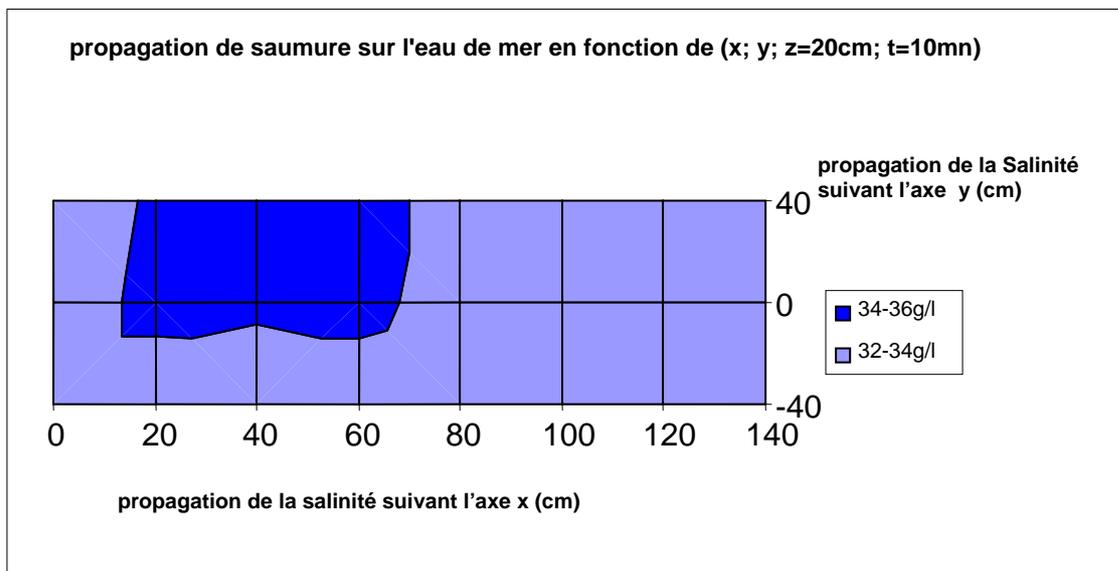


Figure V.2.30 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps $t = 10$ min .

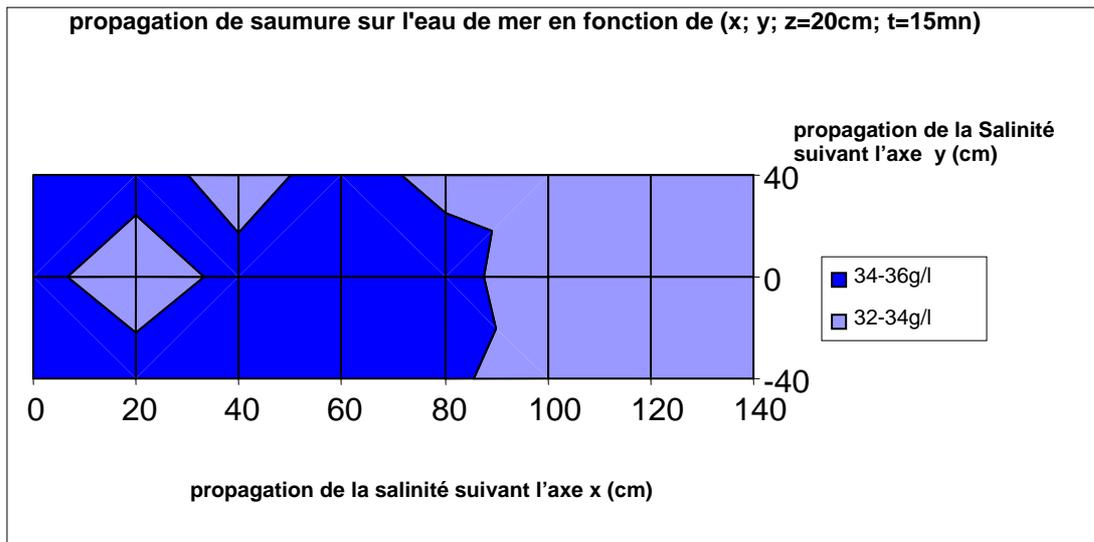


Figure V.2.31 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =15 min .

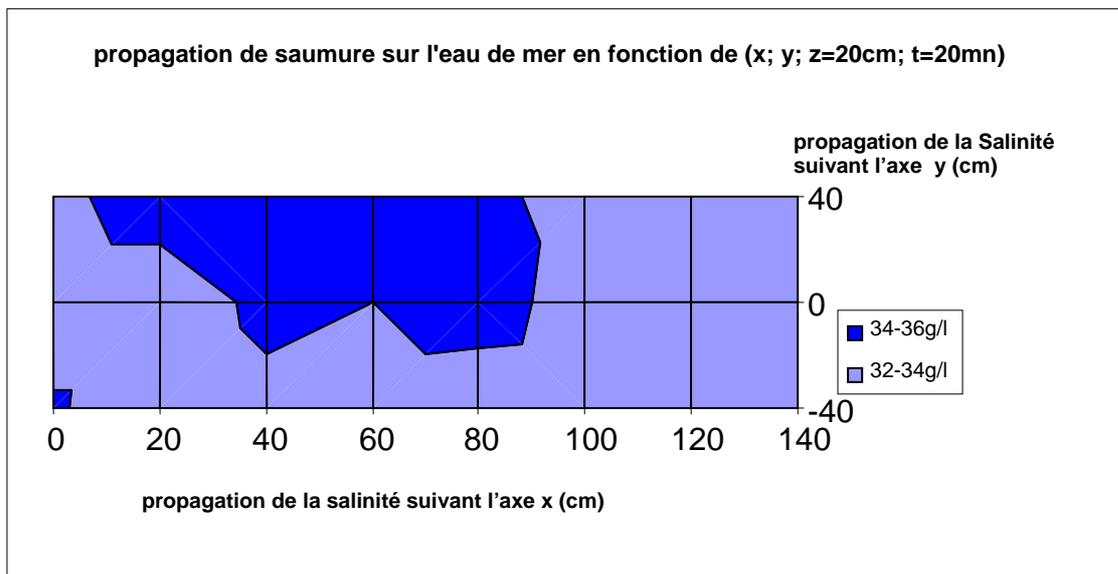


Figure V.2.32 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₂, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =20 min .

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.2.29** ; **V.2.30** ; **V.2.31** ; **V.2.32**, la salinité augmente au point de décharge et se dirige vers la côte par le système de ventilation, dans ce cas on aura le même phénomène que sur la position P_1 , donc il n'est pas recommandé de placer le canal de rejet sur cette position.

