

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

Ouvrages Hydrauliques

Thème : _____

**Prédiction de taux de l'évaporation par la méthode
Réseau de Neurones de Régression Généralisée.
Cas du barrage de Foum El-Gherza (Biskra)**

Dirigé par :

Dr. Assia MEZIANI

Présenté par :

Amir Lebba

Toufik Sadani

Promotion: Juin 2024

التشكرات

بنجاح العمل هذا لإتمام وفقنا الذي وتعالى سبحانه الله نحمد
عليه الله صلى والمرسلين، الأنبياء وخاتم الخلق سيد بقول ونقتدي
لهذا بالإمكان يكن لم . "الله يشكر لا الناس يشكر لا من" :وسلم
آسيا الأستاذة جهود ودون وتوفيقه، الله دون بنجاح يتم أن البحث
بصدق وتوجيهنا مساعدتنا في جهداً تدخر لا كانت التي مزياني،
ولكل المناقشة لجنة لأعضاء الخاص شكرنا عن نعبر . وإخلاص
بعيد أو قريب من سواء ساندنا من

SOMMAIRE

Remerciement	I
Sommaire	II
Introduction générale	VIII
CHAPITRE I - PRESENTATION DU BARRAGE- FOUM EL-GHERZA	
I.1 Introduction	01
I.2 Situation géographique du barrage Foum El Gherza	03
I.3 Caractéristiques climatiques de la région de Biskra	05
I.4. Courbe ombrothermique de Gaussen	15
I.5. Indices climatiques	16
I.6 Conclusion	19
CHAPITRE II - : LES METHODES D’ESTIMATION DE L’EVAPORATION DANS LA REGION ARIDE	
II.1. Introduction	21
II.2. Les Modelés d’estimation de l’évaporation des Barrages	22
II.2.1. Méthode directe « Bac Colorado »	22
II.2.2. Les méthodes Indirectes -Modelés d’estimation de L’évaporation dans les régions Semi-arides	23
II.3. Calcul de l’évaporation inter-annuelle (2000-2022)	24
II.4. Estimation de l’évapotranspiration FAO.....	36
II.5. Conclusion	39
CHAPITRE III – ELABORATION D’UN MODELE UNIQUE D’ESTIMATION DE L’EVAPORATION	
III.1. Introduction	41
III.2. Implémentation de GRNN en Python	44

III.3. Résultats.....	45
III.4. Conclusion	64
CHAPITRE IV - Étudier le modèle et assurer l'exactitude de ses résultats	
IV.1 Introduction	66
IV.2 .méthodologie	66
IV.3 .Résultats et discussion.....	68
VI.4 Conclusion	69
Conclusion Général	71

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Carte du réseau hydrographique de la région de Biskra (ANAT, 2014).....	02
Figure I.2. Barrage de Foug–El-Gherza, Mars 2020.....	03
Figure I.3. Températures moyennes maximales, minimales et annuelles de la région de Biskradurant la période (2000-2020).....	06
Figure I.4. Précipitations moyennes mensuelles de la région de Biskra (2000-2022).....	07
Figure I.5. Evolution des précipitations et des températures mensuelles (2000-2022)....	08
Figure I.6. Variation de vitesse des vents moyens mensuels (km/h) (2000-2022).....	09
Figure I.7. Variation de l'humidité relative en fonction de la température (2000-2022)..	11
Figure I.8. Variation de l'humidité absolue en fonction de la température (2000-2022)..	11
Figure I.9. Variation de la pression atmosphérique pendant la période (2000-2022).....	12
Figure I.10 : Variation de l'insolation mensuelle de la région de Biskra (2000-2022) Foug El Gherza.....	13

Figure I.11 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle de Foum El Gherza dans le période(2000-2022).....	14
Figure I.12. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN (2000-2022).....	15
Figure I.13. Climagramme d'Emberger.....	18
Figure II.1. Bac d'évaporation du barrage Foum El- Gherza 2019.....	22
Figure II.2: Bac flottant (Aldomany, 2017).....	22
Figure II.3. Corrélation entre les résultats des modèles choisis et l'évaporation mesurée.	35
Figure III.1. General-regression-neural-network-GRNN-architectur.....	43
Figure III.2. Résultats de prédiction de l'évaporation du modèle d'intelligence artificielle comparés au modèle de la FAO.....	63
Figure IV.1. Application d'intelligence artificielle GRNN.....	66
Figure IV.2. Test de précision du modèle.....	69
<u>LISTE DES TABLEAUX</u>	
Tableau I.1: Fiche technique du barrage Foum El Gherza.....	05
Tableau I.2: Variation mensuelle de la température de la région de Biskra(2000-2022)..	06
Tableau I.3: Variation des précipitations mensuelles en fonction des températures mensuelles(2000-2022).....	07
Tableau I.4: Variations mensuelles de vitesse des vents (2000-2022).....	09
Tableau I.5 : Variation mensuelle de l'humidité relative et absolue en fonction de la température(2000-2022).....	10
Tableau I.6 : Variation de la pression atmosphérique (2000-2022).....	12
Tableau I.7: Variation de la rayonnement solaire (2000-2022).....	13
Tableau I.8: Variation de l'évaporation (2000-2022).....	14
Tableau I.9: Température set précipitations moyennes mensuelles (2000-2022).....	15

Tableau I.10: Les valeurs d'indices d'aridité mensuels de Martonne, à la station de Biskra (2000-2022).....	17
Tableau I.11 : Indice d'Emberger.....	17
Tableau II.1 Les différents modèles d'estimations de l'évaporation des plans d'eau.....	23
Tableau II.2. Boyed (1985).....	25
Tableau II.3. Caprio.....	26
<i>Tableau II.4. Hargreaves (1975).....</i>	26
<i>Tableau II.5. Irmak-Allen.....</i>	27
<i>Tableau II.6. Irmak et al.-a (2003).....</i>	27
<i>Tableau II.7. Irmak et al.-b (2003).....</i>	28
<i>Tableau II.8. Jensen & Haise 1(1963).....</i>	28
<i>Tableau II.9. Jensen & Haise 2(1963).....</i>	29
<i>Tableau II.10. Jensen et al.....</i>	29
<i>Tableau II.11. Makkink (1975).....</i>	30
<i>Tableau II.12. Oudin (2004).....</i>	30
<i>Tableau II.13. Priestley et al.....</i>	31
<i>Tableau II.14. Tabari and Talae.....</i>	31
<i>Tableau II.15. Turc (2004).....</i>	32

Tableau III.7. Résultats des tests du modèle pour l'année 2006.....	49
Tableau III.8. Résultats des tests du modèle pour l'année 2007.....	49
Tableau III.9. Résultats des tests du modèle pour l'année 2008.....	50
Tableau III.10. Résultats des tests du modèle pour l'année 2009.....	51
Tableau III.11. Résultats des tests du modèle pour l'année 2010.....	51
Tableau III.12. Résultats des tests du modèle pour l'année 2011.....	52

Tableau III.13. Résultats des tests du modèle pour l'année 2012.....	52
Tableau III.14. Résultats des tests du modèle pour l'année 2013.....	53
Tableau III.15. Résultats des tests du modèle pour l'année 2014.....	54
Tableau III.16. Résultats des tests du modèle pour l'année 2015.....	55
Tableau III.17. Résultats des tests du modèle pour l'année 2016.....	55
Tableau III.18. Résultats des tests du modèle pour l'année 2017.....	56
Tableau III.19. Résultats des tests du modèle pour l'année 2018.....	56
Tableau III.20. Résultats des tests du modèle pour l'année 2019.....	57
Tableau III.21. Résultats des tests du modèle pour l'année 2020.....	58
Tableau III.22. Résultats des tests du modèle pour l'année 2021.....	58
Tableau III.23. Résultats des tests du modèle pour l'année 2022.....	59

ملخص الدراسة :

التبخر قيم توقع على قادر خاص صناعي ذكاء نموذج الى الوصول هو البحث هذا من الهدف التي الاخرى الميدانية الطرق و الحسائية للمعادلات كبديل ، تقريبا معدومة خطأ بنسبة كبيرا جهدا و الثمن باهظة معدات تتطلب بسكرة في الواقع الغرزة فم سد هو دراستنا موضوع

Résumé :

Le but de cette recherche est d'atteindre un modèle spécial d'intelligence artificielle capable de prédire les valeurs d'évaporation avec une erreur presque nulle, comme alternative aux équations mathématiques et autres méthodes de terrain qui nécessitent un équipement coûteux et de grands efforts.

Le sujet de notre étude est le barrage de Foug El Gharza situé à Biskra.

Abstract :

The goal of this research is to reach a special artificial intelligence model capable of predicting evaporation values with almost zero error, as an alternative to mathematical equations and other field methods that require expensive equipment and great effort.

The subject of our study is the Foug El Gharza Dam located in Biskra.

Introduction Générale

L'évaporation désigne le processus par lequel la vapeur d'eau retourne dans l'atmosphère par la diffusion de molécules d'eau provenant de diverses sources telles que le sol, la végétation, les plans d'eau et autres surfaces humides. Toutefois, le terme "évaporation" est généralement associé à la perte d'eau des surfaces des plans d'eau ou d'autres objets inanimés, tandis que la perte d'eau de la végétation est appelée transpiration.

Dans les régions où les ressources en eau sont restreintes, même la moindre perturbation d'un élément du cycle hydrologique peut avoir des conséquences significatives sur l'ensemble du cycle et sur la disponibilité de l'eau pour divers usages. Ces perturbations peuvent être d'origine climatique ou anthropique, comme l'ont souligné Remini (2009). L'évaporation est l'un des éléments clés du cycle hydrologique.

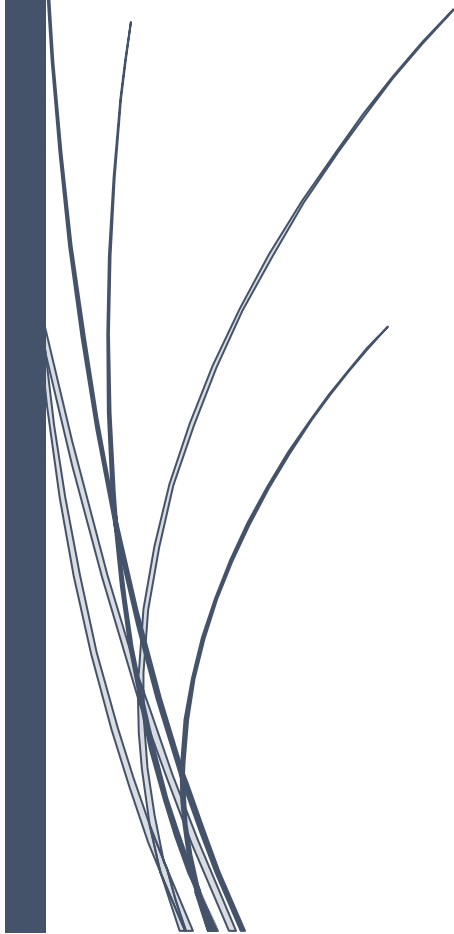
Le processus d'évaporation joue un rôle crucial dans le cycle hydrologique et l'équilibre hydrique. Le calcul précis de la quantité d'eau qui s'écoule revêt une grande importance pour les études hydrologiques modernes. Au fil des années, les techniques d'intelligence artificielle ont émergé comme un nouvel outil prometteur, capable de prédire avec précision les relations linéaires et non linéaires dans les problèmes hydrologiques. Dans cette optique, nous appliquerons ces méthodes et prédictions au barrage de Foug El Gherza (Biskra). Pour ce faire, notre mémoire est divisé en quatre axes essentiels :

- Chapitre I : Introduction au Barrage de Foug El-Gherza
- Chapitre II : LES METHODES D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION DANS LA REGION ARIDE
- Chapitre III : ÉLABORATION D'UN MODÈLE D'ESTIMATION DE L'ÉVAPORATION
- Chapitre IV : Étudier le modèle

A decorative vertical bar on the left side of the page, consisting of a dark blue vertical line and a blue arrow pointing to the right.

CHAPITRE I

**PRÉSENTATION
GÉNÉRALE
DU BARRAGE FOUM
EL-GHERZA**

A decorative vertical bar on the left side of the page, consisting of a dark blue vertical line and a stylized grass-like graphic at the bottom.

1.1. Introduction

Ce chapitre propose une analyse climatique de la région abritant le Barrage de "Foug-El Gherza". Cette zone s'étend de Biskra jusqu'au Chott Melghir au Sud-Est, et jusqu'à l'Erg oriental au Sud-Ouest. Elle se situe à une latitude de 34° 52' N et une longitude de 5° 38' E, à une altitude de 125 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le réseau hydrographique local est composé de quatre principaux Oueds : Oued Biskra, Oued El-Arab, Oued Abiod et Oued Djeddi, dont celui alimentant notre barrage est l'Oued El-Biod. Situation géographique du barrage Foug El Gherza

Le barrage de Foug-El-Gherza est situé à l'est de l'Algérie, au pied du massif des Aurès, à environ 18 km à l'est de Biskra et à environ 400 km au sud-est d'Alger. Sa principale fonction est d'irriguer la région et de réguler le débit du bassin versant de l'Oued El-Abiodh (voir Figure I.1). Ce bassin versant est localisé dans le massif des Aurès, partie orientale de l'Atlas saharien, et fait partie du vaste bassin hydrologique du Chott Melghir. Il est alimenté par trois principaux oueds : Oued Labiod, Oued Chenawra et Oued de T'kout, qui convergent pour former l'Oued Ghassira avant de se déverser dans le Chott Melghir. L'Oued Labiod est alimenté par les torrents descendant des pentes abruptes de Chelia (2326 m) et Ichemoul (2100 m). La superficie du bassin versant est de 1050 km², avec un périmètre de 160 km. Son coefficient de Gravelius Kc est de 1.38, ce qui lui confère une forme allongée.

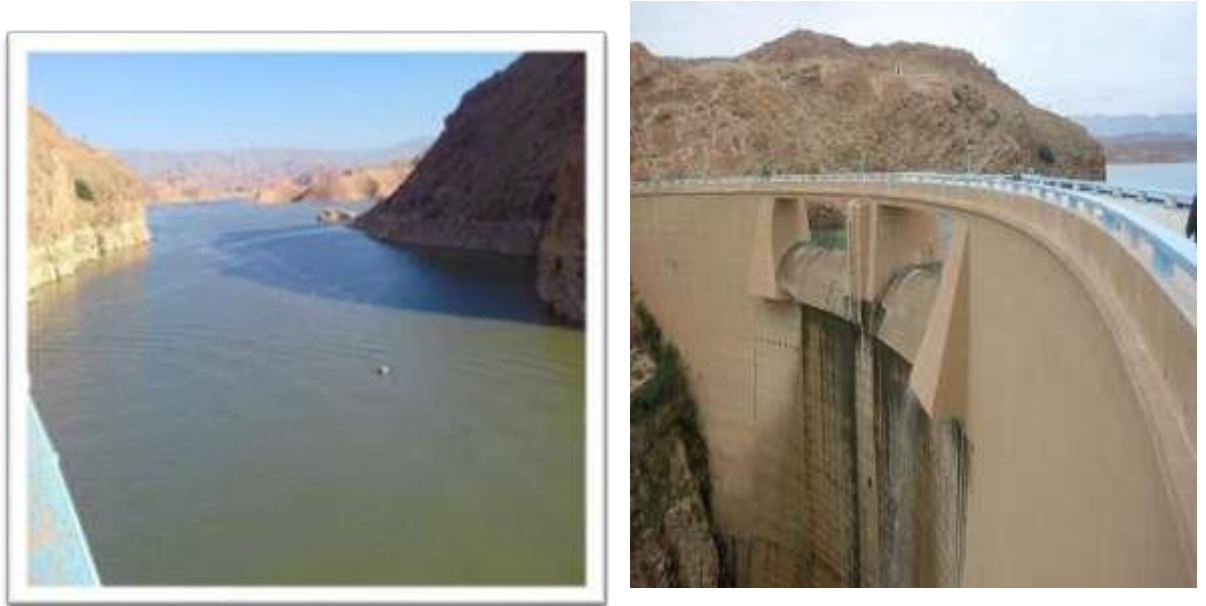


Figure I.2. Barrage de Foug–El-Gherza, Mars 2020.

Les spécifications techniques du Barrage de Foug-El Gherza sont les suivantes :

- Capacité initiale : 47 Hm³
- Capacité actuelle : 12.89 Hm³ (mise à jour en 2007)
- Surface du bassin versant : 1300 km²
- Apport annuel moyen : 21 Hm³
- Volume régularisé : 13 Hm³
- Hauteur hors sol : 65 m
- Hauteur à partir de la fondation : 73 m
- Longueur de la voûte : 126 m
- Longueur de la culée : 60 m

- Largeur du barrage au niveau de la fondation : 8.40 m
- Largeur en crête : 3 m
- Rayon de courbure : 80 m
- Cote de la retenue au niveau normal : 198 m
- Cote des plus hautes eaux : 23.25 m
- Volume de béton utilisé : 40,000 m³

I.3. Caractéristiques climatiques de la région de Biskra

La station météorologique de Biskra (ONM), en fonction depuis 1913, constitue la seule station existante et est donc représentative du contexte d'étud

Tableau I.1: Fiche technique du barrage Foum El Gherza

Foum El Gherza (W. Biskra, à 11 km Nord de Sidi Okba)	
Coordonnées	Lat. 35°51'08" N Long. 5°55'30" E
Type	Combiné poids–voûte
Evacuateur de crue	A surface libre dans la partie centrale
Vidange de fond	Galerie blindée 2*2 m, pertuis de vidange.
Prise d'eau	Tour semi-cylindrique accolée à l'amont du barrage à trois
Hauteur (m)	73
NNR (m NGA)	198.90
Niveau de la crête (m NGA)	204.25
Niveau max (m NGA)	203.25
Longueur en crête	60 m (culée) +126 m (voute)
Largeur en crête :	6.25 m (culée) + 3 m (voute)
Epaisseur maximale en pied	22.1 m (culée) + 8.4 m (voute)
Rayon de courbure	80 m
Capacité initiale (hm ³)	47
Mise en eau	1950
Capacité actuelle (hm ³)	12.90
Destination	Irrigation des palmeraies Electricité abandonnée

I.3. 1. Température

Les fluctuations de température influent directement sur le processus d'évapotranspiration, et donc sur le déficit annuel et saisonnier en termes d'écoulement. Nous disposons des données des températures moyennes mensuelles de la station de Biskra sur la période de (2000-2022). Pour évaluer les variations des températures moyennes, maximales et minimales mensuelles, nous avons dressé un tableau et un histogramme correspondant à cette station. Nous observons deux périodes distinctes : la température décroît de juillet (maximum : 41,2°C) à janvier (minimum : 5,7°C).

Tableau I.2: Variation mensuelle de la température de la région de Biskra (2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Tmax(C°)	12.7	16.4	21.7	23.5	29.0	34.5	40.2	35.9	33.7	27.2	24.0	15.0
Tmin(C°)	9.3	10.9	15.6	18.4	23.0	23.4	31.2	31.1	26.0	20.9	15.1	10.7
Tmoy(C°)	11.0	13.7	18.7	21.0	26.0	28.9	35.1	33.5	29.8	24.0	19.6	12.9

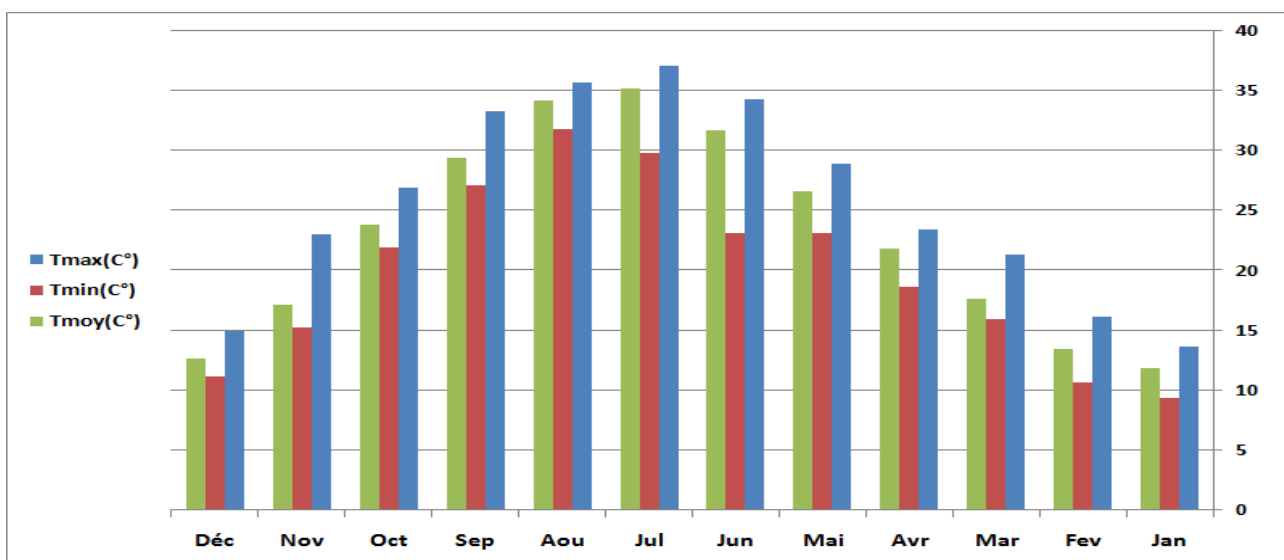


Figure I.3. Températures moyennes maximales, minimales et annuelles de la région de Biskradurant la pé

1.3.2. Précipitations

La pluviométrie désigne l'étude des précipitations, de leur quantité et de leur répartition dans le temps et dans l'espace. La région de Biskra se caractérise par une faible pluviométrie, avec des précipitations se produisant de manière irrégulière. Comme le montre le tableau I.3, les précipitations atteignent leur valeur maximale au mois d'octobre (26,33 mm) et leur minimum en juillet (1,35 mm).

