



# Contribution géochimique-minéralogique et Optimisation du processus de cristallisation par énergie solaire : cas de salin du chott Merouane d'El Oued

REMLI Samir<sup>1</sup>, BOUNOUALA Mohamed<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Université de Larbi Tébessi, Tébessa ; Faculté de sciences et de la Technologie, Département de Génie  
des Mines, ALGERIE

\* Email: ramlisalim39@yahoo.fr

**Résumé**— Le chott Merouane est caractérisé par une région aride à hyperaride. L'exploitation du sel est basée sur l'énergie solaire. La présente étude a pour objectif d'optimiser le processus de cristallisation au niveau de l'unité des Salins Merouane d'El Meghaier, et de cerner l'aspect quantitatif et qualitatif des produits marchands selon les besoins du marché en sel. Dans ces conditions, il est primordial de tenir compte des facteurs climatologiques de la zone d'étude et du phénomène de cristallisation de la saumure par énergie solaire. Pour se faire, une mise au point d'une installation des miroirs plans placés sur les tables salantes serviront à capter les rayonnements solaires par réflexion sur la surface de la saumure. Des tests réalisés durant la période d'évaporation (mois de mai et Juin) sur des bacs d'essais près du lac du chott Merouane révèlent des résultats encourageants par utilisation de miroir ce qui a permis d'accélérer le processus de cristallisation par énergie solaire.

**Mots clés** — Chott Merouane, Energie solaire, cristallisation, Sels.

## I. INTRODUCTION

Avec une superficie de 2.381.741km<sup>2</sup>, l'Algérie est le pays le plus vaste du côté de la méditerranée. Les études actuelles montrent que l'Algérie offre des potentialités intéressantes, à moyen et à long terme, pour investir dans de nombreux projets et de programmes qui contribuent au développement des énergies renouvelables, principalement l'énergie solaire [1].

Le chott Merouane caractérisé par une région aride à hyperaride [2]. L'extraction du sel est basée sur l'énergie. La campagne de récolte du sel débute avec le pompage de la saumure et se termine avec la remise en état des infrastructures et des moyens de récolte, de décembre jusqu' au mois de Juillet. Le procédé consiste en pompage de la saumure à partir du chott à 22° Bé, soit une densité de 1.18g/cm<sup>3</sup> (le pompage commence en début du mois de décembre). 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 la durée de vie de remplissage du chott de l'année en cours. Après la cristallisation du sel ; les récolteurs récupèrent cette couche cristallisée à partir du mois de juin mais ils rencontrent souvent des difficultés énormes à cause du durcissement rapide de cette couche (température très élevée dans la période estivale). Pour résoudre ce problème, l'entreprise utilise des chargeurs, malheureusement ils provoquent la couche contre sel ce qui provoque des altérations au niveau des tables salantes. Le transport du sel s'effectue par des camions vers la station de lavage afin d'éliminer les sels nuisibles et stocker dans des camelles [3].

La présente étude a pour objectif d'optimiser le processus de cristallisation par utilisation, des miroirs à réflexion des rayonnements solaires, sur les bords des tables salantes au niveau du Salin Merouane d'El Meghaier ; donc le but recherché est d'augmenter la production et la qualité du produit marchand et répondre aux besoins du marché.

## II. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET HYDROGÉOLOGIE DU CHOTT MEROUANE

Le chott Melghir (34°15'N,06°17'E) et le chott Merouane (34°10.63'N,6°17.32'E) sont les plus grands lacs salés d'Algérie. Ces Chotts se situent au nord-est du Sahara septentrional et ils font partie du bassin du chott Melghir dans le sud-est d'Algérie couvrant de grandes superficies de 551500 à 337700 ha. L'altitude de ces Chotts est considéré comme la plus basse du nord d'Afrique, il atteint dans certains endroits 31 m au-dessous du niveau de la mer [4]. Les chotts Melghir et Merouane constituent une vaste bande qui s'étale du sud tunisien jusqu'au mont de l'Atlas au nord algérien [5].

L'évaporation de l'eau du Chott surtout en saison sèche donne naissance à des cristaux de sel composés essentiellement du chlorure de sodium [6], qui varie de 0 à 10 cm de profondeur, qui fait de la zone un important



minéral de sel. Autres minéraux identifiés sur la surface du Chott incluent le gypse, calcite, et les argiles. [4].

