

EQUILIBRES HYDROLOGIQUES DU LAC MELLAH (COMPLEXE LACUSTRE D'EL KALA)

Reçu le 12/12/2001 – Accepté le 08/07/2003

Résumé

L'hydrologie du lac Mellah, milieu paraliq du complexe lacustre d'El kala (Nord-Est-Algérien) a été abordé. Pour expliquer l'aptitude du Mellah à l'écoulement, nous avons relevé la climatologie de la région de 1968 à 1999, puis quantifié ses échanges avec son bassin versant - de 48,44 Km de périmètre et 81,45 Km² de surface - et avec la mer avant de calculer le renouvellement de ses eaux.

Le lac Mellah s'étale sur 8,76 Km² avec une pluviométrie annuelle de 700 à 900 mm, un excédent d'écoulement de 142,82 mm et un déficit dû à l'évapotranspiration de 635,86 mm. Le lac contient 24000000 m³ d'eau avec une profondeur moyenne de 3 m et une courantologie rectiligne. Quotidiennement, il renouvelle 37671,81 m³ d'eau avec la mer faisant, varier la température des eaux de 14 à 29,7°C et la salinité de 29 à 37 ‰.

Mot clés: Mellah, lac, climatologie, hydrologie, paraliq.

Abstract

The hydrology of the lake Mellah, paralic lake of the complex of El kala (Algerian-North-eastern) was approached. The flow aptitude of Mellah was explained by the climatology data of the area from 1968 to 1999. The exchanges was quantify with the area catchments and the sea before calculating the renewal of water with a catchments area of 48,44Km of perimeter and 81,45 km² of surface; Mellah is spread out over 8,76 km². Through the year the lake receives 700 to 900 mm of rain with a surplus of flow of 142,82 mm and a deficit of with the evapotranspiration of 635,86 mm. The average depth of Mellah is of 3 m and contains 24 000 000 m³ of water with a rectilinear courantology. Daily, the lake renews 37671,81 m³ of water with the sea according to the season, with 1 to 3°C varying the temperature of water of 14 to 29,7°C and the salinity from 29 to 37 ‰.

Keywords: Mellah, lake, climatology, hydrology, paralic.

A.B. DJEBAR
Y. MESSERER
L. TANDJIR
M. BENSOUILAH
Laboratoire EMMAL
Département des Sciences de la Mer
Faculté des Sciences
Université de Annaba
B.P. 12, 23000 Annaba, Algérie

ملخص

تناولت هذه الدراسة هيدرولوجية بحيرة ساحلية متصلة بالبحر في شمال شرق الجزائر "بحيرة الملاح". لمعرفة تكييف بحيرة الملاح مع مستوى تدفق المياه , قمنا بدراسة المعطيات المناخية للمنطقة بين سنة 1968 الى 1999 ثم قيمنا كمية التبادلات مع لأحواض المائية المجاورة لها و أيضا مع مياه البحر. مع أحواض محاذية للبحيرة ذات طول 48.44 كم و محيط يقدر بـ 81.45 كم², الملاح يمتد على 8.76 كم² حيث يستقبل سنويا ما بين 700 و 900 مم من الأمطار مع 142.82 مم قادمة من المياه المتدفقة الى البحيرة , مع العلم أنه هناك نسبة كبيرة تضيق بسبب التبخر والمقدرة 635.86 مم. متوسط عمق الملاح 3م, يحتوي على 24000000 م³. يوميا الملاح يجدد 37671.81 م³ من الماء هذه الكمية المتبادلة تمثل أصل الاختلاف الحراري بين البحيرة والبحر والذي يقدر 1 الى 3 درجات. درجة حرارة مياه البحيرة تتغير بين 14 و 29.7 درجة ونسبة الملوحة تتراوح بين 29 و 37 ‰.

الكلمات المفتاحية: بحيرة ملاح, المناخ, هيدرولوجيا المياه و البحيرات الساحلية.

Les milieux lagunaires du littoral sont, depuis la plus haute antiquité, des sites d'une grande importance économique. Cette réputation, justifiée, est fondée sur l'exploitation de leurs ressources aussi bien minérales que biologiques. L'Algérie a adhéré à la convention de Ramsar en 1983 en classant, les lacs Tonga, Oubeïra et Mellah comme réserve intégrale du parc national d'El-Kala.

Ce complexe se trouve à l'extrême Nord-Est de l'Algérie (Fig. 1). Exceptionnel par ses dimensions et par la diversité de ses conditions de profondeur et de salinité, ce dernier est à l'origine d'une richesse biologique considérable. Situé à 36°53' N et 08°20' E, le lac Mellah, d'une superficie d'environ 837 ha et d'une profondeur maximale de 6 mètres, serait, d'après Morgan [1], un ancien lit d'oued envahi par la mer. Ce site est le seul lac saumâtre de la région, le contact avec la mer lui conférant un gradient de salinité du plus haut intérêt limnologique.