Tableau I.3: Variation des précipitations mensuelles en fonction des températures mensuelles

(2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P(mm)	2.67	5.99	19.66	16.00	9.20	6.63	1.35	2.97	16.00	26.33	14.24	9.59
Tmoy(C°)	11.0	13.7	18.7	21.0	26.0	28.9	35.10	33.5	29.8	24.0	19.6	12.9

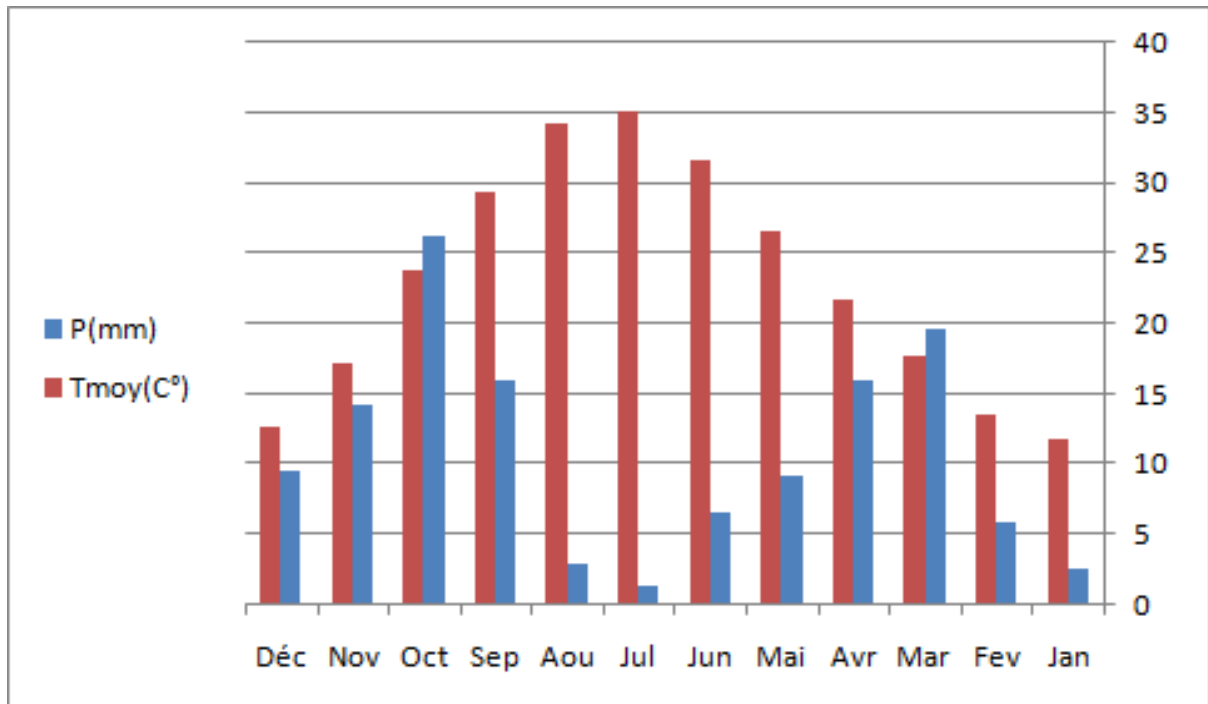


Figure I.4. Précipitations moyennes mensuelles de la région de Biskra (2000-2022).

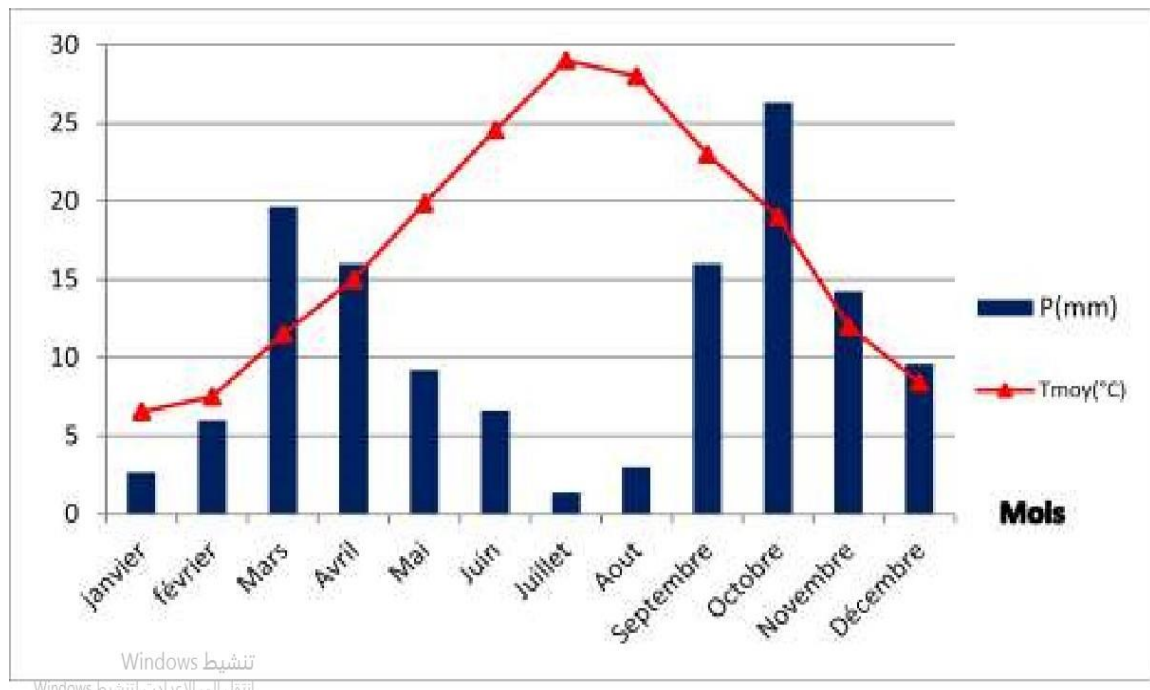


Figure I.5. Evolution des précipitations et des températures mensuelles (2000-2022)

La figure I.6 présente l'évolution des variables température et précipitations sur une période de 12 mois. De manière générale, il est observé que lors des périodes de pluie, les températures sont plus élevées (par exemple, les mois de janvier, février, mai, juin, juillet, août et septembre). Cela s'explique par le fait que les nuages responsables des précipitations limitent l'échappement de la chaleur terrestre vers la haute atmosphère. En revanche, pendant les mois de mars, avril, octobre, novembre et décembre, on constate que les températures diminuent lorsque les précipitations se produisent.

I. 3.3. Le Vent

La mesure de la vitesse du vent est généralement effectuée à des hauteurs manométriques égales à 2 mètres du sol.

Le vent exerce un rôle crucial sur le processus d'évaporation. En effet, l'air environnant la surface en évaporation peut se saturer plus ou moins rapidement, ce qui peut interrompre le processus d'évaporation. L'air saturé est alors remplacé par de l'air plus sec grâce aux mouvements et aux mélanges induits par le vent.

À Biskra, les vents dominants proviennent du nord-ouest, avec une moindre influence des vents du nord. Ces derniers soufflent de novembre à mai, et sont caractérisés par leur température modérée. De juillet à septembre, ce sont les vents du sud qui prédominent, selon l'Agence Nationale de l'Aviation Civile (ANAT, 2013).

Tableau I.4: Variations mensuelles de vitesse des vents (2000-2022)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(km/h)	8.50	7.50	16.0	19.33	20.00	16.50	10.00	9.00	8.67	7.00	12.07	12.00

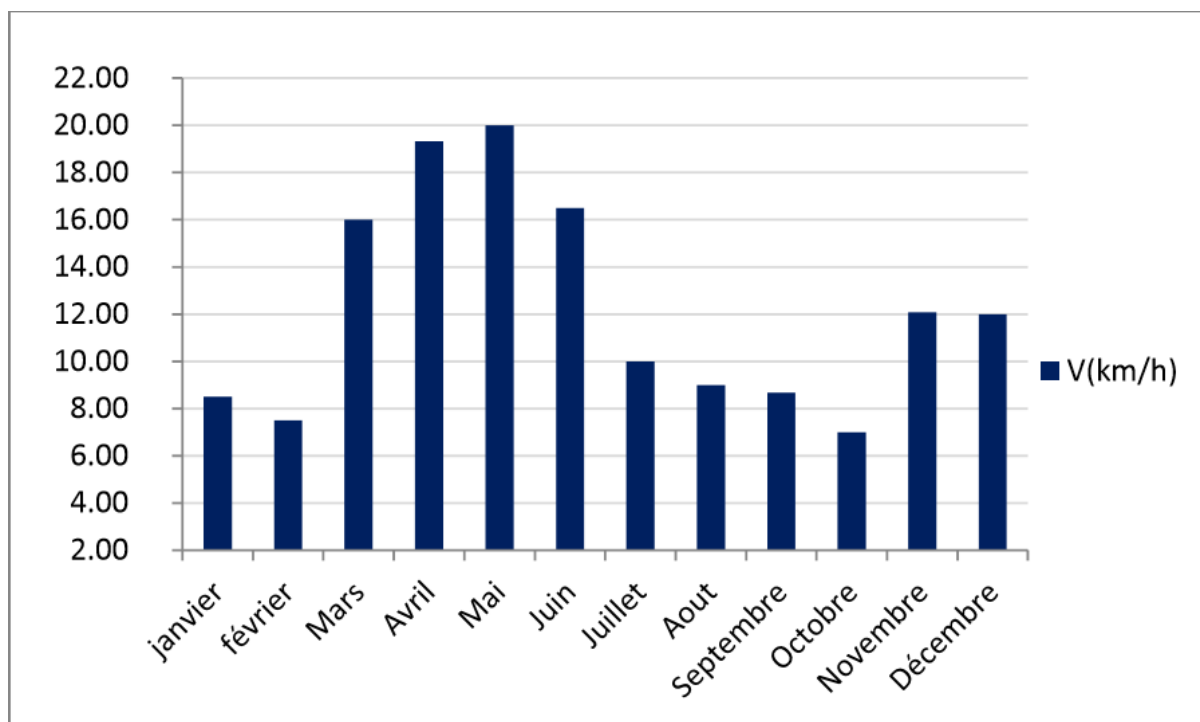


Figure I.6. Variation de vitesse des vents moyens mensuels (km/h) (2000-2022).

D'après le tableau I.4, la vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois de Mai avec une moyenne de 20.00 km/h. Le minimum est enregistré durant le mois d'Octobre avec une vitesse de 7.00 km/h.

1.3.4. Humidité relative et Humidité absolue

L'humidité relative correspond au pourcentage de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à sa capacité maximale de saturation. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre. En revanche, l'humidité absolue représente la quantité d'eau réellement contenue dans l'air, exprimée en pression de vapeur.

Pour être plus précis, l'humidité absolue est égale à l'humidité relative multipliée par la quantité d'eau saturée. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau, ou d'humidité. Les variations de température ont un impact direct sur l'humidité relative : elle diminue lorsque la température augmente, et augmente lorsque la température diminue

Tableau I.5 : Variation mensuelle de l'humidité relative et absolue en fonction de la température(2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Hr(%)	57.50	42.50	40.00	31.00	32.48	28.00	25.00	28.00	38.33	44.00	53.19	65.00
Tmoy(C°)	11.0	13.70	18.7	21.0	26.59	28.9	35.10	33.5	29.8	24.0	19.6	12.9
Ha(g/kg)	8.34	10.64	11.36	17.20	26.0	29.92	38.75	34.85	25.58	18.30	14.70	9.12

En observant le tableau I.5, nous remarquons que le mois le plus humide est décembre, avec une humidité relative de 65%. En revanche, le mois le plus sec est juillet, avec une humidité relative de seulement 25%. La figure I.8 illustre également une variation abrupte de l'humidité relative en fonction de la température.

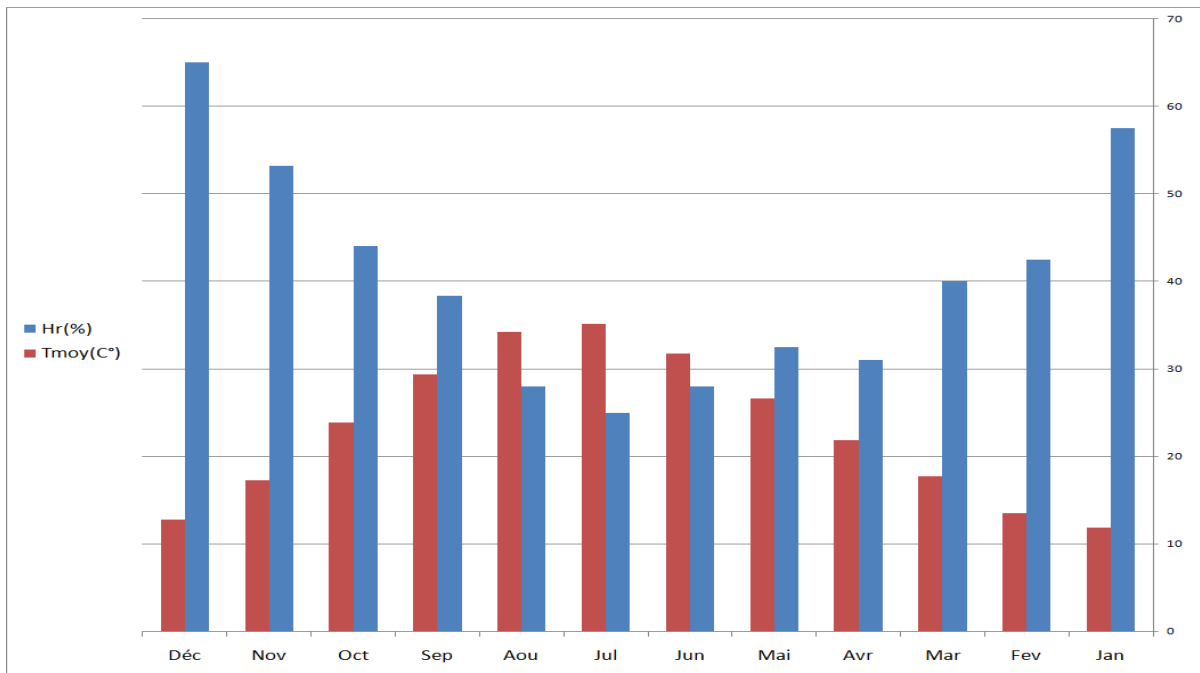


Figure I.7. Variation de l'humidité relative en fonction de la température (2000-2022)



Figure I.8. Variation de l'humidité absolue en fonction de la température (2000-2022)

On peut conclure que lorsque le climat est humide, la valeur de l'humidité absolue diminue, tandis que dans un climat sec, elle augmente. Dans notre région, où se situe notre barrage, la valeur minimale est enregistrée au mois de janvier (8,34 g/kg) et la valeur maximale au mois de juillet (38,75 g/kg). La figure I.9 illustre une variation progressive de l'humidité absolue en fonction de la température.

I.3.5. La pression Atmosphérique

Pour chaque liquide, il existe une relation précise entre pression et température d'ébullition. On peut définir la température d'ébullition comme le moment où apparaît la première bulle de vapeur à la surface d'un liquide. À la pression atmosphérique au niveau de la mer (1 bar = 100 kPa), la température d'ébullition de l'eau est de 100°C.

Tableau I.6 : Variation de la pression atmosphérique (2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P(kPa)	97.91	97.64	97.43	97.15	97.27	97.31	97.21	97.30	97.41	97.55	97.68	97.94
Tmoy(C°)	11.0	13.70	18.7	21.0	26.0	28.9	35.10	33.5	29.8	24.0	19.6	12.9

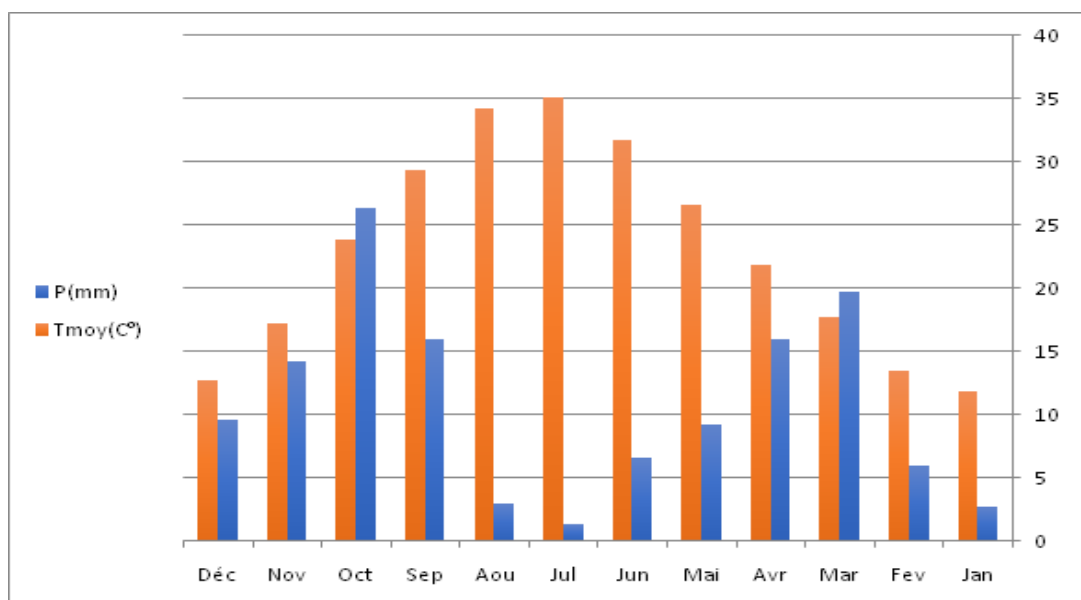


Figure I.9. Variation de la pression atmosphérique pendant la période (2000-2022)

Lorsque l'air est plus chaud et donc plus léger, la pression atmosphérique diminue. En revanche, lorsque la pression atmosphérique est élevée, c'est généralement le signe inverse. Ce phénomène est associé à la présence d'un anticyclone, annonçant un temps dégagé. Dans notre région, la pression atmosphérique est plus faible en juillet (97,21 kPa) et plus élevée en décembre (97,94 kPa).

III.6. L'enseillement

Selon les données climatiques actuelles de la station de Biskra sur la période 2000/2022, le nombre moyen d'heures d'enseillement varie de 214 heures par mois en décembre à 356 heures par mois en juillet, pendant la période estivale (juin-août). Durant cette période, la région de Biskra reçoit plus de 100 heures d'enseillement par mois.