En raison de l'effet combiné de l'évaporation et des eaux entrées, le Chott Merouane connaît des cycles annuels de remplissage du lac et l'évaporation complète. Il est alimenté par trois principales sources d'eau à savoir le canal de Oued Righ qui draine aussi les eaux urbaines locales, des eaux souterraines provenant de l'aquifère du complexe terminal et des précipitations (Figure 01) [4].



Figure .01. Source d'alimentation du chott Merouane [7]

Le canal long de 150 km draine les eaux jusqu'au chott Merouane. La quantité d'eau totale drainée par le canal de l'Oued Righ a été estimée à  $131,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  durant l'année 1994 [4] (Hacini et al., 2009). Il est alimenté selon Ballais (2010) par les eaux de collecteurs urbains et de soasis.

La part annuelle des eaux souterraines qui alimentent le chott Merouane a été estimée à  $62 \times 10^6 \text{ m}^3$  [8]. Tandis que l'apport des précipitations, selon Hacini et al. (2009), dans l'alimentation du Chott a été estimé par la station météorologique de Touggourt à un volume de  $4,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

### III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

#### A. Études des paramètres Hydroclimatiques du lac du chott Merouane

Avec une série d'observations (1996-2010) on y a données les courbes de variation de :

##### 1) l'évaporation moyenne mensuelle:

Deux conditions doivent être remplies pour permettre l'évaporation continue. Il doit y avoir une alimentation en énergie pour fournir de la chaleur latente de vaporisation, et il doit y avoir un mécanisme pour éliminer la vapeur, à savoir qu'il doit y avoir un évier pour la vapeur [9].

La figure 02(a) montre une allure aussi simple, avec une tendance qui se diminue vers les mois de la saison hivernale suivie par une croissance une fois ont allant

vers les mois de la saison estivale, cette fluctuation de l'évaporation est gouvernée par la variation de la température [10].

##### 2) La précipitation moyenne mensuelle des eaux:

La figure 02(b), montre que le mois de janvier est le plus arrosé avec 19,14 mm et le mois de juillet est le plus sec avec 0,87 mm.

##### 3) La température moyenne mensuelle:

La figure 02 (c) montre que le mois de juillet est le plus chaud où on y a enregistré  $33,50^\circ\text{C}$  et le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne de  $10,30^\circ\text{C}$ .

L'influence de la température sur la qualité chimique se fait sentir pendant la période d'été, où on y a constaté une concentration des éléments par évaporation.

##### 4) La vitesse du vent:

La figure 02 (d) montre que la vitesse du vent est stable de l'ordre de 3 m/s mis à part la période (mars, juillet) où on y a enregistré leur augmentation allant de 3,31 à 4,13 m/s.

##### 5) L'humidité de l'air:

Elle est marquée par deux périodes bien distinctes, figure 02 (e), du mois d'octobre au mois de février ; c'est une période relativement humide vue qu'on y a enregistré des pourcentages supérieurs à 50 % avec une croissance de 51,69 % vers un maximum de 65,85 % au mois de décembre. Du mois de mars jusqu'au mois septembre : c'est une période sèche, où le taux d'humidité diminue pour aboutir à un minimum de 34 % au mois d'août.

##### 6) La durée d'insolation :

La région reçoit une quantité de la lumière solaire très importante durant tous les mois de l'année, avec un maximum de l'ordre de 358 heures au mois de juillet et un minimum au mois de janvier de 229 heures, figure 02 (f), [10].

