

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

LARBI TEBESSI - TEBESSA UNIVERSITY

UNIVERSITE LARBI TEBESSI - TEBESSA



جامعة العربي التبسي - تبسة

**Institut des Mines**

## **Thèse**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Mines

**Option : Mines**

**Contribution géochimique, minéralogique et optimisation du processus de cristallisation du sel par énergie solaire : cas du chott Merouane- El-Oued**

Par **REMLI Samir**

Président :	NOUIOUA Ismail	MCA	Université Laarbi Tebessi Tébessa
Rapporteur :	BOUNOUALA Mohamed	Professeur	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur :	IDRES Abdelaziz	Professeur	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur :	BOUKELLOUL Mohamed Laid	Professeur	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur :	BOUZENZANA Abdellali	MCA	Université Laarbi Tebessi Tébessa
Examineur :	GADRI Larbi	MCA	Université Laarbi Tebessi Tébessa

Thèse soutenue le 20 janvier 2019

*Je dédie cette thèse de doctorat*

*À ma mère et mon feu père.*

*À mes sœurs et mes frères.*

*À toute ma famille.*

*À tous mes amis, collègues et spécialement à toi Zaki.*

*À tous ceux qui m'aime et crois en moi.*

# Remerciements

*Ce Document est le fruit d'une longue recherche achevée en collaboration entre le Laboratoire de Valorisation des Ressources Minières et Environnement (LAVAMINE) de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, et l'Institut des mines de l'Université Laarbi Tebessi –Tébessa.*

*Au terme de ce travail, je remercie tout d'abord mon Directeur de thèse le Professeur **BOUNOUALA Mohamed** de l'Université Badji Mokhtar - Annaba pour la rigueur, l'esprit critique et scientifique qu'il m'a prodigué tout au long de mes travaux de recherche.*

*Un remerciement particulier au Docteur **NOUIOUA Ismail**, Maitre de conférence "A" à l'Université Larbi Tébessi – Tébessa pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de thèse de Doctorat LMD.*

*Mes vifs remerciements aux examinateurs ; Professeur **IDRES Abdelaziz**, Professeur **BOUKELLOUL Mohamed Laid** de l'Université Badji Mokhtar - Annaba, Docteur **GADRI Larbi** et Le Docteur **BOUZENZANA Abdellali** de l'Université Larbi Tébessi - Tébessa d'avoir accepté d'examiner cette thèse.*

*J'exprime ma gratitude au Directeur Technique de groupe ENASEL – Constantine Mr **CHENAFI Noureddine**, pour son aide et sa disponibilité.*

*Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **GHETTAF TEMMAM Mohamed.**, le directeur d'unité de Salins Merouane El Meghaier, pour son accueil, ses services et sa sympathie ainsi que le DRH Monsieur **BENMALEK Ibrahim**, Monsieur **SEBAA Ghzal** pour leurs assistances et leurs collaboration étroite.*

*Il m'est particulièrement agréable de remercier vivement Mr **Daoudi Moussa.**, Monsieur **Bouarab Ibrahim.**, Mr **BENSADOK Sadek.**, Mr **BELKASSEM Mohamed**, Mr **Houti Mohamed**, Mr **BELHOCINE Hakim**, Mr **BOGHAZI Amar** et le docteur **BENSEHOUB Aïssa**, pour leurs conseils, leur aide et leur soutien durant mes années de formation doctorale en mines à l'université de Tébessa.*

# Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des équations

<b>INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET OBJECTIFS VISES</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I – ANALYSE DES CONDITIONS GEOLOGIQUES DES SALINS DE LA REGION D’EL-OUED</b>	<b>4</b>
<b>I.1 Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I.2 Géomorphologie des Chotts et Sebkhass</b>	<b>4</b>
I.2.1 Formation des Chotts et Sebkhass	4
I.2.2 Situation géographique du chott Merouane	5
I.2.3 Situation Géologique	6
I.2.4 Géologie régionale	6
I.2.5 Lithostratigraphie	7
<b>I.3 Reconstitution paléogéographique</b>	<b>10</b>
<b>I.4 La tectonique</b>	<b>12</b>
<b>I.5 La géologie locale</b>	<b>12</b>
I.5.1 Mésozoïque	13
I.5.2 Cénozoïque	14
I.5.3 le quaternaire	14
<b>I.6 Hydrogéologie</b>	<b>14</b>
I.6.1 L’aquifère du Continental Intercalaire	15
I.6.2 L’aquifère du Complexe Terminal	16
I.6.3 La nappe phréatique	18
<b>I.7 Bilan hydrochimique du chott Merouane</b>	<b>19</b>
I.7.1 Bilan hydrique	20

I.7.2	Le Bilan de masse annuel du Chott	22
<b>I.8</b>	<b>Minéralisation du chott</b>	<b>23</b>
I.8.1	La masse des sels au niveau du Chott	23
<b>I.9</b>	<b>Chimie des eaux de saumure du Chott Merouane</b>	<b>26</b>
I.9.1	Traitement des eaux de saumure du chott Merouane	26
I.9.2	Faciès chimiques des eaux de saumure du chott Merouane	29
I.9.3	Lasolubilité des minéraux	29
<b>I.10</b>	<b>Minéralogie des sels précipités</b>	<b>30</b>
I.10.1	Théorie de Formation des sels susceptibles d'être précipités	30
I.10.2	Les indices de saturation des eaux de saumure du chott Merouane	31
I.10.3	Minéralogique des sels précipités	34
<b>I.11</b>	<b>Conclusion</b>	<b>36</b>
<b>CHAPITRE II– ANALYSE DE LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR L'EXPLOITATION DES SALINS ET LA PRODUCTION DU SEL SOLAIRE DU CHOTT MEROUANE, EL OUED</b>		<b>38</b>
<b>II.1</b>	<b>Étude Hydro climatologiques</b>	<b>38</b>
II.1.1	Introduction	38
<b>II.1.2</b>	<b>Etudes des paramètres hydroclimatiques du chott Merouane</b>	<b>38</b>
II.1.3	Les aspects physiques théoriques du marais salant	40
<b>II.2</b>	<b>Gisement solaire</b>	<b>46</b>
II.2.1	La latitude et la longitude	46
II.2.2	La déclinaison	47
II.2.3	Position du soleil	48
<b>II.3</b>	<b>Rayonnement solaire</b>	<b>49</b>
II.3.1	Le rayonnement solaire direct	50
II.3.2	Le rayonnement solaire diffus	51
II.3.3	Albédo	51

II.3.4	Rayonnement solaire global	51
II.3.5	Rayonnement sur une surface inclinée	51
II.3.6	Loi de Stefan-Boltzmann	52
<b>II.4</b>	<b>Potentialité et différente production du sel</b>	<b>54</b>
II. 4.1	Capacité de production dans le monde	54
II.4.2	Les techniques de production du sel	56
<b>II.5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>59</b>
<b>CHAPITRE III – MATERIEL ET METHODES</b>		<b>61</b>
<b>III.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>61</b>
<b>III.2</b>	<b>Production du sel du chott Merouane</b>	<b>61</b>
<b>III.3</b>	<b>Expérimentation</b>	<b>63</b>
III.3.1	Etude de durcissement du sel solaire	63
III.3.2	Les essais en 2015	65
III.3.3	Essai 2016-2017	66
<b>CHAPITRE IV – RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>		<b>70</b>
<b>IV.1</b>	<b>Durcissement du sel</b>	<b>70</b>
<b>IV.2</b>	<b>Les résultats des essais en 2015</b>	<b>70</b>
IV.2.1	Résultat du premier essai	70
IV.2.2	Résultat du deuxième essai	72
<b>IV.3</b>	<b>Les résultats année 2017</b>	<b>75</b>
IV.3.1	Comparaison entre B0, B1 et B2	77
IV.3.2	Comparaison entre B0, B3	79
IV.3.3	Comparaison entre B0 et B4	80
IV.3.4	Analyses chimiques des échantillons du sel cristallisé dans les bacs d'essai	81
IV.3.5	Hauteur du soleil et Azimut	82
<b>IV.4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>84</b>

<b>CHAPITRE V – ANALYSE DES IMPACTS D’EXPLOITATION DU CHOTT MEROUANE SUR</b>	<b>58</b>
<b>L’ENVIRONNEMENT</b>	
<b>V.1 Introduction</b>	<b>85</b>
<b>V.2 Aspect pédologique</b>	<b>86</b>
<b>V.3 Répartition géographique des lacs salés (Chotts et Sebkhass) en Algérie</b>	<b>87</b>
<b>V.4 Aspect hydrologique</b>	<b>87</b>
<b>V.5 Biodiversité des Chotts et Sebkhass algériens</b>	<b>88</b>
V.5.1 Richesse faunistique	91
V.5.2 Richesse floristique	92
V.5.3 Statut juridique	96
<b>V.6 Territoire des Chotts et Sebkhass comme écosociosystème</b>	<b>97</b>
<b>V.6. Enjeux</b>	<b>98</b>
V.6.1 Enjeux socioéconomiques	98
V.6.2 Enjeux de conservation	99
<b>V.7 Valeur écologique du chott Merouane et Melghir</b>	<b>99</b>
V.7.1 La flore	99
V.7.2 la faune	101
V.7.2 Conditions humaines	102
<b>V.8 Conclusion</b>	<b>106</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>107</b>
1 Conclusion	107
2 Recommandations techniques	108
<b>Références bibliographiques</b>	

## Liste des figures

<b>Figure 01</b>	Concept général d'optimisation du procédé de cristallisation par énergie solaire	<b>03</b>
<b>Figure 02</b>	situation géographique des chotts en Afrique du Nord	<b>06</b>
<b>Figure 03</b>	carte de Situation géologique du Chott Merouane	<b>07</b>
<b>Figure 04</b>	les grandes unités géologiques au Sahara	<b>08</b>
<b>Figure 05</b>	la Carte Géologique Régionale du Sahara	<b>10</b>
<b>Figure 06</b>	log stratigraphie synthétique de la région du chott Merouane	<b>17</b>
<b>Figure 07</b>	carte hydrogéologique des deux nappes du Sahara septentrional avec le sens d'écoulement des eaux	<b>19</b>
<b>Figure 08</b>	Apport d'eau au chott Merouane	<b>21</b>
<b>Figure 09</b>	bilan massique des sels dissous dans les eaux du chott Mrouane en janvier 2011	<b>22</b>
<b>Figure 10</b>	teneur des éléments chimiques dans les eaux de saumure du chott Merouane en janvier 2011	<b>24</b>
<b>Figure 11</b>	teneurs des éléments chimiques dans les eaux souterraines en janvier 2011	<b>24</b>
<b>Figure 12</b>	Teneurs des éléments chimiques dans les eaux du canal collecteur en janvier 2011	<b>25</b>
<b>Figure 13</b>	variations du pH de l'eau en fonction du temps	<b>27</b>
<b>Figure 14</b>	variations de la température de l'eau en fonction du temps	<b>28</b>
<b>Figure 15</b>	variations de la densité de l'eau en fonction du temps	<b>28</b>
<b>Figure 16</b>	variations de la salinité de l'eau en fonction du temps	<b>28</b>
<b>Figure 17</b>	composition chimique des eaux de saumure du chott Merouane durant le cycle géochimique	<b>29</b>
<b>Figure 18</b>	variations de l'indice de saturation de l'halite en fonction du temps	<b>32</b>
<b>Figure 19</b>	variations de la force ionique en fonction du temps	<b>32</b>
<b>Figure 20</b>	variations de l'indice de saturation de l'halite en fonction de la force ionique	<b>32</b>
<b>Figure 21</b>	variations de l'indice de saturation de la Calcite en fonction du temps	<b>33</b>
<b>Figure 22</b>	variations de l'indice de saturation de la dolomie en fonction du temps	<b>33</b>
<b>Figure 23</b>	variations de l'indice de saturation des gypes en fonction du temps	<b>34</b>
<b>Figure 24</b>	variations de l'indice de saturation des Anhydrites	<b>34</b>
<b>Figure 25</b>	schéma synthétique de la séquence géologique au niveau du chott Merouane	<b>35</b>
<b>Figure 26</b>	La séquence évaporitique Précipitée dans le chott Merouane	<b>36</b>
<b>Figure 27</b>	carte des stations météorologiques d'après cahiers de sécheresse	<b>39</b>
<b>Figure 28</b>	évaporation - précipitation - vitesse du vent – température moyenne -humidité de l'air - durée d'insolation	<b>42</b>

<b>Figure 29</b>	radiation solaire durant toute l'année dans la région d'el Oued en 2015	<b>43</b>
<b>Figure 30</b>	évaporation d'un plan d'eau (mm/j) en fonction de la température ambiante et l'humidité relative	<b>44</b>
<b>Figure 31</b>	évaporation d'un plan d'eau- coefficient multiplicateur lié à la vitesse du vent	<b>45</b>
<b>Figure 32</b>	la constante solaire	<b>47</b>
<b>Figure 33</b>	La latitude et la longitude	<b>47</b>
<b>Figure 34</b>	la déclinaison solaire	<b>49</b>
<b>Figure 35</b>	position du soleil	<b>49</b>
<b>Figure 36</b>	définition des angles solaires pour une surface inclinée	<b>52</b>
<b>Figure 37</b>	courbe d'émission du corps noir en unités réduites	<b>53</b>
<b>Figure 38</b>	production du sel dans le monde	<b>55</b>
<b>Figure 39</b>	la technique industrielle (sel ignigène ou igné)	<b>57</b>
<b>Figure 40</b>	schémas de technique des pistes de forages	<b>57</b>
<b>Figure 41</b>	schéma de la technique d'hydro-fracturation	<b>58</b>
<b>Figure 42</b>	schéma d'évaporation du sel sous vide	<b>58</b>
<b>Figure 43</b>	schéma de raffinage du sel	<b>59</b>
<b>Figure 44</b>	schéma de la technique agricole	<b>59</b>
<b>Figure 45</b>	Unité des Salins Merouane El Meghaier (SME), utilisation des tables salantes	<b>62</b>
<b>Figure 46</b>	les stades de production du sel de l'unité SME	<b>62</b>
<b>Figure 47</b>	Photographie d'appareil de résistance à la compression uniaxiale des roches	<b>64</b>
<b>Figure 48</b>	schéma montre le phénomène de dissolution du sel	<b>65</b>
<b>Figure 49</b>	échantillons du sel de différentes cohésions et cristallisation	<b>65</b>
<b>Figure 50</b>	photographie des bacs d'expérimentation de la saumure du chott Merouane - El Oued, mais et juin 2015	<b>66</b>
<b>Figure 51</b>	Photographie des bacs d'expérimentation de la saumure du chott Merouane- El Oued, janvier 2017	<b>67</b>
<b>Figure 52</b>	projection des rayonnements solaires vers les bacs B1, B2 et B3	<b>68</b>
<b>Figure 53</b>	projection des rayonnements solaires vers la grille noire et la saumure dans B3 et B4	<b>68</b>
<b>Figure 54</b>	assemblage des procédés de concentration des rayonnements solaires sur la surface de saumure de B4	<b>69</b>
<b>Figure 55</b>	courbe de résistance à la compression des échantillons du sel en fonction d'humidité	<b>70</b>
<b>Figure 56</b>	Courbes d'évaporation des saumures du bac témoin et celui avec miroir	<b>72</b>
<b>Figure 57</b>	courbes d'évaporation des saumures du bac témoin et celui avec grand miroir	<b>72</b>

<b>Figure 58</b>	vitesse du vent – humidité d’air – température d’air et bacs	<b>74 -75</b>
<b>Figure 59</b>	courbes d’épaisseur de couche (sel + saumure) de B0, B1 et B2	<b>78</b>
<b>Figure 60</b>	courbes d’évaporation des saumures de B0, B1 et B2	<b>78</b>
<b>Figure 61</b>	courbes des températures des saumures et d’air	<b>79</b>
<b>Figure 62</b>	courbe d’évaporation des saumures du bac B0, B0 et celui B3	<b>80</b>
<b>Figure 63</b>	courbe des épaisseurs des couches du bac B0 et celui B3	<b>80</b>
<b>Figure 64</b>	courbe d’évaporation des saumures du bac B0 et celui B4	<b>81</b>
<b>Figure 65</b>	courbe des épaisseurs des couches du bac B0 et celui B4	<b>81</b>
<b>Figure 66</b>	la position horaire du soleil par rapport le point d’essai	<b>83</b>
<b>Figure 67</b>	la position du soleil de lever à coucher de celui	<b>83</b>
<b>Figure 68</b>	trajectoire du soleil de lever à coucher de celui	<b>84</b>
<b>Figure 69</b>	- situation géographique des Chotts et Sebkhass en Algérie	<b>88</b>
<b>Figure 70</b>	répartition de la population active selon les secteurs économiques	<b>104</b>
<b>Figure 71</b>	illustration des principales activités dans la région d’étude	<b>105</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1	Bilan hydrique du chott Merouane Pour l'année 2003	21
Tableau 2	Estimation du volume et superficie Du chott Merouane et Melghir	22
Tableau 3	Le Bilan de masse de saumure du chott en janvier 2011	23
Tableau 4	Le Bilan massique des eaux souterraines réalisé en janvier 2011	24
Tableau 5	Le bilan massique des eaux du canal collecteur en janvier 2011	25
Tableau 6	Coefficient de trouble atmosphérique	50
Tableau 7	Qualification de la résistance d'une roche en fonction de la valeur de la résistance en compression simple $\bar{\sigma}_c$ .	64
Tableau 8	Dimensionnement du matériel utilisé	67
Tableau 9	Equipements des bacs	67
Tableau 10	Analyses chimiques de saumure	69
Tableau 11	Résultats de résistance à la compression et l'humidité des échantillons	70
Tableau 12	Suivi journalier de premier essai de l'épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l'évaporation, l'écart entre les bacs et l'observation météorologique	71
Tableau 13	Suivi journalier du deuxième essai de l'épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l'évaporation, l'écart entre les bacs et l'observation météorologique	73
Tableau 14	Suivi horaire du 07 :00 à 18 :00 des températures de saumures et d'air, d'humidité, vitesse du vent et l'observation météorologique	74
Tableau 15	Suivi journalier de l'épaisseur de la couche (saumure+selcristallisé), l'évaporation, précipitation des bacs B0, B1, B2, B3 et B4 et aussi l'observation météorologique	76-77
Tableau 16	Suivi horaire des températures de saumures et d'air	79
Tableau 17	Analyses chimiques du sel cristallisé	82
Tableau 18	Les lacs salés algériens (Chotts et Sebkhass)	89-90
Tableau 19	Les principales espèces crustacées rencontrées au niveau des chotts et Sebkhass d' Algérie	93
Tableau 20	Liste des oiseaux fréquentant (hivernage et se reproduisant) les chotts et Sebkhass d'Algérie	93-94-95
Tableau 21	Les principales espèces constituant le couvert végétal des chotts et Sebkhass d'Algérie	96
Tableau 22	Principales espèces inventoriées aux alentours du bassin du chott Merouane et Melghir	101-102

## Liste des équations

<b>Equation 1</b>	formation d'Halite	<b>30</b>
<b>Equation 2</b>	formation de la calcite	<b>30</b>
<b>Equation 3</b>	formation du Gypse	<b>31</b>
<b>Equation 4</b>	formation de l'Epsomite	<b>31</b>
<b>Equation 5</b>	formation de la Bichovite	<b>31</b>
<b>Equation 6</b>	formation de la Blodeite	<b>31</b>
<b>Equation 7</b>	loi de Dalton	<b>40</b>
<b>Equation 8</b>	la pression de vapeur saturante	<b>41</b>
<b>Equation 9</b>	humidité relative de l'air	<b>41</b>
<b>Equation 10</b>	la vitesse du vent	<b>43</b>
<b>Equations 11, 12,13</b>	évaporation d'un plan d'eau pure	<b>44</b>
<b>Equation 14</b>	taux d'évaporation E (en mm/jour)	<b>44</b>
<b>Equation 15</b>	L'énergie reçue en fonction du jour de l'année	<b>46</b>
<b>Equations 16,17</b>	La déclinaison	<b>48</b>
<b>Equation 18</b>	l'angle horaire	<b>48</b>
<b>Equation 19</b>	L'azimut du soleil	<b>48</b>
<b>Equation 20</b>	la hauteur du soleil	<b>48</b>
<b>Equations 21,22</b>	heures de lever et de coucher du soleil	<b>48</b>
<b>Equation 23</b>	Durée d'insolation	<b>48</b>
<b>Equation 24</b>	Rayonnement solaire global	<b>49</b>
<b>Equation 25</b>	la pression atmosphérique	<b>50</b>
<b>Equation 26</b>	la pression de vapeur saturante	<b>50</b>
<b>Equation 27</b>	le taux moyen d'humidité relative	<b>50</b>
<b>Equation 28</b>	Pression partielle de vapeur d'eau	<b>50</b>
<b>Equation 29</b>	la masse d'air optique relative	<b>50</b>
<b>Equation 30</b>	l'épaisseur optique de Rayleigh	<b>50</b>
<b>Equation 31</b>	le facteur de trouble de Linke	<b>50</b>
<b>Equation 32</b>	Le rayonnement solaire direct sur un plan normal	<b>50</b>

<b>Equation 33</b>	Le rayonnement solaire diffus	<b>51</b>
<b>Equation 34</b>	Rayonnement solaire global	<b>51</b>
<b>Equation 35</b>	Le rayonnement solaire direct sur un plan récepteur	<b>51</b>
<b>Equations 36, 37,38</b>	Rayonnement sur une surface inclinée	<b>51</b>
<b>Equations 39,40 ,41</b>	Loi de Stefan-Boltzmann	<b>52</b>
<b>Equation 42</b>	Le nombre d'états possibles des photons dans un volume	<b>52</b>
<b>Equation 43</b>	Le nombre moyen de photons par unité de volume	<b>52</b>
<b>Equation 44</b>	Le nombre moyen de photons par unité de volume	<b>53</b>
<b>Equations 45, 46, 47,48</b>	énergie de chaque photon	<b>53</b>
<b>Equation 49</b>	la loi de Rayleigh-Jeans	<b>53</b>
<b>Equation 50</b>	loi de déplacement de Wien	<b>53</b>
<b>Equation 51</b>	La densité moyenne d'énergie totale	<b>54</b>

**INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE,  
HYPOTHESES ET OBJECTIFS VISES**

# INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE, HYPOTHESES ET OBJECTIFS VISES

## Introduction

L'Algérie possède des potentialités importantes en sel et grâce notamment à la richesse de son sous-sol en sel rocheux (diapirs visibles ou cachés, couches souterraines) et aux conditions climatologiques très favorables pour la production de sel solaire dans les chotts ou lacs. Ces derniers milieux en Algérie ont fait l'objet de rares études détaillées (*Haddane A. et al 2015*), il faut noter l'étude de *Bouhlila R. (1994)*, sur un modèle de simulation des interactions entre sels et saumures et l'estimation de l'évaporation des eaux souterraines du chott Chergui, et l'étude de *Saltec-lavelin (1983)*, dont le but est l'exploitation du Chott Merouane. La formation des lacs salés est généralement contrôlée en grande partie par les changements temporels des précipitations à l'intérieur du bassin (*Bryant R.G. 1999*). En effet les eaux qui forment ces lacs proviennent de deux sources principales: les précipitations directes (incluant les rivières et les apports de surface) et l'eau souterraine (*Bryant R.G. Rainey M.P. 2002*). Les saumures des sebkhas contiennent des solutés à des concentrations supérieures à celles de l'eau de mer. Le magnésium, le potassium, le calcium et le sodium sont parmi les éléments les plus abondants dans la croûte terrestre et ils ont d'importantes applications industrielles et médicales. Les ressources de ces éléments sont très répandues, mais l'eau de mer et les eaux de saumures en sont les principales (*Al-Shaibani A. 2012*).

Sur le plan environnemental, ces zones humides protègent la biodiversité, et elles sont favorables à l'aquaculture d'Artémia et d'algues. A l'échelle mondiale, les cystes d'Artemia, à titre d'exemple, sont exploités généralement dans les salines qui constituent leurs écosystèmes (*Alou I., et Amorr I., 2009*).

Le chott Merouane caractérisé par une région aride à hyperaride. L'exploitation du sel est basée sur l'énergie solaire et caractérisée par une absence de pollution et par sa disponibilité a fait l'objet d'un grand intérêt industriel et environnemental. Les systèmes d'exploitation qui utilisent cette forme d'énergie par évaporation présentent une fiabilité de fonctionnement, une autonomie de plus en plus accrue, une résistance extrême aux conditions naturelles (température, humidité, vent, corrosion, etc.), et donc une grande longévité. Il apparaît dès lors que l'énergie solaire peut apporter de réelles solutions aux divers problèmes qui se posent actuellement concernant les changements climatiques, les crises énergétiques...etc. (*Yettou A. et al, 2009*).

La campagne de récolte débute par pompage des eaux salées et se termine avec la remise en état des tables salantes de décembre jusqu' au mois de juillet. Le procédé consiste à pomper la saumure à partir du chott à 22° Bé, soit une densité de 1.18g/cm<sup>3</sup>. Le pompage débutera en début du 01 décembre, le volume pompé décroît sensiblement avec l'évaporation, pour cela il est nécessaire de faire des appoints pour maintenir la hauteur de la saumure dans les onze tables salantes de 250 m de largeur et 280 m de longueur. Il est d'usage de pomper 30 à 50 cm de couche de saumure par table, une fois le pompage de la dernière table est terminé on recommence l'alimentation de la première, jusqu'à la fin de durée de vie de remplissage du chott de l'année en cours. Après cristallisation du sel par énergie solaire ; les récolteurs par raclage découpent la couche cristallisée et ce à partir de fin du mois de juin.

Au cours de cette récolte, d'énormes difficultés sont rencontrés suite au durcissement rapide de cette couche (température très élevée dans la période estivale), la récolte continue à l'aide des chargeurs, néanmoins ils provoquent la destruction de la couche protectrice contre sel causant des altérations au niveau des tables salantes. Le transport du sel est assuré par des camions vers la station de lavage, d'épuration et de stockage dans des camelles (*Enasel, 2007*).

La présence d'impuretés dans le sel a des graves conséquences économiques et environnementales (*Vladimir M. Sedivy G., 2006*). Les impuretés augmentent le coût du traitement de la saumure dans les procédés chimiques, aussi que les effluents contaminés qui nécessitent un raffinage du sel pour la consommation humaine. L'approche classique de la purification du sel s'effectue par lavage mécanique et par recristallisation sous vide. Les partenaires du sel ont mis au point des procédés novateurs qui sont peu coûteux tout en atteignant les plus hauts niveaux de qualité du sel. Récemment, la production mondiale annuelle de sel a dépassé 200 millions de tonnes et environ un tiers du total est produit par évaporation solaire d'eau de mer ou de saumure intérieure. Le reste de la production du sel est obtenu par l'extraction de dépôts de sel gemme, à la fois sous-sol et en surface. L'équilibre est obtenu sous forme de saumure, principalement par extraction en solution. Les saumures peuvent être utilisées directement (par exemple dans l'électrolyse à diaphragme) ou évaporées thermiquement pour produire un sel sous vide.

La présente étude a pour objectif d'optimiser le processus de cristallisation du sel au niveau d'unité Salins Merouane d'El Meghaier (SME). En se basant sur l'accélération de la vitesse d'évaporation de la saumure avec l'utilisation d'énergie solaire par la mise au point de différents systèmes qui suivent le mouvement du soleil et l'emmagasinage d'énergie tels que le miroir de réflexion, grille noire flottante et l'assemblage entre eux. Les travaux de recherche

menés dans cette étude de valorisation des ressources salines du chott Merouane (El Oued) sont développés selon le diagramme ci-dessous (figure 01) :

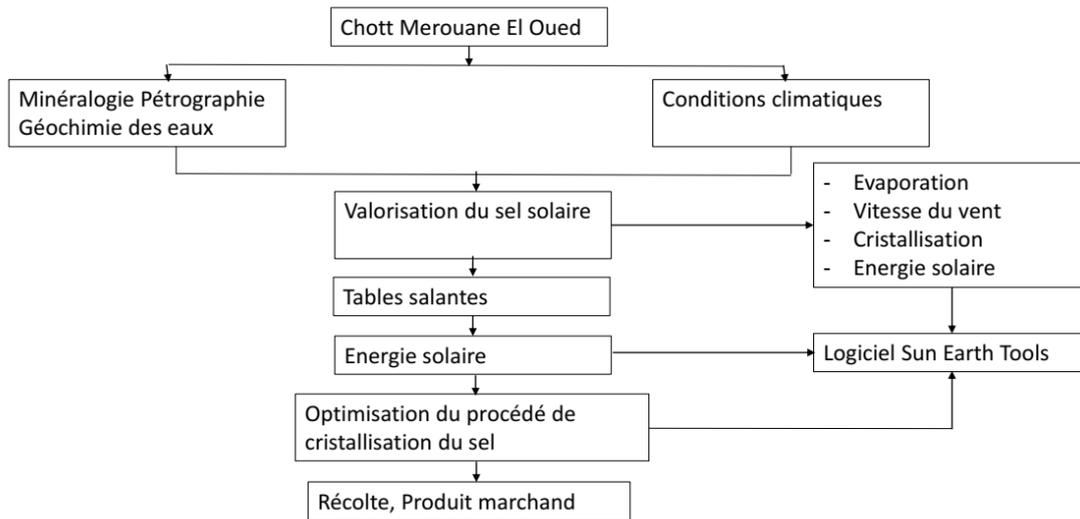


Figure-01 : Concept général d'optimisation du procédé de cristallisation par énergie solaire

## **CHAPITRE I**

# **ANALYSE DES CONDITIONS GEOLOGIQUES DES SALINS DE LA REGION D'EL-OUED**

# CHAPITRE I – ANALYSE DES CONDITIONS GEOLOGIQUES DES SALINS DE LA REGION D'EL-OUED

## I.1 Introduction

Les vastes dépressions endoréiques d'Afrique du Nord sont synonymes des Chotts ou Sebkhass, cependant en Afrique du Sud, aux Etats-Unis et en Australie c'est l'équivalent de Salt pans alors qu'en Amérique du Sud Salinas ou salures, au Mexique sont Playa, en Asie leur appellation diffère d'une région à une autre, à titre d'exemple en Iran sont appelés Kévin et en Mongolie Nor (*Joly F. 2006*). Depuis longtemps les géographes français ont adopté les mots arabes de Sebkhass et Chott en précisant leur sens. Selon *Coque R. et al. (1972)* : sebkhass est assimilée à un lac salé (la mer Morte est même citée en exemple) avant d'être correctement définie comme une cuvette (plus exactement un fond plat de cuvette) à inondation temporaire, sans végétation. Quant au terme de Chott, il représente seulement l'auréole plus ou moins large de steppe halophile qui entoure la sebkhass, exploitée comme pâturage à chameaux. Cependant *Stone O.R. (1967)* définit les sebkhass comme lac salé. *Dubost D. (2002)*, décrit le Chott comme une zone salée entourant la sebkhass qui est le fond humide de la dépression. Le mot sebkhass, est issu de l'arabe, désigne au Sahara, des dépressions fermées en forme de cuvette, périodiquement inondées dans lesquelles se produit une accumulation de sel. Selon *Schult Z. et al. (2002)*, ce mot Sebkhass est largement utilisé en Amérique du Nord, en Afrique du Nord, de l'Ouest et au Proche Orient, tandis qu'en Afrique du Sud ils sont appelés aussi Trémies (*Direy F. 1960*). Au Maghreb, on emploie volontiers le terme de Chott pour les désigner (*Incorvaia G. 2004*). Selon *Aubert G. (1976)*, les Chotts de l'Afrique du Nord sont des terrains salés souvent couvert de croûtes salines à perte de vue en saison sèche ; alors qu'en saison de pluie ne se voit plus que la surface au moins salé, dont les bords ne sont que des kilomètres carrés de boue sodique. Malgré quelques divergences dans la définition de ces milieux (Chott, Sebkhass, Garaet), les géographes, les scientifiques, les biologistes s'accordent pour les considérer comme une dépression fermée qui sont équivalent des lacs salés.

## I.2 Géomorphologie des Chotts et Sebkhass

### I.2.1 Formation des Chotts et Sebkhass

La constitution des dépressions salées est liée à l'histoire géologique des hautes plaines algériennes. Elle est marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'oligocène une phase d'orogénèse

extrêmement active, coïncidant avec les plissements alpins qui a entraîné la surrection de l'Atlas Saharien (*Dresch J. 1954*). Cependant à la fin du tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes jurassiennes et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux, aussi bien dans l'Atlas que le long piémont saharien et également vers le nord dans les hautes plaines. Au Villafranchien (limite tertiaire/ Quaternaire) résulte un ensemble homogène avec une allure de vaste plaine, qui va constituer le cadre des processus morphologiques du quaternaire. Ce dernier voit le remaniement des unités géologiques en place, à travers l'action combinée des mouvements tectoniques (soulèvement, subsidence, plissement) et du climat (érosion, dépôt).

A la fin du villafranchien est précédé par la formation d'une vaste croûte calcaire résistante à l'érosion, fossilisant ainsi la surface villafranchienne. Cette surface encroûtée correspond à la haute surface moulouyenne ou villafranchienne supérieure. Le soulèvement de l'ensemble de l'Atlas Saharien, à la période post- villafranchienne, met à la position dorsale par rapport au compartiment saharien, resté stable, et aux plaines, restées coincées entre les deux Atlas. Des pressions considérables vont soumettre la haute surface moulouyenne à des phénomènes de plissements et de dislocation d'où résulteront des cassures qui vont favoriser la formation de fosses subsidence (*Pouget M. 1980*).

### **I.2.2 Situation géographique du chott Merouane**

Le chott Merouane c'est un lac salé, fait partie du bassin de Melghir, situé au Nord Est du Sahara septentrional, il appartient, administrativement à la daïra d'el Meghaier (Wilaya d'El Oued, Algérie) dans le village de N'Sigha OURIR, il s'étend sur une superficie de 333.700ha, il se regroupe avec l'ensemble des chotts tunisiens (figure 2) sous forme d'étendues lagunaires suivant deux directions :

- Une direction SW-NE, correspondant à la direction atlasique le long de laquelle sont regroupés les chotts Chergui, El-Gherbi et El-Hodna.
- Une direction WNW-ESE, rassemblant les chotts El-Hodna, Melghir, El Ghera et le chott El Jerid. Avec son altitude qui est de 31 m au-dessous du niveau de la mer, il représente la région la plus basse de L'Afrique du Nord, situé à environ 9 Km de Nord-est de la daïra d'El Meghaier, limité par le Parallèle : 33° 55' N et le Méridien : 6° 10' E.

### I.2.3 Situation Géologique

La région du Chott Merouane est située dans le Sahara septentrionale de l'Algérie dans un trend d'ensellement longitudinal structuré au paléozoïque (figure 3), sur laquelle elle est limitée au nord par les monts de l'Aurès et des Nememcha, au sud par les hamadas du Tadmaït et de Tinghert, à l'est par les plateaux du Dahar tunisien et à l'ouest par la dorsale du Mزاب.

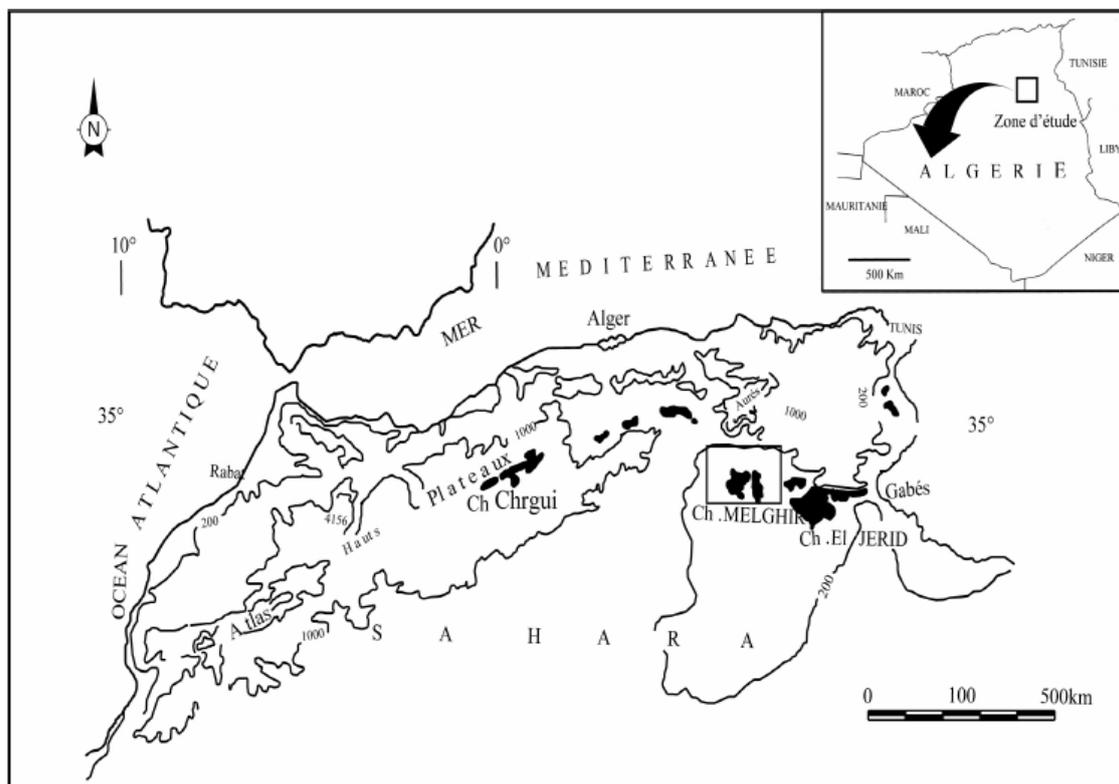


Figure 2- Situation géographique des chotts en Afrique du Nord (Hacini M, 2006)

### I.2.4 Géologie régionale

Le Sahara septentrional de l'Algérie représenté dans la figure 4 se situe au Nord-Est de la plate-forme saharienne, celle-ci est limitée, au nord par la chaîne de l'Atlas saharien et au sud, par le bouclier Reguibate et Touareg, avec une superficie de 720 000 km<sup>2</sup> qui s'étalant le long de plus de 600 km, elle s'étend des pieds de l'Aurès au nord jusqu'au Tassilis au sud. Une grande partie du bassin est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 km<sup>2</sup>. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes qui s'inclinent en pente douce vers les parties déprimées qui forme un trend d'ensellements, matérialisés par l'axe SSW-NNE occupé par des Chotts et dont le fond est inférieur au niveau de la mer .

### I.2.5 Lithostratigraphie

- *le vraconien*

Le Vraconien est le passage entre l'Albien sableux (sommet du Continental intercalaire) et le Cénomanién argilo-carbonaté (base du Complexe Terminal).

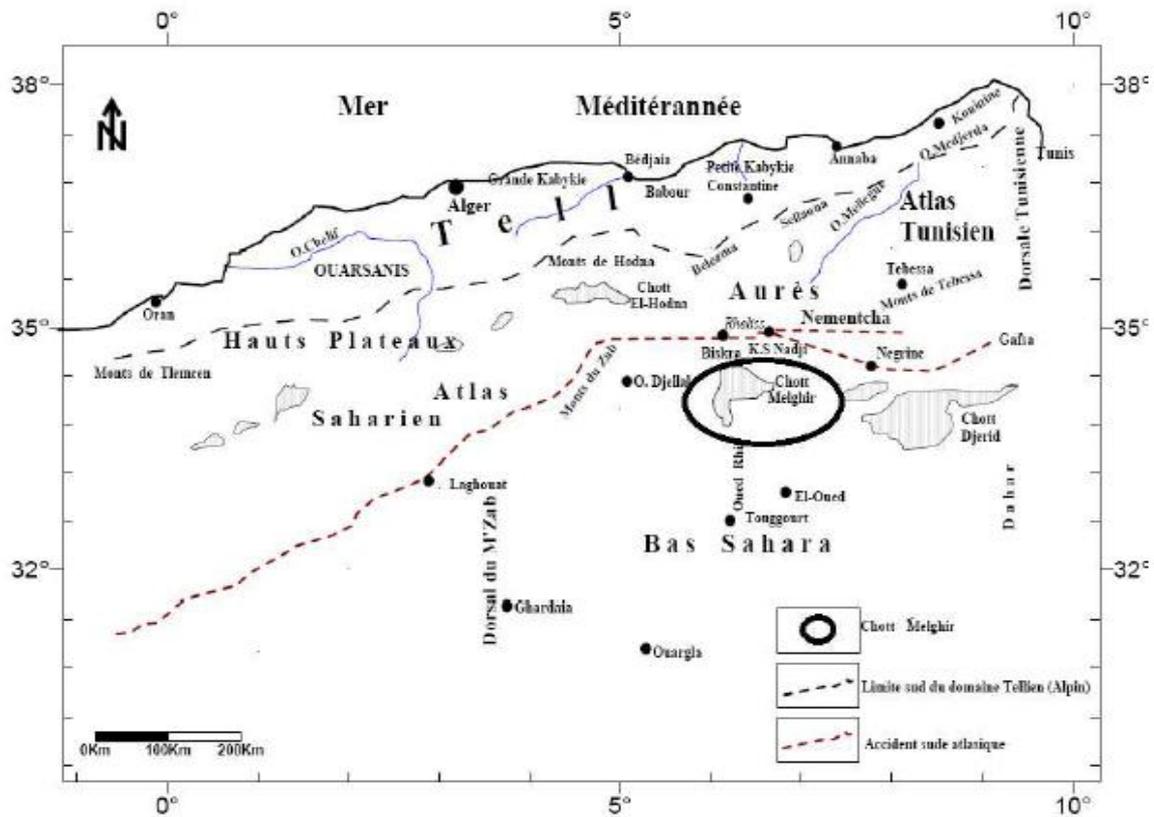


Figure 3- Carte de Situation géologique du Chott Merouane (Guiraud N., 1990)

Le Vraconien est une alternance d'argile dolomitique, parfois Argiles sableuses, avec fin passé de grès à ciment carbonaté (figure 5).

- *le cenomanien*

Il est représenté par une série lagunaire, de marne, gypse avec passées d'anhydrites et des bancs carbonatés sur l'ensemble du bassin oriental du Sahara algérien.

- *le turonien*

Composée par un banc de calcaire fossilifère sur une grande partie du bassin, la résistivité électrique élevée des carbonates à celle d'évaporites et d'argiles facilite l'identification du Turonien du Cénomanién par diagraphie.

- *le senonien*

Il est subdivisé en trois niveaux qui sont de bas en haut :

- *le senonien salifere*

Ce terme n'existe que dans la partie centrale du bassin, il est essentiellement constitué du sel gemme qui repose sur un banc Anhydritique latéralement qui se prolonge vers le NE, ont allons vers le SW il devient argileux.

- *le senonien lagunaire*

Trois intervalles bien distincts caractérisent le sénonien lagunaire : anhydritique à la base, carbonaté à la partie médiane et l'anhydritique au sommet. Ces niveaux ne sont pas souvent bien individualisé, et les niveaux argileux ne dépassant généralement pas 1 à 2 mètres avec présence de trace de sel.

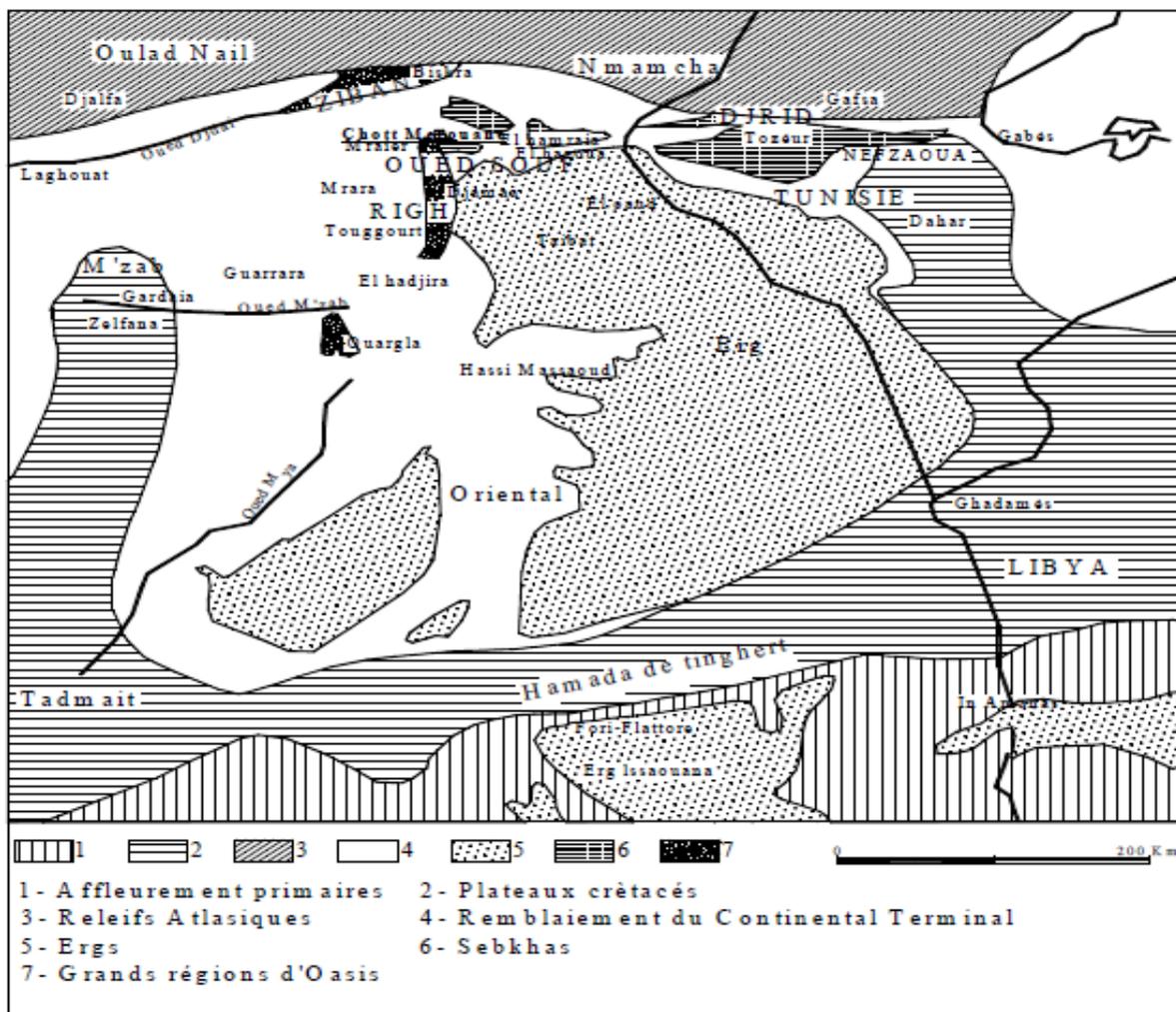


Figure 4- Les grandes unités géologiques au Sahara (Hacini M., 2006)

- *le senonien carbonate*

Le Sénonien carbonaté composé essentiellement par des niveaux dolomitique a calcaires dolomitiques, avec intercalations marno-argileux, avec rares passée d'anhydrite. La limite entre Sénonien lagunaire et Sénonien carbonaté n'est pas toujours claire, bien que La limite

supérieure du Sénonien carbonaté soit encore plus floue. En effet, il y a pratiquement une continuité du point de vue lithologique entre le Sénonien et l'Éocène carbonaté, les deux niveaux étant formés par des calcaires de même nature. Seule la présence de nummulites permet d'identifier l'Éocène.