P₃ : position du point de rejet 40 cm loin de la cote, situé au fond du bassin

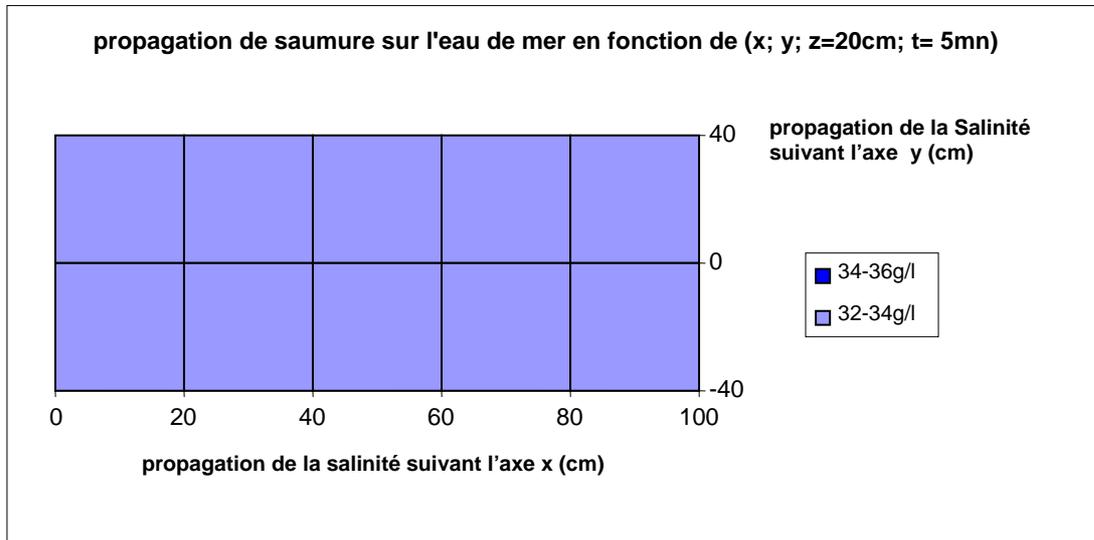


Figure V.2.33 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =5 min .

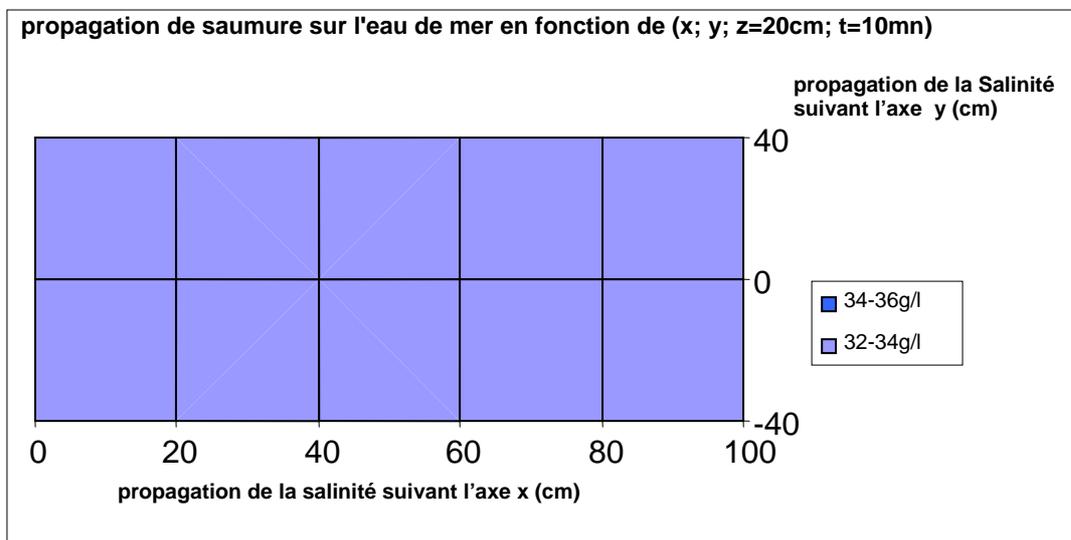


Figure V.2.34 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t =10 min .

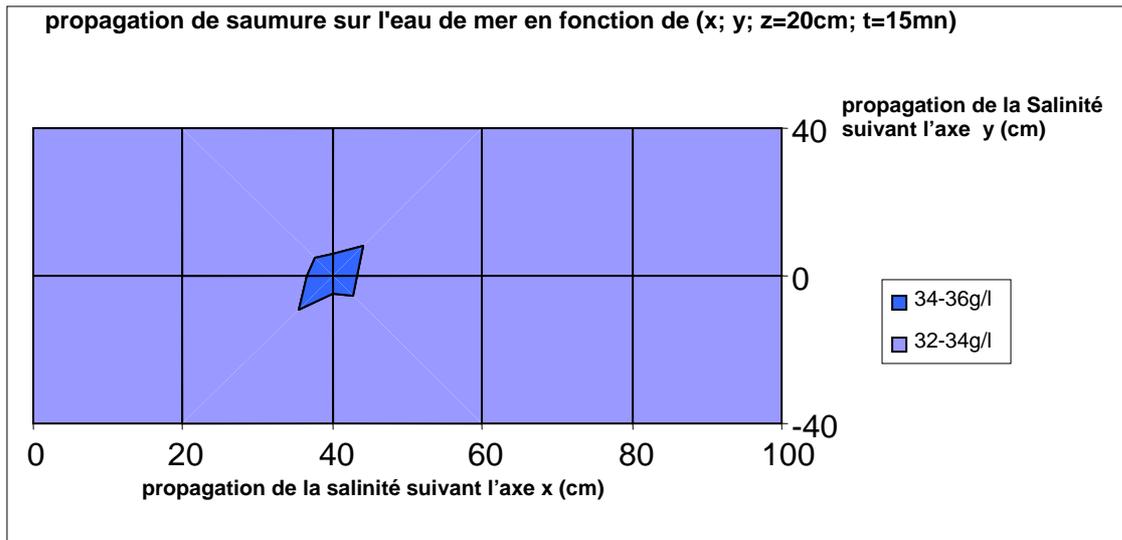


Figure V.2.35 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 15 min .

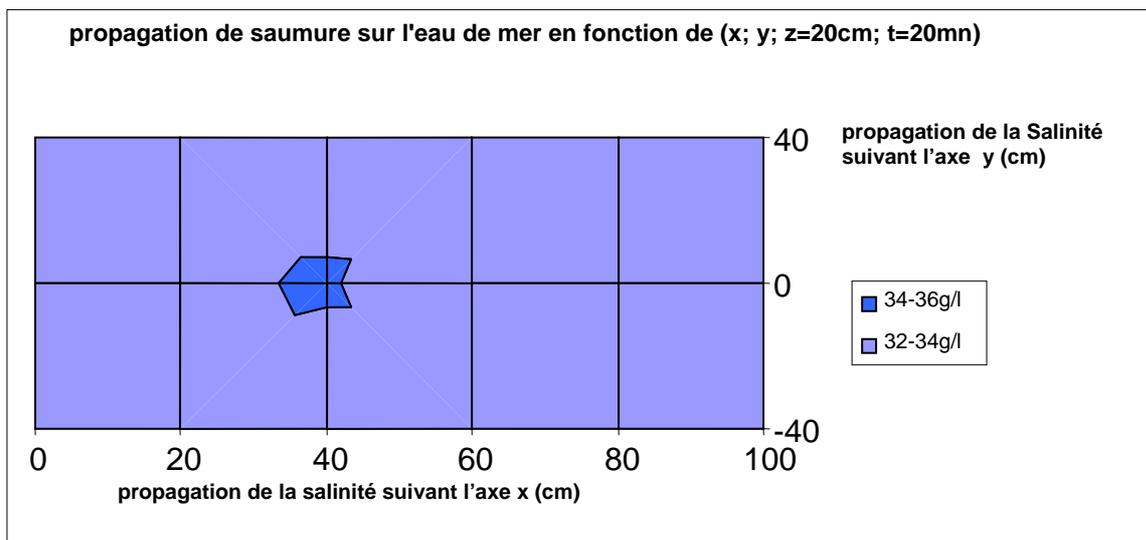


Figure V.2.36 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₃, avec une eau de mer en mouvement, à un temps t = 20 min .

