

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'El-Oued



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option : *Ouvrage Hydraulique*

THEME

**ÉLABORATION D'UN MODELE NUMERIQUE
POUR L'ESTIMATION DE L'ÉVAPOTATION À
PARTIR DES DONNÉES CLIMATIQUES
LIMITEES : CAS DU BARRAGE RÉSERVOIR-
FOUM EL - GUISS- KHENCHELA**

Dirigé par :

M^{elle} . MEZIANI Assia

Présenté par :

Mr. NEDJIMA Ridha

Promotion : Juin 2019



Dédicaces

Je dédie ce modeste en signe de respect et de reconnaissance a :

A ma tendre mère

A mon cher père

A mes frères et collègues

Aux chers professeurs

A tous mes amis sans oublier personne



Mr. NEDJIMA Ridha

Remerciement

Victor Hugo a dit : « Derrière une œuvre visible, il y a toujours une œuvre invisible ».

Nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la patience afin de mener ce travail à terme.

Je tiens à exprimer mes profondes gratitude et grand respect à ma promotrice **Melle. MEZIANI Assia** pour son aide, ses conseils avisés et ses remarques qui m'ont permis de présenter ce travail dans sa meilleure forme.

Mes remerciements vont également à **Mr. SAYAH Mohamed Moubarak** Pour m'avoir fait l'honneur et l'immense plaisir d'accepter de présider le jury.

Je tiens également à remercier **Mr. MILOUDI Abdel Moneim** qui a bien voulu être membre de ce jury.

Je tiens à remercier profondément mes parents mes grands-parents que dieux les protège, mes frères sont toujours là pour moi.

Je veux remercier particulièrement **Mr. BENDAHOU Younes** et **Mr. BABOURI Youcef** pour leur soutien à la réalisation de ce présent travail.

Nous rendons également hommage à tous les enseignants qui se sont succédés à notre formation et instruction (depuis l'école primaire jusqu'à l'université), et notamment ceux du département d'hydraulique.

En dernier lieu, je remercie chaleureusement toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Mr.NEDJIMA Ridha

ملخص :

تهدف هذه الدراسة الى ايجاد معادلة جديدة تمكن من الحصول على تقدير جيد لظاهرة التبخر في سد فم القيس الواقع في شرق خنشلة ذات المناخ الشبه جاف بحيث تساعدنا هاته الاخيرة في حساب قيم التبخر بطريقة سهلة وبسيطة دون الحاجة الى اخذ قياسات ميدانية (قياسات مباشرة). ففي هذا السياق ، قمنا باستعمال المعطيات المناخية مثل درجة الحرارة ، الرطوبة النسبية ، سرعة الرياح ... الخ لصياغة المعادلة الجديدة ثم مقارنة نتائجها العددية والبيانية مع نماذج مختارة تعسفيا قصد تأكيد فعاليته وموثوقيته .

الكلمات المفتاحية : التبخر ، النموذج العددي ، المعطيات المناخية

Résumé :

Le but de cette étude est de trouver une nouvelle équation qui nous permettra d'obtenir une bonne estimation du phénomène d'évaporation du barrage Foug El-Guies, situé à l'est de la ville de Khenchela qui est caractérisée par un climat semi-arid, cette dernière nous aide à calculer les valeurs d'évaporation de manière simple et facile sans avoir à effectuer de mesures sur le terrain. Dans ce contexte, nous avons utilisé des données climatiques telles que : la température, l'humidité relative, la vitesse du vent et d'autres paramètres pour formuler la nouvelle équation. Ensuite, nous avons comparé les résultats numériques et graphiques avec les modèles choisis afin de confirmer son efficacité et sa fiabilité.

Mots clés : Evaporation- Modèle numérique- Barrage Foug-El-Guies- Climat semi-arid

Abstract :

The purpose of this study is to find a new equation that leads to estimate the evaporation from the Foug El-Guies dam, located in the east of Khenchela city of which is characterized by a semi-arid climate. So, it helps us to calculate evaporation values in a simple and easy way without having to carry out direct measurements using classic method (evaporation pans). In this subject, we used climate data such as: temperature, relative humidity, wind speed and others parameters to formulate the proposed equation. Then, we compared numerical and graphical results with selected models to confirm its efficiency and reliability.

Key-words : Evaporation- numerical model- Foug El-Guies Dam- Semi-arid climate.

SOMMAIRE

Liste des figures.....	ix
Liste des tableaux.....	xii
Liste des formules.....	xiii
Introduction général.....	01
Introduction général.....	02

chapitre I : Présentation générale du barrage de Foum EL-Gueiss

I. Introduction.....	03
II. Présentation du Barrage de Foum El-Gueiss.....	03
II.1.Les historiques du barrage	03
II.2.Situation géographique du barrage	04
II.3. Les coordonnées géographiques du barrage.....	04
II.4.Caractéristiques Techniques et Hydrologique du barrage de Foum EL-Gueiss.....	04
III .Les facteurs météorologiques influent sur le processus d'évaporation	05
III.1.L'humidité relative de l'air	06
III.2.La température de l'air	07
III.3. La température de l'eau	09
III.4. L'insolation (I) ou le rayonnement solaire (RS)	10
III.5.La vitesse du vent	11
III.6.La pression atmosphérique	12
IV. Les principaux problèmes existant au niveau du barrage Foum El-Gueiss.....	13
IV.1.Les pertes par l'évaporation	13
IV.2.Sédimentation et l'envasement	14
IV.3.Problèmes de fuites	15
V. Conclusion.....	15

chapitre II: Les méthodes d'estimation de l'évaporation des plans d'eau

I. Introduction.....	16
----------------------	----

II.l'évaporation.....	16
III. Les modèles d'estimation de l'évaporation des plans d'eau	16
III.1.Les méthodes directes	16
III.1.1. Les atmomètres et évaporimètres.....	16
III.1.2. les bacs d'évaporation.....	16
a. Le bac de classe A.....	16
b. Le bac Colorado.....	17
c. Les bacs flottants.....	17
III.2.Les méthodes indirectes	17
III.2.1. Modèles de Boutoutaou basés sur les données métrologiques.....	18
III.2.2 Modèles de Papadakis (1972)	22
III.2.3. Modèles de Penman (1948)	23
III.2.4. Modèles de Romanko (1961)	25
III.2.5. Modèles de Meyer (1915)	28
III.2.6. Modèles de Fitzgerald (1886)	32
III.2.7. Modèles de Shuliakovski (1889)	33
III.2.8 Modèles de Boyd (1985)	34
III.2.9. Modèles de Blaney – Griddle (1959)	35
III.2.10. Modèles de Hamon (1963)	36
III.2.11. Modèles de Rohwer (1931)	37
III.2.12. Modèles de Lu et Al (2005)	38
III.2.13. Modèles de Xiao Lui (2016)	39
IV.Conclusion.....	40

chapitre III: Elaboration d'un modèle d'estimation de l'évaporation

I. Introduction.....	42
II. Nouveau modèle d'estimation de l'évaporation	42
II.1.Analyse statistique des paramètres hydro-climatiques.....	42
II.2.Performance du modèle.....	48

III.2.1. Critère de Nash – Sutcliffe	48
III.2.2. Critère RSR (RMSE standard déviation ratio)	48
III. Résultats et Discussion	49
III.1. Résultats numériques obtenus par le nouveau modèle proposée.....	50
III.1. Résultats graphiques obtenus par le nouveau modèle proposée.....	55
V. Conclusion.....	60
<u>chapitre IV : Etude comparative entre les modèle choisis et le nouveau modèle</u>	
I. Introduction.....	61
II. Résultats et discussion	61
II.1. Traçage des graphiques des modèles.....	61
II.2. Calcul des erreurs des modèles d'estimation.....	62
V. Conclusion.....	68
Conclusion générale	69
Bibliographique.....	70
Annexe 01.....	viii
Annexe 02.....	IV

LISTE DES FIGURES

La figure	Page
Figure I.1: Photo barrage Foum EL-Gueiss	3
Figure I.2: Situation de barrage Foum El-Gueiss et Son réseau hydrographique	4
Figure I.3: Station météorologique avec enregistrement automatisé	5
Figure I.4: Variations de la moyenne mensuelle de l'humidité relative pendant la période 2000-2016	6
Figure I.5 : Variations de la températures maximales, minimales et annuelle de la région de Khenchela durant la période (2000-2016).	8
Figure I.6 : Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016).	9
Figure I.7 : Variations de la température de l'eau moyens mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)	10
Figure I.8 : Variations mensuelles de l'insolation de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)	11
Figure I.9: Variations mensuelles de vitesse des vents de la région de Khenchela durant la période (200-2016)	12
Figure I.10 : Variations de la pression atmosphérique pendant la période (2000-2016)	13
Figure I.11: Répartition de l'évaporation mensuelle dans le période (2000-2016)	14
Figure I.12: L'envasement du Barrage de Foum El Gueiss	14
Figure II.1 : Bacs d'évaporation Classe « A » et le bac de Colorado	17
Figure II.2 : Bac flottant	17
Figure II.3: Evaporatio moyenne mensuel par le modèle de Boutoutaou (1) et du bac Colorado (2000-2016).	19
Figure II.4: Corrélation entre les résultats du modèle de Boutoutaou (1) et les evaporations mesurées	19
Figure II.5: Évolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutaou (2) et du bac Colorado	20
Figure II.6: Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Boutoutaou (2) et du bacde Colorado (2000-2016)	22
Figure II.7: Corrélation entre les résultats du modèle de Boutoutaou 2 et les évaporations mesurées	22
Figure II.8: Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Papadakis et du bac (2000-2016)	23
Figure II.9 : Corrélation entre les résultats du modèle de Papadakis et les evaporations mesurées	23
Figure II.10: Evaporation moyenne mensuel par les deux modèles de Peman et du bac de Colorado (200-2016)	24

Figure II.11 : Corrélation entre les résultats des modèles de Penman et les évaporations mesurées	25
Figure II.12: Évolution de l'évaporation par le modèle de Romanenko et du bac de Colorado	25
Figure II.13: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Romanko et du bac de Colorado (2000-2016).	28
Figure II.14: Corrélation entre les résultats du modèle de Romanenko et les évaporations mesurées	28
Figure II.15: Evolution de l'évaporation par le modèle de Mayer et du bac de Colorado (2000-2016)	29
Figure II.16: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Meyer et du bac de Colorado (2000-2016)	31
Figure II.17: Corrélation entre les résultats du modèle de Meyer et les évaporations mesurées	32
Figure II.18: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Fitzgerald et du bac de Colorado (2000 -2016)	32
Figure II.19: Corrélation entre les résultats du modèle Fitzgerald et les évaporations mesurées	33
Figure II.20: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Shuliakovski et du bac de Colorado (2000-2016)	33
Figure II.21: Corrélation entre les résultats du modèle Shuliakovski et les évaporations mesurées	34
Figure II.22: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Boyd et du bac de Colorado (2000 - 2016)	34
Figure II.23 : Corrélation entre les résultats du modèle de Boyd et les évaporations mesurées	35
Figure II.24: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Blaney et du bac Colorado (2000 – 2016)	35
Figure II.25: Corrélation entre les résultats du modèle de Blaney et les évaporations mesurées.	36
Figure II.26: Évaporation moyenne mensuel par le modèle d'Hamon du Bac Colorado (2000 – 2016)	36
Figure II.27: Corrélation entre les résultats du modèle Hamon et les évaporations mesurées	37
Figure II.28: Évaporation moyenne mensuel par les deux modèles de Rohwer et mesurée par le bac	38
Figure II.29 : Corrélation entre les résultats des modèles de Rohwer et les évaporations mesurées	38
Figure II.30: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Lu et al et du bac de Colorado (2000-2016	39
Figure II.31: Corrélation entre les résultats du modèle de Lu et al et les évaporations mesurées.	39
Figure II.32: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Xiao et du bac de Colorado (2000 -2016)	40

Figure II.33 : Corrélation entre les résultats du modèle de Xiao et les évaporations mesurées	40
Figure III.1: L'interface de logiciel XLSTAT	43
Figure III.2 : Présentation graphique de l'ajustement du modèle avec les données mesurée de l'évaporation	46
Figure III.3: Présentation spatiale dès l'évaporation calculée par le modèle et celui mesurées sur le terrain.	46
Figure III.4 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et de celle mesurée par le bac	55
Figure III.5 : Variation de l'évaporation interannuelle par le nouveau modèle et du bac Colorado durant la période (2000 – 2016)	60
Figure IV 1 : Présentation graphique des modèles « Barrage Foum El-Gueiss » 2000-201	62

LISTE DES TABLEAUX

Le Tableaux	Page
Tableau I.1 : Caractéristiques Techniques et Hydrologiques du barrage Foum EL-Guiness	5
Tableau I.2: Variation de l'humidité relative mensuelle interannuelle pendant la période (2000-2016)	6
Tableau I.3: Variations de la température annuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)	7
Tableau I.4: Variation des la températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016).	8
Tableau I.5: Variations de la température moyens mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)	9
Tableau I.6: Variations mensuelles de d'isolation de la région de Khenchela (200-2016).	10
Tableau I.7: Variations mensuelles de vitesse des vents (2000-2016)	11
Tableau I.8: Variations mensuelles interannuelles de la pression atmosphérique dans la période (200-2016)	12
Tableau I.9 : Variations de l'évaporation moyenne mensuelle durent la période (200-2016)	13
Tableau III.1: Coefficients d'ajustement (EVP mes)	43
Tableau III.2 : Matrice de corrélation des paramètres climatologiques	44
Tableau III.3: Analyse de la variance (EVP mesurée (mm)	45
Tableau III.4: Paramètres du modèle (EVP mesurée (mm)	45
Tableau III.5 : Prédications et Residues EVP calculée (mm)	47
Tableau III.6 : Résultats du calcul des indicateurs de performance du nouveau modèle 2000 - 2016)	49
Tableau III.7 : Résultats numériques obtenus par le nouveau modèle proposé	50
Tableau III.8 : Résultats inter-annuels de nouveau modèle et du bac Colorado (2000-2016)	59
Tableau IV.1: Calcul des erreurs pour chaque modèle choisis	63

LISTE DES FORMULES

Numéro	La Formule	Page
1	$EVP = 0.233. n (es - ea)(1 + 0.39V)$	18
2	$es = 0.6108 e^{\frac{(17.27 \times T_{moy})}{(T_{moy} + 237.3)}}$	18
3	$ea = \frac{(Hr \times es)}{100}$	18
4	$EVP = 0.403. n D^{0.73}(1 + 0.39V)$	18
5	$D = 0.0632 (Hr-100) e^{0.0632 T_{moy}}$	18
6	$EVP = 0.5625 [(es_{max} - (es_{min})) (10/d)]$	22
7	$EVP = 0.35 (1+0.24 U) (es - ea)$	23
8	$EVP = (es - ea) f(u)$	24
9	$f(u) = 2,62 (1 + (0.536 \times u))$	24
10	$EVP = 0.0018 (T_{moy} + 25)^2 (100 - Hr)$	25
11	$EVP = 11(1+0.01 \times U) (es - ea)$	28
12	$EVP = (4 \times (0.199 \times U)) (es - ea)$	32
13	$EVP = (0.15 + 0.108 \times U) (e_0 - e_1)$	33
14	$EVP = [9,94 + (5,039 \times T_m)] \times 0.8$	34
15	$EVP = 25,4 (0,0173 Ta - 0,314)Ta (D / DTA)$	35
16	$EVP = 0,63D^2 10^{\frac{7,5 \times Ta}{Ta + 273}}$	36
17	$EVP = 0.77(1.465 - 0.0186 P) (0.44 + 0.118 U) (es - es)$	37
18	$EVP = 0.484 (1 + 0.6U) (es -ea)$	37
19	$EVP = 35.755 * D * [ea / (Ta + 273.3)]$	38
20	$EVP = (0.0345 + 0.002 \times V^{0.5})(42.6824 - 0.0122 * (H_r / 100)^{1.5})(2.66 + 0.08 T_{moy}) n$	39
21	$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \text{etc.}$	42
22	$EVP (mm) = 76,1686542774 - 1,134491270 \times Hr + 50,2578850289817 \times es$	45
23	$EVP (mm) = 76,17 - 1,13 \times Hr + 50,26 \times es$	45

24	$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2}$	48
25	$RSR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2}}$	48
26	$\text{Taux d'erreur (E\%)} = \left(\frac{\text{EVP mesurée} - \text{EVP calculée}}{\text{EVP mesurée}} \right) \%$	58
27	$X = (X_{obs,i} - X_{model})^2$	58
28	$Y = (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2$	58

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Algérie est un pays aussi grand, classé parmi les zones pauvres en eau, où l'approvisionnement en eau est lié aux besoins de la population considéré aussi comme un processus très difficile à cause des pressions exercées sur lui tels que : la croissance démographique, l'intensification des activités économiques...etc.

Dans la région des Aurès située au nord-est Algérien, le problème du manque d'eau constitue une grande menace pour l'existence populaire et leurs activités. Ceci nécessite l'exploitations maximum pour des quantités d'eau superficielle. Nous rappelons que l' Aurès est caractérisé par un climat semi-aride. Pour cela, nous constatons bien que les facteurs climatologies qui sont : La température parfois a des valeurs très élevée, vents saisonnières fortes et faibles humidités influant sur les eaux et leurs disponibilités. Nous indiquons qu'il existe plusieurs réservoirs d'eaux de surface dans cette région, on peut citer: Barrage d'Ourkiss (Oum El Bouaghi), Barrage de koudiet lamdaouar (Batna), Barrage Foum El-Guiness (Khenchela) et Barrage d'Aïn zarga (Tébessa).

Les graves problèmes affectant ces barrages sont bien l'envasement des barrages et les pertes d'eaux. Les études sur l'envasement sont nombreuses. D'après les dernières recherches ont tous confirmé que ce dernier préoccupant tous les barrages parce qu'elle menace leur sécurité (la stabilité) et réduit leur capacité de stockage. Alors que, peu d'études effectuées sur les pertes des eaux des barrages (fuite et évaporation) qui indiquent que ce sont des problèmes très difficiles à maîtriser car ils touchent plusieurs volets. En fait, pour faire une étude sur les pertes des eaux pas une chose très facile car nécessite de réaliser un réseau de suivi et des mesures in situ journalier à l'aide des instruments adéquats à fin de diagnostiquer ces problèmes.

L'évaporation est une des formes des pertes des eaux effectuées dans les plans d'eau où l'évaporation est se convertie d'un phénomène vers un problème plus complexe au niveau de tous les barrages algériens. En hydrologie, elle présente un intérêt pratique notamment dans les régions arides et semi –arides parfois attient des valeurs considérables. L'évaporation dépend de plusieurs facteurs climatologies tels que la température, Humidité relative, vitesse de vent, le rayonnement solaire...etc.

De nombreuses recherches internationales effectuées sur l'évaporation s'appuient sur des données météorologiques qui viennent de mesure sur terrain (la température, la vitesse du vent... etc.). Afin d'estimer le taux d'évaporation du barrage, deux méthodes permettent de quantifier la quantité d'eau évaporante (les bacs d'évaporation et les modèles empiriques).

En Algérie, toutes les recherches concernant l'évaporation ont essayé d'employer les données hydro-climatologiques disponibles dans les bulletins météorologiques et en utilisant des modèles à pouvoir de quantifier le volume d'eau perdu au niveau des plans d'eau. Nous rappelons parmi ces recherches celle de Boutoutaou en 1995 et de celle Fekih Malika en (2010).

Dans cette optique, nous concentrons notre attention de proposer un modèle d'estimation de l'évaporation dans le barrage de Foug El-Guies situé dans la région des Aurès (Khenchela) caractérisés par un climat semi-aride et de confirmer sa performance suivie par une étude comparative entre les modèles sélectionnés et le nouveau modèle que nous avons proposé.

Pour réaliser ce travail, nous avons adopté le plan de travail suivant :

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : Présentation du barrage de Foug El-Guies

CHAPITRE II: Les méthodes d'estimation de l'évaporation des plans d'eau

CHAPITRE III: Élaboration d'un modèle d'estimation de l'évaporation

CHAPITRE IV : Etude comparative entre les modèles choisis et le nouveau modèle.

CONCLUSION GENERALE

*Présentation générale du
barrage -Foum El-Guiess-
(Wilaya Khenchela)*

I

I. Introduction

Dans ce premier chapitre, on va présenter la géographie de notre zone d'étude (localisation du barrage de Foum El- Guess), puis de présenter quelques données climatiques disponibles qui sont toujours enregistrées dans les atlas et les bulletins météorologiques de l'ONM (Office National de la météorologie). À la fin, nous indiquons les principaux problèmes au niveau de la retenue de notre barrage.

L'objectif de ce chapitre est bien de connaître les mois plus pluvieuses et les plus sécheresses qui sont dispensables à la compréhension de la nature climatique. Nous rappelons que la région de Khenchela est caractérisée par un climat semi-aride.

II. Présentation du Barrage de Foum El-Guess

II.1. Les historiques du barrage

- En 1900 : la construction d'un barrage dans les gorges de Foum El-Guess est envisagée.
- En 1922 : conclusion favorable d'une première étude géologique.
- En 1923 : un enregistreur de niveau est installé dans la gorge de l'oued.
- En 1927 : la construction du barrage est déclarée.
- En 1931 : approbation du marché de l'entreprise Foum El-Guess.
- En 1938 : appel d'offre lancé pour la surélévation du barrage de 1,90 m.

L'utilisation principale des eaux du barrage est destinée à l'irrigation du périmètre de Kais et son alimentation.

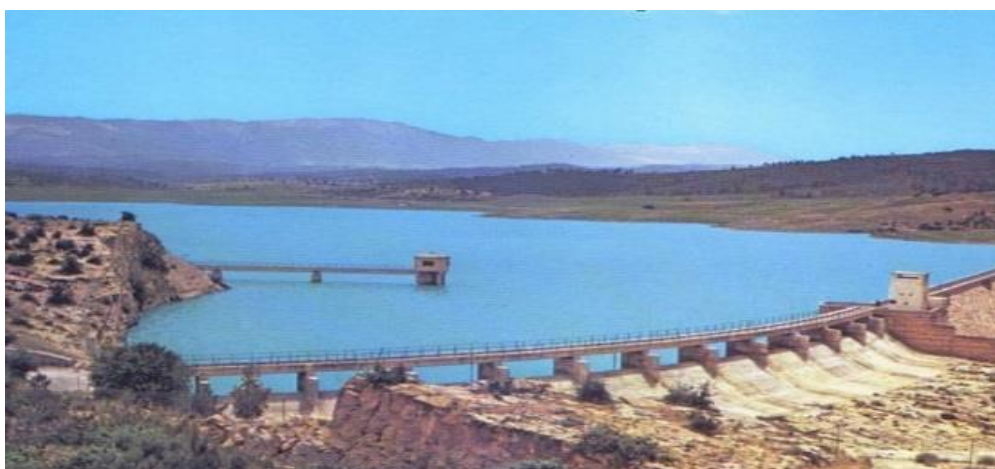


Figure I.1 :Photo barrage Foum EL-Guess ([Site web: http://popodoran.canalblog.com](http://popodoran.canalblog.com),2019)

II.2. Situation géographique du barrage

Le barrage de Foum El-Guieiss situé à cheval entre les communes de Kais et d'El Hamma, dans presque sept kilomètres à l'est de la ville de Khenchela, précisément sur l'oued Guieiss. Les principaux affluents de ce cours d'eau sont Ben Ber, Isouel, Krefadia, et Kebass, drainent un bassin versant du versant nord des Aurès, chaîne de montagne qui s'épare les hautes plaines constantinoises du Sahara. La superficie du bassin versant est 156 km², ou 90% sont recouverts par des forêts. Le bassin versant est presque entièrement situé en montagne, avec un point culminant à Djebel Aidel 2177 m. Le point le plus bas du bassin se trouve à la côte 965 m au niveau du barrage. L'altitude moyenne du bassin versant est de 1289 m.

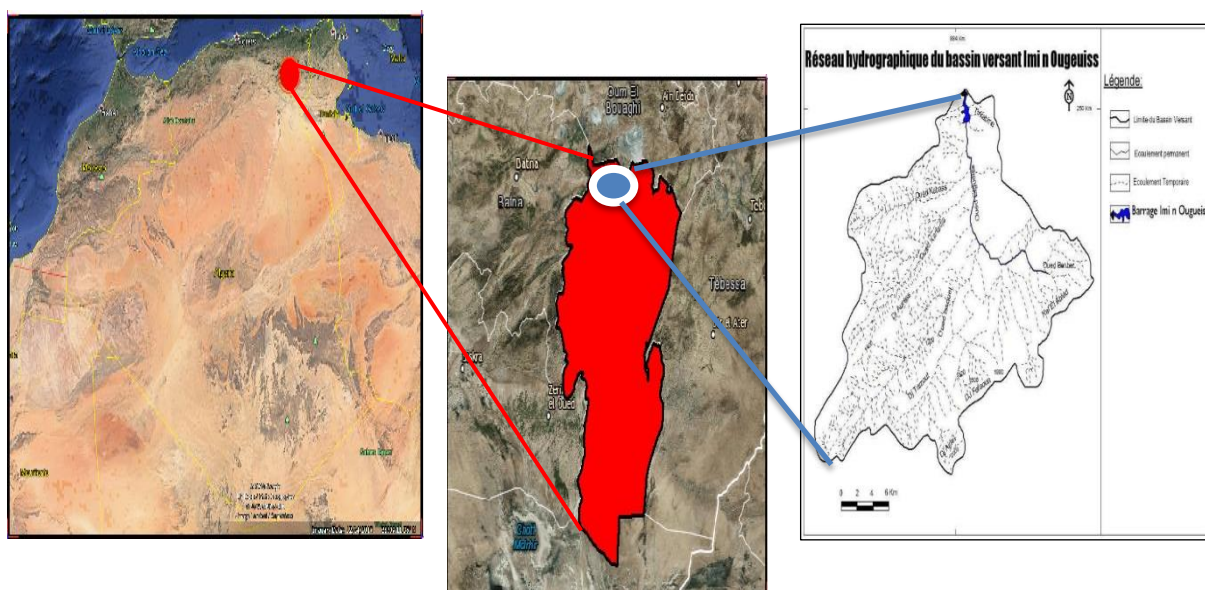


Figure 1.2: Situation de barrage Foum El-Guieiss (Google Earth,2019) et son réseau hydrographique (brek,2017)

II.3. Les coordonnées géographiques du barrage

✚ Latitude : 39 G 20` - 39 G 50`

✚ Longitude : 4 G 50` - 5 G 50`

II.4. Caractéristiques Techniques et Hydrologiques du Barrage de Foum El- Guieiss

Le barrage de Foum El-Guieiss classé parmi les plus beaux barrages de l'Algérie grâce à des caractéristiques techniques concernant la structure de l'ouvrage et d'autres hydrologiques caractérise le bassin hydrologie de la zone de Guieiss. Ses caractéristiques résument dans tableau ci-dessous :

Tableau N°I.1: Caractéristiques Techniques et Hydrologiques du barrage de Foum EL-Guieiss

Les caractéristiques hydrologiques		Les caractéristiques techniques	
Oued	Guieiss	Type	Enrochement
Capacité Initiale (hm ³)	3	Hauteur (m)	23
Capacité dernier levé 2005 après sur élévation (hm ³)	3	Longueur (m)	250
Apport moyen annuel (hm ³ /an)	1,3	Côte de retenue normale (m)	962 ,9
Envasement annuel (hm ³ /an)	0,03	Côte plus hautes eaux (m)	964
Surface du bassin (Km ²)	156	Déversoir (m ³ /s)	600
Surface de la retenue (ha)	37	Vidange du fond (m ³ /s)	25

Source: (ANBT, 2016)

III. Les facteurs météorologiques influent sur le processus d'évaporation

On appelle les facteurs météorologiques tous les paramètres qui caractérisent l'état de l'atmosphère au voisinage de la surface évaporant de même que son aptitude provoque l'évaporation. Ces paramètres sont facilement mesurés à l'aide des instruments installés à proximité de la retenue, où nous trouvons la station climatologique.

