



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTÉ : GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE**

**DÉPARTEMENT : GENIE CIVIL**

### **MÉMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Mehddhi Baba Arabe**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**FILIERE : HYDRAULIQUE**

**OPTION : RESSOURCES HYDRAULIQUES**

#### **Thème**

**ETUDE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES  
D'ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION,  
APPLICATION À L'ALGÉRIE DU NORD-EST**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Qualité</b>
Djehiche Abdelkader	Président
Stamboul Medani	Examineur
Guidoum Azeddine	Rapporteur

**Promotion : Septembre - 2022**

# *Remerciements*

Avant tout propos, nous rendons grâce à Dieu de nous avoir donné la force et la compassion afin de finir ce travail.

C'est une occasion agréable d'exprimer en quelques lignes notre reconnaissance à ceux qui nous ont donné un soutien sans faille et un encouragement continu tout au long de nos années d'études.

Ces remerciements sont destinés en premier lieu au rapporteur **Dr. Guidoum Azeddine**. Nous tenons à exprimer nos sincères gratitude pour le soutien continu de nos études et recherches de master, pour sa patience, sa motivation et ses immenses connaissances. Ses conseils nous ont aidés durant le temps de recherche et d'écriture de ce mémoire. Sans son aide persistante, l'objectif de ce projet n'aurait pas été atteint.

Nous remercions ensuite l'ensemble des membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir examiner notre travail : président **Dr. Djehiche.A** pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'être rapporteur de cette thèse et de présider ce jury, Examineur **Stamboul.M** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Enfin, nous remercions aussi tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

*Nous vous disons merci*

# *DEDICACE*

*A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, de fierté, de sagesse et de patience.*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et la reconnaissance.*

- ❖ A nos très chers Parents ;*
- ❖ A nos frères et sœurs ;*
- ❖ A tous nos professeurs du cycle master ;*
- ❖ A tous nos amis et collègues de spécialité hydraulique .*

*Nous vous remercions tous*

# TABLE DES MATIERES

---

## TABLE DES MATIERES

Introduction général

### CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>I. Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>I.1. Concept et définition de l'évapotranspiration</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2. Différents types de l'évapotranspiration</b> .....	<b>5</b>
L'évapotranspiration potentielle.....	5
L'ETP est un phénomène climatique continu dans l'espace et dans le temps. ....	5
<b>I.3.1. L'évapotranspiration potentielle de référence (ET<sub>0</sub>)</b> .....	<b>6</b>
<b>I.3.2. L'évapotranspiration Maximale (ETM)</b> .....	<b>6</b>
<b>I.3.3. L'évapotranspiration Réelle (ETR)</b> .....	<b>6</b>
<b>I.3. Facteurs déterminants de l'évapotranspiration</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.1. Température de l'air</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.2. Le Rayonnement Solaire</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.3. L'Humidité de l'air</b> .....	<b>8</b>
<b>I.4. Classification et inventaire des méthodes d'estimations de l'ETP</b> .....	<b>8</b>
<b>I.5.1. Méthodes du bilan hydrique</b> .....	<b>8</b>
<b>I.5.2. Méthodes aérodynamiques</b> .....	<b>9</b>
<b>I.5.3. Méthodes combinatoires</b> .....	<b>9</b>
<b>I.5.3.1. La méthode de Penman (1948)</b> .....	<b>10</b>
<b>I.5.3.2. La formule de Penman-Monteith (Monteith, 1965)</b> .....	<b>10</b>
<b>I.5.3.3. La formule de Priestley–Taylor (1972)</b> .....	<b>11</b>
<b>I.5.3.4. La formule de Kimberly-Penman (1982)</b> .....	<b>12</b>
<b>I.5.3.5. La formule de Thom et Oliver (1977)</b> .....	<b>12</b>
<b>I.5.4. Les méthodes basées sur la température</b> .....	<b>13</b>
<b>I.5.4.1. La formule de Thornthwaite (1948 ; 1955)</b> .....	<b>13</b>
<b>I.5.4.2. La formule de Blaney et Criddle (1950)</b> .....	<b>14</b>
<b>I.5.4.3. La méthode de Hamon (1961)</b> .....	<b>15</b>
<b>I.5.4.4. La méthode de Romanenko (1961)</b> .....	<b>15</b>
<b>I.5.4.5. La méthode dite ANRH (2002)</b> .....	<b>16</b>
<b>I.5.5. Les méthodes basées sur le rayonnement</b> .....	<b>18</b>
<b>I.5.5.1. La méthode de Makkink (1957)</b> .....	<b>19</b>
<b>I.5.5.2. La formule de Turc (1955)</b> .....	<b>19</b>
<b>I.5.5.3. La formule de Jensen-Haise (1963)</b> .....	<b>20</b>

## LISTE DES FIGURES

---

I.5.5.4.	La formule de McGuinness et Bordne (1972).....	20
I.5.5.5.	La méthode de Hargreaves (1975) .....	20
I.5.5.6.	La méthode de Doorenbos et Pruitt (1977).....	21
I.5.5.7.	La formule de Abtew (1996) .....	21
I.5.	Spatialisation des données locales d'évapotranspiration.....	21
<b>CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LARÉGION D'ÉTUDE</b>		
II.1.	Introduction .....	27
II.2.	Caractérisation physico-géographique et réseau hydrographique.....	27
II.2.1.	Cadre géographique.....	27
II.2.2.	Orographie et caractéristiques morphométriques .....	28
II.2.3.	Hydrographique et densité de drainage .....	29
II.2.4.	Aperçu géologique, lithologique et biogéographique .....	32
II.2.5.	Caractérisation climatique .....	37
II.2.5.1.	Température.....	38
II.2.5.2.	Précipitations.....	39
II.2.5.3.	Autres facteurs climatiques .....	42
II.2.5.4.	Humidité relative de l'air.....	43
II.2.5.5.	Vitesse de vent .....	44
<b>CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION</b>		
III-1	Méthodologie et Outils de traitements.....	47
III-2-1	Formule de Blaney- Criddle 1959 .....	47
III-2-2	Formule de Thornthwaite 1948 .....	48
III-2 -3	La formule de Penman-Monteith 1965.....	48
III-2 -4	Formule dite ANRH.....	49
III-2 -5	La formule de Turc (1955).....	50
4.5.	La formule de Bouchet (1963) .....	50
III.3	Récapitulatif des résultats d'évaluation .....	51
III.4	Comparaison des différentes méthodes d'estimation .....	58
III.5	Corrélation entre l'évaporation mesurée et les estimations de l'évapotranspiration .....	75
III.6	Interpolation et spatialisation .....	80
	Conclusion général.....	83

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1	Évaporation et évapotranspiration (SUDMED 2007)	06
Figure I.2	<b>Schéma théorique de la variabilité annuelle de l'ET0, ETM et ETR (Chahbouni, 2009)</b>	<b>07</b>
Figure I.3	Evolution du coefficient correctif mensuel.	17
Figure I.4	Carte des coefficients correctifs régionaux	18
Figure II.1	MNT et réseau climatologique.	24
Figure II.2	réseau hydrographique du Nord-est algérien.	29
Figure II.3	Extrait de la carte géologique de l'est algérien au 1/500000	31
Figure II.4	Extrait de la carte géologique de l'est algérien au 1/500000 (Légende)	32
Figure II.5	Principaux écosystèmes forestiers de l'Est algérien (Laala et al, 2016)	33
Figure II.6	Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (d'après Côte M., 1998 in : Mebarki, 2005)	34
Figure III.1	Evolution annuelle de l'ETP pour les différentes méthodes	48
Figure III.2	(a) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée	56
Figure III.3	(b) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée	57
Figure III.4	(c) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée	58
Figure III.5	(d) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée	59
Figure III.6	Évapotranspiration potentielle interannuelle estimées par les différentes formules	60
Figure III.7	Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Blanny-Cridle)	63
Figure III.8	Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Thornthwaite)	65
Figure III.9	Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Penman-Monteith)	67
Figure III.10	Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (ANRH)	69
Figure III.11	Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Turc)	71
Figure III.12	Evolution de coefficient de corrélation	76
Figure III.13	Esquisse de l'ETP annuelle selon la formule de Penman-Monteith	77
Figure III.14	Esquisse de l'ETP annuelle selon la formule de l'ANRH	78
Figure III.15	Esquisse de l'ETP mensuelle selon la formule de Penman-Monteith pour le mois de Janvier	78
Figure III.16	Esquisse de l'ETP mensuelle selon la formule de l'ANRH pour le mois de Juillet	79

## LISTE DES abréviations

Tableau I.1 : Les paramètres conditionnels des coefficients a et b, pour le calcul de l'ETP selon la formule de Blanny-Criddle, modifiée par l'AFO	<b>15</b>
Tableau I.2 : Coefficient régional.	17
Tableau I.3 : Coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH	18
Tableau II.1 : Caractéristiques morphométriques et hydrographiques des unités hydrologiques	27
Tableau II.2 Caractéristiques morphométriques et hydrographiques des unités hydrologiques (suite)	28
Tableau II.3 : Présentation des stations climatiques retenue dans l'étude (O.N.M).	35
Tableau II.4 : Moyenne mensuelle de la température .Période (1978-2004).	36
Tableau II.5 : Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1978-2004).	38
Tableau II.6 : Moyenne mensuelle de l'insolation en (h/j). Période (1978-2004).	39
Tableau II.7 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative (en %).Période (1978-2004).	40
Tableau II.8 : Vitesse du vent (en m/s). Période (1978-2004).	41
Tableau II.9 : Evaporation mensuelle (en mm). Période (1992-2002).	42
Tableau :III.1. BANNAY-CRIDLLE STATION BATNA	45
Tableau :III.2. THORNTHWAITE STATION BATNA	45
Tableau :III.3. PENMAN STATION BATNA	46
Tableau :III.4 ANRH STATION BATNA	46
Tableau : III.5 TURC STATION BATNA	47
Tableau :III.6.Bouchet STATION BATNA	48
Tableau III.7. (a) Les valeurs de l'ETP des six modèles et de l'évaporation mesurée	49
Tableau III.8 (b) Les valeurs de l'ETP des six modèles et de l'évaporation mesurée	50
(Suite)Tableau III.9 (c) Les valeurs de l'ETP des six modèles et de l'évaporation mesurée	51
Tableau III.10 (a) Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules	52
Tableau III.11 (b) Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules	53
Tableau III.12 (c) Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules	54
Tableau III.13 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Blanny-Cridlle)	62
Tableau III.14 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Thornthwaite)	64
Tableau III.15 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Penman-Monteith)	66
Tableau III.16 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (ANRH)	68
Tableau III.17 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Turc)	70
Tableau III.18 (a) Matrices de corrélation ETP Calculée-Ev mesurée	73
(Suite)Tableau III.18 (b) Matrices de corrélation ETP Calculée-Ev mesurée	74
(suite)Tableau III.18 (c) Matrices de corrélation ETP Calculée-Ev mesurée	75

## LISTE DES abréviations

---

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

FAO : Food and Agriculture Organization.

ONM : Office National Météorologique.

ETP: Evapotranspiration Potentielle.

## **Résumé**

L'évapotranspiration est une composante très importante qui rentre en jeu dans le bilan hydrique, elle comprend deux termes essentiels : l'évaporation des surfaces du sol humide et des plantes aquatiques ainsi que la transpiration physiologique des végétaux et des plantes. Dans ce mémoire, nous avons examiné six modèles empiriques pour évaluer l'évapotranspiration potentielle au nord-est algérien, à savoir le modèle Blaney et Criddle, Thornthwaite, Penman-Montieth approuvée par la FAO, Turc, Bouchet et le modèle dite ANRH. Après avoir mené une étude comparative entre les valeurs mesurées d'évaporation au niveau des stations climatiques retenues dans l'étude et les valeurs calculées par les différents modèles, nous avons constaté que les formules de Penman - Montieth adoptée par la FAO et celle de L'ANRH sont les plus proches et les plus appropriées de la zone d'étude selon la disponibilité des données, par conséquent, nous recommandons qu'elles soient testées dans le reste de l'Algérie septentrionale.

**Mots clés** : évaporation, évapotranspiration potentielle, modèles empiriques, facteurs climatiques, étude comparative.

## **Abstract**

Evapotranspiration is a very important component that comes into play in the water balance, it includes two essential terms: the evaporation of the surfaces of the wet ground and aquatic plants as well as the physiological transpiration of plants and plants. In this thesis, we examined six empirical models to evaluate the potential evapotranspiration in northeastern Algeria, namely the Blaney and Criddle, Thornthwaite, Penman-Montieth model approved by the FAO, Turc, Bouchet and the so-called ANRH model. After carrying out a comparative study between the measured values of evaporation at the climate stations used in the study and the values calculated by the different models, we found that the Penman - Montieth formulas adopted by the FAO and that of L The ANRH are the closest and most appropriate to the study area according to data availability, therefore we recommend that they be tested in the rest of northern Algeria.

**Keywords:** evaporation, potential evapotranspiration, empirical models, climatic factors, comparative study.

## المخلص

التبخّر هو عنصر مهم للغاية يلعب دوره في توازن الماء ، فهو يتضمن مصطلحين أساسيين: تبخر أسطح الأرض الرطبة والنباتات المائية وكذلك النتح الفسيولوجي للنباتات والنباتات. في هذه الأطروحة ، قمنا بفحص ستة نماذج تجريبية لتقييم Penman-Blaney و Criddle و Thornthwaite والتبخّر المحتمل في شمال شرق الجزائر ، وهي نموذج بعد إجراء ANRH. وما يسمى بنموذج Bouchet و Turc المعتمد من قبل منظمة الأغذية والزراعة و Montieth دراسة مقارنة بين القيم المقاسة للتبخّر في المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة والقيم المحسوبة بواسطة النماذج L The ANRH التي اعتمدها منظمة الأغذية والزراعة وصيغة Penman - Montieth المختلفة ، وجدنا أن معادلات هي الأقرب والأكثر ملاءمة لمنطقة الدراسة وفقاً لتوافر البيانات ، لذلك نوصي باختبارها في بقية شمال الجزائر.

الكلمات المفتاحية: التبخر ، التبخر المحتمل ، النماذج التجريبية ، العوامل المناخية ، دراسة مقارنة.

# **Introduction général**

Les principaux facteurs climatiques qui régissent les régimes hydrologiques sont les précipitations et les températures, ce sont les deux facteurs qui interviennent dans le bilan hydrique.

La connaissance du bilan hydrique d'une région implique l'évaluation de la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Ce dernier paramètre est le plus important des trois. Il conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation (Guidoum, 2017) ; cette connaissance est l'un des moyens fondamentaux d'intervention pour réussir en aménagement d'un territoire en agriculture, en urbanisation, en lutte contre l'érosion, ou tout autre projet qui vise à protéger l'environnement et à accroître l'exploitation maximum du potentiel naturel.

Cependant la certitude de l'ETP nécessite la mesure de plusieurs paramètres en relations étroites avec sa valeur à l'échelle journalière et mensuelle, ce qui n'est pas le cas pour plusieurs stations de mesure où la température demeure l'unique paramètre à maîtriser (Makhloufi, 2010). Pour cela, la nécessité de déterminer l'ETP par des méthodes de calcul indirecte par le biais des formules fournies par plusieurs auteurs, s'avèrent très utiles.

Le principe de cette étude est l'estimation de flux de l'évapotranspiration en appliquant six modèles empiriques différents : Blaney- Criddle, Thornthwaite, Penman-Monteith, Bouchet, modèle dite ANRH et Turc.

La pertinence des modèles d'ETP est jugée en fonction de leur adéquation aux mesures de l'évapotranspiration en conditions potentielles, c'est-à-dire lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant (Jensen et al, 1990). Dans notre cas, les résultats de calcul sont comparés aux mesures de l'évaporation (évaporomètre Piche), récoltés auprès de 14 stations climatiques retenues dans l'étude

Notre étude s'articule sur trois chapitres :

Le premier concerne l'étude bibliographique particulièrement sur les méthodes de calcul de l'ETP.

Dans le deuxième nous présentons des généralités de la région d'étude et nous exposons les caractéristiques physico-géographiques notamment la morphométrie, l'hydrographie, la lithologie, la pédologie l'occupation des sols, ainsi que les différents paramètres climatiques tels que les précipitations les températures, l'humidité relative, l'évaporation, l'insolation et la vitesse des vents.

Le troisième est consacré à l'estimation proprement dite de l'évapotranspiration potentielle par les différentes formules retenues pour cette étude. Une étude comparative a été menée

## Introduction général

---

entre les valeurs mesurées d'évaporation au niveau des stations climatiques et les valeurs calculées par les différents modèles. Par ailleurs l'évapotranspiration adaptée pour notre région fera l'objet d'une cartographie automatique. Ce qui nous permettra de préciser l'évolution spatiale de ce paramètre climatique. Enfin nous concluons ce travail en proposant des perspectives.

**CHAPITRE I**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I. Introduction

Cette partie a pour objectif de préciser quelques aspects théoriques nécessaires à notre recherche

### I.1. Concept et définition de l'évapotranspiration

Le concept de l'évapotranspiration a été introduit, comme un paramètre climatique, pour la première fois par l'américain Thornthwaite en 1948 (auteur de l'expression de l'évapotranspiration potentielle), dans un contexte de classification du climat. ( Mustapha M.) Université Rennes 2, 2015.

L'évapotranspiration (ET) est une combinaison de deux processus : l'évaporation et la transpiration. L'évaporation (E), est générée par tout type de surface aquatique (lacs, fleuves, océans et sols inclus). La transpiration (T), est d'origine végétale.

L'ET peut être aussi définie comme la perte d'eau par le sol et la surface des plantes, exprimée généralement en mm/jour. Tsé (1999) considère que l'ET est « l'ensemble de la combinaison de tous les processus par lesquels l'eau du sol est transférée dans l'atmosphère, l'évaporation provenant de l'eau à la surface du sol et de l'eau interceptée par les plantes plus celle transpirée par leurs organes aériens ». (Figure I.1).

### I.2. Différents types de l'évapotranspiration

Pour mieux connaître le phénomène de l'évapotranspiration, il est utile de distinguer différentes formes de l'évapotranspiration (figure I.1 et I.2) :

#### **L'évapotranspiration potentielle**

L'ETP est un phénomène climatique continu dans l'espace et dans le temps.

C'est la valeur maximale possible de l'évapotranspiration dans des conditions climatiques données. Dans la pratique, on considère l'ETP comme une référence et on la définit comme étant la quantité d'eau évapotranspirée par un couvert végétal continue et homogène, dont l'alimentation en eau n'est pas limitée, et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique (LADLANI, 2007).

**I.3.1. L'évapotranspiration potentielle de référence (ET0)**

C'est l'évapotranspiration maximale d'un gazon à ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue (FAO, 1978, Penman 1948).

**I.3.2. L'évapotranspiration Maximale (ETM)**

L'ETM est la valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture donnée, à un stade végétatif donné et dans des conditions climatiques données c'est-à-dire la couverture végétale n'est pas nécessairement totale, et elle n'est pas nécessairement en phase active de croissance. L'évapotranspiration Maximale dépend de la culture considérée, du stade phonologique et des conditions météorologiques observées (Boudjerada I 2015.)

**I.3.3. L'évapotranspiration Réelle (ETR)**

L'ETR est l'évapotranspiration d'un couvert végétal dans des conditions réelles données : l'alimentation en eau de la plante peut être limitée par des conditions d'ordre physique (suction du sol), chimique (concentration des solutions), biologique (régulation stomatique), (Boudjerada I 2015).

C'est la quantité d'eau retirée d'une surface (par le sol et par les plantes) en raison du processus d'évaporation et de transpiration quand l'eau vient à manquer.

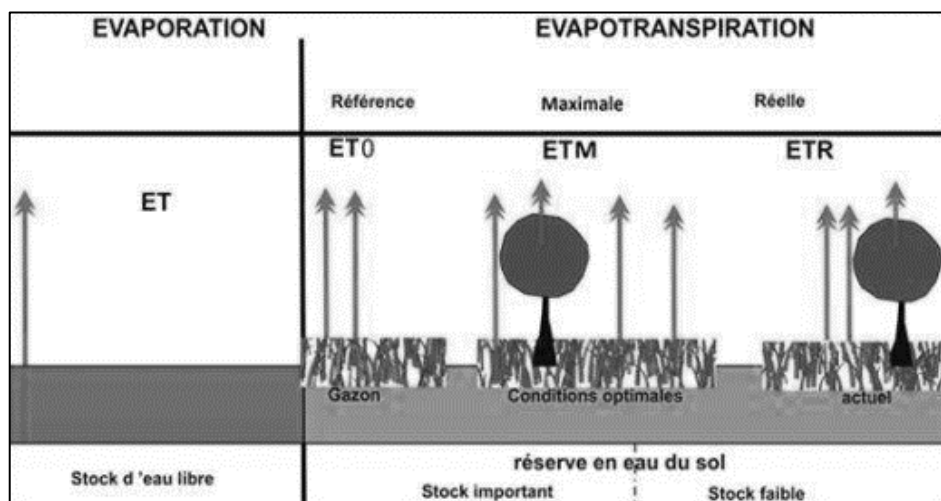


Figure I.1 : Évaporation et évapotranspiration (SUDMED 2007).

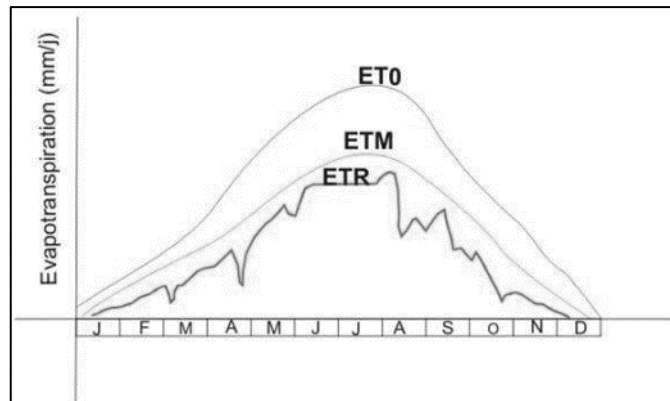


Figure I.2 : Schéma théorique de la variabilité annuelle de l'ET0, ETM et ETR (Chahbouni, 2009).

### I.3. Facteurs déterminants de l'évapotranspiration

Plusieurs paramètres entrent en jeu dans le phénomène de l'évapotranspiration, et peuvent conditionner son évolution dans le temps et dans l'espace :

Les paramètres caractérisant l'état de l'atmosphère au voisinage de la surface évaporant et son aptitude à provoquer l'évaporation ; ces paramètres régissent le pouvoir évaporant de l'atmosphère (évapotranspiration potentielle).

Les paramètres caractérisant la nature et l'état de la surface au voisinage de la surface évaporant (surface d'eau libre, neige, glace, sol nu, végétation) ainsi que son aptitude à alimenter l'évaporation et à répondre plus ou moins rapidement aux variations du pouvoir évaporant de l'atmosphère (Boudjerada 2015) .

#### I.4.1. Température de l'air

La quantité d'eau évaporée est influencée par les variations de la température. Le pouvoir évaporant de l'air augmente avec l'élévation de la température qui a son tour fait varier le taux de saturation de l'air (SAINIH et al. 1998).

#### I.4.2. Le Rayonnement Solaire

Le rayonnement solaire est l'un des facteurs primordiaux qui intervient dans le phénomène de l'évapotranspiration, sous l'action des rayons pénétrés à travers l'atmosphère vers la surface mise en évaporation.

L'évaporation absorbe de la chaleur qui est fournie principalement par le rayonnement solaire transformé plus ou moins sélectivement en énergie calorifique par la surface évaporant (Boudjerada– 2015).

### I.4.3. Le vent

Le vent est la partie essentielle et intégrante du calcul de l'évaporation. Le rôle du vent dans l'atmosphère c'est qu'il remplace les masses d'air humides en tenant la surface évaporant par des masses d'air sèches (Boudjerada– 2015).

Seltzer (1946) Souligne que l'augmentation de l'évaporation s'explique par l'augmentation de la vitesse du vent, et de la grande sécheresse. Le vecteur vent peut être caractérisé par deux nombres représentant son orientation « direction du vent » et son module « vitesse du vent ».

### I.4.3. L'Humidité de l'air

L'humidité de l'air est un paramètre impératif à avoir un équilibre de vapeur d'eau entre la surface évaporant, et celle de l'air qui l'entoure, (Larouci, 1991).

## I.4. Classification et inventaire des méthodes d'estimations de l'ETP

La plupart des méthodes d'estimations de l'ETP ont été développées pour des cas spécifiques et sont par conséquent plus adaptées à une utilisation dans des climats similaires à ceux où elles ont été développées. Elles nécessitent aussi, diverses variables de données climatiques. De ce fait, Le choix d'une de ces différentes méthodes se fait en fonction de ses performances pour des études semblables et du jeu de données disponibles.

Il existe une variété de méthodes d'estimation de l'évapotranspiration potentielle : bilan hydrique, aérodynamique, combinatoires, rayonnement, et température.

### I.5.1. Méthodes du bilan hydrique

La méthode du bilan hydrique est une méthode résiduelle, elle se base sur l'équation du bilan et sur la déduction de l'évapotranspiration à partir de la détermination des autres termes de l'équation. Elle est la même que la méthode pour déterminer l'évaporation d'une surface humide ou d'une nappe d'eau libre. L'équation du bilan hydrique dans son expression la plus complète, (Rana & Katerji, 2000), s'écrit :

$$P + I + W - ET - R - D = \pm \Delta S_0^r \quad 1.I$$

Avec :

$P$  : Précipitations

$I$  : Irrigation

$W$  : Remontée capillaire

$D$  : Drainage

$R$  : Ruissellement

$ET$  : Évapotranspiration

$\Delta S$ : Stock d'eau dans la zone racinaire

En fonction de l'environnement, de conditions particulières ou d'hypothèses, du pas de temps, notamment, cette équation peut être simplifiée (Holmes, 1984)

### I.5.2. Méthodes aérodynamiques

Ces méthodes sont basées sur l'équation du bilan d'énergie et sur les équations aérodynamiques. Elles utilisent le concept du mouvement de la vapeur d'eau de la surface évaporante vers l'atmosphère et dérivent donc de la physique même du phénomène. Ce sont les plus vieilles méthodes pour estimer l'évaporation d'une surface libre et elles restent parmi les plus attractives par leur simplicité. Elles s'écrivent généralement sous la forme (Oudin, 2004) :

$$ETP = C(e_s - e_a) \quad 2.1$$

Où

$C$  : La conductance aérodynamique :  $C = 1/r_a$  ,  $r_a$  : la résistance aérodynamique. On considère généralement que  $C$  est une fonction de la vitesse du vent :  $C = f(u)$ . La fonction  $f(u)$  dépend de l'altitude des observations, de la vitesse du vent, des mesures de pressions de vapeur et de la température.

$e_s$ : la pression de vapeur saturante à la température de surface

$e_a$ : la pression de vapeur dans l'air, égale à la pression de vapeur saturante à la température du point de rosée.

L'inconvénient majeur de l'utilisation de ce type de formules est la nécessité de se placer dans les mêmes conditions que celles de l'élaboration de la formule, ce qui n'est pas souvent le cas. Ainsi, la difficulté majeure quant à cette méthode aérodynamique, est la mesure de la pression de vapeur à différentes hauteurs au-dessus de la végétation.

Oudin L., (2004).

### Méthodes combinatoires

Pour les approches combinatoires, les concepts de transfert de chaleur et de vapeur sont combinés sous une forme présentée pour une première fois par Penman (1948) pour l'évapotranspiration. Ces travaux sont aujourd'hui les plus utilisées. Elles ont permis de définir une formule d'ETP en combinant l'approche aérodynamique et une approche par le bilan d'énergie (d'où le nom d'approche combinatoire). Ce type d'approche est plus physique (Oudin et al, 2005) et demande plus de données d'entrées comme la radiation solaire, l'humidité relative ainsi que la vitesse du vent.

**I.5.3.1. La méthode de Penman (1948)**

Les formules de calcul de l'ETP à base physique dérivent généralement de l'équation de Penman (1948) ;

$$ETP = \frac{\Delta.R_n + \frac{\rho.C_p.\delta e}{r_a}}{\lambda(\Delta+\gamma)} \quad 3.I$$

Où :

*ETP* : L'évapotranspiration potentielle calculée, exprimée en *mm/j* ;

$\Delta$ : la pente de la courbe de pression de vapeur à la température moyenne de l'air (*kPa.K<sup>-1</sup>*) ;

$R_n$ : le rayonnement net (*W.m<sup>-2</sup>*) ;

$\rho$  : la masse volumique de l'air à pression constante (*kg.m<sup>-3</sup>*) ;

$C_p$ : la capacité thermique de l'air humide à pression constante (*J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>*) ;

$\delta e$  : la différence entre la pression de vapeur saturante  $e_s$  et la pression de vapeur effective  $e_e$  (*kPa*);

$r_a$ : la résistance aérodynamique (*s.m<sup>-1</sup>*) (traduit l'effet de la turbulence dans le processus d'évaporation);

$\lambda$ : la chaleur latente de vaporisation de l'eau (*J.kg<sup>-1</sup>*) ;

$\gamma$  : la constante psychométrique (*kPa.K<sup>-1</sup>*)

**La formule de Penman-Monteith (Monteith, 1965)**

La formule de PENMAN – MONTEITH est une combinaison du bilan énergétique et de la méthode de transfert de masse. Monteith (1965) a proposé donc une amélioration de la formule de Penman en y introduisant la notion de résistance de surface des végétaux :

$$ETP = \frac{\Delta.R_n + \frac{\rho.C_p.\delta e}{r_a}}{\lambda\left(\Delta+\gamma\left(1+\frac{r_s}{r_a}\right)\right)} \quad 4.I$$

Où :

$r_s$ : le nouveau terme introduit, s'exprime en *s/m*.  $r_s$  décrit la résistance opposée par les stomates au passage du flux de vapeur, sur l'ensemble de la surface foliaire.

La formule de Penman-Monteith est la méthode de calcul actuellement recommandée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), en utilisant des valeurs de paramètres préconisés par l'organisation (Allen et al 1998 in Vannier et Braud 2012), pour le calcul de l' $ET_0$  de référence. La FAO préconise également la prise en compte du flux de chaleur (*G*) dans le sol (s'exprimant en *W.m<sup>-2</sup>*), en l'introduisant de la manière suivante :

$$ETP = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \frac{\rho \cdot C_p \cdot \delta e}{r_a}}{\lambda \left( \Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right)} \quad 5.I$$

La résistance aérodynamique a pour formule :

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{Z_m - d}{Z_{0m}}\right) \cdot \ln\left(\frac{Z_h - d}{Z_{0h}}\right)}{k^2 u_z} \quad 6.I$$

$Z_m$  : la hauteur de la mesure du vent (m)

$Z_h$  : la hauteur la mesure de l'humidité (m)

$d$  : hauteur initiale de déplacement (m)

$Z_{0m}$  : hauteur initiale de transfert du vent (m)

$Z_{0h}$  : hauteur initiale de transfert de la chaleur et de la vapeur (m)

$k = 0,41$  : constante de Von Karman's

$u_z$  : la vitesse du vent à l'altitude  $z$  (m/s)

En considérant le vent, l'humidité et la vitesse du vent mesurés à 2 m par rapport au sol et une végétation de 0,12 m de hauteur, l'expression de ( $r_a$ ) se simplifie :

$$r_a = \frac{208}{v} \quad 7.I$$

$v$  : la vitesse du vent mesurée à 2m ( $m \cdot s^{-1}$ )

La résistance du couvert végétal a pour formule :

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{active}} \quad 8.I$$

$r_s$  : la résistance du couvert végétal ( $s \cdot m^{-1}$ )

$r_l$  : la résistance stomacale de la feuille bien illuminée ( $s \cdot m^{-1}$ )

$LAI_{active}$  : indice foliaire de la feuille.

### I.5.3.2. La formule de Priestley–Taylor (1972)

L'approche de Priestley et Taylor (1972) consiste à relier le terme aérodynamique dans la formulation de Penman à une fraction du terme énergétique. La formule est décrite en  $m \cdot j^{-1}$  par :

$$ETP = \alpha_{pt} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad 9.I$$

Où

$\alpha_{pt}$  : paramètre à calibrer selon les conditions locales. L'estimation initiale de  $\alpha_{pt} = 1,26$  est une valeur applicable pour les climats humides et que  $\alpha_{pt} = 1,74$  fournit de meilleurs résultats pour les climats arides (Shuttleworth, 1993 in : Kara, 2020).

Cette équation est beaucoup plus simple que la formule de Penman, et ne nécessite que deux variables météorologiques à mesurer. Elle ôte également la partie aérodynamique de la formule de Penman, qui semble être la plus critiquable.

Kara N, (2020). Estimation des besoins en eau des cultures maraîchages par deux Méthode (Penman Monteith par logiciel CROPWA T 8.0 et Turc) dans la wilaya de Biskra durant la période (1998-2018).

### **La formule de Kimberly-Penman (1982)**

L'équation de Kimberly-Penman (1982) a été adaptée par le Dr James L. Wright du Service de Recherche Agricole grâce à ses recherches effectuées à Kimberly, Idaho (Etats-Unis). Des relations fonctionnelles dépendant du temps ont été développées pour permettre une variation de la fonction de vent ( $W$ ) prenant en compte les variations saisonnières dans l'advection de chaleur. L'équation de Kimberly-Penman s'écrit en m.j-1 avec  $j$  le jour julien de l'année, en partant de  $j=1$  pour le premier janvier (Wright, 1982) :

$$ETP = \frac{\Delta R_n + \gamma(e_a - e_d)k(u)}{\lambda \rho_w (\Delta + \gamma)} \quad 10.I$$

$$k(u) = a_w + b_w u \quad 10I$$

$$a_w = 0,4 + 0,14 \exp\left(-\left(\frac{j-173}{58}\right)^2\right) \quad 11.I$$

$$b_w = 0,605 + 0,345 \exp\left(-\left(\frac{j-173}{58}\right)^2\right) \quad 12.I$$

$u$  : vitesse du vent en m s<sup>-1</sup> ;  $\rho_w$  : masse volumique de l'eau = 1000 kg m<sup>-3</sup>.