Cette lagune se caractérise par l'abondance des Poissons (50 Kg/ha/an), principalement le Loup de mer *Dicentrarchus labrax*, la Sole commune *Sparus auratus*, la Saupe *Boops salpa*, le Marbré *Lithognathus mormyrus* et l'Anguille *Anguilla anguilla* [2]. Par ailleurs, de nombreuses autres espèces d'Oiseaux, Batraciens et Reptiles fréquentent ce site pour l'abondance de la nourriture. De nombreux auteurs [3-5] montrent que le cycle eau salée - eau douce auquel est soumis le lac influe directement sur la répartition des organismes aquatiques, la composition de la flore algale et la migration de la faune.

Nous avons procédé au diagnostic des principaux facteurs climatiques intervenant dans les écoulements de surface du lac. Ensuite, nous avons estimé les lames d'eau qui lui parviennent de son bassin versant et de la

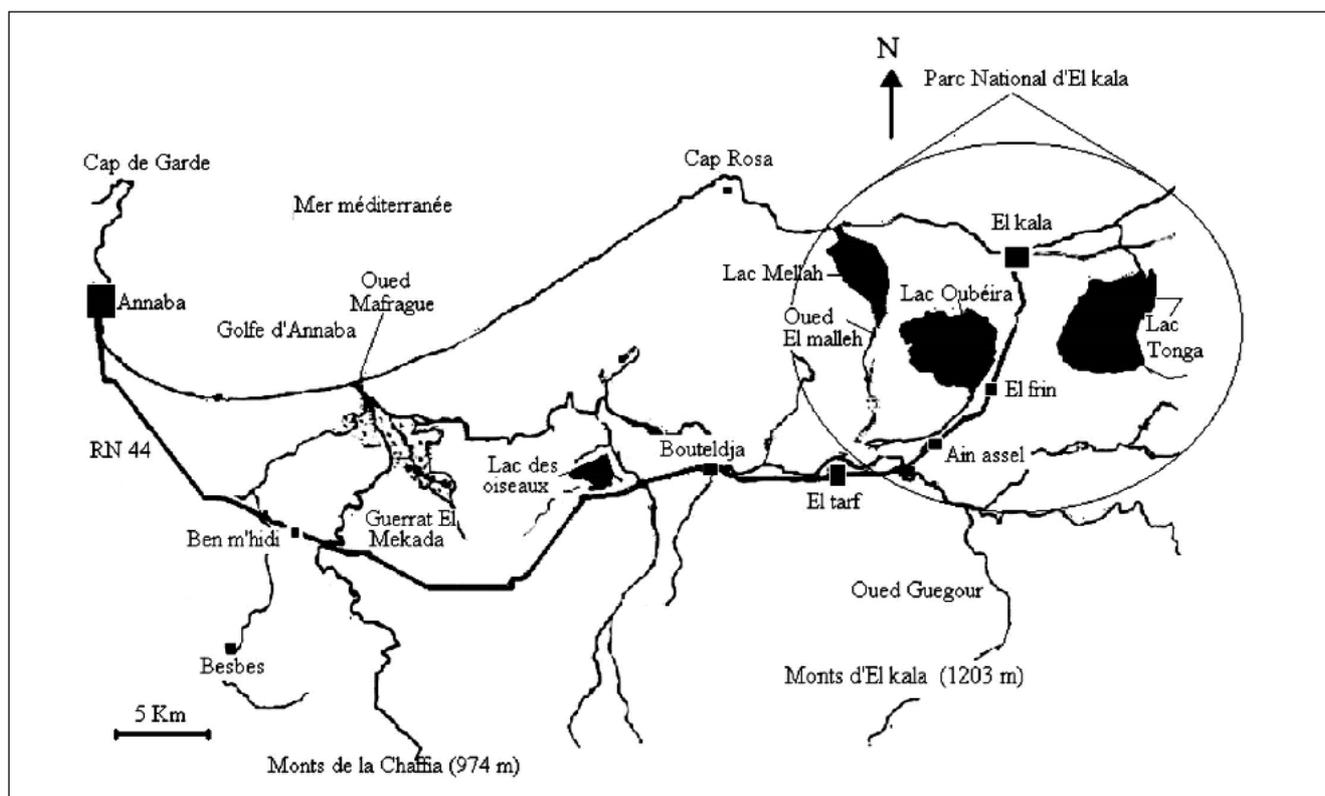


Figure 1: Situation géographique du complexe lacustre d'El Kala.

mer Méditerranée. L'analyse de ces paramètres hydrologiques nous a permis d'élaborer son bilan hydrologique global.