- *l'éocène*

Dans L'Éocène, on distingue deux formations lithologiques, comme dans le Sénonien, et il s'agit l'éocène carbonaté à la base et l'éocène évaporitique au sommet.

. *l'éocène carbonate*

C'est une alternance de dolomie calcaire, passant à des calcaires dolomitiques vers la base, une série à nummulite complétée par une séquence de faciès lagunaire (évaporitique), présence de calcaires.

. *l'éocène évaporitique*

Une alternance argiles calcaires, marnes Anhydrite, associée à une microfaune, d'âge éocène, constitué de nummulites, de milioles et de globigérines.

. *le mio-pliocène*

Cet ensemble, mal daté, peut comprendre des terrains éocènes a sa base et quaternaire à son sommet, il est constitué essentiellement de sables et de quelques passées d'argile et de carbonates souvent gréseux. Vu l'intérêt qu'il present par l'enregistrement des phases tectoniques tertiaires, une coupe synthétique des affleurements de la bordure septentrionale du bassin sera succinctement décrite à partir des travaux Becip-Sonatrach (1970). De bas en haut on distingue :

- *le niveau m1*

Il est constitué de grés, de conglomérat et de marnes d'âge oligo-Miocène, il repose en discordance sur les différents termes du crétaé ou Éocène.

- *le niveau m2*

Il est subdivisé à son tour en deux sous-ensembles :

À la base le terme « a » constitué de conglomérats, des marnes et de calcaires, reposant en discordance sur le niveau m1. Et au-dessus, le terme « b » renferme des conglomérats, des grés, des argiles, des gypses et des lumachelles à *Ostrea Crassissima*. Le contact inférieur est souvent une discordance de ravinement.

- *le niveau m3*

Il est constitué de marnes, de gypse, de grés et parfois de conglomérats.



des sables d'origine éolienne ou fluviatile et des évaporites d'origine lagunaire. On note cependant, quelques incursions marines, en particulier en Jurassique et à l'Aptien.

Durant la seconde moitié du secondaire, d'autres phénomènes se sont succédé : Au Cénomaniens les calcaires marins viennent de déposer en transgression sur les grès continentaux albiens. Ces calcaires qui s'intercalent avec les argiles et des évaporites traduisent un régime marin peu profond, évoluant vers un régime lagunaire responsable du dépôt des évaporites et des argiles gypsifères.

Au Turonien, le régime marin s'est stabilisé, permettant le dépôt d'une série calcaire homogène, atteignant parfois plus de 100 mètres dans le Sahara oriental. La stabilisation du régime marin durant le Turonien n'est que temporaire.

Au début du Sénonien des bancs d'anhydrites et d'argiles, ainsi que des dolomies et quelques niveaux de calcaires se déposent en alternance. Le dépôt parfois d'un banc de sel massif à la base dans le bas Sahara témoigne particulièrement du régime lagunaire qui s'était installé sur le Sahara oriental.

Au Sénonien supérieur, le régime marin réapparaît une nouvelle fois déposant ainsi la seconde série calcaire. Cette transgression sénonienne semble moins importante que celle du Turonien. En effet, on note la présence de petites intercalations d'évaporites dans les calcaires sénoniens, ce qui n'est pas le cas des dépôts turoniens.

Au début de l'Éocène inférieur, la mer recouvre toujours le Sahara oriental, c'est le dépôt des calcaires à nummulites.

Durant l'Éocène moyen et supérieur, les sédiments marins de l'Éocène inférieur sont peu à peu remplacés par des dépôts lagunaires où alternent les argiles, les évaporites et les calcaires. La faible extension de ce golfe marin localisé dans le bas Sahara marque les dernières manifestations de la mer saharienne dont la disparition définitive se situe vers la fin de l'Éocène.

À la fin de l'Éocène, le Sahara oriental se présente sous l'aspect d'une plateforme calcaire émergée qui sera exposée à l'érosion durant tout l'oligocène.

Au Mio-pliocène, suite à l'épi orogénèse alpine, des sédiments argileux et sableux continentaux se déposent sur l'ensemble du Sahara oriental. Cette sédimentation continentale se poursuit durant le Quaternaire. C'est donc aux époques Tertiaires et Quaternaire que le Sahara oriental a pris la configuration que nous lui connaissons aujourd'hui.

#### **I.4 La Tectonique**

Après le dépôt des formations marines du Primaire, le Sahara subit des mouvements tectoniques hercyniens verticaux et horizontaux, puis de nouveaux mouvements post triasique, la charge des épaisseurs considérables des sédiments, causée des grands mouvements de subsidence aux bordures septentrionales du socle africain. Lors de l'orogénèse atlasique, un mouvement majeur intervient alors, les poussées dues à la surrection des sédiments formants la chaîne atlasique et leur plioement brutal entraîne à l'extrémité du socle africain un accident longitudinal.

L'orogénèse atlasique est l'origine de l'apparition des déformations a grand rayon, les calcaires du M'Zab ont transformées en dorsale, ceux de Tadmaït en cuvette, au Sud l'axe d'Amguid -el-Biod s'effondrer pour faire place à un axe synclinal méridien qui se poursuit jusqu'à l'Aurès. Et enfin la phase Plio-Quaternaire dont les mouvements s'insèrent avec le précédent dans la phase Alpine, d'où l'apparition des cassures de direction est-ouest accentuant la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud "Sillon Sud Aurésien". Ces fractures régissent directement sur l'écoulement des eaux souterraines et de surface qui a donné naissance aux Chotts tels que Chott Melghir et Chott Merouane.

#### **I.5 La géologie locale**

Les formations géologiques qui caractérisent la région du chott Merouane en surface sont en grande partie d'âge quaternaire et résultent de l'érosion continentale des dépôts Miopliocène. Ils sont formé d'une matérielle alluviale ou éoliens, des dunes consolidées de limon à sable très fin (environ 10 m d'épaisseur) qui se cimentent en profondeur par des gypses, l'épaisseur des sables est très importante là où la végétation favorise la stabilisation des vents de désert, sous-jacent à ces sables fins, on trouve environ 70 m d'argiles qui reposent à son tour sur environ 35 m de grés et sable, faisant partie de la nappe aquifère la plus importante, le complexe terminal (CT).

Les dépôts alluviaux sont charriés par les différents oueds, dont certains, relativement proche, les dépôts éoliens qui se localisent au niveau des dunes parsemant le chott sont de diverses origines :

À la fin du miocène, la sédimentation se poursuit et un manteau continental d'origine détritique recouvre le plateau saharien composé d'argiles, de sables, de graviers et de marnes, est recouvert par le pliocène et n'affleure généralement pas, seulement au niveau des berges et des terrasses de l'Oued Tell.

Au Pliocène la croute saharienne est surmontée donnons naissance au, Hamada située dans la partie occidentale des Chotts Melghir et Merouane Formée d'une pâte calcaire-gypseuse englobant souvent dans sa masse des poudingues, des sables et des graviers repose sur les sables argileux rouges du tertiaire qui s'interrompt brusquement dans sa partie orientale au niveau du Bordj de Stile sous l'effet de l'érosion (*Cornet A. 1964, Gousskov N. 1952*).

Sur les bordures septentrionales du Sahara Orientale, les forages des puits d'eaux qui ont comme objective principale la nappe Albienne ont reconnu une colonne stratigraphique constituée essentiellement des dépôts Mésozoïque et Cénozoïques, reposant en discordance majeure sur des terrains d'âge paléozoïque un épandage détritique d'âge Quaternaire repose en discontinuité sur le Cénozoïque.

La description lithologique des formations géologiques traversées au cours du forage (figure 06) a révélé à la colonne stratigraphique suivante :

### **I.5.1 Mésozoïque**

#### *- le barrémien*

Une alternance d'argiles et des sables moyens à fins d'une épaisseur Environ 143 m repose en discordances sur les formations paléozoïques.

#### *- l'aptien*

Matérialisé par des calcaires à calcaires dolomitiques, avec fine passée des marnes, reconnue sur une épaisseur de 46m.

#### *- l'albien*

Ces des alternances d'argiles et des grés, avec des fins niveaux marneux, son épaisseur est de 202 m.

#### *- le vraconien*

Le Vraconien est représenté par une alternance d'argile et des calcaires, avec présence de gypse et des anhydrites, son épaisseur et de l'ordre de 90 m.

#### *- le céno-manien*

Cette couche marque le début de la phase marine final du Bas Sahara, reconnue par des formations marneuses, anhydrite, gypse parfois des dolomies ; avec une épaisseur de 236 m.

#### *- le turonien*

Il s'agit d'une barre de calcaire très caractéristique dans le Sahara central avec des niveaux d'anhydrites, l'épaisseur de cette couche est de 46m.

- *le sénonien*

Le Sénonien présente une épaisseur géante de 1065 m subdivisés en deux grandes séries :

- *le Sénonien lagunaire*

Il s'agit d'une épaisseur de 413 m, matérialisés par des dépôts évaporitiques.

- *le Sénonien carbonaté*

Il représenté par des bancs des calcaires et de calcaires dolomitiques, avec fines passées de marnes et des évaporites, l'épaisseur de ce niveau est de l'ordre de 652 m.

### **I.5.2 Cénozoïque**

- *l'èocène*

Avec une épaisseur de l'ordre de 85 m, reconnue par des calcaires dolomitiques, des marnes, avec présence de quelque trace de gypse et d'anhydrite.

- *le miopliocène*

Le Miopliocène présente la fin du complexe terminal, leur épaisseur est de l'ordre de 307 m, marqué par des sables fins à moyens localement grossiers, passant à des grés moyennement consolidés à ciment carbonaté, intercalé par des argiles.

### **I.5.3 le quaternaire**

Le Quaternaire est constitué de sables éoliens, localement intercalés de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le grand Erg oriental. C'est à ce niveau que l'on rencontre la nappe superficielle qui est alimentée principalement par l'infiltration des eaux déficitaires lors d'irrigation. Son épaisseur est variable et peut atteindre localement une dizaine de mètres.

### **I.6 Hydrogéologie**

Lorsque l'on aborde le Sahara par le nord on est surpris par la rapidité avec laquelle on passe des montagnes et plateaux de l'Atlas à la plate-forme désertique saharienne. Ce passage souligné par des affleurements de calcaires blancs presque verticaux correspond à l'accident sud-atlasique qui est selon les endroits un pli, un pli-faille, ou une flexure. Au sud de cet accident, qui va d'Agadir au Golfe de Gabès, s'étend le bouclier africain qui a résisté aux plissements et sur lequel la mer s'est parfois étendue, mais sans jamais atteindre de grandes profondeurs.

C'est sur ce bouclier formé de roches éruptives et métamorphiques que se sont déposés plusieurs milliers de mètres de terrains sédimentaires allant du Cambrien au Quaternaire dont certains horizons servent de réservoirs aux aquifères que nous étudions.

Les ressources en eau souterraine dans le bassin sédimentaire du Sahara septentrional ou la région du chott Merouane fait partie, sont contenues dans deux grands aquifères, qui s'étendent au-delà des frontières algériennes (Tunisie et Lybie) : ceux du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT).

### **I.6.1 L'aquifère du Continental Intercalaire**

La nappe du Continental Intercalaire souvent appelée « nappe de l'albien » occupe une partie de la puissante série sédimentaire du Sahara algérienne.

Le terme Continental Intercalaire est d'origine géologique, il désigne les formations continentales qui se sont déposées entre le cycle marin du Paléozoïque, clôt par l'orogénèse hercynienne qui a rejeté la mer hors de la plate-forme saharienne, et la grande transgression marine du Cénomanién, Le Continental Intercalaire couvre donc une large période qui va du Trias à l'Albien, le terme n'est donc pas tout à fait approprié, car il concerne aussi quelques formations lagunaires et marines déposées à l'occasion de petites incursions marines à partir du golfe de Gabès.

À l'affleurement, dans les régions d'Adrar et d'Ain Salah, le Continental Intercalaire se présente sous la forme d'une succession de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux ; les niveaux perméables prédominent largement. Les grès sont déconsolidés, friables, souvent mal cimentés, de teinte rose à brune.

On observe souvent la stratification entrecroisée typique des dépôts fluviaux leur grain est variable, parfois assez fin souvent grossière, on trouve même des concrétions sphériques de quelques centimètres de diamètre, le ciment est le plus souvent carbonaté, il est parfois siliceux ou argileux, les argiles sont rouges, brunes ou vertes, toujours sableuses, et forment des intercalations de quelques centimètres d'épaisseur.

Ce réservoir a un volume considérable du à la fois à son extension sur tout le Sahara septentrionale (600.000 km<sup>2</sup>) et à son épaisseur utile, qui peut atteindre 250 mètres dans la plus grande partie du bassin a une profondeur qui dépasse les 2000 m à Ouargla, El-Oued et Oued Righ, à la périphérie du bassin, la profondeur de la nappe ne dépasse pas les quelques dizaines de mètres (El-Goléa, Timimoune...).

La nappe du Continental Intercalaire est un réservoir à eau douce de bonne qualité sur l'ensemble du bassin en particulier dans les limites Ouest du bassin (El- Goléa), la plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Cette nappe est artésienne dans la majeure partie du bassin, par contre dans les bordures du bassin elle est exploitée par pompage ; notons qu'auparavant la nappe est artésienne même dans les bordures, cette diminution de la pression est due à une surexploitation de cette nappe.

Le sens d'écoulements de cette nappe commence de l'Ouest algérien vers l'Ouest tunisien, et du Sud algérien vers l'Ouest tunisien L'exutoire naturel de cette nappe est chott Djérid en Tunisie.

### **I.6.2 L'aquifère du Complexe Terminal**

Le Complexe Terminal (C.T) est un aquifère multicouche, caractérisé par l'intercalation des formations imperméable à semi-perméable avec des formations perméables, il couvre la période qui s'étale du Sénonien au quaternaire, notons que localement le Turonien est englobé à l'ensemble « Complexe Terminal ». Il s'étend sur une superficie de 350.000 km<sup>2</sup> avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m, il regroupe deux aquifères différenciés selon la nature lithologique, de haut en bas on trouve :

- *l'aquifère du Mio-Pliocène sablo argileux*

Constituée essentiellement par des sables avec présence de calcaire et des argiles, reconnue sur une épaisseur moyenne de 300 m.

- *l'aquifère du Sénon-Eocène carbonaté*

Représenté par des formations carbonatées et évaporitiques intercalées par des marnes parfois des argiles, reconnues sur une épaisseur de l'ordre de 400 m.

- *L'aquifère du Turonien*

C'est la base du complexe terminale, reconnue sur une épaisseur de l'ordre de 46 m, représenté par des calcaires séparés des deux nappes sous-jacentes par les formations du Sénonien lagunaire qui constitue un écran imperméable. Cette particularité hydrogéologique et leur hétérogénéité lithologique leur ont valu d'être groupées sous le terme de Complexe. L'alimentation de la nappe (CT) s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire, actuellement la nappe reçoit des quantités importantes au niveau des bordures qui sont relativement arrosées et par infiltration à travers les sables du Gand Erg oriental, qui repose par endroits directement sur les formations perméables du Mio-Pliocène, ou bien par drainance à travers les failles d'Amguid l'Abiod qui maintient en contact le complexe terminal avec de l'aquifère du Continental Intercalaire.

ERE	ETAGES	PROFONDEUR	CHRONO STRATIGRAPHIE	LITHOLOGIE
QUATERNAIRE			SABLE	
			ARGILE	
			ÉVAPORITE	
CÉNOZOÏQUE	MIO-PLIOCÈNE	10 m	SABLE	
			ARGILE	
			GRES	
	ÉOCÈNE	317m	ARGILE	
			CALCAIRE DOLOMITIQUE	
			MARNE	
MÉSOSOÏQUE (CRÉTACÉ)	LE SÉNONIEN CARBONATÉ	402m	CALCAIRE	
			MARNE	
	LE SÉNONIEN LAGUNAIRE	1054m	CALCAIRE	
			ANHYDRITE	
			SEL MASSIF	
			MARNE	
			ARGILE	
	TURONIEN	1467m	CALCAIRE	
	CÉNOMANIEN	1513m	GYPSE	
			ANHYDRITE	
			DOLOMIE	
			MARNE	
	VARCONIEN	1749m	CALCAIRE	
	ALBIEN	1839m	ARGILE	
			GRES	
ARGILE				
GRES				
APTIEN	2041m	ARGILE		
		CALCAIRE		
BARRÉMIEN	2087m	ARGILE		
		SABLE		
		ARGILE		
		SABLE		
		2230m		

Figure 6- log stratigraphique synthétique de la région du chott Merouane.

L'exutoire naturel de cette nappe en Algérie est le chott Merouane et Melghir, en Tunisie chott El Jerid et chott El Ghersa. Le débit d'alimentation de cette nappe est estimé de  $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , la salinité est bonne sur les bordures est relativement élevée dans le centre du bassin (dépassé  $3 \text{ g/l}$  dans la région de Touggourt et Ouargla) le sens d'écoulement de cette nappe est Sud- Nord et nord-sud.

L'étude *ERESS (1972)* montre que la nappe du complexe terminal alimente le chott par drainance avec un volume d'eau estimé à  $62.34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ .

### I.6.3 La nappe phréatique

Elle est représentée par des sables fins à moyens d'âge quaternaire avec traces de cristaux de gypse, très perméables, libre, caractérisée par des eaux à fortes salinités se situées à des profondeurs variant de  $1 \text{ m}$  à  $50 \text{ cm}$ , avec l'excès d'irrigation et de pompages à travers les nappes captives (CI et CT), La nappe phréatique de la vallée de l'oued Righ a connu une remontée de son niveau piézométrique par conséquent des nombreux secteurs sont inondés en hivers, mauvais rendements agricoles. C'est pour cela un réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la dépression de l'oued Righ a fin d'amoindrir le danger de la situation.

Les dépressions salées représentent un système évaporatoire (*Coque R. 1962*). Ils résultent de l'émergence des eaux artésiennes et leurs concentrations donnent naissance à des lacs salés (*Drouhin G. 1960*). La formation de ces lacs salés est généralement contrôlée en grande partie par les changements temporels des précipitations à l'intérieur du bassin (*Bryant R.G. 1999*). En effet les eaux qui forment ces lacs peuvent parvenir de deux sources principales : les précipitations directs (incluant les rivières et les apports de surface) et l'eau souterraine (*Bryant R.G. et Rainey M.P. 2002*). Le canal long de  $150 \text{ km}$  draine les eaux jusqu'au chott Merouane (figure 7). La quantité d'eau totale drainée par le canal de l'Oued Righ a été estimée à  $131,5.10^6 \text{ m}^3$  durant l'année 1994 (*Hacini M. et al, 2009*).

Il est alimenté selon *Ballais J.L. (2010)* par les eaux de collecteur sur bords et des oasis. La part annuelle des eaux souterraines qui alimentent le chott Merouane a été estimée à  $62.10^6 \text{ m}^3$  (*U.N.E.S.C.O.1972*). Tandis que l'apport des précipitations, selon *Hacini M. et al. (2009)*, dans l'alimentation du Chott a été estimé par la station météorologique de Touggourt à un volume de  $4,9.10^6 \text{ m}^3$ . Trois facteurs climatiques déterminent le développement de ces zones humides, la température, l'évaporation et les précipitations, elles deviennent éphémères avec l'augmentation de l'évaporation (*Williams W.D. 2001*).

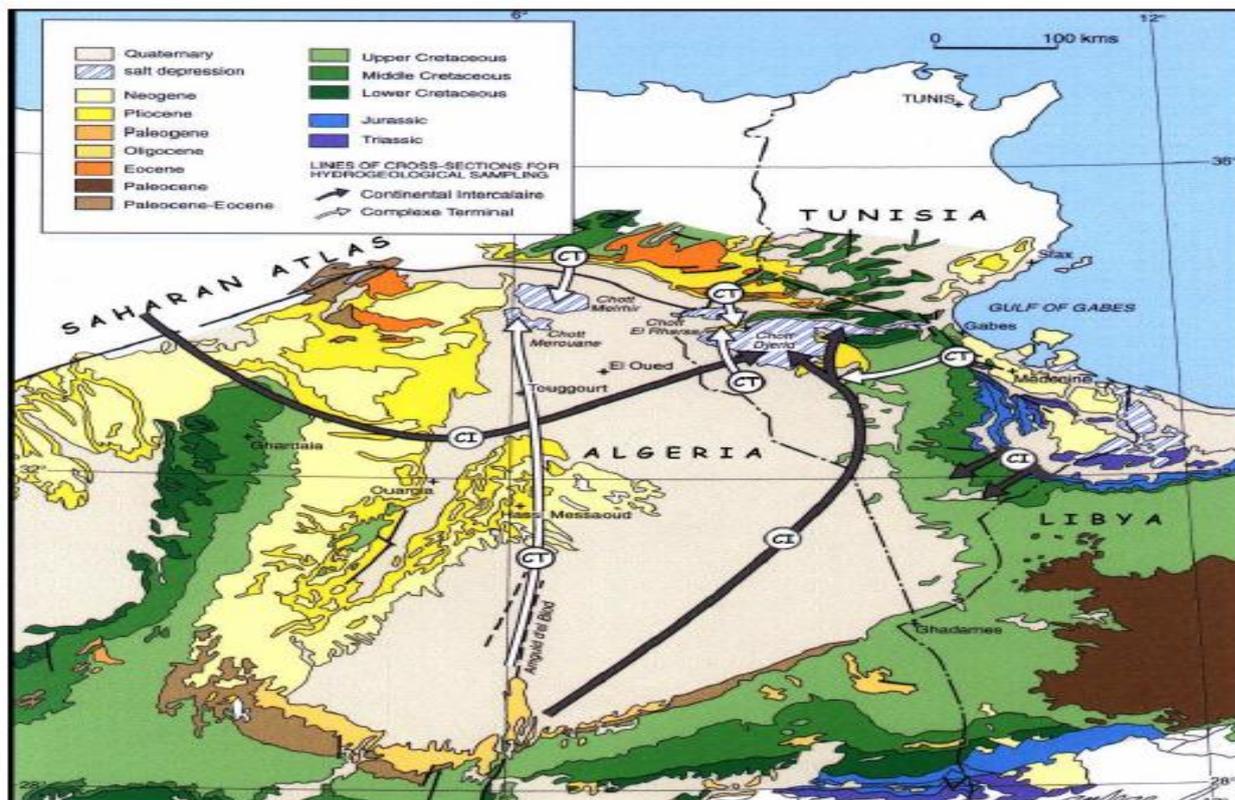


Figure 7- carte Hydrogéologique des deux nappes du Sahara septentrional (Guendouz M. et al, 2003).

### I.7 Bilan hydrochimique du chott Merouane

L'étude qui a été faite par (Yan, J.P. 2001), a classé les lacs selon leur bilan hydrique en trois types :

- les lacs éphémères de type (A) : ces des lacs temporaires en fonction des conditions climatiques, ils peuvent devenir secs à n'importe quel moment.
- les lacs éternels, de longue durée, de type (B) : le temps de résidence d'eau dans ce type du lac décroissent graduellement dans un grand intervalle de temps, la salinité du lac décroît à cause du flux d'eau qui arrive au lac, provoquant la dilution des eaux.
- les lacs éternels à très grande durée, de type (C), le temps de résidence d'eau est très long. L'accroissement de la salinité est continu dans le temps à cause du flux de la matière dissoute, déversée dans le lac.

Le Chott Merouane est un lac continental, éphémère, de type « A » (Hacini M. 2006), vu que le remplissage du chott se fait à partir de la fin du mois d'octobre et atteint son maximum à la fin du mois de février, avec l'augmentation de la température et le taux d'évaporation, le chott perd son volume d'eau et devient sec à partir du mois de juillet, les éléments chimiques qui ont été dans leur état aqueux, dans des conditions thermodynamiques bien distinctes vont

se précipiter après avoir atteint leur degré de saturation sous forme des minéraux évaporitiques (sels) sur toute la superficie du chott.

### I.7.1 Bilan hydrique

Les ressources hydriques dans la région du chott Merouane ont fait l'objet de plusieurs études et travaux par la société nationale des Ressources hydriques (*Narch*) Ouargla, afin d'estimer les volumes d'eau souterraines et celle de surface à travers les oueds qui présentent un écoulement superficiel et qui sont déversés au chott, les quantités d'eaux proviennent de la précipitation est négligeables dans un climat hyper aride ou le taux de l'évaporation est importante. Vue leur positionnement au-dessous du niveau de la mer (-31 m), le chott Merouane constitue l'exutoire de toutes les eaux de surface de Sahara algérien, principalement il est alimenté par trois sources : les eaux de drainage du canal collecteur de l'Oued Righ, les eaux de pluie et les eaux souterraines du complexe terminal.

#### - canal collecteur de l'Oued Righ

Les eaux de ruissellements creusent les vallées qui se déforment au cours du temps. Le canal d'Oued Righ présente une vallée qui a abouti leur stade de maturation vue que celle-ci est beaucoup plus large que les plus larges méandres du cours d'eau. Cet aspect, il est plus visible dans sa partie sud car ce canal a été objet de réaménagement dans sa partie nord par l'Entreprise Nationale des Travaux Hydrauliques en 1980. Elle s'étale sur une longueur de 136 Km avec une pente d'écoulement de l'ordre de 1 ‰, du départ de Goug (daïra de Temacine) pour arriver aux chotts Merouane et Melghir (wilaya d'El Oued).

Pour calculer le volume d'eaux contribué par ce canal, Huit stations jaugeage ont été installées par (*Narch*) tout au long du canal d'El Goug jusqu'à Boufeggoussa ; l'endroit de contact avec le Chott, Notons que les quantités d'eau durant les périodes hivernales sont très importantes, comparativement avec celles des périodes estivales (*Saltec-Lavalin; 1983*).

#### - les eaux de pluie

Comme on a vu précédemment, la région du chott Merouane est caractérisée par un climat hyper aride où la saison sèche s'étalant durant toute l'année marquée par des faibles précipitations et un taux d'évaporations élevées, ce qui implique que les eaux de pluie n'atteignant pas le sol, donc il y a toujours un déficit. Cette hypothèse est confirmée par le calcul du bilan hydrologique par la méthode de SERRA de la série (1975-2010), qui utilise l'ETP (Évapotranspiration Potentielle) comme facteur déterminant dans l'évaluation du bilan hydrique d'une région.

- les eaux souterraines

L’écoulement des eaux souterraines est causé par les forces physiques agissant dans le milieu souterrain et par l’environnement géologique de ce milieu. Ces eaux s’infiltrent d’abord à la surface des terrains et elles s’écoulent dans les milieux géologiques sur des distances variables, puis elles retournent à la surface de différentes façons.

Le chott reçoit une quantité d’eau de la nappe(CT) par drainance, un écoulement qui se produit perpendiculairement aux couches amenant l’eau vers des couches adjacentes. L’estimation du volume d’eaux déversée par la nappe est basée sur les valeurs de la transmésivité de la nappe sous un gradient hydraulique unitaire. Le suivi fait par Mr.Hacini durant l’année 2003, nous a permis de quantifier les volumes d’eau déversé au chott à travers les différentes sources d’alimentation (voir tableau N°1).

Tableau N°1- Bilan hydrique du chott Merouane Pour l’année 2003

Les Sources d’alimentation	Volumes d’eau 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /an
Pluies	-
Canal de l’Oued Righ	130.19
Eaux souterraines	62.24

On constate que la grande quantité d’eau qui renferme le chott (figure 8), provient du canal collecteur (67,60%), puis les eaux souterraines (32,40%), et comme démontré auparavant, l’apport d’eau par les pluies est négligeable par rapport à la faible précipitation dans la région en parallèle d’une intense évaporation.

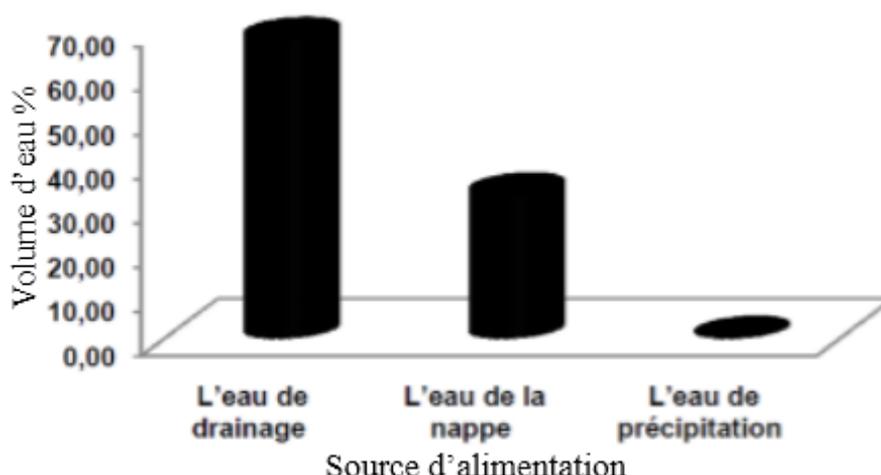


Figure 8- Apport d’eau au chott Merouane

Une étude faite par le Centre National de Télédétection Spatiale d’Arzew (C.N.T.S.) avec deux reprises, l’une au mois de janvier où le chott est plein en saumure et l’autre au mois

d'Aout lors de l'évaporation totale de celle-ci, et ce afin d'évaluer le volume et la superficie du chott Merouane. Donc ce dernier avec le chott Melghir ont été subdivisé en 4 sections (A.B.C.D), alors les résultats sont présentés dans le tableau N° 2 suivant :

Tableau N°2- estimation du volume et superficie du chott Merouane et Melghir

Saumure	Superficie (ha)	Volume (m <sup>3</sup> )
A	10173.33	101733300
B	1231.20	12312000
C	807.66	8076600
D	5582.25	5582250

### I.7.2 Le Bilan de masse annuel du Chott

Le bilan de masse est basé essentiellement sur les résultats d'analyse chimique des eaux de saumure et des sources d'alimentation dans la période où le chott est plein (mois de janvier) quand la quantité d'eau atteint son volume maximum, ainsi sur les volumes d'eaux déversé dans le chott.

- *Le volume d'eau dans le chott Merouane*

Selon les deux premières sections A et B, donc on va conclure que la superficie du chott Merouane est estimée à 11404,53 ha et son volume est de 114,05, 106 m<sup>3</sup>. Alors, le volume d'eau qui existe dans le chott lors du mois de janvier est de 114 045 300 m<sup>3</sup> et le volume des eaux qui proviennent de la nappe et du canal collecteur est de 62 400 000/an m<sup>3</sup> et 130 190 000/an m<sup>3</sup> successivement (figure 9).

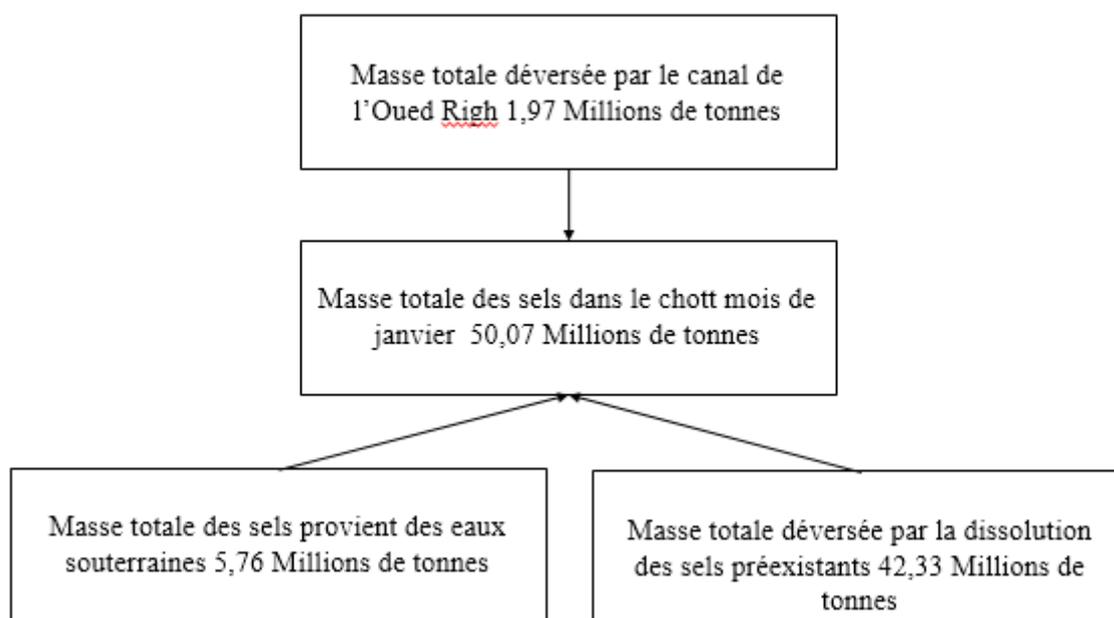


Figure 9- le bilan massique des sels dissous dans les eaux du chott Merouane en janvier 2011 (Kadri M.M, 2012)

## I.8 Minéralisation du chott

Pour une estimation d'un bilan de masse, il faut d'abord connaître la masse totale des sels dissous dans le chott, et mettre en considération le volume total des eaux au niveau du celui, les concentrations des éléments majeurs qui le renferme (Ca, Mg, Na, K, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>) et la densité de saumure. De même façon pour les eaux de sources d'alimentation, puis une synthèse de la masse totale des sels dissous par la dissolution de celle préexistante dans le chott.

### I.8.1 La masse des sels au niveau du Chott

La masse totale des sels dissous dans le chott (tableau N°3) est de l'ordre de 50,07 millions de tonnes, composées principalement par les chlorures avec une masse de l'ordre de 21 millions de tonnes l'équivalent de 43% de la masse totale du chott, suivie par le sodium qui est estimée à 22 millions de tonnes soit un pourcentage de 33%) et les sulfates avec une quantité de 13 millions de tonnes soit un pourcentage de 19 % (figure.10).

#### - la masse des sels dans les eaux souterraines

La masse totale des sels provient des eaux souterraines est de l'ordre de 5,76 millions de tonnes (figure.11), le chlore représente la moitié de cette masse avec un taux de 3 millions de tonnes, les autres éléments comme le calcium, le magnésium, le sodium et les sulfates présentent une faible quantité qui n'atteignent même pas une tonne, le potassium et les bicarbonates sont négligeables. Les sels dissous dans les eaux souterraines composent un pourcentage de 11.51 % de la masse totale des sels au niveau du chott, et ce représente un apport faible par rapport la quantité existante (tableau N° 4).

Tableau N°3 - le Bilan de masse de saumure du chott en janvier 2011.

Elément	Concentration, mg/l	Volume du chott, 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Masse des éléments dans le chott, tonnes
Ca	2 870	114.05	415 700.845
Mg	9 090	114.05	1 316 627.415
Na	115 017	114.05	16 659 464.84
K	2 260	114.05	327 346.31
Cl	148 600	114.05	21 523 744.1
SO <sub>4</sub>	67 001	114.05	9 704 659.344
HCO <sub>3</sub>	854	114.05	123 696.349
Total			50 071 239.2

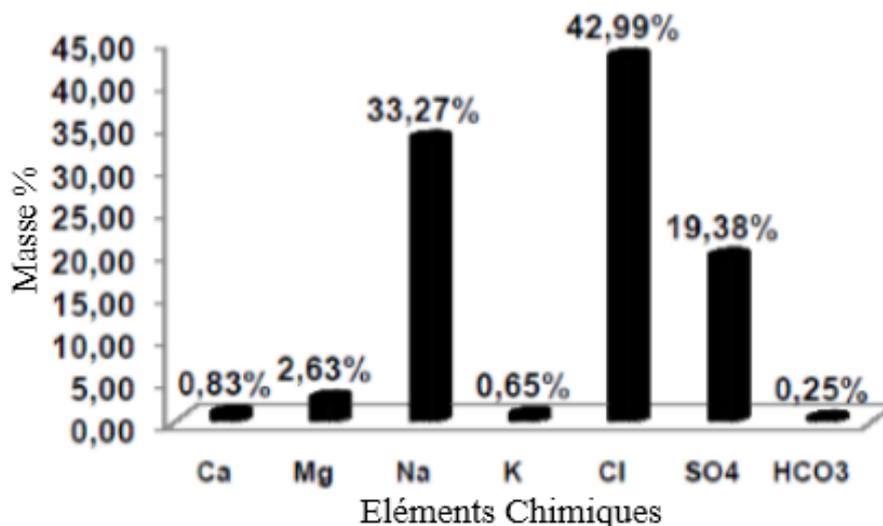


Figure 10- teneur des éléments chimiques dans les eaux de saumure du chott Merouane en janvier 2011 (Kadri M.M, 2012)

Tableau N°4- le Bilan massique des eaux souterraines réalisé en janvier 2011.

Élément	Concentration, mg/l	Volume des eaux souterraines, 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Masse des éléments dans les eaux souterraines, tonnes
Ca	8 625	62.4	570 492.00
Mg	5 456.8	62.4	360 934.58
Na	13 850	62.4	916 094.40
K	1 150	62.4	76 065.60
Cl	48 000	62.4	3 174 912.00
SO <sub>4</sub>	9750	62.4	644 904.00
HCO <sub>3</sub>	271	62.4	17 925.02
Total			5761 327.60

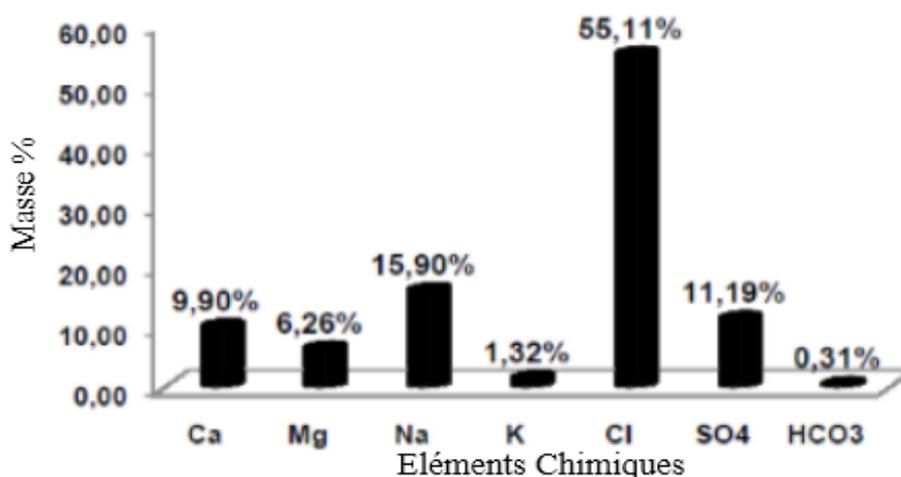


Figure 11- teneurs des éléments chimiques dans les eaux souterraines en janvier 2011(Kadri M.M, 2012)

- la masse des sels dans le canal collecteur

La masse totale des sels fournis par les eaux du canal collecteur est faible comparativement à celles des eaux souterraines, elle est de l'ordre de 1.97 millions de tonnes ou le chlore représente 37.30 % de la masse totale suivie par les sulfates 27,89 %, le sodium 19,99 % et le magnésium (8,66 %), les autres éléments comme les bicarbonates, le calcium et le potassium sont en traces (figure 12).

Sur le plan global, les sels provenant du canal collecteur compose seulement 3.94 % de la totalité des celui qui existent dans le chott, ce chétif pourcentage est dû principalement à la faible concentration des éléments dans les eaux du canal collecteur, vue la période de prélèvement qui a été effectué au mois de janvier ou le débit est pratiquement fort qui conduit à la dilution des eaux (tableau N° 5).

Tableau N°5- le bilan massique des eaux du canal collecteur en janvier 2011.

Elément	Concentration, mg/l	Volume d'eau du canal Oued Righ, 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Masse des éléments dans le canal Oued Righ, tonnes
Ca	410	130.19	53 911.68
Mg	1 300	130.19	170 939.47
Na	3 002	130.19	394738.68
K	170	130.19	22 353.62
Cl	5 600	130.19	736 354.64
SO <sub>4</sub>	4 188	130.19	550 688.08
HCO <sub>3</sub>	344.65	130.19	45 318.68
Total			11 974 304.86

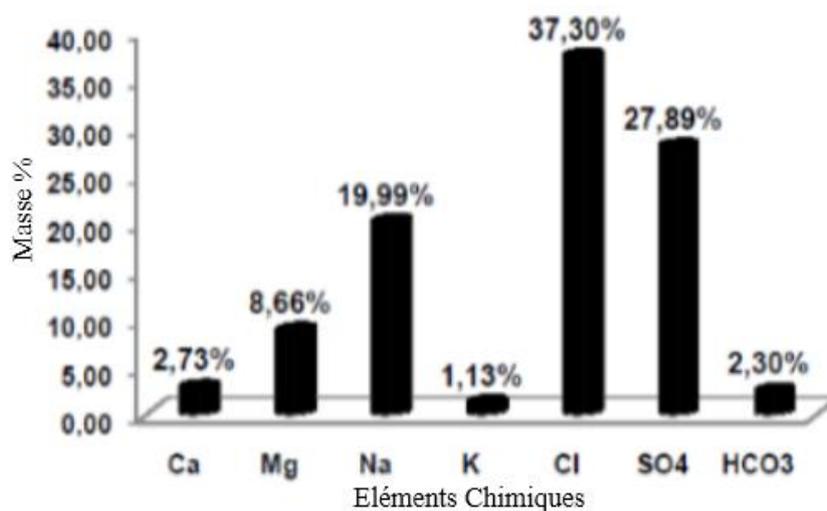


Figure12- teneurs des éléments chimiques dans les eaux du canal collecteur en janvier 2011 (Kadri M.M, 2012)

- *la masse des sels qui proviennent de la dissolution*

La succession des précipitations des sels dans le chott a créé une croûte évaporitique d'alimentation par les éléments chimiques dans chaque cycle qui composent la masse des sels qui proviennent de la dissolution des celui préexistantes avec une quantité de 42 335 606,74 tonnes soit un pourcentage de 84.55 % de la masse totale des sels dissous dans les eaux du chott.

## **I.9 Chimie des eaux de saumure du Chott Merouane**

L'étude de la chimie des eaux de surfaces a une grande importance particulièrement dans les chotts, leur composition dépend essentiellement du type de roche ou bien de sol qui se lessivés par ces eaux lors de leurs écoulements.

Les eaux de saumure du chott Merouane proviennent principalement à travers le canal collecteur par écoulements ou bien par drainance à partir de la nappe (complexe terminale). Un traitement des résultats d'analyses physico-chimiques qui ont été effectués au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Ouargla selon les techniques standards classiques, Une campagne de prélèvements des eaux de saumure du chott Merouane du mois de janvier lors du remplissage totale du chott jusqu'au mois de juin lors de l'évaporation totale a permis d'apprécier le contexte géochimique et de définir leur caractéristiques fondamentale.

### **I.9.1 Traitement des eaux de saumure du chott Merouane**

Pour traiter l'eau, il est nécessaire de caractériser le plus précisément possible.

Les paramètres suivants qui sont les plus couramment étudiés :

- *détermination du pH*

Le pH mesure la concentration des ions d'hydrogènes dans l'eau. C'est-à-dire l'alcalinité et l'acidité de l'eau sur une échelle de 0 à 14.

Les eaux de saumure du Chott Merouane, caractérisée par un pH neutre qui varie entre 7,5 et 8,28 (figure 13).

- *température de l'eau*

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels, sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH de l'eau, elle permet de différencier les eaux qui circulent en surface de celles qui circulent en profondeur, qui sont influencées par le gradient géothermique (1 C° pour 33 m environ).

