

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 : *Conception et diagnostic du système d'AEP et d'Assainissement*

THEME

**Nouveau modèle numérique d'estimation du taux
d'évaporation du barrage réservoir -Brézina-EL-Bayadh**

Dirigé par :

M^{elle} : MEZIANI ASSIA

Présenté par :

**Mr: GUEZEI YAHIA
Mr : MILOUDI TAHAR**

Promotion : Juin 2018

ملخص:

إن الهدف من دراستنا هو معرفة قيمة التبخر في سد بريزينا بدقة و بطريقة سهلة و بسيطة، بدلا من طريقة القياس عن طريق الحوض الذي يقاس التبخر به يوميا و يحتاج إلى يد عاملة. لذا سنقترح نموذج جديد بسيط و سهل و دقيق لحساب قيمة التبخر، بحيث تكون نتائجه مطابقة لنتائج التبخر المقاس، والذي يحتاج إلى عاملين فقط من المعطيات المناخية المتاحة.

- التبخر . - النموذج . - المعطيات المناخية .

Résumé:

L'objectif de notre étude est de connaître avec précision et simplicité la valeur de l'évaporation dans le barrage de Brézina plutôt que la méthode de mesure à travers le bassin, dont l'évaporation quotidienne est mesurée et qui nécessite du travail. Par conséquent, nous proposons un nouveau modèle simple, facile et précis pour calculer la valeur d'évaporation, de sorte que ses résultats soient cohérents avec les résultats d'évaporation mesurés, ce qui nécessite seulement deux facteurs de données climatiques disponibles.

- L'évaporation . - Le modèle . - La données climatiques .

Abstract :

The objective of our study is to know the value of evaporation in the Brézina Dam accurately and in an easy and simple way, rather than the method of measurement through the basin, which is measured evaporation daily and needs labor. Therefore, we propose a new simple, easy and accurate model to calculate the evaporation value, so that its results are consistent with the evaporation results measured, which requires only two factors of available climate data.

- the evaporation . - the model . - climate data .

Remerciement

Je remercie tout d'abord le bon dieu qui m'a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail, je remercie ma famille.

Ce travail ne serait jamais vu la lumière sans la contribution efficace de tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, par leur appui en acquisition de documents et de matériels nécessaires, en accès à l'information ou par leur soutien moral et encouragements. A tous, je suis redevable et reconnaissant.

Néanmoins, dans ce chemin de reconnaissance, il y a des personnes qu'il faut citer.

Tout d'abord mon encadreur *M^{elle} MEZIANI ASSIA* pour avoir consacré une partie de son temps pour m'encadrer et pour leur patience.

Par la même occasion je remercie tous mes enseignants de département de l'hydraulique.

Aux membres du jury qui ont bien voulu examiner notre travail et de l'apprécier à sa juste valeur.

Et Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire.

Sommaire

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre I : Présentation climatique de la région d'étude

1- Introduction.....	02
2- Présentation de la région du barrage.....	02
2-1. Situation et limites géographiques du barrage de Brézina.....	02
2-2. Climat de la région de Brezina.....	03
2-2.1. Les facteurs météorologiques influant sur l'évaporation.....	03
2-2.1- a). L'humidité de l'air	03
2-2.1- b). La température de l'air.....	04
2-2.1- c). Le rayonnement solaire.....	06
2-2.1- d). La vitesse et la turbulence du vent	07
2-2.1- e). La pression atmosphérique	08
3- Conclusion.....	09

Chapitre II : Les modèles numériques d'estimation de l'évaporation des plans d'eau

1-Introduction.....	11
2-Les modèles d'estimation de l'évaporation des plans d'eau	11
2-1. Méthode directe.....	11
a) Les atmomètres et évaporimètres	11
b) Les bacs évaporatoires.....	12
- Le bac de classe A.....	12
- Le bac Colorado.....	12
- Les bacs Russe, GGI 3000.....	12
- Les bacs flottants sont partiellement immergés à la surface de l'eau.....	12
2-2. Méthode indirecte.....	13
2-2.1.Modèles de Boutoutao basés sur les données météorologiques	13
2-2.2.Modèle de Xiao Liu.....	19
2-2.3. Modèle de Papadakis	22
2-2.4. Modèle de Romanko.....	25
3-Conclusion.....	29

Chapitre III : Elaboration du nouveau modèle numérique

1-Introduction	30
2-Nouveau modèle d'estimation de l'évaporation	30
2-1. Analyse statistique des paramètres hydro-climatiques	30
2-2. Validation du modèle	35
3-Résultats et discussion	35
3-1. Résultats numériques obtenus par le nouveau modèle proposée	36
3-2. Graphiques obtenus par le nouveau modèle proposé	41
4-Conclusion	46

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

1-Introduction	47
2-Résultats et discussion	47
2-1. Tracé des graphes des modèles	47
2-2. Calcul des erreurs des modèles d'estimation	48
3-Conclusion	52
Conclusion générale	53

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation climatique de la région d'étude

Tableau I.1: Variation mensuelle de l'humidité relative pendant la période (2001-2014)	04
Tableau I.2: Variation annuelle de la température de la région de Brézina (2001-2014)	04
Tableau I.3: Variation mensuelle de la température de la région de Brézina (2001-2014)	05
Tableau I.4: Variation mensuelle de l'insolation de la région d'El-Bayadh (2001-2014)	06
Tableau I.5: Variation mensuelle de la vitesse du vent de la région de Brézina	07
Tableau I.6: Variation mensuelle de la pression atmosphérique pendant la période (2001-2014)	08

Chapitre III : Elaboration du nouveau modèle numérique

Tableau III.1 : Coefficients d'ajustement (EVP mesurée (mm))	30
Tableau III.2 : Matrice de corrélation des paramètres climatologiques	31
Tableau III.3 : Analyse de la variance (EVP mesurée (mm))	32

<i>Tableau III.4 : Paramètres du modèle (EVP mesurée (mm))</i>	<i>31</i>
<i>Tableau III.5 : Prédications et résidus (EVP mesurée (mm))</i>	<i>34</i>
<i>Tableau III.6 : Compte Rendu d'année 2001</i>	<i>36</i>
<i>Tableau III.7 : Compte Rendu d'année 2002</i>	<i>36</i>
<i>Tableau III.8 : Compte Rendu d'année 2003</i>	<i>36</i>
<i>Tableau III.9 : Compte Rendu d'année 2004</i>	<i>37</i>
<i>Tableau III.10 : Compte Rendu d'année 2005</i>	<i>37</i>
<i>Tableau III.11 : Compte Rendu d'année 2006</i>	<i>37</i>
<i>Tableau III.12 : Compte Rendu d'année 2007</i>	<i>38</i>
<i>Tableau III.13 : Compte Rendu d'année 2008</i>	<i>38</i>
<i>Tableau III.14 : Compte Rendu d'année 2009</i>	<i>38</i>
<i>Tableau III.15 : Compte Rendu d'année 2010</i>	<i>39</i>
<i>Tableau III.16 : Compte Rendu d'année 2011</i>	<i>39</i>
<i>Tableau III.17 : Compte Rendu d'année 2012</i>	<i>39</i>
<i>Tableau III.18 : Compte Rendu d'année 2013</i>	<i>40</i>
<i>Tableau III.19 : Compte Rendu d'année 2014</i>	<i>40</i>
<i>Tableau III.20 : Résultats inter-annuels de nouveau modèle et du bac Colorado</i> <i>(2001-2014)</i>	<i>45</i>

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

<i>Tableau IV.1 : Erreurs obtenues par le modèle de Boutoutao (1) (2001-2014)</i>	<i>50</i>
<i>Tableau IV.2 : Erreurs obtenues par le modèle de Boutoutao (2) (2001-2014)</i>	<i>50</i>
<i>Tableau IV.3 : Erreurs obtenues par le modèle de Xiao Liu (2001-2014)</i>	<i>50</i>
<i>Tableau IV.4 : Erreurs obtenues par le modèle de Papadakis (2001-2014)</i>	<i>51</i>
<i>Tableau IV.5 : Erreurs obtenues par le modèle Romanko (2001-2014)</i>	<i>51</i>
<i>Tableau IV.6 : Erreurs obtenues par le modèle proposé (2001-2014)</i>	<i>51</i>

Liste des figures

Chapitre I : Présentation climatique de la région d'étude

Figure I.1 : Positionnement du bassin versant d'oued Seggueur	02
Figure I.2 : Photos du barrage de Brézina-El-Bayadh.....	03
Figure I.3 : Evolution de l'humidité relative pendant les années 2001 jusqu'au 2014	04
Figure I.4 : Evolution annuelle de la température de l'air pendant l'année 2001 jusqu'au 2014.....	05
Figure I.5 : Evolution des températures Tmax, Tmin et Tmoy pendant les années (2001-2014).....	06
Figure I.6 : Evolution mensuelle de l'insolation de la région d'El-Bayadh (2001-2014).....	07
Figure I.7 : Evolution de la vitesse du vent de la région d'El-Bayadh pendant les années (2001-2014).....	08
Figure I.8 : Evolution de la pression atmosphérique durant la période (2001-2014).....	09

Chapitre II : Les modèles numériques d'estimation de l'évaporation des plans d'eau

Figure II.1 : Bacs d'évaporation Classe « A » et Colorado	13
Figure II.2 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutao (1) et du bac Colorado.....	14
Figure II.3 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutao (2) et du bac Colorado.....	16
Figure II.4 : Evaporation moyenne mensuelle par les deux modèles de Boutoutao et du Bac colorado(2001-2014).....	18
Figure II.5 : Corrélation entre les résultats des modèles de Boutoutao et les évaporations mesurées.....	18
Figure II.6: Evolution de l'évaporation par le modèle de Xiao et du bac Colorado.....	19
Figure II.7: Evaporation inter-annuelle calculée par le modèle de Xiao et du Bac colorado (2001-2014).....	21
Figure II.8: Corrélation entre les résultats du modèle de Xiao et les évaporations mesurées.....	22
Figure II.9: Evolution de l'évaporation par le modèle de Papadakis et du bac Colorado	23
Figure II.10: Evaporation moyenne mensuel par le modèle de Papadakis et du Bac colorado (2001-2014).....	25

<i>Figure II.11: Corrélation entre les résultats du modèle de Papadakis et les évaporations mesurées</i>	25
<i>Figure II.12: Evolution de l'évaporation par le modèle de Romanko et du bac Colorado</i>	26
<i>Figure II.13: Evaporation inter-annuelle calculée par le modèle de Romanko et du Bac colorado (2001-2014)</i>	28
<i>Figure II.14: Corrélation entre les résultats du modèles Romanko et les évaporations mesurées</i>	28

Chapitre III : Elaboration du nouveau modèle numérique

<i>Figure III.1:Présentation graphique de l'ajustement du modèle avec les données mesurées de l'évaporation</i>	33
<i>Figure III.2 : Présentation spatiale des l'évaporation calculée par le modèle et celui mesurées sur terrain</i>	33
<i>Figure III.3: Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et celle mesurée par le bac</i>	41
<i>Figure III.4 : Variation l'évaporation inter-annuelle par le nouveau modèle et du bac Colorado durant la période (2001-2014)</i>	46

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

<i>Figure IV.1. Présentation graphique des modèles-Barrage Brézina (2001-2014)</i>	48
--	----

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'évaporation n'est pas un des éléments fondamentaux du climat comme la température ou les précipitations ou autres, mais plutôt le résultat de l'interaction des divers facteurs climatiques. Elle varie surtout avec les températures, l'humidité relative, la nébulosité, les pressions, les vents etc. C'est pourquoi un auteur américain a proposé récemment de l'ajouter comme paramètre climatologique pour établir une classification plus rationnelle des climats du globe. En hydrologie l'évaporation présente un intérêt pratique évident, puisqu'elle est responsable du déficit d'écoulement qui diminue, dans des proportions parfois considérables, les débits des rivières par rapport aux pluies tombées.

Mais la connaissance de la quantité de l'évaporation est difficile à estimer. Sa mesure directe est même impossible. Les instruments ingénieux que l'on a imaginés pour l'évaluer donnent des résultats faux par excès, par comparaison avec l'évaporation naturelle. L'étude de l'évaporation importe plus dans les pays arides que dans les pays humides, surtout si l'on projette d'édifier de vastes barrages réservoir. Il est alors nécessaire pour déduire des débits observés et les valeurs de l'évaporation de retenues, pour ne pas s'exposer à des problèmes manques d'eau, lors des années anormalement sèches.

Notre région d'étude se situe au sud-ouest de l'Algérie à la wilaya d'El-Bayadh plus précisément, la localité de Brezina 33°5' 56''N et 1°15'38''E. Elle est caractérisée par un climat aride et confrontée à un déficit important d'eau par rapport aux besoins qui ne cessent de croître avec la démographie galopante. Ce déficit est principalement lié à la faiblesse et à la rareté des précipitations dues essentiellement à la chaîne atlasique qui empêche toute influence océanique et aux flux de masses d'air chaudes provenant du Sahara. Pour pallier cette insuffisance, de vastes programmes d'exploitation des eaux de surface (Barrage de Brezina) ont été initiés dans cette zone pour satisfaire les besoins en eau de la population et l'activité agricole principalement concentrée dans les 900 ha au périmètre de Dayet El-Bagra et 200 ha de palmeraies. Dans les conditions de la région, une gestion parcimonieuse de la ressource en eau s'impose. Celle-ci requiert une bonne connaissance des termes du bilan hydrologique en prenant en considération le facteur d'évaporation et les facteurs de perte hydrique.

Notre étude actuelle a pour but d'établir un modèle numérique permettant d'estimer le taux d'évaporation des eaux du barrage Brezina afin d'arriver à une exploitation optimale de ces

eaux, en prenant en compte toutes les données climatologiques. Il nous faut alors collecter les données climatiques nécessaires et les traiter et les analyser afin de comprendre leur évolution pendant les années passées.

Pour cela nous avons opté le plan de travail suivant pour notre mémoire :

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 1. Présentation climatique de la région d'étude

CHAPITRE 2. Les modèles numériques d'estimation de l'évaporation des plans d'eau

CHAPITRE 3. Elaboration du nouveau modèle numérique

CHAPITRE 4. Etude comparative entre les modèles choisis et le nouveau modèle

CONCLUSION GENERALE

Chapitre I :
**Présentation climatique de la région
d'étude**

1- INTRODUCTION :

Ce chapitre est consacré à une présentation de la région d'El-Bayadh où se situe le Barrage Brézina. Notons que nous sommes concentrés sur la collecte des données climatiques qui sont disponibles dans les bulletins météorologiques. L'objectif de ce chapitre est bien de savoir les mois les plus sèches et les plus humides. Nous rappelons que la région d'El-Bayadh est déjà classée comme une région aride.

2- PRESENTATION DE LA REGION DU BARRAGE :

2-1. Situation et limites géographiques du barrage de Brézina :

Le barrage Brézina est situé dans la commune du Brezina dans la Wilaya d'El-Bayadh. Il est réalisé dans la région du bassin versant de l'Oued Seggueur à 80 Km au sud d'El-Bayadh, et implanté sur le versant sud de l'Atlas Saharien dans la gorge de Kheneg Laouria où se joignent les oueds Mellah et El-Rhoul pour former l'Oued Seggueur. Le barrage de Brezina a été achevé en 2002 a une capacité d'environ 120 Mm³ la mobilisation est de 11Mm³ dont 7 Mm³ destiné pour le périmètre de dayet El-Bagra et 4,5 Mm³ pour la palmeraie de Brezina (pour l'irrigation). L'eau est amenée du barrage par conduite de 1200 mm de diamètre ou :

- 800 mm passe au périmètre de dayet El-Bagra(Plus de 900 ha) avec un débit de 795 l/s
- 700 mm passe à la palmeraie (174 ha) avec un débit de 468 l/s.

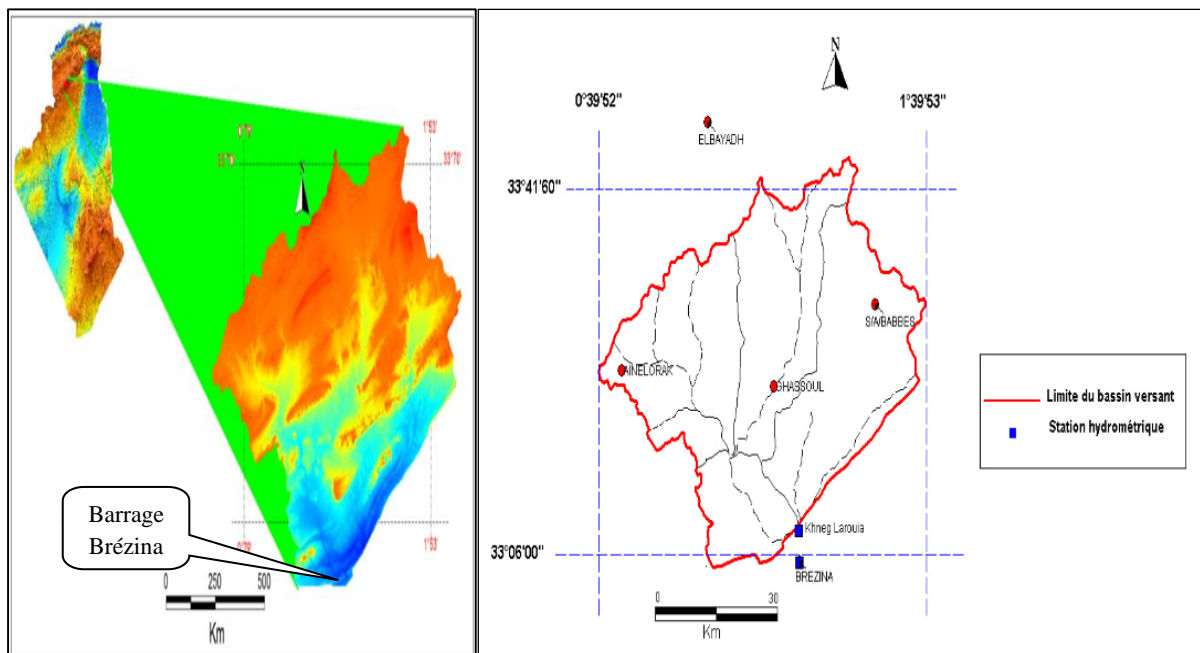


Figure I.1. Positionnement du bassin versant d'oued Seggueur (Meddi, 2011)

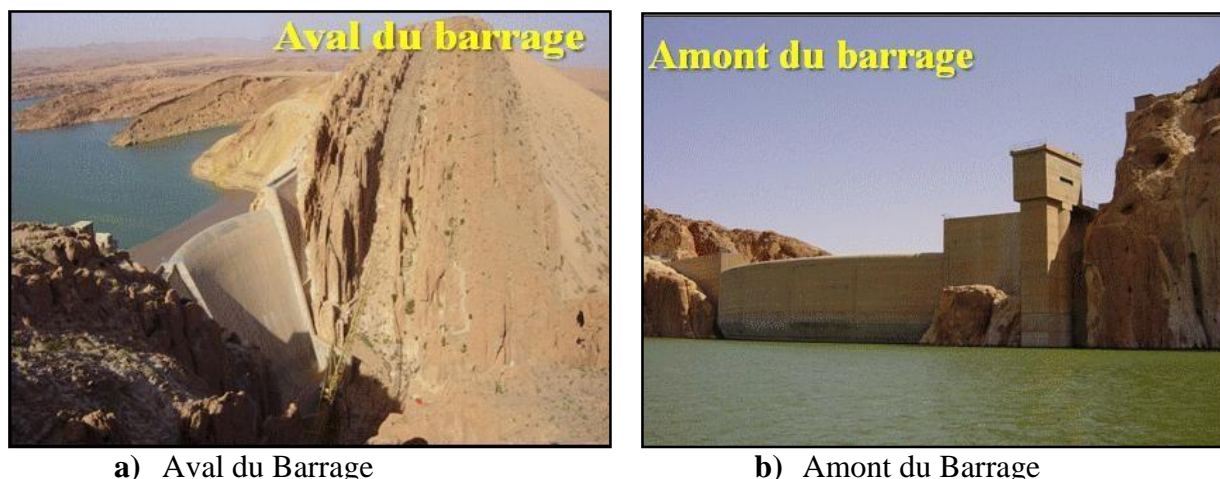


Figure I.2. Photos du barrage de Brézina-El-Bayadh (TADJEDDINE M^{ed} Abdelfattah, 2013).