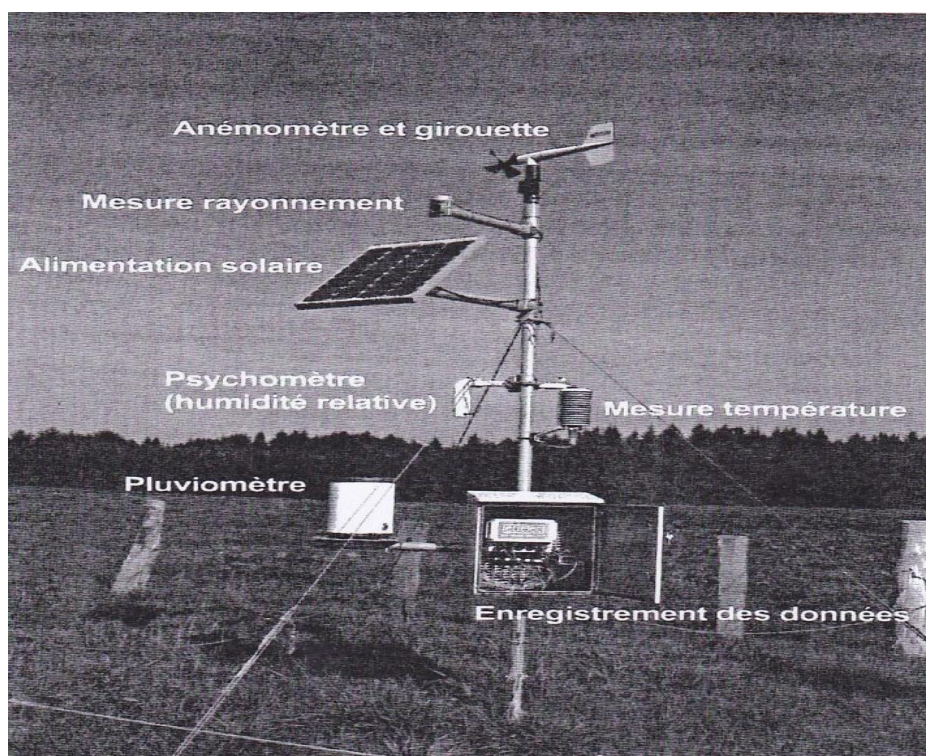


Figure I.3: Station météorologique avec enregistrement automatisé (Oulhaci, 2015)

III.1. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur le processus d'évaporation peut s'exprimer par la loi de Dalton (Sahraoui, 2016). Elle est utilisée dans beaucoup de formules et c'est une donnée mesurée au niveau des stations météorologiques.

Le tableau suivant montre les variations mensuelles interannuelles de l'humidité relative dans la période de (2000- 2016).

Tableau I.2: Variation de l'humidité relative mensuelle interannuelle pendant la période (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Hr%	53,91	57,23	65,92	72,88	71,51	64,66	59,14	56,36	52,16	52,16	35,81	39,61

Source : (ANBT, 2016)

L'humidité relative moyenne est schématisée dans la figure suivante :

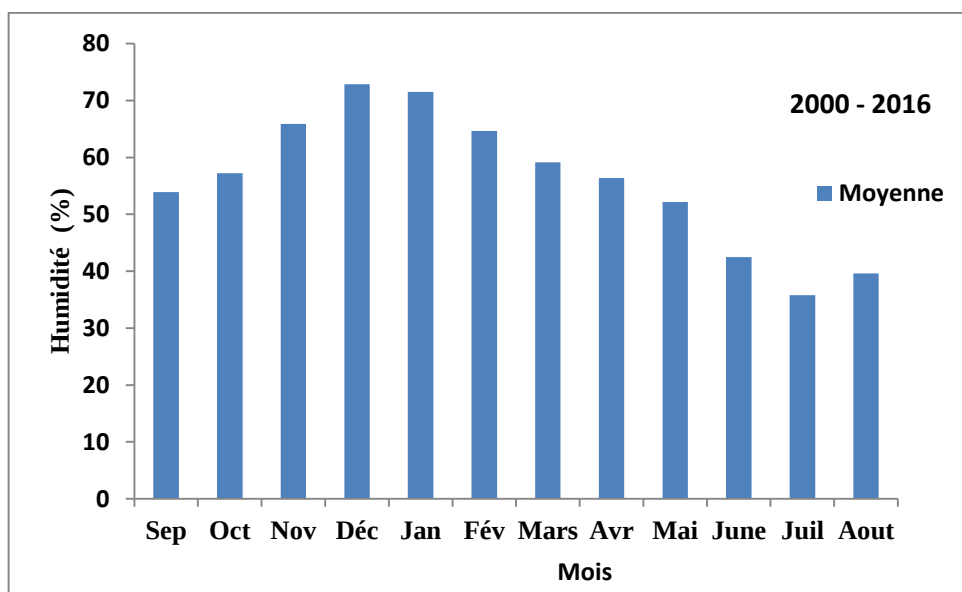


Figure I.4 : Variations de la moyenne mensuelle de l'humidité relative pendant la période (2000-2016)

En ce qui concerne l'humidité relative, nous remarquons un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 35,81 %, c'est la saison d'été, et un maximum enregistrés pendant le mois de décembre avec une valeur de 72,88 %, c'est la saison d'hiver. Avec une moyenne de 55,97 %.

III.2. La température de l'air

La température de l'air constitue un paramètre essentiel dans le processus d'évaporation. Elle influence directement sur la température de l'eau T_e et sur la tension de vapeur saturante de l'eau e_o (Guezal et al, 2018). La température de l'air est la plupart du temps mesurée par un thermomètre situé dans un abri météorologique, à l'abri des radiations solaires. Ce paramètre est disponible en valeurs horaires ou en moyennes journalières ou mensuelles.

Tableau L.3: Variations de la température annuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

Années	2000	2001	2002	2003	2004	2006	2007	2008
Tomy	15,84	16,38	16,18	16,14	14,59	16,11	15,67	15,78
Tmax	23,56	23,88	23,39	22,90	22,56	23,58	23,04	23,12
Tmin	8,04	8,64	8,68	8,99	7,68	8,41	8,19	8,24
Années	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Tomy	15,48	16,11	15,58	15,97	15,51	16,26	15,49	16,07
Tmax	23,05	23,38	22,79	24,03	22,87	24	23,30	24,09
Tmin	7,57	8,67	8,31	7,59	8,28	8,47	7,70	8,29

Source : (ANBT, 2016)

Du tableau (I.3), nous remarquons que l'année 2011 la plus tempérée, où la température enregistrée est de 16.58°C. Alors que, L'année la moins tempérée est 2009 avec une valeur de 7.57°C. La moyenne a atteint de 15,81°C.

Les variations des températures annuelles depuis 2000 jusqu'à 2016 sont représentées par le graphe ci-dessous ;

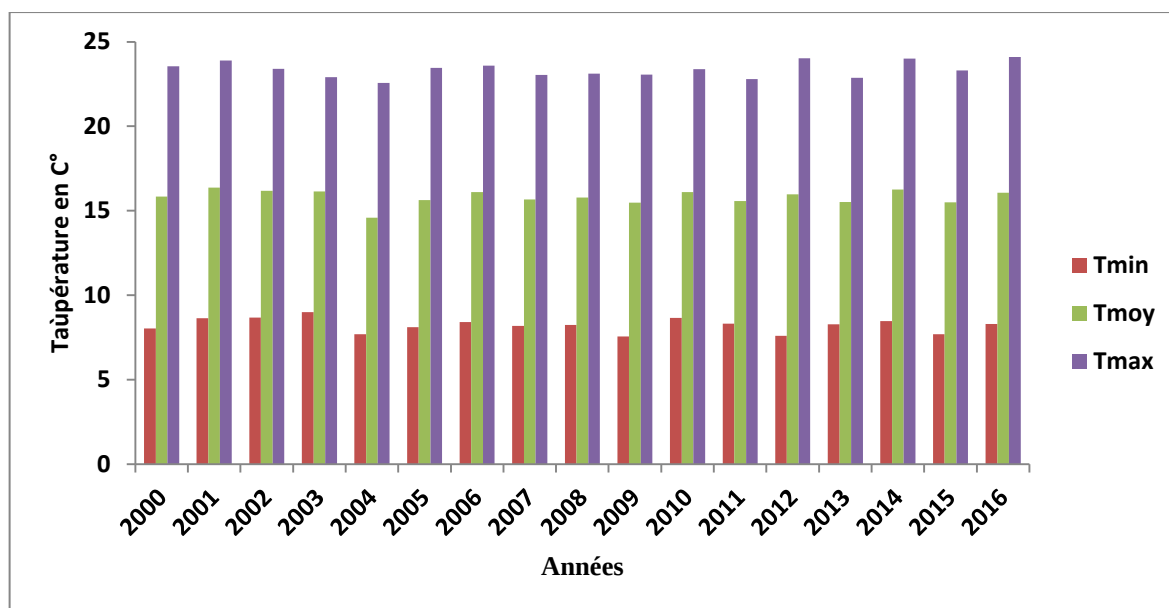


Figure I.5 : Variations des températures maximales, minimales et annuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

Le tableau suivant représente les trois types des variations des températures interannuelles :

Tableau I.4: Variation des températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Tmoy	21,62	17,42	11,12	6,69	5,75	6,74	10,46	14,01	18,31	23,55	27,46	26,59
Tmax	29,46	24,98	17,77	13,11	12,49	13,42	17,58	21,38	26,28	32,04	36,41	35,31
Tmin	14,09	10,32	4,91	1,02	- 0,01	0,40	3,34	6,19	9,68	14,10	17,55	17,12

Source : (ANBT, 2016)

D'après le graphe de la figure (I.3), nous observons clairement que la température max est de 36,41°C en juillet, la température min est de - 0,01 en mois de janvier. La moyenne atteinte de valeur 15,81°C. Les variations de la température mensuelles de la région de Khenchela sont présentées par l'histogramme suivant :

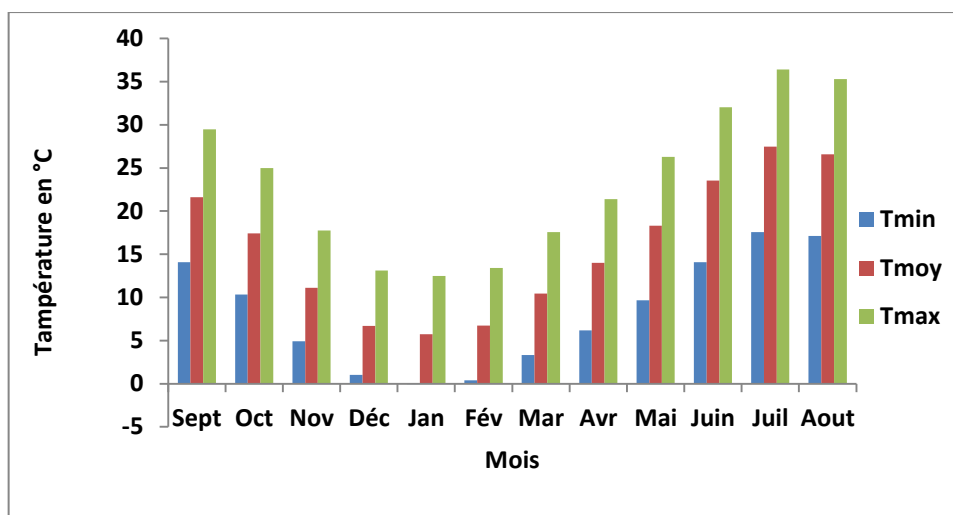


Figure I.6 : Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

III.3. La température de l'eau

La température de l'eau est un paramètre important aussi pour l'estimation de l'évaporation car elle permet le changement de l'état physique d'eau (liquide) en vapeur dans l'air. Elle est peu mesurée et par conséquent peut être disponible. Du plus lorsqu'elle est disponible, les séries comportent souvent beaucoup de lacunes. Par conséquent, les formules utilisant cette donnée seront difficilement applicables dans plupart des cas.

Le tableau suivant présente la variation de ce facteur durant la période (2000 - 2016)

Tableau I.5: Variations des températures moyennes mensuelles de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Teau °C	19,75	16,14	10,85	7,16	6,35	7,13	10,20	13,19	16,82	21,13	24,35	23,71

Source : (ANBT, 2016)

Sur le tableau (I.5), nous observons une température de l'eau minimum enregistrée pendant le mois de janvier atteint de 6,35°C. Alors que, une valeur maximale est enregistrée pendant le mois de juillet avec une valeur de 24,35°C.

Après avoir vu la variation de la température de l'eau, nous pouvons dire que la température de l'eau varie avec la température de l'air. La figure suivante montre les variations mensuelle et inter-annuelle de la température de l'eau de 2000 jusqu'à 2016.

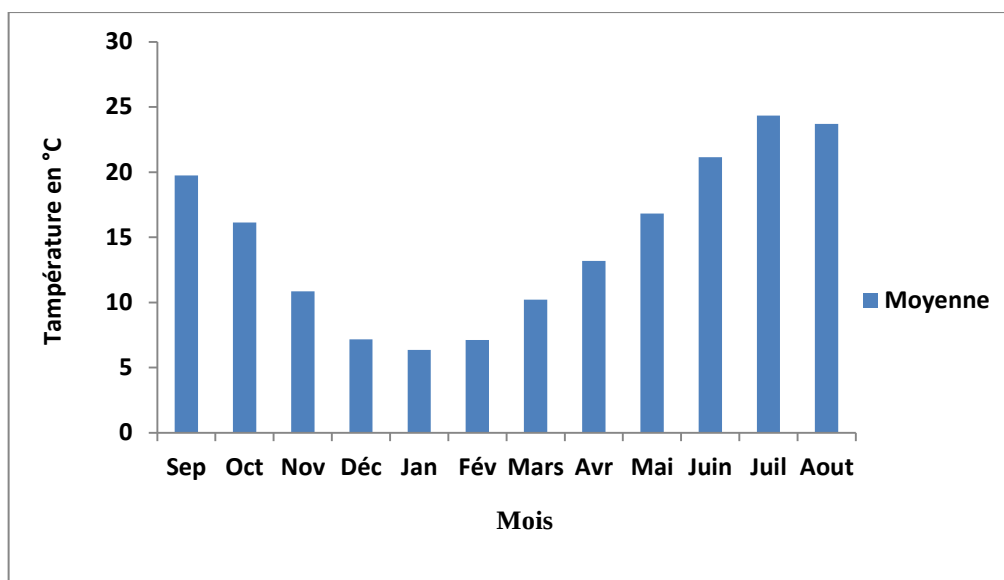


Figure I.7 : Variations des températures de l'eau moyenne mensuelle de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

III.4. L'insolation (I) ou Le rayonnement solaire (RS)

Le rayonnement solaire est l'élément moteur des conditions météorologiques et climatiques, et par voie de conséquence, du cycle hydrologique .Il existe plusieurs appareils de mesure du rayonnement solaire (pyréliomètre, plie thermoélectrique... etc). Le tableau suivant donne la variation mensuelle de l'insolation de la région de Khenchela

Tableau N° I.6: Variations mensuelles de l'isolation de la région de Khenchela (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
I (kwh/m ² /J)	5,12	3,92	2,84	2,31	2,68	3,54	4,69	5,67	6,54	7,19	7,39	6,43

Source : (ANBT, 2016)

Dans le graphe (Figure le I.8), nous constatons que l'insolation atteint sa valeur maximale dans la période d'été exactement pendant le mois de juillet avec une valeur de 7,39 (Kwh/m²/j) et une valeur minimale dans la période d'hiver, mois de décembre 2,31(Kwh/m²/j). L'insolation mensuelle a une moyenne de 4,86 (Kwh/m²/j). Les variations de l'insolation mensuelle sont représentées dans la figure suivante:

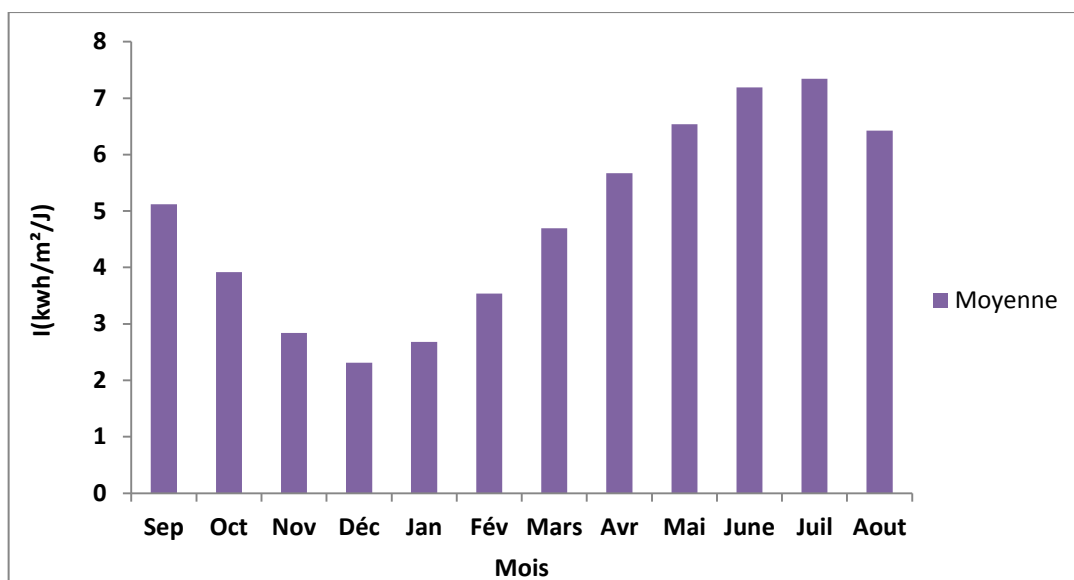


Figure I.8 : Variations mensuelles de l'insolation de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

III.5. La vitesse du vent

Le vent joue un rôle essentiel sur l'évaporation car il permet le renouvellement des masses d'air non saturées à la surface de la retenue, et maintient ainsi un certain pouvoir évaporant de l'air. La mesure du vent est facilement accessible soit auprès de météo- Algérie, soit auprès des aéroports ou aéroports (Vachala, 2008). Les valeurs de mesure sont disponibles en valeurs moyennes horaires ou journalières ou mensuelles. On optera ici pour une valeur mensuelle.

Tableau N°I.7 Variations mensuelles de vitesse des vents (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
V(m/s)	3,53	3,33	3,37	2,83	3,28	4,01	3,88	3,92	3,81	3,84	3,98	3,89

Source : (ANBT, 2016)

Sur le tableau (N°I.7), nous observons que la vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois de février avec une moyenne de 4,01 m/s. Le minimum du vent est enregistrée durant le mois de décembre avec une vitesse 2,83 m/s. La moyenne est 3,64 m/s. L'histogramme ci-dessous présent la variation de vitesse de vent à l'échelle mensuelle dans la période (2000- 2016).

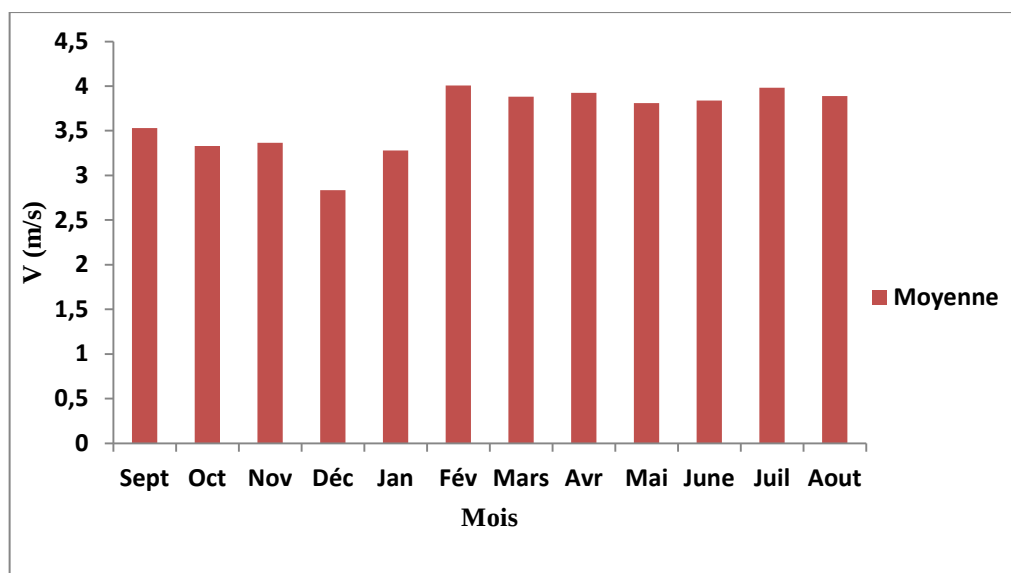


Figure I.9: Variations mensuelles des vitesses de vent de la région de Khenchela durant la période (2000-2016)

III.6. La pression atmosphérique

La pression atmosphérique représente le poids d'une colonne d'air par unité de surface considérée. Elle constitue un indicateur de la variation des types de masse d'air passant au – dessus d'un point donné et intervient dans le calcul des humidités spécifiques et absolues (André Musy, 2005). Le tableau ci-dessous représente les valeurs de la pression atmosphérique dans la période de 2000 jusqu'à 2016.

Tableau N°I.8: Variations mensuelles interannuelles de la pression atmosphérique dans la période (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(KPa)	92,75	92,78	92,71	92,91	92,87	92,68	92,61	92,42	92,56	92,69	92,71	97,70

Source : (ANBT, 2016)

Quand l'air est plus chaud, donc plus léger, la pression atmosphérique est faible. Quand la pression atmosphérique est haute, c'est l'inverse. C'est le phénomène de l'anticyclone qui annonce un temps dégagé. La pression atmosphérique est faible au mois d' avril (92,42 KPa) et élevés au mois de décembre (92,91 KPa). L'histogramme ci-dessous présente les variations de la pression atmosphérique à l'échelle mensuelle dans la période (2000- 2016).

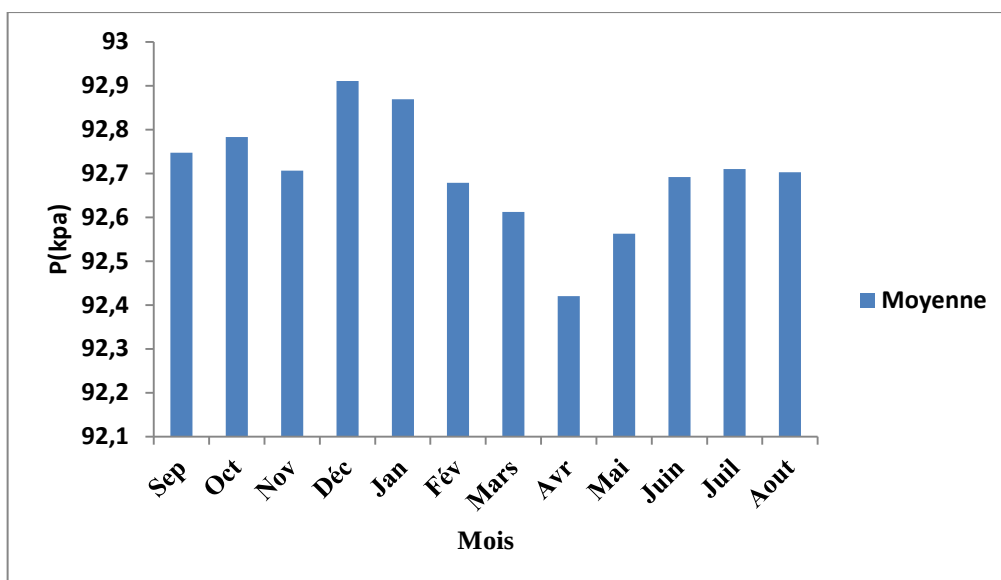


Figure I.10 : Variations de la pression atmosphérique pendant la période (2000-2016).

IV. Les principaux problèmes existant au niveau du barrage Foum El-Guieiss

IV.1. Les pertes par évaporation:

L'évaporation à la surface de l'eau est le phénomène par lequel le liquide se transport en vapeur (Oulhaci, 2015). Ce processus se produit lorsque les molécules qui sont animées d'un mouvement continu acquièrent suffisamment d'énergie pour se libérer de la surface d'eau et s'échapper dans l'atmosphère.

En général, la quantité d'eau évaporée dépend des influences telles que la vitesse du vent et du degré de la turbulence de l'air. Le tableau suivant donne la variation mensuelle de l'évaporation de barrage Foum EL-Guieiss.

Tableau N°I.9 : Variations de l'évaporation moyenne mensuelle durent la période (2000-2016)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
EVP(mm)	135,45	101,49	68,16	50,83	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85

Source : (ANBT, 2016)

D'après le tableau (N°I.9), nous constatons bien que le mois le plus évaporé est le mois d'Aout puisque la valeur de l'évaporation atteint 234,09 mm alors que le minimum de l'évaporation est dans le mois de janvier est de 46,79 mm. La figure ci-dessous montre la répartition de l'évaporation mensuelle dans la période (2000-2016).

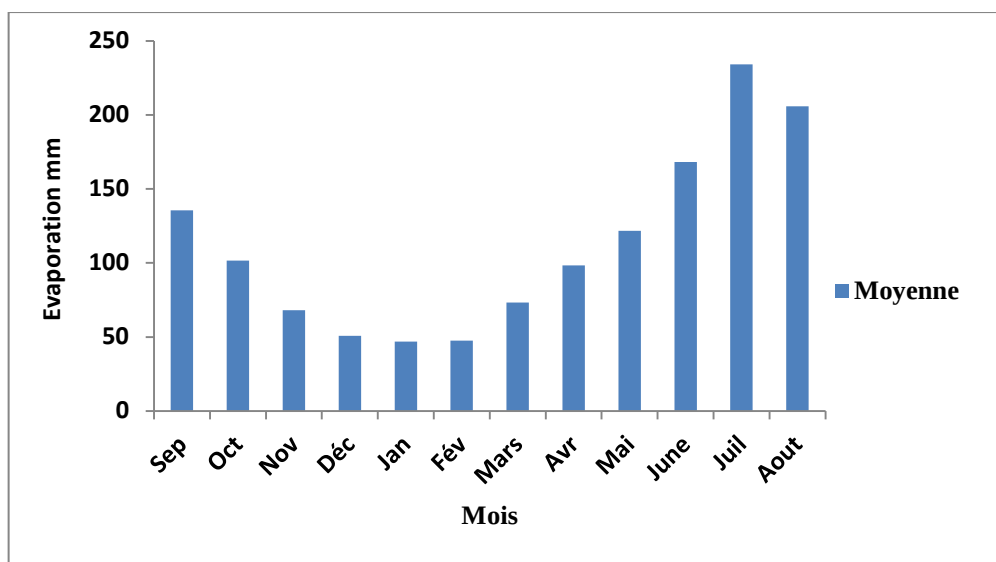


Figure I.11: Répartition de l'évaporation mensuelle dans le période (2000-2016)

IV.2. Sédimentation et l'envasement

L'envasement des retenues est la conséquence directe des processus d'érosion et des transports solides dans le réseau hydrographique (Benis, 2009). Les processus de l'érosion peuvent se définir par le creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches ce qui constitue un flux solide ou bien appelé le débit solide (Benhaddad, 2015). Le débit solide c'est l'origine de la vase de la retenue ce qui permet d'estimer sa quantité par des méthodes convenables. L'envasement pose d'énormes problèmes à savoir; la réduction de la capacité de stockage, l'obturation des organes de vidange, la sécurité de l'ouvrage, la sédimentation des canaux d'irrigation et elle a même un impact sur la qualité de l'eau.