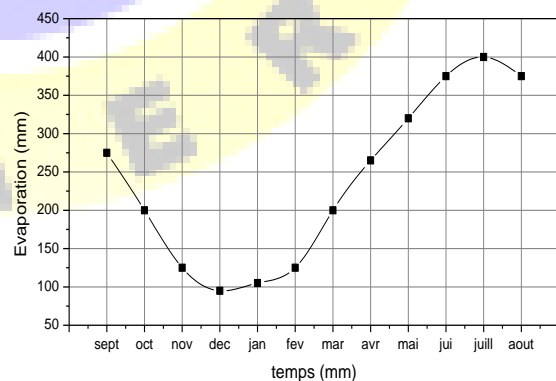


Figure .02.(a) Courbe d'évaporation moyenne mensuelle durant la période (1996-2010)

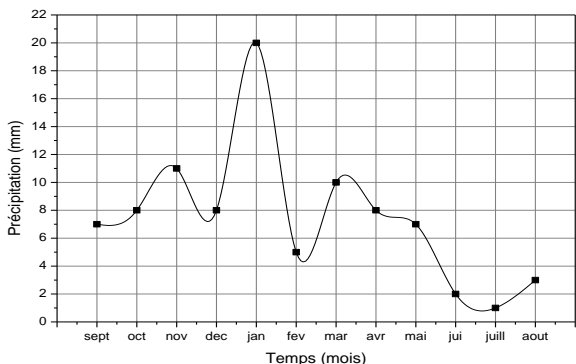


Figure .02 (b). Courbe de précipitation moyenne mensuelle durant la période (1996-2010)

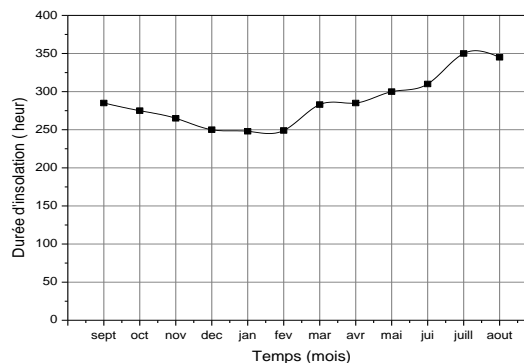


Figure .02 (f). Courbe de durée d'insolation moyenne mensuelle durant la période (1996-2010)

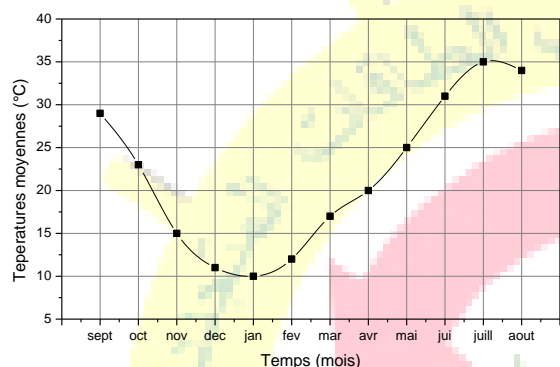


Figure .02 (c). Courbe de température moyenne mensuelle durant la période (1996-2010)

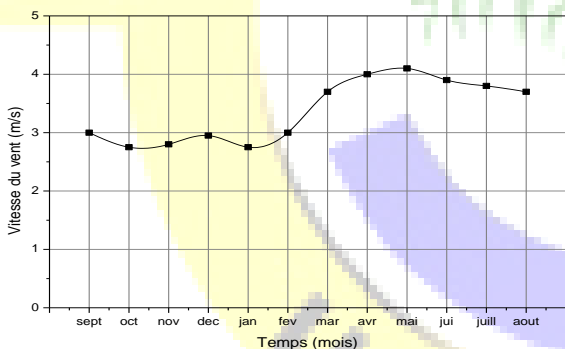


Figure .02 (d). Courbe de vitesse moyenne du vent mensuelle durant la période (1996-2010)

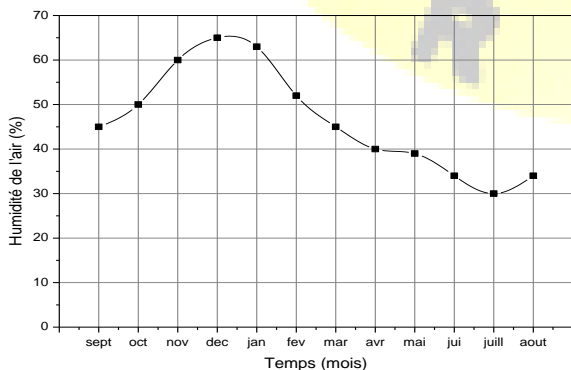


Figure .02 (e). Courbe d'humidité d'air moyenne mensuelle durant la période (1996-2010)