Wright, J. L (1982)

### **I.5.3.3. La formule de Thom et Oliver (1977)**

Dans le but de tenir en compte « le fait que la résistance aérodynamique de l'eau soit plus faible que celle de l'herbe et que la résistance de surface n'apparaît pas au dénominateur », ces auteurs ont proposé une formule très proche de celle de Penman-Monteith. L'équation reprend la fonction de vent de Penman, multipliée par un facteur de 2,5 pour tenir compte de la différence de rugosité entre l'eau et le gazon.

$$ETP = \frac{\Delta R_n + \gamma(e_a - e_d) \cdot k(u)}{\lambda \rho_w \left( \Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right)} \quad 13.I$$

Avec  $K(u)$  une fonction du vent :

$$K(u) = 215(1 + 0,69u) \quad 14.I$$

Thom, A. S., Oliver H. R., (1977).

### I.5.3. Les méthodes basées sur la température

Les méthodes à base de température sont largement utilisées du fait que cette variable est la plus facile à obtenir. Elles permettent de s'affranchir de la collecte d'informations climatiques supplémentaires (Ndiaye, 2017). La qualité des résultats obtenus par ces différentes méthodes varie en fonction des conditions climatiques et leur utilisation dans un contexte différent (climat, pas de temps) de celui pour lequel elles ont été développées est délicate. Les modèles d'ETP basés sur la température prennent généralement la forme :

Ndiaye P. M., Bodian A., L. Diop, Djaman K., (2017).

$$ETP = c \cdot T_a^\alpha \quad 15.I$$

Où :

$$ETP = c_1 \cdot D \cdot T_a \cdot (c_2 - c_3 \cdot RH) \quad 16.I$$

Où  $T_a$  est la température de l'air,  $D$  est la durée moyenne d'insolation,  $RH$  est l'humidité relative de l'air,  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  et  $\alpha$  sont des constantes.

#### I.5.4.1. La formule de Thornthwaite (1948 ; 1955)

La formule de Thornthwaite qui a été élaborée sur la base des expériences lysimétriques, réputée robuste et s'appliquant à un large domaine. L'estimation de l'évapotranspiration potentielle de Thornthwaite, valable pour le mois  $m$ , est donnée par la formule suivante en  $m \cdot j^{-1}$  :

$$ETP = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^\alpha \cdot f(\lambda) \quad 17.I$$

$ETP$  : Evapotranspiration potentielle en mm.

$t$  : température moyenne de la période considérée en  $^\circ$ .

$\alpha$  : indice lié à la température, calculé par la relation suivante :

$$\alpha = 67,7 \cdot (10^{-8} \cdot I^3) - 77,1 \cdot (10^{-6} \cdot I^2) + 0,0179 \cdot I - 0,492 \quad 18.I$$

$I$  : l'indice thermique annuel obtenu, en somment les 12 valeurs de  $\left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$

$t$  : la température moyenne mensuelle en  $^{\circ}$ .

L. SERA (1954) a proposé de la simplifier en  $a = 0,016I + 0,5$

Serra L (1954)

### **I.5.4.2. La formule de Blaney et Criddle (1950)**

En 1945, H. blanny et W. Criddle ont établi une formule pour le calcul de l'*ETP* :

$$ETP = K.F 19.I$$

*ETP* : L'évapotranspiration mensuelle en mm.

$K$  : Coefficient cultural qui vari de 0,50 à 1,20 pour différentes cultures et diverses zones climatiques.

$F$  : Force évaporante qui dépend de la température moyenne mensuelle et du rapport d'éclairement  $h/H$  exprimé en %.

Ensuite les recherches menées pour la F.A.O, ont permis de modifier cette formule, et la suggérer pour les zones aride et semi-aride. Cette formulation s'effectue en deux temps, le premier concerne uniquement le terme climatique de l'*ETP*, tandis que le second introduit les coefficients culturaux pour aboutir à l'*ETP* de cultures (Guidoum, 2004).

La formule de l'*ETP* climatique s'écrit de manière suivante :

$$ETP_{clim.} = aF + b 20.I$$

$F$  : La force évaporante de Blanny-Criddle, en mm/mois, qui s'obtient par la relation suivante :

$$F = p ( 0,46t + 8 ) 21.I$$

$p$  : Rapport de la durée d'éclairement mensuelle en %.

$t$  : Température moyenne mensuelle en  $^{\circ}$ .

$a$  et  $b$  : Coefficients de correction en fonction des trois paramètres climatiques : Humidité relative, vitesse de vent, et insolation effective moyenne (rapport des heures d'insolation et de la durée astronomique du jour), (Tableau I.1).

## CHAPITRE I ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

**Tableau I.1 : Les paramètres conditionnels des coefficients  $a$  et  $b$ , pour le calcul de l'ETP selon la formule de Blanny-Criddle, modifiée par l'AFO**

Insolation effective (%)	Vitesse de Vent (m/s)	Humidité relative (%)					
		Faible (< 20)		Moyenne (20÷ 52)		Elevée (> 52)	
		A	B	A	B	A	B
Elevée (< 80)	Faible (0÷2)	1.59	-2.02	1.45	-2.18	1.16	-1.96
	Moyenne (2÷5)	1.77	-1.84	1.59	-2.11	1.25	-1.88
	Elevée (5÷8)	2.00	-1.86	1.73	-2.04	1.36	-2.00
Moyenne (60 ÷ 80)	Faible (0÷2)	1.45	-2.00	1.30	-2.07	1.05	-1.84
	Moyenne (2÷5)	1.66	-1.98	1.45	-2.00	1.14	-1.84
	Elevée (5÷8)	2.05	-2.23	1.57	-1.98	1.21	-1.80
Faible (< 60)	Faible (0÷2)	1.25	-1.79	1.13	-1.71	0.89	-1.70
	Moyenne (2÷5)	1.45	-1.91	1.23	-1.75	0.96	-1.66
	Elevée (5÷8)	1.61	-1.88	1.36	-1.82	1.02	-1.59

Guidoum A (2004) .

### I.5.4.3. La méthode de Hamon (1961)

La méthode de Hamon (1961) permet l'estimation de l'ETP journalière (mm/j) par simple mesure de la température moyenne de l'air  $t$  en °C et  $N$  en  $h$  durée astronomique max du jour qui ne change pas d'une année à l'autre :

$$ETP = \frac{2,1N^2 \exp\left(\frac{17,23t}{237,3+t}\right)}{237,3+t} \quad 22.I$$

La méthode est appropriée au climat méditerranéen et au climat continental alors qu'elle donne des valeurs sous-estimées en climat tropical-aride et en climat ontarien. En climat tempéré, cette méthode est intéressante quand on ne dispose que de données de température, mais exige une modification (Ben Khouya, 2020).

### I.5.4.4. La méthode de Romanenko (1961)

La formule de Romanenko (Romanenko, 1961) est basée sur la température et l'humidité relative et valable au pas de temps mensuel, elle est exprimée en  $m/j$  par :

$$ETP = 4,5 \cdot \left(1 + \frac{T_a}{25}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{e_s}{e_a}\right) \quad 23.I$$

Avec :  $T_a$  en °C température moyenne de l'air,  $e_s$  en  $kPa$  pression de vapeur à la température  $T_a$  du point de rosée,  $e_a$  en  $KPa$  pression de vapeur effective.

Romanenko, V. (1961).

### **La méthode de Linacre (1977)**

La formule de Linacre (1977) est une simplification de l'équation de Penman. Valable pour le cas d'une culture bien irriguée ayant un albédo égal à 0,25 ; elle intègre de manière directe les données de latitude et d'altitude au sein de l'équation et s'exprime par :

$$ETP = \frac{\frac{500T_h}{(100-A)} + 15(T_a - T_d)}{1000(80 - T_a)} \quad 24.I$$

Où :

$A$  : la latitude en degrés,  $T_h$  : l'équivalent de la température mensuelle mesurée au niveau de la mer, soit :  $T_h = T_a + 0.006h$

$H$  : l'altitude en m.

Linacre, E. (1977).

### **I.5.4.5. La méthode dite ANRH (2002)**

La formule de l'ANRH (Agence National des Ressources Hydriques), permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle pour l'Algérie du nord à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante de la position géographique. Elle est développée en 2002 sous la direction du Professeur J.P. Laborde et elle s'écrit sous la forme suivante (Ladlani, 2007) :

$$ETP_{ANRH} = K_r \cdot K_m (H - 187)(0,032t + 0,077) \quad 25.I$$

Avec

$ETP$  : évapotranspiration potentielle (mm/mois).

$K_m$  : coefficient mensuel dont ses valeurs sont données à la figure I.3.

$K_r$  : coefficient régional qu'on peut lire sur le tableau I.2 et sur la figure I.4.

$t$  : température moyenne mensuelle pour le mois considéré (°C).

$H$  : durée théorique mensuelle d'insolation (heures/mois) et elle est exprimée en fonction de l'ordonnée ( $Y$ ) de Lambert selon la formule suivante :  $H_i = a_i Y + b_i$ .

$Y$  : l'ordonnée de Lambert de la zone ( $Km$ ).

$a_i, b_i$  sont donnés dans le tableau I.3.

## CHAPITRE I ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

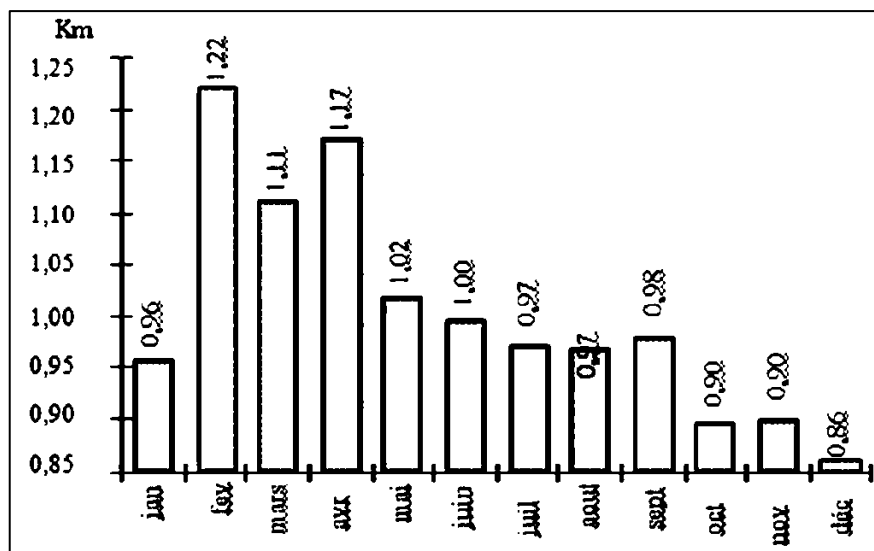


Figure I.3 : Evolution du coefficient correctif mensuel.

Tableau I.2 : Coefficient régional.

Station	Kr	Nom	Kr	N	Kr
Ain sefra	1.21	Dellysa	0.87	Mostaga	0.87
Annaba	0.91	Djelfa	1.10	Msila	1.12
Arzew	0.97	EL	1.15	Naam	1.11
Barika	1.24	Elbaya	1.23	O	0.99
Batna	1.12	Elmili	0.79	OumElbo	0.92
BBA	1.07	Ghazao	0.81	Saida	1.01
Bechar	1.32	Guelme	0.83	S	1.04
Bejaia	0.92	Jijelae	0.79	SidiBelA	0.94
Benisaf	0.88	Jijelpo	0.79	Skikd	0.86
Biskra	1.26	Ksarchel	1.09	SoukAh	0.99
Bou Saada	1.10	Maghn	0.93	Tebess	1
Bouira	1.04	Masca	0.95	Teness	0.95
Chlef	0.93	Mecher	1.14	Tairret	1.08
Constantine	0.91	Mede	1.05	Tizi	0.83
DarElbeida	0.89	Milian	0.97	Tlemcen	0.93

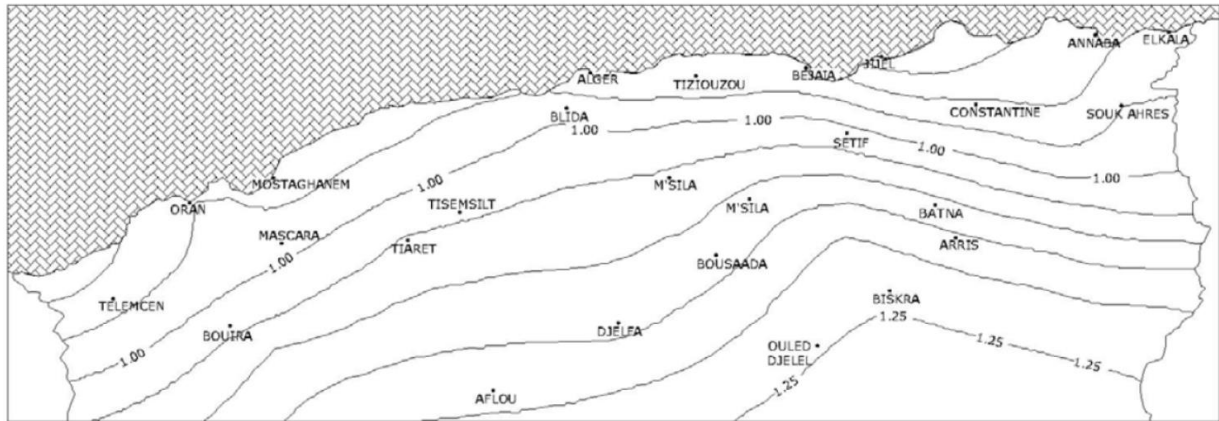


Figure I.4 : Carte des coefficients correctifs régionaux.

Tableau I.3 : Coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH.

Mois	1	2	3	4	5	6
Ai	-0.0218	-0.0110	-0.0012	0.0098	0.0201	0.0248
Bi	315	307	371	389	429	429
Mois	7	8	9	10	11	12
Ai	0.0230	0.0144	0.0031	-0.0081	-0.0185	-0.0246
Bi	436	414	370	351	311	308

Ladlani I., (2007).

#### I.5.4. Les méthodes basées sur le rayonnement

Les équations basées sur le rayonnement sont issues du bilan d'énergie. Le rayonnement est une des sources majeures de l'évapotranspiration. La plupart des équations prennent la forme (Xu et Singh, 2000) :

$$ETP = f(RH.U).w(T.h).R_g \quad 26.I$$

Ou

$$ETP = f(RH.U).w(T.h).R_n \quad 27.I$$

Où

$f$  : fonction de l'humidité relative et de la vitesse du vent

$w$  : fonction dépendant de la température et de l'altitude

$R_g$  : le rayonnement solaire global

$R_n$  : le rayonnement net

### I.5.5.1. La méthode de Makkink (1957)

Makkink (1957) a développé une formule pour les sols herbeux sous les conditions climatiques des Pays-Bas. Cette formule est assez proche de la formule de Penman, mais considère le terme aérodynamique comme une constante, ne dépendant ni de l'humidité de l'air, ni de la vitesse du vent. Elle permet de calculer l'ETP journalière ou mensuelle et suppose que la majeure partie de l'évapotranspiration est due au rayonnement solaire et à la différence de température entre la surface et l'air au-dessus de celle-ci. Elle s'exprime en  $m/j$  par :

$$ETP = \frac{1}{\lambda \rho_w} \left( \frac{0,63 R_g \Delta}{\Delta + \gamma} + 14 \right) \quad 28.I$$

L'application de la méthode en climat tempéré donne des résultats satisfaisants quand les paramètres d'entrée sont bien choisis. En climat méditerranéen, les résultats sont assez corrélés avec ceux de la méthode de Penman-Monteith. En climat aride, la performance de la méthode est assez faible (Ben Khouya, 2020). Makkink, G. (1957)..

### I.5.5.2. La formule de Turc (1955)

La méthode de Turc (1955) a été développée à partir de nombreuses mesures avec des cases lysimétriques en Europe, en Afrique du nord, en Asie et en Inde. Elle est bien adaptée aux climats tempérés (Oudin, 2004). L'ETP est estimée pour un mois de 30 jours, en  $mm.mois^{-1}$  de manière suivante :

- Si l'humidité relative ( $RH$ ) est supérieure ou égale 50%, l'ETP selon Turc s'exprime par la formule suivante :

$$ETP = 0,40 \cdot \frac{t}{t+15} \cdot (I_g + 50) \quad 29.I$$

$ETP$  : Evapotranspiration potentielle en  $mm/ mois$ .

$I_g$  : Moyenne mensuelle de la radiation solaire globale, exprimé en  $cal/cm^2/jours$ , qui s'exprime par la formule suivante :

$$I_g = I_{ga} \left( 0,18 + 0,62 \cdot \frac{h}{H} \right) \quad 30.I$$

$I_{ga}$  : Le rayonnement global à la limite de l'atmosphère pour le mois considéré, qui dépend de latitude ; Il est obtenu à partir de tables.

$h$  : Durée moyenne d'insolation en heures.

$H$  : Durée astronomique du jour en heures, elle dépend de la latitude, et s'obtient à partir de tables.

$t$  : Moyenne mensuelle de la température mesurée sous abri en  $^{\circ}C$ .

Si l'humidité relative ( $RH$ ) est inférieure à 50%, le résultat obtenu par la précédente formule doit être multiplié par le facteur correctif :

$$\left(1 + \frac{50 - RH}{70}\right) \cdot \left(1 + \frac{50 - RH}{70}\right) \quad 31.I$$

Oudin, L. 2004.

### I.5.5.3. La formule de Jensen-Haise (1963)

Cette formule a été conçue pour un pas de temps supérieur à cinq jours. Elle s'écrit en  $m/j$ , avec  $T_a$ , en °C température de l'air ;  $R_g$ , en  $Wm^{-2}$  :

$$ETP = \frac{R_g T_a}{\lambda \rho_w^{40}} \quad 32.I$$

La formule s'est avérée efficace en climat tempéré, mais ne donne pas des résultats satisfaisants en climat aride et surestime l'évapotranspiration en climat aride-tropical. Elle a été établie à partir de 35 années de mesures d'évapotranspiration en zones arides et semi-arides dans l'ouest des États-Unis. Jensen, M. E., & Haise, H. R. (1963).

### I.5.5.4. La formule de McGuinness et Bordne (1972)

Cette formule a été développée avec des données lysimétriques à Coshocton, dans l'Ohio, aux États-Unis et s'écrit, pour un pas de temps mensuel, en  $m/j$  :

$$ETP = \frac{R_g}{\lambda \rho_w} \cdot \frac{T_a + 5}{68} \quad 33.I$$

Cette formulation est proche de celle de Jensen et Haise (1963). Une translation de 5°C a été introduite au sein de la formule afin de mieux prendre en compte les températures négatives. En effet, dans la formule de Jensen et Haise, lorsque la température est inférieure à zéro, l'ETP est nécessairement nulle ce qui n'est plus toujours le cas avec la translation proposée par McGuinness et Bordne (Oudin, 2004).

### I.5.5.5. La méthode de Hargreaves (1975)

Cette méthode ne nécessite qu'une seule variable : la température de l'air. Cependant, il n'est pas recommandé d'utiliser cette méthode pour un pas de temps inférieur au mois (Shuttleworth, 1993). Elle est reformulée en 1985 par Hargreaves et Samani (1982) comme suit (Ben Khouya, 2020) :

$$ETP = 0,0023 \frac{R_a}{\lambda \rho} (T_{max} - T_{min})^{\frac{1}{2}} (T_a + 17,8) \quad 34.I$$

Avec :

$R_a$ : Représente l'équivalence de la radiation extraterrestre de l'eau ( $mm/j$ )

$T$  : température moyenne en ( $^{\circ}C$ ).

$T_{max}$  et  $T_{min}$  : les températures maximales et minimales enregistrées durant le mois considéré.  $(T_{max} - T_{min})$ : Statistiquement représente l'étendue de la série. 0.0023 : le coefficient empirique original proposé par Hargreaves et Samani (1985).  $1/\lambda$  facteur de transformation de  $m^2/j$  vers  $mm/j$ .

Shuttleworth (1993).

#### **I.5.5.6. La méthode de Doorenbos et Pruitt (1977)**

L'approche de Doorenbos et Pruitt (1977), est développée pour le compte de la *FAO*, afin de fournir une alternative à la formulation de Penman . C'est une adaptation de la méthode de Makkink (1957). Elle permet de calculer l'*ETP* journalier à partir du rayonnement et elle est donnée en  $m/j$  par :

$$ETP = -0,3 \cdot 10^{-3} + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_g}{\lambda \rho_w} \cdot (1 - \alpha) \cdot W \quad 35.I$$

Avec :

$$W = 1,066 - 0,13 \left( \frac{e_d}{e_a} \right) + 0,045 \cdot U - 0,02 \left( \frac{e_d}{e_a} \right) U - 3,15 \left( \frac{e_d}{e_a} \right)^2 - 0,0011 U^2 \quad 36.I$$

Doorenbos, J. ; Pruitt, W. O. (1977).

#### **I.5.5.7. La formule de Abtew (1996)**

Cette relation, développée par Abtew (Abtew, 1996) au sud de la Floride, est essentiellement basée sur le rayonnement solaire global et s'écrit en  $/j$  , avec  $(\alpha)$  albédo,  $(R_g)$  rayonnement global et  $(\rho_w)$  masse spécifique de l'eau. Néanmoins, elle néglige l'effet de l'humidité et la vitesse du vent. La formule a été validée à l'aide de mesures lysimétrique pendant deux ans. Elle est également moins subjective aux variations locales du rayonnement solaire (Abtew, 1996).

$$ETP = 0,53 \frac{R_g \cdot (1 - \alpha)}{\lambda \rho_w} \quad 37.I$$

Abtew, W. (1996).

### **I.5. Spatialisation des données locales d'évapotranspiration**

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle pour un site non pourvu de stations de mesures est nécessaire par le biais d'une cartographie. Lors de la transcription sous forme de carte de valeurs numériques, on passe de valeurs très précises, numériques, à des formes dessinées, c'est donc une simplification assez grande de l'information. Il est plus intéressant

## CHAPITRE I ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

de lire une carte ou une carte que dFe lire le tableau de données qui en est la source (Boudjerada, 2015).

La spatialisation des variables climatiques telles que l'évapotranspiration potentielle peut être réalisée en utilisant des méthodes de cartographie automatique qui reposent sur le principe d'interpolation spatiale. Ces s'appliquent typiquement aux mesures ponctuelles de variables climatiques, telles que la pluie ou la température de l'air. Parmi les techniques d'interpolation spatiale des données, on peut citer : les tendances, les fonctions Spline, les Polygones de Thiessen, Modèles d'interpolation basée sur des régressions multiples, Cartographie géostatique et les méthodes d'interpolation basées sur l'intelligence artificielle). Boudjerada I., (2015).



**CHAPITRE II**  
**PRÉSENTATION DE**  
**LA RÉGION D'ÉTUDE**

### II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous traiterons des généralités sur la zone d'étude, les caractéristiques les plus importantes, en terme de géographie, morphométrie et relief, lithologie et pédologie, hydrographie, occupation des sols et climat.

### II.2. Caractérisation physico-géographique et réseau hydrographique

#### II.2.1. Cadre géographique

La région d'étude concerne le nord-Est Algérien. C'est un quadrilatère qui s'étend de Bejaia jusqu'aux frontières algéro-tunisiennes, il se situe entre les parallèles  $36^{\circ} 54'$  et  $34^{\circ} 48'$  Nord latitudes et  $4^{\circ} 40'$  et  $8^{\circ} 27'$  Est longitudes. Elle est limitée, à l'Ouest par la vallée d'Oued El-Soummam et les monts des Bibans, à l'Est par la frontière algéro-tunisienne, au Sud par le piémont Sud de l'Atlas Saharien et enfin au Nord par la mer Méditerranée (TIR., 2009).

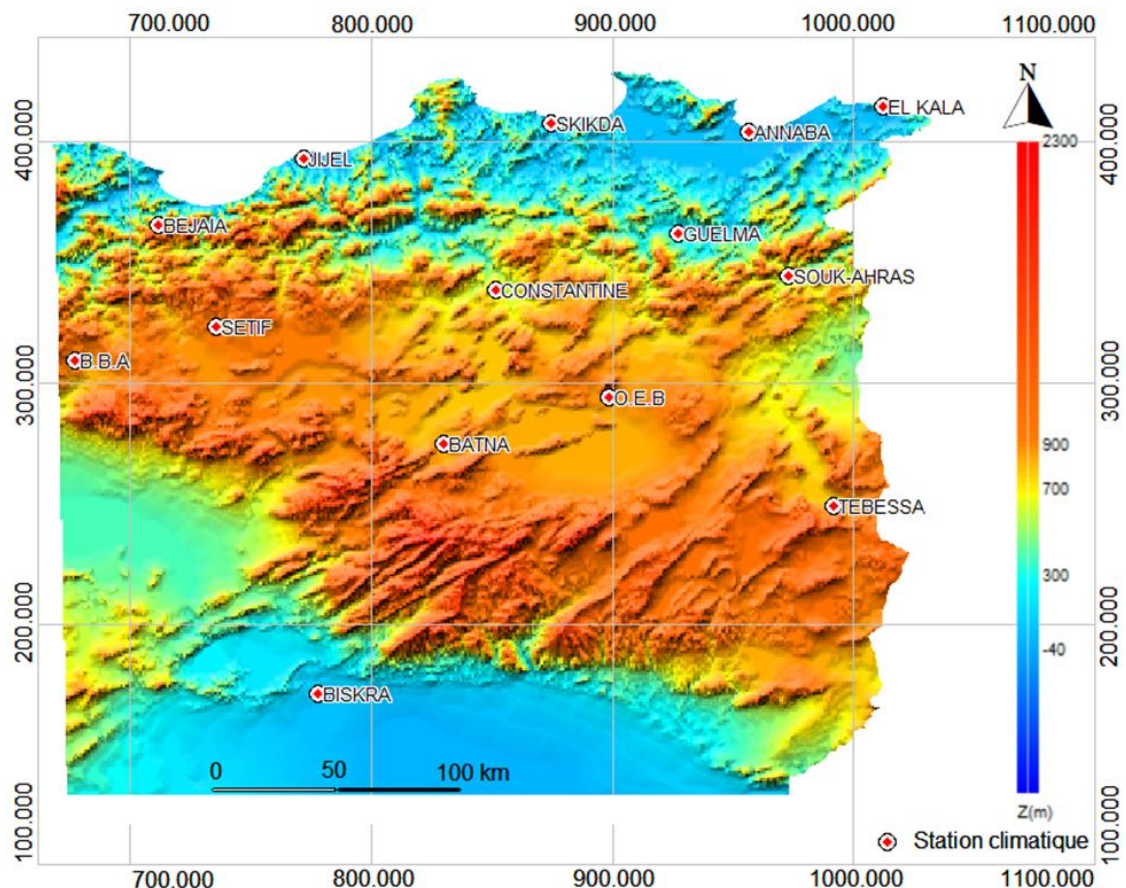


Figure II.1 : MNT et réseau climatologique.

### II.2.2. Orographie et caractéristiques morphométriques

L'organisation physico-géographique de la zone d'étude, depuis la basse plaine côtière du Tell jusqu'à la dépression du Sahara septentrionale, est très compliquée et se résume ainsi : du Sud au Nord et sur 250 km à vol d'oiseau, on passe d'un relief présaharien dénudé, fortement plat et au climat subaride à aride, à des massifs montagneux humides portant de forêts de chêne liège et surplombant sur plusieurs centaines de mètres, la mer Méditerranée. Ceci, en traversant le gros « bastion » montagneux relativement boisé de l'Aurès et Nememcha, la grande gouttière semi-aride des Hautes Plaines et les reliefs de basses montagnes subhumides du Tell (Mebarki, 2005).

Zn effet, notre région est composée de cinq grandes unités physiques disposées du Nord au Sud (TIR., 2009) :

**Les plaines littorales** : Une bande discontinue qui borde la mer méditerranéenne et fragmentée par quelques monts.

**L'Atlas Tellien** : Il se présente comme un bourrelet montagneux longeant et dominant la mer méditerranéenne depuis Bejaia jusqu'à la frontière tunisienne.

**Les bassins intérieurs** : Sont encastrés entre les monts de l'Atlas Tellien. Les plus importants sont ceux de Guelma, Mila et Soummam.

- Les hautes plaines : Elles se présentent comme un large boulevard tendu d'Ouest en Est à travers l'Algérie orientale, entre les deux alignements du Tell au Nord et les monts de Hodna-Aurès-pays Nememcha au Sud.

**L'Atlas Saharien** : il s'agit principalement des monts des Aurès qui se présentent comme une série de plis parallèles orientées S.O-N.E, et s'étendant sur une soixantaine de kilomètres, dont les principaux sommets culminent à plus de 2000m. A l'Est, les monts de Nememcha continuent l'Aurès par ses alignements S.O-N.E, caractérisés par leurs forts retombés Sud.

Les différents facteurs morphométriques et hydrographiques s'estiment généralement à partir des cartes topographiques à des échelles adéquates en utilisant des modèles numériques. Les principales caractéristiques géométriques et morphométriques de notre zone d'étude sont résumés au tableau II.1.

### II.2.3. Hydrographique et densité de drainage

Les bassins hydrographiques du Nord-Est algérien est plus développé au Nord qu'au Sud. Les oueds côtiers appartenant aux bassins versants septentrionaux (Mafragh, Kebir-Rhumel et Seybousse) sont de type exoréique. Ils naissent sur les hautes plaines et rejoignent la mer en traversant le tell par des gorges et ont un écoulement relativement abondant. Des plans d'eau libres caractérisent le bassin des Côtiers-Constantinois tels que les lacs Fetzara, Tonga et Ombeira. Le chevelu hydrographique est très ramifié et très dense au Sud, au Centre, à l'Ouest et moins dense à l'Est. L'oued Mellegue, ainsi que oued Medjerda, se jettent dans les bassins Tunisiens (Abdeddaim, benkhaled, 2016).

Le bassin endoréique des Hauts-Plateaux Constantinois est caractérisé par un réseau hydrographique ramifié de type dendritique, moins dense et à écoulement temporaire. Les principaux oueds de ce bassin (Chemora et Boulfreiss) se perdent dans les lacs salés des hautes plaines Constantinoises (Sebkhet Djendli, Garâet Ank-Djemel, Garâet Et-Tarf), (Abdessemed, 1981, in : Tir., 2009). La densité de drainage varie entre 1,28 km/km<sup>2</sup> sur la Seybousse moyenne et 0,1 km/km<sup>2</sup> sur le sous bassin de Chott Melrhir (tableau II.1).