2-2. Climat de la région de Brezina :

Le climat à Brezina est dit désertique. Au cours des années passées, il n'y a pratiquement peu de précipitation à Brezina. D'après Köppen-Geiger, le climat étant de type BWK (BW : climat désertique, K : Température moyenne annuelle < 18 °C).

Effectivement Brezina a une température annuelle moyenne de 17,6 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteints 147 mm, et la différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 18 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 22,2 °C. (site web : <https://fr.climate-data.org/location/632296/>)

2-2.1. Les facteurs météorologiques influant sur l'évaporation:

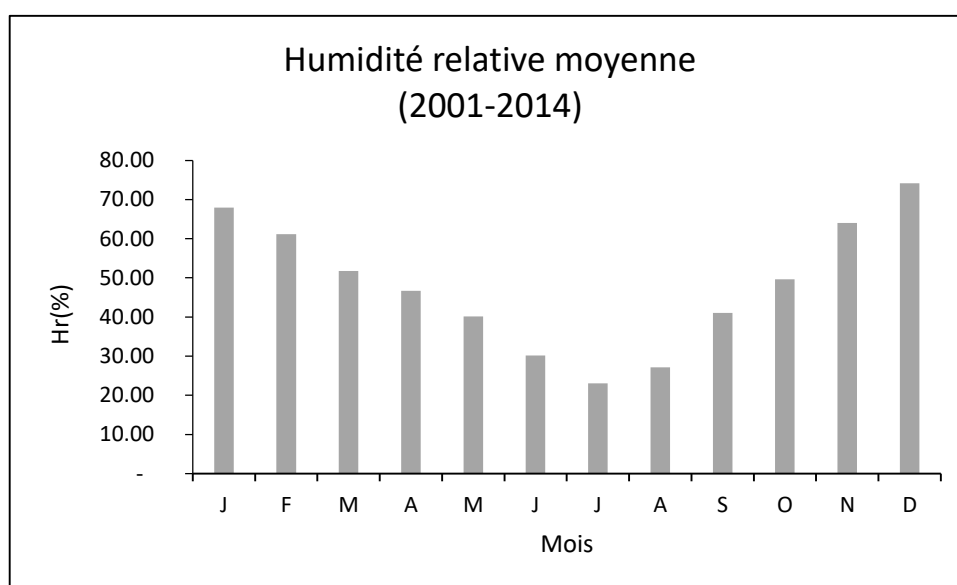
On regroupe dans la catégorie des facteurs météorologiques, les paramètres qui caractérisent l'état de l'atmosphère au voisinage de la surface évaporant de même que son aptitude à provoquer l'évaporation . Ces paramètres régissent donc le taux d'évaporation dans l'atmosphère (Jabi et Rousselle, 1990).

2-2.1- a). L'humidité de l'air :

L'effet de l'humidité de l'air sur l'évaporation peut s'exprimer à l'aide de la loi de Dalton. Celui-ci avait mis en évidence, que si tous les autres facteurs restent invariables, le taux d'évaporation d'une surface libre est inversement proportionnel à l'humidité de l'air (Jabi et Rousselle, 1990).

Tableau I.1: Variation mensuelle de l'humidité relative pendant la période (2001-2014).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	67.97	61.19	51.75	46.68	40.18	30.15	23.04	27.14	41.01	49.60	64.04	74.15
Moy	48.08											

**Figure I.3.** Evolution de l'humidité relative pendant les années 2001 jusqu'au 2014

On constate que l'humidité relative atteint une valeur maximale dans le mois considéré comme le plus froid, c'est le mois de décembre (74,17%), et une valeur minimale dans le mois le plus sec, mois de juillet (23,04%). (Tableau I.1).

2-2.1- b). La température de l'air :

La température de l'air influence directement sur la température de l'eau T_0 et sur la tension de vapeur saturante de l'eau e_0 . Elle est de plus liée à d'autres facteurs météorologiques qui influencent aussi l'évaporation, comme le rayonnement solaire ou la sécheresse de l'air.

Tableau I.2: Variation annuelle de la température de la région de Brézina (2001-2014).

Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
Tmoy	<u>17.96</u>	15.59	15.33	14.98	15.74	15.56	15.61	
Tmax	22.81	21.48	21.05	20.74	21.88	21.23	21.53	
Tmin	11.07	9.63	10.16	9.67	10.05	9.80	9.59	
Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Tmoy	15.34	15.33	16.01	15.28	15.49	<u>14.85</u>	15.83	<u>15.64</u>
Tmax	20.75	21.13	21.82	20.88	21.34	20.83	21.88	<u>21.38</u>
Tmin	9.78	9.62	10.39	9.78	9.76	9.05	10.12	<u>9.89</u>

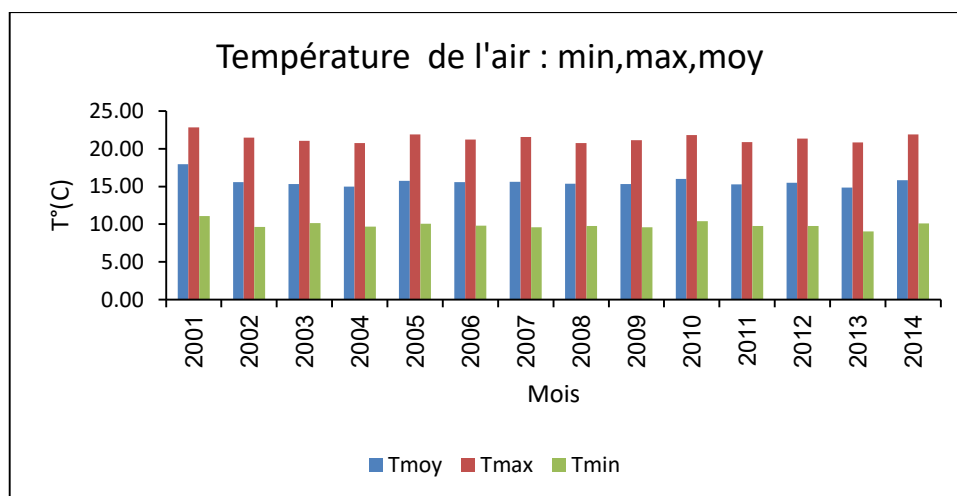


Figure I.4: Evolution annuelle de la température de l'air pendant l'année 2001 jusqu'au 2014.

Les données du graphe montre que l'amplitude de la température d'air est presque le double entre les périodes froides et chaudes, avec une moyenne durant les 14 années $T_{moy}=15.64^{\circ}\text{C}$, $T_{max}=21.38^{\circ}\text{C}$, $T_{min}=9.89^{\circ}\text{C}$. L'année la plus chaude est 2001, et sa température moyenne est 17.96°C . L'année la plus froide est 2013, sa température moyenne est de 14.85°C . (Tableau I.2).

Tableau I.3: Variation mensuelle de la température de la région de Brézina (2001-2014).

Mois	J	F	M	A	M	J
Tmoy	5.01	6.22	10.46	13.61	18.12	24.26
Tmax	10.14	11.45	16.04	19.60	24.38	30.74
Tmin	0.43	1.22	4.89	7.51	11.65	17.04
Mois	J	A	S	O	N	D
Tmoy	28.54	27.38	21.80	17.09	9.64	5.49
Tmax	35.17	33.99	27.85	22.62	14.61	10.00
Tmin	21.30	20.39	15.76	11.71	5.14	1.61

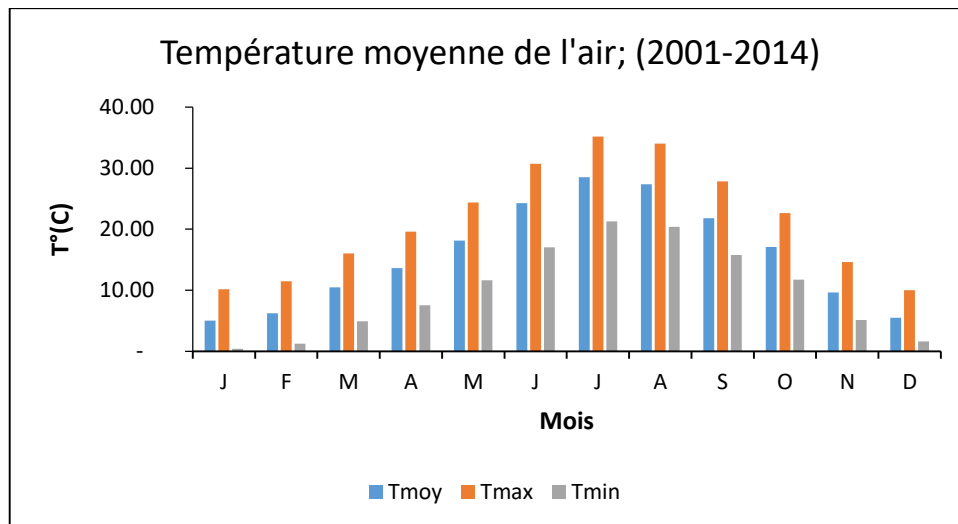


Figure I.5 : Evolution des températures Tmax, Tmin et Tmoy pendant les années (2001-2014).

Le présent graphe montre la température augmente graduellement avec une température moyenne minimale au mois de janvier ($5,01\text{ C}^\circ$) pour atteindre une température maximale moyenne ($28,54\text{ C}^\circ$) au mois de juillet puis elle diminue et qui reflète l'agressivité du climat. La température la plus élevée se trouve au cours de cette période en juillet et est de $35,17^\circ\text{C}$ et la température minimale en janvier est de $0,43^\circ\text{C}$. (Tableau I.3).

2-2.1- c). Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire fournit aux molécules d'eau l'énergie nécessaire pour activer leur mouvement, les faisant ainsi passer de la phase liquide à la phase vapeur. L'évaporation peut donc être considérée comme un processus qui absorbe de la chaleur (Jabi et Rousselle, 1990).

Tableau I.4: Variation mensuelle de l'insolation de la région d'El-Bayadh (2001-2014)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I (kWh/m ² /j)	3.11	4.05	5.28	6.29	7.13	7.67	7.52	6.69	5.47	4.34	3.19	2.74
Moyenne	5.29											

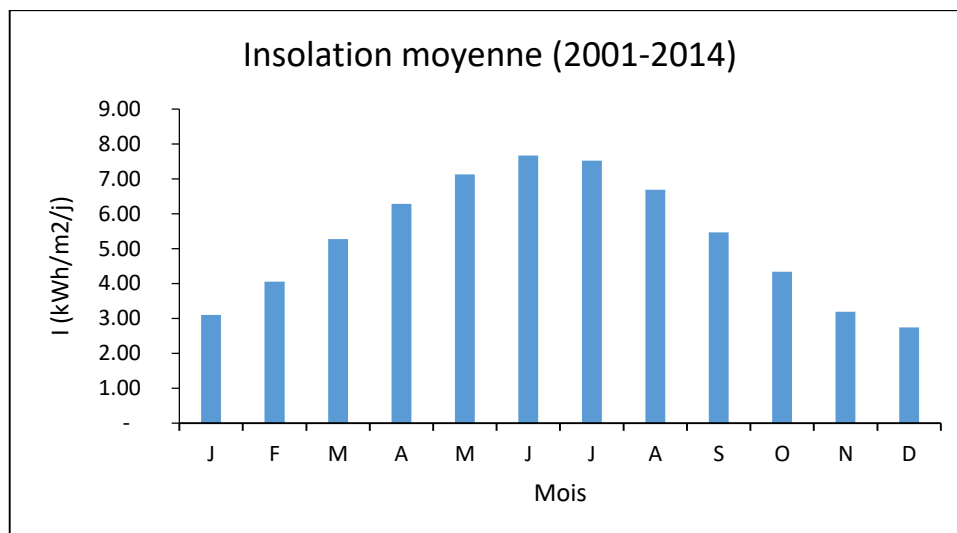


Figure I.6 : Evolution mensuelle de l'insolation de la région d'El-Bayadh (2001-2014)

L'insolation atteint sa valeur maximale dans la période d'été exactement pendant le mois de juin avec une valeur de 7,67 (kWh/m²/j) et une valeur minimale la période d'hiver mois décembre 2,74 (kWh/m²/j). (Tableau I.4).

2-2.1- d). La vitesse et la turbulence du vent :

Le vent favorise l'évaporation. En effet, il assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporant par de nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. La vitesse et la turbulence du vent atteignent une valeur limite au-dessus de laquelle la vapeur d'eau se dissipe au fur et à mesure de sa formation (Jabi et Rousselle, 1990).

Tableau I.5: Variation mensuelle de la vitesse du vent de la région de Brézina

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V (m/s)	2.47	3.03	3.42	3.42	3.26	3.08	3.00	2.81	2.78	2.59	2.65	2.40
Moy	2.91											

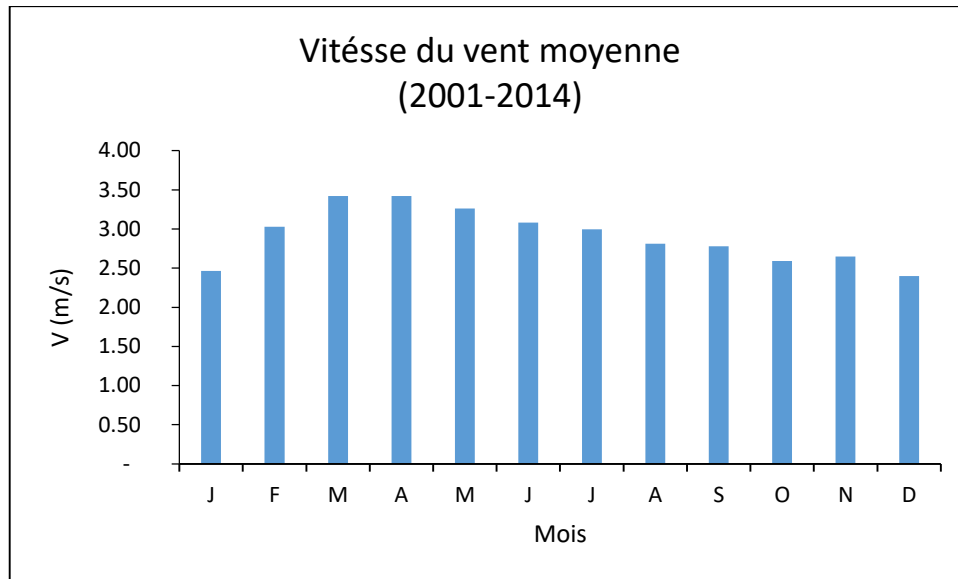


Figure I.7 : Evolution de la vitesse du vent de la région d'El-Bayadh pendant les années (2001-2014)

Les données nous informent que la zone d'étude est toujours exposée au vent qui varie entre 2,40 et 3,42 m/s de vitesse. (Tableau I.5).

2-2.1- e). La pression atmosphérique:

La plupart des auteurs considèrent que l'influence de la pression atmosphérique sur l'évaporation est minime. En général, on admet toutefois que l'évaporation augmente lorsque la pression atmosphérique diminue (Jabi et Rousselle, 1990).

Tableau I.6: Variation mensuelle de la pression atmosphérique pendant la période (2001-2014)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Patm (kPa)	90.47	90.26	90.15	89.94	90.05	90.19	90.26	90.24	90.29	90.32	90.24	90.47
moyenne	90.24											

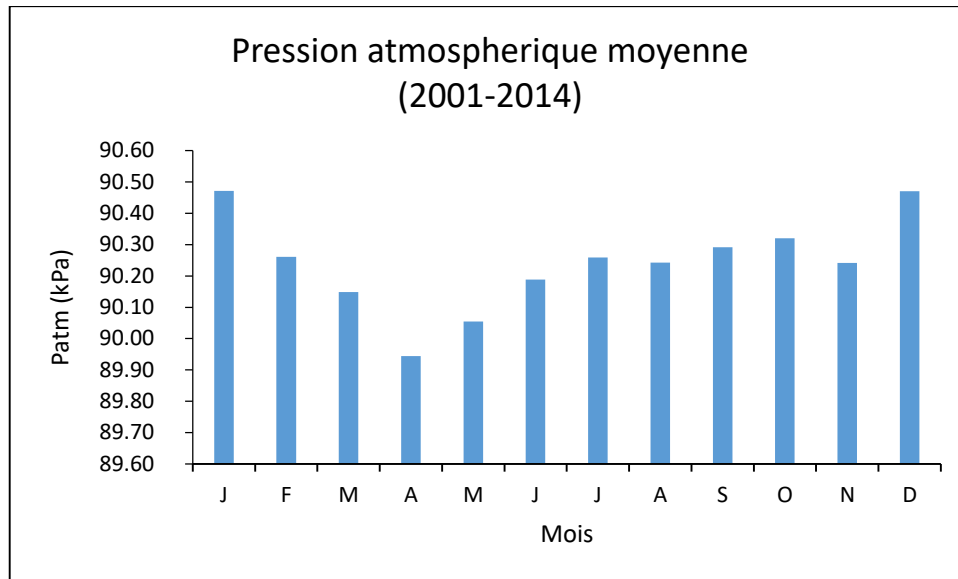


Figure I.8 : Evolution de la pression atmosphérique durant la période (2001-2014)

La pression atmosphérique moyenne au niveau de la zone d'étude est faible par rapport à la moyenne de la surface de la mer (90.24 kPa) qui varie entre 90,47 kPa et 89,94 kPa. (Tableau I.6).

3- CONCLUSION :

Certaines conditions peuvent favoriser ou accélérer le processus d'évaporation, c'est-à-dire permettre à un plus grand nombre de molécules d'eau de quitter la surface d'eau liquide pour se retrouver dans l'atmosphère. Parmi les paramètres climatiques qu'on a vu on peut déduire :

-La température : Un temps chaud permettra à la masse d'eau de se réchauffer et d'augmenter l'énergie cinétique de ses molécules. Un plus grand nombre de molécules auront alors l'énergie suffisante pour s'arracher à la surface d'eau (pour s'évaporer). La valeur moyenne de la température de notre région d'étude est de valeur 15.64 C°.

-La pression atmosphérique : Quand la pression atmosphérique de l'air est faible, l'air pousse moins fort sur la surface de l'eau. Les molécules d'eau auront alors plus de facilité à s'arracher de la surface de l'eau pour se retrouver à l'état de vapeur. La pression atmosphérique vaut 90.24 kPa.

-Humidité relative : L'évaporation est faible lorsque l'humidité relative est faible, l'air est loin d'être saturé en vapeur d'eau. Dans ce cas, il est possible d'ajouter beaucoup plus de vapeur d'eau par évaporation. L'humidité relative moyenne de la région d'El-bayadh est de 48.08 %.

-Le vent : Lorsqu'il y a un bon vent éventuellement l'air sera saturé de vapeur d'eau à cause de l'évaporation. À mesure que l'air se rapproche de la saturation, l'évaporation diminue. Le vent chasse constamment la couche d'air saturé et la remplace. La nouvelle couche d'air contient moins de vapeur d'eau et permet une évaporation plus importante. La valeur moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 2.91 m/s.