Le double échange du lac Mellah avec son bassin versant de 81,45 Km² de surface et avec la mer grâce à un chenal de 1,50 m de profondeur au contact du lac et 0,50 m à l'embouchure et long d'environ 1 Km, lui confère une grande biodiversité. Ces échanges permettent de maintenir un volume d'eau moyen du Mellah de 24 millions de m³ étalés sur une surface de 8,76 Km² avec des profondeurs maximales de 5,20m et une alimentation pluviale annuelle de 800 mm. Tous les 21 mois, le lac Mellah renouvelle ses eaux avec des taux mensuels d'environ 1,13 millions de m³.

Les fluctuations saisonnières de la température, entre 14 et 29,7°C, sont aussi dues à la variabilité de la salinité allant de 29 à 37 ‰, tout en restant étroitement liée aux phénomènes des marées qui affectent le lac, montrant ainsi l'importance des échanges hydrologiques et thermiques entre ce dernier et la mer.

L'étude hydrologique du lac Mellah nous a été dictée par la curiosité de savoir comment fonctionne ce système paralytique car, outre les intérêts économiques, qui n'ont fait que s'accroître au cours du temps, ce lac, site indispensable aux cycles biologiques et lieu de migration incontournable, joue un rôle écobioologique important pour de nombreuses espèces du domaine marin et continental limitrophe.

MATERIELS ET METHODES

Analyse des facteurs climatiques

Nous avons exploité les données météorologiques des stations d'El-Kala et de Ain El-Assel. L'évaporation, qui

regroupe l'ensemble des phénomènes d'évaporation physique, est scindée en évapotranspiration réelle et potentielle estimées respectivement par les formules de Turc [6] et de Thornthwaite [7].

L'évapotranspiration réelle E.T.R. [6]:

$$E.T.R. = P / \sqrt{a}$$

P : précipitation annuelle en mm,

$$\sqrt{a} = (0.9 + P^2 / L^2),$$

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

T : température moyenne annuelle en °C, avec $E.T.R. \leq P$.

L'évapotranspiration potentielle E.T.P. [7]

$$E.T.P. = 16 [10 t / T]^a K.$$

avec $I = \sum_{i=1}^{12} i$ ou $i = [t/5]^{1.5}$ et $a = 1,6 I / 100 + 0,5$.

T : température moyenne mensuelle en °C, i : indice thermique mensuel, K : coefficient d'ajustement mensuel.

Estimation du bilan hydrologique

Le bilan hydrologique comporte les entrées ou précipitations et les sorties qui sont l'évapotranspiration et l'écoulement. L'équation générale du bilan est:

$$P \text{ (mm)} = E \text{ (mm)} + D \text{ (mm)}.$$

P : Lamme d'eau annuelle moyenne précipitée (méthode de Thiessen in Jacquet [8]).

D : Déficit d'écoulement moyen annuel assimilé ici à l' $E.T.R.$ (selon Turc [6] à partir de P (précédemment défini) et la température moyenne annuelle.

$$E \text{ (mm)} = P - D.$$

E : Lamme d'eau moyenne annuelle écoulée.

Bilan des échanges du lac avec la mer

A partir des valeurs des vitesses des courants des marées, relevées au cours des cycles de 24 h, on calcule les débits d'échanges du lac avec la mer. Ainsi, le débit moyen de chaque demi-heure (Q_1) est égal à :

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{i=15} \bar{V} S_i$$

Q_1 : débit moyen partiel m^3 , \bar{V} : vitesse moyenne m/s , S_i : surface partielle m^2 .

On obtient le débit moyen de chaque marée en faisant la somme des débits moyens partiels. Chaque cycle de marée est caractérisé par 2 types de débits :

Q_I : débit des entrées ou flots, Q_{II} : débit des sorties ou jusants.

Q_I et Q_{II} , débits d'entrées et de sorties journaliers (cycle de 24 h), permettent d'estimer les débits moyens annuels des sorties \bar{Q}_{II} et des entrées \bar{Q}_I du lac.

Echanges hydrologiques du lac avec son bassin versant

Pour calculer les échanges hydrologiques du lac avec son bassin versant on fait appel aux paramètres morphométriques et climatologiques on a :

La superficie d'écoulement et d'infiltration :

$$S_E (Km^2) = S_b - S.$$

S (Km^2) superficie du lac,

S_b (Km^2) superficie du bassin versant.

On calcule les quantités d'eau écoulées selon *Ghorbel*, [9]. Nous avons utilisé la formule dont la droite de régression (l'écoulement) Le (mm) = 0,26P- 80.

L'infiltration efficace I (mm) = $Ex - Le$ (Ex : excédant moyen en mm).