Figure I.12: L'envasement du Barrage de Foum El Guieiss (Tebbi, 2014)

IV.3. Problème de fuites

Le problème de fuite revêt une grande importance, surtout pour les régions arides et semi-arides où le développement économique est lié aux quantités d'eau emmagasinées au sein des retenues de barrages.

Le barrage de Foum-Guieess connaît des fuites d'eau importantes notamment à travers les appuis (Benhaddad, 2015) puisqu'elles sont soumises à des forces de la poussée de l'eau. Seules les fuites de la rive droite sont mesurées à partir d'un déversoir à seuil triangulaire placé dans le tunnel d'irrigation. Celles de la rive gauche ne sont plus mesurées à cause de l'envasement du dispositif de mesure. Selon les données de l'ANBT, la perte d'eau par les fuites est atteinte de 0,137 m³ pendant l'année 2016.

V. Conclusion:

La situation géographique de ce barrage montre bien l'importance de cet ouvrage dans l'approvisionnement des ressources hydriques dans la région de Khenchela.

L'analyse climatique a permis de ressortir les résultats suivants:

- la région de Khenchela (El-Guieess) se spécifie par un climat Semi-aride.
- L'humidité relative est de 35,81% pendant le mois de juillet et 72,88% pendant le mois de décembre.
- La température mensuelle maximale est de 36,41°C au mois de juillet.
- La température mensuelle minimale est de - 0,01°C au mois de janvier.
- La température moyenne mensuelle est de 5,75°C au mois de janvier et 27,46°C au mois de juillet.
- La température de l'eau est de 24,35°C le mois de juillet et 7,1°C le mois de février.
- L'insolation mensuelle maximale est de 7,39 kwh/m²/J au mois de juillet.
- L'insolation mensuelle minimale est de 2,31 kwh/m²/J au mois de décembre.
- La vitesse du vent moyenne mensuelle est de 40,1 m/s au mois de février et 2,83 m/s au mois de décembre.
- La pression atmosphérique est de 92,91 KPa le mois de décembre et 92,42 KPa le mois d'avril.
- L'évaporation mensuelle maximale est de 234,09 mm au mois de juillet.
- L'évaporation mensuelle minimale est de 47,54 mm au mois de février.

Parmi les problèmes majeurs qui affectent notre barrage se sont bien l'envasement, les fuites et l'évaporation de la retenue. Cette dernière fait l'Object de notre étude.

*Les méthodes d'estimation
de l'évaporation des plans
d'eau*

II

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'application numérique concernant quelques modèles choisis qui permettent d'estimer le taux l'évaporation. Nous citons les deux modèles de Boutoutaou (1995), Papadakis (1972), Romanko(1961), Hamon (1963), Meyer (1915) ,Rohwer (1931), Penman(1948), Fitzgerald (1886), Lu et al (2005), Blaney Griddle (1959), Boyd (1985) , Hamon (1963) et enfin le nouveau modèle de Xiao Liu (2016) avec des mesures directes de l'évaporation en utilisant du bac du Colorado qui est installé à proximité de la retenue du barrage de Foug El-Gueiss. Nous indiquons que les valeurs des mesures directes de l'évaporation ont été obtenues par un compte rendu de l'ANBT.

II. L'évaporation

« Transformation plus ou moins lente d'un liquide en vapeur. L'évaporation de l'eau et de toutes sortes de liquides se fait naturellement, soit par la seule action de l'air, soit par la chaleur du soleil (Vachala, 2008).

III. Les modèles d'estimation de l'évaporation des plans d'eau

III.1. Les méthodes directes

Les mesures directes sont effectuées par des appareils, plus ou moins normalisée soumis aux phénomènes évaporation, qui une variation de quantité d'eau. On recense principalement deux types d'appareils, les atmomètres et évaporation et les bacs d'évaporation (Vachala, 2008).

III.1.1.Les atmomètres et évaporimètres

Les atmomètres et évaporimètres « mesurent le pouvoir évaporateur de l'air ou l'évaporation latente, définie comme l'évaporation maximale d'une surface saturée, plane, horizontale, noire et exposée aux conditions météorologiques du milieu étudié. »

III.1.2.Les bacs d'évaporation

les bacs d'évaporation appareils constitués d'un bassin ou d'une cuve d'assez grandes dimensions, dans lequel on mesure l'abaissement du niveau de l'eau sous l'action de l'évaporation. La raison principale pour fabriquer ces bacs était la difficulté d'accéder à la mesure directe de l'évaporation d'une surface d'eau. Parmi les différents types de bacs évaporatoires nous pouvons citer :

- a. Le bac de classe A**, développé par le Weather Bureau. Bac rond de 122 cm de diamètre, 25,4 cm de profondeur. Il est posé à 18 cm au-dessus du sol et l'eau à l'intérieur du bac doit affleurer à 5-8 cm du bord. Etant petit, il est soumis à un problème d'inertie thermique trop faible.

b. **Le bac Colorado**, est un carré de 91,4 cm de côté, et de 46 à 91 cm de profondeur. Il est enterré de manière à ce que son rebord soit à 10 cm au-dessus de la surface du sol. De fait, il représente mieux l'inertie thermique. Il existe des variantes du bac Colorado, notamment la version ORSTOM.



a) Bac d'évaporation classe « A »

b) Bac d'évaporation Colorado

Figure II.1 : Bacs d'évaporation Classe « A » et le bac de Colorado (BOUTOUTAOU, 2011)

c. **Les bacs flottants** sont partiellement immergés à la surface de l'eau. Cette mesure est la plus représentative des conditions d'évaporation de la surface d'eau libre mais très difficile à mettre en œuvre et très coûteuse.



Figure II.2: Bac flottant (Aldomany, 2017)

III.2.Méthode indirecte

Les mesures indirectes reposent sur des modèles empiriques, qui sont fonction de variables climatiques plus ou moins nombreuses et plus ou moins faciles à mesurer.

III.2.1. Modèles de Boutoutaou basés sur les données météorologiques

La méthode hydrométéorologique est la méthode la plus employée pour la détermination de l'évaporation des étendues d'eau. Elle est s'appuyer sur la loi physique de Dalton. Les deux modèles de calcul de l'évaporation proposées par Boutoutaou (1995) sont les suivants :

- **Le premier modèle (1)** de Boutoutaou donne par l'équation suivante :

$$EVP = 0,233 \times n (es - ea)(1 + 0,39V) \dots\dots\dots (1) \text{ (Boutoutaou,2011)}$$

Avec : **EVP** est le taux d'évaporation en (mm); **(es - ea)** est le déficit de saturation dans l'air (mb). **es** est la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporant (millibar). **ea** est la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère (mb); **V** est la vitesse du vent (m/s) ; **n** est le nombre de jours du mois considéré.

Pour calculer le terme «**es** » nous utilisons la relation suivante :

$$es = 0,6108 e^{\frac{(17,27 \times T_{moy})}{(T_{moy} + 237,3)}} \dots\dots\dots (2) \text{ (André, 2005)}$$

Où : **es** en (KPa) ; **exp ()** est la base de Logarithme népérien = (2,711828) ; **Tmoy** est La température moyenne mensuelle de l'air (°C).

Pour calculer le terme «**ea** » nous appliquons la relation suivante :

$$ea = \frac{(Hr \times es)}{100} \dots\dots\dots (3) \text{ (André, 2005)}$$

Où : **ea** en (KPa) ; **Hr** c'est la moyenne mensuelle de l'humidité de l'air (%) ; **es** est le même que dans la relation (2).

- **La deuxième modèle (2)** de Boutoutaou s'écrit comme suit :

$$EVP = 0,403 \times n D^{0,73}(1 + 0,39V) \dots\dots\dots (4) \text{ (Boutoutaou,2011)}$$

Avec : **EVP** est le taux d'évaporation en (mm) ; **D** est le déficit de saturation de l'air en (millibars) ; **n** et **v** sont les mêmes que dans la relation (1)

Pour calculer le terme«**D**» nous utilisons la relation suivante :

$$D = 0,0632 (Hr - 100) e^{0,0632 T_{moy}} \dots\dots\dots (5) \text{ (Boutoutaou,2011)}$$

Où : **D** est le Déficit de saturation de l'air en (millibars) ; les termes **Tmoy** et **Hr** sont similaires à la relation (2) et (3) respectivement.

D'après les résultats interannuels de l'évaporation calculés par le modèle de Boutoutaou (1) (Voir annexe n°1), on peut schématiser le graphe suivant :

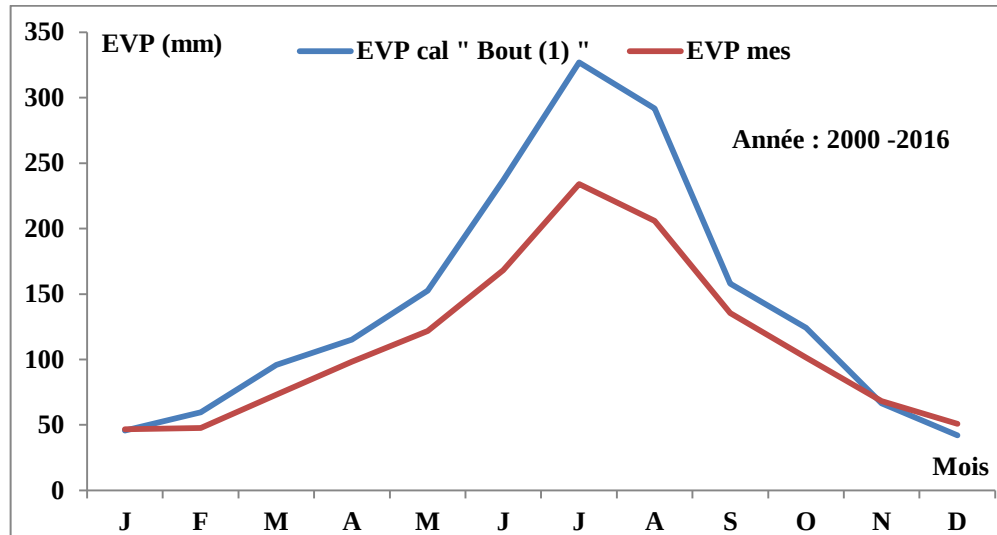


Figure II.3:Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Boutoutaou (1) et du bac Colorado (2000- 2016)

D'après la Figure (II.3), nous observons un écart très important entre la courbe d'évaporation mesurée par le modèle de Boutoutaou et de celle mesurée sur le terrain mais le coefficient de corrélation très élevé $R^2 \simeq 0,99$.

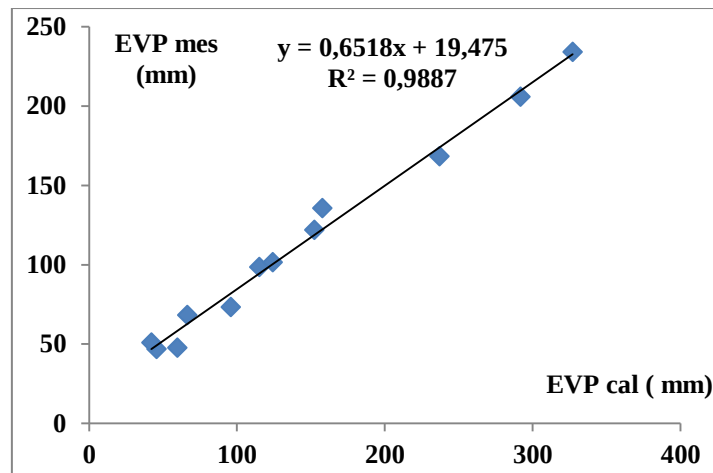


Figure II.4: Corrélation entre les résultats du modèle de Boutoutaou (1) et les évaporations mesurées

Afin de voir l'évolution de l'évaporation mensuelle par le modèle de Boutoutaou (2) et l'évaporation des mesures directes, nous obligeons à présenter les graphiques suivants :

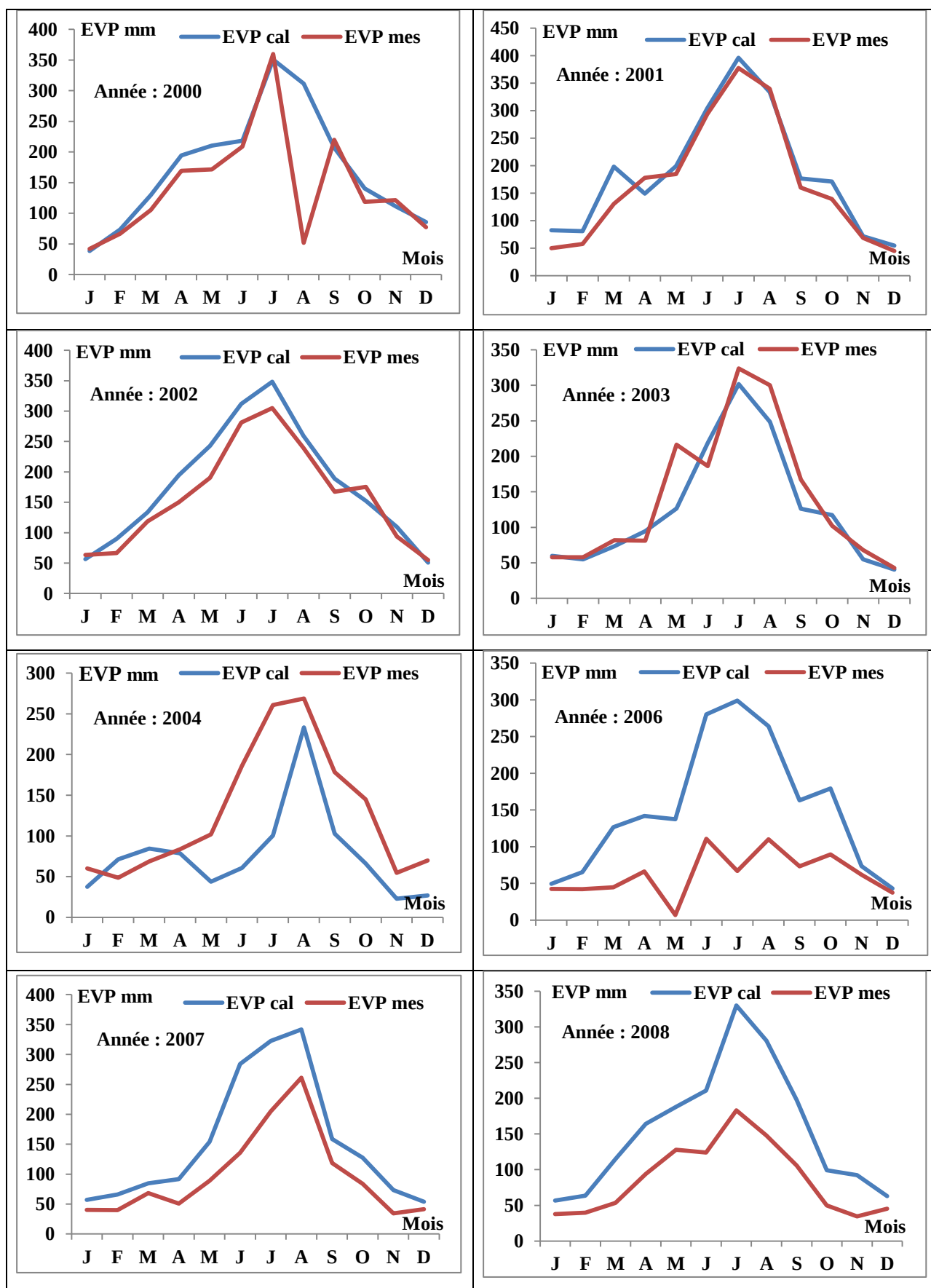
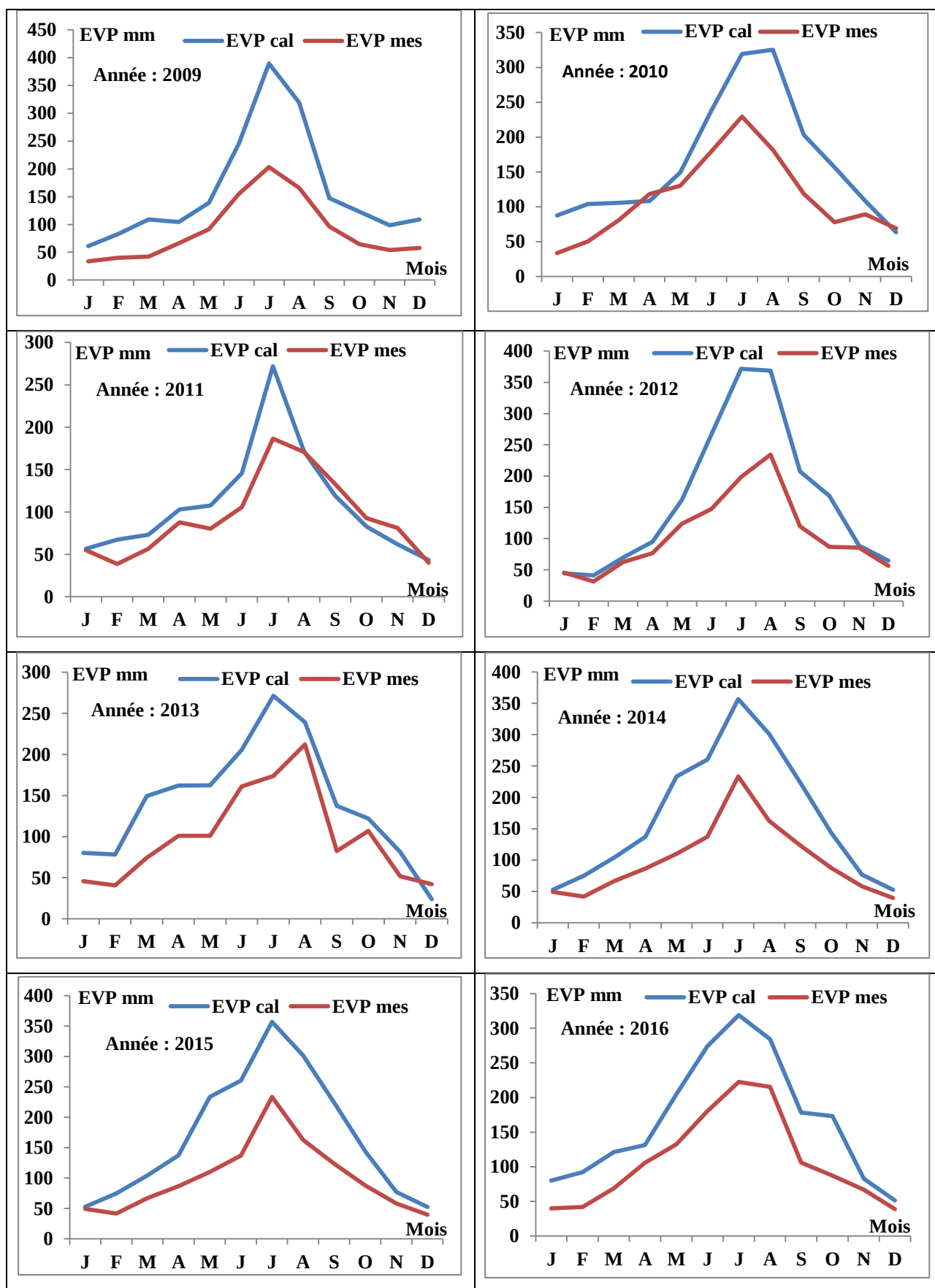


Figure II.5:Évolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutaou (2) et du bac Colorado



Suite figure II.5: Évolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutaou (2) et du bac de Colorado

À partir Les résultats interannuels de l'évaporation calculés par les modèles de Boutoutaou (2) dans l'annexe n°1, nous traçons le graphe suivant :

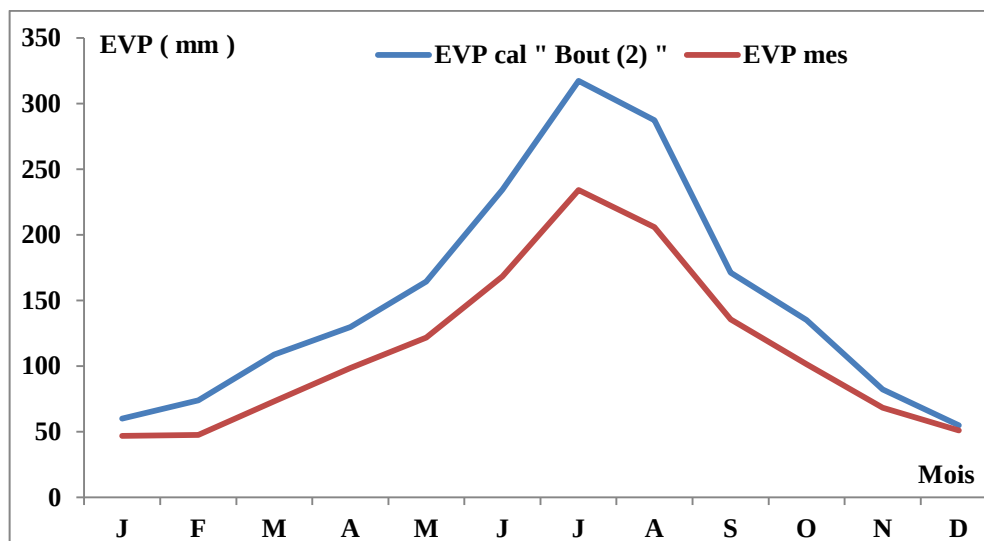


Figure II.6: Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Boutoutaou (2) et du bac de Colorado (2000-2016)

Nous remarquons à partir la figure (II.6),que le modèle de Boutoutaou (2) a presque la même forme que la courbe de l'évaporation mesurée ,c'est-à-dire les valeurs d'évaporation calculées par ce modèle sont compatibles avec de celles mesurées par le bac du Colorado ,ce qui traduit à une forte corrélation ($R^2 = 0,99$).

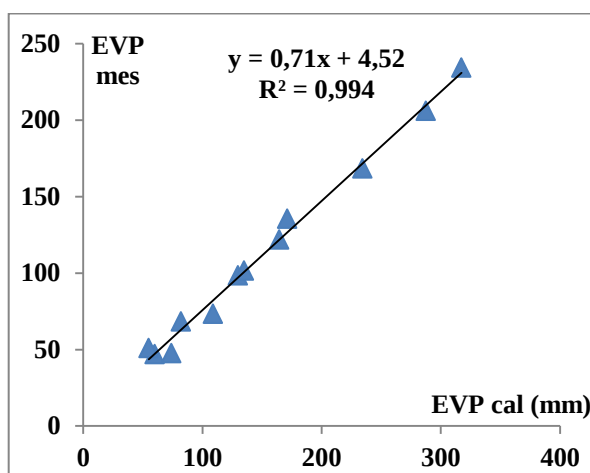


Figure II.7: Corrélation entre les résultats du modèle de Boutoutaou (2) et les évaporations mesurées

III.2.2.Modèle de Papadakis (1972)

Le modèle de calcul de l'évaporation proposée par Papadakis en 1972 est écrite :

$$EVP = 0,5625[(es_{\max} - (es_{\min})) (10/d) \dots\dots\dots(6) \text{ (Ben Cherouda et al,2018)}$$

Avec : **EVP** : Evaporation (mm) .**d** ; le nombre de jours du mois. (**es_{max}** **et** **es_{min}**) ;Vapeur saturée pression au maximum et minimum température de l'air (Pa).

Après avoir calculé l'évaporation interannuelle par le modèle Papadakis (voir annexe n°1), nous pouvons tracer le graphe ci-dessous :

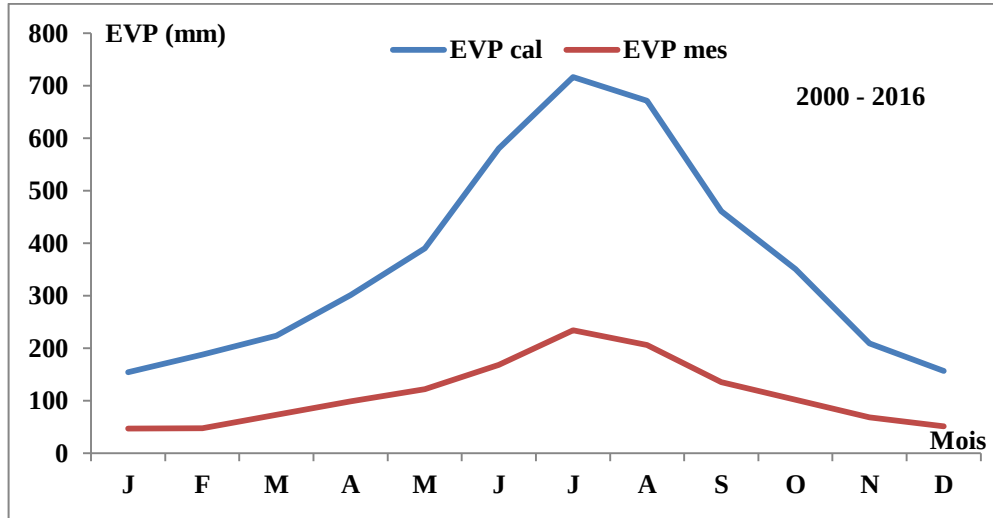


Figure II.8:Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Papadakis et du bac de Colorado (2000-2016)

Ce que nous constatons, que le modèle de Papadakis donne des valeurs plus loin de celles mesurées sur le terrain malgré le coefficient de corrélation $R^2 = 0.99$

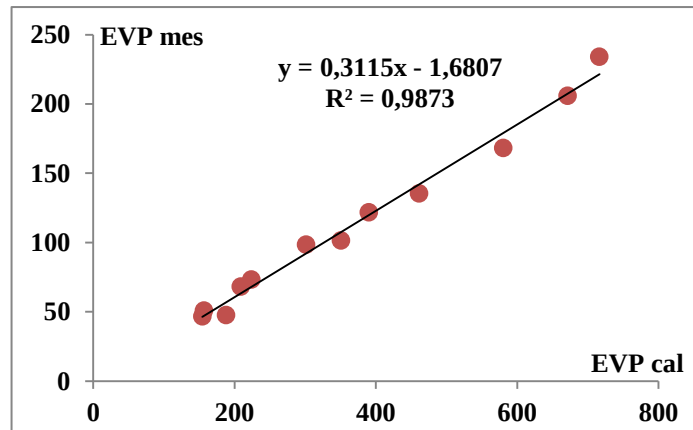


Figure II.9 :Corrélation entre les résultats du modèle de Papadakis et les évaporations mesurées

III.2.3.Modèle de Penman (1948)

Penman a proposé dans son article publié en (1948) deux formules pour estimer l'évaporation à partir d'une surface d'eau libre. Ces dernières utilisent des données climatiques qui sont similaires à formule de Boutoutaou (1972).

Les deux modèles de Penman sont les suivants :

- **Le premier modèle (1)** donne par l'équation comme suite :

$$EVP = 0,35 (1 + 0,24 U) (es - ea) \quad \dots\dots\dots (7) \text{ (Aldomany, M. (2017).)}$$

Avec :EVP est l'évaporation en (pouces par jour) ; U est la vitesse moyenne mensuelle du vent en (miles par heure) ; es est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la

surface ; **ea** est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (**es** et **ea** sont en unité de Pouce de mercure) .