-L'insolation : l'intensité des rayons de soleil génère une énergie cinétique qui aide les molécules d'eau à cette transformée de l'état liquide à l'état gazeux plus que l'insolation et grande plus que l'évaporation est importante. La valeur moyenne annuelle est de 5.29 (kWh /m²/j), une valeur importante durant presque toute l'année.

Chapitre II :

Les modèles numériques
d'estimation de l'évaporation des
plans d'eau

1- INTRODUCTION :

L'évaporation devient de plus en plus problématique, notamment dans les régions arides où elle peut atteindre des valeurs considérables. Les études sur ce sujet sont nombreuses, et l'évaporation dépend d'un grand nombre de facteurs climatologiques. Aussi, il est difficile de la quantifier précisément et son estimation n'est souvent valable que par l'utilisation des bacs de mesure de l'évaporation ou bien des modèles numériques.

Une large gamme de modèles n'utilisant pas toutes les mêmes paramètres d'entrée s'impose. Le résultat souhaité est à but opérationnel. Il doit être facile à utiliser et doit pouvoir être applicable dans notre région étudiée (c'est-à-dire dans la région aride). De cette manière, les formules dites globales, qui utilisent des paramètres très difficilement accessibles (essentiellement le rayonnement, courtes et grandes longueurs d'onde ...) ne nous disposant pas aux données et donc ils sont écartés.

Pour notre cas d'étude on va se baser sur les modèles appliqués ici en Algérie comme les deux modèles de Boutoutao (1995), ensuite les autres modèles tels que celui de Papadakis (1972), celui de Romanko (1961) et en fin le nouveau modèle de Xiao Liu (2016) avec des mesures directes en utilisant le «Bac Colorado» classe-A au niveau de la station pluviométrique du barrage de Brézina. Notons que les données des mesures directes de l'évaporation au niveau du barrage ont été obtenues par des rapports enregistrées par l'ANBT (2014).

2- LES MODELES D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU :

2-1. Méthode directe :

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

a) 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. » (ARNAUD et al., 1999). Plusieurs appareils ont été développés à cet effet, l'évaporimètre Piche, l'évaporimètre de Livingstone, l'atmomètre de Bellani, etc. Cependant ces appareils sont peu adaptés à la

mesure de l'évaporation des surfaces d'eau libre. En effet, ils sont souvent situés dans des abris météorologiques et ne prennent pas en compte tous les paramètres atmosphériques (comme le vent, le degré d'insolation...), ainsi que l'inertie thermique du volume d'eau. Leur utilisation première est la mesure de l'évapotranspiration et non l'évaporation d'une surface d'eau libre. (Vachala, 2008)

b) Les bacs évaporatoires :

Les bacs évaporatoires sont conçus pour prendre en compte tous les phénomènes atmosphériques influençant l'évaporation, ainsi que l'inertie thermique de la masse d'eau. Les bacs peuvent être de différentes tailles, formes, matériaux, et positionnements (enterré ou flottant à la surface du plan d'eau). On mesure une quantité d'eau perdue par évaporation. Tous les paramètres cités précédemment vont influencer la mesure et il sera nécessaire de les corriger à l'aide de coefficients. Plus les bacs vont être imposants, plus ils se rapprocheront de la réalité. Les plus utilisés sont les suivants :

- **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. Étant petit, il est soumis à un problème d'inertie thermique trop faible. (Vachala, 2008)

- **Le bac Colorado :**

Est un bac carré de 91,4 cm de côté, et de 46 à 91cm de profondeur. Il est enterré de manière à ce que son rebord soit à 10cm 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. (Vachala, 2008)

- **Les bacs Russe, GGI 3000 :**

Et le bac de 20m², sont aussi très utilisés. Bacs circulaires enterrés, à base conique de 62cm de diamètre et 61cm de profondeur pour le premier, et 5m de diamètre et 2m de profondeur pour le deuxième. (Vachala, 2008)

- **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 est très difficile à mettre en œuvre et très coûteuse. (Vachala, 2008)

L'ensemble de ces mesures permet d'obtenir une mesure de l'évaporation plus ou moins fine. Le gros avantage est de pouvoir constituer des séries de données journalières voire horaires. Il

faut cependant être très prudent concernant la mesure obtenue. Les résultats sont intimement liés aux caractéristiques des bacs et de leur lieu d'implantation. A cela il faut rajouter les possibles erreurs de mesure, dues souvent, en climat aride, à la présence d'animaux venant s'abreuver. La pose de grillages est peu recommandée car elle perturbe la mesure du vent. La mesure n'est pas universelle et il faut adapter les coefficients de passage selon le climat et les dimensions de la retenue considérée. Très peu d'auteurs ont procédé à la réalisation de bacs flottants. (Vachala, 2008)



a) Bac d'évaporation Classe « A ». b) Bac d'évaporation Colorado

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

2-2. Méthode indirecte :

2-2.1. Modèles de Boutoutao 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 basée sur la loi physique de Dalton. Les deux modèles de calcul de l'évaporation proposés par Boutoutao (1995) sont les suivants :

$$\text{EVP} = 0,233 n (es - ea) (1 + 0,39 V) \quad ; \quad (\text{Boutoutao 1995})$$

$$\text{EVP} = 0,403 n D^{0.73} (1 + 0,39 V) \quad ; \quad (\text{Boutoutao 1995})$$

Où :

EVP : évaporation (mm).

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

ea : Tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère (millibar). $ea = \frac{(Hr \times es)}{100}$

(es - ea) : Déficit de saturation dans l'atmosphère (millibar). $es = 0.6108 e^{\frac{(17.27 \times T_{moy})}{(T_{moy} + 237.3)}}$; (kPa)

Hr : Moyenne mensuelle de l'humidité de l'air (%).

T_{moy} : La température moyenne mensuelle de l'air ($^{\circ}\text{C}$).

V : Vitesse du vent (m/s) .

n : Nombre de jours du mois considéré.

D : Déficit de saturation de l'air, mb (millibars). Il est donné par la relation suivante :

$$D = 0.0632 (\text{Hr}-100) e^{0.0632 (T_{\text{moy}})}$$

Les graphiques obtenus par le modèle de Boutoutao (1) sont les suivants :

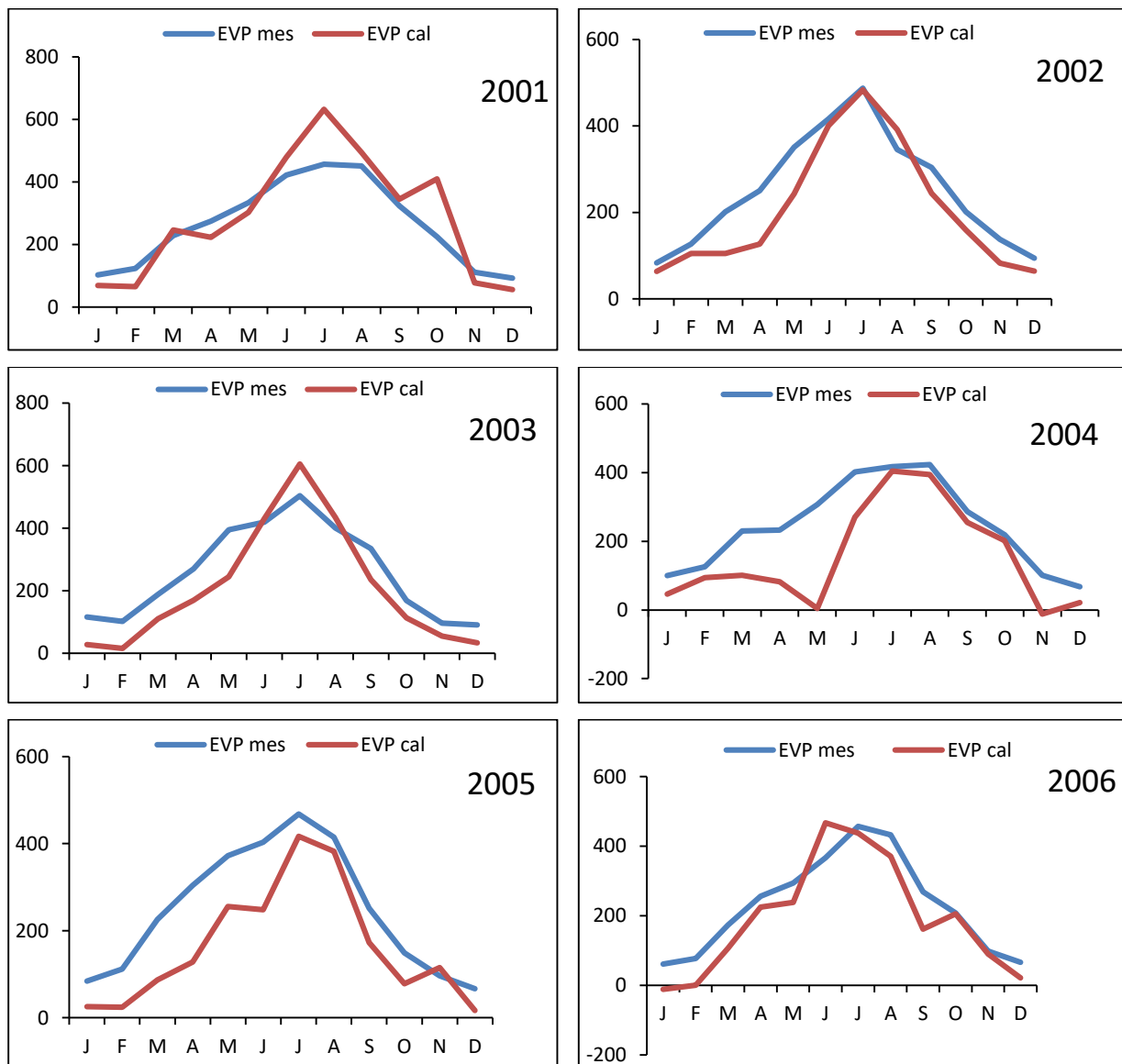
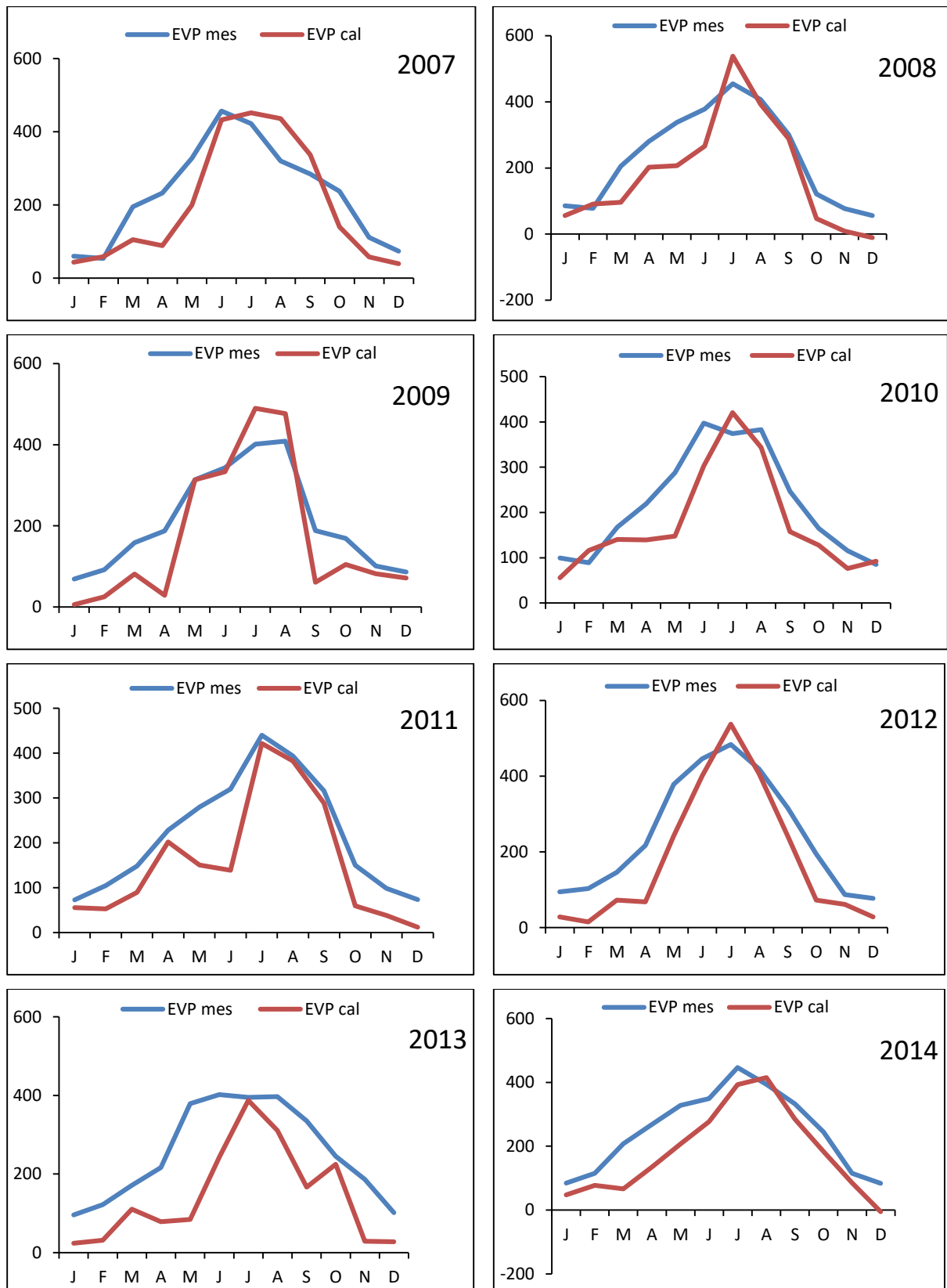


Figure II.2: Evolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutao (1) et du bac Colorado.

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).

(X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure II.2: Evolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutao (1) et du bac Colorado.

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).
(X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).

Les graphiques obtenus par le modèle de Boutoutao (2) sont les suivants :

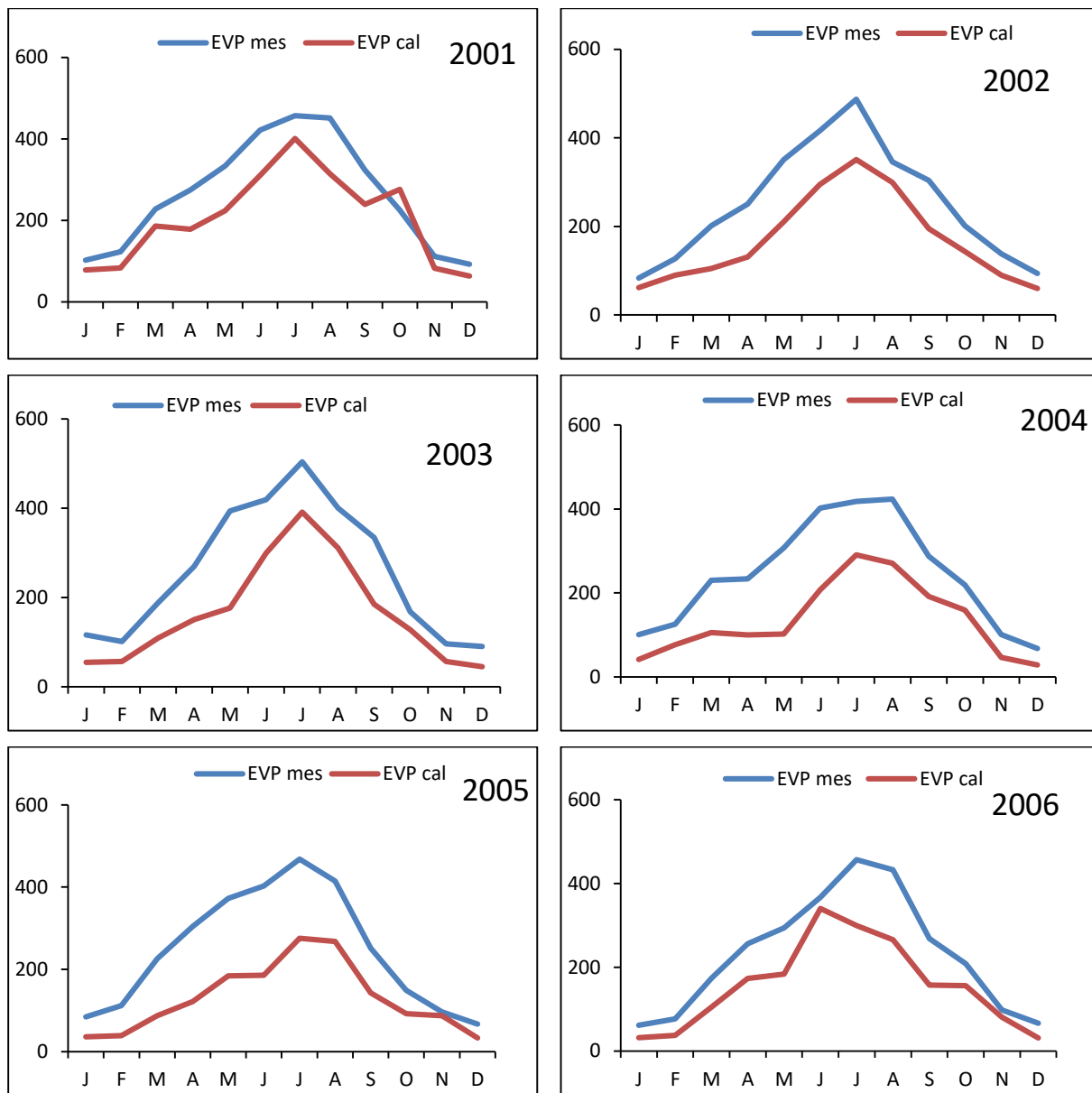
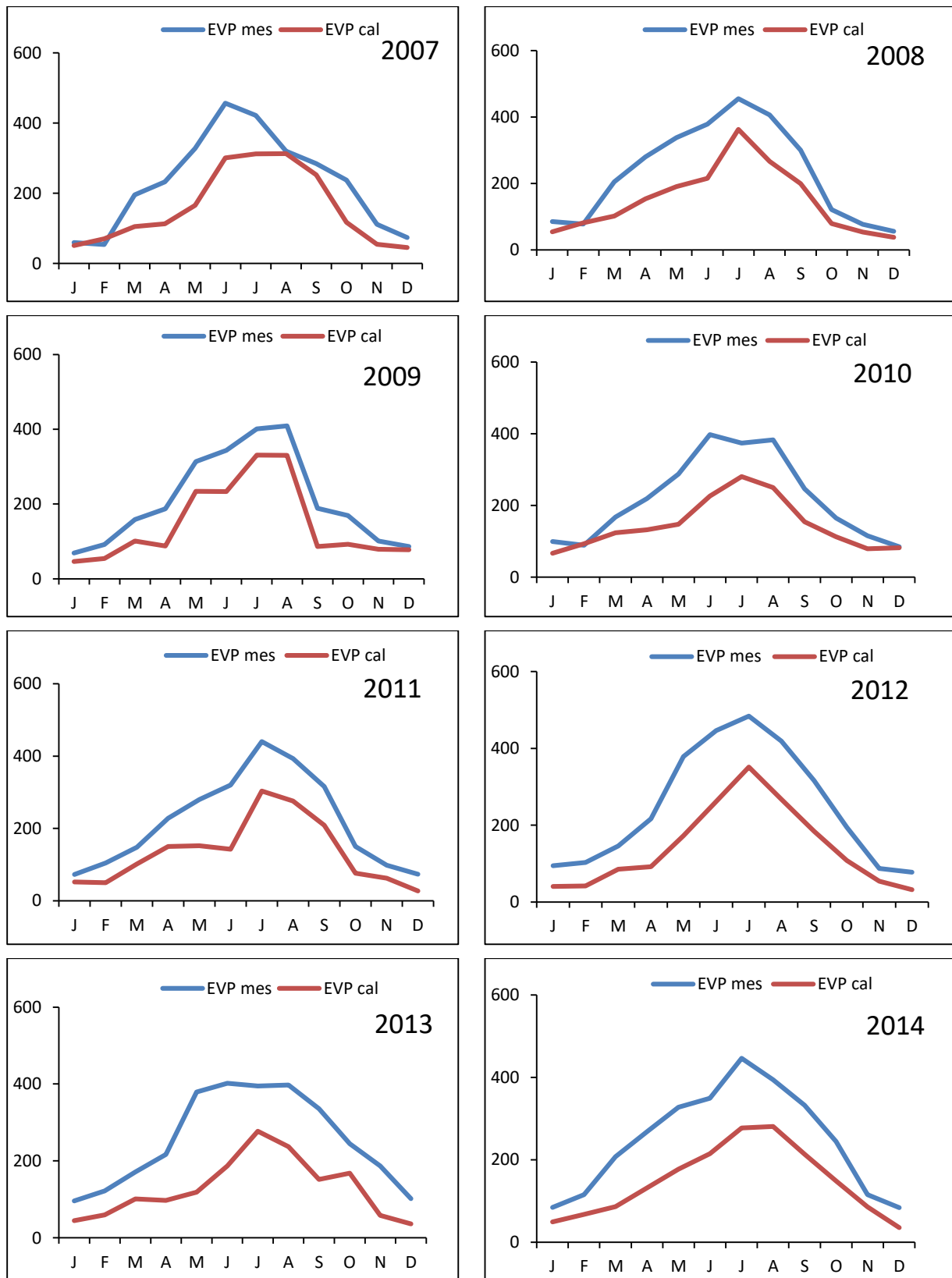


Figure II.3 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutao (2) et du bac Colorado.

