

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ EL-CHAHID HAMMA LAKHDAR
EL-OUED



Faculté de technologie

Département de d'Hydraulique et Génie civil

MEMOIRE

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

Option : **Ouvrages hydraulique**

Thème :

**Estimation de l'évaporation par les
méthodes combinatoires.
Application à un site à Oued Souf climat
saharien**

Présenté par :

- KAROUI Houssam Eddine
- NAILI Khaier Eddine
- DERDACHE Fatma zohra

Dirigé par :

Dr. Assia MEZIANI

Année Universitaire : 2022 / 2023

التشكرات

بادئ ذي بدء، نشكر الله سبحانه وتعالى الذي منحنا القوة والصبر

لإنجاز

هذا العمل المتواضع

{ لا يشكر الله من لا يشكر الناس }

نتقدم بخالص الشكر والتقدير الى مشرفتنا الأستاذة الفاضلة

مزياني آسيا

. على مساعدتها لنا، وتوجيهاتها وملاحظاتها الدقيقة

والشكر أيضا الى أعضاء اللجنة المناقشة والى كل من ساعدنا من قريب

او من بعيد

الاهداء

الحمد لله الذي اعاننا بالعلم و زيننا بالحلم و اكرمنا بالتقوى و اجملنا
بالعافية

نهدي هذا العمل الى من قال فيهما

{ وَاخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَّانِي صَغِيرًا }

سورة الاسراء الآية 24

الى الوالدين الكريمين حفظهما الله واطال في عمرهما، الى الاخوة والاخوات،
والى الامل الأقارب و جميع الأصدقاء الى كل من عرفناه من قريب او بعيد
الى من رفعوا رايات العلم والتعليم

الملخص

تهدف هذه الدراسة الى إيجاد معادلة جديدة تمكن من الحصول على تقدير جيد لظاهرة التبخر في ولاية الوادي سوف منطقة قمار ذات المناخ الصحراوي بحيث تساعدنا هذه الأخيرة في حساب قيم التبخر بطريقة سهلة وبسيطة دون الحاجة لأخذ قياسات ميدانية قياسات مباشرة ففي هذا السياق قمنا باستعمال المعطيات المناخية مثل درجة الحرارة والاشعاع الشمسي فقط قمنا صياغة المعادلة الجديدة ثم مقارنة نتائجها العددية والبيانية مع نماذج مختارة قصد تأكيد فعاليتها وموثوقيتها

الكلمات المفتاحية: التبخر - النموذج العددي - المعطيات المناخية - الوادي

Abstract

This study aims to find a new equation to obtain a good estimate of the evaporation phenomenon in the state of El Oued Souf, the region of Gumar, which has a desert climate Temperature and solar radiation only We have formulated the new equation and then compared its numerical results and data with selected models to confirm its effectiveness and reliability.

Keywords: evapotranspiration, numerical model, climate data, El-Oued.

Résumé

Cette étude vise à trouver une nouvelle équation permettant d'obtenir une bonne estimation du phénomène d'évaporation dans la ville d'El Oued, plus précisément dans la région de Gumar, qui présente un climat désertique caractérisé par des températures élevées et un rayonnement solaire intense. Nous avons formulé une nouvelle équation, puis nous avons comparé ses résultats numériques et ses données avec des modèles sélectionnés afin de confirmer son efficacité et sa fiabilité.

Mots clés : évapotranspiration, modèle numérique, données climatiques, El-Oued.

SOMMAIRE

Titre	Page
INTRODUCTION GÉNÉRALE	
Chapitre I : Présentation de la région d'étude Guemar	
I.1. Introduction	02
I.2 . Situation Géographique de la région de Guemar	02
I.3. Relief et topographique la Région de Geumar	03
I.4 . Géologie de la ville de Guemar	03
I.4.1 Formation géologique	03
I.4.2. Relief	03
I.4.3. Hydrologie	03
I.4.4. Ressources minérales	04
I.4.5. Activité sismique	04
I.5. Caractéristiques climatiques de la région de Guemar	04
I.5.1 La température	04
I.5.1.1 La température moyenne (T)	04
I.5.1.2 : La température maximal (TM)	05
I.5.1.3 : La température minimal (Tm)	06
I.5.2 L'Humidité Relative	07
I.5.3 Les précipitations	08
I.5.4. Visibilité moyenne (KM)	09
I.5.5 Les Vents	10
I.5.5.1 : Vitesse moyenne du vent (V)	10
I.5.5.2 : Vitesse maximal de vent	11
I. 5.6. La pression Atmosphérique	12
I.6. L'évaporation	13
I.7. L'ensoleillement	14
I-8 Conclusion	15
Chapitre II : Méthodes d'estimation de l'évaporation par les méthodes combinatoires	
II.1. Introduction	17
II.2. Les Modelés d'estimation de l'évaporation de d'Oued Souf Les bacs d'évaporation	17
II.2.1. Méthode directe « Bac Colorado »	17
- Classe A	17
- Le bac Colorado	17
- Les bacs flottants	18

II.2.2. Les méthodes Indirectes - Application à un site à Oued Souf climat saharien	18
II.2.3 Modèle de Penman (1948)	19
II.2.4 Modèle de Slatyer-McIlroy (1961)	19
II.2.5. Modèle de Priestley–Taylor (1972)	19
II.2.6 Modèle de Stewart-Rouse (1976)	20
II.2.7 Modèle de DeBruin (1978)	20
II.2.8 Modèle de Brutsaert-Stricker (1979)	20
II.2.9 - Modèle de DeBruin-Keijman (1979)	20
II.2.10 Modèle de Penman- Brutsaert (1982)	21
II.3 Conclusion	22
Chapitre III : Estimation de l'évaporation de la région d'étude par les méthodes combinatoires	
III.1. Introduction	24
III.2 Modèle de Stewart-Rouse (1976)	24
III.3 Modèle de DeBruin (1978)	24
III.4 Modèle de Brutsaert-Strickler (1979)	25
III.5 Modèle de DeBruin-Keijman (1979)	26
III.6 Modèle de Penman- Brutsaert (1982)	26
III. 7. Résultats et discussion	27
III.8. Conclusion	28
CHAPITRE IV : PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE	
IV. 1 Introduction	30
IV. 2. Nouveau modèle proposé pour l'estimation de l'évaporation de site étudié	30
IV. 2. 1. Analyse statistique des paramètres hydro-climatiques	31
IV. 2. 2. Modelè proposé pour l'estimation de l'évaporation du site étudié	34
IV. 2. 3. Validation du modèle proposé	36
IV. 3. Conclusion	39
CONCLUSION GENERALE	40

LISTE DES FIGURES

Titre	Page
Figure I.1 : Situation géographique de la région de Guemar (google earth, Année).	2
Figure I.2 : Température moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)	5
Figure I.3 : Température maximale mensuelle durant la période (1990-2020)	6
Figure I.4 : Température minimale mensuelle durant la période (1990-2020)	7
Figure I.5 : Humidité moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)	8
Figure I.6 : Précipitation moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)	9
Figure I.7 : Visibilité moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)	10
Figure I.8 : Vents moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)	11
Figure I.9 : Vents moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)	12
Figure I.10 : La pression Atmosphérique la période (1990-2020)	13
Figure I.11 : L'évaporation moyenne mensuelle (2009-2019)	14
Figure I.12 : La rayonnement solaire (2009-2019)	15
Figure II.1 : Le bac Classe « A »	17
Figure II.2 : Le bac Colorado	17
Figure II.3 : Bac flottant (Aldomany, 2017)	18
Figure III.1 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	24
Figure III.2 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	25
Figure III.3 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	25
Figure III.4 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	26
Figure III.5 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	27
Figure IV. 1 . Coefficients standardisés des deux modèles combinés-Corrélation du modèle.	35
Figure IV. 2. Présentations graphiques des modèles adéquats pour l'estimation de l'évaporation pour la station de Guemar-El-Oued	38

LISTE DES TABLEAUX

Titre	Page
Tableau I.1 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1990-2020)	04
Tableau I.2 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1990-2020)	05
Tableau I.3 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1990-2020)	06
Tableau I.4 : Humidité moyenne mensuelle (1990-2020)	07
Tableau I.5 : Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1990-2020)	08
Tableau I.6 : Moyenne mensuelle interannuelle de visibilité (1990-2020)	09
Tableau I.7 : Vitesses moyennes mensuelle des vents (1990-2020)	10
Tableau I.8 : Vitesses moyennes mensuelle des vents soutenu (1990-2020)	11
Tableau I.9 : La pression Atmosphérique (1990-2020)	12
Tableau I.10 : L'évaporation mensuelle (2009-2019)	13
Tableau I.11 : La rayonnement solaire (2009-2019)	14
Tableau III.1 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	24
Tableau III.2 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	24
Tableau III.3 : l'évaporation durant la période (1990-2020)	25
Tableau III.4 : l'évaporation durant la période (2009-2019)	26
Tableau III.5 : l'évaporation durant la période (2009-2019)	26
Tableau III.6 : Les erreurs obtenues par le modèle de Brutsaert-Strickler	27
Tableau IV 1. Résultats statistiques	31
Tableau IV 2. Corrélation des modèles	32
Tableau IV 3. Statistiques de multicollinéarité	32
Tableau IV 4. Résultats des deux modèles sélectionnés	33
Tableau IV 5. Analyse de la variance	33
Tableau IV 6. Les paramètres du modèle proposé	34
Tableau IV 7 : Coefficients standardisés	35
Tableau IV 8. Les estimations de l'évaporation (EModèle)et les résidus	36
Tableau IV.9. Les erreurs obtenues par le modèle proposé	38

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'évaporation est la diffusion de molécules d'eau à partir de surfaces humides, telles que la terre, la végétation et les plans d'eau, et le retour de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cependant, l'évaporation fait souvent référence à la perte d'eau des plans d'eau et des surfaces non vivantes, tandis que la perte d'eau de la végétation est appelée transpiration.

Dans le sud de l'Algérie, les ressources en eau disponibles sont limitées en raison des activités humaines telles que la croissance démographique, l'urbanisation et l'élévation du niveau de vie. Le changement climatique et l'évolution des conditions naturelles ajoutent à ces pressions.

Dans les régions où les ressources en eau sont limitées, une perturbation, même minime, d'un compartiment du cycle de l'eau, peut avoir un impact significatif sur l'ensemble du cycle de l'eau et sur la disponibilité de l'eau pour différents usages. Les perturbations peuvent être d'origine climatique ou anthropique (Remini, 2009). L'évaporation est l'une des composantes du cycle de l'eau.

Ce mémoire se concentre en particulier sur l'estimation de l'évaporation dans la région de Guemar, wilaya d'El Oued, située dans le sud de l'Algérie. Plusieurs méthodes d'estimation sont connues (par exemple les méthodes directes et indirectes). En général, l'équation du bilan hydrique est l'une des méthodes de prédiction utilisées en hydrologie. Cette quantification nécessite des données très précises et l'objectif de notre étude est d'estimer l'évaporation à l'aide des données enregistrées depuis plus de 30 ans et dont l'étude fournira des informations sur l'évolution et la quantification de l'évaporation dans le climat saharien. Pour ce faire, notre mémoire s'articule autour de quatre chapitres principaux :

- Introduction Générale
- Chapitre I : Présentation de la région d'étude Guemar
- Chapitre II : Méthodes d'Estimation de l'évaporation par les méthodes combinatoires
- Chapitre III : Estimation de l'évaporation de la région d'étude Guemar par les méthodes Combinatoires
- Chapitre IV : Proposition d'un modèle numérique de type régression multilinéaire
- Conclusion Générale.

Chapitre I
Présentation de la
région d'étude
Guemar

I.1. Introduction

La région d'Oued Souf est située dans le sud-est de l'Algérie. Elle tire son nom de l'Oued qui la traverse, un cours d'eau saisonnier qui alimente la vie dans la région. Cette région est connue pour son climat désertique et son paysage caractérisé par des dunes de sable et des oasis verdoyantes. Oued Souf est une destination fascinante pour les amoureux de la nature, les passionnés de désert et ceux qui souhaitent découvrir la richesse culturelle de l'Algérie. Dans cette présentation, nous explorerons les principaux attraits et caractéristiques de la région d'Oued Souf.

Oued Souf est située dans la partie nord du Sahara algérien. Elle s'étend sur une superficie d'environ 66 000 kilomètres carrés, ce qui en fait l'une des régions les plus vastes du pays. La région est principalement plate, avec des reliefs doux et des dunes de sable qui s'étendent à perte de vue.

Le climat de la région d'Oued Souf est typiquement désertique, avec des étés très chauds et des hivers doux. Les températures estivales peuvent atteindre des niveaux extrêmement élevés, dépassant souvent les 45 degrés Celsius. Les hivers sont relativement doux, avec des températures diurnes agréables et des nuits fraîches. La région est également caractérisée par de faibles précipitations, ce qui rend l'eau précieuse et les oasis d'autant plus importantes pour la vie locale.

I.2 . Situation Géographique de la région de Guemar

El Oued est situé au nord-est du Sahara algérien, à 630 km de la capitale du pays, il est bordé à l'est par la République tunisienne, à l'ouest par les wilayas d'El-Mughier et de Touggourt, au nord par les wilayas de Tebessa, Khenchela et Biskra, et au sud par la wilaya de Ouargla.

