

**République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université EL HADJ LAKHDAR
Faculté des sciences de l'ingénieur
Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée (LA.R.HY.A)
Département d'hydraulique
Option : Mobilisation des ressources hydriques**

MEMOIRE

Présenté à l'université de BATNA
Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

THEME

**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»**

Par :

LADLANI IBTISSEM

Ingénieur en hydraulique

Devant le jury composé de :

Dr. BOUMAZBER Abderrahmane	MC. U. TEBESSA	Président
Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane	Pr. U. BATNA	Rapporteur
Dr. NEMOUCHI AbdeLmalek	MC. U.CONSTANTINE	Examineur
Dr. BENSAID Rabah	MC. U.BATNA	Examineur

2006 - 2007

REMERCIEMENTS

A terme de ce modeste travail, je voudrai remercier en premier lieu monsieur BOUDOUKHA ABDERRAHMANE, professeur au département d'hydraulique de l'université de Batna, d'avoir accepter de diriger ce travail. Ses conseils ainsi que sa gentillesse m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie également Monsieur BOUMAZBER ABDERRAHMANE, Maître de Conférences à l'Université de Tébessa d'avoir accepter d'honorer cette soutenance comme président de jury. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma plus haute considération.

Monsieur BENSAID RABAH, Maître de Conférence à l'Université de Batna, et monsieur NEMOUCHI ABDELMALEK, Maître de Conférence à l'Université de Constantine, qui ont bien voulu examiner ce travail et d'être membre de jury.

Mes meilleurs remerciements vont également aux personnes qui m'ont encouragé et aidé à la réalisation de ce travail, en particulier:

Mr Houichi Larbi

Mr Boukhadra Abderrahmane

Mr Bengora Djamel

Mr Heddam Salim.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département d'hydraulique, à mes collègues du groupe BPH et mes camarades étudiants collègues de ma promotion DEUA, ingénieur et magister.

TABLE DES MATIERES

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction:	01
1. Evapotranspiration potentielle "ETP" :	02
2. Evapotranspiration maximale "ETM" :	03
3. Evapotranspiration réelle "ETR" :	03
I. Les facteurs fondamentaux de l'évapotranspiration :	03
1. Déficit hygrométrique ou déficit de saturation de l'atmosphère	03
2. Température de l'air	04
3. L'insolation	04
4. Vitesse et turbulence du vent	04
II. Méthode d'estimation de L'EVAPOTRANSPIRATION :	04
II.1. Mesure directe	04
1.1. Evapotranspirometre:	04
1.1.1. Mise en œuvre d'un évapotranspiromètre	05
1.1.2. Conduite des mesures sur évapotranspiromètre	05
1.2. Bacs d'évaporation :	06
1.2.1. Les bacs placés au-dessus du niveau du sol " Bac classe A " :	06
1.2.2. Les bacs enterrés "Bac colorado" :	07
1.2.3. Les bacs flottants :	08
3.1. Evaporomètre Wild :	08
3.2. Corps en porcelaine poreuse :	09
3.3. Surface de papier humide "évaporomètre Piche" :	10
II.2. Méthodes indirectes :	11
1. Formule de TURC :	12
2. Formule de THORNTHWAITE :	13
3. Formule de BLANEY-CRIDDLE :	13
4. Formule de PENMAN ou formule dite « du bilan d'énergie » :	15
4.1. Estimation du rayonnement net :	16
4.1.1. Détermination du rayonnement global	16
4.1.2. Détermination de l'albédo a:	16
4.1.3. Détermination du rayonnement de courte longueur d'onde	17
4.2. Estimation du pouvoir évaporant de l'air :	17
5. Formule de PENMAN modifiée F.A.O:	18
6. Formule dite ANRH :	19
Conclusion:	20

DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

CHAPITRE I: ETUDE PHYSICO-GEOGRAPHIQUE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Introduction :	22
I.1. Région de Annaba (bassin de la Seybouse)	22
1.1. Situation géographique :	22
1.2. Cadre géographique :	22
1.2.1. Le bassin de la haute Seybouse :	22
1.2.2. Le bassin de la moyenne Seybouse :	23
1.2.3. Le bassin de la basse Seybouse :	23

I.2. Région de Tébessa (bassin de oued Mellegue).....	23
2.1. Situation géographique :	23
2.2. Cadre géographique :	24
I.3. Les caractéristiques morphométriques des bassins versant :	24
3.1. La superficie :.....	24
3.2. Caractéristique de forme :.....	25
3.3. L'orographie :.....	25
3.4. Le système des pentes :.....	28
3.4.1. Indice de pente de roche :	28
3.4.2. Indice de pente globale :	28
3.4.3. Dénivelée spécifique :	29
4. Réseau hydrographique :.....	29
4.1. Présentation :.....	29
4.1.1. Réseau hydrographique de la Seybouse	29
4.1.2. Réseau hydrographique de Oued Mellegue :	30
4.2. Type de densité de drainage :	30
Conclusion :.....	32

CHAPITRE II : LES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET LITHOLOGIQUES

Introduction:	33
I. Bassin de la Seybouse :	33
1. Les grandes unités géologiques :.....	33
1.1. L'Atlas Saharien :	33
1.2. L'Atlas Tellien :	33
1.3. La chaîne Numidique	33
1.4. Le Massif de l'Edough :	33
2. Les grands ensembles lithologiques	33
2.1. Haute Seybouse :	33
2.2. La moyenne Seybouse :.....	34
2.3. La basse Seybouse :.....	35
II. Bassin de oued Mellegue	35
1.1. Quaternaire :.....	35
1.2. Pliocène continental:	35
1.3. Miocène:	35
1.4. Eocène inférieur	35
1.5. Crétacé:	35
1.6. Trias:	36
Conclusion :	36

CHAPITRE III: LES CARACTERISTIQUES BIOGEOGRAPHIQUES

Introduction :.....	37
1. BASSIN DE LA SEYBOUSE :	37
2. BASSIN DE OUED MELLEGUE :	38
Conclusion :.....	38

CHAPITRE IV : ETUDE CLIMATIQUE

Introduction :	39
1. La température :	39
2. Les précipitations:	45
2.1. Réseau d'observation	45
2.2. Homogénéisation des données pluviométriques :	45
2.2.1. Méthode d'homogénéisation :	45
2.3. Evaluation de précipitation moyenne sur le bassin :	46
2.3.1. Méthode des isohyètes :	47
2.3.2. Moyenne arithmétique.....	47
2.3.3. Méthode des polygones de THIESSEN	49
3. Synthèse climatique :	50
4. Les autres facteurs climatiques :	52
4.1. L'humidité relative de l'air:	52
4.2. La vitesse de vent:	53
4.3. Le rayonnement solaire:	54
Conclusion :	55

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE I : ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Introduction :	56
1. Formule de TURC :	56
2. Formule de THORNTHWAITE	61
3. Formule de BLANNEY-CRIDLE :	65
4. Formule de PENMAN :	70
5. Formule de PENMAN FAO :	75
6. Formule de ANRH :	80
7. Estimation de l'évapotranspiration potentielle à partir des valeurs mesurée de l'évaporation par l'évaporomètre de Piche :	84

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats de calcul:	89
2. Discussion:	93
2.1. Station de Pont Bouchet:	94
2.2. Station de Guelma:	94
2.3. Station de Souk Ahras:	95
2.4. Station de Constantine:	95
2.5. Station de Tébessa:	96
3. Estimation d'un nouveau coefficient pour la formule de ANRH:	97
Conclusion:	99

CONCLUSION GENERALE

INTRODUCTION :

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'évaporation. Ce dernier paramètre est le plus important des trois. Il conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation, 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.

Il devient donc impératif d'estimer ou de quantifier cette perte par évaporation.

Cette grandeur s'obtient soit par mesure directe, par les appareils de mesure tels que les cases lysimétriques, les bacs,..., soit par estimation en cas d'absence des mesures sur terrain. Ce travail va se faire sur deux régions différentes du point de vue climatique, l'une se trouvant sur la côte (Annaba) et l'autre se trouvant dans une zone à climat semi-aride (Tébessa). Donc cette approche a pour objectif de donner un aperçu sur les caractéristiques qui influent sur l'ETP à savoir hydrologiques, géologiques et climatiques. Cette approche consiste surtout à choisir le modèle le plus efficace pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle ETP dans ces régions.

Le principe de cette étude est l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" en appliquant six (06) modèles empiriques différents:

- Modèle de Turc.
- Modèle de Thornthwaite.
- Modèle de Blanney-Cridle.
- Modèle de Penman initial.
- Modèle de Penman FAO.
- Modèle de ANRH.

La comparaison des résultats de ces modèles avec les valeurs des mesures directes à l'aide de l'Evaporomètre de Piche, permet de tirer des conclusions valables dans ce domaine.

Notre étude s'articule sur trois parties essentielles:

- La première partie: Etude bibliographique.
- La deuxième partie: Présentation de la région d'étude.
- La troisième partie: Résultats et discussion.

***PREMIERE PARTIE:
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

Introduction:

Les phénomènes de transfert d'eau à la surface de la terre sont dus à des processus énergétiques conditionnés par les paramètres climatiques. Les disponibilités énergétiques liées au climat, peuvent être assimilées à une « demande » tandis que l'ensemble sol-plante avec l'eau qu'il contient, correspond à une « offre » (*C.T.G.R.E.F.*).

La réserve en eau du sol évolue en fonction de nombreux processus interdépendants (infiltration, drainage, évaporation, transpiration,..) dont l'étude est en général assez complexe. Les processus d'écoulement de l'eau du sol peuvent être résumés en une équation globale appelée "bilan hydrique" au champ. Ce bilan est établi en faisant la somme de tous les flux d'eau entrant et sortant du sol, directement ou par l'intermédiaire des cultures.

Un des termes importants du bilan hydrique est la quantité d'eau transférée du champ vers l'atmosphère par le processus d'évapotranspiration qui comprend deux termes: l'évaporation et la transpiration. (*CEMAGREF*).

- **L'EVAPORATION** : est l'ensemble des phénomènes de transformation de l'eau en vapeur par un processus spécifiquement physique.
- **La TRANSPIRATION** : est le phénomène physiologique de la transformation de l'eau en vapeur par les être vivants et notamment les végétaux.

On regroupe sous le nom d'évapotranspiration l'ensemble des deux processus.

Selon la disponibilité de l'eau on distingue :

- Evapotranspiration potentielle.
- Evapotranspiration maximale.
- Evapotranspiration réelle.

1. EVAPOTRANSPIRATION POTONTIELLE "ETP" :

C'est la valeur maximale possible de l'évapotranspiration dans des conditions climatiques données. On considère dans la pratique, l'évapotranspiration potentielle 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.

On emploie également le terme ETP pour désigner la valeur approchée de évapotranspiration potentielle obtenue par le calcul à partir d'une formule fondée sur des données climatiques.

2. EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE "ETM" :

C'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.

3. EVAPOTRANSPIRATION REELLE "ETR" :

C'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 (succion du sol), chimique (concentration des solutions), biologique (régulation stomatique) (*C.T.G.R.E.F.*).

I. LES FACTEURS FONDAMENTAUX DE L'EVAPOTRANSPIRATION :

Les facteurs qui conditionnent le taux d'évaporation généralement exprimé en mm par jour, par mois, par an,...) peuvent être groupés en deux catégories bien distinctes suivant qu'ils sont propres à l'atmosphère ambiante ou à la surface évaporante elle-même :

- Les paramètres caractérisant l'état de l'atmosphère au voisinage de la surface évaporante 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 évaporante (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.

Les principaux facteurs du pouvoir évaporant sont :

- Le déficit hygrométrique ou déficit de saturation de l'atmosphère.
- La température de l'air.
- L'insolation.
- La vitesse et la turbulence du vent.

1. Déficit hygrométrique ou déficit de saturation de l'atmosphère

L'humidité de l'air connue sous la désignation du degré hygrométrique de l'air, qui est un élément très important, représente la proportion de vapeur d'eau contenu dans l'atmosphère par rapport à la quantité maximale qui peut être fixe à une température considérée.

2. Température de l'air.

La tension de vapeur saturante de l'eau croît avec la température de celle-ci. Le taux d'évaporation est donc, pour un même déficit hygrométrique de l'air, une fonction croissante de la température de l'eau ou de la surface évaporante.

3. L'insolation.

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 évaporante. Le bilan calorifique de la surface évaporante doit d'ailleurs tenir compte d'autres échanges de chaleur avec le milieu ambiant. Dans les grandes nappes d'eau par exemple, l'échauffement des couches profondes absorbe, au printemps et au début de l'été, une partie de la chaleur incidente qui n'est plus disponible pour l'évaporation; inversement, en automne et en hiver, la chaleur ainsi emmagasinée vient augmenter l'évaporation que produirait le seul rayonnement solaire.

4. Vitesse et turbulence du vent

Le vent assure le renouvellement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par de nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes ; toutefois, si ces paramètres atteignent une valeur limite au-dessus de laquelle la vapeur d'eau est dispersée au fur et à mesure de sa formation, tout accroissement de ceux-ci, au-delà de cette limite, sera sans effet (*G.Réméniéras*).