La température de saumure du chott est variée entre 13 et 25°C, l'allure de l'évolution de la température en fonction du temps montre qu'il y a une corrélation positive, ce qui implique que la température tend à augmenter (figure 14).

- *la densité de saumure*

La densité peut nous renseigner sur le taux des concentrations des éléments chimiques dans la solution. Donc l'évolution de la densité en fonction du temps (figure 15) marqué par deux phases :

- au début du cycle jusqu'au mois d'avril : une diminution de la densité 1.27-1.14 g/cm<sup>3</sup> due à la dilution de celle-ci par les eaux des sources d'alimentations.
- au mois d'Avril jusqu'à la fin du cycle, la densité montre une croissance remarquable de 1.14 à 1.34 g/cm<sup>3</sup> gouvernée par une augmentation de la température.

- *la Salinité*

La salinité est exprimée par la conductivité spécifique en us/cm, l'allure générale de la salinité (figure 16) marquée par une diminution dès les premières semaines et jusqu'à la fin du mois de mars. Puis elle connue une augmentation remarquable à partir du mois d'avril jusqu'à la fin du cycle, ce comportement est similaire à celle de la densité.

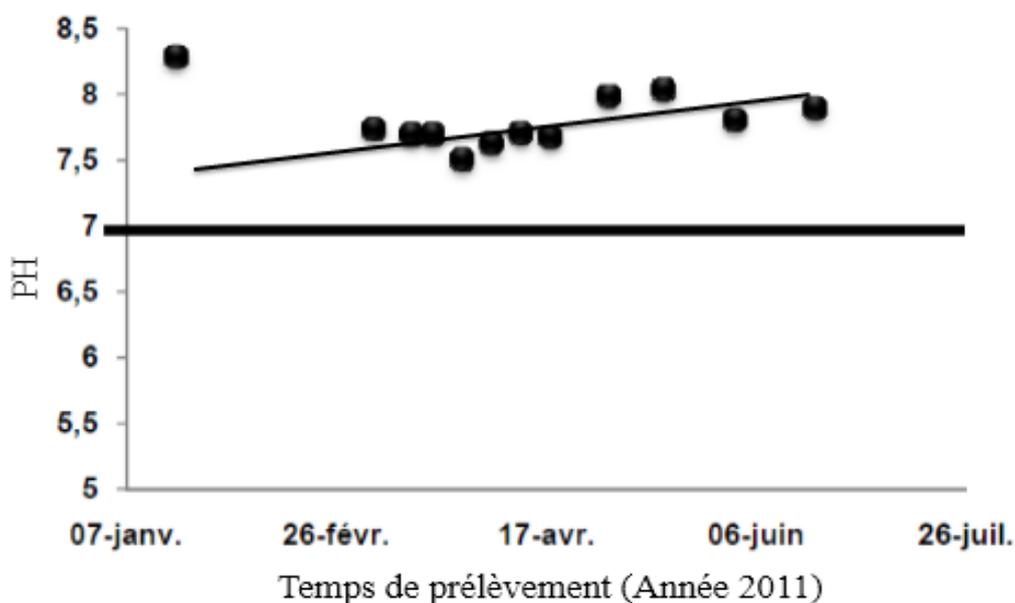


Figure 13- variations du pH de l'eau en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

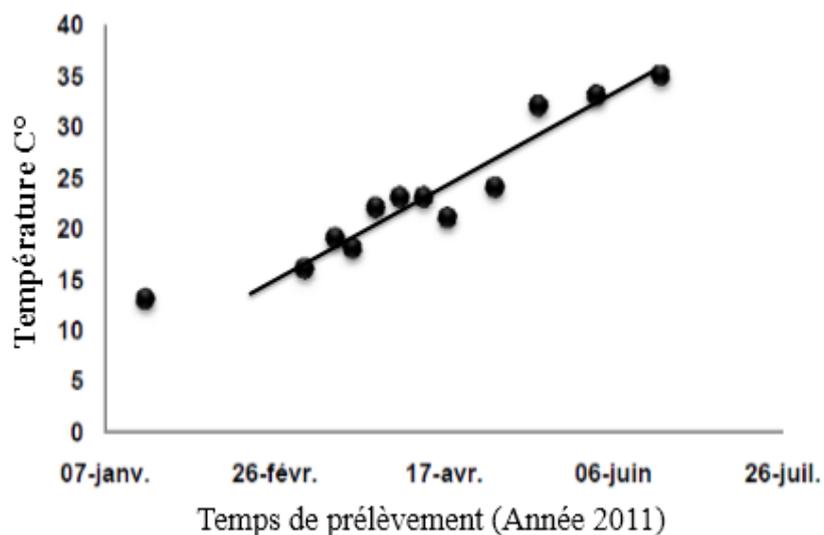


Figure 14- variations de la température de l'eau en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

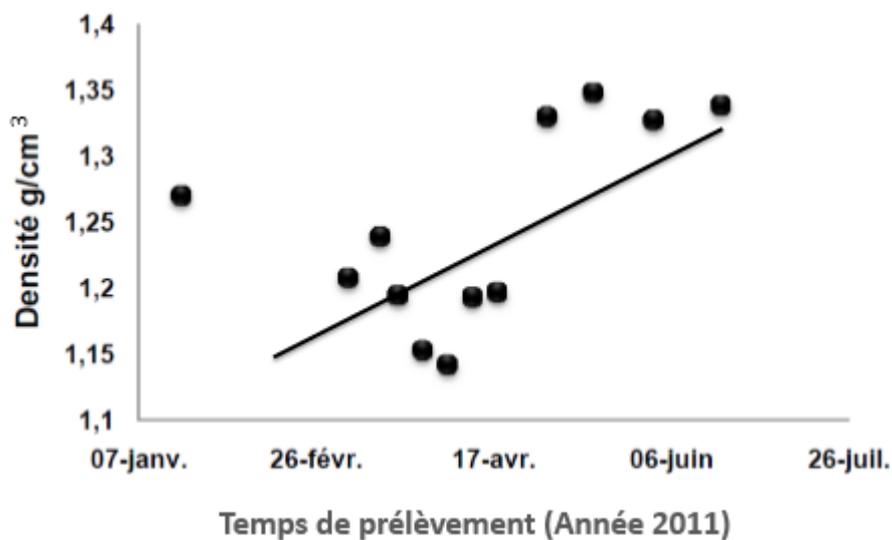


Figure 15- variations de la densité de l'eau en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

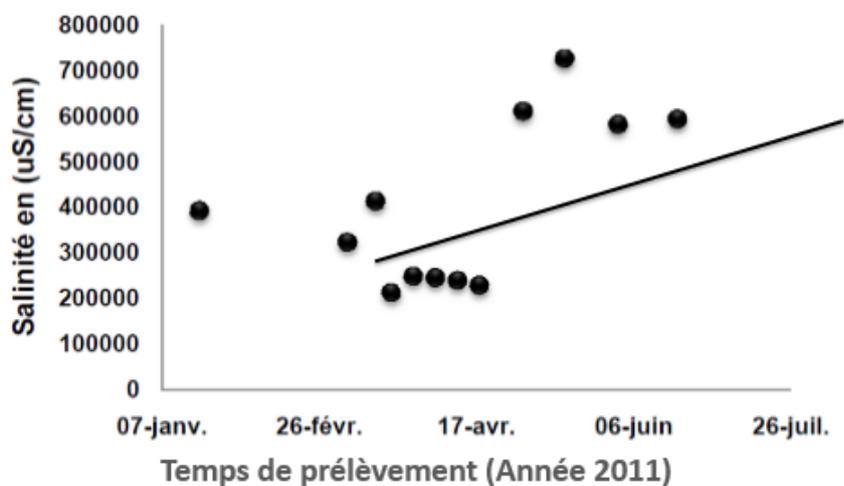


Figure 16- variations de la salinité de l'eau en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

### I.9.2 Faciès chimiques des eaux de saumure du chott Merouane

Le faciès chimique des eaux de saumure du chott Merouane illustré dans la figure 17 connaissent une abondance en chlore ( $\text{Cl} = 43,03\%$ ), du sodium ( $\text{Na} = 28,45\%$ ), et du sulfates ( $\text{SO}_4 = 20,93\%$ ) durant tout le cycle à partir du mois de janvier jusqu'à l'évaporation totale des eaux du chott, aussi les éléments du magnésium (Mg), potassium (K), calcium (Ca) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3$ ) sont présents mais avec des faibles concentrations.

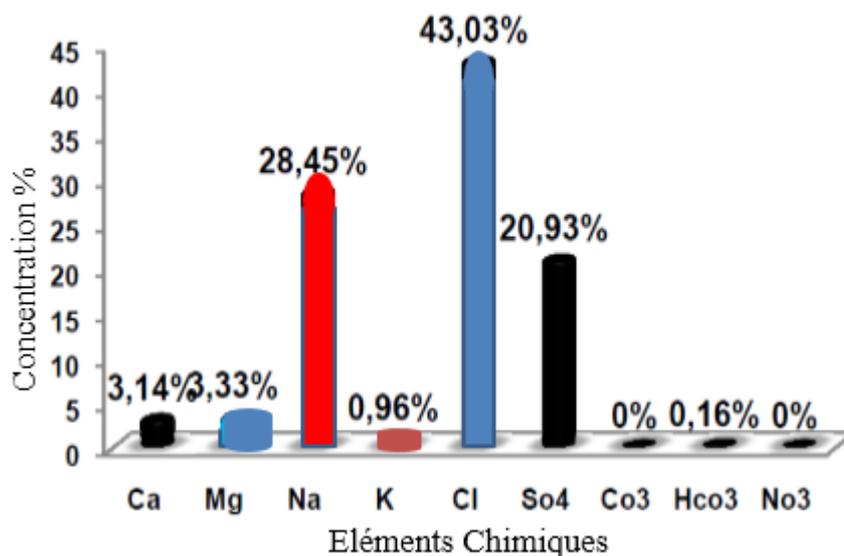


Figure 17- composition chimique des eaux de saumure du chott Merouane durant le cycle géochimique

### I.9.3 La solubilité des minéraux

La minéralisation des eaux de saumure du chott Merouane est liée directement au phénomène de la dissolution des sels, qui renferme des différents anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) et les cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{K}^+$ ), ces sels dissous possèdent généralement une grande solubilité dans l'eau, mis à part le gypse et la calcite qui présente une faible solubilité ce qui implique sa précipitation dans les phases précoces de l'évaporation. Les solubilités de certains sels sont influencées par la température, c'est le cas du chlorure de sodium et les sulfates de magnésium, la solubilité de ces sels est en fonction de la température.

Les interprétations des résultats d'analyse physico-chimique des eaux de saumure du chott Merouane, nous ont permis de connaître la composition chimique de ces eaux, ainsi leur origines minéralogiques et d'observer le comportement des éléments majeurs qui les renferment durant tout le cycle géochimique. Les eaux de saumure du chott Merouane avec un pH neutre et une salinité qui tend à augmenter en fonction de la température se composent essentiellement par les chlorures et le sodium, plus au moins par les sulfates, ainsi les autres éléments se présentent avec des faibles concentrations. Donc le comportement des éléments chimiques majeurs qui caractérisent la minéralisation des eaux dépend principalement aux conditions

climatiques et thermodynamiques, les fluctuations enregistrées marquées par une diminution ou bien augmentation des concentrations sont expliquées comme suit :

- les causes de la diminution des concentrations des éléments chimiques au cours du cycle géochimique : la dilution des eaux de saumure par un apport d'eaux qui viennent du canal et par aussi la drainance à travers les eaux souterraines ou bien par les pluies exceptionnelles, la précipitation des sels qui sont composés essentiellement de ces éléments et le degré de solubilité.
- les causes de l'augmentation des concentrations des éléments chimiques au cours du cycle géochimique : l'augmentation de la température et par conséquent le taux d'évaporation, la dissolution des sels précipités et le degré de solubilité.

### **I.10 Minéralogie des sels précipités**

Les eaux de saumure du chott Merouane sont caractérisées par une forte salinité marquée par les fortes concentrations des éléments chimiques dans ces eaux qui tendent à augmenter en fonction de la température durant le cycle géochimique.

Un bassin endoréique, un climat aride, une évaporation intense, tous ces facteurs conduisent à la formation des minéraux évaporitiques, alors les analyses chimiques des eaux de saumure au début de cycle lors du remplissage du chott à travers les différentes sources d'alimentation ont révélé l'existence des éléments chimiques dissous avec des concentrations différentes, où les chlorures et le sodium avec les sulfates sont les plus abondantes. Avec l'augmentation de la température, les eaux s'évaporent et par conséquent l'évaporation ne se débarrasse que de l'eau ce qui fait au fur et à mesure de l'évaporation ; la solution devient de plus en plus saline c'est-à-dire que les éléments chimiques se concentrent de plus en plus, à ce stade, des minéraux évaporitiques composés principalement par ces éléments se précipitent après qu'elles atteignent à leur degré de saturation.

#### **I.10.1 Théorie de Formation des sels susceptibles d'être précipités**

- formation d'Halite (NaCl) : Une mole de sodium participe avec une mole de chlore pour former l'halite.



- formation de la calcite (CaCO<sub>3</sub>) : Les carbonates associent avec le calcium par 1 mole pour chaque élément afin de former la calcite, donc on a l'équation suivante :



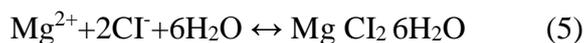
- formation du Gypse : Une mole de calcium restante après la formation de la calcite avec une autre mole de sulfate et H<sub>2</sub>O qui peut aboutir à la formation du gypse selon la formule suivante :



- formation de l'Epsomite : La participation d'une mole de sulfates et une mole de magnésium avec 7 moles d'eau conduit à la formation de l'epsomite suivant la réaction ci-dessous :



- formation de la Bichovite : Après la formation de l'epsomite, la quantité du magnésium restante s'intègre avec la quantité de chlore encore présente dans les eaux du chott pour former la Bichovite dans les phases tardives de l'évaporation du chott Merouane, donc leur formation par une mole de magnésium et deux moles pour le chlore avec aussi 6 moles d'eau représentée dans l'équation suivante :



- formation de la Blodeite : L'association de deux moles de potassium et des sulfates avec une mole de magnésium donne la Blodeite.



### I.10.2 Les indices de saturation des eaux de saumure du chott Merouane

D'après les données des concentrations des éléments majeurs et d'autres paramètres comme, le PH, la température de l'eau et l'alcalinité, les indices de saturation et les forces ioniques de Cinq minéraux susceptibles d'être précipité comme suit :

- *l'halite*

Les eaux du chott Merouane au début de cycle étaient saturées en halite, mais avec une tendance vers la sou-saturation jusqu'à la mi-avril, avec des indices de saturation qui commencent à 0,24 pour finir à - 0,86. À partir de ce stade et jusqu'à la fin du cycle, les eaux de saumure deviennent saturées en celui (figure 18).

Le même comportement pour la force ionique (figure 19), qui tend à décroître graduellement au début de cycle de 8,33 à 4,35 à la mi-avril, ensuite une phase croissante qui s'étale jusqu'à la fin de celui de 4,35 à 10,26. La saturation en Halite est fortement liée à la force ionique, vue que l'évolution de la saturation est similaire de cette dernière et que la saturation des eaux de saumure en halite n'atteigne qu'une force ionique de 6, cette relativité est confirmée par un bon coefficient de corrélation positive (figure 20) entre ces deux paramètres.

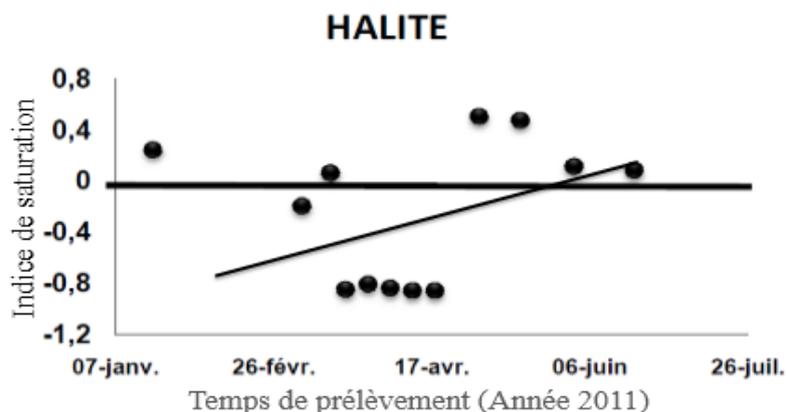


Figure 18 -variations de l'indice de saturation de l'halite en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

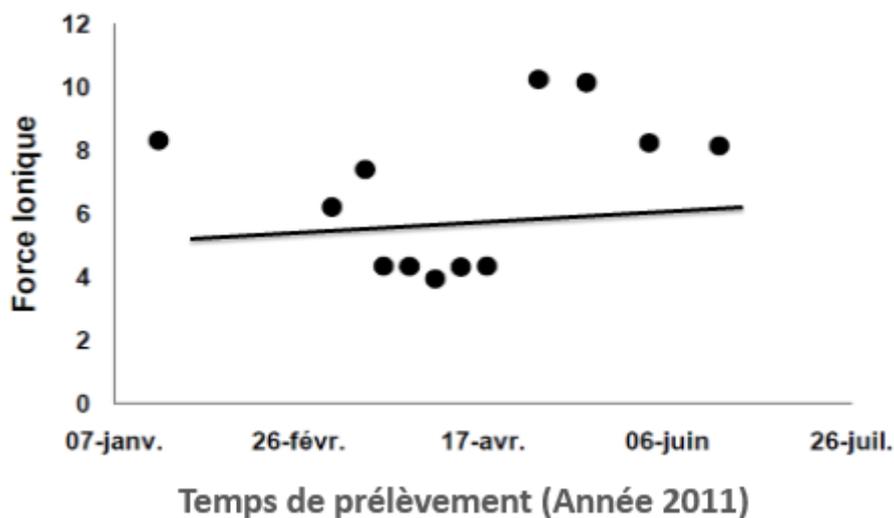


Figure 19- variations de la force ionique en fonction du temps

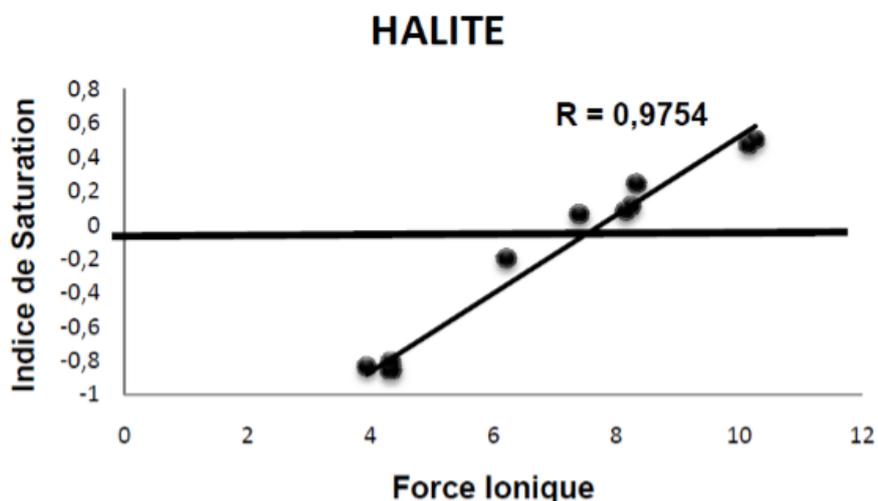


Figure 20- variations de l'indice de saturation de l'halite en fonction de la force ionique (Kadri M.M, 2012)

- la calcite

Les eaux de saumures du chott sont sursaturées en calcite dès le début et jusqu'à la fin de cycle géochimique avec un indice de saturation qui varie de 1.22 à 2.79 (figure 21). L'évolution des indices de saturation a révélé que la calcite est saturée à une force ionique supérieure à 3.

- la Dolomie

Selon les indices de saturation de la dolomie (figure 22) qui oscillant entre 3,27 et 6,43, les eaux de chott Merouane sont fortement sursaturées en dolomie dès le début de cycle, et elle conserve cet état de sursaturation jusqu'à l'évaporation totale des eaux de saumure du chott.

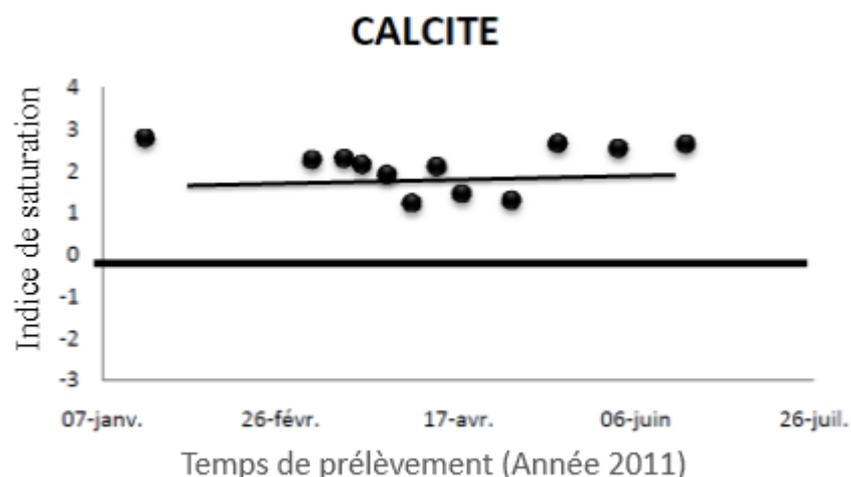


Figure 21- variations de l'indice de saturation de la Calcite en fonction du temps

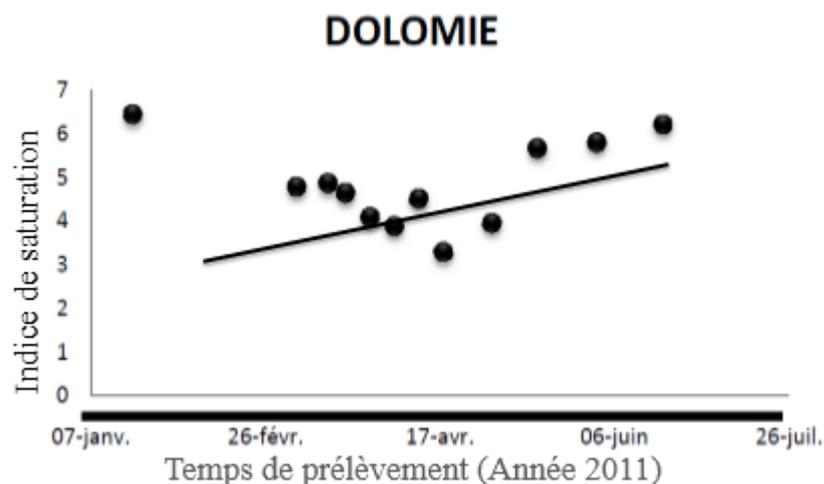


Figure 22- variations de l'indice de saturation de la Dolomie en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

- les gypses

Dès le début de cycle les indices de saturation dans la figure 23 indiquent que les eaux de saumure sont sursaturées en gypse, mais ce qui est remarquable est celui de la décroissance de 1,65 pour arriver à la saturation au mi saturation de l'ordre de 0,26. Au-delà, les eaux reviennent à leur état initial avec l'accroissement de l'indice. Aussi l'évolution d'indice de saturation en fonction de la force ionique indique que les eaux de saumures de Chott Merouane sont saturées vis-à-vis le gypse à partir d'une force ionique supérieure à la valeur 3,5.

- les Anhydrites

L'évolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis les anhydrites (figure 24) marque la même allure que les gypses en allant d'une eau sursaturée en celles au début de cycle avec une valeur de 1,66 en arrivant à une eau saturée où sa valeur est de 0,13 à la mi-avril, ensuite il y a une augmentation d'indice de saturation donc les eaux deviennent de plus en plus sursaturées jusqu'à la valeur de 2. Pour parler d'une saturation en anhydrite il faut une force ionique d'une valeur de 3,5.

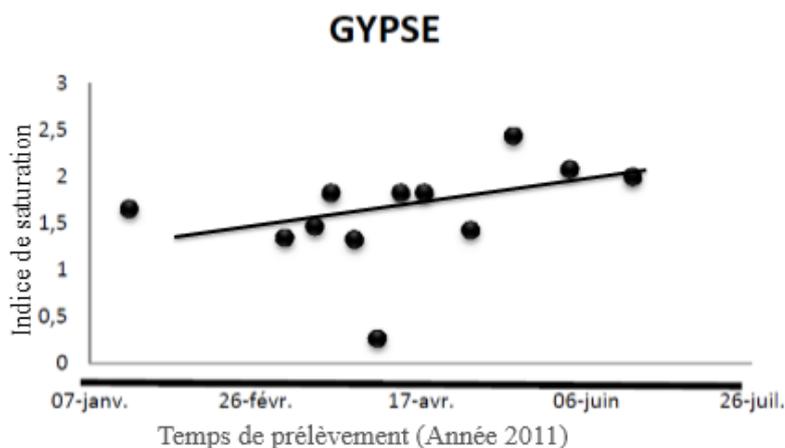


Figure 23- variations de l'indice de saturation des Gypses en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

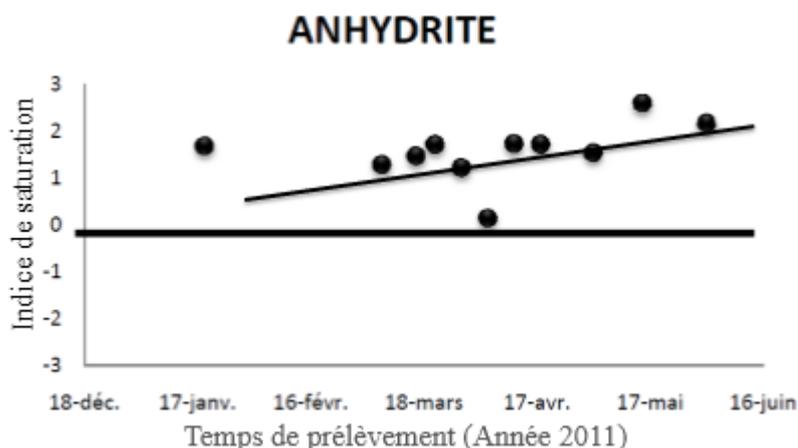


Figure.24 -variations de l'indice de saturation des Anhydrites en fonction du temps (Kadri M.M, 2012)

### I.10.3 Minéralogie des sels précipités

Le schéma synthétique de la séquence géologique au niveau du chott Merouane (figure 25) constitue essentiellement de dépôt évaporitique et détritique intercalé par un niveau de la matière organique non dégradé dont une variation d'épaisseur des intervalles décrivez :

- la première couche : représentée par des évaporites, leur épaisseur est conservée de l'ordre de 10 cm.

- la deuxième couche : l'épaisseur de la matière organique est croissante de la périphérie vers le centre du chott, elle est de l'ordre de 5 à 10 cm.
- la troisième couche : est composée essentiellement par des sables où leur épaisseur tend à augmenter en allant vers le centre, les épaisseurs enregistrées de la périphérie du chott vers le centre est de 10 à 35 cm.
- la quatrième couche : Contrairement au sable, l'épaisseur des argiles tend à diminuer d'une valeur de cm 45 à 15 cm respectivement de la périphérie vers le centre du chott.

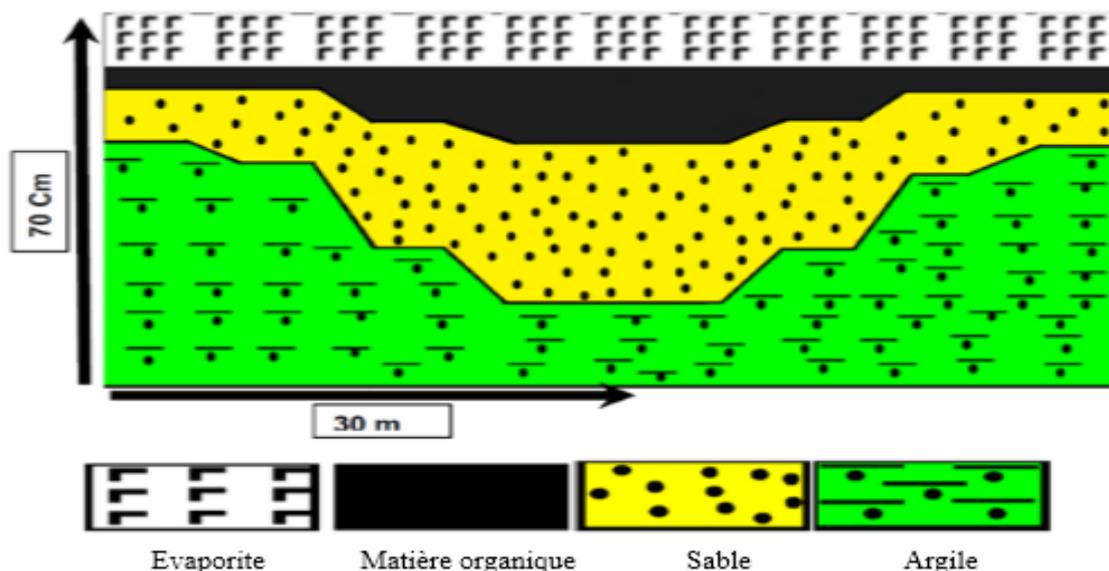


Figure.25- schéma synthétique de la séquence géologique au niveau du chott Merouane (Kadri M.M, 2012)

Pour une meilleure identification minéralogique des sels précipités, une subdivision de la couche d'évaporite en trois sous-couches figure 26, ensuite une analyse des échantillons réalisée qui montre l'existence d'une séquence minéralogique composée essentiellement par les éléments chimiques contenus dans les eaux de saumure.

La sous-couche supérieure : elle est caractérisée par une couleur blanchâtre pure. Elle regroupe les minéraux magnésiens comme l'Epsomite ( $Mg(SO_4) \cdot 7H_2O$ ) et la Bichovite ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), aussi les minéraux potassiques comme la sylvite (KCl) et la Blodeite ( $K_2Mg(SO_4)_2$ ), L'Antraticite ( $CaCl_2$ ) est toujours avec la présence de minéraux déjà précipités dans les phases tardives de l'évaporation à des températures très élevées.

La sous-couche intermédiaire : la partie intermédiaire est indiquée par sa couleur rosâtre. Donc tous les échantillons analysés de cette sous-couche indiquent que celle-ci est une zone de l'halite (NaCl) avec la présence des minéraux déjà précipités.

La sous-couche inférieure : vue leurs emplacements juste au-dessus de la matière organique, la couleur de cette sous-couche tend vers le blanc beige et blanc jalonné avec le marron. Alors l'analyse des échantillons de la périphérie vers le centre du chott montrent des spectres

caractéristiques de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) Ce qui confirme la faible solubilité du calcium qui passe rapidement à la phase solide dans les phases précoces de l'évaporation. Ce qui est important à noter est celui du minéral de l'halite ( $\text{NaCl}$ ) qui est présent dans toutes les intervalles avec des quantités différentes et beaucoup plus dans la partie intermédiaire.

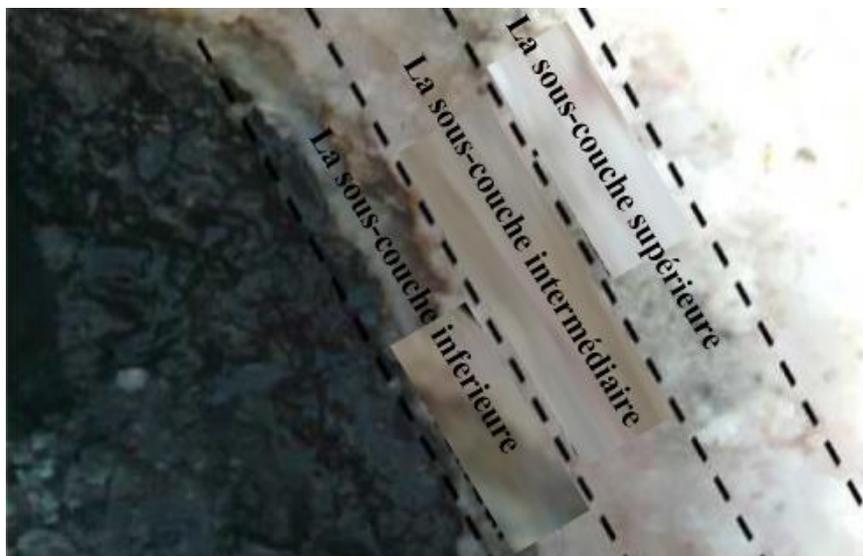


Figure26 - la séquence évaporitique Précipitée dans le chott Merouane.

### I.11 Conclusion

La région du chott Merouane se présente comme une cuvette synclinale située au Sahara septentrional, leur structure résulte de l'action conjuguée de plusieurs tectoniques dès le secondaire, commençons par les subsidences causées par l'immense charge sédimentaire déposée sur la plate-forme saharienne lors de l'érosion hercynienne ce qui a donné naissance à la chaîne atlasique qui a généré des effondrements et par conséquent un grand axe synclinal méridien qui poursuit jusqu'à l'Aurès. À la fin du tertiaire et au début du quaternaire l'orogénèse alpine a fait soulever le massif de l'Aurès, l'écoulement des eaux va se déverser vers le parti sud affectée par la subsidence et là c'est la création de notre chott.

La série stratigraphique dans la région du chott Merouane est essentiellement composée de dépôts Mésozoïque et Cénozoïques, reposant en discordance majeure sur des terrains d'âge paléozoïque un épandage détritique d'âge Quaternaire repose en discontinuité sur le Cénozoïque. Dans cet édifice sédimentaire certains horizons servent des aquifères qui s'étendent au-delà des frontières algériennes (Tunisie et Lybie) : ceux du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT), le chott Merouane et celle de Djérid en Tunisie sont les principaux exutoires de ces eaux souterraines. Le complexe terminal avec son sens

d'écoulements nord-sud, sud-nord, alimente directement le chott par drainage, avec un volume d'eau estimé à  $62.34 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ .

L'estimation du bilan de masse nous a permis de quantifier les sels dissous dans les eaux de saumure du chott Merouane et son origine, donc il reçoit pratiquement presque 50 millions de tonnes de sels selon le bilan de masse en 2010, composé essentiellement par les chlorures et le sodium qui se présentent avec des masses importantes suivies par les sulfates.

La chose remarquable dans ce cycle est celui des sels provenant principalement par la dissolution des sels préexistants avec un apport de 42,33 millions de tonnes soit un pourcentage de 84.55 % de la masse totale des sels dissous dans les eaux du chott, ce qui peut être expliqué par la faible exploitation des sels précipités, tandis que Les eaux souterraines déversent une quantité de 5,76 millions de tonnes soit un pourcentage de 11.5 % de la masse totale des sels alors que le canal collecteur de Oued Right ne déverse qu'une quantité de 1,97 millions de tonnes (3.94 % de la totalité des sels).

Les eaux de saumure du chott Merouane sont sursaturées en minéraux évaporitiques dès le début de cycle, mise à part l'halite qui commence par une sous saturation. Les analyses des échantillons du chott Merouane ont montré l'existence de 4 faciès bien distinctes :

1. **Les évaporites** : blanchâtre, rosâtre, blanc beige à la base saccharoïde, massive, parfois fibreuse.
2. **Matière organique** : fraîche, non dégradé, odorisé, noir.
3. **Sable** : blanc, blanc beige, localement transparent à translucide, arrondis, bien classé.
4. **Argile** : grise, gris clair, pâteux, induré, légèrement silteuse.

La synthèse d'une paragenèse des minéraux évaporitiques précipités dans le chott à l'aide des résultats d'analyse de diffractomètre par rayons X (DRX) (Kadri M.M, 2012), et mettre en considération les principes de la stratigraphie et les comportements des éléments chimiques durant le cycle géochimique, et surtout les degrés de solubilités de haut en bas, on a la séquence suivante: la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ); les sulfures ( $\text{CaSO}_4$ ); l'halite ( $\text{NaCl}$ ); la Bichovite ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ); la Blodeite ( $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ ) ; l'Epsomite ( $\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) et enfin la sylvite (KCL).

## **CHAPITRE II**

**ANALYSE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE SUR L'EXPLOITATION DES SALINS ET LA PRODUCTION DU SEL SOLAIRE DU CHOTT MEROUANE, EL OUED.**

## CHAPITRE II- ANALYSE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE SUR L'EXPLOITATION DES SALINS ET LA PRODUCTION DU SEL SOLAIRE DU CHOTT MEROUANE, EL OUED.

### II.1 Étude Hydro climatologiques

#### II.1.1 Introduction

L'évolution géochimique du système évaporitique du chott est en relation directe avec les paramètres climatologiques, surtout l'évaporation, l'humidité relative de l'air, la température et la vitesse des vents. La région du Chott Merouane fait partie du grand bassin hydrologique du Sahara dit bassin de Melghir, caractérisé par un climat du type saharien, marqué par des précipitations très peu abondantes et irrégulières, la température maximum peut atteindre 50 C° en été, tandis que le minimum absolu est de 5 C° en hiver et par humidité relativement faible.

Les paramètres hydro climatologiques mesurés depuis une trentaine d'années à la station de Touggourt nous a permis de caractériser le climat de notre région d'étude. La carte ci-dessous configure les principales stations météorologiques qui sont actuellement en activité (KADRI, 2012) (figure 27).

#### II.1.2 Études des paramètres Hydro climatiques du chott Merouane

Avec une série d'observations des paramètres Hydro climatiques du chott Merouane (1975-2010) on remarque l'influence des conditions naturelles physico-chimiques comme suit :

- *évaporation moyenne mensuelle* : La figure 28a, montre qu'il y a une allure simple avec une tendance qui se diminue vers les mois de saison hivernale suivie par une croissance une fois on va vers les mois de la saison estivale, cette fluctuation de l'évaporation est gouvernée par la variation de la température.
- *la précipitation moyenne mensuelle des eaux* : la figure 28b, montre que le mois de janvier est le plus arrosé avec une valeur de 19,14 mm et celui de juillet est le plus sec avec une valeur de 0.87 mm
- *la température moyenne mensuelle* : La figure 28c, montre que le mois de juillet est le plus chaud où on a enregistré 33,50 C° et le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne de 10,30 C°. L'influence de la température sur la qualité chimique

se fait sentir pendant la période d'été, où on a constaté une concentration des éléments par évaporation.

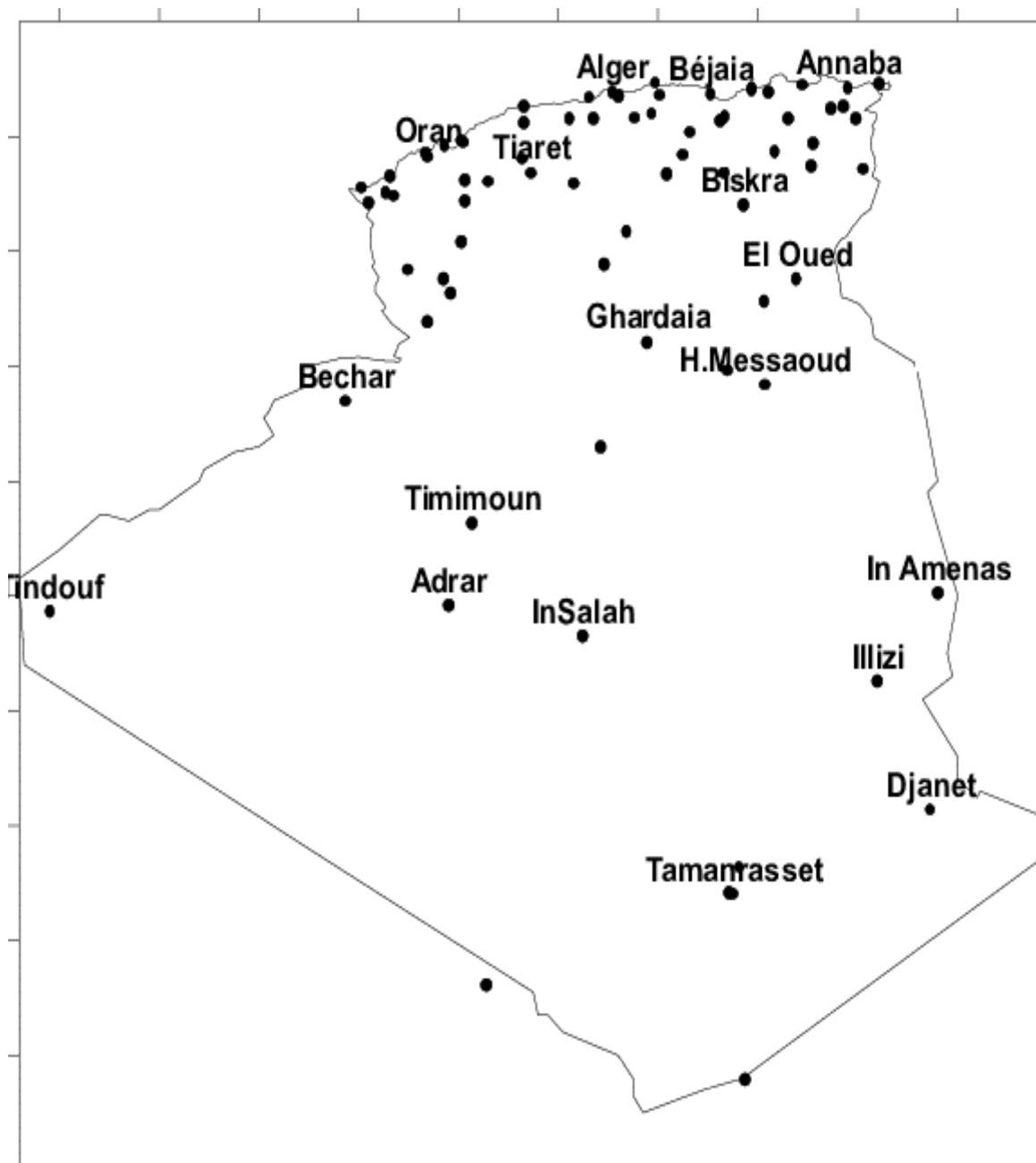


Figure 27 - carte des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse

- *la vitesse du vent* : La figure 28d, montre que la vitesse du vent est stable de l'ordre de 3 m/s mis à part la période (mars, juillet) où on a enregistré leur augmentation allant de 3,31 à 4,13 m/s.
- *l'humidité de l'air* : Elle est marquée par deux périodes bien distinctes figure 28e, du mois d'octobre au mois de février ; cette période est relativement humide vue qu'on a

enregistré des pourcentages supérieurs à 50 % avec une croissance de 51,69 % vers un maximum de 65,85 % au mois de décembre. Aussi du mois de mars jusqu'au mois de septembre représente une période sèche où le taux d'humidité diminue pour aboutir à un minimum de 34 % au mois d'août.

- *la durée d'insolation* : La région du chott Merouane reçoit une quantité des rayonnements solaires assez importante durant tous les mois de l'année, avec un maximum de 358 heures au mois de juillet et un minimum de 229 heures au mois de janvier figure 28f (Enasel 2011).
- *Le flux solaire de la région d'El Oued* : La région d'El Oued (Hadj Ammar M.A. et al 2015) est caractérisée par un niveau élevé du potentiel solaire. Comme il est montré sur la figure 29, cette région a un flux solaire annuel moyen de 4,85 kW h/m<sup>2</sup> avec une période d'insolation totale de 3900 h / an. On peut voir que l'hiver a un potentiel moins d'énergie solaire avec une radiation solaire quotidienne moyenne varie entre 3,17 et 3,77 kWh/m<sup>2</sup>. L'énergie solaire devient très importante entre Avril et Septembre lorsque la radiation solaire quotidienne moyenne varie de 4,93 à 7,54 kWh/m<sup>2</sup>.

### II.1.3 Les aspects physiques théoriques du marais salant

- *Théorie de l'évaporation*
- *loi de Dalton* : Dalton (1802) a établi une loi qui exprime le taux d'évaporation d'un plan d'eau en fonction du déficit de saturation (quantité d'eau ( $P_s - P_e$ ) que l'air peut stocker, ce qui correspond à la sécheresse de l'air), mais aussi de la vitesse du vent  $u$  (Jean P et Jean P.R. 2012). La loi de Dalton se formule ainsi :

$$E = k \cdot f(u) \cdot (P_s - P_e) \quad (7)$$

Avec : E : taux d'évaporation [mm/jour],

$P_e$  : pression effective ou réelle de vapeur d'eau dans l'air [kPa],

$P_s$  : pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la température de la surface évaporante [kPa].

$k \cdot f(u)$  : facteur de proportionnalité (dépendant de la vitesse du vent  $u$  [m/s])

- *la pression de vapeur saturante* (ou tension de vapeur) : est la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide à une température donnée dans un système fermé. Elle reflète la tendance des molécules à passer de l'état liquide (ou solide) à l'état gazeux. Ainsi une substance possédant une pression de vapeur saturante élevée à température ambiante est dit volatile.

Cette loi de Dalton exprime que :

- pour qu'il y ait évaporation, il faut que le gradient de pression ( $P_s - P_e$ ) soit positif
- l'évaporation cesse dès que  $P_e = P_s$

Le rayonnement solaire est l'élément moteur de la vaporisation de l'eau en augmentant la température de la surface évaporante. Le taux d'évaporation est ainsi une fonction croissante de la température de l'eau. Comme la température de l'eau varie dans le même sens que la température de l'air, on utilise dans les formules de calcul de l'évaporation la température de l'air plutôt que celle de l'eau.