Le bilan hydrologique du lac avec son bassin versant est : $Q_{III} = (\bar{I} + Le) + \bar{P} - ETR$.

Bilan hydrologique global du lac

Le lac Mellah est en interaction avec deux écosystèmes différents, la mer et le continent. Donc, pour avoir un bilan global hydrologique du lac, il faudra combiner les deux types d'échanges hydrologiques avec ce dernier, d'où le débit du bilan d'échange en m^3 :

$$B = (\bar{Q}_I + \bar{Q}_{III}) - \bar{Q}_{II}$$

Le bilan représentant la différence entre les entrées et les sorties d'eau, quelle que soit leur provenance.

\bar{Q}_I : le débit moyen annuel des entrées marines en m^3 .

\bar{Q}_{II} : le débit moyen annuel des sorties lacustres vers la mer en m^3 .

\bar{Q}_{III} : le débit moyen du bilan hydrologique du lac avec son bassin versant en m^3 .

Etablissement du bilan thermo-halin du lac

Pour établir le bilan thermo-halin, on a calculé la moyenne de la température et de la salinité pour chaque flot et jusant. Ensuite, on a calculé la différence des salinités moyennes et des températures moyennes du flot et du jusant

durant un même cycle.

$T_{1moy} - T_{2moy}$ avec T_1 : température moyenne du flot ($^{\circ}C$).

T_2 : température moyenne du jusant ($^{\circ}C$).

$S_{1moy} - S_{2moy}$ avec S_{1moy} : salinité moyenne du flot (‰).

S_{2moy} : salinité moyenne du jusant (‰).

RESULTATS

Les facteurs climatiques

La pluviométrie

Les données pluviométriques ont été relevées des stations météorologiques d'El-Kala et de Ain El-Assel. Ces stations météorologiques sont proches du lac Mellah. Elles enregistrent les hauteurs pluviométriques moyennes sur la majorité de la surface de son bassin versant.

Les moyennes pluviométriques obtenues sur la période de 1968 à 2000 varient entre 390 mm (en 1990/91) et 1243 mm en 1999/2000 (Fig. 2).

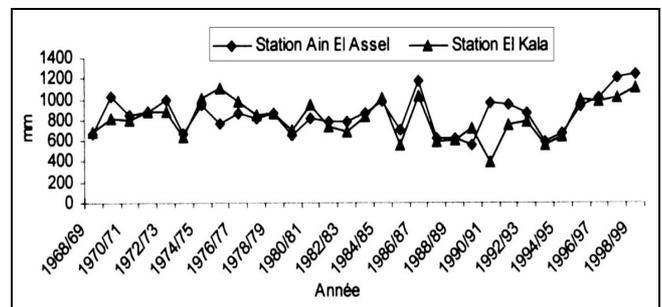


Figure 2: Précipitations annuelles moyennes de 1968 à 2000.

Analyse des températures

Les températures, tout comme les précipitations, trouvent leurs importances dans le calcul de l'évapotranspiration qui est un élément nécessaire à l'établissement du bilan hydrique. Les valeurs mensuelles moyennes des températures depuis 1968 sont représentées dans la figure 3.

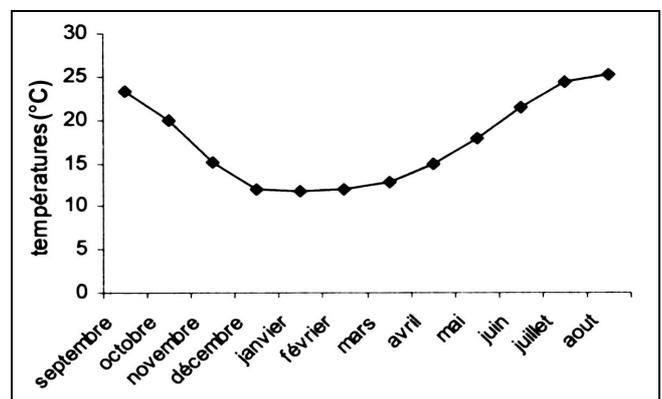


Figure 3: Températures moyennes mensuelles de 1968 à 2000.

L'évaporation

L'évaporation est définie comme la quantité d'eau qui est restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur. A partir

de lois empiriques, on a évalué l'évapotranspiration réelle (*E.T.R.*) et l'évapotranspiration potentielle (*E.T.P.*).

Evaluation de l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) annuelle

Les valeurs moyennes de l'évapotranspiration réelle de 1968 à 2000 sont de 650,4 mm pour la station météorologique de Ain El Assel et de 638,9 mm pour celle d'El Kala.

Evaluation de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.)

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle sont représentées dans le tableau 1.