II. METHODE D'ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION :

II.1. MESURE DIRECTE

1.1. EVAPOTRANSPIROMETRE:

L'évaporation est mesurée en station avec tous les autres termes du bilan hydrique dans un dispositif appelé lysimètre ou évapotranspiromètre qui empêche les mouvements latéraux et permet de mesurer l'infiltration profonde. Les apports (pluie, irrigation) sont également mesurés ainsi que l'humidité aux différentes profondeurs. Il est alors possible d'évaluer les variations de stock d'eau et l'évapotranspiration.

Ce dispositif est coûteux et difficile à gérer. Il est donc réservé aux stations de recherche et aux installations importantes d'irrigation disposant de techniciens qualifiés.

Il s'agit d'une cuve enterrée placée au milieu d'une parcelle irriguée, qui sert d'anneau de garde, et dans laquelle on reconstitue un sol recouvert de la même culture dans les mêmes conditions. La culture dans la cuve est arrosée avec un léger excès d'eau, et

l'eau de drainage est récupérée au moyen d'un tuyau se déversant dans un bac de récupération (Fig n°1).

La détermination de l'ETP à partir des mesures sur l'évapotranspiromètre se fait par différence entre les apports et les pertes

$$\text{ETP} = \text{pluie} + \text{Irrigation} - \text{Drainage} \pm \Delta R$$

Les variations de réserve du sol (ΔR) seront négligeables en valeur relative si l'alimentation en eau est régulière, et si la période de calcul est suffisamment longue (une semaine à dix jours au minimum).

1.1.1. Mise en œuvre d'un évapotranspiromètre

La mise en œuvre d'une installation de mesure de l'ETP doit d'entourer d'un certain nombre de précautions, si l'on veut aboutir à des résultats valables. Nous en énumérerons brièvement les plus importants :

- Choix du site:

La zone doit être dégagée et représentative de la région étudiée, suffisamment éloignée de tout objet susceptible de perturber le rayonnement, le régime de turbulence, ou les échanges advectifs (bâtiments, relief, plan d'eau,...).

- Anneau de garde:

L'environnement doit être homogène, de 1000 m² de surface, voire plus pour des cultures hautes, l'irrigation et l'entretien doivent être réguliers, comme sur l'évapotranspiromètre.

- Surface de la cuve:

La surface doit être de 2 à 3 m² au minimum.

- Remplissage de la cuve:

Le sol doit être suffisamment filtrant, meuble, sans risques d'hydromorphie.

- Végétation:

La Végétation doit présenter le moins possible de limitations d'évapotranspiration d'ordre physiologique. On choisit habituellement des graminées fourragères ou de gazon.

1.1.2. Conduite des mesures sur évapotranspiromètre

L'irrigation doit être journalière, la fertilisation et les coupes régulières, les bilans doivent être établis sur des périodes de manière à avoir $\Delta R = 0$ (ΔR est mesuré, soit par pesée de l'évapotranspiromètre, soit par mesure neutronique). La précision des mesures obtenues avec un évapotranspiromètre est le plus souvent de l'ordre de 10%, même avec une conduite soignée. Par contre, le moindre laisser-aller peut aboutir à des distorsions de l'ordre de 30 % à 40%, ou plus. Ce n'est qu'avec des évapotranspiromètres pesables que

l'on peut atteindre des précisions de l'ordre du 1/2 mm d'évaporation (**pesée piézométrique** ou dynamométrique), ou même de l'ordre de 0.05 mm d'évaporation (pesée par bascule mécanique). Seuls de tels dispositifs peuvent permettre d'envisager des mesures d'ETP pour des périodes de 24 h, ou même de suivre l'évolution de l'ETP au cours de la journée (*C.T.G.R.E.F.*).

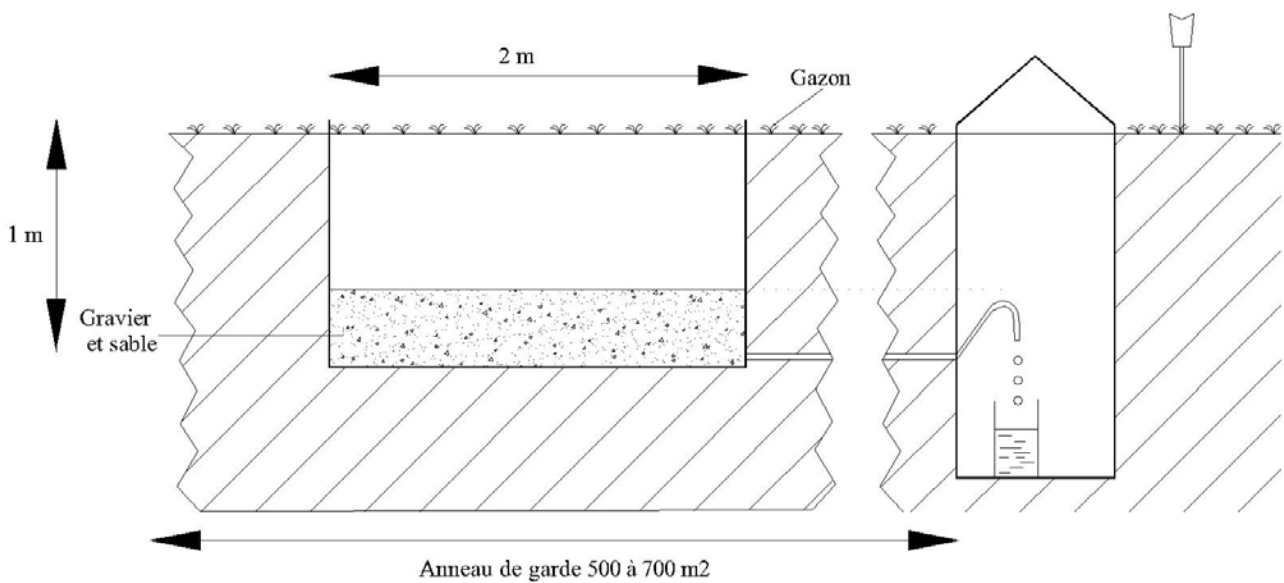


Figure n°1 : Case lysimetrique

1.2. BACS D'EVAPORATION :

Malgré l'intérêt évident de leur normalisation, les bacs d'évaporation utilisés dans les divers pays sont de formes, de dimensions et de caractéristiques différentes, car les spécialistes ne sont pas d'accord sur le meilleur type à employer.

On peut classer ces appareils en trois catégories suivant qu'ils sont disposés à la surface du sol, enterrés dans celle-ci ou installés de façon à flotter sur une nappe d'eau.

1.2.1. Les bacs placés au-dessus du niveau du sol " Bac classe A" :

Ces bacs présentent l'avantage d'une installation très simple et leurs résultats ne risquent pas d'être faussés par le rejaillissement des gouttes de pluie qui tombent sur le

terrain avoisinant, par contre, ils sont très sensibles aux variations de la température de l'air et aux effets de l'insolation.

Le bac dit "Classe A", utilisé par Weather bureau, U.S.A" est constitué d'un cylindre métallique de 121.9 cm de diamètre et de 25.4 cm de hauteur. Dans ce cylindre, on maintient une épaisseur d'eau de 17.5 à 20 cm. Le cylindre est supporté par un support à 15 cm du sol. Le support doit permettre une bonne aération sous le bac (ANRH – Juin 2002) (fig n°02)

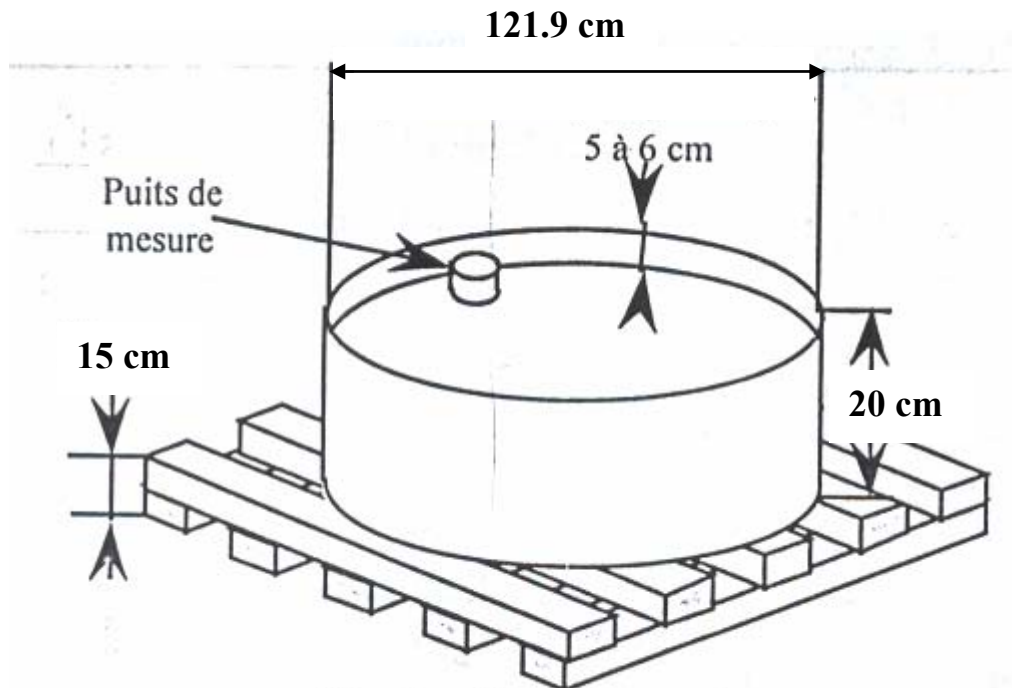


Figure n°02 : Bac d'évaporation classe A

1.2.2. Les bacs enterrés "Bac colorado" :

Ces bacs sont moins sensibles aux influences de la température ambiante et du rayonnement solaire sur les parois, mais bien que leur bord dépasse le niveau du sol d'environ une dizaine de cm. Les gouttes de pluies ayant rebondi sur le sol et les débris qu'ils recueillent peuvent être la cause d'erreurs de mesure.

Le bac " colorado " enterré se présente sous la forme d'un parallélépipède, dont la section droite est un carré de 100 cm de côté, sa profondeur est de 60 cm ; il est enterré de 50 cm (ANRH – Juin 2002) (fig n°03).

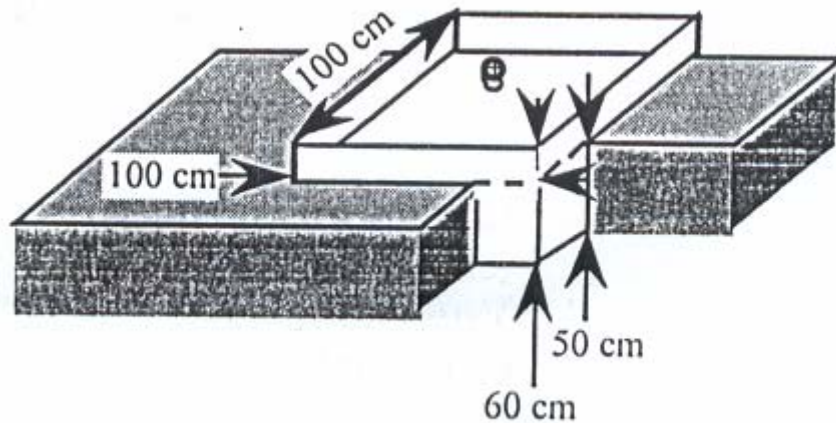


Figure n°03 : Bac enterré type « Colorado »

1.2.3. Les bacs flottants :

Ces bacs sont particulièrement utilisés quand on veut étudier l'évaporation de grandes surfaces d'eau (lacs ou rivières). Leur installation peut être difficile (problèmes d'amarrage et de stabilité sur un plan d'eau de niveau variable). Les mesures sont évidemment moins aisées qu'à terre et sont trop souvent faussées le jours de grand vent par l'eau introduite dans le bac par les vagues ou déversé sous l'action des mouvements de roulis (*G.Rémériéras*).

3.1. Evaporomètre Wild :

Il est constitué par une balance du type "pèse-lettres" dont le plateau supporte un petit bassin contenant de l'eau (surface : 250 cm² ; profondeur : 35 mm), on note ou on enregistre les variations de poids du bassin (fig n° 04).

Il présente deux principaux inconvénients : le volume d'eau est très faible et le rôle thermique des parois est prépondérant, le vent peut faire osciller le bassin et fausser les mesures. (*G.Rémériéras*).