Ainsi la pression de vapeur saturante  $p_s$  augmente avec la température ambiante selon l'expression suivante (avec  $t$  en ° Celsius et  $p_s$  en kPa) :

$$P_s = 0.611e^{(17.27.t/(237.3+t))} \quad (8)$$

Ainsi une température élevée augmente la pression de vapeur saturante, ce qui, suivant la loi de Dalton, favorise l'évaporation de l'eau. Par exemple la pression de vapeur saturante est quatre fois plus importante à 50 C° qu'à 25 C° (12,34 kPa à 50 C° et seulement 3,17 kPa à 25 C°).

- *humidité relative de l'air*

Le déficit de saturation (différence entre la pression de vapeur saturante et la pression de vapeur réelle) peut aussi être exprimé d'une autre manière en recourant à la notion d'humidité relative  $H_r$ . Cette dernière s'exprime par la relation suivante :

$$H_r = 100. (P_e/P_s) , (\%) \quad (9)$$

Avec :  $P_e$  : pression effective ou réelle de vapeur d'eau dans l'air [kPa],  $P_s$  : pression de vapeur d'eau saturée (ou tension de vapeur) à la température de la surface évaporante [kPa],

L'humidité relative est donc, à une température donnée, le rapport entre la quantité effective d'eau contenue dans une masse d'air et la quantité maximale d'eau que peut contenir cette masse d'air. Ainsi, lorsqu'une masse d'air se refroidit, elle garde la même quantité d'eau. Par contre, la quantité maximale d'eau qu'elle peut contenir diminue avec la température et son humidité relative augmente. Cette diminution implique qu'à un certain moment, l'air devient saturé car  $H_r = 100 \%$ . On nomme « température du point de rosée », la température pour laquelle la pression de vapeur saturante est égale à la pression effective de vapeur.

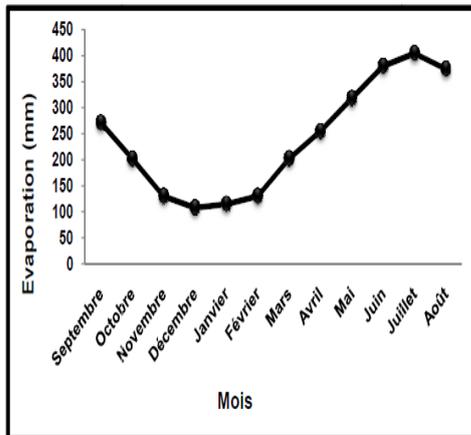


Figure 28a- évaporation

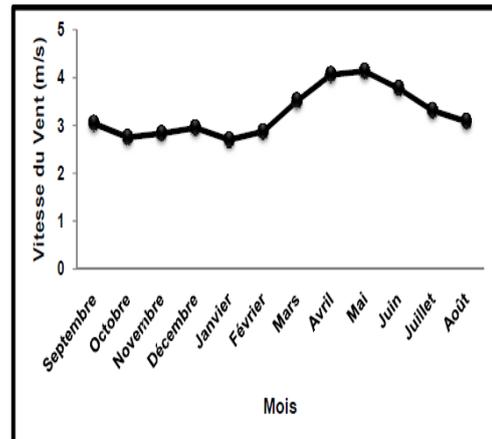


Figure28d- vitesse du vent

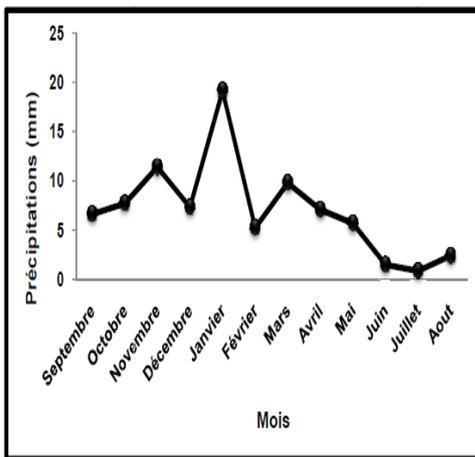


Figure 28b- précipitation

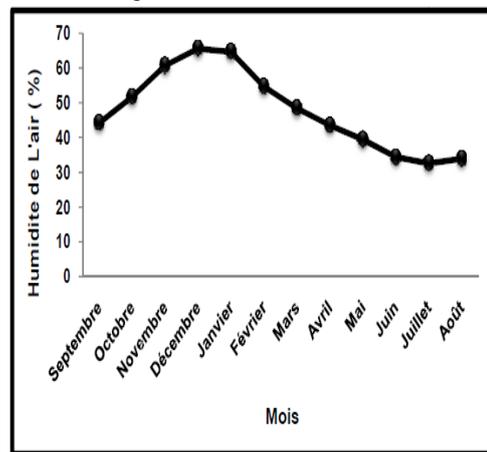


Figure 28e- humidité de l'air

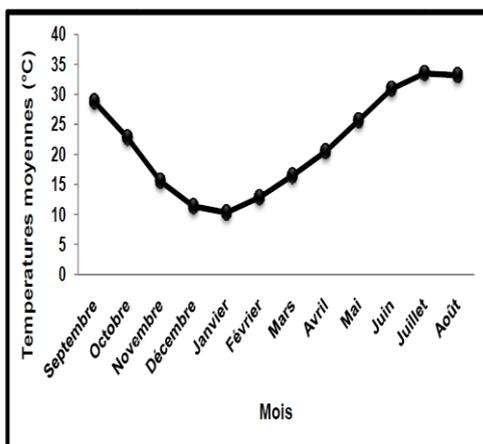


Figure28c- température moyenne

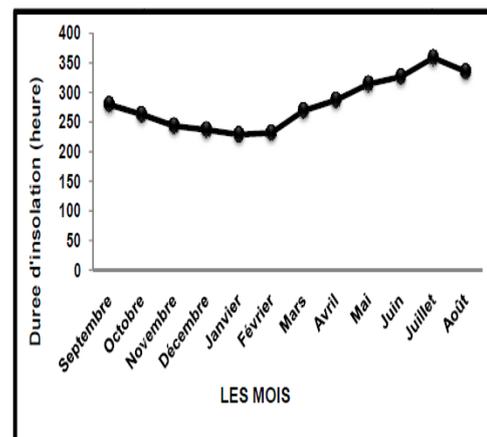


Figure28f- durée d'insolation

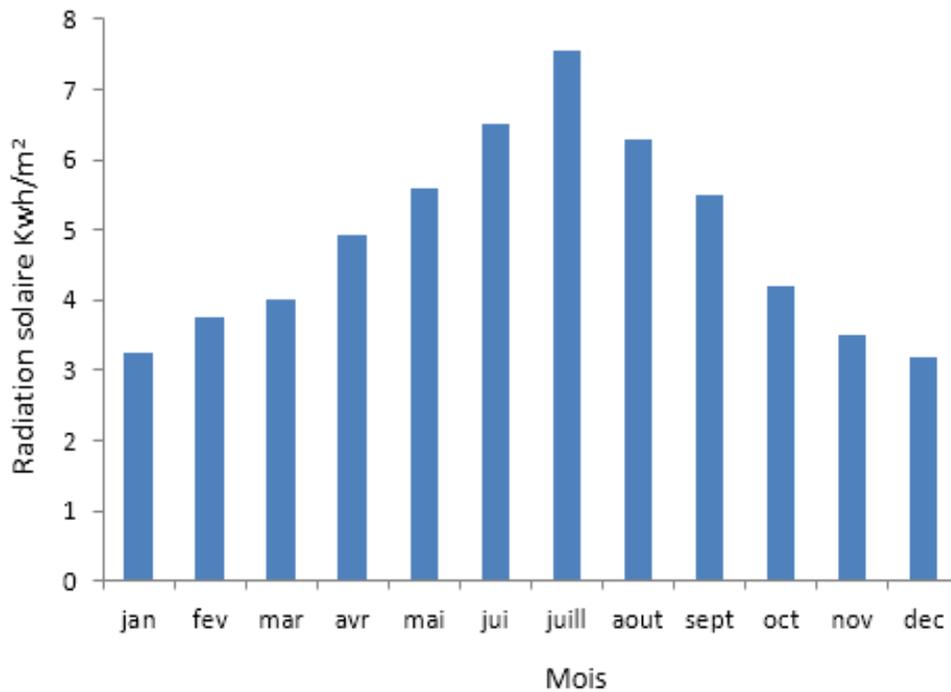


Figure 29 - radiation solaire durant toute l'année dans la région d'El Oued en 2015 (Hadj A. M.A. et al 2015)

- *rayonnement solaire et température de la surface évaporante*

*Pression atmosphérique*

Plus la pression totale au-dessus d'un liquide est élevée, plus grande est sa tension de vapeur ; mais cet effet reste négligeable quand on considère les fluctuations relativement faibles de la pression atmosphérique en fonction des conditions météorologiques.

- *vent*

Le vent joue un rôle essentiel sur les processus d'évaporation. En effet, l'air au voisinage de la surface évaporante se sature plus ou moins rapidement et par conséquent arrête le processus d'évaporation. Mais c'est le vent qui permet, par les mouvements et mélanges qu'il crée, de remplacer l'air saturé par de l'air plus sec au voisinage de la surface évaporante, et ainsi de poursuivre le processus d'évaporation. Ainsi de nombreuses corrélations existent permettant d'estimer l'influence de la vitesse du vent.

En première approche, la corrélation suivante a le mérite de la simplicité. Le facteur de proportionnalité de la formule de Dalton (dépendant de la vitesse du vent  $u$  [m/s]) peut s'exprimer ainsi :

$$f(u) = 1 + 0.6 u \tag{10}$$

Avec  $u$  : vitesse du vent [m/s]

- évaporation d'un plan d'eau pure

On peut ainsi reformuler la loi de Dalton en fonction des paramètres développés ci-dessus, température au plan d'eau et humidité relative, sous une forme dérivée de la formule dite de Rohwer :

$$E = 0.484 \cdot f(u) \cdot (P_e - P_s) \quad (11)$$

$$E = 0,484 \cdot f(u) \cdot p_s \cdot (1 - P_e/P_s) \quad E = 0.484 \cdot f(u) \cdot P_s (1 - (P_e/P_s)) \quad (12)$$

$$E = f(u) \cdot 0.3 \cdot e^{\left(17.27 \cdot \frac{t}{237.3+t}\right)} \cdot \left(1 - \frac{Hr}{100}\right) \quad (13)$$

Sans tenir compte du facteur de proportionnalité  $f(u)$  lié à l'effet du vent, le graphe qui suit figure 30 montre l'évolution du taux d'évaporation (en mm/jour) d'un plan d'eau pure en fonction de la température ambiante (C°) et de l'humidité relative (%).

On y voit l'incidence importante de la température ambiante et de l'humidité relative.

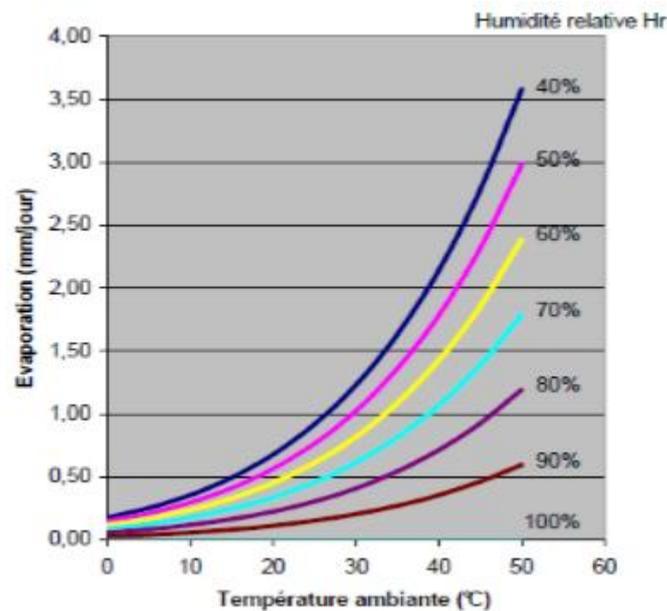


Figure 30- évaporation d'un plan d'eau (mm/jour) en fonction de la température ambiante et l'humidité relative (Jean P et Jean P.R, 2012)

Le facteur multiplicateur  $f(u)$  nommé par la figure 31, on l'a vu plus haut, est une fonction linéaire de la vitesse du vent et doit être appliqué au taux d'évaporation estimé pour un vent nul. En tenant compte de l'effet du vent, le taux d'évaporation  $E$  (en mm/jour) d'un plan d'eau pure peut donc s'exprimer à l'aide de la formule synthétique suivante :

$$E = 0.3 \cdot (1 + 0.6u) \cdot e^{\left(17.27 \cdot \frac{t}{337.3+t}\right)} \cdot (1 - Hr/100) \quad (14)$$

Avec :  $u$  (m/s) : vitesse du vent,  $t$  (C°) : température ambiante,  $Hr$  (%) : humidité relative de l'air

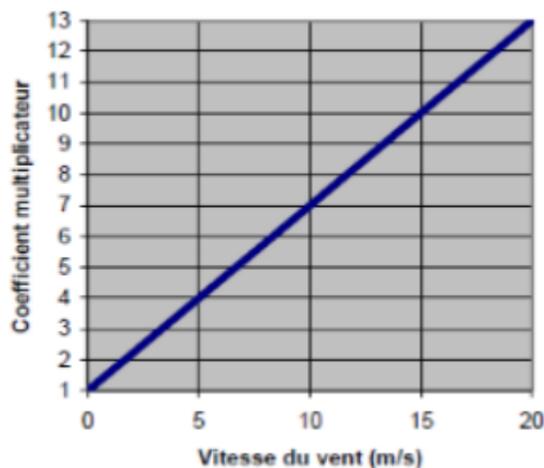


Figure 31- évaporation d'un plan d'eau- coefficient multiplication lie à la vitesse du vent

#### *Autres facteurs physiques*

D'autres facteurs physiques affectent l'évaporation d'un plan d'eau :

- surface du plan d'eau - L'étendue de la surface d'eau libre joue un rôle important sur les quantités évaporées puisque l'évaporation, pour une vitesse de vent et une humidité relative données, est proportionnelle à la surface évaporante. En effet le taux d'évaporation ci-dessus, exprimé en mm par jour, a la même valeur numérique quand on l'exprime en  $l/m^2/j$ .
- profondeur - La profondeur de la surface d'eau libre joue un rôle important sur la capacité de celle-ci à emmagasiner de l'énergie. Ainsi une surface d'eau libre peu profonde sera sensible aux variations météorologiques selon la saison, tandis qu'une surface d'eau libre profonde, par son inertie thermique, présentera une réponse évaporative nettement différente.

De plus, en eau peu profonde, le rayonnement solaire est consacré exclusivement à réchauffer la surface libre de l'eau, et non pas l'eau située en profondeur, ce qui est le critère essentiel d'efficacité de l'évaporation. On a donc intérêt à diminuer au maximum l'épaisseur d'eau dans les différents bassins.

#### *- Salinité*

Il se trouve que la salinité de l'eau a aussi une incidence sur l'évaporation suite à la diminution de la tension de vapeur dans l'eau salée, car les sels contenus dans l'eau diminuent sa volatilité. Cette baisse de tension de vapeur est directement proportionnelle à la concentration de la substance en solution. Ainsi une augmentation de la teneur en sel de 1% diminue le taux d'évaporation de 1% environ, mais ce ratio n'est utilisable qu'aux faibles concentrations.

Une campagne de mesures sur le terrain, intégrant les quatre paramètres essentiels du marais salant : température ambiante, humidité relative, vitesse du vent et concentration en sels de la saumure permettrait de consolider cette approche théorique.

## II.2 Gisement solaire

Energie solaire n'a pas besoin d'une technologie de pointe pour son utilisation, propre non polluante, disponible sur l'ensemble du globe terrestre évidemment à différente intensité, durable et inépuisable (si l'on compte le temps en millions d'années). Cependant il y a un certain nombre de facteurs rendent son exploitation difficile, principalement l'intermittence du rayonnement solaire et sa variation journalière et même suivant l'année, en effet l'énergie solaire reste tributaire des conditions météorologiques de plus il y a un déphasage entre les besoins en énergie (chaleur) et les apports générés par l'énergie solaire et vu cette indisponibilité il faut toujours prévoir un appoint en énergie pour chaque utilisation, les systèmes solaires sont souvent assistés énergétiquement. (Akermi M., 2009), A l'heure actuelle, elle présente deux avantages fondamentaux.

- C'est une énergie inépuisable dont l'usage ne produit ni émission polluante, ni déchet.
- Naturellement distribué, elle est disponible localement sur les lieux de consommation ou à proximité et elle peut participer à la diversification des sources, et à l'indépendance énergétique.

L'énergie reçue en fonction du jour de l'année peut être calculée avec la formule suivante :

$$E_{sol} = C_s (1 + 0,0334 \cdot \cos(\frac{360(j-2.7206)}{365.25})) [W/m^2] \quad (15)$$

Avec : j = étant le numéro d'ordre du jour dans l'année (j = 1 pour le 1er janvier)

$C_s$  = constante solaire.

Le graphe 32 montre la constante solaire.

### II.2.1 La latitude et la longitude :

La latitude (Lat) est l'angle formé par le plan équatorial et le vecteur "centre de la terre → point local". La longitude (Lon) est l'angle formé par le méridien de référence (méridien de Greenwich) et le méridien du point local. L'angle est négatif vers l'ouest et positif vers l'est. Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même (360°) chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc chaque degré de longitude représente 4 minutes (figure 33).

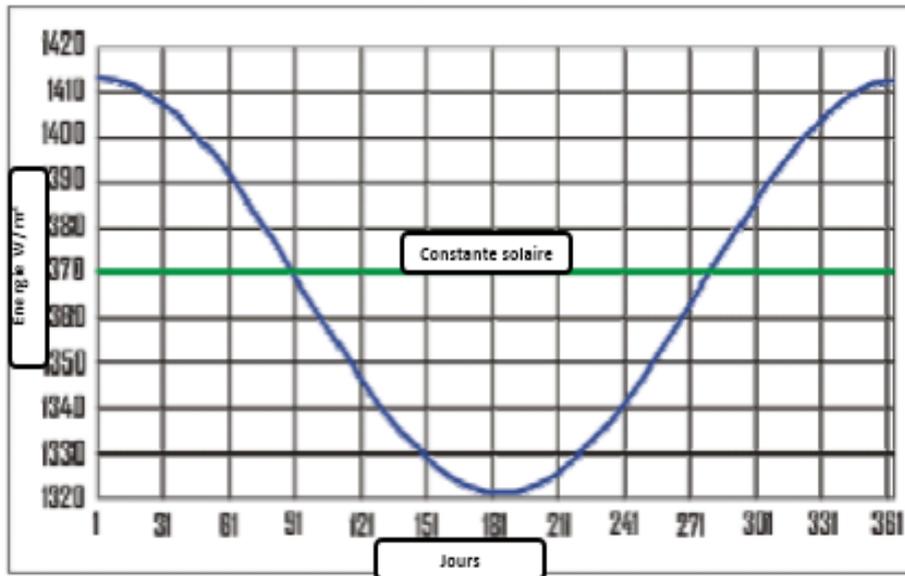


Figure 32- la constante solaire (Alain R.J, 2011)

L'unité de temps employé dans ce qui suit est l'heure solaire vraie (tsv).

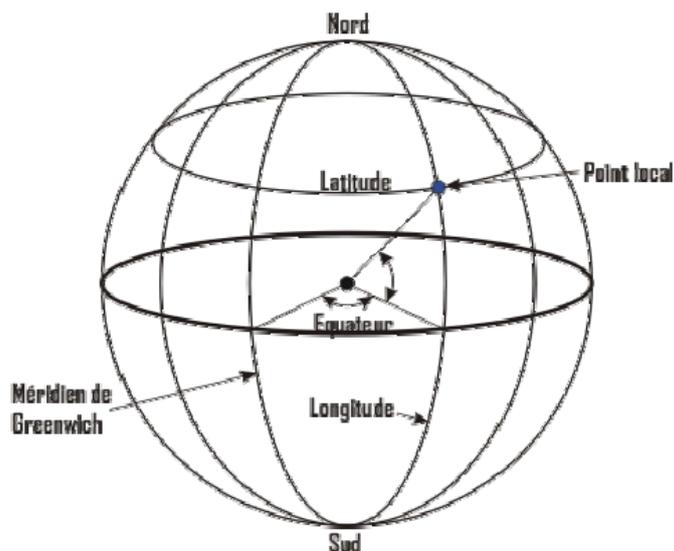


Figure 33- La latitude et la longitude (Saint O.D 2010)

### II.2.2 La déclinaison

La déclinaison (Dec) est l'angle que forme le vecteur "centre de la terre → soleil" et le plan équatorial de la terre. La déclinaison varie de  $+23,45^\circ$  (en degrés décimaux) au solstice d'été (22 juin) à  $-23,45^\circ$  au solstice d'hiver (22 décembre) en passant par la valeur 0 aux équinoxes (21 mars et 23 septembre). Cette déclinaison est due à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestres par rapport au plan écliptique ce qui nous donne les différentes saisons. Cette inclinaison est constante (voir le croquis de la révolution de la terre autour du soleil ci-dessous). La déclinaison est obtenue par l'équation suivante :

$$D_{ec} = \text{arcSin}[0.3978 \cdot \text{Sin}(V_a \cdot (j - (81 - 2 \cdot \text{Sin}(V_a \cdot (j - 2)))))] \quad (16)$$

Où  $v_a$  est la vitesse angulaire moyenne de rotation de la Terre en degrés/jour, ( $v_a = 360 / 365,25$ ) et  $j$  est le numéro d'ordre du jour dans l'année (1 pour le 1<sup>er</sup> janvier). Cette formule peut être simplifiée tout en donnant une précision suffisante :

$$\text{Sin}D_{ec} = 0.4 \cdot \text{Sin}(0.986(j - 82)) \quad (17)$$

Ci-dessous un graphique figure 34 montrant la déclinaison solaire au cours d'une année

- *l'angle horaire* : l'angle horaire ( $A_h$ ) mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu (zénith). Cet angle horaire est négatif si le temps solaire est inférieur à 12 h. il est obtenu de la façon suivante :

$$A_h = 180 \cdot \left(\frac{t_{sv}}{12} - 1\right) \quad (18)$$

### II.2.3 Position du soleil

La position du soleil est exprimée par deux angles que sont :

- *L'azimut du soleil* : l'azimut solaire ( $a$ ) est l'angle horizontal formé par le plan méridien (axe nord-sud) et le plan vertical du vecteur "point local-soleil" (Figure 35). Le signe de l'azimut est le même que celui de l'angle horaire.

$$\text{Sin}(a) = \frac{\text{cosDec} \cdot \text{Sin}(A_h)}{\text{Cos}(h)} \quad (19)$$

- *la hauteur du soleil* : la hauteur du soleil ( $h$ ), ou encore l'altitude, est l'angle formé par le plan horizontal du lieu considéré et le vecteur "point local-soleil". Cette hauteur du soleil intervient fortement sur la valeur de l'éclairement solaire et pour apprécier cette valeur en un point et une heure donnés il est nécessaire de calculer cette hauteur. La formule classique est la suivante :

$$\text{Sin}(h) = \text{Sin}(L_{at}) \cdot \text{Sin}(D_{ec}) + \text{Cos}(L_{at}) \cdot \text{Cos}(D_{ec}) \cdot \text{Cos}(A_h) \quad (20)$$

- *heures de lever et de coucher du soleil* : à partir de la latitude et la déclinaison, il est possible de connaître l'heure solaire vraie du lever et du coucher de soleil :

$$t_{SV_{Lev}} = 12 - \frac{\text{ArcCos}(-\text{Tan}(Lat) \cdot \text{Tan}(Dec))}{15} \quad (21)$$

$$t_{SV_{Cou}} = 12 + \frac{\text{ArcCos}(-\text{Tan}(Lat) \cdot \text{Tan}(Dec))}{15} \quad (22)$$

- *Durée d'insolation* : la durée d'insolation représente la durée maximale de la journée :

$$Di = \frac{2}{15} \cdot \text{ArcCos}(-\text{Tan}(L_{at}) \cdot \text{Tan}(D_{ec})) \quad (23)$$

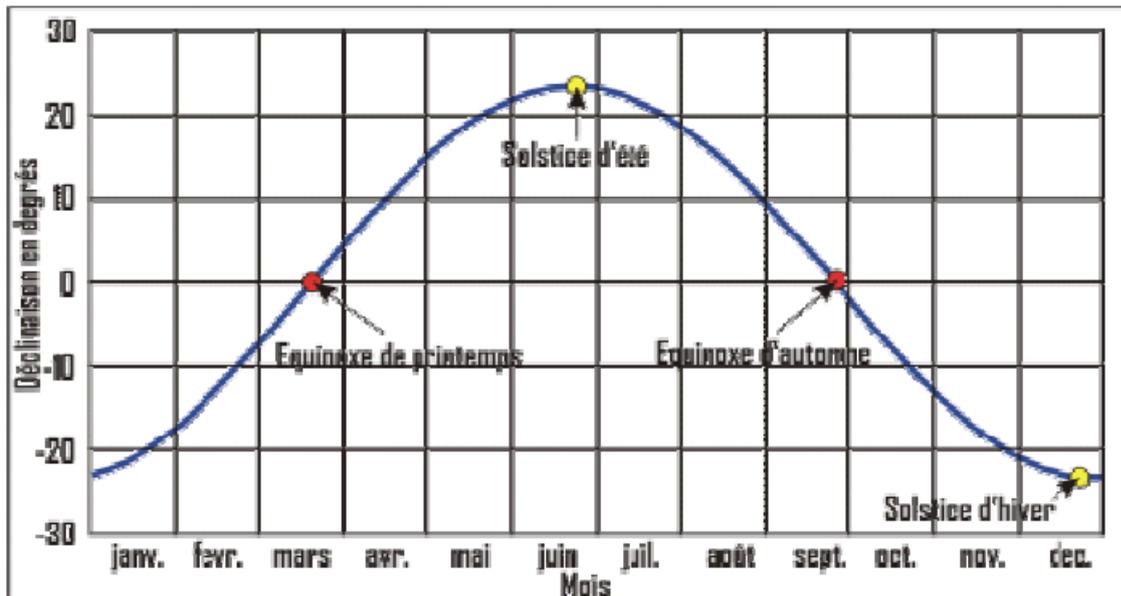


Figure.34 - la déclinaison solaire (Alain R.J, 2011)

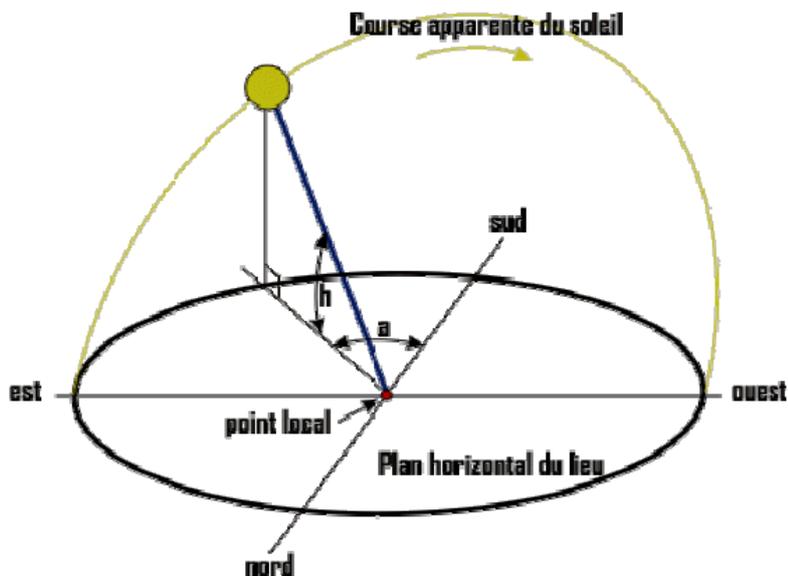


Figure 35 - position du soleil (Saint O.D 2010)

### II.3 Rayonnement solaire.

L'énergie solaire représentée par la constance solaire moyenne à l'entrée de l'atmosphère ( $G \approx 1367 \text{ W/m}^2$ ) reçue par la terre subit une altération par sa traversée de l'atmosphère, seulement une partie de cette énergie est disponible au sol. Ce rayonnement solaire se décompose en deux parties principales qui sont le rayonnement solaire direct ( $I^*$ ) et le rayonnement solaire diffus ( $D^*$ ). Le total de ces deux rayonnements est appelé le rayonnement solaire global ( $G^*$ ) (R.Bernard et al 1983).

$$G^* = I^* + D^* \quad (24)$$

### II.3.1 Le rayonnement solaire direct.

C'est le rayonnement solaire qui arrive à traverser l'atmosphère mais subit malgré tout une atténuation de son intensité. Pour calculer ce rayonnement on doit :

- Définir l'altitude  $z$  (m) du point local pour connaître la pression atmosphérique ( $P_{atm}$ ) :

$$P_{atm} = 101325 \cdot (1 - 2.26 \times 10^{-5} \times z)^{5.26}, \text{ Pa} \quad (25)$$

- Définir la pression de vapeur saturante ( $P_{vs}$ ), le taux moyen d'humidité relative ( $H_R$ ) et la Pression partielle de vapeur d'eau ( $P_v$ ) :

$$P_{vs} = 2.165 \left( 1.098 + \frac{T}{100} \right)^{8.02}, \text{ mm Hg} \quad (26)$$

$$H_{Rmoy} = 50\%, (0.5) \quad (27)$$

$$P_v = P_{vs} + H_{Rmoy} \quad (28)$$

Où  $T$  est la température de l'air en  $C^\circ$

- Définir la masse d'air optique relative ( $m$ ) d'où en découle l'épaisseur optique de Rayleigh ( $ER$ ) qui détermine l'atténuation due à la diffusion :

$$m = \frac{P_{atm}}{101325 \cdot \sin(h) + 15198,75 \cdot (3,885 + h)^{-1.258}} \quad (29)$$

$$E_R = \frac{1}{0,9 \cdot m + 9,4} \quad (30)$$

Où  $h$  est la hauteur du soleil en degrés.

- définir le facteur de trouble de Linke :

$$T_L = 2.4 + 14.6 B + 0.4(1 + 2 \cdot B \cdot \ln(P_v)) \quad (31)$$

Où  $B$  est le coefficient de trouble atmosphérique (tableau N° 6) qui prend les valeurs suivantes :

Tableau N° 6- coefficient de trouble atmosphérique

Lieu	coefficient de trouble atmosphérique (B)
Montagne	0.02
Rural	0.05
Urbain	0.10
Industriel (atmosphère polluée)	0.20

$\ln$  : représente le logarithme népérien

Le rayonnement solaire direct sur un plan récepteur normal à ce rayonnement vaut donc :

$$I^* = E_{sol} \cdot e^{ER \cdot m \cdot T_L}, W/m^2 \quad (32)$$

Où  $e$ , est la fonction inverse de  $\ln$ , et  $E_{sol}$  représente la constante solaire pour une journée  $j$

### II.3.2 Le rayonnement solaire diffus.

C'est le rayonnement solaire qui arrive sur le plan récepteur après avoir été réfléchi par les nuages, les poussières, les aérosols et le sol. On suppose que le rayonnement solaire diffus n'a pas de direction prédominante (donc isotrope) de ce fait, l'orientation du plan récepteur n'a pas d'importance, seule son inclinaison en  $\alpha$ . Ainsi sur un plan récepteur d'inclinaison  $i$ ,  $D^*$  est égal à :

$$D^* = 125. \sin(h)^{0.4} \cdot \frac{1+\cos(i)}{2} + 211.86 \sin(h)^{1.22} \cdot \frac{1-\cos(i)}{2}, W/m^2 \quad (33)$$

### II.3.3 Albédo :

On appelle albédo la fraction du rayonnement solaire renvoyé par une surface (ici le sol), ce coefficient a été intégré dans la formule ci-dessus avec une valeur moyenne de 0,22. Ce coefficient est fonction de la nature du sol, de sa température et de sa capacité à réfléchir le rayonnement solaire.

### II.3.4 Rayonnement solaire global.

La somme de ces deux rayonnements représente le rayonnement global :

$$G^* = S^* + D^* \quad (34)$$

Où  $S^*$  est le rayonnement solaire direct sur un plan récepteur ( $\alpha, i$ ) et est égal :

$$S^* = I \cdot C_i \quad (35)$$

Où  $C_i$  étant le coefficient d'incidence.

### II.3.5 Rayonnement sur une surface inclinée:

La figure 36 illustre la définition des angles solaire pour l'étude du rayonnement sur une surface inclinée.

Le rayonnement incident sur une surface faisant un angle  $\beta$  avec l'horizontale est donné par :

$$I = I_B + I_d + I_r \quad (36)$$

Où  $I_r$  est Le rayonnement réfléchi par l'environnement (la surface du sol).

Si  $i$  est l'angle d'incidence du rayon sur la surface inclinée, donc on a:

$$I_B = I_{B,h} \cos(i) \quad (37)$$

$I_d$  représente Le rayonnement diffus, il est obtenu en multipliant Le rayonnement diffus sur une surface horizontale par le facteur d'angle entre le ciel et la surface:

$$I_d = I_{d,h} \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (38)$$

Pour évaluer Le rayonnement réfléchi  $I_r$  on prend le rayonnement total incident sur une surface horizontale multiplié par un facteur de réflexion  $\rho$  appelé « albedo »

### II.3.6 Loi de Stefan-Boltzmann (Spectre d'énergie de la radiation d'un corps noir)

Soit une radiation électromagnétique en équilibre thermique dans une enceinte dont la paroi est à la température  $T$ . Considérons cette radiation comme une collection de photons indiscernables, dont le nombre total dépend de la température de la paroi (Alain R. 2011).

La distribution de Planck <sup>1</sup> donnant le nombre moyen  $n(s)$  de photons dans chaque état  $s$  s'écrit :

$$n_s = \frac{1}{e^{\beta \epsilon_s} - 1} \quad (39)$$

Avec  $\beta = \frac{1}{K_B T}$  (40)

Où  $\epsilon_s$  est l'énergie d'un photon dans l'état  $s$ .

L'état de chaque photon peut être déterminé par l'amplitude et la direction de son impulsion :

$$\vec{p} = h \cdot \vec{k} \quad \text{où} \quad k = \frac{\omega}{c} \quad \text{et} \quad \epsilon = h \cdot \omega \quad (41)$$

Et par la direction de polarisation du champ électrique qui lui est associé. (K vecteur d'onde à ne pas confondre avec la constante de Boltzmann que l'on notera  $K_B$ ).

En d'autres termes, pour chaque valeur du vecteur d'onde  $K$ , il y a deux états possibles pour les photons correspondant aux deux possibilités de polarisation du champ électrique perpendiculaire à la direction de propagation.

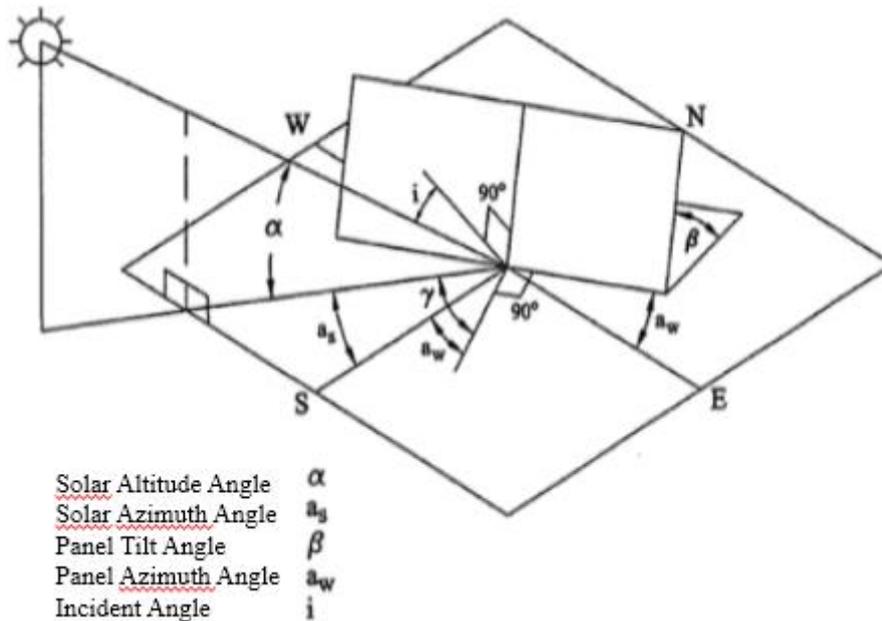


Figure 36- définition des angles solaires pour une surface inclinée (Alain R. 2011)

Le nombre d'états possibles des photons dans un volume  $V$  est donné par :

$$2 \cdot \frac{V}{(2\pi)^3} \cdot d^3 k \quad (42)$$

Le nombre moyen de photons par unité de volume ayant leur vecteur d'onde compris entre  $K$  et  $K+dK$  sera le produit du nombre d'états possibles par la probabilité de présence dans chacun des états :

$$f(k) \cdot d^3 k = \frac{1}{e^{\beta \epsilon} - 1} \cdot \frac{2}{(2\pi)^3} \cdot d^3 k \quad (43)$$

Avec  $d^3k = 4\pi \cdot k^2 dk$  et  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  (44)

Si  $u(l, T) dl$  dénote l'énergie moyenne par unité de volume des photons ayant les deux directions de polarisation dans l'intervalle de longueur d'onde  $l$  à  $l + dl$  et si chacun des photons a une énergie :

$$\varepsilon = \frac{h \cdot c}{\lambda} \tag{45}$$

et alors  $u(\lambda, T) d\lambda = \frac{8\pi \cdot h \cdot c}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{\exp\left(\frac{\beta \cdot h \cdot c}{\lambda}\right) - 1}$  (46)

Cette formule que l'on peut écrire encore sous la forme réduite :

$$U(\eta, T) d\eta = \frac{8\pi}{h^3 c^3} \cdot (k \cdot T)^4 \cdot \frac{\eta^3 d\eta}{e^\eta - 1} \tag{47}$$

Cette distribution d'énergie présente un maximum pour :

$$\eta = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot K_B T} = 2.82 \cong 3 \tag{48}$$

La figure 37 montre la courbe d'émission du corps noir en unités réduites.

Historiquement, c'est pour rendre compte de la loi empiriquement constatée que Planck a introduit la notion de quantification de la lumière. En effet, pour les grandes longueurs d'ondes (photons peu énergétiques), quand  $\frac{h \cdot c}{\lambda} \ll K_B T$ , la loi se réduit au résultat classique de Rayleigh-Jeans :

$$U(\lambda, T) d\lambda = \frac{8\pi \cdot K_B T}{\lambda^4} \cdot d\lambda \tag{49}$$

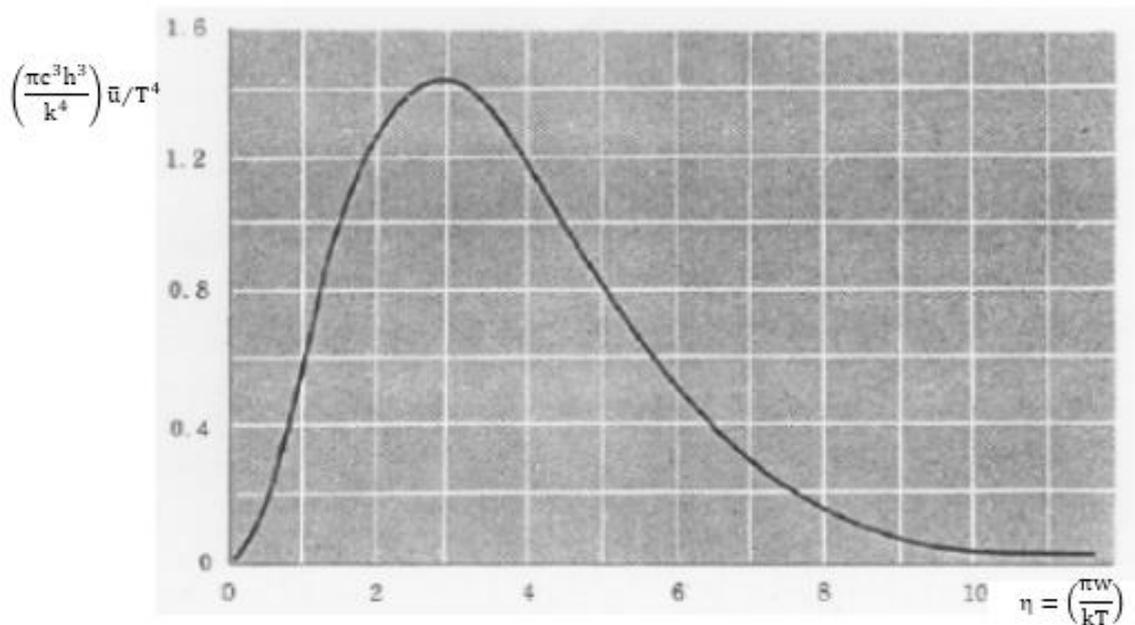


Figure 37- courbe d'émission du corps noir en unités réduites (Saint O.D ,2010)

Une propriété intéressante de la distribution énergétique du corps noir est que si le maximum de densité d'énergie apparaît à  $T_1$  pour une longueur d'onde  $l_1$ , et à  $T_2$  pour une longueur d'onde  $l_2$ , alors :

$$\frac{h \cdot c}{\lambda_1 k_B T_1} = \frac{h \cdot c}{\lambda_2 k_B T_2} = 2.82 \tag{50}$$

Cette relation est connue sous le nom de loi de déplacement de Wien.

Elle permet de mesurer les hautes températures en repérant la couleur du rayonnement thermique d'une source à la température T.

La densité moyenne d'énergie totale intégrée sur toutes les fréquences vaut :

$$u(T) = \int_0^{\infty} U(\eta, T) d\eta = \frac{8\pi}{h^3 c^3} \cdot (k_B \cdot T)^4 \int_0^{\infty} \frac{\eta^3 d\eta}{e^{\eta} - 1} = \frac{8\pi}{h^3 c^3} \cdot (k_B T)^4 \cdot \frac{\pi^4}{15} = \frac{8\pi^5 K_B^4}{15 h^3 c^3} \cdot T^4 \quad (51)$$

## II.4 Potentialité et différente production du sel

### II. 4.1 Capacité de production dans le monde

Le sel est issu de la mer ou extrait des gisements souterrains (CSF 2010). C'est un minéral aux multiples usages, étroitement lié à l'histoire de l'humanité et à l'essor des civilisations. Depuis toujours, le sel tient une place importante dans notre quotidien : il est présent dans notre alimentation mais il peut être également très utile pour notre confort, notre bien-être ou encore notre sécurité. Dans le monde, en 2013, 40 % de la production est assurée par l'exploitation de marais salants ou de lacs salés, 26 % par l'exploitation de gisements de sel gemme et 34 % par l'extraction de saumures. Aux Etats-Unis, en 2013, 46 % de la production est sous forme de saumures, 36 % de sel gemme, 11 % de sel ignigène, 7 % de sel de mer. La production est assurée, en 2012, à 33 % par la Louisiane, 22 % le Texas, 14 % l'état de New York. Depuis 2005, la Chine a supplanté les Etats-Unis comme premier producteur mondial (Le sel en Amérique et en Afrique), aussi le Japon pour des raisons climatiques, la technique des marais salants n'y est pas efficace. Ce pays a développé la production de sel par électrodialyse qui couvre environ la moitié de la consommation de sel cristallisé. La production de sel est la 2<sup>ème</sup> utilisation de l'électrodialyse dans le monde, après le dessalement des eaux saumâtres. La production ne couvrant pas la consommation, des sociétés japonaises exploitent des marais salants à l'étranger, par exemple au Mexique, en Basse Californie, où Mitsubishi possède 49 % des plus grands marais salants au monde.

Commerce mondial : Les ressources en sel sont bien réparties et abondantes sauf au Japon (en 2013, production : 929 000 t, consommation : 7,956 millions de t, le sel étant importé surtout d'Australie et du Mexique) et en Scandinavie (pas de production, importations : 1,9 million de t/an). Les échanges mondiaux portent sur environ 15 % de la production de sel cristallisé.

Les Etats-Unis ont importé, en 2012, 9,9 millions de t (11,3 millions de t, en 2013) provenant du Canada à 40 %, du Chili à 37 %, du Mexique à 13 %. Alors les principaux pays exportateurs sont : Australie, Bahamas, Chili, Mexique, Chine.

*Principaux producteurs mondiaux* : en 2013, Le N°1 mondial est le groupe allemand (K+S) après les acquisitions de la société chilienne Sociedad Punta de Lobos (SPL) en 2006 et de la société Nord Américaine Morton Salt en octobre 2009. Les capacités mondiales de production sont de 30 millions de t/an :

- 13 millions de t/an avec sa filiale Morton aux Etats-Unis, Canada et Bahamas dans 6 mines, 7 salins et 9 unités de production de sel ignigène.

- 8 millions de t/an, au Chili dans la mine de Salar Grande de Tarapacá et 0,5 millions de t/an dans un salin au Brésil à Salina Diamante Branco, dans le Natal.