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

**Tableau II.1 : Caractéristiques morphométriques et hydrographiques des unités hydrologiques**

N_BV	N_SBV	Oued	Surface	Périmètre	Long_chev	K	Lre	l_re	Dd	Hmin	Hmax	Hmoy
2	209	Cotiers Cap Sigli	888,96	179,4	936,91	1,68	78,35	11,35	1,05	0	1500	750
3	301	O. Djemaâ	378,62	97,63	416,27	1,4	39,14	9,67	1,1	0	1650	825
3	302	O. Agrioun	932,26	168,46	817,96	1,54	71,12	13,11	0,88	0	2000	1000
3	303	Cotiers Djidjelliens	561,84	152,86	539,03	1,81	68,19	8,24	0,96	0	1500	750
3	304	O. Djenndjene	525,7	166,12	596,16	2,03	76,16	6,9	1,13	0	1950	975
3	305	O. Nil	357,06	105,64	357,31	1,57	44,86	7,96	1	0	1550	775
3	306	C, Cap Bougaroun	493,06	145,04	396,38	1,83	64,93	7,59	0,8	0	1150	575
3	307	O. Guebli	988,48	175,8	878,18	1,57	74,66	13,24	0,89	0	1350	675
3	308	O. Bibi	202,29	96,43	192,26	1,9	43,57	4,64	0,95	0	650	325
3	309	O. Saf Saf	1169,43	192,06	1165,55	1,57	81,72	14,31	1	0	1200	600
3	310	Cotiers Cap Filfila	136,33	83,32	95,95	2	38,08	3,58	0,7	0	600	300
3	311	O. Kebir-Hammam	1128,76	179,69	1345,83	1,5	74,74	15,1	1,19	50	1200	625
3	312	O. Kebir-Magroun	719,04	153,78	904,89	1,61	65,99	10,9	1,26	0	1000	500
3	313	Lac Fetzara	507,12	123,45	408,98	1,53	51,97	9,76	0,81	25	1000	512,5
3	314	Cotiers Herbillon	204,75	175,18	250,48	3,43	85,19	2,4	1,22	0	1000	500
3	315	O. BouNamoussa	929,15	196,94	730,8	1,81	87,9	10,57	0,79	50	1400	725
3	316	Oued Kebir Est	1063,57	181,83	692,77	1,56	77,12	13,79	0,65	50	1200	625
3	317	O. Mafragh	803,23	164,15	463,5	1,62	70,72	11,36	0,58	0	700	350
3	318	Cotiers La Calle	419,47	126,61	219,12	1,73	55,79	7,52	0,52	0	550	275
3	319	O. Ed daba	20,83	19,05	14,45	1,17	6,12	3,4	0,69	150	550	350
5	509	O. K'sob	1471,2	205,63	1005,36	1,5	85,64	17,18	0,68	600	1850	1225
5	510	O. M'Sila	2157,52	250,13	1694,23	1,51	104,4	20,67	0,79	400	1850	1125
5	511	O. Soubella	1768,97	219,83	1659,68	1,46	90,33	19,58	0,94	0	1850	925
5	512	O. Barika Amont	889,77	180,05	665,02	1,69	78,72	11,3	0,75	750	2100	1425
5	513	O. Barika Aval	1007,05	161,12	1044,75	1,42	65,09	15,47	1,04	500	2100	1300
5	514	O. Berrich	504,4	173,35	450,71	2,16	80,4	6,27	0,89	475	2100	1288
5	515	O. Bitam-Barika	1403,02	244,37	1010,09	1,83	109,36	12,83	0,72	400	950	675
5	521	O. Chair Aval	877,75	163,73	539,18	1,55	69,18	12,69	0,61	600	1550	1075
5	522	O. M'Sif Amont	924,2	183,5	633,29	1,69	80,23	11,52	0,69	450	1450	950
5	523	O. M'Sif Aval	792,66	209,42	426,8	2,08	96,5	8,21	0,54	400	1400	900
5	524	Chott Hodna	1216,81	339,48	626,18	2,72	162,24	7,5	0,51	400	400	400
6	609	O. Djedi-Kebb	1458,83	255,71	691,53	1,87	115,19	12,66	0,47	100	450	275
6	610	O. Mlih-Ouzene	2422,76	262,81	1455,56	1,5	109,22	22,18	0,6	100	1300	700
6	611	O. Salsou-Abiod	2196,14	248,92	1387,17	1,49	103,17	21,29	0,63	200	1150	675
6	612	O. Biskra-Hai	2064,39	262,6	1611,25	1,62	113,04	18,26	0,78	200	2150	1175
6	613	O. Djemorah	699,4	192,98	599,3	2,04	88,6	7,89	0,86	200	2300	1250
6	614	O. Djedi-Biskra	1776,69	336,88	1228,94	2,24	157,13	11,31	0,69	0	1250	625
6	616	O. Biraz-Atrous	2264	240,03	1637,48	1,41	96,57	23,44	0,72	0	1900	950
6	615	O. El Abiod	1313,12	220,87	1324,71	1,71	96,88	13,55	1,01	200	2300	1250
6	617	O. Dermoun	785,04	156,76	635,02	1,57	66,59	11,79	0,81	200	2000	1100
6	618	O. El Arab	2098,06	264,16	1741,72	1,61	113,61	18,47	0,83	200	2300	1250
6	620	O. Derradj	1399,26	211,33	1330,64	1,58	90,14	15,52	0,95	200	1750	975
6	621	O. Djedida	1590,38	253,48	1402,83	1,78	112,62	14,12	0,88	200	1600	900
6	623	O. Cheria	1113,39	194,27	569,13	1,63	83,86	13,28	0,51	950	1700	1325

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

**Tableau II.2 Caractéristiques morphométriques et hydrographiques des unités hydrologiques (suite)**

N_B V	N_SB V	Oued	S(km <sup>2</sup> )	P(km)	L_chev	K	Lre	L_re	Dd	Hmi n	Hma x	Hmo y
6	624	O. Hallail	621,54	163,36	519,97	1,83	73,19	8,49	0,84	200	1350	775
6	625	O. Mechra	2390,74	284,31	1048,36	1,63	122,67	19,49	0,44	200	1650	925
6	626	O. Soukies	752,21	158,56	409,34	1,62	68,26	11,02	0,54	200	1350	775
6	627	O. Horchane	1032,36	174,22	746,94	1,52	72,96	14,15	0,72	200	1100	650
6	628	O. Oum-El-Ksob	2089,3	269,06	885,84	1,65	116,61	17,92	0,42	700	1700	1200
6	629	O. Ittel	6700,52	433,56	2552,01	1,48	179,44	37,34	0,38	0	500	250
6	630	Chott Melrhir	11268,4	582,64	1090,12	1,54	245,4	45,92	0,1	-40	850	405
7	701	Chott Beïda	1601,28	242,66	835,71	1,7	106,26	15,07	0,52	900	1700	1300
7	702	Merdja Zana	1033,26	170,13	571,4	1,48	70,38	14,68	0,55	825	1650	1238
7	703	Sebkhet ez zemoul	1553,52	255,13	1077,17	1,81	113,93	13,64	0,69	0	2050	1025
7	704	O. Chemorah	765,45	145,13	793,25	1,47	59,76	12,81	1,04	900	2300	1600
7	705	Garaet annk Djemal	1243,97	202,19	817,02	1,61	86,76	14,34	0,66	825	1650	1238
7	706	O. Boulefreis	954,05	161,03	806,98	1,46	66,08	14,44	0,85	850	2300	1575
7	707	Garaet et tarf	2428,99	258,93	1408,74	1,47	106,7	22,76	0,58	850	2150	1500
10	1001	O. Dehamcha	1053,16	169,14	879,14	1,46	69,39	15,18	0,83	300	1650	975
10	1002	O. Kebir-Endja	1115,01	175,34	970,95	1,47	72,23	15,44	0,87	150	1500	825
10	1003	O. Rhumel Amont	1216,66	162,52	925,16	1,3	61,47	19,79	0,76	700	1250	975
10	1004	O. Rhumel Seguin	1161,95	200,67	975,21	1,65	86,98	13,36	0,84	550	1400	975
10	1005	O. Merzoug	1867,52	216,98	1680,59	1,41	87,03	21,46	0,9	550	1600	1075
10	1006	O. Rhumel Smendou	1081,28	170,08	1044,94	1,45	69,48	15,56	0,97	200	1350	775
10	1007	O. Kebir-Maritime	1318,2	187,01	1278,78	1,44	76,21	17,3	0,97	0	1500	750
12	1201	O. Medjerdah	1524,72	266,01	708,73	1,91	120,33	12,67	0,46	250	1400	825
12	1202	O. Meskiana	1831,61	248,24	1338,34	1,62	107	17,12	0,73	700	1550	1125
12	1203	O. Chabro	1571,12	246,11	810,53	1,74	108,59	14,47	0,52	700	1600	1150
12	1204	O. Mellegue Amont	1488,21	235,02	737,75	1,71	103,07	14,44	0,5	500	1200	850
12	1205	O. Mellegue Aval	1395,91	266,88	766,86	2	122	11,44	0,55	450	1400	925
14	1401	O. Cherf Amont	1735,41	231,17	1453,46	1,55	97,85	17,74	0,84	750	1600	1175
14	1402	O. Cherf Aval	1197,75	199,65	1222,73	1,62	85,88	13,95	1,02	300	1400	850
14	1403	O. Bou Hamdane	1106,47	180,48	1052,77	1,52	75,61	14,63	0,95	300	1300	800
14	1404	O. Seybouse Moyenne	820,34	138,76	1046,04	1,36	54,26	15,12	1,28	100	1400	750
14	1405	O. Melah	553,24	149,7	430,55	1,78	66,53	8,32	0,78	100	1300	700
14	1406	O. Seybouse Maritime	1062,72	178,08	1076,67	1,53	74,84	14,2	1,01	0	1000	500
15	1506	O. Bou Sellam Amont	1776,84	219,57	1092,66	1,46	90,05	19,73	0,61	850	1750	1300
15	1507	O. Bou Sellam Moyen	1243,63	244,1	871,82	1,94	110,83	11,22	0,7	350	1700	1025
15	1508	O. El Main	931,33	164,82	637,72	1,51	68,89	13,52	0,68	350	1700	1025
15	1509	O. Bou Sellam Aval	361,28	94,03	192,4	1,39	37,34	9,68	0,53	200	1400	800
15	1510	O. Soummam Maritime	1068,12	183,71	983,37	1,57	78,2	13,66	0,92	0	1650	825

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

N\_BV : numéro du bassin versant ; N\_SBV : numéro du sous bassin ; S : superficie du bassin en km<sup>2</sup> ; P : périmètre en km ; L\_chev : longueur du chevelu hydrographique en km ; K : indice de compacité de Gravelius ; L\_re : longueur du rectangle équivalent en km ; l\_re : largeur du rectangle équivalent en km ; Dd : densité de drainage en km/km<sup>2</sup> ; Hmin : altitude minimale en m ; Hmax : altitude maximale ; Hmoy : altitude moyenne en m. Source : ANRH

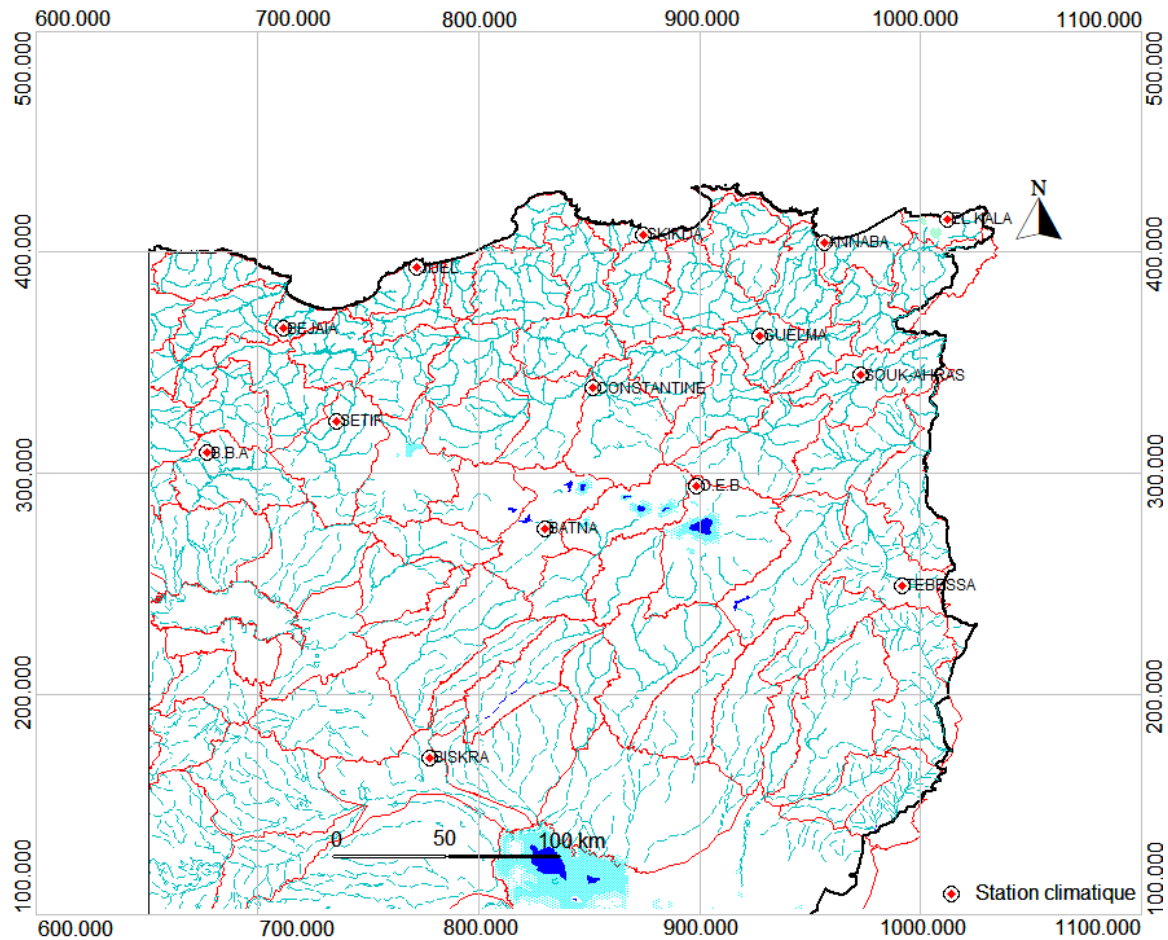


Figure II.2 : réseau hydrographique du Nord-est algérien.

### II.2.4. Aperçu géologique, lithologique et biogéographique

On peut distinguer du nord vers le sud, de nombreuses unités structurales subdivisées en trois grandes familles.

#### - **Domaine interne :**

Il est représenté par un chapelet de massifs côtiers, et comprend le socle kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire, la dorsale kabyle caractérisée par une sédimentation carbonatée, elle affleure au sud de Annaba d'où on peut la suivre d'une manière continue jusqu'au nord de Constantine (Mebarki, 2005 in : Guidoum 2017).

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

---

### - **Le Domaine des flyschs allochtones :**

Ce domaine est composé de deux unités différentes, qui sont disposées durant le Crétacé et le Paléocène : Les nappes mauritanienne et massylienne (séries du Crétacé inférieur), formées typiquement de flyschs grésopélitique et la nappe numidienne (séries gréseuses de l'Oligocène) Ces sédiments postérieurs à la tectonique finiéocène forment un étage supérieur nettement moins tectonisé (Bouabid, 2013).

### - **Le Domaine externe ou nappes telliennes :**

Ce domaine externe est représenté par les séries suivantes : Les unités ultra-telliennes (formations bathyales du Crétacé et de l'Éocène et une série plus détritique au Sénonien et à l'Éocène), les unités telliennes sensu stricto (formations qui se caractérisent par un Crétacé inférieur riche en sédiments terrigènes) et les unités péni-telliennes (séries à faciès néritique disposées au Crétacé supérieur et à l'Eocène), (Benabbas, 2006 in : Bouedja, 2010).

### - **L'avant-pays allochtones :**

Il s'agit de vastes panneaux carbonatés épais, de nature et de comportement tectonique variables, allant du Trias supérieur au Crétacé et à l'Eocène (Vila, 1980), il s'agit des unités Sud-sétifiennes, de l'unité néritique constantinoise et des unités de Sellaoua.

### - **Les formations autochtones et parautochtones :**

Il s'agit de séries à dominance carbonatés, localisés au niveau de l'Atlas Tunisien et de l'Atlas Saharien, elles ont conservées une structure plissé héritée de la tectonique fini-éocène. A leur bordure septentrionale, affleurent des séries définies comme formations parautochtones plus au moins enracinées (Mebarki, 2005).

Du Nord au Sud, on distingue les formations lithologiques suivantes :

- Des sols tendres (marneux, argileux et schisteux) et des terrains sédimentaires empilés sur des grandes épaisseurs au cours des ères secondaires et tertiaires. Ces formations prédominent Les monts de la petite Kabylie et de la chaîne Numidique.
- Des sols calcaires avec quelques sols marneux sur les parties élevées et sur les flancs Nord, caractérisent les Babors.  
Des argiles, des grès et une série de dépôts de marnes schisteuses prédominent les massifs de Tamzghida, Taza et Guerrouche à l'Est.
- Des affleurements de formations cristallophylliennes essentiellement constituée de gneiss caractérisent le Djebel Edough.
- le substrat géologique constitué par une épaisse formation marneuse daté de l'ère secondaire prédomine le Djebel Chettabah appartenant au système montagneux Sétif-Constantine.

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

- une vieille chaîne de grès crétacé et aplatie, qui présente de puissantes assises de grès à la base et du calcaire marneux sur les crêtes affleure à l'Ouest les monts de Sétif.
- Une succession d'alluvions récentes et anciennes et parfois d'éboulis à blocs des terrains miocènes de nature marneuse et argileuse caractérise les Djebels Tafat, Anini et Maghress.
- Des sols essentiellement marneux et dolomitiques, caractérisent les hautes plaines Sétifiennes qui sont argileuses au Nord et calcaires au Sud.
- Des sols essentiellement marneux et dolomitiques du crétacé inférieur caractérisent le massif de Boutaleb.
- Enfin, un substrat de grès et de calcaire du crétacé prédominent les Aurès (Abdessamed, 1981 in : Tir., 2009).

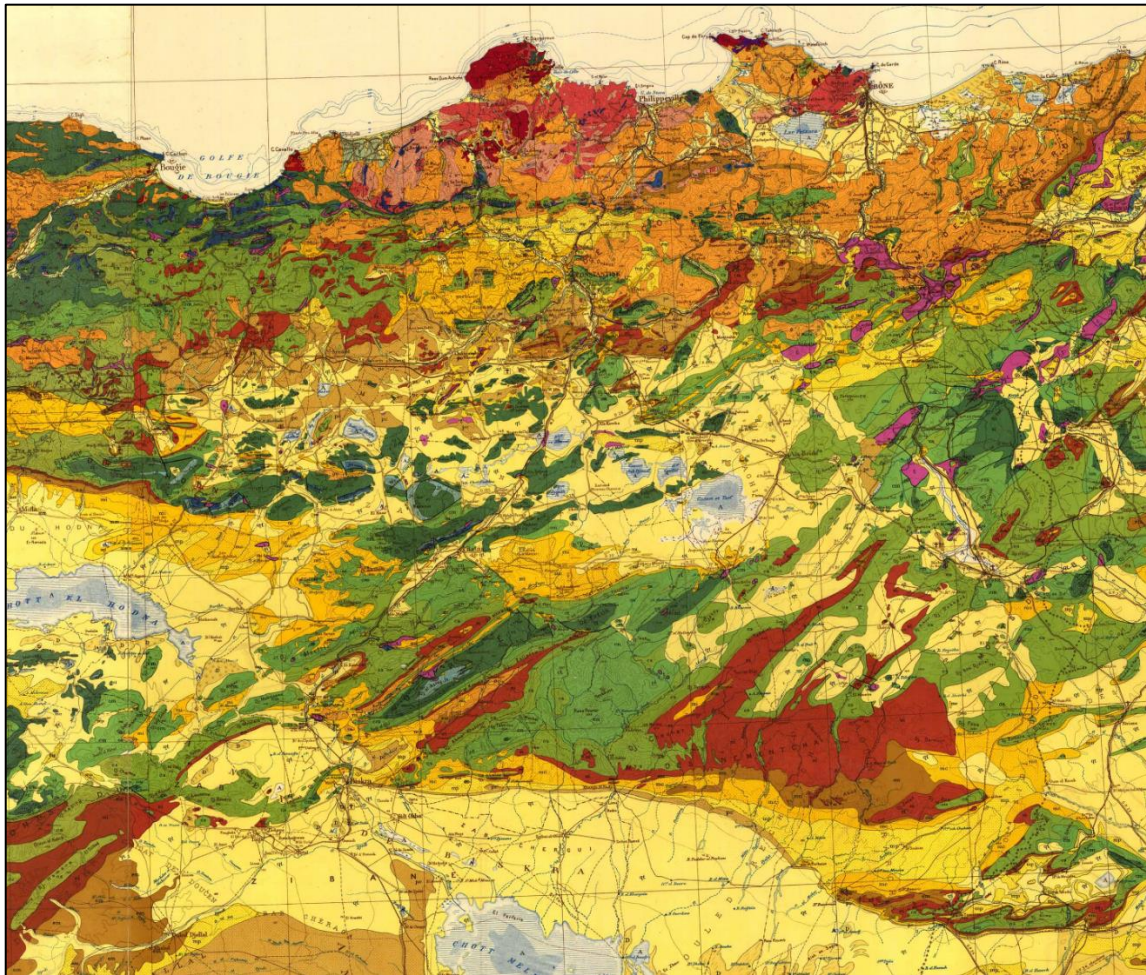
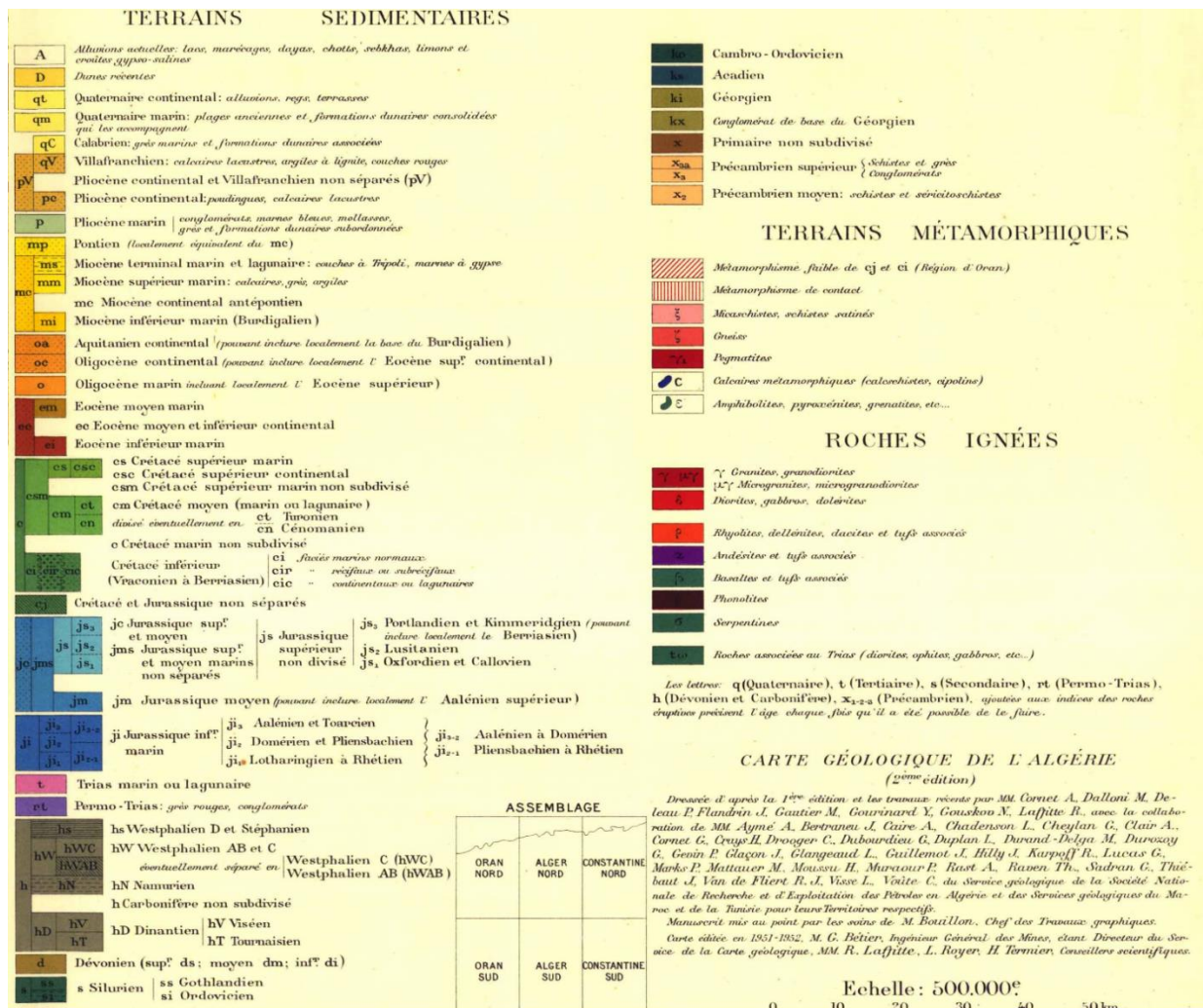


Figure II.3 : Extrait de la carte géologique de l'est algérien au 1/500000.

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LARÉGION D'ÉTUDE

(Carte dressée d'après la 1<sup>ère</sup>. édit. 1933 à 1940 et les travaux récents par M.M. Cornet A. [and 39 others] ; et éditée par M. G. Bétier (1951-1952).



**Figure II.4 : Extrait de la carte géologique de l'est algérien au 1/500000 (Légende).**

(Carte dressée d'après la 1<sup>ère</sup>. édit. 1933 à 1940 et les travaux récents par M.M. Cornet A. [and 39 others] ; et éditée par M. G. Bétier (1951-1952).

La couverture végétale est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du sol.

La répartition géographique de la couverture forestière du nord-Est algérien fait ressortir des nuances régionales importantes. La Forêt reste étroitement liée aux conditions orographiques et climatiques, en particulier. Avec sa faible extension en termes de surfaces et sa discontinuité, le couvert forestier s'étend depuis les forêts des montagnes méditerranéennes surplombant la mer méditerranéenne jusqu'aux forêts des hautes montagnes des Aurès (Figure II.5).

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

La végétation steppique occupe les hautes plaines constantinoises, et est plus développée encore dans la région de Nememcha. La steppe d'Alfa domine également, le revers méridional de l'Atlas Tellien dans le nord, et se partage avec l'espace cultivé (Ghachi 1986). La céréaliculture est la principale spéculation effectuée dans les hautes plaines à climat semi-aride à hiver frais. Dans les plaines intra-montagneuses de Nememcha, la céréaliculture est développée en associations avec les parcours. Le domaine de cultures méditerranéennes et de l'arboriculture de montagne caractérise les zones bioclimatiques humides et subhumides. L'étroite bande littorale constituée des plaines de Jijel, de Skikda et d'Annaba La plaine d'Annaba, est une région agricole des plus riches couvertures de verges, d'orangerie, d'olivier, et de cultures de transformation (Mebarki, 2005). Dans la région montagneuse des Aurès, les terrains occupés par les arbres fruitiers et les cultures intensives sont répartis en petites surfaces. Les palmeraies occupent le piémont sud et les vallées de l'Aurès.

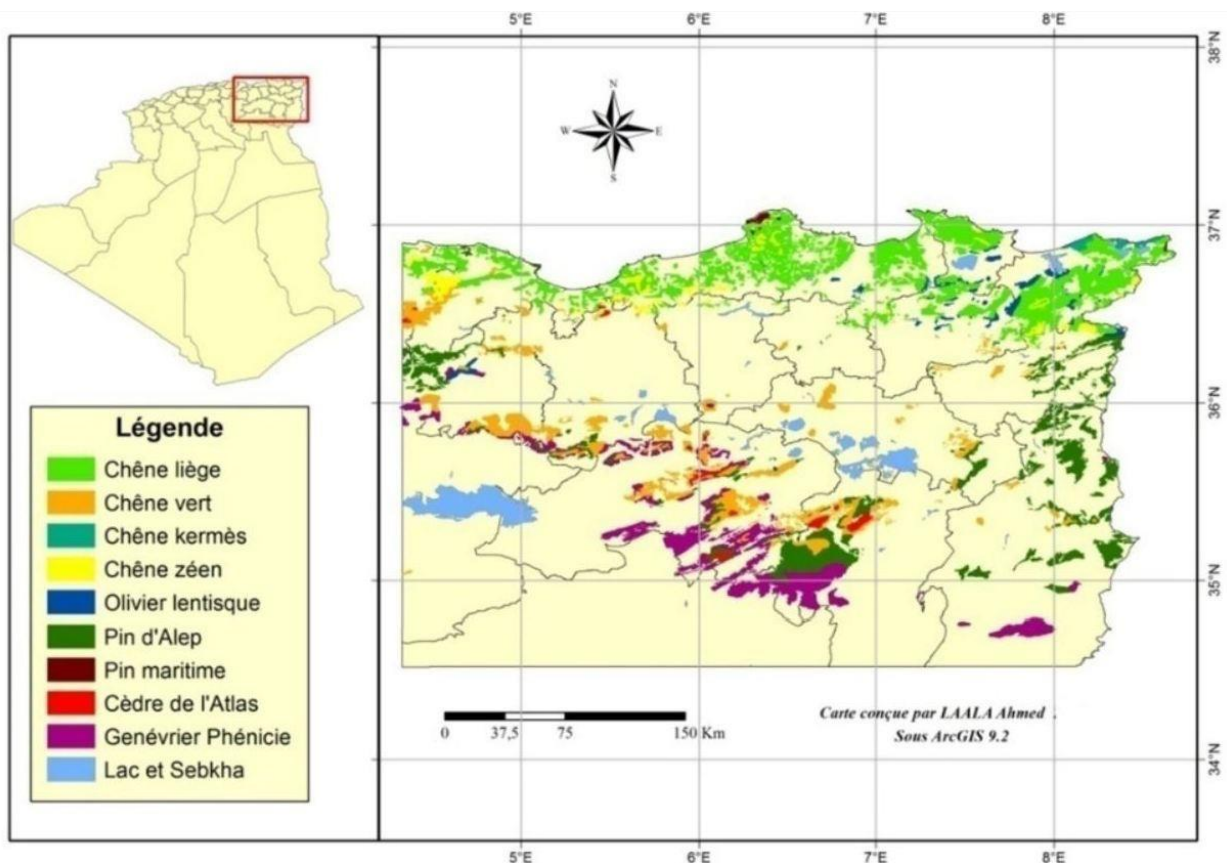


Figure II.5 : Principaux écosystèmes forestiers de l'Est algérien (Laala et al, 2016).

### II.2.5. Caractérisation climatique

À travers l'Est algérien » règne le rythme climatique à dominance « méditerranéenne. La saison froide et humide s'oppose à la saison chaude et sèche. Soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, ce climat est marqué par des oscillations saisonnières avec une longue période de sécheresse estivale (3 à 4 mois sur le littoral, 5 à 6 mois aux niveaux des Hautes Plaines, et supérieurs à 6 mois au niveau des versant sud l'Atlas saharien). La carte au 1/ 1000 000 de Côte M. (1998) explique ce dispositif climatique (figure II.6).

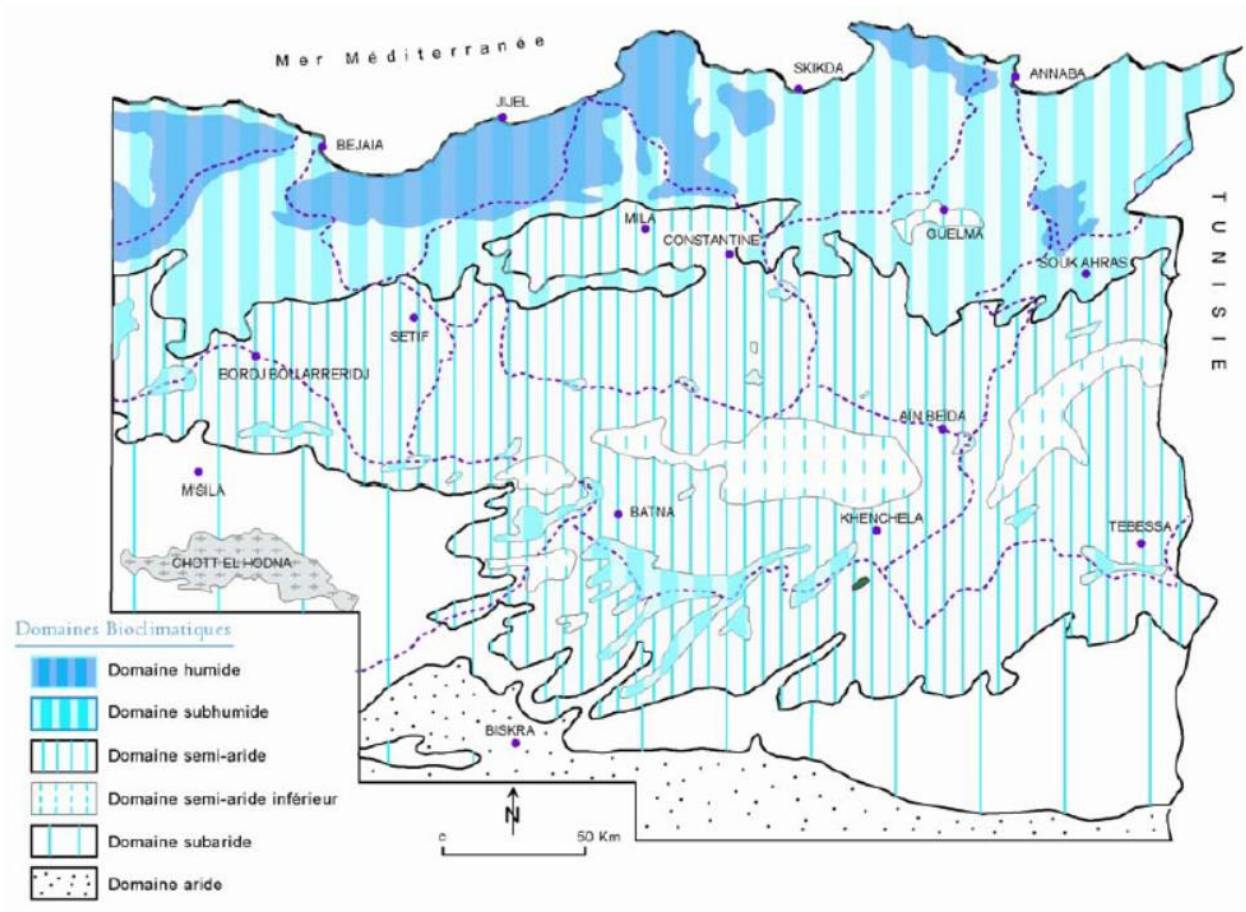


Figure II.6 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (d'après Côte M., 1998 in : Mebarki, 2005).

La localisation et les caractéristiques des 14 stations climatiques retenues dans notre étude sont présentées dans le tableau II.3.

Les séries d'observations (températures, précipitations, humidité, durée d'insolation, etc.) sont également présentées ci-dessous (tableaux II.4, II.5, II.6, , II.7...). Ces données ont été collectées auprès de l'office national de la météorologie (O.N.M) et à partir de documents divers notamment Mebarki (2005), Tir (2009) Ladlani (2007), Oulhaci (2016), Guidoum (2017). Ces données concernent 14 stations climatologiques représentatives du régime

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

climatique de l'Est algérien pour une période d'étude (1992-2002) pour l'évaporation et (1978-2004) pour les autres paramètres climatiques.

**Tableau II.3 : Présentation des stations climatiques retenue dans l'étude (O.N.M).**

Stations	Latitude (Nord)	Longitude (Est)	Altitude (en mètre)
EL KALA	36° 54	08° 27	15
ANNABA	36° 50	07° 49	3
SKIKDA	36° 54	06° 54	1,3
JIJEL	36° 48	05° 45	2
BEJAIA	36° 34	05° 04	1,76
GUELMA	36° 28	07° 28	227
SOUK-AHRAS	36° 17	07° 58	680
B.B.A	36° 04	04° 40	929
SETIF	36° 11	05° 19	1009
CONSTANTINE	36° 17	06° 37	660
O.E.B	35° 52	07° 07	888,76
BATNA	35° 43	06° 21	827
TEBESSA	35° 25	08° 07	820,47
BISKRA	34° 48	05° 44	86

### II.2.5.1. Température

La température de l'air est un paramètre important qui régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration. Le taux d'évaporation est une fonction croissante de la température de l'eau. La variation de ce paramètre a été reportée dans le tableau II.4.

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

Tableau II.4 : Moyenne mensuelle de la température .Période (1978-2004).