On constate à partir de ce tableau que les plus grandes valeurs de l'E.T.P. sont mesurées entre juillet et août, et les plus faibles entre décembre et janvier. Ceci est la conséquence des fluctuations importantes des températures d'un mois à l'autre d'une même année, la température étant le seul facteur climatique qui agit sur l'évapotranspiration potentielle.

Le bilan hydrologique

Le bilan hydrologique annuel moyen nous permet de comparer les volumes d'eau dans le bassin versant, au cours d'une année particulière ou sur une série d'années. Ceci nécessite l'établissement du rapport entre les précipitations P_{moy} et l'excédent ou l'écoulement Ex qui sont estimés

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aôut
T(°C)	23,1	19,9	15,2	11,9	11,6	11,9	12,9	14,7	17,9	21,3	24,2	25,0
i	9,9	7,9	5,3	3,6	3,5	3,6	4,1	5,0	6,8	8,7	10,6	11,2
K	0,7	0,7	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	0,9	0,7	0,7
E.T.P (mm)	110,4	73,1	37,3	22,4	22,4	25,0	37,7	54,1	88,2	120,4	152,0	146,3

Tableau 1: Evapotranspirations potentielles (E.T.P.) mensuelles calculées dans la région d'El-Kala de 1968 à 2000. i : indice thermique mensuel, K: coefficient d'ajustement mensuel.

Bassin versant	P moy (mm)	Ex moy (mm)	D moy (mm)
Mellah	778,68	142,82	635,86

Tableau 2: Estimation des différentes lames d'eaux et bilan hydrologique moyen sur une période d'observation de 1968 à 2000 du bassin versant du Mellah.

Années	El Mellah		
	P moy (mm)	D moy (mm)	Ex moy (mm)
1998/99	632,96	508,24	135,66
1999/00	982,91	745,72	250,17

Tableau 3: Bilans hydrologiques annuels moyens durant les années 1998/99 et 1999/00 du bassin versant. P: précipitations, Ex: l'excédent ou écoulement (Ex) et D: déficit d'écoulement.

Cycle	Journalier	mensuel	Annuel
Taux de renouvellement	37.671,81 m ³	1.130.154,30 m ³	13.561.851,60 m ³

Tableau 4: Taux de renouvellement des eaux du lac Mellah.

dans le tableau 2. La pluviométrie moyenne du bassin versant du lac Mellah est égale à 778,68 mm et l'excédent moyen est de 142,82 mm; il ne constitue que le 1/5 des précipitations. L'évapotranspiration réelle qui est le déficit d'écoulement D_{moy} , représente 81,66 % des précipitations.

Toutes ces proportions sont dues à plusieurs facteurs naturels, comme l'étendue du couvert végétale de la région, la température ou encore l'exposition au vent.

Dans le tableau 3, nous avons utilisé les lames d'eau de 2 années successives. Les précipitations des années 1994/95 sont déficitaires contrairement aux précipitations de 1995/96. Malgré cela on constate que la lame d'eau écoulee et le déficit d'écoulement sont fonction de la lame d'eau précipitée.

Le taux de renouvellement des eaux du lac

Le taux de renouvellement Tr du point de vue hydrologique est le temps nécessaire qu'il faut pour un lac pour renouveler son volume d'eau (Tab. 4). D'après la méthode utilisée par la *F.A.O* [10] lors de ses travaux sur le lac Mellah, le taux de renouvellement Tr est égal à (Entrées journalières des eaux marines + sorties d'eau journalières lagunaires)/2.

Le volume global du lac est estimé à 23.665.174,74 m³, le lac se renouvelle donc une fois tous les 21 mois.

Echanges hydrologiques du lac avec la mer

Les principaux facteurs qui régissent les échanges hydrologiques avec la mer sont les courants des marées au large. Suivant les variations du niveau d'eau soulevée verticalement, par rapport au niveau moyen de la mer, les courants se propagent dans un sens ou dans un autre, véhiculant des masses d'eau.

On constate que la marée génératrice des courants dans le lac Mellah se caractérise par 2 comportements bien distincts: la marée au niveau du chenal, est composée d'un flot, d'une inversion et d'un jusant, c'est le comportement d'une marée diurne. Parfois, cette marée comporte 2 flots, 3 inversions et 2 jusants, traduisant un comportement d'une marée semi-diurne. La marée qui concerne le lac Mellah, est de nature mixte, ce qui signifie que pendant 24h elle peut être composée tantôt de 2 pleines mers et 2 basses mers et tantôt d'une pleine mer et d'une basse mer.

Le calcul de la moyenne des volumes échangés sont les suivants :

Entrée journalière $qI = 15641.04 \text{ m}^3$
 Entrée mensuelle: $qI = 469231.2 \text{ m}^3$.
 Entrée annuelle: $qI = 5630774.4 \text{ m}^3$.
 Sortie journalière: $qII = 59702,58 \text{ m}^3$.
 Sortie mensuelle: $qII = 179077.4 \text{ m}^3$.
 Sortie annuelle: $qII = 21492928.8 \text{ m}^3$.

