



N° d'ordre :
N° de série :

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité: Génie Mécanique

Option: Énergétique

Présenté par:

Bensaci Mohamed Djaber

Bouziane Mohamed Abd Elkader

- Thème -

**Contribution à l'évaluation de l'évapotranspiration de
référence en Algérie.**

Soutenu publiquement :

Devant le jury composé de :13/06/2018

Président	Saggai Sofiane	M.C.A	U. Kasdi Merbah Ouargla
Examineur	Alloui Imene	M.A.A	U. Kasdi Merbah Ouargla
Encadreur	Zerrouki Moussa	M.C.A	U. Kasdi Merbah Ouargla

ANNÉE UNIVERSITAIRE: 2017/2018

Remerciements

Remerciements

Avant tout, je remercie le Bon Dieu de m'avoir aidée à réaliser ce travail.

Ayant arrivé à ce point, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les personnes qui m'ont aidée à réaliser cette étude, mes remerciements vont à :

Mes parents pour leur affection, amour et patience à mon égard ;

Mon directeur de recherche Dr : ZARROUKI.M pour son aide, ses orientations et sa confiance en moi ;

Mes amies.

Les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail ;

Sans oublier mes enseignants qui ont contribué à ma formation tout au long de ce parcours.

Et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à m'aider et à me soutenir moralement ou matériellement.

J'exprime ma reconnaissance et ma gratitude

Sommaire

Titre	Page
Remerciement.....	I
Sommaire.....	II
Liste des figures.....	V
Nomenclature.....	VII
Résumé.....	VIII
Chapitre I : Etude bibliographique	
Introduction générale.....	1
I. Introduction.....	3
I.1 Définition de l'évapotranspiration.....	3
I.1.1 L'évaporation.....	3
I.1.1.1 Facteurs météorologiques.....	4
I.1.1.2 Facteurs physiques du milieu	4
I.1.2 La transpiration.....	4
I.1.3 Evapotranspiration.....	5
I.1.4 Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration de référence.....	5
I.2 Présentation de la zone d'étude	6
I.2.1 Situation géographique de l'Algérie.....	6
I.2.2 Le climat d'Algérie.....	7
I.3. Variabilité climatique en Algérie	9
Chapitre II : matériels et méthodes	
II.1. Introduction.....	12
II.2. Calcul évapotranspiration de référence ET_0	12
II.3. Les constituants paramétriques de l'évapotranspiration.....	12
II.3.1. vent.....	12
II.3.2. Vitesse du vent (u_2).....	13
II.4. la température.....	14

Sommaire

II.4. 1. Le rôle de la température dans la nature.....	14
II.4. 2. Instruments de mesure de la température.....	14
II.4. 3. Unités de mesure de température.....	15
II.4. 4. Température quotidienne moyenne.....	15
II.5. Humidité.....	16
II.5.1. Sources d'humidité.....	16
II.5.2. Capteurs de mesure humidité.....	16
II.5. Flux de chaleur du sol (G).....	17
II.6. Définition de rayonnement net (R_n)	17
II.6.1. Rayonnement solaire net ou net à ondes courtes (R_{ns}).....	18
II.6.2 .Rayonnement solaire sortant à grande longueur d'onde (R_{nl}).....	18
II.6.2.1. Rayonnement solaire du ciel clair (R_{so}):	19
II.6.2.2. Rayonnement solaire ou ondes courtes (R_s).....	19
II.6.2.2.1. Rayonnement extraterrestre (R_a)	19
II.7. Constante psychrométrique (γ).....	19
II.7 .1. Pression atmosphérique.....	20
II.8. Pente de la courbe de pression de vapeur saturante (Δ).....	20
II.9. Pression de vapeur de saturation.....	21
II.9 .1. Pression de vapeur saturante à la température de l'air	21
II.10. La pression de vapeur réelle.....	21
II.11. Programme Calcule	22
II.11.1. Définition De MATLAB.....	22
II.11.2. Programme Calcule ET0	23

Chapitre III : Résultats et discussion.

III.1 Introduction	27
III . 2 Données utilisées dans la cartographie	27
III.3 une aperçu sur logiciel surfer 10 :	27
III.4 Résultats obtenus.....	29
III.4.1 Carte de Température (Max).....	29
III.4.2 Carte de Température (Min).....	29
III.4.3 Carte de Vitesse.....	30
III.4.4 Carte d'humidité.....	31
III.4.5 Carte de durée réelle du soleil.....	31

Sommaire

III.4.6 La variation de l'évapotranspiration mensuelle la moyenne annuelle.....	32
III.4.7 La variation temporelle de l'évapotranspiration de référence.....	33
Conclusion.....	35
Référence.....	36
Annexe.....	38

Liste des figures

N° des figures	Titre	Page
I.1	Le processus d'évaporation.....	3
I.2	Illustration du processus de transpiration.....	4
I.3	Le processus d'évaporation et de transpiration.....	5
I.4	Carte de situation de l'Algérie.....	7
I.5	Carte des zones climatiques d'Algérie.....	8
I.6	Les températures maximum et minimum pour l'année 2016.....	10
Chapitre II		
II.1	Anémomètre à coupelles (gauche) et girouette (droite).....	13
II.2	Capteur Mesure de l'intensité La vitesse du vent.....	13
II.3	Thermomètres à mercure	14
II.4	Thermomètre avec résistance électrique	15
II.5	Thermomètre à rayonnement	15
II.6	Hygrometer	16
II.7	Slingpsychrometer	17
II.8	Divers composants de rayonnement.....	18
II.9	Courbe de pression de vapeur saturante en fonction de la température.....	21
II.10	Organigramme de calcul.....	22
II.11	Logiciel de programmation (MATLAB).....	23
Chapitre III		
III 1	situation des 76 stations.....	27
III 2	<i>La fenêtre principale du programme (Surfer 10)</i>	28
III 3	La variation spatiale de température maximale moyenne année 2016.....	29
III 4	La variation spatiale de température minimale moyenne année 2016.....	30
III 5	La variation spatiale de la vitesse du vent à 2m du sol moyenne année 2016....	30
III 6	La variation spatiale de l'humidité de l'air moyenne mensuelle année 2016.....	31
III 7	La variation spatiale de la durée d'insolation moyenne mensuelle année 2016..	31
III 8	La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle année 2016.	32
III 9	La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle.(Hiver).....	33
III 10	La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle.(Printemps)..	33

Sommaire

III 11	La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle.(L'été).....	34
III 12	La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle. (Automne)...	34

Sommaire

Nomenclature

symboles	Désignation	Unité
a_s, b_s	Constante de régression, exprimant la fraction du rayonnement extraterrestre atteindre la terre par temps couvert ($n = 0$).	[-]
d_r	Distance relative Terre-Soleil.	[-]
$e^0(T)$	Pression de vapeur saturante à la température de l'air T	kPa
e_a	Pression de vapeur réelle	kPa
e_s	Pression de vapeur de saturation.	kPa
ET_0	Evapotranspiration de référence.	MJ m ⁻² h ⁻¹
G	Densité de flux de chaleur du sol.	MJ m ⁻² d ⁻¹
$G_{mon\ i}$	Flux de chaleur du sol pour mois i .	MJ m ⁻² d ⁻¹
G_{sc}	Constante solaire = 0.0820 MJ m ⁻² min ⁻¹ ,	MJ m ⁻² min ⁻¹
P	Pression atmosphérique	kPa
N	Durée maximale possible d'ensoleillement ou d'heures de clarté	Heur
J	Numéro du jour dans l'année.	jour
RH_{mean}	Humidité relative moyenne	%
R_a	Rayonnement extraterrestre	MJ m ⁻² j ⁻¹
R_n	Rayonnement net à la surface de la culture	MJ m ⁻² j ⁻¹
R_{nl}	Rayonnement sortant à grande longueur d'onde	MJ m ⁻² j ⁻¹
R_{ns}	Rayonnement solaire net ou ondes courtes	MJ m ⁻² j ⁻¹
R_s	mesuré ou calculé rayonnement solaire	MJ m ⁻² j ⁻¹
R_{so}	Rayonnement calculé à ciel clair	MJ m ⁻² j ⁻¹
T_{max}	Température maximale pendant la période de 24 heures	K
T_{min}	Température minimale pendant la période de 24 heures	K
$T_{mon\ i}$	température moyenne de l'air du mois i	K
$T_{mon\ i-1}$	température moyenne de l'air du mois précédent	K
u_2	Vitesse du vent à 2 m du sol	m s ⁻¹
u_z	Vitesse du vent mesuré à z m au-dessus de la surface du sol	m s ⁻¹
ω_s	Angle du coucher du soleil	rad
Z	Hauteur de la mesure au-dessus de la surface du sol	M
Les lettres Grèce		
n	Durée réelle d'insolation solaire	heur
α	Coefficient de l'albédo .	son
γ	Constante psychrométrique	kPa K ⁻¹
δ	Déclinaison solaire	rad
π	Constante = 3.14	[-]
σ	Constante Stefan-Boltzmann	MJ K ⁻⁴ m ⁻² j ⁻¹
φ	Latitude	rad
Δ	Pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température de l'air T	kPa K ⁻¹

RESUME

ملخص: تقدير حجم التبخر النتحى للمساحات المسقية مهم جدا لتسيير المياه في المجال الزراعي، وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث نقص المياه أصبح عائقا رئيسيا في الرفاه الاقتصادي والتنمية المستدامة. خصوصية و تعقيد هذه الظاهرة تجعل من تقدير كمية التبخر النتحى جد صعبة مما يستلزم العودة إلى العديد من العلاقات التجريبية لتقدير هذه الكمية التي تعتبر جزء من دورة الماء في الطبيعة، ولكن هذه العلاقات تتطلب أحيانا عدة عناصر مناخية لتحقق نتائج دقيقة وجيدة. وقد أجريت هذه الدراسة لتقدير حجم التبخر النتحى المرجعي في الجزائر وإنشاء الخرائط التي تسمح للفارئ بسهولة تصور النتائج. تم تحديد قيم التبخر المرجعية على أساس معادلة (الفاو) بنمان-مونتيث. ولتحقيق هذا الهدف، تم جمع بيانات الأرصاد الجوية الشهرية من 76 محطة من الديوان الوطني للأرصاد الجوية لعام 2016

النتائج سمحت بعرض معلومات حول 76 محطة بالجزائر، وتمت عرضها على شكل خريطة مرجعية لتقدير حجم التبخر النتحى. الخرائط تظهر معلومات دقيقة حول مستويات من مجموع التبخر المرجعية التي يمكن استخدامها كقاعدة بيانات للاستثمارات المستقبلية في قطاع الزراعة وتسيير المياه في الجزائر

كلمات دالة: التبخر النتحى المرجعي، معادلة (الفاو) بنمان-مونتيث، خريطة الجزائر، التغير السنوي.

RÉSUMÉ : La quantification de l'évapotranspiration potentielle pour les zones irriguées est importante pour la gestion de l'eau dans le domaine d'agriculture, en particulier dans les régions arides et semi-arides où le manque en eau et sa rareté devient une contrainte majeure devant le développement économique durable de ces régions. La complexité de ce phénomène rend l'estimation de l'évapotranspiration assez délicate. Toutefois, le recours à de nombreuses relations empiriques pour évaluer l'évapotranspiration composante de cycle de l'eau devient indispensable, mais ces relations nécessitent parfois plusieurs éléments climatiques pour atteindre des bons résultats. Cette étude a pour but d'estimer l'évapotranspiration potentielle en Algérie et d'élaborer des cartes qui permettent au lecteur de visualiser facilement les résultats. Les valeurs de l'évapotranspiration ont été déterminées sur la base de l'équation (FAO) Penman-Monteith. Pour atteindre cet objectif, les données météorologiques mensuelles de 76 stations ont été recueillies à partir de l'ONM (office national de la météorologie) pour l'année 2016. Les résultats obtenus donnent des informations sur les 76 sites du territoire algérien, et sont présentés sous forme d'une carte annuelle d'évapotranspiration. Les cartes d'évapotranspiration potentielle développées dans ce document fournissent des informations sur les niveaux de l'évapotranspiration totale de référence qui peuvent être utilisés comme une base de données pour les investissements futurs dans le secteur de l'agriculture et de la gestion de l'eau en Algérie

MOTS-CLÉS : Evapotranspiration potentielle, l'équation (FAO) Penman-Monteith, Cartographie d'Algérie – Variation annuelle.

ABSTRACT: The quantification of reference evapotranspiration from irrigated areas is important for agriculture water management, especially in arid and semi-arid regions where water deficiency is becoming a major constraint in economic welfare and sustainable development. The complicated permutation of this phenomenon has then specified one, when it was very complicate in reality computed. However the obligation to return to many empirical relations for estimated this notion of water cycle becomes indispensable, but these relations required sometimes several climatic elements to attain in exactness results. This study was conducted to estimate the reference evapotranspiration in Algeria and to create maps that allow the reader to easily visualize the results. The reference evapotranspiration values were determined based on the (FAO) Penman-Monteith equation. To accomplish this objective, monthly meteorological data of 76 stations were collected from the ONM (national office of meteorology) for 2016. The results allow viewing information about 76 provinces of Algeria, and are presented in the form of an annual reference evapotranspiration map. The reference evapotranspiration maps developed in this paper provide information about the levels of total reference evapotranspiration which can be used as a database for future investments in the agriculture sector and water management in Algeria.

KEYWORDS: Reference evapotranspiration, Penman-Monteith equation, Algeria map, Annual variation.

Introduction générale

Le climat est l'un des phénomènes géographiques liés aux relations étroites et à l'influence réciproque avec d'autres phénomènes et écosystème, et trouver ces relations et interactions entre elles est un sujet d'étude intéressant. Notamment pour les ressources en eau, dont il est l'un des piliers du développement économique et social.

Le processus de mesure de l'eau évaporée est l'un des enjeux les plus importants des études climatiques contemporaines en raison de son impact direct sur la quantité d'eau nécessaire à différents usages humains. La détermination des valeurs de la perte d'eau par évaporation de la surface du sol et de la transpiration des plantes est une question qui préoccupait de nombreux chercheurs spécialisés dans la physique des météorologues et des climatologues et les a motivés à essayer de développer un certain nombre d'équations mathématiques à cet égard [1].

Les tentatives les plus anciennes dans ce domaine datent de il y a deux siècles. Ces études ont débuté en Amérique et en Europe et se sont concentrées sur l'effet et l'action de l'eau et ont ensuite développé ces études et inclus tous les facteurs climatiques [2].