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Bejaia	11,31	11,69	13,28	14,84	17,98	21,77	24,61	25,47	23,09	19,76	15,31	12,29	17,62
Jijel	12,5	12,75	14,12	15,59	18,58	22,26	25,12	25,94	24,03	20,81	16,61	13,71	18,50
Skikda	12,14	12,48	13,89	15,46	18,39	21,97	24,7	25,69	23,54	20,99	16,23	13,5	18,25
Annaba	11,16	11,56	13,16	14,94	18,3	22,08	24,78	25,74	23,43	19,98	15,43	12,55	17,76
El-Kala	12,37	12,74	14,03	15,71	18,68	22,39	25,49	26,22	24,08	20,71	16,64	13,47	18,54
Sétif	5,06	6,46	8,77	11,26	16,24	22,24	25,83	25,45	20,47	15,4	9,56	6,03	14,40
B.B. Arreridj	5,71	7,23	9,60	12,24	17,06	23,49	26,71	26,26	21,19	16,01	10,2	6,72	15,20
Constantine	6,61	7,72	9,88	12,26	16,98	22,24	25,28	25,6	21,31	16,81	11,23	7,76	15,31
Guelma	9,72	10,29	12,15	14,35	18,66	23,5	26,71	27,37	23,75	19,57	14,32	10,96	17,61
Souk-Ahras	7, 2	8,09	10,07	12,33	16,93	21,95	25,37	25,64	21,63	17,27	11,79	8,49	16,32
Batna	5,34	6,67	9,32	12,26	17,38	22,91	26,03	25,69	21,1	15,89	10,15	6,57	14,94
El Bouaghi	6,16	7,46	9,96	13,01	17,81	22,54	26,39	25,84	21,35	16,91	10,69	7,33	15,45
Tébessa	6,68	8,06	10,56	13,58	18,73	23,49	26,84	26,29	21,73	17,27	11,5	7,91	16,05
Biskra	11,66	13,77	16,99	20,39	24,74	31	33,93	33,63	28,82	22,78	16,62	12,57	22,24

Le tableau (II.4) montre que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au mois de janvier au niveau de toutes les stations. La moyenne mensuelle au niveau des stations côtières et à la station de Biskra présentent oscille entre 11,16 et 12,5°C, alors qu'au niveau des autres stations, enregistrent des minimas variants entre 5 et 9,7°C. Les maximas ont eu lieu en juillet-aout et varient entre 24,61 à Bejaia et 33,63°C à Biskra en juillet. Les températures moyennes annuelles sont moyennement contrastées dans l'espace, elles sont entre 14,94 à Batna et 22.24°C à Biskra.

### II.2.5.2. Précipitations

Les précipitations annuelles sont très variables avec de fortes amplitudes d'une année sur l'autre. Le coefficient de variation ( $CV = \delta/M$  ;  $\delta$  : écart-type en mm ;  $M$  : pluviométrie moyenne en mm) est très efficace pour la mesure du degré de la dispersion relative des valeurs particulières autour de la moyenne. Aussi, Il se révèle le plus satisfaisant des mesures de dispersion utilisables dans l'étude comparée de la variabilité des précipitations en plusieurs stations. Les coefficients de variations annuelles des 14 stations oscillent entre 0,21 et 0,44 (tableau II.5).

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

---

D'une manière générale on constate un regroupement de stations en fonction du domaine climatique. En général, la plupart des précipitations tombent entre les mois d'octobre et d'avril, comme dans tout le nord de l'Algérie mais d'importantes variations ont été observées, non seulement dans la hauteur moyenne mensuelle, mais également dans la période durant laquelle elles se produisent. En effet, les coefficients les plus élevés sont ceux des mois d'été. Sur le plan spatial, les hauteurs moyennes mensuelles enregistrées dans les stations étudiées, montrent clairement la variabilité spatiale des précipitations, qui est relativement plus accentuée en allant vers le sud. En général, cette variation est à peu près la même pour les stations du littoral et les stations situées sur le revers septentrional l'Atlas tellien et affiche globalement le même profil : une augmentation rapide de la pluviosité à partir d'octobre jusqu'en décembre, parfois jusqu'en janvier ; Puis, s'amorce une décroissance assez singulière de la pluie jusqu'en juillet.

Les hauts plateaux, l'Aurès et la zone présaharienne sont marqués par une succession de mois humides et de mois secs avec une relative concentration des précipitations au cours des périodes printanières et automnales. Ceci reste très nuancé selon le mois et la réalité géographique des différents secteurs étudiés.

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LARÉGION D'ÉTUDE

**Tableau II.5 : Moyenne, écart-type, et coefficient de variation des séries Pluviométriques (1978-2004).**

		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Jijel	<b>M</b>	<b>125,5</b>	<b>98,17</b>	<b>80,97</b>	<b>72,97</b>	<b>45,67</b>	<b>11,66</b>	<b>7,98</b>	<b>9,72</b>	<b>48,24</b>	<b>74,51</b>	<b>137,6</b>	<b>165</b>	<b>878</b>
	S	77,64	63,12	59,7	42,71	31,05	13,27	30,48	14,79	41,58	60,02	68,66	118,6	225,1
	C.V	0,619	0,643	0,737	0,585	0,68	1,138	3,82	1,522	0,862	0,806	0,499	0,719	0,256
Bejaïa	<b>M</b>	<b>106,9</b>	<b>85,11</b>	<b>77,77</b>	<b>69,1</b>	<b>41,58</b>	<b>12,39</b>	<b>6,31</b>	<b>10,23</b>	<b>44,06</b>	<b>71,02</b>	<b>96,22</b>	<b>135</b>	<b>755,7</b>
	S	78,43	50,88	57,48	46,87	33,2	13,83	20,63	12,52	34,19	62,48	55,73	108,3	210,3
	C.V	0,734	0,598	0,739	0,678	0,799	1,117	3,269	1,224	0,776	0,88	0,579	0,802	0,278
Skikda	<b>M</b>	<b>113,9</b>	<b>92,95</b>	<b>68,47</b>	<b>67,97</b>	<b>36,13</b>	<b>12,42</b>	<b>2,89</b>	<b>8,59</b>	<b>42,74</b>	<b>67,74</b>	<b>106,9</b>	<b>138</b>	<b>758,7</b>
	S	59,14	57,93	40,04	47,43	32,91	11,43	5,353	12,56	28,44	44,01	72,89	87,7	162,2
	C.V	0,519	0,623	0,585	0,698	0,911	0,92	1,852	1,462	0,665	0,65	0,682	0,636	0,214
Annaba	<b>M</b>	<b>106,7</b>	<b>76,15</b>	<b>62,63</b>	<b>60,88</b>	<b>38,14</b>	<b>13,42</b>	<b>2,7</b>	<b>9,1</b>	<b>37,52</b>	<b>63,72</b>	<b>96,34</b>	<b>116</b>	<b>683,3</b>
	S	67,27	46,56	31,97	37,11	26,75	11,61	4,197	13,79	28,82	56,62	60,59	69,23	173,5
	C.V	0,63	0,611	0,51	0,61	0,701	0,865	1,554	1,515	0,768	0,889	0,629	0,597	0,254
El-Kala	<b>M</b>	<b>98,51</b>	<b>71,33</b>	<b>60,66</b>	<b>66,66</b>	<b>32,3</b>	<b>8,95</b>	<b>1,95</b>	<b>5,95</b>	<b>51,32</b>	<b>73,02</b>	<b>121,1</b>	<b>108</b>	<b>699,8</b>
	S	51,49	49,49	33,67	35,84	26,93	11,09	3,73	13,45	34,43	46,77	58,49	64,97	172,1
	C.V	0,523	0,694	0,555	0,538	0,834	1,239	1,913	2,261	0,671	0,64	0,483	0,602	0,246
Constantine	<b>M</b>	<b>73,61</b>	<b>58,03</b>	<b>55,54</b>	<b>56,6</b>	<b>41,62</b>	<b>18,86</b>	<b>6,36</b>	<b>10,19</b>	<b>36,1</b>	<b>39,1</b>	<b>57,01</b>	<b>84,8</b>	<b>537,8</b>
	S	53,12	43,11	32,26	40,62	26,99	16,49	8,472	7,594	25,14	26,17	42,44	71,81	137,5
	C.V	0,722	0,743	0,581	0,718	0,648	0,875	1,332	0,745	0,696	0,669	0,745	0,847	0,256
Guelma	<b>M</b>	<b>82,77</b>	<b>63,43</b>	<b>55,2</b>	<b>63,81</b>	<b>48,51</b>	<b>16,09</b>	<b>3,12</b>	<b>10,76</b>	<b>34,03</b>	<b>43,69</b>	<b>75,39</b>	<b>104</b>	<b>600,8</b>
	S	56,74	49,92	35,73	55,15	36,32	20,4	4,152	14,85	30,02	35,05	60,29	74,44	173,5
	C.V	0,686	0,787	0,647	0,864	0,749	1,268	1,331	1,38	0,882	0,802	0,8	0,716	0,289
Souk-Ahras	<b>M</b>	<b>94,78</b>	<b>72,94</b>	<b>68,72</b>	<b>68,87</b>	<b>49,87</b>	<b>38,72</b>	<b>33,79</b>	<b>38,25</b>	<b>44,26</b>	<b>40,1</b>	<b>66,43</b>	<b>94,2</b>	<b>710,9</b>
	S	66,77	57,46	40,8	51,04	42,91	38,52	39,51	38,49	36,68	22,78	50,72	74,15	227
	C.V	0,704	0,788	0,594	0,741	0,861	0,995	1,169	1,006	0,829	0,568	0,763	0,787	0,319
Sétif	<b>M</b>	<b>40,99</b>	<b>32,21</b>	<b>32,4</b>	<b>40,19</b>	<b>42,61</b>	<b>19,41</b>	<b>9,85</b>	<b>14,11</b>	<b>37,61</b>	<b>34,19</b>	<b>34,82</b>	<b>73,2</b>	<b>411,6</b>
	S	32,05	24,97	20,08	21,25	29,59	18,74	13,22	11,7	29,72	23,79	25,77	33,04	92,74
	C.V	0,782	0,775	0,62	0,529	0,694	0,965	1,342	0,829	0,79	0,696	0,74	0,451	0,225
B.B.A	<b>M</b>	<b>37,7</b>	<b>26,23</b>	<b>30,23</b>	<b>37,8</b>	<b>37,05</b>	<b>16,84</b>	<b>7,02</b>	<b>14,07</b>	<b>41,57</b>	<b>30,19</b>	<b>29,85</b>	<b>37,9</b>	<b>346,5</b>
	S	32,67	17,45	24,18	23,62	29,35	15,07	10,58	12,68	34,4	23,5	21,06	27,29	93,37
	C.V	0,866	0,665	0,8	0,625	0,792	0,895	1,508	0,901	0,827	0,779	0,706	0,72	0,269
Batna	<b>M</b>	<b>28,34</b>	<b>25,31</b>	<b>34,18</b>	<b>31,47</b>	<b>35,77</b>	<b>18,14</b>	<b>8,13</b>	<b>18,7</b>	<b>37,99</b>	<b>27,38</b>	<b>29,41</b>	<b>33,8</b>	<b>328,6</b>
	S	26,08	21,61	25,04	22,7	33,83	18,37	18,25	23,92	21,75	22,22	27,82	26,12	109,3
	C.V	0,92	0,854	0,733	0,721	0,946	1,013	2,244	1,279	0,572	0,812	0,946	0,773	0,333
O.E.B	<b>M</b>	<b>34,64</b>	<b>26,74</b>	<b>30,22</b>	<b>33,09</b>	<b>43,15</b>	<b>23,48</b>	<b>9,61</b>	<b>22,41</b>	<b>33,55</b>	<b>22,39</b>	<b>37,16</b>	<b>40,6</b>	<b>357</b>
	S	31,1	25,59	21,95	24,1	29,96	22,59	11,52	22,56	28,49	15,55	32,42	42,03	116,3
	C.V	0,898	0,957	0,726	0,728	0,694	0,962	1,199	1,007	0,849	0,695	0,872	1,035	0,326
Tébessa	<b>M</b>	<b>27,26</b>	<b>23,75</b>	<b>37,21</b>	<b>30,16</b>	<b>39,37</b>	<b>26,93</b>	<b>14,45</b>	<b>29,21</b>	<b>44,2</b>	<b>30,37</b>	<b>35,74</b>	<b>31,9</b>	<b>370,6</b>
	S	22,64	22,38	25,21	23,51	22,94	25,19	17,88	33,24	34,34	20,16	29,68	18,86	106,8
	C.V	0,831	0,942	0,677	0,779	0,583	0,935	1,238	1,138	0,777	0,664	0,83	0,591	0,288
Biskra	<b>M</b>	<b>16,17</b>	<b>9,18</b>	<b>14,13</b>	<b>13,49</b>	<b>9,9</b>	<b>4,93</b>	<b>0,46</b>	<b>6,37</b>	<b>12,7</b>	<b>12,04</b>	<b>19,81</b>	<b>9,56</b>	<b>128,7</b>
	S	22,57	13,28	20,04	20,55	13,89	6,46	0,985	9,618	19,59	15,65	23,07	10,17	57,35
	C.V	1,396	1,45	1,418	1,523	1,4	1,31	2,15	1,51	1,543	1,3	1,16	1,06	0,446

**II.2.5.3. Autres facteurs climatiques**

En plus de la pluie et de la température, les facteurs climatiques intervenant dans le processus d'évaporation sont : l'insolation, la vitesse du vent, l'humidité,... Les données d'observation de ces paramètres climatiques complétant notre analyse, sont fournies par les mêmes stations, mais pour une période variable selon la station.

**Insolation :**

L'insolation possible représente la durée pendant laquelle le soleil pourra briller, en supposant un ciel dégagé de nuage. Alors qu'on appelle l'insolation effective est la durée pendant laquelle le soleil a brillé. Un changement important de ce paramètre aurait des répercussions notables sur le phénomène de l'évapotranspiration (Lebourgoi et al., 2001). Selon le tableau II.6 une dégradation de l'insolation, du nord vers le sud, caractérise la zone d'étude, elle est due à une grande nébulosité qui diminue de la côte vers l'intérieur.

La durée d'insolation varie irrégulièrement durant l'année, elle est très importante durant le mois de juillet où elle atteint une moyenne de 11,6 h/j à la station de B.B. Arreridj et 11,5 h/j à la station de Constantine. Elle descend progressivement à son minimum (4,6 h/j) en mois de décembre à Skikda et en mois de septembre à Souk-Ahras.

**Tableau II.6 : Moyenne mensuelle de l'insolation en (h/j). Période (1978-2004).**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	4,94	6,3	6,08	7,67	8,8	9,98	10,7	9,6	7,8	6,9	5,32	4,77	88,86
Jijel	5	6	6,8	7,3	8,7	10,2	11,1	10,1	8	7	5,3	4,7	90,2
Skikda	4,8	5,7	6,3	7	8,8	9,9	11,2	10	8	6,7	5,4	4,6	88,4
Annaba	4,9	5,7	6,2	7,2	8,8	10,2	11,4	10,4	8,3	7	5,4	4,8	90,3
El-Kala	5,2	5,9	6,4	7,8	8,7	10,3	11,2	10	7,8	7	5,8	4,8	80,9
Sétif	5,8	6,2	6,8	7,7	8,7	10,5	10,8	10	8	7,6	5,8	5	92,9
B.B. Arreridj	6,3	6,6	7,1	8,2	9,5	10,6	11,6	10,5	8,6	7,5	6,5	5,9	98,9
Constantine	5,2	5,8	6,4	7,2	8,7	10,5	11,5	10,1	8,2	6,8	5,6	5	91
Guelma	5,1	5,8	6	7,1	8,9	9,7	11,1	10,3	8	6,6	5,4	4,8	88,8
Souk-Ahras	4,8	5,9	6,4	7,3	9,2	9,9	11,3	10,5	4,6	6,8	5,7	4,9	87,3
Batna	5,8	6,5	7	7,7	9	10,5	11,3	10,3	8,5	7,4	6,4	5,6	96
O. El Bouaghi	5,2	6,8	7,8	8,2	8,9	9,8	11,1	9,3	8	7,2	5,7	5,1	93,1
Tébessa	5,3	6	6,6	7,4	8,8	9,9	11,2	9,8	8,1	7,1	6,1	5,3	91,6
Biskra	7,41	8,18	8,67	9,5	10,55	11,23	11,54	10,59	8,67	8,17	7,52	7,03	109,06

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

### II.2.5.4. Humidité relative de l'air

L'humidité de l'air est limitée et dépend essentiellement de la température de l'air. On appelle humidité relative de l'air le pourcentage de vapeur d'eau qui existe réellement dans l'air par rapport à la quantité maximale que pourrait contenir l'atmosphère dans les mêmes conditions de température et de pression. La variation mensuelle de l'humidité relative des stations est reportée dans le tableau II.7.

L'humidité relative des stations côtières est supérieure à 70% pour les douze (12) mois de l'année, alors qu'elle est inférieure à 50% pendant neuf (09) mois à Biskra et pendant (03) mois à Guelma, Constantine et Batna pendant l'été (juin, juillet et août).

Tableau II.7 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative (en %). Période (1978-2004).

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	75,78	75,94	74,50	73,28	74,44	73,56	72,28	72,67	71,78	72,39	74,17	74,33	73,76
Jijel	78,04	76,50	74,85	74,23	74,58	72,62	69,54	71,92	72,31	74,73	75,96	76,73	74,33
Skikda	74,31	75,04	74,23	74,19	75,69	74,50	72,81	74,69	75,00	74,73	74,54	74,58	74,53
Annaba	72,86	74,00	73,71	73,29	76,05	74,90	72,82	72,67	72,86	72,14	73,00	72,73	73,42
El-Kala	76,19	76,27	76,69	76,88	78,04	76,08	74,36	74,23	75,81	75,46	75,62	75,88	75,96
Sétif	76,12	76,12	73,6	72,24	69,18	61,35	54,59	55,41	64,35	68,65	73,18	75,94	68,39
B.B. Arreridj	76,56	75,16	72,40	70,20	63,64	54,88	45,64	48,32	60,24	66,92	73,88	76,96	65,40
Constantine	74,88	70,58	64,88	60,04	56,17	45,83	38,83	42,54	54,50	62,71	72,42	77,79	60,10
Guelma	76,52	74,22	67,96	63,83	58,96	46,91	38,70	41,65	56,48	65,13	74,78	79,17	62,03
Souk-Ahras	77,77	75,96	73,15	71,12	66,92	57,15	47,62	50,73	62,88	68,15	74,77	78,27	67,04
Batna	75,32	70,77	67,50	62,27	57,59	49,27	43,24	47,09	57,73	64,64	72,55	77,18	62,10
O. El Bouaghi	72,54	68,12	62,50	59,38	54,96	46,27	38,19	42,27	55,62	62,54	68,08	73,38	58,65
Tébessa	71,81	68,2	65,2	60,73	55,46	47,58	40,69	45,27	57,69	63,35	69,65	72,08	59,81
Biskra	55,31	48,04	41,81	36,77	32,65	28,65	25,35	28,73	38,23	46,38	53,5	56,65	41,01

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

### II.2.5.5. Vitesse de vent

La vitesse du vent constitue un paramètre important pour la gestion du milieu naturel. Citons à titre d'exemple l'établissement du bilan hydrique où la vitesse du vent constitue une des grandeurs de base avec les précipitations et l'ensoleillement.

La vitesse moyenne de vent durant l'année varie entre 1,83 m/s à la station de Guelma et 4,18 m/s à la station de Biskra. Le maximum mensuel (5,2 m/s) est enregistré en avril à Biskra et le minimum (1,6 m/s) en juin à Guelma et en octobre à Oum El Bouaghi (Tableau II.8).

Tableau II.8 : Vitesse du vent (en m/s). Période (1978-2004).

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	3,6	3,41	3,22	3	2,85	2,94	2,97	2,92	2,88	3,11	3,41	3,78	3,17
Jijel	3,29	3,46	4,1	2,77	2,55	2,16	2,08	2	2,12	2,58	2,86	3,28	2,77
Skikda	2,7	2,9	3,5	3,7	3,4	3,2	3,1	3	2,6	2,7	2,7	2,7	3,02
Annaba	3,7	3,4	3,5	3,6	3,4	3,6	3,6	3,6	3,4	3	3,3	3,5	3,47
El-Kala	3,78	3,58	3,45	3,55	2,6	2,18	2,21	2,2	2,65	3,05	3,72	3,75	3,06
Sétif	3,5	4,1	4	3,9	3,7	3,8	3,6	3,6	3,4	3,3	3,7	3,4	3,67
B.B. Arreridj	2,6	2,9	3,3	3,4	3,5	3,5	3,3	3	3	2,9	2,9	3	3,11
Constantine	2,3	2,1	2,5	2,7	2,2	2,4	2,5	2,7	2,2	2,4	2,2	2	2,35
Guelma	1,8	2	1,8	1,9	1,8	1,6	1,7	1,7	2	1,8	2	1,9	1,83
Souk-Ahras	3	2,9	3,3	3,7	3,5	3,8	3,8	3,9	3,1	3,4	3,5	3	3,41
Batna	3,4	3,6	3,8	4	3,8	3,8	3,7	3,4	3,1	3,1	3,2	4	3,58
O. El Bouaghi	2	2	1,9	2,3	1,8	2	2,2	2,3	2	1,6	1,8	1,9	1,98
Tébessa	2,7	2,4	2,9	3,1	2,8	3,3	3,4	3,8	3,5	3,1	3,1	2,5	3,05
Biskra	4,2	4,4	5,1	5,2	4,9	4,4	3,6	3,5	3,7	3,5	3,9	3,7	4,18

### Evaporation :

Les données de mesure mentionnées dans le tableau II.9 sont obtenues en utilisant l'appareil de Piche qui fournit des valeurs proches aux valeurs réelles de l'évaporation potentielle et qui est disponible dans toutes les stations météorologiques du réseau de l'Office Nationale Météorologique de l'Algérie (Oulhaci, 2016). L'évaporation potentielle est étroitement liée à la température et à l'humidité de l'air, et son intensité est fortement renforcée par les vents et notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco (Toutain, 1979, in : Oulhaci, 2016).

Les valeurs moyennes annuelles varient entre 907 mm/an à Bejaia et 3258 mm/an à Biskra. Le maximum mensuel (427 mm) est enregistré en septembre à Biskra et le minimum (40 mm) en janvier à Constantine.

## CHAPITRE II PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE

**Tableau II.9 : Evaporation mensuelle (en mm). Période (1992-2002).**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	71	57	72	77	78	88	97	95	90	86	79	71	961
Jijel	55	52	63	66	73	89	104	112	95	79	64	55	907
Skikda	85	73	93	100	99	112	125	132	115	106	98	95	1233
Annaba	69	75	103	93	118	145	171	166	137	109	86	72	1344
El-Kala	79	71	92	86	100	114	127	128	127	105	103	97	1229
Sétif	58	74	115	144	214	284	359	339	193	142	83	57	2062
B.B. Arreridj	76	91	149	185	256	342	408	377	253	170	98	77	2482
Constantine	40	42	62	71	104	143	178	178	114	87	59	44	1122
Guelma	53	51	73	85	119	158	200	198	134	105	72	62	1310
Souk-Ahras	53	55	76	82	118	170	225	218	149	128	75	56	1405
Batna	66	79	123	173	235	295	348	321	219	161	104	70	2194
O. El Bouaghi	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Tébessa	81	105	147	189	257	316	381	326	224	169	115	90	2400
Biskra	123	147	202	271	344	390	427	403	500	205	143	103	3258

Source : Oulhaci, (2016)

En somme, L'analyse du climat de la zone d'étude (le Nord-Est algérien) à partir des données climatiques des 14 stations mentionnées ci-dessus, montre que les caractéristiques climatiques de cette région, sont liées à leur position géographique, et à leur relief. On relève de fortes variabilités spatiales et temporelles de ces différents paramètres climatiques qui vont entraîner une variabilité de l'évapotranspiration.

Laala A., Alatou Dj., Adimi A., 2016.

**CHAPITRE III**  
**ESTIMATION DE**  
**L'EVAPOTRANSPIRATION**

### III-1 Méthodologie et Outils de traitements

Six formules ont été établies pour calculer l'ETP à partir de quatre éléments climatiques fondamentaux (température, humidité relative, insolation et vitesse du vent) : Turc, Thornthwaite, Blaney-Cridle, Penman-Monteith, Bouchet plus la formule dite ANRH. Ces formules, sont issues généralement d'approches, souvent très différentes les unes des autres, ce qui prévoirait, à priori, des résultats différents pour des situations similaires (Traore, 2007 in : Boudjerada 2015). L'utilisation de ces modèles nécessite la connaissance de certaines données climatiques telles que, la température, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent.

Les séries de données climatiques pour les 14 stations météorologiques retenues dans l'étude s'étalent sur une période de 26 ans (1978-2004). Les mesures de l'évaporation disponibles sont de l'évaporomètre de Piche sur 10 ans (1992-2002) sur les mêmes stations.

Il s'agit donc de faire une analyse comparative et statistique des résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle par différentes formules par rapport à l'ETP (Piche). Ceci permettra de choisir la méthode de calcul appropriée au contexte climatique de la zone d'étude.

#### III-2-1 Formule de Blaney- Criddle 1959

La formule délivrée par les auteurs Harry Blaney et Wayne Criddle (chapitre I)

##### - Exemple de calcul

L'exemple de calcul concerne la station Batna, dont les caractéristiques géographiques sont reportées dans le tableau III.1 et les résultats de l'application de la formule de Blaney- Criddle sont reportés dans le tableau III.1 et illustrées sur la figure III.1.

De la même façon ; on procède pour les autres stations.

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau :III.1. BANNAY-CRIDLLE STATION BATNA**

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
<b>rapport de la durée d'éclairement mensuel p (%)</b>	6,04	6,77	7,29	8,02	9,38	10,94	11,77	10,73	8,85	7,71	6,67	5,83
<b>temperature (t)</b>	5,34	6,67	9,32	12,26	17,38	22,91	26,03	25,69	21,10	15,89	10,15	6,57
<b>force évaporante (f)</b>	74,08	77,04	102,84	119,25	154,42	179,57	199,03	185,19	148,73	118,65	86,87	74,69
<b>A</b>	1,14	1,14	1,14	1,14	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,14	1,14	1,14
<b>B</b>	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,88	-1,88	-1,88	-1,88	-1,88	-1,84	-1,84	-1,84
<b>ETP</b>	82,61	85,99	115,40	134,11	191,15	222,59	246,91	229,60	184,03	133,42	97,19	83,31

### III-2-2 Formule de Thornthwaite 1948

La formule de Thornthwaite a été développée à partir de mesures sur des cases lysométriques dans l'est des États-Unis .Elle est basée sur l'utilisation de l'information thermométrique, sa formulation a été déjà introduite dans le premier chapitre.

#### - Exemple de calcul

On présentera l'exemple suivant de la station Batna dont les caractéristiques géographiques sont reportées dans le tableau III.2.

**Tableau :III.2. THORNTHWAITE STATION BATNA**

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
<b>température</b>	5,337	6,674	9,319	12,26	17,38	22,91	26,03	25,69	21,1	15,89	10,15	6,574
<b>K</b>	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
<b>I</b>	1,10	1,55	2,57	3,89	6,59	10,02	12,16	11,92	8,85	5,76	2,92	1,51
<b>ETP</b>	9,26	12,94	26,77	43,95	85,32	132,79	165,61	152,93	99,08	59,25	25,63	12,64

De la même façon, on procède sur les stations Nord-est Algérien retenues dans l'étude.

### III-2 -3 La formule de Penman-Monteith 1965

Parmi les différentes méthodes de calcul des ETP, la formule de Penman-Monteith est recommandée par la FAO. C'est une combinaison du bilan énergétique et de la méthode de transfert de masse (chapitre I).

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

### - Exemple de calcul

La station à prendre comme exemple pour l'application de la formule de Penman-Monteith est celle de Batna dont les caractéristiques géographiques sont déjà mentionnées. Dans ce travail, le calcul de l'évapotranspiration est effectué à l'aide des logiciels CROPWAT8.0 publié par le FAO.

L'application de cette formule a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans le tableau III.3 et reportées dans la figure III.1

**Tableau : III.3. PENMAN STATION BATNA**

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
<b>Température min</b>	-8,4	-9	-7,3	-5,5	-2,5	4,2	7,8	8,3	3,4	-0,2	-6,2	-8,3
<b>Température max</b>	22,4	24,7	31,6	33,4	40,5	41,1	42,3	41,7	39,1	35,5	26,9	24,8
<b>humidité relative (%)</b>	72	68	59	55	46	38	42	55	62	68	73	59
<b>Vitesse du vent (v)</b>	3,40	3,60	3,80	4,00	3,80	3,80	3,70	3,40	3,10	3,10	3,20	4,00
<b>Insolation (Heures)</b>	5,80	6,50	7,00	7,70	9,00	10,50	11,30	10,30	8,50	7,40	6,40	5,60
<b>ETP</b>	91,51	106,72	182,17	209,77	281,16	290,33	300,76	259,15	201,83	165,11	107,25	120,78

### III-2 -4 Formule dite ANRH

Elle est développée en 2002 sous la direction du Professeur J.P. Laborde (chapitre I).

#### - Exemple de calcul

Pour l'illustration, nous présenteront à titre d'exemple station Batna Les résultats de calcul reportés dans le tableau III.4

La procédure adoptée est répétée pour toutes les stations prises pour le présent travail.

**Tableau : III.4 ANRH STATION BATNA**

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
<b>Température</b>	5,337	6,674	9,319	12,26	17,38	22,91	26,03	25,69	21,1	15,89	10,15	6,574
<b>durée mensuelle d'insolation (H)</b>	308,95	304,25	370,73	391,75	434,50	435,87	441,50	417,85	370,82	348,80	305,78	301,13
<b>Km</b>	0,96	1,22	1,17	1,2	1,1	1,08	1,07	1,07	1,06	0,86	0,86	0,86
<b>Km*(H-187)</b>	117,07	143,05	214,96	245,70	272,25	268,78	272,32	247,01	194,85	139,15	102,15	98,15
<b>Kr</b>	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
<b>ETP</b>	32,49	46,55	90,34	129,15	193,06	243,87	277,53	248,73	164,15	91,24	45,97	31,59

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

### III-2 -5 La formule de Turc (1955)

Turc aboutit ainsi, vers 1955, à une formule donnant l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'insolation et de la température (chapitre I).

#### - Exemple de calcul

Pour l'application numérique on prend comme un exemple d'illustration la station de Batna , après le calcul les résultats obtenus sont reportés dans les tableau III.5 .

**Tableau : III.5 TURC STATION BATNA**

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
radiation globale par jour /cm2 (Iga)	425,63	550,21	711,95	853,12	946,57	979,44	956,72	872,12	743,38	588,22	449,06	383,77
temperature	5,34	6,67	9,32	12,26	17,38	22,91	26,03	25,69	21,10	15,89	10,15	6,57
humidité relative (Hr)	75,32	70,77	67,5	62,27	57,59	49,27	43,24	47,09	57,73	64,64	72,55	77,18
Radiation globale mensuelle (Ig)	229,21	303,78	386,07	464,22	544,98	613,62	640,28	569,53	405,49	345,13	254,00	205,74
Durée moyenne d'insolation en heures (h)	5,80	6,50	7,00	7,70	9,00	10,50	11,30	10,30	8,50	7,40	6,40	5,60
Durée astronomique du jours/heures (H)	10,03	10,83	11,98	13,11	14,1	14,58	14,32	13,5	14,42	11,28	10,29	9,75
h/H	0,58	0,60	0,58	0,59	0,64	0,72	0,79	0,76	0,59	0,66	0,62	0,57
ETP	29,31	43,58	66,84	92,51	127,74	160,42	175,17	156,46	106,49	81,30	49,07	31,17

### 4.5. La formule de Bouchet (1963)

Cette formule permet d'évaluer l'évapotranspiration à partir d'une mesure de l'évaporation (évaporomètre Piche (Bouteldjaoui et al., 2011) :

$$ETP = \alpha \cdot \lambda(\theta) \cdot Ev \quad 1.III$$

$$\alpha = 0.37$$

$\lambda$  : Coefficient fonction de la température  $\theta$

$\theta$  : Température moyenne entre la température de l'air et la température du point de rosée

$\theta_r$  (°C)

$Ev$  : Evaporation piche

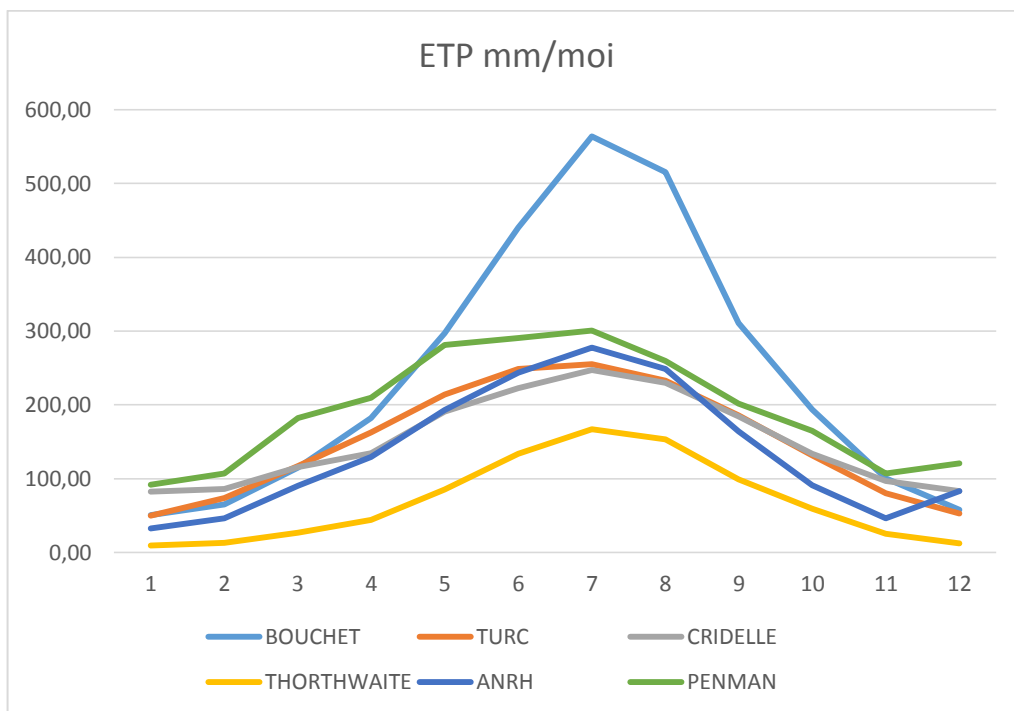
## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

### - Exemple de calcul

La station à prendre comme exemple pour l'application de la formule de **Bouchet** est celle de Batna . Après le calcul les résultats obtenus sont reportés dans les tableau III.6.