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).

(X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure II.3 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Boutoutao (2) et du bac Colorado.

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).

(X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).

Les résultats graphiques inter-annuels de l'évaporation calculées par les deux modèles de Boutoutao et les évaporations mesurées sont schématisés ci-dessous :

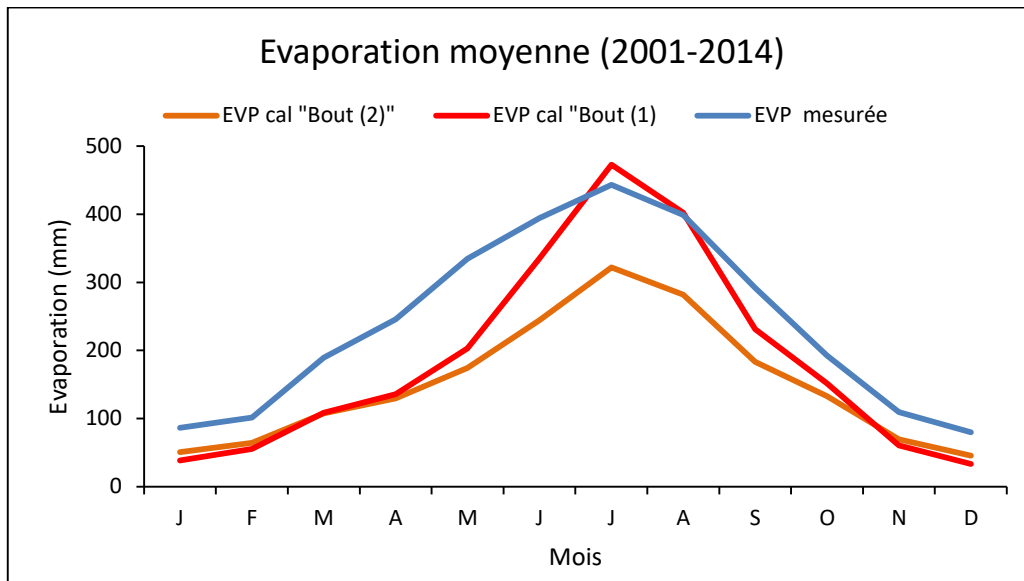
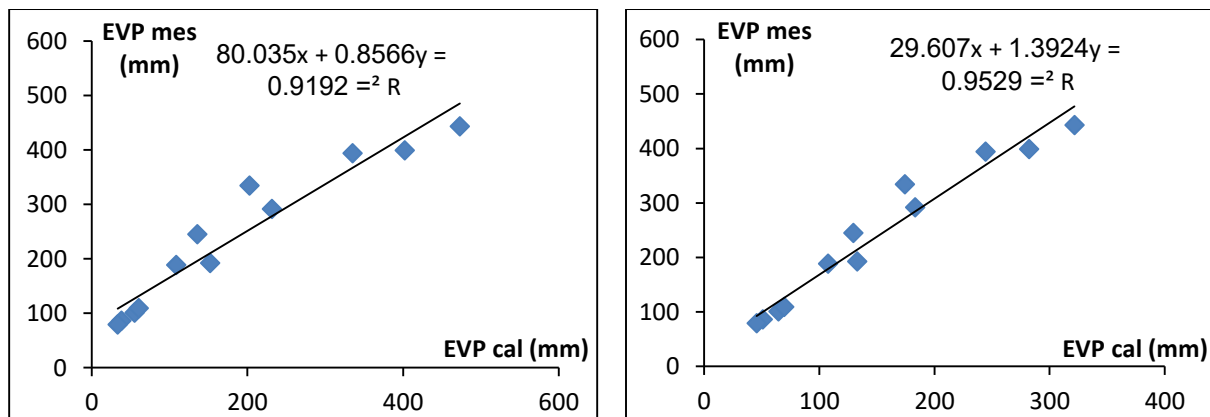


Figure II.4: Evaporation moyenne annuelle par les deux modèles de Boutoutao et du Bac colorado(2001-2014)

Nous constatons que le modèle de Boutoutao (2) a la même forme que la courbe de l'évaporation mesurée avec un coefficient de corrélation de 0,95. Alors que le modèle Boutoutao (1), présente des valeurs loin de celles du modèle de Boutoutao (2) durant la période chaude. Nous avons une corrélation de 0,92 comme le montre la figure (5. a).



a) Corrélation du modèle Boutoutao(1)

b) Corrélation du modèle Boutoutao(2)

Figure II.5: Corrélation entre les résultats des modèles de Boutoutao et les évaporations mesurées.

2-2.2. Modèle de Xiao Liu :

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

$$\text{EVP} = (0.0345 + 0.002 * V^{0.5}) (42.6824 - 0.0122 * (H_r/100)^{1.5}) (2.66 + 0.08 T_{\text{moy}}) N ; \text{ (Xiao , 2016)}$$

EVP : évaporation (mm) ; **V** : vitesse du vent en (m/s) ; **H_r**: Humidité relative (%) ;

T_{moy}: La température moyenne (°C) ; **N** : nombre de jours du mois considéré.

Les résultats obtenus par le modèle de Xiao sont schématisés sous-dessous :

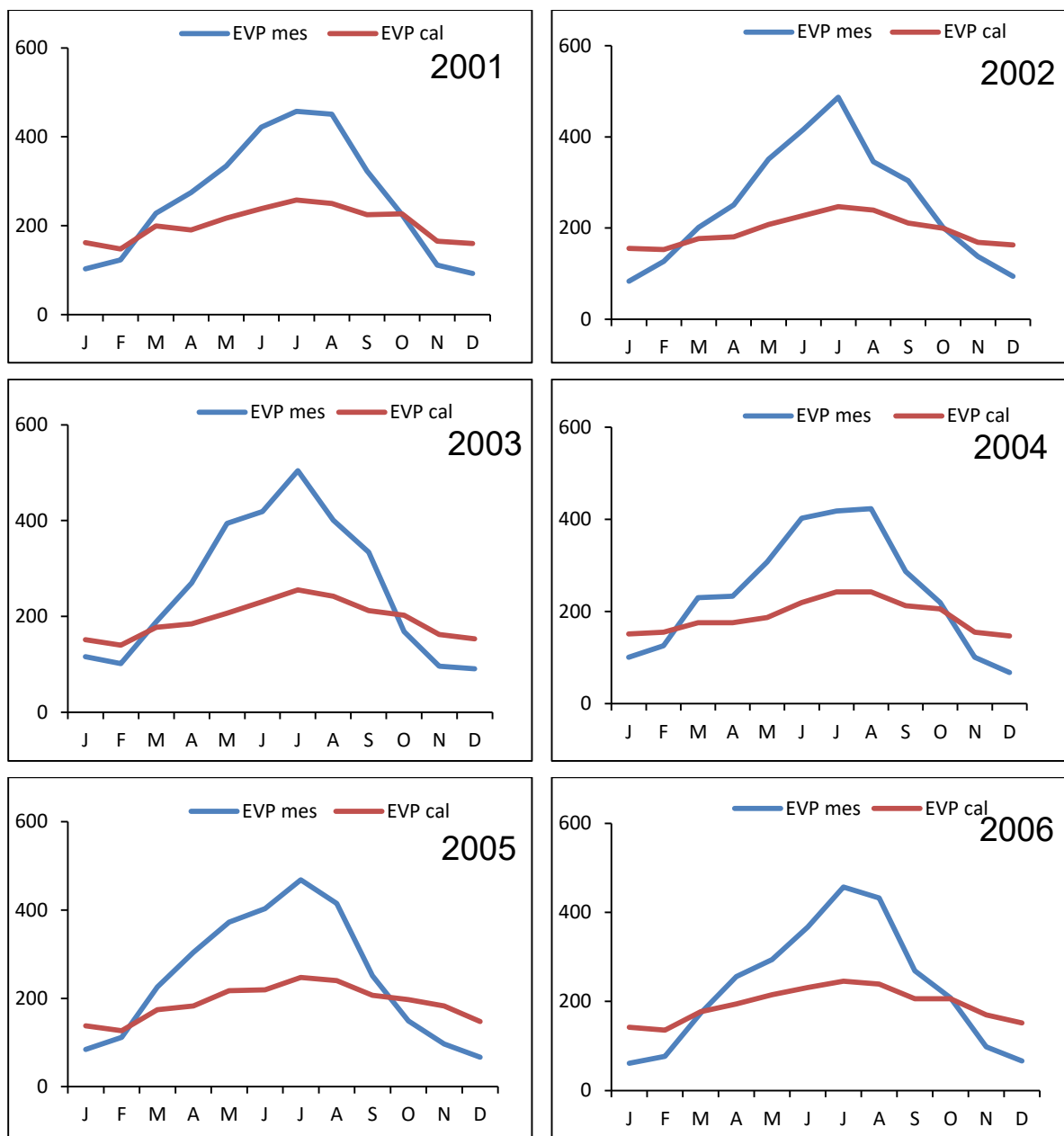
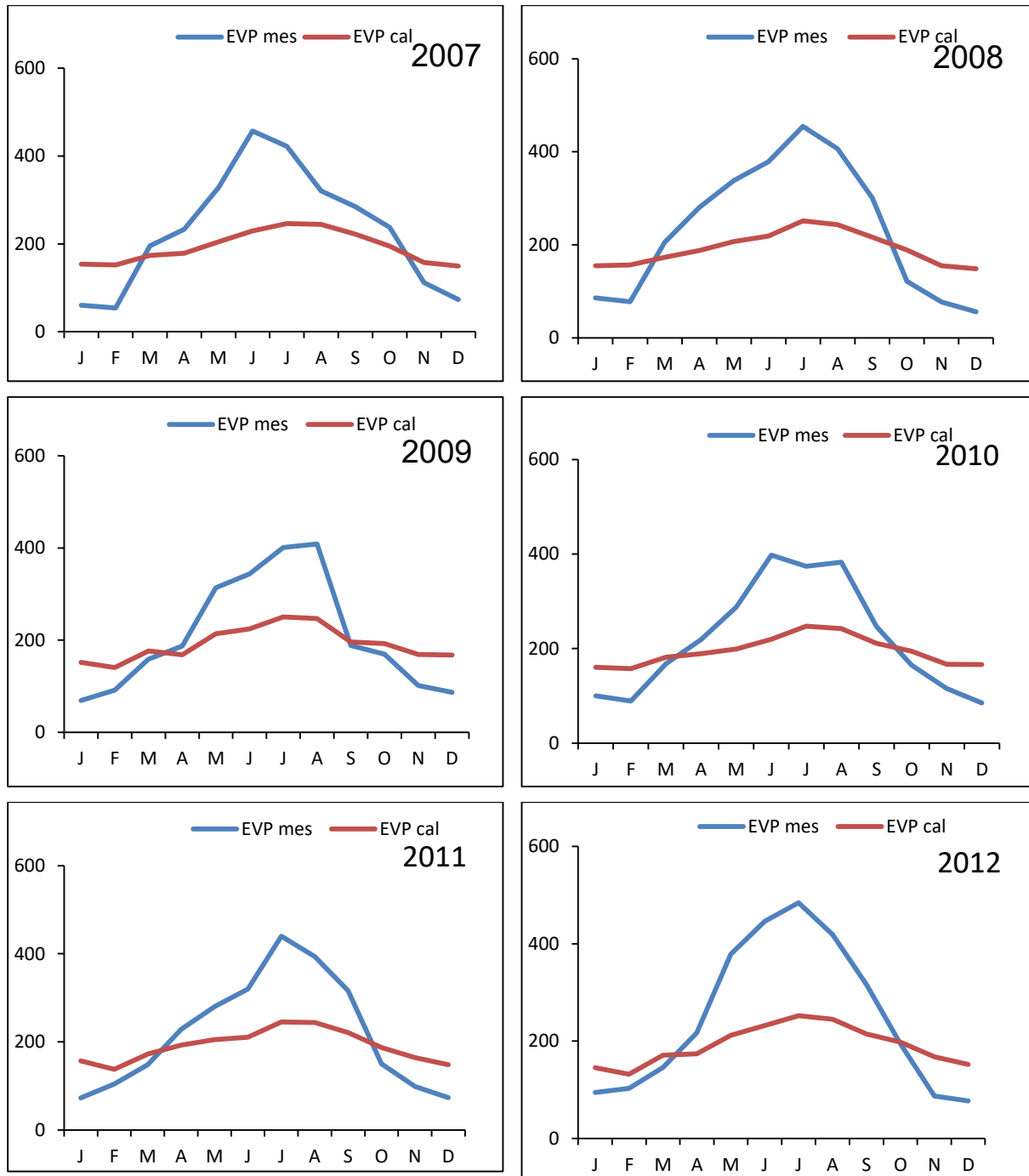


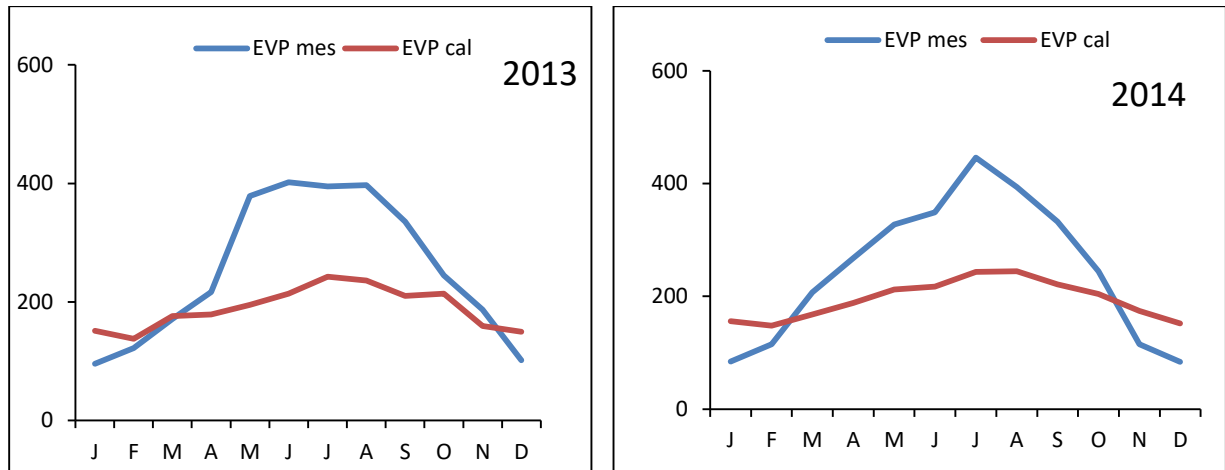
Figure II.6: Evolution de l'évaporation par le modèle de Xiao et du bac Colorado.

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure II.6: Evolution de l'évaporation par le modèle de Xiao et du bac Colorado.

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure II.6 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Xiao et du bac Colorado.

Clé du Graphe : La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).

Les résultats inter-annuels de l'évaporation calculées par les du modèle Xiao sont schématisés ci-dessous :

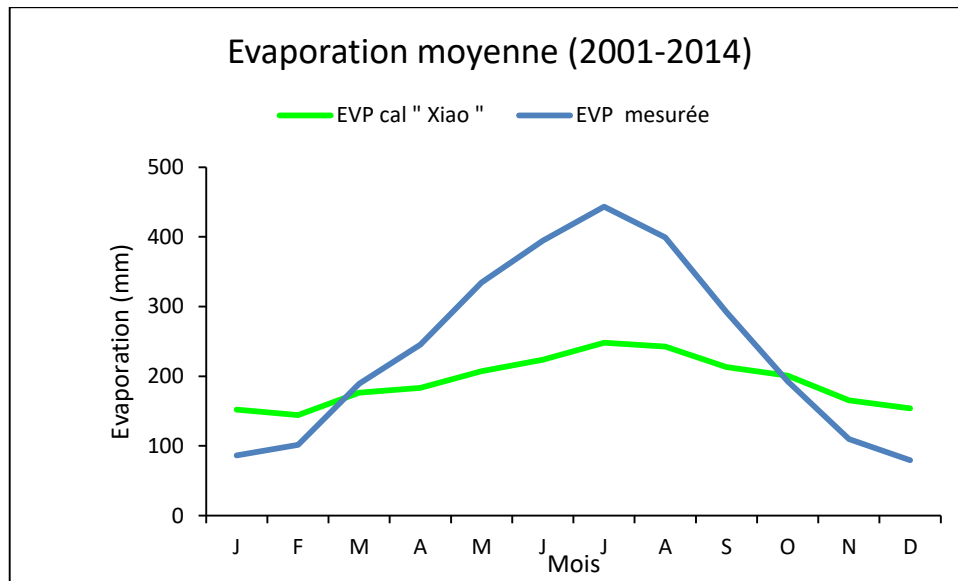


Figure II.7: Evaporation inter-annuelle calculée par le modèle de Xiao et du Bac colorado (2001-2014).

Le modèle de Xiao donne des valeurs inférieures de celles mesurées durant les périodes chaudes et des valeurs supérieures dans les périodes froides avec une corrélation de 0,92.

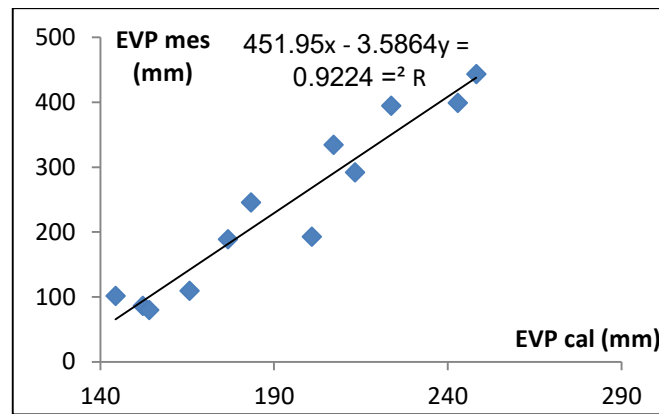


Figure II.8 : Corrélation entre les résultats du modèle de Xiao et les évaporations mesurées.

2-2.3. Modèle de Papadakis :

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

$$\mathbf{EVP = 0.5625(es_{\max} - es_{\min}) (10/N) ; (Papadakis 1972)}$$

EVP : Evaporation (mm).

es_{max} et es_{min} : Vapeur saturée pression au maximum et minimum température de l'air (Pa).