▪ **Le deuxième modèle (2)** s'écrit de façon suivante :

$$\text{EVP} = (\text{es} - \text{ea}) f(u) \dots \dots \dots (8) \text{ (Alazard et al, 2015)}$$

Avec: **EVP** est l'évaporation en (mm par mois) ; **f(u)** est une fonction de la vitesse du vent.

Le **f(u)** donné par la relation suivante :

$$f(u) = 2,62 (1 + (0,536 \times u)) \dots \dots \dots (9) \text{ (Benzaghta and al, 2012)}$$

Où: **u** est la vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s); les **es**, **ea** sont en unités de KPa .

Selon résultats numériques interannuels de l'évaporation calculée par les deux modèles de Penman (voir l'annexe n°1), nous trçons les graphes suivants :

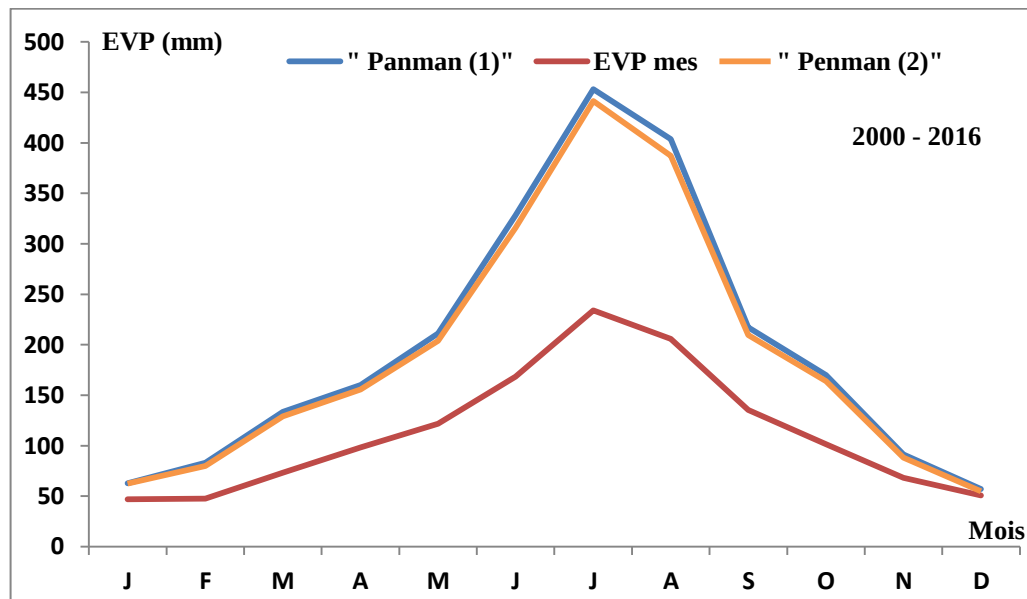


Figure II.10:Evaporation moyenne mensuel par les deux modèles de Peman et du bac de Colorado (200-2016)

D'après le graphique de la figure (II.10), nous voyons clairement que les deux modèles de Penman offrent une mauvaise estimation de l'évaporation comparant aux résultats des mesures directs .Ce signifie que plus 70% des valeurs de évaporation calculés par ces modèles sont loin de ceux mesurés par le bac du Colorado .la corrélation a atteint une valeur de 0,98.

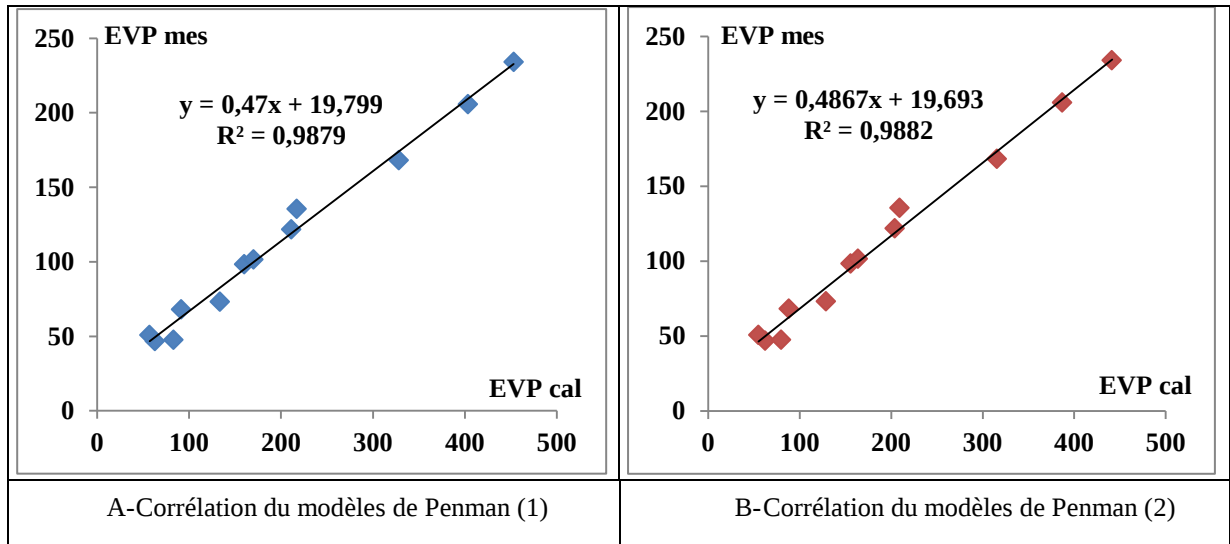


Figure II.11: Corrélation entre les résultats des modèles de Penman et les évaporations mesurées

III.2.4.Modèle de Romanenko (1961)

L'une des formules qui se sont dégagées la formule de Penman est celle de Romanenko (1961) .Cette formule est exprimée par l'équation suivante :

$$EVP = 0,0018 (T_{moy} + 25)^2 (100 - Hr) \dots\dots (10) \text{ (Ben cherouda et al, 2018)}$$

Où :EVP; Evaporation (mm); les autres termes sont similaires à l'équation de Boutoutaou.

Les résultats graphiques par le modèle de Romanenko sont récapitulées dans la figure suivante ;

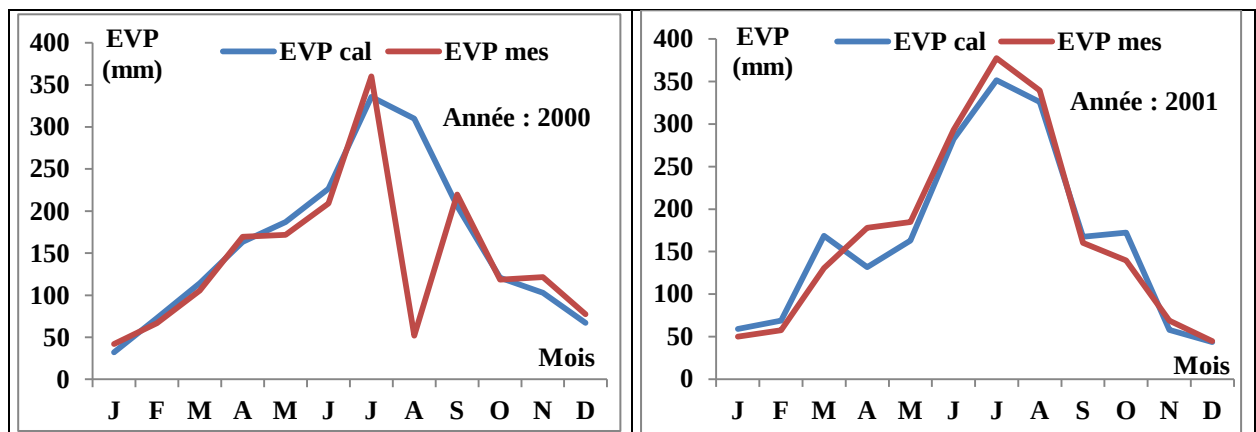
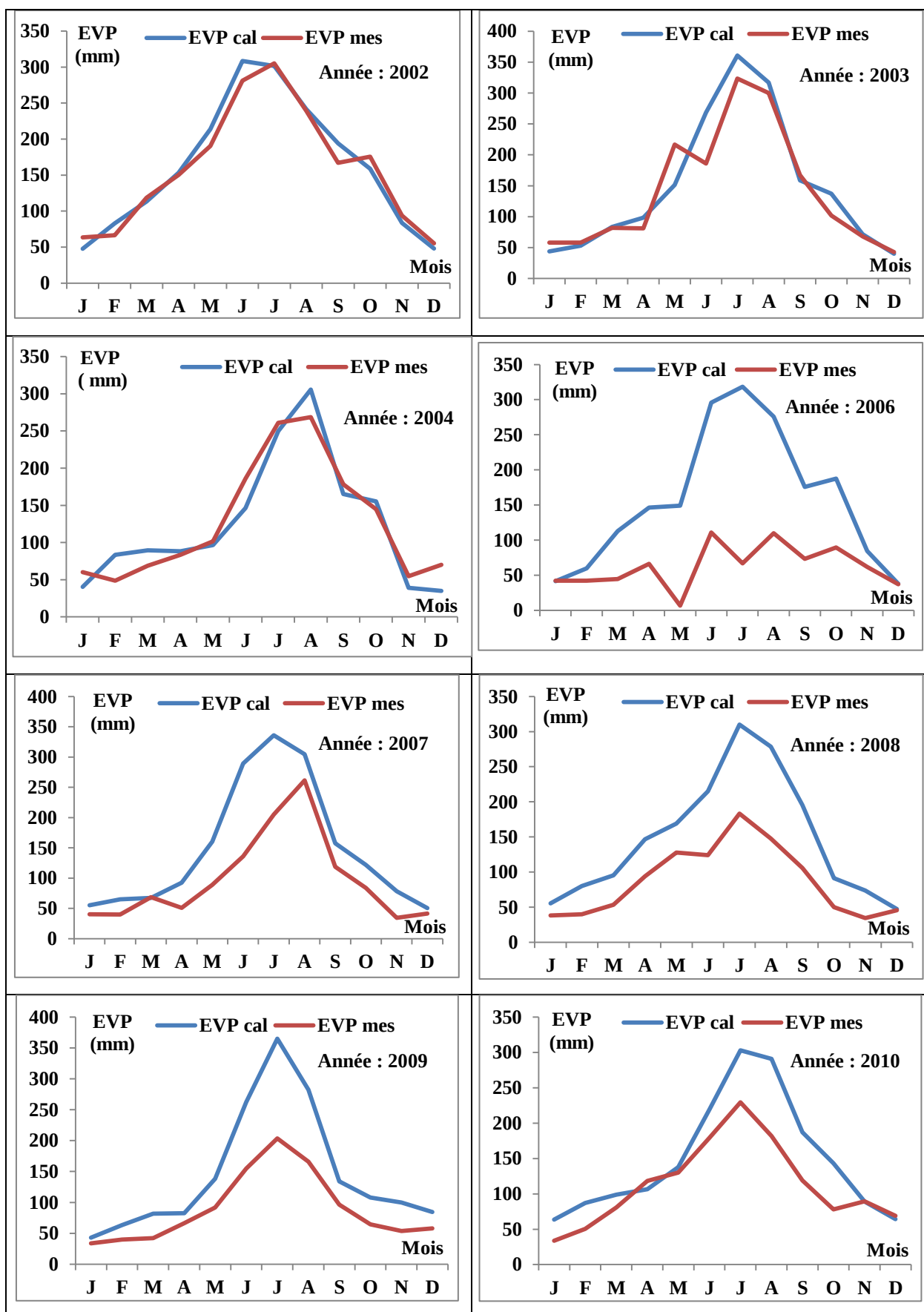
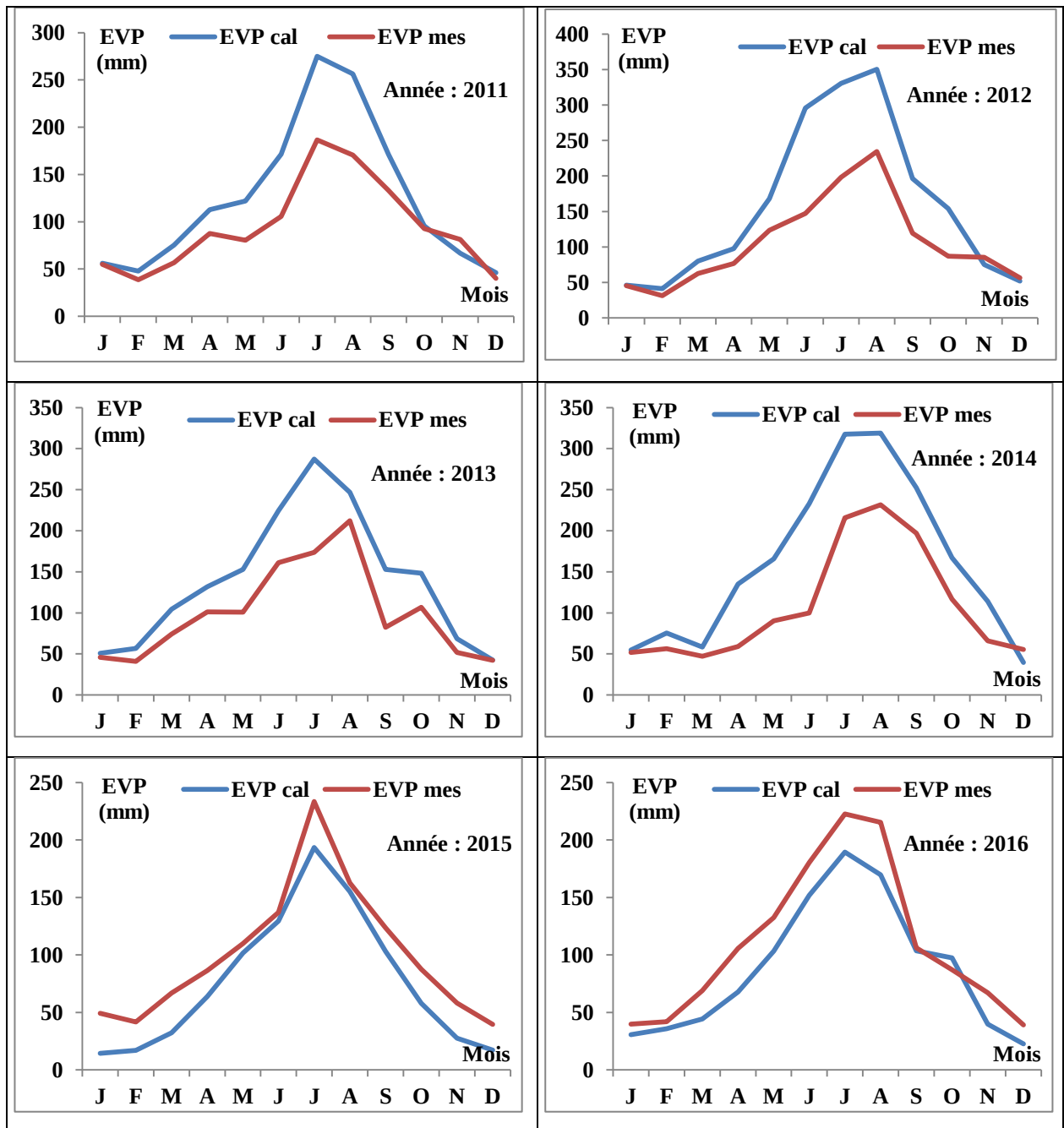


Figure II.12:Évolution de l'évaporation par le modèle de Romanenko et du bac de Colorado



Suite Figure II.12: Évolution de l'évaporation par le modèle de Romanenko et du bac de Colorado



Suite Figure II.12: Évolution de l'évaporation par le modèle de Romanenko et du bac de Colorado

Après avoir calculés l'évaporation interannuelle par le modèle de Romaneko (voir annexe n°1) , nous pouvons tracer le graphe suivant :

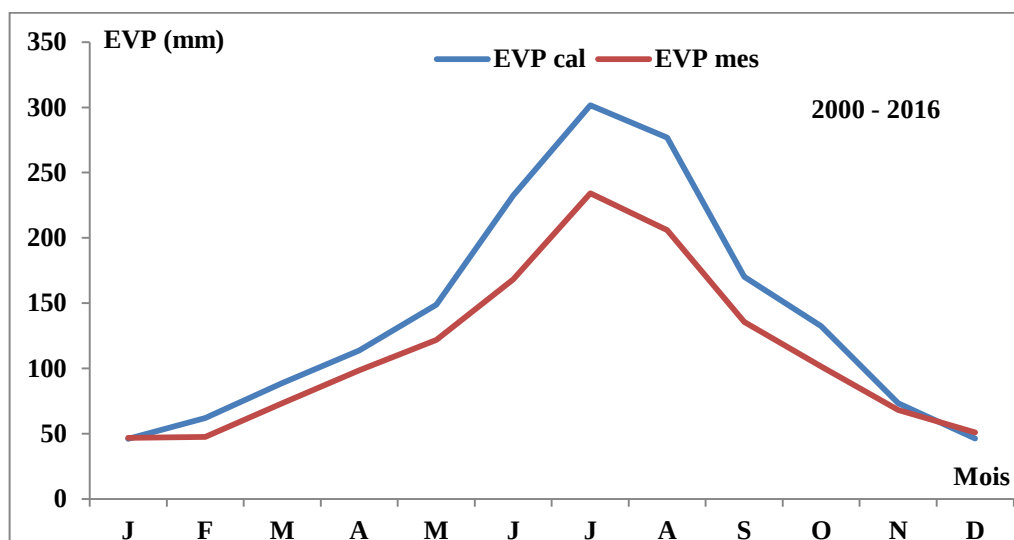


Figure II.13: Evaporation moyenne mensuelle par le modèle de Romanko et du bac de Colorado (2000-2016)

D'après le graphique de la figure (II.13), nous observons un écart peu important entre les deux courbes qui sont ; courbe d'évaporation calculée par le modèle de Romanko et mesurée par le bac du Colorado. Donc, les résultats obtenus par ce modèle peuvent être considérés comme bons résultats avec une corrélation de 0,99.

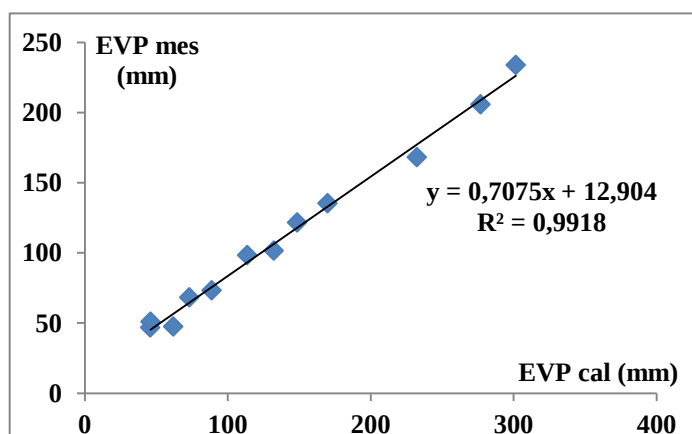


Figure II.14: Corrélation entre les résultats du modèle de Romanenko et les évaporations mesurées

III.2.5. Modèle de Meyer (1915)

Cette formule est une des équations dérivée de la loi de Dalton et, à notre connaissance, la première formule qui donne des résultats acceptables pour le taux d'évaporation à partir des plans d'eau libre. Cette formule est donnée par l'équation suivante :

$$EVP = 11(1 + 0,01 \times U) (e_s - e_a) \dots\dots\dots(11) \text{ (Aldomany, 2017)}$$

Où : **EVP** est le Taux d'évaporation en unité de (pouces /mois) ; les autres termes sont similaires à l'équation (4) .

Les résultats graphiques de l'évaporation calculés par le modèle de Meyer sont schématisés ci-dessous :

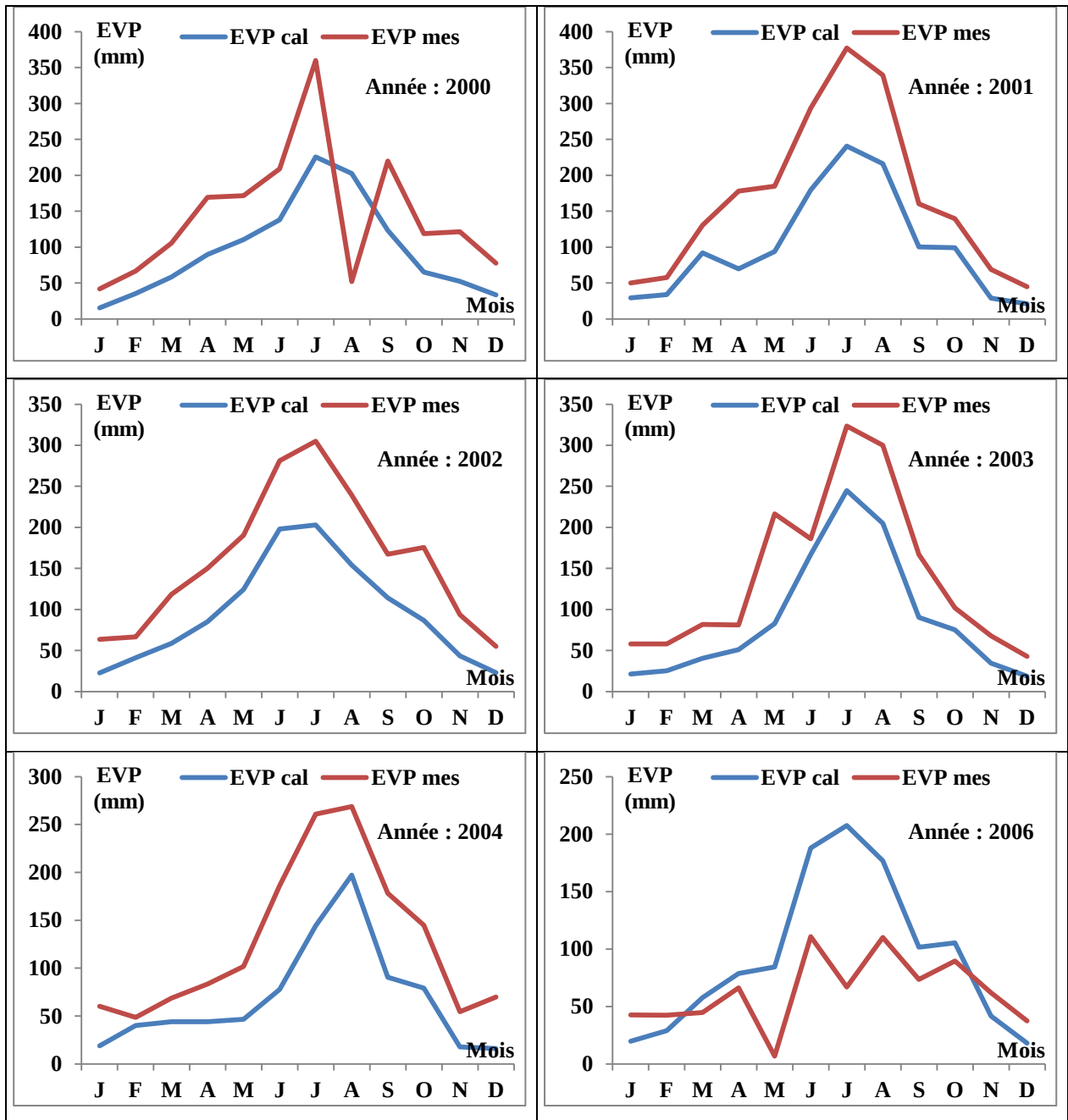
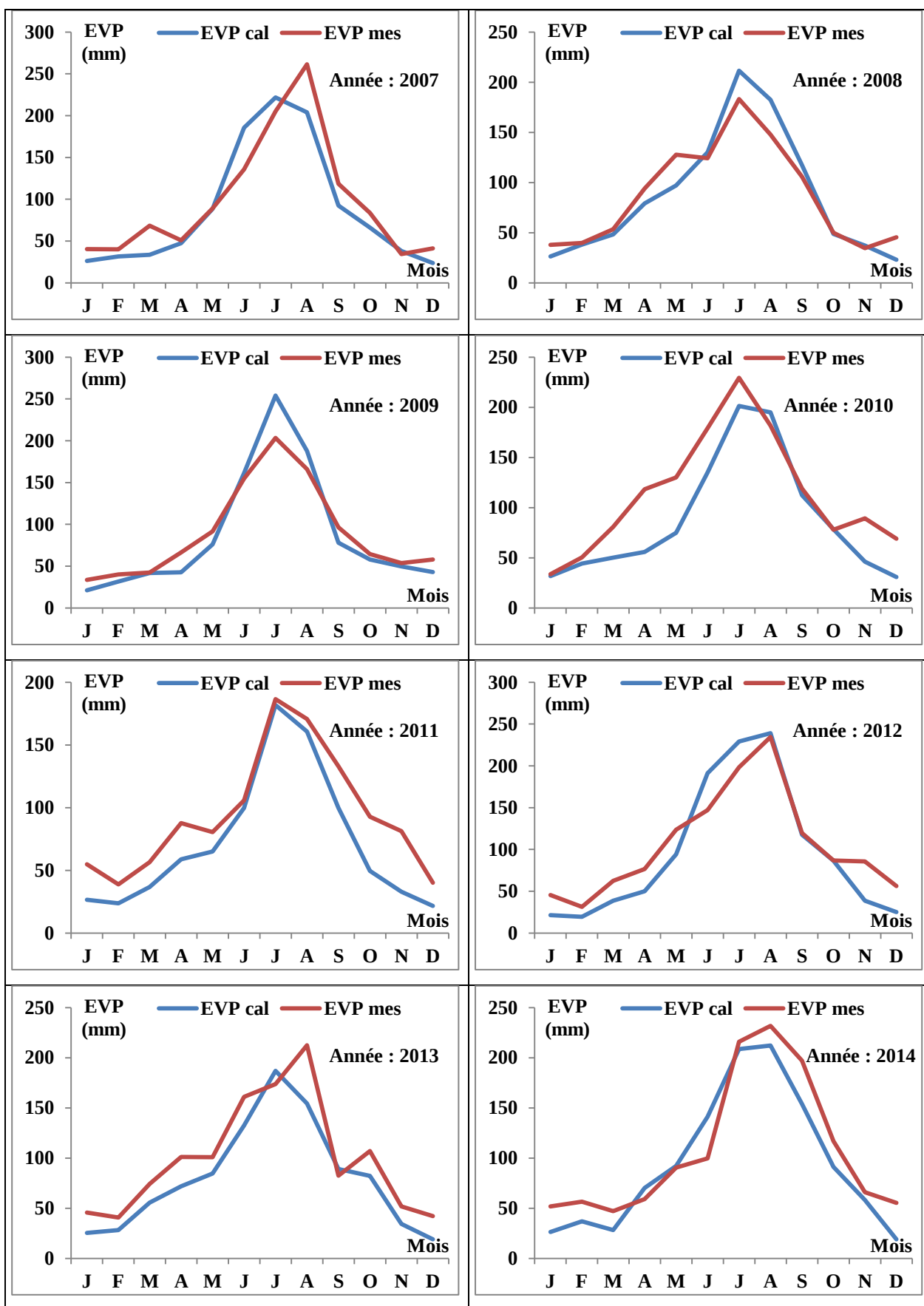
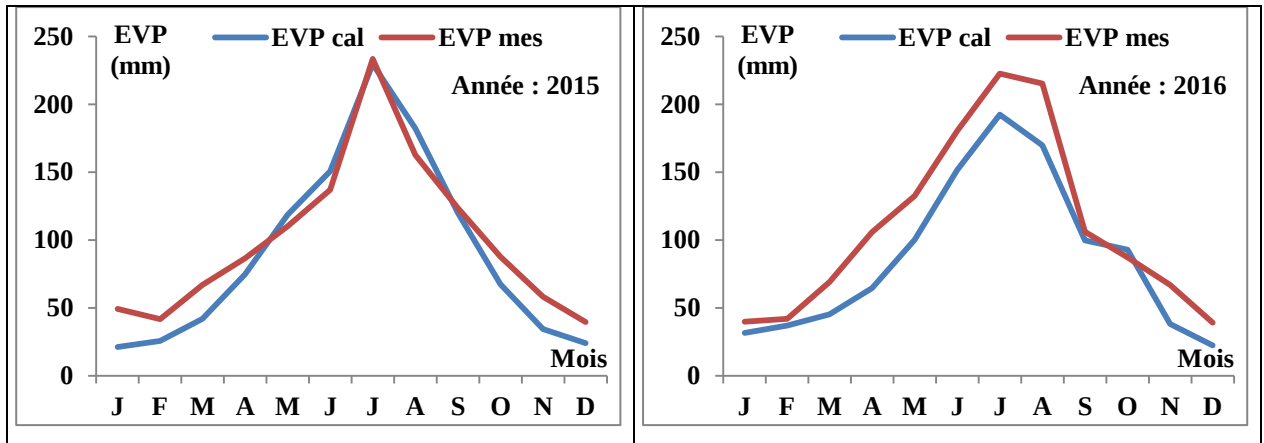


Figure II.15: Evolution de l'évaporation par le modèle de Mayer et dubac de Colorado (2000-2016)



Suite Figure II.15: Evolution de l'évaporation par le modèle de Mayer et du bac de Colorado (2000-2016)



Suite Figure II.15: Evolution de l'évaporation par le modèle de Mayer et du bac de Colorado (2000-2016)

Selon l'annexe n°1, On représente les résultats interannuels de l'évaporation calculée par le modèle de Meyer sur la figure suivante :

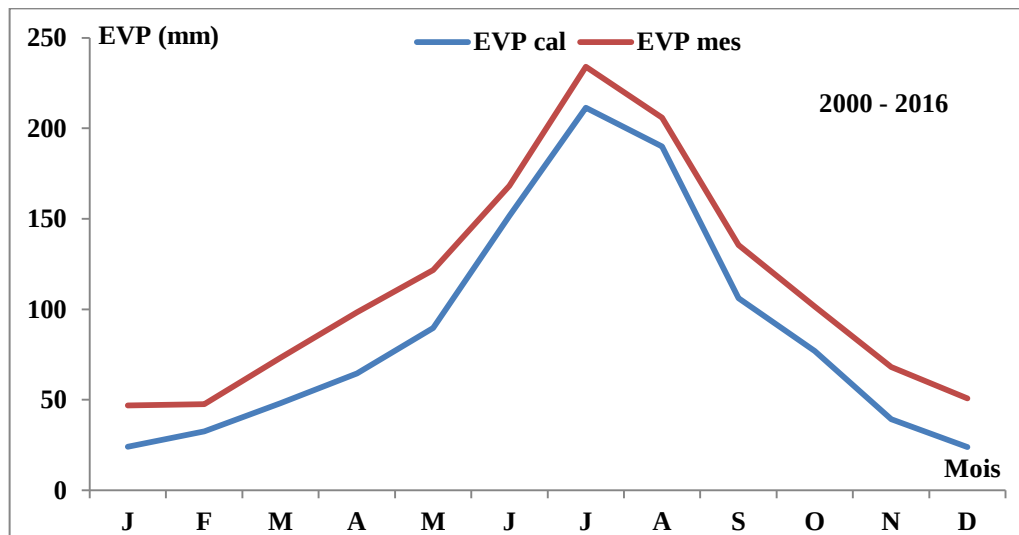


Figure II.16: Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Meyer et du bac de Colorado (2000-2016)

Selon (la figure II.16), nous voyons clairement que le modèle de Meyer présente une bonne convergence avec la courbe de l'évaporation mesurée. Pour cela, nous pouvons dire que les résultats obtenus par ce modèle comme bons résultats avec une forte corrélation de 0,99.

