

## DETERMINATION DE L'EVAPORATION DES SURFACES DES PLANS D'EAU POUR LES CONDITIONS CLIMATIQUES DE L'ALGERIE

BOUTOUTAOU Djamel<sup>1\*</sup>, SAKER Mohamed Lakhdar<sup>2</sup>, DADDI BOUHOUN Mustapha<sup>2</sup>,  
SAGGAI Sofiane<sup>1</sup> et OULD EL HADJ Mohamed Didi<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratoire d'Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides  
Université Kasdi Merbah Ouargla, 3000 Ouargla, Algérie

<sup>(2)</sup>Laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides  
Université Kasdi Merbah Ouargla, 3000 Ouargla, Algérie  
E-mail: boutoutaoudjamel@yahoo.fr

**Résumé-** L'évaporation des plans d'eau en Algérie reste le plus souvent absente dans les bulletins et les atlas climatologiques, publiés annuellement par l'office national de la météorologie. Par manque de données, sa détermination est basée sur une analyse sommaire de quelques éléments météorologiques (insolation, température, etc.), qui reste en général une évaluation grossière et manque de précision. En hydrologie, l'évaporation présente un intérêt pratique évident, puisqu'elle est responsable des pertes de volumes d'eau (des barrages des lacs etc.), parfois considérables. La présente étude se propose l'application d'une méthodologie de calcul de l'évaporation par des formules qui relient cette dernière aux éléments météorologiques.

**Mots clés :** évaporation, plan d'eau, éléments météorologiques, Algérie

## DETERMINATION OF EVAPORATION FROM WATER PLANS FOR ALGERIAN CLIMATE

**Abstract-** The evaporation from water plans in Algeria remains mostly absent in bulletins and atlas of climatology, published annually by the national office of the meteorology. Due to lack of data, its determination is based on a summary analysis of some meteorological elements (sunstroke, temperature etc.), which remains generally an unrefined evaluation, and missing of precision. In hydrology, evaporation presents an obvious practical interest, because it is responsible for losses of water volumes (of dams and of lakes etc.), sometimes considerable. In this study, we propose the application of a methodology of evaporation calculation by formulas which relate this evaporation to the meteorological elements.

**Key words:** evaporation, water plan, meteorological elements, Algeria.

### Introduction

L'établissement par exemple d'un bilan hydrique d'une réserve d'eau d'un barrage, d'un chott ou d'un lac exige la connaissance de l'évaporation. La valeur de cette dernière est très nécessaire aussi pour la conception des bassins de lagunage dans l'épuration des eaux usées.

En Algérie, la mesure de l'évaporation est confiée aux services de l'Office National de la Météorologie (ONM) et aux services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). La détermination de la valeur de l'évaporation des plans d'eau en Algérie est effectuée donc à partir des stations météorologiques équipées de bacs d'évaporation de ces deux organismes (ONM et ANRH). En absence de bacs, elle est

déterminée par analogie avec les plans d'eau mesurés.

L'erreur liée à l'évaluation par analogie, peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du plan d'eau analogue). Quant aux stations météorologiques (bacs d'évaporation), offrant de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et elles ne couvrent que quelques régions du pays.

## 1.-Matériels et méthodes

Il existe plusieurs méthodes de calcul de l'évaporation. Des plus connues entre, on peut noter la méthode du bilan hydrique, la méthode des bacs d'évaporation et celle hydrométéorologique.

### 1.1.- Méthode du bilan hydrique des étendues d'eau (cas d'une retenue) (fig.1)

La méthode du bilan hydrique est basée sur l'égalité de la recette et de la dépense du volume d'eau dans la retenue, tout en prenant en compte la variation du stockage. L'évaporation en volume d'eau est déterminée par la relation suivante:

$$V_E = V_P + V_S + V_{ST} - V_{QS} - V_{QST} \pm \Delta V \quad (1)$$

L'estimation de l'évaporation par cette méthode du bilan est très peu employée du fait de l'imprécision et de la difficulté d'effectuer des mesures de la plupart des composants de l'équation (1), en particulier les entrées et les sorties souterraines (tab. I).