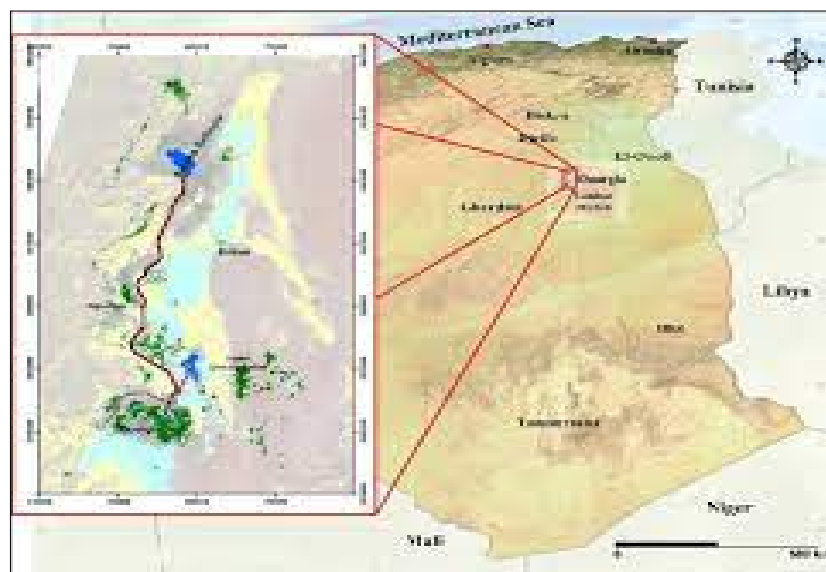


Figure I.1: Situation géographique de la région de Guemar (google earth).

I.3. Relief et topographique la Région de Geumar

La région d'Oued Souf est située dans le nord-est de l'Algérie. Elle est caractérisée par un relief principalement plat et désertique, faisant partie du Sahara algérien. La topographie de la région se compose de vastes plaines désertiques, entrecoupées par quelques chaînes de montagnes et de collines isolées. Les plaines sont généralement constituées de sables et de sols arides, avec une végétation adaptée au désert, telle que des arbustes et des plantes résistantes à la sécheresse. Dans l'ensemble, le relief de la région d'Oued Souf est dominé par une topographie plate et désertique, avec des variations mineures de relief dues aux dunes de sable et aux formations rocheuses dispersées. Cette région est généralement aride, avec des températures élevées et une faible pluviométrie, ce qui en fait un environnement inhospitalier pour la vie humaine et la végétation.

I.4 . Géologie de la ville de Guemar

Oued Souf est une ville située dans la région de l'Oued Souf en Algérie. Du point de vue géologique, la ville se trouve dans une zone désertique qui fait partie du vaste désert du Sahara. Voici quelques caractéristiques géologiques de la région dont Guemar fait partie :

I.4.1 Formation géologique :

La région de l'Oued Souf est située sur le plateau du Sahara, qui est principalement composé de roches sédimentaires datant du Mésozoïque. Ces formations sédimentaires comprennent des grès, des calcaires et des argiles déposés il y a des millions d'années.

I.4.2. Relief :

La topographie de la région est généralement plate, avec de légères ondulations et des dunes de sable caractéristiques du désert. Les dunes de sable se forment à la suite des vents dominants qui transportent les particules de sable et les accumulent pour former des formes caractéristiques.

I.4.3. Hydrologie :

Le nom "Oued Souf" fait référence à un oued (rivière saisonnière) qui traverse la région. Cependant, il convient de noter que la région est généralement aride, et l'oued peut ne pas avoir un écoulement permanent, mais plutôt des écoulements saisonniers en réponse aux précipitations. L'eau souterraine joue également un rôle important dans la région, avec des nappes phréatiques qui fournissent de l'eau pour l'agriculture et l'approvisionnement en eau des habitants.

I.4.4. Ressources minérales :

La région de l'Oued Souf est connue pour ses ressources minérales, en particulier pour ses gisements de phosphate. Le phosphate est un minéral utilisé dans la production d'engrais et est donc d'une grande importance économique pour la région.

I.4.5. Activité sismique :

La région du Sahara connaît une activité sismique occasionnelle, bien que les séismes majeurs soient relativement rares. Les tremblements de terre sont généralement causés par des mouvements tectoniques le long des failles dans la croûte terrestre

I.5. Caractéristiques climatiques de la région de Guemar

La station météo (ONM) est en opération depuis 1913. Cependant, les enregistrements ne sont disponibles tous disponibles. A noter que les données climatiques sont issues du site de Climatologie (<https://fr.tutiempo.net/>, 2020) comme référence pour compléter les données climatiques manquantes.

I.5.1 La température :**I.5.1.1 La température moyenne (T) :**

Le tableau (01) ci-dessous donne les valeurs de la température moyennes mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.1 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T C°	10.99	13.16	17.20	21.27	25.43	30.27	34.33	33.85	29.35	22.11	16.03	11.38

(<https://fr.tutiempo.net>)

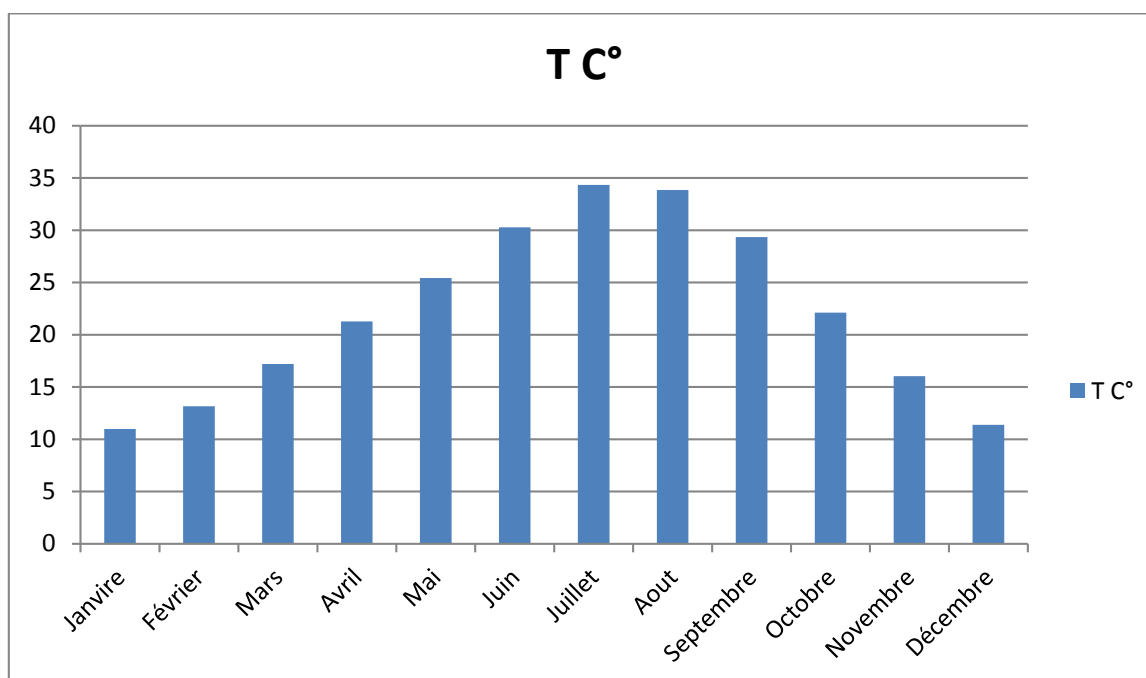


Figure I.2 : Température moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)

Pour évaluer la variation des températures moyennes mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette station. On constate deux périodes, la température décroît du mois de Juillet (maximum :34.33°C) jusqu'au mois de Janvier (minimum :10.99°C)

I.5.1.2 : La température maximal (TM) :

Le tableau (02) ci-dessous donne les valeurs de la température maximales mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.2 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T C°	17.40	19.76	23.81	27.95	32.07	37.07	40.84	40.71	35.70	28.31	22.21	17.48

(<https://fr.tutiempo.net>)

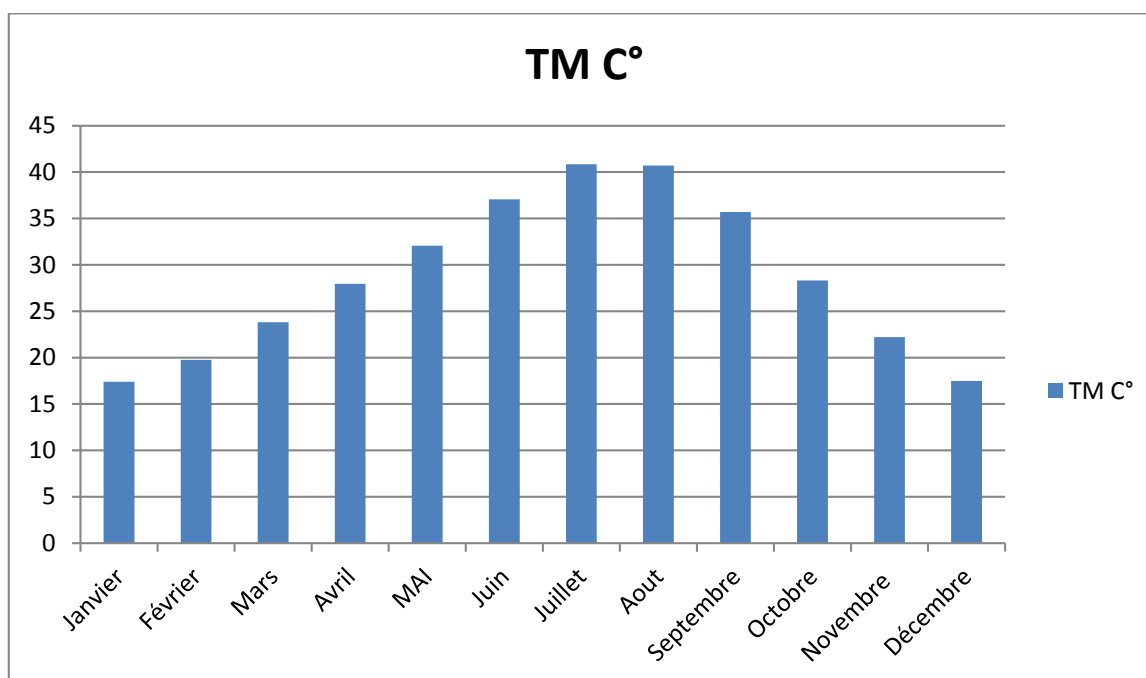


Figure I.3 : Température maximale mensuelle durant la période (1990-2020)

Pour évaluer la variation des températures maximum mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette station. On constate deux périodes, la température décroît du mois de Juillet (maximum :40.84°C) jusqu'au mois de Janvier (minimum :17.40°C)

I.5.1.3 : La température minimal (Tm) :

Le tableau (03) ci-dessous donne les valeurs de la température minimales mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.3: Moyenne mensuelle interannuelle de température (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T C°	5.38	6.92	10.55	14.26	18.37	22.86	26.63	26.65	22.98	16.30	10.45	6.15

(<https://fr.tutiempo.net>)

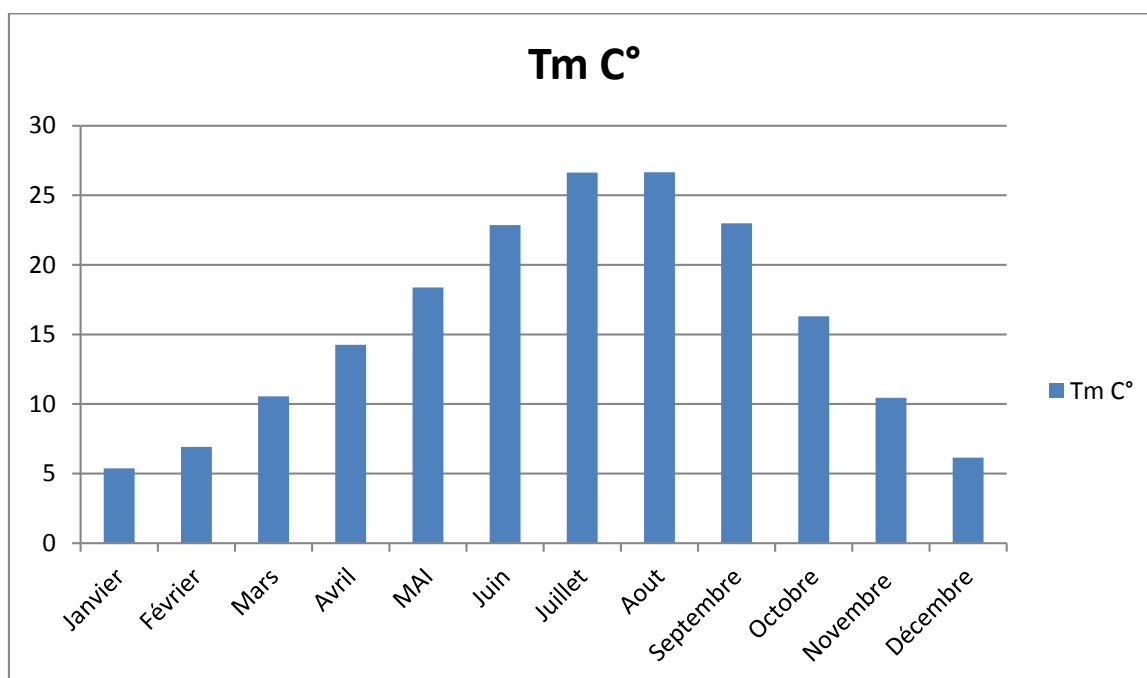


Figure I.4 : Température minimale mensuelle durant la période (1990-2020)

Pour évaluer la variation des températures minimum mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette station. On constate deux périodes, la température décroît du mois de Juillet (maximum :26.63°C) jusqu'au mois de Janvier (minimum :5.38°C)

I.5.2 L'Humidité Relative :

L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère sous forme de vapeur ou bien le nombre de gramme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. L'humidité est mesurée au moyen de l'hygromètre.