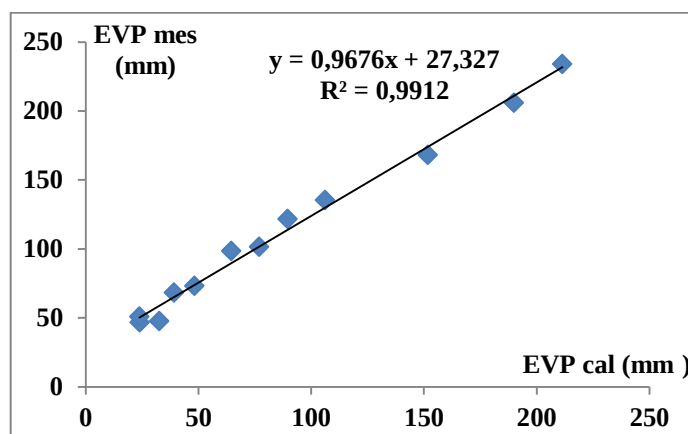


Figure II.17: Corrélation entre les résultats du modèle de Meyer et les évaporations mesurées

III.2.6.Modèle de FITZGERALD (1886)

Fitzgerald proposée en 1886, un modèle simple basé sur la relation entre la vitesse du vent et le déficit de saturation de l'air. Il est souvent utilisé pour estimer l'évaporation d'un lac. Sa formule est la suivante:

$$EVP = (4 \times (0,199 \times U)) (e_s - e_a) \dots \dots \dots (12) \text{ (Singh, 1997)}$$

Où : **EVP** est l'évaporation en (pouces par jour); les autres termes sont similaires à l'équation (4).

Selon l'annexe n°1, les résultats inter-annuels de l'évaporation calculés par le modèle de Fitzgerald sont représentés sur la figure suivante :

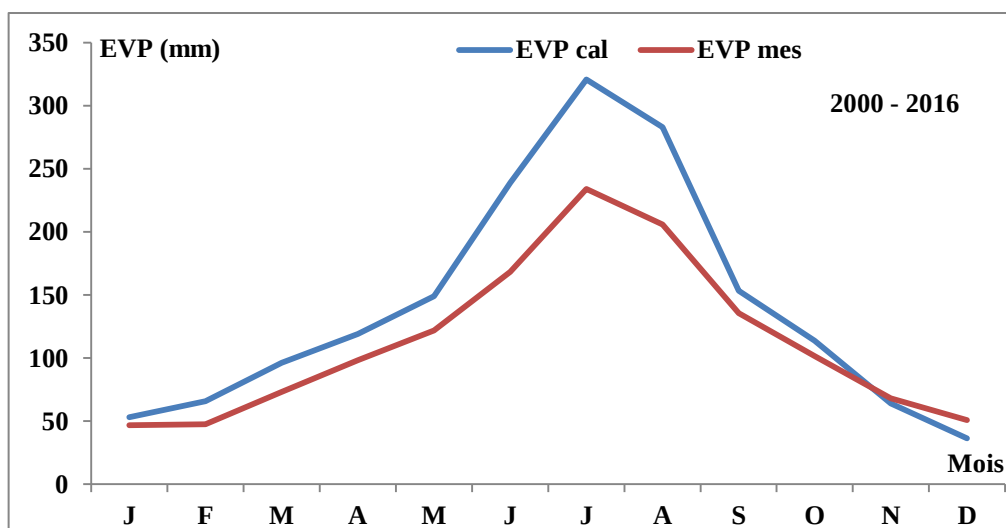


Figure II.18: Évaporation moyenne mensuelle par le modèle de Fitzgerald et du bac de Colorado (2000 -2016)

Ce que nous constatons, que le modèle de Fitzgerald donne des valeurs peu supérieures de celles mesurées par le bac Colorado, avec un coefficient de corrélation est de l'ordre de 0,98.

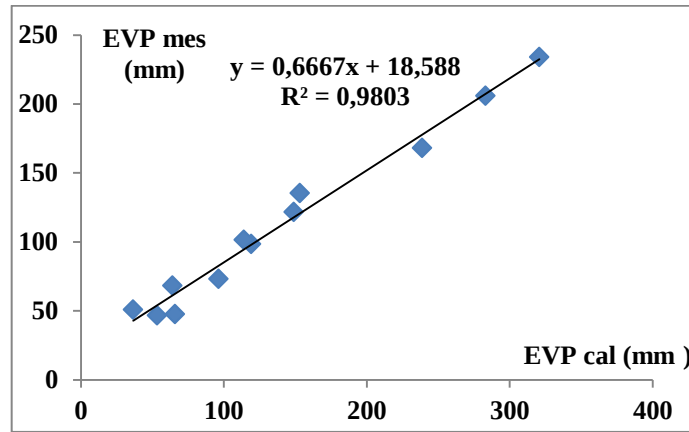


Figure II.19: Corrélation entre les résultats du modèle de Fitzgerald et les évaporations mesurées

III.2.7.Modèle de Shuliakovski (1889)

Ce modèle permettant d'estimer le taux d'évaporation mensuelle au niveau d'un plan d'eau située dans une région aride .Sa formule est la suivante :

$$EVP = (0,15 + 0,108 \times U) (e_0 - e_1) \dots \dots \dots (13)$$

Avec : **EVP** est le taux moyenne mensuelle en (mm) ;les autres termes sont similaires à l'équation (1).

Selon l'annexe n°1, les résultats d'évaporation interannuelle calculées par le modèle de Shuliakovski sont récapitulées dans la figure suivante :

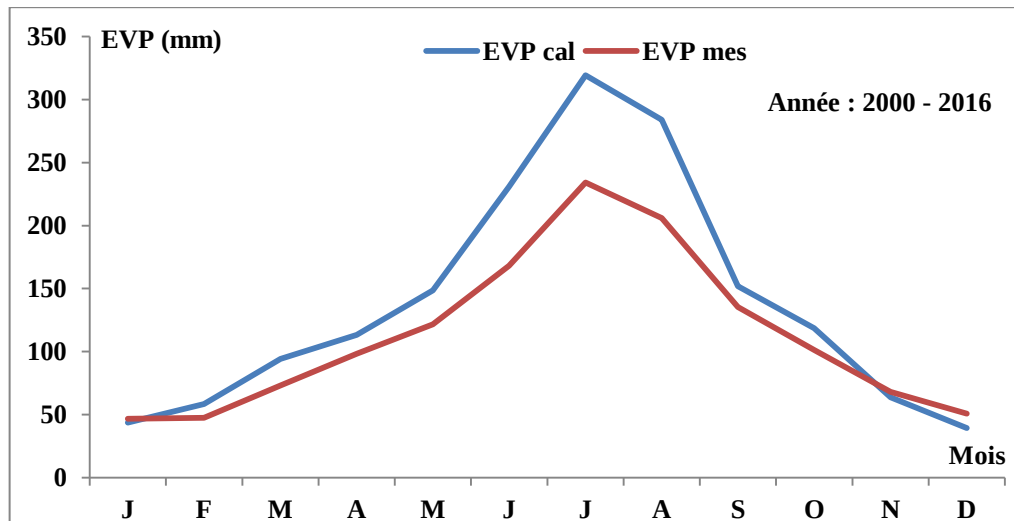


Figure II.20: Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Shuliakovski et du bac de Colorado (2000-2016)

Nous notons que le modèle de Shuliakovski présente presque le même résultat d'évaporation de modèle avec le modèle de Fitzgerald. Le coefficient de corrélation est d'ordre de 0,99.

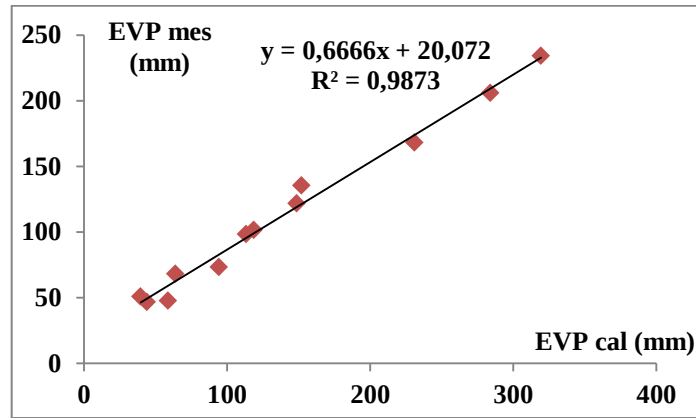


Figure II.21: Corrélation entre les résultats du modèle de Shuliakovski et les évaporations mesurées

III.2.8.Modèle de Boyd (1985)

Le modèle de Boyd est écrite comme l'équation suivante :

$$EVP = [9,94 + (5,039 \times T_m)] \times 0.8 \dots \dots \dots (14) \text{ (Aldomany, 2017)}$$

Avec : **EVP** est le taux d'évaporation mensuelle en (mm) ; **T_m** c'est la température moyenne mensuelle de la surface de l'eau en (°C).

Selon l'annexe n°1, les résultats inter-annuels de l'évaporation calculés par le modèle de Boyd (1985) sont schématisés ci-dessous :

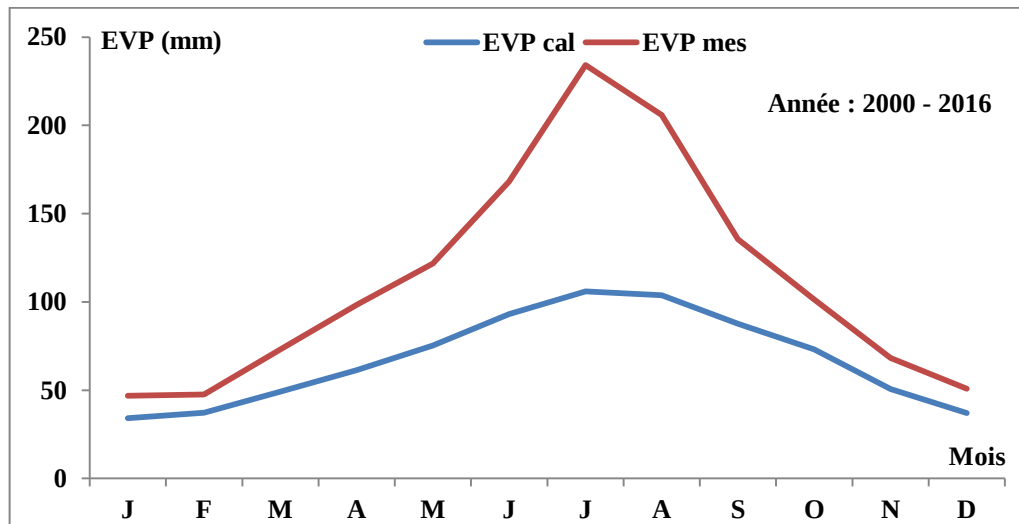


Figure II.22: Évaporation moyenne mensuel par le modèle de Boyd et du bac de Colorado (2000 - 2016)

D'après le graphe de la figure (II.22), nous observons que le modèle de Boyd donne des résultats d'évaporations très basses comparées aux valeurs de mesure directe. Pour cette raison, nous considérons que les résultats de ce modèle sont très mauvais avec faible corrélation est de 0,94.

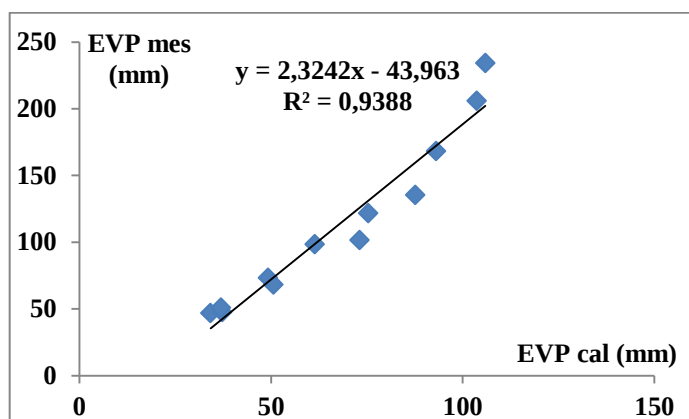


Figure II.23 : Corrélation entre les résultats du modèle de Boyd et les évaporations mesurées

III.2.9. Le Modèle de Blaney – Griddle (1959)

Blaney (1959) a décrit son modèle comme un moyen rapide de transférer les résultats des mesures d'évaporation vers d'autres zones à climat similaire. En résumé, il a mis en corrélation les données d'évaporation mensuelles mesurées avec la température moyenne multipliée par le pourcentage d'heures diurnes au cours de l'année afin de développer un coefficient d'évaporation mensuel empirique. La formule de Blaney est:

$$\text{EVP} = 25,4 (0,0173 \text{ Ta} - 0,314) \text{Ta} (D / \text{DTA}) \dots\dots\dots(15) \text{ (M. Majidi et al, 2015)}$$

Avec : **EVP** est le taux d'évaporation mensuelle en (mm) ; **Ta** est La température moyenne mensuelle de l'air (°F) ; **D** représente les heures de lumière du jour ; **DTA** le nombre total annuel d'heures de lumière du jour .

Selon l'annexe n°1, les résultats inter-annuels de l'évaporation calculés par le modèle de Blaney (1959) sont représentés dans le graphe ci-dessous ;

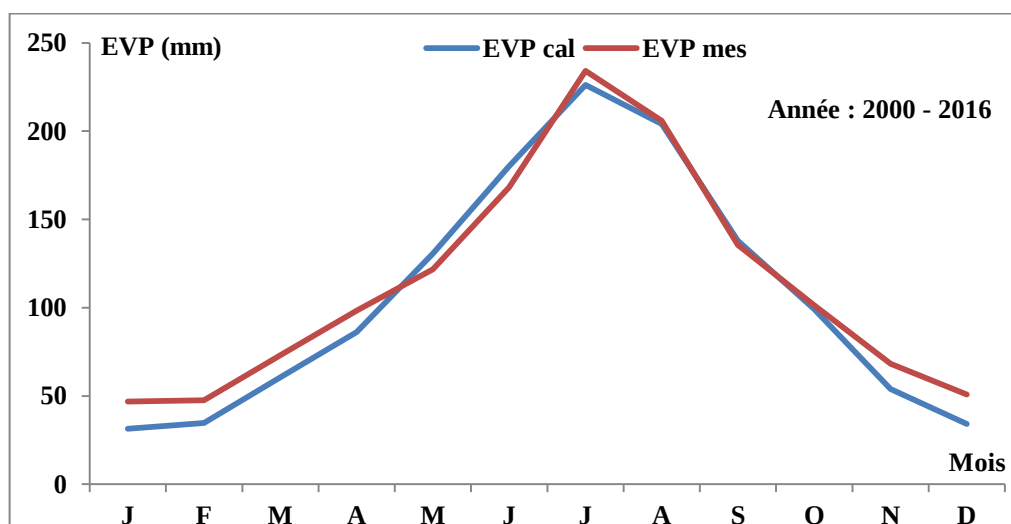


Figure II.24:Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Blaney et du bac Colorado (2000 – 2016)

La figure (II.24), montre que Le modèle de Blaney _Gridlle a une courbe presque identique de la courbe d'évaporation mesurée.Ceci est du à la grande convergence de la majorité des valeurs d'évaporation calculés et de celles mesurés par le bac de colorado. le coefficient de corrélation est d'ordre de 0,99.

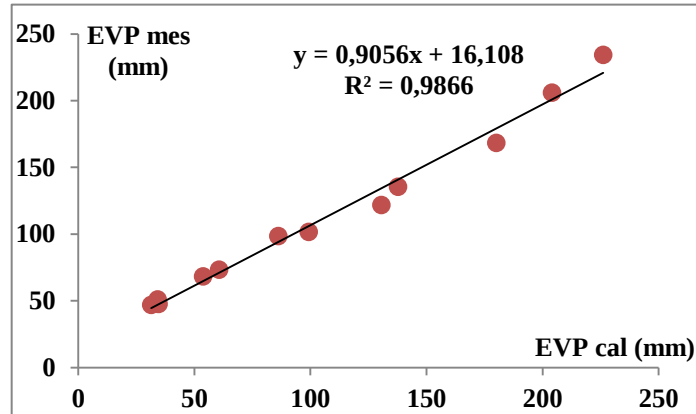


Figure II.25: Corrélation entre les résultats du modèle de Blaney (1985) et les évaporations mesurées

III.2.10. Modèle de Hamon (1963)

Ce modèle est exprimé par la formule suivante :

$$EVP = 0,63D^2 10^{\frac{7,5 \times Ta}{Ta+273}} \dots\dots\dots (16) \text{ (M. Majidi et al,2015)}$$

Où: **EVP** est l'évaporation en (mm/mois) ; les autres termes sont similaires à la formule (15)

Selon l'annexe n°1, Les résultats d'évaporation interannuelle calculées par le modèle de Hamon (1963) sont récapitulées dans la figure suivante :

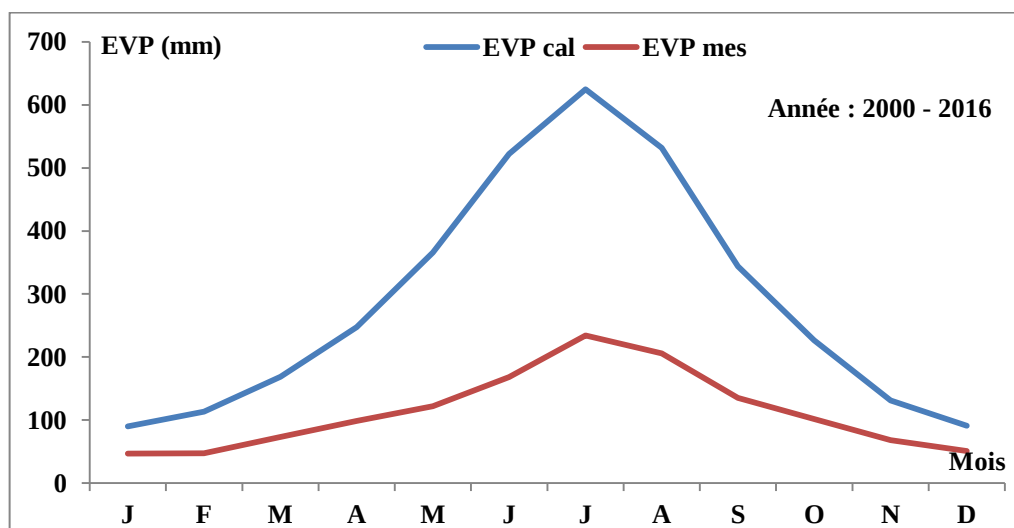


Figure II.26: Evaporation moyenne mensuel par le modèle d'Hamon du Bac Colorado (2000 – 2016)

Nous notons à partir la figure (II.26), que le modèle d'Hamon donne des résultats plus loin de ceux mesurés directs par le bac Colorado. Donc, nous classons ce modèle comme le modèle de mauvaises estimations de l'évaporation du barrage avec de corrélation est de 0,97.

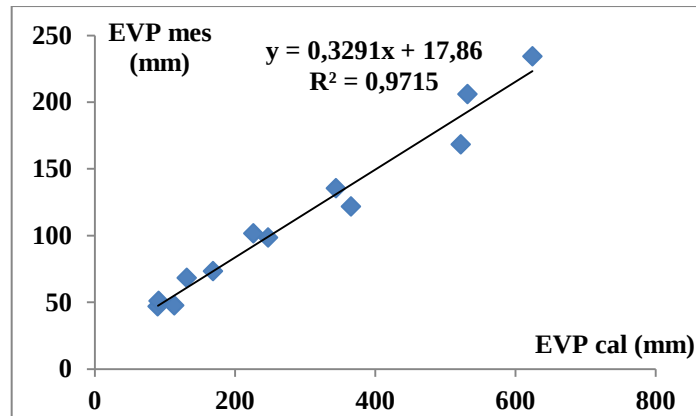


Figure II.27: Corrélation entre les résultats du modèle d' Hamon et les évaporations mesurées

III.2.11. Modèle Rohwer (1931)

Les deux modèles d'estimer le taux d'évaporation proposé par Rohwer (1931) sont les suivants :

- **Le premier modèle (1)** donne par l'équation comme suite :

$$EVP = 0,77(1,465 - 0,0186 P) (0,44 + 0,118 U) (e_s - e_a) \dots (17) \text{ (Aldomany, 2017)}$$

Où: **E** est l'évaporation en (pouces par jour); **P** est la pression atmosphérique en (Pouces de mercure) ; les autres termes sont similaires à l'équation (4).

- **Le deuxième modèle (2)** s'écrit de façon suivante :

$$EVP = 0,484 (1 + 0,6U) (e_s - e_a) \dots (18) \text{ (André Musy, 2005)}$$

Où: **E** est le taux d'évaporation en (mm) ; **U** est la vitesse du vent (m/s) ; **e_s** est la pression de vapeur saturant (KPa) ; **e_a** est la pression de vapeur actuelle de l'air (KPa).

Selon l'annexe n°1, les résultats annuels de l'évaporation calculés par les deux modèles de Rohwer (1+2) et mesurés par le bac du Colorado sont schématisés ci-dessous :

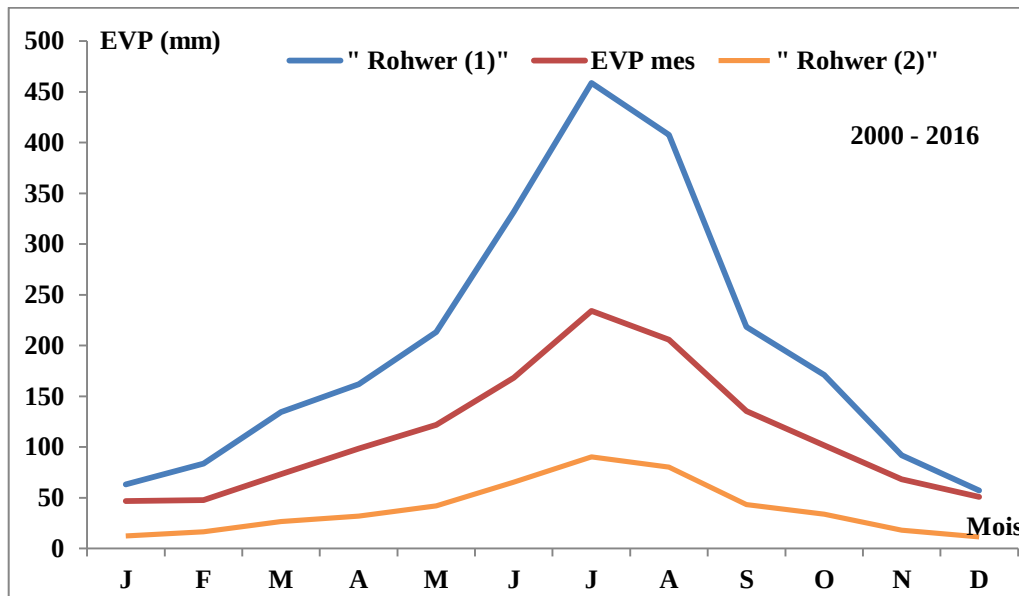


Figure II.28: Evaporation moyenne mensuel par les deux modèles de Rohwer et mesurée par le bac

Nous observons que le modèle de Rohwer (1) donne des valeurs d'évaporation perturbées et très loin de ceux mesurés directs. Par contre le modèle de Rohwer (2) donne des valeurs un peu proches de celles mesurées par le bac. Les coefficients de corrélation sont présentés respectivement dans la figure -ci desous :

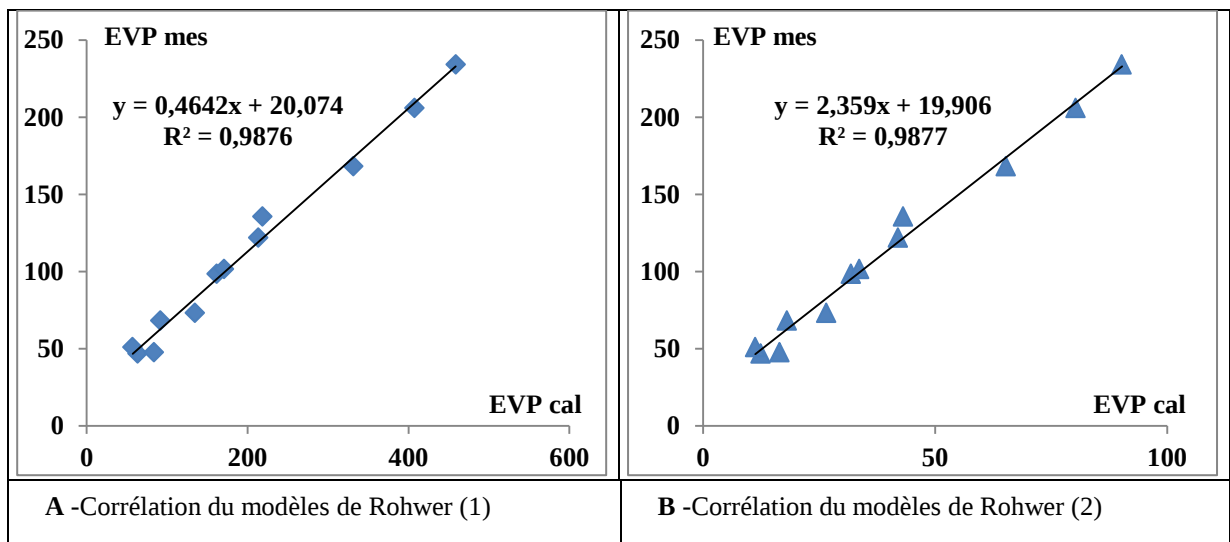


Figure II.29: Corrélation entre les résultats des modèles de Rohwer et les évaporations mesurées

III.2.12. Modèle de Lu et al (2005)

Le modèle de Lu et al est l'un des modèles les plus largement utilisés pour étudier la variation du taux d'évaporation au niveau d'un plan d'eau à faible profondeur. Ce modèle proposée par Lu et al en 2005, sa formule définie de la façon suivante :

$$EVP = 35,755 \times D \times [ea / (Ta + 273,3)] \dots\dots\dots (19) \text{ (M. Majidi et al, 2015)}$$

Où : **EVP** est le taux annuel d'évaporation en (mm) ; **Dest** moyenne mensuelle des heures (h) ; **ea** est la pression moyenne mensuelle de vapeur saturante en (mbar) correspondant à la température moyenne de l'air ; **Ta** est la température moyenne mensuelle de l'air en (°C).