**Tableau : III.6.Bouchet STATION BATNA**

	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
<b>P</b>	<b>66.00</b>	<b>79.00</b>	<b>123.00</b>	<b>173.00</b>	<b>235.00</b>	<b>295.00</b>	<b>348.00</b>	<b>321.00</b>	<b>219.00</b>	<b>161.00</b>	<b>104.00</b>	<b>70.00</b>
<b>Δ</b>	<b>2.08</b>	<b>2.23</b>	<b>2.52</b>	<b>2.85</b>	<b>3.42</b>	<b>4.03</b>	<b>4.38</b>	<b>4.34</b>	<b>3.83</b>	<b>3.25</b>	<b>2.62</b>	<b>2.22</b>
<b>A</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>	<b>0.37</b>
<b>ETPmesurée</b>	<b>50.86</b>	<b>65.19</b>	<b>114.89</b>	<b>182.48</b>	<b>297.30</b>	<b>440.20</b>	<b>563.88</b>	<b>515.65</b>	<b>310.52</b>	<b>193.83</b>	<b>100.69</b>	<b>57.48</b>



**Figure III.1 Evolution annuelle de L'ETP pour les différentes méthodes station Batna**

### III.3 Récapitulatif des résultats d'évaluation

Les résultats obtenus, par l'application des différentes formules d'estimation de l'ETP mensuelle moyenne sont présentés dans le tableau III.7

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Tableau III.7 (a) Les valeurs de l'ETP des six modèles et de l'évaporation mesurée

	Mois	Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Bejaia	Janvier	62,41	12,706	92,680	14,916	79,680	69,4	71
	Février	103,57	18,585	106,490	40,153	103,234	57,4	57
	Mars	132,78	37,956	168,110	97,218	141,668	74,3	72
	Avril	146,80	63,122	152,930	147,867	178,860	84,3	77
	Mai	178,22	111,038	185,330	213,495	217,212	95,8	78
	Juin	218,53	193,592	224,030	264,222	244,056	128,3	88
	Juillet	240,05	245,005	249,480	281,169	250,256	154,3	97
	Aout	229,72	224,309	202,960	249,361	231,431	166,6	95
	Septembre	176,48	136,924	165,200	155,316	190,771	140,9	90
	Octobre	149,15	72,850	161,580	73,769	142,765	116,1	86
	Novembre	68,98	29,692	113,440	20,940	98,464	91,2	79
	Décembre	61,67	14,894	94,410	7,170	75,858	72,5	71
	Année	<b>1768,36</b>	<b>1160,673</b>	<b>1916,640</b>	<b>1565,595</b>	<b>1954,255</b>	<b>1251,1</b>	<b>961</b>
Jijel	Janvier	64,93	26,354	73,720	13,922	83,651	53,7	55
	Février	107,21	26,741	89,590	37,073	107,749	52,3	52
	Mars	136,47	39,919	172,720	87,952	145,878	65,0	63
	Avril	150,50	51,599	164,240	132,492	183,072	72,3	66
	Mai	181,54	80,261	192,510	188,719	220,419	89,7	73
	Juin	221,92	114,639	229,970	231,480	246,339	129,7	89
	Juillet	243,33	147,073	239,960	245,991	252,212	165,5	104
	Aout	232,61	146,454	238,110	217,731	232,804	196,4	112
	Septembre	180,62	111,256	199,300	138,286	193,314	148,7	95
	Octobre	153,41	79,398	147,590	66,347	145,290	106,7	79
	Novembre	71,64	45,053	89,010	19,303	101,764	73,9	64
	Décembre	64,56	30,757	74,880	6,754	79,783	56,2	55
	Année	<b>1808,75</b>	<b>899,504</b>	<b>1911,600</b>	<b>1386,051</b>	<b>1992,274</b>	<b>1210,1</b>	<b>907</b>
Skikda	Janvier	64,07	25,665	95,650	14,673	82,062	83,0	85
	Février	106,14	26,414	109,810	39,571	106,269	73,5	73
	Mars	135,46	39,689	199,450	94,405	144,469	96,0	93
	Avril	150,00	51,945	210,820	143,271	182,225	109,5	100
	Mai	180,69	80,102	258,340	203,754	219,393	121,6	99
	Juin	220,55	113,209	261,590	249,277	245,068	163,3	112
	Juillet	241,06	143,708	308,480	263,921	250,626	198,9	125
	Aout	231,42	144,933	250,710	235,093	231,893	231,5	132
	Septembre	178,46	108,078	192,110	147,780	191,589	180,0	115
	Octobre	154,15	81,868	168,730	72,725	145,529	143,2	106
	Novembre	70,76	43,503	110,450	20,479	100,359	113,1	98
	Décembre	64,05	30,664	94,670	7,128	78,857	97,0	95
	Année	<b>1796,81</b>	<b>889,779</b>	<b>2260,810</b>	<b>1492,076</b>	<b>1978,340</b>	<b>1610,6</b>	<b>1233</b>
Annaba	Janvier	61,93	23,082	94,390	14,467	78,435	67,4	69
	Février	102,88	24,059	105,670	39,275	102,002	75,5	75
	Mars	132,26	37,498	172,600	95,418	140,544	106,3	103
	Avril	147,53	50,640	195,350	147,199	179,220	101,9	93
	Mai	180,15	81,746	215,130	214,689	218,919	145,0	118
	Juin	220,99	116,652	247,080	264,991	245,543	211,4	145
	Juillet	241,42	146,756	296,870	280,118	250,927	272,1	171
	Aout	231,58	147,372	265,730	249,224	232,118	291,1	166
	Septembre	177,98	109,021	203,890	155,713	191,373	214,4	137
	Octobre	150,04	76,463	164,910	73,624	142,721	147,2	109
	Novembre	69,08	41,050	107,360	20,725	98,116	99,3	86
	Décembre	62,07	28,010	93,030	7,076	76,026	73,5	72
	Année	<b>1777,88</b>	<b>882,349</b>	<b>2162,010</b>	<b>1562,518</b>	<b>1955,944</b>	<b>1805,0</b>	<b>1344</b>

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Tableau III.8 (b) Les valeurs de l'ETP des six modèles et de l'évaporation mesurée

	Mois	Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
El-Kala	Janvier	64,58	25,653	95,710	19,923	82,914	77,2	79
	Février	107,08	26,523	93,810	53,833	107,466	71,5	71
	Mars	136,08	39,193	170,620	127,323	145,222	95,0	92
	Avril	151,16	52,093	176,540	194,271	183,664	94,2	86
	Mai	182,17	80,764	195,850	276,274	220,934	122,8	100
	Juin	222,93	115,599	206,080	339,097	246,948	166,2	114
	Juillet	245,62	150,972	238,330	363,220	259,614	202,1	127
	Aout	234,29	149,243	222,400	320,310	233,634	224,5	128
	Septembre	180,84	111,434	180,780	201,728	193,276	198,8	127
	Octobre	153,01	78,396	166,450	96,081	144,714	141,8	105
	Novembre	71,64	44,461	124,090	27,978	101,561	118,9	103
	Décembre	63,99	29,541	100,210	9,504	78,765	99,1	97
	Année	<b>1813,37</b>	<b>903,875</b>	<b>1970,870</b>	<b>2029,541</b>	<b>1998,711</b>	<b>1611,9</b>	<b>1229</b>
Sétif	Janvier	48,63	9,233	83,010	9,500	47,315	48,7	58
	Février	84,90	13,171	94,400	28,781	71,580	67,6	74
	Mars	112,99	25,903	149,290	78,328	111,831	107,7	115
	Avril	129,94	40,727	169,500	132,119	154,528	143,3	144
	Mai	168,93	79,617	225,050	219,902	207,168	258,1	214
	Juin	220,11	130,582	263,310	303,128	246,058	422,4	284
	Juillet	246,47	167,291	280,530	330,957	254,784	588,4	359
	Aout	229,02	153,033	294,960	280,828	231,688	599,6	339
	Septembre	164,94	96,178	205,910	157,384	182,319	268,5	193
	Octobre	131,43	58,307	157,380	67,240	128,186	170,2	142
	Novembre	56,75	24,413	93,520	16,384	76,696	82,6	83
	Décembre	48,50	11,831	110,930	5,025	48,965	49,6	57
	Année	<b>1642,60</b>	<b>810,287</b>	<b>2127,790</b>	<b>1629,575</b>	<b>1761,116</b>	<b>2806,8</b>	<b>2062</b>
B.B.Arreidj	Janvier	50,14	9,756	68,700	10,710	51,906	64,1	76
	Février	87,78	13,998	83,760	32,238	77,519	82,8	91
	Mars	116,65	27,238	146,240	86,608	118,471	139,5	149
	Avril	147,44	43,180	177,110	145,593	162,027	184,1	185
	Mai	172,98	82,246	252,530	235,989	212,076	308,8	256
	Juin	226,80	139,603	261,590	327,354	251,412	508,7	342
	Juillet	251,36	174,891	281,410	350,816	257,897	667,2	408
	Aout	233,21	159,230	269,700	297,124	234,461	665,4	377
	Septembre	168,11	98,841	204,750	166,984	185,178	352,0	253
	Octobre	133,91	58,965	154,100	71,610	130,919	203,8	170
	Novembre	58,20	24,794	115,970	17,863	80,019	97,5	98
	Décembre	83,54	12,402	66,890	5,683	53,010	67,2	77
	Année	<b>1730,11</b>	<b>845,145</b>	<b>2082,750</b>	<b>1748,574</b>	<b>1814,893</b>	<b>3341,2</b>	<b>2482</b>
Constantine	Janvier	52,05	12,482	69,930	9,929	57,189	33,6	40
	Février	53,56	15,688	84,910	28,680	80,589	38,4	42
	Mars	70,78	28,704	134,100	75,324	120,206	58,0	62
	Avril	80,94	43,526	165,570	124,163	161,995	70,7	71
	Mai	104,05	81,894	197,110	200,291	211,582	125,4	104
	Juin	216,96	127,931	231,470	265,613	246,089	212,7	143
	Juillet	239,67	160,057	261,240	284,281	252,771	291,8	178
	Aout	226,40	152,903	244,220	247,285	232,109	314,8	178
	Septembre	101,52	99,955	180,580	142,810	185,226	158,6	114
	Octobre	82,47	64,058	147,710	63,419	133,462	104,3	87
	Novembre	60,32	29,170	102,510	16,216	84,143	58,7	59
	Décembre	52,14	15,811	66,300	5,172	58,000	38,3	44
	Année	<b>1340,86</b>	<b>832,180</b>	<b>1885,650</b>	<b>1463,184</b>	<b>1823,362</b>	<b>1505,3</b>	<b>1122</b>

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

(Suite) Tableau III.9 (c) Les valeurs de l'ETP des six modèles et de l'évaporation mesurée

	Mois	Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Guelma	Janvier	76,42	17,774	72,670	12,204	73,105	48,8	53
	Février	90,65	19,295	85,760	32,814	96,111	50,0	51
	Mars	117,59	32,199	126,870	81,410	135,171	73,2	73
	Avril	132,89	46,822	148,650	129,369	175,934	88,7	85
	Mai	184,66	84,523	196,360	198,475	220,886	151,9	119
	Juin	211,36	130,703	217,440	254,589	251,581	245,5	158
	Juillet	233,63	168,433	242,060	272,629	257,928	339,7	200
	Aout	222,34	164,955	224,830	239,762	237,628	367,8	198
	Septembre	179,39	111,620	186,410	143,649	193,073	214,7	134
	Octobre	136,52	73,408	142,870	66,165	142,445	139,1	105
	Novembre	102,49	36,041	92,870	18,165	95,476	79,4	72
	Décembre	76,40	21,690	74,840	6,229	71,366	60,3	62
	Annuelle	<b>1764,34</b>	<b>907,464</b>	<b>1811,630</b>	<b>1455,461</b>	<b>1950,704</b>	<b>1859,1</b>	<b>1310</b>
Souk-Ahras	Janvier	75,08	14,086	85,580	11,755	60,975	44,9	53
	Février	90,74	16,447	95,640	32,451	83,099	50,3	55
	Mars	118,69	28,914	142,780	83,239	121,604	70,9	76
	Avril	134,95	43,081	172,670	135,571	162,502	81,0	82
	Mai	189,34	80,487	229,940	216,971	211,290	142,3	118
	Juin	218,76	124,383	274,390	284,998	244,786	249,1	170
	Juillet	243,98	160,398	307,840	309,767	253,105	356,3	225
	Aout	230,19	152,769	289,900	269,047	232,243	376,7	218
	Septembre	143,09	101,673	200,720	157,395	186,365	220,0	149
	Octobre	139,03	66,121	174,390	70,762	135,160	156,8	128
	Novembre	102,57	30,926	102,590	18,566	86,493	76,0	75
	Décembre	75,37	17,792	81,090	6,232	61,482	49,7	56
	Annuelle	<b>1761,79</b>	<b>837,077</b>	<b>2157,530</b>	<b>1596,756</b>	<b>1839,104</b>	<b>1873,9</b>	<b>1405</b>
Batna	Janvier	82,61	9,263	91,510	11,161	49,928	55,4	66
	Février	85,99	12,944	106,720	32,104	73,928	72,2	79
	Mars	115,40	26,771	182,170	88,543	116,791	115,1	123
	Avril	134,11	44,358	209,770	152,103	162,468	172,2	173
	Mai	191,15	85,320	281,160	249,835	213,964	283,5	235
	Juin	222,59	133,888	290,330	333,026	248,846	438,8	295
	Juillet	246,91	166,953	300,760	356,898	255,470	570,4	348
	Aout	229,60	152,928	259,150	303,623	232,877	567,7	321
	Septembre	184,03	99,080	201,830	173,907	185,489	304,7	219
	Octobre	133,42	59,252	165,110	74,827	131,321	193,0	161
	Novembre	97,19	25,629	107,250	19,209	80,565	103,5	104
	Décembre	83,31	12,487	120,780	6,408	52,871	60,9	70
	Annuelle	<b>1806,30</b>	<b>828,873</b>	<b>2316,540</b>	<b>1801,644</b>	<b>1804,517</b>	<b>2937,4</b>	<b>2194</b>
O.E. Bouaghi	Janvier	66,54	10,870	67,860	9,840	55,153	39,8	50
	Février	81,58	14,530	85,140	28,439	79,458	47,6	56
	Mars	120,19	28,353	134,450	76,677	121,393	85,6	89
	Avril	140,02	47,009	162,730	131,644	167,660	98,7	91
	Mai	179,56	86,709	188,620	210,434	216,364	151,0	118
	Juin	281,31	128,827	220,600	270,698	247,287	284,1	192
	Juillet	317,27	169,744	244,780	297,920	256,762	394,6	241
	Aout	293,66	153,383	232,800	251,452	233,251	241,4	150
	Septembre	155,34	99,475	174,380	144,499	186,121	169,3	119
	Octobre	126,56	63,824	128,260	64,667	134,895	112,1	90
	Novembre	91,04	26,600	79,650	16,095	82,723	54,6	55
	Décembre	66,79	13,971	65,120	5,354	57,422	17,7	21
	Annuelle	<b>1919,86</b>	<b>843,295</b>	<b>1784,390</b>	<b>1507,720</b>	<b>1838,488</b>	<b>1696,5</b>	<b>1271</b>

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.10 (a) Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules**

		<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thorntwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
<b>Bejaia</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1768,36	1160,673	1916,640	1565,595	1954,255	1251,1	961
	<b>Max</b>	240,05	245,01	249,48	281,17	250,26	166,61	97,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	61,67	12,71	92,68	7,17	75,86	57,36	57,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
	<b>Moyenne</b>	147,36	96,72	159,72	130,47	162,85	104,26	80,08
	<b>Ecart-Type</b>	64,014	84,733	50,993	102,504	64,643	36,198	11,611
	<b>Coef. de Variation</b>	0,434	0,876	0,319	0,786	0,397	0,347	0,145
<b>Jijel</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1808,75	899,504	1911,600	1386,051	1992,274	1210,1	907
	<b>Max</b>	243,33	147,07	239,96	245,99	252,21	196,43	112,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Aou.
	<b>Min</b>	64,56	26,35	73,72	6,75	79,78	52,33	52,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
	<b>Moyenne</b>	150,73	74,96	159,30	115,50	166,02	100,84	75,58
	<b>Ecart-Type</b>	64,200	45,288	63,965	89,353	63,901	48,607	20,219
	<b>Coef. de Variation</b>	0,426	0,604	0,402	0,774	0,385	0,482	0,268
<b>Skikda</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1796,81	889,779	2260,810	1492,076	1978,340	1610,6	1233
	<b>Max</b>	241,06	144,93	308,48	263,92	250,63	231,50	132,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Aou.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Aou.
	<b>Min</b>	64,05	25,67	94,67	7,13	78,86	73,47	73,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
	<b>Moyenne</b>	149,73	74,15	188,40	124,34	164,86	134,21	102,75
	<b>Ecart-Type</b>	63,855	44,477	73,371	96,234	63,894	49,573	16,504
	<b>Coef. de Variation</b>	0,426	0,600	0,389	0,774	0,388	0,369	0,161
<b>Annaba</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1777,88	882,349	2162,010	1562,518	1955,944	1805,0	1344
	<b>Max</b>	241,42	147,37	296,87	280,12	250,93	291,13	171,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Aou.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	61,93	23,08	93,03	7,08	76,03	67,40	69,00
	<b>Mois du MIN</b>	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Déc.	Jan.	Jan.
	<b>Moyenne</b>	148,16	73,53	180,17	130,21	163,00	150,42	112,00
	<b>Ecart-Type</b>	64,863	46,663	69,756	102,738	65,421	78,502	35,792
	<b>Coef. de Variation</b>	0,438	0,635	0,387	0,789	0,401	0,522	0,320
<b>El-Kala</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1813,37	903,875	1970,870	2029,541	1998,711	1611,9	1229
	<b>Max</b>	245,62	150,97	238,33	363,22	259,61	224,49	128,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Aou.
	<b>Min</b>	63,99	25,65	93,81	9,50	78,76	71,45	71,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Fév.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
	<b>Moyenne</b>	151,11	75,32	164,24	169,13	166,56	134,32	102,42
	<b>Ecart-Type</b>	64,960	46,607	49,964	131,645	65,322	52,166	18,957
	<b>Coef. de Variation</b>	0,430	0,619	0,304	0,778	0,392	0,388	0,185

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.11 (b) Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules**

		<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thorntwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
<b>Sétif</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1642,60	810,287	2127,790	1629,575	1761,116	2806,8	2062
	<b>Max</b>	246,47	167,29	294,96	330,96	254,78	599,56	359,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	48,50	9,23	83,01	5,02	47,31	48,71	57,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.
	<b>Moyenne</b>	136,88	67,52	177,32	135,80	146,76	233,90	171,83
	<b>Ecart-Type</b>	70,462	57,253	75,934	121,146	77,045	200,846	107,147
	<b>Coef. de Variation</b>	0,515	0,848	0,428	0,892	0,525	0,859	0,624
<b>B.B.Arreridj</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1730,11	845,145	2082,750	1748,574	1814,893	3341,2	2482
	<b>Max</b>	251,36	174,89	281,41	350,82	257,90	667,24	408,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	50,14	9,76	66,89	5,68	51,91	64,11	76,00
	<b>Mois du MIN</b>	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
	<b>Moyenne</b>	144,18	70,43	173,56	145,71	151,24	278,43	206,83
	<b>Ecart-Type</b>	68,497	59,988	80,185	128,851	76,761	224,729	119,338
	<b>Coef. de Variation</b>	0,475	0,852	0,462	0,884	0,508	0,807	0,577
<b>Constantine</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1340,86	832,180	1885,650	1463,184	1823,362	1505,3	1122
	<b>Max</b>	239,67	160,06	261,24	284,28	252,77	314,81	178,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	52,05	12,48	66,30	5,17	57,19	33,60	40,00
	<b>Mois du MIN</b>	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
	<b>Moyenne</b>	111,74	69,35	157,14	121,93	151,95	125,44	93,50
	<b>Ecart-Type</b>	72,220	54,503	67,985	104,855	73,276	99,221	50,414
	<b>Coef. de Variation</b>	0,646	0,786	0,433	0,860	0,482	0,791	0,539
<b>Guelma</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1764,34	907,464	1811,630	1455,461	1950,704	1859,1	1310
	<b>Max</b>	233,63	168,43	242,06	272,63	257,93	367,77	200,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	76,40	17,77	72,67	6,23	71,37	48,83	51,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Jan.	Fév.
	<b>Moyenne</b>	147,03	75,62	150,97	121,29	162,56	154,92	109,17
	<b>Ecart-Type</b>	57,275	56,180	61,566	99,755	69,776	112,595	53,337
	<b>Coef. de Variation</b>	0,390	0,743	0,408	0,822	0,429	0,727	0,489
<b>Souk-Ahras</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1761,79	837,077	2157,530	1596,756	1839,104	1873,9	1405
	<b>Max</b>	243,98	160,40	307,84	309,77	253,11	376,68	225,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
	<b>Min</b>	75,08	14,09	81,09	6,23	60,98	44,91	53,00
	<b>Mois du MIN</b>	Jan.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
	<b>Moyenne</b>	146,82	69,76	179,79	133,06	153,26	156,16	117,08
	<b>Ecart-Type</b>	60,103	53,739	81,760	113,152	71,848	119,030	61,902
	<b>Coef. de Variation</b>	0,409	0,770	0,455	0,850	0,469	0,762	0,529

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.12 (c) Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules**

		Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
<b>Batna</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1806,30	828,873	2316,540	1801,644	1804,517	2937,4	2194
	<b>Max</b>	246,91	166,95	300,76	356,90	255,47	570,41	348,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.
	<b>Min</b>	82,61	9,26	91,51	6,41	49,93	55,43	66,00
	<b>Mois du MIN</b>	Jan.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
	<b>Moyenne</b>	150,53	69,07	193,05	150,14	150,38	244,78	182,83
	<b>Ecart-Type</b>	61,382	57,439	76,753	131,694	76,738	190,028	100,232
	<b>Coef. de Variation</b>	0,408	0,832	0,398	0,877	0,510	0,776	0,548
<b>O.E.Boughi</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1919,86	843,295	1784,390	1507,720	1838,488	1696,5	1271
	<b>Max</b>	317,27	169,74	244,78	297,92	256,76	394,56	241,30
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.
	<b>Min</b>	66,54	10,87	65,12	5,35	55,15	17,69	20,75
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Déc.	Déc.	Jan.	Déc.	Déc.
	<b>Moyenne</b>	159,99	70,27	148,70	125,64	153,21	141,38	105,88
	<b>Ecart-Type</b>	90,026	56,734	65,278	108,533	74,958	114,055	63,488
	<b>Coef. de Variation</b>	0,563	0,807	0,439	0,864	0,489	0,807	0,600
<b>Tébessa</b>	<b>Somme Annuelle</b>	1911,02	867,434	2144,990	1684,363	1881,466	3211,7	2400
	<b>Max</b>	319,65	173,16	286,81	327,84	258,30	621,68	381,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.
	<b>Min</b>	52,61	11,31	84,02	6,53	59,14	66,53	81,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
	<b>Moyenne</b>	159,25	72,29	178,75	140,36	156,79	267,64	200,00
	<b>Ecart-Type</b>	95,485	58,129	75,744	120,205	74,410	195,774	101,049
	<b>Coef. de Variation</b>	0,600	0,804	0,424	0,856	0,475	0,731	0,505
<b>Biskra</b>	<b>Somme Annuelle</b>	2816,59	1157,433	2917,680	2764,994	2192,492	4338,3	2843
	<b>Max</b>	369,79	243,03	373,31	511,13	279,16	732,60	407,00
	<b>Mois du Max</b>	Jul.	Jul.	Jun.	Jul.	Jul.	Sep.	Jul.
	<b>Min</b>	105,51	12,85	103,08	12,82	81,61	88,80	103,00
	<b>Mois du MIN</b>	Déc.	Jan.	Déc.	Déc.	Déc.	Déc.	Déc.
	<b>Moyenne</b>	234,72	96,45	243,14	230,42	182,71	361,53	236,92
	<b>Ecart-Type</b>	92,890	84,203	97,476	188,113	73,861	254,671	109,126
	<b>Coef. de Variation</b>	0,396	0,873	0,401	0,816	0,404	0,704	0,461

### III.4 Comparaison des différentes méthodes d'estimation

Les mesures de l'évaporation à partir de l'évaporomètre de Piche installé aux stations retenues dans l'étude, ont été confrontés avec les valeurs de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) estimées par les différentes méthodes, en se basant sur les mesures météorologiques collectés de la station comme la température, l'humidité relative, la vitesse du vent et la durée d'insolation. Cette confrontation permet d'identifier quelles sont les méthodes d'estimation d'ETP qui donnent des estimations les plus proches des mesures réels.

Les valeurs moyennes mensuelles et annuelles au cours de la période (1992-2002) de l'évaporation mesurée et ceux estimées par les six formules sont illustrées sur les figures III.2, III.3, III.4, III.5, et III.6

- Les six formules présentent la même tendance d'évolution d'évapotranspiration.
- Les valeurs données par la formule de Penman-Monteith sont plus proches des valeurs de l'ETP estimées par la formule de l'ANRH, bien que cette dernière dépend de la température comme unique variable climatique exploitée.
- La formule de Thornthwaite sous-estime l'ETP par rapport aux autres formules.
- La formule de l'ANRH surestime l'ETP pour les stations situées sur le littoral méditerranéen à l'exception de la station de Annaba.
- Pour les stations des hauts plateaux et l'Atlas Saharien, les valeurs estimées par la formule de Bouchet à partir de l'ETP mesurée sont nettement supérieures par rapport à celles estimées par les autres formules.
- la formule de Blaney-Criddle traduit bien l'évolution de l'ETP mesurée pour les stations situées en zone semi-aride et aride (les hauts plateaux et l'Atlas Saharien).
- Les valeurs de l'ETP mesurées et celles estimées par les formules convergent entre le mois de février-October, tandis que la différence est importante pour le reste de l'année. L'écart est accru, notamment en juin-Aout.