Tableau I.7: Variation de la rayonnement solaire (2000-2022)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Rs (KWh/m ²)	86.4	117.6	153.6	189.9	216.6	232.2	228.9	206.1	161.7	124.5	91.5	76.5

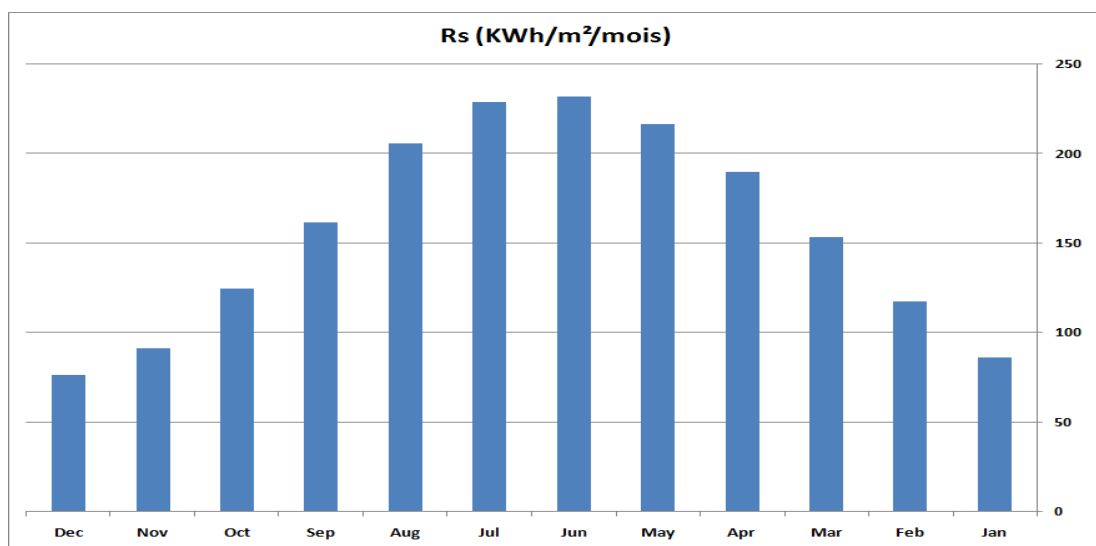


Figure I.10 : Variation de l'insolation mensuelle de la région de **Biskra** (2000-2022)
Foum El Gherza

1.3.6. L'évaporation

L'évaporation est le processus par lequel un liquide se transforme en vapeur ou en gaz. Elle se produit à partir d'un plan d'eau lorsque l'atmosphère au-dessus de celui-ci a une humidité relative inférieure à 100%. Le rayonnement solaire constitue la principale source d'énergie susceptible de provoquer l'évaporation. La quantité d'eau évaporée dépend de la vitesse du vent, du degré de turbulence de l'air au-dessus de la surface évaporante, ainsi que de la différence de tension de vapeur entre le plan d'eau et l'air non saturé au-dessus de celui-ci.

D'après les données sur l'évaporation de la station de barrage de Foug el Gherza sur la période (2000-2022), nous remarquons que le mois le plus évaporé est juillet, avec une valeur d'évaporation atteignant 399,75 mm. En revanche, le minimum d'évaporation est enregistré en décembre, avec une valeur de 78,18 mm.

Tableau I.8: Variation de l'évaporation (2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Evp (mm/j)	79.50	99.28	167.78	214.72	295.09	350.45	399.75	364.37	260.82	190.85	120.63	78.18

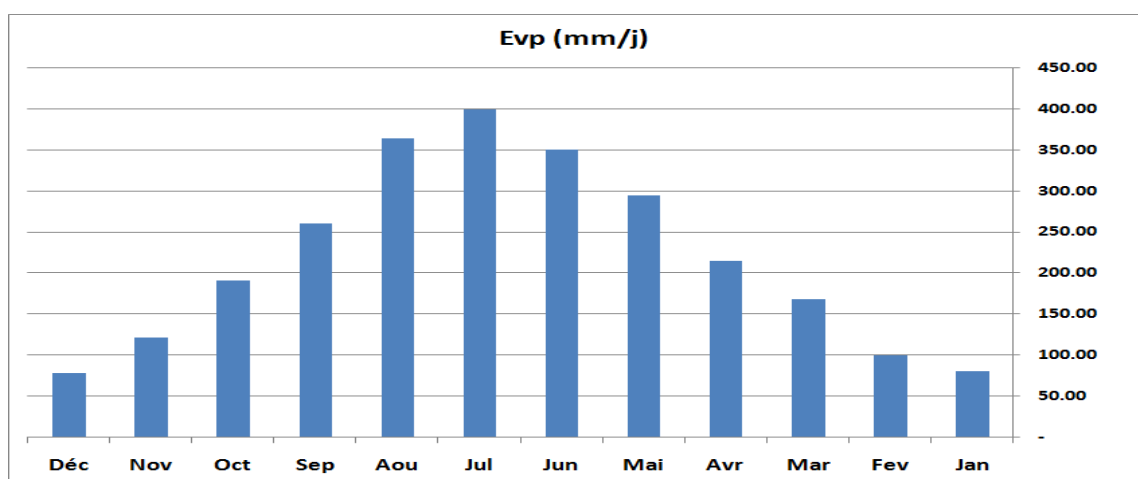


Figure I.11 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle de Foug El Gherza dans le période(2000-2022).

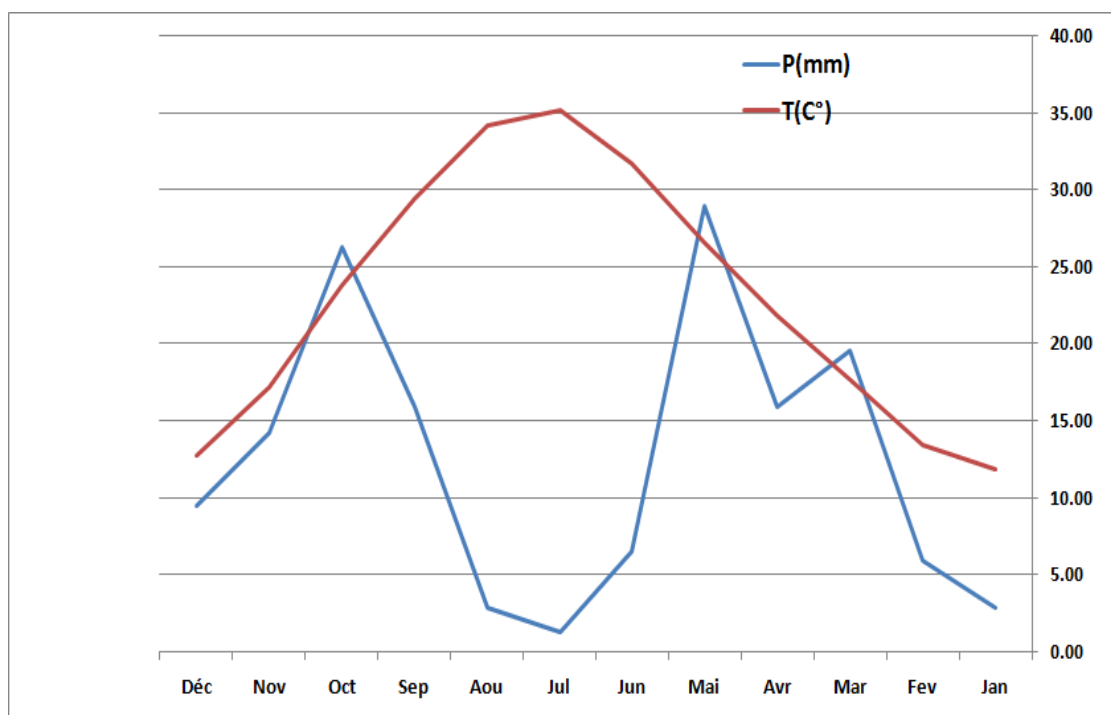
I.4. Courbe ombrothermique de Gaussen

La figure I.12, illustrant la courbe ombro-thermique, met en évidence le caractère d'une seule saison sèche dans le climat de la région étudiée. Cette caractéristique est soulignée par le positionnement de la courbe des précipitations en dessous de celle des températures, ce qui persiste tout au long de l'année. Ainsi, il est possible d'affirmer que la région présente un climat de zone aride.

Tableau I.9: Température set précipitations moyennes mensuelles (2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P(mm)	2.97	5.99	19.66	16.00	29.00	6.63	1.35	2.97	16.00	26.33	14.24	9.59
T(C°)	11.0	13.70	18.7	21.0	26.0	28.9	35.10	33.5	29.8	24.0	19.6	12.9

Figure I.12. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN (2000-2022).



1.5. Indices climatiques:

Afin de bien classer le climat de la région de Biskra d'autres indices climatiques ont été calculés :

1.5.1. Indice d'aridité annuel de MARTONNE :

En 1923, Martonne définit un indice appelé « indice d'aridité annuel », donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P_{\text{moy}}}{T_{\text{moy}} + 10}$$

Avec :

P_{moy} : Précipitations moyennes annuelles (mm). T_{moy} : Températures moyennes annuelles (°C). En fonction de la valeur de l'indice de Martonne:

- ✓ $I < 5$: Climat hyper-aride
- ✓ $5 < I < 10$: Climat aride
- ✓ $10 < I < 20$: Climat semi-aride
- ✓ $20 < I < 30$: Climat semi-aride
- ✓ $I > 30$: Climat humide.
- ✓ Application numérique : $P=139.03\text{mm}$; $T=16.96^\circ\text{C}$ $I= 5,16$, d'où la région de Biskra au climat

1.5.2. Indice d'aridité mensuel de Martonne:

Un autre indice d'aridité peut être calculé par mois : Il est défini par l'expression :

$$a = \frac{12P}{T + 10}$$

P : précipitations moyennes mensuelles (mm) T : températures moyennes mensuelles (°C)

Les valeurs de l'indice d'aridité mensuel sont reportées au tableau I.9

Tableau I.10: Les valeurs d'indices d'aridité mensuels de Martonne, à la station de Biskra (2000-2022)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P(mm)	2.97	5.99	19.66	16.00	29.00	6.63	1.35	2.97	16.00	26.33	14.24	9.59
T(C°)	11.0	13.70	18.7	21.0	26.0	28.9	35.10	33.5	29.8	24.0	19.6	12.9
a	1.69	3.03	8.35	6.19	9.66	2.04	0.35	0.81	4.82	9.29	5.77	5.02

D'après le tableau I.10, les mois de Janvier, février, Mai, Juin, juillet et Aout sont classés comme Hyper-aride et les mois de Mars, Avril, Septembre, Octobre, Novembre et Décembre sont caractérisés par un régime aride.

1.5.3. Indice climatique d'Emberger :

L'indice climatique d'Emberger, est défini par l'expression suivante :

$$Q = 2000 \frac{P}{(M^2 - m^2)}$$

Avec :

Q: quotient pluviométrique d'Emberger.

P: précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en degré absolu T°C+ 273(°K). m

: moyenne des températures minimales du mois le plus froid, en degré absolu T°C+ 273 (°K).

Tableau I.11 : Indice d'Emberger

P(mm)	M(°K)	M (°K)	Q
139.03	315.33	279.54	13.06

L'indice d'Emberger de la station de Biskra est de 13.06 calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de 22 ans (2000-2022), en reportant cette valeur sur le climagramme d'Emberger (Figure I.14), on constate que la région est soumise à un climat « aride ».

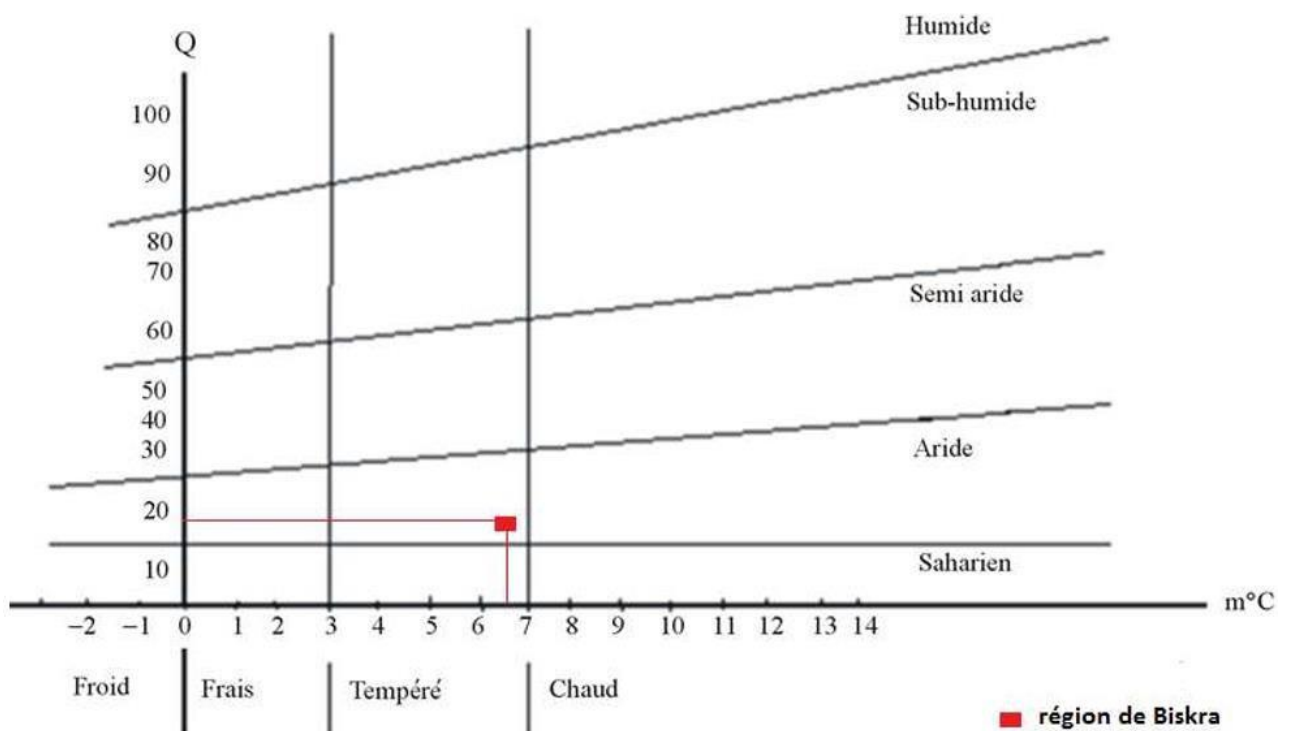


Figure I.13. Climagramme d'Emberger

I.6. CONCLUSION :

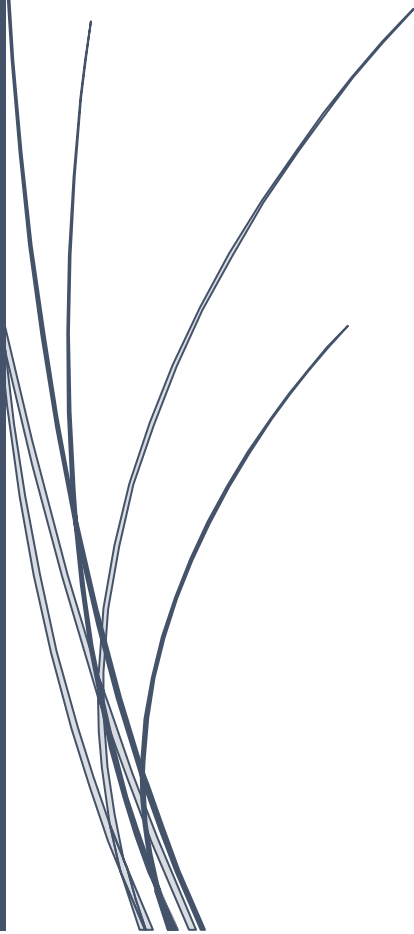
Après avoir analysé les données climatiques des 22 dernières années dans la région de Biskra, où notre barrage étudié est situé, nous confirmons que le climat de la région est bel et bien aride. Voici les principales caractéristiques de la région :

- ❖ La température moyenne mensuelle varie de 11,0°C en janvier à 35,1°C en juillet.
- ❖ La vitesse moyenne mensuelle du vent est de 4 m/s en décembre et de 5,9 m/s en avril.
- ❖ L'humidité relative est d'environ 54%, 59% et 57% respectivement en mars, avril et mai, tandis qu'elle est de 26% en novembre.
- ❖ L'ensoleillement varie de 76,7 kWh/mois en décembre à 232,2 kWh/mois en juillet.
- ❖ L'évaporation mensuelle maximale est de 399,75 mm en août, tandis que l'évaporation mensuelle minimale est de 78,18 mm en février.
- ❖ Les précipitations à Ain Touta atteignent 262,37 mm, moins importantes que celles enregistrées à la station de Chaabet Ouled Chelih, qui s'élèvent à 413,8 mm.
- ❖ - La moyenne des précipitations dans la région est de l'ordre de 361 mm.

A dark blue vertical bar runs down the left side of the page. A blue arrow points to the right from the middle of this bar.

CHAPITRE II

**LES METHODES
D'ESTIMATION DE
L'EVAPORATION
DANS LA REGION
ARIDE**

A decorative graphic consisting of several thin, dark blue lines that curve upwards and to the right, resembling blades of grass or reeds, located at the bottom left of the page.

III . Introduction :

Ce chapitre se concentre sur la présentation des méthodes d'estimation de l'évaporation, en examinant les mesures indirectes à l'aide de 20 modèles de différents chercheurs, ainsi que les mesures directes réalisées à l'aide du "Bac Colorado" de classe A, au niveau de la station pluviométrique du barrage de Foug El-Gherza.

II2 . Les Modèles d'estimation de l'évaporation de Barrage :

II.2.1. Méthode directe « Bac Colorado »

La mesure directe de l'évaporation se réalise généralement à l'aide du bac d'évaporation, un récipient de section cylindrique ou carrée. Les variations du niveau d'eau, mesurées à intervalles de temps fixes (jour, semaine, décade), reflètent l'intensité de l'évaporation. Les principaux avantages des bacs résident dans leur économie et leur facilité d'installation. Cependant, ils présentent l'inconvénient de la difficulté à évaluer les effets du rayonnement direct et du transfert de chaleur à travers les parois.

- **Le bac de classe A :** Conçu par le Weather Bureau, ce bac est de forme ronde avec un diamètre de 122 cm et une profondeur de 25,4 cm. Il est placé à une hauteur de 18 cm au-dessus du sol, et le niveau de l'eau à l'intérieur du bac doit être maintenu à une distance de 5 à 8 cm du bord. En raison de sa petite taille, il présente un problème d'inertie thermique trop faible. (Vachala, 2008)

- **Le bac Colorado :** Le bac Colorado est un récipient carré mesurant 91,4 cm de côté, avec une profondeur variant entre 46 et 91 cm. Il est enterré de telle manière que son rebord se situe à 10 cm au-dessus de la surface du sol, ce qui améliore son inertie thermique. Il existe plusieurs variantes du bac Colorado, notamment la version ORSTOM. (Vachala, 2008)

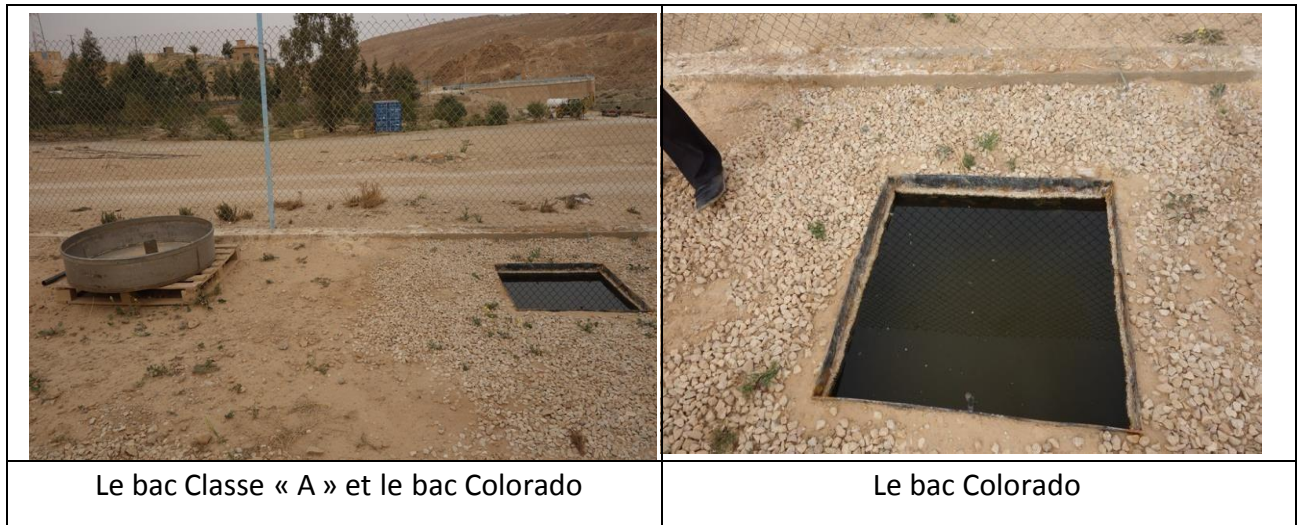


Figure II.1. Bac d'évaporation du barrage Foum El- Gherza 2019

- **Les bacs flottants :** Ces dispositifs sont partiellement immergés à la surface de l'eau. Cette méthode est la plus représentative des conditions d'évaporation de la surface d'eau libre, mais elle est également très difficile à mettre en œuvre et coûteuse.