Le tableau (04) ci-dessous représenté les données Humidité relative moyenne (%) observées durant la période (1990-2020).

Tableau. I.4 : Humidité moyenne mensuelle (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	62.61	51.89	46.20	41.02	35.07	30.57	29.05	32.26	43.39	46.31	55.37	61.88

(<https://fr.tutiempo.net>)

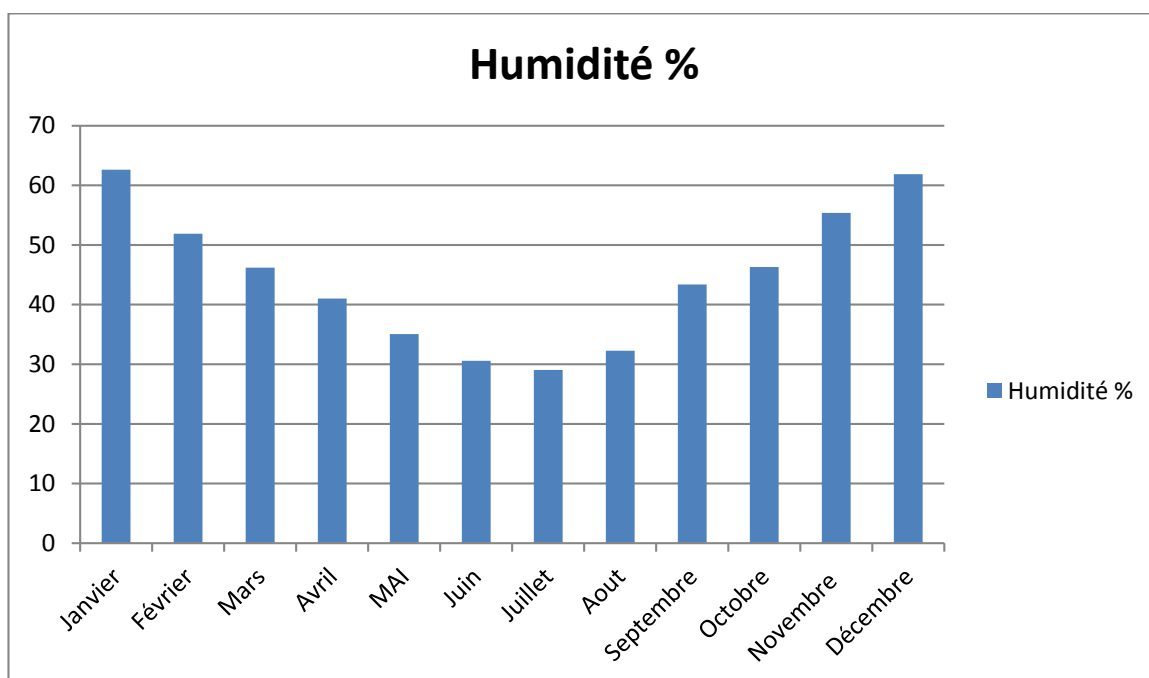


Figure I.5 : Humidité moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)

L'humidité est liée à la température et à la présence de plans d'eau, et elle varie selon les saisons. La zone où l'on peut dire que la ville de Gumar connaîtra Cinq mois humides de novembre à le mois de février où le taux d'humidité dépasse 50%, le maximum du mois de décembre est de 61.8%.

I.5.3 Les précipitations :

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Ce terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au la précipitation moyenne mensuelle : Le tableau (05) ci-dessous donne les précipitations moyennes mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.5 : Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P mm	11.37	4.29	6.64	7.05	3.47	3.00	0.59	1.95	11.60	4.75	21.66	5.23

(<https://fr.tutiempo.net>)

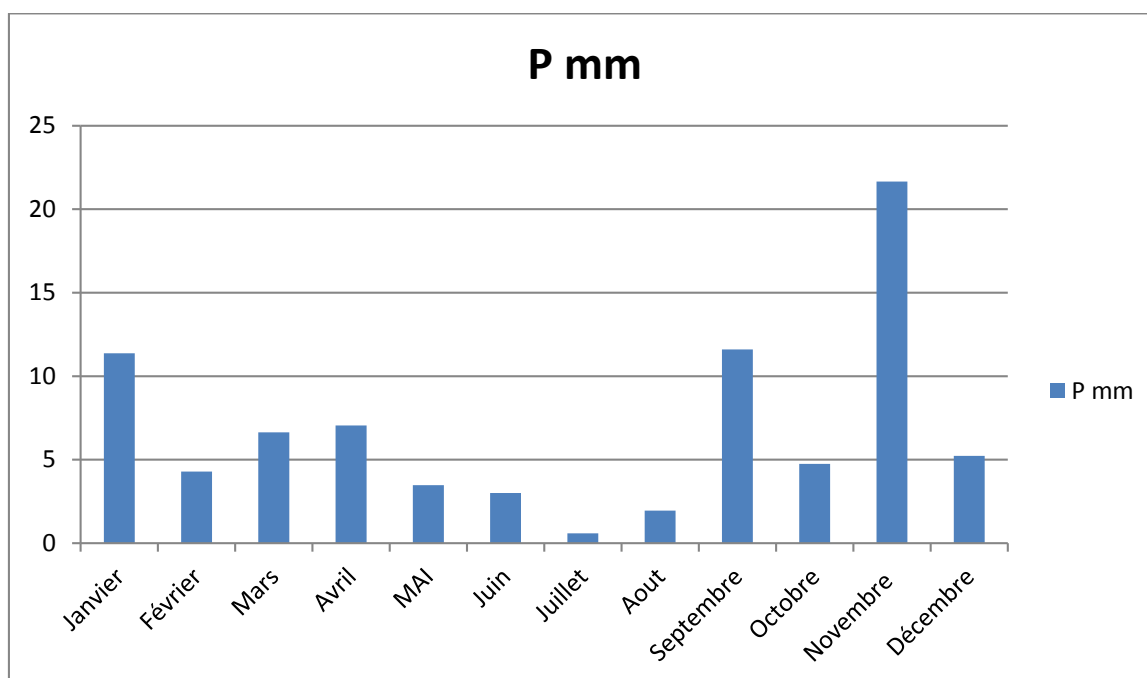


Figure I.6 : Précipitation moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)

Le tableau 05, montre que la pluviométrie atteint sa valeur maximale au mois de novembre (21.66 mm) et elle est minimale le mois de Juillet (0.59 mm).

I.5.4. Visibilité moyenne (KM) :

Le tableau (06) ci-dessous donne les valeurs de la visibilité mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.6 : Moyenne mensuelle interannuelle de visibilité (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
VV (km)	9.70	9.52	9.12	8.96	8.74	9.04	9.59	9.37	9.52	9.07	9.43	9.38

(<https://fr.tutiempo.net>)

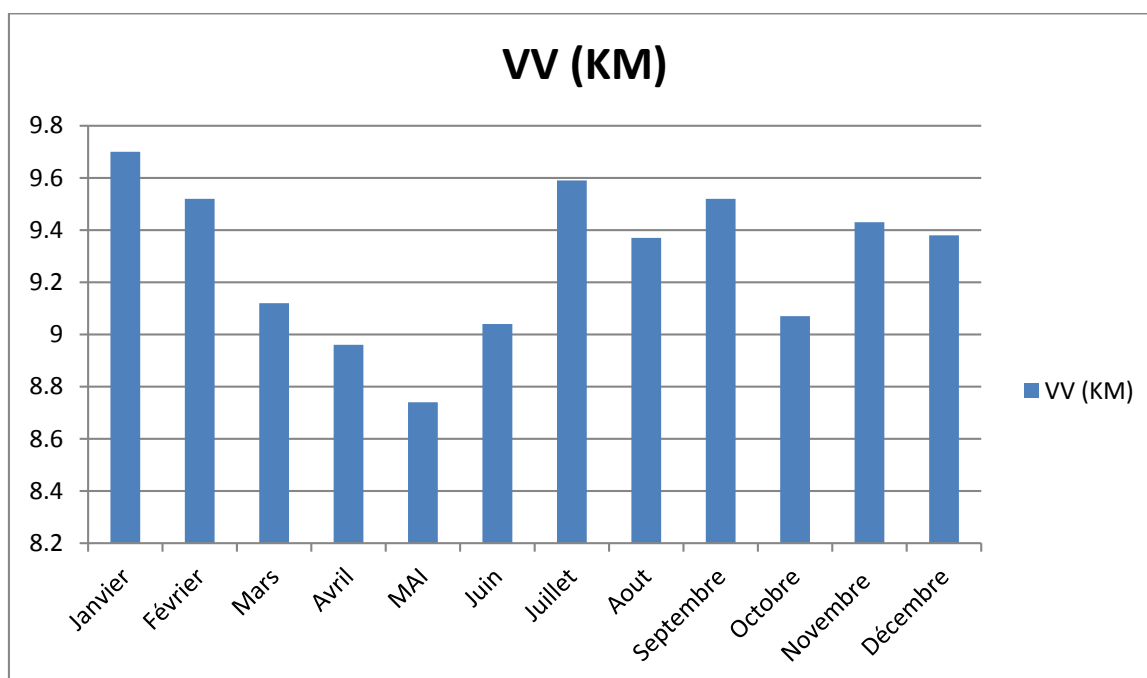


Figure I.7 : Visibilité moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)

I.5.5 Les Vents :

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud Ouest. Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares. On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominés par le vent d'Est communément appelé "El-Bahri".

Ces vents de sable donnent au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 30 à 40 km/h.

I.5.5.1 : Vitesse moyenne du vent (V) :

Le tableau (07) ci-dessous donne les valeurs de la vitesse moyenne des vents mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.7 : Vitesses moyennes mensuelle des vents (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
V (km/H)	7.40	8.78	11.24	13.05	12.99	12.10	10.72	9.65	9.27	6.95	6.91	7.19

(<https://fr.tutiempo.net>)

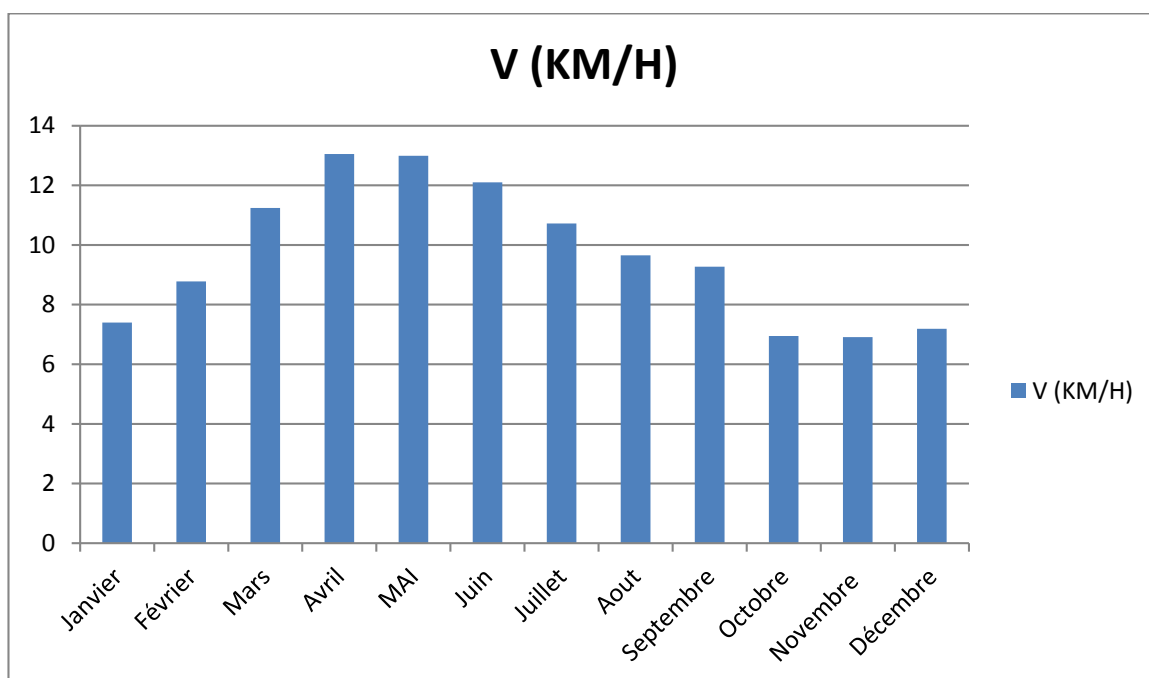


Figure I.8 : Vents moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)

D'après le tableau 07, la vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois de avril avec une moyenne de 13.05 km/h. Le minimum est enregistré durant le mois de novembre avec une vitesse de 6.91 km/h.

I.5.5.2 : Vitesse maximal de vent:

Le tableau (08) ci-dessous donne les valeurs de la vitesse maximal des vents soutenus mensuelles observées durant la période (1990-2020).