**Tableau I.-** Eléments du bilan hydrique de la retenue

Entrée (recette)	Sortie (dépense)
$V_P$ : volume de pluie reçue par la retenue ( $m^3$ )	$V_{QS}$ : volume d'eau évacué ( $m^3$ )
$V_S$ : volume d'eau superficiel entrant dans la retenue ( $m^3$ )	$V_{QST}$ : volume d'eau souterrain sortant de la retenue (infiltration) ( $m^3$ );
$V_{ST}$ : volume d'eau souterrain entrant dans la retenue (exfiltration) ( $m^3$ )	$V_E$ : volume d'eau évaporé de la surface de la retenue ( $m^3$ )
$\pm \Delta V$ : stockage ou déstockage subi par la retenue ( $m^3$ )	



**Figure 1.-** Retenue d'un barrage

## 1.2.- Méthode des bacs d'évaporation

Le phénomène de l'évaporation à partir des bacs d'évaporation (fig. 2), est aussi basé sur la loi du bilan hydrique, avec l'absence totale des débits souterrains et des pertes par infiltration qui sont très difficiles à estimer.



**Figure 2.-** Bacs d'évaporation classe A et Colorado

L'expression simplifiée du bilan hydrique d'un bac peut se traduire comme suit :

$$E_{\text{Bac}} = \Delta H \pm P \quad (2)$$

$E_{\text{Bac}}$  : évaporation du bac (mm),

$P$  : pluie tombant sur le bac (mm),

$\Delta H$  : différence de côte du plan d'eau dans le bac entre deux mesures (mm).

Le passage de l'évaporation du bac à l'évaporation du plan d'eau se fait en multipliant les résultats de mesures sur le bac par le coefficient du bac, d'où:

$$E = K.E_{\text{Bac}} \quad (3)$$

$E$  : évaporation du plan d'eau (mm),

$K$  : coefficient du bac, ( $K=0,7-0,8$ , pour le bac class A et Colorado),

$E_{\text{Bac}}$  : évaporation mesurée sur le bac (mm).

Il existe d'autres méthodes de calcul de l'évaporation des plans d'eau, telles que la méthode du bilan énergétique et la méthode de la diffusion turbulente. Quoique précises, ces deux méthodes ne sont employées que dans des études exceptionnelles.

## 1.3.- Méthode hydrométéorologique

La méthode hydrométéorologique est la méthode la plus employée pour la détermination de l'évaporation des étendues d'eau. Elle est basée sur la loi physique de Dalton. Les valeurs numériques de cette méthode sont des données standards qui sont toujours disponibles dans les atlas et les bulletins météorologiques de l'Office National de la Météorologie (ONM).

Pour l'établissement de telle méthode, des données de 5 à 10 ans d'observation; disponibles aux niveaux des stations météorologiques où sont implantées près des sites des

barrages réservoirs algériens (barrage Meffrouche, Gargar, Hamiz, Guenitra, Bakhada, Keddara, Beni Bahdel, barrage Sidi Mohamed Ben Aouda et la station expérimentale d'El Abiod Sidi Cheikh), sont nécessaires. La formule de calcul de l'évaporation proposée par BOUTOUTAOU (1995) [1], est la suivante :

$$E = 0,233 n (e_s - e_a) (1 + 0,39 V) \quad (4)$$

E : évaporation (mm),

$e_s$  : tension de vapeur d'eau saturante correspondant à la température de la surface évaporante (millibar),

$e_a$  : tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère (millibar),

$(e_s - e_a)$  : déficit de saturation dans l'atmosphère (millibar),

V : vitesse du vent (m/s),

n : nombre de jours du mois considéré (pour janvier n = 31, février n = 28 etc., pour les calculs journaliers n = 1).