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.2.33** ; **V.2.34** ; **V.2.35** ; **V.2.36** , l'eau de mer est faiblement concentrée en sel au point du jet de saumure et se dilue rapidement aux alentours.

Selon les expérience de L'UNEP,(**Document UNEP. (1995)**) [87] , le processus de dilution de saumure est une combinaison de 2 processus physiques : la dilution primaire (jet), et la dilution naturelle (turbulence de la mer).

La dilution primaire dépend du débit et de la vitesse d'écoulement.

La dilution naturelle dépend des courants et des vagues marins, elle change selon les conditions marines.

Les effets principaux sur la faune et la flore seraient à proximité de la décharge et seraient liés à l'augmentation de la concentration du sel. Ceci affecterait en général les organismes benthiques creusés au fond arénacé aussi bien que les organismes planctoniques.

V.3/ EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA PROPAGATION DE SAUMURE SUR L'EAU DE MER EN FONCTION DU TEMPS:

➤ *EAU DE MER STABLE* : prélèvements à une profondeur de 20cm

P_1 : position du point de rejet sur la côte



Schéma V.3 : schéma du bassin d'eau de mer stable à P_1

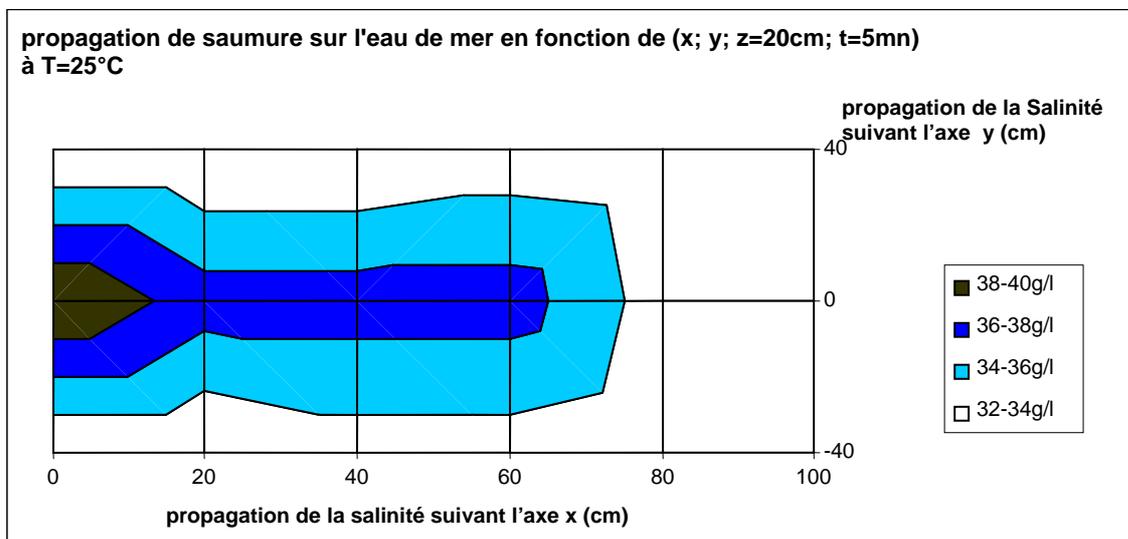


Figure V.3.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P_1 , avec une eau de mer stable, à un temps $t=5$ min, et à une température $T=25^\circ\text{C}$.

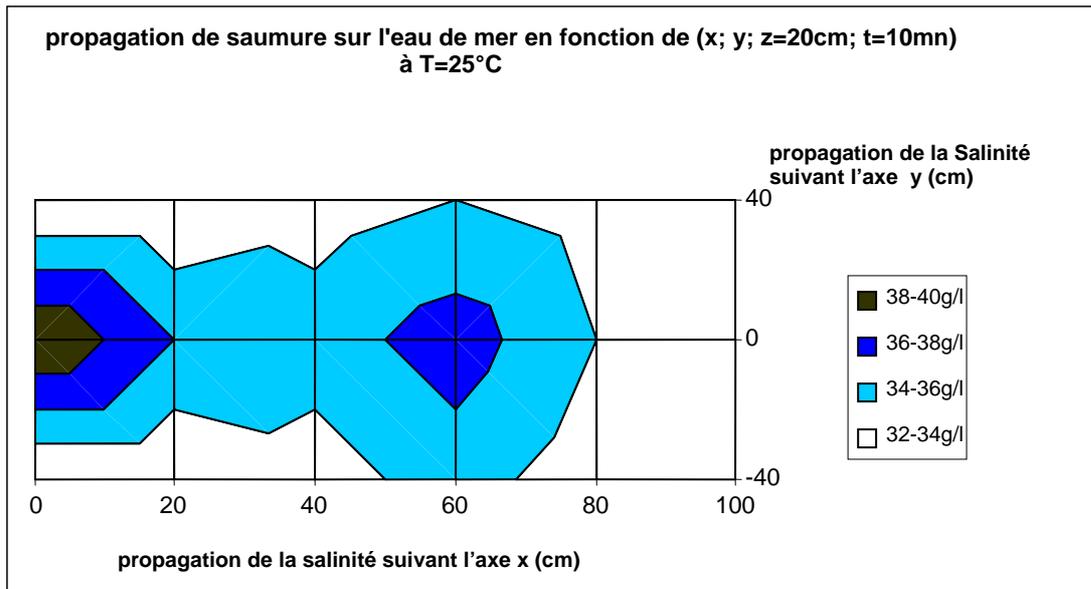


Figure V.3.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t =10 min , et à une température T=25°C.

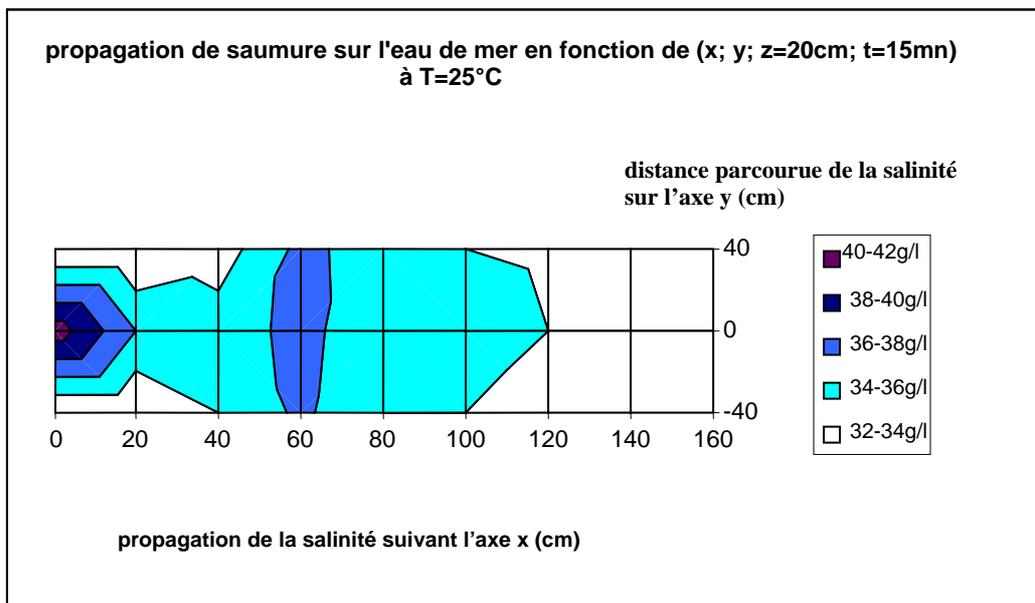


Figure V.3.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t =15 min , et à une température T=25°C.