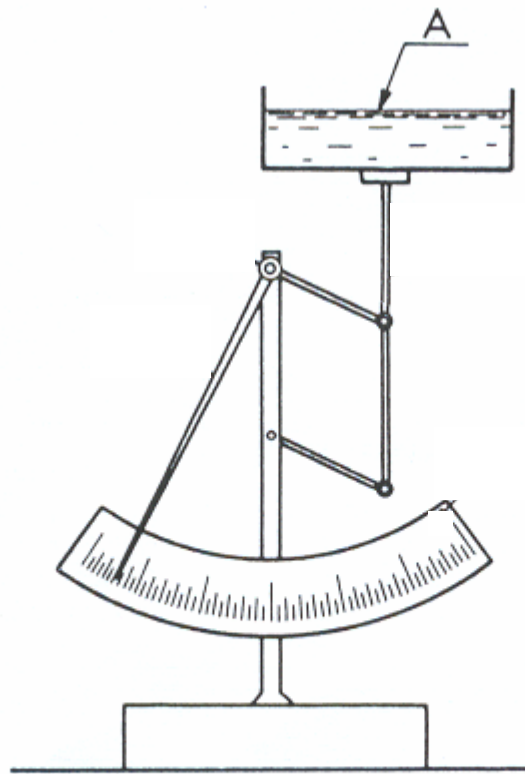


Figure n°04 : Evaporpmètre Wild

3.2. Corps en porcelaine poreuse :

Se sont des sphères, des cylindres ou des plaques de porcelaine blanche poreuse saturée d'eau. Le taux d'évaporation d'un tel système est parfois considéré comme celui des plantes. A titre d'exemple, le schéma de l'atmomètre de livingston (fig n° 05) est une sphère creuse de porcelaine poreuse d'environ 5 cm de diamètre et d'un centimètre d'épaisseur. Cette sphère est remplie d'eau distillée provenant d'un réservoir gradué qui assure en permanence l'alimentation de la sphère et permet la mesure du volume d'eau évaporée. *(G.Réméniéras)*

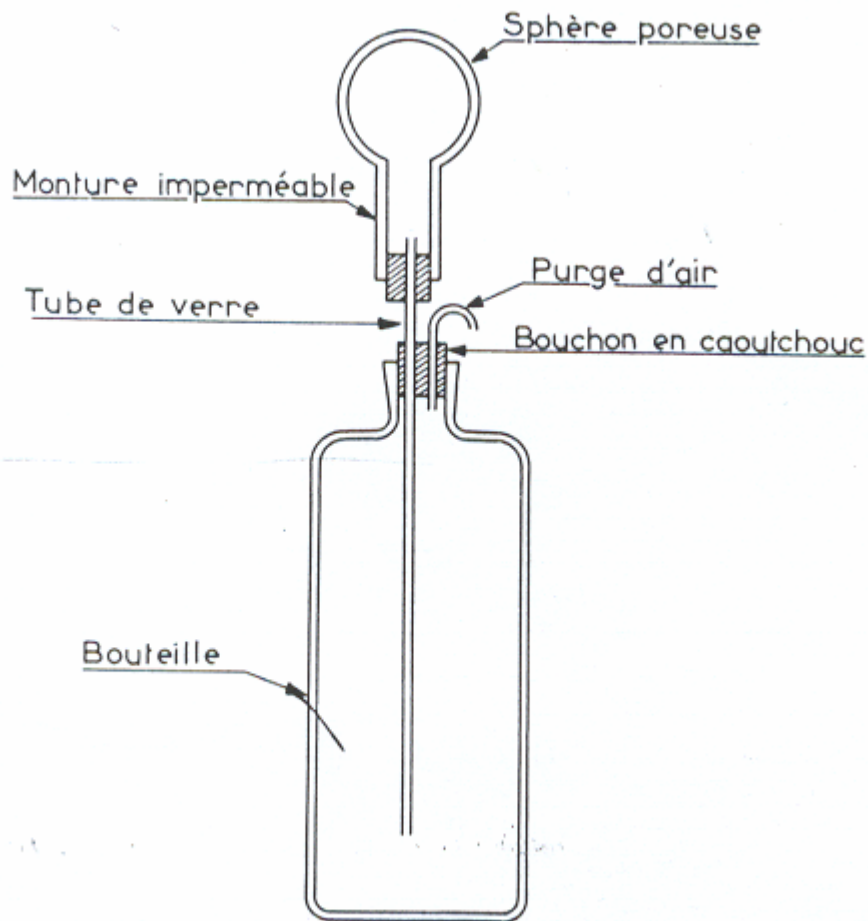


Figure n°05 : Atmomètre à sphère poreuse type Livingston

3.3. Surface de papier humide "évaporomètre Piche" :

Il est constitué par un tube cylindrique en verre en forme de U de 25 cm de long et 1.5 cm de diamètre. Ce tube gradué est fermé à sa partie supérieure, tandis que son orifice inférieur est obturé par une feuille circulaire de papier filtre normalisé de 30 mm de diamètre et 0.5 mm d'épaisseur fixée par capillarité et maintenue par un ressort. L'appareil ayant été rempli d'eau distillée, celle-ci est évaporée progressivement par la feuille de papier filtre. La diminution du niveau de l'eau dans le tube permet de calculer le taux d'évaporation. **(G.Réméniéras)** - fig n° 06-

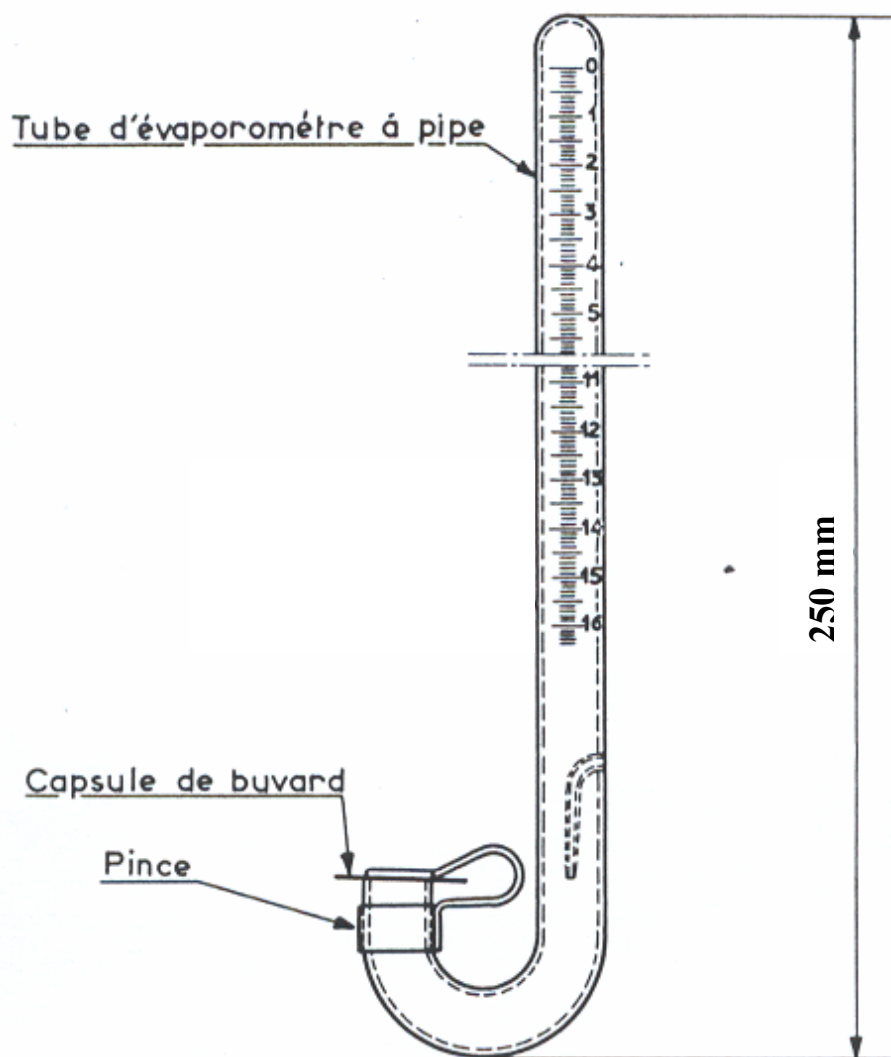


Figure n°06 : Evaporomètre Piche

II.2. METHODES INDIRECTES :

Vu la complexité de la mise en œuvre d'un dispositif de mesure de l'ETP et à défaut de mesures directes, il est toujours préférable d'utiliser à des méthodes d'estimation. On dispose en effet actuellement de formules et de méthodes suffisamment variées, et adaptées à différents climats. De plus, une bonne estimation vaut mieux qu'une mauvaise mesure. Nous allons essayer de passer en résumé les principales formules d'estimation de L'ETP.

1. Formule de TURC :

L.Turc rechercha à partir de 1945 une expression algébrique représentant au mieux l'évaporation mensuelle et même décadaire observée sur les cases lysimétriques de Versailles, Rothamsted, Groningen et d'autres stations situées en Ecosse, en Afrique du Nord et aux Indes. Il aboutit ainsi, vers 1953, à une formule complexe donnant l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'insolation et de la température.

En 1962, L.Turc a proposé les formules simplifiées suivantes (**A.Halimi**):

1) Lorsque l'humidité relative mensuelle est supérieure à 50%, on peut évaluer avec une approximation suffisante l'évapotranspiration potentielle mensuelle d'un périmètre irrigué par la formule suivante :

$$\mathbf{ETP} = 0.40(Ig + 50) \frac{t}{t + 15}$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

Ig : Radiation solaire globale du mois considéré sur une surface horizontale (quelques calories/cm²/jour).

t : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C).

Le coefficient 0.40 est le résultat du produit 0.013 j

Donc :

Pour le mois de 31 jours on a : 0.013 x 31 = 0.40

Pour le mois de 30 jours on a : 0.013 x 30 = 0.39

Pour le mois de février le coefficient est 0.37

La radiation solaire globale n'est mesurée qu'en un petit nombre de stations, on devra souvent l'évaluer à partir de la radiation maximale théorique Iga, calculée d'après les données astronomiques et d'après le rapport h/H de la durée d'insolation effective (mesuré par un héliographe) à la durée du jour astronomique (en heures).

On emploie souvent la formule suivante dérivée de celle d'Angström :

$$Ig = Iga(0.18 + 0.62 \frac{h}{H})$$

Avec :

h : Durée d'insolation réelle (heures).

H : Durée astronomique du jour (heures).

Iga et H ne dépendent que de la latitude.

2) Si l'humidité relative mensuelle de l'atmosphère est inférieure à 50%, on multiplie l'ETP calculée par le facteur correctif suivant $(1 + \frac{50 - Hr}{70})$ où Hr est l'humidité relative moyenne de l'air pendant le mois considéré (%).

En pratique, le terme correctif ci-dessus n'intervient que dans le cas des climats désertiques ou subdésertiques.

2. Formule de THORNTHWAITE :

Cette formule déjà assez ancienne (1944) est basée sur de nombreuses expériences effectuées sur des cases lysimétriques, elle ne fait intervenir que la température. L'évapotranspiration potentielle est donnée par la relation suivante (**G.Rémériéras**) :

$$ETP = C t^a$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration mensuelle en centimètre pour un mois fictif de 30 jours et une durée théorique d'ensoleillement de 12 heures sur 24.

t : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C).

C et a sont des fonctions de l'indice thermique annuel, constantes pour un lieu donné.

a : est calculé par la relation suivante :

$$a = 67.5 \times 10^{-8} I^3 - 77.1 \times 10^{-6} I^2 + 0.01790 I + 0.492$$

Dans laquelle I est l'indice thermique annuel égal à la somme des 12 indices thermiques mensuels (i)

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = \sum_{i=1}^{i=12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

t : Température moyenne mensuelle (°C).

La valeur de "a" est donnée par l'expression de L. SERRA de 1954 par simplification de la formule de THORNTHWAITE :

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

le terme C varie en sens inverse de I et en définitive l'équation $ETP = C t^a$ peut s'écrire :

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

3. Formule de BLANEY-CRIDDLE :

C'est l'une des plus anciennes car en 1931 Harry Blaney pensait que l'ETP dépendait de deux facteurs essentiels :

- La force évaporante F.
- L'humidité relative de l'air ou le déficit de saturation.

A ce moment là, les auteurs ont envisagé une régression linéaire entre l'ETP et la température ; ensuite ils ont remarqué que l'ETP ne dépend pas seulement du potentielle énergétique F, dépensé pour actionner le déficit de saturation H mais aussi de la structure de la surface qui libère les molécules d'eau. Ce dernier est appelé facteur de correction K qui dépend directement du type de la plante.

Ainsi la première formule s'écrit :

$$ETP = F \cdot K (114 - H)$$

Enfin en 1945, les mêmes auteurs Blaney Harry et Cribble Wayne ont remarqué que le facteur H joue un rôle moins important que prévu vis-à-vis du potentielle énergétique et à l'état de liaison de l'eau à la surface évaporante, alors pour simplifier le calcul, ils éliminèrent le H de leur formule qui devient ainsi :

$$ETP = K F$$

Où :

K : Coefficient propre à la couverture végétale considérée.

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

$$ETP = aF + b$$

Avec :

F : en mm/mois. $F = P (0.46 t + 8.13)$

P : Durée d'éclairement en %

T : Température moyenne mensuelle en°C

a et b: Coefficients de correction en fonction de trois paramètres climatiques: l'humidité relative, la vitesse du vent et l'insolation effective (rapport des heures d'insolation et de la durée astronomique de jour), les valeurs de a et b sont données par le tableau suivant:

Tableau N°01: Valeurs des coefficients a et b de l'équation $aF+b$

Insolation effective	Vitesse du vent (m/s)	Humidité relative (%)					
		Faible <20%		Moyenne 20-50%		Elevée >50%	
		a	b	a	b	a	b
Elevée 0.70-0.90	Faible 0-2	1.59	-2.02	1.45	-2.18	1.16	-1.96
	Modérée 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
Modérée 0.45-0.70	Faible 0-2	1.45	-2.00	1.30	-2.07	1.05	-1.84
	Modérée 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 0-0.45	Faible 0-2	1.25	-1.79	1.13	-1.71	0.89	-1.70
	Modérée 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

4. Formule de PENMAN ou formule dite « du bilan d'énergie » :

La formule mise au point par le physicien anglais PENMAN découle directement du bilan d'énergie. Son intérêt est donc primordial quand à la compréhension du phénomène physique. De plus, elle donne les meilleures estimations de l'ETP, et ceci sous tous les climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important d'informations climatiques.