N : nombre de jours du mois.

Les résultats obtenus par le modèle de Papadakis sont schématisés sous-dessous :

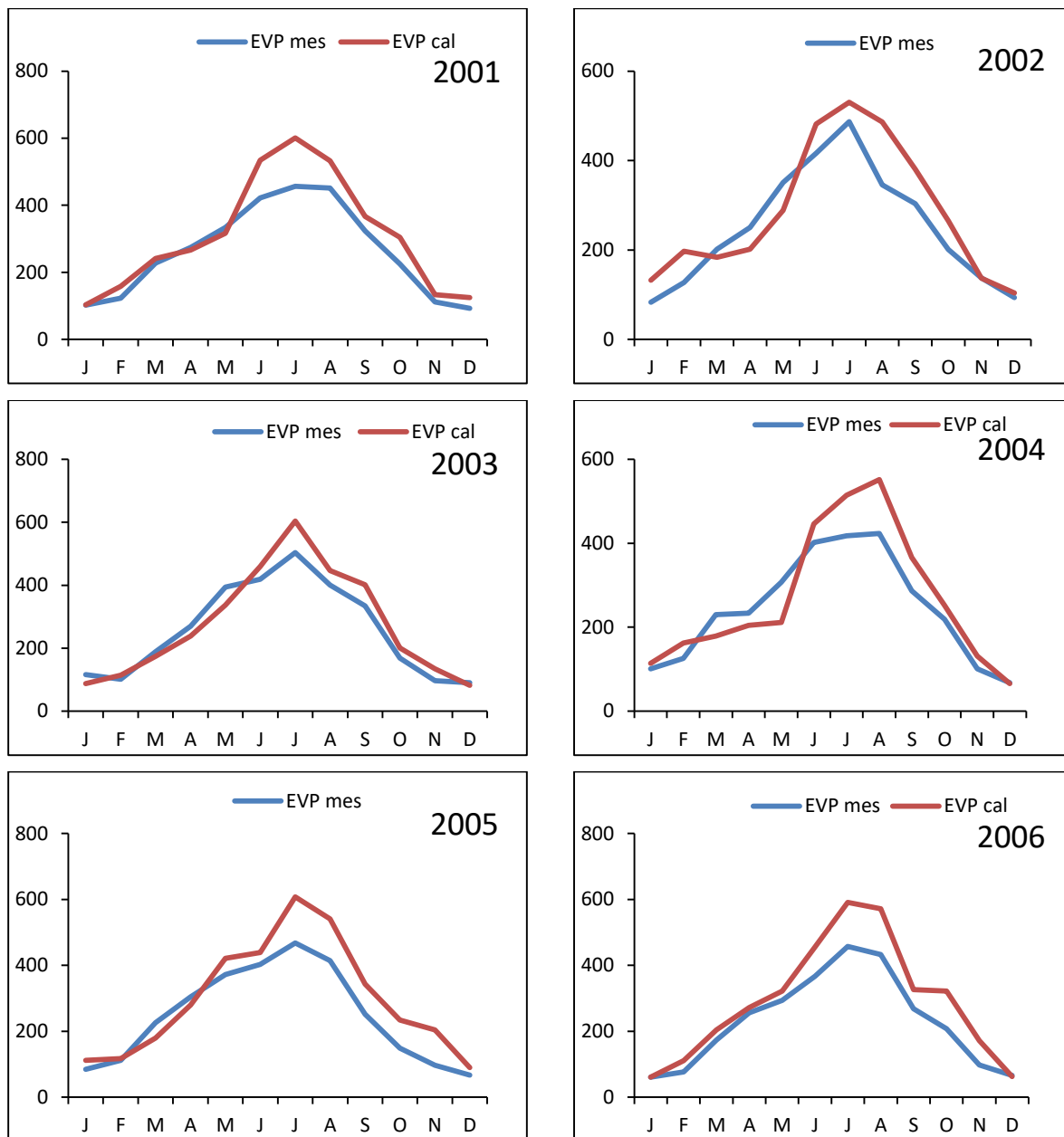
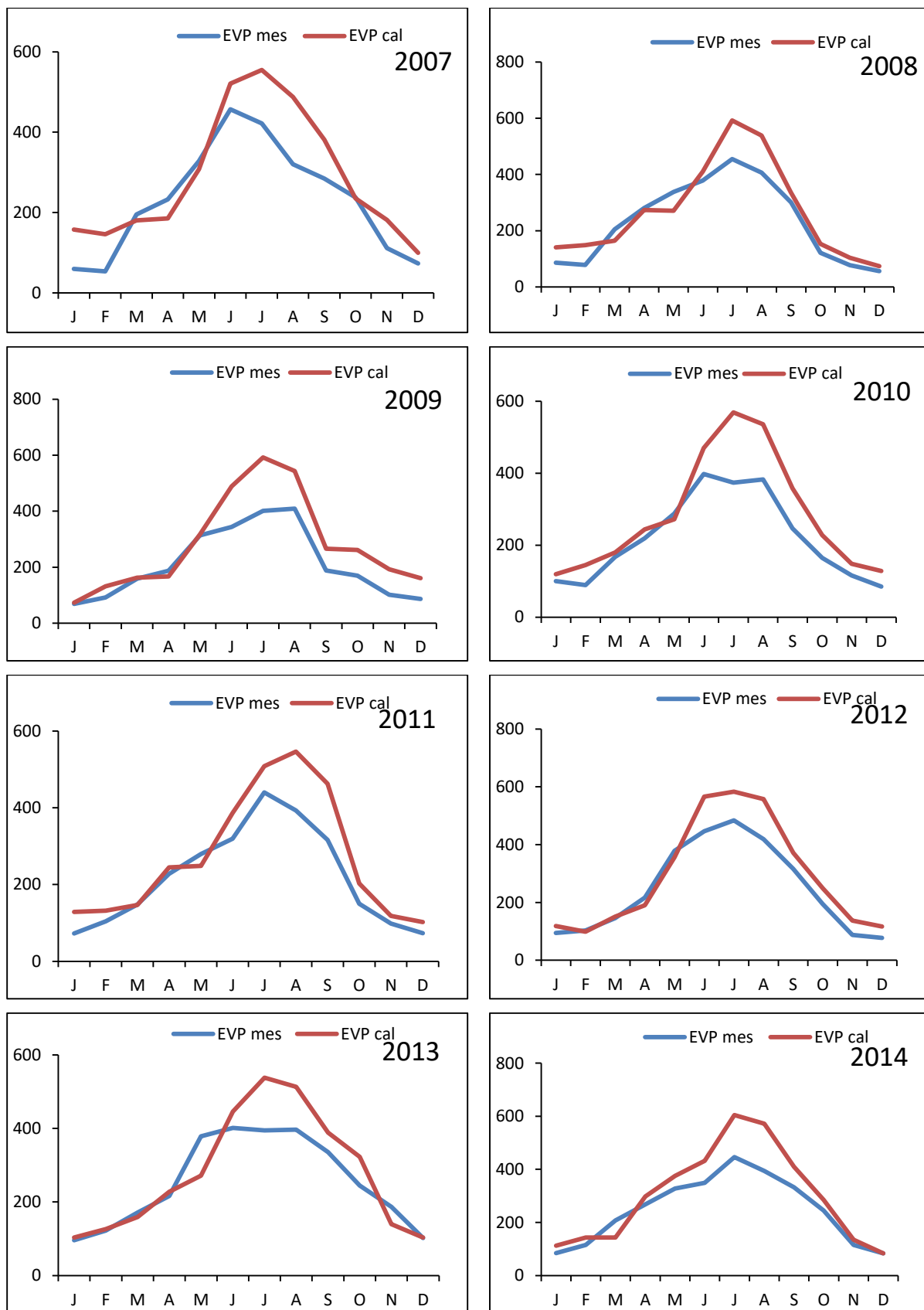


Figure II.9 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Papadakis et du bac Colorado.

Clé du Graphe : La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure II.9 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Papadakis et du bac Colorado.

Clé du Graph e: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).
 (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).

Les résultats inter-annuels de l'évaporation calculés par le modèle de Papadakis sont schématisés ci-dessous :

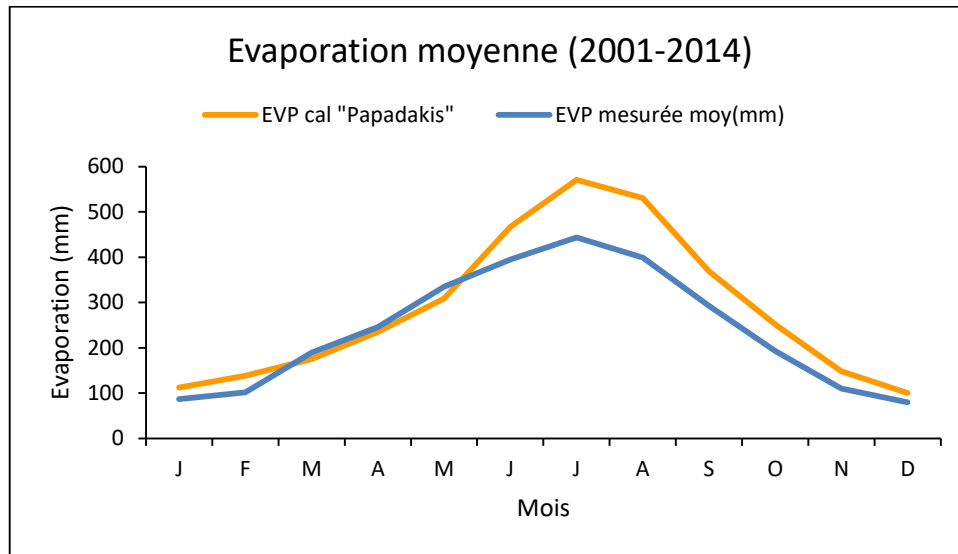


Figure II.10: Evaporation moyenne annuelle par le modèle de Papadakis et du Bac colorado (2001-2014)

Nous constatons, que le modèle de Papadakis donne des valeurs un peu supérieures de celles mesurées sur terrain avec une corrélation de 0,93.

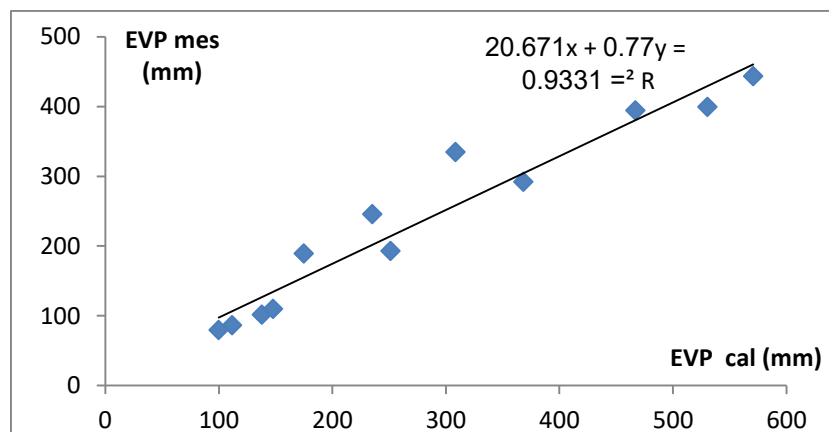


Figure II.11: Corrélation entre les résultats du modèle de Papadakis et les évaporations mesurées

2-2.4. Modèle de Romanko :

La formule de calcul de l'évaporation proposée par Romanko en 1961 est la suivante :

$$EVP = 0.0018 (25 + T_{\text{moy}})^2 (100 - H) ; \quad (\text{Romanko 1961})$$

Où : **EVP** : Evaporation (mm) ; **T_{moy}** : La température moyenne de l'air (°C).

Hr : Humidité relative (%).

Les résultats obtenus par le modèle de Romanko sont schématisés sous-dessous :

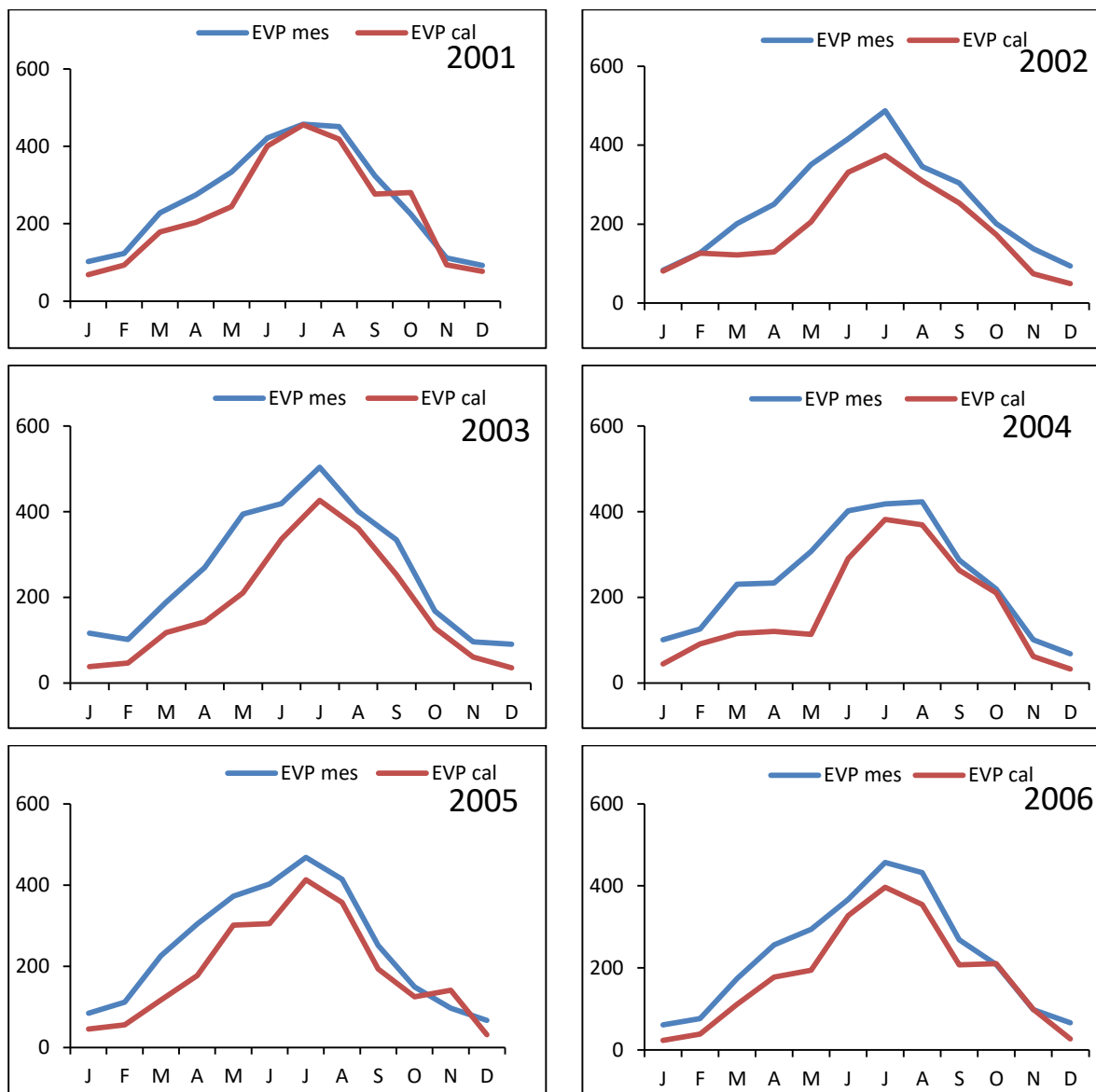
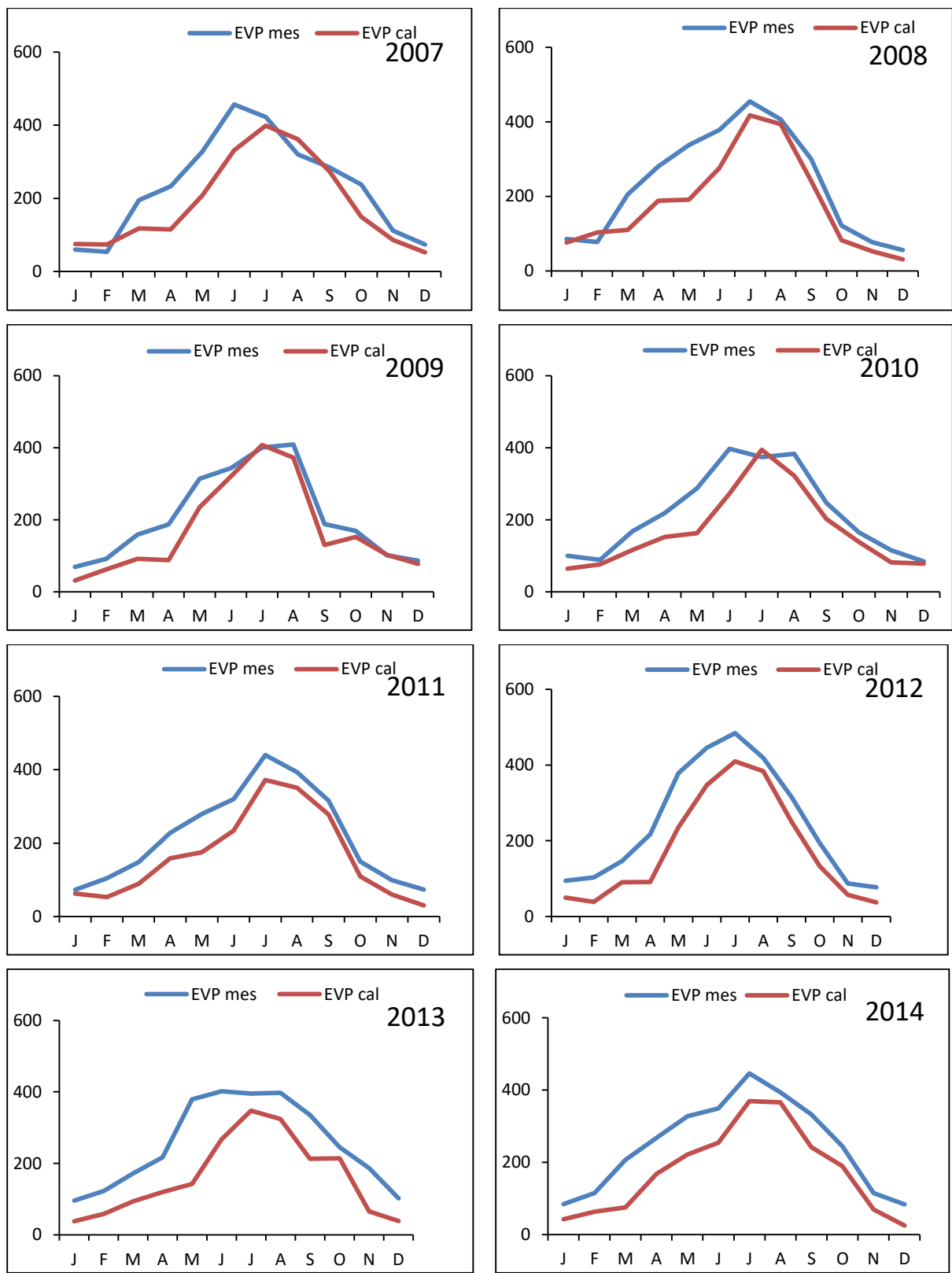


Figure II.12 : Evolution de l'évaporation par le modèle de Romanko et du bac Colorado.

Clé du Graphe : La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).
(X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



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

Clé du Graphe: La courbe bleue est l'évaporation mesurée, la courbe rouge est l'évaporation calculée en (mm).
 (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).