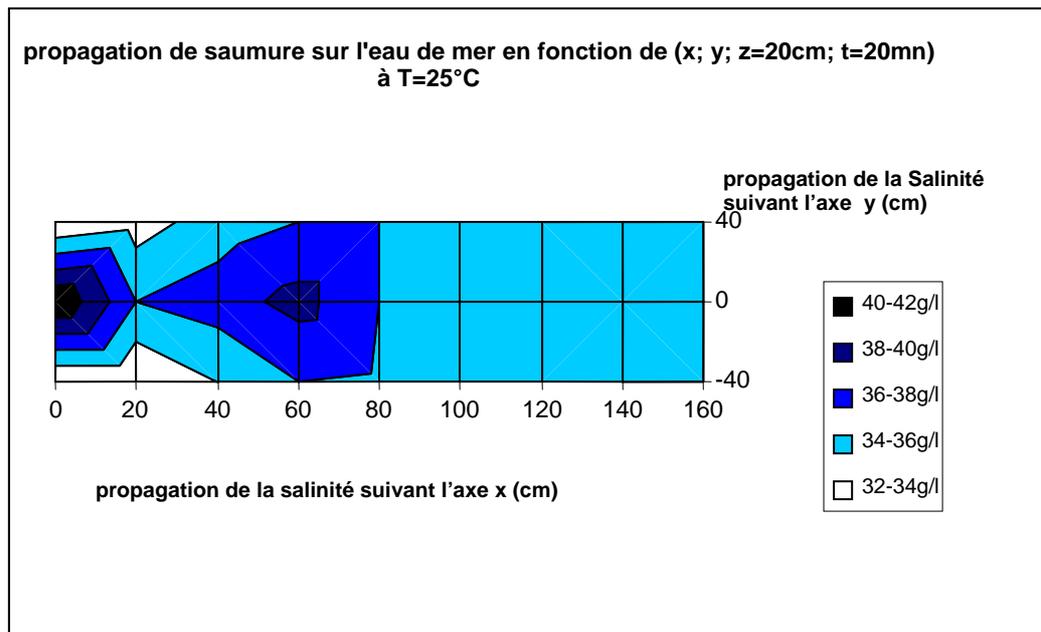


Figure V.3.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer à une profondeur de 20 cm dans le bassin à P₁, avec une eau de mer stable, à un temps t =20 min , et à une température T=25°C.

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : V.3.1 ; V.3.2 ; V.3.3 ; V.3.4 que la diffusion de saumure est plus rapide par rapport à celle de température T=15°C, donc nous pouvons dire que :

Selon les résultats obtenus, de **Ahmed. Hashim et al (2005). [88]**, au pays du Golf :

- l'augmentation de température de la saumure cause typiquement une augmentation de température de l'eau de mer, ce qui peut directement affecter les organismes marins dans la zone de décharge.
- nous allons plus loin, la température élevée du processus peut affecter la qualité de l'eau et par conséquent, diminution de la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau de mer.

V.4/ EFFET DE DIFFERENTS PRODUITS CHIMIQUES DE PRETRAITEMENT ET DE NETTOYAGE DE MEMBRANE SUR LA PROPAGATION DE SAUMURE SUR L'EAU DE MER EN FONCTION DU TEMPS :

➤ *EAU DE MER STABLE : prélèvements à une profondeur de 20cm*

P₁ : position du point de rejet sur la côte

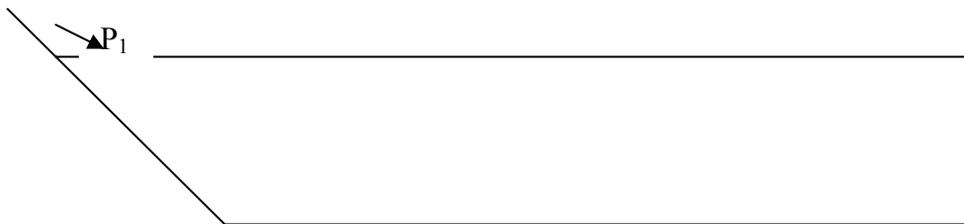


Schéma V.4 : schéma du bassin d'eau de mer stable à P₁

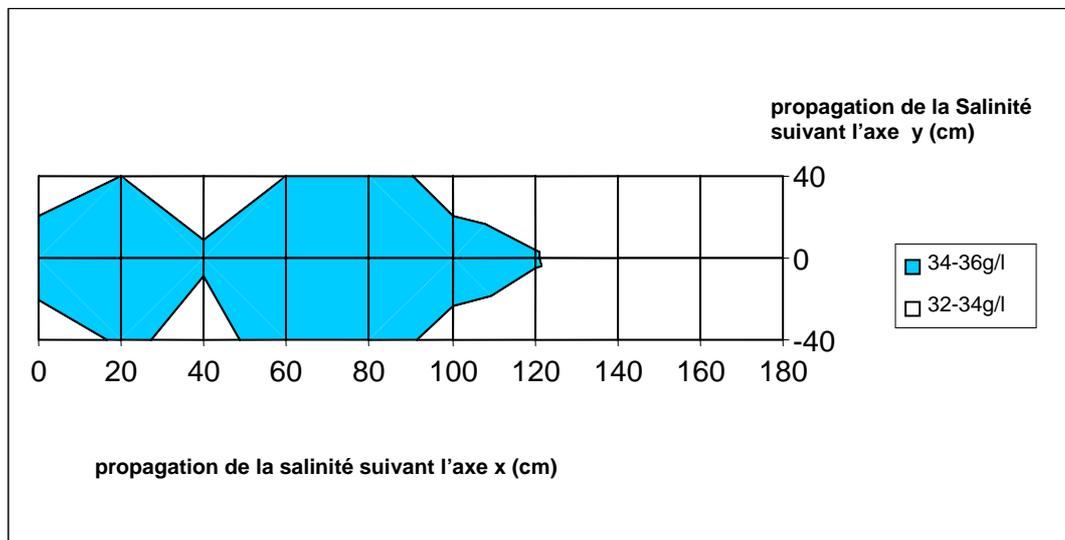


Figure V.4.1 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin à P₁, en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à un temps $t = 5\text{min}$.