Le débit des sorties moyennes annuelles est 4 fois plus important que le débit des entrées moyennes annuelles.

Le volume d'eau annuel moyen exporté à partir du lac vers la mer, est 4 fois plus important que celui qu'il reçoit de la mer, avec une valeur de:

$$\bar{q}_{II} - \bar{q}_{I} = 15.862.154,40 \text{ m}^3/\text{an.}$$

Quelle que soit la nature de la marée, la durée du jusant prime sur la durée du flot. En général, le jusant dure 18 heures et le flot 6h. L'alternance d'un jusant et d'un flot qui est répétée deux fois durant un cycle de 24h, n'est pas dû au temps de remplissage du lac, mais à des courants de marées bien marqués.

Echanges hydrologiques du lac avec son bassin versant

L'élaboration du bilan hydrologique du lac en 1999/2000 avec son bassin versant fait appel aux données morphométriques et climatologiques suivantes:

- La surface du bassin versant du lac Mellah = 81,4516 km².
- La surface du lac Mellah = 8,7604 km².
- La surface d'écoulement et d'infiltration = 72,6912 km².

L'année hydrologique 1998/1999, excédentaire par sa pluviométrie (par rapport à la moyenne établie sur 30 ans) a fait l'objet d'une analyse détaillée portant sur :

Les données hydrologiques de l'année 1995/96:

$$P = 985,01 \text{ mm, } E.T.R = 740,60 \text{ mm, } Ex = 244,41 \text{ mm.}$$

Evaluation des lames d'eau

Nous avons évalué la lame d'eau annuelle précipitée directement sur la surface du lac $P = 8.629.081,6 \text{ m}^3/\text{an}$. Ensuite, nous avons calculé la lame d'eau annuelle excédentaire qui se compose d'une lame d'eau annuelle écoulée: $Le = 176,1 \text{ mm/an} = 12.801.109,3 \text{ m}^3/\text{an}$, et d'une lame d'eau annuelle infiltrée: $I = 68,3 \text{ mm/an} = 4.965.346,8 \text{ m}^3/\text{an}$.

Nous avons estimé ensuite la lame d'eau annuelle évapotranspirée de la surface du lac: $ETR = 6.487.952,2 \text{ m}^3/\text{an}$. Ainsi, le bilan hydrologique annuel du lac avec son bassin versant est $q_{III} = (Le + I + P) - ETR$, soit $q_{III} = 19.907.585,5 \text{ m}^3/\text{an}$.

Détermination du bilan hydrologique global annuel du lac

$$B = (\bar{q}_{I} + q_{III}) - \bar{q}_{II},$$

$$B = (5.630.774,4 + 19.907.585,5) - 21.492.928,8.$$

$$B = 4.045.431,1 \text{ m}^3/\text{an.}$$

\bar{q}_{I} : débit moyen annuel des entrées d'eau en provenance de la mer dans le lac en m³.

\bar{q}_{II} : débit moyen annuel des sortis d'eau à partir du lac en direction de la mer en m³.

q_{III} : débit annuel des entrées de l'année 98/99 parvenue au lac à partir de son bassin versant.

Le bilan hydrologique global du lac est positif, avec un volume d'eau excédentaire égal à $4.045.431,1 \text{ m}^3$.

Les bilans thermo - halins du lac

Le bilan thermo-halin de deux cycles de 24h a été calculé dans le chenal reliant le lac Mellah et la mer. Les valeurs mesurées reflètent celles de la mer pendant le flot et

celles du lac durant le jusant.

L'automne (octobre), le flot débute vers 12h avec une augmentation graduelle de la salinité et de la température s'élevant respectivement à: $S_{moy} = 36,55 \text{ ‰}$ et $T_{moy} = 19,69^{\circ}\text{C}$. Pendant le jusant, la salinité reste stable autour de $34,5 \text{ ‰}$ et la température moyenne baisse à $17,7^{\circ}\text{C}$.

Le printemps (mai), l'installation du jusant est caractérisée par une diminution de la salinité qui a tendance à se stabiliser progressivement. La salinité moyenne du jusant est de: $S_{moy} = 34,02 \text{ ‰}$, tandis que la température augmente jusqu'à la fin du jusant pour atteindre $T_{moy} = 22,9^{\circ}\text{C}$.

Durant le flot qui a lieu entre 17 et 21h, le gain de salinité, mesuré depuis le début du flot, est de $S_{moy} = 36,8 \text{ ‰}$, cependant, la baisse de la température atteint $T_{moy} = 19,9^{\circ}\text{C}$.