- 8 millions de t/an de sel cristallisé et 1,7 million de t de saumure par sa filiale European Salt Company (Esco), en Europe (Allemagne, France, Espagne, Pays Bas et Portugal), dans trois mines en Allemagne, deux exploitations de saumure et plusieurs exploitations de sel ignigène. Les ventes ont été de 22,81 millions de t de sel dont 13,79 millions de t pour le déneigement.

avec des capacités de 13,8 millions de t/an, Compass Minerals exploite des mines à Goderich, Ontario au Canada (7,5 millions de t/an), Cote Blanche, Louisiane, aux Etats-Unis (2,7 millions de t/an), Winsford, Cheshire au Royaume Uni (1,4 million de t/an), ainsi que du sel ignigène au Canada à Goderich (118 000 t/an), Unity, dans le Saskatchewan (145 000 t/an), Amherst, en Nouvelle Ecosse (126 000 t/an) et aux Etats-Unis à Lyons, au Kansas (408 000 t/an) et un marais salant dans le Grand Lac Salé, à Ogden, dans l'Utah (1,36 million de t/an) avec ses filiales : North American Salt Company, aux Etats-Unis, Sifto au Canada et Salt Union au Royaume Uni. Les ventes de sel ont porté sur 12 millions de t. Le groupe Cargill Salt aussi possède des capacités de 13 millions de t/an aux Etats-Unis et 800 000 t dans un salin au Venezuela avec la société Produsal. En Europe : Esco (filiale de K+S) : 9,7 millions de t/an Akzo Nobel : 6 millions de t/an à Delfzijl et Hengelo aux Pays-Bas avec 5 millions de t/an et Mariager au Danemark, SüdSalz (Allemagne) : 5 millions de t/an Salins (France, Espagne) : 3,7 Italkali (Italie) : 2,0, Salt Union (Royaume-Uni, filiale de Compass Minerals) : 1,4, British Salt (Royaume Uni, propriété depuis décembre 2010 de Tata Chemicals) : 0,8 millions de t/an (figure 38).



Figure.38- production du sel dans le monde, *Comité des Salines de France (CSF), 2010*

#### II.4.2 Les techniques de production du sel

Depuis des siècles, l'homme exploite le sel à partir des eaux salées et des gisements de sel. Cette substance minérale issue de la nature est obtenue selon différentes techniques.

- *la technique minière (sel gemme)* : il existe, dans les profondeurs de la terre, des couches superposées de sel fossile (figure 39). Ces couches se sont accumulées au cours des ères géologiques, lors de l'évaporation des mers ; leur épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. Le sel gemme est extrait selon la technique traditionnelle de l'exploitation minière soit en fosse sur un relief plat, en demie tranchée sur un relief montagneux ou en souterraine. Le sel est transporté jusqu'à une station de broyage/criblage pour être ensuite stocké et/ou conditionné.
- *la technique d'extraction du sel par dissolution* : le sel peut aussi être extrait par un procédé alliant dissolution in situ et évaporation sous vide. Le sel est exploité par injection d'eau douce sous pression dans son gisement. La saumure ainsi obtenue est dirigée vers une installation d'évaporation (appelée « saline ») où s'opère, sous l'effet de la chaleur, la cristallisation du sel. Ce dernier est ensuite essoré et séché. Cette technique admet des variantes.

Une première technique est celle des sondages en pistes. Elle consiste à introduire dans les forages un double tubage permettant d'injecter de l'eau douce et de soutirer la saumure. Il se crée ainsi une cavité de dissolution au niveau du forage (figure 40a). Donc des pistes de forages réalisés consistent en un ensemble de vingt à trente sondages, espacés d'environ cinquante mètres et disposés suivant la ligne de plus grande pente du gisement. On injecte de l'eau dans chacun d'eux jusqu'à ce que les chambres de dissolution communiquent. L'exploitation sur l'ensemble de la piste ainsi formée, s'effectue en injectant l'eau douce dans le puits amont et en soutirant la saumure par le puits aval (figure 40b). Il se produit ainsi un lessivage complet du gisement permettant une exploitation quasi totale. Son défaut est d'entraîner l'effondrement du toit de ces cavités et donc la formation de cratères au niveau du sol.

Une seconde technique est l'hydrofracturation que pratique (figure 41). Elle consiste à faire plusieurs forages jusqu'à la base du gisement et à y injecter de l'eau sous forte pression pour créer des fracturations horizontales qui vont faire communiquer les puits. Celle-ci étant établie, on fait circuler de l'eau à basse pression entre un puits d'injection et un de pompage. À la différence de la méthode des sondages en pistes, cette technique permet de créer des cavités de formes prédéfinies et, en contrôlant les injections d'eau, de conserver des piliers évitant ainsi l'effondrement des terrains.



Figure 39- la technique industrielle (sel gemme)

Pour en terminer avec ces techniques d'exploitation de gisements salins, la récupération du sel des saumures se fait actuellement en chauffant celles-ci, souvent sous vide (figure 42).

-*la technique agricole (sel solaire)* : il s'agit de la méthode la plus ancienne et la plus économe en énergie d'extraction du sel. Cette méthode consiste simplement à laisser de l'eau salée s'évaporer au soleil dans des bassins. Quand l'évaporation est terminée, il reste au sol une couche de sel qu'il suffit de ramasser puis de traiter (figure 44).

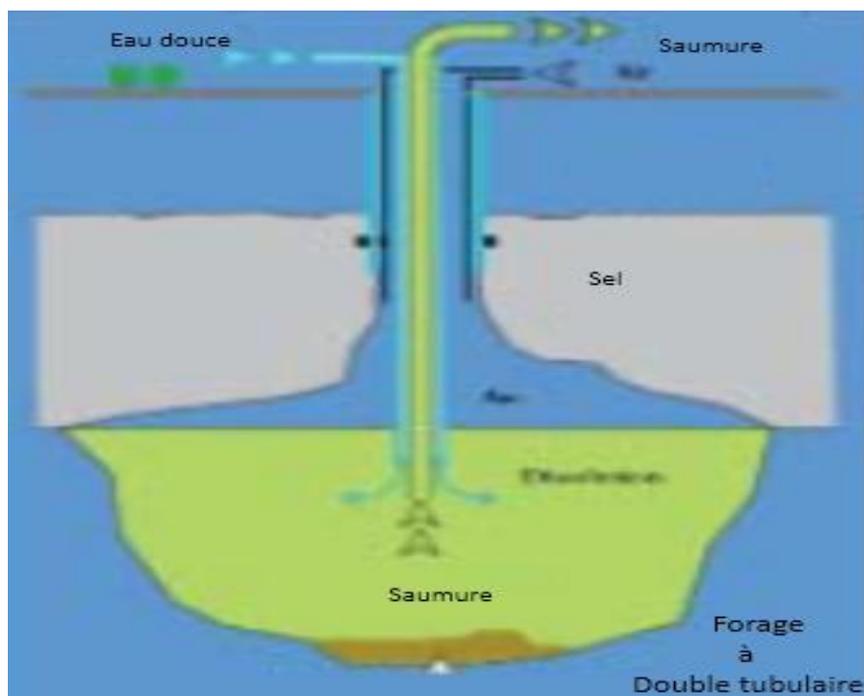


Figure 40 a- schémas de technique des pistes de forages

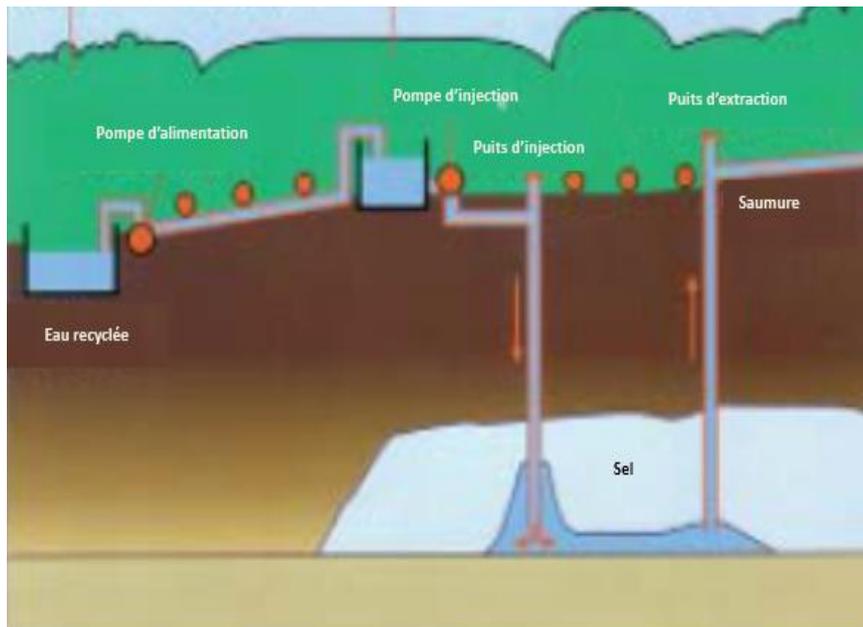


Figure 40 b- schémas de technique des pistes de forages

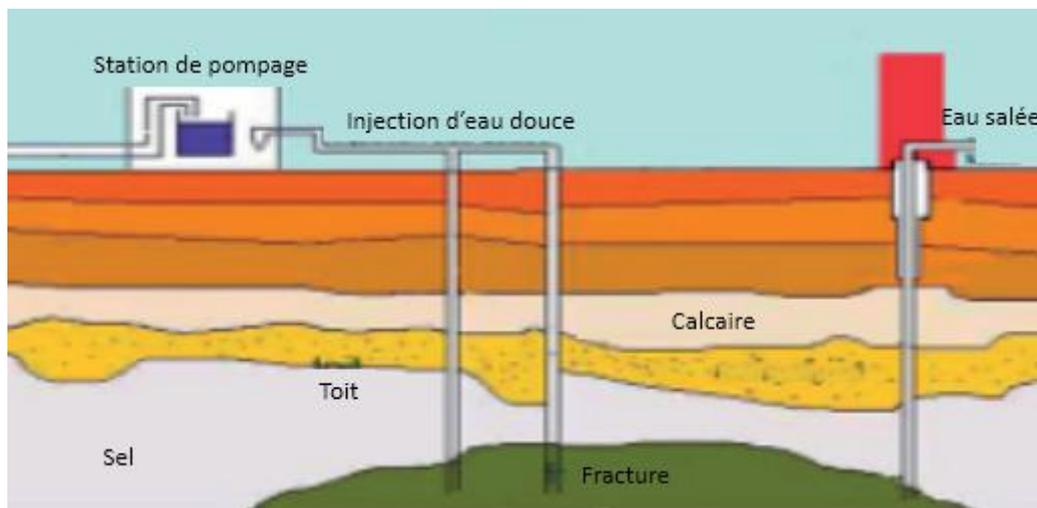
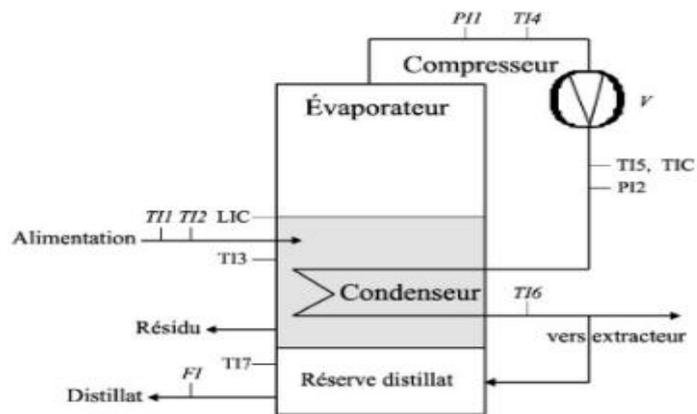


Figure 41- schéma de la technique d'hydro-fracturation



Légende :  
 V : variateur de vitesse  
 FI : indicateur de débit  
 PI : indicateur de pression  
 TI : indicateur de température  
 LIC : contrôle de niveau du liquide  
 TIC : contrôle de température

Figure 42- schéma d'évaporation du sel sous vide

À sa sortie des évaporateurs illustrés dans la figure.43, le broet de sel est essoré par centrifugation, séché, tamisé et conditionné (*Pierre B. 2009*).

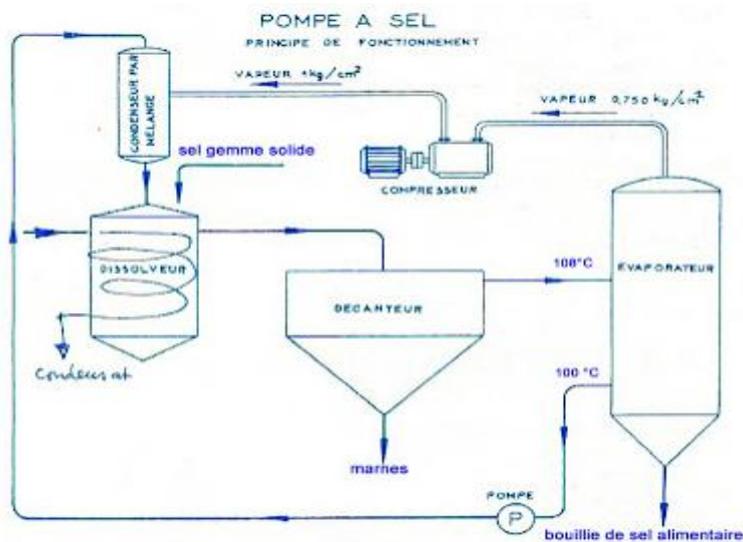


Figure 43- schéma de raffinage du sel (*Blogger A.2010*)



Figure 44- schéma de la technique agricole

## II.5 Conclusion

La région du chott Merouane caractérisée par un climat saharien de type hyperaride ou la saison sèche s'étalant sur tous les mois de l'année à l'exception du mois de janvier. Les précipitations dans la région sont trop faibles de l'ordre de 85 mm/an, influencée par la position géographique vu qu'elle augmente du sud vers le nord plus leur baisse altitude et l'éloignement de la mer, le mois de janvier est le plus arrosé avec une précipitation de l'ordre de 19,14 mm, dans les autres mois de l'année ; les précipitations sont trop faibles. La température a une moyenne annuelle de l'ordre de 21,80, Elle se baisse pendant la saison hivernale qui augmente graduellement en allant vers la saison estivale, le mois de juillet est considéré comme le mois

le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 33,50 C° alors que le mois de janvier c'est le mois le plus froid avec une température de 10,30 C°. L'humidité est relativement faible, variant entre 32 % et 65 %, avec une moyenne annuelle de 48 %. La vitesse la plus importante des vents est enregistrée au mois de mai de l'ordre de 4,13 m/s. L'évaporation est gouvernée principalement par la température, elle est intense dans les mois de la saison estivale et moins intense dans les mois de la saison hivernale.

Aussi l'Algérie est l'un des pays de la méditerranée qui dispose d'un potentiel énergétique solaire très élevé. Selon les données d'ensoleillement, l'Algérie est comptée parmi les pays les plus ensoleillés dans le monde. Le potentiel des ressources solaires de ce pays est optimal pour l'exécution des projets solaires (*Bernard R. et al 1983*). Depuis toujours on cherche à mettre le rayonnement solaire à son service. Les progrès dans la connaissance du rayonnement et dans la conception des dispositifs techniques de collecte et de conversion jalonnent le développement scientifique et industriel des sociétés. Les lois physiques gouvernant les différentes filières solaires ont été établies il y a plus d'un siècle et demi. Mais l'histoire de l'énergie solaire a connu une accélération importante à la suite de la crise pétrolière de 1973. Les diverses technologies solaires sont parvenues aujourd'hui à des différents stades de développement, de la recherche aux réalisations industrielles et à la pénétration des marchés. Compte tenu des technologies disponibles actuellement, du prix actuel des énergies fossiles et des besoins à satisfaire localement, la ressource de rayonnement solaire constitue un potentiel énergétique qui peut être raisonnablement utilisé dès maintenant.

En bref, tous les facteurs qui déterminent l'aridité d'une région à savoir ; les faibles moyennes annuelles des précipitations ainsi que les fortes évaporations générées par le flux solaire intense sont réunis dans la région de chott Merouane, mais malheureusement l'Algérie même pas cités dans les payés producteurs qu'on a vu ci-dessus à cause la faible production qui ne dépasse pas 700 000 tonnes/an, malgré tous les facteurs qui favorisent la production de produit avec un prix de revient moindre par rapport les autres pays.

## CHAPITRE III

### MATERIEL ET METHODES

## CHAPITRE III – MATERIEL ET METHODES

### III.1 Introduction

La production du sel de l'unité Salin Merouane d'El- Meghaier (Enasel) est réalisée par des tables salantes alimentées du chott. Le sel solaire se cristallise grâce à l'évaporation de la saumure dans les tables durant une période assez longue (de mois de décembre jusqu' au mois de Juillet), le climat de cette zone est aride. Par ailleurs, ce dernier influe sur la période de la récolte à savoir le durcissement de la couche du sel cristallisé à cause de la précipitation et de l'assèchement en fin de cristallisation. L'entreprise rencontre des difficultés qui sont liées au durcissement de la couche du sel. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de cerner les caractéristiques géochimique et minéralogique du salin de Merouane ainsi que l'influence des conditions climatiques sur le phénomène naturel de cristallisation par énergie solaire. Pour ce faire, un apport géochimique, chimique et minéralogique nous permettra de récolter une banque d'informations en vue d'analyser le processus de cristallisation et mieux cerner l'aspect quantitatif et qualitatif du produit marchand. Pour atteindre les objets visés, une mise au point d'une installation de miroirs plans de réflexions des rayonnements solaires sur des tables salantes en vue d'une meilleure gestion du processus de cristallisation de la saumure.

### III.2 Production du sel du chott Merouane

Le chott Merouane caractérisé par une région aride a hyperaride (*Ramsar 2002*). L'unité SME (figure 45) (Salins Merouane El Meghaïer – El Oued) est localisée à côté du chott Merouane, elle s'éloigne environ 500 km de la capitale d'Alger. L'exploitation du sel dans laquelle est basée sur l'énergie solaire. Les stades de la campagne de récolte débute avec le pompage dans le mois de décembre et se termine avec la remise en état des infrastructures et des moyens de récolte dans le mois de juillet qui sont représentés sous forme d'un organigramme dans la figure 46, l'unité a une production annuelle de 150 000 tonnes. Le procédé consiste en pompée La saumure à partir du chott. Le pompage débutera en décembre. Donc le volume pompé décroissant sensiblement avec l'évaporation, il est nécessaire de faire des appoints pour maintenir la hauteur de la saumure dans les onze tables salantes de 250 m de largeur et 280 de longueur. Il est d'usage de pomper 30 à 50 cm de couche de saumure, une fois le pompage de la dernière table est terminé, on recommence l'alimentation de la première jusqu'à la fin de durée de vie de remplissage du chott de l'année en cours. Après la cristallisation du sel ; les moyens de récoltes récolteront cette couche cristallisée à partir de fin du mois de juin. Le transport du sel s'effectue

par des camions vers la station de lavage afin de laver (éliminer les sels indésirables) et stocké dans des camelles (*Enasel 2007*).



Figure 45 – Unité des Salins Merouane El Meghaier (SME), utilisation des tables salantes.

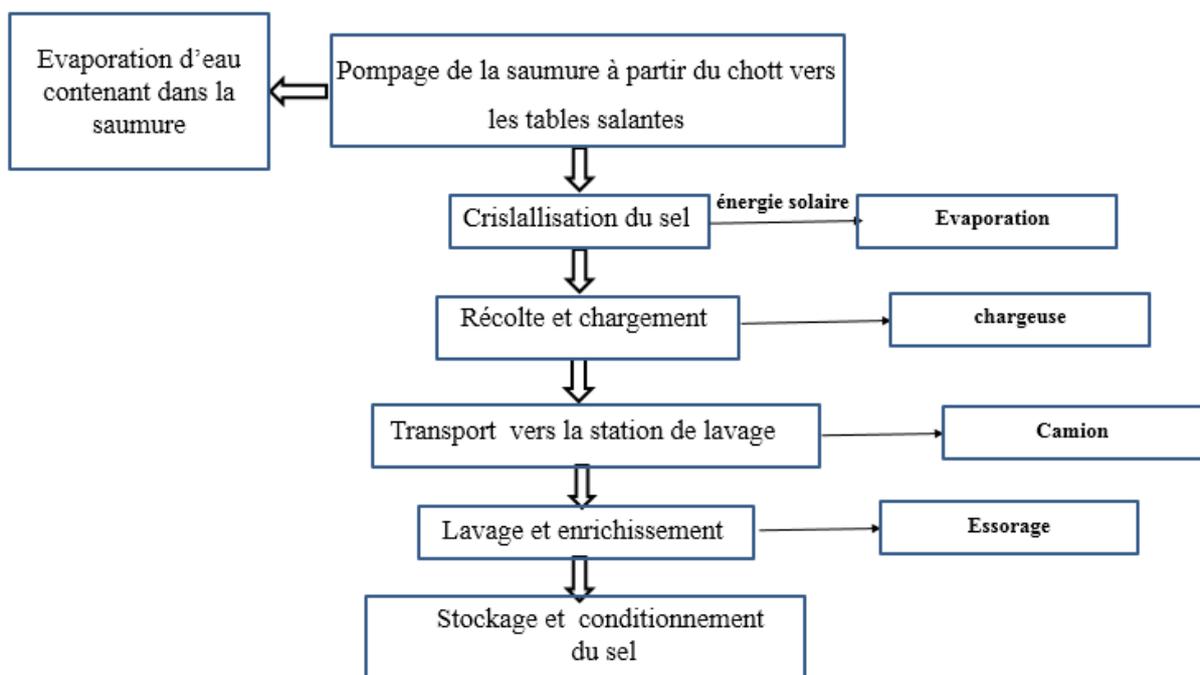


Figure 46- les stades de production du sel de l'unité SME

### III.3 Expérimentation

A partir du problème rencontré au niveau de l'unité des Salins Merouane El Meghaier (SME) qu'on a cité précédemment, on propose un système sert à créer des conditions favorables des récolteurs pendant la récolte du sel, et pour ce faire, plusieurs tests à côté des tables salantes à pour but d'accélérer le processus évaporation-cristallisation du sel basé sur l'énergie solaire, donc ces tests se réalisent dans différents temps et différents procédés comme suite :

- étude de durcissement de la couche du sel cristallisée.
- réalisation des deux tests dans les mois de mai et juin 2015, en utilisant des miroirs plans de différentes surfaces pour la réflexion des rayonnements solaires vers la surface évaporante des saumures.
- réalisation d'un test dans les mois de décembre et janvier 2017 en utilisant des miroirs plans, corps noirs et assemblage par ces deux systèmes dans la saumure.

#### III.3.1 Etude de durcissement du sel solaire

L'intensité de l'aridité présente une forte hétérogénéité à l'échelle planétaire. Quelques écosystèmes comme le désert du Sahara représentent un terme extrême de la sécheresse (Houérou L. 2001). Donc les chotts qui situent dans le désert sont asséchés en saison chaude, les différents apports d'eau ne résistent pas à la chaleur des rayons du soleil sur une telle surface plane et l'évaporation rend rapidement aux chotts.

Le durcissement est un phénomène de "cristallisation". Des cristaux se forment (à partir d'un délai correspondant au début de prise) et s'enchevêtrent les uns avec les autres. Aussi au contraire de durcissement c'est le phénomène de dissolution (figure 47) Lorsqu'on mélange une quantité d'eau avec le sel, les molécules d'eau sont mutuellement attirées par leurs charges partielles et forment de petits groupes. Comme la liaison entre les deux atomes du sel est ionique, les électrons sont totalement localisés sur un seul des ions. Cette absence d'électrons entre les deux atomes permet donc à l'eau de s'infiltrer entre eux et de les isoler.

- *expérience* : on a préparé trois échantillons de différentes cohésions prélevés de table salante de l'unité (SME) (figure 48), ensuite, on les mets dans un appareil de résistance à la compression uniaxiale (figure 49) au niveau du laboratoire de génie civil de l'université Mouhamed Khaider Biskra, ensuite on a mesuré leurs taux d'humidité.

L'essai de compression uniaxiale ou de compression simple consiste à comprimer un échantillon de roche de forme cylindrique entre deux plateaux parallèles d'une presse rigide. L'échantillon doit présenter de préférence une elongation (rapport hauteur sur diamètre) de 2 à 2,5. La dimension usuelle dans le laboratoire est de 80 mm de hauteur par 40 mm de

diamètre. Dans certains cas (manque de matériaux, qualité de la roche,...) les échantillons peuvent avoir des dimensions inférieures pour pouvoir réaliser les essais. Les échantillons sont préparés par forage au diamètre 40 mm, découpage et rectification pour l'obtention de surfaces strictement parallèles. Au cours de l'essai, un enregistreur permet de relever l'évolution de la contrainte axiale grâce à un capteur de force ou de pression, ainsi que celle des déformations soit par des capteurs de déplacement soit par des jauges de déformation. Cet enregistrement permet de déterminer différentes caractéristiques mécaniques selon le besoin : la résistance à la compression uniaxiale, la limite élastique, le module d'Young et le coefficient de Poisson. Le Tableau 7 reprend un classement des roches en fonction de leur résistance à la compression uniaxiale (FPM).



Figure 47- Photographie d'appareil de résistance à la compression uniaxiale des roches.

Tableau 7 : Qualification de la résistance d'une roche en fonction de la valeur de la résistance en compression simple  $\bar{\sigma}_c$ .

$\bar{\sigma}_c$ (Mpa)	Terme descriptif
$\bar{\sigma}_c > 200$	Très élevée
$60 < \bar{\sigma}_c < 200$	Elevée
$20 < \bar{\sigma}_c < 60$	Moyenne
$6 < \bar{\sigma}_c < 20$	Faible
$\bar{\sigma}_c < 6$	Très faible

### III.3.2 Les essais en 2015

*Premier essai* : Le premier essai a débuté à partir de la journée 10/05/2015 jusqu'à la journée 01/06/2015. Les bacs ont les dimensions de 1m\*1m soit une surface de 1m<sup>2</sup> de chaqu'un (figure 50), ils sont en acier inoxydable.

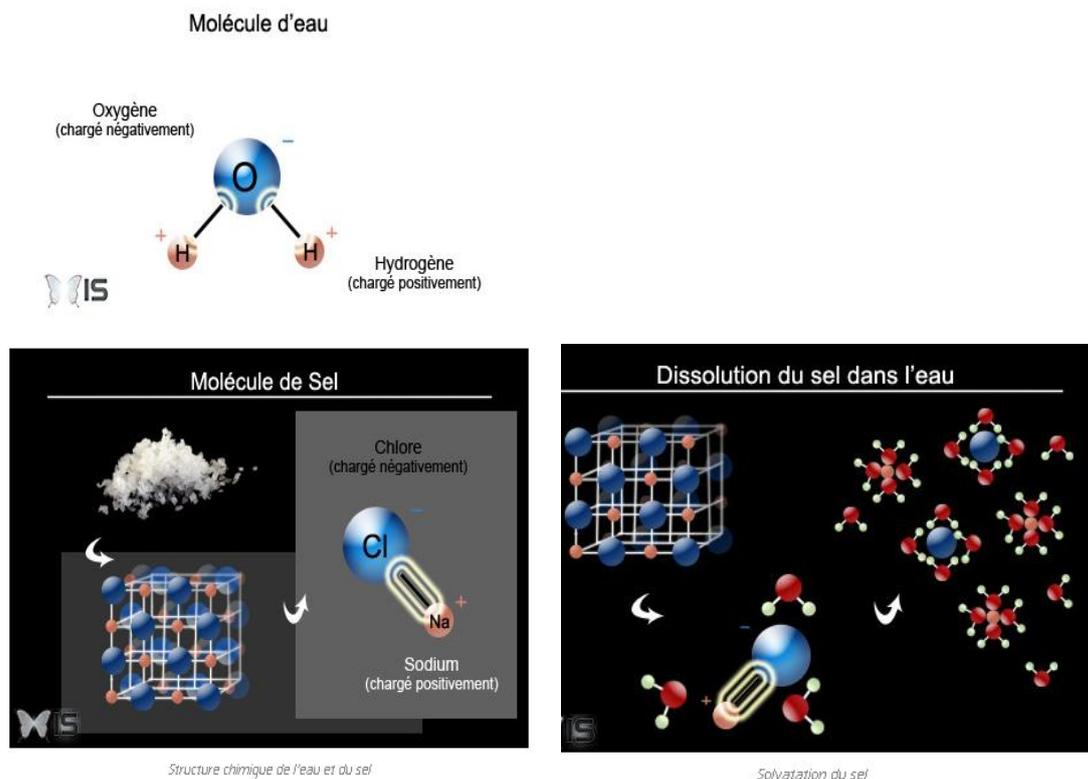


Figure 48- schéma montre le phénomène de dissolution du sel



Figure 49- échantillons du sel de différentes cohésions et cristallisation

Ses bases en deux couches , la partie inférieure est en argile et celle supérieure est en couche contre sel, ses parois extérieurs sont couvert par des plaques en bois afin d'éviter ses échauffements par les rayonnements solaires (représentation d'une table salante au maximum), les bacs sont installé près du chott et rempli par la saumure d'une densité de 22 B° et une épaisseur de couche d'eau de 200 mm de chaqu'un, le premier bac est équipé par un miroir plan d'une surface de 30 cm de hauteur et 35 cm de largeur soit une surface de 0.12 m<sup>2</sup> (3.3% de la

surface évaporante de la saumure dans le bac), le deuxième est témoin, le miroir installé capte les rayons solaires pour les réfléchir vers la surface de la saumure dans le bac de 07 :00 au matin jusqu'à 18 :00 au soir, il suit le mouvement du soleil durant toutes ces heures. Un suivi journalier de mesure durant la période d'essai de l'évaporation, la température d'air et celle des saumures.

- *deuxième essai* : Le deuxième essai est réalisé de la même manière que celui premier à partir la journée 25/05/2015 jusqu'à la journée 12/06/2015, mais avec un agrandissement de la surface du miroir 70 cm\*70 cm soit 0.49 m<sup>2</sup> (Remli S. et Bounouala M, 2015).

### III.3.3 Essai 2016-2017

On a développé un peu le stand, dans cet essai on a pris cinq bacs installés à côté des tables salantes de l'unité SME durant les mois décembre et janvier, Cette période représente le premier remplissage du chott par la saumure. Donc les bacs qui sont dimensionnés dans le tableau N°08 sont en plastique implantés sur la terre afin d'éviter l'échauffement de ses parois extérieures par les rayonnements solaires (figure 51), Ils sont remplis par la saumure du chott Merouane d'une densité de 23.6 B° avec une épaisseur de couche d'eau de 120 mm de chaque'un. Donc les résultats obtenus de chaque bac sont en comparaison par rapport celui témoin afin de connaître la différence des vitesses de cristallisation entre eux. Alors un suivi des mesures d'évaporation chaque matin à 09.00 heure grâce des règles fixées sur lesquelles. Les équipements des bacs sont mentionnés sur le tableau N°09 (Bounouala M, et Remli S. 2016).



Figure 50- photographie des bacs d'expérimentation de la saumure du Chott Merouane - El Oued, mai et juin 2015 (Remli S., et Bounouala M., 2018)

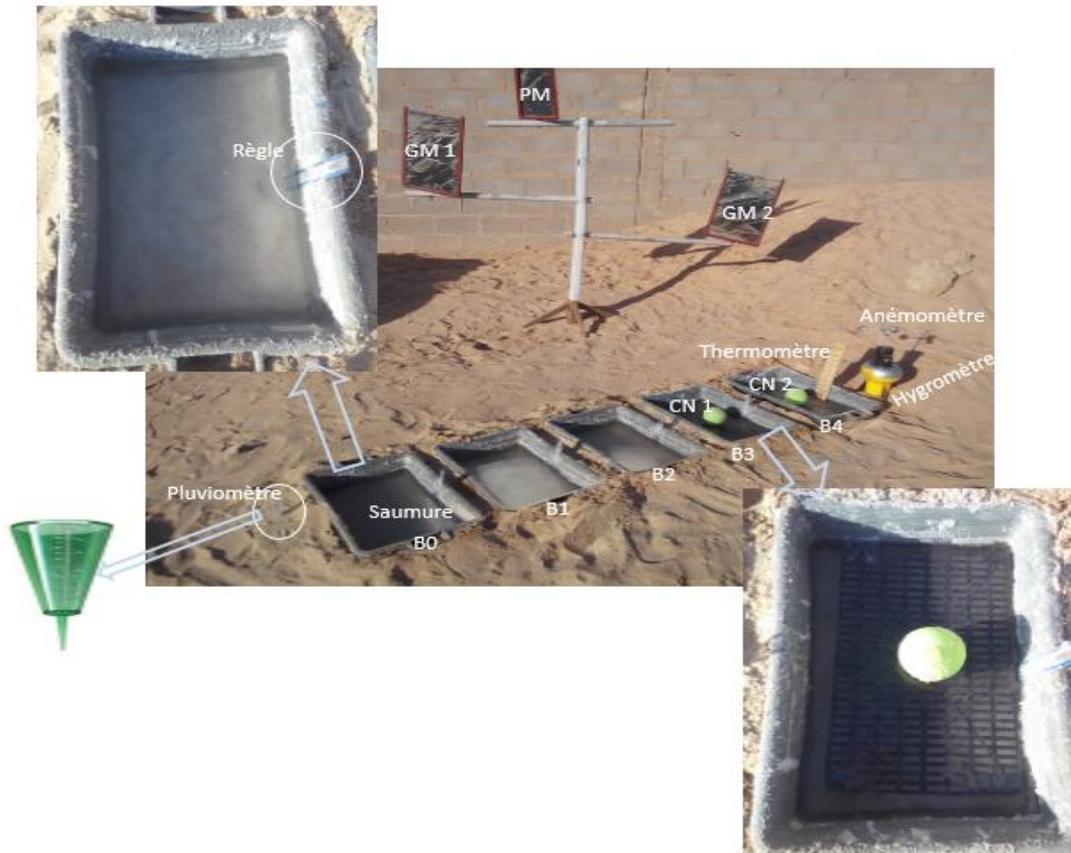


Figure 51 - Photographie des bacs d'expérimentation de la saumure du Chott Merouane - El Oued, janvier 2017  
(Bounouala M, et Remli S. 2016)

Tableau N°08- dimensionnement du matériel utilisé

Désignation	Dimension, m	Surface, m <sup>2</sup>
B0, B1, B2, B3, B4	0.55 * 0.34	0.187
PM	0.31 * 0.19	0.0589
GM1, GM2	0.48 * 0.30	0.144
CN1, CN2	0.46 * 0.26	0.119

Tableau N°09 - équipements des bacs

Bac de saumure	Avec Grand Miroir GM1	Avec Petit Miroir PM	Avec corps noir CN1	Avec corps noir + Grand Miroir CN2 + GM2
B0 (Témoin)				
B1				
B2				
B3				
B4				

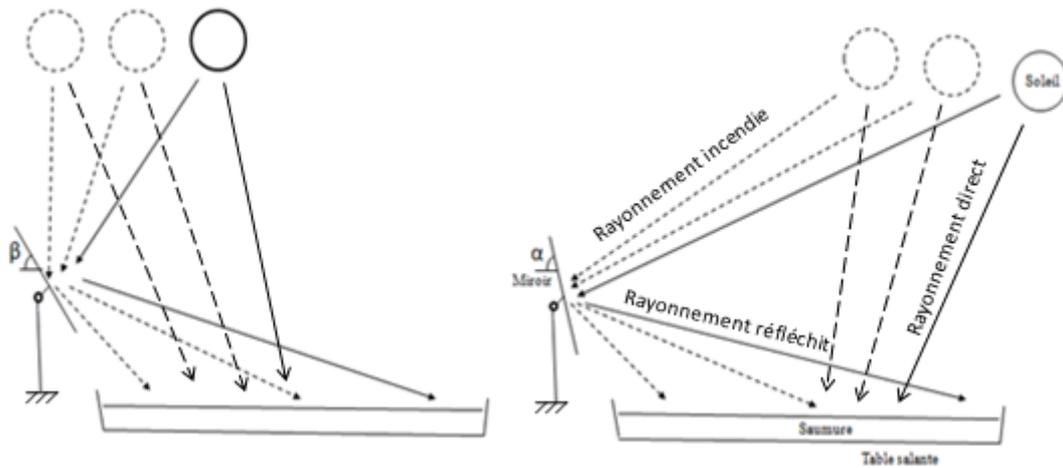


Figure.52 - projection des rayonnements solaires vers les bacs B1, B2 et B3

Le bac B0 : est celui qui témoigne à l'accélération du processus évaporation-cristallisation de la saumure.

Le bac B1 : le bac est équipé par un miroir simple plan GM1 (grand miroir) pour la réflexion des rayonnements solaires vers la surface évaporante de la saumure.

Le bac B2 : le bac est équipé par un miroir simple plan PM (petit miroir) pour la réflexion des rayonnements solaires vers la surface évaporante de la saumure (figure 52).

Le bac B3 : une grille noire flottante CN (corps noir) sur la surface de saumure grâce à un ballon fixé sur laquelle, les orifices de la grille cède le passage d'air à la saumure pour son agitation (formation des cristaux du sel) et libère les particules d'eau évaporée vers l'air (figure 53).

Le bac B4 : une autre grille noire CN2 a les mêmes dimensions du B4, le bac est équipé aussi par un miroir simple (standard) plan GM2 pour la réflexion des rayonnements solaires vers la surface évaporante de la saumure (figure 54).

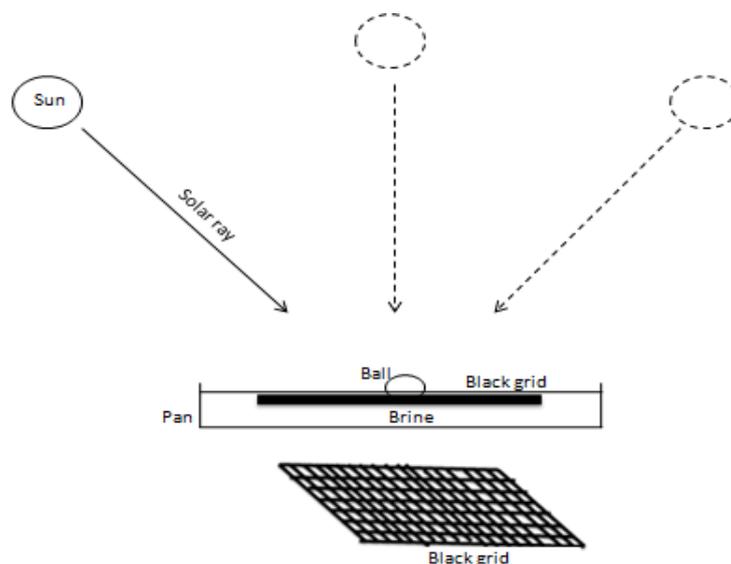


Figure.53 - projection des rayonnements solaires vers la grille noire et la saumure dans B3 et B4

Les miroirs de réflexion suivent le mouvement du soleil de 09 :00 à 16 :00 par la rotation manuelle de ses angles suivant la position du soleil (azimut et élévation).

- *matériel de mesure* : (densimètre, hygromètre, pluviomètre, anémomètre, thermomètre)
- *analyses chimiques des échantillons* : les analyses chimiques de la saumure prélevée du chott Merouane montrent que la concentration de l’halite est importante avec une quantité de 313.304 g/l (tableau N°10) où la densité est de 23.6° Bé. Aussi on cite le magnésium  $Mg^{+2}$  qui a un taux élevé un peu qui atteint à 8.36 g/l.

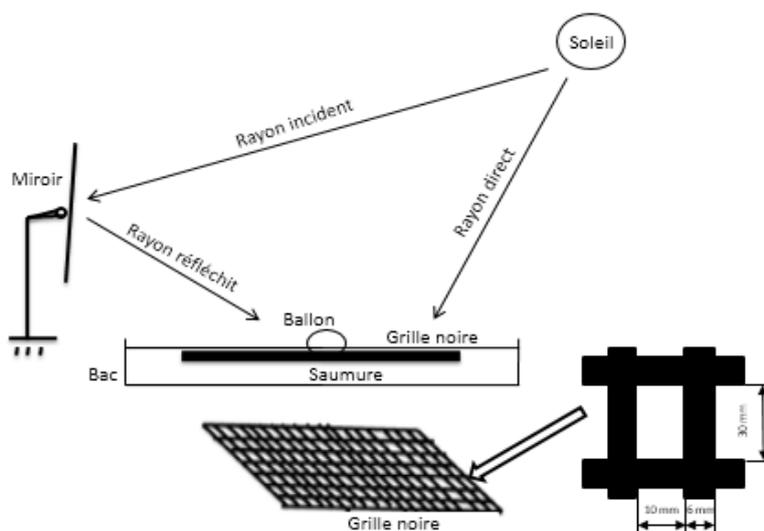


Figure 54- assemblage des procédés de concentration des rayonnements solaires sur la surface de saumure de B4

**Tableau N°10 : Analyses chimiques de saumure**

lieu de prélèvement	densité (Bé)	Ca <sup>+2</sup> (g/l)	Mg <sup>+2</sup> (g/l)	So <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (g/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/l)	Cl <sup>-</sup> (g/l)	NaCl (g/l)
Chott Merouane	23,6	1,2525	8,36	18,7271	7,625	190,8125	313,304

## CHAPITRE IV

# RESULTATS ET DISCUSSIONS

## CHAPITRE IV – RESULTATS ET DISCUSSIONS

### IV.1 Durcissement du sel :

Les résultats obtenus de résistance à la compression  $\bar{\sigma}_c$  et l'humidité des échantillons sont enregistrés dans le tableau N°11, ensuite ils sont représentés dans un graphe. Donc à partir de la figure 55, la Courbe connue une croissance de valeur de résistance à la compression de la couche du sel avec une diminution de la quantité d'eau existante (humidité) à l'intérieur de cette dernière, ce durcissement causé par les facteurs naturels tel que : la température élevée qui est générée par la forte intensité du flux solaire, cette dernière sert à évaporer la quantité d'eau existante à l'intérieur de cette couche, et par conséquent elle crée une forte cohésion entre les molécules de sel.

Tableau N°11- résultats de résistance à la compression  $\bar{\sigma}_c$  et l'humidité des échantillons

N° d'échantillon	$\bar{\sigma}_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	H <sub>2</sub> O (%)
1	30	0.5
2	10	1.25
3	0	1.63

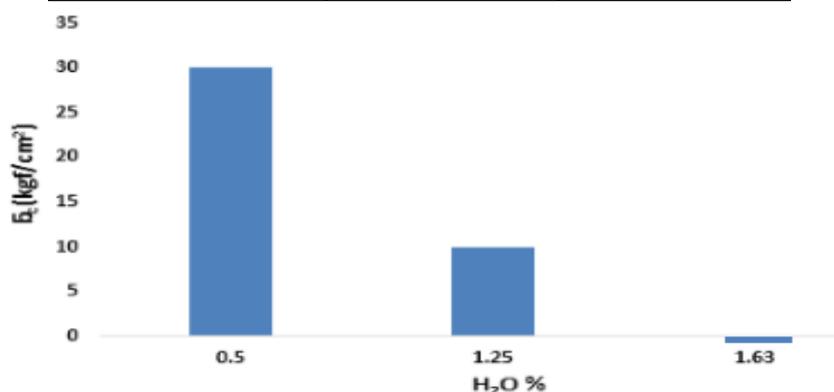


Figure 55-courbe de résistance à la compression des échantillons du sel en fonction d'humidité.

### IV.2 Les résultats des essais en 2015

#### IV.2.1 Résultat du premier essai :

Le suivi journalier du 1<sup>ier</sup> essai de l'évaporation du bac avec miroir plan et celui témoin (Remli S. et al 2017) donne des résultats illustrés dans le tableau N 12. Donc l'influence de l'excès de température générée par la réflexion des rayons solaires vers surface de saumure est apparait dans les courbes (figure 56), qui due à l'augmentation de la vitesse d'évaporation d'une moyenne de 1.616 mm par rapport à celle du bac témoin. Aussi on constate d'une coïncidence des courbes dans la période de 15/08/2015 jusqu'à 17/05/2015 à cause de l'intempérie (les rayonnements solaires sont cachés). Alors une formation d'une couche de sel cristallisé près à

la récolte qui a pris 23 jours (10/05/2015 à 01/06/2015) pour la saumure du bac témoin et 18 jours pour la saumure pour celui équipé par un miroir de réflexion, donc un bénéfice de 4 jours, soit un taux d'optimisation du processus de cristallisation de 22 %.

Tableau N°12- le suivi journalier du premier essai de l'épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l'évaporation, l'écart entre les bacs et l'observation météorologique.