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

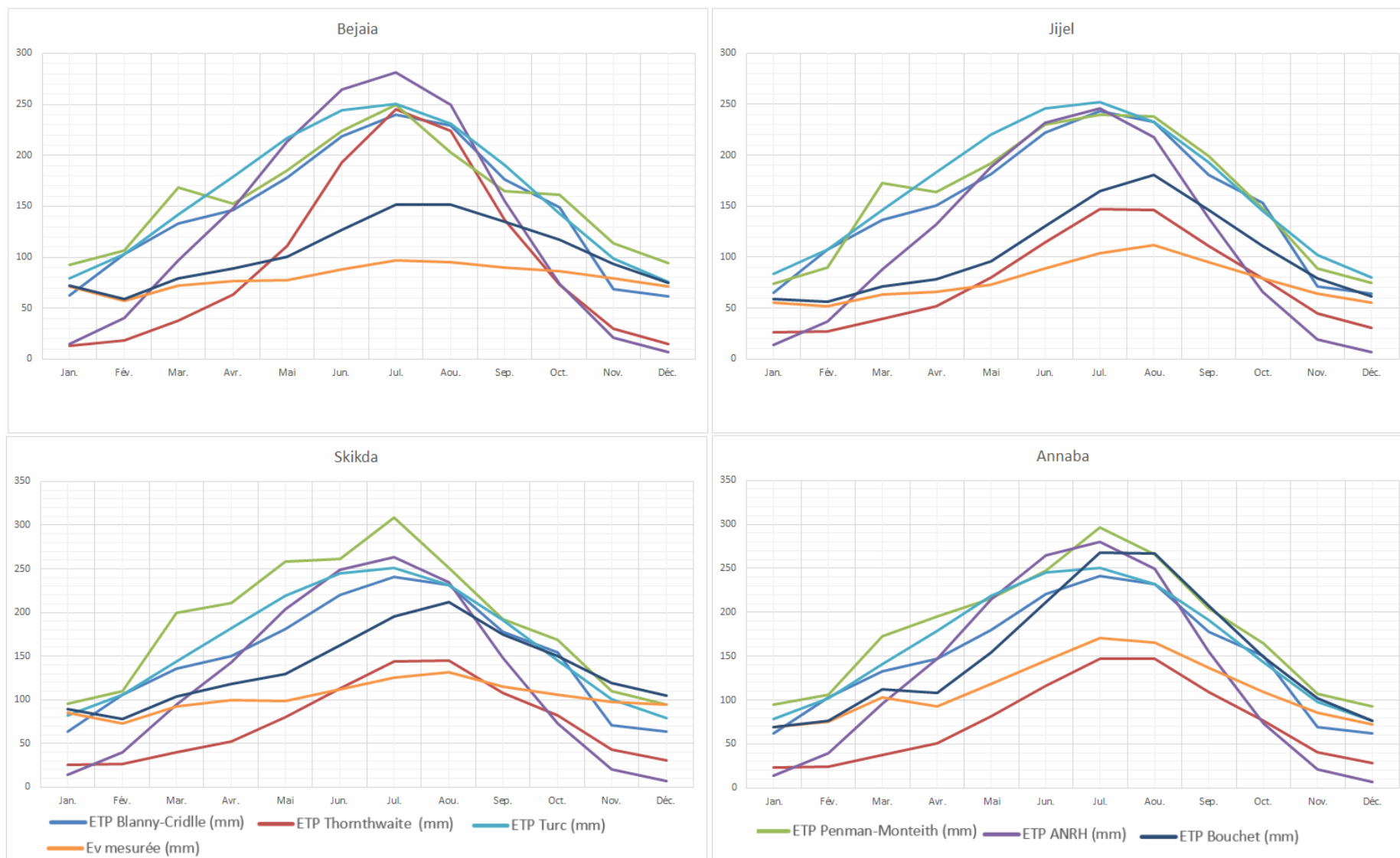


Figure III.2 (a) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

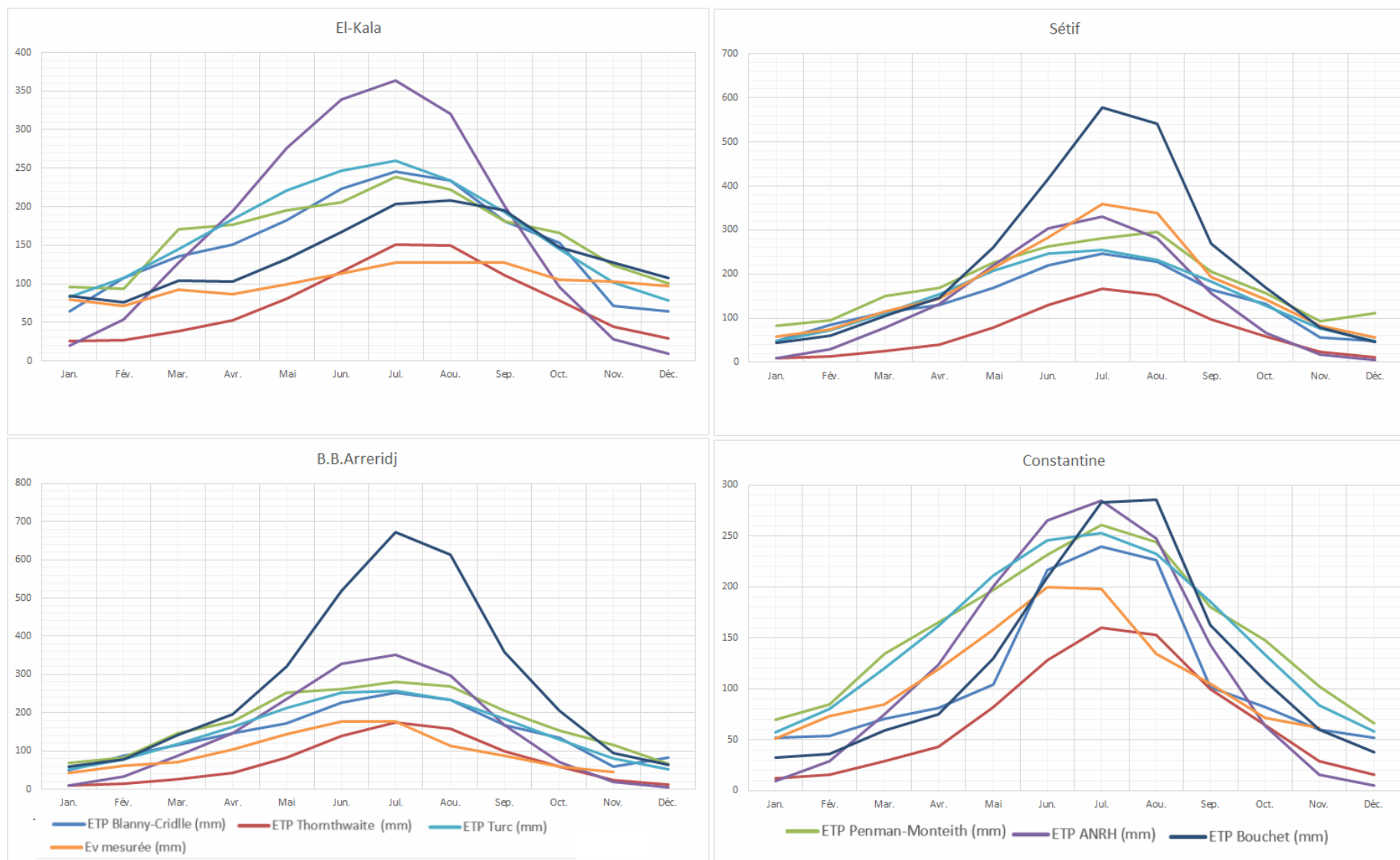


Figure III.3 (b) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

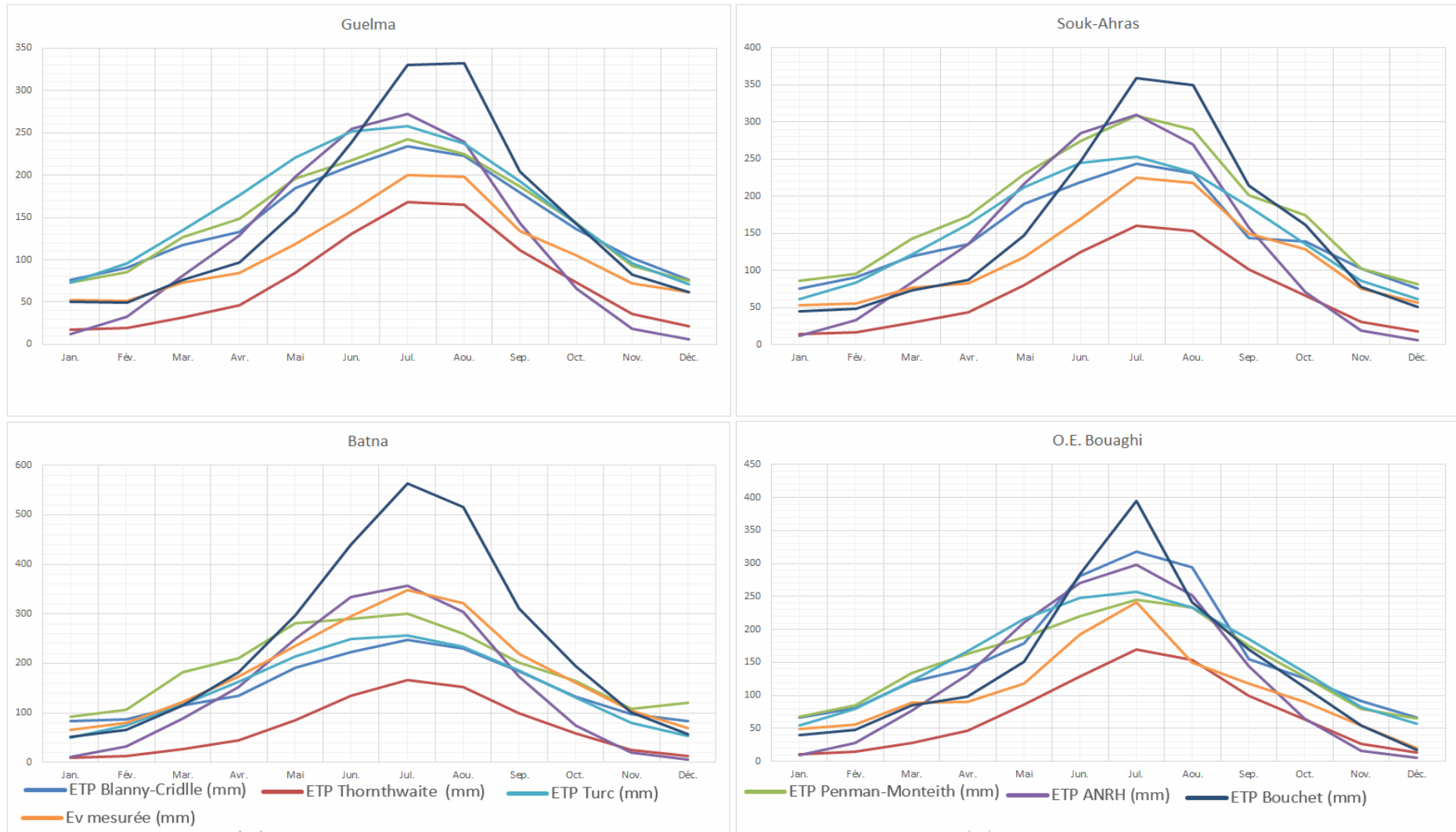


Figure III.4 (c) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

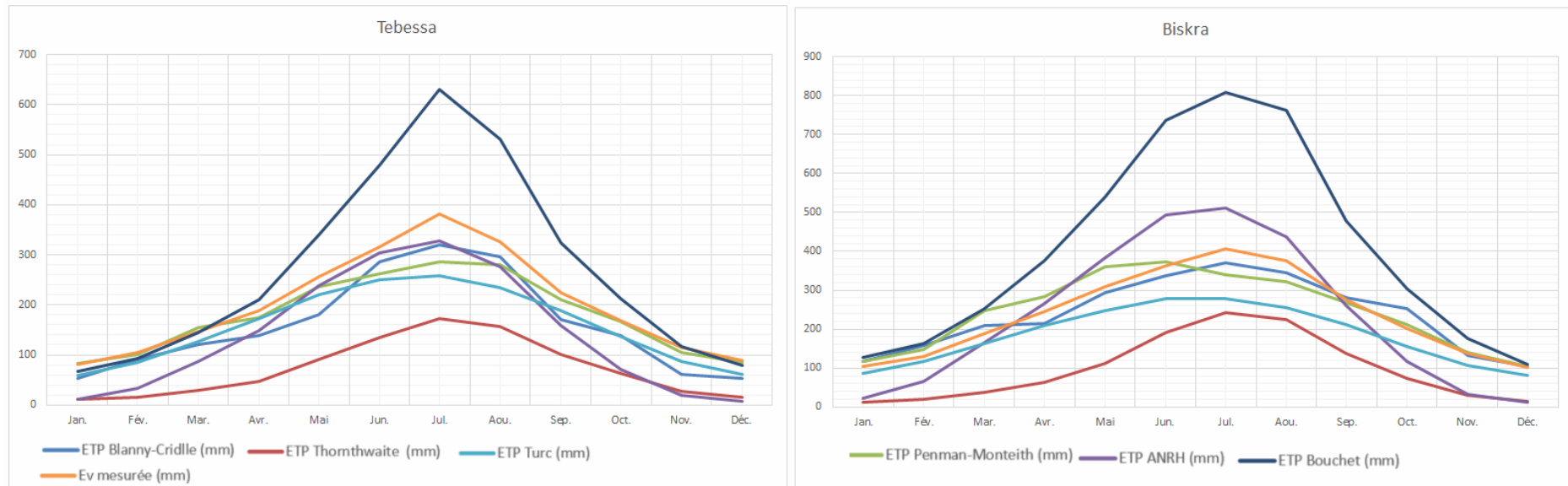


Figure III.5 (d) Évolution mensuelle de l'ETP estimée et de l'évaporation mesurée

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

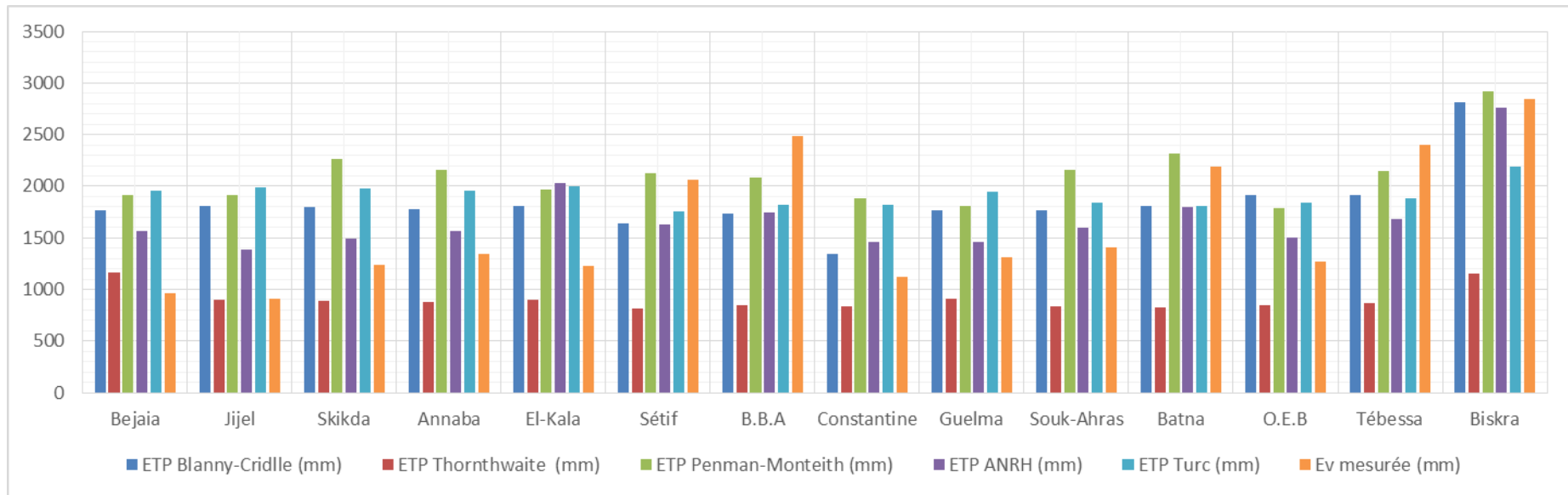


Figure III.6 Evapotranspiration potentielle interannuelle estimées par les différentes formules

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

---

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP, à l'échelle mensuelle ont été comparés à l'ETP mesurée (Piche), en se basant sur les valeurs de l'écart relatif « *ER* » (Tableau III.13 jusq' a ,III.17 et figure III.7 jusq' a III.11 ):

$$ER = \frac{ETP_{Piche} - EIP_i}{ETP_{Piche}} \quad 2.III$$

*EIP<sub>i</sub>* : *ETP* calculée par les méthodes es différentes formules.

ea méthode d'estimation de l'ETP donne une évaluation satisfaisante lorsque les valeurs de « *ER* » sont faibles.

- La formule de Blanny-Cridlle donne une erreur relative qui varie entre -44 mm à la station de Guelma en janvier et -222 mm en décembre à Oum El Bouaghi. Le coefficient de variation spatiale se situe entre 0,8 en février à 4,8 en novembre. La moyenne annuelle absolue de l'erreur relative pour les 14 stations et de 41 mm.

- Pour la méthode de Thornthwaite, La moyenne annuelle absolue de l'erreur relative pour les 14 stations augmente à 49 mm. Le max (87 mm) est enregistré à la station de Bordj Bou Arreridj de et le min (57 mm) est enregistré à la même station en juillet avec un Cv qui se situe entre 0,14 en janvier et 1,1 en Aout.

- Avec une erreur relative qui varie entre -214mm à Oum El Bouagui en décembre et -74 mm à Constantine en novembre, la formule de Penman-Monteith enregistre 51 mm comme moyenne annuelle absolue de l'erreur relative, mais avec une marge de variation la plus atténuée par rapport aux autres méthodes (0,6<Cv <1,3).

- la marge de variation est remarquable (0,1<Cv <4,2) pour la formule de l'ANRH. Cette dernière enregistre une moyenne annuelle absolue de l'erreur relative de 57 mm. Le maximum de erreur relative se situe en juin à El Kala (-197 mm) et le minimum en mars à Bordj Bou Arreridj (42 mm).

- l'application de la formule de Turc pour les 14 stations d'étude donne une moyenne annuelle absolue de l'erreur relative de 47 mm. La marge de variation spatiale est remarquable ((0,8<Cv <3,8). Le max de erreur relative (-202 mm) est enregistré en Mai à jijel.

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.13 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Blanny-Cridlle)**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	12,10	-81,70	-84,42	-90,65	-128,49	-148,33	-147,47	-141,81	-96,09	-73,43	12,68	13,14	-84,01
Jijel	-18,05	-106,17	-116,62	-128,03	-148,69	-149,35	-133,97	-107,69	-90,13	-94,19	-11,94	-17,39	-99,42
Skikda	24,63	-45,40	-45,66	-50,00	-82,51	-96,92	-92,85	-75,31	-55,18	-45,42	27,80	32,57	-45,73
Annaba	10,25	-37,17	-28,40	-58,63	-52,67	-52,40	-41,18	-39,51	-29,91	-37,65	19,68	13,79	-32,28
El-Kala	18,25	-50,82	-47,91	-75,76	-82,17	-95,55	-93,40	-83,04	-42,39	-45,72	30,45	34,03	-47,55
Sétif	16,16	-14,73	1,75	9,76	21,06	22,50	31,34	32,44	14,54	7,45	31,63	14,92	20,34
B.B.A	34,03	3,54	21,71	20,30	32,43	33,68	38,39	38,14	33,55	21,23	40,61	-8,49	30,29
Constantine	-30,11	-27,52	-14,17	-14,00	-0,04	-51,72	-34,65	-27,19	10,94	5,21	-2,25	-18,50	-19,51
Guelma	-44,20	-77,74	-61,08	-56,34	-55,18	-33,77	-16,81	-12,29	-33,87	-30,01	-42,35	-23,23	-34,68
Souk-Ahras	-41,66	-64,97	-56,18	-64,58	-60,46	-28,68	-8,44	-5,59	3,97	-8,61	-36,76	-34,58	-25,39
Batna	-25,16	-8,85	6,18	22,48	18,66	24,55	29,05	28,47	15,97	17,13	6,55	-19,01	17,67
O.E.B	-34,41	-47,00	-34,85	-54,04	-52,53	-46,24	-31,48	-96,14	-31,06	-40,60	-65,16	-221,86	-64,01
Tébessa	35,05	13,08	17,79	26,00	29,69	9,35	16,10	9,25	23,89	17,74	46,62	41,22	20,37
Biskra	-11,84	-20,18	-10,83	13,24	5,15	6,98	9,14	8,02	-2,10	-25,21	2,70	-2,44	0,93
MAX	44,20	106,17	116,62	128,03	148,69	149,35	133,97	107,69	90,13	94,19	65,16	221,86	99,42
MIN	10,25	3,54	1,75	9,76	0,04	9,35	8,44	5,59	3,97	5,21	2,25	8,49	17,67
MOY ABS	27,66	41,42	37,69	48,33	53,01	53,73	47,31	46,26	32,12	30,91	30,15	39,97	38,10
MOY	-4,60	-38,65	-29,79	-35,24	-36,03	-38,71	-28,16	-28,20	-14,97	-19,46	3,74	-17,21	-23,32
E-TYPE	10,65	30,79	31,43	33,29	39,21	40,50	38,42	35,18	23,14	24,75	18,05	58,15	23,82
CV	2,31	0,80	1,06	0,94	1,09	1,05	1,36	1,25	1,55	1,27	4,83	3,38	1,02

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

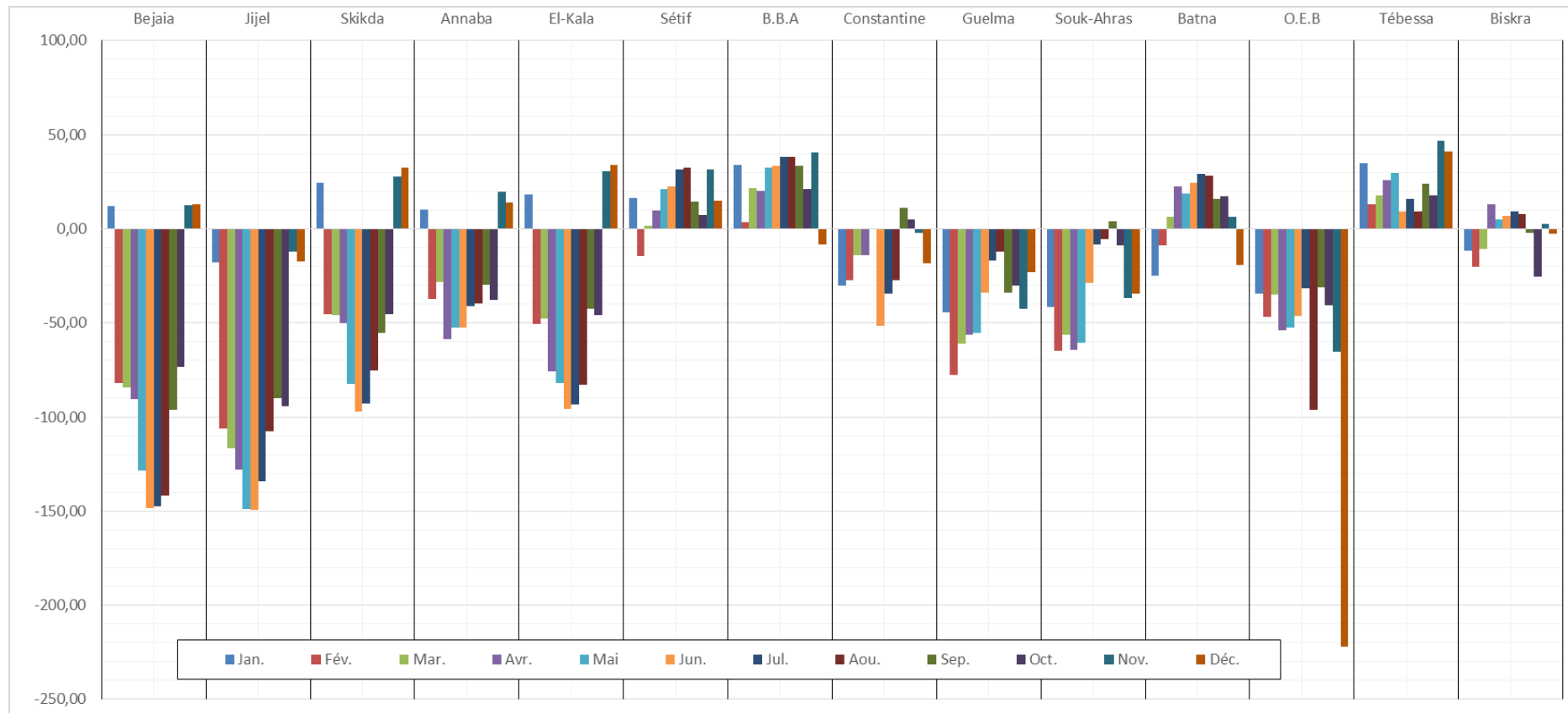


Figure III.7 Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Blanny-Cridle)

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.14 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Thornthwaite)**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	82,10	67,40	47,28	18,02	-42,36	-119,99	-152,58	-136,11	-52,14	15,29	62,41	79,02	-20,78
Jijel	52,08	48,58	36,64	21,82	-9,95	-28,81	-41,42	-30,76	-17,11	-0,50	29,60	44,08	0,83
Skikda	69,81	63,82	57,32	48,05	19,09	-1,08	-14,97	-9,80	6,02	22,77	55,61	67,72	27,84
Annaba	66,55	67,92	63,59	45,55	30,72	19,55	14,18	11,22	20,42	29,85	52,27	61,10	34,35
El-Kala	67,53	62,64	57,40	39,43	19,24	-1,40	-18,88	-16,60	12,26	25,34	56,83	69,54	26,45
Sétif	84,08	82,20	77,48	71,72	62,80	54,02	53,40	54,86	50,17	58,94	70,59	79,24	60,70
B.B.A	87,16	84,62	81,72	76,66	67,87	59,18	57,13	57,76	60,93	65,31	74,70	83,89	65,95
Constantine	68,79	62,65	53,70	38,70	21,26	10,54	10,08	14,10	12,32	26,37	50,56	64,07	25,83
Guelma	66,46	62,17	55,89	44,91	28,97	17,28	15,78	16,69	16,70	30,09	49,94	65,02	30,73
Souk-Ahras	73,42	70,10	61,96	47,46	31,79	26,83	28,71	29,92	31,76	48,34	58,77	68,23	40,42
Batna	85,97	83,61	78,24	74,36	63,69	54,61	52,02	52,36	54,76	63,20	75,36	82,16	62,22
O.E.B	78,04	73,82	68,19	48,28	26,34	33,03	29,65	-2,45	16,08	29,09	51,74	32,67	27,96
Tébessa	86,04	85,50	80,09	74,59	64,42	57,06	54,55	52,04	55,22	62,24	75,42	83,80	63,86
Biskra	87,76	85,64	79,81	74,57	64,18	47,11	40,29	40,18	50,39	63,94	78,07	85,37	59,29
MAX	87,16	85,50	81,72	76,66	67,87	59,18	57,13	57,76	60,93	65,31	75,42	83,89	65,95
MIN	52,08	48,58	36,64	21,82	9,95	1,08	10,08	2,45	6,02	0,50	29,60	32,67	0,83
MOY ABS	73,83	70,63	64,35	52,63	37,18	30,28	32,56	29,05	29,48	38,50	58,45	66,79	38,93
MOY	73,83	70,63	64,35	52,63	35,52	25,07	20,02	19,11	26,63	38,42	58,45	66,79	38,93
E-TYPE	10,70	11,56	13,44	17,56	21,20	21,51	18,15	20,21	20,10	20,57	13,64	15,69	20,18
CV	0,14	0,16	0,21	0,33	0,60	0,86	0,91	1,06	0,75	0,54	0,23	0,23	0,52

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

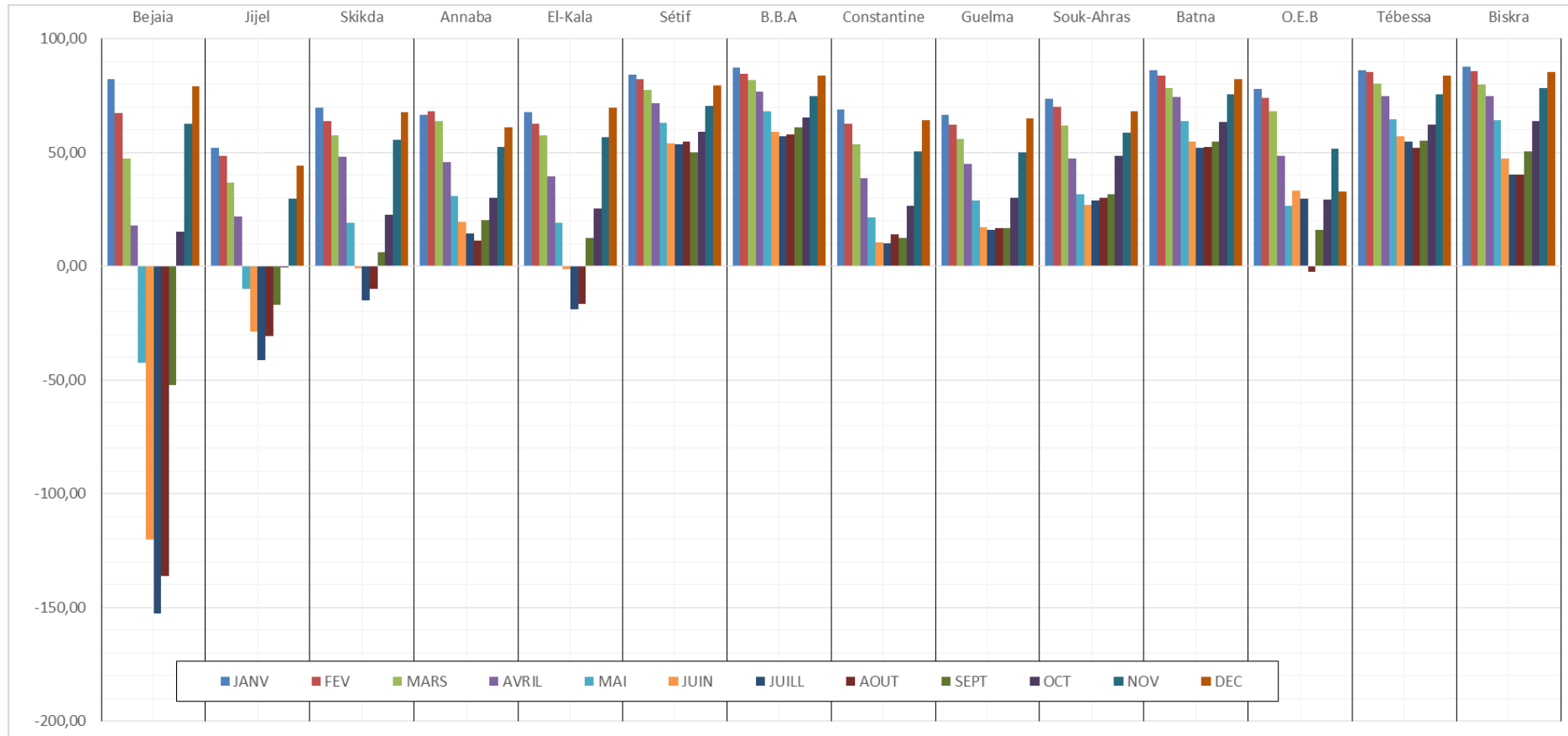


Figure III.8 Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Thornthwaite)

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Tableau III.15 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Penman-Monteith)

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	-30,54	-86,82	-133,49	-98,61	-137,60	-154,58	-157,20	-113,64	-83,56	-87,88	-43,59	-32,97	-99,44
Jijel	-34,04	-72,29	-174,16	-148,85	-163,71	-158,39	-130,73	-112,60	-109,79	-86,82	-39,08	-36,15	-110,76
Skikda	-12,53	-50,42	-114,46	-110,82	-160,95	-133,56	-146,78	-89,93	-67,05	-59,18	-12,70	0,35	-83,36
Annaba	-36,80	-40,89	-67,57	-110,05	-82,31	-70,40	-73,61	-60,08	-48,82	-51,29	-24,84	-29,21	-60,86
El-Kala	-21,15	-32,13	-85,46	-105,28	-95,85	-80,77	-87,66	-73,75	-42,35	-58,52	-20,48	-3,31	-60,36
Sétif	-43,12	-27,57	-29,82	-17,71	-5,16	7,29	21,86	12,99	-6,69	-10,83	-12,67	-94,61	-3,19
B.B.A	9,61	7,96	1,85	4,26	1,36	23,51	31,03	28,46	19,07	9,35	-18,34	13,13	16,09
Constantine	-74,83	-102,17	-116,29	-133,20	-89,53	-61,87	-46,76	-37,20	-58,40	-69,78	-73,75	-50,68	-68,06
Guelma	-37,11	-68,16	-73,79	-74,88	-65,01	-37,62	-21,03	-13,55	-39,11	-36,07	-28,99	-20,71	-38,29
Souk-Ahras	-61,47	-73,89	-87,87	-110,57	-94,86	-61,41	-36,82	-32,98	-34,71	-36,24	-36,79	-44,80	-60,68
Batna	-38,65	-35,09	-48,11	-21,25	-19,64	1,58	13,57	19,27	7,84	-2,55	-3,13	-72,54	-5,59
O.E.B	-37,09	-53,41	-50,85	-79,02	-60,23	-14,67	-1,44	-55,49	-47,12	-42,50	-44,50	-213,83	-52,44
Tébessa	-3,73	3,79	-4,90	7,44	8,05	17,24	24,72	14,10	6,44	1,32	8,52	6,03	10,63
Biskra	-11,78	-13,02	-31,41	-15,70	-16,15	-2,84	16,64	13,96	2,49	-5,14	-2,67	-0,08	-2,63
MAX	74,83	102,17	174,16	148,85	163,71	158,39	146,78	112,60	109,79	86,82	73,75	213,83	110,76
MIN	3,73	3,79	1,85	4,26	1,36	1,58	1,44	12,99	6,44	1,32	3,13	0,35	3,19
MOY ABS	34,18	47,31	71,26	76,95	70,56	55,69	53,00	45,87	40,62	38,71	26,98	48,78	47,53
MOY	-32,58	-45,36	-70,95	-74,99	-68,99	-47,42	-37,80	-33,40	-35,06	-36,93	-25,56	-45,53	-43,07
E-TYPE	20,65	28,72	49,43	51,56	55,82	49,84	46,95	32,83	29,86	28,00	19,49	59,37	33,58
CV	0,63	0,63	0,70	0,69	0,81	1,05	1,24	0,98	0,85	0,76	0,76	1,30	0,78

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

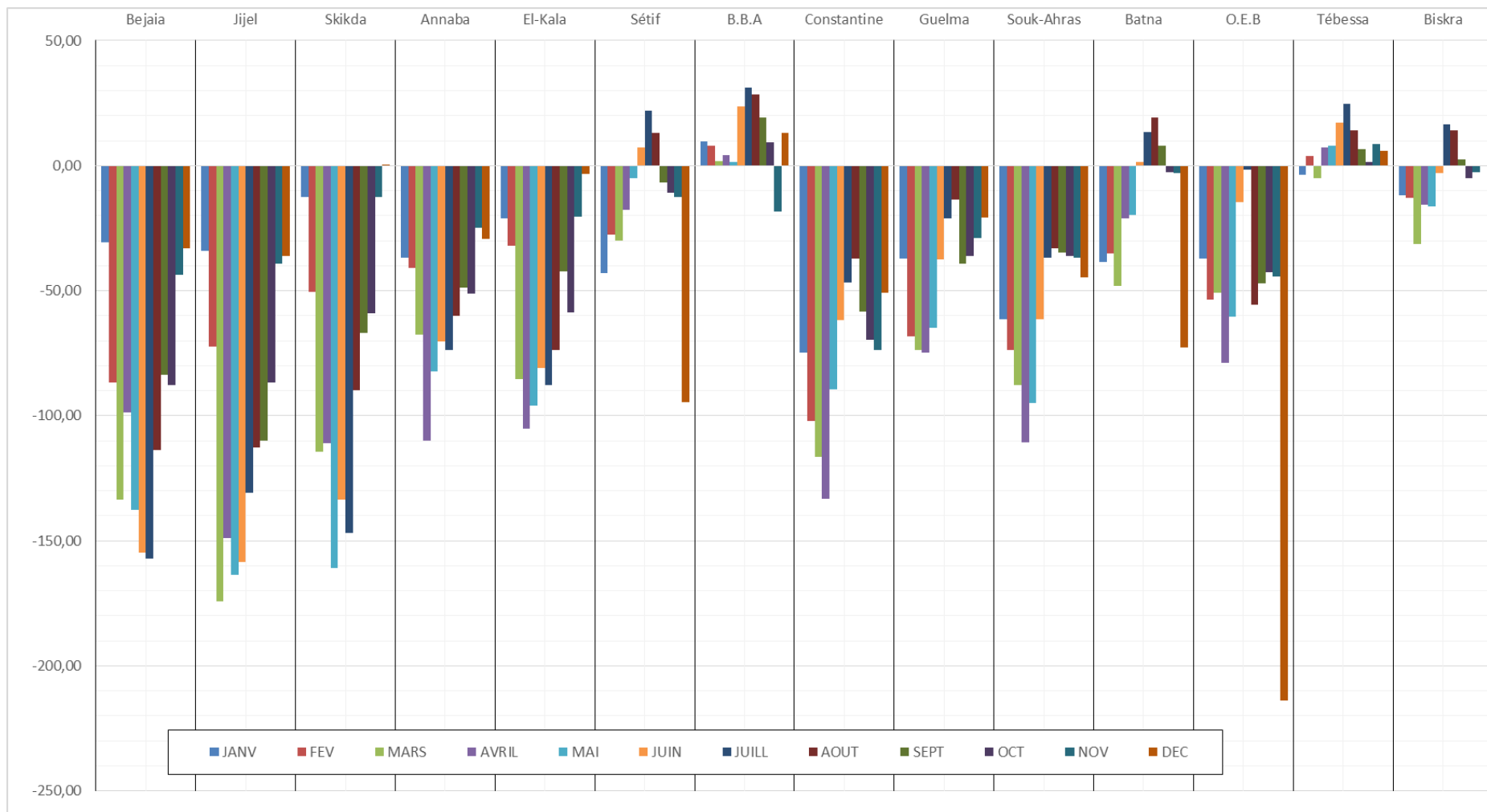


Figure III.9 Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Penman-Monteith)

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.16 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (ANRH)**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	78,99	29,56	-35,03	-92,03	-173,71	-200,25	-189,86	-162,48	-72,57	14,22	73,49	89,90	-62,91
Jijel	74,69	28,71	-39,61	-100,75	-158,52	-160,09	-136,53	-94,40	-45,56	16,02	69,84	87,72	-52,82
Skikda	82,74	45,79	-1,51	-43,27	-105,81	-122,57	-111,14	-78,10	-28,50	31,39	79,10	92,50	-21,01
Annaba	79,03	47,63	7,36	-58,28	-81,94	-82,75	-63,81	-50,13	-13,66	32,45	75,90	90,17	-16,26
El-Kala	74,78	24,18	-38,39	-125,90	-176,27	-197,45	-186,00	-150,24	-58,84	8,49	72,84	90,20	-65,14
Sétif	83,62	61,11	31,89	8,25	-2,76	-6,74	7,81	17,16	18,45	52,65	80,26	91,19	20,97
B.B.A	85,91	64,57	41,87	21,30	7,82	4,28	14,02	21,19	34,00	57,88	81,77	92,62	29,55
Constantine	75,18	31,71	-21,49	-74,88	-92,59	-85,74	-59,71	-38,92	-25,27	27,10	72,51	88,24	-30,41
Guelma	76,97	35,66	-11,52	-52,20	-66,79	-61,13	-36,31	-21,09	-7,20	36,99	74,77	89,95	-11,10
Souk-Ahras	77,82	41,00	-9,53	-65,33	-83,87	-67,65	-37,67	-23,42	-5,63	44,72	75,25	88,87	-13,65
Batna	83,09	59,36	28,01	12,08	-6,31	-12,89	-2,56	5,41	20,59	53,52	81,53	90,85	17,88
O.E.B	80,12	48,76	13,97	-44,82	-78,76	-40,72	-23,46	-67,95	-21,91	28,16	70,80	74,20	-28,80
Tébessa	85,61	68,56	40,53	21,66	7,25	3,71	13,95	15,04	28,82	57,50	83,52	92,74	29,82
Biskra	77,58	50,51	12,32	-7,84	-23,92	-35,58	-25,59	-16,47	5,92	42,42	75,54	87,56	2,74
MAX	85,91	68,56	41,87	125,90	176,27	197,45	186,00	150,24	58,84	57,88	83,52	92,74	65,14
MIN	74,69	24,18	1,51	8,25	2,76	3,71	2,56	5,41	5,63	8,49	69,84	74,20	11,10
MOY ABS	79,96	46,42	23,81	52,39	72,39	70,48	57,75	48,59	25,70	37,24	76,51	89,10	28,12
MOY	79,96	46,42	3,47	-41,84	-69,88	-69,14	-51,78	-38,79	-8,73	37,24	76,51	89,10	-11,75
E-TYPE	4,16	14,71	14,70	35,77	58,51	63,57	57,96	42,52	15,26	16,28	4,62	4,98	16,06
CV	0,05	0,32	4,24	0,85	0,84	0,92	1,12	1,10	1,75	0,44	0,06	0,06	1,37