Tableau I.8 : Vitesses moyennes mensuelle des vents soutenu (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
VM (km/H)	18.02	20.66	23.24	26.04	24.75	23.35	21.53	21.92	22.03	17.10	17.35	17.94

(<https://fr.tutiempo.net>)

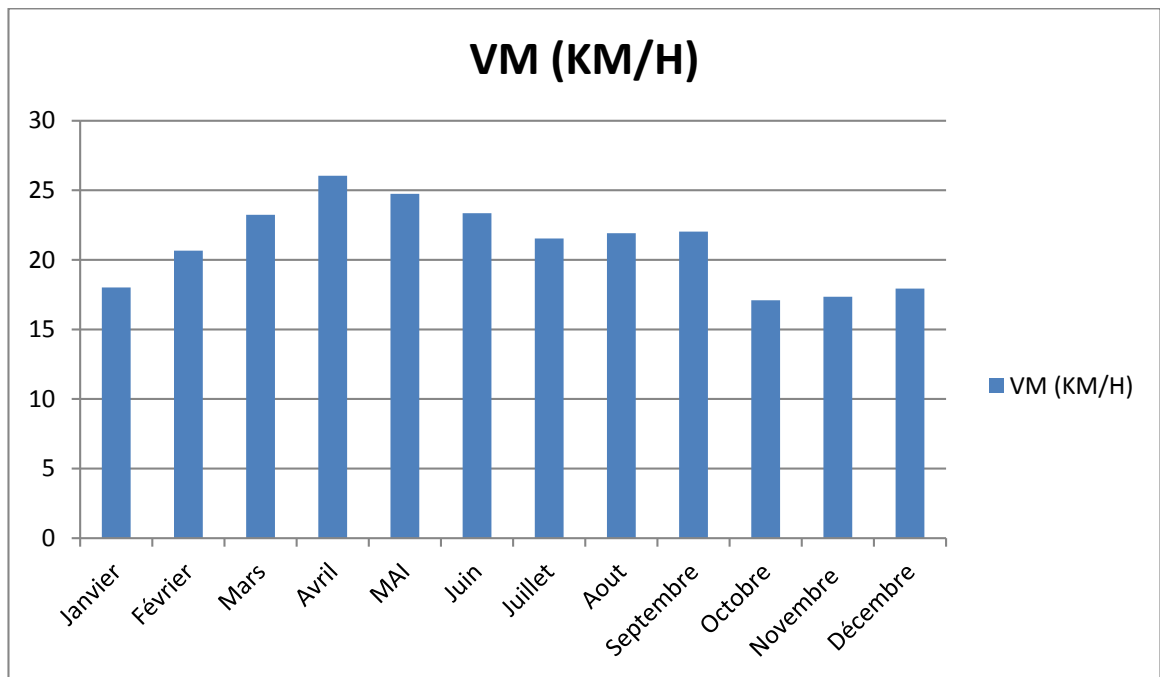


Figure I.9 : Vents moyenne mensuelle durant la période (1990-2020)

D'après le tableau 08, la vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois d'avril avec une moyenne de 26.04 km/h. Le minimum est enregistré durant le mois d'Octobre avec une vitesse de 17.01 km/h.

I. 5.6. 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. La température d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique au niveau de la mer (1 Bar = 100 kPa) est de 100°C.

Tableau I.9 : La pression Atmosphérique (1990-2020)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	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

(<https://fr.tutiempo.net>)

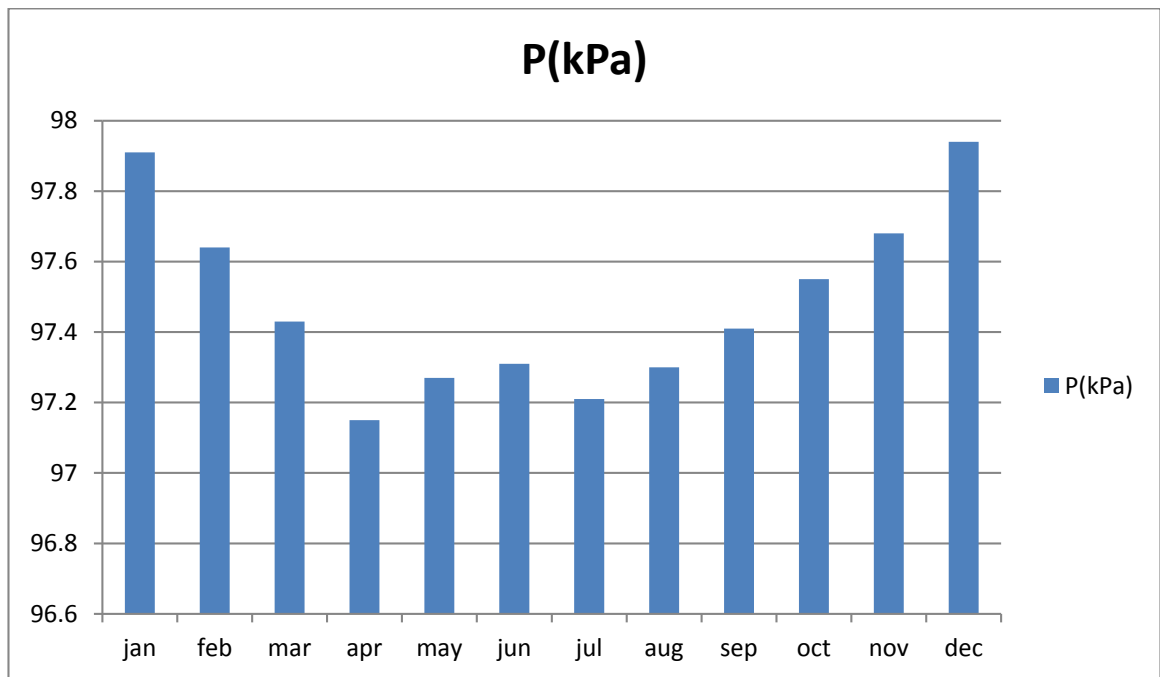


Figure I.10 : La pression Atmosphérique la période (1990-2020)

Quand l'air est plus chaud, donc plus léger, la pression atmosphérique est faible. Quand la pression atmosphérique est haute, c'est l'inverse. C'est le phénomène de l'anticyclone qui annonce un temps dégagé. La pression atmosphérique est faible au mois de juillet (97.21 kPa) et élevée au mois de décembre (97.94 kPa).

I. 6. L'évaporation

L'évaporation à la surface de l'eau est un phénomène dans lequel le liquide se déplace L'aspiration. Elle est provoquée par le mouvement des particules par Mouvement continu acquiert suffisamment d'énergie pour se libérer de la surface de l'eau et S'échapper dans l'atmosphère, En général, la quantité d'eau qui s'évapore dépend des effets de la vitesse, de la vitesse du vent, du degré de pression atmosphérique, Elle est affectée par la vitesse du vent et les turbulences atmosphériques. Le tableau suivant montre les variations mensuelles dans la région d'El Oued (2009.2019). D'après le tableau (N°I. 10), nous constatons bien que le mois le plus évaporé est le mois d'Aout puisque la valeur de l'évaporation Juillet 389.72 mm alors que le minimum de l'évaporation est dans le mois de Décembre est de 96.65 mm. La figure ci-dessous montre la répartition de l'évaporation mensuelle dans la période (2009-2019).

Tableau I.10 : L'évaporation mensuelle (2009-2019)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
EVP(mm)	108.07	136.52	175.09	216.25	250.52	303.41	354.29	308.75	229.62	184.50	139.26	82.34

(<https://fr.tutiempo.net>)

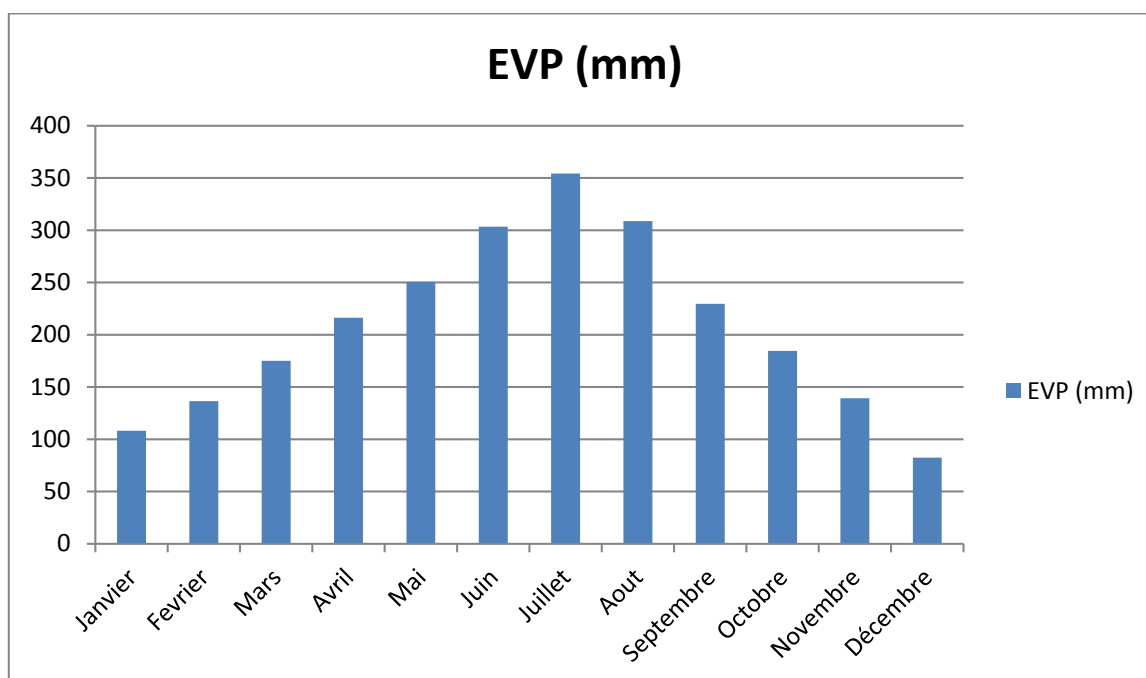


Figure I.11: L'évaporation moyenne mensuelle (2009-2019)

I.7. L'ensoleillement

Selon les données climatiques actuelles de la station pour la période 2009/2019, le nombre moyen d'heures d'ensoleillement varie de 261 heures/mois en février à 397 heures en juillet pendant la période estivale (Juin-Août).

Tableau I.11 : La rayonnement solaire (2009-2019)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Rs (KWh/m²/mois)	273.18	261.63	289.75	317.47	363.29	358.31	358.31	397.36	306.39	309.19	272.08	263.94

(<https://fr.tutiempo.net>)

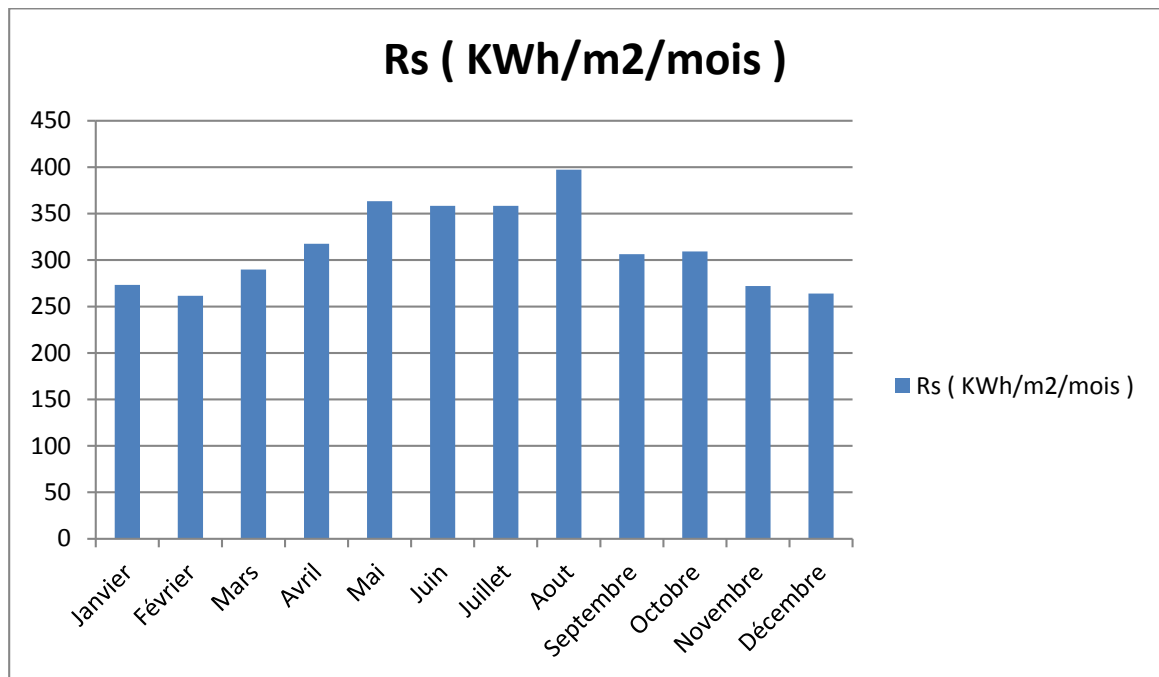


Figure I.12 : La rayonnement solaire (2009-2019)

I-8 Conclusion

L'analyse des données climatiques de la région de Guemar au cours des 30 dernières années a permis de confirmer que le climat de cette région, lieu de l'étude, est sec. La région est caractérisée par :

- La température mensuelle moyenne est de 10,99°C en Janvier et de 34,33°C en Juillet.
- La vitesse moyenne mensuelle du vent est de 6,91 m/s en Novembre et de 13,05 m/s en Avril.
- L'humidité relative est de 61,88% en décembre, 62,61% en janvier, 51,89% en février et 29,05% en Juillet.
- Les précipitations ont un maximum en novembre (21,66 mm) et un minimum en Juillet (0,59 mm).
- Les heures d'ensoleillement vont de 261 heures/mois en février à 397 heures/mois en Juillet.
- L'évaporation mensuelle maximale est de 389,72 mm en Juillet.