### 7) Le flux solaire de la région d'El Oued:

La région d'El Oued est caractérisée par un niveau élevé de potentiel solaire. Comme il est montré sur la figure.02 (g). Cette région a un flux solaire annuel moyen de  $4,85 \text{ kW h / m}^2$  avec une période d'insolation totale de  $3900 \text{ h / an}$ . On peut voir que l'hiver a un potentiel moins d'énergie solaire avec une radiation solaire quotidienne moyenne varie entre  $3,17$  et  $3,77 \text{ kW h / m}^2$ . L'énergie solaire devient très importante entre Avril et Septembre lorsque la radiation solaire quotidienne moyenne varie de  $4,93$  à  $7,54 \text{ kWh / m}^2$ . [11]

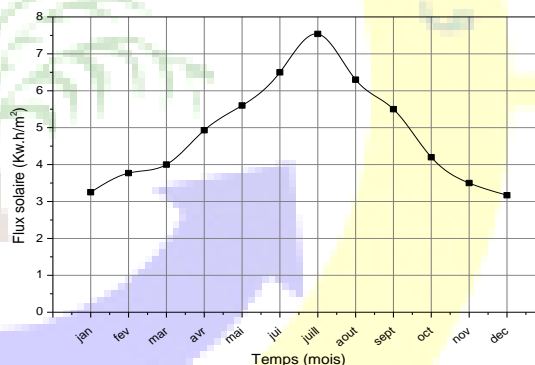


Figure .02 (g). Courbe de flux solaire durant toute l'année dans la région d'el Oued.

## IV. EXPÉRIMENTATION :

Dans cette étude, deux essais sont fait près du chott Merouane durant les mois Mai et juin qu'ils sont caractérisés d'une part, l'existence de la saumure dans le chott, et d'autre part, le ciel clair.

### A. Premier essai :

Le premier essai a débuté à partir de la journée 10/05/2015 jusqu'à 01/06/2015. Les bacs avec de dimension de  $1\text{m} \times 1\text{m}$  soit une surface de  $1\text{m}^2$  de chaque un Figure 03, ils sont en acier inoxydable, ses bases en deux couches l'une en inférieure est en argile et





l'autre en couche contre sel, ses parois extérieures sont couvres par des plaques en bois afin d'éviter ses échauffements par les rayonnements solaires (représentation d'une table salante au maximum), Ils sont installé près du chott et remplis par la saumure d'une densité de  $22B^\circ$  mesuré par un densimètre soit  $1.18 \text{ g/cm}^3$ , avec une épaisseur de couche d'eau de  $200 \text{ mm}$  de chaque un, le premier bac est équipé par un miroir standard plan (simple) revêtu en aluminium avec coefficient de réflexion de  $88\%$ , avec une surface de  $30 \text{ cm}$  de hauteur et  $35 \text{ cm}$  de largeur soit  $0.12 \text{ m}^2$  ( $3.3\%$  de la surface du bac), le deuxième est témoin, le miroir installé capte les rayons solaires et il les reflète 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. À midi le miroir se déplace complètement derrière du bac afin de continuer la réflexion des rayonnements solaires dans les heures après midi.

Un suivi journalier de mesure durant la période d'essai de la température d'air et de la saumure en  $^\circ\text{C}$  pour les deux bacs grâce à un thermomètre et essentiellement l'évaporation en  $\text{mm}$  par un évaporomètre pour les deux bacs.



Figure .03. photo des bacs durant l'essai

#### B. Deuxième essai :

Le deuxième essai a fait de même procédure du premier à partir de la journée  $25/05/2015$  jusqu'à  $12/06/2015$ , mais avec un agrandissement de la surface du miroir qu'elle à  $70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$  soit  $0.49 \text{ m}^2$  soit  $49\%$  de la surface du bac qui fait la réflexion à la surface de la saumure dans le bac.

#### V. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS :

Le suivi journalier du 1<sup>er</sup> essai de l'évaporation du bac avec miroir plan et celui témoin donne des résultats illustrés dans le tableau 01.