Nombre du jour	Date (Jour)	Epaisseur de la couche (saumure +sel cristallisé)		Evaporation		Observation météorologique
		Bac témoin	Bac avec miroir	Bac témoin	Bac avec miroir	
01	10/05/2015	200	200	-	-	Ciel clair
02	11/05/2015	190	189	10	11	Ciel clair
03	12/05/2015	181	179	9	10	Ciel clair
04	13/05/2015	172	169	9	10	Ciel clair
05	14/05/2015	164	160	8	9	Ciel clair
06	15/05/2015	155	150	9	10	Nuageux
07	16/05/2015	149	144	6	6	Vent
08	17/05/2015	140	135	9	9	Vent
09	18/05/2015	130	125	10	10	Ciel clair
10	19/05/2015	123	117	7	8	Ciel clair
11	20/05/2015	114	107	9	10	Ciel clair
12	21/05/2015	104	96	10	11	Ciel clair
13	22/05/2015	96	87	8	9	Ciel clair
14	23/05/2015	85	75	11	12	Ciel clair
15	24/05/2015	75	64	10	11	Ciel clair
16	25/05/2015	66	54	9	10	Ciel clair
17	26/05/2015	57	46	9	8	Ciel clair
18	27/05/2015	50	43	7	3	Ciel clair
19	28/05/2015	47	40	3	3	Ciel clair
20	29/05/2015	45	-	2	-	Ciel clair
21	30/05/2015	43	-	2	-	Ciel clair
22	31/05/2015	41	-	2	-	Ciel clair
23	01/06/2015	40	-	1	-	Ciel clair
Moyenne		-	-	7.272	8.888	-

Toutes les valeurs sont données par mm,

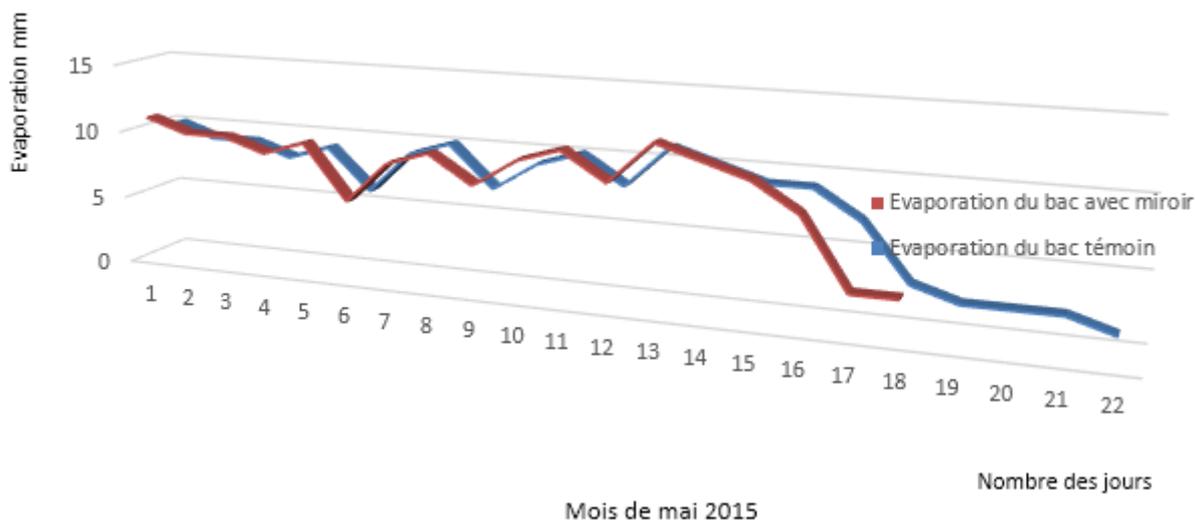


Figure 56- Courbes d'évaporation des saumures du bac témoin et celui avec miroir

### IV.2.2 Résultat du deuxième essai

Le suivi journalier aussi du 2<sup>ème</sup> essai de l'évaporation du bac témoin et celui avec un autre miroir plan plus grand 4 fois que la surface du miroir du premier essai donne des résultats illustrés dans le tableau N°13. Donc cet agrandissement suggère qu'il a un écart moyen entre eux de 3.418 mm (figure 57) qui due à la diminution de durée de séjour de la cristallisation finale du sel, donc 5 jours gagnés (08/06/2015-01/07/2015) soit un taux d'optimisation de 38%.

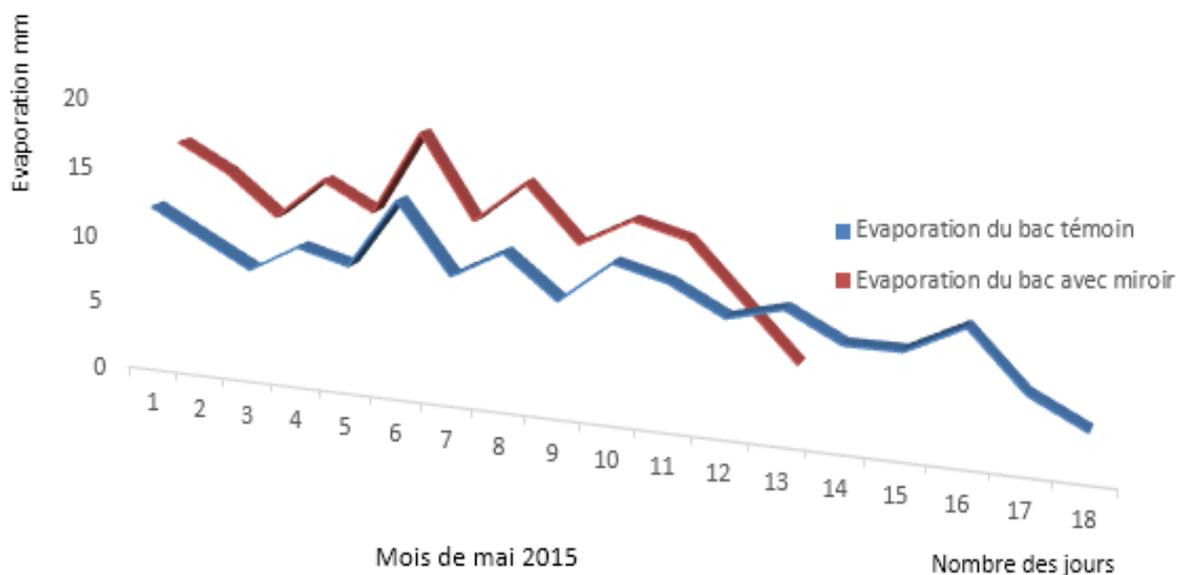


Figure 57- courbes d'évaporation des saumures du bac témoin et celui avec grand miroir

Au cours du 2<sup>ème</sup> essai, La journée 29/05/2015 a suivi par les paramètres météorologiques chaque heure de 07 :00 à 18 :00 et enregistrés dans le tableau N°14.

Tableau N°13 de deuxième essai du suivi journalier de l'épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l'évaporation, l'écart entre les bacs et l'observation météorologique

Nombre du jour	Date (Jour)	Epaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé)		Evaporation		Observation météorologique
		Bac témoin	Bac avec miroir	Bac témoin	Bac avec miroir	
01	25/05/2015	200	200	-	-	Ciel clair
02	26/05/2015	188	184	12	16	Ciel clair
03	27/05/2015	178	170	10	14	Ciel clair
04	28/05/2015	170	159	8	11	Ciel clair
05	29/05/2015	160	145	10	14	Ciel clair
06	30/05/2015	151	133	9	12	Ciel clair
07	31/05/2015	137	115	14	18	Ciel clair
08	01/06/2015	128	103	9	12	Ciel clair
09	02/06/2015	117	88	11	15	Ciel clair
10	03/06/2015	109	77	8	11	Ciel clair
11	04/06/2015	98	64	11	13	Ciel clair
12	05/06/2015	88	52	10	12	Ciel clair
13	06/06/2015	80	44	8	8	Ciel clair
14	07/06/2015	71	40	9	4	Ciel clair
15	08/06/2015	64	-	7	-	Ciel clair
16	09/06/2015	57	-	7	-	Ciel clair
17	10/06/2015	48	-	9	-	Ciel clair
18	11/06/2015	43	-	5	-	Ciel clair
19	12/06/2015	40	-	3	-	Ciel clair
Moyenne			8.888	12.307		

Toutes les valeurs données en mm.

Tableau N°14- le suivi horaire du 07 :00 à 18 :00 des températures de saumures et d'air, d'humidité, vitesse du vent et l'observation météorologique.

Temps (heure)	Température de saumure du bac avec miroir C°	Température de saumure du bac témoin C°	Température d'air C°	Humidité %	Vitesse du Vent m/s	Observation météorologique
7 :00	20	20	30	30	6	Ciel clair
8 :00	23	22	30	41	4	Ciel clair
9 :00	27	24	33	42	2	Ciel clair
10 :00	30	27	37	29	5	Ciel clair
11 :00	32	29	38	31	1	Ciel clair
12 :00	33	31	40	30	2	Ciel clair
13 :00	34	32	43	32	3	Ciel clair
14 :00	36	34	42	33	2	Ciel clair
15 :00	36	34	42	30	2	Ciel clair
16 :00	36	34	42	29	2	Ciel clair
17 :00	35	33	41	32	7	Ciel clair
18 :00	33	31	40	29	4	Ciel clair

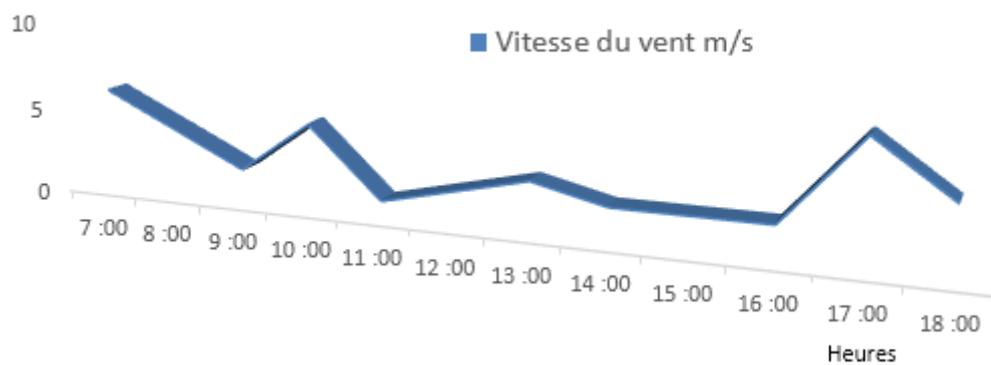


Figure 58 a- vitesse du vent

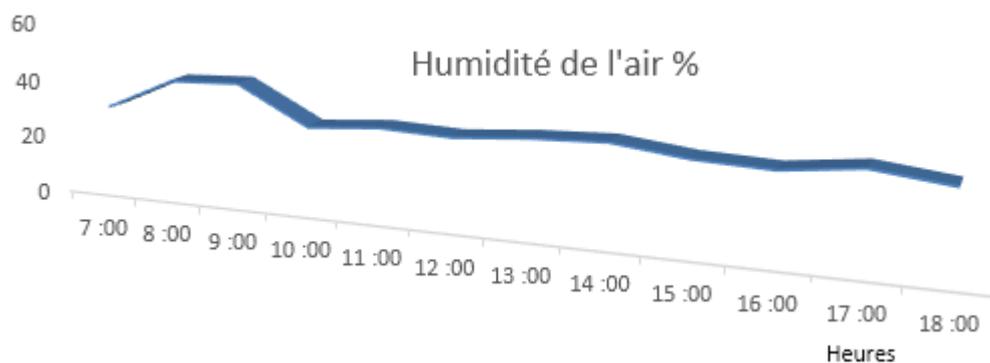


Figure 58 b- humidité d'air

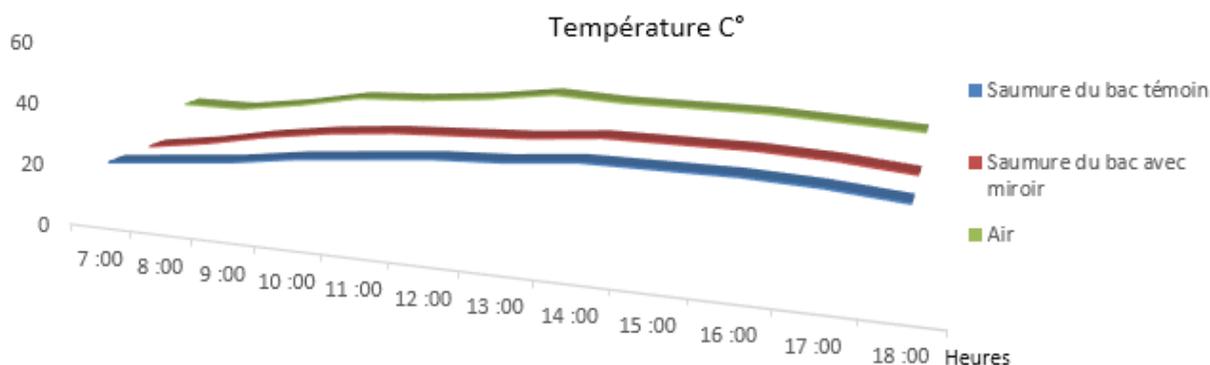


Figure 58 c- température d'air et bacs.

Avec une humidité maximum de 32.33 % et vitesse du vent moyen de 3.33 m/s illustrées dans les courbes figure 58 a et b, cette journée représente un climat favorable pour l'évaporation. Aussi les courbes des températures des saumures du bac avec miroir et celui témoin figure.57.c illustrent un écart moyen entre eux (courbes symétriques) de 2 C° causé par l'influence de la réflexion des rayons solaires grâce du miroir plan. Leurs augmentations sont en fonction de l'augmentation de la courbe de température d'air.

L'unité des Salins Merouane El Meghaièr (SME) possède onze tables salantes de 250 m de largeur et 275 m de longueur soit une superficie de 68 750 m<sup>2</sup> de chaque, La surface du miroir utilisé dans le deuxième essai représente 49% de la surface évaporante de saumure dans le bac. Alors, pour appliquer cette proposition afin d'accélérer le processus évaporation-cristallisation de saumure dans les tables salantes, une mise au point d'une installation des miroirs plans réfléchissantes des rayonnements solaires ont une surface totale de 30 937 m<sup>2</sup>, et ça c'est difficile à réaliser dans la réalité à cause de l'occupation d'une grande surface qui va engendrer l'instabilité de cette installation. Pour ce faire ; des recherches réalisées (essais 2016-2017) basées toujours sur l'optimisation de cristallisation du sel par énergie solaire, afin d'arriver à la réalisation à l'échelle industriel.

**IV.3 Les résultats année 2017 :**

Les résultats du suivi journalier de l’essai dans les mois de décembre et janvier 2016-2017 avec l’utilisation du miroir plan, corps noir et assemblage par les deux systèmes sont enregistrés dans le tableau N°15, ensuite les valeurs obtenues dans ce dernier sont représentées sous forme des courbes, donc une comparaison du processus évaporation-cristallisation du sel de B1, B2, B3 et B4 en fonction du bac témoin B0. Aussi les mesures prises durant cet essai, ainsi la vitesse du vent moyenne est de 1.13 m/s et l’humidité moyenne est de 36%.

Tableau N°15- le suivi journalier de l’épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l’évaporation, précipitation des bacs B0, B1, B2, B3, B4 et l’observation météorologique.

Nombre du Jour	Jour	Epaisseur de la couche (saumure +sel cristallisé) (mm)					Evaporation (mm)					précipitation (mm)	Observation météorologique
		B0	B1	B2	B3	B4	B0	B2	B1	B3	B4		
1	12/12/2016	120	120	120	120	120	-	-	-	-	-	-	
2	13/12/2016	119	118	118	119	118	1	2	2	1	2	0	Ciel clair
3	14/12/2016	118	116	117	118	116	1	1	2	1	2	0	Ciel clair
4	15/12/2016	118	116	117	118	116	0	0	0	0	0	0	Nuageux
5	16/12/2016	117	115	116	117	115	1	1	1	1	1	0	Nuageux
6	17/12/2016	116	114	115	116	114	1	1	1	1	1	0	Ciel clair
7	18/12/2016	115	113	114	114	112	1	1	1	2	2	0	Nuageux
8	19/12/2016	114	112	113	113	111	1	1	1	1	1	0	Nuageux
9	20/12/2016	113	110	112	111	110	1	1	2	2	1	0	Ciel clair
10	21/12/2016	111	108	110	109	106	2	2	2	2	4	0	Ciel clair
11	22/12/2016	110	106	108	107	103	1	2	2	2	3	0	Ciel clair
12	23/12/2016	108	103	106	105	100	2	2	3	2	3	0	Ciel clair
13	24/12/2016	106	101	104	103	97	2	2	2	2	3	0	Ciel clair
14	25/12/2016	105	99	101	101	95	1	3	2	2	2	0	Ciel clair
15	26/12/2016	103	95	98	97	91	2	3	4	4	4	0	Ciel clair
16	27/12/2016	101	92	95	94	87	2	3	3	3	4	0	Ciel clair
17	28/12/2016	100	89	92	91	85	1	3	3	3	2	0	Ciel clair
18	29/12/2016	98	86	91	88	82	2	1	3	3	3	0	Ciel clair
19	30/12/2016	95	83	88	85	79	3	3	3	3	3	0	Ciel clair
20	31/12/2016	93	81	86	83	76	2	2	2	2	3	0	Ciel clair
21	01/01/2017	91	77	82	80	74	2	4	4	3	2	0	Ciel clair
22	02/01/2017	88	75	78	76	71	3	4	2	4	3	0	Ciel clair
23	03/01/2017	85	71	74	73	68	3	4	4	3	3	0	Ciel clair
24	04/01/2017	83	69	71	70	65	2	3	2	3	3	0	Ciel clair
25	05/01/2017	81	66	68	68	63	2	3	3	2	2	0	Ciel clair
26	06/01/2017	78	64	66	65	60	3	2	2	3	3	0	Ciel clair
27	07/01/2017	76	61	63	63	58	2	3	3	2	2	0	Ciel clair
28	08/01/2017	75	60	62	62	56	1	1	1	1	2	0	Ciel clair

29	09/01/2017	72	57	59	58	53	3	3	3	4	3	0	Ciel clair
30	10/01/2017	70	55	57	56	51	2	2	2	2	2	0	Ciel clair
31	11/01/2017	68	53	55	53	49	2	2	2	3	2	2,5	Pluvieux
32	12/01/2017	70	55	57	55	51	0	0	0	0	0	0	Ciel clair
33	13/01/2017	69	54	56	53	50	1	1	1	2	1	0	Nuageux
34	14/01/2017	69	54	56	53	50	0	0	0	0	0	0	Ciel clair
35	15/01/2017	67	52	54	50	46	2	2	2	3	4	0	Ciel clair
36	16/01/2017	66	50	53	48	43	1	1	2	2	3	0	Ciel clair
37	17/01/2017	64	48	51	45	40	2	2	2	3	3	0	Ciel clair
38	18/01/2017	63	46	49	43		1	2	2	2		0	Ciel clair
39	19/01/2017	62	45	48	42		1	1	1	1		0	Ciel clair
40	20/01/2017	61	42	46	41		1	2	3	1		0	Ciel clair
41	21/01/2017	61	40	43	41		0	3	2	0		0	Ciel clair
42	22/01/2017	59		41	40		2	2		1		0	Ciel clair
43	23/01/2017	57		40			2	1				0	Ciel clair
44	24/01/2017	56					1					0	Ciel clair
45	25/01/2017	54					2					0	Nuageux
46	26/01/2017	52					2					0	Ciel clair
47	27/01/2017	50					2					0	Ciel clair
48	28/01/2017	47					3					0	Ciel clair
49	29/01/2017	45					2					0	Ciel clair
50	30/01/2017	42					3					0	Ciel clair
51	31/01/2017	41					1					0	Ciel clair
52	01/02/2017	40					1					0	Ciel clair
<b>Moyenne, mm</b>							1,607	1,952	2,05	2	2,277		
<b>Ecart type, mm</b>							0,826	1,058	1,011	1,095	1,111		
<b>Taux d'optimisation,%</b>							-	21.5	28	24.5	41.7		

### IV.3.1 Comparaison entre B0, B1 et B2.

Les courbes d'épaisseurs des saumures et sel cristallisé dans les bacs B1 et B2 (figure 59) montrent qu'il y a un écart assez faible entre elles par rapport à la différence des surfaces entre les miroirs ; ainsi leurs écartements en comparaison avec la courbe d'épaisseur de saumure et sel cristallisé du bac témoin B0 augmente avec le temps jusqu'à la cristallisation finale du sel (formation d'une couche cristallisée de 40 mm). Ainsi l'excès des températures générées par la réflexion des rayons solaires grâce aux miroirs plans vers les surfaces évaporantes des saumures dans les deux bacs B1 et B2 sont apparus dans les courbes (figure 60) qui due à l'augmentation de la vitesse d'évaporation d'une valeur moyenne de 0.442 mm/jour et 0.344 mm/jour successivement, et ce par rapport à celle du bac témoin B0, donc la quantité d'eau dans la saumure des bacs avec grand et petit miroir se termine son évaporation en 21/01/2017 et 23/01/2017 successivement, par contre, le bac témoin B0 continue son évaporation jusqu'à la

journée 01/02/2017, alors une formation d'une couche de sel cristallisée près à la récolte d'une épaisseur de 40 mm de chaque bac, soit un taux d'optimisation du processus de cristallisation environ 21.42 % pour le bac avec petit miroir et 27.5 % pour celui avec grand miroir.

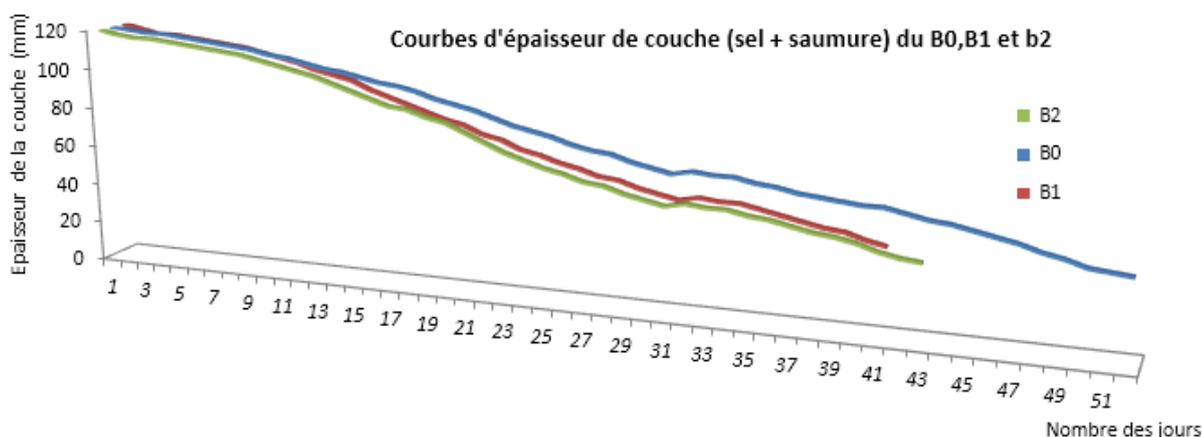


Figure 59- courbes d'épaisseur de couche (sel + saumure) de B0, B1 et B2

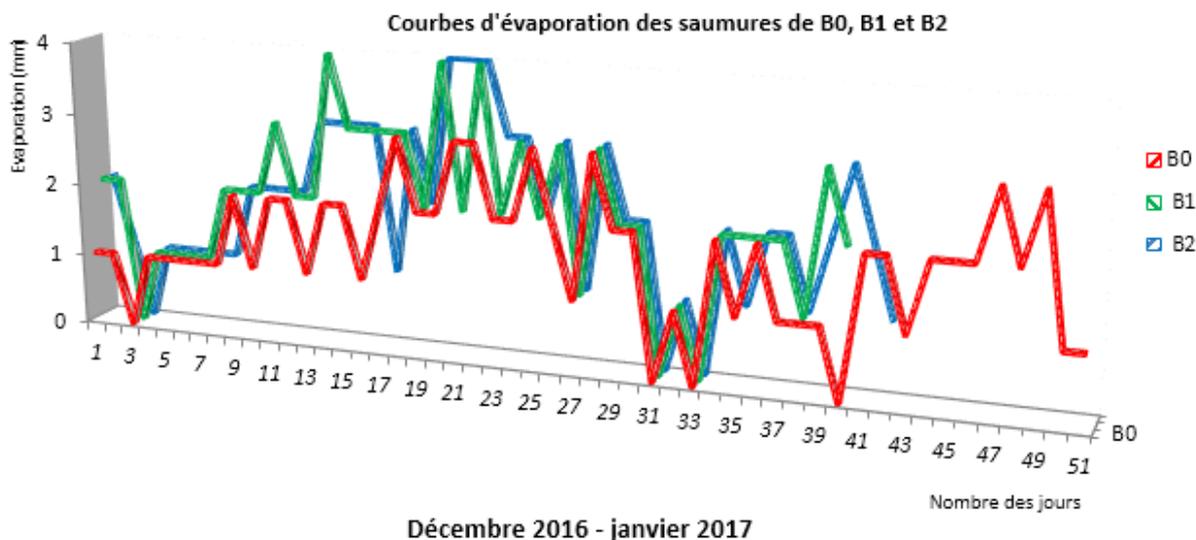


Figure 60- courbes d'évaporation des saumures de B0, B1 et B2.

Au cours de ce test, un suivi horaire de la journée 28/12/2016 des températures d'air et saumures dans les bacs de 09 :00 à 16 :00 qui sont illustrés dans le tableau N°16, ensuite les résultats dans ce dernier représentés dans les courbes des températures des saumures du bac avec miroir et celui témoin (figure 61) qui montrent leurs écartement (courbes symétriques) d'une valeur moyenne de 1.312 C° et 1.062 C° pour B1 et B2 successivement causé par l'influence de la réflexion des rayons solaires grâce aux miroirs plans. Donc leurs augmentations sont en fonction de l'augmentation aussi de la courbe de température d'air.

Tableau N°16- suivi horaire des températures de saumures et d'air

temps	Température d'air C°	Température du B0	Température du B1	Température du B2	Observation météorologique
9 :00	25,5	11,5	11,5	11,5	Ciel clair
10 :00	31	12	13,5	13	Ciel clair
11 :00	32,5	17	18	17	nuageuse partielle
12 :00	33,5	17,5	19	18,5	Ciel clair
13 :00	35,5	18	20	19,5	Ciel clair
14 :00	33,5	19	21	21	Ciel clair
15 :00	32	19,5	21	21	Ciel clair
16 :00	28,5	19	20	20,5	Ciel clair

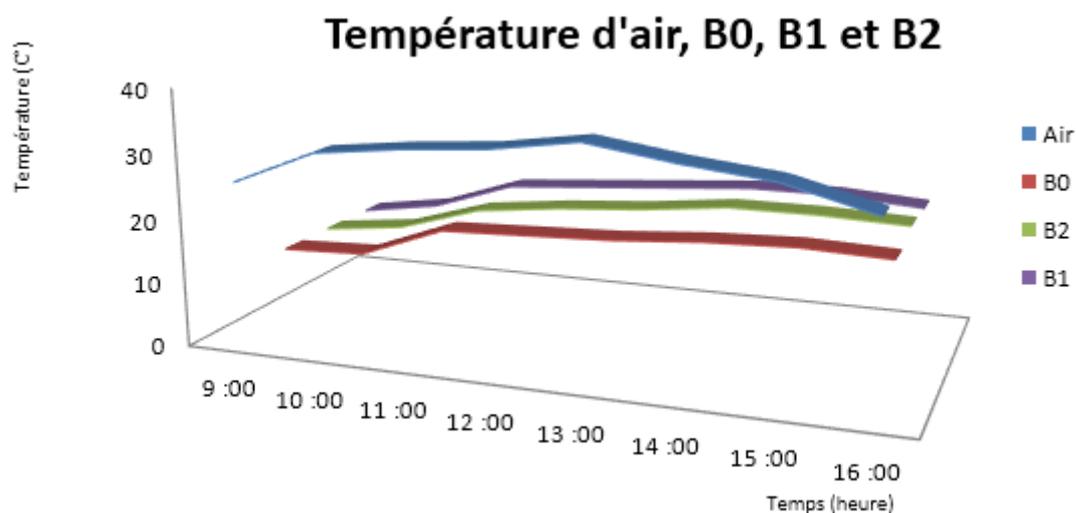


Figure 61- courbes des températures des saumures et d'air.

### IV.3.2 Comparaison entre B0, B3.

La température élevée de saumure du bac B3 générée par l'absorption du corps noir des rayonnements solaires et les convertis en chaleur (*Bounouala M. Remli S, 2016*) est apparu dans les courbes (figure 62) qui due à l'augmentation de la vitesse d'évaporation-cristallisation de saumure d'une valeur moyenne de 0.393 mm en comparaison avec B0 qui nous a donnée ainsi un taux d'optimisation du processus de cristallisation de 24.5 % dans la période hivernale. Dans cette comparaison aussi, les courbes des épaisseurs des saumures et sels cristallisés dans les bacs B0 et B3 (figure 63) montrent qu'il y a un écartement augmente plus en plus en fonction du temps jusqu'à la cristallisation finale d'une couche du sel près à la récolte a une épaisseur de 40 mm.

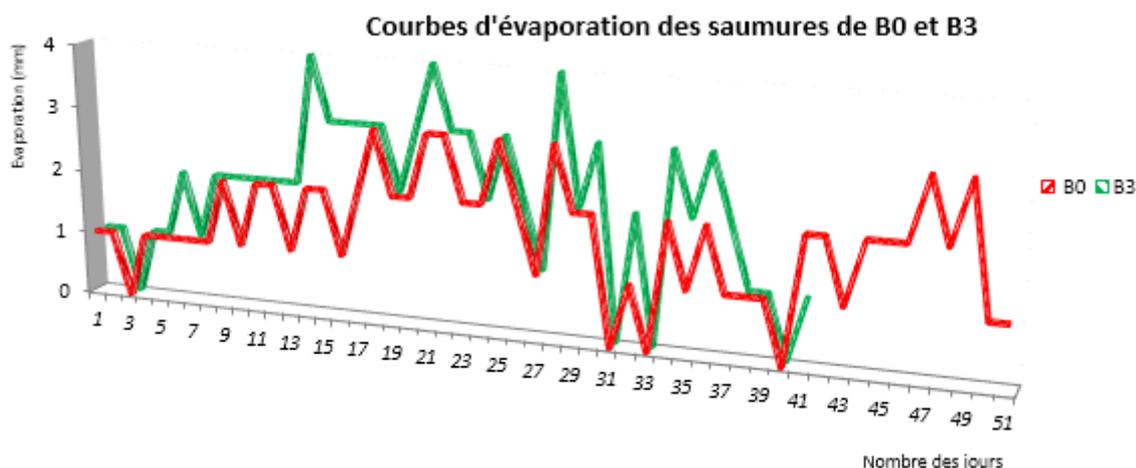


Figure 62- courbe d'évaporation des saumures du bac B0 et celui B3.

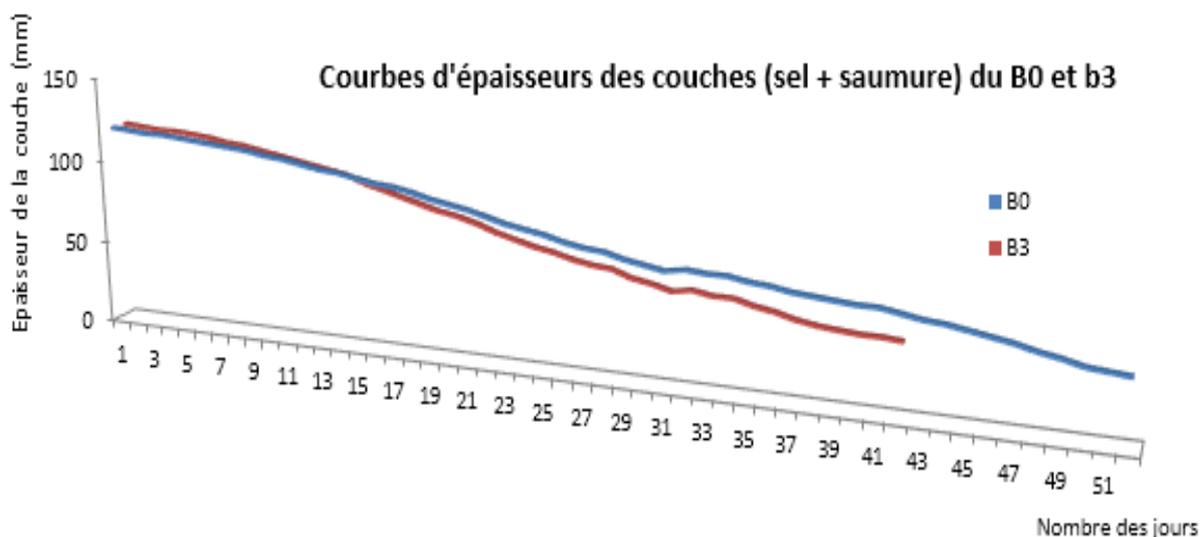


Figure 63- courbe des épaisseurs des couches du bac B0 et celui B3

### IV.3.3 Comparaison entre B0 et B4.

A partir de la figure 64, le moyen journalier d'évaporation du bac B4 est de  $2.277 \pm 1.111$  mm par contre l'évaporation du B0 est de  $1.607 \pm 0.826$  mm qui due à un écartement entre les courbes d'une valeur moyenne de 0.125 mm, cette différence explique l'influence significative de la concentration des rayonnements solaires grâce au miroir de réflexion et la grille noire flottante dans la surface évaporante de saumure de B4 qui due au renforcement d'évaporation de la quantité d'eau dans celle-ci pour une durée de 37 jours (12/12/2016,17/01/2017) pour l'évaporation totale en comparaison de la saumure du bac B0 qui a pris aussi 52 jours (12/12/2016, 01/02/2017), donc on a un bénéfice de 15 jours soit une optimisation du processus de cristallisation du sel à 41.7 %. Ainsi les courbes des épaisseurs des saumures et sels cristallisés dans les deux bacs (figure 65) initient par la même épaisseur

(120 mm), ensuite elles connues un écartement plus en plus entre elles jusqu'à la fin de cristallisation du sel.

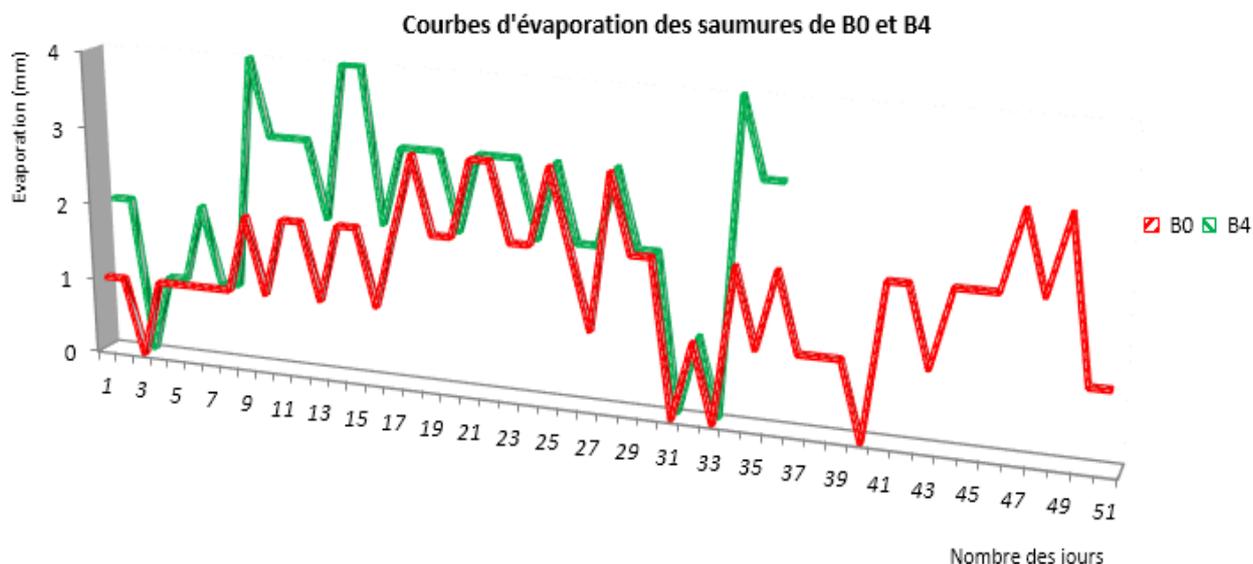


Figure 64- courbe d'évaporation des saumures du bac B0 et celui B4.

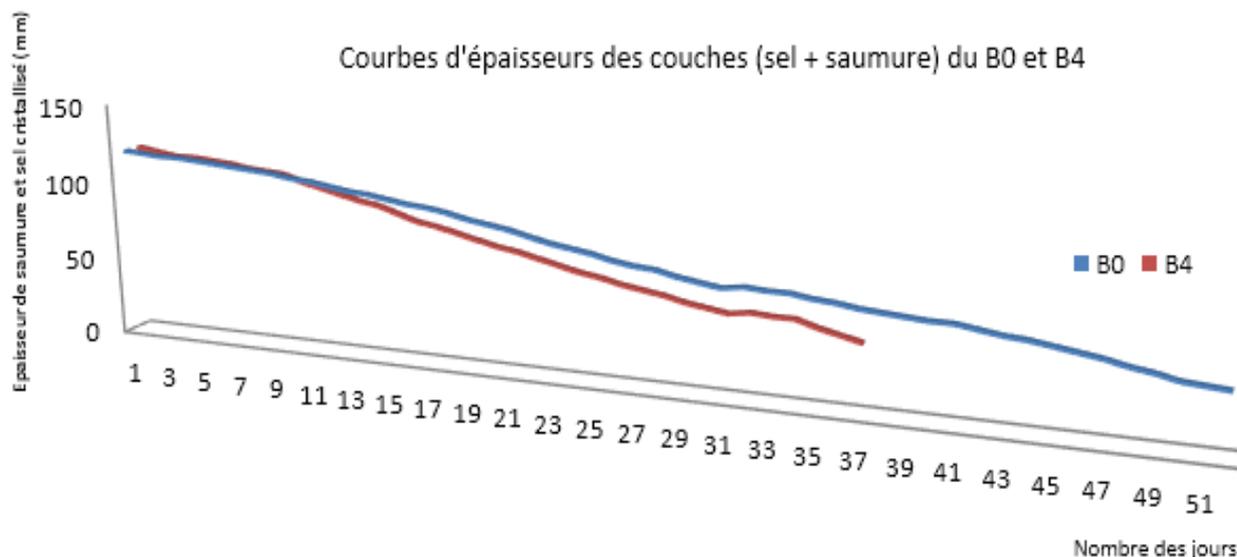


Figure 65- courbe des épaisseurs des couches du bac B0 et celui B4

Toutes les saumures dans les bacs connues une augmentation des épaisseurs de 2 mm durant la journée 11/01/2017 causée par la précipitation de pluie (2.5mm).

#### IV.3.4 Analyses chimiques des échantillons du sel cristallisé dans les bacs d'essai :

Les échantillons du sel cristallisé obtenus par les bacs d'essai ont analysé au niveau du laboratoire d'unité (SME) par la méthode classique et enregistrés dans le tableau N°17, alors on constate que toutes les analyses chimiques du sel dans les bacs sont identiques où l'halite entre 94.08 % et 95.97 %, on cite aussi le magnésium entre 0.78 et 1.17 %, donc on peut dire que les

rayonnements solaires n'a aucune influence sur la qualité du sel.

Tableau N°17- Analyses chimiques du sel cristallisé.

Désignation	Formule chimique	Résultats d'analyse %				
		B4	B3	B2	B1	B0
Résidu insoluble	RI	0,385	0,38	0,485	0,4956	0,5297
Calcium	Ca <sup>+2</sup>	0,07	0,075	0,0754	0,0674	0,0631
Magnésium	Mg <sup>+2</sup>	0,78	0,8	0,7941	0,8306	1,1767
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1,48	1,46	1,482	1,5226	2,2963
Carbonate	CO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0
Sulfate de calcium	CaSO <sub>4</sub>	0,2377	0,2351	0,256	0,2288	0,2142
Sulfate de magnésium	MgSO <sub>4</sub>	1,6488	1,6516	1,631	1,706	2,6885
Sulfate de sodium	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
Chlorure de calcium	CaCL <sub>2</sub>	0	0	0	0	0
Chlorure de magnésium	MgCL <sub>2</sub>	1,7543	1,8005	1,8204	1,9041	2,4823
Chlorure de sodium	NaCL	95,9783	95,9002	95,8075	95 ,6655	94,0852

#### IV.3.5 Hauteur du soleil et Azimut :

A l'aide d'un logiciel Sun Earth Tools, on a déterminé l'azimut et l'élévation de la journée 27/12/2016 afin de connaître la position du soleil lors son trajectoire autour du point d'essai (figure 66).

La figure 67 illustre que la position du soleil situe dans le côté sud est entre l'intervalle du temps de son levé à 6:40 min du matin où l'élévation à - 0.833° et l'azimut à 117.18° et presque à midi 11 :35 min, après ce dernier la position du soleil est dans le sud ouest où sa coucher à 16:34 min du soir où l'élévation à - 0.833° et l'azimut à 242.14°. On a aussi la courbe de la trajectoire du soleil figure 68 illustre qu'il y a une augmentation plus en plus des angles d'élévation et d'azimut de - 0.833° jusqu'à 32.5° et de 117.88° jusqu'à 180° successivement, et ce entre l'intervalle du temps du mouvement du soleil dans le côté sud, ensuite l'angle d'azimut reste à augmenter jusqu'à 242.14° par contre celui d'élévation diminue jusqu'à - 0.833° qui est le coucher du soleil.

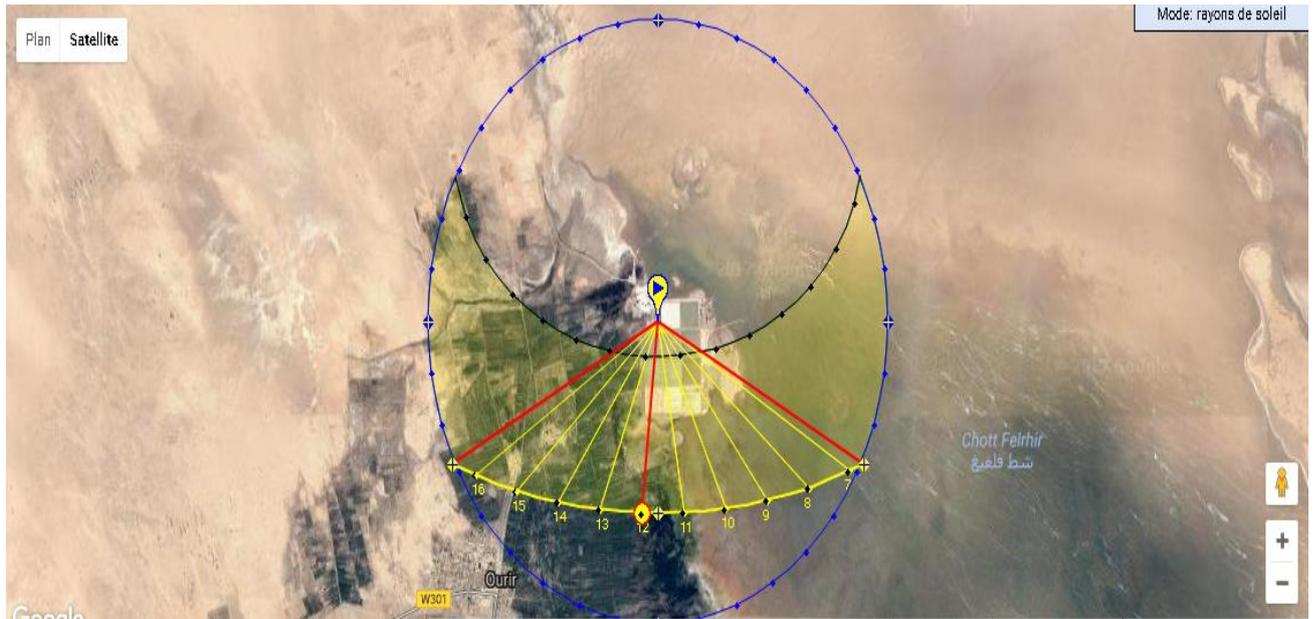


Figure 66- la position horaire du soleil par rapport le point d'essai (Remli S. et al, 2017).