Selon les résultats numériques de l'évaporation obtenus par l'application du modèle de Lu et al (voir l'annexe n°1°), nous traçons le graphe suivant :

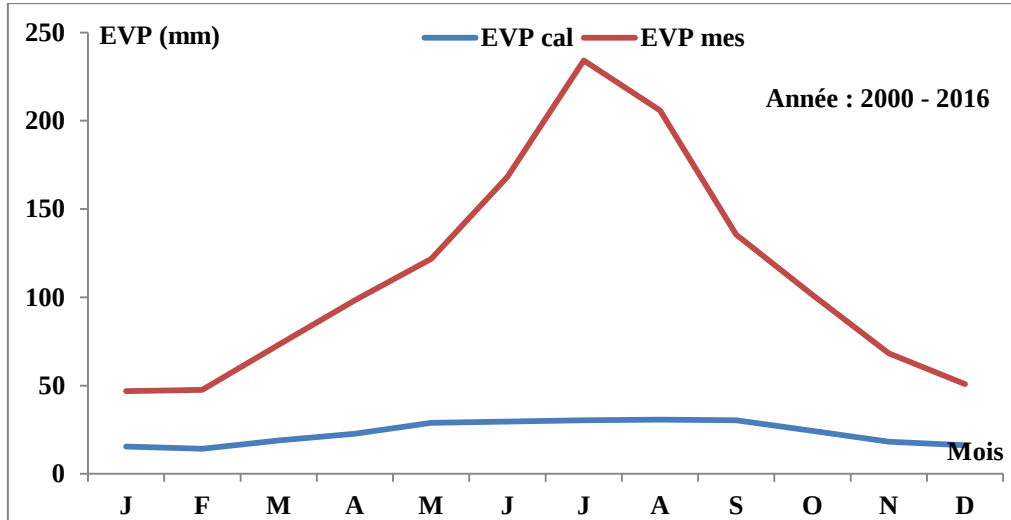


Figure II.30:Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Lu et al et du bac de Colorado (2000-2016)

le modèle de Lu et al (1985) présente des valeurs plus inférieures comparant des valeurs d'évaporation mesurés sur le terrain ,ce qui traduit à un coefficient de corrélation très faible est d'ordre de 0,82.

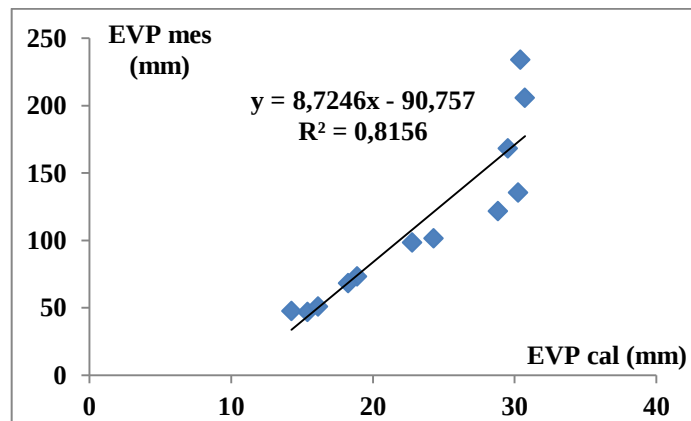


Figure II.31: Corrélation entre les résultats du modèle de Lu et al et les évaporations mesurées

III.2.13. Modèle de Xiao (2016)

Le modèle de Xiao est un nouveau modèle proposé en 2016, on peut quantifier l'évaporation par ce modèle. On a juste nécessité de trois paramètres climatologiques de notre région aride /hyper- aride. Sa formule est la suivante:

$$EVP = (0,0345 + 0,002 \times V^{0.5})(42,6824 - 0,0122 \times (H_r/100)^{1.5})(2,66 + 0,08T_{\text{moy}})n \quad \dots\dots (20)$$

Avec: **EVP** est le taux d'évaporation en (mm/mois) ; les autres termes sont similaires à l'équation de Boutoutaou.

Après le calculer l'évaporation interannuelle par ce modèle (voir l'annexe n°1), nous traçons le graphe ci-dessous :

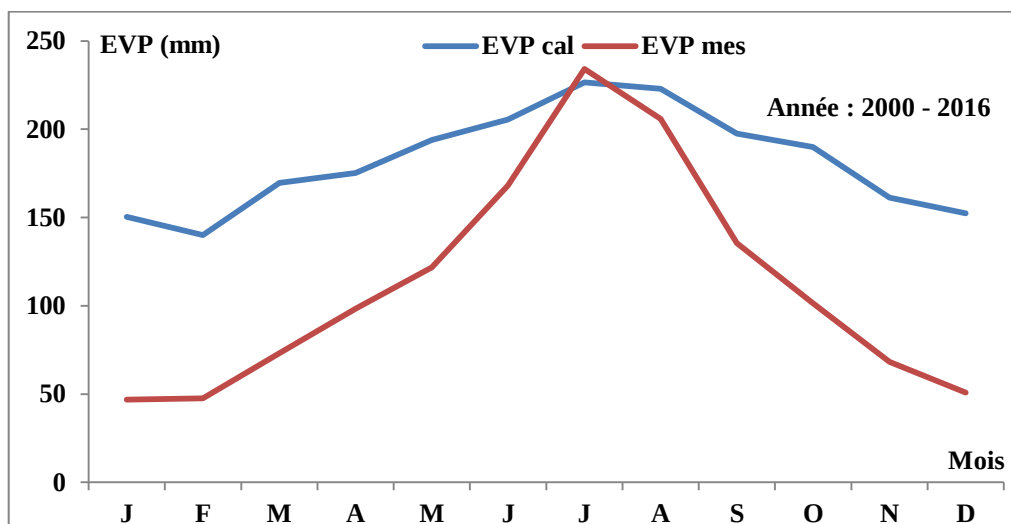


Figure II.32:Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Xiao et du bac de Colorado (2000 -2016)

Ce que nous observons, que le modèle de Xiao généralement donne des résultats supérieurs de celles mesurée par le bac du Colorado pendant les mois de l'année. Le coefficient de corrélation est d'ordre de 0,94.

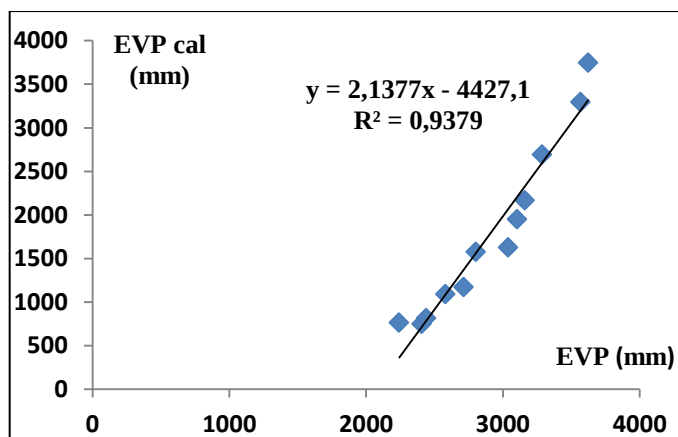


Figure II.33 : Corrélation entre les résultats du modèle de Xiao et les évaporations mesurées

IV. Conclusion

Après avoir tracé les graphiques d'évolution mensuels et inter-annuels de l'évaporation des modèles choisis et la courbe d'évaporation mesurée par le bac Colorado ce qui a permet de voir la concordance entre eux. Nous avons résumé les résultats obtenus en deux points :

1. L'évaporation calculée selon les modèles suivants : Boutoutaou (2), Romanko, Blaney, Fitzgerald, Shuliakovski et enfin le modèle de Meyer, ont une bonne concordance avec

l'évaporation mesurée par le bac du Colorado. Ils présentent une corrélation très élevée est 0,99.

2. L'évaporation calculée selon l'autres modèles qui sont : le modèle de Boutoutaou (1) , Papadakis, Penman, Rohwer, Boyd, Hamon et enfin le modèle de Xiao ont une mauvaise concordance avec les valeurs d'évaporation mesurés en terrain. ils présentent une corrélation variée 0,81-0,98.

*Elaboration d'un modèle
d'estimation de l'évaporation*

III

I. Introduction

Pour estimer la quantité d'eau évaporée au niveau des plans d'eau (barrages et lacs). Nombreux chercheurs internationaux et peu Algériens ont proposé des nouveaux modèles numériques tels que: le modèle de Malika Fekih (2010) et celui Xu et singh (2000). Ces derniers exigent notamment des mesures en terrain à quelques paramètres qui sont indisponibles dans les bulletins et atlas climatologiques en Algérie.

Dans ce chapitre, nous allons proposer un nouveau modèle numérique plus simple et acceptable afin d'estimer le taux l'évaporation du barrage de Foum El-Guiness tout en utilisant des données climatologiques disponibles (Température, Humidité relative..). Nous indiquons que l'analyse statistique des données climatologiques est obligatoire afin d'élaborer le modèle et sa fiabilité en vérifiant le critère de Nash et le RMSE standard déviation ratio (RSR).

II. Nouveau modèle d'estimation de l'évaporation

On appelle un nouveau modèle numérique de l'estimation de l'évaporation, tout modèle a pouvoir de représenter la liaison entre les variables explicatives sous forme une relation mathématique très simple d'appliquer (Régression linéaire simple ou multiple) afin de quantifier les pertes d'eau par processus d'évaporation au niveau de la retenue du barrage ou bien un lac (Riad, 2003).

Pour notre barrage, nous pouvons définir le nouveau modèle numérique (NMN) par l'équation suivante:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots \text{ etc.} \quad \dots\dots\dots (21) \text{ (OMM, 1994)}$$

Où les X sont les variables connues (les données hydro-climatiques) avant l'émission de la prévision et Y la valeur de la variable à prévoir. Les b sont les coefficients de régression estimés d'après des valeurs observées de Y et X.

II.1. Analyse statistique des paramètres hydro-climatiques

Avant de commencer la modélisation numérique de l'évaporation, les données hydro-climatiques collectées doivent subir des tests statistiques précis afin de pouvoir s'assurer de leur homogénéité et leur représentativité. Elles sont effectuées par l'utilisation de logiciel XLSTAT qui fonctionne avec tous les versions d'Excel sous les environnements Windows et Mac, il est représenté par l'interface suivante :



Figure III.1: L'interface de logiciel XLSTAT

Les résultats obtenus par l'analyse de corrélation des données hydro-climatique sont présents dans le tableau de matrice de corrélation (Tableau N°III.2). Par le biais de ces résultats, nous concluons ce qui suit :

- L'évaporation a une très bonne corrélation avec: T_{min} , T_{max} , T_{moy} , I , e_s , e_a , T_{eau} , D , Δ
- L'évaporation a une moyenne corrélation avec : V
- L'Évaporation a une faible corrélation avec: H_r , P_{atm} , λ

Comme meilleure modèle numérique de l'évaporation, nous avons choisi le modèle en fonction des paramètres suivants : l'humidité relative et la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante qui nous donne une bonne corrélation entre eux ($R^2=0,99$). Le coefficient d'ajustement ou de corrélation est donné par :

Observations	12,0000
Somme des poids	12,0000
DDL	9,0000
R^2	0,9866
R^2 ajusté	0,9836
MCE	64,7556
RMCE	8,0471
MAPE	5,9937
DW	1,9106
C_p	3,0000
AIC	52,5953
SBC	54,0500
PC	0,0224

Tableau N° III.1: Coefficients d'ajustement (EVP mes)

Tableau N° III.2 : Matrice de corrélation des paramètres climatologiques

Variables	Tmin	Tmax	Tmoy	Hr	V	I	Patm	Teau	es	ea	D	Δ	λ	EVP mes
Tmin	1,00	0,99	1,00	- 0,93	0,41	0,82	- 0,16	1,00	0,98	0,98	0,95	0,99	-1,00	0,96
Tmax	0,99	1,00	1,00	- 0,96	0,47	0,87	- 0,21	1,00	0,99	0,96	0,96	0,99	- 1,00	0,97
Tmoy	1,00	1,00	1,00	- 0,95	0,46	0,87	- 0,21	1,00	0,99	0,96	0,96	0,99	- 1,00	0,97
Hr	- 0,93	- 0,96	- 0,95	1,00	- 0,67	- 0,94	0,35	- 0,95	- 0,96	- 0,85	- 0,97	- 0,96	0,95	- 0,97
V	0,41	0,47	0,46	- 0,67	1,00	0,74	- 0,74	0,46	0,46	0,30	0,51	0,46	- 0,46	0,50
I	0,82	0,87	0,87	- 0,94	0,74	1,00	- 0,54	0,86	0,85	0,74	0,86	0,85	- 0,87	0,87
Patm	- 0,16	- 0,21	- 0,21	0,35	- 0,74	- 0,54	1,00	- 0,20	- 0,13	- 0,10	- 0,13	- 0,14	0,21	- 0,17
Teau	1,00	1,00	1,00	- 0,95	0,46	0,86	- 0,20	1,00	0,99	0,97	0,96	0,99	- 1,00	0,97
es	0,98	0,99	0,99	- 0,96	0,46	0,85	- 0,13	0,99	1,00	0,93	0,99	1,00	- 0,99	0,99
ea	0,98	0,96	0,96	- 0,85	0,30	0,74	- 0,10	0,97	0,93	1,00	0,87	0,94	- 0,96	0,89
D	0,95	0,96	0,96	- 0,97	0,51	0,86	- 0,13	0,96	0,99	0,87	1,00	0,99	- 0,96	1,00
Δ	0,99	0,99	0,99	- 0,96	0,46	0,85	- 0,14	0,99	1,00	0,94	0,99	1,00	- 0,99	0,99
λ	- 1,00	- 1,00	- 1,00	0,95	- 0,46	- 0,87	0,21	- 1,00	- 0,99	- 0,96	- 0,96	- 0,99	1,00	- 0,97
EVP mes	<u>0,96</u>	<u>0,97</u>	<u>0,97</u>	<u>- 0,97</u>	<u>0,50</u>	<u>0,87</u>	<u>- 0,17</u>	<u>0,98</u>	<u>0,99</u>	<u>0,89</u>	<u>0,99</u>	<u>0,96</u>	<u>- 0,97</u>	<u>1,00</u>

Paramètres Hydro-Climatiques : **Tmin**; température minimal de l'air (°C). **Tmax**; température maximal de l'air (°C). **Tmoy**; température moyenne de l'air (°C) **Hr**%;

Humidité relative. **V(m/s)**; vitesse de vent **I**; Insolation mensuelle en (KWh /m²) **D** ; déficit de saturation dans l'air (KPa). Δ ;La pente de la courbe de saturation en (KPa

/°C) . λ ; la chaleur latent de vaporisation en (MJ /Kg).

Tableau N° III.3: Analyse de la variance EVP mesurée (mm)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	42802,0536	21401,0268	330,4892	< 0,0001
Erreur	9	582,8004	64,7556		
Total corrigé	11	43384,8540			

Tableau N° III.4: Paramètres du modèle EVP mesurée (mm)

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante	76,1687	55,3144	1,3770	0,2018	- 48,9612	201,2985
Hr	-1,1345	0,6938	-1,6351	0,1365	-2,7040	0,4350
es	50,2579	8,5183	5,9000	0,0002	30,9882	69,5276

Nous rappelons que tous les résultats statistiques permettant de confirmer que l'humidité relative et la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante sont deux paramètres très significatifs et suffisants afin de modéliser le processus d'évaporation au niveau du barrage de Foug El-Guies. Le modèle numérique peut être exprimé:

$$\text{EVP (mm)} = 76,1686542774 - 1,134491270 \times \text{Hr} + 50,2578850289817 \times \text{es} \quad \dots\dots (22)$$

Avec :

EVP: Evaporation calculée (mm).

Hr %: l'humidité relative

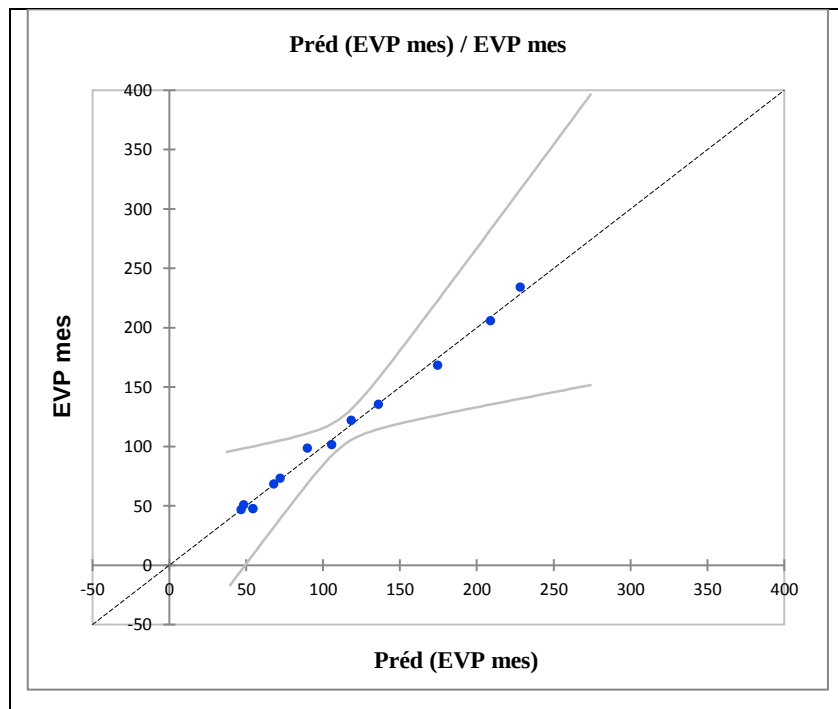
es: la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante (KPa).

En bref :

$$\text{EVP (mm)} = 76,17 - 1,13 \times \text{Hr} + 50,26 \times \text{es} \dots\dots\dots (23)$$

Il convient de noter que la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante (es) est une donnée parmi les données climatiques indisponibles au niveau de station météorologique du barrage. Ceci nous exige de calculer préalablement ce paramètre pour appliquer le nouveau modèle (23). Le calcul peut être calculé selon la formule de Boutoutaou (calculée selon l'équation 1) dans le chapitre II.

Figure III.2 : Présentation graphique de l'ajustement du modèle avec les données mesurée de l'évaporation



FigureIII.3 : Présentation spatiale dès l'évaporation calculée par le modèle et celui mesurées sur le terrain

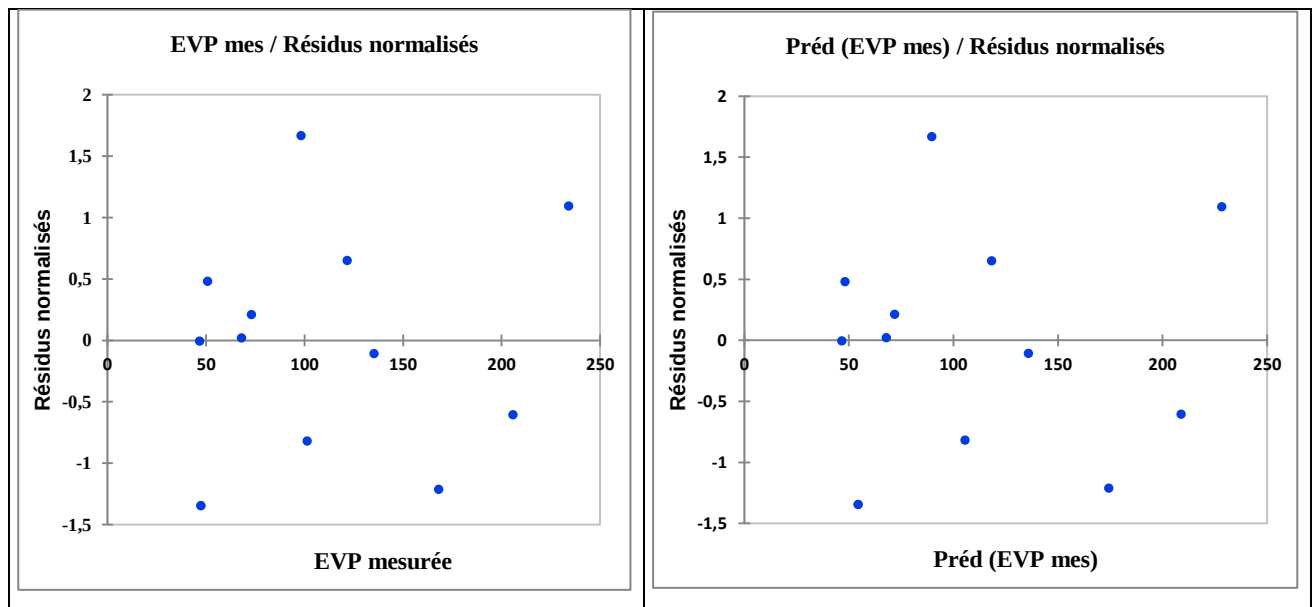


Tableau N° III.5: Prédications et Résiduels EVP calculée (mm)

Observation	Poids	EVP mes	Préd(EVP mes)	Résidu	Résidu std.	Ecart-type sur la préd. (Moyenne)	Borne inférieure 95% (Moyenne)	Borne supérieure 95% (Moyenne)	Ecart-type sur la préd. (Observation)	Borne inférieure 95% (Observation)	Borne supérieure 95% (Observation)
Obs1	1	46,7938	46,8368	-0,0430	-0,0083	2,8112	40,4774	53,1961	5,9046	33,4797	60,1939
Obs2	1	47,5438	54,5423	-6,9985	-1,3478	2,7062	48,4204	60,6641	5,8553	41,2966	67,7879
Obs3	1	73,1688	72,0816	1,0871	0,2094	1,8584	67,8776	76,2856	5,5150	59,6059	84,5574
Obs4	1	98,4000	89,7554	8,6446	1,6648	1,7803	85,7281	93,7827	5,4892	77,3381	102,1727
Obs5	1	121,7688	118,4042	3,3645	0,6480	2,1271	113,5924	123,2160	5,6112	105,7107	131,0977
Obs6	1	168,2063	174,5145	-6,3082	-1,2149	2,1584	169,6318	179,3972	5,6232	161,7940	187,2350
Obs7	1	234,0875	228,4269	5,6606	1,0902	3,8772	219,6561	237,1977	6,4803	213,7675	243,0863
Obs8	1	205,8457	209,0021	-3,1564	-0,6079	2,9409	202,3493	215,6549	5,9674	195,5028	222,5014
Obs9	1	135,4500	136,0193	- 0,5693	-0,1096	3,0998	129,0072	143,0314	6,0473	122,3393	149,6992
Obs10	1	101,4938	105,7535	- 4,2597	-0,8204	2,5909	99,8925	111,6144	5,8029	92,6264	118,8806
Obs11	1	68,1625	68,0668	0,0957	0,0184	1,9712	63,6076	72,5260	5,5540	55,5028	80,6309
Obs12	1	50,8313	48,3486	2,4826	0,4781	2,4420	42,8245	53,8727	5,7380	35,3684	61,3289

II.2. Performance du modèle

Après l'achèvement de la formulation du nouveau modèle, nous devons calculer deux indicateurs de performance qui sont: le critère de Nash – Sutcliffe et le RSR (RMSR standard déviation ratio). Ces derniers permettent d'évaluer la performance et plus la pertinence de notre modèle numérique.

II.2.1. Critère de Nash _Sutcliffe (NS)

Le critère de Nash est un indicateur de performance construit à partir de la normalisation du RMSE standard déviation ratio (RSR) dont les valeurs sont comprises dans l'intervalle $]-\infty ; 1]$. Il permet d'estimer la capacité d'un modèle à reproduire un comportement observé.

Le critère de Nash se calcule comme suit :

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2} \dots\dots\dots (24) \quad (\text{Riad, 2003})$$

Avec:

NS :Le critère de Nash_Sutcliffe (Sans dimension)

$X_{obs,i}$:Valeur moyenne de l'évaporation mesurée en un mois (mm)

X_{model} :Valeur moyenne de 'évaporation calculée en un mois (mm)

$\overline{X_{obs}}$: Valeur moyenne de l'évaporation mesurée en 12 mois

- ❖ Si la valeur obtenue par ce critère est proche de 1, on dit ; le modèle est excellent
- ❖ Si la valeur obtenue par ce critère est inférieure à 0,5 , on dit ; le modèle est mauvais
- ❖ Si la valeur obtenue par ce critère est supérieure à 0,7 ,on dit ; le modèle est satisfaisant

II.2.2. Critère RSR (RMSE standard déviation ratio)

Le RSR est un critère similaire au Nash-Sutcliffe néanmoins utilisé, base sur la normalisation du RMSE au lieu du MSE. Il peut s'exprimer comme suit :

$$RSR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2}} \dots\dots\dots (25) \quad (\text{Graie, 2018 })$$

Avec :

RSR : Standard déviation ratio (Sans dimension)

Les autres termes sont similaires à la relation de Nash .

- 🌈 Si la valeur du critère de RSR est proche de 0, on dit ; bonne performance des valeurs observées.

✚ Si la valeur du critère de RSR est inférieure à 0,2 , on dit ; performance acceptable aux valeurs observées.