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

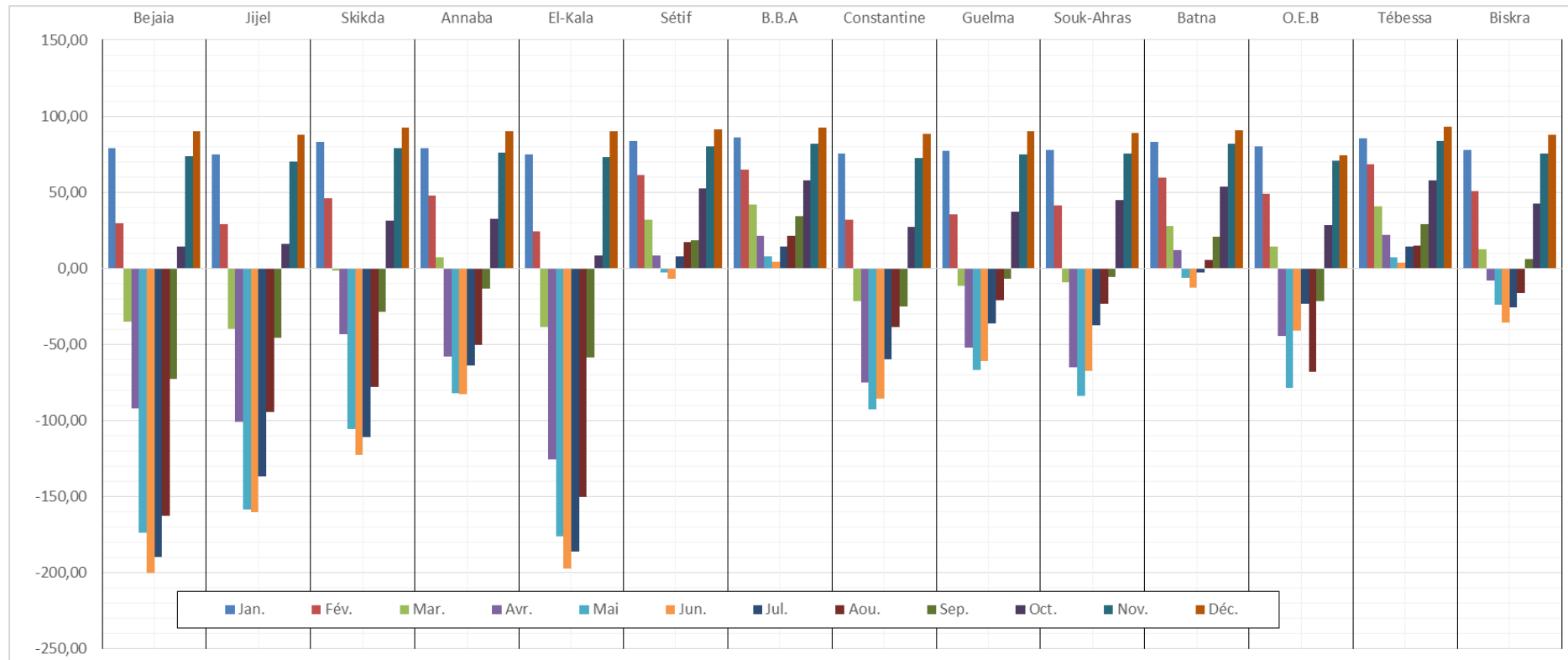


Figure III.10 Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (ANRH)

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

**Tableau III.17 Statistiques des erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Ture)**

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Bejaia	-12,23	-81,11	-96,76	-132,29	-178,48	-177,34	-158,00	-143,61	-111,97	-66,01	-24,64	-6,84	-103,36
Jijel	-52,09	-107,21	-131,55	-177,38	-201,94	-176,79	-142,51	-107,86	-103,49	-83,91	-59,01	-45,06	-119,66
Skikda	3,46	-45,57	-55,34	-82,22	-121,61	-118,81	-100,50	-75,68	-66,60	-37,29	-2,41	16,99	-60,45
Annaba	-13,67	-36,00	-36,45	-92,71	-85,52	-69,34	-46,74	-39,83	-39,69	-30,94	-14,09	-5,59	-45,53
El-Kala	-4,95	-51,36	-57,85	-113,56	-120,93	-116,62	-104,42	-82,53	-52,19	-37,82	1,40	18,80	-62,63
Sétif	18,42	3,27	2,76	-7,31	3,19	13,36	29,03	31,66	5,53	9,73	7,59	14,10	14,59
B.B.A	31,70	14,81	20,49	12,42	17,16	26,49	36,79	37,81	26,81	22,99	18,35	31,16	26,88
Constantine	-42,97	-91,88	-93,88	-128,16	-103,44	-72,09	-42,01	-30,40	-62,48	-53,40	-42,62	-31,82	-62,51
Guelma	-37,93	-88,45	-85,17	-106,98	-85,62	-59,23	-28,96	-20,01	-44,08	-35,66	-32,61	-15,11	-48,91
Souk-Ahras	-15,05	-51,09	-60,00	-98,17	-79,06	-43,99	-12,49	-6,53	-25,08	-5,59	-15,32	-9,79	-30,90
Batna	24,35	6,42	5,05	6,09	8,95	15,65	26,59	27,45	15,30	18,43	22,53	24,47	17,75
O.E.B	-11,42	-43,17	-36,20	-84,44	-83,80	-28,55	-6,41	-55,79	-57,02	-49,87	-50,08	-176,73	-57,06
Tébessa	26,99	19,57	14,03	9,04	13,85	20,50	32,21	27,88	15,94	18,69	24,04	32,75	21,61
Biskra	18,55	10,55	12,95	14,99	19,90	23,64	31,41	31,76	23,69	22,46	21,46	20,77	22,88
MAX	52,09	107,21	131,55	177,38	201,94	176,79	142,51	107,86	103,49	83,91	59,01	176,73	119,66
MIN	3,46	3,27	2,76	6,09	3,19	13,36	6,41	6,53	5,53	5,59	1,40	5,59	14,59
MOY ABS	23,58	46,57	49,90	76,54	77,09	63,45	50,72	45,29	42,85	33,69	24,17	35,20	47,37
MOY	-6,10	-39,22	-42,84	-71,95	-69,90	-50,78	-29,95	-24,49	-32,25	-22,05	-11,85	-12,15	-33,90
E-TYPE	15,29	34,21	39,07	55,91	58,83	50,87	41,96	29,53	27,59	21,64	18,54	45,97	29,02
CV	2,51	0,87	0,91	0,78	0,84	1,00	1,40	1,21	0,86	0,98	1,56	3,78	0,86

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

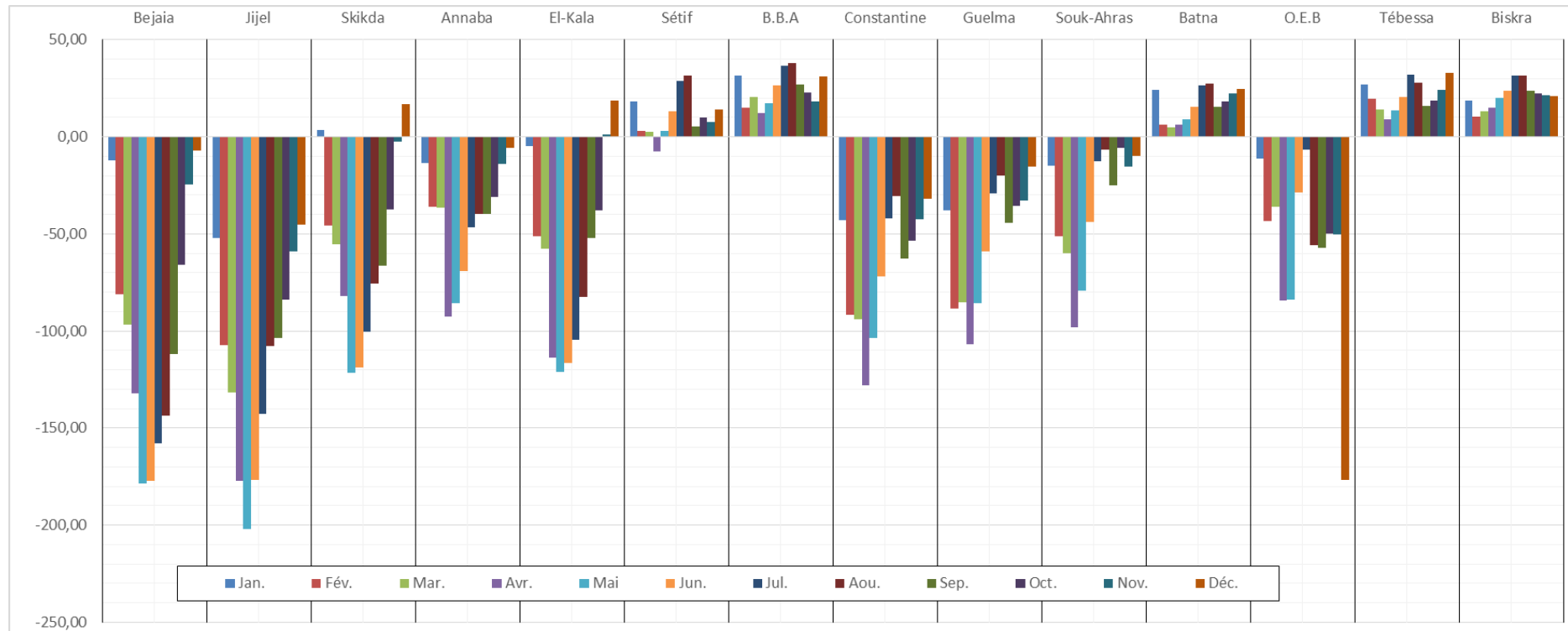


Figure III.11 Erreurs relatives en mm pour les 14 stations (Turc)

### III.5 Corrélation entre l'évaporation mesurée et les estimations de l'évapotranspiration

En terme de moyenne, une corrélation significative existe entre l'ETP estimée à partir des différentes formules et l'évaporation (Piche) et celles estimées à partir des formules empiriques. Cependant cette corrélation est moins significative pour les stations situées sur le littoral méditerranéen (figure III.12). Le coefficient de corrélation varie entre (0,69 et 0,98 (tableau III.18).

La meilleure corrélation est obtenue entre l'évaporation (Piche) et l'ETP Thornthwaite, avec un coefficient de corrélation de 0,965. Cependant cette formule sous-estime l'ETP notamment pour les stations situées en zones semi-arides et arides. Les valeurs de l'ETP estimées par la formule de de Blanny-Cridlle sont bien corrélées avec les valeurs de l'évaporation mesurées ( $r_{moy}=0,92$ ), mais ce modèle surestime l'ETP sur le littoral.

La corrélation des valeurs de l'ETP des méthodes de Penman-Monteith et de l'ANRH sont également bien corrélées avec les valeurs de l'évaporation mesurées ( $r_{moy}=0,90$ ).

Il ressort clairement des différents critères abordés précédemment, que les modèles de Penman-Monteith et de l'ANRH aboutissent presque à la même fourchette de résultats. Ceci nous conduit à les adapter pour l'estimation de l'ETP dans notre zone d'étude (le nord-est algérien) : il est préférable d'utiliser la formule de Penman-Monteith, car elle est la seule formule qui utilise plus de données climatiques. Alors que, la formule de l'ANRH peut être également utilisée au niveau des postes climatiques auxiliaires où les seules données disponibles sont les précipitations et occasionnellement les températures.

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Tableau III.18 (a) Matrices de corrélation ETP Calculée-Ev mesurée

Mois		Blanny-Cridlle (mm)	Thorntwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Bejaia	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thorntwaite (mm)	0,946	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,962	0,917	1,00			
	ANRH (mm)	0,968	0,938	0,951	1,00		
	Turc (mm)	0,977	0,925	0,956	0,992	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,778</b>	<b>0,866</b>	<b>0,786</b>	<b>0,742</b>	<b>0,763</b>	<b>1,00</b>
Jijel	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thorntwaite (mm)	0,924	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,978	0,89	1,00			
	ANRH (mm)	0,967	0,883	0,963	1,00		
	Turc (mm)	0,975	0,886	0,973	0,993	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,892</b>	<b>0,988</b>	<b>0,879</b>	<b>0,833</b>	<b>0,841</b>	<b>1,00</b>
Skikda	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thorntwaite (mm)	0,927	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,948	0,831	1,00			
	ANRH (mm)	0,966	0,883	0,972	1,00		
	Turc (mm)	0,975	0,888	0,973	0,993	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,804</b>	<b>0,936</b>	<b>0,736</b>	<b>0,769</b>	<b>0,777</b>	<b>1,00</b>
Annaba	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thorntwaite (mm)	0,935	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,981	0,925	1,00			
	ANRH (mm)	0,968	0,898	0,977	1,00		
	Turc (mm)	0,977	0,902	0,97	0,992	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,955</b>	<b>0,984</b>	<b>0,953</b>	<b>0,918</b>	<b>0,920</b>	<b>1,00</b>
El-Kala	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thorntwaite (mm)	0,927	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,953	0,892	1,00			
	ANRH (mm)	0,968	0,887	0,944	1,00		
	Turc (mm)	0,976	0,892	0,960	0,993	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,733</b>	<b>0,904</b>	<b>0,768</b>	<b>0,688</b>	<b>0,705</b>	<b>1,00</b>

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

(Suite)Tableau III.18 (b) Matrices de corrélation ETP Calculée-Ev mesurée

Mois		Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Evaporation-Piche (mm)
<b>Sétif</b>	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thornthwaite (mm)	0,965	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,980	0,963	1,00			
	ANRH (mm)	0,975	0,954	0,975	1,00		
	Turc (mm)	0,983	0,944	0,977	0,983	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,979</b>	<b>0,989</b>	<b>0,978</b>	<b>0,976</b>	<b>0,961</b>	<b>1,00</b>
<b>B.B.A</b>	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thornthwaite (mm)	0,960	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,955	0,931	1,00			
	ANRH (mm)	0,974	0,953	0,969	1,00		
	Turc (mm)	0,975	0,940	0,991	0,983	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,983</b>	<b>0,989</b>	<b>0,967</b>	<b>0,982</b>	<b>0,974</b>	<b>1,00</b>
<b>Constantine</b>	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thornthwaite (mm)	0,954	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,910	0,956	1,00			
	ANRH (mm)	0,930	0,943	0,977	1,00		
	Turc (mm)	0,887	0,938	0,991	0,986	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,961</b>	<b>0,997</b>	<b>0,957</b>	<b>0,941</b>	<b>0,932</b>	<b>1,00</b>
<b>Guelma</b>	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thornthwaite (mm)	0,970	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,995	0,950	1,00			
	ANRH (mm)	0,975	0,919	0,979	1,00		
	Turc (mm)	0,981	0,914	0,991	0,989	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,969</b>	<b>0,997</b>	<b>0,950</b>	<b>0,924</b>	<b>0,915</b>	<b>1,00</b>
<b>Souk-Ahras</b>	Blanny-Cridlle (mm)	1,00					
	Thornthwaite (mm)	0,954	1,00				
	Penman-Monteith (mm)	0,992	0,966	1,00			
	ANRH (mm)	0,979	0,936	0,984	1,00		
	Turc (mm)	0,973	0,933	0,987	0,987	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)	<b>0,939</b>	<b>0,993</b>	<b>0,950</b>	<b>0,903</b>	<b>0,903</b>	<b>1,00</b>

## CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

(suite) Tableau III.18 (c) Matrices de corrélation ETP Calculée-Ev mesurée

		Mois	Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Evaporation-Piche (mm)
<b>Batna</b>	Blanny-Cridlle (mm)		1,00					
	Thornthwaite (mm)		0,987	1,00				
	Penman-Monteith (mm)		0,945	0,890	1,00			
	ANRH (mm)		0,981	0,954	0,971	1,00		
	Turc (mm)		0,981	0,945	0,975	0,983	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)		<b>0,995</b>	<b>0,988</b>	<b>0,941</b>	<b>0,980</b>	<b>0,980</b>	<b>1,00</b>
<b>O.E.B</b>	Blanny-Cridlle (mm)		1,00					
	Thornthwaite (mm)		0,971	1,00				
	Penman-Monteith (mm)		0,956	0,948	1,00			
	ANRH (mm)		0,969	0,948	0,983	1,00		
	Turc (mm)		0,940	0,940	0,991	0,984	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)		<b>0,954</b>	<b>0,936</b>	<b>0,932</b>	<b>0,945</b>	<b>0,925</b>	<b>1,00</b>
<b>Tébessa</b>	Blanny-Cridlle (mm)		1,00					
	Thornthwaite (mm)		0,976	1,00				
	Penman-Monteith (mm)		0,970	0,966	1,00			
	ANRH (mm)		0,969	0,949	0,979	1,00		
	Turc (mm)		0,951	0,940	0,990	0,984	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)		<b>0,985</b>	<b>0,983</b>	<b>0,985</b>	<b>0,985</b>	<b>0,975</b>	<b>1,00</b>
<b>Biskra</b>	Blanny-Cridlle (mm)		1,00					
	Thornthwaite (mm)		0,946	1,00				
	Penman-Monteith (mm)		0,927	0,827	1,00			
	ANRH (mm)		0,948	0,931	0,958	1,00		
	Turc (mm)		0,962	0,904	0,984	0,986	1,00	
	Evaporation-Piche (mm)		<b>0,977</b>	<b>0,964</b>	<b>0,942</b>	<b>0,987</b>	<b>0,983</b>	<b>1,00</b>

### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

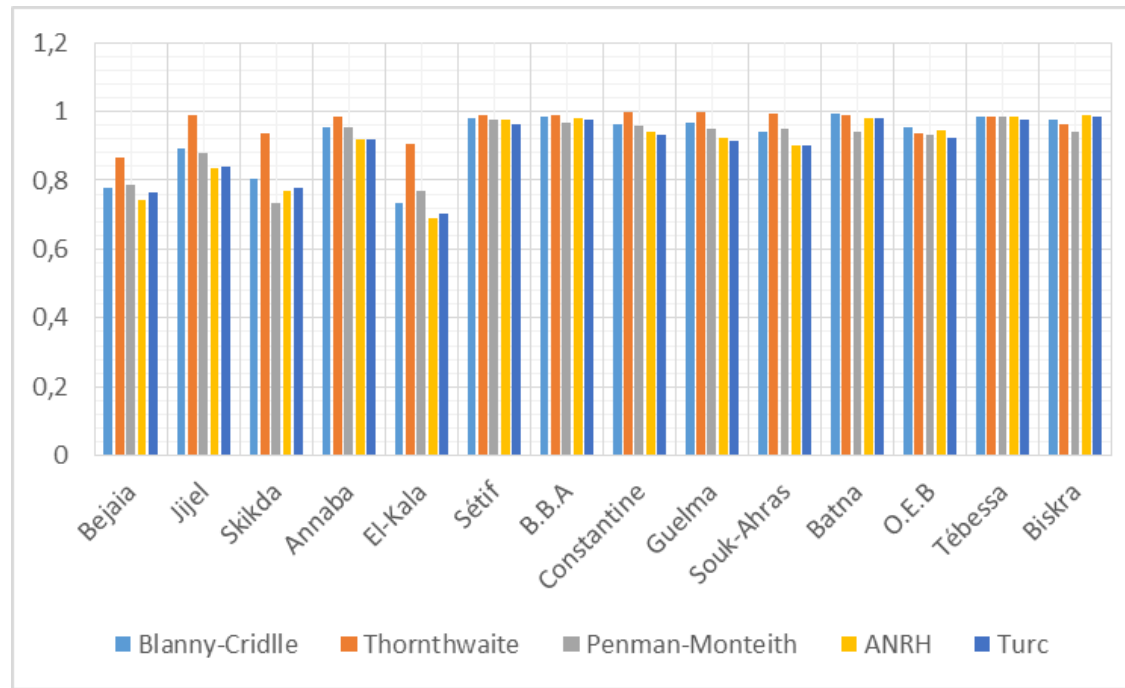


Figure III.12 Evolution de coefficient de corrélation

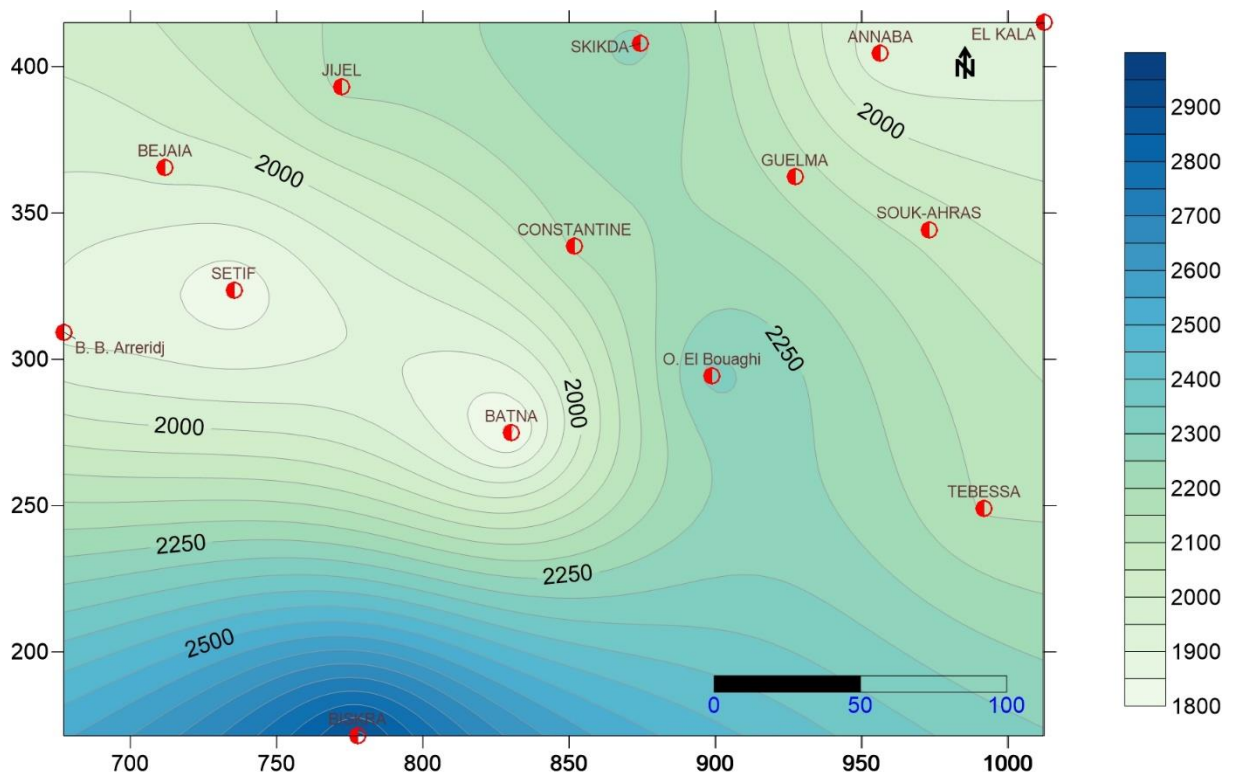
### III.6 Interpolation et spatialisation

Lorsque dans une région, on dispose d'un réseau suffisamment dense d'estimations de l'ETP, l'interpolation dans l'espace peut se faire facilement grâce à la cartographie de cette donnée.

Le but est d'obtenir une information continue de tout l'espace d'étude, en partant de valeurs ponctuelles par interpolation. Le choix de la méthode d'interpolation dépend de la nature des données et la précision du résultat dépend de la méthode choisie (Guidoum 2017). On peut citer les fonctions d'interpolation suivantes : La recherche du plus proche voisin (Voronoi ou Thiessen), Le calcul d'une surface de tendance, la pondération en fonction de l'inverse de la distance (Inverse distance weighting), Les méthodes par courbes spline (Splining), et les méthodes d'interpolation par krigeage (Joliveau, 2004 in Guidoum 2017). Cette dernière méthode a été choisie pour notre étude et sa mise en application a été réalisée par le logiciel SURFER®.

On peut tracer le réseau des lignes d'égaies valeurs annuelles de l'évapotranspiration potentielle grâce aux valeurs estimées par les formules de Penman-Monteith et de l'ANRH, sur les 14 stations des retenues dans l'étude.

La démarche a été appliquée pour l'élaboration de quatre types d'esquisse en exploitant les résultats de la méthode de Penman-Monteith et celle de l'ANRH. ; Il s'agit des esquisses de l'ETP annuelle et mensuelle (l'exemple du mois de Janvier pour Penman-Monteith et celui du mois juillet pour l'ANRH), (Figures III.13, III.14, III.15 et III.16).



### CHAPITRE III ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

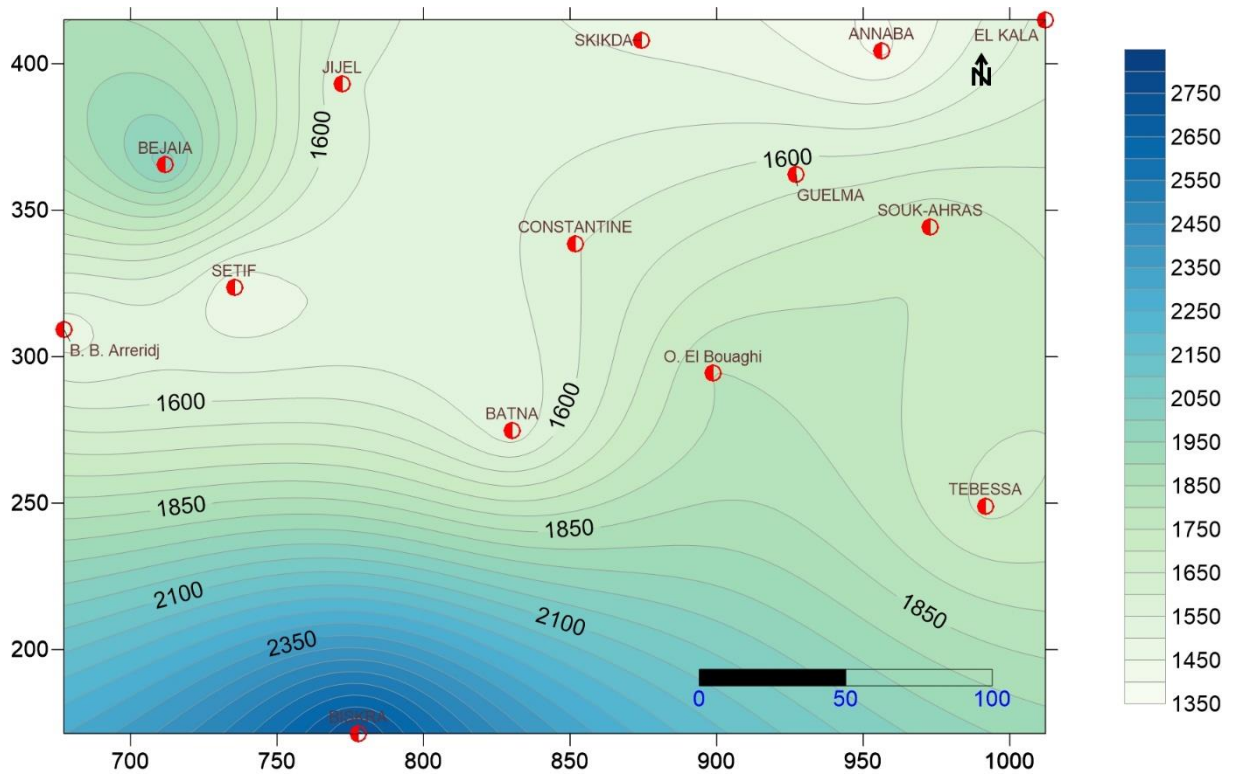


Figure III.14 Esquisse de l'ETP annuelle selon la formule de l'ANRH

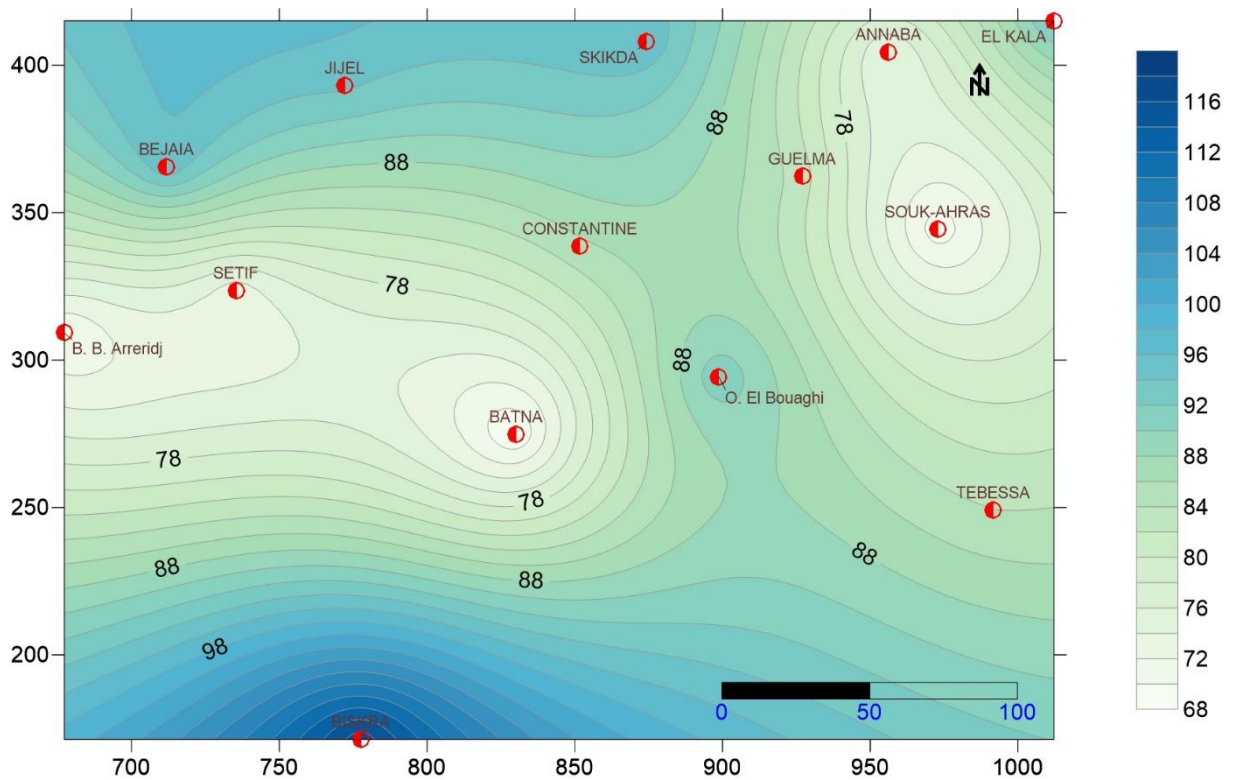


Figure III.15 Esquisse de l'ETP mensuelle selon la formule de Penman-Monteith pour le mois de Janvier

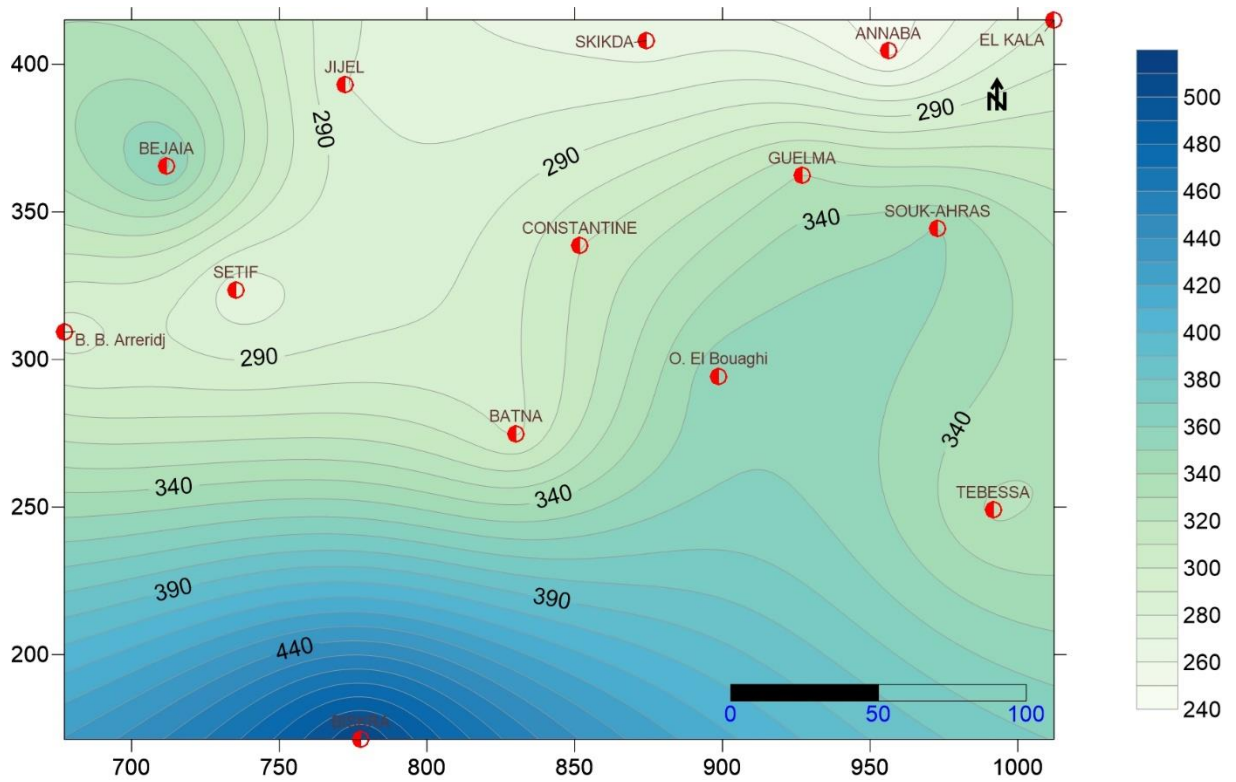


Figure III.16 Esquisse de l'ETP mensuelle selon la formule de l'ANRH pour le mois de Juillet

Il convient de noter que, compte tenu de l'étendue de la zone d'étude et de ses contrastes climatiques, le nombre des stations utilisées pour le tracé de cette esquisse est insuffisant pour tirer des conclusions définitives sur la répartition spatiale de l'ETP.

## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

L'évapotranspiration est une étape importante du cycle de l'eau dans la nature. C'est le processus de transfert d'humidité du sol vers l'atmosphère par évaporation de l'eau et transpiration des plantes.

L'estimation de l'évapotranspiration est une étape essentielle dans la modélisation de la production agricole et la planification de l'irrigation. La détermination de la valeur exacte de la quantité d'eau évapotranspirée par les instruments de mesure directe nécessite un personnel d'autant qualifié outre les moyens de mesure très sophistiqués. Pour ces raisons, la mesure de ce paramètre échappe souvent à la maîtrise.

Par ailleurs, l'estimation de ce paramètre climatique important par le biais de formulations plus ou moins complexes qui nécessitent la connaissance d'un certain nombre de paramètres climatiques s'avèrent très utile.