L'équation simplifiée du bilan d'énergie, appliquée à une surface évaporante de caractéristiques déterminées, et non limitée en eau, s'écrit de la manière suivante (*ANRH – Juin 2002*) :

$$RN = Qh + ETP \quad (1)$$

Avec :

RN : Rayonnement net.

Qh : Flux de chaleur.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

Qh et EP peuvent s'exprimer de la façon suivante :

$$Qh = \gamma f(u) (Ts - Ta) \quad (2)$$

$$ETP = f(u) (es - ea) \quad (3)$$

Cette dernière expression (3) peut être transformée, en appelant Δ , la pente de la courbe de vapeur d'eau saturante au voisinage de la température Ta .

$$\Delta = \frac{es - E}{Ts - Ta}$$

E étant la tension de vapeur d'eau saturante à la température Ta .

L'expression (3) devient :

$$ETP = f(u) [(es - E) + (E - ea)]$$

$$D'où ETP = \Delta f(u) (Ts - Ta) + f(u) (E - ea) \quad (4)$$

En éliminant Qh entre (2) et (3), on obtient :

$$RN - ETP = \gamma f(u) (Ts - Ta)$$

Et en portant dans (4) :

$$ETP = \frac{\Delta}{\gamma} (RN - ETP) + f(u) (E - ea)$$

$$D'où ETP = \frac{\Delta RN + \gamma f(u)(E - ea)}{\Delta + \gamma} \quad (5)$$

On convient d'appeler «pouvoir évaporant de l'air » la quantité $E_a = f(u) (E - e_a)$. C'est l'évaporation qui se produirait si la température de surface était égale à la température de l'air.

$$ETP = \frac{\Delta RN + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

RN et E_a étant exprimés dans la même unité que ETP (mm).

Cette expression montre que l'évapotranspiration potentielle est en fait la moyenne pondérée de deux termes :

- Le premier, RN (rayonnement net) représente l'énergie radiative.
- Le second, E_a (pouvoir évaporant de l'air) représente l'énergie dite advective (ou indirecte).

Le calcul de l'ETP par la formule de PENMAN exige l'estimation préalable du rayonnement net RN et du pouvoir évaporant de l'air E_a ainsi que celle des coefficients Δ et γ .

4.1. Estimation du rayonnement net :

Le rayonnement net RN est donné par l'expression :

$$RN = I_g (1-a) + RA - RT$$

Avec :

I_g : rayonnement global

a : albédo.

RA : rayonnement atmosphérique.

RT : rayonnement terrestre.

4.1.1. Détermination du rayonnement global I_g :

On emploie souvent la formule suivante dérivée de celle d'Angström :

$$I_g = I_g a (0.18 + 0.62 \frac{h}{H})$$

Avec :

$I_g a$: Rayonnement solaire qui atteindrait le sol en l'absence d'atmosphère, c'est une donnée astronomique indépendante du climat ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{j}$).

h : Durée d'insolation réelle (heures).

H : Durée d'insolation maximale théorique (heures).

4.1.2. Détermination de l'albédo a :

La valeur de l'albédo généralement retenue pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle est de 20%.

4.1.3. Détermination du rayonnement de courte longueur d'onde RA - RT :

Le rayonnement de courte longueur d'onde peut être estimé par la formule de BRUNT :

$$RA - RT = -q\sigma T^4$$

Avec :

T : Température moyenne journalière (° Kelvin).

σ : Constante de STEPHAN-BOLTZMAN = 1.18×10^{-7} cal/cm²/j.

$$q = (0.56 - 0.08 \sqrt{e}) (0.10 + 0.90 \frac{h}{H})$$

e : Tension moyenne journalière de la vapeur d'eau dans l'air (millibars).

Remarque : La valeur obtenue pour le rayonnement net est en calories /cm²/jour. Elle doit ensuite être convertie en mm d'évaporation (1mm d'évaporation équivaut à 59 cal/cm²)

On aura donc, en mm/jour :

$$RN = \frac{1}{59} [(1 - a) I_g - q \sigma T^4]$$

4.2. Estimation du pouvoir évaporant de l'air :

$$E_a = f(u) (E - e)$$

E : Tension maximale de la vapeur d'eau dans l'air (millibars).

$$F(u) = 0.26 (1 + 0.54 u)$$

U : Vitesse moyenne journalière du vent mesurée à 2 mètres au dessus de la surface évaporante (m/s).

Donc la formule de PENMAN prend la forme suivante :

$$ETP = \left[\frac{I_g a}{59} (1 - a) (0.18 + 0.62 \frac{h}{H}) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{e}) (0.10 + 0.90 \frac{h}{H}) \right] \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} + \frac{0.26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e) (1 + 0.54 u)$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/j).

e : est estimée à partir de l'humidité relative Hr en% et de la température t en degré Celsius par la relation suivante :

$$e = 0.061 \text{ Hr } 10^{\left(7.5 \frac{t}{238+t}\right)}$$

Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante pour la température de l'air T.

$$\Delta = \frac{6.149}{T} \exp\left(19.511 \frac{t}{T}\right) \left(\frac{6463}{T} - 3.927\right)$$

Avec :

Δ : en millibar/°celsius.

t : Température en (°C).

T : Température en (°K).

γ : Constante psychrométrique.

$$\gamma = 0.6605 - 0.826 \cdot 10^{-4} Z$$

Avec :

γ : en millibar /°C

Z : Altitude de lieu (m).

$$E = 6.107 \times 10^{\left(7.5 \frac{t}{238+t}\right)}$$

5. Formule de PENMAN modifiée F.A.O:

La formule de PENMAN a été modifiée par de nombreux auteurs de façon à en simplifier l'écriture ou en adapter les paramètres à des régions particulières. Parmi ces formules modifiées on utilise fréquemment la formule dite de PENMAN-FAO recommandée pour les régions sèches et arides. Cette formule a la forme suivante (**A.Halimi**):

$$\begin{aligned} \text{ETP} = & \left[\frac{Iga}{59} (1 - a) \left(0.25 + 0.45 \frac{h}{H}\right) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{e}) \left(0.10 + 0.90 \frac{h}{H}\right) \right] \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} \\ & + \frac{0.26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e) (1 + 0.864 u) \end{aligned}$$

On y retrouve les mêmes variables de la formule de PENMAN, mais seuls quelques paramètres changent :

- $\left(0.25 + 0.45 \frac{h}{H}\right)$ au lieu de $\left(0.18 + 0.62 \frac{h}{H}\right)$.

- $(1 + 0.864 u)$ au lieu de $(1 + 0.54 u)$.

6. Formule dite ANRH :

Il arrive souvent que les données climatiques ne soient pas disponibles pour permettre le calcul de l'ETP. Dans ce cas, on peut utiliser la formule ETP de l'ANRH, qui permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante de la position géographique (*ANRH – Juin 2002*):

$$ETP_{ANRH} = K_r \times K_m (H - 187) (0.032 t + 0.077)$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/mois).

K_m : Coefficient mensuel dont ses valeurs sont données à la figure n°07.

K_r : Coefficient régional qu'on peut lire sur la figure n° 08

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 :

$$H_i = a_i Y + b_i$$

Avec :

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

a_i, b_i sont donnés dans le tableau N°2

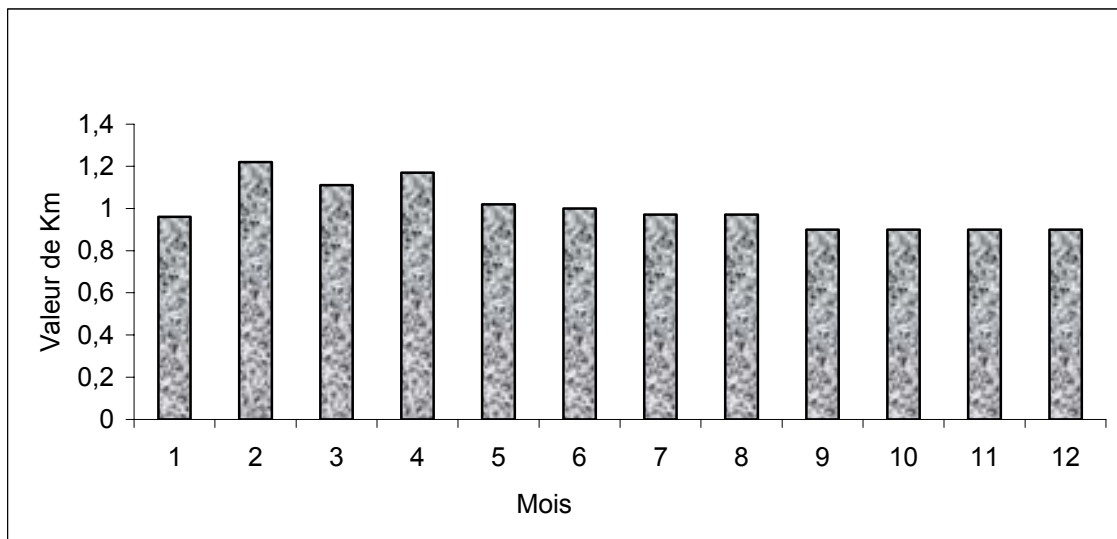


Figure n°07: Evolution du coefficient correctif mensuel

Tableau N°02 : 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

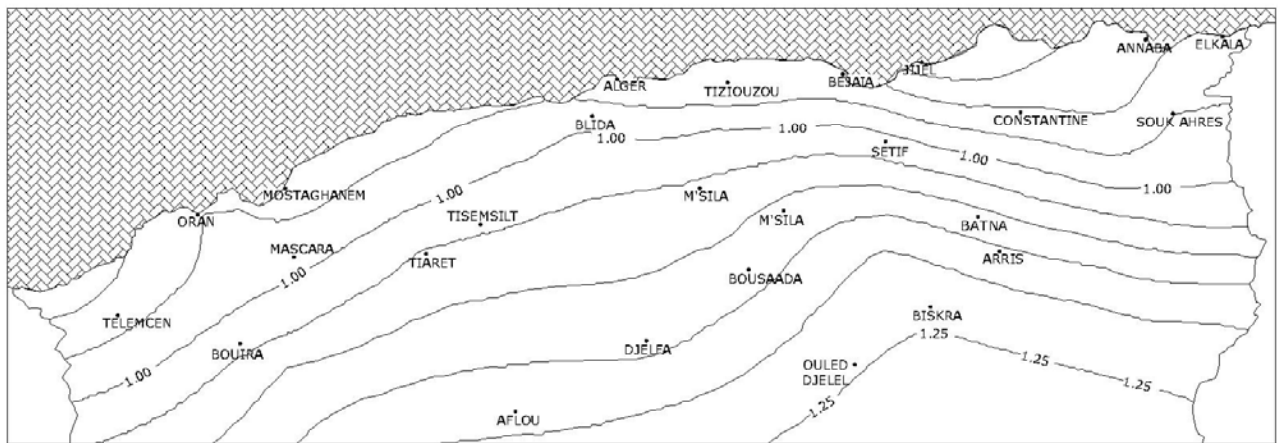


Figure n°08 : Carte des coefficients correctifs régionaux

Conclusion:

A l'origine, l'ETP était mesurée dans la plupart des cas à l'aide de bacs et évaporomètres et occasionnellement à l'aide des lysimètres. Ces derniers instruments colossaux et coûteux n'estiment que l'ETP sur une surface restreinte et artificielle et il faut passer de ces données locales à une ETP régionale. C'est pourquoi de nombreuses formules ont été établies pour calculer l'ETP à partir des quatre éléments

fondamentaux: température, déficit de saturation, vent et radiation globale qui régissent ce phénomène. Mais ces quatre éléments diffèrent dans leur pouvoir évaporant; de plus, ils ne sont pas tous mesurés dans toutes les stations quelque que soit leur classe.

Ces problèmes de disponibilité de données ont orienté de nombreux auteurs vers la recherche d'une formule convenable, plus ou moins complexe, qui peut servir à estimer avec les moindres erreurs, l'évapotranspiration potentielle, à partir d'un ou de plusieurs paramètres climatiques qui régissent en priorité ce phénomène. Cependant la justesse de ces formules dépend en grande partie du nombre de facteurs climatiques qu'elles intègrent.

Mais en tout état de cause, la température demeure l'élément le plus disponible dans cette évaluation, de ce fait tous les auteurs l'ont intégré dans leurs formules, soit dans celles basées uniquement sur la température (formule de Thornthwaite), soit dans celles basées sur la température et la radiation globale (formule de Turc), soit dans celles qui font appel au bilan énergétique (formule de Penman).

Ces différentes préoccupations nous ont encouragé à rechercher et proposer un autre modèle propre à deux bassins de l'Est algérien de climats différents qui sont le bassin de Oued Mellegue dans la région de Tébessa et le bassin de la Seybouse dans la région de Annaba.

***DEUXIEME PARTIE:
PRESENTATION DE LA REGION
D'ETUDE***

***CHAPITRE I:
ETUDE PHYSICO-GEOGRAPHIQUE ET
RESEAU HYDROGRAPHIQUE***

Introduction :

L'étude du phénomène de l'évapotranspiration que nous allons entamer concerne deux régions à climat différent l'un est la région de Annaba se trouvant dans le bassin de la Seybouse qui se caractérise par un climat subhumide et l'autre, la région de Tébessa se trouvant dans le bassin de Oued Mellegue qui se caractérise par un climat semi aride.