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

II.2.2. *Les méthodes Indirectes -Modèles d'estimation de L'évaporation dans les régions Semi-arides*

Les différents modèles d'estimation de l'évaporation couramment utilisés sont cités dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.1 Les différents modèles d'estimations de l'évaporation des plans d'eau

N°	REFERENCE	LES FORMULES	UNITES
01	Abtew-1(1996)	$ET_0 = 0.52.T_{max}.(Rs/\lambda)$	mm/mois
02	Abtew-2(1996)	$ET_0 = (T_{max}/56).(Rs/\lambda)$	mm/mois
03	Boyed 1985	$ET_0 = 9.94+(5.039T_{moy})*0.8$	mm/mois
04	Caprio	$ET_0 = (6,1/106).Rs.(1,8T_{mean}+1,0)$	mm/mois
05	Hargreaves (1975)	$ET_0 = [0.0135(T_{mean} + 17.8)Rs]/\lambda$	mm/mois
06	Irmak-Allen 2003	$ET_0 = 0.489 + 0.289 Rs + 0.023T_{mean}$	mm/mois
07	Irmak et al. (2003)-a	$ET_0 = 0,149Rs + 0,079Ta - 0,611$	mm/mois
08	Irmak et al. (2003)-b	$ET_0 = 0,174Rs + 0,0353Ta - 0,642$	mm/mois
09	Irmak et al.(2003)-1	$ET_0 = -0.611 + 0.149Rs + 0.079T_{mean}$	mm/mois
10	Irmak et al.(2003)-2	$ET_0 = 0.489 + 0.289Rs + 0.023T_{mean}$	mm/mois
11	Jensen &Haise 1 (1963)	$ET_0 = (0.025.T_{mean} + 0.08)Rs/\lambda$	mm/mois
12	Jensen &Haise 2 (1963)	$ET_0 = 0,03523.Rs.(0,014T_{mean}-0,37)$	mm/mois
13	Jensen et al.	$ET_0 = (Rs/\lambda).(0.025T_{mean} + 0.08)$	mm/mois
14	Makkink 1975	$ET_0 = 0,61.(\Delta/(\Delta+\gamma)).(Rs/\lambda)-0,12$	mm/mois
15	McGuinness et al.	$ET_0 = (0.0082T_{mean} - 0.19).(2,54Rs/1500)$	mm/mois
16	Oudin (2004)	$ET_0 = (Rs/\lambda).(T_{mean} + 5)/100$	mm/mois
17	Priestley et al.	$ET_0 = \alpha.(\Delta/\Delta + \gamma).(Rs/\lambda)$	mm/mois
18	Tabari and Talaei (2011)	$ET_0 = -0.642 + 0.174Rs + 0.0353T_{mean}$	mm/mois
19	Turc (1961)	$ET_0 = 0,013.(T/T+15).(Rs+50) \gg RH > 50$	mm/mois
20	Turc (1961)	$ET_0 = 0,013.(T/T+15).(Rs+50).(1+[(50-RH)/70])$ $\gg RH < 50$	mm/mois

Pa : Pression de l'atmosphère (kPa) **ET0** : l'évaporation de la surface d'eau **T** : Température de l'air (C°)

Rs : Rayon Solaire (MJ) (1 Kilowatt heure = 3.6 Mega Joul) (1 KWh/m²/mois = 30 KWh/m²/j = 108MJ)

λ :Chaleur latente de l'eau (MJ kg⁻¹) = 2.501-2.36*10⁻³T

Δ : pente de la pression de vapeur saturée à la température moyenne de l'air (kPa/°C) (mbar/°C) (mmHg/°C)

$$\Delta = \frac{2504 e^{(17,27 T / T + 273,3)}}{(T + 273,3)^2}$$

γ : constante psychrométrique (même unités que Δ) = 0,065 kPa/°C = 0,65 mbar/°C = 0,486 mmHg/°C

II.3. . Calcul de l'évaporation inter-annuelle (2000-2022)

II.3. 1- Abtew-1 (1996)

ET0 = 0,52Tmax(Rs*/ λ), Nous donnons les résultats suivants :

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	7,20	11,15	19,10	29,29	40,93	52,61	57,70	50,47	33,86	21,06	11,09	6,83

II.3. 2- Abtew-2 (1996)

$ET_0 = (T_{max}/56)(R_s/\lambda)$, Nous donnons les résultats suivants :

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	26,70	41,35	70,85	108,62	151,78	195,12	214,00	187,19	125,57	78,10	41,13	25,32

II.3. 3- Boyed (1985)

$ET_0 = 9.94 + (5.039 * T_{moy})$, Nous donnons les résultats suivants :

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	69,78	77,97	98,94	119,79	143,93	169,77	187,07	182,15	158,01	130,06	96,73	74,13

Tableau II.2. Boyed (1985)

II.3.4- Caprio

$ET_0 = (6,1/106)R_s(1,8T_{mean}+1,0)$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.3. Caprio

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

II.3.5- Hargreaves (1975)

$ET_0=0,0145(T+17,8)(R_s/\lambda)$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.4. Hargreaves (1975)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	54,18	77,84	115,51	160,21	205,75	247,35	261,76	231,16	163,72	110,78	67,92	49,28

II.3. 6- Irmak-Allen

$ET_0 = 0.489 + 0.289 R_s + 0.023T$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.5. Irmak-Allen

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
R _s	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVP _{mes}	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVP _{cal}	30,82	35,16	45,84	56,47	68,63	81,52	90,01	87,37	75,04	60,90	44,15	32,87

II.3. 7- Irmak et al.-a (2003)

$ET_0 = 0,149R_s + 0,079T_a - 0,611$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.6. Irmak et al.-a (2003)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
R _s	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVP _{mes}	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVP _{cal}	81,73	112,29	167,02	221,85	277,01	329,17	356,76	336,22	271,43	204,23	129,99	83,67

II.3. 8- Irmak et al.-b (2003)

$ET_0 = 0,174R_s + 0,0353T_a - 0,642$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.7. Irmak et al.-b (2003)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	30,12	55,81	94,13	132,70	167,65	197,01	208,11	190,13	143,94	99,59	53,58	27,08

II.3. 9- Jensen & Haise 1(1963)

$ET_0 = (0.025.T_{mean} + 0.08)R_s/\lambda$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.8. Jensen & Haise 1(1963)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	64,93	98,19	161,33	240,80	329,46	416,89	453,53	397,56	270,04	171,43	94,00	60,75

II.3. 10- Jensen & Haise 2(1963)

$ET_0 = (R_s/\lambda).(0.025T_{mean} + 0.08)$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.9. Jensen & Haise 2(1963)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,0 9	350,4 5	399,7 5	364,3 7	260,8 2	190,85	120,63	78,18
EVPcal	- 2,23	- 2,70	- 2,39	- 1,56	0,06	2,18	3,55	2,84	0,85	- 0,57	- 1,49	- 1,86

II.3. 11- Jensen et al.

$ET_0 = 0,03523R_s(0,014T_a - 0,37)$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.10. Jensen et al.

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	47,46	71,60	117,16	174,39	238,07	300,73	326,87	286,60	194,94	124,02	68,29	44,35

II.3. 12- Makkink (1975)

$ETO = 0,61. (\Delta/(\Delta+\gamma).(Rs/\lambda)-0,12$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.11. Makkink (1975)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
Δ	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
γ	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	62,07	87,41	116,93	147,13	169,61	183,31	181,29	162,31	124,93	93,99	66,40	53,94

II.3. 13- Oudin (2004)

$ETO = (Rs/\lambda).(Tmean + 5)/100$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.12. Oudin (2004)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	21,25	31,73	50,91	74,78	100,98	126,49	136,89	120,16	82,28	52,91	29,72	19,74

II.3. 14- Priestley et al.

$ET_0 = 0.38(\Delta/\Delta + \gamma).(R_s/\lambda)$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.13. Priestley et al.

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
Δ	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
γ	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
R_s	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVP_{mes}	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVP_{cal}	50,93	69,37	90,87	112,88	129,36	139,46	138,03	124,19	96,86	74,25	54,11	45,02

II.3. 15- Tabari and Talaee

$ET_0 = -0.642 + 0.174R_s + 0.0353T_{mean}$, Nous donnons les résultats suivants :

Tableau II.14. Tabari and Talaee

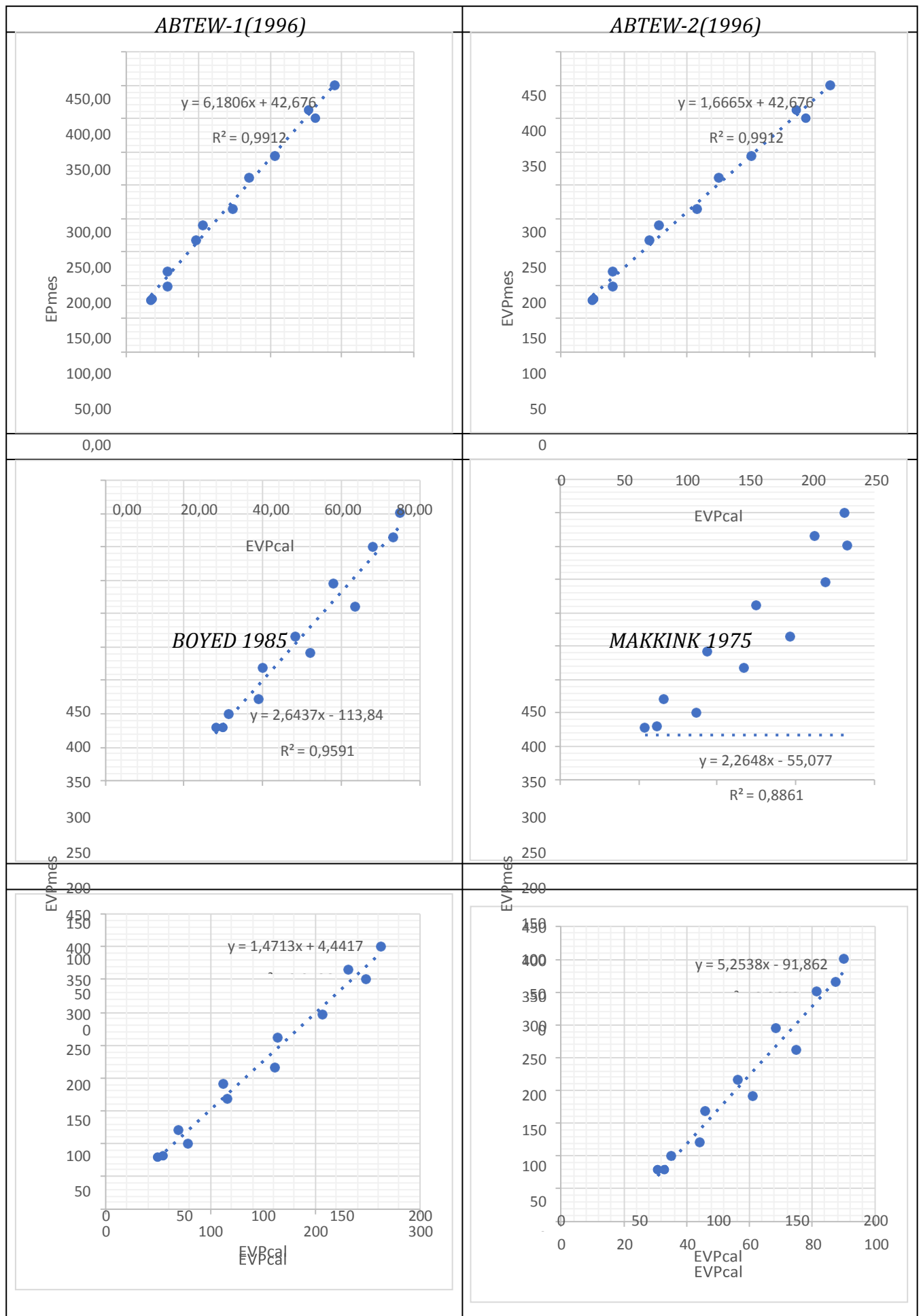
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
R_s	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVP_{mes}	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVP_{cal}	30,12	55,81	94,13	132,70	167,65	197,01	208,11	190,13	143,94	99,59	53,58	27,08

II.3. 16- Turc (2004)

$ET_0 = 0,013(T/T+15).(R_s+50).(1+[(50-RH)/70])$, Nous donnons les résultats suivants :

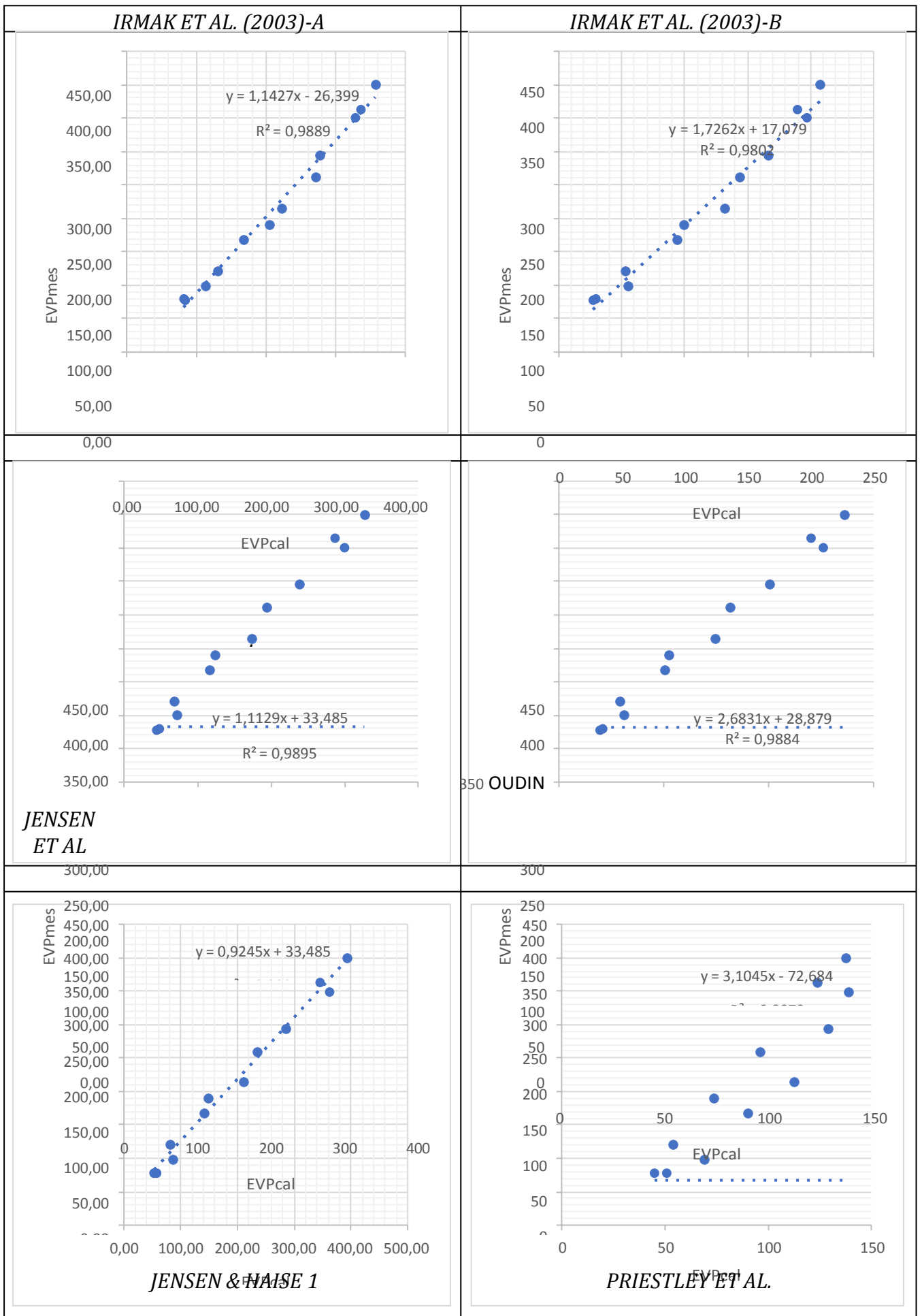
Tableau II.15. Turc (2004)

Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Pa	97,91	97,64	97,43	97,15	97,27	97,31	97,21	97,30	97,41	97,55	97,68	97,94
λ	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,42	2,42	2,43	2,44	2,46	2,47
T°	11,0	13,70	18,70	21,0	26,59	28,9	35,10	33,5	29,8	24,0	19,6	12,9
Rs	2,88	3,92	5,12	6,33	7,22	7,74	7,63	6,87	5,39	4,15	3,05	2,55
EVPmes	79,50	99,28	167,78	214,72	295,09	350,45	399,75	364,37	260,82	190,85	120,63	78,18
EVPcal	54,89	59,47	68,68	76,08	82,75	88,27	91,04	89,68	84,30	77,23	66,51	56,85



HARREGVES 1975

IRMAK-ALLEN 2003



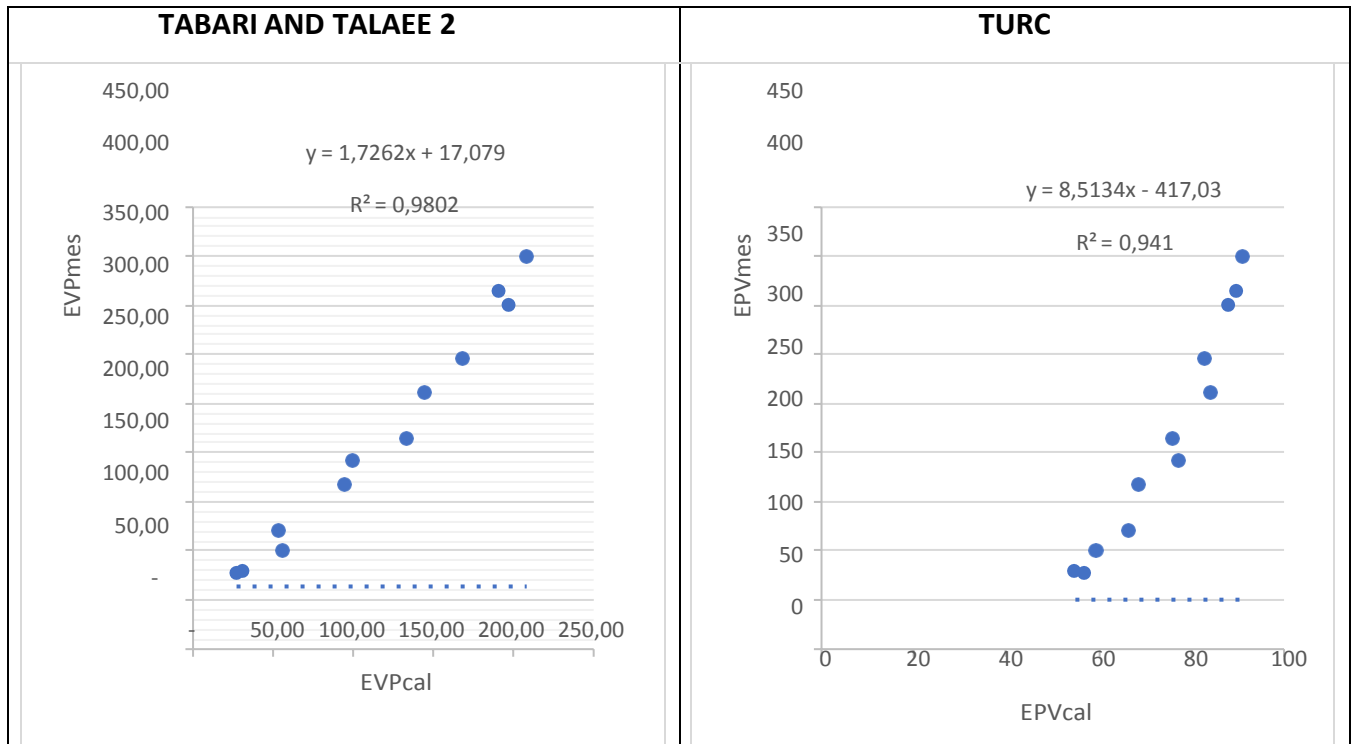


Figure II.3. Corrélation entre les résultats des modèles choisis et l'évaporation mesurée

Les 18 modèles sélectionnés ne conviennent pas à tous sauf ceux de : Imrak et al (2003)-1, Jensen & Haise 1, Jensen et al, Harregves 1975, Oudin, Priestley et a, Tabari et Talaei.

Cependant, le pourcentage d'inadéquation des résultats est relativement important. Nous parlons d'une différence équivalente à environ 22 pour cent, ce qui représente une grande différence.

II.4. Estimation de l'évapotranspiration FAO :

Dans ce chapitre, nous nous penchons sur le choix de modèles d'estimation appropriés de l'évaporation pour ce barrage. Parmi vingt modèles sélectionnés, seuls sept ont montré des résultats satisfaisants, tant graphiquement que statistiquement.

Les modèles retenus sont les suivants :

- Emrak et al (2003)-1
- Jensen et Hayes (1963)
- Jensen et coll.
- Harijvis 1975
- Odin (2004)
- Priestley et al.
- Al-Tabari et ses collègues

Il convient de prendre en compte la méthode de calcul de l'évapotranspiration selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). L'évapotranspiration FAO peut être calculée en utilisant l'une des méthodes recommandées par la FAO, telles que la méthode de référence de l'évapotranspiration des cultures (ET₀) ou la méthode de l'évapotranspiration agricole réelle (ET_c).

La méthode de référence de l'évapotranspiration (ET₀) est souvent utilisée comme point de départ pour estimer l'évapotranspiration dans des conditions uniformes, telles que des grandes cultures de hauteur uniforme, une couverture complète du sol et une évapotranspiration uniforme. Elle est calculée à partir de données météorologiques telles que la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire.