L'influence de l'excès de température générée par la réflexion des rayons solaires sur le miroir plan dans la surface de saumure dans le bac est apparait dans les courbes de figure .04. Qui due à l'augmentation de la vitesse d'évaporation d' $1 \text{ mm}$  par rapport à celle du bac témoin. Une coïncidence des courbes dans la période de  $15/08/2015$  jusqu'à  $17/05/2015$  à cause de l'intempérie (les rayonnements solaires cachés). La quantité d'eau dans la saumure du bac avec miroir se termine son évaporation en  $28/05/2015$  par contre, le bac témoin continue son évaporation jusqu'en  $03/06/2015$ , alors une formation d'une couche de sel cristallisé près à la récolte, elle a pris environ  $23$  jours de  $10/05/2015$  à  $01/06/2015$  pour la saumure exposé directement aux rayonnements solaires (bac témoin) et  $18$  jours pour la saumure exposé aux rayons reflétés par le miroir plan, donc une bénéfice de  $4$  jours sans l'exception (les jours intempéries, soit un taux d'optimisation du processus de cristallisation environ de  $17\%$  ( $4/23$ )).

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, un écart entre eux donne des résultats illustrés dans le tableau 02.

Cet agrandissement suggère qu'il a un écart plus de  $3$  à  $4 \text{ mm}$ ; entre la courbe d'évaporation du bac avec miroir et celui témoin figure .05. qui due à la diminution de durée de séjour de la cristallisation finale du sel qu'elle a pris  $19$  jours ( $25/05/2015 - 12/06/2015$ ) de durée totale de l'essai; dont  $5$  jours gagnés ( $08/06/2015 - 01/06/2015$ ) soit un taux d'optimisation environ de  $25\%$  ( $5/19 = 0.25$ ).

La diminution des courbes durant les deux essais vers les valeurs les plus basses de  $2$  à  $1 \text{ mm}$  suggère que la vitesse d'évaporation diminue lorsqu'elle proche à la cristallisation finale du sel, avant cette dernière; les courbes d'évaporation avec miroir sont symétriques aux celles d'évaporation témoin.



# Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algeria 24 - 25 Octobre 2016



Date (Jour)	Epaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), mm		Evaporation, mm		Ecart <sup>c</sup> mm	Observation météorologique
	Bac témoin	Bac avec miroir	Bac Témoin <sup>a</sup>	Bac avec miroir <sup>b</sup>		
10/05/2015	200	200	-	-	-	Ciel clair
11/05/2015	190	189	10	11	1	Ciel clair
12/05/2015	181	179	9	10	1	Ciel clair
13/05/2015	172	169	9	10	1	Ciel clair
14/05/2015	164	160	8	9	1	Ciel clair
15/05/2015	155	150	9	10	1	Nuageux
16/05/2015	149	144	6	6	0	Vent
17/05/2015	140	135	9	9	0	Vent
18/05/2015	130	125	10	10	0	Ciel clair
19/05/2015	123	117	7	8	1	Ciel clair
20/05/2015	114	107	9	10	1	Ciel clair
21/05/2015	104	96	10	11	1	Ciel clair
22/05/2015	96	87	8	9	1	Ciel clair
23/05/2015	85	75	11	12	1	Ciel clair
24/05/2015	75	64	10	11	1	Ciel clair
25/05/2015	66	54	9	10	1	Ciel clair
26/05/2015	57	46	9	8	1	Ciel clair
27/05/2015	50	43	7	3	1	Ciel clair
28/05/2015	47	40	3	3	0	Ciel clair
29/05/2015	45	-	2	-	-	Ciel clair
30/05/2015	43	-	2	-	-	Ciel clair
31/05/2015	41	-	2	-	-	Ciel clair
01/06/2015	40	-	1	-	-	Ciel clair

$$c = b - a$$

Tableau .01, premier essai, Le suivi journalier de l'épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l'évaporation, l'écart entre les bacs et l'observation météorologique.