L'étude a pour objectif d'une part de choisir la méthode la plus efficace pour l'estimation de l'évapotranspiration dans les régions subhumides et semi-arides et d'autre part de connaître les critères d'utilisation de cette méthode dans ces deux régions.

I.1. LE BASSIN DE LA SEYBOUSE

1.1. Situation géographique :

Le bassin de la Seybouse couvre une superficie de 6483 km², cette surface est drainée par "Oued Seybouse" qui coule du Sud vers le Nord, depuis sa source dans les hautes plaines des Sellaoua et Heracta, aux reliefs assez simples, puis la Seybouse continue son parcours dans l'atlas tellien fortement accidenté. Finalement, la Seybouse pénètre dans la plaine littorale de Annaba pour se jeter à la mer méditerranée (carte n° 01).

La région d'étude est située dans les territoires des wilayas de Guelma, Annaba et El Tarf et elle est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranée.
- Au Sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- A l'Ouest par les wilayas de Constantine et de Skikda.
- A l'Est par les wilayas d'El Tarf et de Souk Ahras.

1.2. Cadre géographique :

Le bassin versant de la Seybouse présente des ensembles naturels fortement variés qui agissent sur le comportement hydrologique du bassin depuis les hautes plaines jusqu'à la chaîne numidique. Il est subdivisé en trois zones principales du Sud vers le Nord : La haute, la moyenne et la basse Seybouse (carte n°01).

1.2.1. Le bassin de la haute Seybouse :

Dans Cette zone, le relief est assez simple dans son ensemble. Les oueds et leurs affluents convergent tous vers Moulin Rochefort. Cette zone peut être divisée en deux parties :

▪ La plaine de Sédrata :

La plus grande partie de cette plaine est tributaire de la Seybouse. Cette zone est drainée par Oued Trough et Oued Aïn Snob qui descendent de Djebel Terraguelt. Ces deux

Oued sont parallèles l'un à l'autre dans leurs cours inférieur et se jettent dans l'Oued Cherf au Sud de Moulin Rochefort, de même que Oued Settara qui se jette aussi au Moulin Rochefort.

▪ **La plaine de Tamlouka :**

L'altitude de la plaine de Tamlouka varie entre 800 et 900 m. Elle est drainée par Oued El Melah qui prend naissance dans le flanc Sud-Ouest du Chebbet Sellaoua. La rencontre de ce dernier avec plusieurs ramifications forme Oued Mgaïbsa qui se jette dans Oued Cherf.

Ainsi, la haute Seybouse est formée de deux grandes plaines presque fermées, situées sur la bordure septentrionale des hautes plaines constantinoises. Il s'agit de la plaine des Harecta et la plaine des Sellaoua. Les eaux de ces deux bassins pénètrent dans le tell par deux issues, la première est la cluse de Moulin Rochefort où convergent les oueds de la plaine des Harecta, la deuxième est la capture pratiquée par l'Oued Mgaïbsa sur le secteur Nord-Est de la plaine.

1.2.2. Le bassin de la moyenne Seybouse :

C'est une région montagneuse à relief accidenté. L'orientation générale de celle-ci est Ouest - Sud-Ouest, Est - Nord-Est, sa largeur moyenne varie de 25 à 30 km. C'est l'atlas tellien.

Le bassin de la moyenne Seybouse est enserré entre les hautes plaines au Sud et la chaîne numidique au Nord. Ce secteur constitue la partie essentielle du bassin. Il est drainé par Oued Cherf qui descend du Moulin Rochefort à Medjez Amar, puis par Oued Bouhamdane qui prend sa source à Bordj-Sabath à Medjez Amar. Les deux Oueds Cherf et Bouhamdane sont les deux principaux affluents qui forment la Seybouse, ainsi que Oued Melah qui se jette dans Oued Seybouse près de Bouchegouf. Ce dernier est formé par la réunion de Oued Sfa et Oued Ranem.

1.2.3. Le bassin de la basse Seybouse :

Après avoir traversé l'atlas tellien, Oued Seybouse continue son chemin entre Bouchegouf et Drean selon une direction Sud-Nord à travers la zone septentrionale du Tell. Cette zone constitue le dernier rempart à franchir par cet Oued, puis il finit dans la plaine littorale d'Annaba pour se jeter dans la méditerranée.

I.2. LE BASSIN DE OUED MELLEGUE

2.1. Situation géographique :

Le bassin versant de Oued Mellegue fait partie du bassin versant de "la Medjerda" Il couvre une superficie de 4307 km². Cette surface est drainée par "Oued Mellegue" qui

coule sur une longueur environ de 153 km depuis sa source à djebel Tadinart au Sud–Ouest jusqu’à la frontière algéro-tunisienne au Nord-Es (carte n° 02).

La région d'étude est située dans les territoires des wilayas de Tébessa et Khenchela, elle est limitée :

- A l'Est par la frontière algéro- tunisienne.
- A l'Ouest par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela.
- Au Nord par la wilaya de Souk Ahras.
- Au Sud par la wilaya d'El Oued.

2.2. Cadre géographique :

Le bassin versant de Oued Mellegue est situé au Sud de l'atlas tellien, dans la zone des hautes plaines. Il est caractérisé par un relief en majorité plat (altitude moyenne 857 m), entouré par les massifs montagneux suivants qui forment la ligne de partage des eaux de surface : (carte n°02)

Au Sud-Est :

- Djebel de Doukkane ayant une altitude maximale de 1712 m.
- Mont de Troubia ayant une altitude de 1456 m.

Au Sud-Ouest :

- Mont de Hamamir et mont de Tadinart.

A l'Ouest : en allant du sud vers le nord

- Les monts de Tafrennt, ayant une altitude de 1406 m, Bou Talhoma et Fedjidjet.
- Monts de Amamat El Kebir et Terrguelt.

Au Nord :

- Mont de Bousessou ayant une altitude de 1087 m.

A l'Est :

- Monts de Ouenza (1288 m), Boukhadra (1463 m), Djebels Zitouna (1231 m) et Djebels Dyr (1472 m).

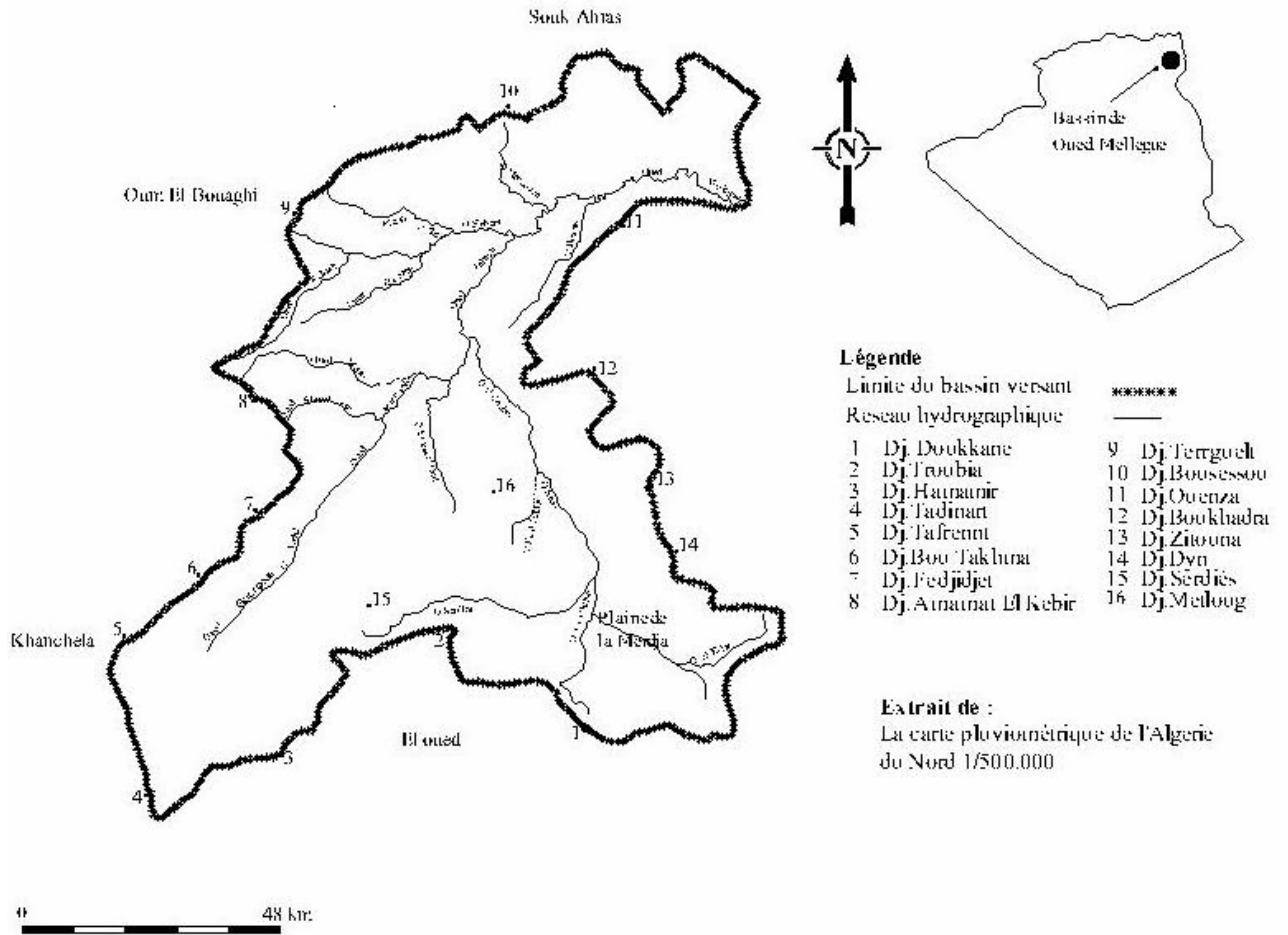
I.3. Les caractéristiques morphométriques des deux bassins versants :

L'utilisation des différents types de paramètres morphométriques permet la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

3.1. Paramètres géométriques: la surface et le périmètre :

La superficie et le périmètre d'un bassin versant sont des dimensions importantes à connaître, car elles sont à la base de tous les calculs hydrologiques. La mesure de la surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par la ligne des crêtes. Le bassin versant de la Seybouse est caractérisé par une

CARTE N°- 02: SITUATION GEOGRAPHIQUE DU
BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



superficie de 6483 km² et un périmètre de 967 km, alors que le bassin versant de Oued Mellegue est caractérisé par une superficie de 4307 km² et un périmètre de 440 km. Ces deux paramètres permettent de calculer l'indice de compacité.

3.2. Caractéristique de forme :

La forme d'un bassin versant a une influence sur l'écoulement. Un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales. On exprime la caractéristique de forme par l'indice de compacité de Gravelius (Kc) qui est défini comme étant le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface. Plus cet indice se rapproche de l'unité plus le bassin aura une forme ramassée, et plus le temps de concentration sera court. Ce paramètre est donné par la formule suivante :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P : Périmètre du bassin versant (km).

A : Superficie du bassin versant (Km²).

Pour notre cas le bassin de la Seybouse présente une forme étirée (Kc = 3.36), tandis que le bassin versant de Oued Mellegue est présente une faible compacité avec une valeur de 1.88

3.3. L'orographie :

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonctions de l'altitude. Le relief est indiqué par les courbes de niveau joignant les points d'égale altitude. Il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique. Dans la description d'un bassin versant

On donne également sa répartition hypsométrique c'est-à-dire la fraction ou le pourcentage de la surface totale comprise entre les différentes courbes de niveau.

Le bassin de la Seybouse atteint 1635 m à son point culminant au sommet de Djebel Sidi Reghis à la limite sud du bassin versant, tandis que le point le plus bas 12 m correspond à la station hydrométrique de Mirbek.

Tableau N°03 : Répartition altimétrique du bassin versant de la Seybouse

Altitude (m)	Surface partielle (km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)	Dénivelé (m)	$\sqrt{Si.Hi}$
1600-1400	4.00	0.06	4.00	0.062	200	0.35

Altitude (m)	Surface partielle (km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)	Dénivelé (m)	$\sqrt{Si.Hi}$
1400-1200	13.20	0.20	17.20	0.27	200	0.63
1200-1000	138.40	2.15	155.60	2.41	200	2.05
1000-800	2844.80	44.11	3000.40	46.52	200	9.38
800-600	1684.40	26.11	4684.80	72.63	200	7.21
600-400	812.00	12.59	5496.80	85.22	200	4.89
400-200	468.00	7.26	5964.80	92.48	200	3.79
200-95	485.20	7.52	6450.00	100	105	2.80
Total						31.11

(in A.GHACHI, 1982)

Le bassin de oued Mellegue atteint 1712 m à son point culminant au sommet de Djebel Doukkane à la limite sud-Est du bassin versant, tandis que le point le plus bas correspond à la station hydrométrique de Ouenza située à l'altitude 480 m, donc une dénivelée total de 1232 m (tableaux n°3 et 4, figures n°9 et 10 et carte n°3).