Les résultats du calcul des indicateurs de performance du modèle proposé sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau N° III.6 : Résultats du calcul des indicateurs de performance du nouveau modèle (2000 - 2016)

Indicateur	Valeur	Évaluation du modèle
Critère de Nash _ Sutcliffe (NS)	0,98	Modèle excellent
Critère RSR	0,1	Performance acceptable

Par le biais les résultats indiqués dans le tableau (N°III.6), nous pouvons dire que notre modèle est excellent pour estimer l'évaporation au niveau de notre barrage.

III. Résultats et Discussion

Après les calculs de l'évaporation par le nouveau modèle du barrage de Foum El-Guies à l'échelle mensuelle, nous avons obtenu des valeurs acceptables et satisfaisant par rapport aux modèles choisis. Les résultats graphiques présentent un écart plus ou moins important nous croyons en raison des erreurs de mesures au bac Colorado. D'autre part, selon les analyses ou bien les tests statistiques nous peuvent résumer les résultats suivants:

- ✚ La figure (III.2) montre clairement qu'il existe une bonne corrélation (ajustement) entre les valeurs d'évaporation calculés et de celles mesurés sur le terrain, ce qui traduit par un coefficient de corrélation très élevée de 0,99
- ✚ La figure(III.3) présente la variation de l'espace entre l'évaporation mesurée et calculée, nous constatons une bonne convergence entre les variantes.
- ✚ Selon le graphe de la figure (III.5) nous remarquons que les deux courbes ont presque la même forme c'est-à-dire les valeurs de l'évaporation calculée et mesurée sur le terrain sont très compatibles.

Dans ce chapitre suivant, nous proposons une étude comparative entre les modèles choisis et proposés ainsi que l'évaluation leurs erreurs.

III.1. Résultats numériques obtenus par le nouveau modèle proposé

Les résultats de simulation numérique du nouveau modèle sont présentés dans les tableaux suivants ;

Tableau N° III.7 : Résultats numériques obtenus par le nouveau modèle proposé

Tableau n°1: Compte Rendu d'année 2000

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	77	60,3	53	43,6	50,3	45,6	32,3	34,8	48	58,9	56,6	65,5
es (KPa)	0,75	0,99	1,31	1,72	2,44	2,83	3,67	3,44	2,63	1,75	1,34	1,07
EVP cal	26,63	57,77	84,28	112,97	141,81	166,49	224,03	209,66	153,78	97,29	79,26	55,41
EVP mes	41,80	66,70	105,40	169,40	171,70	209	360	52	219,80	118,60	121,50	77,40

Tableau n°2: Compte Rendu d'année 2001

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	68	60,9	41,2	49,8	52,2	35,5	30,2	33	57,7	53,1	73,4	73,9
es (KPa)	1	0,95	1,69	1,52	2,13	3,04	3,76	3,57	2,63	2,37	1,21	0,90
EVP cal	49,37	55,06	114,58	95,94	123,99	188,58	230,78	217,92	142,78	134,91	53,79	37,72
EVP mes	50,10	57,60	130,50	178,10	184,60	293,40	377,40	339,50	160,30	139,50	68,80	44,80

Tableau n°3: Compte Rendu d'année 2002

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	70,8	58,2	53	47,3	38,9	31,7	38	46,5	49,5	50,2	65,5	75
es (KPa)	0,88	1,09	1,37	1,73	2,21	3,19	3,57	3,19	2,52	1,95	1,38	1,05
EVP cal	39,99	64,80	84,60	109,32	143,16	200,36	212,24	183,57	146,55	117,22	70,97	43,91
EVP mes	63,60	66,50	118,50	150,20	190,50	281,10	305,10	239,40	167,20	175,60	93,80	55,10

Tableau n°4: Compte Rendu d'année 2003

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	74,5	69,1	63	64,2	55,8	44,8	32,5	36,1	58,3	60,1	69,5	76,6
es (KPa)	0,93	0,93	1,26	1,61	2,14	3,21	4,12	3,67	2,49	2,16	1,32	0,92
EVP cal	38,32	44,45	68,08	84,20	120,57	190,99	246,51	219,72	135,02	116,37	36,74	35,62
EVP mes	57,90	57,90	81,70	81	216,50	186,10	323,60	300	167	102	67,90	42,80

Tableau n°5: Compte Rendu d'année 2004

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	75,8	58,2	60,3	64	65,3	60	34,6	38,6	54,9	52,2	80,6	80,3
es (KPa)	0,9	1,09	1,26	1,39	1,63	2,35	3,09	3,69	2,35	2	1,10	0,96
EVP cal	35,57	65,17	71,15	73,59	84,01	126,35	182,16	217,97	132,13	117,46	40,13	33,38
EVP mes	60,20	48,70	68,80	83,50	101,80	186,10	260,90	268,80	178,30	144,80	54,60	69,90

Tableau n°6: Compte Rendu d'année 2006

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	73,1	66,1	52,1	51,4	59,3	34,5	34,1	41,1	53,2	45,4	64,5	79,1
es (KPa)	0,83	0,95	1,33	1,81	2,35	3,19	3,52	3,36	2,44	2,16	1,35	0,99
EVP cal	34,98	49,16	83,92	108,66	127,14	197,19	214,58	198,48	183,52	133,05	70,74	36,09
EVP mes	42,50	42,30	44,80	66,20	6,80	110,80	66,90	110	73,40	89,60	62	37,30

Tableau n°7: Compte Rendu d'année 2007

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	69,6	68,1	67,2	65,6	51,9	36,7	31,5	37,4	59	60,9	63,5	69,8
es (KPa)	0,98	1,12	1,13	1,56	2,06	3,24	3,61	3,57	2,52	1,89	1,19	0,90
EVP cal	46,53	55,7	56,85	80,03	121,02	197,57	221,70	212,93	135,77	102,02	63,81	42,06
EVP mes	40,40	40	68,40	50,08	89	135,80	205	261,30	118,06	83,80	34,50	41,30

Tableau n°8: Compte Rendu d'année 2008

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	68,8	58,9	56,6	48	52,2	47,5	39,6	42,3	52,3	70,2	65,4	71,9
es (KPa)	0,96	1,07	1,22	1,66	2,24	2,76	3,87	3,52	2,68	1,84	1,18	0,91
EVP cal	46,43	62,90	73,26	105,24	129,47	160,93	225,68	205,27	152,48	89,08	61,25	40,31
EVP mes	37,90	39,70	53,40	93,90	127,80	124,10	183,20	147,70	105,70	49,90	34,50	45,40

Tableau n°9: Compte Rendu d'année 2009

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	75,4	63,6	61,8	64,6	57,7	38,3	31	41,3	63,9	63,1	56,8	60,3
es (KPa)	0,95	0,94	1,19	1,31	2,01	2,91	4,05	3,50	2,40	1,74	1,30	1,18
EVP cal	38,28	51,34	65,73	68,85	111,68	179,12	244,65	205,37	224,13	91,96	76,83	67,04
EVP mes	33,70	40	42,30	66,30	91,60	154,80	203,40	166	96,50	64,30	53,80	57,80

Tableau n°10: Compte Rendu d'année 2010

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	66,5	58,8	58,8	62,1	54,7	47,2	38	40,7	52,1	53,8	63	65
es (KPa)	1,04	1,17	1,36	1,65	1,83	2,81	3,59	3,61	2,58	1,88	1,37	1,03
EVP cal	52,83	68,34	77,66	88,70	106,08	163,82	213,30	211,29	146,73	109,48	73,35	53,16
EVP mes	33,70	50,40	80,70	118,40	130,20	179,20	229,40	181,70	118,90	77,90	89,40	69,10

Tableau n°11: Compte Rendu d'année 2011

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	68,8	72,2	65,4	60,4	61,4	56,5	44,6	47,3	58,9	67,6	72	74,3
es (KPa)	0,97	0,93	1,21	1,68	1,93	2,61	3,67	3,57	2,83	1,76	1,35	0,97
EVP cal	47,10	40,93	62,87	92,26	103,28	143,34	210,08	201,69	151,40	87,98	62,23	40,86
EVP mes	54,90	38,80	56,60	87,70	80,40	105,70	186,50	170,70	133	92,70	81,20	40,10

Tableau n°12: Compte Rendu d'année 2012

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	71	71,4	63,5	62,6	51,3	38	36,3	31,5	50	53,9	69,9	70,6
es (KPa)	0,85	0,77	1,22	1,51	2,17	3,46	3,94	3,85	2,60	2,08	1,42	0,95
EVP cal	38,55	34,07	65,43	80,92	127,04	207,05	232,84	233,75	149,91	119,41	68,29	44,06
EVP mes	45,40	31,20	62,40	76,70	123,60	147,10	198,40	234,60	119,50	86,80	85,60	56,30

Tableau n°13: Compte Rendu d'année 2013

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	71,3	66,1	57,1	53,8	52,5	42,6	40,5	44,5	61,2	58,4	68,9	75,4
es (KPa)	0,95	0,90	1,38	1,68	1,97	2,58	3,52	3,11	2,61	2,27	1,23	0,94
EVP cal	43,26	46,57	80,95	99,74	115,86	157,51	207,32	182,07	138,00	123,84	59,72	37,62
EVP mes	45,70	40,80	74,30	101,10	100,90	161,10	173,70	212,30	82,40	106,90	51,90	42,20

Tableau n°14: Compte Rendu d'année 2014

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	70,6	62,6	71,2	50,6	50	43,4	33,5	35,7	42,3	50,5	56,1	78
es (KPa)	1,02	1,11	1,11	1,60	2,05	2,78	3,46	3,67	3,04	2,10	1,50	0,97
EVP cal	47,12	60,93	51,17	99,11	122,53	166,43	212,16	220,18	180,87	124,58	87,80	36,66
EVP mes	51,90	56,50	47,10	59,00	90,40	99,70	215,90	231,70	197,00	116,80	66,00	55,30

Tableau n°14: Compte Rendu d'année 2015

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	72,7	69,7	61,5	49,9	42,7	39,9	31,1	41	50,2	61,2	69,6	71
es (KPa)	0,88	0,91	1,20	1,66	2,25	2,74	3,67	3,40	2,63	1,91	1,26	0,95
EVP cal	37,84	42,81	66,48	103,08	140,95	168,72	225,40	200,60	151,29	102,90	60,60	43,27
EVP mes	49,20	41,60	66,80	86,40	110,00	137,00	233,40	162,60	123,50	87,60	58,10	39,50

Tableau n°14: Compte Rendu d'année 2016

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	66,6	63,3	58,6	58,5	48,5	42,8	38,3	41,7	55,9	52,6	67,4	76,6
es (KPa)	1,04	1,09	1,18	1,72	2,12	2,88	3,42	3,21	2,50	2,17	1,31	1,09
EVP cal	53,08	59,38	68,96	96,06	127,52	172,26	204,68	189,97	138,51	125,56	65,68	43,92
EVP mes	39,80	42,00	69,00	105,70	132,50	180,30	222,60	215,231	106,10	87,10	67,00	39,00

III.2. Résultats graphiques obtenus par le nouveau modèle proposé

Pour faciliter la visualisation des résultats de la simulation numérique du nouveau modèle durant la période (2000 – 2016), nous traçons les graphiques suivants :

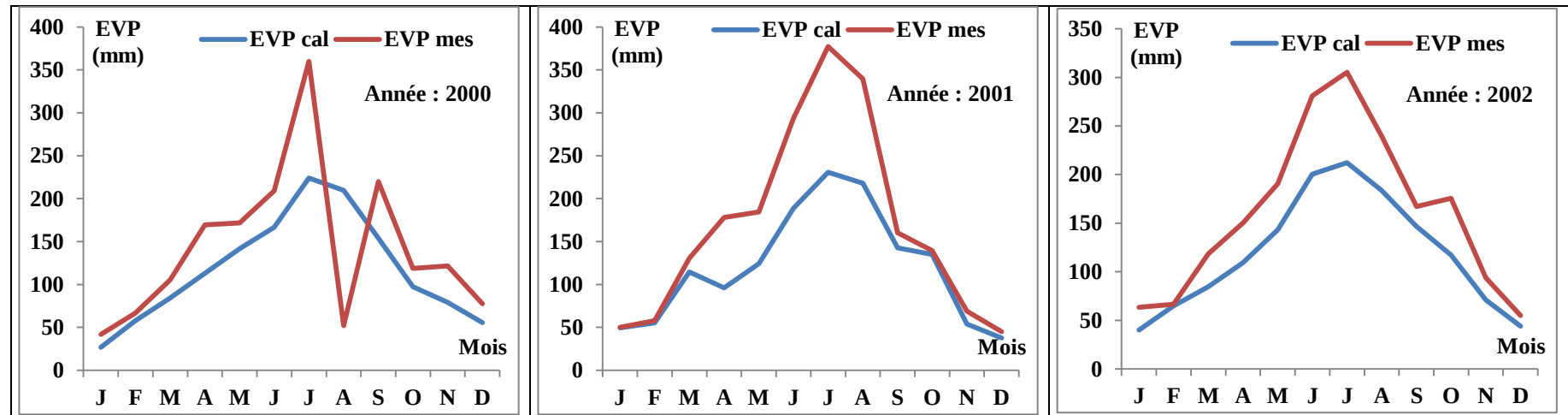
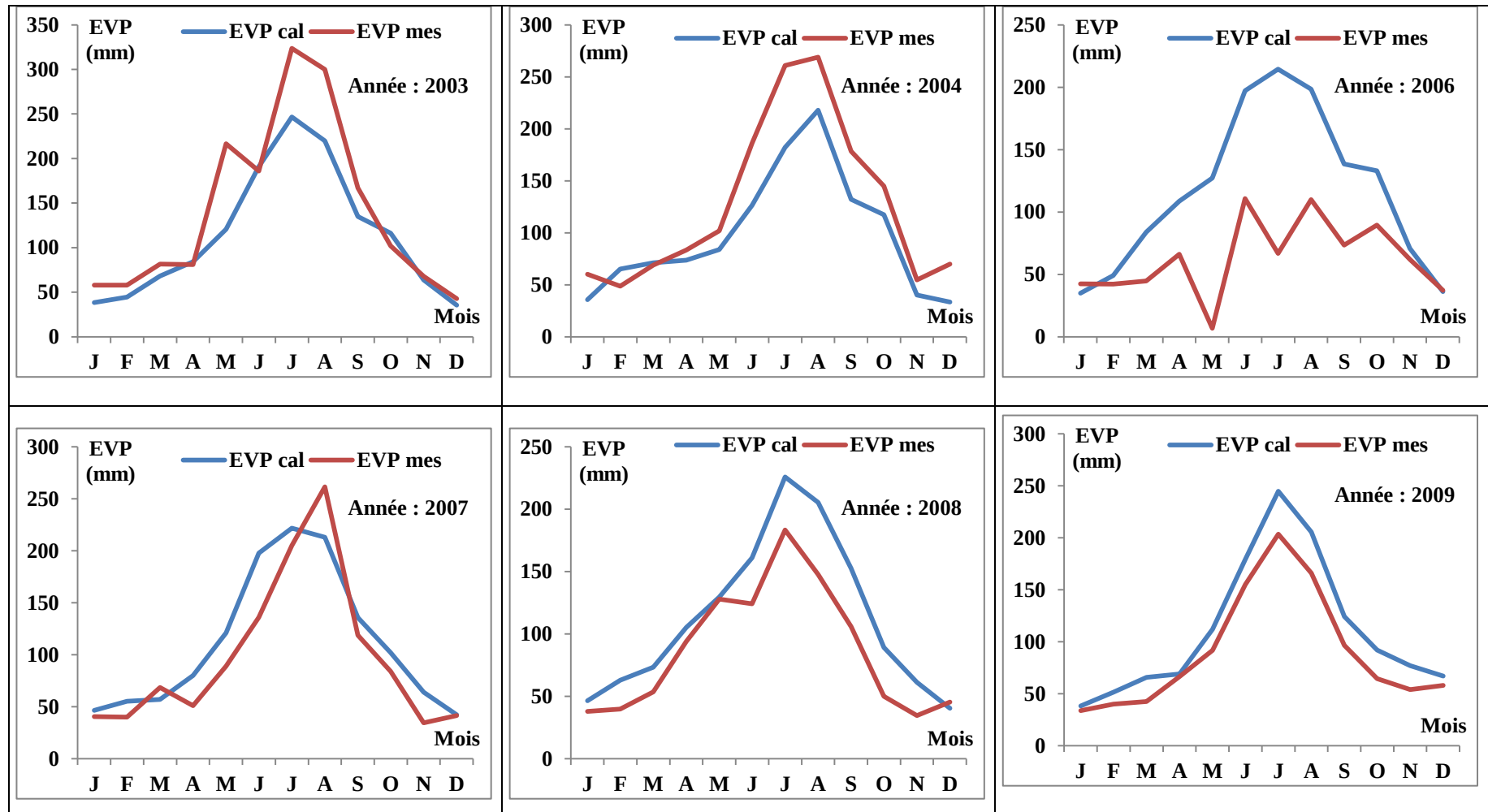
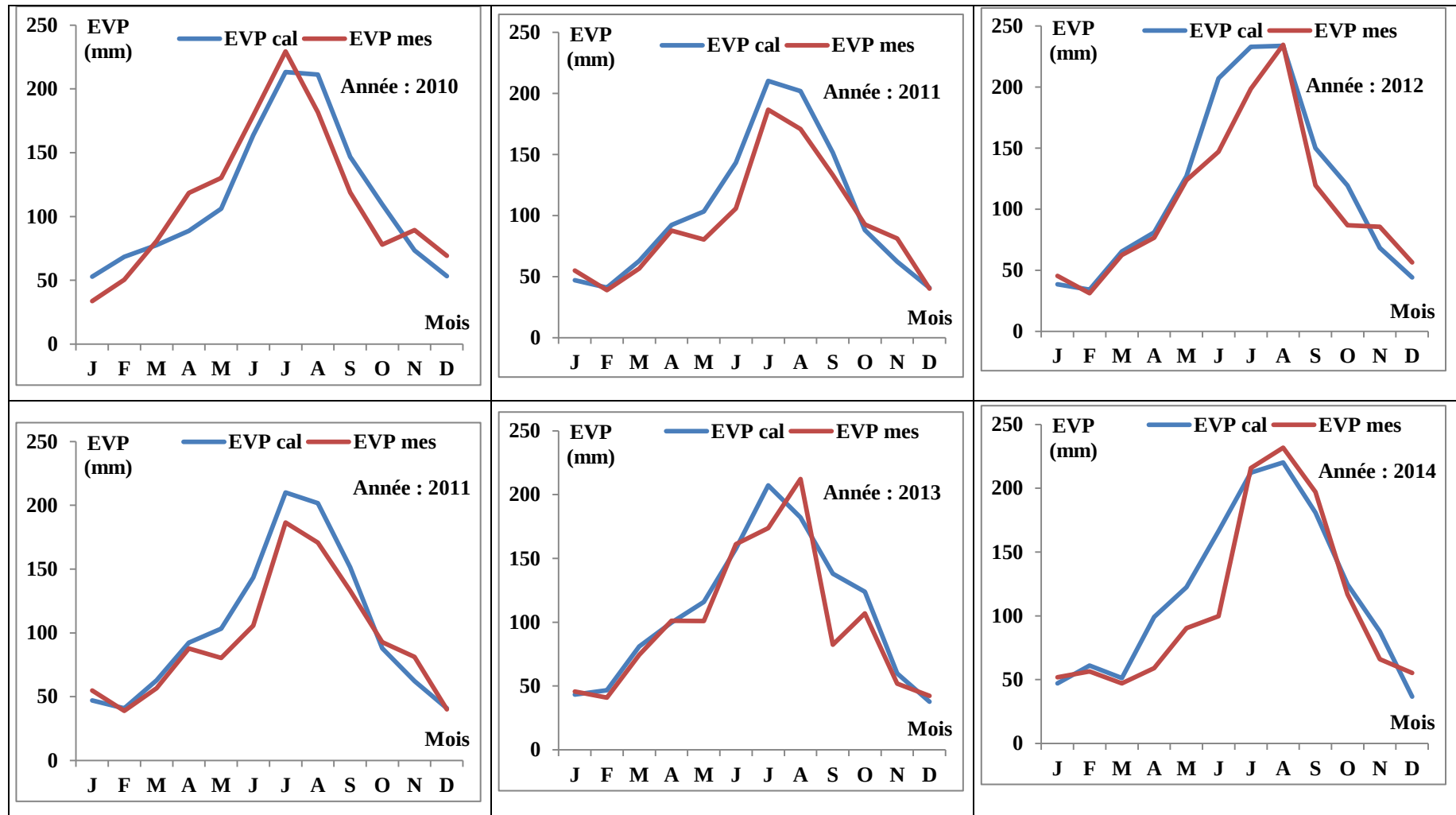


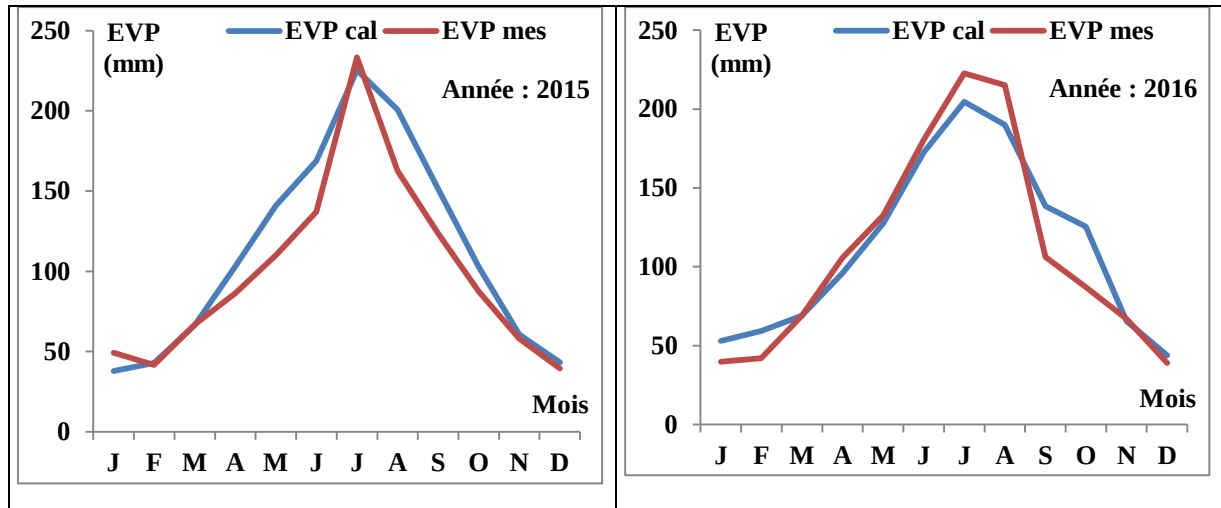
Figure III.4 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et de celle mesurée par le bac



Suite figure III.4 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et de celle mesurée par le bac



Suite figure III.4 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et de celle mesurée par le bac



Suite figure III.4 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et de celle mesurée par le bac du Colorado

En général, nous regroupons les résultats interannuels obtenus par le modèle dans le tableau (III.8) et la figure (III.4).

Les relations employées sont citées ci- dessous :

- **Taux d'erreur (E%)** = $\left(\frac{\text{EVP mesurée} - \text{EVP calculée}}{\text{EVP mesurée}} \right) \% \dots\dots\dots (26)$
- $X = (X_{obs,i} - X_{model})^2 \dots\dots\dots (27)$
- $Y = (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2 \dots\dots\dots (28)$
- Le Nash est calculée selon la relation (24)

Tableau III.8 : Résultats inter-annuels de nouveau modèle et du bac Colorado (2000-2016)

Mois	EVP mesurée	EVP modèle	ERRURE %	X	Y
J	46,79	42,24	9,73	20,71	4336,52
F	47,54	53,67	-12,89	37,54	2260,41
M	73,17	73,51	- 0,46	0,11	5353,67
A	98,40	93,67	4,81	22,41	9682,56
M	121,77	121,64	0,10	0,02	14827,63
J	168,21	174,17	- 3,55	35,56	28293,34
J	234,09	219,26	6,33	219,91	54381,07
A	205,85	206,90	-0,51	1,12	42372,46
S	135,45	144,87	-6,95	88,69	18346,70
O	101,49	112,07	-10,42	111,85	10300,98
N	68,16	66,23	2,97	4,11	4646,13
D	50,83	43,19	15,03	58,34	2004,02
Totale	1 351,75	1 351,32	4,20	600,35	43384,85
Moyenne	112,65	112,61	0,35	20,26	3615,40
				Nash	<u>0,98</u>
				RSR	<u>0,1</u>

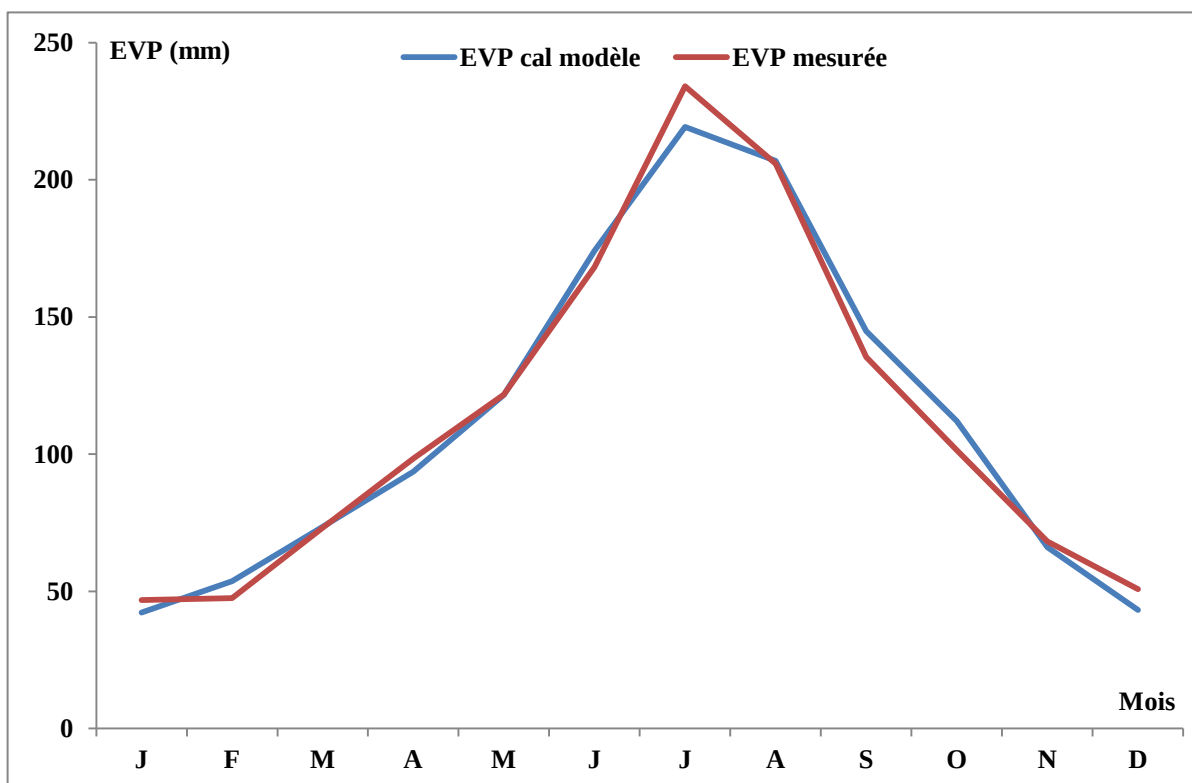


Figure III.5 : Variation de l'évaporation interannuelle par le nouveau modèle et du bac Colorado durant la période (2000 – 2016)

IV. Conclusion

Pour conclure ce chapitre, nous pouvons dire que les résultats obtenus par notre modèle numérique ainsi que sa comparaison avec les valeurs d'évaporation mesurées sont très satisfaisants. Ce nouveau modèle exige de connaître deux paramètres climatologiques sont : l'humidité relative H_r (%) et la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante (e_s) pour son application.