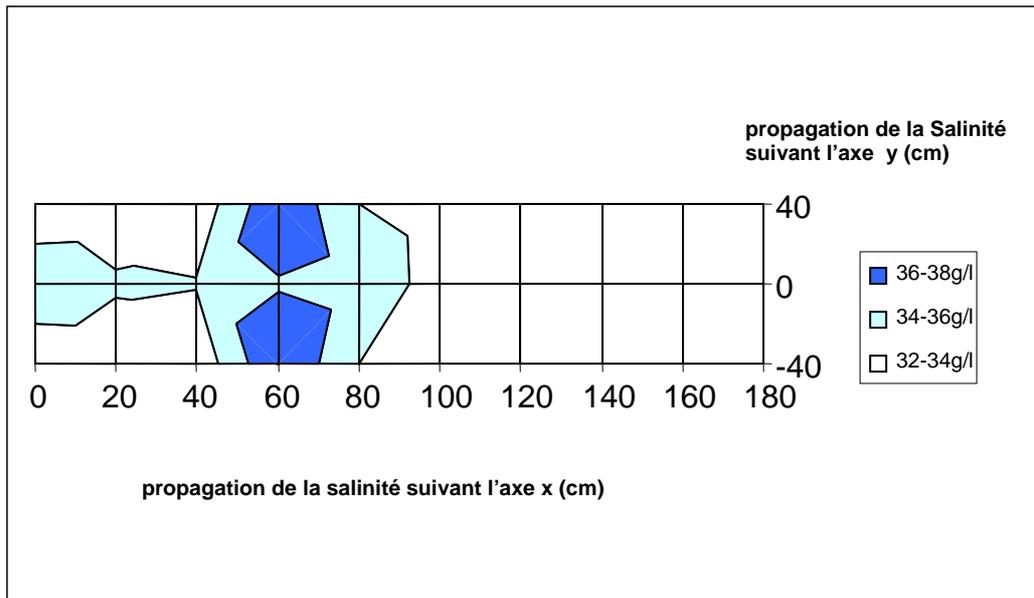


Figure V.4.2 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin a P_1 , en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à $t = 10$ min.

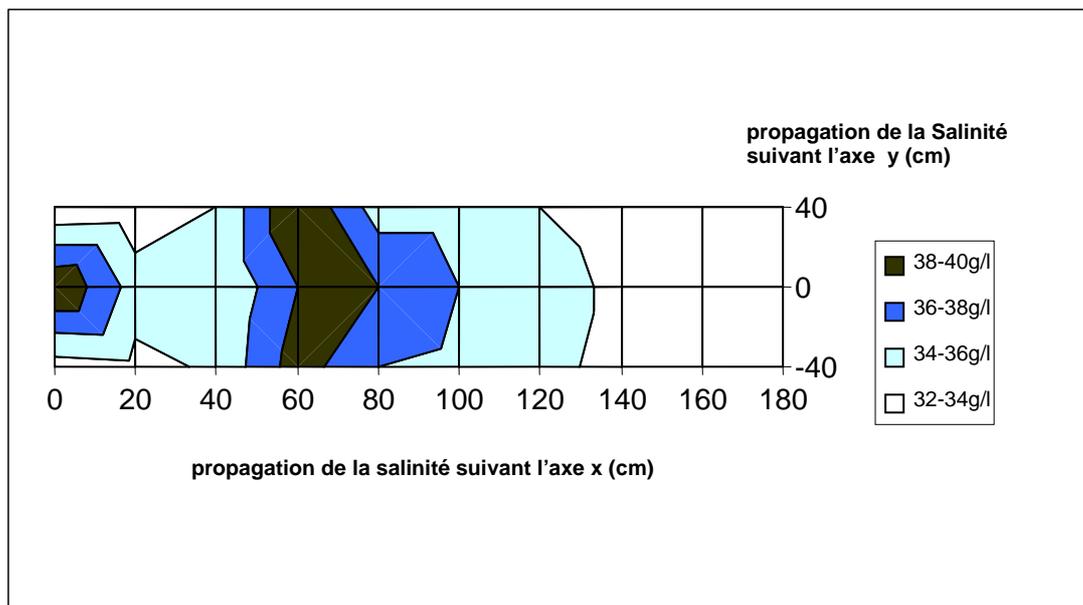


Figure V.4.3 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin a P_1 , en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à $t = 15$ min.

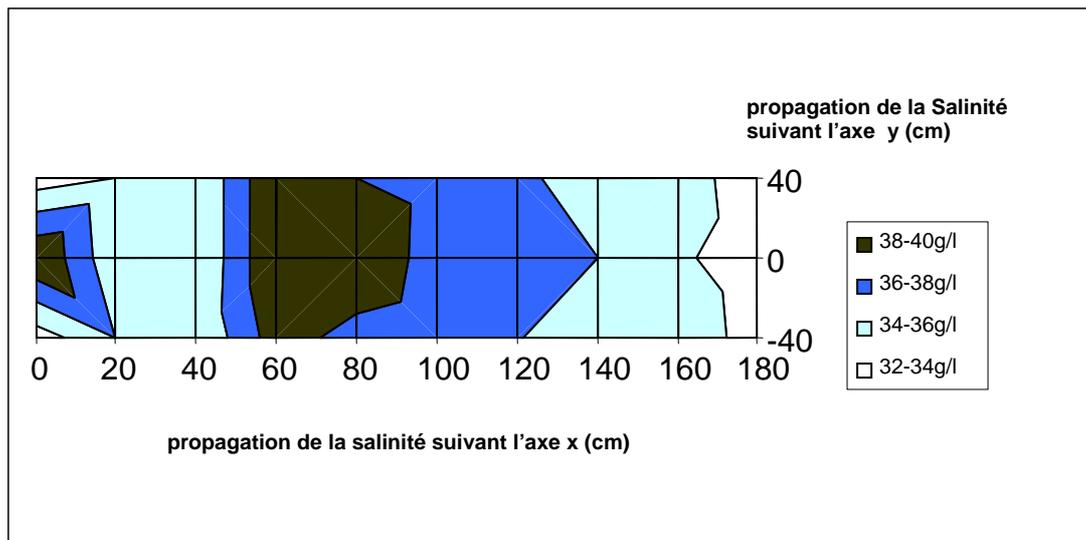


Figure V.4.4 : évolution de la salinité du rejet de saumure sur l'eau de mer en profondeur du bassin à P_1 , en présence de différents produits chimiques, avec une eau stable, à $t = 20\text{min}$.

On remarque d'après les résultats illustrés dans les figures : **V.4.1** ; **V.4.2** ; **V.4.3** ; **V.4.4**, la diffusion de la salinité dans le bassin en ajoutant les produits chimiques à la saumure concentrés est presque la même en fonction du temps. Nous pouvons dire, à cet effet, que les produits chimiques n'ont pas d'effet sur la diffusion du rejet de saumure sur l'eau de mer, cela n'empêche qu'ils ont des effets nocifs sur la vie aquatique (la faune, la flore et l'écosystème). Le chlore a un impact sur la respiration des poissons, provoquant une asphyxie. En effet, ces remarques ont été soulevées par les travaux de **Miri .R et al. (2005)**. [74]

Conclusion

CONCLUSION

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

Cette étude est destinée à apporter une contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement marin par l'utilisation d'un pilote de la propagation de la saumure sur l'eau de mer et son effet sur l'environnement marin.

L'étude de la propagation de saumure sur l'eau de mer en fonction du temps, nous a permis de conclure que la dispersion du sel concentré est meilleur en présence de vagues et les courants marins. Par contre, il y aura moins d'impact sur l'environnement.