Tableau N°04 : Répartition altimétrique du bassin versant de oued Mellegue

Altitude (m)	Surface partielle (km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée (%)	Dénivelé (m)	$\sqrt{Si.Hi}$
1712 – 1500	7.85	0.18	7.85	0.18	212	0.65
1500 - 1400	9.45	0.22	17.30	0.40	100	0.45
1400 – 1300	11.13	0.26	28.43	0.66	100	0.55
1300 -1200	222.61	5.17	251.04	5.83	100	2.24
1200 -1100	241.76	5.61	492.80	11.44	100	2.45
1100 – 1000	480.02	11.14	972.82	22.58	100	3.32
1000 – 900	590.47	13.71	1563.29	36.29	100	3.74
900 - 800	1030.86	23.93	2594.15	60.22	100	4.90
800 – 700	857.46	19.92	3451.61	80.14	100	4.47
700 -600	425.19	9.87	3876.80	90.01	100	3.00
600 -500	354.86	8.24	4231.66	98.25	100	2.83
500 - 480	75.34	1.75	4307.00	100.00	20	0.63
Total						29.22

Figure n°09 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin versant de la Seybouse

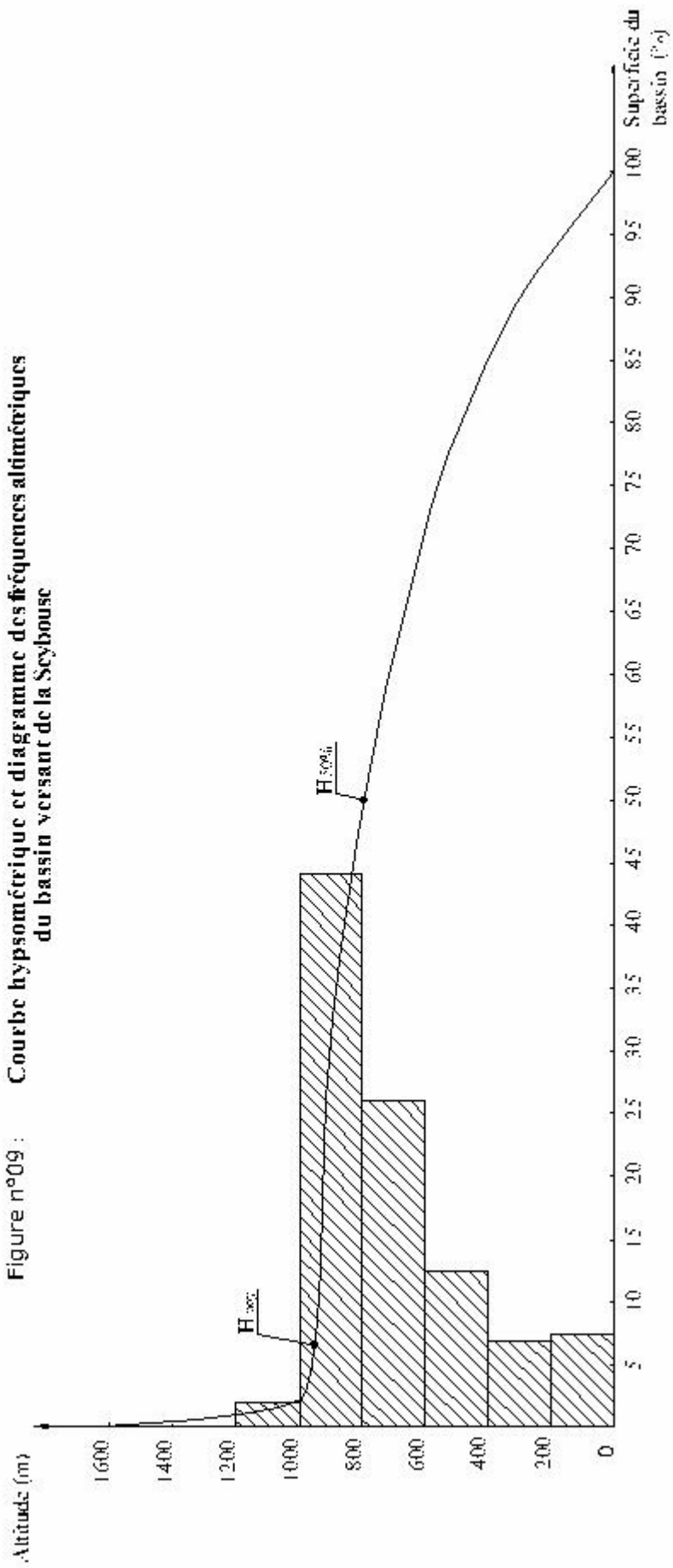
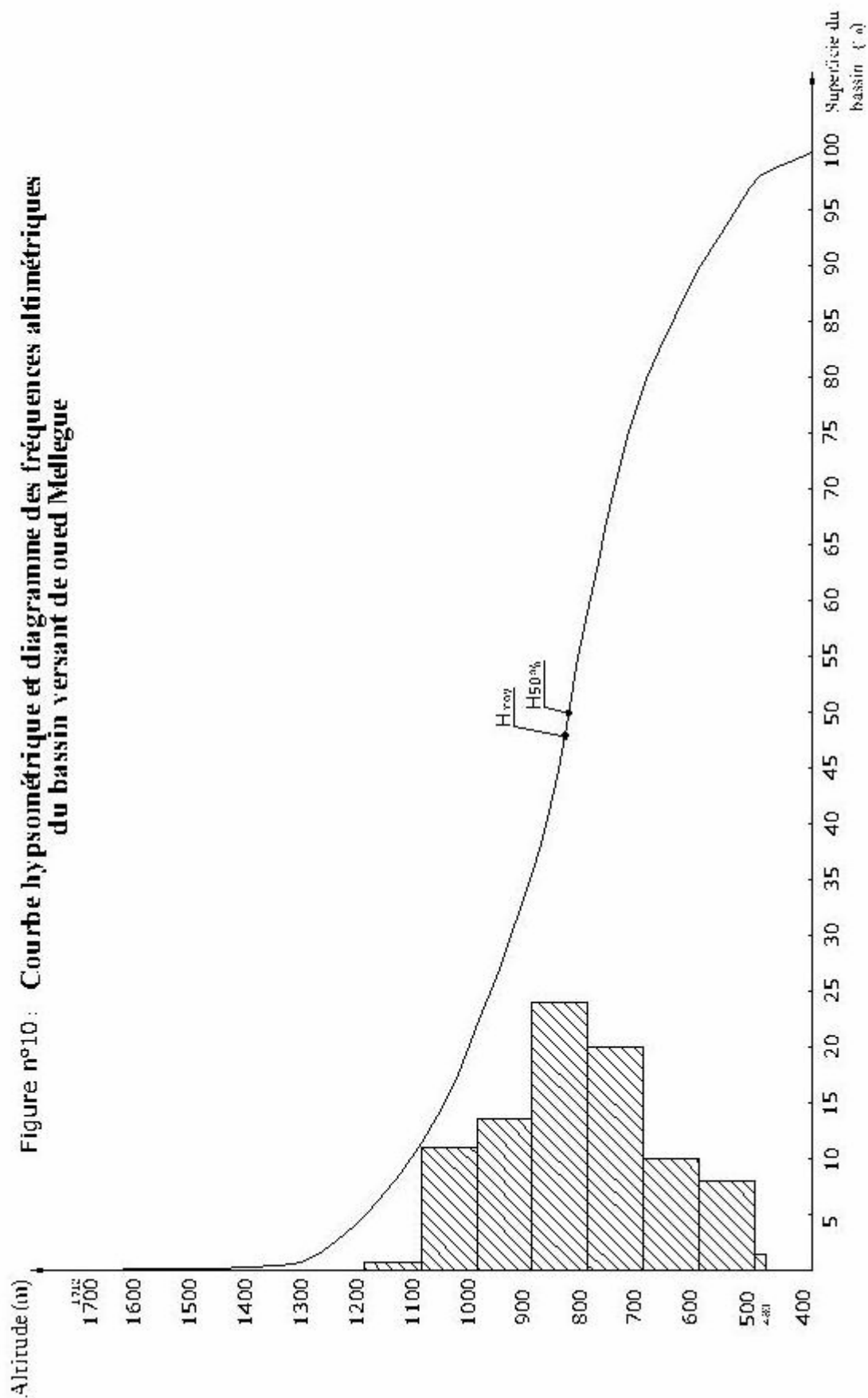
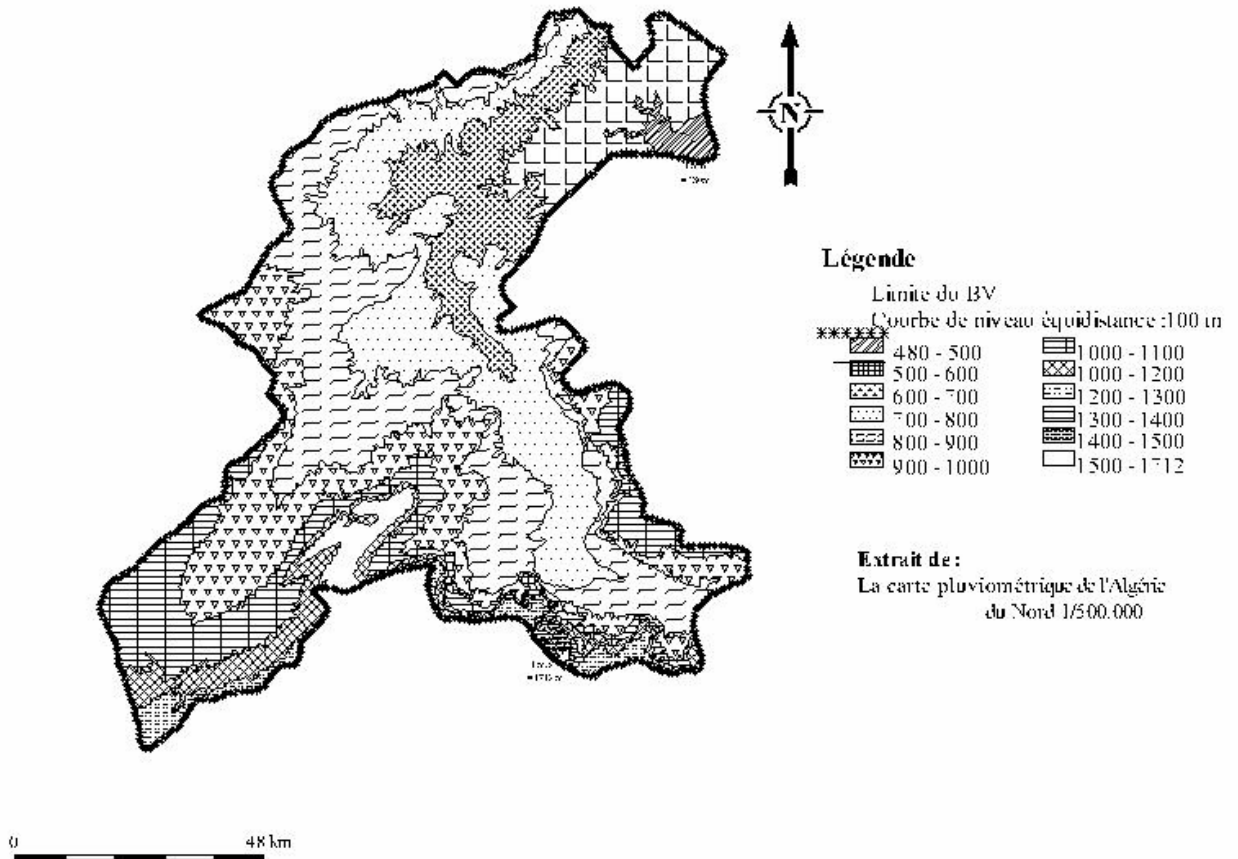


Figure n°10 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin versant de oued Mellegue



CARTE N°- 03: CARTE HYPSONOMETRIQUE DU
BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



- **L'altitude moyenne :**

L'altitude moyenne (\bar{h}) s'obtient en divisant le volume (V) par la surface du bassin (S)

$$\bar{h} = V / S$$

Le volume est la somme des volumes partiels de chaque tranche comprise entre les courbes de niveau retenue pour le planimétrage. Ils s'obtiennent en multipliant les surfaces partielles (S) par la moyenne arithmétique des altitudes h1 et h2 des courbes qui les limitent :

$$V = S \frac{h1 + h2}{2}$$

L'altitude moyenne \bar{h} est donc : $\bar{h} = \sum_1^n \frac{V}{S}$

- L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin de la Seybouse est de 955.8 m (Fig n° 09 et tableau n°02)

- La courbe hypsométrique possède une allure générale régulière, relativement aplatie aux courbes 800 et 1000 m ce qui correspond aux hautes plaines dans la partie amont du bassin. (A.GHACHI, 1982) Cette courbe hypsométrique présente deux cassures à ses deux extrémités qui s'expliquent :

- Celle à l'origine, indique la plaine inondable de Annaba, ce qui donne en pourcentage une superficie de 7.52

- Celle des hautes altitudes, correspond à des montagnes de la tranche 1600 – 1400m à 1200 – 1000 m, leurs surfaces donnent 2.41 %, ce qui est très faible.

Afin de mieux caractériser le relief du bassin de la Seybouse et de faire ressortir les grandes zones homogènes d'altitude, nous avons reporté sur le même graphique, l'histogramme de fréquences altimétriques.

L'examen de cette figure permet de faire les constations suivantes :(tableau n°5)

- La tranche d'altitude dominante se situe entre 800 et 1000 m avec 44.11 % de la surface de bassin versant.