W.C.Thornthwaite est le premier qui a utilisé le terme évapotranspiration en 1948. Pour illustrer les besoins en eau des plantes, cette mesure a été considérée comme un indicateur précis pour déterminer les besoins en eau de n'importe quel endroit et il est impossible de compter sur la quantité d'eau perdue par évaporation sans tenir compte de l'eau utilisée par la plante[1].

L'évapotranspiration est un phénomène extrêmement complexe, faisant intervenir plusieurs paramètres aérodynamiques, énergétiques et biologiques, l'évaluation précise de l'évapotranspiration a une importance primordiale dans plusieurs domaines, tels que l'étude de bilan hydrique, la conception des réseaux d'irrigation et la gestion hydrologiques, la simulation de rendement, et la planification et l'aménagement des ressources en eau. L'évapotranspiration de référence et le déficit hydrique sont fortement non linéaires, ils sont régis par plusieurs paramètres interdépendants tel que la température, la vitesse du vent, l'humidité relative, l'insolation. [3]

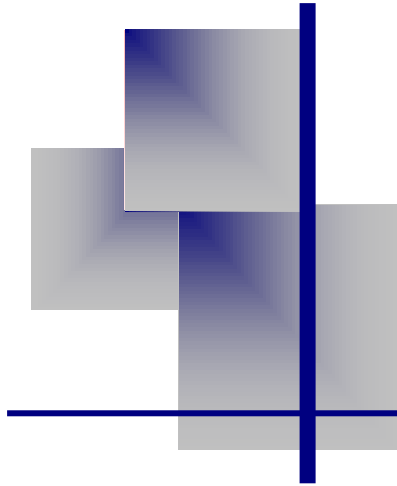
Dans notre étude, nous allons nous intéresser à l'estimation de la quantité de L'évapotranspiration par l'équation Penman-Monteith, considérée à plus d'un titre comme standard et recommandée par la FAO comme unique formule de calcul. Des approches empiriques n'en restent pas moins très populaires dans la pratique.

Afin d'obtenir notre objectif un programme Matlab a été élaboré pour évaluer l'évapotranspiration de référence dans l'Algérie, les résultats de calcul est exploiter sous forme des carte on utilise un logiciel Surfer 10. Ce mémoire sou comprend trois chapitres

- Le premier chapitre présente un aperçu général du concept de L'évapotranspiration et du site d'étude
- Chapitre II est consacré au calcul de L'évapotranspiration et l'élaboration du

programme de calcul sous Matlab

- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus sous forme de cartes, tableaux et courbes, une discussion et analyse de ces résultats conclure ce travail.



Chapitre I

Etude bibliographique

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous référerons à chacun des concepts d'évaporation, de transpiration, et de l'évapotranspiration et tous les paramètres liés à ce dernier, en plus de mentionner la localisation géographique de la zone l'étude et la nature du climat dominant avec le changement de température d'un endroit à l'autre dans l'ensemble de l'étude du site.

I.1 Définition de l'évapotranspiration

I.1.1 L'évaporation :

L'évaporation est le processus physique avec lequel l'eau est transférée à l'atmosphère par le passage de la phase liquide à la phase vapeur. L'eau s'évapore ainsi d'une variété de surfaces, tel que les lacs, les rivières, les chaussées, les sols nus et la végétation mouillée. C'est par le mouvement des molécules d'eau que débute l'évaporation. Suite à des travaux sur le sujet, Dalton a établi une loi qui exprime le taux d'évaporation d'un plan d'eau en fonction du déficit de saturation de l'air et de la vitesse du vent u . Cette loi est formulée selon la relation suivante [4]:

$$E = f(u)(e_s - e_a) \quad (\text{I.01})$$

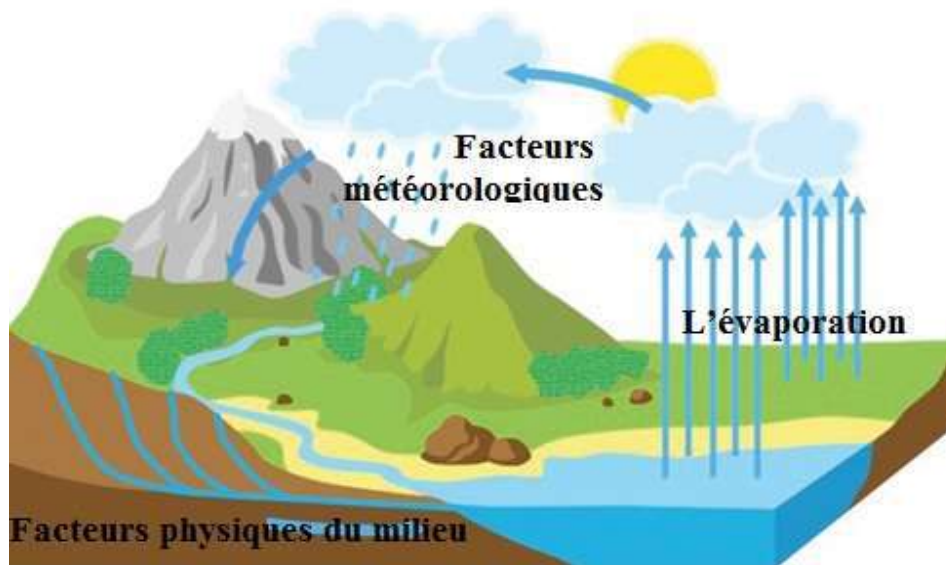


Figure I.1: Le processus d'évaporation

Cette relation exprime ainsi que, en théorie et dans des conditions de pression et de température données, le processus d'évaporation est possible jusqu'à ce que la pression de vapeur effective atteigne la pression de vapeur saturante. En conséquence, pour qu'il y ait évaporation, il faut que le gradient de pression dû à la vapeur d'eau soit positif.

La transformation de l'eau liquide en vapeur nécessite de l'énergie. La radiation solaire fournit principalement cette énergie. L'évaporation dépendra de ce fait principalement de :

- Facteurs météorologiques : la quantité de chaleur disponible et la capacité de l'air à stocker l'eau.
- Facteurs physiques du milieu.

I.1.1.1 Facteurs météorologiques

Il s'agit principalement de la quantité de chaleur disponible et de la capacité de l'atmosphère à stocker l'eau.

a. Quantité de chaleur disponible

La quantité d'eau pouvant être évaporée à partir d'une surface dépend de la quantité de chaleur provenant du soleil. Cette quantité de chaleur varie, d'une part, selon les conditions géographiques (gradient de latitude), et d'autre part, selon l'élévation de la surface liquide par rapport au niveau de la mer. Les échanges de chaleur entre l'atmosphère, la surface du sol et la surface des lacs et des océans s'effectuent par convection et conduction. L'énergie provient des divers rayonnements [4].

- le rayonnement solaire
- le rayonnement atmosphérique
- le rayonnement terrestre
- le rayonnement net.

b. Capacité de l'air à stocker l'eau

Elle est principalement fonction du degré de saturation de l'atmosphère ambiante en humidité. L'humidité relative est le rapport entre la quantité d'eau contenue dans une masse d'air et la quantité maximale d'eau que peut contenir cette masse d'air. Le déficit de saturation peut être exprimé en fonction de l'humidité relative par la relation suivante.

$$H = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100[\%] \quad (\text{I.02})$$

I.1.1.2 Facteurs physiques du milieu

Les facteurs physiques qui affectent l'évaporation d'une surface dépendent étroitement des propriétés de cette surface et seront variables selon qu'il s'agisse de l'évaporation à partir d'une surface d'eau libre, d'un sol nu ou d'une surface recouverte de neige ou de glace.

I.1.2 La transpiration

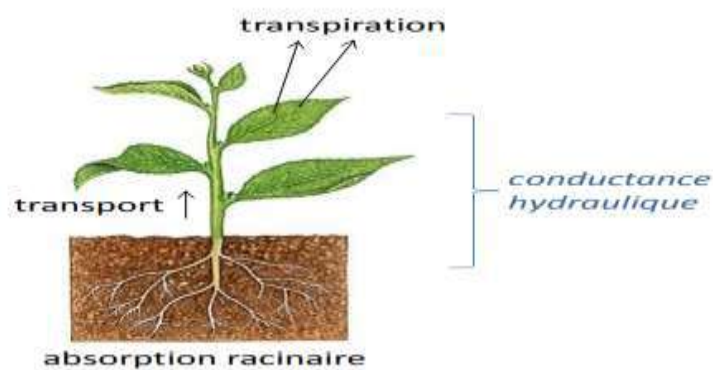


Figure I.2 Illustration du processus de transpiration [5]

Elle consiste en la vaporisation de l'eau contenue dans le tissu de la plante à travers ses stomates. La transpiration dépend des facteurs précités dans le cas de l'évaporation, mais est aussi influencée par le type de plante et son stage végétatif.

L'évaporation et la transpiration constituent deux processus qui se déroulent simultanément. Ces deux termes sont regroupés sous l'appellation d'évapotranspiration[4].

I.1.3 Evapotranspiration

C'est un processus composé d'une évaporation physique et d'une évaporation physiologique (transpiration). Pour que le processus d'évapotranspiration puisse se produire, il faut d'une part que le système ait la capacité d'évaporer de l'eau et, d'autre part, que l'air ambiant réclame une demande évaporative. Elle dépend donc des conditions météorologiques mais aussi de la disponibilité de l'eau. A ces deux types de facteurs s'ajoutent encore dans le cas de la transpiration les propriétés physiques et physiologiques de la couverture végétale. Ainsi, l'estimation de l'évapotranspiration est possible par le biais de diverses relations basées sur les caractéristiques climatiques, physiques et physiologiques du milieu étudié. Elle est indispensable à l'établissement du bilan hydrique et à l'estimation des besoins en eau des plantes. Les recherches dans ce domaine sont assez nombreuses et fournissent actuellement les bases théoriques et les relations qui régissent le phénomène.

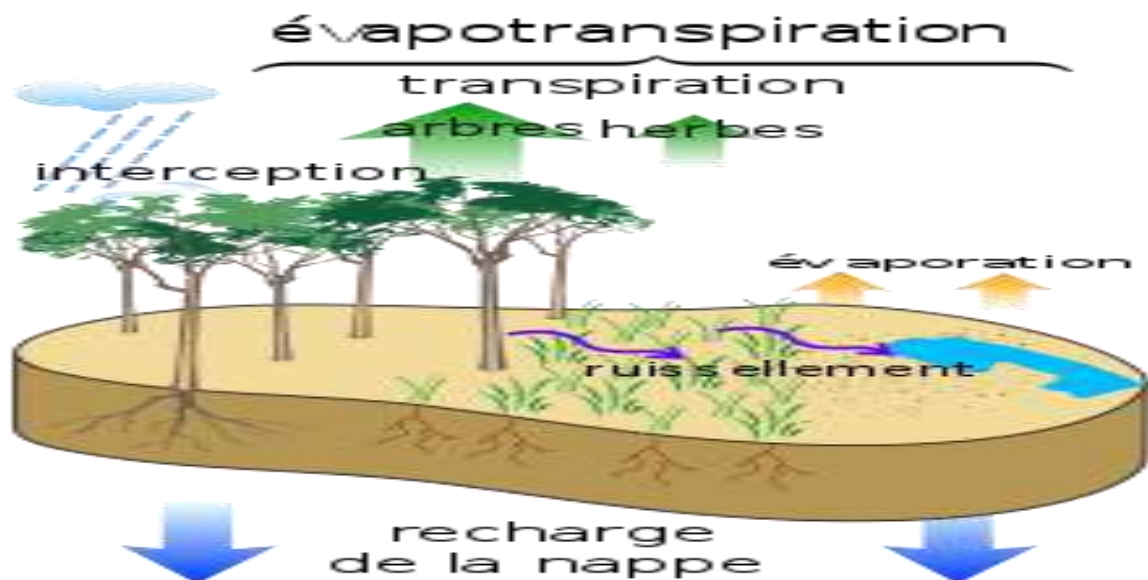


Figure I.3 : Le processus d'évaporation et de transpiration[6]

I.1.4 Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration de référence

En raison de la difficulté de mesurer l' ET_0 , d'importantes formules ont été développées, dans des conditions climatiques diverses, permettant d'estimer l' ET_0 à partir de paramètres climatiques, mais elles se différencient par leur fondement théorique, et leurs données d'entrées exigées, le choix de la formule se fait alors en fonction de l'adéquation entre données nécessaires au calcul de l' ET_0 et données disponibles.

Ces formules sont classées en quatre types :

Méthodes basées sur la température :

- Blaney
- Criddle
- Thornthwaite

Méthodes basées sur le rayonnement :

- Hargreaves
- Makkink.

Méthodes basées sur l'évaporation des bacs :

- bac classe A
- bac Colorado

Méthode combinée :

- Penman.
- Penman-Monteith.
- Penman-Monteith modifiée.

Jansen et al en 1990, ont analysé la performance de vingt formules en se basant sur les données lysimétriques de onze stations situées dans différentes zones climatiques à travers le monde, les résultats obtenus ont prouvé que la formule de Penman-Monteith modifiée est la meilleure méthode pour estimer l'évapotranspiration de référence (ET_0).

L'étude menée par les experts de la FAO ; Allen R.G et al (1998) in 'Crop Evapotranspiration, guideline for computing water requirements', a montré que :

- La méthode de Penman exige un calibrage local de la fonction vent pour avoir de résultats satisfaisants.
- Les méthodes de rayonnement donnent de bons résultats en régions humides où le terme aérodynamique est suffisamment petit, mais elles sous estiment l'évapotranspiration en régions arides.
- Les méthodes basées sur la température exigent le calibrage local afin d'obtenir de résultats satisfaisants.
- Les méthodes basées sur l'évaporation de bac sont influencées par les conditions microclimatiques dans lesquelles les bacs sont placés, elles exigent beaucoup d'entretien et de suivi, elles sont donc déconseillées.
- L'analyse et la comparaison de plusieurs méthodes d'estimation de l' ET_0 révèlent que celle de Penman-Monteith modifiée par la FAO est la plus recommandée dans les régions humides et arides, elle sert donc de référence si les données mesurées d' ET_0 sont absentes[3].