Chapitre II

Méthodes d'estimation de l'évaporation par les méthodes combinatoires

II.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter les méthodes utilisées pour estimer l'évaporation, tant pour les mesures indirectes à l'aide des 08 modèles en comparant avec les mesures directes à l'aide du 'Bac Colorado' ou bien classe A dans la station pluviométrique d'Oued Souf.

II.2. Les Modelés d'estimation de l'évaporation de d'Oued Souf Les bacs d'évaporation

L'objectif des bacs d'évaporation est de quantifier la quantité d'eau évaporée de plus les conditions d'évaporation des masses d'eau naturelles.

II.2.1. Méthode directe « Bac Colorado »

L'évaporation est généralement mesurée directement à l'aide de bacs d'évaporation. Les bacs d'évaporation sont des cuves cylindriques ou rectangulaires dans lesquelles les fluctuations du niveau d'eau mesurées à intervalles réguliers (quotidiens, hebdomadaires ou annuels) reflètent l'intensité de l'évaporation. Les principaux avantages des bacss sont qu'ils sont économiques et faciles à installer, mais leur inconvénient est qu'il est difficile d'évaluer les effets du transfert de chaleur à partir de la lumière directe du soleil et des surfaces murales.

- **Classe A** : développées par l'AGC. Réservoir circulaire d'un diamètre de 122 cm et d'une profondeur de 25,4 cm. Il doit être placé à 18 cm au-dessus du sol et l'eau du réservoir doit être placée à 5-8 cm du bord. En raison de sa petite taille, il y a un problème d'inertie thermique insuffisante. (Vachara, 2008)



Figure II.1: Le bac Classe « A »



Figure II.2: Le bac Colorado

- **Le bac Colorado** : jardinières carrées de 91,4 cm de côté et de 46 à 91 cm de profondeur. Elles sont enterrées de manière à ce que le bord se trouve à 10 cm au-dessus de la surface du sol. Comme elles sont enterrées à une hauteur de 10 cm au-dessus de la surface du sol, elles sont moins sensibles à la chaleur. Il existe différents types de bacs Colorado, dont ceux fabriqués par l'ORSTOM. (Vachara, 2008)

- **Les bacs flottants:** Est partiellement immergé dans la surface de l'eau. Cette mesure est la plus représentative de la situation d'évaporation au-dessus de la surface de l'eau. Cette mesure est la plus représentative de la situation de l'évaporation à la surface de l'eau, mais elle est très difficile et très coûteuse.



Figure II.3 : Bac flottant (Aldomany, 2017)

II.2.2. Les méthodes Indirectes - Application à un site à Oued Souf climat saharien.

L'évaporation peut être calculée à l'aide de la méthode aérodynamique lorsque l'apport d'énergie n'est pas limitatif et de la méthode du bilan énergétique lorsque le transport de vapeur n'est pas limitatif. Toutefois, comme ces deux facteurs sont généralement limitants, il est nécessaire de combiner les deux méthodes. L'équation pour leur combinaison est donnée sous la forme suivante (Michale Gebrekiros, 2017):

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times E_r + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times E_a$$

Où :

E_r et E_a désignent l'évaporation "E" (mm/jour) calculée selon les méthodes du bilan énergétique et aérodynamique respectivement, Δ est la pente de la courbe de la pression de vapeur saturante à la température de l'air et γ est une constante psychrométrique.

Il convient de noter que la plupart des équations combinées pour l'évaporation sont basées sur une expansion linéaire de la courbe de pression de vapeur saturée autour de la température de l'air. Cette approximation introduit une certaine erreur dans ces équations d'évaporation car les températures de surface peuvent différer de la température de l'air de plusieurs degrés et la courbe de pression de vapeur saturée n'est pas linéaire (Milly, 1991).

Dans ce qui suit, les modèles les plus connus pour l'estimation de l'évaporation sont présentés, ainsi que les résultats numériques obtenus pour les cinq barrages étudiés. Les neuf modèles (09) retenus sont : Penman (1948), Slatyer-McIlroy (1961), Priestly-Taylor (1972), Stewart-Rouse (1976), Debruin (1978), Brutsaert- Stricker (1979), Debruin-Keijman (1979), Penman-Brutsaert (1982) et Penman-Monteith FAO (1998). Ces modèles se sont généralement avérés fournir des estimations raisonnables et relativement précises de l'évaporation (Duanet et al., 2017).

II.2.3 Modèle de Penman (1948) :

L'équation de Penman est dérivée de la physique des procédés et est universellement applicable. Elle s'est avérée relativement efficace pour estimer la perte d'eau des surfaces naturelles dans plusieurs endroits (Craig et al, 2007 ; Jensen et al, 2005 ; Coulomb et al, 2001 ; Burman et Pochop, 1994 ; Linacre, 1993 ; Allen, 1986 ; Jensen, 1975 ; Brutsaert, 1965 ; Benzaghta, 2012). La formule de Penman peut être écrite comme suit (Gilman, 1994 ; Benzaghta, 2012) :

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times R_n + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times f(U)D$$

II.2.4 Modèle de Slatyer-McIlroy (1961):

L'équation de Slatyer-McIlroy est utilisée pour estimer l'évaporation d'une surface humide avec une advection minimale. Cela se produit lorsque l'air au-dessus de la surface est saturé par l'échange de vapeur avec la surface humide ; l'estimation de Slatyer-McIlroy est considérée comme représentant la limite inférieure de l'évaporation à partir d'une surface humide (Brutsaert, 1982 ; Feller, 2011). Elle est exprimée dans le premier terme de l'équation de Penman comme suit (Slatyer et McIlroy, 1961 ; Feller, 2011) :

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda}$$

II.2.5. Modèle de Priestley–Taylor (1972) :

Priestley-Taylor (1972) a proposé une version simplifiée de l'équation de couplage de Penman pour les conditions d'évaporation lorsque la surface est généralement humide. La composante aérodynamique est supprimée et la composante énergétique est multipliée par un coefficient (β) en conditions humides. L'équation de Priestley-Taylor peut donc être écrite comme suit (Benzaghta, 2012) :

$$E = \beta \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda} \right]$$

II.2.6 Modèle de Stewart-Rouse (1976):

Stewart et Rouse (1976) ont dérivé l'équation (III.7) en utilisant une fonction linéaire du rayonnement solaire incident (R_s) pour remplacer le rayonnement net et le stockage de chaleur. Le coefficient empirique de cette fonction a été obtenu par analyse de régression et est donc spécifique à leur lac. Il est exprimé comme suit (Majidi et al., 2015) :

$$E = 52,6 \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_s}{\lambda} \right] - 0,12$$

II.2.7 Modèle de DeBruin (1978) :

DeBruin (1978) a éliminé le terme énergétique en combinant les équations de Penman et de Priestley-Taylor pour obtenir l'équation suivante. Dans cette solution, DeBruin a rejeté R_n et N au motif qu'ils n'étaient pas très disponibles ou qu'il était trop coûteux d'effectuer des mesures adéquates, en particulier pour les grandes masses d'eau. Il a trouvé un bon accord avec les estimations de la méthode du bilan énergétique pour des intervalles de 10 jours ou plus (Majidi et al, 2015), et il a proposé l'équation suivante (Schertzer et al, 2009) :

$$E = 1,192 \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \frac{(2,9 + 2,1U)(e_s - e_a)}{\lambda \rho} \times 86,4$$

II.2.8 Modèle de Brutsaert-Stricker (1979) :

Brutsaert-Stricker (1979) a proposé une approche qui s'est avérée être en bon accord avec les données d'évaporation quotidienne obtenues à l'aide de méthodes de bilan énergétique pendant des périodes de sécheresse sévère dans des bassins versants ruraux sablonneux. L'avantage est que les données sur l'humidité du sol, les caractéristiques de résistance stomatique de la végétation et les paramètres de séchage supplémentaires ne sont pas nécessaires pour déterminer l'évaporation (Brutsaert et al., 1979). L'équation proposée est la suivante (Schertzer et al., 2009). :

$$E = (2\alpha - 1) \left(\frac{\Delta}{\gamma + \Delta} \right) \frac{(R_n - G)}{\lambda \rho} \times 86,4 - \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \times 0,26(0,5 + 0,54U)(e_s - e_a)$$

II.2.9 - Modèle de DeBruin-Keijman (1979):

Debruin et Keijman (1979) ont proposé une version étendue de l'équation de Priestley et Taylor (1972) ; Debruin et Keijman ont appliqué la méthode Priestley-Taylor à l'ancien lac de Flevomeer et ont constaté que l'équation Priestley-Taylor n'était pas applicable à l'ancien lac. aux Pays-Bas. La méthode Priestley-Taylor, quant à elle, est dérivée de la méthode Penman et a permis de constater que le terme aérodynamique de l'équation de Penman était une fraction constante du terme radiatif (Priestley et Taylor, 1972). Ils ont ajusté cette relation empirique pour

déterminer l'évaporation. En d'autres termes, le terme aérodynamique était linéairement proportionnel au terme radiatif, auquel une autre constante était ajoutée. On a constaté que ces deux paramètres variaient tout au long de l'année, mais ils sont principalement considérés comme des constantes (Femke et al., 2019). La version DeBruin-Kejiman est exprimée comme suit (Winter et al., 1995 ; YAO, 2009 ; Gorjizade et al. al., 2015) :

$$E = \frac{\Delta}{0,95\Delta + 0,63\gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda\rho} \times 86,4$$

II.2.10 Modèle de Penman- Brutsaert (1982):

L'équation de Penman-Brutsaert (1982) est exprimée comme suit (Donald O. Rosenberry, 2007):

$$E = \left(\frac{\Delta}{\gamma + \Delta} \right) \frac{(R_n - G)}{\lambda\rho} \times 86,4 - \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \times 0,26(0,5 + 0,54U)(e_s - e_a)$$

Pa : Pression atmosphérique (kPa)

ET0 : Evaporation de la surface de l'eau

T : Température de l'air (C°)

Rs : Rayonnement solaire (MJ) (1 kWh/j = 3,6 mégajoules) (1 KWh/ m²/mois = 30 KWh/ m²/d = 108 MJ)

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

Δ : Pente de la pression de vapeur saturée à température moyenne (kPa/°C) (mbar/°C) (mmHg/°C))

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

γ : Constante différentielle (mêmes unités que Δ) = 0,065 kPa/°C = 0,65 mbar/°C = 0,486 mm Hg/°C.

II.3 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a exploré différentes méthodes d'estimation de l'évaporation, en mettant l'accent à la fois sur les mesures indirectes et les mesures directes à l'aide de bacs d'évaporation tels que le "Bac Colorado" et la "Classe A", situés à la station pluviométrique d'Oued Souf. Nous avons examiné les avantages et les limites de ces méthodes directes, qui offrent une faisabilité économique mais peuvent être complexes en raison des considérations liées au transfert de chaleur. De plus, nous avons discuté de la combinaison des méthodes aérodynamique et du bilan énergétique pour l'estimation indirecte, avec une équation impliquant des constantes psychrométriques. Le chapitre a également couvert divers modèles d'estimation de l'évaporation tels que Penman, Slatyer-McIlroy, Priestley-Taylor, Stewart-Rouse, DeBruin, Brutsaert-Stricker, DeBruin-Keijman et Penman-Brutsaert, chacun prenant en compte différents paramètres climatiques. Dans l'ensemble, ce chapitre a fourni des aperçus sur les méthodes complexes utilisées pour comprendre les schémas d'évaporation dans le climat saharien d'Oued Souf.

Chapitre III

Estimation de l'évaporation de la région d'étude par les méthodes combinatoires

Chapitre III Estimation de l'évaporation de la région d'étude par les Méthodes combinatoires

III.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter le calcul des méthodes combinatoire utilisées pour estimer l'évaporation, et comparé par l'évaporation mesures dans la région d'étude Guemar.

III.2 Modèle de Stewart-Rouse (1976):

Le tableau (01) ci-dessous donne les valeurs de l'évaporation mesures et les valeurs de Stewart-Rouse observées durant la période (1990-2020).

Tableau III.1 : l'évaporation durant la période (1990-2020)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E mesures	108.07	136.52	175.09	216.25	250.52	303.41	354.29	308.75	229.62	184.50	139.26	82.34
E estimer	30.01	37.26	53.95	70.82	85.74	101.59	112.90	107.44	89.00	61.56	42.66	31.03

(ONM station guemar –EL-OUED-)

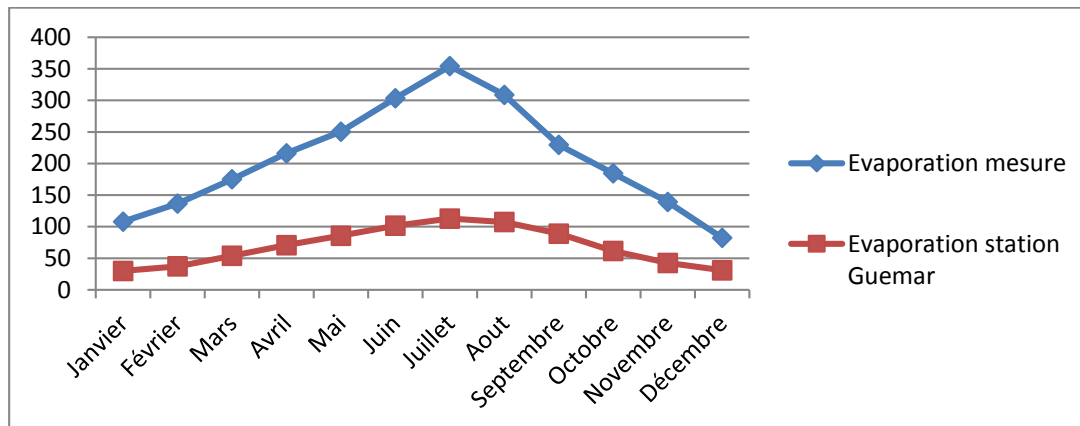


Figure III.1 : l'évaporation durant la période (1990-2020)

III.3 Modèle de DeBruin (1978) :

Le tableau (02) ci-dessous donne les valeurs de l'évaporation mesures et les valeurs de DeBruin observées durant la période (1990-2020).