- La tranche d'altitude située entre 600 et 800 m représente 26.11% soit 1684.40 km²

- La tranche d'altitude située entre 400 et 600 m représente 12.59 % soit 812 km²

- L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin de oued Mellegue est de 856.83 m.

- Les secteurs de haute altitude (supérieur à 1100 m) sont très peu étendus, cette tranche représente 11.44 % de la surface totale du bassin.

- La tranche d'altitude dominante se situe entre 800 et 900 m représente 23.93% soit 1030.86 km²

- La tranche d'altitude située entre 700 et 800 m représente 19.92% soit 857.46 km²
- La tranche d'altitude située entre 900 et 1000 m représente 13.71 % soit 590.47 km²

Tableau n°05 : Altitudes caractéristiques des bassins versants de la Seybouse et de Oued Mellegue

Bassin versant	hmax	Hmin	Hmoy	H5%	H50%	H95%
Seybouse	1635	12	955.8	970	790	170
Oued Mellegue	1712	480	856.83	1210	840	540

3.4. Le système des pentes :

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin. L'approche de ce paramètre est abordée avec des indices fréquemment utilisés par les hydrologues, leur but est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications. Les indices de pente se déterminant à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin.

3.4.1. Indice de pente de Roche :

C'est un indice qui rend bien compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin. La formule qui permet d'avoir ce paramètre est la suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^n \sqrt{S_i \cdot H_i}$$

Avec :

I_p : Indice de pente de Roche.

S_i : La fraction de la surface comprise entre deux courbes de niveaux (%).

H_i : Dénivelé entre deux courbes de niveaux voisines (m).

L : Longueur du rectangle équivalent (m), avec :

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Où :

K_c : Indice de compacité.

S : Superficie du bassin versant (km²).

3.4.2. Indice de pente globale :

L'indice de pente globale I_g se calcule comme étant le rapport de la dénivelée sur la longueur du rectangle équivalent

$$I_g = D / L$$

Avec :

D : Dénivelée entre H5% et H95%

$D = H5\% - H95\%$

3.4.3. Dénivelée spécifique :

Elle permet de déterminer l'état du relief du bassin versant et elle se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$Ds = Ig\sqrt{S}$$

Avec :

Ds : Dénivelée spécifique (m).

S : Superficie du bassin versant (km²).

Ig : Indice de pente globale (m/km²).

Le tableau regroupe ces paramètres relatifs aux deux bassins versants considérés

Tableau n°06 : Indices des pentes des bassins versants de la Seybouse et de Oued Mellegue

Bassin versant	L (km)	Ip	D (m)	Ig (m/km ²)	Ds (m)
Seybouse	469.29	0.045	800	1.70	136.88
Oued Mellegue	198.64	0.066	670	3.37	221.16

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M des reliefs des bassins versants de la Seybouse et de Oued Mellegue sont des reliefs assez forts.

4. Réseau hydrographique :

4.1. Présentation :

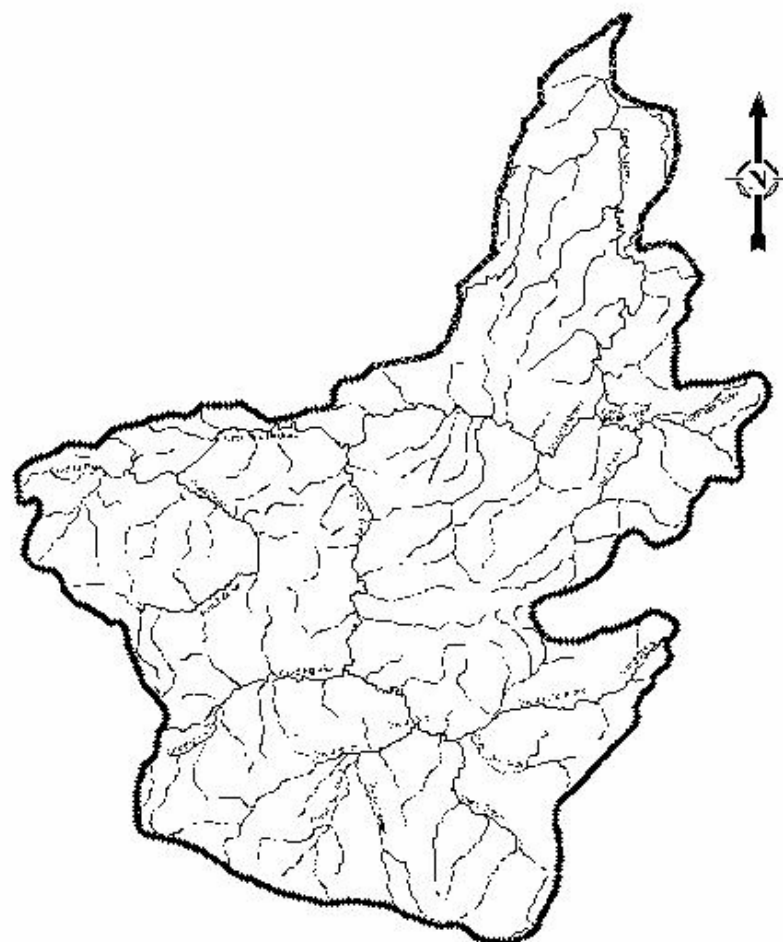
4.1.1. Réseau hydrographique de la Seybouse

L'Oued Seybouse résulte de la jonction de deux affluents : Oued Bouhamdane et Oued Cherf, qui coulent respectivement selon les directions Ouest-Est et Sud-Nord.

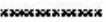
Oued Bouhamdane résulte de la confluence des deux Oueds : Oued Zenati et Oued Sabath. Les trois Oueds Trouch, Aïn Snob et Lahamimine prennent naissance au Nord-Ouest à Djebel Terraguelt dans les hautes plaines. La jonction de ces derniers avec Oued Settara forment Oued Cherf, ce dernier rencontre sur son trajet Oued Mgaïbsba qui draine la plaine de Tamlouka.


Oued Settara résulte de la jonction de deux oued Ouessah et Babouche qui prend sa source au Nord-Est à Djebel Sidi Reghis.


CARTE N°= 04: RESEAU HYDRAUGRAPHIQUE DU
BASSIN VERSANT DE LA SEYBOUSE



Légende

Limite du bassin versant 

Cours d'eau
à écoulement permanent 

Cours d'eau
à écoulement temporaire 

Extrait de :
La carte hydrographique de l'Agencé du Nord (1988) et
de l'Agencé (2000) (m/s)

0  60km

A Bouchegouf, Oued Seybouse reçoit sur sa rive droite Oued Melah qui résulte de la jonction de Oued Sfa et Oued Ranem, sur la rive gauche Oued Seybouse reçoit Oued Ressoul (Carte n°04).

4.1.2. Réseau hydrographique de Oued Mellegue :

L'Oued Mellegue résulte de la jonction de deux affluents : Oued Chabro et Oued Meskiana qui coulent respectivement selon les directions Sud-Est Nord-Ouest et Sud-Ouest Nord-Est.

Oued Chabro résulte de la confluence des Oueds Faid Lebba et Ksob, ce dernier résulte de la jonction de Oued Aïn Chabro et Oued Serdiès qui prennent naissance à Djebel Serdiès selon une direction Nord-Ouest Nord-Est.

Oued Aïn Chabro reçoit les eaux de Oued El Kebir qui draine la plaine de la Merdja.

Oued Smara El Oued se déverse dans Oued Meskiana sur sa rive droite, ainsi que Oueds Melah et Ahmed Ben Mohamed qui coulent de Djebel Amamt El Kebir et Djebel Fedjidjet. Oued Guergoub El Melah se déverse dans Oued Meskiana sur sa rive gauche et coule dans la même direction que Oued Meskiana. Oued Guergoub El Melah reçoit les eaux provenant des Djebels Hamemir et Tadinart au Sud et Bou Tokhma et Tafernt à l'Ouest de ce dernier.

Oued Mellegue reçoit sur sa rive gauche les eaux de Oued Kebarit qui rencontre sur son trajet Oued Guefara, Oued Merah El Bel et Oued Maksouba, et dans sa rive droite Oued Mellegue reçoit les eaux de Oued El Besbas (Carte n°05).

4.2. Type de densité de drainage :

La densité de drainage (Dd) est définie pour un bassin donné de superficie A, comme étant la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur la surface drainée

$$Dd = L/A$$

Les calculs de la densité de drainage totale, temporaire et permanent pour le bassin de la Seybouse sont consignés dans le tableau n°7.

Tableau n°07 : Densité de drainage pour le bassin versant de la Seybouse

Bassin versant	Dd (km/km ²)	Ddp (km/km ²)	Ddp/Dd (%)	Ddt (km/km ²)	Ddt/Dd (%)
Cherf amont à Moulin					
Rechefort	0.48	0.22	46	0.26	54
Cherf aval à Medjez Amar I	0.80	0.43	53	0.56	47

Bassin versant	Dd (km/km ²)	Ddp (km/km ²)	Ddp/Dd (%)	Ddt (km/km ²)	Ddt/Dd (%)
L'ensemble des bassins amont : Réseau ydrographique faible	0.56	0.25	44	0.32	56
Bouhamdane à Medjez Amar II	0.92	0.56	60	0.37	40
Seybouse à Nador	0.84	0.83	98	0.23	2
Melah à Bouchegouf	0.72	0.63	87	0.13	18
Seybouse à Mirbek	0.72	0.41	56	0.31	44
L'ensemble des bassins aval : Réseau hydrographique dense	0.84	0.48	57	0.36	43
Ensemble du bassin de la Seybouse	0.72	0.41	56	0.32	44

(in A. GHACHI, 1982)

Lp : Longueur permanente (km).

Lt : Longueur temporaire (km).

Dd : Densité de drainage Dd (km/km²).

Ddp : Densité permanent (km/km²).

Ddt : Densité temporaire (km/km²).

La densité de drainage temporaire est élevée dans le bassin du haut cherf. Elle est de 0.26 à Moulin Rechefort et passe à 0.56 sur le cherf aval à Medjez Amar I. Pour l'ensemble de ces deux bassins la densité de drainage permanent est de 0.25, alors que la densité de drainage temporaire est de 0.32. Cette situation est inversée pour l'ensemble des bassins en aval. Les valeurs sont respectivement de 0.48 et de 0.36.

Donc la moitié sud du bassin présente une densité de drainage faible par rapport à la moitié nord qui présente une densité de drainage relativement dense.

Toutefois, il faut signaler que ces valeurs de densité de drainage du chevelu hydrographique sont approximatives, vu l'échelle de la carte au 1/1500.000

Pour le bassin versant de Oued Mellegue, la densité de drainage temporaire est élevée, elle est de l'ordre de 0.18, alors que la densité de drainage permanent est de l'ordre de 0.084 (tableau n°8).

Donc le bassin versant de oued Mellegue est caractérisé par un écoulement faible et tomproaire, lié à une lithologie perméable et à une pluviométrie faible.

Tableau n°08 : Densité de drainage pour le bassin versant de Oued Mellegue

Surface (km ²)	Lp (km)	Lt (km)	Dd (km/km ²)	Ddp (km/km ²)	Ddp/Dd (%)	Ddt (km/km ²)	Ddt/Dd (%)
4307	360.36	795.22	0.27	0.084	0.31	0.18	0.67

Conclusion :

L'analyse morphométrique est la base de toute étude hydrologique, elle permet de quantifier les caractéristiques du milieu physique d'un bassin versant.

Le calcul des caractéristiques topographiques et hydrologiques n'a pas de sens pratique, il sert comme moyen de comparaison entre les bassins. Alors que l'approche cartographique reflète avec fidélité la réalité du terrain, mais la qualité de l'information reste toujours relative.

Généralement, les deux bassins versants de la Seybouse et de Oued Mellegue présentent une forme allongée, avec un relief assez fort.

L'écoulement dans le bassin de la Seybouse est faible et temporaire dans sa partie sud, permanent et élevé dans sa partie nord. Alors que la plupart des oueds du bassin de Oued Mellegue ne sont pas permanents ce qui limite l'évapotranspiration dans ce bassin.

CHAPITRE II :
LES CARACTERISTIQUES
GEOLOGIQUES ET LITHOLOGIQUES

Introduction:

La géologie du bassin versant joue un rôle double, son influence se fait sentir d'une part sur le régime du cours d'eau et sur l'écoulement souterrain c'est-à-dire la notion de la perméabilité, et d'autre part sur l'érosion et le transport solide.

I. BASSIN DE LA SEYBOUSE :

1. Les grandes unités géologiques :

Le bassin versant de la Seybouse s'étend sur quatre grandes unités géologiques orientées Sud-Ouest, Nord-Est : (carte n°6)

1.1. L'Atlas Saharien : C'est une succession de synclinaux occupé par un matériel Miocène, Pliocène et Quaternaire ainsi que d'anticlinaux affectant des marnes et les calcaires du Crétacé.

1.2. L'Atlas Tellien : Il correspond à un ensemble constitué de marne, de marno-calcaires, et de calcaire du Crétacé inférieur.

1.3. La chaîne Numidique : C'est une vaste nappe de charriage d'argile et de grès oligocène. Elle est venue sur une autre nappe de charriage antérieure, constituée de marne et de calcaires marneux Crétacé et Eocène.