Voici une formule simplifiée pour calculer l'évapotranspiration FAO à l'aide de la méthode ET₀, connue sous le nom d'équation de Penman-Monteith :

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

Où :

- ET_0 représente l'évaporation de référence (en mm/jour)
- Delta est le déficit de saturation en vapeur d'eau (en $kPa/^\circ C$)
- R_n est le rayonnement net (en $MJ/m^2/jour$)
- G est la température du sol (en $MJ/m^2/jour$)
- γ est le rapport psychrométrique (en $kPa/^\circ C$)
- T est la température de l'air (en $^\circ C$)
- U_2 est la vitesse du vent à une hauteur de 2 mètres au-dessus du sol (en m/s)
- E_s représente la pression de vapeur saturée (en kPa)
- E_a est la pression de vapeur actuelle (en kPa)

Il est important de noter que cette équation est une simplification de la méthode complète de Penman-Monteith, et que les valeurs des paramètres doivent être calculées ou mesurées à partir des données météorologiques disponibles. Pour une précision accrue, il est recommandé d'utiliser des outils logiciels spécialisés ou des calculateurs en ligne prenant en compte toutes les variables nécessaires.

La méthode FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) est souvent préférée à d'autres formules pour estimer l'évapotranspiration pour plusieurs raisons :

1. Méthode scientifique robuste : La méthode FAO, en particulier la méthode de Penman-Monteith, est basée sur des principes physiques solides et une modélisation approfondie des processus

d'évaporation et de transpiration. Elle tient compte de multiples facteurs météorologiques et environnementaux pour calculer l'évapotranspiration de référence de manière plus précise.

2. Adaptabilité : La méthode FAO peut être adaptée à une variété de conditions climatiques et de types de cultures. Elle peut être ajustée en fonction des paramètres spécifiques d'une

région ou d'une culture particulière, ce qui la rend plus polyvalente que certaines autres formules qui peuvent être plus spécifiques à certaines conditions.

3. Utilisation généralisée : La méthode FAO est largement acceptée et utilisée à l'échelle mondiale par les chercheurs, les agronomes et les professionnels de l'irrigation. Elle est régulièrement mise à jour et révisée pour refléter les dernières avancées scientifiques et les meilleures pratiques.

4. Disponibilité de données : La méthode FAO nécessite des données météorologiques relativement courantes telles que la température, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire, qui sont généralement facilement accessibles dans de nombreuses régions du monde. Cela facilite son application pratique sur le terrain.

5. Comparabilité internationale : Étant donné que la méthode FAO est une norme internationale largement reconnue, son utilisation permet la comparaison et l'échange de données entre différentes régions et pays, ce qui est essentiel pour la recherche, la planification de l'irrigation et la gestion des ressources en eau à l'échelle mondiale.

Bien que d'autres formules telles que celles citées puissent être utiles dans certaines circonstances ou pour des applications spécifiques, la méthode FAO est généralement préférée en raison de sa fiabilité, de son adaptabilité et de sa reconnaissance internationale.

II.5. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'importants modèles mathématiques utilisés pour l'estimation en laboratoire à travers des relations mathématiques magiques et les avons appliqués à certaines optimisations. Nous sommes arrivés à une enquête sur le tableau pour examiner les valeurs de vérité estimées sur le terrain afin de découvrir et d'obtenir. ce qui suit:

- Emrak et al. (2003) -1 : Taux d'erreur 35%
- Jensen et Hayes (1963) : Taux d'erreur 20%
- Jensen et coll. : Taux d'erreur 23%
- Hargvis 1975 Le entre frères et sœurs : Taux d'erreur 26%
- Odin (2004) : Taux d'erreur 19%
- Priestley et coll : Taux d'erreur : 40%
- Al-Tabari et Al-Tala'I : Taux d'erreur 12%

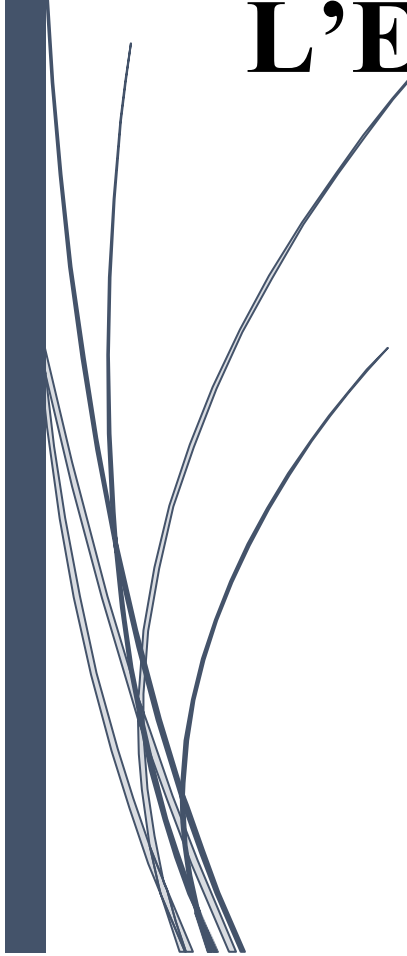
Ces modèles ne sont pas fiables en raison du taux d'erreur élevé

En fin d'article, nous présentons le modèle global de la FAO pour des références plus précises dans l'élaboration de notre modèle.

A dark blue vertical bar runs down the left side of the page. A blue arrow points to the right from the middle of this bar.

CHAPITRE III

**ÉLABORATION D'UN
MODÈLE UNIQUE
D'ESTIMATION DE
L'ÉVAPORATION**

Several thin, dark blue lines curve upwards from the bottom left corner, resembling blades of grass or reeds.

III.1. Introduction

Estimation de la quantité d'eau évaporée des plans d'eau des barrages et des lacs liée au nombre de serveurs internationaux ainsi que de certains foyers algériens suggérée par les nouvelles références au modèle Malika (2010) et au modèle Shaw. et Singh (2000). Nous aimerions demander plus d'informations sur certaines caractéristiques du terrain qui ne sont pas disponibles dans les bulletins et les zones climatiques de l'Algérie.

Dans ce chapitre, un modèle d'intelligence artificielle unique basé sur un réseau de neurones (NN) est présenté et adapté pour maximiser la valeur d'évapotranspiration prévue pour tous les paramètres climatiques collectés sur le terrain sur une période de 22 ans.

III.1.1. . Nouveau modèle d'évaporation :

Un nouveau modèle d'apprentissage automatique (ML) est utilisé pour appliquer l'évaporation et l'adaptation à la relation entre les variables et les valeurs avec un réseau neuronal (NN).

III.1.2. . Intelligence artificielle et apprentissage automatique :

Avant de commencer, il convient de noter la relation entre l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique.

De manière générale, l'apprentissage automatique fait partie du domaine de l'intelligence artificielle et se concentre sur les méthodes et technologies qui permettent aux systèmes d'apprendre et de s'améliorer grâce aux données. L'intelligence artificielle a une portée plus large, car elle comprend un large éventail de concepts et de technologies visant à permettre aux systèmes informatiques d'effectuer des tâches. Ce qui nécessite généralement une compréhension humaine. L'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique font partie du même domaine, mais ils diffèrent sur certains points :

la définition:

Intelligence artificielle : fait référence à un ensemble de techniques et de modèles visant à faire en sorte que les systèmes informatiques effectuent des tâches qui nécessitent normalement la compréhension humaine.

Apprentissage automatique : une branche de l'intelligence artificielle qui se concentre sur le développement de systèmes capables d'apprendre et d'analyser des données automatiquement sans avoir recours à une programmation explicite.

l'opération:

Intelligence artificielle : comprend un large éventail de technologies et de concepts tels que la recherche, la planification, le traitement du langage naturel, la robotique et bien plus encore.

Apprentissage automatique : il se concentre principalement sur l'application de techniques telles que les réseaux de neurones artificiels, l'apprentissage en profondeur et l'apprentissage par renforcement pour développer des modèles capables d'apprendre et d'améliorer leurs performances à l'aide de données.

Applications:

Intelligence artificielle : elle peut être utilisée dans un large éventail de domaines tels que la médecine, l'industrie manufacturière, le commerce, les voitures autonomes, les jeux, etc.

Apprentissage automatique : il est largement utilisé dans des applications telles que la classification, la prédiction, la reconnaissance d'objets, le traitement du langage naturel, les systèmes de recommandation et le contrôle autonome.

développement:

Intelligence artificielle : elle inclut des concepts plus larges et utilise différentes technologies, notamment l'apprentissage automatique, la logique, le traitement du langage naturel, la robotique et autres.

Apprentissage automatique : il repose principalement sur des données et des algorithmes qui permettent aux systèmes d'apprendre des modèles et d'effectuer des tâches sans avoir à spécifier des détails précis à l'avance.

III.1.3. . Choisissez le type de modèle à appliquer:

L'intelligence artificielle englobe divers types de réseaux de neurones, chacun se distinguant par sa structure et le calcul de ses nœuds.

Dans cette étude, nous nous concentrons sur un type particulier : le réseau neuronal de régression généralisée (GRNN).

Le GRNN est une variante des réseaux neuronaux à base radiale, introduite par D.F. Specht en 1991.

Le GRNN peut être utilisé pour la régression, la prédiction et la classification, offrant également une solution adaptée aux systèmes dynamiques en ligne.

Cette technique représente une amélioration dans les réseaux de neurones non paramétriques, chaque échantillon d'entraînement étant associé à une moyenne pour un neurone à base radiale.

Les avantages du GRNN sont multiples :

- L'apprentissage en un seul passage, sans besoin de rétropropagation.
- Une précision élevée dans l'estimation grâce à l'utilisation de fonctions gaussiennes.
- Sa capacité à gérer les bruits dans les entrées.
- Un entraînement nécessitant relativement peu de données.

Cependant, le GRNN présente quelques inconvénients :

- Sa taille peut devenir importante, ce qui peut entraîner des coûts élevés en termes de calcul.

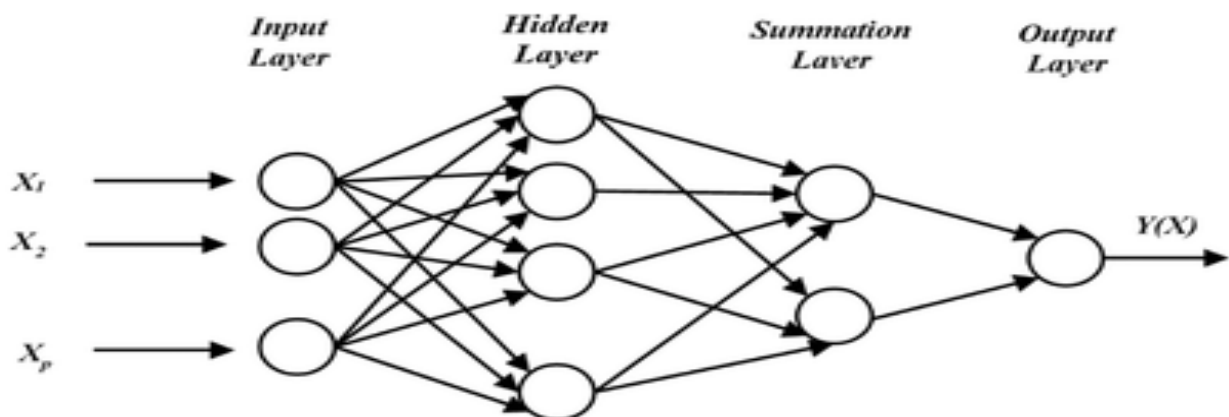


Figure III.1. General-regression-neural-network-GRNN-architecture

III.1.4. . Sélection du langage de programmation:

Le GRNN a été implémenté dans divers langages informatiques, dont MATLAB, le langage de programmation R, Python et Node.js.

Les réseaux de neurones, en particulier les perceptrons multicouches, sont capables d'identifier des modèles non linéaires dans les données en les combinant avec des modèles linéaires généralisés, en analysant la distribution des résultats (légèrement différente du GRNN d'origine). Plusieurs développements réussis ont été observés, notamment la régression de Poisson, la régression logistique ordinaire, la régression quantile et la régression logistique multinomiale, telles que décrites par Fallah en 2009.

Dans cette étude, nous avons opté pour le langage Python en raison de sa richesse en bibliothèques facilitant la création de modèles d'intelligence artificielle. Python domine largement ce domaine depuis de nombreuses années.

III.2. Implémentation de GRNN en Python :

Pour appliquer le modèle d'intelligence artificielle du GRNN, il est essentiel de comprendre son fonctionnement. Ce processus peut être divisé en cinq étapes principales :

1. Prétraitement des données :

Avant de commencer, normalisez les caractéristiques en entrée pour garantir qu'elles sont sur une échelle similaire. Ce prétraitement favorise la convergence et la stabilité de l'algorithme.

2. Architecture typique :

Le GRNN se compose principalement de deux couches : une couche de fonctions de base radiale (RBF) et une couche composite linéaire.

- La couche RBF évalue la similitude entre les données d'entrée et les échantillons d'apprentissage en utilisant des fonctions de base radiale telles que les fonctions gaussiennes.
- La couche composite linéaire combine les sorties de la couche RBF en utilisant des moyennes pondérées.

3. Entraînement :

Pendant la phase d'entraînement, spécifiez les paramètres des fonctions de base radiale (tels que les centres et les largeurs) ainsi que les poids combinés linéaires. Cela peut être réalisé en utilisant des techniques telles que la descente de gradient ou la régression des moindres carrés.

4. Prédiction :

Pour effectuer des prédictions, utilisez les paramètres entraînés pour calculer les sorties GRNN pour de nouvelles données d'entrée. Transmettez les données d'entrée à travers la couche RBF pour calculer l'activation des fonctions de base radiale, puis utilisez les poids de la couche de combinaison linéaire pour calculer le résultat final sous forme d'une somme pondérée des activations RBF.

5. Évaluation :

Après avoir effectué des prédictions, évaluez les performances du GRNN en utilisant des mesures telles que l'erreur quadratique moyenne, l'erreur absolue moyenne et le coefficient de détermination (R^2).

III.4. Résultats :

Après avoir exécuté le code innovant et transmis les données nécessaires, nous avons obtenu un modèle d'intelligence artificielle capable de prédire l'évaporation.

Afin de garantir son efficacité, il a été testé et a donné les résultats suivants présentés dans les tableaux :

Tableau III.1. Résultats des tests du modèle pour l'année 2000.

Year	2000											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.00	0.00	0.03	0.10	0.30	0.01	0.00	0.01	0.10	0.10	0.03	0.12
ET0	1.83	3.41	4.87	7.14	7.69	8.18	8.90	7.71	6.24	4.17	3.16	2.23
Sun	32654	35797	38878	43230	42310	46316	46651	44692	38556	35401	32750	31079
Temp	7.69	12.68	16.73	21.24	27.25	29.13	32.56	31.98	27.72	20.29	15.46	11.84
Humidity	70.00	44.98	36.11	31.65	34.49	29.98	24.17	25.39	35.58	49.44	49.22	54.43
DewPiont	2.00	-0.01	0.44	2.40	8.96	8.53	8.18	7.99	9.40	8.51	4.09	2.21
Pressure	1009	1011	1005	996.8	998.4	1001	998.5	1001	999.4	1002	1003	1004
VPD	0.38	0.91	1.34	1.90	2.57	3.07	3.94	3.79	2.64	1.31	0.99	0.70
Wind	7.84	9.88	10.71	16.55	13.38	12.02	11.73	9.29	9.92	12.09	11.21	9.88
SoilTemp	7.50	13.27	18.46	23.69	30.07	33.22	36.19	35.29	30.72	22.34	15.90	11.61
SoilMoist	0.12	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.03
Radiation	215.5	275.2	351.6	420.2	466.2	482.7	471.5	432.6	372.0	296.4	230.3	198.3
Pred ET0	1.81	3.29	4.88	7.10	7.65	8.06	8.77	7.92	6.24	4.23	3.20	2.32

Tableau III.2. Résultats des tests du modèle pour l'année 2001.

year	2001											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.39	0.01	0.00	0.04	0.15	0.00	0.01	0.05	0.26	0.08	0.35	0.43
ET0	2.17	3.50	5.72	6.41	7.73	8.86	9.43	7.87	6.06	4.70	2.61	1.75
Sun	31734	35610	39205	42910	43367	46920	45910	43474	38737	36391	32120	27528
Temp	10.23	11.79	19.81	20.01	25.01	31.09	34.27	32.71	28.86	25.58	15.31	9.67
Humidity	62.54	44.64	34.89	33.69	34.05	23.72	23.20	29.15	40.33	42.12	58.65	66.53
DewPiont	2.88	-1.19	2.26	2.17	5.95	6.55	8.72	11.54	13.22	10.53	6.54	3.07
Pressure	1004	1005	1000	1000	997.9	999.6	998.1	999.8	998.9	1005	1003	1006
VPD	0.52	0.87	1.69	1.71	2.37	3.69	4.43	3.70	2.53	2.07	0.83	0.47
Wind	11.55	12.20	13.70	13.67	14.79	11.62	12.56	10.70	9.97	8.49	9.42	8.19
SoilTemp	10.01	12.67	21.24	23.23	28.43	34.87	37.70	36.30	32.21	27.25	16.00	9.82
SoilMoist	0.06	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06

Radiation	216.5	275.8	351.0	419.7	465.9	482.7	471.7	433.0	372.6	297.0	230.7	198.4
Pred ETO	2.18	3.40	5.73	6.34	7.59	8.75	9.28	7.94	6.10	4.81	2.69	1.82

Tableau III.3. Résultats des tests du modèle pour l'année 2002.

Year	2002											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.21	0.01	0.09	0.15	0.14	0.00	0.01	0.41	0.17	0.96	1.09	0.08
ETO	1.86	3.47	5.40	6.25	7.78	8.93	8.86	7.93	6.40	4.13	2.89	1.99
Sun	30603	35453	38139	41702	45565	45984	45774	43465	39743	37252	30438	31032
Temp	8.82	13.32	17.73	20.09	24.94	30.50	33.08	31.83	27.44	21.13	15.10	11.60
Humidity	66.56	43.79	35.31	36.08	29.59	24.71	25.91	32.01	36.30	48.78	60.69	68.57
DewPiont	2.25	0.02	0.60	2.84	4.41	7.09	9.54	11.76	10.14	8.83	6.79	5.63
Pressure	1013	1006	1000	997.7	998.6	1000	997.5	998.0	999.6	1003	1001	1004
VPD	0.46	0.99	1.46	1.69	2.44	3.52	4.02	3.46	2.53	1.44	0.77	0.48
Wind	7.42	9.95	13.60	13.86	14.49	12.94	11.79	11.77	11.20	8.81	13.86	11.88
SoilTemp	8.58	14.10	19.54	22.70	28.34	34.24	37.20	35.21	30.30	22.37	15.14	11.01
SoilMoist	0.08	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.07	0.10	0.09
Radiation	216.2	275.2	350.4	419.3	465.7	482.7	471.9	433.4	373.1	297.6	231.2	198.5
Pred ETO	1.85	3.42	5.38	6.21	7.73	8.73	8.76	7.92	6.37	4.11	2.91	2.06

Tableau III.4. Résultats des tests du modèle pour l'année 2003.

Year	2003											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	2.14	0.46	0.16	0.39	0.10	0.09	0.01	0.08	0.31	0.97	0.63	0.70
ETO	2.04	2.49	3.84	6.24	8.03	8.06	8.93	7.71	6.22	4.21	2.54	1.96
Sun	28137	34066	36608	42107	43608	46230	46235	44190	39620	29926	29959	29396
Temp	10.17	9.46	14.96	20.32	25.88	31.07	34.95	32.90	27.74	23.24	15.04	9.86
Humidity	67.23	65.58	50.77	42.15	31.73	28.28	21.45	26.72	39.47	52.70	65.56	68.71
DewPiont	3.87	2.95	3.88	5.45	5.98	9.14	8.38	10.00	11.72	11.55	8.15	3.98
Pressure	1003	1003	1006	997.8	999.5	999.6	999.6	1000	1001	999.7	1002	1004

VPD	0.46	0.46	0.93	1.62	2.49	3.47	4.65	3.89	2.47	1.58	0.66	0.42
Wind	14.45	12.95	9.12	15.72	14.77	9.65	10.48	9.42	10.70	10.53	10.99	14.53
SoilTemp	9.87	9.47	16.51	22.24	29.23	35.02	38.35	36.40	31.07	24.66	15.09	9.40
SoilMoist	0.19	0.12	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.08	0.10	0.11
Radiation	215.8	274.6	349.8	418.8	465.4	482.6	472.1	433.8	373.7	298.2	231.6	198.5
Pred ET0	2.02	2.48	3.81	6.14	7.98	8.05	8.90	8.01	6.16	4.26	2.57	2.05

Tableau III.5. Résultats des tests du modèle pour l'année 2004.