## 2.- Résultats et discussion

Les valeurs de l'évaporation calculées par la méthode 4 proposée, sont comparées à celles mesurées sur plusieurs barrages en exploitation, situés dans les différentes zones géographiques et climatiques de l'Algérie.

La comparaison montre que la différence entre les valeurs calculées par la formule 4 et mesurées au niveau des différents barrages ne dépasse pas  $\pm 25\%$ . L'erreur systématique de calcul n'apparaît pas. Cette différence n'est pas tout à fait homogène (un petit peu élevée en hiver et en automne, et faible au printemps et en été), durant l'année. Quelques comparaisons choisies arbitrairement sont présentées sur les figures 3, 4, 5 et 6.

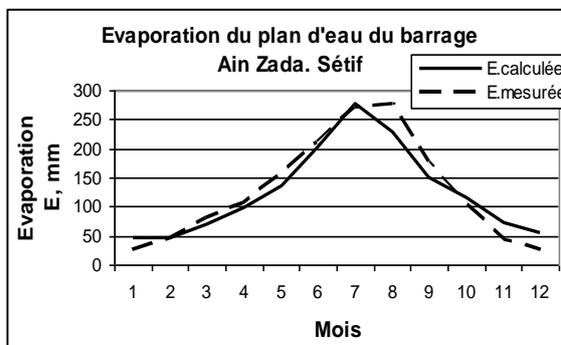


Figure 3.- Évaporation au barrage Ain Zada

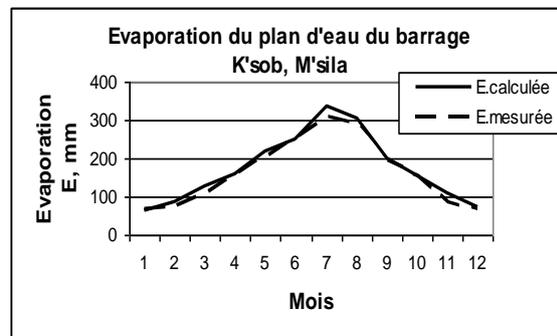


Figure 4.- Évaporation au barrage K'sob

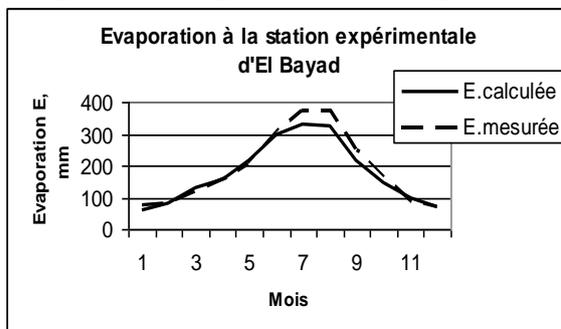


Figure 5.- Évaporation à la St. d'El Bayad Fergoug

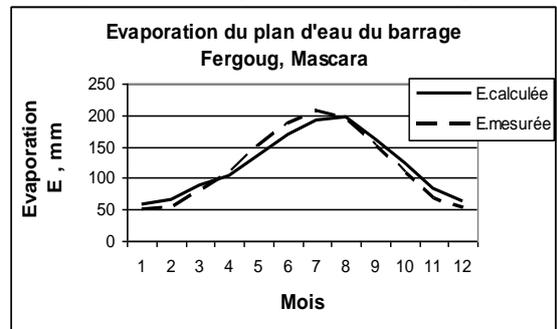


Figure 6.- Évaporation au barrage Fergoug

## Exemple pratique

On se propose de calculer la valeur moyenne mensuelle et annuelle du plan d'eau d'un futur barrage réservoir implanté dans la région de Biskra.

### Données de base

Les données météorologiques nécessaires au calcul de l'évaporation sont empruntées de l'atlas climatologique (wilaya de Biskra) de l'Office National de la Météorologie (ONM). Les données sont consignées dans le tableau II.