Tableau III.2 : l'évaporation durant la période (1990-2020)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E mesures	108.07	136.52	175.09	216.25	250.52	303.41	354.29	308.75	229.62	184.50	139.26	82.34
E estimer	39.11	58.18	84.68	120.08	170.59	243.01	313.46	291.25	160.13	115.16	65.14	40.93

(ONM station guemar –EL-OUED-)

Chapitre III Estimation de l'évaporation de la région d'étude par les Méthodes combinatoires

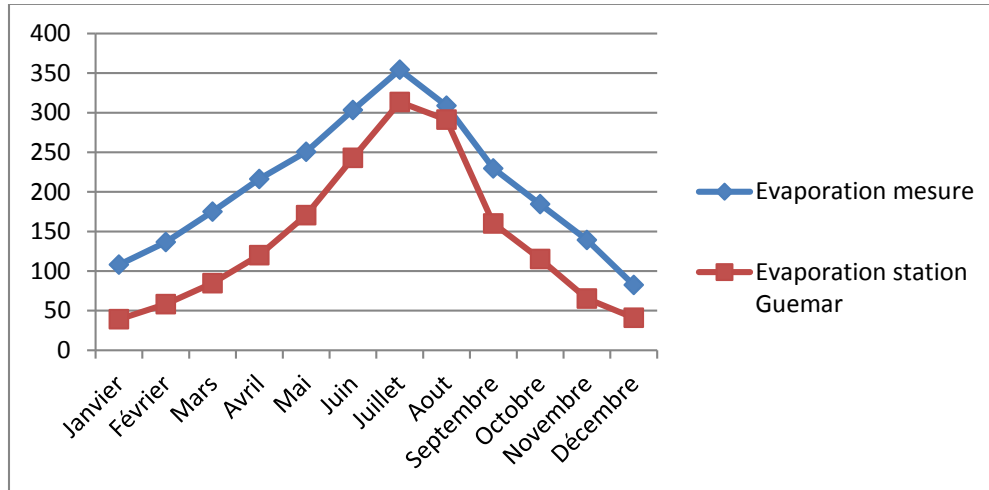


Figure III.2 : l'évaporation durant la période (1990-2020)

III.4 Modèle de Brutsaert-Strickler (1979)

Le tableau (03) ci-dessous donne les valeurs de l'évaporation mesures et les valeurs de **Brutsaert-Stricker** observées durant la période (1990-2020).

Tableau III.3 : l'évaporation durant la période (1990-2020)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E mesures	108.07	136.52	175.09	216.25	250.52	303.41	354.29	308.75	229.62	184.50	139.26	82.34
E estimer	86.88	111.45	161.12	211.22	250.83	291.22	320.21	305.84	258.40	172.83	121.54	88.3

(ONM station guemar –EL-OUED-)

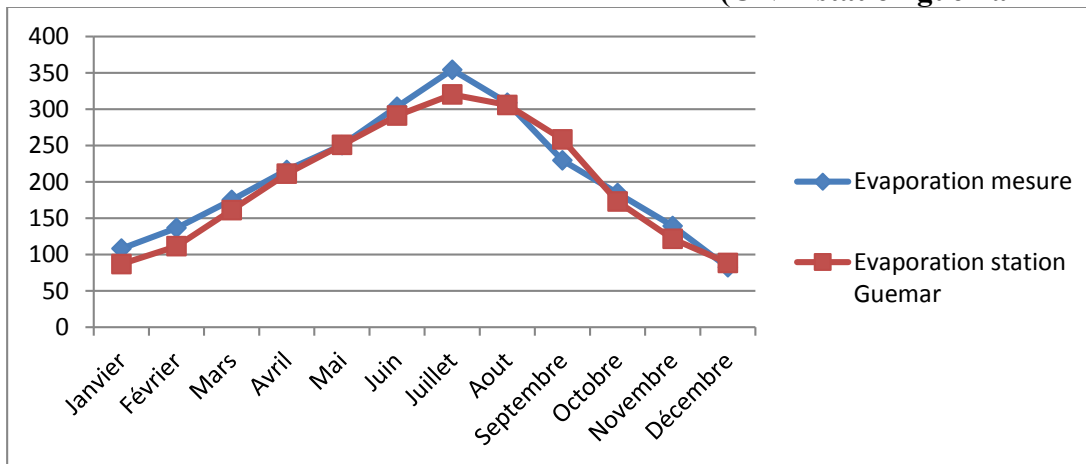


Figure III.3 : l'évaporation durant la période (1990-2020)

Chapitre III Estimation de l'évaporation de la région d'étude par les Méthodes combinatoires

III.5 Modèle de DeBruin-Keijman (1979):

Le tableau (04) ci-dessous donne les valeurs de l'évaporation mesures et les valeurs de **DeBruin-Keijman** observées durant la période (2009-2019).

Tableau III.4 : l'évaporation durant la période (2009-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E mesures	108.07	136.52	175.09	216.25	250.52	303.41	354.29	308.75	229.62	184.50	139.26	82.34
E estimer	69.83	88.57	125.57	161.79	189.21	216.40	235.44	225.14	192.52	131.95	95.24	70.86

(ONM station guemar –EL-OUED-)

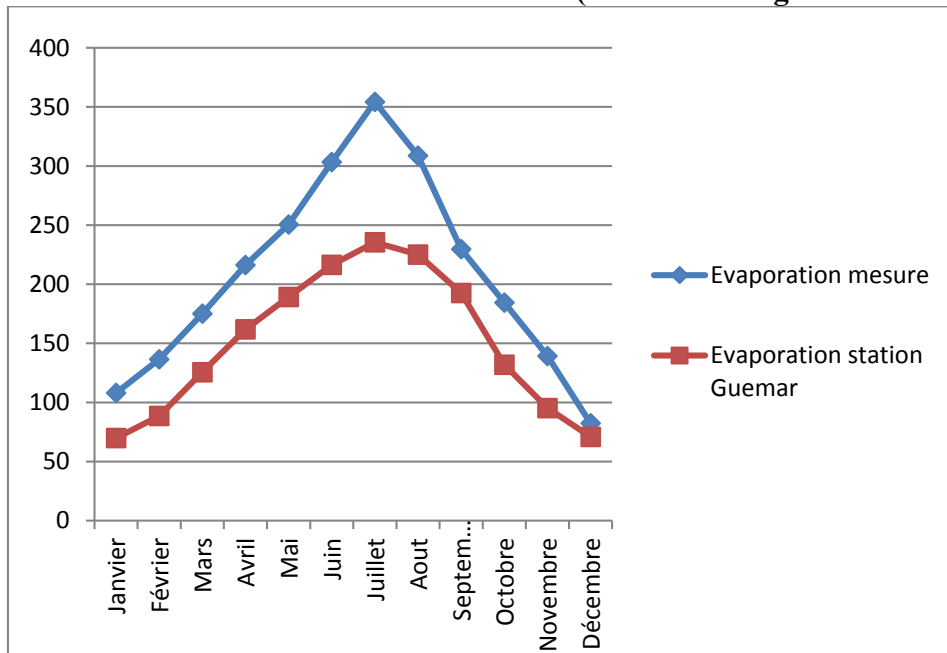


Figure III.4 : l'évaporation durant la période (2009-2019)

III.6 Modèle de Penman- Brutsaert (1982):

Le tableau (05) ci-dessous donne les valeurs de l'évaporation mesures et les valeurs de **Penman- Brutsaert** observées durant la période (2009-2019).

Tableau III.5 : l'évaporation durant la période (2009-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E mesures	108.07	136.52	175.09	216.25	250.52	303.41	354.29	308.75	229.62	184.50	139.26	82.34
E estimer	107.14	134.89	214.32	308.97	423.94	582.47	727.88	677.53	485.97	302.45	175.47	113.83

(ONM station guemar –EL-OUED-)

Chapitre III Estimation de l'évaporation de la région d'étude par les Méthodes combinatoires

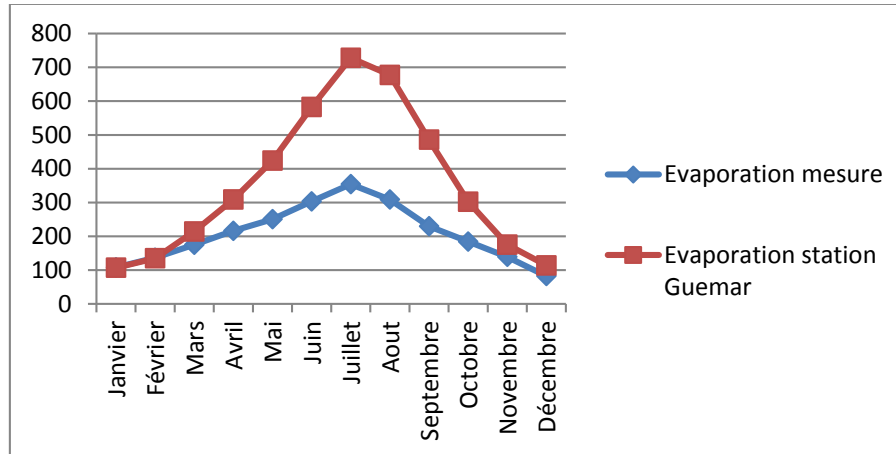


Figure III.5 : l'évaporation durant la période (2009-2019)

III. 7. Résultats et discussion

Parmi les modèles utilisés seuls les données climatiques sont disponibles de Stewart-Rouse (1976), DeBruin (1978), Brutsaert-Strickler (1979), DeBruin-Keijman (1979) et Penman- Brutsaert (1982). L'estimation numérique et les tracés graphiques montrent clairement que le modèle de Brutsaert-Strickler est le plus adéquat (Voir tab III.3., Figure III.3). Les erreurs obtenues par ce modèle sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III.6. Les erreurs obtenues par le modèle de Brutsaert-Strickler

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Somme
Ep (mm)	108,07	136,52	175,09	216,25	250,52	303,41	354,29	308,75	229,62	184,5	139,26	82,34	2488,62
Es-R (mm)	86,88	111,45	161,12	211,22	250,83	291,22	320,21	305,84	258,4	172,83	121,54	88,3	2379,84
Erreur (%)	20%	18%	8%	2%	0%	4%	10%	1%	-13%	6%	13%	-7%	4%

Ep : Evaporation du pan ; Es-R : Evaporation du modèle Brutsaert-Strickler.

Donc, en examinant les erreurs mensuelles calculées ne dépassent pas les 20% alors l'erreur annuelle est de 4%. Cela explique la fiabilité du modèle Brutsaert-Strickler. Par contre, les autres modèles ne donnent pas de estimations proches avec celles mesurées par le bac d'évaporation. C'est la raison pour laquelle nous allons essayer de proposer une formule permettant d'estimation l'évaporation sans recours à ces méthodes. Le chapitre suivant fait l'objet de cet essai.

III.8. Conclusion

En conclusion, parmi les modèles examinés, seuls les données climatiques sont disponibles pour les modèles de Stewart-Rouse (1976), DeBruin (1978), Brutsaert-Strickler (1979), DeBruin-Keijman (1979) et Penman-Brutsaert (1982). Les estimations numériques et les tracés graphiques révèlent clairement que le modèle de Brutsaert-Strickler est le plus approprié (voir tableau III.3, figure III.3).

Ainsi, en observant que les erreurs mensuelles calculées ne dépassent pas 20%, avec une erreur annuelle de seulement 4%, cela confirme la fiabilité du modèle de Brutsaert-Strickler. En revanche, les autres modèles ne se rapprochent pas autant des mesures effectuées avec le bac d'évaporation. C'est pourquoi nous envisageons de développer une formule permettant d'estimer l'évaporation sans recourir à ces méthodes. Le prochain chapitre se penchera sur cette tentative.

CHAPITRE IV
PROPOSITION D'UN
MODELE EMPIRIQUE
DE TYPE REGRESSION
MULTILINEARE

IV. 1 Introduction

Estimer la quantité d'eau qui s'évapore d'un plan d'eau (barrage ou lac) est une tâche difficile. De nombreux chercheurs internationaux et quelques un Algériens ont proposé de nouveaux modèles numériques, comme par exemple le modèle de Malika Fekih (2010) et le modèle de Xu et Singh (2000).

Par exemple, le modèle de Malika Fekih (2010) et le modèle de Xu et Singh (2000) nécessitent des mesures locales de nombreux paramètres qui ne sont pas disponibles dans les bulletins climatologiques. Dans ce chapitre, un nouveau modèle numérique plus simple et plus acceptable est proposé. Il est accepté pour estimer les taux d'évaporation dans la région de Guemar, wilaya d'El Oued, lors de l'utilisation des données climatiques disponibles (température, humidité relative, etc.). Il convient de souligner que l'analyse statistique des données climatiques est essentielle pour le développement du modèle et que les critères de Nash et les ratios d'écart-type RMSE (RSR) doivent être vérifiés pour s'assurer de leur fiabilité.