Date (Jour)	Epaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), mm		Evaporation, mm		Ecart <sup>c</sup> , mm	Observation météorologique
	Bac témoin	Bac avec miroir	Bac témoin <sup>a</sup>	Bac avec miroir <sup>b</sup>		
25/05/2015	200	200	-	-	-	Ciel clair
26/05/2015	188	184	12	16	4	Ciel clair
27/05/2015	178	170	10	14	4	Ciel clair
28/05/2015	170	159	8	11	3	Ciel clair
29/05/2015	160	145	10	14	4	Ciel clair
30/05/2015	151	133	9	12	3	Ciel clair
31/05/2015	137	115	14	18	4	Ciel clair
01/06/2015	128	103	9	12	3	Ciel clair
02/06/2015	117	88	11	15	4	Ciel clair
03/06/2015	109	77	8	11	3	Ciel clair
04/06/2015	98	64	11	13	2	Ciel clair
05/06/2015	88	52	10	12	2	Ciel clair
06/06/2015	80	44	8	8	0	Ciel clair
07/06/2015	71	40	9	4	-	Ciel clair
08/06/2015	64	-	7	-	-	Ciel clair
09/06/2015	57	-	7	-	-	Ciel clair
10/06/2015	48	-	9	-	-	Ciel clair
11/06/2015	43	-	5	-	-	Ciel clair
12/06/2015	40	-	3	-	-	Ciel clair

Tableau .02, deuxième essai, Le suivi journalier de l'épaisseur de la couche (saumure + sel cristallisé), l'évaporation, l'écart entre les bacs et l'observation météorologique.



**Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables  
The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016**

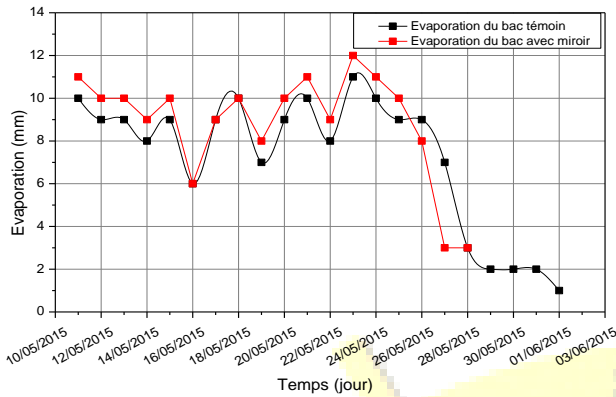


Figure .04. Courbes d'évaporation des saumures du premier essai

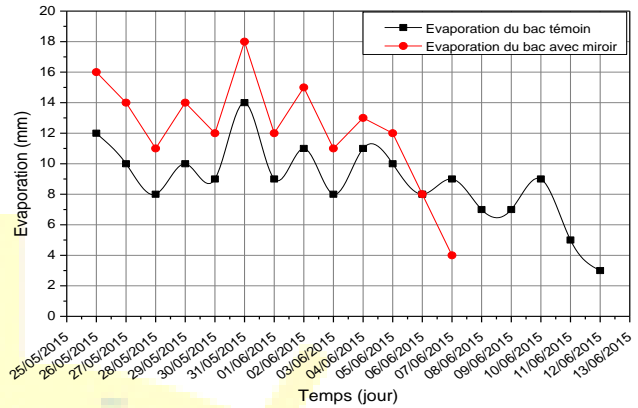


Figure .05. Courbes d'évaporation des saumures du deuxième essai

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 ; ils sont représentés dans le tableau 03. Avec une humidité maximum de 42% figure .06(a). a, et vitesse du vent moyenne de 4m/s figure .06(b), représentés dans les courbes, cette journée représente un climat favorable pour l'évaporation.

Les courbes des températures des saumures du bac avec miroir et celui témoin figure .07. Suggèrent qu'il y a un écart (courbes symétriques) de 1 à 3 °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.

Temps (heure)	Température de saumure du bac avec miroir C°	Température de saumure du bac témoin C°	Température d'air C°	Humidité %	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