Les résultats inter-annuels de l'évaporation calculés par le modèle de Romanko sont schématisés ci-dessous :

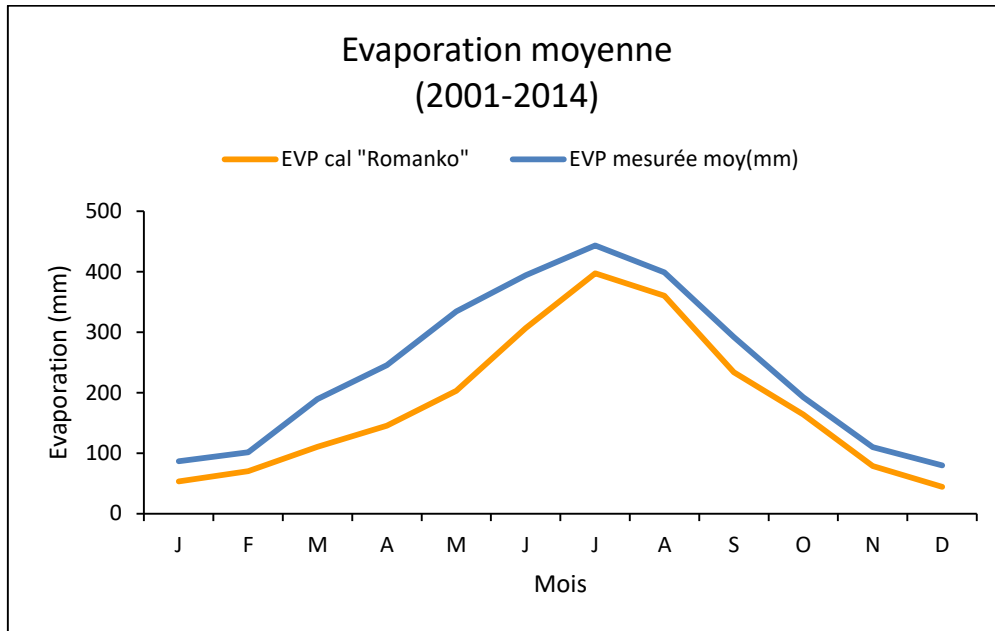


Figure II.13: Evaporation inter-annuelle calculée par le modèle de Romanko et du Bac colorado. (2001-2014).

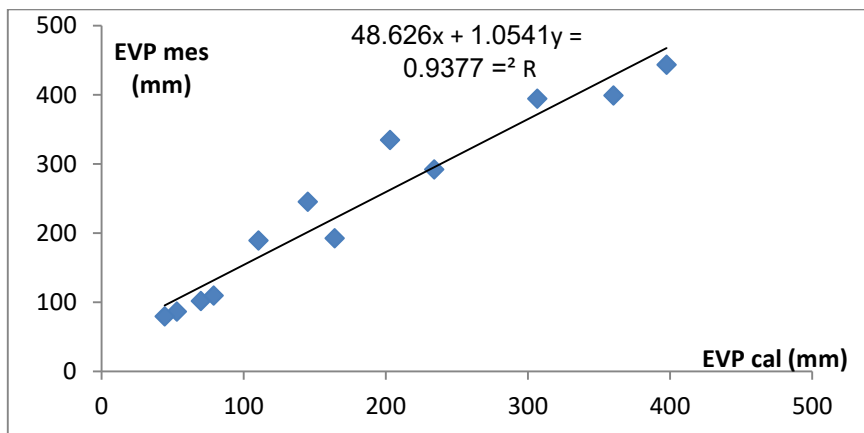


Figure II.14 : Corrélation entre les résultats du modèles Romanko et les evaporations mesurées.

Le modèle de Romanko donne des résultats très proches de ceux mesurés par le bac. Du fait le coefficient de corrélation est de 0,94.

3- CONCLUSION :

Les tracés des graphes de l'évaporation calculée par les différents modèles choisis et les évaporations mesurées par le bac montre une corrélation variant de 0,92- 0,95. Ce qui implique que ces modèles sont très adéquats. Mais, le meilleurs pour notre barrage est bien celui de Romanko, nous observons que les courbes mensuelles sont proches et presque ont la même forme. Alors que, les graphes annuels sont proches.

Chapitre III :
Elaboration du nouveau modèle
numérique

1- INTRODUCTION :

L'étude des nombreux modèles de l'estimation de l'évaporation des plans d'eau nous a montré une image bien réelle sur la complexité de l'évaluation de l'évaporation ainsi que la diversité des données nécessaires pour l'estimation. Dans le présent chapitre nous allons proposer un nouveau modèle plus simple et adéquat pour estimer l'évaporation du barrage de Brezina, En exploitant les données climatiques disponibles (humidité relative, température, température de l'eau, vitesse du vent, etc.). Une analyse statistique des données climatologiques est menée afin d'élaborer le modèle et sa validation est obtenue par la vérification du critère de Nash.

2- NOUVEAU MODELE D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION :

2-1. Analyse statistique des paramètres hydro-climatiques :

L'analyse statistique des données en utilisant le logiciel XLSTAT nous donné le tableau de matrice de corrélation (Tableau. III 2) par lequel nous concluons ce qui suit :

- L'évaporation a une bonne relation avec: S, est, Teau, I, Tmoy, Tmax, Tmin.
- L'évaporation a une relation moyenne avec: ea, V.
- L'Évaporation a une faible relation avec: Patm, Hr.

Le meilleur choix pour trouver une bonne corrélation avec l'évaporation sont : La température de l'eau "Teau" avec l'insolation " I", car lorsque la chaleur du rayonnement solaire augmente, la température de l'eau augmente ainsi que l'évaporation.

D'où le coefficient d'ajustement ou de corrélation est donné par le tableau suivant:

Tableau III.1: Coefficients d'ajustement (EVP mesurée (mm)) :

Observations	12.000
Somme des poids	12.000
DDL	9.000
R ²	0.989
R² ajusté	0.987
MCE	228.123
RMCE	15.104
MAPE	7.480
DW	1.691
Cp	3.000
AIC	67.706
SBC	69.161
PC	0.018

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

	Tmin	Tmax	Tmoy	Hr	V	I	Patm	Teau	es	ea	S=es-ea	EVP mesurée (mm)
Tmin	1	0.996	0.998	-0.947	0.185	0.813	-0.253	0.998	0.985	0.869	0.964	<u>0.946</u>
Tmax	0.996	1	1.000	-0.972	0.259	0.859	-0.313	0.999	0.984	0.839	0.968	<u>0.968</u>
Tmoy	0.998	1.000	1	-0.965	0.236	0.846	-0.293	1.000	0.985	0.849	0.968	<u>0.962</u>
Hr	-0.947	-0.972	-0.965	1	-0.457	-0.940	0.460	-0.963	-0.946	-0.719	-0.945	-0.983
V	0.185	0.259	0.236	-0.457	1	0.663	-0.897	0.231	0.168	-0.051	0.198	0.421
I	0.813	0.859	0.846	-0.940	0.663	1	-0.642	0.843	0.811	0.548	0.822	<u>0.949</u>
Patm	-0.253	-0.313	-0.293	0.460	-0.897	-0.642	1	-0.291	-0.193	-0.143	-0.193	-0.434
Teau	0.998	0.999	1.000	-0.963	0.231	0.843	-0.291	1	0.985	0.853	0.966	<u>0.960</u>
es	0.985	0.984	0.985	-0.946	0.168	0.811	-0.193	0.985	1	0.787	0.995	<u>0.948</u>
ea	0.869	0.839	0.849	-0.719	-0.051	0.548	-0.143	0.853	0.787	1	0.719	0.716
S=es-ea	0.964	0.968	0.968	-0.945	0.198	0.822	-0.193	0.966	0.995	0.719	1	<u>0.948</u>
EVP mesurée (mm)	<u>0.946</u>	<u>0.968</u>	<u>0.962</u>	-0.983	0.421	<u>0.949</u>	-0.434	<u>0.960</u>	<u>0.948</u>	0.716	<u>0.948</u>	1

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

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	190483.768	95241.884	417.502	< 0.0001
Erreur	9	2053.107	228.123		
Total corrigé	11	192536.875			

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

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante	-101.678	14.629	-6.950	< 0.0001	-134.773	-68.584
I	35.806	4.737	7.559	< 0.0001	25.091	46.521
Teau	10.519	1.216	8.648	< 0.0001	7.767	13.270

Le modèle numérique peut être exprimé comme suit :

$$\text{EVP mesurée (mm)} = -101.678462485141 + 35.8060856848547 * I + 10.5186611305925 * \text{Teau} \dots (1)$$

Où :

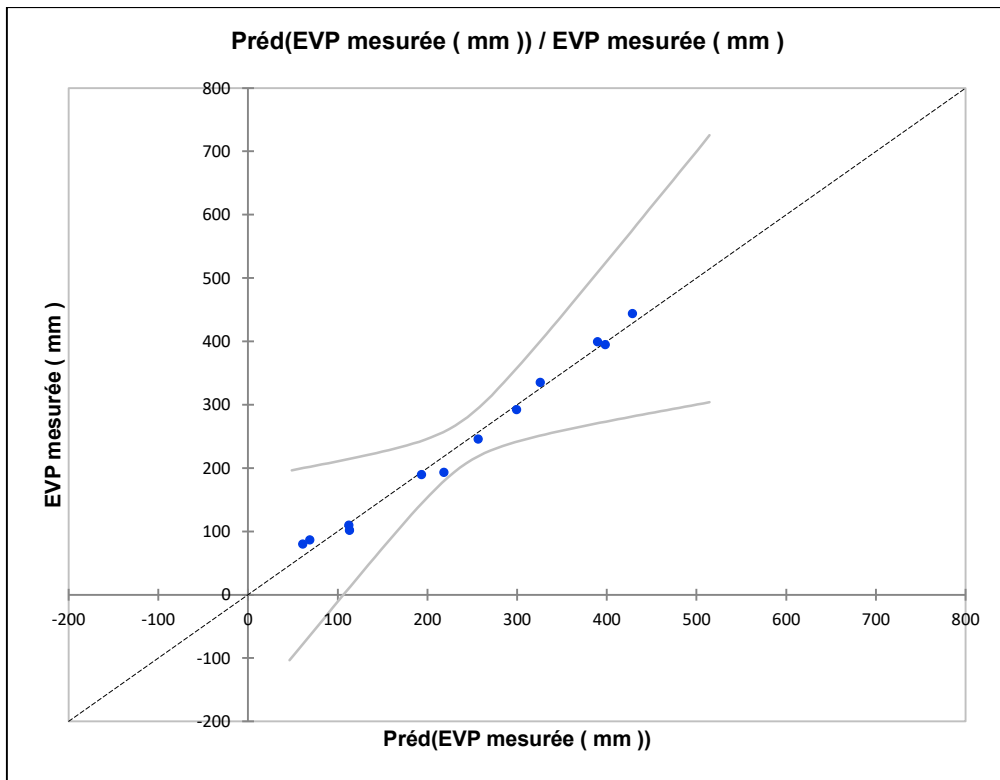
EVP: Evaporation calculée (mm).

Teau: La température de l'eau (°C).

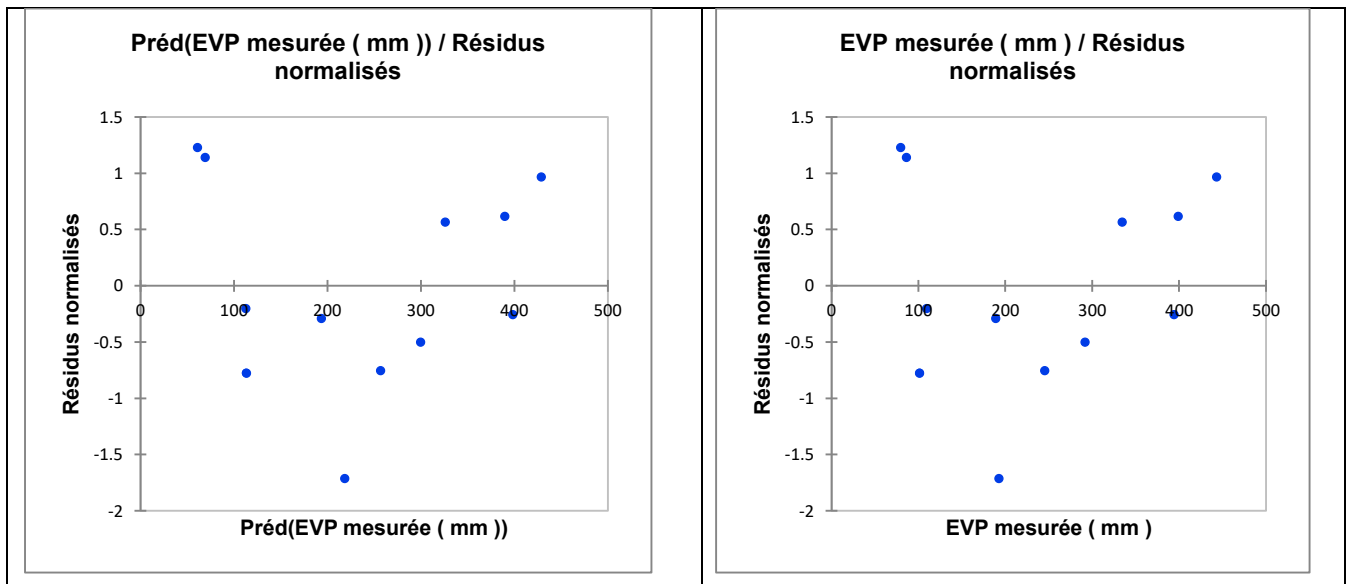
I : Insolation (Kwh/m²/jour).

En bref :

$$E_{\text{modèle}} = 35.81 \times I + 10.52 \times T_{\text{eau}} - 101.68 \dots (2)$$



FigureIII.1:Présentation graphique de l’ajustement du modèle avec les données mesurées de l’évaporation.



FigureIII.2 : Présentation spatiale des l’évaporation calculée par le modèle et celui mesurées sur terrain.

Tableau III.5:Prédictions et résidus (EVP mesurée (mm)) :

Observation	Poids	EVP mesurée (mm)	Préd(EVP mesurée (mm))	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	86.446	69.234	17.212	1.140	7.319	52.679	85.790	16.783	31.267	107.201
Obs2	1	101.607	113.361	-11.754	-0.778	6.999	97.528	129.194	16.647	75.704	151.018
Obs3	1	189.121	193.540	-4.419	-0.293	6.760	178.249	208.831	16.547	156.107	230.973
Obs4	1	245.536	256.969	-11.434	-0.757	7.860	239.189	274.750	17.027	218.453	295.486
Obs5	1	334.629	326.112	8.517	0.564	8.041	307.923	344.301	17.111	287.405	364.819
Obs6	1	394.406	398.314	-3.908	-0.259	7.536	381.268	415.361	16.879	360.131	436.497
Obs7	1	443.445	428.866	14.579	0.965	8.119	410.500	447.231	17.147	390.076	467.656
Obs8	1	399.252	389.970	9.282	0.615	8.283	371.232	408.707	17.226	351.002	428.937
Obs9	1	292.071	299.678	-7.607	-0.504	7.087	283.647	315.710	16.684	261.937	337.419
Obs10	1	192.706	218.611	-25.905	-1.715	7.307	202.081	235.141	16.778	180.655	256.566
Obs11	1	109.654	112.751	-3.097	-0.205	7.321	96.189	129.313	16.785	74.782	150.721
Obs12	1	79.650	61.118	18.532	1.227	7.821	43.424	78.811	17.009	22.641	99.594

2-2. Validation du modèle :

Le calcul du critère de Nash (Nash Sutcliffe, 1970) et une nécessité de la validité de notre modèle d'où sa formule est exprimé par :

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2} ; \text{ (Nash \& Sutcliffe, 1970)}$$

Où :

E : La norme Nash (Nash & Sutcliffe, 1970).

$X_{obs,i}$: Evaporation moyenne mesurée en un mois (mm).

X_{model} : Evaporation moyenne calculée en un mois (mm).

$\overline{X_{obs}}$: Evaporation moyenne mesurée en 12 mois.

Si la valeur du critère de Nash est inférieure à 0,5, le modèle est rejeté.

Si la valeur du critère de Nash est proche de 1, le modèle est Excellent.

Le calcul de critère de Nash pour le notre modèle, et de 0,989. Ce qui nous a permis de valider le modèle et de le comparer avec les valeurs de l'évaporation mesurées.

3- RESULTATS ET DISCUSSION :

Après le calcul mensuel de l'évaporation par le nouveau modèle du barrage de Brézina, nous avons obtenu de très bonnes valeurs convergent vers les valeurs de l'évaporation mesurée par rapport aux modèles sélectionnés, mais il y a une certaine variation des courbes entre évaporation mesurée et calculée due à des erreurs de mesures.

La (figure III.1) montre une bonne homogénéité entre l'évaporation mesurée et calculée, avec un coefficient de corrélation estimé de 0,989.

La (figure III.2) montre la variation de l'espace entre l'évaporation mesurée et calculée et montre une forte affinité entre eux.

Dans la (figure III.4), nous observons une corrélation très étroite entre les deux courbes, c'est-à-dire des valeurs d'évaporation mesurées et calculées très proches les unes des autres.

Dans le chapitre qui suit, nous accordons une attention particulière à l'étude comparative des modèles sélectionnés dans le chapitre précédent, et celui que nous avons proposé ainsi que leurs erreurs obtenus pour chaque modèle.