IV. 2. Nouveau modèle proposé pour l'estimation de l'évaporation de site étudié

Les nouveaux modèles numériques pour l'estimation de l'évaporation sont des modèles qui ont le pouvoir d'exprimer formellement les relations entre les variables explicatives. Un modèle qui a le pouvoir d'exprimer la relation entre les variables explicatives sous la forme d'une relation mathématique simple (régression simple ou multiple) est un modèle qui a le pouvoir de représenter les relations entre les variables explicatives sous la forme d'une relation mathématique simple (régression simple ou multiple).

Un modèle a le pouvoir de représenter les relations entre les variables explicatives sous la forme de relations mathématiques simples (régression simple ou multiple) afin de quantifier la perte d'eau due à la pollution de l'eau. quantifier la perte d'eau due aux processus d'évaporation dans les barrages et les réservoirs (Riad, 2003). Pour la région étudiée, on peut définir le nouveau modèle numérique (MLR) par l'équation suivante:

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

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

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

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

Avant de procéder à la modélisation numérique de l'évaporation, les données hydro climatiques collectées doivent être soumises à des tests statistiques précis afin d'assurer une représentativité homogène. Pour s'assurer que les données sont homogènes et représentatives, elles doivent être soumises à des tests statistiques précis. Cela permet de s'assurer de leur homogénéité et de leur représentativité. Ces tests sont effectués par XLSTAT qui fonctionne avec toutes les versions d'Excel sous Windows et Mac. Les résultats statistiques sont regroupés dans les tableaux suivants :

Le tableau 1 présente les résultats statistiques pour différentes variables. Chaque variable a été observée 12 fois, sans aucune observation manquante. Les valeurs de chaque variable varient entre des minimums et des maximums spécifiques, avec des moyennes et des écarts-types correspondants. Les variables incluent des mesures telles que "E Mesurée", "E_Stewart-Rouse", "E_Debruin", "E_Brutsaert-Strickler", "E_Debruin-Keijman", et "E_Penman-Brutsaert". Les valeurs moyennes et les écarts-types reflètent les tendances et la

Tableau IV 1. Résultats statistiques

Variable	Observations	Obs. avec absence Data	Obs. sans absence Data	Minimum	Maximum	Moyen	Std. Déviation
E Mesurée	12	0	12	82,340	354,290	207,385	85,408
E_Stewart-Rouse	12	0	12	30,010	112,900	68,663	30,293
E_Debruin	12	0	12	39,110	313,460	141,810	95,937
E_Brutsaert-Strickler	12	0	12	86,880	320,210	198,320	86,118
E_Debruin-Keijman	12	0	12	69,830	235,440	150,210	61,218
E_Penman-Brutsaert	12	0	12	107,140	727,880	354,572	221,905

dispersion des données pour chaque variable.

Le tableau 2 présente les corrélations entre différents modèles. Chaque cellule du tableau montre le degré de corrélation entre deux variables spécifiques. Les valeurs de corrélation varient entre -1,0 et 1,0, où 1,0 représente une corrélation positive parfaite, 0 indique l'absence de corrélation, et -1,0 indique une corrélation négative parfaite. Les valeurs du tableau indiquent que les modèles ont des corrélations élevées entre eux, ce qui suggère une forte similarité dans leurs performances ou leurs résultats. Par exemple, les variables "E_{Stewart-Rouse}" et "E_{Debruin}" ont une corrélation de 0,968, ce qui indique une forte corrélation positive. De même, les autres valeurs de corrélation élevées dans le tableau suggèrent des liens cohérents entre les différents modèles étudiés.

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

Tableau IV 2. Corrélation des modèles

Variables	E _{Stewart-Rouse}	E _{Debruin}	E _{Brutsaert-Strickler}	E _{Debruin-Keijman}	E _{Penman-Brutsaert}	E _{Mesurée}
E _{Stewart-Rouse}	1,000	0,968	0,999	0,998	0,986	0,983
E _{Debruin}	0,968	1,000	0,960	0,955	0,991	0,976
E _{Brutsaert-Strickler}	0,999	0,960	1,000	1,000	0,979	0,982
E _{Debruin-Keijman}	0,998	0,955	1,000	1,000	0,975	0,981
E _{Penman-Brutsaert}	0,986	0,991	0,979	0,975	1,000	0,974
E _{Mesurée}	0,983	0,976	0,982	0,981	0,974	1,000

Le tableau 3 présente des statistiques de multicollinéarité pour différentes variables. Ces statistiques sont importantes pour évaluer la présence de corrélation élevée entre les variables indépendantes dans un modèle de régression.

Tableau IV 3. Statistiques de multicollinéarité

Statistique	E _{Stewart-Rouse}	E _{Debruin}	E _{Brutsaert-Strickler}	E _{Debruin-Keijman}	E _{Penman-Brutsaert}
Tolérance	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
VIF	2615,594	217,795	104769,229	91168,360	2648,350

Le tableau 4 présente les résultats obtenus à partir de deux modèles sélectionnés. Chaque modèle utilise un nombre spécifique de variables pour expliquer les variations observées. Le "No. de variables" indique le nombre de variables incluses dans le modèle. Les variables sélectionnées pour le premier modèle sont "E_{Debruin}" et "E_{Debruin-Keijman}".

Les métriques de performance du modèle comprennent :

- "MSE" (Mean Squared Error), qui mesure la moyenne des erreurs au carré entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Un MSE plus bas indique une meilleure adéquation du modèle aux données.
- "R²" (Coefficient de détermination), qui représente la proportion de la variance totale expliquée par le modèle. Une valeur proche de 1 indique une bonne adéquation.
- "Adjusted R²" (R² ajusté), qui prend en compte le nombre de variables et pénalise l'ajout de variables inutiles.
- "Mallows' Cp", un critère de sélection de modèle qui évalue à quel point le modèle est proche du modèle idéal.
- "Akaike's AIC" et "Schwarz's SBC", des critères d'information pour comparer la qualité des modèles.

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

- "Amemiya's PC", une statistique pour tester l'hypothèse d'homoscédasticité.

Dans ce cas, le modèle utilisant les variables "E_{Debruin}" et "E_{Debruin-Keijman}" montre un MSE de 179,737, un R² élevé de 0,980 indiquant une bonne adéquation, ainsi qu'un R² ajusté de 0,975. Les autres mesures, telles que le "Mallows' Cp" et les critères d'information, contribuent à l'évaluation globale du modèle.

Tableau IV 4. Résultats des deux modèles sélectionnés

N°. de variables	Variables	MSE	R ²	Adjusted R ²	Mallows' Cp	Akaike's AIC	Schwarz's SBC	Amemiya's PC
2	E _{Debruin} / E _{debruin-Keijman}	179,737	0,980	0,975	6,265	64,846	66,300	0,027

Le tableau 5 montre que le modèle présente un F élevé de 218,714, avec une valeur p très proche de zéro (< 0,0001), ce qui indique que le modèle est statistiquement significatif. Le modèle explique une grande partie de la variance observée, tandis que l'erreur (variance non expliquée) est également présentée. La somme des carrés totale corrigée pour toutes les sources de variation est également fournie pour référence.

Tableau IV 5. Analyse de la variance

Source	Df	Somme carrée	Moyenne carrée	F	Pr > F
Modèle	2	78621,997	39310,999	218,714	< 0,0001
Erreur	9	1617,633	179,737		
Total corrigé	11	80239,630			

Le tableau 6 présente les paramètres du modèle proposé ainsi que leurs propriétés statistiques. Chaque ligne correspond à une variable du modèle et fournit les informations suivantes :

- "Source" indique la variable du modèle.
- "Value" est la valeur estimée du coefficient de régression pour cette variable.
- "Standard error" est l'erreur standard de l'estimation du coefficient.
- "t" est la statistique t associée au coefficient, mesurant l'écart entre la valeur estimée et zéro en termes d'unités d'erreur standard.
- "Pr > |t|" est la valeur p associée à la statistique t, indiquant la significativité statistique du coefficient.
- "Lower bound (98%)" et "Upper bound (98%)" sont les bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance à 98% pour le coefficient.

Dans ce cas, on peut interpréter que :

- Le terme "Intercept" représente l'ordonnée à l'origine, avec une valeur de 34,416 et une p-value de 0,058, suggérant une tendance à la significativité.
- Les variables "E_{Stewart-Rouse}", "E_{Brutsaert-Strickler}" et "E_{Penman-Brutsaert}" ont des coefficients nuls (0,000), ce qui signifie qu'elles n'ont pas d'effet significatif dans le modèle.
- La variable "E_{Debruin}" a un coefficient estimé de 0,393 avec une p-value de 0,022, indiquant une influence statistiquement significative.

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

- La variable "E_{Debruin-Keijman}" a un coefficient estimé de 0,780 avec une p-value de 0,007, suggérant également une influence significative.

Les intervalles de confiance à 98% donnent une plage probable pour les valeurs réelles des coefficients.

Tableau IV 6. Les paramètres du modèle proposé

Source	Value	Standard error	t	Pr > t	Lower bound (98%)	Upper bound (98%)
Intercept	34,416	15,883	2,167	0,058	-10,428	79,259
E Stewart-Rouse	0,000	0,000				
E _{Debruin}	0,393	0,142	2,770	0,022	-0,008	0,794
E Brutsaert-Strickler	0,000	0,000				
E _{Debruin-Keijman}	0,780	0,223	3,505	0,007	0,152	1,409
E _{Penman-Brutsaert}	0,000	0,000				

IV. 2. 2. Modèle proposé pour l'estimation de l'évaporation du site étudié

La proposition du modèle de régression linéaire multiple (MLR) repose sur l'équation suivante :

$$E_{\text{Modèle}} = 34,41577 + 0,39335 * E_{\text{Debruin}} + 0,78016 * E_{\text{Debruin-Keijman}} \quad (1)$$

Ce modèle vise à expliquer les variations dans la variable cible ($E_{\text{Modèle}}$) en fonction des variables prédictives E_{Debruin} et $E_{\text{Debruin-Keijman}}$. L'ordonnée à l'origine de 34,41577 suggère une valeur de base pour $E_{\text{Modèle}}$ lorsque les variables prédictives sont nulles. Les coefficients associés à E_{Debruin} (0,39335) et $E_{\text{Debruin-Keijman}}$ (0,78016) quantifient l'impact de ces variables sur la variable cible. Chaque unité d'augmentation dans E_{Debruin} entraîne une augmentation de 0,39335 dans $E_{\text{Modèle}}$, tandis qu'une unité d'augmentation dans $E_{\text{Debruin-Keijman}}$ contribue à une augmentation de 0,78016 dans $E_{\text{Modèle}}$. Cette formule permet de prédire la valeur d' $E_{\text{Modèle}}$ en fonction des valeurs des variables prédictives, ce qui peut être utilisé pour prendre des décisions éclairées et comprendre les relations entre les variables dans le contexte de l'étude (Figure 1).

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

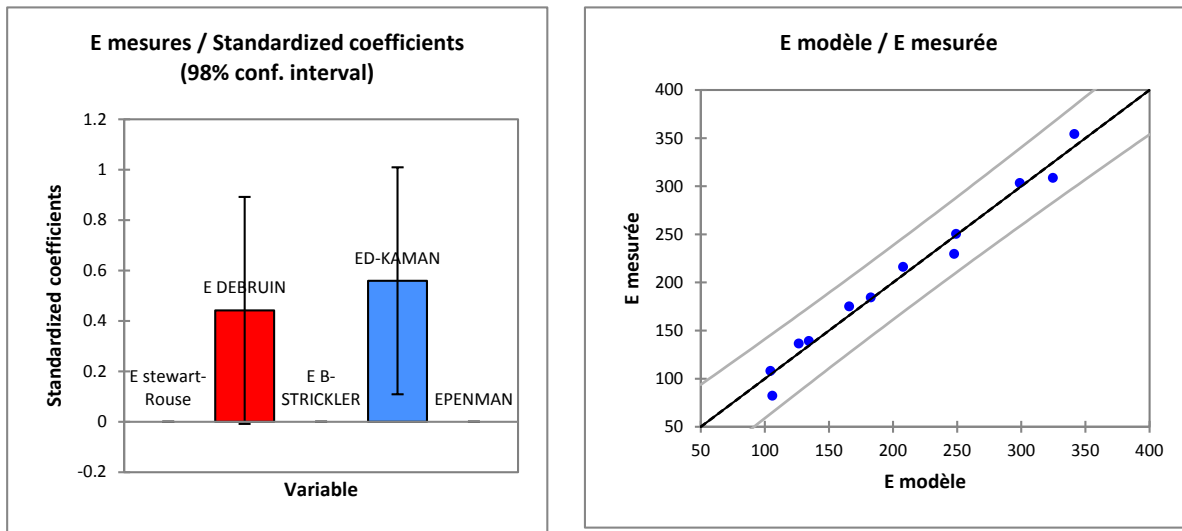


Figure IV. 1 . Coefficients standardisés des deux modèles combinés-Corrélation du modèle.