I.2 Présentation de la zone d'étude :

I.2.1 Situation géographique de l'Algérie :

L'Algérie est située au Nord-Ouest de l'Afrique en bordure de la Méditerranée. Elle possède une superficie de presque 2.4 millions de km^2 , ce qui en fait le neuvième pays du monde par sa superficie et le plus grand pays du continent africain (après la division du Soudan). C'est un pays de montagnes d'une altitude moyenne de l'ordre de 800 m. Les forêts et maquis couvrent 4.1 millions d'ha, soit un taux de boisement de 16.4% pour le nord de l'Algérie et de 1.7% seulement pour l'ensemble du pays. Le relief est constitué de trois grands ensembles : le Tell au Nord, les hauts plateaux et l'Atlas saharien au centre, et le Sahara au Sud. Au sud des Monts de l'Atlas saharien, s'étend le désert du Sahara, qui occupe plus de 2

millions de km², ou près de 85 % de la superficie de l'Algérie. Le Sahara est le plus grand des déserts, mais également le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est à dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande âpreté. Le Sahara s'étend à travers le tiers septentrional du continent africain de l'atlantique à la mer rouge, sur une surface totale de 8 millions de Km². C'est là où les conditions climatiques atteignent leur plus grande sévérité . Pratiquement, ces limites se situent en deçà des isohyètes 100 à 150mm. Il est subdivisé en ; Sahara septentrional, méridional, central et occidental. Le Sahara septentrional, avec 1 million de km², est soumis à un extrême du climat méditerranéen, où les pluies surviennent toujours en hiver. Il se présente comme une zone de transition entre les steppes méditerranéennes nord africaines et le Sahara central. La pluviosité à laquelle il est soumis est comprise entre 50 et 100 mm[7].



Figure I.4 Carte de situation de l'Algérie [8]

I.2.2 Le climat d'Algérie

En Algérie la première classification en zones climatiques a été faite par le CSTB en 1962 qui sert de base de calcul pour le dimensionnement de chauffage ou de climatisation. Une deuxième classification prenant en compte les données climatiques plus représentative de la période (1974 –1984) permet de définir avec plus de précision les zones climatiques de l'Algérie. Cette vaste étendue territoriale correspond à une diversité de zones climatiques qui peuvent se classer en trois catégories[9]

1. Le tell : climat tempéré humide de type méditerranéen Il est divisé en trois zones
 - La zone A: Elle comprend le littoral et une partie du versant Nord des chaînes côtières (climat méditerranéen maritime).

- La zone B: Elle comprend la plaine et les vallées comprises entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien, autre que celle de Chlef (climat méditerranéen continental).
 - La zone B': C'est une sous-zone de la zone B. Elle comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dahra et des Braz.
2. Les hautes plaines : climat de type continental
- La zone C: Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, avec des altitudes supérieures à 500 m (climat méditerranéen de montagne)
3. Le Sahara : climat aride et sec Il est divisé en trois zones
- La zone D1: Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°.
 - La zone D2 : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°.
 - La zone D3 : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud.[10]

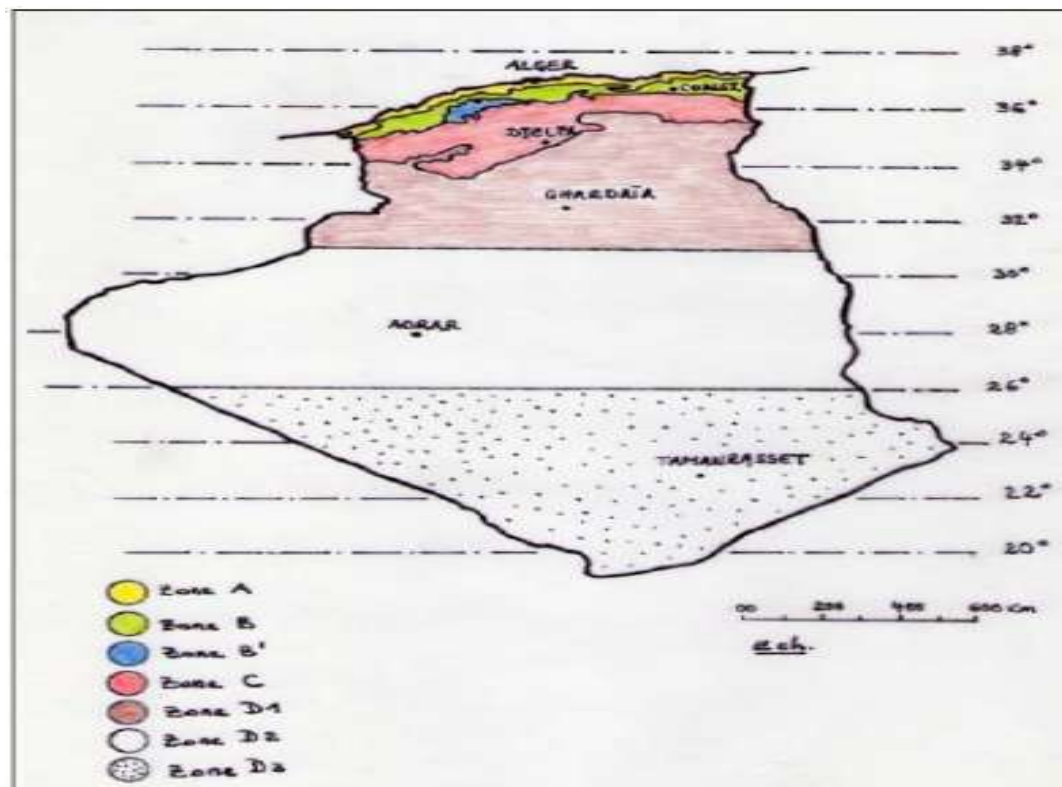


Figure 1.5 : Carte des zones climatiques d'Algérie[10]

I.3.Variabilité climatique en Algérie :

➤ Partie nord

Le long de la côte méditerranéenne septentrionale du pays, le climat est typiquement méditerranéen avec des étés chauds et secs mais avec des hivers doux et pluvieux. Les précipitations sont plus rares dans la partie Ouest, notamment à [Oran](#) où elles vacillent entre 330 mm et 400 mm par an, et par conséquent, le paysage est plus aride dans la région, alors que celles-ci deviennent abondantes dans les zones centrales et orientales, notamment à [Alger](#), où elles fluctuent entre 600 mm et 800 mm. La plupart des précipitations annuelles se produisent entre octobre et avril. Les températures sont plutôt uniformes : la température moyenne journalière (maximale et minimale) tourne autour de 8 °C –10 °C en janvier, le mois le plus froid de l'année, alors que la température moyenne journalière (maximale et minimale) tourne autour de 20 °C – 22 °C en juillet - août, les mois les plus chauds de l'année.

➤ Partie sud

Les étés sont longs et ensoleillés, avec un air plutôt humide sur la côte, mais également avec des brises de mer. Parfois, le vent brûlant et desséchant venu du désert au sud du pays, communément appelé [sirocco](#), peut souffler : il franchit les montagnes avant d'atteindre la côte et est responsable d'une chute de l'humidité relative, d'une augmentation brutale des températures maximales, et y est souvent chargé de particules fines comme le sable ou la poussière. Ce vent est le plus fréquent au printemps et en automne.

Dans la partie centrale et méridionale, dans le vaste désert algérien, le climat est typiquement désertique, caractérisé par la chaleur et la sécheresse toute l'année, ce qui contribue à une aridité très prononcée. L'été est torride, long ou très long dans l'ensemble du territoire saharien mais la chaleur annuelle moyenne augmente généralement en allant de plus en plus au Sud; en hiver, la région la plus chaude est située loin dans le Sud, où pendant les journées hivernales, la température maximale reste autour de 25 °C - 28 °C en janvier, alors qu'en été, la zone la plus torride se situe entre les latitudes 24° et 30° Nord où les températures maximales moyennes tournent autour de 36 °C - 40 °C en juillet - août (voir la Fig I.6) avec des pics de 50 °C - 53 °C à l'ombre, notamment dans le « triangle de feu », zone délimitée par [Adrar - Reggane - In Salah](#), alors que l'extrême Sud est parfois touché par des ramifications de la [mousson](#) d'Afrique de l'Ouest, qui apporte quelques passages nuageux et des averses occasionnelles, d'où la baisse relative de température. La chaleur devient écrasante dès le mois d'avril et le reste jusqu'au mois d'octobre. Cette région est une des régions les plus chaudes du monde en été. A [Biskra](#), au niveau de la lisière la plus septentrionale du désert, les températures moyennes maximales sont seulement de 41 - 42 °C en juillet - août avec, cependant, des pics de 48 °C - 52 °C lors des invasions d'air surchauffé venu du Sud. Les précipitations sont extrêmement rares dans l'ensemble du désert, en-dessous de 50 mm dans un peu plus de 90 % sa superficie pour atteindre un maximum de 120 mm à Biskra et pour un minimum inférieur à 10 mm dans le [Tanezrouft](#), un désert absolu faisant partie des plus chauds, des plus arides et des plus inhospitaliers de la planète; elles surviennent généralement sous forme d'averses brèves et fortes, et sont susceptibles de se produire durant l'hiver dans la frange septentrionale mais en été dans la frange méridionale. Le ciel est par définition clair dans le Sahara, surtout dans les régions centrales où la nébulosité descend très bas.[11]

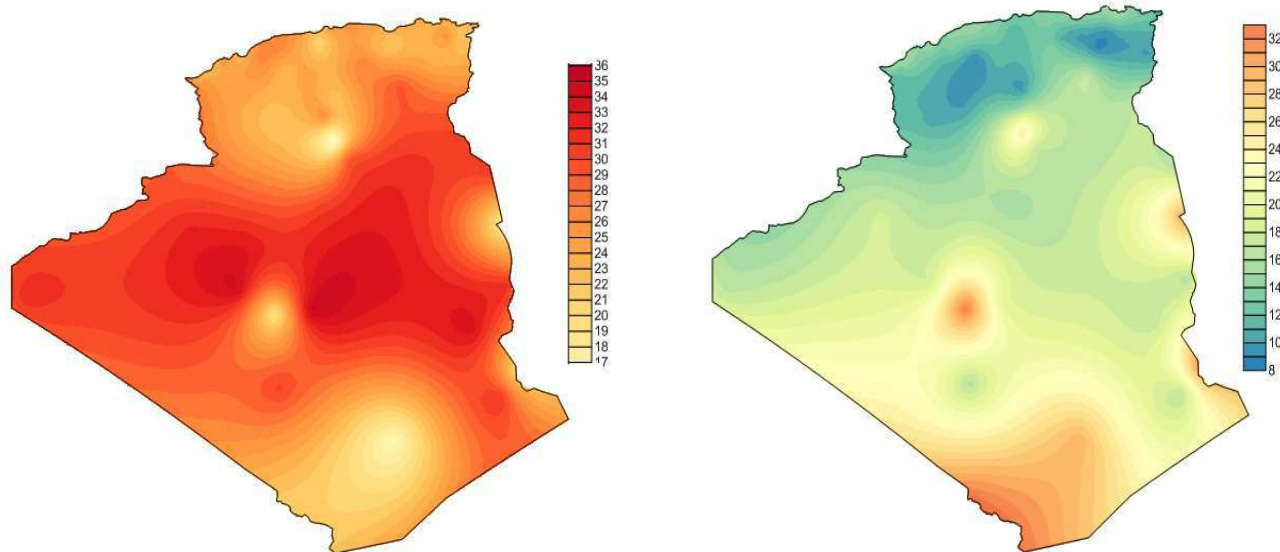
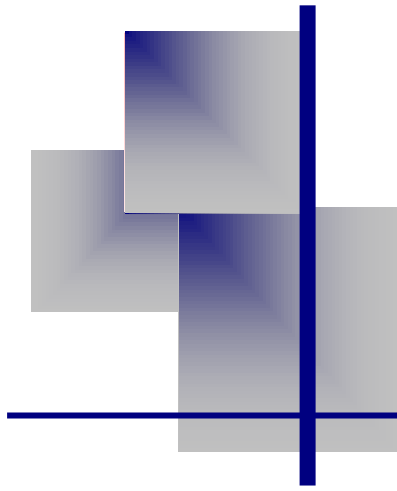


Figure I.6 : Les températures maximum et minimum pour l'année 2016



Chapitre II

méthodes

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons le calcul quantitatif évapotranspiration ET_0 Basé sur les données climatiques mensuelle de année 2016 pour toutes les stations de l'ensemble du territoire national et ses spectres, qui incluent les données climatiques et les variables mensuelle de température, d'humidité relative et de vitesse du vent à une hauteur deux mètres, à l'aide d'un programme Matlab établi dans le cadre de cette étude on choisissons la 'Penman-Monteith'.

II.2. Calcul évapotranspiration de référence ET_0

Dans cette étude on utilise les valeurs d' ET_0 obtenues par la formule de 'Penman-Monteith (modifiée)' [23]

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (\text{II.01})$$

ET_0 : Évapotranspiration de référence (mm/j)

R_n : Rayonnement net à la surface de la culture (W.m^{-2})

G : Densité de flux de chaleur du sol (W.m^{-2})

γ : Constante psychrométrique ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$)

u_2 : vitesse du vent u_2 à 2 m du sol (m.s^{-1})

e_s : Pression de vapeur de saturation (kPa)

e_a : Pression de vapeur réelle (kPa)

Δ : Pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température de l'air T ($\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$)

T : Température moyenne ($^\circ\text{C}$)

II.3. Les constituants paramétriques de l'évapotranspiration :

Les paramètres intégrant pour le calcul de l'évapotranspiration sont essentiellement d'ordre énergétique et aérodynamique. L'évapotranspiration dépend de la demande climatique et finalement, elle est dépendante de ces deux paramètres (le rayonnement net et l'advection).

II.3.1. vent

Le vent est un mouvement horizontal de l'air sur la surface de la terre. Il naît d'une différence de pression, et se propage perpendiculairement aux isobares, des pressions hautes vers les basses, de façon à réduire les écarts de pression. Le vent peut être défini par sa direction (le plus souvent son origine) et par sa vitesse (kilomètre par heure, mètre par seconde...).