3-1. Résultats numériques obtenus par le nouveau modèle proposée :**Tableau III.6 :** Compte Rendu d'année 2001.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	2.8	4.38	5.24	6.31	6.97	7.51	7.43	6.17	5.18	4.25	2.86	2.44
Teau	6.6	7.0	13.8	13.5	17.7	24.6	26.7	25.7	21.1	19.5	8.8	7.0
EVP cal	67.52	129.24	231.03	266.72	333.69	426.31	445.32	389.68	305.76	255.17	92.85	58.91
EVPmes	102.70	122.80	228.00	274.40	333.90	421.71	457.00	451.00	323.50	225.00	111.50	92.40

Tableau III.7 : Compte Rendu d'année 2002.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.1	4.39	5.27	5.89	6.9	7.58	7.72	6.09	5.3	4.2	2.71	2.56
Teau	6.6	8.9	10.4	11.8	15.7	21.4	23.9	22.4	18.8	15.0	9.3	7.5
EVP cal	78.49	149.50	195.95	233.43	310.96	394.48	426.09	352.56	286.01	206.80	93.17	68.68
EVPmes	83.00	127.00	201.50	250.60	351.00	416.12	487.00	345.50	303.71	201.40	137.80	93.80

Tableau III.8 : Compte Rendu d'année 2003.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	2.52	3.6	4.92	5.92	7.02	7.8	7.35	6.17	5.4	3.51	2.88	2.54
Teau	4.7	5.5	10.3	12.4	16.3	22.2	25.6	23.3	19.3	15.6	8.9	5.5
EVP cal	38.40	84.71	182.70	241.14	321.60	410.93	431.02	364.61	294.47	187.68	95.41	47.37
EVPmes	116.10	101.30	188.50	269.60	394.30	418.93	504.00	400.60	334.34	168.10	96.30	90.50

Tableau III.9 : Compte Rendu d'année 2004.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.1	3.9	4.94	5.94	6.5	7.56	7.54	5.85	5.3	3.84	2.68	2.3
Teau	5.8	8.2	10.0	11.5	12.6	20.9	23.7	24.1	19.3	16.5	8.0	5.4
EVP cal	70.54	123.86	180.79	232.02	263.62	388.78	418.13	361.50	291.19	209.65	78.12	37.11
EVPmes	100.60	125.70	230.30	233.20	307.30	402.30	418.00	423.30	286.93	219.20	100.90	67.80

Tableau III.10 : Compte Rendu d'année 2005.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.17	4.12	4.9	6.08	7.38	7.41	7.29	6.48	5.06	3.94	2.77	2.61
Teau	3.3	3.8	10.4	13.2	19.2	21.4	25.5	23.5	18.6	15.6	14.0	5.0
EVP cal	46.09	85.81	182.99	255.14	365.07	389.27	427.91	378.00	275.56	203.26	144.37	44.68
EVPmes	84.50	111.80	225.80	304.10	372.40	402.95	468.00	414.50	251.34	149.00	96.60	66.90

Tableau III.11 : Compte Rendu d'année 2006.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	2.31	3.48	5.42	5.72	6.2	7.14	6.73	6.72	4.91	4.31	3.05	2.18
Teau	3.6	5.6	10.5	14.8	18.3	21.8	24.3	23.0	18.1	16.4	10.2	5.7
EVP cal	18.40	82.35	202.75	258.34	313.27	383.76	395.28	380.83	264.41	225.19	115.27	36.75
EVPmes	61.20	76.70	173.70	256.00	294.20	366.92	457.00	432.40	268.69	208.20	98.20	66.20

Tableau III.12: Compte Rendu d'année 2007.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.09	3.54	4.97	5.81	6.98	7.93	8.15	6.95	5.82	4.48	3.62	2.92
Teau	6.7	8.6	9.7	11.7	16.1	21.8	24.5	23.8	20.4	14.5	8.7	5.4
EVP cal	79.35	115.57	178.05	229.49	317.46	411.95	447.69	397.48	321.73	211.65	119.56	60.07
EVPmes	60.05	54.00	195.30	232.90	328.00	456.69	422.00	320.30	284.66	237.60	111.60	73.60

Tableau III.13: Compte Rendu d'année 2008.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.56	4.13	5.7	6.9	7.13	7.93	7.57	7.11	5.47	4.03	3.58	2.66
Teau	6.8	8.6	9.4	13.5	15.9	20.4	25.1	24.5	20.0	13.4	7.2	4.8
EVP cal	97.03	136.87	201.51	287.54	321.05	397.13	433.56	410.83	304.53	183.51	101.76	43.79
EVPmes	85.70	77.80	205.20	280.40	338.10	378.46	455.00	406.70	300.81	121.50	77.20	56.10

Tableau III.14 : Compte Rendu d'année 2009.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	2.97	4.33	5.44	6.64	7.92	7.85	7.73	7.12	5.56	4.96	3.67	3.08
Teau	4.9	6.3	9.9	9.6	17.0	21.8	25.3	24.2	17.1	15.0	10.5	8.5
EVP cal	56.67	119.94	197.25	236.77	360.86	408.85	441.02	407.77	277.22	233.37	139.68	97.97
EVPmes	69.20	91.70	158.60	187.40	313.70	343.42	401.00	408.80	188.20	169.40	101.30	86.60

Tableau III.15 : Compte Rendu d'année 2010.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.25	3.92	5.54	6.61	7.42	8.29	7.48	7.18	5.8	4.65	3.48	3
Teau	7.1	9.0	10.8	14.1	14.7	20.4	25.3	24.4	19.4	14.4	9.5	8.1
EVP cal	89.28	133.60	210.51	283.04	318.95	410.27	432.06	411.61	310.21	216.52	123.05	90.47
EVPmes	99.80	88.90	167.70	219.30	287.70	397.56	374.00	382.90	246.60	164.79	115.70	84.90

Tableau III.16 : Compte Rendu d'année 2011.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.45	4.27	5.3	6.6	7.12	7.62	7.93	7.06	5.98	4.65	3.44	3.02
Teau	7.0	5.5	9.0	14.5	16.2	19.9	24.2	24.3	21.2	13.7	9.0	5.7
EVP cal	95.68	109.29	182.31	287.03	323.59	381.04	436.77	407.21	335.99	208.86	116.44	66.58
EVPmes	72.80	104.40	148.20	228.20	279.60	319.73	440.00	393.40	316.10	149.94	98.52	73.30

Tableau III.17 : Compte Rendu d'année 2012.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.43	4.2	5.46	6.33	7.7	7.71	7.75	6.89	5.82	4.44	3.29	3.18
Teau	4.8	3.2	9.3	10.9	17.8	23.4	25.5	24.9	19.9	15.3	10.3	6.5
EVP cal	72.14	82.44	191.64	239.31	361.58	420.74	443.61	406.72	316.47	218.78	124.04	80.11
EVPmes	94.30	103.00	146.10	216.80	378.30	446.01	484.00	418.90	316.30	194.42	87.40	77.40

Tableau III.18 : Compte Rendu d'année 2013.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.48	4.3	5.3	6.38	7.29	7.61	7.43	7.01	5.75	4.83	3.52	2.98
Teau	5.3	5.3	9.9	12.3	14.4	19.8	24.0	23.0	19.4	18.3	8.4	5.6
EVP cal	79.08	108.27	192.15	256.15	310.85	379.47	416.73	391.37	308.70	264.02	112.57	63.87
EVPmes	95.90	122.20	171.50	216.80	378.90	401.86	395.00	397.20	335.39	244.91	186.85	101.80

Tableau III.19 : Compte Rendu d'année 2014.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	3.26	4.17	5.48	6.86	7.23	7.44	7.17	6.84	5.18	4.69	3.14	2.94
Teau	6.3	7.4	8.2	14.1	17.7	19.9	24.2	24.4	20.9	16.2	10.6	5.3
EVP cal	80.86	125.92	180.37	292.02	343.70	374.22	409.78	400.21	303.89	236.60	122.56	59.54
EVPmes	84.40	115.20	207.30	267.80	327.40	349.03	446.23	394.03	332.43	244.43	115.29	83.79

3-2. Graphiques obtenus par le nouveau modèle proposé :

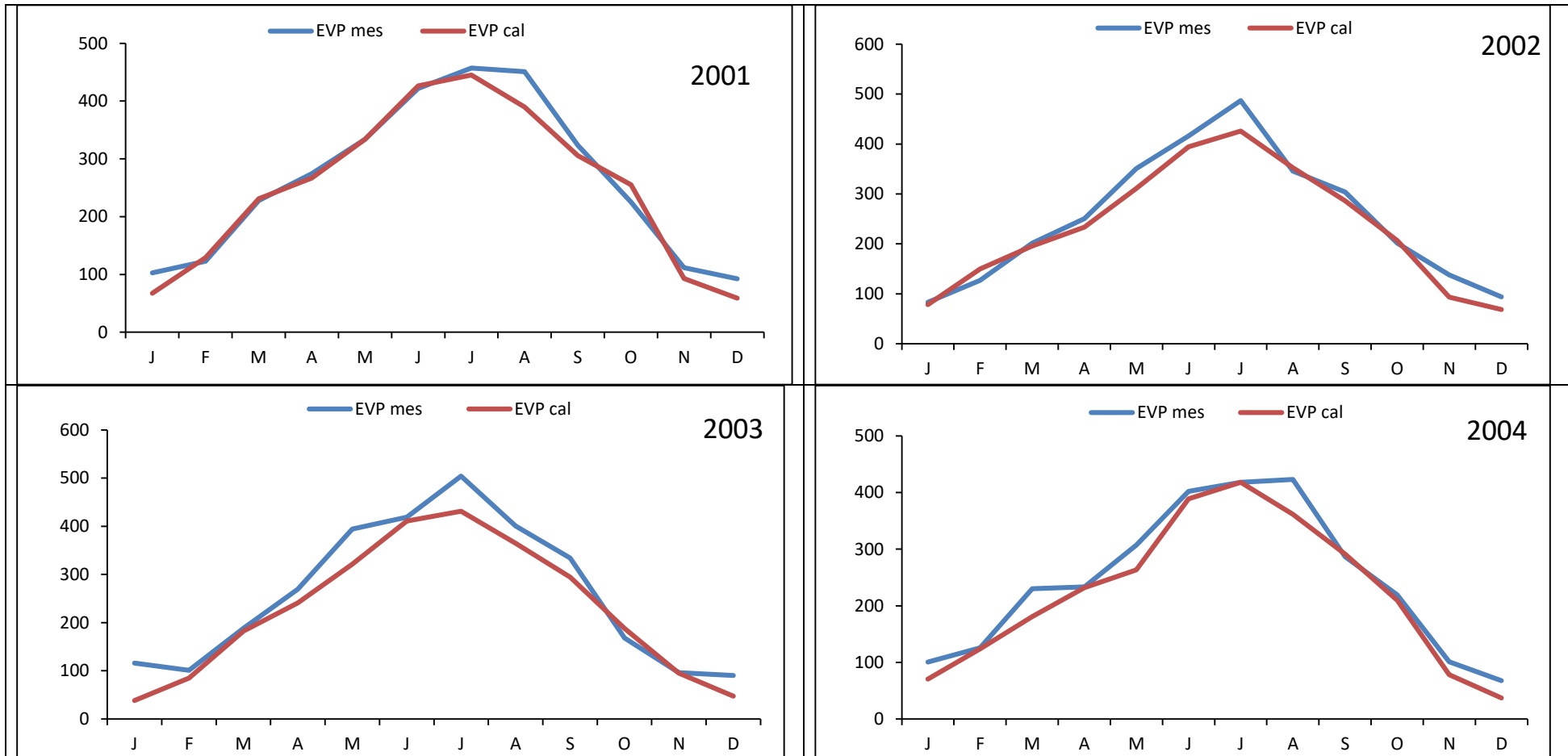
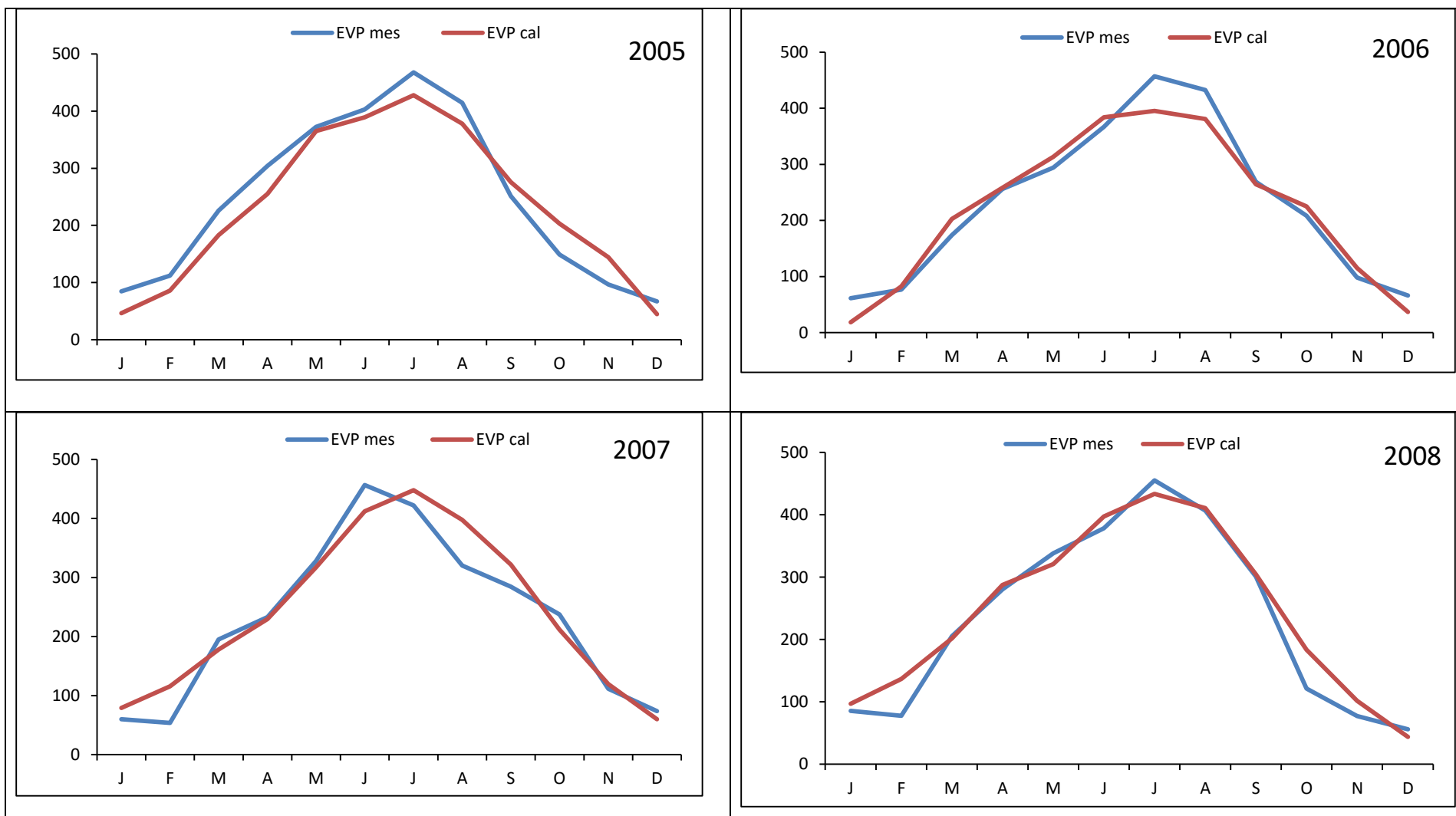


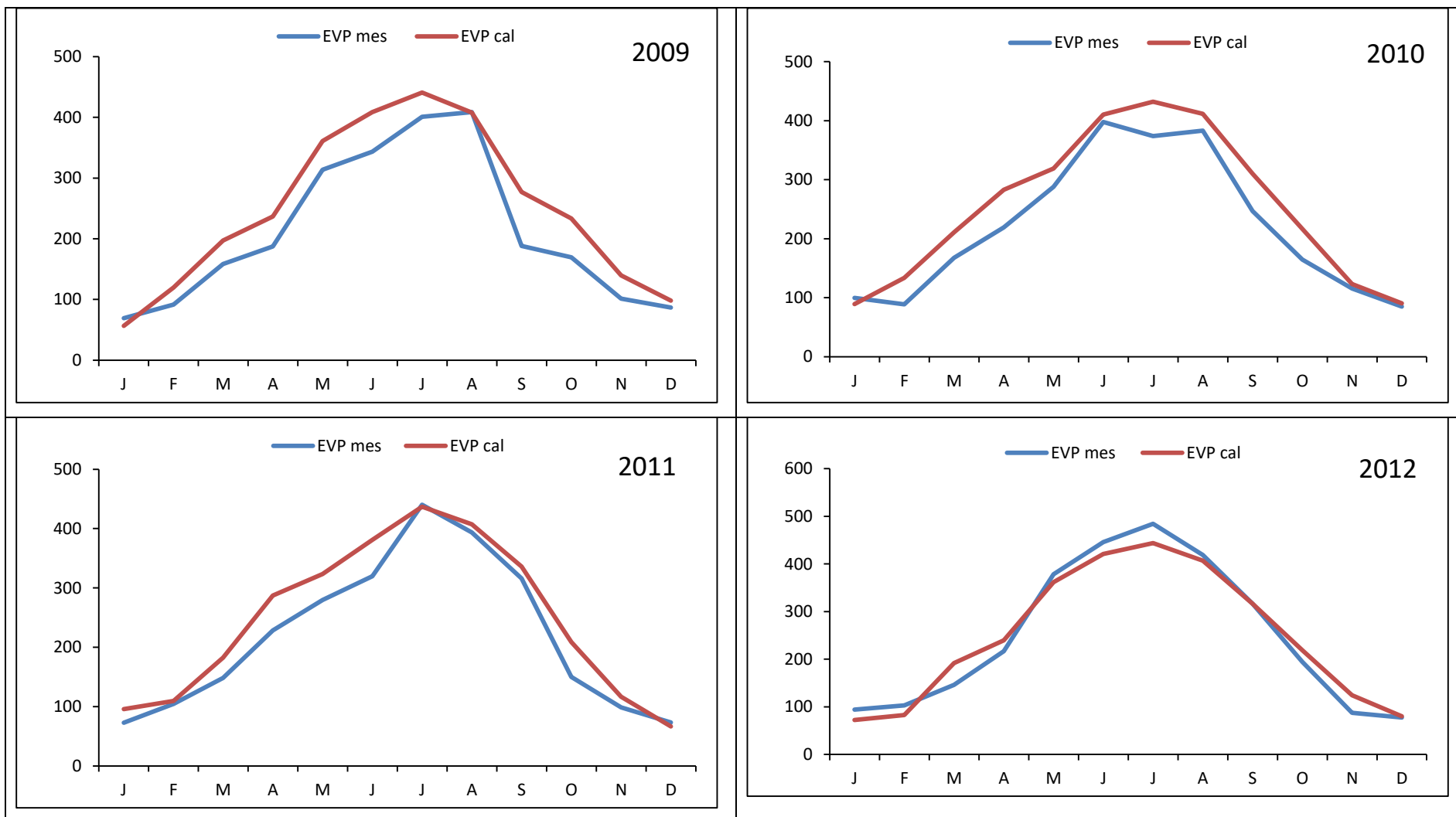
Figure III.3 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et celle mesurée par le bac

Clé du Graphe : La courbe bleue d'évaporation mesurée, la courbe rouge est d'évaporation calculé en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



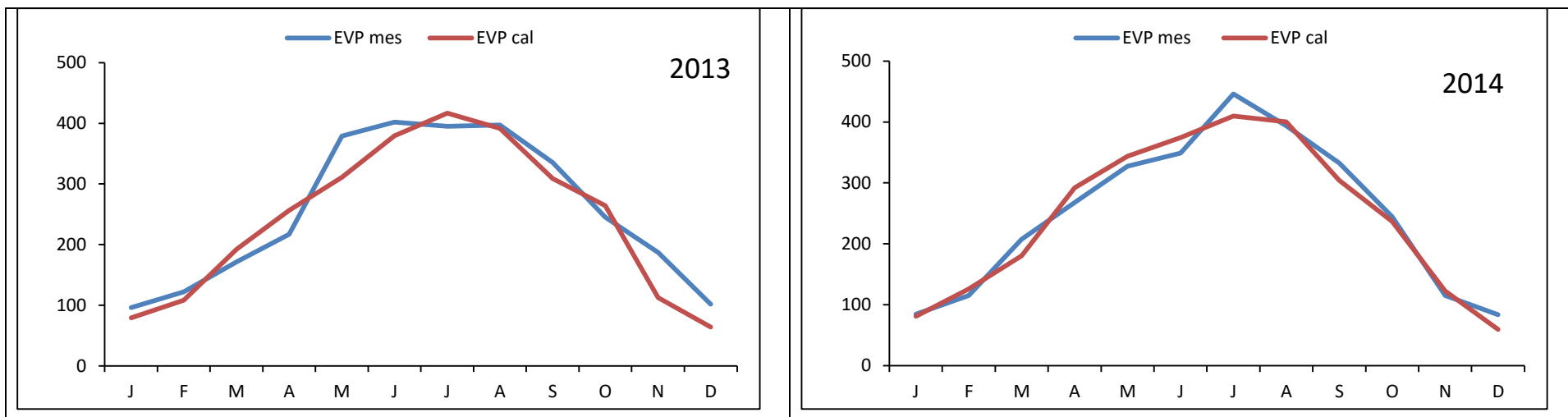
Suite Figure III.3 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et celle mesurée par le bac

Clé du Graphe : La courbe bleue d'évaporation mesurée, la courbe rouge est d'évaporation calculé en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure III.3 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et celle mesurée par le bac

Clé du Graphe : La courbe bleue d'évaporation mesurée, la courbe rouge est d'évaporation calculé en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).



Suite Figure III.3 : Présentation graphique de l'évaporation calculée par le nouveau modèle et celle mesurée par le bac

Clé du Graphe : La courbe bleue d'évaporation mesurée, la courbe rouge est d'évaporation calculé en (mm). (X) ligne des mois, (Y) les valeurs de l'évaporation (mm).

Les résultats inter-annuels sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau III.20 : Résultats inter-annuels de nouveau modèle et du bac Colorado (2001-2014).