Year	2004											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.11	0.12	1.14	1.56	0.55	0.19	0.00	0.13	0.05	0.69	1.14	1.63
ET0	2.28	3.39	4.71	5.22	6.41	7.71	8.33	7.72	6.12	4.33	2.26	1.73
Sun	32026	34950	37983	41737	45179	45961	46720	43790	39374	33235	31239	28074
Temp	10.67	13.41	16.25	17.72	21.54	29.07	32.09	33.16	27.06	23.25	13.41	10.64
Humidity	63.88	50.11	46.17	51.90	43.96	31.23	25.78	29.59	36.88	40.72	68.04	73.13
DewPiont	3.56	2.15	3.59	6.77	7.54	8.72	9.07	11.87	10.10	7.97	7.24	5.70
Pressure	1003	1006	1004	998.4	998.1	1000	999.6	999.2	1002	1001	1003	1002
VPD	0.53	0.88	1.10	1.10	1.59	3.06	3.76	3.80	2.46	1.87	0.56	0.39
Wind	12.20	10.72	14.11	14.54	13.52	10.35	10.23	10.05	10.20	9.21	9.99	11.51
SoilTemp	10.76	14.09	17.83	19.02	24.66	32.49	35.96	36.65	30.12	24.73	13.41	10.01
SoilMoist	0.04	0.03	0.05	0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.15	0.22
Radiation	215.5	275.3	351.7	420.3	466.2	482.7	471.5	432.6	371.9	296.3	230.2	198.3
Pred ET0	2.27	3.30	4.56	5.20	6.37	7.67	8.32	7.92	6.08	4.52	2.26	1.79

Tableau III.6. Résultats des tests du modèle pour l'année 2005.

Year	2005											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.00	0.70	0.09	0.12	0.02	0.13	0.03	0.05	0.40	0.39	0.36	0.75
ET0	2.17	2.67	4.78	6.42	7.99	8.33	9.19	8.00	5.77	3.79	2.81	1.61
Sun	32655	33545	37026	41513	44642	46212	45998	44320	38803	35731	31494	28707
Temp	7.89	8.78	16.50	20.47	26.58	30.46	34.54	32.46	27.05	22.29	15.17	9.16
Humidity	63.72	58.43	39.99	34.62	26.60	28.50	22.87	27.00	42.84	52.86	56.96	71.50

DewPiont	0.80	0.32	1.47	3.06	4.71	9.00	8.86	9.28	12.12	11.51	6.00	3.95
Pressure	1008	1001	1001	999.3	1000	1000	998.3	998.6	1001	1003	1002	1004
VPD	0.45	0.54	1.32	1.75	2.74	3.34	4.48	3.85	2.26	1.38	0.84	0.37
Wind	12.13	12.75	12.22	15.29	12.67	11.58	11.67	10.36	9.90	8.00	10.86	9.16
SoilTemp	7.36	8.97	17.64	22.90	29.85	34.37	38.00	36.20	30.22	24.13	15.86	9.07
SoilMoist	0.11	0.09	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.05	0.10
Radiation	216.6	275.8	351.1	419.8	466.0	482.7	471.7	433.0	372.5	296.9	230.7	198.4
Pred ETO	2.13	2.59	4.72	6.39	7.86	8.29	9.07	8.17	5.74	3.87	2.79	1.71

Tableau III.7. Résultats des tests du modèle pour l'année 2006.

Year	2006											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	1.48	1.06	0.02	1.34	0.26	0.12	0.00	0.75	1.39	0.06	1.13	0.86
ETO	1.80	2.35	4.90	6.70	7.23	9.44	8.50	7.73	5.48	4.71	2.38	1.63
Sun	28145	32720	39130	40878	43596	44985	46050	44451	39668	36367	30640	27267
Temp	8.42	9.98	16.35	22.03	27.02	30.59	33.09	32.09	25.34	23.45	14.98	10.92
Humidity	68.32	69.93	44.12	37.36	35.75	22.42	25.90	30.48	46.63	39.81	64.65	73.37
DewPiont	2.53	4.36	2.88	4.89	8.25	4.35	9.78	11.17	11.93	7.94	7.68	6.00
Pressure	1004	1001	1000	998.1	999.8	1001.	1000	996.9	1000	1001	1007	1009
VPD	0.39	0.42	1.22	1.85	2.66	3.82	3.97	3.60	1.93	1.90	0.71	0.40
Wind	11.51	11.02	14.76	13.91	11.09	14.23	10.58	9.90	10.08	9.27	8.37	9.32
SoilTemp	8.30	10.03	17.35	24.20	29.35	33.47	37.09	35.45	27.72	24.86	14.86	10.80
SoilMoist	0.12	0.17	0.04	0.07	0.04	0.02	0.02	0.03	0.07	0.03	0.13	0.15
Radiation	216.2	275.3	350.5	419.4	465.8	482.7	471.9	433.4	373.0	297.5	231.1	198.5
Pred ETO	1.85	2.23	4.83	6.52	7.24	9.27	8.49	7.89	5.46	4.73	2.43	1.69

Tableau III.8. Résultats des tests du modèle pour l'année 2007.

Year	2007											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.08	0.28	0.30	1.01	0.07	0.00	0.01	0.03	0.20	0.10	0.02	0.25

ET0	1.98	3.25	4.27	5.05	7.43	9.36	8.32	7.83	5.89	4.81	2.98	2.36
Sun	31020	33024	38494	38631	45389	46709	46628	42670	39009	35195	33008	31531
Temp	10.87	13.21	14.65	18.81	24.65	31.48	32.05	32.50	28.21	22.43	14.15	10.77
Humidity	64.62	57.19	47.60	52.54	35.39	24.17	25.63	27.65	39.74	43.72	50.80	56.71
DewPiont	3.88	4.02	2.54	7.56	6.53	6.45	8.68	10.16	12.33	8.56	3.16	1.92
Pressure	1011	1003	1001	998.6	998.8	997.2	1000	997.8	1001	1001	1002	1007
VPD	0.53	0.73	1.00	1.16	2.28	3.87	3.76	3.75	2.47	1.69	0.88	0.63
Wind	6.89	13.43	14.84	12.54	13.76	13.38	10.09	10.24	9.82	12.44	10.94	12.39
SoilTemp	10.19	13.49	16.28	20.89	27.25	34.68	36.19	35.99	31.21	24.33	14.93	10.91
SoilMoist	0.07	0.07	0.04	0.08	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
Radiation	215.9	274.7	349.9	418.9	465.5	482.7	472.1	433.8	373.6	298.1	231.5	198.5
Pred ET0	1.95	3.14	4.26	5.00	7.37	9.20	8.29	8.01	6.02	4.83	3.01	2.42

Tableau III.9. Résultats des tests du modèle pour l'année 2008.

Year	2008											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.15	0.08	0.06	0.03	0.18	0.07	0.01	0.06	1.22	1.69	0.03	0.78
ET0	2.15	3.04	4.76	6.79	7.98	8.17	9.26	7.66	6.17	3.13	2.50	1.65
Sun	30780	34267	38961	42544	44249	46545	46495	44353	35414	32833	31945	29149
Temp	10.54	12.29	16.10	21.12	25.28	29.17	34.44	32.67	27.97	20.27	13.06	9.18
Humidity	60.25	47.48	40.63	29.22	32.47	30.99	23.66	30.49	39.39	66.17	64.68	73.02
DewPiont	2.31	0.69	1.30	0.83	6.21	8.96	9.24	12.02	10.70	13.30	6.05	4.23
Pressure	1009	1011	999.3	999.1	996.1	999.1	998.8	998.6	999.9	1003	1002	1004
VPD	0.58	0.83	1.25	1.98	2.40	3.03	4.43	3.64	2.64	0.89	0.58	0.35
Wind	8.76	8.56	13.51	14.02	16.13	11.61	11.68	9.87	10.83	8.83	11.95	10.12
SoilTemp	10.34	13.37	18.29	23.90	28.54	33.48	38.11	36.54	30.48	21.22	12.99	9.11
SoilMoist	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06	0.10	0.11	0.14
Radiation	215.6	275.4	351.8	420.4	466.3	482.7	471.4	432.5	371.8	296.3	230.2	198.3
Pred ET0	2.11	3.01	4.83	6.79	7.96	8.08	9.05	7.81	6.20	3.16	2.46	1.72

Tableau III.10. Résultats des tests du modèle pour l'année 2009.

Year	2009											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	1.99	0.50	1.40	0.86	0.13	0.01	0.06	0.02	1.74	0.07	0.00	0.26
ET0	1.73	2.70	4.02	5.28	7.42	8.35	8.59	8.43	4.84	4.44	2.93	2.14
Sun	27955	35415	38001	41647	45905	45720	45888	43734	36734	37358	32697	29270
Temp	9.92	10.01	14.24	16.61	24.70	30.65	34.46	33.21	25.23	21.36	15.41	12.20
Humidity	75.72	62.67	53.68	49.53	32.78	24.56	22.77	26.32	54.01	44.15	48.73	62.32
DewPiont	5.61	2.61	3.89	4.76	5.72	7.01	9.01	10.21	14.03	7.85	3.99	4.75
Pressure	1000	1002	1000	999.5	1001	999.3	1000	999.3	1000	1002	1005	1000
VPD	0.33	0.52	0.87	1.11	2.36	3.52	4.45	3.95	1.75	1.55	0.99	0.60
Wind	12.38	12.61	12.25	15.19	12.22	10.45	9.67	11.74	9.84	9.98	9.33	11.02
SoilTemp	9.36	9.86	14.96	18.41	27.98	34.44	38.29	36.57	27.14	23.21	15.96	11.74
SoilMoist	0.24	0.16	0.08	0.07	0.03	0.02	0.02	0.01	0.09	0.03	0.02	0.04
Radiation	216.6	275.9	351.2	419.9	466.1	482.7	471.6	432.9	372.4	296.8	230.6	198.4
Pred ET0	1.73	2.62	3.91	5.26	7.42	8.30	8.54	8.48	4.95	4.47	3.00	2.22

Tableau III.11. Résultats des tests du modèle pour l'année 2010.

Year	2010											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.27	0.57	0.35	0.39	0.17	0.10	0.05	0.03	0.32	0.15	0.38	0.10
ET0	2.27	3.13	4.91	5.61	6.94	8.54	8.47	7.87	6.20	4.63	2.88	2.39
Sun	31773	32150	37618	39922	42933	46389	46576	44460	39294	35748	32538	30775
Temp	10.98	12.67	16.95	20.66	22.83	29.92	33.53	33.22	27.40	20.96	15.12	11.17
Humidity	62.81	57.42	42.97	44.34	35.59	29.20	26.46	29.40	38.03	43.49	56.00	51.18
DewPiont	3.62	3.60	2.67	7.06	5.53	8.52	10.61	12.07	10.99	6.86	5.81	0.91
Pressure	1000	997.2	1002	1000	998.6	996.6	999.2	998.8	999.8	999.5	998.9	1001
VPD	0.55	0.74	1.29	1.50	1.96	3.25	4.05	3.79	2.42	1.59	0.82	0.72
Wind	11.74	13.06	13.52	11.55	13.96	12.31	10.31	10.07	11.10	12.13	11.60	11.36

SoilTemp	10.85	12.48	18.47	23.62	26.39	33.62	37.47	37.17	30.62	22.91	15.58	11.03
SoilMoist	0.05	0.09	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03
Radiation	216.3	275.4	350.6	419.4	465.8	482.7	471.8	433.3	373.0	297.4	231.1	198.5
Pred ETO	2.28	3.02	4.91	5.54	6.94	8.46	8.43	8.05	6.18	4.66	2.89	2.51

Tableau III.12. Résultats des tests du modèle pour l'année 2011.

Year	2011											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.28	0.22	1.07	0.92	0.89	0.28	0.01	0.23	0.12	1.20	0.14	0.00
ETO	2.15	3.07	3.84	5.72	6.31	7.35	8.71	7.72	6.59	3.81	2.81	2.28
Sun	31049	33880	36992	41760	43112	45759	46313	44497	39336	36037	32329	31443
Temp	10.82	11.22	14.13	20.85	23.64	28.23	33.50	32.54	29.46	20.64	15.61	11.58
Humidity	58.30	55.44	56.36	43.77	41.82	36.62	25.88	28.13	35.22	53.08	59.49	58.84
DewPiont	2.25	1.84	4.65	6.35	8.48	10.50	9.99	10.78	11.26	9.75	7.19	3.25
Pressure	1004	1003	1004	999.1	1001	1000	997.2	999.3	1000	1003	1003	1010
VPD	0.61	0.67	0.81	1.57	1.90	2.70	4.09	3.73	2.89	1.26	0.79	0.63
Wind	9.04	14.54	12.16	11.75	11.14	10.04	11.11	9.43	10.55	8.87	11.06	11.60
SoilTemp	10.84	11.94	15.12	23.28	26.54	32.31	37.39	36.27	32.49	22.69	15.88	11.87
SoilMoist	0.04	0.04	0.09	0.06	0.05	0.03	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02
Radiation	215.9	274.8	349.9	419.0	465.5	482.6	472.0	433.7	373.5	298.0	231.5	198.5
Pred ETO	2.21	2.98	3.76	5.74	6.35	7.33	8.70	7.88	6.61	3.86	2.84	2.36

Tableau III.13. Résultats des tests du modèle pour l'année 2012.

Year	2012											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.00	0.01	0.44	0.46	0.03	0.00	0.09	0.01	1.31	0.16	0.73	0.10
ETO	2.54	2.96	4.39	6.14	7.34	8.79	9.33	8.33	6.27	4.50	2.58	2.15
Sun	31823	34632	35553	41402	43481	46251	46402	44529	38636	34033	30713	30948

Temp	10.37	8.76	15.77	19.48	25.57	32.76	34.92	34.07	27.43	22.98	16.30	10.84
Humidity	53.67	52.54	43.08	43.26	30.38	24.12	22.12	23.32	38.43	43.39	64.64	63.53
DewPiont	0.62	-1.30	1.88	4.99	5.89	8.30	8.99	8.49	10.39	8.67	9.03	3.61
Pressure	1008	1004	1007	995.4	1000	999.0	998.7	1000	1000	999.7	1000	1006
VPD	0.66	0.62	1.14	1.51	2.46	4.03	4.64	4.39	2.49	1.81	0.78	0.55
Wind	12.18	14.07	11.49	16.18	11.66	10.83	11.58	10.02	11.11	10.56	9.55	11.60
SoilTemp	10.75	10.06	17.39	21.44	29.26	36.52	38.51	37.48	29.30	24.91	16.80	10.42
SoilMoist	0.02	0.03	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.05	0.03	0.09	0.08
Radiation	215.6	275.4	351.9	420.4	466.3	482.7	471.4	432.4	371.8	296.2	230.1	198.3
Pred ET0	2.52	2.91	4.30	6.03	7.26	8.64	9.16	8.44	6.26	4.55	2.65	2.17

Tableau III.14. Résultats des tests du modèle pour l'année 2013.

Year	2013											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.20	0.07	0.46	1.50	0.08	0.02	0.06	0.25	0.67	0.95	0.04	0.36
ET0	2.41	3.19	4.85	6.11	7.62	8.70	8.54	7.89	5.80	4.55	3.34	1.80
Sun	31005	34164	36261	41102	44413	46691	45942	43974	37990	36658	32072	28816
Temp	10.98	10.57	16.63	20.76	24.57	28.90	33.10	31.42	27.85	24.29	15.37	10.55
Humidity	58.79	51.85	45.54	38.87	32.83	26.86	26.52	28.72	44.76	48.23	51.56	64.20
DewPiont	2.63	0.32	3.67	4.41	5.68	6.81	10.41	10.13	13.34	11.60	4.81	3.58
Pressure	1004	1000	995.6	997.8	996.9	999.5	999.7	999.2	1000	1002	1000	1009
VPD	0.61	0.70	1.16	1.71	2.28	3.14	3.92	3.46	2.32	1.74	0.96	0.52
Wind	12.91	15.54	16.06	12.83	14.88	12.83	10.93	10.84	10.05	9.27	14.69	8.43
SoilTemp	10.94	11.38	17.70	23.20	28.25	33.01	37.00	35.24	30.01	25.13	16.46	10.73
SoilMoist	0.04	0.03	0.04	0.06	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06	0.07	0.03	0.04
Radiation	216.7	276.0	351.3	419.9	466.1	482.7	471.6	432.8	372.3	296.8	230.6	198.4
Pred ET0	2.44	3.16	4.73	6.13	7.51	8.53	8.49	7.99	5.79	4.58	3.37	1.90

Tableau III.15. Résultats des tests du modèle pour l'année 2014.

Year	2014											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.31	0.08	0.85	0.02	0.45	0.10	0.02	0.00	0.13	0.05	0.28	0.08
ET0	2.34	3.47	4.25	6.71	7.47	8.30	9.00	7.97	6.74	5.21	3.22	2.10
Sun	31034	33820	36772	43355	44235	45236	45994	44636	38051	36930	29195	30449
Temp	11.09	13.24	14.54	21.58	25.12	29.38	33.26	33.44	30.21	23.90	17.33	10.86
Humidity	63.14	51.42	50.90	32.75	33.46	28.55	24.07	26.56	32.98	35.47	50.01	65.39
DewPiont	3.86	2.30	3.29	3.09	6.05	7.86	8.70	10.52	10.18	6.43	6.13	4.21
Pressure	1002	1003	1000	999.1	998.8	998.8	998.1	997.9	999.8	1002	1000	1006
VPD	0.54	0.85	0.92	1.91	2.34	3.18	4.12	4.02	3.17	2.11	1.06	0.50
Wind	12.44	12.90	14.42	13.62	12.76	11.77	11.60	9.99	10.68	10.78	12.35	13.70
SoilTemp	10.64	13.86	15.79	24.42	28.37	33.25	37.09	37.10	32.81	25.71	17.63	11.07
SoilMoist	0.07	0.03	0.06	0.02	0.04	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04
Radiation	216.3	275.5	350.6	419.5	465.8	482.7	471.8	433.2	372.9	297.4	231.0	198.5
Pred ET0	2.31	3.35	4.24	6.66	7.35	8.21	8.95	8.21	6.82	5.28	3.25	2.17

Tableau III.16. Résultats des tests du modèle pour l'année 2015.

Year	2015											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.16	0.39	0.63	0.00	0.02	0.06	0.01	0.29	0.66	0.28	0.09	0.00
ET0	2.36	2.95	4.82	6.42	8.29	8.78	8.69	7.70	6.09	4.35	2.81	1.78
Sun	32149	33360	38657	42730	45828	46104	46692	43183	38479	35780	31533	31212
Temp	9.97	10.36	15.57	21.91	27.01	30.01	33.12	32.80	27.92	22.27	16.08	11.29
Humidity	58.65	56.53	43.92	30.63	26.44	27.62	23.95	32.77	41.42	49.01	53.27	60.55
DewPiont	1.51	1.36	2.09	2.52	4.45	7.95	8.83	12.89	11.80	10.33	5.87	3.18
Pressure	1007	1000	1002	1003	1000	999.7	999.3	999.3	999.9	1001	1007	1015
VPD	0.58	0.61	1.13	2.00	2.89	3.31	4.08	3.59	2.52	1.52	0.96	0.61
Wind	12.91	15.83	15.56	10.78	13.84	12.80	10.41	10.36	10.33	11.39	9.43	5.49
SoilTemp	10.14	11.29	16.80	24.97	30.48	34.15	37.14	36.43	30.15	24.03	17.07	11.59
SoilMoist	0.04	0.04	0.05	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05	0.03	0.03	0.02
Radiation	216.0	274.9	350.0	419.0	465.5	482.6	472.0	433.6	373.4	298.0	231.5	198.5
Pred ET0	2.40	2.91	4.72	6.42	8.19	8.60	8.61	7.70	6.10	4.42	2.86	1.91

Tableau III.17. Résultats des tests du modèle pour l'année 2016.

Year	2016											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.04	0.14	0.15	0.87	0.06	0.09	0.00	0.06	1.05	0.03	0.71	0.29
ET0	2.38	3.45	5.28	6.23	8.06	8.65	8.78	7.48	5.95	4.95	2.73	1.77
Sun	31556	33949	38021	41136	44394	46465	46506	44238	39589	36897	32308	28908
Temp	11.89	13.53	15.90	22.01	25.91	30.93	33.16	31.91	27.63	24.51	15.39	12.18
Humidity	56.47	47.20	38.30	39.54	29.27	27.19	24.97	29.05	43.37	40.62	60.18	69.93
DewPiont	2.88	1.64	-0.15	5.56	4.97	8.34	9.22	10.61	12.45	9.20	6.88	6.43
Pressure	1008	1005	999.0	996.5	998.5	998.3	999.8	1000	1001	1001	1002	1009
VPD	0.69	0.90	1.31	1.87	2.66	3.55	4.08	3.58	2.39	2.00	0.81	0.48
Wind	9.73	12.22	16.53	12.60	14.81	11.82	10.85	9.33	9.79	10.02	10.47	8.77
SoilTemp	12.19	14.31	17.54	24.12	29.27	34.93	37.23	35.92	30.46	25.75	16.06	12.09

SoilMoist	0.03	0.03	0.03	0.07	0.02	0.02	0.00	0.01	0.06	0.04	0.06	0.07
Radiation	215.7	275.5	352.0	420.5	466.3	482.7	471.4	432.4	371.7	296.1	230.1	198.4
Pred ET0	2.39	3.41	5.22	6.23	8.01	8.58	8.66	7.73	6.01	5.00	2.79	1.86

Tableau III.18. Résultats des tests du modèle pour l'année 2017.