Le vent est mesuré par les capteurs suivants :

Comme les déplacements d'air verticaux sont en général négligeables par rapport aux déplacements horizontaux, les appareils les plus couramment utilisés pour mesurer le vent fournissent les composantes horizontales mais négligent la composante verticale. Dans cette série d'appareils on peut évoquer l'anémomètre à coupelles présenté en (figure II.1), qui possède une vitesse de démarrage de 0,25 m/s et qui fonctionne jusqu'à 75 m s⁻¹ avec une précision de $\pm 0,1$ m s⁻¹. Pour ce genre d'appareil c'est la rotation des coupelles qui indique la vitesse du vent horizontal. La girouette, présentée sur la même figure, mesure la direction du vent dans le plan horizontal à une résolution de $\pm 2^\circ$ à partir d'un seuil de démarrage de 0,6 m s⁻¹. Ici c'est la rotation de l'empennage qui donne la direction du vent. Certains capteurs

disposent d'une option de système de chauffage intégré qui se déclenche en hiver pour éviter les problèmes d'immobilisation dus au gel. Avec les deux types de capteurs présentés ci-dessous, on mesure séparément la vitesse et la direction du vent et on est obligé d'acquérir deux instruments. C'est pourquoi des constructeurs ont imaginé un type d'appareil qui combine à la fois un anémomètre à hélice et une girouette en un unique élément, que l'on appelle un anémogirouette (figure II.1). Ici, c'est l'hélice en rotation qui indique la vitesse et tout le capteur pivote grâce à son profil pour indiquer la direction. La précision pour la vitesse du vent est de $\pm 0,3$ m/s et de $\pm 3^\circ$ pour la direction, pour un seuil de sensibilité de 0,5 à 1 m/s [12].

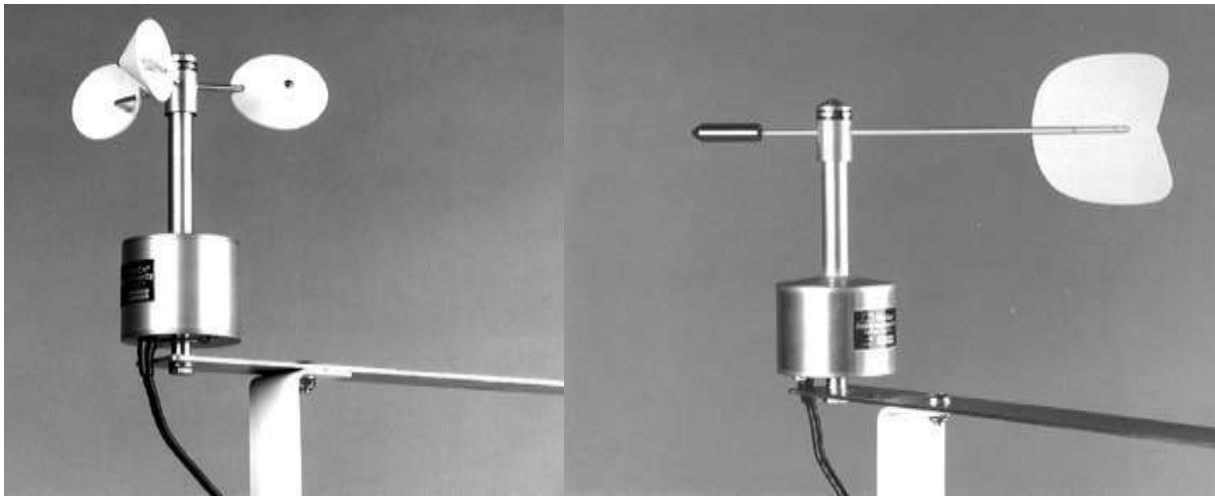


Figure II.1 : Anémomètre à coupelles (gauche) et girouette (droite)[12]



Figure II.2 : Capteur mesure de l'intensité La vitesse du vent[12]

II.3.2. Vitesse du vent à 2 mètre u_2

La vitesse moyenne quotidienne du vent en mètres par seconde (m s^{-1}) mesurée à 2 m au-dessus du sol est requise. Il est important de vérifier la hauteur à laquelle la vitesse du vent est mesurée, car les vitesses de vent mesurées à différentes hauteurs au-dessus

de la surface du sol différent. La vitesse du vent mesurée à des hauteurs différentes de 2 m peut être ajustée selon l'équation suivante [13]

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8Z - 5.42)} \quad (\text{II.02})$$

u_z : La vitesse du vent à l'altitude z ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

z : Hauteur de la station (m).

II.4. La température

La température est définie comme un indicateur de la quantité d'énergie thermique stockée par n'importe quel corps, elle est aussi un indicateur de la gamme d'atomes et de molécules dans le corps et donc de la capacité de déterminer son état interne [14].

II.4. 1. Le rôle de la température dans la nature

Jouer un rôle important dans les propriétés de la matière, y compris les états liquides, solides et gazeux, et ils jouent un rôle important par rapport à la pression atmosphérique et l'évapotranspiration.

II.4. 2. Instruments de mesure de la température

- **Thermomètres à mercure:** La variation du volume de mercure placé dans un certain milieu indique la température dans ce milieu.



Figure II.3 : Thermomètres à mercure[15]

- **Thermomètre avec résistance électrique:** où les changements de résistance électrique sont pris pour indiquer la température.



Figure II.4 : Thermomètre avec résistance électrique[16]

- **Thermomètre à rayonnement:** La quantité d'énergie rayonnée par le corps est prise comme une mesure de sa température



Figure II.5 : Thermomètre à rayonnement[17]

II.4. 3. Unités de mesure de température

Kelvin : Symbolisé par le symbole (K)

Degré Celsius: symbolisé par °C

Degré Fahrenheit: symbolisé par le symbole °F

II.4. 4. Température quotidienne moyenne

Les températures maximum et minimum quotidienne (moyenne) en degrés Celsius (°C) sont requises. Où seules les températures moyennes quotidiennes (moyennes) sont disponibles, les calculs peuvent encore être exécutés, mais une certaine sous-estimation de ET_0 se produira probablement en raison de la non-linéarité de la relation pression-vapeur de saturation -température. La température moyenne est calculée par [18] :

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (II.03)$$

T : Températures moyenne

T_{max} : Températures maximum

T_{min} : Températures minimum

II.5. Humidité

L'humidité Le terme décrit la quantité de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité varie en fonction de la température et de la pression de l'air. Plus l'air est chaud, plus il transporte de vapeur d'eau. Si l'air contient la plus grande quantité de vapeur d'eau [19].

$$H = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100[\%] \quad (II.04)$$

II.5.1. Sources d'humidité

Les masses d'eau telles que les océans, les mers, les lacs et les rivières, les corps humides, les zones humides et la végétation et les organismes vivants sont les sources principales de l'humidité de l'air.

II.5.2. Capteurs de mesure humidité

Les appareils des mesure de l'humidité de l'air sont nombreux citons :

- Hygrometer



Figure II.6 : Hygrometer[20]

- Slingpsychrometer



Figure II.7 : Slingpsychrometer[21]

II.5. Flux de chaleur du sol (G)

Des modèles complexes sont disponibles pour décrire le flux de chaleur du sol. Parce que le flux de chaleur du sol est petit par rapport à R_n , en particulier lorsque la surface est couverte par la végétation. Une procédure de calcul simple est présentée ici basé sur l'idée que la température du sol suivi la température de l'air:

$$G_{moni} = 0.14(T_{moni} - T_{moni-1}) \quad (\text{II.05})$$

T_{moni} : Température moyenne mensuelle de l'air du mois i (°C).

T_{moni-1} : Température moyenne mensuelle de l'air du mois précédent (°C).

II.6. Définition de rayonnement net (R_n) :

Le rayonnement net est défini comme la quantité d'énergie radiative disponible à la surface de la terre est pouvant être transformée en d'autres formes d'énergie par les divers mécanismes physiques ou biologiques de la surface. [22]

On exprime généralement le bilan des échanges radiatifs à la surface du sol par le rayonnement net R_n Il se compose de deux sources radioactives R_{nl} et R_{ns} selon l'équation suivante :

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{II.06})$$

R_{ns} : Rayonnement solaire net ou ondes courtes [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$].

R_{nl} : Rayonnement net de grandes longueurs d'onde net [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$].

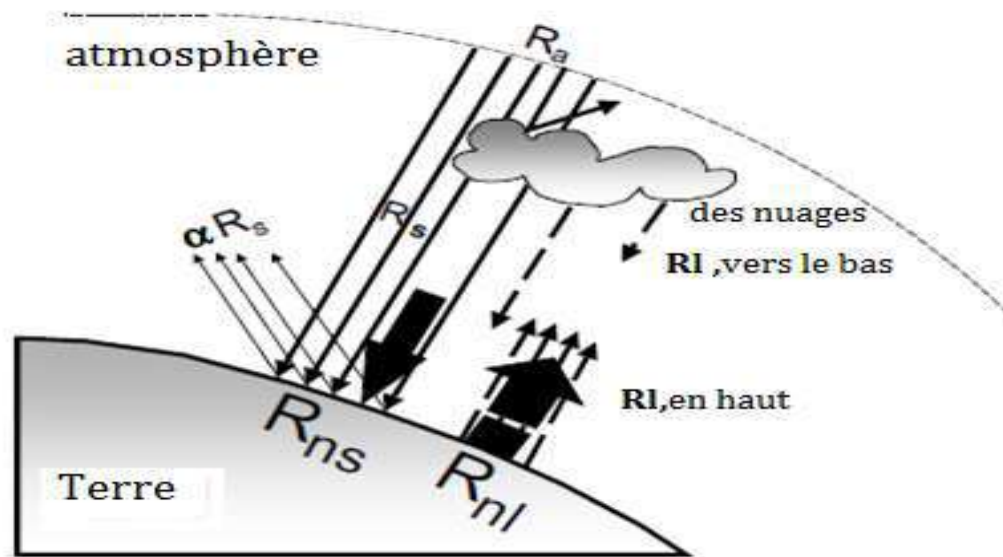


Figure II.8 : Divers composants de rayonnement.[23]

II.6.1. Rayonnement solaire net ou net à ondes courtes (R_{ns})

Le rayonnement net à ondes courtes résultant de l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et réfléchi est donné par[18] :

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (\text{II.07})$$

II.6.2 .Rayonnement solaire sortant à grande longueur d'onde (R_{nl})

Le taux d'émission d'énergie des longues ondes est proportionnel à la température absolue de la surface élevée au quatrième pouvoir. Cette relation est exprimée quantitativement par la loi Stefan-Boltzmann. Le flux d'énergie net quittant la surface de la terre est, cependant, inférieure à celle émise et donnée par la loi Stefan-Boltzmann en raison de l'absorption et rayonnement descendant du ciel. La vapeur d'eau, nuages, le dioxyde de carbone, et la poussière sont des absorbeurs et des émetteurs de rayonnement à ondes longues [18].

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) (1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \quad (\text{II.08})$$

R_{nl} : Rayonnement net de grandes longueurs d'onde net [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$].

σ : Constante de Stephan-Boltzmann.

$T_{max,k}$: Température maximum journalière en degré Kelvin ($\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$);

$T_{min,K}$: Température minimum journalière en degré Kelvin ($\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$);

e_a : Tension de vapeur d'eau (kPa);

$\frac{R_s}{R_{so}}$: Rayonnement de courtes longueurs d'onde relatif (limitation à ≤ 1.0);

R_s : Rayonnement de courtes longueurs d'onde incident [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$].

R_{so} : Rayonnement de courtes longueurs d'onde incident pour un ciel dégagé [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$].

II.6.2.1. Rayonnement solaire du ciel clair (R_{so}):

$$R_{so} = (a_s + b_s)R_a \quad (\text{II.09})$$

a_s et b_s : Constantes de régression, exprimant la fraction du rayonnement extraterrestre atteindre la terre par temps couvert ($n = 0$),

II.6.2.2. Rayonnement solaire ou ondes courtes (R_s)

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N})R_a \quad (\text{II.10})$$

n : La durée d'insolation a ciel moyen [h].

N : La durée d'insolation a ciel claire[h].

II.6.2.2. Rayonnement extraterrestre (R_a) :

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (\text{II.11})$$

R_a : Rayonnement de courtes longueurs d'onde extra-atmosphérique [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$]

G_{sc} : Constante solaire = **0.0820** [$\text{MJ m}^{-2} \text{j}^{-1}$].

d_r : Inverse de la distance relative soleil-terre (rad)

ω_s : Angle solaire à l'heure du coucher du soleil (rad)

φ : Latitude (rad).

δ : Déclinaison solaire (rad)

Les composantes de l'équation I.11 sont calculées selon les équations suivantes.

$$d_r = 1 + 0.33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (\text{II.12})$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (\text{II.13})$$

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (\text{II.14})$$

II.7. Constante psychrométrique (γ)

La constante psychrométrique relie la pression partielle de l'eau dans l'air à la température de l'air, de sorte que la pression de vapeur peut être estimée en utilisant des lectures appariées de la température du thermomètre sec et humide. Une autre façon de décrire la constante psychrométrique est le rapport entre la chaleur spécifique de l'air humide à pression constante (C_p) et la chaleur latente de vaporisation. La chaleur spécifique à pression constante est la quantité d'énergie nécessaire pour augmenter la température d'une masse unitaire d'air d'un degré à pression constante. Sa valeur dépend de la composition de l'air, c'est-à-dire de son humidité. Pour les conditions atmosphériques moyennes, une valeur C_p de $1,013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$ peut être utilisée. Comme une pression atmosphérique moyenne est

utilisée pour chaque emplacement, la constante psychrométrique est maintenue constante pour chaque emplacement en fonction de l'altitude.[13]

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\varepsilon * \lambda} = 0.000665 * P \quad (\text{II. 15})$$

À l'inverse :

$$C_p = \frac{\gamma \varepsilon \lambda}{P} \quad (\text{II.16})$$

γ : Constante psychrométrique (kPa °C⁻¹);

P : Pression atmosphérique (kPa);

λ : Chaleur latente de vaporisation, (=2.45 MJ kg⁻¹);

C_p : Chaleur spécifique à pression constante, (= 1.013x10⁻³ MJ kg⁻¹°C⁻¹);

ε :Ratio de la masse moléculaire de la vapeur d'eau / air sec = 0.622.

II.7 .1.Pression atmosphérique

Pression atmosphérique est déterminée :

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26} \quad (\text{II.17})$$

P : Pression atmosphérique (kPa);

Z : Altitude du site (m).

II.8.Pente de la courbe de pression de vapeur saturante (Δ)

Pour le calcul de l'évapotranspiration, la pente de la relation entre la saturation la pression de vapeur et la température, Δ , sont requises. La pente de la courbe (figure) à un moment donné la température est donnée par. [23]

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T+237.3} \right) \right]}{(T+237.3)^2} \quad (\text{II.18})$$

Δ :Pente de la tension de vapeur d'eau saturante [kPa °C⁻¹].

T :Température moyenne de l'air (°C).