Au calme total de l'eau de mer, la saumure se dirige au fond marin, et comme ceci présente une source continue et cumulative de pollution, il aurait comme conséquence des dommages continus sur la faune et la flore à proximité du point de rejet, et seraient liés à l'augmentation de la concentration du sel et de la température. Puisque la Méditerranée est caractérisée par sa grande profondeur, la dilution est plus rapide. Il est donc souhaitable de placer le point de rejet de saumure loin de la plage (exemple de P₃) et des secteurs rocheux qui sont riches en organismes.

En perspective, il serait intéressant d'installer des diffuseurs sur le canal du rejet, la performance de l'opération de diffuseurs dépend de leur nombre et de l'espace entre eux.

Ceux-ci vont améliorer de ce fait, la dilution.

Une autre option est l'utilisation des diffuseurs dirigés sous un angle de 30 – 90° vers le fond marin, de sorte que la saumure concentrée soit enfoncée dans la direction de la surface de la mer.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Eau, Energie, Environnement ; SYMBIOSE; N°:22 ; Oct – Nov – Dec 2005/ ISSN : 1111-4851.
- [2] Viviane Renaudin, « le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres »,CNRS, Nancy, 2003
- [3] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel – comité des techniques ; « circuits eau de mer (traitement et matériaux) » ; édition technique, Paris – 1993.
- [4] J.P.RILEY, G.SKIRROW. «Chemical Oceanography» .Academic Press,1965
- [5] Mémento technique de l'eau, degrément (1995)
- [6] Alain .MAUREL. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation, 2001
- [7] Eric Guilyardi; « Quand le sel de l'océan pimente le climat » ; La météologie No 33- Mai 2001.
- [8] R.A. HORNE, « Marine chemistry the structure of water and the chemistry of the hydrosphere», Wiley-Interscience, 1969
- [9] Philippe Bandelier et Jean-Claude Deronzier. « Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques (GRETh) ». Direction de la recherche technologique CEA/Grenoble (mise à jour septembre 2001)
- [10] A.Zfaty, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 1997 (in Hebrew)
- [11] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 2000 (in Hebrew)
- [12] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 1998 (in Hebrew, ADN4285a)
- [13] W.S. Winston and K. Sirkar, « Membrane Handbook », 1992.
- [14] T. Altman, « New Power and Water Co-generation concept with Application of Reverse Osmosis (RO) Desalination », Salzgitter Anlagenbau GmbH, 2000.
- [15] Patrick DANIS, « dessalement de l'eau de mer », technique de l'ingénieur, Doc.J2700
- [16] Khalid Z. Al-Subaie, « Precise way to select a desalination technology », Desalination, Vol. 206, pp: 29–35 ,(2007)
- [17] Rachel Einav^{*}, Kobi Hamssib, Dan Periyb , «The footprint of the desalination processes on the environment », Desalination, Vol. 152, pp: 141-154 ,(2002)
- [18] M.S. Tanvir, I.M. Mujtaba^{*}, « Neural network based correlations for estimating temperature elevation for seawater in MSF desalination process », Desalination Vol.195,

pp: 251–272, (2006)

[19] Hussain.A, ed., « Integrated Power and Desalination Plants ». Oxford, Eolss Publishers Co. Ltd., 2003.

[20] [http:// www.CultureScience](http://www.CultureScience), Chimie.Ens.Fr/dossiers chimie –société -article dessalement.

[21] I.S. Park, S.M. Park, J.S. Ha, « design and application of thermal vapour compressor for multi-effect desalination plant », Desalination ,Vol.182 ,pp: 199-208 ,(2005).

[22] Marian G. Marcovecchio, Sergio F. Mussati, Pio A. Aguirre, Nicolas J. and Scenna; « optimization of hybrid desalination processes including multi stage flash and reverse osmosis systems », Desalination, vol. 182, pp: 111–122, (2005).

[23] P. Fiorini, E. Sciubba; « Thermo-economic analysis of a MSF desalination plant »; Desalination, Vol. 182, pp: 39–51, (2005)

[24] Roberto Borsani, Silvio Rebagliati; « Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies »; Desalination, Vol. 182, pp: 29–37, (2005)

[25] S.NISAN. «Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires » .pdf 2007

[26] Nicos X. Tsiourtis, « Desalination and the environment »; Desalination ,Vol.141, pp : 223-236, (2005)

[27] J.P. BRUN; « procédés de séparation par membranes » ; MASSON ; 1989

[28] Paul VAURS ; « le dessalement de l'eau de mer » ; juil 2005

[29] Jacek Wisniewski, Agnieszka Rozanska ; « Donnan Dialysis with anion-exchange membranes as a pretreatment step before electrodialytic desalination » ; desalination Vol.191,pp: 210-218 ,(2006)

[30] F.H. Meller ; « Electrodialysis and electrodialysis reversal technology » ; Ionics brochure. 1984

[31] H. Strathmann ; « Ion-Exchange Membrane Separation Processes » ; Elsevier, Amsterdam,2004

[32] G.L. Meerganz von Medeazza; « “Direct” and socially-induced environmental impacts of desalination »; Desalination Vol.185 , pp: 57–70 ,(2005)

[33] S.KEHAL. «Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie ». Desalination, Vol. 136, pp : 35–42, (2001)

[34] Ahmed Kettab ; « Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision »; Desalination Vol.136 , pp : 25–33 ,(2001)

- [35] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ; -programme d'Aménagement côtier - Zone côtière Algérois- Gestion intégrée des ressources en eau et assainissement liquide -Diagnostic- juin (2005).
- [36] N.SABER. «L'eau, c'est la vie». Energie& mines .Avril 2004
- [37] S. Tireche; « contribution à l'évaluation de la pollution au profit des collectivités locales. Application du système d'évaluation de la qualité » ; mémoire de Magister ; UMBB ; 2005
- [38] Etude prospective d'aménagement et de développement de la willaya de Boumerdes, Phase 1, Elément de diagnostic et perspectives de développement, A.N.A.T, 120p (Février 2001)
- [39] Ahmed. M ; « Marine pollution by oil and municipal wastes along the coast of Lebanon » ; Thèse de Doctorat, 285p, 1972
- [40] Nakhle. K.F ; « Le mercure, le cadmium et le plomb dans les eaux littorales libanaises : apport et suivi au moyen de bioindicateurs qualitatifs (éponges, bivalves et gastéropodes) » ; Thèse de Doctorat, Université Paris 7 ; 229p ; (2003)
- [41] Millot. C ; « Some features of the Algerian current » ; j. Geophys.res. 90; C4; 1985
- [42] Benzohra. M; Millot. C; « Analyse des caractéristiques hydrologiques et circulation des masses d'eau dans la zone côtière Algérienne » ; Camp. Oceano. Franç. Bull.N°11-IFREMER ; pub (1990)
- [43] Orchinikov, I.M ; « Circulation in the surface and intermediate layers of the mediterranean oceanology » ; Vol. 6 , 48p ; 1966
- [44] Guilcher. A ; « précis d'hydrologie marine et continentale » ; Edition : Masson, Paris ; 389p ; 1979
- [45] Dussart. B ; « Limnologie, l'étude des eaux continentales », deuxième édition ; Boudée ; 736p ; 1992
- [46] Bouhamadouche. M ; « Sédimentologie du plateau continental Est-Algérois (Boumerdes-Boudouaou El Bahri) » ; mémoire de magistère ; USTHB ; Alger, 142p ; 1993
- [47] Lacombe. H ; Tchernia. P ; « Caractère hydrologiques et circulation des eaux en méditerranée ». The mediterranean sea a national sedimentation laboratory; Stanley ed; 1972
- [48] Benslama. H ; « Apport détritique de oued Isser et rôle du canyon d'Alger dans la dynamique des sédiments du plateau continental de la baie de Zemmouri El Bahri » ; Thèse de magister ; USTHB 107p ; 2003
- [49] Manuel de la station de dessalement de Corso du 20012, Document interne.
- [50] KWU. Service de formation professionnelle, N° 5515 Documentation de la centrale thermique de CapDjinet.