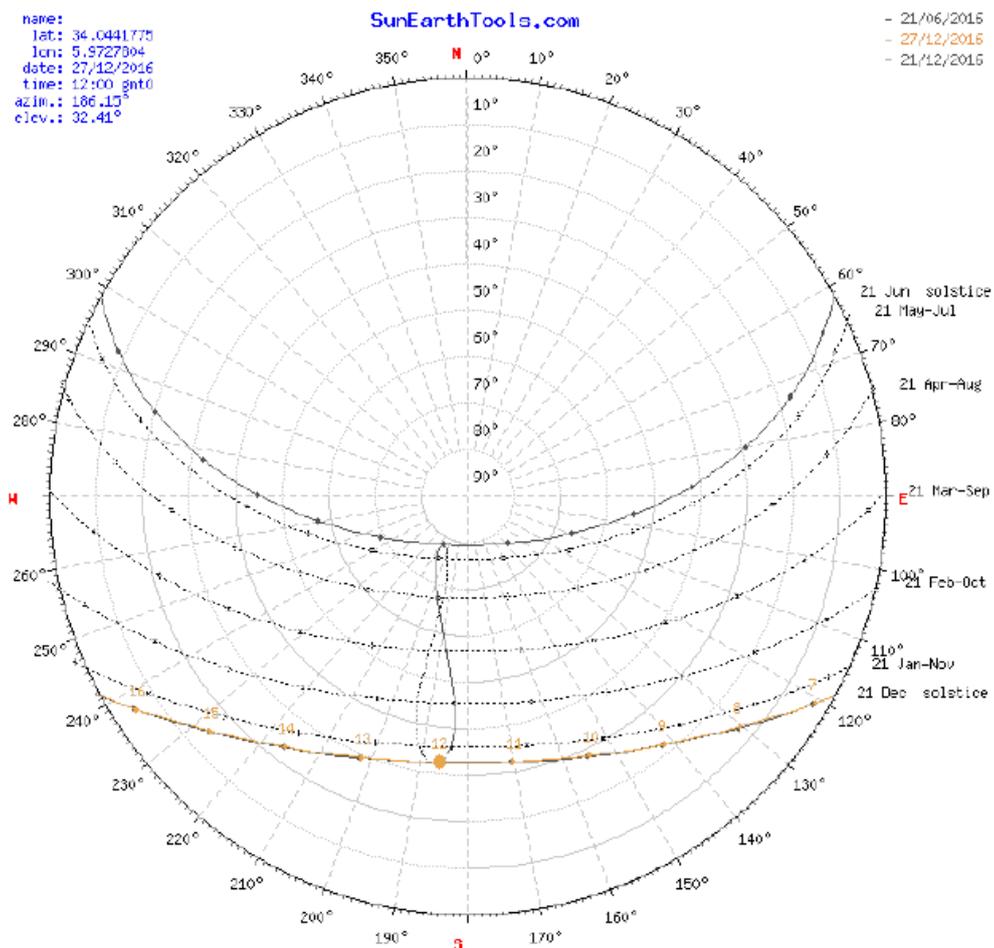
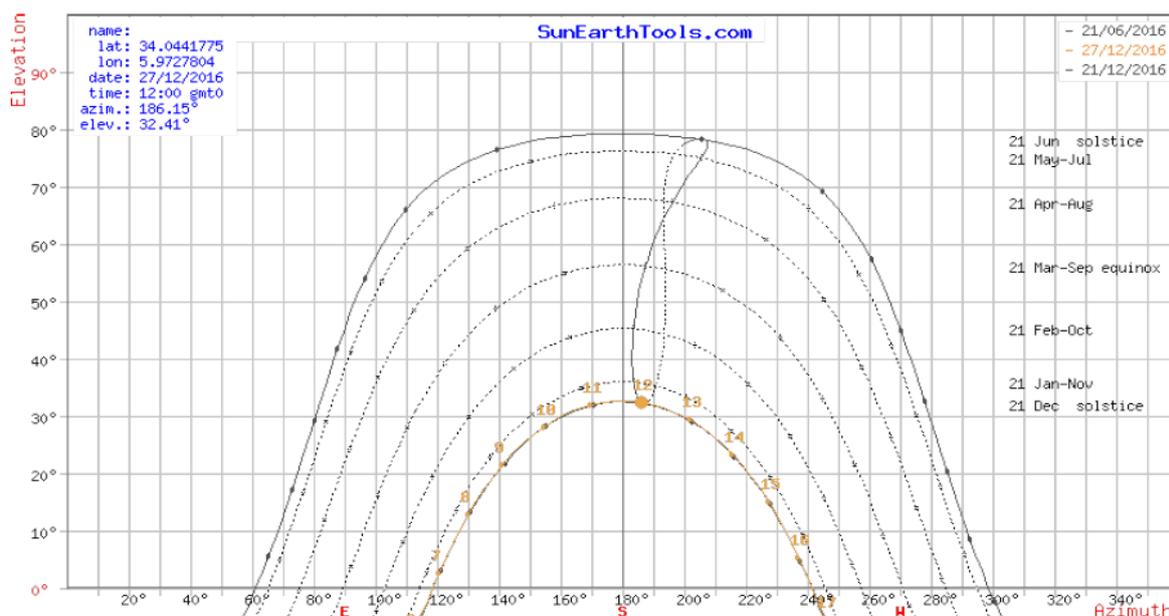


Figure 67- la position du soleil de lever à coucher de celui (Remli S. et al, 2017).



#### IV.4 Conclusion

Avec une humidité faible et vitesse du vent favorable, les essais au niveau d'entreprise Salins Merouane El Meghaier (SME) montrent que les procédés de concentration des rayonnements solaires dans les bacs de saumure ont une influence significative de la vitesse d'évaporation-cristallisation de la saumure en comparaison du bac témoin qui représente le phénomène naturel d'évaporation de la saumure (Bounouala M. et al, 2015), cette influence due à une accélération du processus de cristallisation du sel solaire grâce à une énergie gratuite respectueuse à l'environnement.

Les variations des éléments chimiques dans la saumure durant la durée de vie du chott Merouane due à une qualité de sel assez bien, mais grâce à l'utilisation des procédés de concentration d'énergie solaire dans la table salante durant les mois sélectionnés riches en halite et faible en sels indésirables notamment le Mg nous a permis d'obtenir une bonne qualité de sel. Aussi elle nous a donné une cristallisation tôt de la couche de sel, d'une part, cette dernière représente un climat favorable pour la récolte (une couche de sel tendre pour les récolteurs) d'autre part, il y a une possibilité d'augmenter la production par une autre opération (de pompage jusqu'à la récolte).

Ce travail dépend essentiellement du rendement de production et les couts d'investissements de ces systèmes, et pour ce faire, il est nécessaire de faire une étude technique et économique détaillée sert à démontrer la faisabilité de ce projet.

## **CHAPITRE V**

# **ANALYSE DES IMPACTS D'EXPLOITATION DU CHOTT SUR L'ENVIRONNEMENT**

## CHAPITRE V – ANALYSE DES IMPACTS D'EXPLOITATION DU CHOTT MEROUANE SUR L'ENVIRONNEMENT.

### V.1 Introduction

Les zones humides sont les écosystèmes les plus riches et les plus productifs de la planète (*Brander L.M, et al, 2006*). Les zones humides méditerranéennes sont vulnérables à la destruction ou à la modification suite au développement économique et social rapide (*Morgan N.C et all, 1982*). Les zones humides les plus spectaculaires se trouvent dans la région aride, de l'Australie, de l'Inde, de l'Amérique de Sud, d'Afrique du Sud et de l'Arabie. Elles sont variables, temporaires ou permanentes, d'eau douce à hypersaline (*Herrero J. et all, 2009*).

L'Algérie est l'un des pays Afro-méditerranéens, dont les ressources en eau sont limitées et dépendantes de l'influence du climat (*Ramade F. 2005*). Néanmoins, la grande variabilité spatiale des conditions climatiques et géologiques accentue cette richesse en créant des types d'écosystèmes aquatiques très variés depuis les lacs, les rivières, les Chotts et Sebkhass. Ainsi on compte un nombre important de lacs salés (Chotts et Sebkhass) continentales, essentiellement réparti entre les deux chaînes montagneuses l'Atlas tellien, l'Atlas saharien et l'Erg Oriental. Les lacs salés continentales constituent un support d'une grande biodiversité faunistique et floristique. Cependant, ces milieux ne sont pas à l'abri des grandes menaces écologiques qui pesaient sur leur fonctionnement normal et mettent leur survie en parfaite relation avec une prise de conscience de leurs fonctions et de leurs valeurs écologiques.

Depuis 1971, le traité international sur les zones humides Ramsar a joué un grand rôle pour la sensibilisation du public de la valeur écologique de ces zones humides et même les lacs salés. Peu de pays sont signataires de la convention Ramsar pour les lacs salés (*Williams W.D. 2002*). Parmi 1308 zones humides classées sites Ramsar pour leur importance internationale, 137 seulement sont représentés par des lacs salés (qui représente 10% des zones humides protégées au niveau international) (*Jellison et al., 2008*). Ces lacs salés englobent des écosystèmes aquatiques ayant une valeur économique et non économique considérable (*Williams W.D. 2001*). Ces lieux n'échappent pas aussi au loisir et au tourisme, le lac Mono en Californie est devenu le lieu le plus visité par les touristes nationaux et internationaux pour sa beauté (*Hart H., 1996*).

*Servant (1983)*, signale que ces milieux renferme les plus grandes réserves du monde de lithium et en diatomées tel que les lacs salés de la Bolivie. Du fait de la diversité particulière qui la caractérise, les lacs ont un intérêt particulier pour de nombreuses disciplines scientifiques y compris l'écologie, la biologie, l'hydrologie, la limnologie, la microbiologie et la

modélisation des écosystème (*Jellison et al., 2008*). Ces lacs salés ont une importante richesse au même titre que les zones humides d'eau douce, ils sont très reconnus pour le rôle qu'ils jouent pour la migration et la reproduction des oiseaux d'eaux (*Jellison R. 2005*).

Beaucoup d'activités humaines menacent les lacs salés, notamment le détournement des flux de surface, la salinisation, l'exploitation minière, la pollution et l'ensablement. La sécheresse et le pompage excessif pour l'agriculture sont en train de provoquer l'assèchement accéléré des lacs salés. Cet état de fait, peut être la cause principale de la disparation de plusieurs lacs salés dans le future (*Williams W.D. 2001 ; Timms, 2005 ; Jellison et al, 2008*). Les effets de ces activités sont des changements défavorables qui font perdre le caractère naturel des lacs salés comme la perte de la biodiversité et des changements limnologiques fondamentales (*Williams W.D. 2002*). Malgré la conscience des organismes internationaux de la valeur de ces milieux, néanmoins ils subissent une menace causée par les activités humaines. L'augmentation de la salinité dans la Mer d'Aral a diminuée la diversité du biotope entre 1960 et 1990 (170 espèces macro-vertébré et 25 espèces de poisson ont disparus) (*Williams W.D. 2001*) ; le même auteur signale cette perturbation au niveau des lacs salés au Canada, en Bolivie et en Australie suite à l'introduction des espèces de poisson exotiques.

## V.2 Aspect pédologique

D'un point de vue pédologique, on distingue une diversité des sols, on rencontre des sols salins et des sols à encroutement calcaire, gypseux ou salins. Les sols salins ont une grande extension dans la région saharienne, ils sont aussi très répandu dans les basses plaines, comme la Vallée d'Oranie, la Vallée d'El Menia, dans les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine et en particulier aux bords des Chotts et Sebkhass (*Aubert G. 1976*). (*Halitim A. 1985*), révèle que les sels, au sens large du terme, constituent les traits caractéristiques des paysages arides d'Algérie, plus de 95% des sols de ces régions sont en effet soit calcaires, gypseux ou salsodiques. Selon *Djili K. (2000)*, les sols gypseux se localisent généralement dans les zones dépressionnaires (Chotts). Ils sont partiellement couverts de voiles de sable éolien gypseux siliceux et des nebkas associés à une végétation gypso- halophile. Cependant les sebkhass offrent toute une gamme de croûtes salines en surface qui vont de quelques millimètres jusqu'à un mètre et plus d'épaisseur ; le cas de sebkhass de Ouargla arrivants jusqu'à 5 à 6 m (*Bellaoueur A. 2008*). La couleur de ces croûtes varie avec l'état hydrique qui fluctue en fonction des remontées des nappes. En horizon de surface, et en particulier en période sèche, il y a une formation de nombreuses petite bosses à structure lamellaire et à croute saline vitreuse,

ils se qualifient comme zone subdésertique, dont les sols sont très fortement à excessivement salins avec une texture lourde. Le sol est l'élément du milieu naturel qui sert comme une donnée essentielle et déterminante de la mise en valeur agricole d'une région.

### V.3 Répartition géographique des lacs salés (Chotts et Sebkhas) en Algérie

L'Algérie regroupe un nombre important de Chotts (*Samraoui B. et al, 2006*). En 2009, les sites Ramsar en Algérie étaient au nombre de 42 et couvrent une superficie totale de 2,959 millions d'hectare. 45,23% de ces sites protégés sont des lacs salés couvrant environ une superficie de 2,07886 millions d'hectares (*Koopmanschap E. et al, 2011*).

L'Algérie regroupe un nombre important de Chotts qui s'étalent du sud tunisien jusqu'au mont de l'Atlas au nord algérien (*Chown D. D. et all, 1992*). Leurs répartitions géographique est très étendue (figure 69) ils se situent entre les deux Atlas, l'Atlas Tellien au nord, l'Atlas Saharien au sud et Erg Occidental et Erg Oriental. D'est en ouest, on peut citer les Chotts qui constituent le complexe de Oum El Bouaghi dans l'est des hauts plateaux, le chott Hodna, le Zahres Chergui et Gherbi au centre et chott Chergui, sebkha de Naâma à l'ouest; la sebkha d'Oran et les salines d'Arzew dans les plaines littorales. Au Sahara septentrional, on compte également un nombre conséquent de Chotts, incluant le Grand Erg Oriental, au nord-est du Sahara le chott Melghir et le chott Merouane. Vers le sud, dans la région de Ouargla, sont les chotts de Ain Beida, Oum Raneb, Sidi Amrane et Safioune. D'autres sont situées dans la zone du Grand Erg Occidental, comme la sebkha El Melah dans la région de Ghardaïa.

La taille et la profondeur des Chotts algériens sont très variables (tableau 18). Leurs tailles (le plus grands est de 55150 ha et le petit est de 76 ha) dépassent quelques mètres lors de la période hivernale et diminue fortement pendant la période sèche, leur superficie peut atteindre plusieurs milliers d'hectare. Ils ont une profondeur variable (la plus petite est d'environ 20 cm comme le plus grand peut dépasser 4m) (*D.G.F, 2004*).

### V.4 Aspect hydrologique

Les dépressions salées représentent un système évaporatoire (*Coque R. 1962*). Ils résultent de l'émergence des eaux artésiennes et leurs concentrations donnent naissance à des lacs salés (*Drouhin G. 1960*). La formation de ces lacs salés est généralement contrôlée en grande partie par les changements temporels des précipitations à l'intérieur du bassin (*Bryant R.G. 1999*). En effet les eaux qui forment ces lacs peuvent parvenir de deux sources principales : les précipitations directs (incluant les rivières et les apports de surface) et l'eau souterraine

(Bryant R.G. et al., 2002). Trois facteurs climatiques déterminent le développement de ces zones humides, la température, l'évaporation et les précipitations, elles deviennent éphémères avec l'augmentation de l'évaporation (Williams W.D 2001).

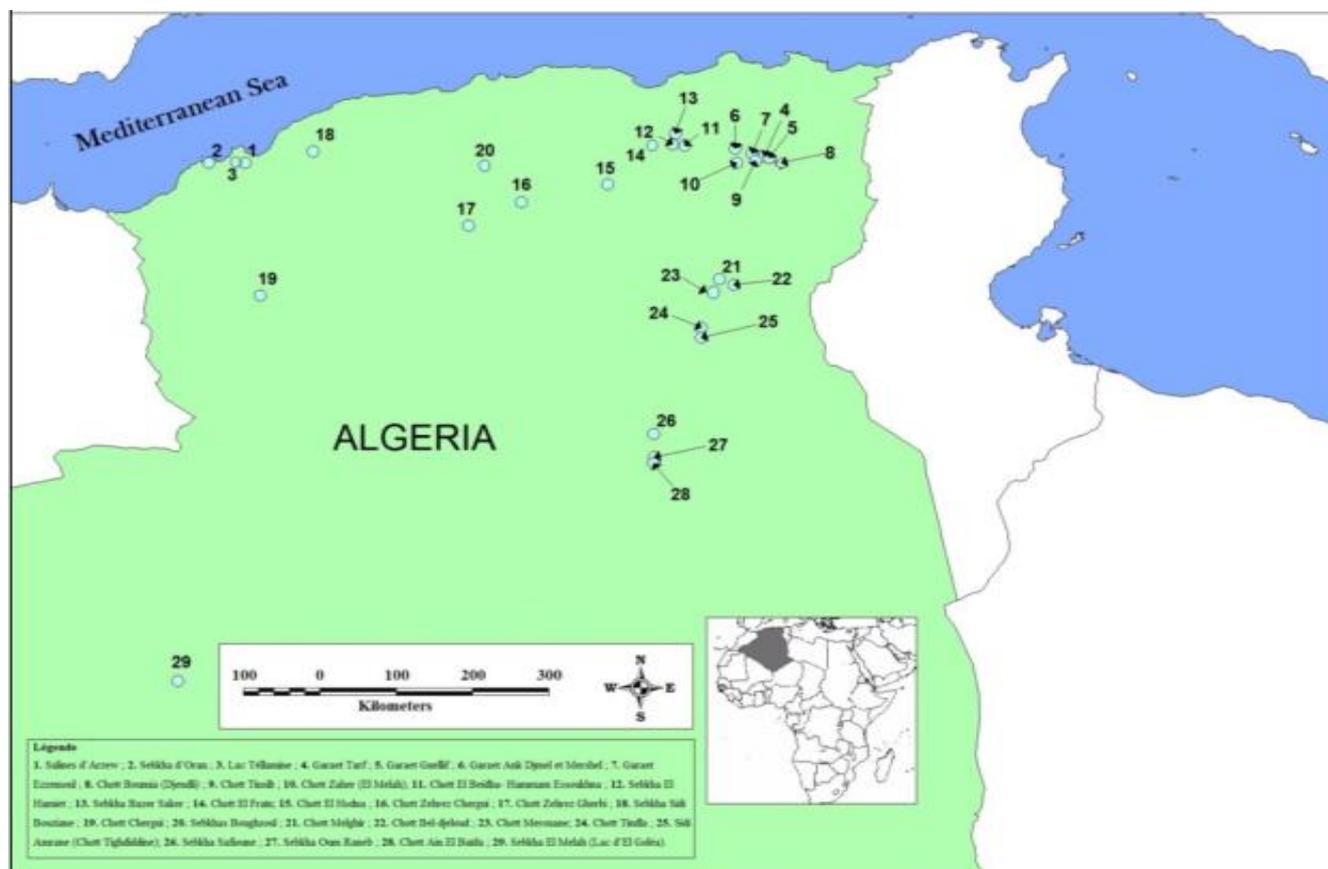


Figure 69- situation géographique des Chotts et Sebkhass en Algérie

## V.5 Biodiversité des Chotts et Sebkhass algériens

Le concept de biodiversité, est défini comme la diversité totale de la vie dans la biosphère. En regroupant la diversité biologique et les facteurs qui la maintiennent, on peut reconnaître quatre grands niveaux de biodiversité : ceux des gènes, des organismes et écosystèmes et celui des processus auxquels ils prennent part (Frochet B. 2002). La biodiversité est un indicateur du nombre et de la qualité des espèces animales et végétales d'un site, elle est le témoin de la richesse d'un milieu. Deux grandes conférences mondiales lui ont été consacrées à savoir, celle de Stockholm en 1972 et celle de Rio de Janeiro en 1992 pour sensibiliser davantage l'opinion publique aux problèmes de l'environnement et à sa protection en vue d'un développement durable. La fin du XXème siècle, a été marquée par une baisse de la biodiversité de la planète suite aux activités humaines (Lefeuvre J.C. 1992). Dans ce contexte, Médail F. et al. (2006) annoncent que la place de l'homme dans l'environnement méditerranéen apparaît

plus que jamais comme déterminante, puisse ses impacts et ses choix de gestion déterminent le maintien de la forte biodiversité du bassin méditerranéen.

Tableau 18- les lacs salés algériens (Chotts et Sebkhass)

N°	Nom du lac	Région	Statut de la zone	statut	En Ha	géographiques
1	Salines d'Arzew	Oranie	Site Ramsar, 2004	-	5778	35°42'N, 00°8'O
2	Sebkha d'Oran	Oranie	Site Ramsar, 2001	IBA	56870	35°42'N, 00°48'O
3	Lac Téllamine	Oranie	Site Ramsar, 2004	-	2399	35°44'N, 00°23'O
4	Garaet Tarf	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	IBA	33460	35°42'N, 07°02'E
5	Garaet Guellif	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	-	24000	35°47'N, 06°54'E
6	Garaet Ank Djmel et Mershel	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	-	18140	35°46'N, 06°54'E
7	Gareat Azzemoul	Est haut plateau	Proposé site Ramsar	IBA	6000	35°53'N,06°30'E
8	Chott Boumia (Djendli)	Est haut plateau	Proposé site Ramsar	IBA	3700	35°42'N,06°31'E
9	Chott Tinsilt	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	IBA	3600	35°53'N,6°30'E
10	Chott Zeher (El Melah)	Est haut plateau	-	-	875	35°36'N,07°03'E
11	Chott El Hodna	centre haut plateau	Site Ramsar, 2001	-	1223	35°26'N,04°44'E
12	Chott El Fraïn	centre haut plateau	-	-	1500	35°55'N,05°37'E
13	Chott Zehrez Chergui	centre haut plateau	Site Ramsar, 2003	-	50895	35°13'N, 03°32'E
14	Chott Zehrez Gharbi	centre haut plateau	Site Ramsar, 2003	-	52200	34°55'N, 02°48'E

15	Sebkha Bazer Saker	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	IBA	4379	36°04'N°, 05°40'E
16	Sebkha El Hamiet	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	-	2509	35°56'N, 05°38'E
17	Chott El beidha-Hammam Essoukhna	Est haut plateau	Site Ramsar, 2004	-	12223	35°55'N, 05°48'E
18	Sebkha Sidi Bouziane	Ouest haut plateau	-	-	15675	35°51'N, 00°05'E
19	Chott Chergui	Ouest haut plateau	Site Ramsar, 2001	-	855500	34°03'N, 00°05'O
20	Sebkha Boughzoul	Centrehaut plateau		-	-	35°42'N, 25°50'E
21	Chott Melghir	Sahara	Site Ramsar, 2003	-	551500	34°11'N, 06°21'E
22	Chott Merouane	Sahara	Site Ramsar, 2001	IBA	337700	34°02'N, 05°17'E
23	Chott Bel-djeloud	Sahara	-	-	-	34°00'N, 06°20'E
24	Chott Tindla	Sahara	-	-	600	33°39'N, 06°02'E
25	Sebkha Safioune	Sahara	-	-	8000	32°19'N, 05°22'E
26	Sebkha Oum Raneb	Sahara	Site Ramsar, 2004	-	7155	23°02'N, 05°23'E
27	Chott Ain El Baïda	Sahara	Site Ramsar, 2004	-	6833	31°57'N, 05°22'E
28	Sebkha El Melah (Lac d'El Goléa)	Sahara	Site Ramsar, 2004	-	18947	30°25'N, 02°54'E
29	Sidi Amrane (Chott Tighdidine)	Sahara	-	-	200	33°30'N, 05°59'E

Depuis l'apparition de l'être humain sur la planète, et plus particulièrement depuis le début des temps phanérozoïques, des adaptations particulières permettant à certaines espèces

de peupler les milieux les plus divers que l'on peut rencontrer sur la terre, y compris ceux que l'on nomme parfois 'les milieux extrêmes' (*Mackenzie A. et al., 1999*). Cette appellation s'applique à des régions de la biosphère où un ou plusieurs facteurs écologiques ont des valeurs particulières, relativement éloignées de celles qui s'observent ailleurs et qui permettent aux organismes vivants de se développer normalement. Ces milieux extrêmes sont particulièrement défavorables à la survie de la plupart des êtres vivants et seules certaines espèces réussissent à y subsister et même à y prospérer, grâce à des adaptations particulières. C'est par exemple le cas des lacs salés qui abritent une biodiversité non négligeable à prendre en compte lorsque sont envisagées des mesures de conservation (*Williams W.D 2002*).

### V.5.1 Richesse faunistique

Les zones arides et même semi-arides sont en effet caractérisées par des précipitations très réduites et une forte évapotranspiration d'où résulte en général une grande rareté des eaux de surface, et bien souvent l'absence de cours d'eau ou de lacs permanents, notamment dans les régions sahariennes, à l'exception des points particuliers où existent des Chotts ou des Sebkhass qui abritent une faune aquatique très originale (*Boutin C. et al., 2009*).

De point de vue hydrologique, les Chotts et Sebkhass constituent un milieu favorable pour le développement des Branchiopodes. Selon *Mouelhi S. et al. (2000)*, l'Algérie regroupe un peuplement plus riche et plus diversifié de crustacées avec 121 espèces. Dans ce cadre *Zemmouri A. et al. (1991)*, ont recensé un nombre important de crustacées, regroupant de grandes familles (Anostraca, Nostraca et Spinicaudata) au niveau des Chotts (tableau 19 et 20). De même *Kaiser H. et al. (2006)*, citent la présence du genre *Artemia* (Crustacea, Anostraca) au niveau de plusieurs Chotts. D'autres espèces du genre *Aphanius* (Actinopterygii, Cyprinodontidae) ont été signalées au niveau de la sebkhass d'Oran et au chott Chergui (*Blanco J.L. et al., 2006*). Dans ce cadre *Amarouayache M. et al., (2010)*, signalent la présence d'*Artemia spinosa* au niveau du chott Merouane et d'*Artemia salina* au niveau de Sebkhass Ezzemoul. La salinité de ce milieu est un facteur important et contrôlant la dynamique des espèces de Crustacées (*Amarouayache M. et al., 2009*). Ces biotopes, peuvent être considérés comme un écosystème particulier, représentant une diversité et un nombre important de la flore procaryote le cas du chott El Goléa (*Hacène H. et al., 2004*). De même que, le chott Sidi Amrane qui contient une diversité de bactérie phylotype (*Boutaiba S. et al., 2011*). Par ailleurs, ces lacs sont beaucoup mieux connus pour le rôle important, qu'ils jouent pour l'avifaune migratrice et pour la reproduction des oiseaux d'eau. *Hurlbert S.H. et al., (1983)*, décrit ces milieux comme des

arènes naturelles pour le Flamant rose au Nord de l'Afrique, espèce souvent dominante. Il fut depuis longtemps un lieu d'hivernage pour un nombre important de Flamants roses (*Béchet A. et al., 2010*). Des inventaires ornithologiques ont montré une diversité et un nombre important d'oiseaux d'eau qui fréquentent ces Chotts soit pour l'hivernage ou pour la reproduction (*Bouziid A. et al., 2009*). Ces zones humides constituent des milieux propices pour l'hivernage des oiseaux, dans ce cadre *Si Bachir A. et al. (2011)* signalent que l'hivernage de quelques espèces comme le héron garde bœuf (*Adrea ibis*) a connu une extension de son habitat dans le sud d'Algérie comme le chott Melghir.

Concernant la richesse mammalienne, peu de travaux ont été réalisés dans ce domaine mais, il faut noter la présence de quelques espèces telles que le rat des sables (*Psammomys obesus*), le fennec (*Fennecus zerda*), la gerbille (*Gerbillus sp.*), la gerboise du désert (*Jaculus jaculus*), le hérisson du désert (*Paraechinus aethiopicus*) et la pipistrelle (*Pipisterellus sp.*), ces derniers sont des espèces rare et la mérione (*Meriones sp.*) est classée comme espèces très rare, alors que le sanglier (*Sus scrofa*), le chacal (*Caracal caracal*), le lièvre (*Lepus capensis*), Le renard (*Vulpus rueppeli*), le Goundi du Sahara (*Ctenodactylus vali*), Por épic (*Hystrix cristata*), le chat sauvage (*Felis sylvestris libyca*), ces espèces communs sont observées au niveau de la lisière de plusieurs Chotts comme le chott Ain El Beida, chott Hodna, sebkha El Goléa (*De Smet K. et al., 2007*). Dans ce contexte *Berzins R. et al., (2007)* indiquent que l'Atlas et le centre sahariens héberge encore des biotopes propices à la présence du guépard (*Acinonyx jubatus*) et du léopard (*Panthera pardus*). Ces milieux abritent de grandes populations d'ongulés représentés par la gazelle Dorcas (*Gazella dorcas*), la gazelle de Cuvier (*G. cuvieri*), la gazelle de dune (*G. leptoceros*) et le mouflon à manchettes (*Ammotragus lervia*), les espèces précitées risquent d'être en danger d'extinction (*Abaigar T. et al., 2009*). Concernant l'arthropodofaune, la *D.G.F. (2004)*, note la présence des Gryllotalpidae, des Mantidae, des Libellulidae, des Coenagrionidae, des Lepismatidae, des Forficulidae, des Gryllidae, des Acrididae, des Cercopidae, Cicadidae, des Aphididae, des Geotrupidae, des Arachnidea, des Tabanidae et des Scorpionidae. Les reptiles sont représentés par *Trapelus mutabilis*, *Cerastes cerastes*, *Stenodactylus petrii*, *Uromatrix sp*, *Varanus griseus*, *Scincus scincus*, *Acanthodactylus longipes*, *Acanthodactylus boskianus* (*De Smet K. et al., 2007*).

### V.5.2 Richesse floristique

Au niveau des Chotts, la forte charge saline des eaux et des sols dus en majeure partie à une forte évaporation ainsi qu'aux faibles précipitations et drainage, présentent une contrainte

pour le développement des espèces végétales. Cependant, une végétation steppique halophile a pu s'adapter à ces conditions, depuis longtemps les terres des alentours des sebkhas ont constitué un bon pâturage pour les élevages grâce aux espèces répandu (*Dresch J. 1954*).

Tableau 19- les principales espèces crustacées rencontrées au niveau des Chotts et Sebkhass d'Algérie (*Samraoui B. et al., 2006*)

Ordres	Familles	Espèces	Rédions
Anostraca	Cyprinodontidae	<i>Artemia sp</i>	Chott Merouane, C. Djloud, Sebkhass Djandli, Ezzemoul, Oran, Sidi Bouziane, N'zouri, Salines d'Arzew.
	Artemiidae	<i>Artemia tunisiana</i>	Ezzemoul, Merouane, Melghir, Temacine, Hamiet, Sidi Bouziane.
	Thamnocephalidae	<i>Branchnella spinosa</i>	Tarf, Guelif, Ank Djmel, Ezzemoul.
	Chirocephalidae	<i>Branchinectella media</i>	Tinsilt, Boumia, S. Oran.
	Streptocephalidae	<i>Streptocephalus torvicornis</i>	Boucif, Jemot.
Notostraca	Triopsidae	<i>Triops cancriformis</i>	Boucif, Jamot.
Spinicaudata	Cyzicidae	<i>Cyzicus tetracerus</i>	Jamot

Tableau 20- liste des oiseaux fréquentant (hivernage et se reproduisant) les Chotts et Sebkhass d'Algérie (*Boulekhsaim M. et al., 2006*)

Familles	Espèces	Reproduction	Hivernant
Podicipedidae	<i>Tachybaptus ruficollis</i>		+
	<i>Podiceps cristatus</i>		+
	<i>Podiceps nigricollis</i>	+	
	<i>Phalacrocorax carbo</i>		
	<i>Nycticorax nycticorax</i>		
	<i>Ardea alba</i>		

Ardeidae	Ardea ibis		+
	Egretta garzetta		+
	Ardea cinerea		+
	Ixobrychus minutus		
	Ardeola ralloides		
Ciconiidae	Ciconia ciconia	+	
Threskiornithidae	Platalea leucorodia		
	Glossy Ibis		
	Plegadis falcinellus		
Phoenicopteridae	Pohenicopterus roseus	+	
Anatidae	Tadorna ferruginea	+	+
	Tadorna tadorna	+	+
	Anas penilope		+
	Anas strepera		+
	Anas crecca		+
	Anas acuta		
	Anas querquedula		
	Anas clypeata		
	Anas platyrhynchos	+	
	Marmoronetta angustirostris	+	
	Aythya nyroca		+
	Aythya ferina		
	Anas rufina		
	Anas ferina		
	Anser anser		
Oxyura leucocephala			
Accipitridae	Circus aeruginosus		
	Pandion haliaetus		
	Rallus aquaticus		+
	Gallinula choloropus		+
	Fulica atra	+	+
	Fulica cristata		
Recurvirostridae	Himantopus himantopus	+	
	Recurvirostra avosetta	+	
Charadriidae	Charadrius dubius	+	
	Charadrius alexandrinus	+	
	Charadrius hiaticula		
	Charadrius morinellus		
	Pluvialis apricaria		
	Pluvialis squatarola		
	Vanellus vanellus		
Scolopacidae	Calidris manita		
	Calidris alpina		+
	Calidris ferruginea		+
	Philomachus pugnax		
	Gallinago gallinago		
	Tringa erythropus		+

	Tringa totanus		+
	Tringa stagnalis		+
	Tringa nebularia		+
	Tringa ochropus		+
	Actitis hypoleucos		+
	Limosa limosa		
	Numenius arquata		
Laridae	Larus michahellis		
	Larus ridibundus		
	Larus genei	+	
	Sterna nilotica	+	
	Chlidonias niger		
	Chlidonias hybridus		
	Gelochelidon nilotica		
Glareolidae	Glareola pratincola	+	
	Cursorius cursor		
Burhinidae	Burhinus oedicephalus		

La végétation malgré sa faible diversité présente parfois de bons taux de recouvrement et surtout caractérisée par des espèces et des groupements résistants à la salinité et à la sécheresse (*Si Bachir A. 2008*).

*Dubuis A. et al., (1957)*, signalent que les formations halophiles sont étendue de l'ouest à l'est jusqu'à la région désertique saharienne, ils s'installent sur du sol salé sec, humide ou submergé. Les espèces les plus répandues sont représentées par la famille de Chénopodiacées, Zygophyllacées qui poussent sur sol salé un peu sec. Citons, *Salsola foetida*, *S. seibiri*, *S. fruticosa*, *S. vermiculata*, *Traganum nudatum*, *Atriplex halimus*, *Zygophyllum album*, cependant sur sol un peu humide et avec une faible salure ces formations sont remplacées par le *Tamarix sp.* (Tamaricacées), plus la présence du sel est moins faible plus les sols seront occupés par *Limoniastrum guyonianum* (*Ozenda P. 1958*). Le même auteur signale que les trois familles sont bien représentées au bord des chotts et sebkha El Goléa. Cependant *Bouabdallah E.H. (1990)*, *Larafa M. (2004)* et *Khaznadar M. et al. (2009)*, notent la présence de *Tamarix sp.*, *Typha sp.*, *Juncus sp.* et *Cyperus sp.* au bas fond des Chotts. Au niveau de ces zones on trouve d'autres espèces comme *Arthrocnemum macrostachyum*, *Halocnemum strobilaceum* Marsch, qui peuvent constituer une ressource fourragère importante pour l'élevage ovin au niveau des grands Zahres et du chott El Hodna (*Bouabdallah E.H. 1990*). Notamment, *Abdelkefi A. et al. (2004)* soulignent que *triplex sp.*, *Salsola sp.*, *Traganum sp.*, *Arthrocnemum sp.* constituent les principales espèces du couvert végétal des steppes halophiles.

A ce titre d'autres espèces halophiles des Chotts et Sebkhas, qui sont d'intérêts écologiques telles que, *Malcolmia arenaria*, *Ononis antennata* ont été signalés comme des

espèces rares et endémiques en Algérie et au Maroc (*Hammada S. et al., 2004*). En effet, *Khaznadar M. et al. (2009)*, montrent la présence de six espèces endémiques à savoir, l'*Astragalus armatus*, *Frankenia thymifolia*, *Helianthemum helianthemoides*, *Herniaria mauritanica*, *Hieracium amplexicaule* et *Melilotus indica* au niveau du chott El Beïda. L'utilisation de prés salés pour le pâturage est très fréquent dans la Méditerranée (*Dijkema K.S. et al, 1984*).

Dans ce contexte, *Chaib M. et all., (2000)* montrent que les espèces halophiles vivaces présentent des parcours pour le dromadaire mais elles sont faiblement acceptées par les troupeaux ovins et caprins, de même *Chehma A. (2005)*, confirme que ces formations végétales, telles que *S. fruticosa* constituent le seul pâturage permanent et disponible pour l'élevage camelin). Par ailleurs *Nedjimi B. Daoud Y. (2006)*, confirme que l'utilisation des plantes halophiles des sols salins pour le pâturage et le fourrage reste la seule solution économique possible dans ces milieux (tableau N° 21).

Tableau 21- Les principales espèces constituant le couvert végétal des Chotts et Sebkhass d'Algérie (*Bouabdallah E.H. 1990*)

Familles	Espèces
Chénopodiacées	<i>Salicornia fruticosa</i> L. <i>Suaeda fruticosa</i> Forsk.. <i>Suaeda mollis</i> Desf. <i>Atriplex halimus</i> L. <i>Salsola vermiculata</i> L. <i>Trugamun nudatum</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> Mrrsch. <i>Arthrocnemum marcrostchyum.</i>
Plombaginacées	<i>Limoniastrum guyonianum</i> Duc
Zydophyllacées	<i>Zygophyllum album</i> L <i>Peganum harmala</i> L
Tamaricacées	<i>Tamarix africana</i> <i>Tamarix gallica</i>
Cypéracées	<i>Scirpus maritimus</i> L.
Graminées	<i>Phragmites communis</i> Trin
Joncaces	<i>Joncus subulatus</i> Forsk

### V.5.3 Statut juridique

Il existe de nombreux textes juridiques qui régissent le domaine de la protection de la nature d'une manière générale, la principale loi est celle relative à l'environnement (n°83.03 du 5 février 1983). Les mesures de protection et de réglementation utile à la conservation des zones humides varient beaucoup suivant le site. Les zones humides en particulier les Chotts et sebkhass sont sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, du Ministère de l'Aménagement du Territoire

et de l'Environnement et le Ministère des Mines.

La D.G.F. étant responsable de la conservation et de la gestion au niveau national des aires naturelles, des forêts, des zones désertiques et des zones humides. C'est également l'institution gouvernementale responsable de la mise en application en Algérie de l'ensemble des conventions liées aux zones humides. L'Algérie étant membre actif du réseau MedWet, la sous-direction des parcs nationaux a organisée en 1998 avec MedWet un atelier de formation pour renforcer les capacités en matière d'inventaire des zones humides à l'échelle nationale.

En dépit de leur richesse biologique exceptionnelle reconnut depuis longtemps, ces milieux sont à ce jour presque totalement ignorés et ne font l'objet que de très peu de mesures de conservation (*Bouldjedri M. et al, 2011*). Bien que l'Algérie soit signataire de la convention de Ramsar depuis 1971, la conservation des zones humides et leur gestion n'a commencée qu'en 1997 sous la direction générale des forêts, suite à l'instabilité qu'a connue le pays à cette période. Ces milieux ont été classé site Ramsar à partir de 2001. Dans ce contexte d'autre forme de conservation ont été suggéré comme le programme international pour la conservation de Birdlife tel que le programme Africain I.B.A. qui a débuté en 1993. *Samraoui B. (2008)*, a désigné un nombre de Chotts et Sebkhass comme I.B.A., des espaces importants pour les oiseaux d'eaux. L'Algérie est signature de l'accord sur les oiseaux migrateurs de l'Afrique-Eurasie (AEWA), qui a pour objectif d'améliorer la coopération international en matière de conservation et de recherche sur les oiseaux d'eau migrateurs.

#### **V.6 Territoire des Chotts et Sebkhass comme écosociosystème**

Le territoire des zones humides en milieu aride (Chotts et Sebkhass) est considéré comme écosociosystème ou système d'action, défini comme un complexe d'interaction qui relie :

- 1) Un système socioéconomique, composé d'individu qui regroupe des aspects sociaux, économiques et culturels. Ces groupes sociaux sont également dynamique, soumis à l'évolution de la société et aux modifications des relations qu'ils entretiennent avec eux et avec leur territoire.
- 2) Un système environnement-ressource, qui est composé d'écosystèmes et agroécosystèmes dynamiques, qui se transforme au cours du temps sous l'effet combiné de leur propre ontogénèse, des inputs de l'environnement global et des pratiques socio spatiales des groupes sociaux qui exploitent ou qui ont exploité leur fonction ressource.

Cette conception du territoire comme système, va permettre d'adopter une démarche systémique, décrire et comprendre le processus d'exploitation de la zone humide (*Mathevet R. 2000*).

- *approche écosystémique de gestion* : l'approche écosystémique constitue l'outil principal pour une gestion intégrée. Elle tiendra en compte les diverses interactions entre écosystèmes et une solution durable dans la gestion des ressources naturelles.

Les avantages de l'approche écosystémique selon *Mathevet R. (2006)* sont :

- Une attention prioritaire est accordée aux interrelations entre les différents éléments d'un écosystème, ce qui favorise la gestion intégrée de ces éléments.
- L'accent est mis sur les questions à long terme ou à grande échelle, ce qui permet d'adopter une stratégie orientée davantage vers 'la prévision et la prévention' plutôt que la méthode la plus courante de 'réaction et correction'.
- On reconnaît le rôle de la culture, des valeurs et des systèmes socioéconomiques dans les questions de gestion de l'environnement et des ressources.
- Cette approche offre un mécanisme permettant d'intégrer les sciences et la gestion.

### V.6.1 Enjeux

Les Chotts et Sebkhass sont comme toutes autres zones humides, ils constituent des milieux spécifiques en matière de gestion des ressources naturelles et de conservation. Ces plans d'eau endoréiques ou zones humides d'intérieures connu une multitude d'activités et d'usage déterminent des enjeux forts qui dépendront de la ressource en eau. Par ailleurs des menaces très intenses pèsent sur ces milieux.

- *Enjeux socioéconomiques*

Ces milieux présentent des enjeux socioéconomiques, tels que l'agriculture, l'élevage et la production du sel pour la population locale et nationale (*Demnati F. et al. 2012*).

Ces dépressions salées représentent un système évaporatoire (*Coque R. 1962*). En période pluvieuse une lame d'eau saturée en sels peut recouvrir leur surface laissant après évaporation des dépôts de chlorure de sodium, parfois exploitable comme dans la plus part des Chotts, citons Sebkhass Bouziane, chott Merouane et sebkhass Ezzemoul (*Benziane A. 1983*). Ces lieux sont exploités par l'entreprise nationale des sels (ENASEL) comme l'entreprise de Bethioua (Arzew), M'ghaire (El Oued), Sidi Bouziane (Relizane) et Ouled Zaouia (Aïn Mlila). Il est à noter que les Chotts ont été exploités depuis les années 1920, le cas de Sidi Bouziane. L'Algérie produit deux types de sels ; le sel alimentaire qui est estimé à 165000 à 264000 tonnes/ an et celui industriel à environ 125000 tonnes/ an alors que les sels spéciaux (agriculture, pharmacie, cosmétique) sont peu développés (*Enasel, 2007*). La production du sel est très importante sur le plan national et international. Ces milieux referment d'autres richesses

minéraux qui ne sont pas encore exploitées, dans ce cadre *Hacini M. et al. (2010)*, signalent que le chott Merouane renferme une quantité importante de Lithium qui n'est pas encore exploitée.

- *Enjeux de conservation*

Les Chotts algériens sont menacés ou touchés par d'autres activités humaines, notamment le détournement des afflux d'eau de surface pour l'agriculture qui peut constituer un danger potentiel pour la région d'Oued Righ (*Khadraoui A. 2010*). La contamination de la nappe phréatique par les eaux salées des Chotts constitue un risque pour la région Algéro-Tunisienne (*Oss, 2008*). Suite à une pression anthropique au niveau du chott El Beida, la végétation indigène a reculée (*Khaznadar M. et al., 2009*). Un grand danger réside dans les changements hydrologiques induits par les activités humaines dans ces zones humides (*Samraoui B. et al., 2010*). Par ailleurs *Bensizerara D. et al. (2013)*, signalent que ces habitats sont touchés par les activités humaines, cas du chott Djendli. Les rejets des eaux usées dans ces bassins constituent un énorme danger pour l'écosystème (*Khadraoui A. 2006*). D'autres facteurs physiques peuvent être la cause de la disparation de ces Chotts, comme l'ensablement et la désertification, le cas du chott (*Halloufa G.M. 1998*). L'eau souterraine a connu ces dernières décennies une surexploitation dans le domaine de l'agriculture, ce qui a provoqué une perturbation dans les nappes souterraines comme l'augmentation de la salinité (*Zammouri M. et al. 2007*). Toutes ces menaces réelles, que connaissent les différents lacs salés d'Algérie, mettent en jeu la conservation du patrimoine des Chotts et Sebkhass face à la pression des divers facteurs tels que la mise en valeur agricole, la pollution, l'augmentation de la salinité au niveau des eaux souterraine ainsi que les facteurs climatiques tel que la sécheresse.

## **V.7 Valeur écologique du chott Merouane et Melghir**

Le chott Melghir et Merouane jouent un rôle écologique mondial, leur principale valeur est écologique, paysagère, culturelle et même économique lui valent des titres nationaux et internationaux. En effet, en 2001, le chott Merouane a été classé par le site *Ramsar*, la classe comme aire importante de reproduction pour les oiseaux. Par ailleurs le chott Melghir, n'a été classé par le site *Ramsar* qu'en 2003.

### **V.7.1 La flore**

Malgré les conditions climatiques défavorables, une quantité des pluies réduites et une sécheresse qui s'étale presque pendant toute l'année, une végétation clairsemée existe. Au

niveau des bassins versants des Chotts se développe une végétation steppique halophile qui correspond à des zones de salinités décroissantes de l'intérieur vers l'extérieur (*Ghezlaoui R. et al. 2011*).

D'après les travaux de *Halis F. et al. (2012)* montrent que les espèces qui caractérisent le bassin versant de ces zones humides sont des formations végétales à affinité halophytique. L'inventaire réalisé à partir de cette recherche bibliographique et des récoltes des espèces réalisées, révèle la présence de 51 taxons appartenant à 23 familles botaniques (tableau N° 22).

La famille des Chénopodiacées regroupe le nombre le plus élevé d'espèces avec neuf plantes différentes, ce qui montre la capacité de ces espèces à résister à la salinité et à la sécheresse qui règne dans les milieux arides (*Ozenda P. 1958*). Au niveau des zones d'évacuations des eaux de drainage des palmeraies de Nessigha, Dendouga, Sif El Menadi, Hamraia, par rapport au chott Merouane et au niveau de Oued Djeddi (chott Melghir), la flore est composé généralement de *Phragmites communis* et *Juncus maritimus*, la présence de ces espèces est un indicateur des habitats des milieux humides salés (*Quezel R. et al., 1963*). Sur les collines ensablées, coté Hamraia et El Haouch *Aristida pungens* est bien représentée, *Kaabache C. (1990)* indique que cette espèce se localise sur les rives des Chotts ensablés. Les Chénopodiacées (*Salicornia* et *Suaeda*) sont bien représentées au niveau de ces deux zones. *Dijkema K.S. et al. (1984)* confirment que le milieu halophile pauvre en espèce se compose essentiellement d'herbes pérennes, des roseaux ou de sous arbrisseaux et de certaines plantes annuelles liées au milieu salin représenté exclusivement par la famille des Chénopodiacées. Cependant la famille des Graminées, des Composées, des Crucifères, des Zygophyllacées et des Légumineuses sont bien représentées avec six, cinq et trois espèces respectivement. Alors que le reste (45%) des espèces sont réparti entre 17 familles, chacune étant représenté par une à deux espèces. Parmi les espèces endémiques au Sahara Septentrional et au Nord d'Afrique (*Limoniastrum guyonianum* (Duc.), *Euphorbia guyoniana* (Boiss et Reut.), *Matricaria pubescens* (Desf.) (*Ozenda P. 1958*). Dans ce cadre *Longo-Hammouda L. et al, (2007)* notent les principales familles qui constituent une source fourragère pour le pâturage saharien sont : Euphorbiacées, Capparidacées, Graminées, les Composées, les Crucifères et les Légumineuses.