L'objectif de cette étude a été l'estimation de l'évapotranspiration potentielle aux niveau de 14 stations climatiques réparties sur le nord-est algérien par différents modèles empiriques à savoir Blaney- Criddle, Thornthwaite, Penman-Monteith, Turc et le modèle dite ANRH. Ensuite, nous avons comparé ces résultats avec les valeurs de l'évaporation mesurées. Cette comparaison permet de choisir la formule la plus convenable à notre région d'étude.

Ce travail nous a permis de constater que :

Les six formules de l'évapotranspiration (Thornthwaite, Penman-Monteith, Blaney-Criddle, ANRH, Bouchet et Turc) ont toutes les mêmes tendances ; les valeurs les plus faibles concernent les mois d'hiver et les valeurs élevées se réfèrent aux mois d'été, avec un maximum pour en juillet-Aout.

Le bon appariement des valeurs estimées aux mesures de l'évaporation est avec les formules de Penman - Montieth et celle de L'ANRH. Ces formules en conséquence, sont les plus proches et les plus appropriée de la zone d'étude selon la disponibilité des données.

Nous recommandons pour la suite de cette étude de généralisée ces formules sur toutes l'Algérie septentrionale dont les conditions climatiques sont globalement les mêmes.

Par ailleurs, la cartographie automatique de l'ETP à l'échelle annuelle et mensuelle a été question dans cette étude. Visant à mettre en évidence la spatialisation de ce paramètre climatique à l'échelle annuelle et mensuelle, des esquisses cartographiques en été élaborées. Il s'agit de supports cartographiques simples, permettant une représentation synthétique facile à analyser et une bonne connaissance de la structuration spatiale des champs de l'ETP pour la région d'étude.

# **Annexe**

## Annexe

**Annexe : Statistique descriptive des estimations de l'ETP par les différentes formules des stations**

Bejaia	Blanny-Cridlle (mm)	Thorntwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	62,41	12,706	92,680	14,916	79,680	69,4	71
Fév.	103,57	18,585	106,490	40,153	103,234	57,4	57
Mar.	132,78	37,956	168,110	97,218	141,668	74,3	72
Avr.	146,80	63,122	152,930	147,867	178,860	84,3	77
Mai	178,22	111,038	185,330	213,495	217,212	95,8	78
Jun.	218,53	193,592	224,030	264,222	244,056	128,3	88
Jul.	240,05	245,005	249,480	281,169	250,256	154,3	97
Aou.	229,72	224,309	202,960	249,361	231,431	166,6	95
Sep.	176,48	136,924	165,200	155,316	190,771	140,9	90
Oct.	149,15	72,850	161,580	73,769	142,765	116,1	86
Nov.	68,98	29,692	113,440	20,940	98,464	91,2	79
Déc.	61,67	14,894	94,410	7,170	75,858	72,5	71
Annuel	1768,36	1160,673	1916,640	1565,595	1954,255	1251,1	961
MAX	240,05	245,01	249,48	281,17	250,26	166,61	97,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
MIN	61,67	12,71	92,68	7,17	75,86	57,36	57,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
MOY	147,36	96,72	159,72	130,47	162,85	104,26	80,08
E-TYPE	64,014	84,733	50,993	102,504	64,643	36,198	11,611
CV	0,434	0,876	0,319	0,786	0,397	0,347	0,145

## Annexe

Jijel	Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	64,93	26,354	73,720	13,922	83,651	53,7	55
Fév.	107,21	26,741	89,590	37,073	107,749	52,3	52
Mar.	136,47	39,919	172,720	87,952	145,878	65,0	63
Avr.	150,50	51,599	164,240	132,492	183,072	72,3	66
Mai	181,54	80,261	192,510	188,719	220,419	89,7	73
Jun.	221,92	114,639	229,970	231,480	246,339	129,7	89
Jul.	243,33	147,073	239,960	245,991	252,212	165,5	104
Aou.	232,61	146,454	238,110	217,731	232,804	196,4	112
Sep.	180,62	111,256	199,300	138,286	193,314	148,7	95
Oct.	153,41	79,398	147,590	66,347	145,290	106,7	79
Nov.	71,64	45,053	89,010	19,303	101,764	73,9	64
Déc.	64,56	30,757	74,880	6,754	79,783	56,2	55
Annuel	1808,75	899,504	1911,600	1386,051	1992,274	1210,1	907
MAX	243,33	147,07	239,96	245,99	252,21	196,43	112,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Aou.
MIN	64,56	26,35	73,72	6,75	79,78	52,33	52,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
MOY	150,73	74,96	159,30	115,50	166,02	100,84	75,58
E-TYPE	64,200	45,288	63,965	89,353	63,901	48,607	20,219
CV	0,426	0,604	0,402	0,774	0,385	0,482	0,268

## Annexe

Skikda	Blanny-Cridlle (mm)	Thorntwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	64,07	25,665	95,650	14,673	82,062	83,0	85
Fév.	106,14	26,414	109,810	39,571	106,269	73,5	73
Mar.	135,46	39,689	199,450	94,405	144,469	96,0	93
Avr.	150,00	51,945	210,820	143,271	182,225	109,5	100
Mai	180,69	80,102	258,340	203,754	219,393	121,6	99
Jun.	220,55	113,209	261,590	249,277	245,068	163,3	112
Jul.	241,06	143,708	308,480	263,921	250,626	198,9	125
Aou.	231,42	144,933	250,710	235,093	231,893	231,5	132
Sep.	178,46	108,078	192,110	147,780	191,589	180,0	115
Oct.	154,15	81,868	168,730	72,725	145,529	143,2	106
Nov.	70,76	43,503	110,450	20,479	100,359	113,1	98
Déc.	64,05	30,664	94,670	7,128	78,857	97,0	95
Annuel	1796,81	889,779	2260,810	1492,076	1978,340	1610,6	1233
MAX	241,06	144,93	308,48	263,92	250,63	231,50	132,00
Mois-MAX	Jul.	Aou.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Aou.
MIN	64,05	25,67	94,67	7,13	78,86	73,47	73,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
MOY	149,73	74,15	188,40	124,34	164,86	134,21	102,75
E-TYPE	63,855	44,477	73,371	96,234	63,894	49,573	16,504
CV	0,426	0,600	0,389	0,774	0,388	0,369	0,161

## Annexe

<b>Annaba</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thorntwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	61,93	23,082	94,390	14,467	78,435	67,4	69
Fév.	102,88	24,059	105,670	39,275	102,002	75,5	75
Mar.	132,26	37,498	172,600	95,418	140,544	106,3	103
Avr.	147,53	50,640	195,350	147,199	179,220	101,9	93
Mai	180,15	81,746	215,130	214,689	218,919	145,0	118
Jun.	220,99	116,652	247,080	264,991	245,543	211,4	145
Jul.	241,42	146,756	296,870	280,118	250,927	272,1	171
Aou.	231,58	147,372	265,730	249,224	232,118	291,1	166
Sep.	177,98	109,021	203,890	155,713	191,373	214,4	137
Oct.	150,04	76,463	164,910	73,624	142,721	147,2	109
Nov.	69,08	41,050	107,360	20,725	98,116	99,3	86
Déc.	62,07	28,010	93,030	7,076	76,026	73,5	72
<b>Annuel</b>	<b>1777,88</b>	<b>882,349</b>	<b>2162,010</b>	<b>1562,518</b>	<b>1955,944</b>	<b>1805,0</b>	<b>1344</b>
<b>MAX</b>	<b>241,42</b>	<b>147,37</b>	<b>296,87</b>	<b>280,12</b>	<b>250,93</b>	<b>291,13</b>	<b>171,00</b>
<b>Mois-MAX</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aou.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aou.</b>	<b>Jul.</b>
<b>MIN</b>	<b>61,93</b>	<b>23,08</b>	<b>93,03</b>	<b>7,08</b>	<b>76,03</b>	<b>67,40</b>	<b>69,00</b>
<b>Mois-MIN</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>
<b>MOY</b>	<b>148,16</b>	<b>73,53</b>	<b>180,17</b>	<b>130,21</b>	<b>163,00</b>	<b>150,42</b>	<b>112,00</b>
<b>E-TYPE</b>	<b>64,863</b>	<b>46,663</b>	<b>69,756</b>	<b>102,738</b>	<b>65,421</b>	<b>78,502</b>	<b>35,792</b>
<b>CV</b>	<b>0,438</b>	<b>0,635</b>	<b>0,387</b>	<b>0,789</b>	<b>0,401</b>	<b>0,522</b>	<b>0,320</b>

## Annexe

El-Kala	Blanny-Cridlle (mm)	Thorntwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	64,58	25,653	95,710	19,923	82,914	77,2	79
Fév.	107,08	26,523	93,810	53,833	107,466	71,5	71
Mar.	136,08	39,193	170,620	127,323	145,222	95,0	92
Avr.	151,16	52,093	176,540	194,271	183,664	94,2	86
Mai	182,17	80,764	195,850	276,274	220,934	122,8	100
Jun.	222,93	115,599	206,080	339,097	246,948	166,2	114
Jul.	245,62	150,972	238,330	363,220	259,614	202,1	127
Aou.	234,29	149,243	222,400	320,310	233,634	224,5	128
Sep.	180,84	111,434	180,780	201,728	193,276	198,8	127
Oct.	153,01	78,396	166,450	96,081	144,714	141,8	105
Nov.	71,64	44,461	124,090	27,978	101,561	118,9	103
Déc.	63,99	29,541	100,210	9,504	78,765	99,1	97
Annuel	1813,37	903,875	1970,870	2029,541	1998,711	1611,9	1229
MAX	245,62	150,97	238,33	363,22	259,61	224,49	128,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Aou.
MIN	63,99	25,65	93,81	9,50	78,76	71,45	71,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Fév.	Déc.	Déc.	Fév.	Fév.
MOY	151,11	75,32	164,24	169,13	166,56	134,32	102,42
E-TYPE	64,960	46,607	49,964	131,645	65,322	52,166	18,957
CV	0,430	0,619	0,304	0,778	0,392	0,388	0,185

## Annexe

Sétif	Blanny-Cridlle (mm)	Thornthwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	48,63	9,233	83,010	9,500	47,315	48,7	58
Fév.	84,90	13,171	94,400	28,781	71,580	67,6	74
Mar.	112,99	25,903	149,290	78,328	111,831	107,7	115
Avr.	129,94	40,727	169,500	132,119	154,528	143,3	144
Mai	168,93	79,617	225,050	219,902	207,168	258,1	214
Jun.	220,11	130,582	263,310	303,128	246,058	422,4	284
Jul.	246,47	167,291	280,530	330,957	254,784	588,4	359
Aou.	229,02	153,033	294,960	280,828	231,688	599,6	339
Sep.	164,94	96,178	205,910	157,384	182,319	268,5	193
Oct.	131,43	58,307	157,380	67,240	128,186	170,2	142
Nov.	56,75	24,413	93,520	16,384	76,696	82,6	83
Déc.	48,50	11,831	110,930	5,025	48,965	49,6	57
Annuel	1642,60	810,287	2127,790	1629,575	1761,116	2806,8	2062
MAX	246,47	167,29	294,96	330,96	254,78	599,56	359,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
MIN	48,50	9,23	83,01	5,02	47,31	48,71	57,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.
MOY	136,88	67,52	177,32	135,80	146,76	233,90	171,83
E-TYPE	70,462	57,253	75,934	121,146	77,045	200,846	107,147
CV	0,515	0,848	0,428	0,892	0,525	0,859	0,624

## Annexe

<b>B.B.A</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thornthwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	50,14	9,756	68,700	10,710	51,906	64,1	76
Fév.	87,78	13,998	83,760	32,238	77,519	82,8	91
Mar.	116,65	27,238	146,240	86,608	118,471	139,5	149
Avr.	147,44	43,180	177,110	145,593	162,027	184,1	185
Mai	172,98	82,246	252,530	235,989	212,076	308,8	256
Jun.	226,80	139,603	261,590	327,354	251,412	508,7	342
Jul.	251,36	174,891	281,410	350,816	257,897	667,2	408
Aou.	233,21	159,230	269,700	297,124	234,461	665,4	377
Sep.	168,11	98,841	204,750	166,984	185,178	352,0	253
Oct.	133,91	58,965	154,100	71,610	130,919	203,8	170
Nov.	58,20	24,794	115,970	17,863	80,019	97,5	98
Déc.	83,54	12,402	66,890	5,683	53,010	67,2	77
Annuel	1730,11	845,145	2082,750	1748,574	1814,893	3341,2	2482
MAX	251,36	174,89	281,41	350,82	257,90	667,24	408,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
MIN	50,14	9,76	66,89	5,68	51,91	64,11	76,00
Mois-MIN	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
MOY	144,18	70,43	173,56	145,71	151,24	278,43	206,83
E-TYPE	68,497	59,988	80,185	128,851	76,761	224,729	119,338
CV	0,475	0,852	0,462	0,884	0,508	0,807	0,577

## Annexe

<b>Constantine</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thornthwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	52,05	12,482	69,930	9,929	57,189	33,6	40
Fév.	53,56	15,688	84,910	28,680	80,589	38,4	42
Mar.	70,78	28,704	134,100	75,324	120,206	58,0	62
Avr.	80,94	43,526	165,570	124,163	161,995	70,7	71
Mai	104,05	81,894	197,110	200,291	211,582	125,4	104
Jun.	216,96	127,931	231,470	265,613	246,089	212,7	143
Jul.	239,67	160,057	261,240	284,281	252,771	291,8	178
Aou.	226,40	152,903	244,220	247,285	232,109	314,8	178
Sep.	101,52	99,955	180,580	142,810	185,226	158,6	114
Oct.	82,47	64,058	147,710	63,419	133,462	104,3	87
Nov.	60,32	29,170	102,510	16,216	84,143	58,7	59
Déc.	52,14	15,811	66,300	5,172	58,000	38,3	44
<b>Annuel</b>	<b>1340,86</b>	<b>832,180</b>	<b>1885,650</b>	<b>1463,184</b>	<b>1823,362</b>	<b>1505,3</b>	<b>1122</b>
<b>MAX</b>	<b>239,67</b>	<b>160,06</b>	<b>261,24</b>	<b>284,28</b>	<b>252,77</b>	<b>314,81</b>	<b>178,00</b>
<b>Mois-MAX</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aou.</b>	<b>Jul.</b>
<b>MIN</b>	<b>52,05</b>	<b>12,48</b>	<b>66,30</b>	<b>5,17</b>	<b>57,19</b>	<b>33,60</b>	<b>40,00</b>
<b>Mois-MIN</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>
<b>MOY</b>	<b>111,74</b>	<b>69,35</b>	<b>157,14</b>	<b>121,93</b>	<b>151,95</b>	<b>125,44</b>	<b>93,50</b>
<b>E-TYPE</b>	<b>72,220</b>	<b>54,503</b>	<b>67,985</b>	<b>104,855</b>	<b>73,276</b>	<b>99,221</b>	<b>50,414</b>
<b>CV</b>	<b>0,646</b>	<b>0,786</b>	<b>0,433</b>	<b>0,860</b>	<b>0,482</b>	<b>0,791</b>	<b>0,539</b>

## Annexe

<b>Guelma</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thornthwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	76,42	17,774	72,670	12,204	73,105	48,8	53
Fév.	90,65	19,295	85,760	32,814	96,111	50,0	51
Mar.	117,59	32,199	126,870	81,410	135,171	73,2	73
Avr.	132,89	46,822	148,650	129,369	175,934	88,7	85
Mai	184,66	84,523	196,360	198,475	220,886	151,9	119
Jun.	211,36	130,703	217,440	254,589	251,581	245,5	158
Jul.	233,63	168,433	242,060	272,629	257,928	339,7	200
Aou.	222,34	164,955	224,830	239,762	237,628	367,8	198
Sep.	179,39	111,620	186,410	143,649	193,073	214,7	134
Oct.	136,52	73,408	142,870	66,165	142,445	139,1	105
Nov.	102,49	36,041	92,870	18,165	95,476	79,4	72
Déc.	76,40	21,690	74,840	6,229	71,366	60,3	62
<b>Annuel</b>	<b>1764,34</b>	<b>907,464</b>	<b>1811,630</b>	<b>1455,461</b>	<b>1950,704</b>	<b>1859,1</b>	<b>1310</b>
<b>MAX</b>	<b>233,63</b>	<b>168,43</b>	<b>242,06</b>	<b>272,63</b>	<b>257,93</b>	<b>367,77</b>	<b>200,00</b>
<b>Mois-MAX</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aou.</b>	<b>Jul.</b>
<b>MIN</b>	<b>76,40</b>	<b>17,77</b>	<b>72,67</b>	<b>6,23</b>	<b>71,37</b>	<b>48,83</b>	<b>51,00</b>
<b>Mois-MIN</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Fév.</b>
<b>MOY</b>	<b>147,03</b>	<b>75,62</b>	<b>150,97</b>	<b>121,29</b>	<b>162,56</b>	<b>154,92</b>	<b>109,17</b>
<b>E-TYPE</b>	<b>57,275</b>	<b>56,180</b>	<b>61,566</b>	<b>99,755</b>	<b>69,776</b>	<b>112,595</b>	<b>53,337</b>
<b>CV</b>	<b>0,390</b>	<b>0,743</b>	<b>0,408</b>	<b>0,822</b>	<b>0,429</b>	<b>0,727</b>	<b>0,489</b>

## Annexe

Souk-Ahras	Blanny-Cridlle (mm)	Thorntwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	75,08	14,086	85,580	11,755	60,975	44,9	53
Fév.	90,74	16,447	95,640	32,451	83,099	50,3	55
Mar.	118,69	28,914	142,780	83,239	121,604	70,9	76
Avr.	134,95	43,081	172,670	135,571	162,502	81,0	82
Mai	189,34	80,487	229,940	216,971	211,290	142,3	118
Jun.	218,76	124,383	274,390	284,998	244,786	249,1	170
Jul.	243,98	160,398	307,840	309,767	253,105	356,3	225
Aou.	230,19	152,769	289,900	269,047	232,243	376,7	218
Sep.	143,09	101,673	200,720	157,395	186,365	220,0	149
Oct.	139,03	66,121	174,390	70,762	135,160	156,8	128
Nov.	102,57	30,926	102,590	18,566	86,493	76,0	75
Déc.	75,37	17,792	81,090	6,232	61,482	49,7	56
Annuel	1761,79	837,077	2157,530	1596,756	1839,104	1873,9	1405
MAX	243,98	160,40	307,84	309,77	253,11	376,68	225,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Aou.	Jul.
MIN	75,08	14,09	81,09	6,23	60,98	44,91	53,00
Mois-MIN	Jan.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
MOY	146,82	69,76	179,79	133,06	153,26	156,16	117,08
E-TYPE	60,103	53,739	81,760	113,152	71,848	119,030	61,902
CV	0,409	0,770	0,455	0,850	0,469	0,762	0,529

## Annexe

<b>Batna</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thornthwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	82,61	9,263	91,510	11,161	49,928	55,4	66
Fév.	85,99	12,944	106,720	32,104	73,928	72,2	79
Mar.	115,40	26,771	182,170	88,543	116,791	115,1	123
Avr.	134,11	44,358	209,770	152,103	162,468	172,2	173
Mai	191,15	85,320	281,160	249,835	213,964	283,5	235
Jun.	222,59	133,888	290,330	333,026	248,846	438,8	295
Jul.	246,91	166,953	300,760	356,898	255,470	570,4	348
Aou.	229,60	152,928	259,150	303,623	232,877	567,7	321
Sep.	184,03	99,080	201,830	173,907	185,489	304,7	219
Oct.	133,42	59,252	165,110	74,827	131,321	193,0	161
Nov.	97,19	25,629	107,250	19,209	80,565	103,5	104
Déc.	83,31	12,487	120,780	6,408	52,871	60,9	70
<b>Annuel</b>	<b>1806,30</b>	<b>828,873</b>	<b>2316,540</b>	<b>1801,644</b>	<b>1804,517</b>	<b>2937,4</b>	<b>2194</b>
<b>MAX</b>	<b>246,91</b>	<b>166,95</b>	<b>300,76</b>	<b>356,90</b>	<b>255,47</b>	<b>570,41</b>	<b>348,00</b>
<b>Mois-MAX</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>
<b>MIN</b>	<b>82,61</b>	<b>9,26</b>	<b>91,51</b>	<b>6,41</b>	<b>49,93</b>	<b>55,43</b>	<b>66,00</b>
<b>Mois-MIN</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Jan.</b>
<b>MOY</b>	<b>150,53</b>	<b>69,07</b>	<b>193,05</b>	<b>150,14</b>	<b>150,38</b>	<b>244,78</b>	<b>182,83</b>
<b>E-TYPE</b>	<b>61,382</b>	<b>57,439</b>	<b>76,753</b>	<b>131,694</b>	<b>76,738</b>	<b>190,028</b>	<b>100,232</b>
<b>CV</b>	<b>0,408</b>	<b>0,832</b>	<b>0,398</b>	<b>0,877</b>	<b>0,510</b>	<b>0,776</b>	<b>0,548</b>

## Annexe

<b>O.E.B</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thornthwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	66,54	10,870	67,860	9,840	55,153	39,8	50
Fév.	81,58	14,530	85,140	28,439	79,458	47,6	56
Mar.	120,19	28,353	134,450	76,677	121,393	85,6	89
Avr.	140,02	47,009	162,730	131,644	167,660	98,7	91
Mai	179,56	86,709	188,620	210,434	216,364	151,0	118
Jun.	281,31	128,827	220,600	270,698	247,287	284,1	192
Jul.	317,27	169,744	244,780	297,920	256,762	394,6	241
Aou.	293,66	153,383	232,800	251,452	233,251	241,4	150
Sep.	155,34	99,475	174,380	144,499	186,121	169,3	119
Oct.	126,56	63,824	128,260	64,667	134,895	112,1	90
Nov.	91,04	26,600	79,650	16,095	82,723	54,6	55
Déc.	66,79	13,971	65,120	5,354	57,422	17,7	21
<b>Annuel</b>	<b>1919,86</b>	<b>843,295</b>	<b>1784,390</b>	<b>1507,720</b>	<b>1838,488</b>	<b>1696,5</b>	<b>1271</b>
<b>MAX</b>	<b>317,27</b>	<b>169,74</b>	<b>244,78</b>	<b>297,92</b>	<b>256,76</b>	<b>394,56</b>	<b>241,30</b>
<b>Mois-MAX</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Jul.</b>
<b>MIN</b>	<b>66,54</b>	<b>10,87</b>	<b>65,12</b>	<b>5,35</b>	<b>55,15</b>	<b>17,69</b>	<b>20,75</b>
<b>Mois-MIN</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Déc.</b>
<b>MOY</b>	<b>159,99</b>	<b>70,27</b>	<b>148,70</b>	<b>125,64</b>	<b>153,21</b>	<b>141,38</b>	<b>105,88</b>
<b>E-TYPE</b>	<b>90,026</b>	<b>56,734</b>	<b>65,278</b>	<b>108,533</b>	<b>74,958</b>	<b>114,055</b>	<b>63,488</b>
<b>CV</b>	<b>0,563</b>	<b>0,807</b>	<b>0,439</b>	<b>0,864</b>	<b>0,489</b>	<b>0,807</b>	<b>0,600</b>

## Annexe

Tébessa	Blanny-Cridlle (mm)	Thorntwaite (mm)	Penman-Monteith (mm)	ANRH (mm)	Turc (mm)	Bouchet (mm)	Evaporation-Piche (mm)
Jan.	52,61	11,310	84,020	11,658	59,141	66,5	81
Fév.	91,27	15,227	101,020	33,015	84,449	95,2	105
Mar.	120,84	29,268	154,200	87,421	126,369	138,7	147
Avr.	139,87	48,016	174,940	148,062	171,917	194,4	189
Mai	180,69	91,437	236,320	238,367	221,394	323,3	257
Jun.	286,44	135,692	261,510	304,277	251,206	494,6	316
Jul.	319,65	173,158	286,810	327,843	258,297	621,7	381
Aou.	295,84	156,362	280,050	276,955	235,105	553,6	326
Sep.	170,49	100,300	209,580	159,449	188,305	328,2	224
Oct.	139,03	63,819	166,770	71,826	137,406	205,1	169
Nov.	61,38	28,266	105,200	18,956	87,349	112,8	115
Déc.	52,90	14,579	84,570	6,535	60,529	77,6	90
Annuel	1911,02	867,434	2144,990	1684,363	1881,466	3211,7	2400
MAX	319,65	173,16	286,81	327,84	258,30	621,68	381,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.
MIN	52,61	11,31	84,02	6,53	59,14	66,53	81,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Jan.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.
MOY	159,25	72,29	178,75	140,36	156,79	267,64	200,00
E-TYPE	95,485	58,129	75,744	120,205	74,410	195,774	101,049
CV	0,600	0,804	0,424	0,856	0,475	0,731	0,505

## Annexe

<b>Biskra</b>	<b>Blanny-Cridlle (mm)</b>	<b>Thornthwaite (mm)</b>	<b>Penman-Monteith (mm)</b>	<b>ANRH (mm)</b>	<b>Turc (mm)</b>	<b>Bouchet (mm)</b>	<b>Evaporation-Piche (mm)</b>
Jan.	117,43	12,854	117,37	23,542	85,526	101,0	105
Fév.	157,43	18,806	148,05	64,829	117,182	133,3	131
Mar.	208,37	37,956	247,06	164,836	163,648	190,6	188
Avr.	213,43	62,548	284,63	265,296	209,129	278,8	246
Mai	294,02	111,038	360,07	384,139	248,301	432,8	310
Jun.	337,67	192,005	373,31	492,151	277,178	610,4	363
Jul.	369,79	243,029	339,27	511,135	279,162	696,7	407
Aou.	344,94	224,309	322,65	436,773	255,917	684,4	375
Sep.	281,80	136,924	269,14	259,655	210,608	732,6	276
Oct.	252,92	72,850	212,39	116,309	156,636	248,8	202
Nov.	133,29	30,042	140,66	33,513	107,596	140,2	137
Déc.	105,51	15,071	103,08	12,817	81,608	88,8	103
Annuel	2816,59	1157,433	2917,680	2764,994	2192,492	4338,3	2843
MAX	369,79	243,03	373,31	511,13	279,16	732,60	407,00
Mois-MAX	Jul.	Jul.	Jun.	Jul.	Jul.	Sep.	Jul.
MIN	105,51	12,85	103,08	12,82	81,61	88,80	103,00
Mois-MIN	Déc.	Jan.	Déc.	Déc.	Déc.	Déc.	Déc.
MOY	234,72	96,45	243,14	230,42	182,71	361,53	236,92
E-TYPE	92,890	84,203	97,476	188,113	73,861	254,671	109,126
CV	0,396	0,873	0,401	0,816	0,404	0,704	0,461

## **Références bibliographique**

## Références bibliographiques

---

- Abdeddaim H., benkhaled A., (2016). Influence de la structure du réseau hydrographique sur la réponse hydrologique « cas des bassins du nord-est de l'Algérie ». *Larhyss Journal*, 27, pp 313-335.
- Abdessemed, K., 1981. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Menetti) dans les massifs de l'Aurès et du Bélezma : Etude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Thèse Doc. Ing. Univ. Aix-Marseille, 200p.
- Abtew, W. (1996). Evapotranspiration measurements and modeling for three wetland systems in south Florida: Wiley Online Library.
- Allen, R., G., Periera, L., S., Raes, D., and Smith, M. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1998.
- Benabbas C (2006) Evolution Mio-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord oriental : Apport de la photogéologie et analyse morphostructurale, Doctorat d'Etat, Université de Constantine, Algérie, 256 p.
- Ben Khouya T., (2020). Évaluation de l'impact de la végétation sur le bilan hydrique d'un recouvrement monocouche avec nappe phréatique surélevée. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 287 p.
- Bouabid A (2013) Étude hydrogéologique du bassin de Droh à partir de la bordure maastrichtienne de Tighanimine (bassin versant de Oued labiod aval -région des Aurès). Mémoire de Magister en géologie, Université Hadj Lakhdar- BATNA, 138 p.
- Boudjerada I., 2015. Estimation et cartographie de l'évapotranspiration potentielle. Mémoire de Master en en Hydraulique, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique -Arbaoui Abdellah-, 79 p.
- Bouedja F (2010) Tectonique actuelle et récente et risque sismique de la région de Constantine, Mémoire de Magister Sismologie, université Ferhat Abbas-Setif, Algérie, 136 p.
- Vila J M (1980) La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisiens, Thèse Sc, Univ, Paris VI, 3vol, 663 p.
- Bouchet R.J. 1963 - Evapotranspiration réelle, &apotranspiration potentielle et production agricole. *AM. Agro.*, 1963, 5, p. 743-824.
- Bouteldjaoui F., Bessenasse M., Guendouz A., 2011. Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa). *Nature & Technologie* (7), pp109-116.
- Cote M., 1998a, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, *Rhumel*, n° 6, pp. 57-71.

## Références bibliographiques

---

Doorenbos, J. ; Pruitt, W. O. (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 24.

Ghachi A (1986) Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Thèse. Doctorat, OPU. 508 p.

18 Guidoum A (2004) Etude hydrologique du bassin versant de l'Oued Chemorah à la station de Chemorah (W. de Batna, Est Algerien). Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 259 p.

Hamon, W.R., 1961. Estimating potential evapotranspiration. J. Hydraul. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 87, 107–120.

Holmes, 1984 ; Lhomme & Katerji, 1991 ; Rana & Katerji, 2000 in : Traore F., 2007.

Rana G., Katerji N., 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field. Hargreaves, G.H. et Samani, Z. (1982). Estimating potential evapotranspiration. technical note journal of irrigation and drainage engineering, 108(3) :225\_230.

Jensen M E, Burman, R D, Allen R G (1990) Evapotranspiration and irrigation requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 70, ASCE, Am. Soc. Civil Engrs., New York, NY, 360 p.

Joliveau T (2004) Géomatique et gestion environnementale du territoire. Recherches sur un usage géographique des SIG, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences Humaines, Université de Rouen, 504 p.

Kara N, (2020). Estimation des besoins en eau des cultures maraîchages par deux Méthode (Penman Monteith par logiciel CROPWA T 8.0 et Turc) dans la wilaya de Biskra durant la période (1998-2018). Mémoire de master en Hydropédologie. Université Mohamed Khider de Biskra, 100 p.

Laala A., Alatou Dj., Adimi A., (2016). Apport Des Images Satellites MODIS Dans L'étude De L'évolution De La Végétation Forestière De l'Est Algérien. European Scientific Journal, vol.12, N°20, 1-20p. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n20p206.

Ladlani I., (2007). Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée «choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba». Mémoire de Magister en hydraulique. Université EL HADJ LAKHDAR- BATNA, 175 p.

## Références bibliographiques

---

Lebourgeois (F.), Granier (A.), Bréda (N.). — Une analyse des changements climatiques en France entre 1956 et 1997. Réflexions en termes de conséquences pour les écosystèmes forestiers. — *Annals of Forest Science*, vol. 58, n° 7, 2001, pp. 733-754.

Lhomme, J.P., Katerji, N., 1991. A simple modelling of crop water balance for agrometeorological application. *Ecol. Model.* 57, 11–25.

Linacre, E. (1977). A simple formula for estimating evaporation rates in various climate, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18 :409\_424.

Makkink, G. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *J. Inst. Water Eng.* 11(3), 277-288.

Makhloufi A., 2010. Calibrage spatial et temporel de quelques relations d'usage courant pour l'estimation de l'évapotranspiration de l'Algérie du Nord .Mémoire de magister en hydraulique, Université Hadj Lakhdar-Batna, 117 p.

McGuinness, J.L. et Bordne, E. (1972). A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values. Technical Bulletin 1452, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., page 71.

Mebarki A (2005) Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Mentouri, Constantine, Algérie, 360 p.

Ndiaye P. M., Bodian A., L. Diop, Djaman K., (2017). Évaluation de vingt méthodes d'estimation de l'évapotranspiration journalière de référence au Burkina Faso. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2017, 11, pp 129-146.

Oudin L., (2004). Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de doctorat en Sciences de l'eau de l'ENGREF. Sciences of the Universe [physics]. ENGREF(AgroParisTech), 496 p.

Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2- Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *Journal of hydrology*, 303(1-4), pp 290-306.

Oudin, L. 2004. Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de doctorat, Ecole Nationale de Génie Rural, des Eaux et Forêts. Paris, France. 495 pages.

## Références bibliographiques

---

- Oulhaci D., (2016). Ruissellement interannuel en Algérie septentrionale (Relation entre, Ruissellement Pluie et Evaporation). Thèse de Doctorat en aménagement et construction hydrauliques. Université Kasdi Merbah Ouargla, 207 p.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Lond. A*, 193(1032), 120-145. doi: 10.1098/rspa.1948.0037.
- Priestley CHB, Taylor RJ (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon Weather Rev* 100(2) : pp. 81–92.
- Romanenko, V. (1961). Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. *Proceedings Ukrainian Hydrometeorological Research Institute (Kiev)*, 3.
- Serra L (1954) Le contrôle hydrologique d'un bassin versant. *A.I.H.S., A.G., Rome*, t.3, 38, p349 357.
- Shuttleworth, W. J., 1993. Evaporation. In: *Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment (Editor). McGraw-Hill, New York, New York, Chapter 4.
- Shuttleworth (1993). Evaporation. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, New-York.
- HArgreaves G.H. (1975) - Moisture availability and crop production. *Transactions of the ASAE*, vol. 18, n° 5, p. 980-984.
- Thom, A. S., Oliver H. R., (1977). On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Quart J. R. Met. Soc.*, 103, pp.345-357.
- TIR K., (2009). Climagramme d'Emberger : Analyse et correction dans quelques stations météorologiques de l'Est algérien. Mémoire de Magister en Ecologie et Environnement. Université Mentouri de Constantine, 113 p.
- Toutain Georges, 1979. « Eléments d'agronomie saharienne: de la recherche au développement » Cellule des zones arides, Institut national de la recherche agronomique, Groupe de recherche et d'échanges technologiques, 276 pages.
- Traore F. 2007, Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant du Kou au Burkina Faso. DEA, Univ de Liège. Belgique.
- Vannier O., Braud I, (2012). Calcul d'une évapotranspiration de référence spatialisée pour la modélisation hydrologique à partir des données de la réanalyse SAFRAN de Météo-France. Rapport de recherche, irstea. hal-02593413, 22 p.
- Wright, J. L (1982). New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 108, 57-74.