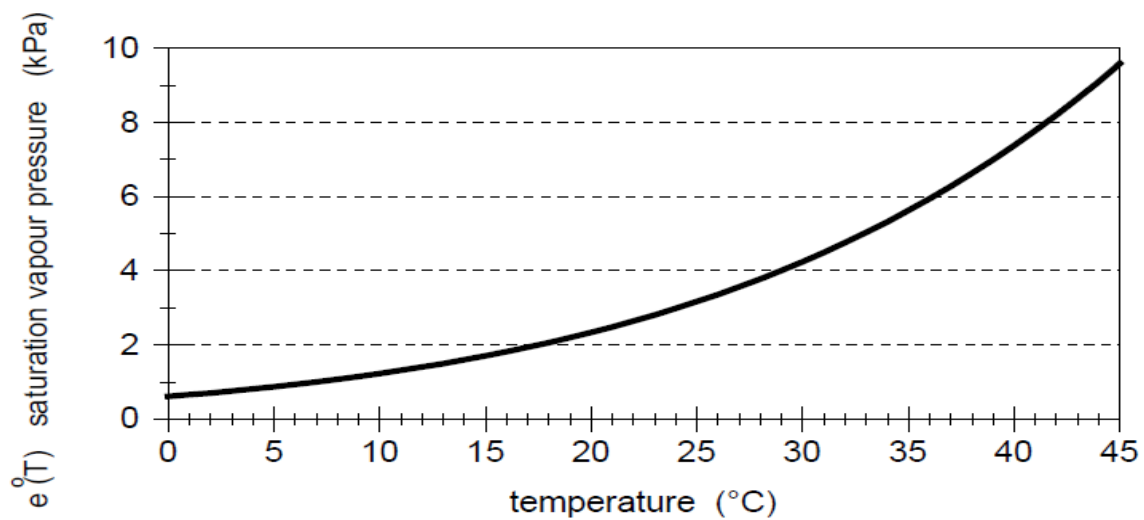


Figure II.9: Courbe de pression de vapeur saturante en fonction de la température[23]

II.9. Pression de vapeur de saturation

La pression moyenne de vapeur saturée est estimée à partir des températures journalières maximales T_{max} et minimales T_{min} :

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} \quad (\text{II.19})$$

$e^0(T)$: Tension de vapeur à saturation à la température T (kPa);

II.9 .1.Pression de vapeur saturante à la température de l'air

La pression de vapeur saturante à la température de l'air Test déterminée :

$$e^0(T) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27T}{T+237.3} \right] \quad (\text{II.20})$$

II.10. La pression de vapeur réelle

La pression de vapeur réelle est déterminée :

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \left[\frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} \right] \quad (\text{II.21})$$

$e^0(T)$: Tension de vapeur à saturation à la température T (kPa);

RH_{mean} : Humidité relative moyenne horaire (%).

II.11. Programme un calcul

Dans cette un programme de calcul de l'évapotranspiration de référence élaboré par logiciel Matlab, le l'organigramme de ce calcul est illustré sur la figure II.10

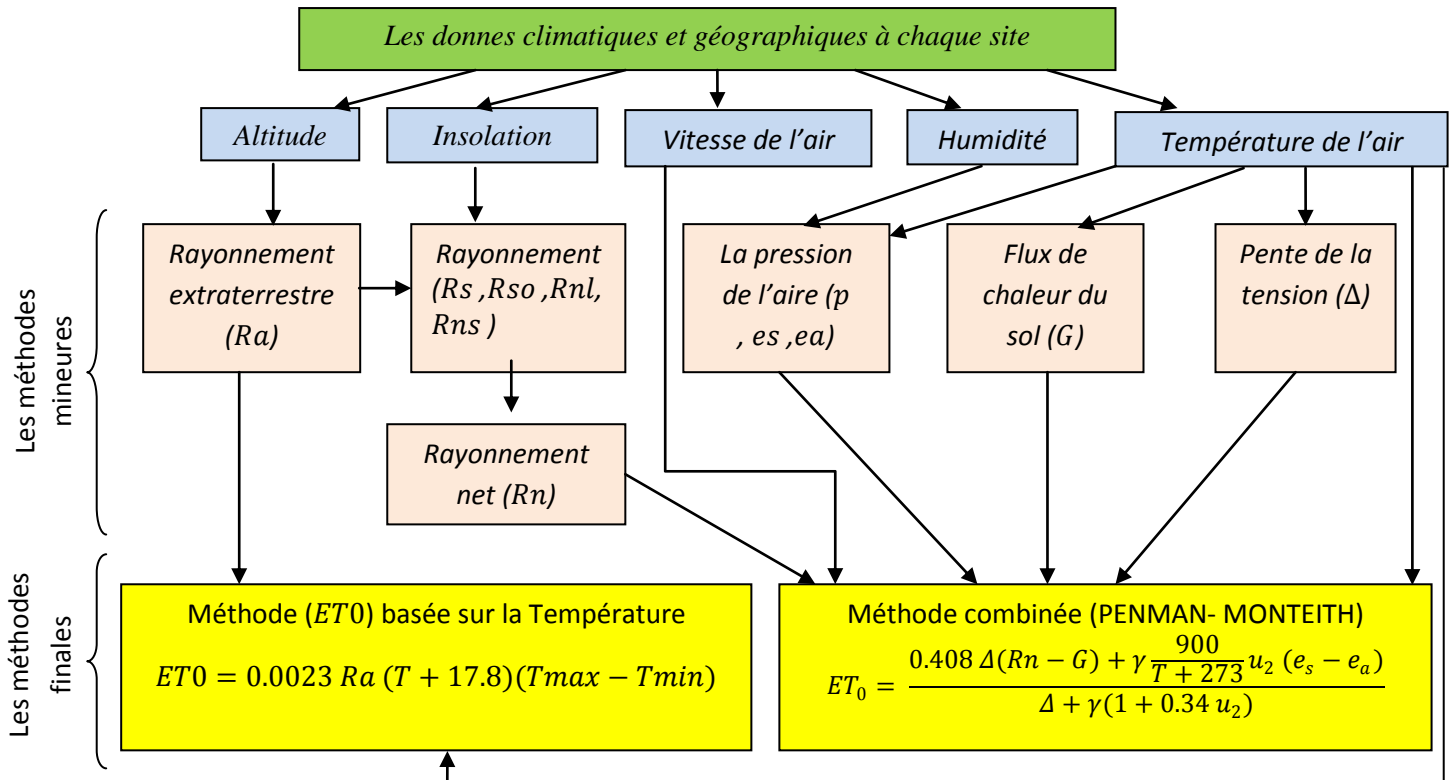


Figure II.10 : Organigramme de calcul.

II.11.1. Définition De MATLAB

MATLAB, abréviation de MATrixLABoratory est un logiciel de programmation spécialement conçu pour être rapide et facile calculs scientifiques et E / S. Il a littéralement des centaines de fonctions intégrées pour une grande variété de calculs et de nombreuses boîtes à outils conçues pour des disciplines de recherche spécifiques, y compris les statistiques, l'optimisation, la solution de équations différentielles partielles, analyse de données[24].

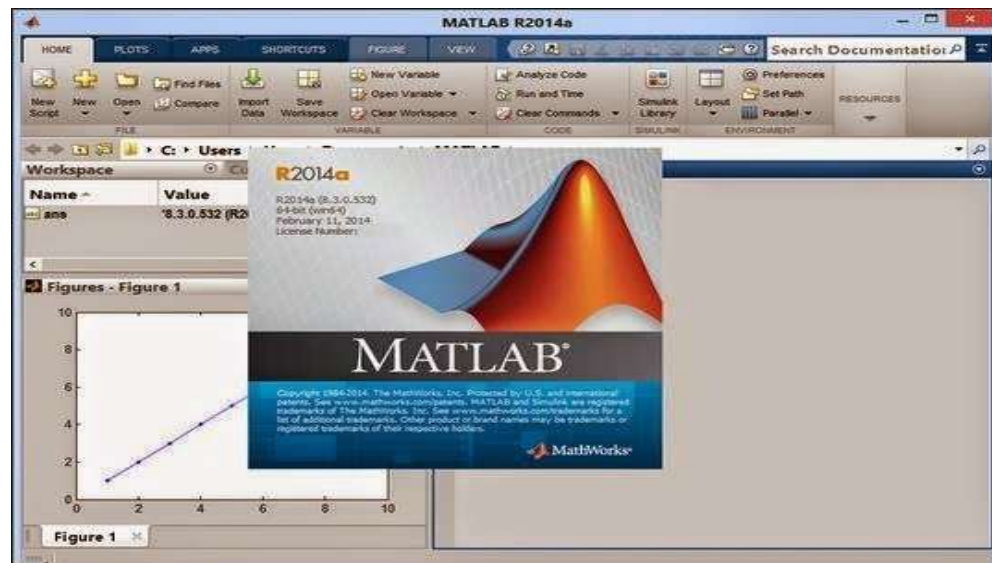


Figure II.11 : Logiciel de programmation (MATLAB) [25].

II.11.2. Programme de Calcul ET_0

```

%% Import data from spreadsheet
% Script for importing data from the following spreadsheet:
%
%   Workbook: C:\Users\LENOVO\Desktop\1.xlsx Worksheet: Feuill
%
% To extend the code for use with different selected data or a different
% spreadsheet, generate a function instead of a script.

% Auto-generated by MATLAB on 2018/04/16 21:04:50

%% Import the data
[~, ~, raw] =
xlsread('C:\Users\LENOVO\Desktop\mi\3.xlsx', 'Feuill', 'A2:N13');
raw(cellfun(@(x) ~isempty(x) && isnumeric(x) && isnan(x), raw)) = {''};

%% Replace non-numeric cells with NaN
R = cellfun(@(x) ~isnumeric(x) && ~islogical(x), raw); % Find non-numeric
cells
raw(R) = {NaN}; % Replace non-numeric cells

%% Create output variable
data = reshape([raw{:}], size(raw));

%% Allocate imported array to column variable names
Mois = data(:,1);
L = data(:,2);
longitude = data(:,3);
Altitude = data(:,4);
Tmax = data(:,5);
Tmin = data(:,6);
Hr = data(:,7);
uz = data(:,8);
n = data(:,9);

```

```

j = data(:,10);
Tmoismaxi_1 = data(:,11);
Tmoismaxi1 = data(:,12);
Tmoismini_1 = data(:,13);
Tmoismini1 = data(:,14);

%% Clear temporary variables
clearvars datarawR;
T=(Tmax+Tmin)/2;
%_____vitesseu2(m/s)et pressieonatmospherik(kpa)
%_____
z=2;
u2=uz.*(4.87/(log(67.8*z-5.42)))*1000/3600;
p=(101.3)*((293-(0.0065*z))/293)^5.26;
%_____Constante psychrométrique (kPa.°C-1) _____%
gamma=(0.665*10^(-3))*p;
%_____chaleur spécifique d'air [MJ kg-1 °C-1]. _____%
lambda = 2.45; %chaleur latente de changement d'état (kJ.kg-1)
epsi =0.622; %rapport poids moléculaire de la vapeur d'eau / air
sec
cp = (gamma*epsi*lambda)/p;
%_____ (rs) la résistance du couvert végétal(s.m?1) _____%
h=0.12; %hauteur de récolte constante (m)
d=(2/3)*h; %hauteur de déplacement(m).
zom=0.123*h; % hauteur initiale de transfert du vent (m)
Lai=0.5*24*h; %indice foliaire de la feuille.
r1=100; %la résistance stomacale de la feuille bien
illuminée (s.m?1)
rs=r1/Lai;
%_____ (ra)la résistance aérodynamique (s.m-1) _____%
zoh=0.1*zom; %hauteur initiale de transfert de la chaleur et de
la vapeur (m)
zh=2; %la hauteur la mesure de l'humidité (m)
zm=2; %la hauteur de la mesure du vent (m)
k=0.41; %constante de vonKarman's.
ra=((log((zm-d)/zom)).*(log((zh-d)/zoh)))/(u2.*(k^2));
%_____ es eTea (kpa) _____%
eT=0.6108.*exp((17.27.*T)/(T+237.3)); %pression de vapeur de saturation
à la température de l'air.
ea=(eT.*Hr)/100; %tension de vapeur à la
température.
es=(0.6108.*exp((17.27.*Tmax)/(Tmax+237.3))+(0.6108.*exp((17.27.*Tmin)/(T
min+237.3))))/2; %tension de vapeur saturante .
%_____ (Ra)rayonnement extraterrestre [MJ m-2 jour-1]
%_____
pi=3.14;
Q=L.*pi./180; %latitude (rade)
dr=1+(0.033.*(cos(2.*pi.*j./365))); %distance relative de la
Terre-Soleil.
sigma=(0.409.*(sin((2.*pi.*j./365)-1.39))); %déclinaison solaire (rad)
ws=acos(-1.*tan(Q).*tan(sigma)); %angle du coucher du soleil (rad)
Ra=(24*60/pi).*0.082.*dr.*((ws.*((sin(Q)).*(sin(sigma))))+(cos(Q)).*(cos(s
igma)).*(sin(ws))));
%_____ (Rn) rayonnement net [MJ m-2 jour-1] _____%
N=(24*ws)/pi; %durée d'ensoleillement maximale
possible en un jour.(heur)
Rs=(0.25+0.5.*(n./N)).*Ra; %rayonnement solaire ou ondes
courtes[MJ m-2 jour-1] .
Rns=(1-0.23).*Rs; %rayonnement solaire net ou ondes
courtes [MJ m-2 jour-1] .