**Tableau II.-** Paramètres météorologiques nécessaires au calcul de l'évaporation

	Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Caractéristiques</b>													
Température de l'air (°C)		11.7	13.6	16.4	19.8	24.3	30.2	33.4	32.5	28.0	21.7	15.8	12.5
Tension de vapeur (mb)		7.2	7.8	7.5	8.4	1.0	11.7	12.1	13.7	14.6	12.0	9.6	8.0
Vitesse du vent, (m/s)		3.6	3.9	4.4	4.4	4.9	4.2	3.5	3.5	3.2	3.2	3.2	3.3

### Solution

La température de la surface évaporante [température de l'eau ( $t_e$ ), nécessaire pour la détermination de la tension de vapeur d'eau saturante ( $e_s$ ) ne figure pas dans les Atlas climatologiques. Elle peut être déterminée en fonction de la température de l'air ( $t_a$ ) et la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère ( $e_a$ ) (tab. III), en utilisant l'abaque de données, et par conséquent, la tension de vapeur d'eau saturante ( $e_s$ ) par la table de données [1]. Un exemple de calcul pour le mois de janvier est donné sur l'abaque pour déterminer « $t_e$ » et à la fin de la table pour déterminer « $e_s$ ».

**Tableau III.-** Tension de vapeur saturante

	Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Caractéristiques</b>													
Température de l'air (°C)		11.7	13.6	16.4	19.8	24.3	30.2	33.4	32.5	28.0	21.7	15.8	12.5
Tension de vapeur d'eau (mb)		7.2	7.8	7.5	8.4	10.0	11.7	12.1	13.7	14.6	12.0	9.6	8.0
Température de l'eau (°C)		11.1	13.0	14.4	17.6	21.0	25.8	29.4	28.8	24.9	20.4	14.5	12.4
Tension de vapeur saturante (mb)		13.2	15.0	16.4	20.1	24.9	33.2	41.0	39.6	31.5	24.0	16.5	14.4

L'évaporation du plan d'eau de la future retenue est donnée par la formule 4:

$$E = 0,233 n (e_s - e_a) (1 + 0,39 V)$$

Le résultat de calcul est récapitulé dans le tableau IV.

**Tableau IV.-** Résultats de calcul de l'évaporation

Caractéristiques	Mois												année
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
n (jour)	31	28.5	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	---
es (mb)	13.2	15.0	16.4	20.1	24.9	33.2	41.0	39.6	31.5	24.0	16.5	14.4	---
ea (mb)	7.2	7.8	7.5	8.4	10.0	11.7	12.1	13.7	14.6	12.0	9.6	8.0	---
es – ea (mb)	6.0	7.2	8.9	11.7	14.9	21.5	28.9	25.9	16.9	12.0	6.9	6.4	---
V (m/s)	3.6	3.9	4.4	4.4	4.9	4.2	3.5	3.5	3.2	3.2	3.2	3.3	---
E (mm)	104	120	174	222	313	396	493	442	265	195	108	106	2938

Il est intéressant de comparer les valeurs de l'évaporation calculées par la formule 4 à celles observées au barrage Foug El Gherza, situé dans la wilaya de Biskra (tab. V).

**Tableau V.-** Comparaison entre les valeurs de l'évaporation calculées et observées

Caractéristiques	Mois												Année
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Evaporation observée, E <sub>obs</sub> (barrage Foug El Gherza)	88	110	170	229	313	375	443	413	230	210	121	92	2794
Evaporation calculée, E <sub>cal</sub> (formule 6)	104	120	174	222	313	396	493	442	265	195	108	106	2938
Erreur, (E <sub>cal</sub> – E <sub>obs</sub> )/E <sub>obs</sub> (%)	18	9	2	-3	0	6	11	7	13	-7	-11	15	5%

Les valeurs de l'évaporation calculées par la méthode proposée 4 ne s'écartent pas sensiblement des valeurs de l'évaporation mesurées du barrage Foug El Gherza à Biskra (Algérie).