Enfin, nous suggérons d'utiliser ce modèle simple pour l'estimation de l'évaporation au niveau du barrage de Foum El-Guiness afin de minimiser les erreurs de mesures qui le plus souvent sont existant dans compte rendu de l'ANBT.

*Etude comparative entre les
modèles choisis et le
nouveau modèle*

IV

I. Introduction

Afin de faire ressortir l'efficacité de nouveau modèle numérique proposé et grâce à l'analyse de corrélation du paramètre hydro-climatique, on va réaliser une étude comparative en utilisant un graphe global présente les résultats numériques de l'évaporation obtenus par le nouveau modèle et ceux calculés par autres modèles choisis en comparant avec les valeurs d'évaporation observées sur le terrain, puis en calculant les erreurs des modèles choisis et proposés.

II. Résultats et discussion

Pour donner une bonne discussion sur les résultats obtenus on va résumer le travail dans deux groupes sont ;

- Groupe 1 : résultats graphiques
- Groupe 2 : résultats des erreurs de calcul pour tous les modèles numériques

II.1. Trace des graphiques des modèles

La figure (IV.1) ci- dessous, regroupe tous les résultats graphiques de chaque modèle numérique effectuent dans cette étude.

D'après nos résultats graphiques, nous voyons clairement que le modèle de Blaney-Griddle et celui de Meyer présentent une bonne convergence avec la courbe d'évaporation mesurée c'est-à-dire nous avons obtenu d'une bonne estimation de l'évaporation par ces modèles. Alors que, les autres modèles donnent divergence plus ou moins importante avec la courbe d'évaporation mesurée c'est dire mauvaise estimation d'évaporation. Nous citons ces modèles comme suit : Papadakis, Rohwer (1), Penman (1 et 2), Boutoutaou (1), Shuliakovski, Boutoutaou (2), Fitzgerald, Rohwer (2) enfin modèle de Boyd.

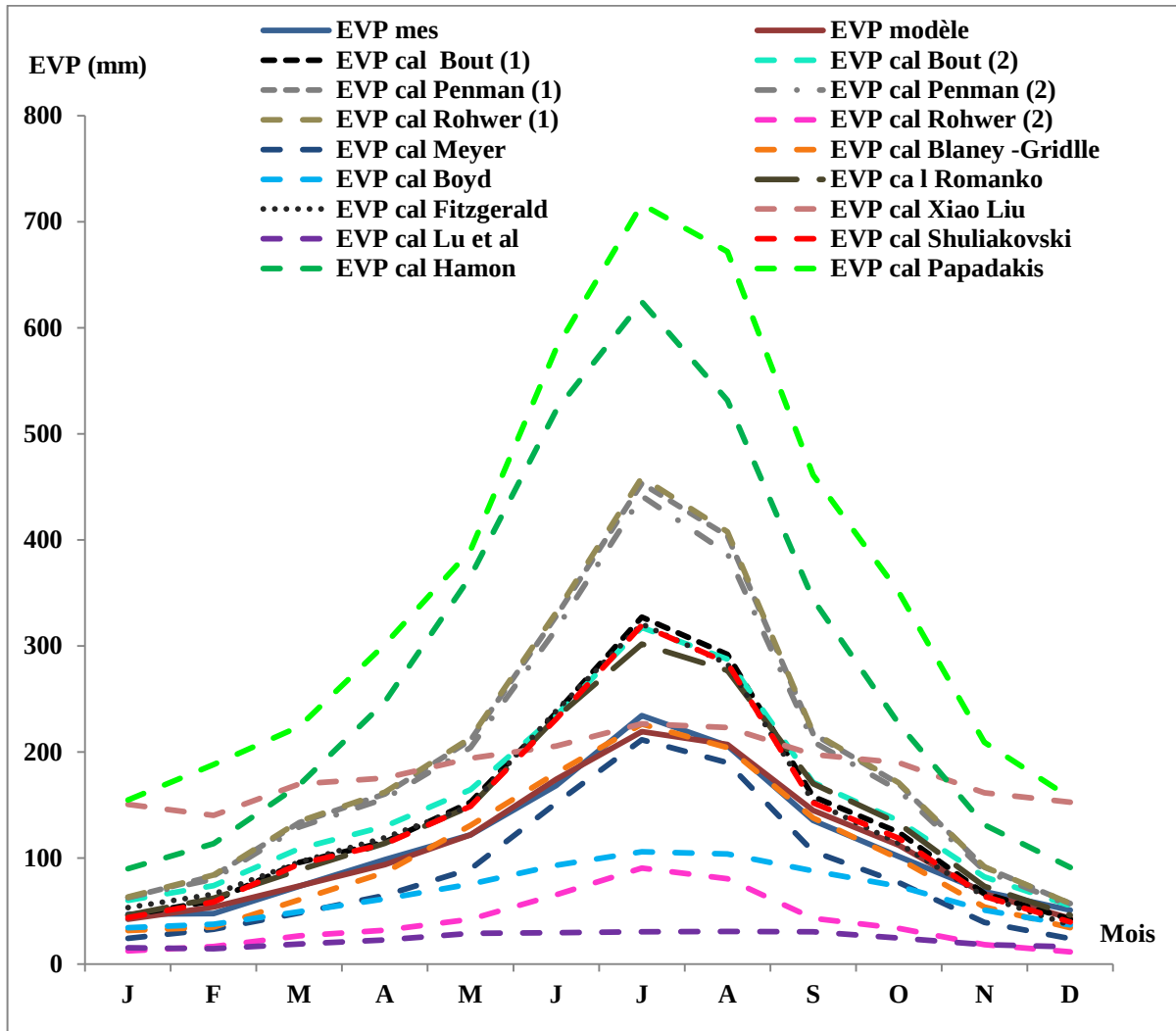


Figure IV 1 : Présentation graphique des modèles « Barrage Fourn El-Gueiss » (2000-2016)

II.2. Calcul des erreurs des modèles d'estimation :

Pour juger de l'efficacité des modèles numériques choisis et du modèle que nous avons proposés, nous devons calculer les erreurs numériques au cours de leur application. D'où l'erreur est calculée par la relation suivante : $\mp \Delta E = \frac{(E_c - E_m)}{E_c} \times 100$. Les résultats des erreurs calculées pour chaque modèle numérique sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV.1: Calcul des erreurs pour chaque modèle choisis

Tableau n°1: Erreurs obtenues par le premier modèle de Boutoutaou (1995) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	45,69	59,69	95,84	115,06	152,48	236,99	326,99	291,83	157,89	124,19	66,46	42,11
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	2,36	- 25,55	- 30,99	- 16,93	- 25,22	- 40,89	- 39,69	- 41,77	- 16,57	- 22,36	2,49	17,17

Tableau n°2: Erreurs obtenues par le deuxième modèle de Boutoutaou (1995) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	59,94	73,85	108,72	129,67	164,37	234,31	317,29	287,44	171,19	135,01	82,05	54,89
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	- 28,09	- 55,33	- 48,58	- 31,78	- 34,98	- 39,30	- 35,54	- 39,64	- 26,39	- 33,03	- 20,37	- 7,98

Tableau n°3: Erreurs obtenues par le modèle de Papadakis (1972) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	154,47	187,92	223,88	301,25	390,04	580,48	716,42	671,71	461,15	350,63	209,12	156,77
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	- 230,10	- 295,26	- 205,98	- 206,14	- 220,32	-245,10	- 206,05	- 226,32	- 240,46	- 245,47	- 206,79	- 208,42

Tableau n°4: Erreurs obtenues par le modèle de Romanko(1961) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	45,91	61,91	88,77	113,67	148,69	232,49	301,58	276,89	170,03	132,30	73,25	46,17
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	1,89	- 30,21	- 21,32	- 15,51	- 22,11	- 38,22	- 28,83	- 34,51	- 25,53	- 30,35	- 7,47	9,17

Tableau n°5: Erreurs obtenues par le premier modèle de Penman (1948) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	62,69	82,95	133,40	160,10	211,15	328,07	453,17	403,59	217,09	170,01	91,23	57,08
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	- 33,97	- 74,47	- 82,32	- 62,71	- 73,41	- 95,04	- 93,59	- 96,06	- 60,27	- 67,51	- 33,85	- 12,29

Tableau n°6: Erreurs obtenues par le deuxième modèle de Penman (1948) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	62,50	79,94	129,04	155,79	203,97	315,70	441,36	387,27	209,52	163,81	88,16	54,94
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	- 33,56	- 68,15	- 76,37	- 58,32	- 67,51	- 87,68	- 88,54	- 88,14	- 54,69	- 61,40	- 29,34	- 8,09

Tableau n°7: Erreurs obtenues par le modèle de Meyer (1915) à l'échelle inter-annuelle (2000 -2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	35,02	32,60	48,17	64,55	89,59	151,67	211,38	189,96	106,20	76,95	39,16	40,84
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
$\pm \Delta \text{EVP}$	25,17	31,44	34,17	34,40	26,42	9,83	9,70	7,72	21,59	24,18	42,54	19,65

Tableau n°8: Erreurs obtenues par le modèle de FITZGERALD (1886) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	53,14	65,76	96,18	119,10	148,90	238,70	320,69	282,98	153,23	113,83	63,92	36,46
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
$\pm \Delta \text{EVP}$	- 13,57	- 38,31	- 31,44	- 21,04	- 22,28	- 41,91	- 37,00	- 37,47	-13,13	- 12,16	6,23	28,27

Tableau n°9 : Erreurs obtenues par le modèle de Shuliakovski (1879) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	43,81	58,58	94,33	113,18	148,69	230,95	319,32	283,88	151,96	118,57	63,78	39,48
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
$\pm \Delta \text{EVP}$	6,38	- 23,21	- 28,92	- 15,02	- 22,10	- 37,30	- 36,41	- 37,91	- 12,19	- 16,83	6,44	22,34

Tableau n°10: Erreurs obtenues par le modèle de Boyd (1985) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	34,20	37,32	49,26	61,40	75,37	93,04	105,91	103,69	87,62	73,13	50,67	36,98
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	26,91	21,51	32,68	37,60	38,10	44,69	54,76	49,63	35,31	27,95	25,66	27,25

Tableau n°11: Erreurs obtenues par le modèle de Blaney – Griddle (1959) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	31,44	34,64	60,64	86,26	130,63	180,17	226,14	204,14	137,81	99,29	53,87	34,21
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	32,82	27,13	17,12	12,33	-7,28	- 7,11	3,39	0,83	- 1,74	2,17	20,97	32,69

Tableau n°12: Erreurs obtenues par le modèle de Hamon (1963) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	89,94	113,48	168,72	247,30	365,63	522,09	624,55	531,65	344,06	226,62	131,37	91,07
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	- 92,21	- 138,69	- 130,59	- 151,32	- 200,27	- 210,39	- 166,80	- 158,28	- 154,01	- 123,29	- 92,73	-79,16

Tableau n°13: Erreurs obtenues par le modèle de Rohwer (2) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	12,45	16,54	26,61	31,93	42,05	65,32	90,27	80,33	43,13	33,73	18,12	11,29
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	73,40	65,22	63,63	67,55	65,47	61,17	61,44	60,97	68,16	66,77	73,42	77,80

Tableau n°14: Erreurs obtenues par le modèle de Lut et al (2005) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	15,40	14,26	18,89	22,78	28,84	29,52	30,40	30,73	30,25	24,30	18,27	16,13
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	67,09	70,01	74,18	76,85	76,32	82,45	87,01	85,07	77,67	76,06	73,20	68,26

Tableau n°15: Erreurs obtenues par le modèle de Xiao Lui (2016) à l'échelle inter-annuelle (2000 - 2016)

Par/ mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP cal	150,46	140,09	169,66	175,23	193,98	205,44	226,48	223,00	197,50	189,91	161,34	152,45
EVP mes	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
±ΔEVP	- 221,54	- 194,66	- 131,88	- 78,08	- 59,30	- 22,14	3,25	- 8,33	- 45,81	- 87,12	-136,70	- 199,91

Après avoir présenté les erreurs de calcul pour chaque modèle numérique utilisé dans cette étude, nous avons trouvé les résultats suivants ;

1. Les erreurs de calcul sont très grandes concernant les modèles suivants : les deux modèles de Boutoutaou et Penman, Romanko, Papadakis, Rohwer, Boyd, Fitzgerald et enfin modèle d'Hamon.
2. Les erreurs de calcul sont faibles concernant les modèles suivants: Blaney –Griddle, Meyer et celui que nous avons proposé présente des erreurs inférieures à 4,20 %. C'est à dire, ces derniers donnent une bonne estimation de l'évaporation de notre barrage.

III. Conclusion

Ce chapitre présente la comparaison des valeurs d'évaporation calculées grâce au nouveau modèle proposé avec ceux calculés par les modèles choisis. nous confirmons définitivement l'efficacité de notre modèle qui présente des erreurs inférieures à 4,20%. Les résultats obtenus par les deux modèles choisis sont: Blaney –Griddle et Meyer confirment la possibilité de leur appliquer afin d'estimer l'évaporation du barrage.

En perspective, nous pensons que notre modèle proposé a contribué à faciliter le processus d'estimation de l'évaporation au niveau du barrage de Foum El-Guies qui se situe dans une région semi-aride et permet de combler les manques de données d'évaporation dans les séries enregistrées par l'ANBT.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette étude, était l'élaboration d'un modèle numérique simple et adéquat pour une bonne estimation de l'évaporation qui est considérée comme un problème majeur au niveau du barrage de Foum El-Guies (Khenchela) tout en utilisant quelques données hydro-climatiques comme des paramètres d'entrée pour le modèle proposé.

Pour le premier chapitre, nous avons présenté tout d'abord la climatologie du barrage de Foum El-Guies situé dans une région semi-aride (Khenchela) à l'est d'Algérie. Ensuite, nous avons expliqué les facteurs influant sur l'évaporation qui est: la température, la vitesse du vent, l'humidité relative, l'insolation.. etc. Tout cela, pour comprendre quand le phénomène d'évaporation se produit et de confirmer le type climatique de notre région d'étude.

Le deuxième chapitre, qui traite l'application numérique de certains modèles choisis tels que : les deux modèles de Boutoutaou (1995), modèle de Papadakis (1972) ,deux modèles de Penman (1948),modèle de Romanko (1961),modèle de Meyer (1915) ,modèle de Fitzgerald (1886),modèle de Shuliakovski (1889), modèle de Boyd (1985), modèle de Blaney-Griddle (1959),modèle de Hamon (1963), deux modèles de Rohwer (1931), modèle de Lu et al (2005),modèle de Xiao (2016). Et en employant des données climatologiques collectées pour estimer l'évaporation de notre barrage. Nos calculs illustrent que peu de modèles numériques qui sont: le modèle de Boutoutaou (2), le modèle de Romanko, modèle de Meyer, modèle de Fitzgerald ,modèle de Shuliakovski et enfin le de Blaney-Gridlle donnent une bonne convergence avec les mesures directes de l'évaporation où le coefficient de corrélation est très élevé ($R^2 = 0,99$). Alors que les modèles restants présentent des valeurs loin de ceux mesurés sur le terrain avec une corrélation varient entre 0,81 - 0,98.

Le troisième chapitre est consacré à l'élaboration d'un modèle numérique afin d'estimer l'évaporation du barrage sur la base des analyses statistiques des données hydro-climatiques. Ces analyses ont été effectuées par un programme simple appelé XLSTAT. Nos résultats montrent que les facteurs influent sur l'évaporation sont bien l'humidité relative et la tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante avec une bonne corrélation est de 0,98. La combinaison des deux paramètres a conduit à un très bon modèle pour une estimation précise de l'évaporation. Afin de confirmer l'efficacité de notre modèle, le critère de Nash et RSR ont été calculés et leurs valeurs sont respectivement 0,98 et 0,1 qui conclut que notre modèle est excellent.

Dans le dernier chapitre, nous avons mené une étude comparative entre les modèles sélectionnés et notre modèle afin de répondre à la question posée : le nouveau modèle élaboré

est – il efficace ou non ?. Cette comparaison montre que le modèle élaboré a une bonne concordance avec les valeurs d'évaporation mesurées par le bac Colorado, ce qui présente des erreurs ne dépasse 4,20%. Ainsi que le modèle de Blaney-Griddle donne une bonne estimation d'évaporation avec une erreur moyenne inférieure à 11% , sans oublier le modèle de Meyer qui a fourni des valeurs acceptables à l'échelle interannuelle (2000-2016) avec une erreur moyenne atteinte de 20%, alors que les autres modèles choisis présentent des valeurs des erreurs considérables. Ces résultats confirment définitivement l'efficacité de notre modèle et son pouvoir d'appliquer.

En perspective, nous suggérons l'utilisation de ce modèle pour estimer l'évaporation mensuelle du barrage Foum-Guiess qui donne des valeurs plus précises pendant toute l'année, sans faire appel à des modèles internationaux.

BIBLOGRAPHIQUE

des 23 références citées dans le texte

- Alazard, M, Leduc, C, Travi.Y.,Boulet,G.,et salem,A.B.(2015)**,Estimation evaporation in semi-arid areas facing data scarcity : Example of the El Haouareb dam (Merguellil catchment, central Tunisia).Journal of Hydrology: Régional Studies,vol,3,265-284.
- Aldomany,M.(2017)**.L'évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du centre ouest de la France (Brenne et Limousin).Thèse doctorat. Université d'Orléans.278.
- ANBT,(2016)**.Document de barrage, document de barrage Foum EL-Guieiss, Khenchela, Algérie :Direction de barrage Foum El-Guieiss.
- ANBT**.Agence National des Barrages et Transferts, Khenchela, Algérie.
- André, Musy.(2005)**.La mesure hydrologique, Chapitre 4,dans Hydrologie Générale Section SIE et GC 4 ème semestre. Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL).Editeur,P 1-21.
- Ben Cherouda ,A. & Djaballah, H.(2018)**.Nouveau modèle numérique d'estimation de l'évaporation du barrage réservoir Djorf-Torba,Bechar. Mémoire master, Université Echahide Hamma Lakhdar, d'El-Oued, Algérie.
- Benzaghta et al.(2012)**.Prediction of evaporation in tropical climat using artificial neural network and climate based models, Academic Journals, Vol.7(36),3139p.
- Benhaddad Dali,(2015)**.Evolution des grands barrages dans l'est Algérien : Quel devenir ?.Mémoire Magister. Université Abderrahmane Mira, Bejaia, Algérie.
- Benis,S.(2009)**. « Hydraulique et hydrologie »,2ème édition (Revue et Augmentée),presse de l'université du Québec. Québec, Canada.
- Boutoutaou D.(2011)**.Notion sur l'évaporation des plans d'eau (Barrage, Lac, Cours d'eau, Chott, Sebkha, etc) en Algérie. Laboratoire d'Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides. Université Kasdi Merbah Ouargla,296p et 299p.
- Brek, L. & Kouassah,I.(2017)**.Etude par Analyse Statistique de la Charge Sédimentaire dans le Barrage de Foum El-Gueiss (Khenchela). Mémoire Master, Université Larbi Ben M'hidi ,Oum El-Bouaghi .Algérie.

- Guezel, Y. & Miloudi, T. (2018).** Nouveau modèle numérique d'estimation du taux d'évaporation du barrage réservoir –Brizina-El-Bayadh. Mémoire Master .Université Echahide Hamma Lakhdar, d'El-Oued, Algérie.
- Graie-GT Autosurveillance-sous-groupe Modelisation. 2018.** Critères et indicateurs d'auto-évaluation des modèles ,Document de Travail ,version 1 ,p6 et p 7.
- M. Majidi et al. (2015).** Estimating Evaporation from Lakes and Reservoirs Under Limited Data Condition in a Semi-Arid Region. Journal Springer Science et Business Dordrecht .p3716.
- Oulhaci, D. (2015).** Ruissellement Inter- Annuel En Algérie Septentrionale (Relation entre, Ruissellement Pluie et Evaporation .Thèse Doctorat .Université Kasdi Merbah Ouargla. Algérie .
- OMM . (1994).** Guides des Pratiques Hydrologiques Acquisition et Traitement des Données, Analyses, Prévision et Autres Applications. Cinquième édition ,Organisation Météologique mondiale, OMM-N°168
- Remini, B. (2005).** L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi-aride :Exemple Algériens. Larhyss Journal, 1112-3680.
- Riad, S . (2003).** Typologie et Analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelque bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse Doctorat. Université Ibnou Zohra. Agadir, Maroc.
- Singh, V. & Xu, C.Y. (1997).** Evaluation and generalization of 13 mass- Tansfer equations for determining free Water evaporation. Hydrological Processes, Vol.11, 311-323. 313p et 316.
- Sahraoui, B. (2016).** Diagnostic et réhabilitation d'un forage du complexe Terminal et ses équipements cas du barrage .Mémoire Master. Université de Echahide Hamma Lakhdar. El-Oued. Algérie, 14p.
- Site web : <https://fr.tutiempo.net/>, 2016.** Bulletins des données climatologiques de la région de Khenchela. Algérie
- Tebbi, F.Z. (2014).** Modélisation de la régularisation des barrages dans la région des Aurès. Thèse Doctorat. université Haj Lakhdar Batna. Batna. Algérie. 50p

Vachala,S .(2008).Evaporation sur les retenues EDF du sud de la France. Mémoire Master.
Université Pierre et Mrice Curie. Paris. France.

Annexes

Annexe 01 : Les résultats numériques inter-annuels des modèles sélectionnés

Formule : Modèle de Boutoutaou (2)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	59,94	73,85	108,72	129,67	164,37	234,31	317,29	287,44	171,19	135,01	82,05	54,89
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Romanko (1961)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	45,91	61,91	88,77	113,67	148,69	232,49	301,58	276,89	170,03	132,30	73,25	46,17
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Papadakis (1972)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	45,91	61,91	88,77	113,67	148,69	232,49	301,58	276,89	170,03	132,30	73,25	46,17
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Meyer (1915)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	24,02	32,60	48,17	64,55	89,59	151,67	211,38	189,96	106,20	76,95	39,16	23,84
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Blaney-Griddle (1959)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	31,44	34,64	60,64	86,26	130,63	180,17	226,14	204,14	137,81	99,29	53,87	34,21
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83

Tableau n°1 : Les résultats numériques du modèle Boutoutaou (1955), Romanko (1961), Papadakis (1961), Meyer (1915) et de Blaney –Gridlle (1959)

Formule : Modèle de Boyd (1985)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	34,20	37,32	49,26	61,40	75,37	93,04	105,91	103,69	87,62	73,13	50,67	36,98
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Hamon (1963)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	89,94	113,48	168,72	247,30	365,63	522,09	624,55	531,65	344,06	226,62	131,37	91,07
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Shuliakovski (1884)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	43,81	58,58	94,33	113,18	148,69	230,95	319,32	283,88	151,96	118,57	63,78	39,48
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Lu et al (2005)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	15,40	14,26	18,89	22,78	28,84	29,52	30,40	30,73	30,25	24,30	18,27	16,13
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Modèle de Xiao (2016)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	150,46	140,09	169,66	175,23	193,98	205,44	226,48	223,00	197,50	189,91	161,34	152,45
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83

Tableau n°2 : Les résultats numériques du modèle de Boyd (1985), Hamon (1963), Shuliakovski (1884), Lu et al (2005) et de Xiao (2016)

Formule : Modèle de Fitzgerald (1886)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	53,14	65,76	96,18	119,10	148,90	238,70	320,69	282,98	153,23	113,83	63,92	36,46
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Le premier modèle de Rohwer (1931)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	12,45	16,54	26,61	31,93	42,05	65,32	90,27	80,33	43,13	33,73	18,12	11,29
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Le deuxième modèle de Rohwer (1931)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	63,25	83,76	134,58	161,86	213,23	331,67	458,75	407,61	218,49	171,01	91,70	57,11
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Le premier modèle de Penman (1963)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	62,69	82,95	133,40	160,10	211,15	328,07	453,17	403,59	217,09	170,01	91,23	57,08
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83
Formule : Le deuxième modèle de Penman (1963)												
EVP Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVP calculée	62,50	79,94	129,04	155,79	203,97	315,70	441,36	387,27	209,52	163,81	88,16	54,94
EVP mesurée	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83

Tableau n°3: Les résultats numériques du modèle de Rohwer (1931) et de Penman (1963)

Annexe 02: Résultats des tests statistiques

Au cours de l'analyse statistique, nous avons effectué des tests de corrélation sur les données Hydro-climatiques afin de déterminer le modèle qui a une bonne corrélation (R^2 ajusté.) et fort RSR. Ces tests ont été résumés dans le tableau suivant :

Paramètres	R^2 ajusté	RSR	Evaluation
Tmin × Tmax × EVP mes	0,94	faible	Modèle mauvais
Tmin × Tmoy × EVP mes	0,94	faible	Modèle mauvais
Tmin × Hr % × EVP mes	0,95	moyenne	Bon modèle
Tmin × V × EVP mes	0,91	faible	Modèle mauvais
Tmin × Insolation × EVP mes	0,92	faible	Modèle mauvais
Tmin × Patm × EVP mes	0,89	Très faible	Modèle mauvais
Tmin × Teau × EVP mes	0,93	faible	Modèle mauvais
Tmin × es × EVP mes	0,87	Très faible	Modèle mauvais
Tmin × λ × EVP mes	0,94	faible	Modèle mauvais
Tmin × ea × EVP mes	0,93	faible	Modèle mauvais
Tmin × D × EVP mes	0,87	Très faible	Modèle mauvais
Tmin × Δ × EVP mes	0,92	faible	Modèle mauvais
Tmoy × V × EVP mes	0,93	faible	Bon modèle
Tmoy × Teau × EVP mes	0,96	moyenne	Bon modèle
Tmoy × Hr × EVP mes	0,95	moyenne	Bon modèle
Tmoy × λ × EVP mes	0,93	faible	Modèle mauvais

Tableau n°1: les résultats des Tests statistiques sur les données hydro –climatiques

Paramètres	R ² ajusté	RSR	Evaluation
V × Tmax × EVP mes	0,93	faible	Modèle mauvais
V × Hr × EVP mes	0,96	Bien	Bon modèle
V × Patm × EVP mes	0,91	faible	Modèle mauvais
V × Insolation × EVP mes	0,75	Très faible	Modèle mauvais
V × λ × EVP mes	0,93	faible	Modèle mauvais
V × Teau × EVP mes	0,92	faible	Modèle mauvais
V × es × EVP mes	0,97	Moyenne	Bon modèle
V × Δ × EVP mes	0,87	Très faible	Modèle mauvais
Hr × Tmax × EVP mes	0,95	moyenne	Modèle mauvais
Hr × Teau × EVP mes	0,94	faible	Modèle mauvais
Hr × λ × EVP mes	0,95	Moyenne	Bon modèle
Hr × es × EVP mes	<u>0,98</u>	fort	Très bon modèle
Teau × Patm × EVP mes	0,92	faible	Modèle mauvais
Teau × λ × EVP mes	0,96	Bien	Bon modèle
Teau × Insolation × EVP mes	0,92	faible	Modèle mauvais
Teau × Tmax × EVP mes	0,95	Moyenne	Bon modèle
Patm × λ × EVP mes	0,95	moyenne	Bon modèle
Patm × Δ × EVP mes	0,87	Très faible	Modèle mauvais

Suit Tableau n°1: les résultats des Tests statistiques sur les données hydro –climatiques