```

```

Rso=(0.75+(2*(10^(-5))*z)).*Ra;           %rayonnement solaire du ciel
clair[MJ m-2 jour-1]
Tmaxk=Tmax+273.13;
Tmink=Tmin+273.13;
Rnl=4.903.*(10^(-9)).*(((Tmaxk.^4)+(Tmink.^4))./2).* (0.34-
(0.14.*sqrt(ea))).*(1.35.*(Rs./Rso))-0.35); %rayonnement à longue
distance net sortant.[MJ m-2 jour-1]
Rn=Rns-Rnl;
%_____ rhoA _____%
R=0.287;                               %constante de gaz spécifique [kJ kg-1 K-1]
Tkelv = 1.01.*(T+273);                 %la température virtuelle(k)
rhoA = p./(Tkelv.*R);                 %densité moyenne de l'air(kg/m3)
%_____ G (fleux) _____%
G=0.14.*(((Tmoismaxi1)+(Tmoismini1))./2)-
(((Tmoismaxi_1)+(Tmoismini_1))./2)); %flux de chaleur du sol[MJ m-2 jour-
1].
%_____ lambdaET _____%
delta=(4098.*(0.6108.*exp(17.27.*T./(T+237.3))))./(T+237.3).^2;
%pente de la courbe de la tension de vapeur saturante (kPa.°C-1)
lambdaET=(delta.*(Rn-G)+(rhoA.*cp.*(es-
ea)./ra))./(delta+(gamma.*(1+(rs./ra)))); %Flux de chaleur latente [MJ
m-2 jour-1]
%_____ ET0 _____%
nj=[31
    29
    31
    30
    31
    30
    31
    31
    30
    31
    30
    31];
ET0=nj.*(0.408.*delta.*(Rn-G)+gamma.*u2.*900./(T+273)).*(es-
ea))./(delta+gamma.*(1+0.34.*u2)); %évapotranspiration de référence(mm
mois-1).
%_____ fin _____%

```



Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats obtenus lors de ce travail, les caractéristiques météorologiques de 76 stations impliqués dans le calcul sont présentés dans un tableau à savoir les températures maximales et minimales, la vitesse du vent à de 2 mètre du sol, l'humidité de l'air et la durée d'insolation. Une idée sur logiciel Surfer version 10 utilisé pour dresser les cartes sont également présentées au cours de ce chapitre. Les résultats présentés dans ce chapitre sont fondés sur la base des données climatiques des 73 stations météorologiques pour l'année 2016. Une interprétation et une discussion des résultats sont données à la fin du chapitre

III . 2 Données utilisées dans la cartographie

Afin de d'obtenus bonnes résultats 76 stations météorologiques (voir la figure III.1) sont impliqués dans le calcul dont 58 stations situent dans le trottoir Algérien et 18 sont situés dans les pays voisins, le tableau Annexe donne les coordonnées géographiques et les caractéristiques de ces stations

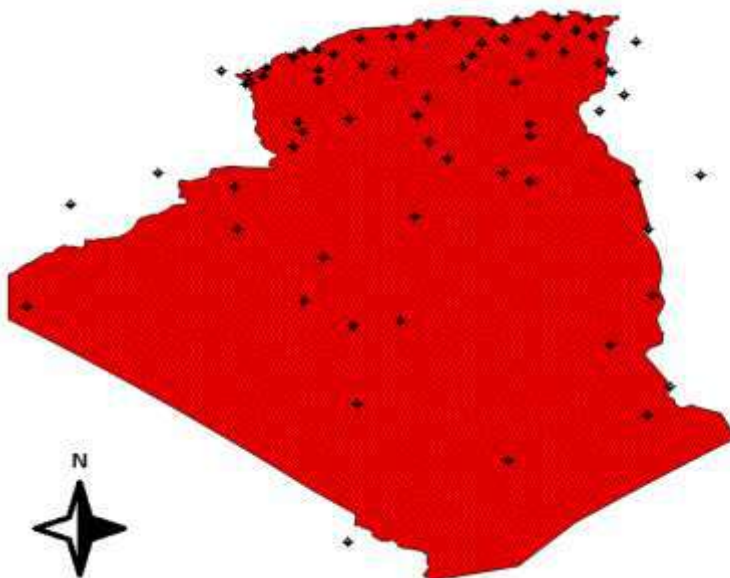


Figure III 1: situation des 76 stations

III.3une aperçu sur logiciel surfer 10 :

Surfer est un programme de mappage basé sur la grille qui interpole les données XYZ espacées irrégulièrement dans une grille régulièrement espacée. Les grilles peuvent également être importées d'autres sources, La grille est utilisée pour produire différents types de cartes, y compris le contour, vecteur, image, relief ombragé, bassin versant, surface 3D et cartes filaires 3D. Beaucoup de quadrillage et Des options de cartographie sont disponibles, vous permettant de produire la carte qui représente le mieux de vos données parmi eux est une méthode de Kriging.

Une vaste gamme de méthodes de quadrillage est disponible dans Surfer. La variété des méthodes disponibles fournit différentes interprétations de vos données, et vous permet de

choisir le plus approprié méthode pour vos besoins. De plus, les statistiques sur les données vous permettent de recueillir des informations sur votre donnée quadrillée. La surface, la surface plane projetée et les calculs volumétriques peuvent être effectués rapidement à Surfer. Les profils transversaux peuvent également être calculés et exportés.

Les fichiers de grille eux-mêmes peuvent être édités, combinés, filtrés, découpés, interrogés et mathématiquement transformé. Par exemple, vous pouvez créer une carte isopach à partir de deux fichiers de grille. Vous aurez besoin de fichier de grille de surface d'origine et le fichier de grille de surface après qu'un volume de matériau a été supprimé. Soustraire les deux surfaces pour créer une carte isopach. La carte résultante affiche combien de matériel a été enlevé dans tous les domaines.[26]

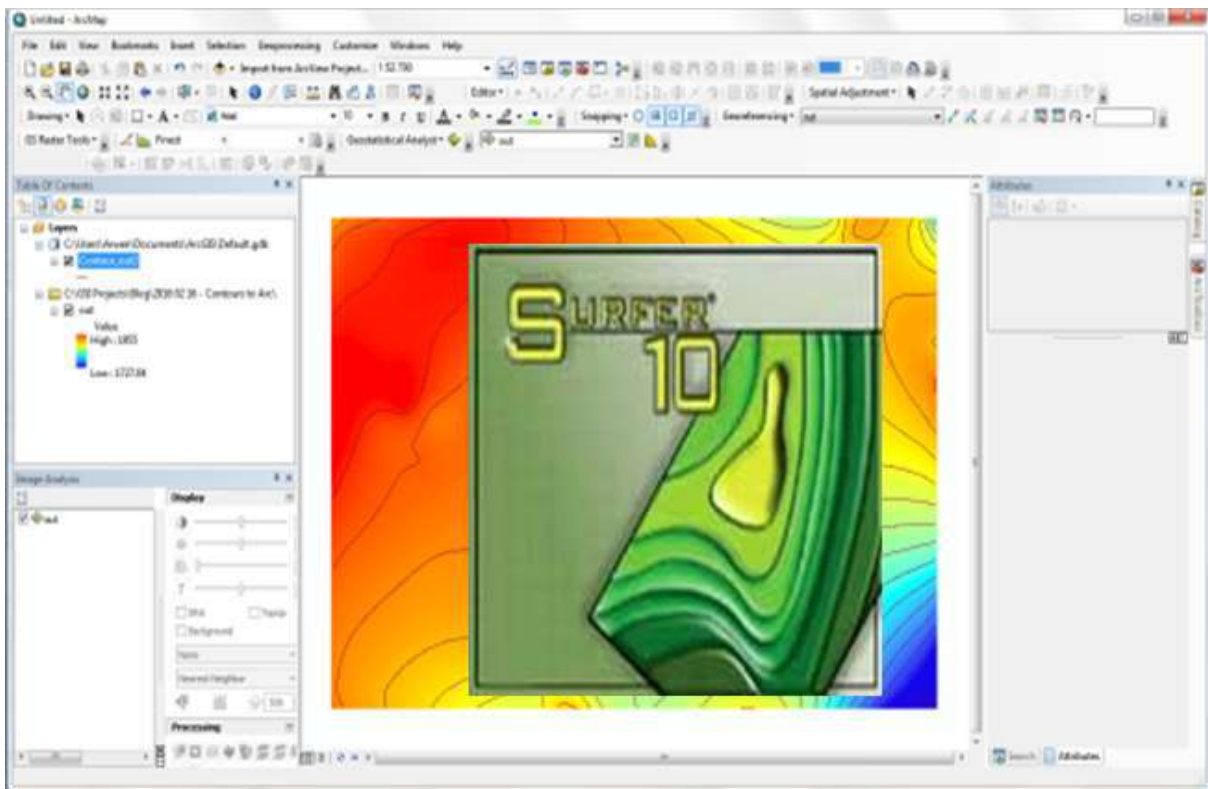


Figure III 2: La fenêtre principale du programme (Surfer 10)

III.4 Résultats obtenus

Le logiciel Surfer 10 nous a permis d'élaborer différentes cartes de notre zone d'étude à savoir les cartes des températures Max et Min, la vitesse du vent à 2m du sol, l'humidité de l'air, l'intensité de rayonnement solaire et la durée d'insolation.

III.4.1 Carte de Température (Max)

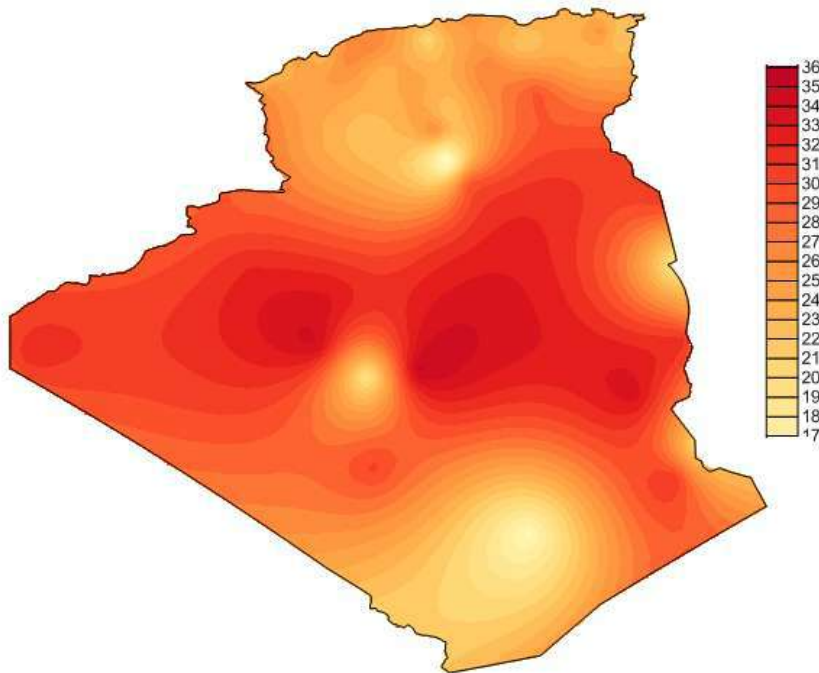


Figure III 3: La variation spatiale de température maximale moyenne année 2016

La figure III 3 présente la variation spatiale de température maximale moyenne annuelle 2016 à travers l'Algérie où nous observons que la température moyenne maximale augmente progressivement du Nord vers le centre du pays et aussi de l'extrême Sud vers le centre des températures basses à Tamanrasset et Bayadh entre 17 et 18 °C influencée par l'altitude de ces endroits (1364 et 1347 m respectivement). Les valeurs maximales sont enregistrées à Ain Salah et Adrar entre 34 et 36 °C, pour le Nord la température était entre 20 et 25 °C.

III.4.2 Carte de Température (Min)

La variation spatiale de température minimale moyenne illustrée par la figure III.4 garde la même allure de la température maximale avec des valeurs basses à Tيارت, Sétif et Mila entre 10 à 18 °C, la température maximale est enregistrée toujours à Ain Salah de 30 à 33°C, ou Nord la température était entre 10 et 17 °C alors qu'au centre elle était entre 18 et 24°C.

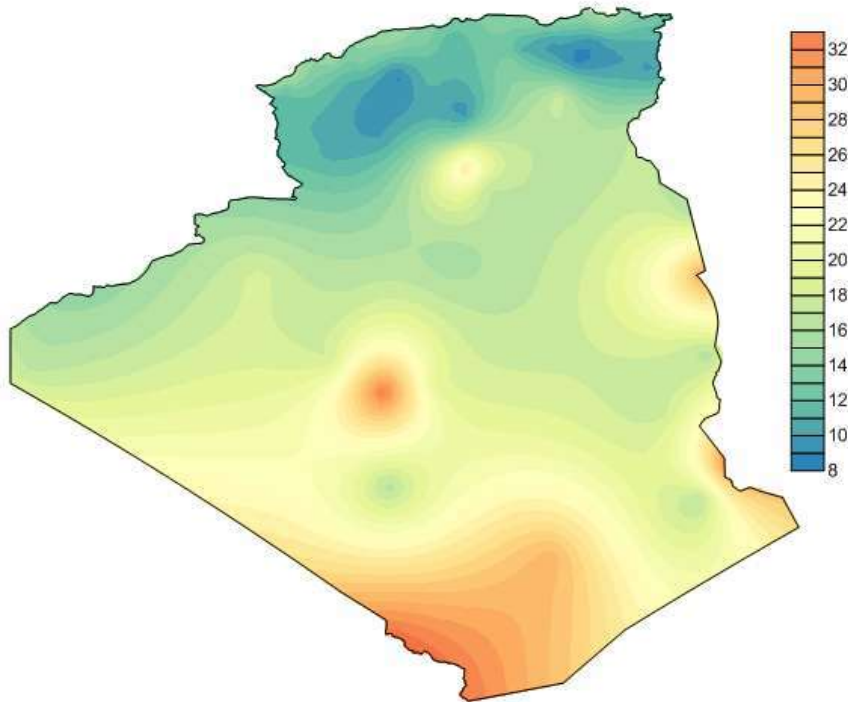


Figure III 4: La variation spatiale de température minimale moyenne année 2016

III.4.3 La Carte de Vitesse du vent à 2m du sol

La carte de la figure III.5 représente la variation spatiale de la vitesse moyenne mensuelle pour l'an 2016 de l'Algérie, la vitesse est comprise entre 0.5 à 6 m/s, les valeurs maximale sont observés proche de la zone de HassiRemel et la région d'Adrar, alors que les vitesses le plus basses sont constatés au Sud-Ouest du pays, le reste des parties de l'Algérie sont caractérisées des vitesses modérées d'ordre 2.8 à 3.2 m/s.