DISCUSSION

Les lacs de la région d'El Kala sont nés des grandes phases d'érosion qui ont caractérisé le quaternaire. Le lac El Mellah est le résultat du creusement et de l'élargissement de l'ancienne vallée de l'oued Bougous, le pléistocène ancien, avec la formation d'un seuil dissymétrique de côte 44 au pléistocène moyen résultant d'une première capture isolant le lac Oubeira, du lac Mellah. C'est ainsi qu'un émissaire vers l'oued El- Kebir et non vers le lac Mellah s'est formé. Ce n'est qu'au début du néopleistocène qu'une seconde capture isole les bassins du Mellah et de l'oued El Kebir. Malgré leur même origine, les lacs d'El Kala forment des écosystèmes différents. C'est au quaternaire récent ou néopleistocène, que la mer occupe le lac Mellah donnant lieu à une lagune marine, reliée à elle par un chenal.

En plus de son bassin versant, le lac Mellah est ainsi soumis à une double influence des variations climatologiques et des mouvements de la mer.

Avec un chevelu hydrologique lâche et immature, en absence des grands oueds, l'hydrologie du lac Mellah reste étroitement liée aux facteurs climatiques et particulièrement à la pluviométrie. Sur une période d'observation de 30 ans (1968/69 à 1998/99), la pluviométrie moyenne annuelle de son bassin versant est de $778,6 \text{ mm}$. Ce résultat est conforme à la fourchette de pluviométrie proposée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques avec la collaboration de Jean Pierre Laborde (URA 1476 du C.N.R.S.), étude faite de 1922 à 1989. En effet, ces travaux montrent que le bassin versant du Mellah se trouve entre l'isohyète 700 et 800 mm, appuyant ainsi notre choix de la technique de Thiessen in [8] et la méthode de traitement des données pluviométriques brutes.

La communication du lac Mellah avec la mer provoque de faibles fluctuations du niveau de ses eaux; les volumes supplémentaires dus aux averses sont évacués vers la mer assurant un échange permanent entre le lac et la mer résultant des mouvements des marées. Le volume des eaux du lac Mellah $23.665.174,7 \text{ m}^3$ varie très peu par rapport aux saisons. Cependant lors de comportements extrêmes de la marée, le niveau du lac peut baisser jusqu'à 50 cm.

Le bilan hydrologique établi, à partir de la pluviométrie moyenne annuelle et l'excédent moyen annuel, confirme l'hypothèse de Ghorbel [9], qui montre que pour des

superficières inférieures ou égales à 400 Km², l'influence de l'étendue du bassin versant sur le ruissellement s'estompe devant celle des autres paramètres comme la pluie et l'altitude. Donc, c'est la pluviométrie qui est le facteur limitant de l'écoulement. Le bilan hydrologique global du lac est positif, avec un volume d'eau excédentaire qui est égale à : 4.045.431,1 m³.

Le lac Mellah n'a donc pas atteint son équilibre hydrologique, car il reçoit un volume d'eau supplémentaire à partir de son bassin versant. Cette quantité d'eau excédentaire pourrait être expliquée par le piégeage de la lame d'eau infiltrée dans les nappes d'eau souterraines.

Le type de marée qui affecte le lac Mellah est de nature mixte, une fois diurne et une fois semi-diurne. Dans le cadre du projet de la protection du rivage de Skikda [10], la marée diurne d'une période de 12h a été observée dans la baie de Skikda. Le deuxième type de marée a été observé dans le cadre de l'aménagement du lac [11], où l'on décrit une marée composée de 3 inversions, 2 flots et 2 jusants pendant 24 h.

Nos estimations montrent que le renouvellement des eaux du lac se fait une fois tous les 21 mois. La F.A.O. [10] a estimé que 12 cadences biologiques annuelles des eaux sont nécessaires pour que le renouvellement des eaux du lac Mellah soit satisfaisant.

Selon le déroulement du jusant et du flot pendant le jour et la nuit automnale, on constate qu'au niveau du chenal, la mer réchauffe le lac en augmentant sa température de 1,9°C. Cependant, au printemps, la température du lac baisse de 2,9°C entraînant une augmentation graduelle de la température des eaux dans l'embouchure avec la mer.

Durant un cycle de 24h, l'inégalité des volumes échangés entre le lac et la mer s'effectue dans le sens d'une baisse continue de la salinité dans les eaux du lac.

CONCLUSION

La région d'El Kala est soumise à un climat méditerranéen avec des pluviométries moyennes annuelles de 785mm et de 814,7mm enregistrées pendant 30 ans respectivement dans les stations météorologiques d'El Kala et de Ain El Assel et une température moyenne annuelle de 17,2 °C. Ce climat est caractérisé par une saison pluvieuse qui débute en septembre et dure jusqu'à janvier avec un pic mensuel en décembre de 124,3mm (station météo d'El Kala et Ain El Assel) et de 113,6mm enregistré dans la station d'El Kala.