### Détermination de l'évaporation par le déficit de saturation de l'air «D»

Généralement, le choix d'une méthode de calcul d'une caractéristique hydrologique est lié à la disponibilité des données de mesure ou d'observation exigée par la méthode choisie. Parfois, les données de quelques éléments météorologiques sont manquantes, en particulier la donnée de la tension de vapeur d'eau «ea» ou bien elle peut exister sous forme d'humidité relative «H» en pourcent (%). L'évaporation du plan d'eau dans ce cas peut-être déterminée à partir du déficit de saturation de l'air «D» [2]:

Pour le nord de l'Algérie :

$$E = 0.342 n D^{0.80} (1 + 0.39 V) \quad (5)$$

Pour le sud de l'Algérie, en zones arides et semi-arides :

$$E = 0.403 n D^{0.73} (1 + 0.39 V) \quad (6)$$

E : évaporation du plan d'eau (mm),

n :- nombre de jours du mois considéré (n = 30 ou 31 selon le mois pour les calculs mensuels et n = 1 pour les calculs journaliers),

V : vitesse du vent, il est considéré les moyennes mensuelles (m/s),

D : déficit de saturation de l'air en millibars (mb), est donné par la relation suivante:

$$D = 0.0632 (H-100) e^{0.0632 (t)}$$

- H : moyenne mensuelle de l'humidité de l'air (%),
- t : moyenne mensuelle de la température de l'air (°C).

### Exemple pratique

Calculer les valeurs mensuelles et annuelles de l'évaporation du plan d'eau de la région de l'Oued Souf (Algérie) par la formule 6 (zones arides et semi-arides).

- Température moyenne mensuelle de l'air (°C),
- Humidité moyenne mensuelle de l'air (%),
- Vitesse du vent moyenne mensuelle (m/s).

Le détail de calcul est donné dans le tableau VI :

**Tableau VI.-** Détail de calcul de l'évaporation

Mois Caractéristiques	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Année
Nombre de jours du mois	31	28,5	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	*
température de l'air (°C)	10	13	16	20	25	30	32	33	28	22	16	11	*
Humidité de l'air (%)	65	58	51	44	39	36	32	35	45	53	61	68	*
déficit de saturation (mb)	4	6	9	12	19	27	33	32	21	12	7	4	*
vitesse du vent (m/s)	3	3	4	4	5	5	4	2	2	2	2	2	*
Evaporation calculée (mm)	71	95	143	197	291	382	380	304	222	147	92	61	2386

La valeur annuelle de E = 2386 mm, représente la somme des valeurs mensuelles.

### Conclusion

La construction et l'exploitation d'un barrage réservoir exige la connaissance de l'évaporation de l'eau en surface libre qui intervient dans le calcul de la régularisation des apports pour le dimensionnement du barrage et dans les calculs du bilan hydrique de la retenue pendant l'exploitation au profit de l'agriculture saharienne. L'évaluation de l'évaporation par analogie, peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du réservoir analogue). Quant aux stations météorologiques qui offrent de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et elles ne couvrent que quelques régions du pays. Pour éluder à ces inconvénients, dans la présente étude, différentes formules sont proposées.

D'application simple, ces méthodes sont mises à la disposition des ingénieurs (hydrologues, hydrauliciens, météorologues, agronomes, etc...), des agents d'exploitation des barrages et des étudiants des universités et des écoles spécialisées en hydraulique et en agronomie.

### Références bibliographiques

[1].- Boutoutaou D., 1995.- Evaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie. Thèse de Doctorat PhD en Sciences Techniques. Institut d'Hydraulique, Moscou, 200 p.

[2].- Boutoutaou D., 1995.- Méthode de calcul de la tension de vapeur d'eau saturante par la température et la tension de vapeur d'eau de l'air aux stations météorologiques. Annales de l'Institut de Recherche Agro-Industrie et Information (NIITEI), n° 150 : 43-51.