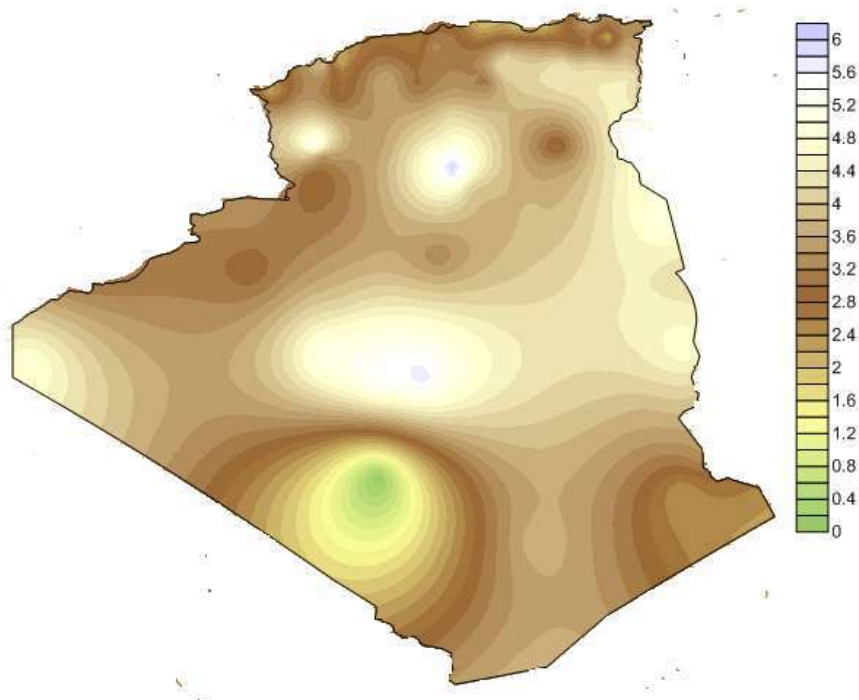


Figure III 5: La variation spatiale de la vitesse du vent à 2m du sol moyenne année 2016

II.4.4 L'humidité de l'air

La variation dans l'espace de l'humidité de l'air pour l'Algérie est schématisée par la figure III.6 d'après ce schéma on constate que l'humidité de l'air diminue du Nord vers l'extrême Sud, des valeurs de plus 70% sont observés le long de littoral ou le climat est de type méditerranée, la région Sud du pays est caractérisée par un climat sec l'humidité de l'air atteint des valeurs assez faibles environ du 15%.

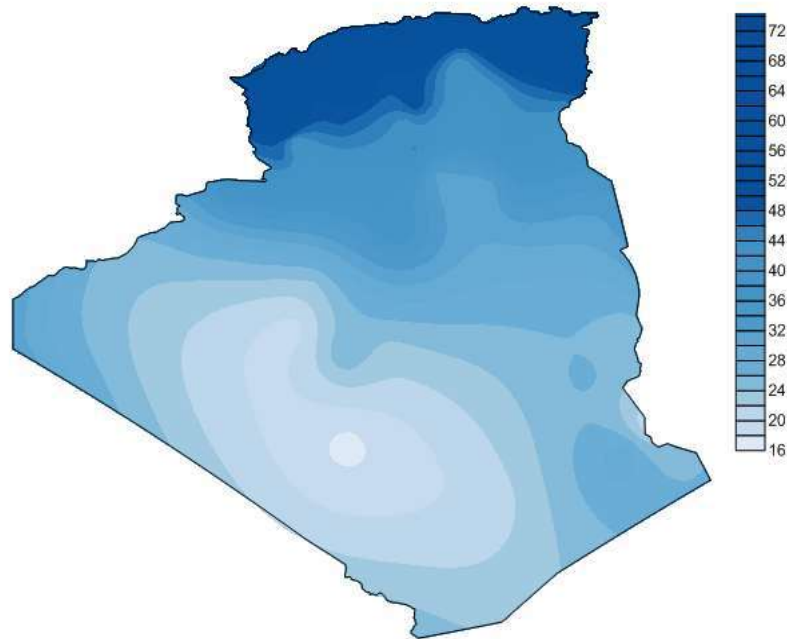


Figure III 6: La variation spatiale de l'humidité de l'air moyenne mensuelle année 2016.

III.4.5 Carte de la durée insolation

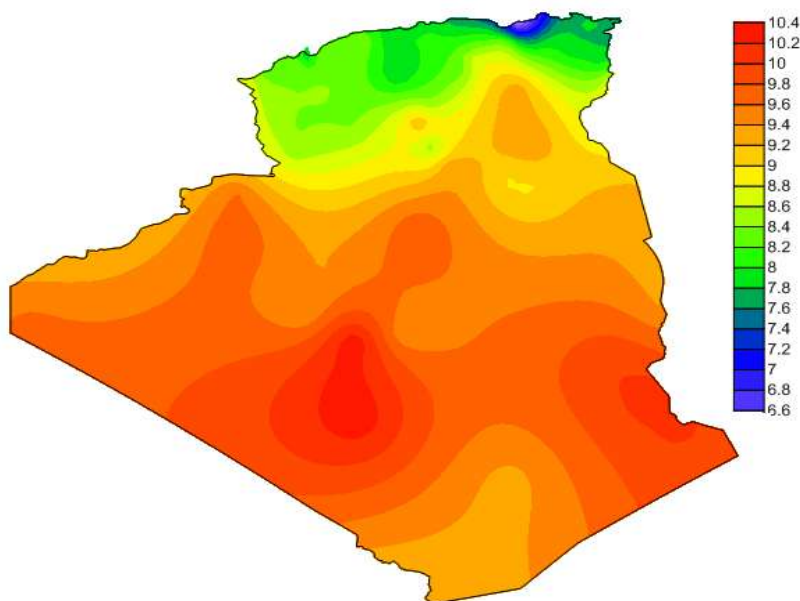


Figure III 7: La variation spatiale de la durée d'insolation moyenne mensuelle année 2016.

L'Algérie est bénéficiée d'une durée d'insolation moyenne annuelle de plus 2800 heures sur la majorité du territoire nationale la carte de la figure III.7 donne une aperçu générale sur la variation spatiale de la durée d'insolation qui dépasse 9.5 heures pour plus 80% de la superficie du pays les valeurs maximales sont enregistrées proche de la zone d'Adrar 10 heures par jour au moyen, dans les régions de Skikda et Jijel les valeurs d'insolation sont les plus faibles entre 6.6 à 7.2 heures par jour.

III.4.6 La variation de l'évapotranspiration mensuelle la moyenne annuelle

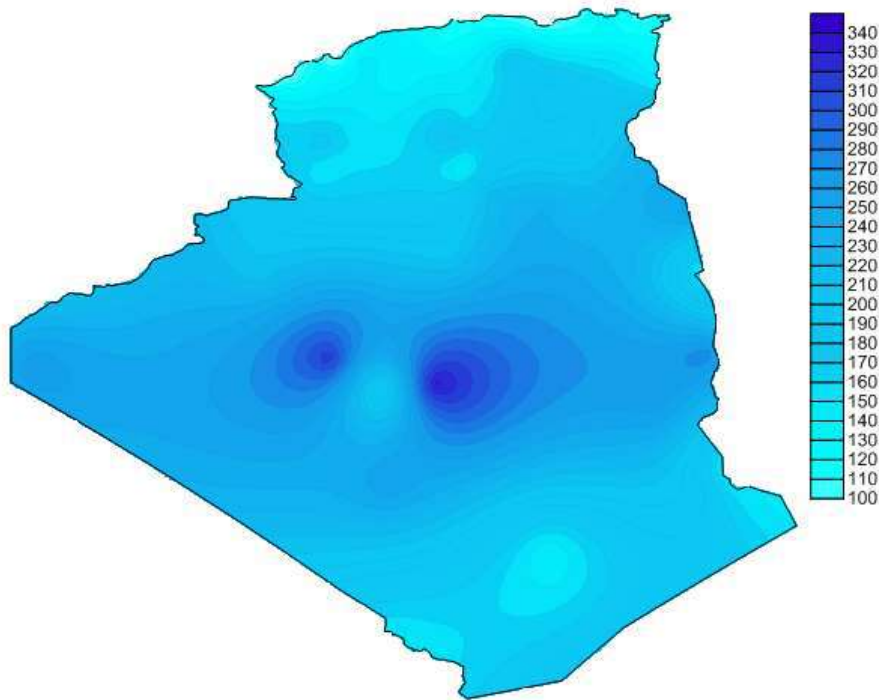


Figure III 8: La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle année 2016.

La carte de figure III 8 montre que la quantité de l'évapotranspiration augmente dans deux directions du Nord de pays vers le centre et également de Sud vers le centre similaire au variation de la température maximale voir (la figure III.3) des quantités importantes sont constatés à Ain Saleh et Adrar où la quantité était 330 mm/mois, cela est expliqué par la température élevée dans les deux régions qui est estimée à 36°C et les valeurs élevées de la vitesse entre 5.6 à 6 m/s et une grande durée de la solarisation par jour, 10.2 h.

Nous observons une forte baisse au niveau de l'évapotranspiration au Nord et Hoggar à cause de la température basse 17°C et à cause aussi de l'altitude entre 1200 et 1400 mètres

Nous notons que la quantité l'évapotranspiration augmente progressivement à partir de l'atlas saharien jusqu'à Adrar et Ain Saleh c'était entre 180 mm/mois et 270 mm/mois alors qu'elles sont en baisse graduellement de ces deux régions jusqu'à Hoggar

III.4.7 La variation temporelle de l'évapotranspiration de référence

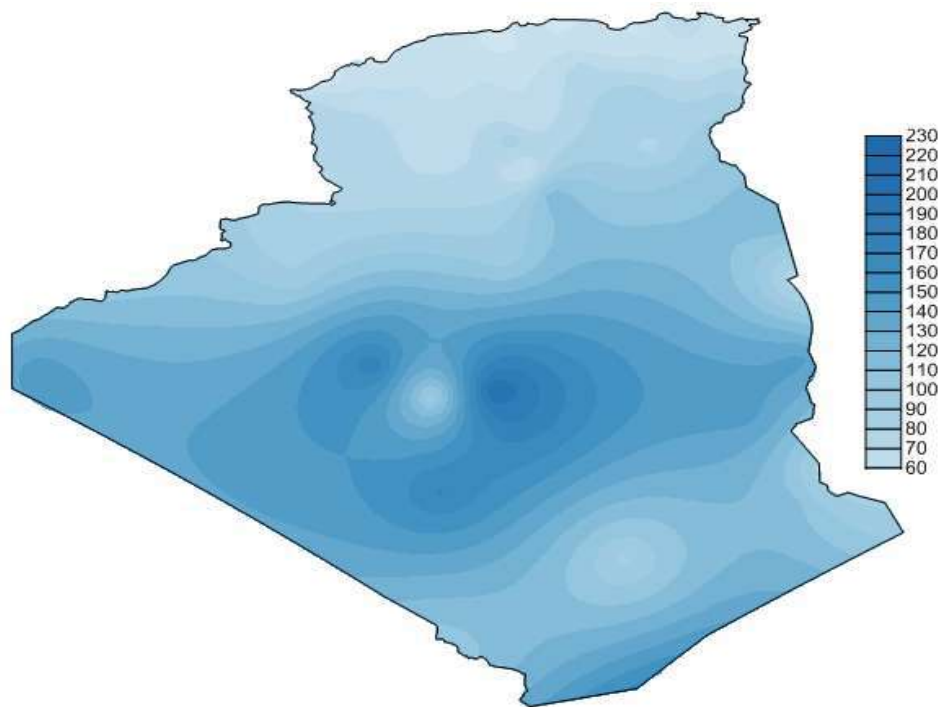


Figure III 9: La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle. (Hiver)

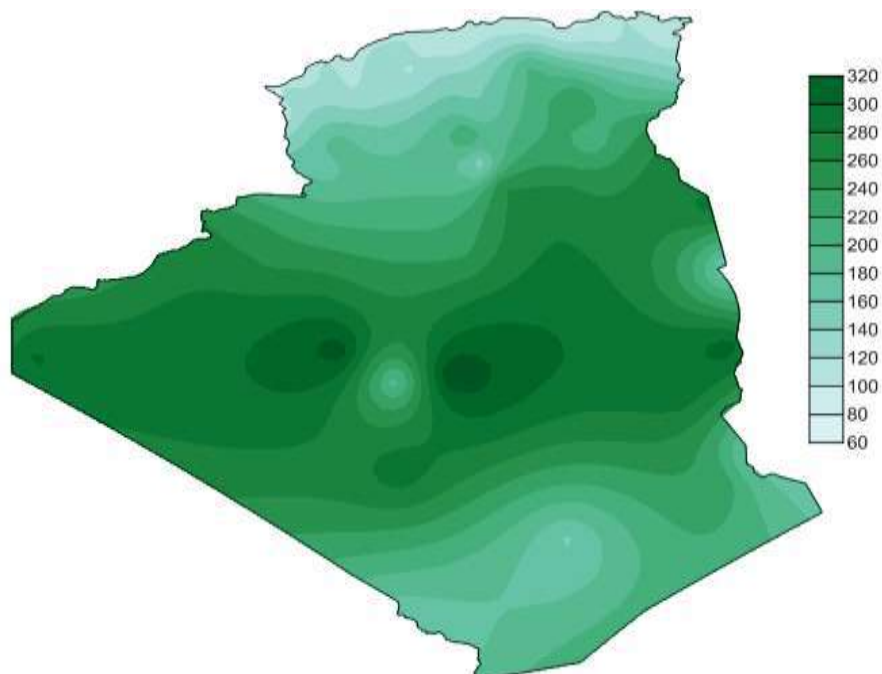


Figure III 10: La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle. (Printemps)

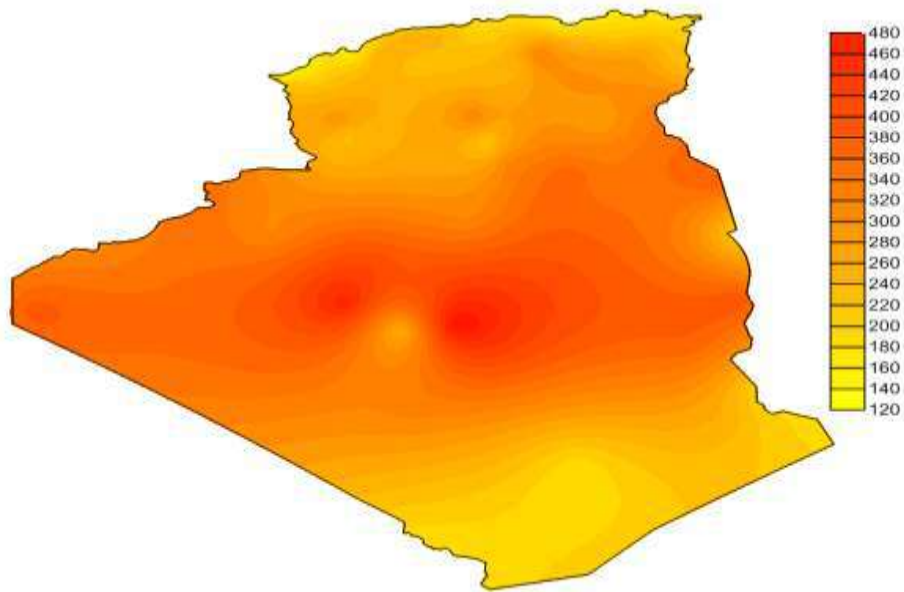


Figure III 11: La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle. (L'été)