Cette végétation constitue un pâturage très apprécié par les ovins et les caprins (*Kanoun A. 2007*). Cependant, la zone d'étude subit une pression anthropiques qui pose des problèmes de régénération de certaines Chénopodiacées et d'*Atriplex* entraînant des dégradations à l'origine de la fertilité des sols *Larafa M. (2004)*.

### V.7.2 la faune

La diversité floristique et la présence non permanente des eaux, sous forme des espaces libres et leurs phytocénoses, favorisent l'installation des peuplements faunistiques diversifiés ; principalement les insectes et les oiseaux. D'après *Dijkema K.S. et al. (1984)*, les prés salés sont de bons biotopes pour la reproduction, l'alimentation et la perchée des oiseaux migrateurs.

Tableau 22- Principales espèces inventoriées aux alentours du bassin du chott Merouane et Melghir.

Familles	Espèces
Borraginacées	<i>Echium trygorhizum</i> Romel
Caryophyllacées	<i>Gymnocarpos decander</i> Forsk
Chénopodiacées	<i>Salsola seiberi</i> Presl. <i>Halocnemum strobilaceum</i> Palla <i>Anabasis articulate</i> Moq. <i>Salicornia fructicosa</i> L. <i>Traganum nudatum</i> Del. <i>Atriplex halimus</i> L. <i>Suaeda mollis</i> Desf. <i>Salsola vermiculata</i> L. <i>Salsola tetrandra</i> Forsk.
Crucifères	<i>Moricandia arvensis</i> Dc. <i>Matiola livida</i> Dc. <i>Erucastrum leucantham</i> Coss et Durieu <i>Pseuderucarua teretifolia</i> Desf.
Cucurbitacées	<i>Colocynthis vulgaris</i> L.
Composées	<i>Cotula cinerea</i> Del. <i>Launaea resedifolia</i> L. <i>Matricaria pubescens</i> Desf. <i>Rhanterium suadens</i> . <i>Bubonium graveolens</i> Forsk.
Capparidacées	<i>Cleome Arabica</i> L.
Cistacées	<i>Helianthemum lipli</i> L.
Ephédracées	<i>Ephedra alata</i> Dec.
Euphorbiacées	<i>Euphorbia guyoniana</i> Boiss.
Graminées	<i>Andropogon distachys</i> L. <i>Aristida plumose</i> L. <i>Aristida pungens</i> Desf. <i>Cynodon dactylon</i> L. <i>Polypogon maritimum</i> Willd. <i>Phragmites communis</i> L. <i>Stipa tenacissima</i> L.
Légumineuses	<i>Acanthyllis numidica</i> Pomel. <i>Lotus halophilus</i> Boiss. <i>Retama retama</i> Webb.
Joncacées	<i>Juncus maritimim</i> Lam.
Labiées	<i>Salvia officinalis</i>
Liliacées	<i>Asphodelus tenuifolius</i> Cavan.
Malvacées	<i>Malva aegyptica</i> L.
Ombellifères	<i>Pituranthos scoparius</i> Benth. et Hook.
Polygonacées	<i>Calligonum comosum</i> L. <i>Emex spinosa</i> Campdera.

Plombaginacées	Limoniastrum guyonianum Duc.
Rutacées	Ruta tuberculata Forsk.
Tamaricacées	Tamarix sp.
Thymelacées	Thymelea microphylla Codd et Dur.
Typhacées	Typha sp.
Zygophyllacées	Zygophyllum album L. Nitraria retusa Forsk. Peganum harmal L.

En effet, d'après les travaux d' *Isenmann P. et al.*, (2000), le dénombrement des oiseaux d'eau qui intervient le mois de janvier de chaque année par les services des forêts, on note que ces dépressions constituent d'une part, un lieu d'habitat pour l'avifaune migratrice et d'autre part un lieu de nidification pour les oiseaux d'eau.

La dépendance des populations de Flamants roses des lacs salés est largement connue dans le monde entier y compris d'autres espèces comme les Mouettes, Grèbes, Phalaropes, Pélican et le Pluvier (*Jellison R. et al*, 2008). Dans cet optique *Houhamdi M. et al.* (2008), montrent que le chott Merouane héberge des concentrations les plus importantes de Flamants roses de tout l'est algérien. Par ailleurs *Samraoui B.* (2008), signalent que *Himantopus himantopus*, *Recurvirostra avosetta*, *Charadrius alexandrinus*, *Tadorna tadorna*, *T. ferruginea* et *Ciconia ciconia* parmi les espèces nicheuses dans la zone d'étude. Les mêmes auteurs révèlent que ces milieux accueillent un nombre important d'espèces migrateurs, à titre d'exemple les Anatidées, les Scolopacidées, Laridées et les Charadriidées. Tandis que la faune ichthyologique est relativement pauvre, néanmoins ce milieu aquatique constitue un biotope pour des organismes qui ne peuvent vivre que dans ces conditions, tel que les crustacés. Ces derniers ont fait l'objet de plusieurs publications, *Kara H. et al.* (2004) et *Amarouyache M. et al.* (2009), notent une importante densité d'*Artemia salina* marqué à la fin de l'hiver et au printemps au niveau du chott Merouane.

Concernant les connaissances sur la biodiversité entomofaunistique, les données ne sont pas disponibles car aucune étude n'a été entreprise dans ce sens. De même pour la faune sauvage mais il est a signalé de manière générale la présence des espèces.

### V.7.2 Conditions humaines

- *population du bassin du chott Melghir* : les limites naturelles du bassin des Chotts ne coïncident pas réellement avec les limites administratives décrites ci-dessus. La zone d'étude en question se trouve partagée entre six communes, la commune de Hamraia, la commune de R'guiba, la commune de M'ghaire, la commune d'Oum El Thiour, la

commune d'El Feidh et la commune d'El Haouch.

Les chefs lieu des communes de Hamraia, dont 90 % de la population vie dans les deux zones humides, idem pour la commune d'Oum El Thiour, alors que les autres sont exclu de l'espace étudié. Il est à noter que la majorité de la population est concentrée au niveau des chefs-lieux des communes, où est érigé en centre d'activité de commerce et d'administration.

L'évolution démographique durant les années 1977-2008, ressort deux grandes tendances : Un changement radical d'habitat de la zone épars (Sif El Menadi) vers la zone en système urbain (chef-lieu). Cependant les autres zones ont connu une évolution démographique naturelle d'environ 3% par an. Pour la première tendance, on constate une régression qui s'explique par l'isolement de cette zone, car cette zone rurale a été construite pendant la révolution agraire pour encourager l'agriculture saharienne mais vus l'absence des infrastructures (électricité, routes goudronnées, écoles, centre de santé...etc.) la population a émigrée vers les chefs- lieux. Cet état de fait confirme que les programmes de développement rural ont rarement été conçus selon une logique territoriale (spatiale) cohérente, moins encore sur la base de projets de développement ciblant des groupes bien déterminés de population.

D'après nos enquêtes, les membres des tribus dans chaque commune forment la quasi-totalité de la population nomade (éleveur nomade). Ils ont migré il y a plusieurs années et même des siècles des régions de Djelfa, Bousaâda et Sétif.

- *aspect économique de la région* : malgré le climat rude aux contraintes multiples, la présence des eaux souterraines a permis une mise en valeur agricole importante, notamment avec le développement de la phoeniculture.

D'après la figure 70, la région est incontestablement à vocation agricole, c'est le secteur qui est le plus gros pourvoyeur d'emplois. Cependant l'industrie est inexistante dans le bassin des Chotts. L'exploitation du gypse, du sel et même le sable reste comme industrie artisanale.

- *Agriculture* : toutes les communes de la zone d'étude sont des régions agro-pastorales, malgré la prédominance de la vocation pastorale, la zone humide commence à développer une activité agricole de phoeniculture sur 7318 ha. A l'exception de la commune d'El Feidh (El Watan), où une céréaliculture s'étend sur une superficie de 30.000 ha.

Auparavant l'activité dominante aux alentours des zones humides était l'élevage, la phoeniculture représentait une activité secondaire. Tandis qu'actuellement cette dernière est devenue plus importante avec un nombre total de 219.188 palmiers. Suite aux politiques d'encouragement et les opérations de la mise en valeur vers les années quatre-vingt, soit juste

après l'avènement de la promulgation de la loi portant, accession à la propriété foncière agricole, et la loi de la concession agricole dans les années deux milles ; un vaste programme d'investissement en agriculture a été mis en place par les pouvoirs publics qui a permis de mettre en valeur des milliers d'hectare dans le secteur de la phoeniciculture, et même la plasticulture avec l'irrigation localisée. Cette dernière a connu un essor considérable ces dernières années mais il est difficile d'avoir des données récentes et fiables.

Par ailleurs dans la commune d'El Feidh (au lieu dit El Watan) n'a pas été touchée par cette révolution car la zone est dite Arch est à vocation céréalière.

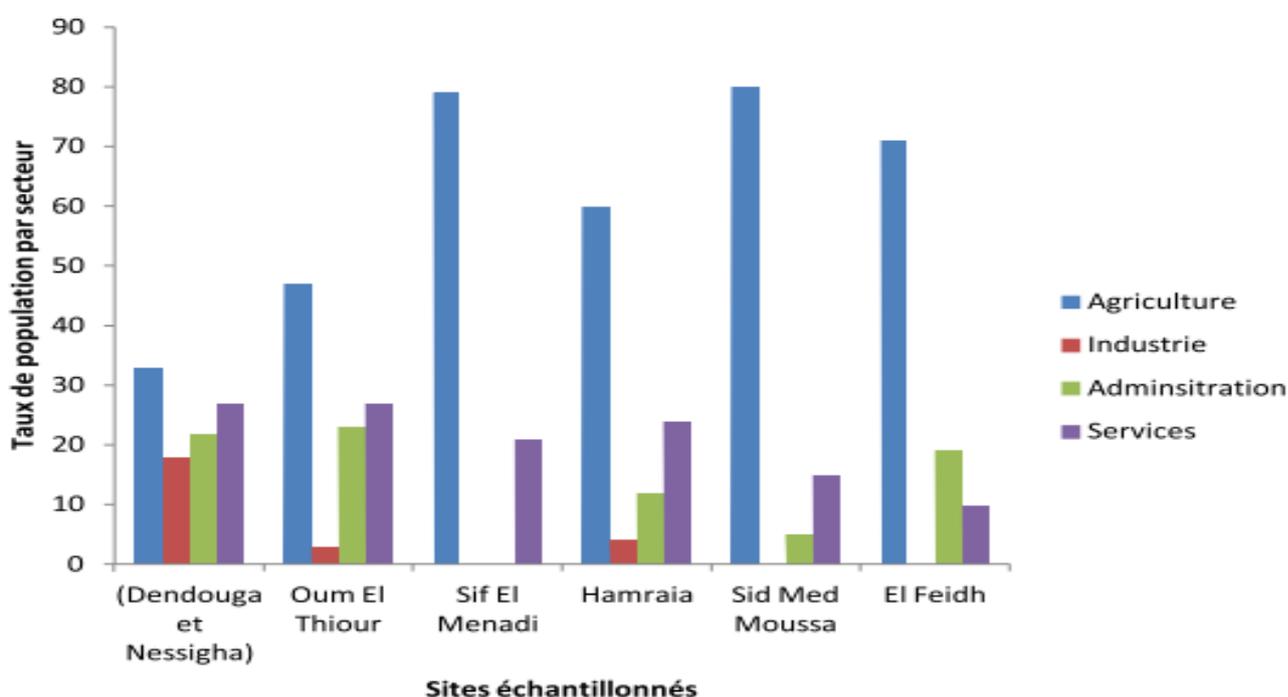


Figure 70- répartition de la population active selon les secteurs économiques.

- *Pastoralisme* : l'élevage reste aussi une activité importante avec plus de 103.838 têtes ; cette activité et en particulier l'élevage ovins qui est considéré parmi les activités les plus importantes du bassin des Chotts. Cette population steppique est composée essentiellement de pasteurs- éleveur pratiquant le nomadisme et la transhumance. Ce sont des formes sociales d'adaptation à ces milieux arides qui permettent de maintenir l'équilibre et de survivre aux crises écologiques dues à des sécheresses cycliques. La façon de conduire les troupeaux dans ces régions permette une gestion rationnelle dans l'espace et dans le temps à travers ces mouvements : L'achaba, qui consiste à remonter les troupeaux dans les zones telliennes, vers un pacage valorisant le sous-produit de l'agriculture, sur les chaumes et les pailles des terres céréalières pendant les trois à

quatre mois de l'été et l'azzaba, conduisant les pasteurs et leurs cheptels vers le piedmonts nord de l'Atlas Saharien pendant les trois mois de l'hiver.

- **Industrie** : l'industrie au sens propre du terme est pratiquement inexistante dans l'aire du bassin du Chott, à l'exception de l'exploitation du sel. Donc cette dernière dans la région d'étude est considéré par la population riveraine, comme production agricole parce qu'elle est liée aux facteurs climatiques naturels. Selon la Direction des Mines d'El Oued, onze sociétés d'exploitation de sel sont localisées dans notre zone d'étude.



- Figure 71- illustrations des principales activités dans la région d'étude

*situation foncière* : le patrimoine foncier agricole algérien a connu à travers l'histoire la succession de différentes et multiples législations telles que le droit commun, le droit coutumier, le droit musulman et le droit colonial, les législations et réglementation post indépendance (Abdelguerfi A. Laouar M. 1997). Afin de mieux cerner cet enjeu, nous avons jugé nécessaire d'aborder ce problème. Ce statut n'est pas encore défini dans la mesure où les terres de ces régions restent et ont toujours été considérées comme des

terres collectives. Les terres récupérées par l'Etat et distribuées dans le cadre de la concession sont considérées comme des terres privées. Ces terres servent dans la plus part du temps pour les parcours et le pâturage des troupeaux. Cette situation complexe plaide pour des pratiques informelles aggravant la confusion en matière de foncier agricole, et à des effets négatifs sur les réformes politiques et les stratégies de croissance et de développement agricole (Abdelhamid A. 2009).

- *enjeux socioéconomiques du chott Merouane et Melghir* : le chott Melghir et Merouane constitue un milieu spécifique en matière de gestion de ressources naturelles et de conservation. Cette zone connaît une multitude d'activité et d'usages qui déterminent des enjeux forts (figure 71) pour la population locale et nationale. et en raison de la multiplicité des enjeux socioéconomiques les plus importants en vue d'adopter une gestion intégrée pour la conservation de la zone d'étude.

## V.8 Conclusion

De nombreuses activités humaines menacent ou touchent les lacs salés (Demnati F, 2012), en particulier la salinisation, le détournement des afflux de surface...etc. Par ailleurs ces milieux ne sont remplis d'eau qu'en saison hivernale, ils sont susceptibles d'être plus sec pour une longue période car en grande partie ils dépendent de la nature des changements climatiques en milieu aride.

Pour remédier à cette situation il faut d'une part d'avantage de sensibilisation sur la valeur des lacs salés, sur la nature des menaces humaines et leur impact sur ces milieux. D'autre part des mesures de gestion et de conservation doivent être développées pour la mise en œuvre d'une conservation et d'une gestion durable.

L'objectif fixé dans ce chapitre est de donner un descriptif des conditions générales de la zone d'étude, du chott Merouane et Melghir. En effet, la présentation de la région, nous a permis de relever les points suivants :

- une richesse écologique non négligeable, qui lui a valu la mention de réserve d'importance nationale et internationale.
- une augmentation constante de la population en raison de la valeur des activités économiques.
- une extension des surfaces agricoles.
- une mutation de système de production et une augmentation de la taille des cheptels.
- absence d'application de réglementation sur terrain.

## **CONCLUSION GENERALE ET RECOMENDATION**

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

### 1. Conclusion

Les lacs salés sont très répandus en Algérie, et ils sont surtout nombreux sous forme de Chotts et Sebkhass. Ces zones humides représentent des atouts naturels, économiques, écologiques et scientifiques considérables. Les lacs salés se développent comme la terminaison des bassins versant d'intérieurs, leur biotope et leur fonctionnement se distinguent de manière unique à partir des écosystèmes aquatiques. Malgré ces valeurs particulières, les organismes internationaux n'ont pas vraiment encore reconnu les lacs salés comme étant un important écosystème aquatique d'intérieur (*Jellison R. et al, 2008*).

Le chott Merouane avec sa basse altitude de 31 m sous le niveau de la mer et une superficie de 337700 ha dont la profondeur de minéralisation allant varie de 0 à 10 cm qui contient d'une paragenèse des minéraux évaporitiques précipités : la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) ; les sulfures ( $\text{CaSO}_4$ ) ; l'halite ( $\text{NaCl}$ ) ; la Bichovite ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ; la Blodeite ( $\text{K}_2\text{Mg} (\text{SO}_4)_2$ ) ; l'Epsomite ( $\text{Mg} (\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) et la sylvite ( $\text{KCl}$ ). Le chott représente l'exutoire de toutes les eaux de surface et même souterraines du Sahara septentrional. Leur estimation du bilan hydrique a montré que cette région est alimentée principalement par le canal collecteur d'Oued Righ qui a un débit annuel de 130 190 000  $\text{m}^3/\text{an}$  dont une quantité importante de ces eaux n'atteint pas le chott suite à des infiltrations et à l'évaporation au cours de leurs trajets, de même les palmeraies existantes tout au long du passage du canal vers le chott qui consomment quotidiennement certaine réserve de ces eaux.

La seconde source d'alimentation c'est à travers la remontée des eaux souterraines de la nappe du complexe terminal par drainance qui a un volume annuel de l'ordre de 62 400 000  $\text{m}^3/\text{an}$ . Ces sources atteignent le chott à son volume maximal d'eaux durant le mois de janvier (saison hivernale), ensuite il perd toutes ces quantités par l'évaporation totale au mois de juillet (saison estivale) ce qui implique que le chott possède le même comportement d'un lac éphémère.

Cette forte évaporation qui varie de 100 à 400 mm/mois causée par la faible humidité relative qui allant de 30% à 65%, les régimes du vent très intermittentes avec des vitesses allant jusqu'à 4 m/s, les précipitations annuelles de 0 à 20 mm, la température ambiante qui varie de 10 C° à 35 C° couplée à une insolation de 230 à 350 heures/mois soit 3900 heures/an aussi par un flux solaire annuel moyen de 4,85 kW h /  $\text{m}^2$ , cet endroit représente un climat chaud et sec contrairement aux autres climats équatoriaux qui sont chauds et humides.

Grâce aux conditions climatiques de cette région notamment la forte radiation solaire qui favorise l'exploitation du sel, l'unité SME (Salins Merouane El Meghaier El Oued) effectuée une production annuelle de 150 000 T/an et cela c'est fait naturellement dans les onze tables salantes situées à côté du chott. De ce fait, pour améliorer la productivité et la qualité du sel solaire, des tests d'optimisation de cristallisation de l'halite par énergie solaire avec l'utilisation des systèmes de concentration des rayonnements solaires dans la saumure des bacs d'essai, et le logiciel Sun Earth Tools qui a déterminé la position horaire du soleil (élévation et azimut).

Les essais réalisés montrent que le taux d'évaporation est proportionnel à la température de la saumure, elle est élevée quand la température ambiante était élevée aussi, l'humidité relative était faible et le rayonnement solaire élevé.

L'optimisation par l'énergie solaire et la présence d'un milieu favorable biodiversifie représentent des atouts de développement durable de l'industrie du sel solaire aussi que la mise en valeur d'une région riche en faunes et en flores et géotouristique.

## 2. **Recommandations techniques**

Ce travail d'optimisation du processus d'évaporation-cristallisation du sel par énergie solaire nécessite au future d'autres travaux de recherche afin d'arriver à une meilleure exploitation du sel dans les chotts.

Le chott connaît des variations du pourcentage des éléments chimiques dans la saumure en fonction du temps qui influent sur la qualité du sel notamment la concentration du NaCl. Donc pour l'obtention d'une meilleure qualité, une proposition d'installation des systèmes de concentration des rayonnements solaires dans les tables salantes qui sert à la maîtrise de la qualité du sel en se concentrant de ces systèmes quand le lac devient riche en pourcentage du NaCl et faible en celui de Mg (sels indésirables) et en se déconcentrant dans le cas inverse. Cette installation pourra donner aussi une cristallisation tôt de la couche de sel où le climat favorable pour la récolte (une couche de sel tendre pour les récolteurs), d'autre part il y a une possibilité de multiplier la production par une autre opération (de pompage jusqu'à la récolte).

Aussi au cours de ces dernières années, l'unité SME (Salin Merouane El Meghaier) connaît une forte demande de produit de sel au niveau national et international (France, Espagne, Niger...etc) ce qui exige une augmentation de la production et une multiplication des nombres de tables salantes. Par contre un autre problème est posé en ce qui concerne les terres agricoles entourent le lac (les palmeraies des dattes). A cet effet, on préconise une étude technique et économique qui décidera la rentabilité de systèmes de concentrations d'énergie solaire par miroirs tourne-seule qui accélère le processus d'évaporation et de cristallisation du sel.

## Références bibliographiques

- Abaigar T., Belbachir-Bazi A., Cano M., 2009. Proposition d'aménagement et de gestion d'un centre d'élevage de gazelle en captivité. Project de coopération internationale hispanoalgérienne (AECI-MESRS) Réf : A/ 011012/07. Rapport Scientifique et Technique, Almeria (Espagne)-Bejaïa (Algérie).
- Abdelguerfi A., Laouar M., 1997. La privatisation du foncier : impact sur l'environnement et sur les ressources génétiques en Algérie. *Option Méditerranéennes*, 32: PP 203-207.
- Abdelkefi A., Ben Fadhel N., Ben Salah A., Boussaid M., Zaouali Y., 2004. Plantes pastorales en milieux arides de l'Afrique du Nord. *Options Méditerranéennes*, PP 62: 55-59.
- Akermi M., 2009. Contribution à l'étude d'un capteur solaire thermodynamique thermosiphon à eau et application aux sites de TIARET et ADRAR, Mémoire de Magister en physique, 135p.
- Al-Shaibani, A., 2012. Economic potential of brines of Sabkha Jayb Uwayyid, Eastern Saudi Arabia. *Arab J Geosci Original paper* DOI 10.1007/s12517-012-0521-x.
- Amarouyache M., Derbal F., Kara H., 2009. The parasitism of *Flamingolepis liguloides* (Gervais, 1847) (Cestoda, Hymenolepididae) in *Artemia salina* (Crustacea, Branchiopoda) in two saline lakes in Algeria. *Acta Parasitologica*, 54: pp 330-334.
- Amarouyache M., Derbal F., Kara H., 2010. Caractéristiques écologiques et biologiques d'*Artemia salina* (Crustacé, Anostracé) de la Sebkhia Ez-zemoul, Algérie Nord-Est. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)*, 65: pp 129-138.
- Aubert G., 1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales de l'Institut National Agronomique - El Harrach*, 7: pp 185-196.
- Baaziz N., Menouar B., Saheb M., Bensaci E., Ounissi M., Metallaoui S., Houhamdi M., Ballais J.L., 2010. Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas-Sahara Algérien. *Physio-Géographie Physique et Environnement*, 4: pp 107-127.
- Béchet A., Samraoui B., 2010. Plan d'action pour le Flamant rose *Phoenicopterus roseus* en Algérie. Centre de recherche de la Tour du Valat, Arles, France.
- Bellaoueur A., 2008. Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie). Mémoire de Magister, Université El-Hadj Lakhdar, Batna (Algérie), 145p.
- Benchetrit M., 1956. Les sols d'Algérie. *Revue de Géographie Alpine*, 44: pp 749-761.
- Bensizerara D., Chenchouni H., Si Bachir A., Houhamdi M., 2013. Ecological status interactions for assessing bird diversity in relation to a heterogeneous landscape structure. *Avian Biology Research*, 6: pp 67-77.
- Benziane A., 1983. Problèmes géologiques et hydrogéologiques de la Sebkhias Ben Ziane (Nord-ouest algérien). Thèse de Doctorat, Université C. Bernard, Lyon 1 (France), 194p
- Berzins, R., Belbachir F., 2006. Compte-rendu de la deuxième réunion de l'Observatoire du Guépard en Régions d'Afrique du Nord (OGRAN), 20-25 Novembre, Tamanrasset, Algérie.
- Blanco J.L., Hrbek T., Doadrio I. 2006. A new species of the genus *Aphanius* (Nardo, 1832).

- Bouabdallah E.H., 1990. La végétation steppique sur sols salés des hautes-plaines sudalgéroises. Composition, Structure et Production. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay (France), 163p.
- Bouldjedri M., De Bélair G., Mayache B., Muler S.D., 2011. Menaces et conservation des zones humides d'Afrique du nord le cas du site Ramsar de Beni-Belaid (NE algérien). C.R. Biologies, 334: pp 757-772
- Boulekhssaim M., Houhamdi M., Samraoui B., 2006. Status and diurnal behaviour of the Shelduck *Tadornatadorna* in the Hautsplateaux, northeast Algeria. Wildfowl, 56: pp 65-78.
- Bounouala M., Remli S., Talhi K., 2015. Geochemical and mineralogical study for purpose of crystallization process optimization by solar energy: in the case of chott Merouane El-Oued Algeria, 5th Maghreb Conference on desalination and Water Treatment, 21-24 decembre. Hammamet Tunisie.
- Boutaiba S., Hacène H., Bidle K.A., Maupin-Furlow J.A., 2011. Microbial diversity of the hypersaline Sidi Ameur and Himalatt salt lakes of the Algerian Sahara. Journal of Arid Environments, 75: pp 909-916.
- Boutin C. Boulal M., Boulanouar M., Coineau N., Ghlala A.; Merzoug D., Messouli M. Bouzid A., Yousfi J., Boukhssaim M., Samraoui B., 2009. First successful nesting of the Greater Flamingo *Phoenicopterus roseus* in the Algerian Sahara. Alauda, 77: pp 139-143.
- Brander L.M., Raymond J. G., Florax M., Vermaat J.E., 2006. The empirics of wetland valuation: a comprehensive summary and a meta-analysis of the literature. Environmental Resource Economics, 33: pp 223-250.
- Bryant R.G., 1999. Application of AVHRR to monitoring a climatically sensitive playa. Case study: Chott El Djerid, southern Tunisia. Earth Surface Processes and Landforms, 24: pp 283- 302.
- Bryant R.G., Rainey M.P., 2002. Investigation of flood inundation on playas within the zone of Chotts, using a time-series of AVHRR. Remote Sensing of Environment, 82: pp 360-375.
- Chaieb M. and Zaâfour M.S., 2000. L'élevage extensif, facteur écologique primordial de la transformation physiologique du cortège floristique en milieu steppique tunisien. Options Méditerranéennes, A/39: pp 119-222.
- Chown D. D., Linsley M., 1994. Wetlands in northern Algeria and coastal Tunisia. Sandy, U.K: Royal Society for the protection of Birds edition.
- Coque R., Tricat J., Cailleux A., 1972. Le modèle des régions sèches, traité de géomorphologie. Annale de Géographie, 81: pp 734-740.
- Cornet A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Rev. Géog. Phys. et Géol. Dyn. VI (1), pp 5- 72.
- CSF, Comité des Salines de France 2010, Le Sel, Questions et Réponses, 51p
- Demnati F., Allache F., Ernoul L., Samraoui B., 2012. Socio-Economic stakes and perceptions of wetland management in an arid region: a case study from Chott Merouane, Algeria. Ambio, 41: pp 504-512.
- Demnati F., 2012. Biodiversité et Enjeux Socioéconomiques des lacs salés (Chotts et Sebkhass) d'Algérie. Cas du Chott Merouane et Melghir, Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, pp 12-31.

Desmet K., Maziz S. B., Fellous A., Belbachir F., Bazi-Belbechir A., Comizzoli P., Wacher T., 2007. Inventaires de la faune sauvage des zones désertiques en Algérie (Grand Reg Occidental). Rapport de mission 3-15 Mars. Sahara Conservation Fund.

D.G.F., 2004. Atlas des zones humides algériennes d'importance internationales. Alger : D.G.F. édition.

Dijkema K.S., Beeftink W.G., Doody J.P., Gehu J.M., Heydemann B., Rivas Martinez S., 1984. La végétation halophile en Europe (prés salés). Strasbourg: Council of Europe edition.

Direy F., 1960. Géologie et géomorphologie et hydrogéologie souterraine. Colloque Général sur le problème de la zone aride, 11-18 mai, Paris.

Djilic., 2000. Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l'Algérie. Sécheresse, 11: pp 37- 43.

Dresch J., 1954. Mouvements du sol quaternaire au Maghreb Oriental. Annale de Géographie, 63: pp 61-62.

Drouhin G., 1960. Possibilité d'utilisation de ressources hydrauliques limitées en Algérie. Colloque général sur les problèmes de la zone aride, 11-18 mai 1960, Paris.

Dubost D., 2002. Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Biskra: C.R.S.T.R.A. édition.

Dubuis A., Simonneau P., 1957. Les unités phytosociologiques des terrains salés de l'Ouest Algérien. Bulletin des Travaux des Sections Pédologie et Agrologie, 3: pp 5-23.El- Oued, Ministère de L'Energie et des Mines, Algérie

ENASEL 2011, Rapport inédit, Entreprise d'Exploitation du sel, plan de récolte de sel, Chott Merouane, 11p.

ERESS (1972) Etude des ressources en eau dans le Sahara Septentrional. U.N.E.S.C.O. Rapport final,annexe 7. Paris.

Faculté Polytechnique de Mons - Service de Génie Minier, Essai de compression uniaxiale. [www.umons.ac.be/mecaroc](http://www.umons.ac.be/mecaroc).

Frochet B., 2002. Biodiversité : Des gènes au processus. Faune sauvage, 256: pp 18-24

F. Yettou., A. Malek ., M. Haddadi ., A. Gama., 2009. Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie. Revue des Energies Renouvelables Vol.12 N°2 pp 331 – 346.

Gousskov N. (1952). Le problème hydrogéologique du bassin de l'Oued R'hir (La géologie et le problème de l'eau en Algérie .Tome II- Données sur l'hydrogéologie algérienne).XIXe congrès géologique international.

- Hadj Ammar M. A., Benhaouaet B., Balghouthi M., 2015, Simulation of tubular adsorber for adsorption refrigeration system powered by solar energy in sub-Sahara region of Algeria, *Energy Conversion and Management*, pp 106: 31 – 40
- Hacène H., Rafea F., Chebhounia N., Boutaibaa S., Bhatnagarb T., Barattib J.C., Ollivier B., 2004. Biodiversity of prokaryotic microflora in El Golea salt lake, Algerian Sahara. *Journal of Arid Environments*, 58: pp 273–284.
- Hacini M., Kherici N., Oelkers H.E., 2008. Mineral precipitation rates during the complete evaporation of the Merouane Chott ephemeral lake. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: pp 1583-1597.
- Hacini M., Kherici N., Oelkers E.H., 2010. Le lithium dans les lacs salés des régions désertique ; cas du chott Merouane sud-est de l'Algérie ; comportement, origine, potentialités et perspectives. *Bulletin du Service Géologique National*, 21: pp 151-164.
- Haddane A., Hacini M., Bellaoueur A., 2015. Hydrochimie et facies géochimiques des saumures du chott baghdad (sud algerien), troisieme colloque international sur la géologie du sahara ressources minérales, énergétiques, hydrocarbures et eaux Ouargla, le 09 et 10 decembre.
- Halitim A., 1985. Sols des régions arides d'Algérie. Alger : O.P.U. édition.
- Hammada S., Dakki M., Ibn Tattou M., Ouyahya A., Fennane M., 2004. Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc. Flore rare, menacée et halophile. *Acta Botanica Malacitana*, 29 : pp 43-66.
- Hart J., 1996. Storm over Mono. The Mono Lake battle and the California water future. Berkeley, USA: University of California Press edition.
- Houhamdi M., Bensaci T., Nouidjem N., Bouzegag A., Saheb M., Samraoui B., 2008. Écoéthologie du Flamant rose (*Phoenicopterus roseus*) hivernant dans les oasis de la Vallée de l'Oued Righ (Sahara algérien). *Aves*, 45: pp 15-27.
- Hurlbert S.H., Chang C.C.Y., 1983. Ornitholimnology: effects of grazing by the Andean flamingo (*Phoenicoparrus andinus*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 80: pp 4766-4769.
- Incorvaia G., 2004. Etude des facteurs potentiellement limitant la répartition du Fennec *Fennecus zerda*. Thèse de Doctorat, Université C. Bernard, Lyon 1 (France).
- Jean-Paul et Jean-Pierre Rivron (2012), Lagarzette, Aspects Chimiques et physiques du marais salant, 30 p.
- Jellison R., Williams W.D., Timms B., Alcocer J., Aladin N.V., 2008. Salt lakes: values, threats and future. In: *Aquatic Ecosystems*. Cambridge, UK: Cambridge University Press edition.
- Joly F. 2006. Les eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des déserts. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4: pp 285-298.

- Kadri M., M. Étude géochimique comparative des deux cycles géochimique dans les zones désertiques (Cas du chott Merouane) (2012)., Thèse de Magister, département de sciences de la terre et de l'univers, université d'Ouargla, 175 p.
- Kaiser H., Gordon A.K., Paulet T.G., 2006. Review of the African distribution of the brine shrimp genus *Artemia*. *Water SA*, 32: pp 597-603.
- Kara M.H., Amarouyache M., 2012. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Algeria. *International Journal of Artemia Biology*, 2: pp 40-50
- Khadraoui, A., 2006. *Eaux et sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement)*. Constantine : EMPAC édition.
- Khadraoui A., 2010. *Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes. Caractérisation–contraintes et propositions d'aménagement*. Alger: O.P.U. édition. 2001.
- Khaznadar M., Vogiatzakis I.N., Griffiths G.H., 2009. Land degradation and vegetation distribution in Chott El Beida wetland, Algeria. *Journal of Arid Environments*, 73: pp 369-377.
- Koopmanschap E., Hammami M., Klok C., 2011. *Lac Ayata dans la Vallée d'Oued Righ. Quick-scan of options and preliminary recommendations for the Management of Lake Ayata in the Valley of Oued Righ*. Wageningen: Centre for Development Innovation Wageningen UR edition.
- Larafa M., 2004. *Dynamique de la végétation halophile en milieu aride et semi- aride au niveau des chotts (Melghir, Merouane et Bendjeloud) et Oued Djeddi en fonction des conditions du milieu*. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie).
- Lefeuvre J.C., 1992. Biodiversité et territoire agricole. *Economie Rurale*, 208 : pp 79-84.
- Le Houérou, H.N., 2001. Biogeography of the arid steppeland North of the Sahara. *Journal of Arid Environments*, 48: pp 103-128.
- Mackenzie A., Ball A. S., Virdee S. R., 1999. *L'Essentiel en Ecologie*. Paris: Berti édition.
- Mahowald N.M., Bryant R.G., Coral J.D., Steinberger L., 2003. Ephemeral lakes and desert dust sources. *Geophysical Research Letters*, pp 30: 1-4.
- Mathevet R., 2000. *Usages des zones humides Camarguaises : Enjeux et dynamiques des interactions Environnement/ Usages/Territoire*. Thèse de Doctorat, Université Jean Moulin, Lyon 3 (France).
- Mathevet R., 2006. *Faut-il finir avec le développement durable ? Regard sur les zones humides Méditerranéennes*. Atelier de l'Éthique, 1: pp 71-79.
- Médail F. Diadema K., 2006. Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro et micro-régionales. *Annale de Géographie*, 651: pp 618-640.
- Messaoud H., Kherici N et Eric h. O., 2000. *Evolution des saumures (Chlore et sodium) Morgan N.C, Boy V., 1982. Boy an ecological survey of standing waters in an ecological Tunisia, Libye : gestion commune d'un bassin transfrontalier*. Collection Synthèse 1: pp 48.
- Mouelhi S., Balay G., Kraïñ M., 2000. Branchiopodes (Cténopodes et Anomopodes) et Copépodes des eaux continentales d'Afrique du Nord : Inventaire et biodiversité. *Zoosytema*, 22: pp 731-748.

- Nedjimi B., Daoud Y., 2006. Effect of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on the growth, water relations, proline, total soluble sugars and ion content of *Atriplexhalimus* subsp. *schweinfurthii* through in vitro culture. *Anales de Biología*, 28: pp 35-43.
- OSS. (Observatoire du Sahara et Sahel). 2008. Système aquifère du Sahara septentrional (Algérie, Ozenda P., 1958. Flore du Sahara Septentrional et Central. Paris : C.N.R.S. édition.
- Pierre B., 2009, L'exploitation Du Sel, 10 p.
- Pouget M., 1980. Les relations sol-Végétation dans les steppes sud-algérien (Algérie).
- Ramsar, 2005. Fiche descriptive sur les zones humides, Chott Melghir, Wilaya d'El Oued, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie, 13 p.
- R.Bernard., G. Menguy., M. Schwartz .,20001. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications. 25 p.
- Remli S., Bounouala M., Rouaguia I., 2017. Modélisation des angles d'héliostats pour optimiser la production du sel solaire. First arab conference on technical engineering, 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup>december, Algeria
- Remli S., Bounouala M., 2016. Optimization of the crystallization process by solar energy with the use of a black body: case of the chott Merouane - El-Oued, National Seminar on Industrial Processes and Energy Economics SNPIEE, 10-11 October, Echahid Hamma Lakhdar University El-Oued.
- Remli S., Bounouala M., Rouaguia I., 2018. Experimentation of an evaporation-crystallization process of solar salt from Merouane chott (South-east Algeria), Scientific Bulltin of national mining university.
- Saltec, L., 1983. Avant projet exploitation du Chott Merouane.Sonarem/Ded.
- Samraoui B., 2002. Branchiopoda (Ctenopoda and Anomopoda) and Copepoda from eastern Numidia, Algeria. *Hydrobiologia*, 470: pp 173–179.
- Samraoui B., Chakri K., Samraoui F., 2006. Large branchiopods (Branchiopoda: Anostraca, Notostraca and Spinicaudata) from the salts lakes of Algeria. *Journal of Limnology*, 65: pp 83-88.
- Samraoui B., Samraoui F., 2008. An ornithological survey of Algerian wetlands: Important Bird Areas, Ramsar sites and threatened species. *Wildfowl*,pp 58: 71-96.
- Samraoui F., Alfarhan A.H., Al-Rasheid K.A.S., Samraoui B., 2011. An appraisal of the status and distribution of waterbirds of Algeria: indicators of global changes? *Ardeola*, 58: pp 137-163.
- Schulz E., Abichou A., Hachicha T., Pomel S., Salzmann U., Zouari K., 2002. Sebkhas as ecological archives and the vegetation and landscape history of southeastern Tunisia during the last two millennia. *Journal of AfricanEarth Sciences*, 34: pp 223–229.

Servant V. S., 1983. Les Diatomées des sédiments superficiels de quelques lacs salés de Bolivie. *Sciences Géologiques Bulletin*, 36: pp 249 – 253.

Si Bachir A., Ferrah F., Barbraud C., Céréghino R., Santoul F., 2011. The recent expansion of an avian invasive species (the Cattle Egret *Ardea ibis*) in Algeria. *Journal of Arid Environments*, 75: pp 1232-1236.

Si Bachir A., 2008. Connaissances et mises en valeur des ressources biologiques des zones humides du sud-constantinois (Algérie). Séminaire internationale sur la biodiversité et la conservation des zones humides nord africaines. 2-4 décembre, Université de Guelma, Algérie.

Stone O.R., 1967. A desert glossary. *Earth- Science Reviews*, 3: pp 211-268.

Timms B.V., 2005. Salt lakes in Australia: present problems and prognosis for the future. *Hydrobiologia*, 552: pp 1-15.

UNESCO., 1972. Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapports sur les résultats du projet conclusion et recommandations. Paris: UNESCO édition.

Vladimir M., Sedivy., 2006. Upgrading and refining of salt for chemical and human consumption. Salt Partners, Zurich, Switzerland. PP 1-10.

Williams W.D., 2001. Anthropogenic salinisation of inland waters. *Hydrobiologia*, 466: pp 329-337.

Williams W.D., 2002. Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *Environmental Conservation*, 29: pp 154–167.

Yacoubi-Khebiza M., 2009. Importance, dans les zones arides et semi-arides, de la biodiversité des faunes aquatiques souterraines. Actes du Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides, 22-24 Novembre, Université d’Ouargla, Algérie.

Yan J.P., Hinderer M., Einsele G., 2001. Geochemical evolution of closed-basin lakes: general model and application to Lakes Qinghai and Turkana. *Sedimentary Geology*. 148: pp 105–122.

Zammouri M., Siegfried T., El-Fahem T., Kriâa S., Kinzelbach W., 2007. Salinization of groundwater in the Nefzawa oases region, Tunisia: results of a regional- scale hydrogeologic approach. *Hydrogeology Journal*, 15: pp 1357–1375.

Zemmouri A., 1991. A note on the genus *Artemia* in Algeria. *Hydrobiologia*, 212: pp 231-233.

## Résumé

L'extraction des saumures pompées à partir du Chott est réalisée par un système de cristallisation dans des bacs à sel. Le sel solaire est cristallisé par l'évaporation de la saumure dans les bassins de sel pendant une période assez longue (décembre à juillet), le climat de cette région est aride. Ceci affecte la période de récolte tel que le durcissement de la couche de sel par évaporation en raison de sa précipitation et son assèchement à la fin de la cristallisation. Pour résoudre ce problème, il est impératif de connaître les caractéristiques géochimiques et minéralogiques du sel de Chott Merouane et l'influence des conditions climatiques sur le phénomène de cristallisation solaire. Ainsi, une contribution géochimique et minéralogique nous permettra de récolter une banque d'informations pour optimiser le processus de cristallisation et améliorer la qualité du produit marchand. Afin d'atteindre ses objectifs, un développement des systèmes de miroirs plats et corps noir dans les bacs de saumures, alors ils capteront plus d'énergie solaire pour accélérer le processus de cristallisation du sel, il y a donc une optimisation du temps nécessaire pour mieux gérer le flux de la récolte de sel.

**Mots-clés :** Algérie, Chott Merouane, Miroir, Corps noir, Energie solaire, Cristallisation, Sel.

## Abstract

Extracting salt brines pumped from the Chott is realized by crystallization system in salt pans. Solar salt is crystallized through the evaporation of brine in the salt pans for an extended period (December to July), the climate of this region is arid. This affects the period of harvest: hardening of salt layer, evaporated by reason of the precipitation and drying at the end of crystallization. To resolve this behavior, it is imperative to know the geochemical and mineralogical characteristics of chott Merouane salt and the influence of climatic conditions on the crystallization phenomenon solar. Thus, a geochemical and mineralogical contribution will allow us to harvest a bank of information to optimize the crystallization process and to improve the quality of the commercial product. In order to achieve its objectives, a development of flat mirrors and black body systems in the brine pans, those will capture more solar energy for accelerate the process of salt crystallization, so there are an optimization of time stay is needed to better manage the flow of the salt harvest.

**Keywords:** Algeria, Chott Merouane, Mirror, Black body, Solar energy, Crystallization, Salt.

## ملخص

استخراج المحاليل الملحية التي يتم ضخها من الشط في أحواض الملح بواسطة نظام التبلور. يتم بلورة الملح الشمسي من خلال تبخر المياه المالحة في أحواض الملح لفترة ممتدة (من ديسمبر إلى يوليو)، ومناخ هذه المنطقة جاف مما يؤثر هذا سلبا على فترة الحصاد الذي يؤدي الى صلابة طبقة الملح وذلك بالتبخر الذي يسبب الترسب والتجفيف في نهاية التبلور. لحل هذا الاشكالية، لا بد من معرفة الخصائص الجيوكيميائية والمعدنية للملح شط مروان وكذا تأثير المناخ على ظاهرة التبلور بالطاقة الشمسية. وبالتالي، فإن المساهمة الجيوكيميائية والمعدنية تسمح لنا بحصاد بنك من المعلومات لتحسين عملية التبلور وتحسين جودة الإنتاج ومن أجل تحقيق هاته الأهداف، يجب تطوير أنظمة مرآة مسطحة وجسم اسود في أحواض المياه المالحة، تلك سوف تستحوذ على المزيد من الطاقة الشمسية لتسريع عملية بلورة الملح، لذلك هناك حاجة إلى تحسين الوقت اللازم لإدارة جيدة لحصاد الملح.

**الكلمات المفتاحية:** الجزائر، شط مروان، مرآة، جسم أسود، طاقة شمسية، تبلور، ملح

*Laboratoire de Valorisation des Ressources Minières et environnement, Université Badji Mokhtar Annaba*