Mois	EVP mesurée (mm)	EVP modèle (mm)	ERREUR %	X	Y
J	86.45	69.25	20%	295.63	23285.92
F	101.61	113.38	-12%	138.70	18888.80
M	189.12	193.57	-2%	19.81	2492.23
A	245.54	257.01	-5%	131.65	42.15
M	334.63	326.16	3%	71.71	9136.47
J	394.41	398.37	-1%	15.72	24137.58
J	443.44	428.93	3%	210.78	41779.88
A	399.25	390.03	2%	85.11	25666.66
S	292.07	299.72	-3%	58.57	2811.94
O	192.71	218.65	-13%	672.93	2147.14
N	109.65	112.77	-3%	9.74	16741.62
D	79.65	61.14	23%	342.78	25406.48
TOTALE	2,868.52	2,868.99	-0.00	2053.13	192536.87
Moyenne	239.04			Critère Nash	0.989

$$X : (X_{obs,i} - X_{model})^2 \quad ; \quad Y : (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2$$

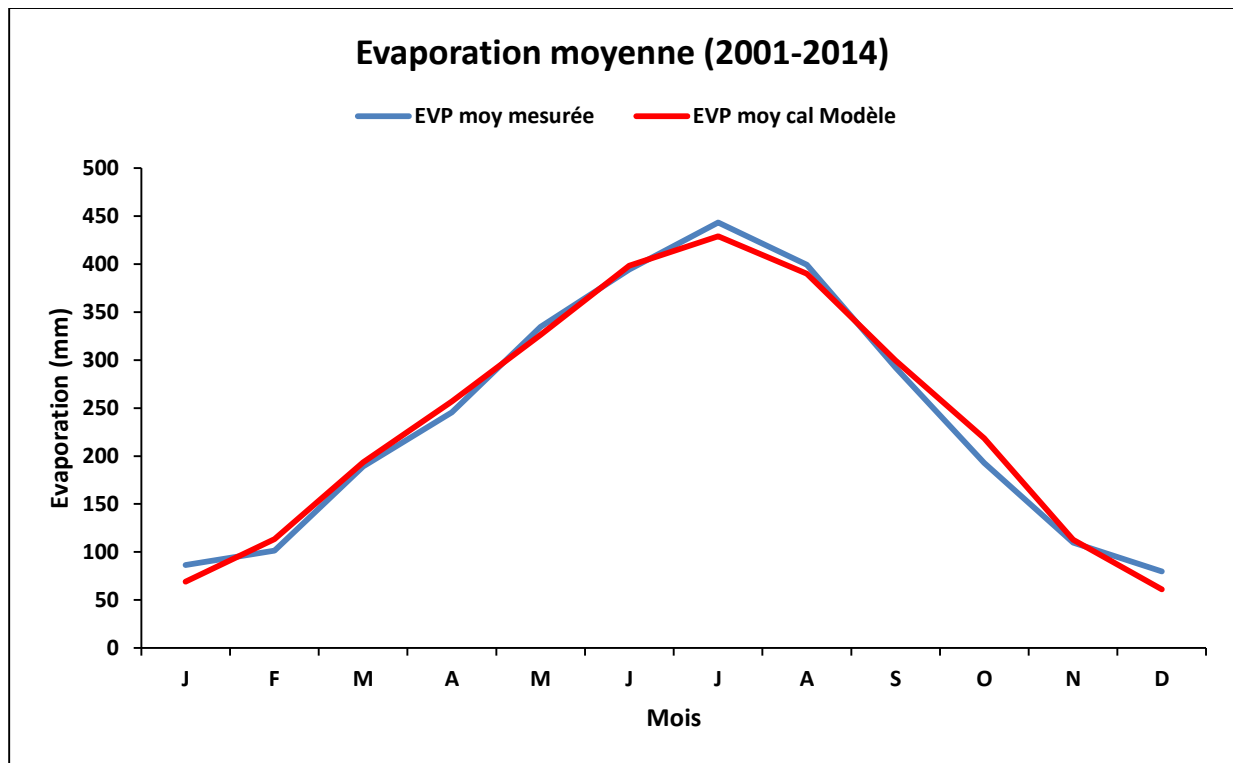


Figure III.4 : Variation l'évaporation inter-annuelle par le nouveau modèle et du bac Colorado durant la période (2001-2014).

4- CONCLUSION :

Après avoir utilisé le nouveau modèle pour estimer l'évaporation, nous concluons premièrement qu'il est très simple, facile et précis, de sorte qu'on dispose ces deux paramètres la température de l'eau du barrage et l'insolation. Les résultats de l'évaporation estimée sont presque identique avec ceux mesurés.

Dans les graphes, nous constatons que les courbes ont presque la même forme est sont très proche soit dans les graphes mensuels ou le graphe final annuel. Nous pouvons donc utiliser ce modèle pour estimer l'évaporation mensuel dans le barrage de Brézina.

Chapitre IV :

Etude comparative entre les
modèles choisis et le nouveau
modèle

1- INTRODUCTION :

Après avoir élaboré le nouveau modèle que nous avons proposé pour le barrage de Brézina, nous sommes obligé à faire une comparaison des valeurs de l'évaporation calculées avec le modèle et ceux mesurés sur le bac du Colorado afin prouver l'efficacité du modèle qui devrait être appliqué pour notre cas étudié (Barrage Brézina). Pour cela nous proposons de rassembler tous les modèles dans un seul graphe et interpréter les résultats.

2 -RESULTAS ET DISCUSSION :

Pour bien discuter les résultats obtenus on va les regrouper en deux catégories :

- Les graphiques des modèles et les valeurs mesurés
- Les erreurs obtenues par les modèles.

2-1. Tracé des graphes des modèles :

En visualisant la figure 1 nous constatant que les courbes des modèles : Papadakis, Boutoutao (2) et Xiao sont loin des résultats mesurés. Le graphe de Papadakis montre une estimation très grande pendant la période Mai jusqu'au juin. Alors que Boutoutao (2), montre une estimation de l'évaporation inférieure aux valeurs de l'évaporation mesurée. Celle de Xiao, montre un très grand décalage entre les deux graphes ce qui présente une très faible convergence entre les deux modèles.

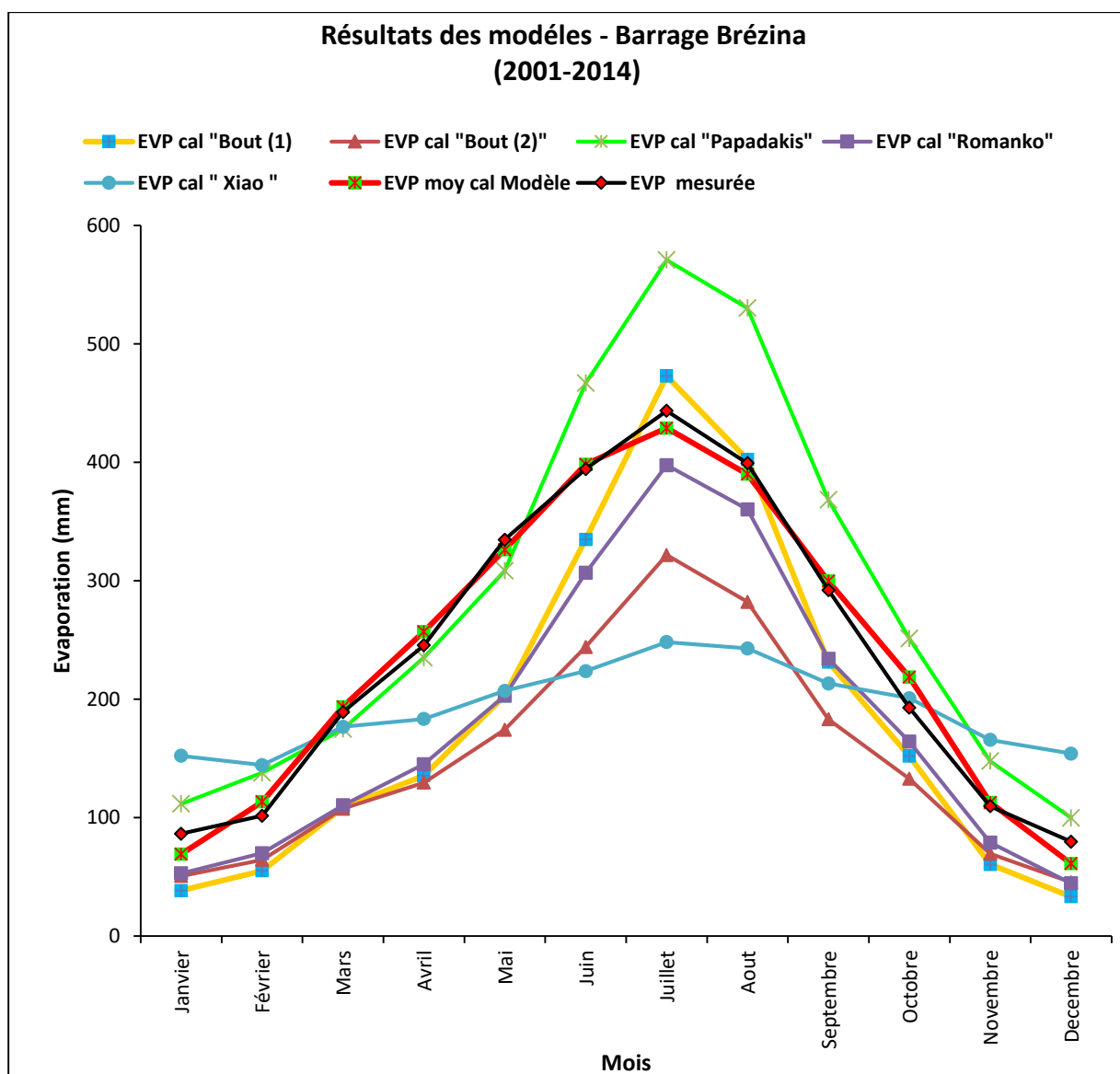


Figure IV.1. Présentation graphique des modèles-Barrage Brézina (2001-2014)

Tandis que l'utilisation du modèle de Romanko aboutit à des résultats très inférieurs à ceux mesurés d'où le graphe se situe au-dessous de graphe de l'évaporation mesurée. Le modèle Boutoutao (1) a montré que les valeurs estimées pendant la période de janvier jusqu'au juin sont très inférieurs aux valeurs mesurées alors ceux estimés après le mois de juin sont acceptable.

L'estimation par le nouveau modèle a montré une très forte convergence vu les deux graphes sont presque les mêmes juste quelques points présentent un petit décalage.

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

Les erreurs de calcul pour le modèle de Papadakis sont très importante, celui de Boutoutao (1) à une erreur maximale ne dépasse pas 58% et celui de Boutoutao (2) inférieure de 48%. Alors

que, le modèle de Romanko, ces erreurs sont inférieures de 44%. Nous pensons que le modèle de Romanko donne des bons résultats par rapport à d'autres modèles. Le modèle Xiao, ne peut pas être appliqué vous les grandes erreurs obtenues.

Le modèle que nous avons proposé à des valeurs d'erreurs faibles inférieures à 23%. Donc, on peut confirmer que le modèle proposé peut être appliqué afin d'estimer l'évaporation mensuelle dans notre barrage.

Les erreurs de calcul pour chaque modèle sont regroupées dans les tableaux qui suivent :

Tableau IV.1 : Erreurs obtenues par le modèle de Boutoutao (1) (2001-2014).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVPcal	38.40	55.18	108.50	135.57	202.85	334.97	472.79	402.30	231.34	151.93	60.49	33.35
EVPmes	86.45	101.61	189.12	245.54	334.63	394.41	443.44	399.25	292.07	192.71	109.65	79.65
Erreur $\frac{(E_m - E_c)}{E_m} \%$	56%	46%	43%	45%	39%	15%	-7%	-1%	21%	21%	45%	58%

Tableau IV.2 : Erreurs obtenues par le modèle de Boutoutao (2) (2001-2014).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVPcal	50.72	64.35	107.55	129.51	174.18	244.17	321.70	282.13	183.08	132.78	69.43	45.38
EVPmes	86.45	101.61	189.12	245.54	334.63	394.41	443.44	399.25	292.07	192.71	109.65	79.65
Erreur $\frac{(E_m - E_c)}{E_m} \%$	41%	37%	43%	47%	48%	38%	27%	29%	37%	31%	37%	43%

Tableau IV.3 : Erreurs obtenues par le modèle de Xiao Liu (2001-2014).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVPcal	152.18	144.32	176.66	183.29	207.09	223.72	248.18	242.82	213.28	200.87	165.64	154.01
EVPmes	86.45	101.61	189.12	245.54	334.63	394.41	443.44	399.25	292.07	192.71	109.65	79.65
Erreur $\frac{(E_m - E_c)}{E_m} \%$	-76%	-42%	7%	25%	38%	43%	44%	39%	27%	-4%	-51%	-93%

Tableau IV.4 : Erreurs obtenues par le modèle de Papadakis (2001-2014).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVPcal	111.68	137.92	174.86	235.18	308.37	466.86	570.83	530.36	368.42	251.19	147.74	99.81
EVPmes	86.45	101.61	189.12	245.54	334.63	394.41	443.44	399.25	292.07	192.71	109.65	79.65
Erreur $\frac{(E_m - E_c)}{E_m} \%$	-29%	-36%	8%	4%	8%	-18%	-29%	-33%	-26%	-30%	-35%	-25%

Tableau IV.5 : Erreurs obtenues par le modèle Romanko (2001-2014).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVPcal	53.00	70.00	110.39	145.15	202.99	306.73	397.55	360.33	234.10	164.09	78.91	44.48
EVPmes	86.45	101.61	189.12	245.54	334.63	394.41	443.44	399.25	292.07	192.71	109.65	79.65
Erreur $\frac{(E_m - E_c)}{E_m} \%$	39%	31%	42%	41%	39%	22%	10%	10%	20%	15%	28%	44%

Tableau IV.6 : Erreurs obtenues par le modèle proposé (2001-2014).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EVPcal	69.25	113.38	193.57	257.01	326.16	398.37	428.93	390.03	299.72	218.65	112.77	61.14
EVPmes	86.45	101.61	189.12	245.54	334.63	394.41	443.44	399.25	292.07	192.71	109.65	79.65
Erreur $\frac{(E_m - E_c)}{E_m} \%$	20%	-12%	-2%	-5%	3%	-1%	3%	2%	-3%	-13%	-3%	23%

3- CONCLUSION :

Le résultat de la comparaison de la méthode directe par (le bac Colorado) et les méthodes indirectes ou bien par les modèles choisis (Boutoutao1, Boutoutao2, Papadakis, Romanko et Xiao), nous montre que le meilleur modèle qui donne de bons résultats c'est bien le modèle de Romanko.

Alors que le modèle que nous avons proposé présente des erreurs inférieures à 23 % ce qui reflète que l'évaporation estimée est plus proche de la quantité d'eau mesurée évaporée dans notre barrage.

Nous pensons que des études similaires peuvent aboutir à d'autres modèles simples au niveau de chaque barrage situé au région aride afin d'enrichir la recherche menée par des futurs étudiants pour élaborer des nouveaux modèles applicables afin de quantifier la quantité d'eau évaporée pour chaque barrage situé en Algérie.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans notre modeste mémoire, nous avons présenté tout d'abord la climatologie du barrage Brézina, qui est située dans la région aride d'El-Bayadh- située à l'Ouest d'Algérie. Dans les zones arides, les hautes températures sont enregistrées en été et l'intensité du froid en hiver. Les facteurs conduisant à l'évaporation sont : température élevée, pression atmosphérique, humidité relative, vitesse du vent et l'ensoleillement. Afin de connaître le volume d'eau restant dans le barrage, la valeur d'évaporation doit être estimée ou bien mesurée en utilisant des bacs d'évaporation. Il y a deux façons de calculer la valeur d'évaporation :

- Méthode directe : C'est à travers des mesures in situ d'un bac Colorado. Nous signalons que les données de l'évaporation mesurée utilisées de ce mémoire ont été enregistrées par l'ANBT (Agence nationale des barrages et transferts).

- Méthode indirecte : En utilisant différents modèles, ces modèles nécessitent des données climatiques pour estimer l'évaporation. Nous avons sélectionné certains de ces modèles : Romanko, Papadakis, Xiao et Boutoutao, et nous avons trouvé une différence de résultats par rapport à l'évaporation mesurée. Nous avons conclu que le modèle le plus proche est bien celui de Romanko qui présente des erreurs de calculs inférieure de 44% avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,937.

Au cours de notre étude, nous avons réalisé un simple, facile et précis modèle aboutissant à des valeurs très proche de l'évaporation mesurée grâce au programme XLSTAT. L'analyse des données climatiques disponibles ont été nécessaire. Deux facteurs climatiques ont été choisis pour réaliser ce modèle : la température de l'eau "Teau" et l'insolation "I". Afin de valider le modèle, nous avons calculé le critère de Nash, nous l'avons trouvé : 0,989 très proche de 1. Cela signifie que la relation est excellente.

Nous avons calculé les erreurs pour les modèles sélectionnés et le nouveau modèle, et nous avons trouvé que le nouveau modèle avait le moins d'erreurs dans le calcul (<23%) par rapport aux autres modèles. Les résultats obtenus sont très proches à ceux mesurés.

Finalement, nous suggérons l'utilisation de ce modèle pour estimer l'évaporation mensuelle du Barrage Brézina-El-Bayadh-.et nous pensons qu'on peut élaborer d'autres modèles pour d'autres barrages ici en Algérie sans faire appel aux modèles internationaux.

Bibliographie

(TADJEDDINE Med Abdelfattah, 2013) : ÉTUDE DE L'AMÉNAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DU PÉRIMÈTRE IRRIGUÉ DE BRÉZINA, WILAYA D'EL BAYADH. (Page 295)

(Meddi, 2011) : Etude des crues d'oued Seggueur (Sud-Ouest algérien).

TALIA A. (1), MEDDI M. (2). (Page 02).

(Vachala, 2008) : Master Sciences de l'Univers, Écologie et Environnement Parcours Hydrologie Hydrogéologie.

" Évaporation sur les retenues EDF du Sud de la France".

Sébastien VACHALA, 25 Septembre 2008. (Page 07-08).

(BOUTOUTAOU, 2011) : NOTE SUR L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU (BARRAGE, LAC, COURS D'EAU, CHOTT, SEBKHA, ETC.)EN ALGERIE. (Page 295).

L'évaporation des lacs des barrages dans les régions arides et semis arides Exemple algérien.

B. REMINI

Département de Génie Rural, Université de Blida

Chercheur au laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface

LARHYSS, Université de Biskra, B.P. 145, R.P., 07000, Biskra, Algérie.

SAGGAI. SOFIANE 2008

*Réduction de l'évaporation des plans d'eau par les films mono moléculaires en zones arides
(Mémoire magister)*

KADDOU .ZAHRA 2014

*Réduction de l'évaporation des plans d'eau : effet des grains de sable sur les performances
les films mono moléculaires (Mémoire master Académique)*

RESSA BTISSAM .CHADI HOUDA 2010

Gestion du barrage lalla takerkoust (Maroc) (Mémoire de fin d'étude .eau et environnement)

Formules

NOTE SUR L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU (BARRAGE, LAC, COURS D'EAU, CHOTT, SEBKHA, ETC.) EN ALGERIE.

*Laboratoire d'Exploitation et Valorisation des Ressources . Naturelles en Zones Arides.
Université KASDI MERBAH Ouargla. (Page 296-299)*

*Lake Evaporation in a Hyper-Arid Environment, Northwest of China—Measurement
and Estimation. (Page 11).*

*L'évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du Centre-Ouest de la France
(Brenne et Limousin). Mohammad Aldomany. 12 Dec 2017. (Page 133).*