- [51] K.RICHE. «Dessalement de l'eau de mer dans la centrale thermique de Cap Djinet ». Mémoire de fin d'études. Université de Boumerdes. Promotion 2000
- [52] R. Einav and F.Lockiec ; « Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon” ; Desalination, Vol.156, pp: 79–85 ,(2003)
- [53] A.Purnama, H.H.Al-Barwani and M.Al-Lawatia ; « Modeling dispersion of brine waste discharges from a coastal desalination plant » ; desalination Vol.155, pp: 41-47, (2003)
- [54] C. Vanhems, « Critical Review of Desalination Concentrate Disposal to Surface Water », USA, 1992. (after UNEP, 2001)
- [55] Abu Qdais Hani.A ; « Environmental impacts of desalination plants on the arabian gulf », MAP San Diego Proc, Vol.3, pp: 249-260 , (1999)
- [56] A.J.Morton, I.K.Callister and N.M.Wade ; « Environmental impact of seawater distillation and reverse osmosis processes » ; Desalination, Vol.108, pp:1-10, (1996)
- [57] R. Zimmerman, « the Larnaca seawater desalination plant, Environmental impact assessment », 1999
- [58] J.Schipper ; « Environmental impact from desalination plants – Pollution of the sea » ; WHO cours, Desalination March 2000
- [59] H.Thomas, W.Jens ; « Element of environmental impact studies on coastal desalination plants » ; Desalination, Vol 104,pp 11-18, (1996)
- [60] R.Ben, Hodges et al.; « Desalination brine discharge mode »; Final Report, Center for Research in water resources; University of Texas at Austin; Aout 2006
- [61] A.Zfaty ; « Report submitted to Israel Water Commissioner 2000» (in Hebrew, ADN5787)
- [62] California Coastal Commission; « Seawater desalination in California Chap ». Three : Potential Environmental Impact. Technical Reports.(1991)
- [63] United Nations Environment Programme- Mediterranean Action Plan MED POL, « Sea Water Desalination in the Mediterranean : Assesment and Guidelines », Map Technical Raports series No.139, UNEP/MAP, Athens, 2003
- [64] T.G.Bornman and N.TW.Klages ; « Albany Coast Water Board » ; Environmental Scoping Report ; IECM Report No:C84; Octobre 2004
- [65] J. Jaime Sadhwani, Jose M. Veza, Carmelo Santana ; « Case studies on environmental impact of seawater Desalination » ; Desalination Vol.185, pp : 1–8 ,(2005)
- [66] T.Bleninger, G.H. Jirka and V.Weitbrecht ; « Optimal discharge configuration for brine effluents from desalination plants »; Proc. DME (Deutsche Meerwasser Entsalzung) – Congress, 04 - 06 . 04 . 2006 ; Berlin, 2006

- [67] Tobias Bleninger*, Gerhard H. Jirka ; « Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants » ; Desalination, Vol. 221, pp: 585–597 (2008).
- [68] N.M. Wade et R.S.Fletcher; « Energy allocation and other factors in the increasing water cost in desalination and dual purpose power/water plants ». Proc. of IDA. World Congress ; Abu Dhabi ; Nov 1995 ; Vol III; pp 363-380, (1995)
- [69] H.N. Afgan, M.Darwish and J.Cavvalho ; « Sustainability assessment of desalination plants for water production ». Desalination, Vol 124, pp 19-31, (1999)
- [70] M.Argyrou ; « impact of desalination plant on marine macrobenthos in the coastal desalination plants » ; Desalination ,Vol 155, pp :41-47 ,(2000),
- [71] H.Thomas, W.Jens; « Element of environmental impact studies on coastal desalination plants » ; Desalination, Vol 104, pp. 11-18, (1996)
- [72] Z.A. Sabri, GP. McLaggan and R. Hagenson, « Safety and environmental impact of fossil fouled desalination plants », Proc. 7th International Symp. on Fresh Water from the Sea, Vol.1, 99p, (1980).
- [73] UNEP, « Seawater Desalination in Mediterranean Countries: Assessment of Environmental Impact and Proposed Guidelines for the Management of Brine ». UNEP(DEC)/MED WG 183/Inf6, 2001
- [74] Rachid Miri, Abdelwahab Chouikhi ; « Ecotoxicological marine impacts from seawater desalination plants » ; Desalination, Vol. 182, pp: 403-410 ,(2005)
- [75] I.Bremere, M.Kennedy, A.Sticker and J.Schippers ; « How water scarcity will affect the growth in the desalination market in the coming 25 years ». Desalination, Vol.138, pp: 7–15, (2005)
- [76] J.S.Mattice, M.B.Burch, S.C.Tsay and W.K.Roy; « A toxicity testing system for exposing small invertebrates and fish to short-square wave concentration of chlorine »; Water research, Vol.157, pp: 923-927 ,(1981)
- [77] Hall, C.A.S. , Howarth, R., Moore & Vorosmarty C.J. ., « Environmental impacts of industrial energy systems in the coastal zone » , Annu. Rev; Energy, 3, 395, (1978)
- [78] T.Hopner and S.Lattermann ; « chemical impacts from seawater desalination plants – a case study of the northern Red Sea »; Desalination, Vol.152, pp: 133–140 ,(2002)
- [79] T.Hopner ; « A procedure for environmental impact assessments (EIA) for seawater desalination plants » ; Desalination, Vol.124, pp: 1-12 , (1999)