Year	2017											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.42	0.04	0.33	1.01	0.04	0.21	0.07	0.12	0.07	0.33	0.05	0.10
ET0	2.55	4.07	5.79	6.07	8.21	9.00	9.70	8.29	6.40	4.29	3.59	2.54
Sun	30135	34331	38012	40102	44393	46146	45425	41441	38997	35701	30609	30362
Temp	9.92	15.18	18.38	20.79	28.36	31.98	34.50	34.39	27.95	21.89	15.48	11.12
Humidity	58.24	46.03	35.65	39.96	27.99	27.09	22.43	24.50	36.59	47.54	46.54	57.58
DewPiont	1.66	2.89	1.60	5.02	7.11	9.26	8.65	9.85	10.76	9.58	3.48	2.54
Pressure	1004	1005	1003	1001	999.9	999.3	999.8	1000	1001	1006	1003	1008
VPD	0.55	1.02	1.47	1.67	2.94	3.72	4.51	4.32	2.56	1.49	1.02	0.61
Wind	17.67	16.52	17.57	13.00	13.19	13.93	13.57	11.09	12.27	10.99	16.47	16.32
SoilTemp	11.19	16.56	20.68	23.84	32.43	36.15	38.65	38.23	30.95	24.21	16.36	11.78
SoilMoist	0.04	0.02	0.03	0.06	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02
Radiation	216.7	276.1	351.3	420.0	466.1	482.7	471.6	432.8	372.3	296.7	230.59	198.46
Pred ET0	2.60	4.04	5.75	6.12	8.19	8.81	9.50	8.36	6.45	4.25	3.59	2.60

Tableau III.19. Résultats des tests du modèle pour l'année 2018.

Year	2018											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.26	0.55	0.74	0.30	0.66	0.00	0.00	0.09	0.18	1.12	0.40	0.11
ET0	3.27	3.06	5.06	6.67	7.11	9.14	10.15	6.86	6.42	4.35	2.92	2.36
Sun	31116	32228	32200	38838	41567	45444	44460	41011	37452	33005	29361	31767
Temp	13.12	11.38	16.63	21.75	24.48	30.49	36.94	31.27	30.19	21.32	15.51	12.74

Humidity	51.04	56.44	45.03	36.98	41.28	28.78	19.54	38.31	36.26	53.59	58.18	58.45
DewPiont	2.61	2.34	3.57	5.32	9.16	9.08	8.79	14.46	12.48	10.59	6.78	4.27
Pressure	1007	998.7	996.2	998.1	997.2	998.0	998.0	999.7	1002	1000	1002	1010
VPD	0.81	0.65	1.17	1.79	2.01	3.32	5.25	2.98	2.94	1.31	0.80	0.68
Wind	17.84	17.05	21.49	17.80	16.38	15.72	13.78	10.30	10.80	15.48	14.59	11.69
SoilTemp	13.87	12.76	18.10	24.63	28.13	35.02	40.77	35.43	33.34	23.05	16.25	13.37
SoilMoist	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04	0.00	0.00	0.03	0.03	0.07	0.05	0.02
Radiation	216.3	275.5	350.7	419.6	465.8	482.7	471.8	433.2	372.8	297.3	231.0	198.5
Pred ETO	3.24	3.05	5.03	6.62	7.10	9.04	10.01	6.93	6.49	4.39	2.92	2.44

Tableau III.20. Résultats des tests du modèle pour l'année 2019.

Year	2019											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.30	0.03	0.60	1.08	0.25	0.00	0.00	0.15	0.89	0.07	0.81	0.15
ETO	3.00	3.80	4.64	6.11	7.28	10.59	10.03	8.21	6.06	5.18	3.01	3.02
Sun	30746	35243	34199	38535	42554	45880	45082	42550	37483	36019	28304	29888
Temp	10.90	12.74	16.77	20.26	23.89	33.85	35.35	34.80	29.41	23.68	14.57	14.20
Humidity	55.11	43.50	41.17	43.88	36.80	20.84	22.70	27.88	41.91	44.32	59.60	54.74
DewPiont	1.67	-0.24	1.80	5.85	6.84	6.74	9.66	12.18	13.89	10.03	6.15	4.66
Pressure	1002	1008	1005	997.5	998.4	998.2	997.9	999.1	1001	1002	999.1	1004
VPD	0.64	0.91	1.26	1.56	2.04	4.46	4.64	4.27	2.58	1.76	0.76	0.79
Wind	21.73	16.17	12.65	17.52	16.84	16.59	14.98	11.54	11.72	14.38	17.54	17.77
SoilTemp	11.54	14.32	19.11	22.57	27.41	37.23	39.18	38.87	32.03	25.93	15.63	14.56
SoilMoist	0.02	0.01	0.02	0.07	0.03	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.06	0.03
Radiation	216.0	274.9	350.1	419.1	465.6	482.7	471.9	433.6	373.4	297.9	231.4	198.5
Pred ETO	3.01	3.70	4.65	6.04	7.26	10.38	9.87	8.37	6.24	5.25	3.05	3.08

Tableau III.21. Résultats des tests du modèle pour l'année 2020.

Year	2020											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.13	0.00	1.16	1.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.59	0.00	0.18	0.18
ET0	2.79	3.94	4.67	5.67	8.17	9.39	9.26	8.77	6.20	4.95	3.28	2.47
Sun	31548	35371	34688	36296	41172	45983	45922	42753	37268	35516	30671	29652
Temp	11.74	15.83	16.93	21.10	27.92	31.34	34.18	34.78	28.10	21.67	17.89	12.21
Humidity	53.52	39.36	48.40	47.18	27.14	26.07	24.70	25.11	41.20	40.10	49.75	57.82
DewPiont	2.03	1.12	4.99	8.29	5.97	8.48	10.07	10.83	12.36	6.90	6.65	3.67
Pressure	1010	1010	1000	999.9	1000	998.4	999.2	998.1	1001	1003	1007	1002
VPD	0.72	1.18	1.10	1.48	2.91	3.60	4.23	4.35	2.41	1.66	1.13	0.65
Wind	14.16	11.54	17.52	16.16	14.87	15.80	13.10	12.79	12.56	13.55	12.76	14.72
SoilTemp	12.65	17.05	18.75	23.37	31.44	35.49	38.40	38.53	31.48	23.66	18.97	13.21
SoilMoist	0.02	0.01	0.06	0.06	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Radiation	215.7	275.6	352.0	420.5	466.4	482.7	471.3	432.3	371.6	296.0	230.1	198.37
Pred ET0	2.81	3.93	4.57	5.65	8.29	9.35	9.13	8.85	6.26	4.90	3.30	2.56

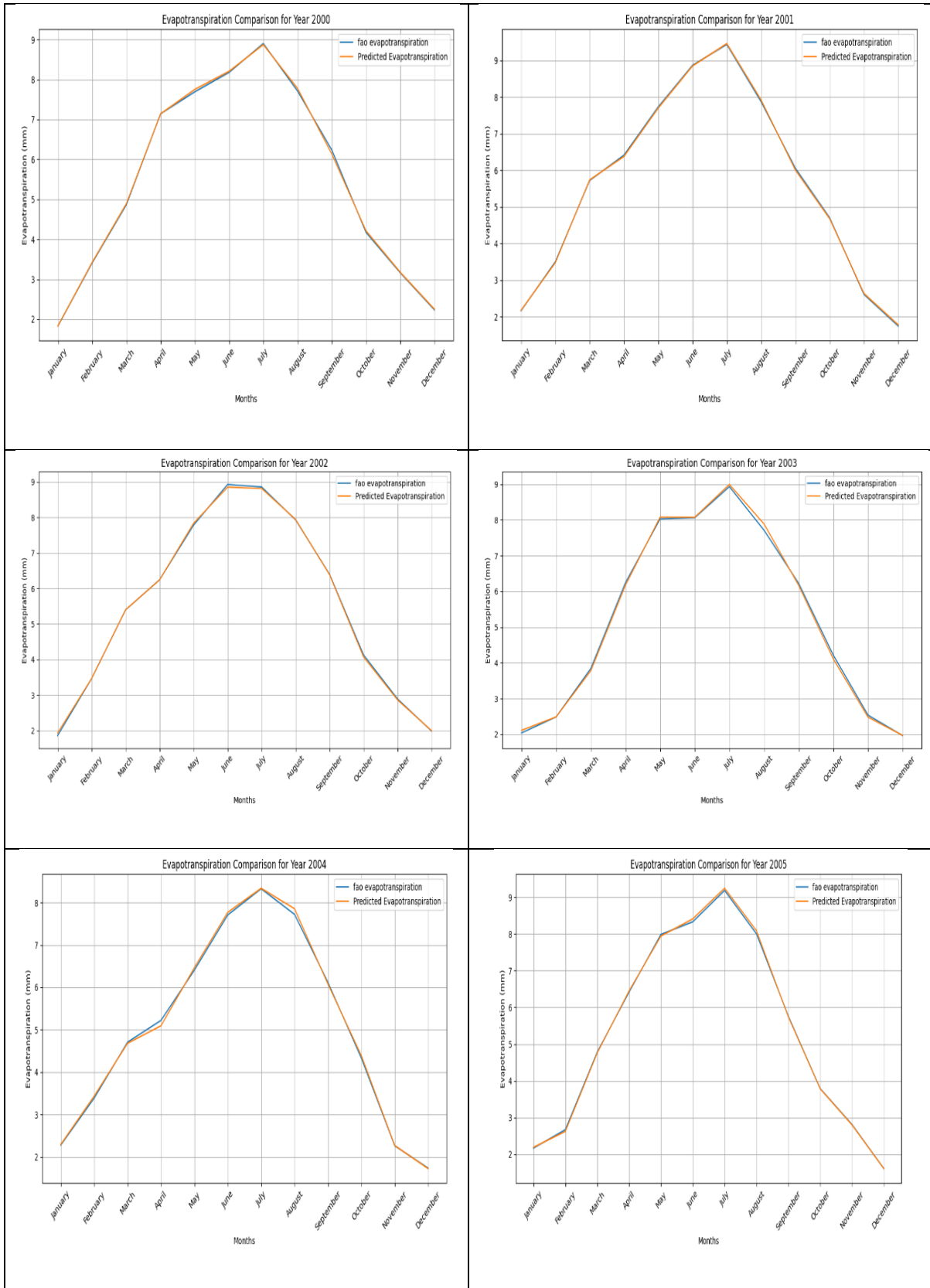
Tableau III.22. Résultats des tests du modèle pour l'année 2021.

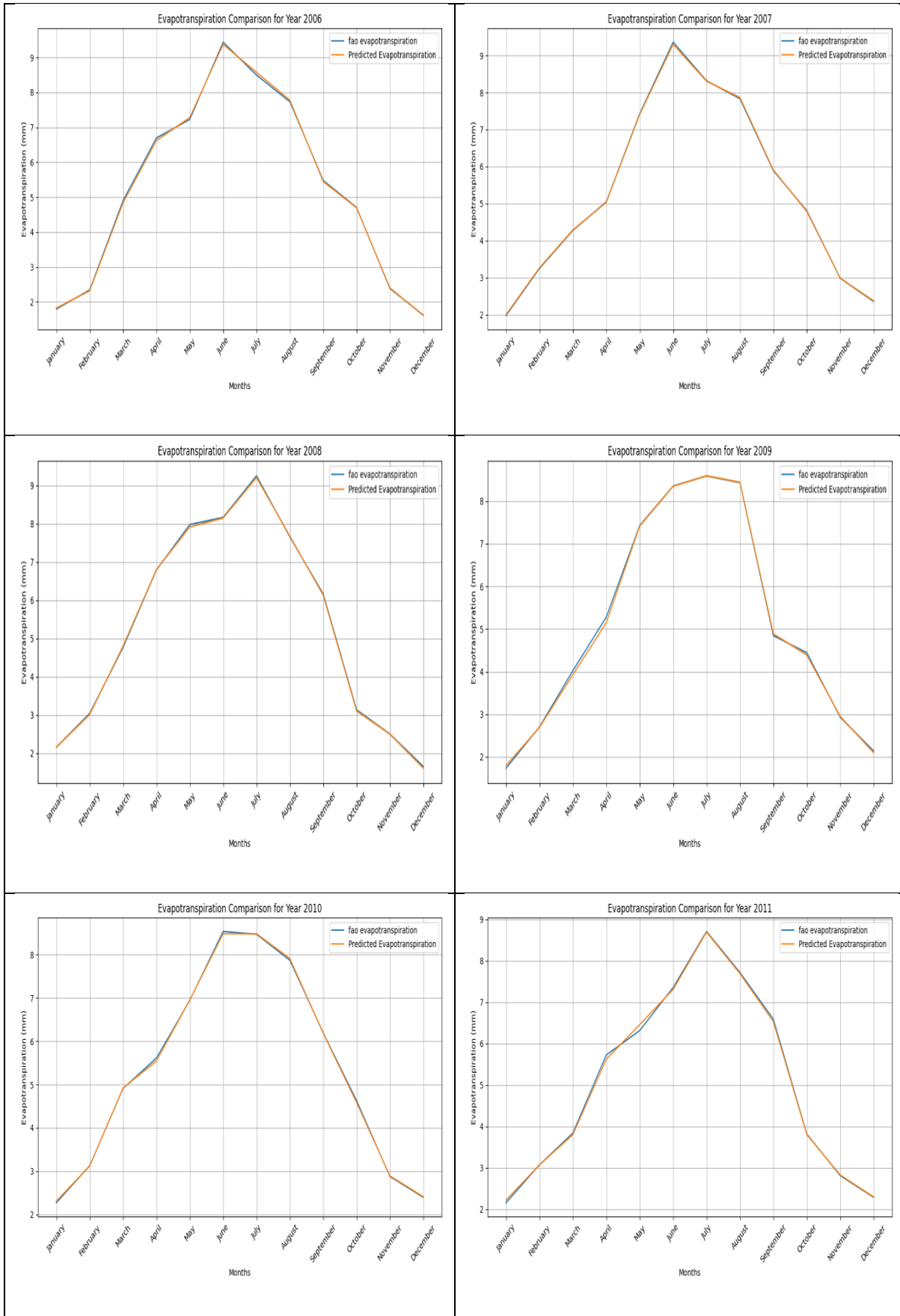
Year	2021											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.03	0.10	0.44	0.21	1.15	0.04	0.00	0.03	0.03	0.15	0.83	0.02
ET0	3.15	4.29	4.74	6.78	7.36	10.60	10.03	9.50	7.61	4.94	3.09	2.45
Sun	32015	33012	36098	38210	42528	42391	45666	42511	37942	35725	30387	31668
Temp	12.31	15.72	16.51	22.05	26.97	34.84	35.96	36.27	31.85	22.69	15.39	11.53
Humidity	49.76	41.28	40.12	33.48	38.09	20.81	20.01	20.83	30.37	41.48	58.66	57.33
DewPiont	1.47	1.75	1.69	4.11	9.11	7.11	8.09	8.69	11.40	8.09	6.58	2.84
Pressure	1003	1006	1005	999.1	1000	999.2	998.8	998.9	1001	1003	1000	1006
VPD	0.80	1.13	1.23	1.92	2.51	4.73	4.98	5.01	3.43	1.75	0.82	0.64

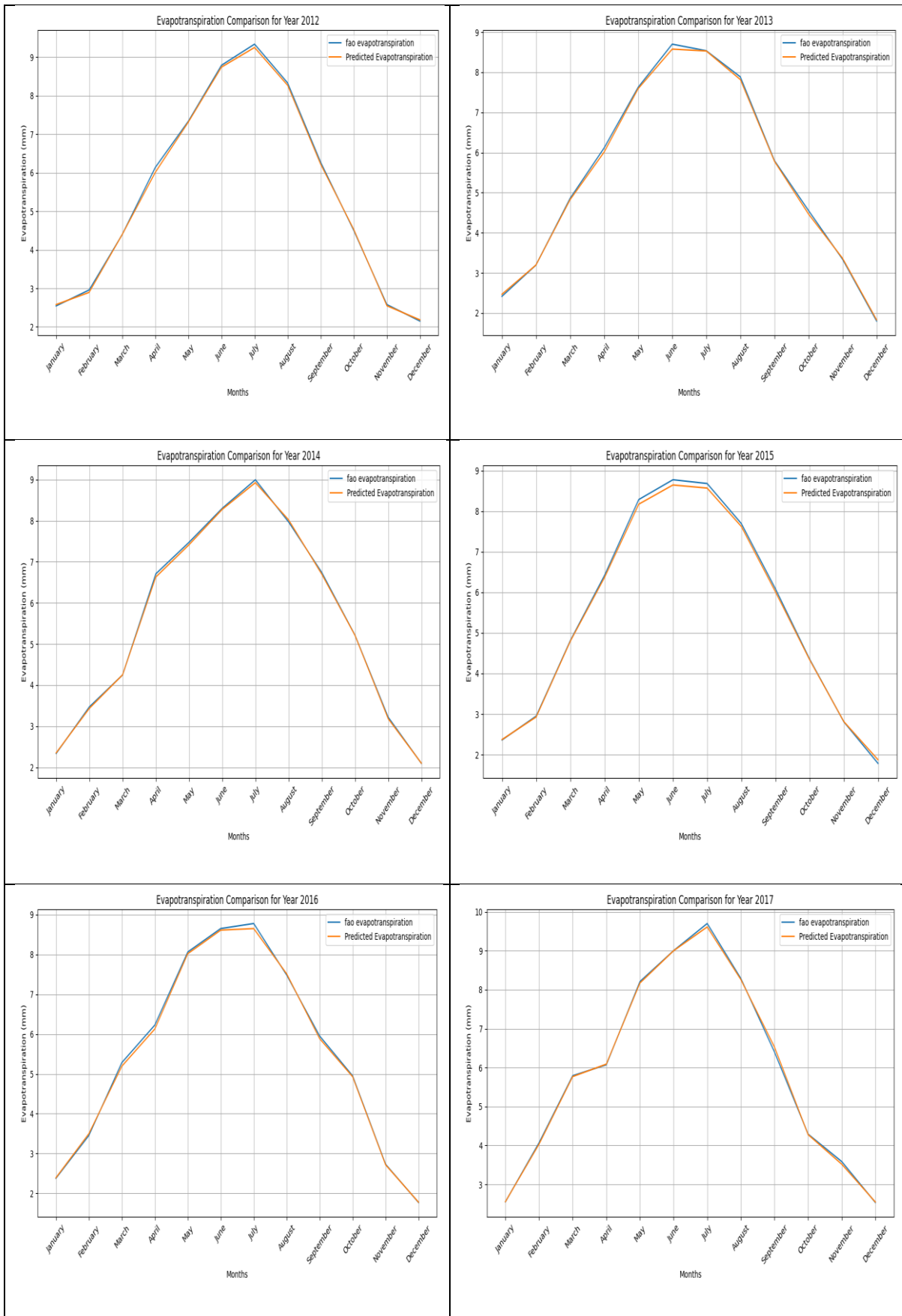
Wind	16.81	15.32	13.82	16.32	13.66	16.99	13.91	13.35	13.95	12.39	15.19	13.94
SoilTemp	12.90	17.21	19.12	25.33	30.16	38.31	39.92	39.66	34.59	25.25	16.56	12.23
SoilMoist	0.00	0.01	0.03	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.05	0.01
Radiation	216.7	276.2	351.4	420.1	466.2	482.7	471.5	432.7	372.2	296.6	230.5	198.4
Pred ETO	3.13	4.21	4.74	6.76	7.38	10.55	9.94	9.51	7.68	5.00	3.14	2.55

Tableau III.23. Résultats des tests du modèle pour l'année 2022.