La saison sèche s'installe dès février, avec un maximum mensuel de 25°C en août, augmentant les valeurs moyennes annuelles de l'évapotranspiration réelle qui atteignent 481,8mm dans la station de Ain El Assel et 488,8mm à El Kala.

Le lac Mellah est caractérisé par une surface d'eau libre de 8,7 km² avec un bassin versant de 81,4 km², sa profondeur maximale est de 5,2 m avec une forme topographique conique qui a tendance à dévier du nord vers le sud-est avec un volume d'eau moyen de 24.000.000 de m³.

L'échange hydrologique du lac Mellah avec la mer est généré tantôt par une marée de nature diurne, tantôt par une marée semi-diurne. Son bilan hydrologique avec la mer nous permet de calculer le volume des entrées d'eaux

marines moyennes annuelles $q_I = 5.630.774 \text{ m}^3$ et le volume moyen annuel des sorties lacustres $q_{II} = 21.492.928 \text{ m}^3$. On constate que le volume d'eau des sorties moyennes annuelles est 4 fois plus important que le volume des entrées moyen annuelles. Le bilan hydrologique du lac Mellah avec son bassin versant durant les années 1999-2000 montre qu'il a reçu un volume d'eau $q_{III} = 19.907.585 \text{ m}^3$, ce qui a engendré un bilan hydrologique global du lac positif, avec un apport de volume d'eau annuel supplémentaire de 4.045.431 m³.

Ces résultats montrent que le lac n'a pas atteint son équilibre hydrologique, ou bien ce volume d'eau ne s'est pas déversé dans le lac. Malgré l'absence de dispositifs de mesures de la pluviométrie, de la température ou encore de l'évapotranspiration aux alentours, à l'intérieur du lac et le jaugeage des oueds qui l'alimentent, on a pu estimer le comportement hydrologique de cette lagune.

L'utilisation des données des stations météorologiques environnantes et de méthodes empiriques nous a permis d'analyser le comportement hydrologique du lac Mellah. Pour maîtriser son fonctionnement hydrologique, il serait intéressant de poursuivre cette opération avec les dispositifs de mesure bien implantés sur les berges et à l'intérieur du lac et cela sur plusieurs cycles, avec des mesures régulières de la bathymétrie.

REFERENCES

- [1]- Morgan N.C., "An ecological survey of standing water in North west Africa II. Site descriptions for Tunisia and Algeria", *Biological conservation*, (1982), pp. 24-83-113.
- [2]- Bougazelli N., Djender M., Tomas J.P., "Projet du parc national marin lacustre terrestre d'El-Kala Annaba, Algérie", Présenté à la consultation d'experts sur les parcs marins et les zones humides de la région méditerranéenne à Tunis du 12 au 14 Janvier (1977), p. 65.
- [3]- Stevenson A.C., "The El Kala National park and environ, Algeria or ecological evaluation environmental conservation", England, vol.15, n°4 (1988).
- [4]- Gauthier-Lievre M., "Recherches sur la flore des eaux continentales de l'Est Algérien et la Tunisie", Thèse de Doctorat en science, Paris, France, (1931), 230 p.
- [5]- Guelorget O., Perthoisot J.P. et Frisoni G.F., "Contribution à l'étude écologique du lac Mellah – Algérie", Rapport F.A.O. Gredopar, (1983).
- [6]- Turc L., Gobillot T.K., Hlavek R. et Carpentier C., "Cartes d'évapotranspiration potentielle, interprétation et utilisation", Bull. Tech. du génie rural, Paris, (1963), 60 p.
- [7]- Thornthwaite G.W., "The measurement of potentiel evapotranspiration", Mather seab rook. New Jersey, (1959), 225 p.
- [8]- Jacquet J., "Répartition partielles des précipitations à l'échelle fine et précision des mesures pluviométriques", AIUS, Assemblée générale d'Helsinki, Commission d'érosion continentale, (1960), pp. 317-342.
- [9]- Guorbel A., "Guide pratique de calculs hydrologiques", Rapport D.G.R.E, (1991), p. 61.
- [10]- F.A.O., "Amélioration des échanges hydrologiques entre le lac Mellah et la mer, recalibrage du grau existant dans le cadre du P.N.U.D et M.E.D.R.A.R", pièce n° 0, 1.2.0, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.0 et 1.5.1, (1982).
- [11]- Sogreha H., "Etude de la protection du rivage maritime entre l'ancien port de Skikda et le port de pêche de Stora", à la demande de la direction des infrastructures de bases de la wilaya de Skikda, (1982), p. 17. □