Tableau IV 7 :
Coefficients standardisés

Source	Value	Standard error	t	Pr > t	Lower bound (98%)	Upper bound (98%)
E Stewart-Rouse	0,000	0,000				
E Debruin	0,442	0,160	2,770	0,022	-0,009	0,892
E Brutsaert-Strickler	0,000	0,000				
E Debruin-Keijman	0,559	0,160	3,505	0,007	0,109	1,010
E Penman-Brutsaert	0,000	0,000				

Tableau IV 7 présente les coefficients standardisés pour les variables du modèle. Les coefficients standardisés mesurent l'impact relatif de chaque variable indépendante sur la variable dépendante, après avoir été ajustés pour des unités standard d'écart-type. Dans ce tableau :

- Les variables "E_{Stewart-Rouse}" et "E_{Brutsaert-Strickler}" ont des coefficients standardisés nuls (0,000), ce qui suggère qu'elles n'ont pas d'impact significatif sur la variable dépendante une fois normalisées.
- La variable "E_{Debruin}" a un coefficient standardisé de 0,442, indiquant que pour chaque augmentation d'un écart-type dans "E_{Debruin}", la variable dépendante augmente de 0,442 écart-type.
- La variable "E_{Debruin-Keijman}" a un coefficient standardisé de 0,559, ce qui signifie qu'une augmentation d'un écart-type dans "E_{Debruin-Keijman}" est associée à une augmentation de 0,559 écart-type dans la variable dépendante.

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

- La variable "E_{Penman-Brutsaert}" a également un coefficient standardisé nul (0,000), indiquant un impact insignifiant.

Les valeurs de t et les p-values fournissent des informations sur la significativité statistique de chaque coefficient standardisé. Les intervalles de confiance à 98% donnent une fourchette probable pour les valeurs réelles des coefficients standardisés.

Le tableau 8 affiche la comparaison entre les valeurs réelles d'évaporation mesurée et les valeurs prédites par le modèle proposé, ainsi que les résidus associés. Les résidus standardisés aident à évaluer l'ajustement du modèle à chaque observation, et les intervalles de confiance fournissent des fourchettes probables pour les valeurs prédites.

IV. 2. 3. Validation du modèle proposé

La validation du modèle proposé a été évaluée à l'aide de plusieurs indices statistiques clés. Le Root Mean Square Error (RMSE) a quantifié l'écart moyen entre les valeurs prédites et les observations réelles, fournissant une mesure de l'ajustement global du modèle. Le coefficient de détermination (R^2) a évalué la proportion de la variance des données expliquée par le modèle. Le coefficient de Nash-Sutcliffe (NASH) et le Ratio de l'Écart-type des Résidus (RSR) ont permis d'évaluer l'adéquation entre les valeurs prédites et les observations réelles. Le Mean Bias Error (MBE) a quantifié la moyenne des écarts entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. L'utilisation combinée de ces indices a permis de valider de manière complète

Tableau IV 8. Les estimations de l'évaporation ($E_{\text{Modèle}}$) et les résidus

N°	Weight	E Mesurée	E _{Modèle}	Residual	Std. residual	Studentized residuals	Std. dev. on pred. (Mean)	Lower bound 98% (Mean)	Upper bound 98% (Mean)	Std. dev. on pred. (Observation)	Lower bound 98% (Observation)	Upper bound 98% (Observation)
Obs1	1	108,070	104,278	3,792	0,283	0,332	7,028	84,436	124,121	15,137	61,540	147,016
Obs2	1	136,520	126,400	10,120	0,755	0,836	5,748	110,170	142,629	14,587	85,215	167,585
Obs3	1	175,090	165,690	9,400	0,701	0,758	5,089	151,321	180,058	14,340	125,202	206,177
Obs4	1	216,250	207,872	8,378	0,625	0,725	6,807	188,653	227,090	15,036	165,420	250,324
Obs5	1	250,520	249,132	1,388	0,104	0,117	6,266	231,440	266,824	14,799	207,349	290,915
Obs6	1	303,410	298,831	4,579	0,342	0,380	5,846	282,326	315,336	14,626	257,537	340,125
Obs7	1	354,290	341,397	12,893	0,962	1,331	9,266	315,234	367,560	16,297	295,383	387,411
Obs8	1	308,750	324,625	-15,875	-1,184	-1,499	8,217	301,425	347,825	15,724	280,229	369,021
Obs9	1	229,620	247,600	-17,980	-1,341	-1,669	7,976	225,079	270,121	15,600	203,554	291,645
Obs10	1	184,500	182,656	1,844	0,138	0,144	4,055	171,208	194,105	14,006	143,111	222,202
Obs11	1	139,260	134,341	4,919	0,367	0,400	5,365	119,193	149,489	14,440	93,570	175,112
Obs12	1	82,340	105,798	-23,458	-1,750	-2,051	6,991	86,059	125,536	15,120	63,108	148,488

le modèle proposé et de déterminer sa capacité à fournir des prédictions précises et fiables.

Nash-Sutcliffe criterion (NSE): -

Chapitre IV PROPOSITION D'UN MODELE EMPIRIQUE DE TYPE REGRESSION MULTILINEARE

$$- \text{NSE} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_i^{\text{Model}})^2}{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_{\text{Mean}}^{\text{Measured}})^2} \right] \quad (2)$$

The Root Mean Square Error (RMSE): -

$$- \text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_i^{\text{Model}})^2}{N}} \quad (3)$$

The Mean Bias Error (MBE): -

$$- \text{MBE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_i^{\text{Model}}) \quad (4)$$

The coefficient of determination values was calculated as: -

$$- R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_{\text{Mean}}^{\text{Measured}})(E_i^{\text{Model}} - E_{\text{Mean}}^{\text{Model}})}{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_{\text{Mean}}^{\text{Measured}})^2 \sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Model}} - E_{\text{Mean}}^{\text{Model}})^2} \quad (5)$$

The Rank Sum Ratio (RSR): -

$$- \text{RSR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_i^{\text{Model}})^2}{\sum_{i=1}^n (E_i^{\text{Measured}} - E_{\text{Mean}}^{\text{Measured}})^2}} \quad (6)$$

Les indexes statistiques obtenus ont les valeurs numériques suivantes :

NSE= 0,98; RMSE= 11,61; MBE=3,35; R²=0,98; RSR=0,14.

Les résultats obtenus à partir des indices statistiques sont les suivants :

- L'indice de performance NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) affiche une valeur de 0,98. Cela indique une excellente concordance entre les valeurs prédites et les observations réelles, soulignant la précision du modèle dans la prédiction.
- Le RMSE (Root Mean Square Error), avec une valeur de 11,61, évalue l'écart moyen entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Une valeur plus faible suggère un meilleur ajustement du modèle aux données observées.
- Le MBE (Mean Bias Error), avec une valeur de 3,35, mesure la moyenne des écarts entre les prédictions et les observations. Un MBE proche de zéro indiquerait une prédiction globalement bien calibrée.
- Le coefficient de détermination R², ayant une valeur de 0,98, montre la proportion de la variance totale expliquée par le modèle. Une valeur proche de 1 indique une adéquation élevée du modèle.
- Le RSR (Ratio de l'Écart-type des Résidus), affichant une valeur de 0,14, évalue l'ajustement des écarts-types entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Une valeur faible suggère une bonne concordance entre les deux.

En somme, les résultats montrent que le modèle offre une prédiction précise et fiable (Figure IV. 2), avec une adéquation élevée aux données observées et de faibles erreurs moyennes et écarts-types résiduels.

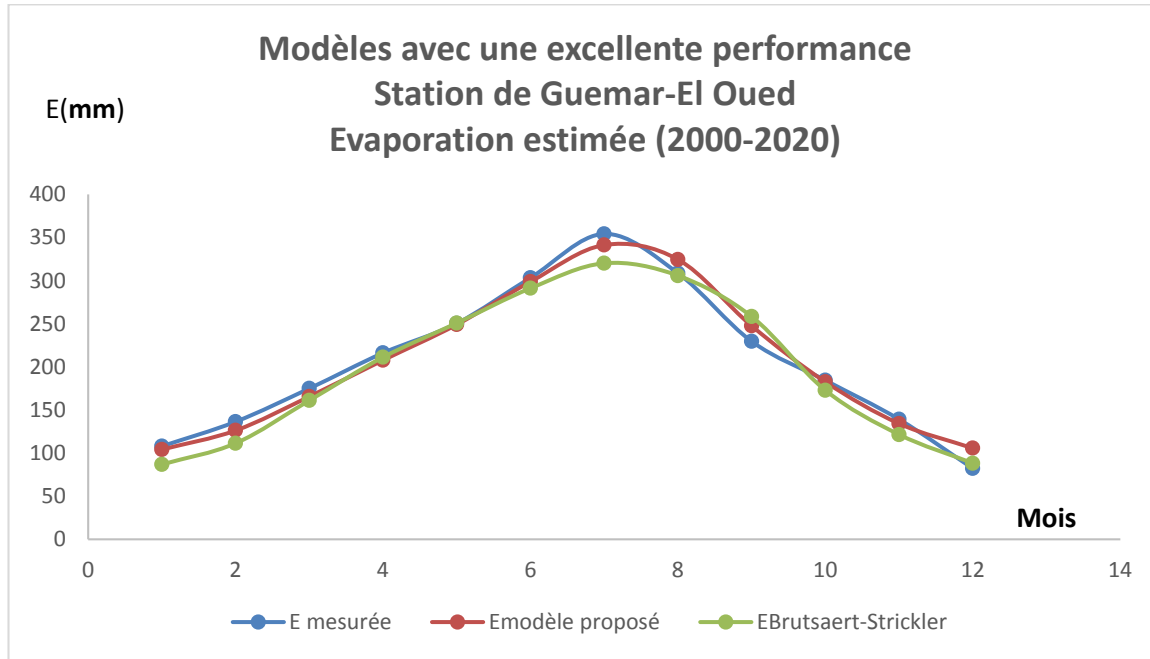


Figure IV. 2. Présentations graphiques des modèles adéquats pour l'estimation de l'évaporation pour la station de Guemar-El-Oued.

Le tableau IV.5 montre des erreurs mensuelles ne dépassant pas les 7% alors 0% pour l'estimation de l'évaporation annuelle. Ce qui confirme la fiabilité du modèle proposé.

Tableau IV.9. Les erreurs obtenues par le modèle proposé

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Somme
Ep (mm)	108,07	136,52	175,09	216,25	250,52	303,41	354,29	308,75	229,62	184,5	139,26	82,34	2488,62
EM (mm)	104,28	126,40	165,69	207,87	249,13	298,83	341,40	324,62	247,60	182,66	134,34	105,80	2488,62
Erreur (%)	4%	7%	5%	4%	1%	2%	4%	-5%	-8%	1%	4%	-28%	0%

Ep : Evaporation du bac ; **EM** : Evaporation du modèle proposé.

IV. 3. Conclusion

Un modèle numérique puissant est caractérisé par sa capacité à formaliser les relations entre les variables explicatives. L'usage de modèles qui traduisent ces relations sous forme d'équations mathématiques simples, tels que les régressions simples ou multiples, permet une meilleure quantification des pertes d'eau dues à l'évaporation.

Dans cette étude, le modèle numérique proposé (MLR) est défini par une équation de régression multiple, où les variables connues (données hydro-climatiques) sont utilisées pour prédire la variable à étudier. L'analyse statistique minutieuse des données hydro-climatiques avant la modélisation est primordiale pour garantir la cohérence et la représentativité des données. Cette analyse a été réalisée en se basant sur des tests statistiques et des corrélations entre différents modèles, permettant ainsi de sélectionner les variables les plus pertinentes pour le modèle final.

Le modèle proposé a été validé en utilisant divers indices statistiques, notamment le RMSE, le R^2 , le Nash, le RSR et le MBE. Les résultats obtenus, tels que $NSE=0,98$, $RMSE=11,61$, $MBE=3,35$, $R^2=0,98$ et $RSR=0,14$, indiquent une adéquation remarquable du modèle avec les données observées. En résumé, le modèle développé présente une précision et une fiabilité élevées dans la prédiction des taux d'évaporation, offrant ainsi une contribution précieuse à la compréhension de l'évaporation du site étudié.

CONCLUSION GENERALE

L'analyse des données climatiques de la région de Guemar sur les 30 dernières années confirme son climat sec. Les caractéristiques notables incluent les températures moyennes mensuelles de 10,99°C en janvier à 34,33°C en juillet, la vitesse moyenne du vent, l'humidité relative, les précipitations, les heures d'ensoleillement et l'évaporation maximale en juillet.

Le chapitre 2 a exploré diverses méthodes d'estimation de l'évaporation, mettant en avant les mesures directes et indirectes, ainsi que les modèles tels que Penman, Slatyer-McIlroy, Priestley-Taylor, Stewart-Rouse, DeBruin, Brutsaert-Stricker, DeBruin-Keijman et Penman-Brutsaert. Parmi eux, le modèle de Brutsaert-Strickler s'est avéré le plus fiable, avec des erreurs mensuelles inférieures à 20% et une erreur annuelle de seulement 4%.

L'approche numérique, illustrée par le modèle de régression linéaire multiple (MLR), a également été abordée. Ce modèle permet de quantifier les pertes d'eau dues à l'évaporation en reliant les variables hydro-climatiques pertinentes. Une analyse statistique approfondie a été effectuée pour sélectionner les variables les plus pertinentes, assurant la cohérence des résultats.

La validation du modèle MLR avec des indices tels que le RMSE, le R^2 , le Nash, le RSR et le MBE a montré sa précision exceptionnelle dans la prédiction des taux d'évaporation, contribuant ainsi de manière significative à notre compréhension de l'évaporation dans la région étudiée : NSE= 0,98; RMSE= 11,61; MBE=3,35; R^2 =0,98; RSR=0,14.

Ce modèle se révèle être un outil puissant pour la prévision des pertes d'eau par évaporation dans le cas de site choisi (Guemar-Oued Souf). Nous recommandons l'application de cette formule à titre de vérification et validation sur terrain et nous suggérons aux futurs étudiants de continuer à créer des modèles pareilles en cas de non-conformité des formules proposés et qui sont réalisés dans des conditions climatiques différentes