Year	2022											
Mois	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip	0.00	1.11	0.85	0.94	0.04	0.00	0.00	0.05	0.39	0.43	0.00	0.57
ETO	2.79	3.69	4.56	6.39	8.19	10.70	9.38	8.59	7.33	4.56	3.74	2.52
Sun	32160	33022	30521	36075	43211	45722	45561	42196	37439	34686	32012	29800
Temp	10.38	14.16	15.84	20.67	26.76	34.88	35.43	34.39	31.35	24.23	17.90	14.69
Humidity	49.35	43.10	51.56	36.34	27.69	18.02	21.72	26.04	33.60	42.38	45.71	57.25
DewPiont	-0.44	0.92	4.66	3.76	4.79	5.66	8.92	11.05	11.70	9.73	5.36	5.78
Pressure	1010	1008	1003	997.3	1001	999.1	1000	998.1	999.2	1006	1004	1005
VPD	0.70	1.00	1.01	1.70	2.82	4.82	4.75	4.20	3.41	1.86	1.20	0.77
Wind	13.97	13.14	18.11	18.19	16.65	15.89	12.59	12.44	13.87	9.90	15.51	11.71
SoilTemp	11.34	15.60	17.52	23.52	30.29	38.25	39.62	38.41	34.28	26.20	18.90	15.32
SoilMoist	0.00	0.02	0.08	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01
Radiation	216.4	275.6	350.8	419.6	465.9	482.7	471.7	433.1	372.7	297.2	230.9	198.4
Pred ETO	2.75	3.66	4.41	6.38	8.13	10.52	9.32	8.70	7.42	4.56	3.81	2.63







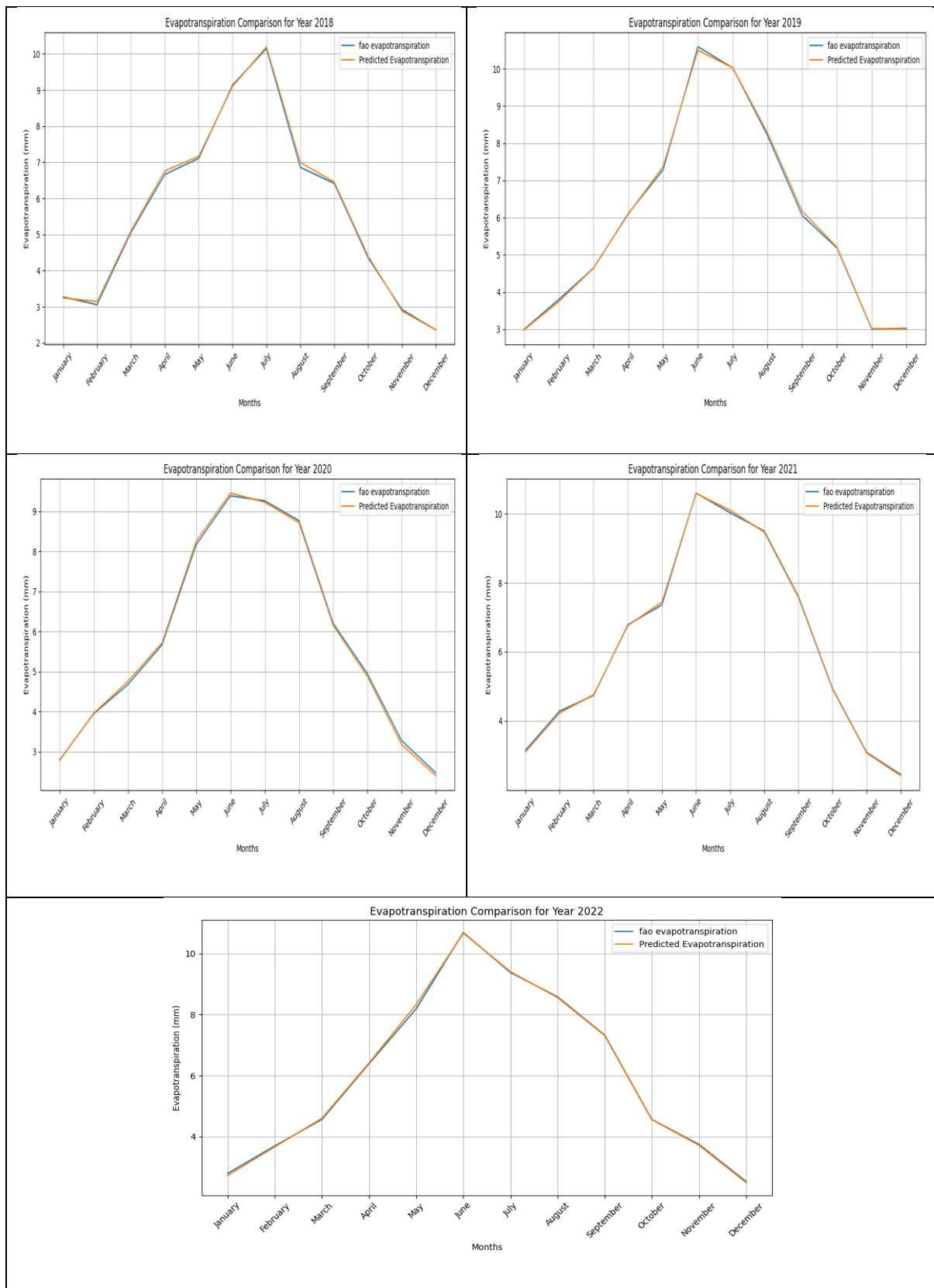


Figure III.2. Résultats de prédiction de l'évaporation du modèle d'intelligence artificielle comparés au modèle de la FAO

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné en profondeur les performances de notre modèle en matière d'évaporation, en les comparant aux valeurs fournies par la relation FAO. Pour faciliter une évaluation détaillée, nous avons élaboré une courbe graphique juxtapositionnelle des valeurs de notre modèle et des valeurs de référence FAO.

L'analyse visuelle de cette courbe révèle une concordance remarquable entre les résultats du modèle FAO et ceux de notre modèle, suggérant une précision notable. Le plus grand écart observé s'est produit en 2015, avec une divergence de 0,19 mm, équivalente à 2,16 %. En revanche, au cours des autres années, les écarts en pourcentage se situent entre 0,9 % et 0 %. Cette observation atteste non seulement de l'exactitude mais également de la robustesse de notre modèle en matière d'estimation de l'évaporation.



CHAPITRE IV

Étudier le modèle



IV.1. Introduction

Dans cet article, nous expliquerons le processus de mise en œuvre d'un modèle de réseau neuronal de régression généralisée (GRNN) pour prédire l'évapotranspiration (ET0) sur la base de données météorologiques. L'article décrit également les étapes suivies pour évaluer les performances du modèle et garantir l'exactitude de ses résultats.

L'évapotranspiration (ET0) est un paramètre essentiel dans les études agricoles et environnementales, car elle représente les processus combinés d'évaporation de l'eau du sol et de transpiration des plantes. Une prédiction précise de l'ET0 est essentielle pour la gestion des ressources en eau et la planification de l'irrigation des cultures. Dans cet article, nous explorons la mise en œuvre d'un modèle de réseau neuronal de régression généralisée (GRNN) pour prédire ET0 sur la base de données météorologiques.

IV.2 .méthodologie:

1. **Obtenir des données :** Les données météorologiques, notamment les précipitations, la durée d'ensoleillement, la température, l'humidité, la vitesse du vent et d'autres paramètres pertinents, ont été obtenues à partir de l'ensemble de données « biskra1_grouped_data.xlsx » et lui ont été transmises via la ligne de commande suivante :

```
# Load data
data = pd.read_excel("biskra1_grouped_data.xlsx")
features = ["precipitation (mm)", "sunshine_duration (s)", "temperature_2m (°C)",
            "relative_humidity_2m (%)", "dew_point_2m (°C)", "surface_pressure (hPa)",
            "vapour_pressure_deficit (kPa)", "wind_speed_10m (km/h)",
            "soil_temperature_0_to_7cm (°C)", "soil_moisture_0_to_7cm (m³/m³)",
            "terrestrial_radiation (W/m²)"]
target = "et0_fao_evapotranspiration (mm)"
```

Figure IV.1. Application d'intelligence artificielle GRNN

2. **Prétraitement des données :** L'ensemble de données est prétraité pour extraire des caractéristiques telles que les précipitations, la température, l'humidité, etc., ainsi que la variable cible ET0.

3. Normalisation des fonctionnalités : Pour garantir la cohérence et améliorer les performances du modèle, la mise à l'échelle des fonctionnalités a été effectuée à l'aide de la normalisation Min-Max.

4. Formation sur le modèle : Nous avons implémenté un modèle GRNN et l'avons formé à l'aide de données prétraitées. Le modèle a été formé sur un sous-ensemble de données, dont 60 % sont utilisés pour la formation, 20 % pour la validation et 20 % pour les tests.

5.Évaluation du modèle : diverses mesures ont été utilisées pour évaluer les performances du modèle, notamment l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur absolue moyenne (MAE), le R carré (R²) et d'autres. Ces métriques aident à évaluer l'exactitude et la fiabilité des prédictions du modèle.

Mesures et équations :

RsR (résiduel au carré) :

RsR détermine l'erreur relative des prédictions du modèle par rapport à la variation de la variable cible.

Équation : $RsR = \sqrt{MSE} / \sigma$, où MSE est l'erreur quadratique moyenne et σ est l'écart type de la variable cible.

Valeur idéale : $RsR = 0$ (ajustement parfait)

RME (erreur moyenne relative) :

RME mesure l'écart en pourcentage moyen des prédictions du modèle par rapport aux valeurs réelles.

Équation : $RME = (\text{moyenne}(y_{\text{pred}} - y) / \text{moyenne}(y)) * 100$

Valeur idéale : $RME = 0$ (ajustement parfait)

MAE (erreur absolue moyenne) :

MAE représente la différence absolue moyenne entre les prédictions du modèle et les valeurs réelles.

Équation : $MAE = \text{Moyenne}(\text{abs}(y_{\text{pred}} - y))$

Valeur idéale : $MAE = 0$ (ajustement parfait)

Nash (facteur d'efficacité de Nash-Sutcliffe) :

Nash évalue l'ampleur relative de la variance résiduelle par rapport à la variance des données observées.

Équation : $Nash = 1 - (\text{somme}((y_{\text{pred}} - y)^2) / \text{somme}((y - \text{moyenne}(y))^2))$

Valeur idéale : $Nash = 1$ (ajustement parfait)

Wilmot (Points de compétence Wilmot) :

Wilmot évalue les performances du modèle en capturant l'ampleur et la structure des erreurs.

Équation : $Willmot = 1 - (\text{sum}(\text{abs}(y_{\text{pred}} - y)) / \text{sum}(\text{abs}(y_{\text{pred}} - \text{moyenne}(y)) + \text{abs}(y - \text{moyenne}(y))))$

Valeur idéale : $Willmot = 1$ (ajustement parfait)

R2 (coefficient de détermination) :

R2 mesure la proportion de variance de la variable cible qui peut être prédite à partir des variables indépendantes.

Équation : $R2 = 1 - (\text{somme}((y - y_{\text{pred}})^2) / \text{somme}((y - \text{moyenne}(y))^2))$

Valeur idéale : $R2 = 1$ (ajustement parfait)

6. Validation du modèle : Le modèle formé a été validé à l'aide d'un ensemble de données de validation distinct pour garantir sa capacité à généraliser et éviter le surajustement.

IV.3 .Résultats et discussion:

Les résultats de l'évaluation ont démontré l'efficacité du modèle GRNN pour prédire avec précision ET0. Le modèle a obtenu des performances satisfaisantes sur les ensembles de données de validation et de test, comme en témoignent les faibles valeurs RMSE et MAE et les

scores R2 élevés. Ces résultats indiquent que le modèle GRNN peut estimer de manière fiable ETO sur la base d'entrées météorologiques.

```
Testing Metrics:
RsR: 0.12338427679126661
RME: -0.20512906835212263
MAE: 0.24598355476077838
Nach: 0.9847763202406961
Willmot: 0.9470129661427155
R2: 0.9847763202406961
```

Figure IV.2. Test de précision du modèle

IV.4 . Conclusion :

D'après les résultats du calcul des valeurs RsR ,RME ,MAE ,NACH ,Willmot ,R2 nous remarquons :

$$RsR = 0.12 < 0.5$$

Une valeur RsR proche de 0 indique une bonne performance du modèle, où le RMSE est relativement faible par rapport à la variabilité de la variable cible (STD). Une valeur RsR plus élevée indique de moins bonnes performances du modèle.

Dans notre cas, RsR est d'environ 0,123, ce qui signifie que le RMSE est d'environ 12,3 % de l'écart type de la variable cible. Cela suggère que les erreurs du modèle sont relativement faibles par rapport à la variabilité de la variable cible, ce qui indique une performance raisonnablement bonne du modèle.

$$RME = 0.24$$

cela signifie qu'en moyenne, les prédictions sont inférieures aux vraies valeurs d'environ 0,65 fois la moyenne des vraies valeurs.

$$MAE = 0.24$$

le MAE est d'environ 0,246. Cela signifie qu'en moyenne, les prévisions du modèle s'écartent des valeurs réelles d'environ 0,246 unités. Des valeurs MAE inférieures indiquent de meilleures performances du modèle, car elles indiquent des erreurs plus faibles entre les prédictions et les valeurs réelles.

$$\text{Nash} = 0.98$$

le coefficient NASH est d'environ 0,985. Cela indique que le modèle a une très bonne capacité prédictive, car il correspond étroitement aux données observées. Une valeur de 0,985 suggère que le modèle explique environ 98,5 % de la variance des données observées, ce qui est excellent.

$$\text{Willmot} = 0.94$$

l'indice de Willmott est d'environ 0,947, ce qui suggère un accord relativement bon entre les valeurs observées et simulées. Cela indique que le modèle fonctionne bien pour capturer à la fois la moyenne et la variabilité des données observées.

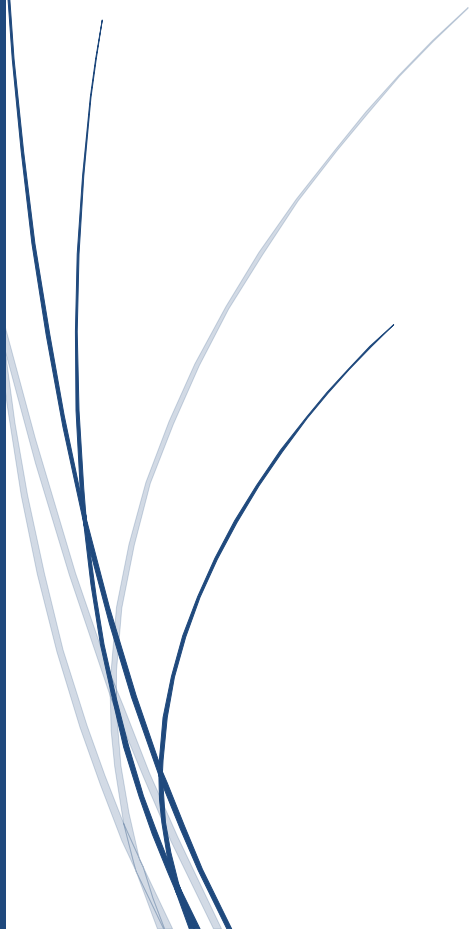
$$R^2 = 0.98$$

indiquant qu'environ 98,48 % de la variance de la variable cible est prévisible à partir des variables indépendantes utilisant le modèle. Cela suggère que le modèle s'adapte très bien aux données.

On peut donc dire que le modèle proposé remplit toutes les conditions garantissant son exactitude et la validité de ses résultats.



Conclusion



L'objectif de ce NOTE est de développer un modèle d'intelligence artificielle capable de prédire les valeurs d'évaporation dans le barrage Foam El Gharza (Biskra), qui représente un problème majeur dans la région.

Dans le premier chapitre, la région a été présentée en termes de situation géographique et de topographie de la région, tout en montrant des informations importantes sur le barrage, puis en étudiant certains des facteurs météorologiques qui représentent les influences les plus importantes sur l'évaporation et en parvenant à une classification, de la région en termes de disponibilité en eau.

Dans le deuxième chapitre, nous avons montré quelques méthodes de terrain pour mesurer l'évaporation, qui représentent un obstacle majeur, car elles sont coûteuses et nécessitent des efforts. Ensuite, nous avons abordé quelques équations et modèles mathématiques célèbres dans le calcul de l'évaporation, en montrant leurs défauts et leurs lacunes, en proposant une. modèle comme référence pour notre étude, sur lequel nous basons nos conclusions et nos résultats.

Dans le troisième chapitre, certains concepts liés à l'intelligence artificielle ont été abordés, montrant les types de modèles appliqués et quelques concepts de programmation importants dans notre étude afin de construire le modèle d'intelligence artificielle, puis montrant les résultats obtenus sous la forme d'un déclaration, en comparant les résultats avec le modèle de la FAO comme référence, et leur correspondance devient claire.

Dans le quatrième chapitre, les étapes de mise en œuvre du modèle ont été présentées afin d'obtenir une estimation. On connaît les équations de calcul de la précision de la prédiction,

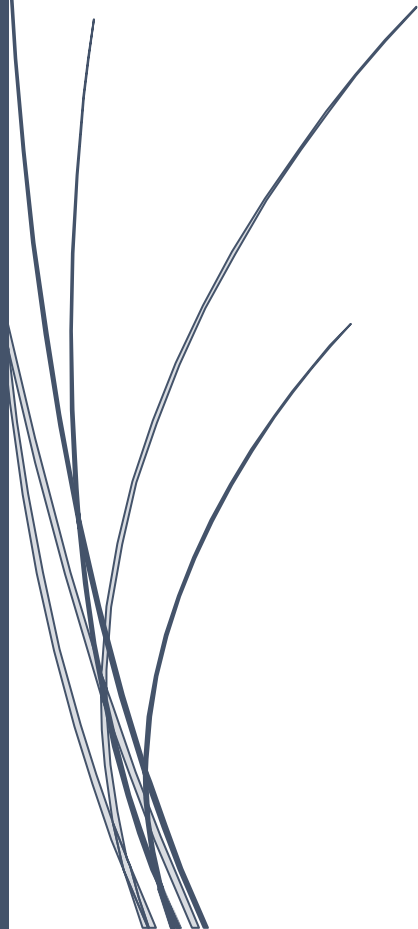
qui sont représentées par RsR, MAE, RME, Nach, Willmot et R2, qui sont des équations importantes dans notre modèle, car elles expriment le pourcentage d'erreur et la correspondance dans les résultats.

Enfin, sur la base de la valeur MAE, nous pouvons dire que le taux d'erreur de prédiction de notre modèle est de 0,24 %. C'est une très bonne chose, car nous avons confirmé l'exactitude et la proximité de la prédiction. C'est pourquoi nous disons : il est permis de s'appuyer sur le modèle



RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abtew, W. Mesures et modélisation de l'évapotranspiration pour trois systèmes de zones humides dans le sud de la Floride. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 1996, 32, 465–473.
- Makkink, G. Test de la formule de Penman au moyen de lysimètres. *J. Inst. Water Eng.* 1957, 11, 277–288.
- Turc, L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle : formule climatique simplifiée et mise à jour ; *Annales Agronomiques*: Paris, France, 1961; pp. 13–49.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. Évapotranspiration de référence à partir de la température. *Appl. Eng. Agric.* 1985, 1, 96–99.
- Tabari, H.; Grismer, M.; Trajkovic, S. Analyse comparative de 31 méthodes d'évapotranspiration de référence dans des conditions humides. *Irrig. Sci.* 2011, 31, 107–117.
- Alazard, M, Leduc, C, Travi.Y., Boulet, G., et salem, A.B. (2015). Estimation de l'évaporation dans les zones semi-arides confrontées à une pénurie de données : Exemple du barrage El Haouareb (bassin versant de Merguellil, Tunisie centrale). *Journal of Hydrology : Études Régionales*, 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 de doctorat. Université d'Orléans. 278.
- ANBT. Agence Nationale des Barrages et Transferts, Biskra, Algérie.
- André, Musy. (2005). La mesure hydrologique, Chapitre 4, dans *Hydrologie Générale* Section SIE et GC 4ème semestre. École Polytechnique Fédérale (EPFL). Editeur, pp. 1-21.
- NEDJIMA Ridha (2019). Élaboration d'un modèle numérique pour l'estimation de l'évaporation à partir des données climatiques limitées : cas du barrage réservoir Fom El – Guiss- Khenchela. Mémoire master, Université Echahide Hamma Lakhdar, d'El-Oued, Algérie.

-MIHI Nesrine & OUBZIZ Afaf (2019). Élaboration d'un modèle numérique pour l'estimation de l'évaporation à partir des données climatiques limitées : cas de deux barrages réservoirs Foum El Gherza et Fontaines des Gazelles- Biskra. Mémoire master, Université Echahide Hamma Lakhdar, d'El-Oued, Algérie.

-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). Prédiction de l'évaporation dans un climat tropical en utilisant des réseaux de neurones artificiels et des modèles basés sur le climat, Journaux Académiques, Vol. 7(36), 3139p.

-Benhaddad Dali, (2015). Évolution des grands barrages dans l'est algérien : Quel devenir ? Mémoire de Magister. Université Abderrahmane Mira, Bejaia, Algérie.

-Benis, S. (2009). "Hydraulique et hydrologie", 2ème édition (Révisée et Augmentée), presse de l'université du Québec. Québec, Canada.