- [80] B.E-Y.Jibril and A.A.Ibrahim ; « chemical conversions of salt concentrate from desalination plants » ; Desalination, Vol.139, pp: 287-295 ,(2001)
- [81] Ahmed Areiqat, Khaled A. Mohamed* ; « Optimization of the negative impact of power and desalination plants on the ecosystem »; Desalination, Vol. 185, pp: 95–103 ,(2005)
- [82] J.J. Malfeito*a, J. D'áz-Canejaa, M. Farinasa, Yolanda Fernandez-Torrequemadab, Jose M. Gonzalez-Correab, Adoracion Carratala' -Gimenez b, J.L. Sanchez-Lizaso, « Brine discharge from the Javea desalination plant », Desalination, Vol. 185, pp : 87–94, (2005)
- [83] Jacqueline L Dupavillon, Bronwyn M Gillanders, « Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf », South Australia, Marine Environmental Research, 2009
- [84] Villanueva,R ; Moltschaniwskyj,N.A ; Bozzano A ; « A biotic influences on embryo growth : statolith as experimental tools in the squid early life history ». Reviews in fish Biology and Fisheries 17, pp:101-110; (2007)
- [85] Paulij,W.P ; Bogaards,R.H ; Denuce,J.M ; ; « Influence of salinity on embryonic development and the distribution of *Sepia Officinalis* in the Delta area South Western part of the Netherlands »; Marine Biology 107, pp:17-24, 1990
- [86] A.T. Hidrotecnia, S.L. « Estudio Detallado de Impacto Ecologico de la Desaladora de Rogne Prieto ». Report submitted to consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (in Spanish) , 1999
- [87] Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Zinc, Copper and their Compounds.Document UNEP (OCA)/MED WGer inf3; 1995; p.121.
- [88] Ahmed Hashim et Munneer hajjaj; « Impact of desalination plants fluid effluents on the integrity of seawater, with the Arabian Gulf in perspective »; Desalination, Vol.182, pp: 373-393, (2005) .
- [89] El Dessouky, H. « Multi-stage flash desalination technologies». Eurosummer School short course on sustainability assessment of water desalination technologies, Vilamoura, Portugal, November (2000).
- [90] Hamed, O.; Al-Sofi, M.; Mustafa, G. and Dalvi, A.; « The performance of different anti-scalants in multi-stage flash distillers »; Desalination, Vol. 123, pp: 185-194, (1999).
- [91] Oldfield, J. and Todd, B.; « Environmental aspects of corrosion in MSF and RO desalination plants»; Desalination, Vol. 108, pp: 27-36, (1996).
- [92] Heitmann, H – G.; «Saline water processing»; VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 332p; (1990).

Annexes

ANNEXE

A. I/ PROPAGATION DE SAUMURE SUR L'EAU DE MER EN FONCTION DE LA PROFONDEUR :

Principe et mode opératoire :

La surveillance de l'évolution de salinité sur l'eau de mer a été faite à trois profondeurs : en surface (profondeur=0), peu profond (a 10 cm), en profondeur (a 20 cm) .

A chaque profondeur, nous avons mesuré la salinité de l'eau de mer horizontalement (distance sur l'axe (x)) et verticalement (distance sur l'axe (y)). Le prélèvement de 5ml d'échantillon –à l'aide d'une pipette- est mesuré par un conductivimètre électrique.



Annexe.I : Photos du bassin

A. II/ PROPAGATION DE SAUMURE EN FONCTION DU TEMPS :

Principe et mode opératoire :

Même mode opératoire que le précédent, mais seulement la surveillance de l'évolution de salinité sur l'eau de mer se fait en fonction du temps c-à-d : chaque 5mn on prélève les échantillons d'eau de mer horizontalement et verticalement et à une profondeur (z) de 20cm en absence de ventilation, et à deux profondeurs (z) (à la surface et à 20cm, respectivement) avec ventilation.

A. III/ IMAGES DE LA PROPAGATION DE SAUMURE SUR L'EAU DE MER A DIFFERENTES POSITIONS DU POINT DE REJET :

P₁ : position du point de rejet a la surface :

➤ Sans ventilation : (vue en plan)



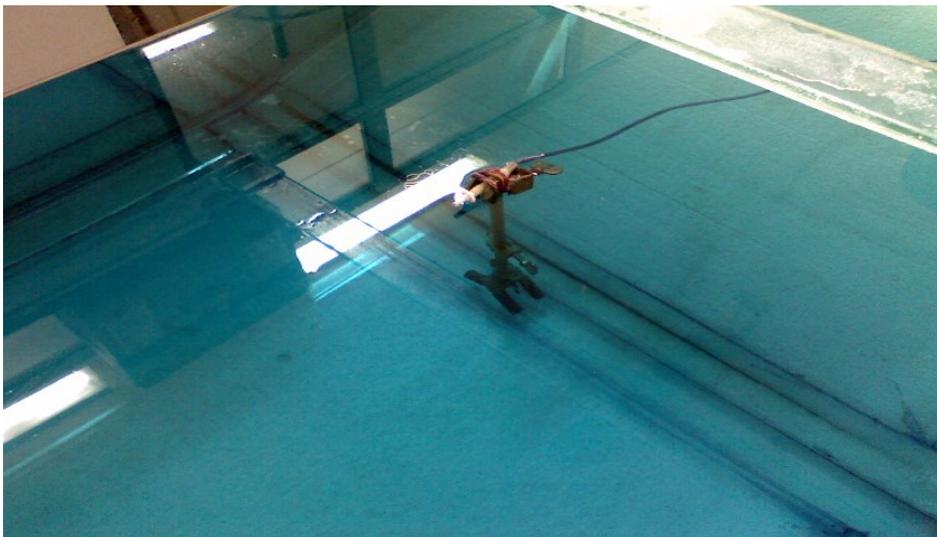
Annexe.II : photos sur la propagation de la saumure à P₁
(sans ventilation)

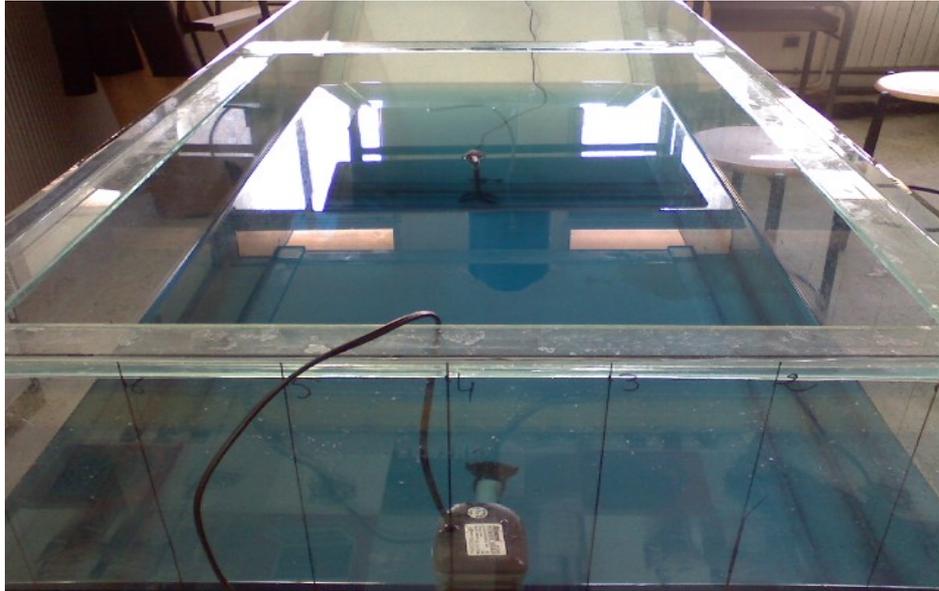
➤ Avec ventilation : (vue en plan)



Annexe.III : photos sur la propagation de la saumure à P_1
(avec ventilation)

P_2 : position du point de rejet 40 cm loin de la cote





Annexe.IV : photos sur la propagation de la saumure à P_2
(sans ventilation)



Annexe.V : photos sur la propagation de la saumure à P_2
(avec ventilation)

P₃ : position du point de rejet 40 cm loin de la cote, situé au fond du bassin



Vue de face



Vue en plan

**Annexe.VI : photos sur la propagation de la saumure à P₃
(sans ventilation)**

A.IV/ Images de la Propagation de saumure sur l'eau de mer a $T= 25^{\circ}\text{C}$:



Vue en plan

Annexe.VII : photos sur la propagation de la saumure à P_1
(sans ventilation)