Tableau .03. 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

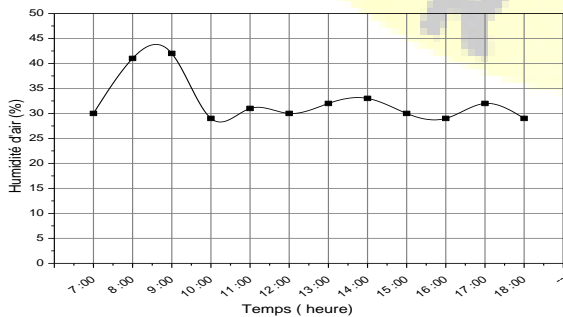


Figure .06(a). Courbe d'humidité d'air de journée 29/05/2015

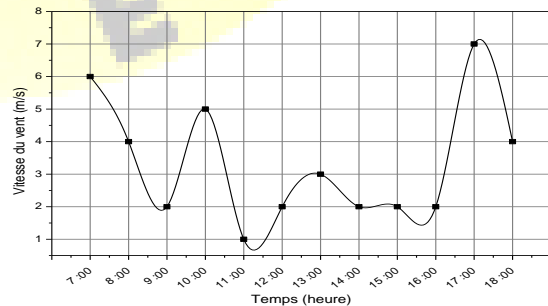


Figure .06(b). Courbe de vitesse du vent de journée 29/05/2015



# Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016

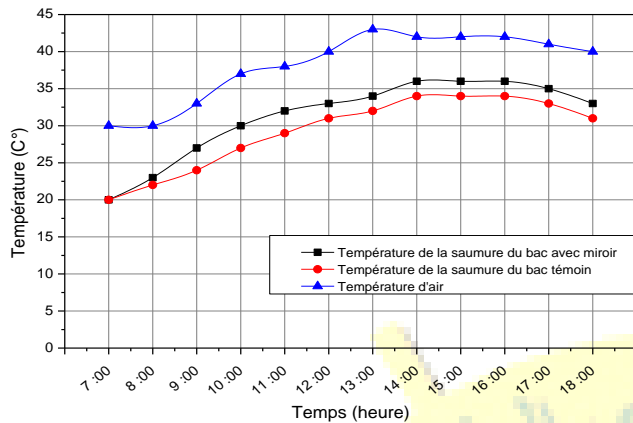


Figure .07. Courbes des températures des saumures du bac avec miroir et celui témoin de journée 29/05/2015

### CONCLUSION

Avec une humidité faible et vitesse du vent favorable, Les essais près du lac du chott Merouane suggèrent qu'il y a une influence d'excès de température générée par la concentration des rayons solaires dans la surface de saumure dans le bac, donc une vitesse d'évaporation accéléré due à une durée de séjours réduite; par rapport au bac témoin. Alors une optimisation de cristallisation du sel par énergie solaire de 25% si la surface du miroir représente 49% par rapport de celle de table salante.

La vitesse d'évaporation de la saumure augmente avec l'agrandissement de la surface du miroir de réflexion.

### Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Journal de la Recherche Scientifique à l'Université de Bechar (Algérie). Nous tenons à remercier A. Hasni, N. Terfaya et A. Bouida pour leur aide dans la préparation de ce document.

### REFERENCES

- [1] J.M. Chasseriau 1984 " Conversion Thermique du Rayonnement Solaire", Dunod, France, 273 pages.
- [2] Ramsar (2002) Fiche descriptive sur les zones humides (chott Melghir).
- [3] ENASEL(2005), Rapport inédit, plan de récolte de sel.
- [4] Hacini M, Kherici N, Oelkers H.E. 2009. Mineral precipitation rates during the complete evaporation of the Merouane Chott ephemeral lake. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72:1583-1597.

- [5] Maho wald N.M, Bryant R.G, Coral J.D, Steinberger L. 2003. Ephemeral lakes and desert dust sources. Geophysical Research Letters, 30:1-4.
- [6] Hacini M., Kherici N., Oelkers E.H., 2010. Le lithium dans les lacs salés des régions désertiques; cas du chott Merouane sud-est de l'Algérie; comportement, origine, potentialités et perspectives. Bulletin du Service Géologique National, 21:151-164.
- [7] Ballais J.L, 2010. Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas-Sahara
- [8] UNESCO, 1972. Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapports sur les résultats du projet. Conclusions et recommandations. Paris: UNESCO édition.
- [9] H. L. Penman (Apr. 22, 1948), Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical, Vol. 193, No. 1032, p122
- [10] ENASEL(2010), Rapport inédit, plan d'exploitation.
- [11] M.A. Hadj Ammar, B. Benhaoua et M. Balghouthi (2015), Simulation of tubular adsorber for adsorption refrigeration system powered by solar energy in sub-Saharan region of Algeria, Energy Conversion and Management, 106 pp 31-40