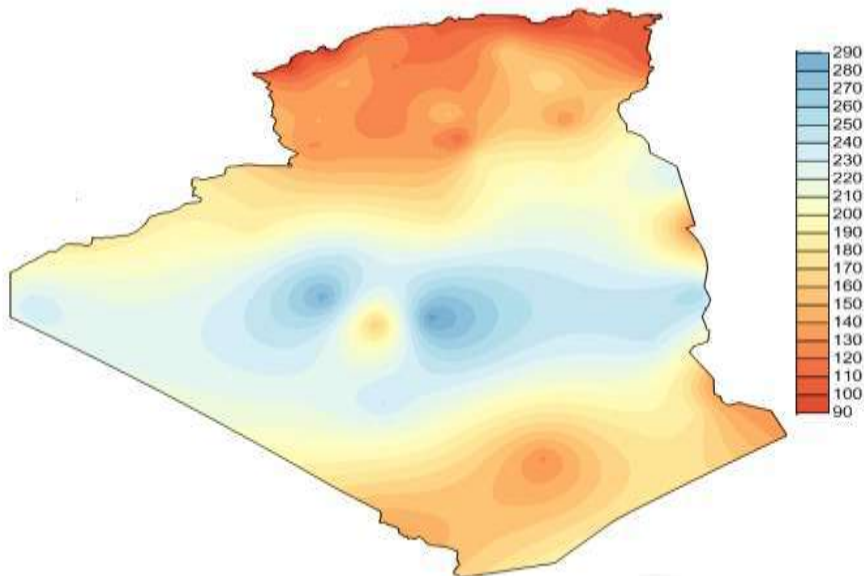


Figure III 12: La variation spatiale de l'évapotranspiration moyenne mensuelle. (Automne)

Les figures de III.9 à III.12 présentent la variation spatiale des quatre saisons de l'année l'Hiver, le Printemps, l'Eté et Automne respectivement ces cartes sont similaires ce de carte annuelle (Figure III.8), mais la variation temporelle elle très variable d'une saison à l'autre, les quantités maximales sont toujours observées proche des régions d'Adrar et Ain Salah l'évapotranspiration passe de 230 mm/mois à Hiver à 320 mm/mois au printemps à 480 mm/mois en Eté et démunie à environ de 290mm/mois.

Conclusion

Ce travail avait pour objectif de contribuer à élaborer une carte d'estimation de l'évapotranspiration de référence (ET_0) pour l'Algérie, on basons sur les données climatiques mensuelle de année 2016 pour toutes les stations de l'ensemble du territoire national 58 stations et 15 sont situés dans les pays voisins qui incluent les données climatiques et les variables mensuelle de la température, d'humidité relative et de vitesse du vent à une hauteur deux mètres, à l'aide d'un programme Matlab établir dans le cadre de cette étude on choisissons la 'Penman-Monteith'.

L'analyse des résultats fournis par ce travail montre que la variation spatiale de l'évapotranspiration de référence (ET_0) montre que la quantité de l'évapotranspiration augmente dans deux directions du Nord de pays vers le centre et également de Sud vers le centre similaire au variation de la température maximale voir des quantités importantes sont constatés à Ain Saleh et Adrar OÙ la quantité était 330 mm/mois, cela est expliqué par la température élevée dans les deux régions qui est estimé à 36 °C et les valeurs élevées de la vitesse entre 5.6 au 6 m/s et une grande durée de la solarisation par jour, 10.2 h.

Il convient toutefois de noter que, compte tenu de l'étendue de la zone d'étude et de ses contrastes climatiques, le nombre des stations utilisées dans cette étude s'avère insuffisant pour tirer des conclusions définitives. Un plus grand nombre de stations pourrait permettre de définir pour chaque zone climatique une méthode spécifique d'estimation de l'évapotranspiration de référence qui pourrait être utilisée quand les données nécessaires pour appliquer la méthode de Penman-Monteith, et donc aussi celle de PENMAN, ne sont pas toutes disponibles.

- [1] **TAHA RAOUF SHER MOHAMMED**, variation spatiale des valeurs de perte d'eau au moyen du processus d'évaporation / transpiration possible en Irak - une étude comparative de l'utilisation des équivalents Thornthoite et Khosla,
- [2] **HANTOUSH TAHER HASSAN**, Comparaison entre la distribution des taux mensuels d'évaporation de la taille mesurée et les valeurs d'évaporation transpiration latentes par l'équation Benman convertie en différentes régions du pays
- [3] **BELOUZ KHALED**, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister , Modélisation
- [4] **PARE SAMUEL**, thèse de doctorat, Contribution à la détermination d'un terme du bilan hydrologique dans la région d'Errachidia-Tafilalet : Evaluation de l'évapotranspiration de référence et de l'évaporation à travers la zone non saturée de la Plaine de Tafilalet, université mohammed v – agdal faculte des sciences Rabat, 5 septembre 2006.
- [5] <https://www.google.dz/search?biw>
- [6] <https://www.google.com/search?q=l>
- [7] **ABDELMADJID CHEHMA**, article, « l'effet du changement climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du maghreb » université kasdi merbah - ouargla- algérie, du 21 au 24 novembre 2015
- [8] <https://www.google.dz/search?biw>
- [9] **BENLATRECHE TOUFIK**, memoire de magister, effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les edifices publics, université mentouri constantine , 2016
- [10] <https://fr.scribd.com/doc/48480380/Donnees-climatiques-de-l-Algerie>
- [11] <https://fr.tutiempo.net/climat/afrique.html>
- [12] **PIERRE-PHILIPPE KASTENDEUCH**, revue géographique de l'est , la mesure du vent : conventions, instruments et données, vol. 40 / 3 | 2000 l'ouragan du 26 décembre 1999 dans l'est de la france
- [13] <http://edis.ifas.ufl.edu/ae459>
- [14] <http://mawdoo3.com/>
- [15] <https://www.google.dz/search?q=Thermom>
- [16] <https://www.google.dz/search?q=Easily>
- [17] https://www.google.dz/search?q=1024_Pyrometer-
- [18] **LINCOLN ZOTARELLI, MICHAEL**. Dukes, consuelo c. romero, kati w. migliaccio, and kelly , article , step by step calculation of the penman-monteith evapotranspiration (fao-56 method) , university of florida ,
- [19] <http://www.beatona.net>
- [20] https://www.google.dz/search?q=&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj9rpz334zbAhXEWQRQKHAKVADIQ_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgsrc=1T7TltypTACXtM:
- [21] <https://www.google.dz/search?q=Slingpsychrometer&source>
- [22] <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre4/chapitre4.html>
- [23] **RICHARD G. ALLEN**, guidelines for computing crop water requirements, Utah State University Logan, Utah, U.S.A.
- [24] **CHRISTOS XENOPHONTOS**, Livre, Guide du débutant à matlab, Département des sciences mathématiques, Collège Loyola.

- [25] <https://www.google.dz/search?q=Matlab>
- [26] <https://www.jaketa.hu/files/szoftverek/surfer/Surfer13Guide.pdf>

Table III.1 les coordonnées géographiques et les caractéristiques des stations [11]

N°	Site	Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude (m)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	u (km/h)	H(%)	Ins (h)
1	Skikda	36,88	6,95	7	16,18	23,42	13,53	65,8	7,72
2	Annaba	36,83	7,81	4	12,85	22,9	12,06	74,6	7,86
3	Jijel	36,8	5,78	2	14,23	23,9	7,27	67,56	6,07
4	Béjaia	36,71	5,06	2	14,06	23,86	7,65	74,86	7,58
5	Tizouzou	36,7	4,05	189	13,7	25,2	7,69	66,15	7,78
6	Dar_Elbeida	36,68	3,25	25	12,24	24,79	10,62	70,79	7,98
7	Guelma	36,46	7,46	228	11,6	25,83	7,34	60,28	7,77
8	Miliana	36,3	2,23	721	13,49	23,65	9,31	58,54	7,81
9	Constantine	36,28	6,61	694	9,64	23,69	10,15	61,06	7,88
10	Médéa	36,28	2,75	1036	11,58	20,37	11,84	62,01	8
11	Souk Ahras	36,28	7,95	680	11,11	21,82	12,96	61,66	7,77
12	Chlef	36,21	1,33	143	14,42	27,02	10,3	62,81	8,36
13	Sétif	36,18	5,41	1038	9,56	21,55	12,5	56,43	8,44
14	B_B_Argeridj	36,06	4,76	930	10,52	23,64	14,29	50,05	8,41
15	Mostaganem	35,88	0,11	138	13	24,02	6,69	70,6	8,39
16	Arezw	35,81	-0,26	4	15,85	22,87	4,22	73,96	7,76
17	Oum_El_Bou aghi	35,76	7,11	891	9,66	23,04	15,07	54,81	8
18	Batna	35,75	6,18	1052	8,29	24,09	15,95	55,9	8,25
19	Relizane	35,73	0,55	75	13,64	26,75	9,98	55,73	8,27
20	M'Sila	35,66	4,5	442	13,65	26,61	15,38	43,37	8,71
21	Oran	35,63	-0,6	90	13,4	24,72	12,42	69,86	8,41
22	Tébessa	35,41	8,13	813	9,76	24,36	16,08	56,82	8,04
23	Tiaret	35,35	1,43	1127	8,61	23,06	13,4	62,23	8,22

24	Bou_saada	35,33	4,2	461	13,52	26,78	10,88	43,6	8,35
25	Beni_Saf	35,3	-1,35	70	16,13	22,61	2,7	73,6	8,26
26	Masacara	35,21	0,15	513	10,9	25,55	10,1	58,89	8,27
27	Sidi Bel Abbes	35,2	-2,61	476	10,27	39,16	12,74	50	8,72
28	Kasr_Chellala	35,16	2,31	801	11,43	24,93	10,48	48,33	7,81
29	Ghazaouet	35,1	-1,86	5	15,81	22,05	7,58	76,28	8,66
30	Telmcen	35,01	-1,46	247	12,6	25,36	8,92	63,93	8,44
31	Saida	34,86	0,15	752	10,67	24,67	9,81	50,21	8,45
32	Maghnia	34,81	-1,78	428	11,87	26,18	9,33	55,82	8,66
33	Biskra	34,8	5,73	87	17,45	29,38	14,36	43,69	9,32
34	Delfa	34,33	3,25	1144	9,37	21,64	15,35	50,36	8,46
35	Laghouat	33,76	2,93	765	13,29	26,62	15,97	42,28	9,23
36	El_Bayadh	33,66	1	1347	10,01	22,1	12,15	47,93	8,38
37	Mecheria	33,58	-0,43	1149	10,95	24,53	20,05	53,44	8,36
38	El_Oued	33,5	6,11	63	16,36	29,2	9,2	42,78	9,3
39	Naama	33,26	-0,3	1166	10,62	24,27	11,93	40,6	8,5
40	Touggourt	33,11	6,13	85	16,03	30,35	12,35	42,06	9,4
41	Hassi_Remel	32,93	3,28	764	26,32	13,14	6,15	44,5	8,46
42	Ain_Safra	32,76	-0,6	1059	12,08	25,5	10,12	46,67	8,5
43	Ghardaia	32,4	3,81	450	17	29,18	14,18	31,56	9,36
44	Ouargla	31,93	5,4	141	16,89	31,6	13,78	30,35	8,97
45	Béchar	31,5	-2,23	773	15,26	29	11,78	36,27	9,63
46	Hassi_Messao ud	31,66	6,15	142	16,84	31,64	13,77	35,05	8,97
47	El_Goléa	30,56	2,86	397	15,14	30,9	11,5	37,94	9,77
48	Beni_Abbes	30,13	-2,16	505	18,35	31,9	10,08	27,34	9,74
49	Timimoun	29,25	0,28	312	17,7	32,94	14,8	24,06	9,4
50	In_Aménas	28,05	9,63	562	16,14	31,77	17,37	25,26	9,42

51	Adrar	27,88	-0,28	263	18,15	34,25	18,7	19,18	9,39
52	Tindouf	27,7	-8,13	431	16,67	31,87	17,63	29,05	9,65
53	In_Salah	27,23	2,46	269	19,54	35,26	20,78	23,05	9,45
54	Aoulef	27,07	1,1	289	33,88	18,26	5,3	25,83	10,35
55	Illizi	26,5	8,41	558	17,64	33,5	13,73	26,5	9,98
56	Bordj_Ouallen	24,6	1,23	346	16,18	30,5		17,21	10,35
57	Djanet	24,26	9,46	1054	16,62	31,32	8,6	29,53	9,98
58	Tamanrasset	22,8	5,51	1364	29,59	15,58	3,78	20,56	9,31
59	Agadez_Niger	16,32	7,98	498	22,88	35,43	17,12	24,44	9,51
60	Bilma_Niger	18,68	12,92	356	19,17	37,69	6,34	25,83	10,1
61	Bir_Moghren_Mauritanie	25,23	-11,62	359	31,32	16,45	3,78	50,83	9,58
62	Kidal_Mali	18,43	1,35	462	36,14	21,25	3,36	28,83	9,04
63	Tessalit_Mali	20,2	0,98	493	35,85	21,13	2,59	24,29	9,33
64	Bizerte_Tunisie	37,25	9,8	5	13,4	24,34	14,47	72,66	7,91
65	El_Kef_Tunisie	36,13	9,16	518	11,05	24,7	8,31	59,84	7,47
66	Kasserine_Tunisie	35,15	8,45	707	11,98	24,6	13,64	57,52	8,76
67	Oujda_Maroc	34,78	-1,93	468	12,13	25,65	13,55	64,88	8,7
68	Gafsa_Tunisie	34,41	8,81	313	14,56	27,57	15,38	47,02	8,89
69	Tazeur_Tunisie	33,91	8,1	87	17,75	29,21	17,37	41,3	8,6
70	Errachidia_Maroc	31,93	-4,4	1034	14,59	28,07	11,9	29,18	8,89
71	El_Borma_Tunisie	31,68	9,16	258	16,49	30,15	18,31	33,74	9,25
72	Ouarzazate_Maroc	30,93	-6,9	1139	12,72	28,2	8,15	28,34	8,89
73	Nalut_Libye	31,86	10,98	621	15,9	24,55	16,9	50,05	8,25
74	Ghadames_Libye	30,13	9,5	346	30,61	17,92	4,17	31,54	9,25
75	Obari_Libye	26,6	12,78	463	32,02	17,53	2,47	30,66	9,25
76	Ghat_Libye	25,13	10,13	699	32,84	19,68	3,39	19,99	10,18