1.4. Le Massif de l'Edough : Il correspond aux affleurements actuels des formations cristallophylliennes, celles-ci comprennent des schistes, des micaschistes et des gneiss, ainsi que des calcaires.

Entre la chaîne Numidique et la Massif de l'Edough, viennent s'entasser sur plusieurs centaines de mètres des formations argilo-gréseuses et marneuses reposant sur un substratum de « Flysch » numidien et qui constitue la plaine de la basse Seybouse. La haute Seybouse correspond à l'Atlas Saharien alors que l'Atlas Tellien et la chaîne Numidique formant la moyenne Seybouse.

2. Les grands ensembles lithologiques

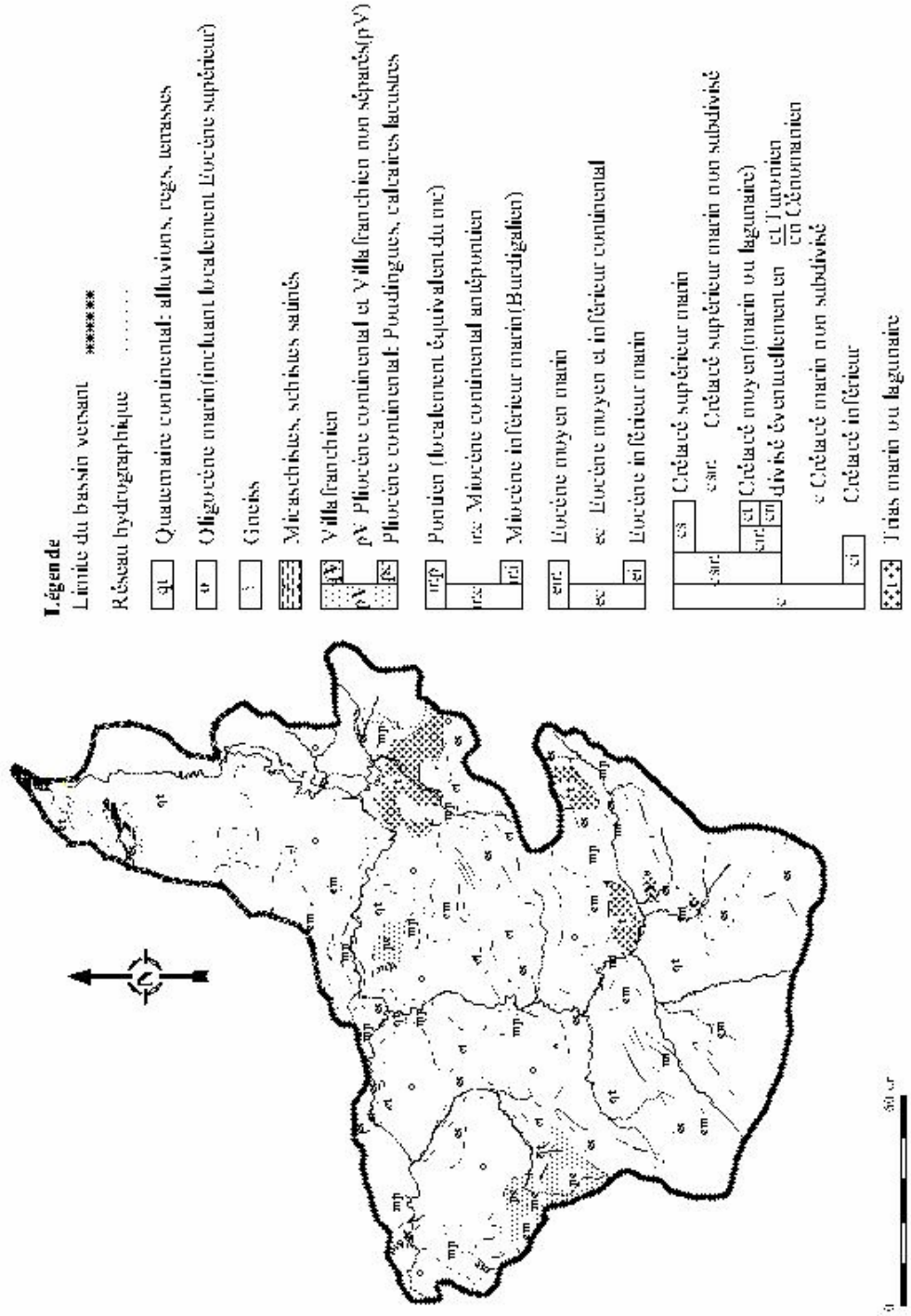
2.1. Haute Seybouse :

Le secteur du Haut Cherf est formé essentiellement par des formations quaternaires, qui sont constituées d'argile et de sable. Les affleurements du Crétacé supérieur ou du Sénonien, entourent la région de Sédrata, qui sont constituées par des marnes-grises, des marno-calcaires et des marnes noirâtres.

Entre le Djebel Tellez et Djebel Tiffech, s'étend la plaine de Tiffech, constituée par des formations argilo-sableuses.

Le bassin de Haut Cherf est encadré au Sud-Est par des calcaires, alors que le Sud-Ouest et une partie du centre sont occupés par des calcaires et des marno-calcaires.

CARTIEN n° 06: CARTE GEOLOGIQUE DU
BASSIN VERSANT DE LA SEYBOUSE



Extrait de :
La carte géologique de l'Algérie 1/500.000 (2^e édition)

Au Nord, on rencontre surtout les formations du Miocène à dominance marneuse et des bancs sableux et gréseux.

Au centre, on y rencontre les formations quaternaires qui sont constituées de gravier, de sable et de limon.

2.2. La moyenne Seybouse :

La zone Sud-Ouest du bas Cherf correspond à la plaine de Tamlouka. Cette plaine est formée par des calcaires du Crétacé inférieur. Il s'agit d'un synclinal comblé par les sédiments du Mio-Plio-Quaternaire à dominance argileuse, sableuse et graveleuse.

A la confluence des oueds Mgaïbsba et Cherf, apparaissent des formations du Moi-Pliocène constituées d'argile, des grès numidiens et de marno-calcaire. La région de Sellaoua est constituée par des bancs calcaires. La dominance du secteur de Oued Zenati correspond essentiellement de grès numidien, d'argiles et de marnes.

La région de Gulema est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé, Oligocène, Moi-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin de Gulema est occupé par une plaine alluviale correspond à un synclinal comblé par des argiles, de conglomérats, de marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres.

Les formations numidiennes se développent largement au sud de Gulema en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominent, viennent ensuite les grès numidien du flanc Est de la Mahouna. Les séries de marne, de marno-calcaire et l'argile. Entre Medjez Amar et la localité de Tabouche apparaissent les marno-calcaires. La formation numidienne dans la région Sud de Gulema est constituée d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuse ou argilo-gréseuse.

Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et Guelbt Bou sba, affluent des formations marneuses et schisteuses, alors qu'à l'Ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens du Djebel Debar et Taya.

La dépression de Bouchegouf est encadrée à l'Ouest et au Nord par des grès, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses. Au centre elle est comblée par les alluvions déposées par la Seybouse.

Au Sud du bassin du Melah, les formations sont constituées de calcaires yprésiens et de marnes et de marno-calcaire. Au centre, le Trias domine et il est constitué d'argiles et de gypse broyé.

2.3. La basse Seybouse :

Sa partie Sud est constituée en majeure partie d'argiles rouge numidiennes. Au Sud-Ouest, se sont les marno-calcaires et les flyschs de Aïn Berda qui dominent.

Au centre, la plaine Ouest d'Annaba, correspond à un fossé d'effondrement rempli par des sédiments pliocènes et quaternaires.

Enfin, la zone Nord-Ouest est occupée par le flanc Est du massif de l'Edough, qui correspond à des roches cristallines (gneiss, schistes, micaschistes).

II. BASSIN DE OUED MELLEGUE

Le bassin versant de Oued Mellègue est représenté par les formations géologiques suivantes : (carte n°7)

1.1. Quaternaire :

Il est constitué de divers faciès tel que les alluvions récentes et actuelles comblant les fonds des vallées de ce bassin. Il s'agit de dépôts détritiques à granulométrie variable allant des éléments les plus fins (argiles, limons et sables) à des particules plus grossières tels que les graviers, les cailloux, les galets et les blocs de nature calcaire et siliceuse. Ces éléments ont une forme arrondie et sont issues de la décomposition physico-chimique des roches mères affleurant à la surface du bassin versant puis charriées et déposées aux fonds de ces thalwegs. Ce sont donc des formations alluvionnaires de terrasses. A un niveau plus élevé, on rencontre des éboulis de pente, des calcaires lacustres et des travertins ainsi que de la croûte calcaire.

1.2. Pliocène continental:

Il est constitué de formations peu ou pas tectonisées, formées de calcaires lacustres, de poudingue et d'argile rouge et grise. Cette formation couvre seulement une zone limitée située à droite de Djebel Amamet El Kebir.

1.3. Miocène:

Il occupe seulement quelques endroits sur le bassin, il est représenté par des marnes argileuses, de grés et des poudingues.

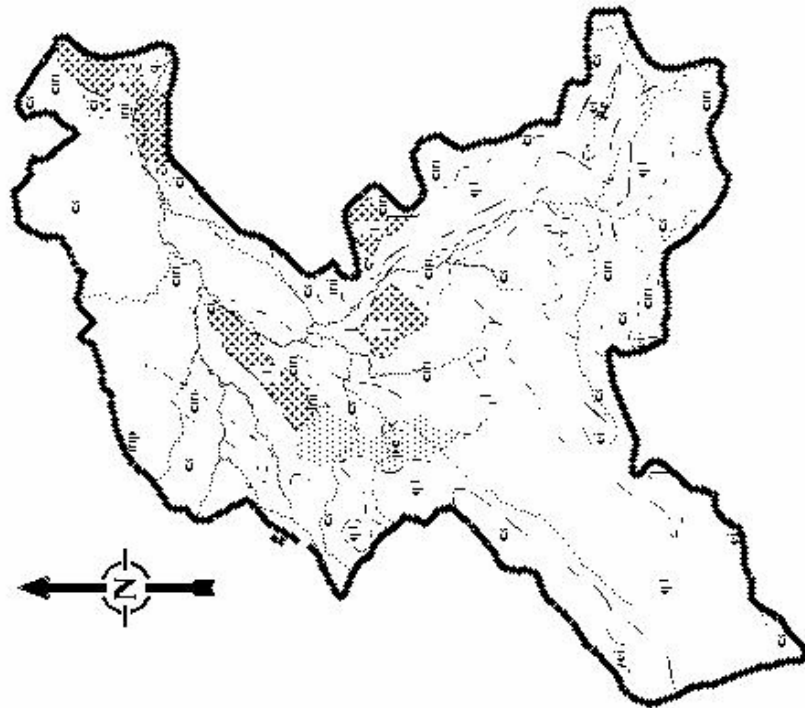
1.4. Eocène inférieur:

Cette formation a une extension très limitée, elle affleure au Sud du bassin, entre Djebel Serdiès et Djebel Hammamir dans le sens Nord-Est - Sud-Ouest. Elle est représentée par des calcaires gris dolomitiques, des conglomérats et des calcaires blancs et beiges à nummulites.

1.5. Crétacé:

Cette formation occupe la majorité du bassin. La série de Crétacé supérieur apparaît surtout dans la partie Nord-Ouest et Sud, il s'agit de marnes et de marnes argileuses grises à intercalations de marno-calcaires. Le Crétacé moyen apparaît dans la partie Est, il est marqué par des calcaires gris, des calcaires marneux et des marnes argileuses. La série de

CARTE N° 07: CARTE GEOLOGIQUE DU
BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



Légende

Limite du bassin versant *****

Réseau hydrographique

A Alluvions actuelles: laes, marécages, dayas, eborts, sabldas
limons et croutes gypso-salines

qt Quaternaire continental: alluvions, rags, terrasses

Villafraebian

pV Pliocène continental et Villafraebian non séparés(pV)

ps Pliocène continental: Poudingues, cailleries lacustres

imp Pontien (localement équivalent du me)

ms Miocène continental antéponctien

mf Miocène inférieur marin(Burdigalien)

em Eocène moyen marin

ec Eocène moyen et inférieur continental

ei Eocène inférieur marin

cs Crétacé supérieur marin

cm Crétacé supérieur marin non subdivisé

cm Crétacé moyen(marin ou lagunaire)

ci Crétacé marin non subdivisé

ci Crétacé inférieur

tr Trias marin ou lagunaire

Extrait de :
La carte géologique de l'Algérie 1/500.000 (2^{ème} édition)

0 48 km

Crétacé inférieur a une extension réduite, elle est caractérisée par un ensemble de marnes argileuses à intercalations de marno-calcaires et des calcaires de couleur noir.

1.6. Trias:

Il affleure en de nombreux endroits localisés dans le Nord-Est et l'Est du bassin, il est caractérisé par des formations marno-gypseuses et gréseuses à fragments et blocs de roches divers.

Conclusion :

L'analyse des caractères lithologiques du bassin de la Seybouse a permis de dégager certains aspects des conditions de l'écoulement dans les différents sous bassins. Cette étude par bassin fait ressortir la très grande diversité lithologique. Les terrains de la haute Seybouse présentent une perméabilité variable, alors que, la moyenne Seybouse comporte des roches ou des terrains de recouvrement imperméables, des calcaires et marno-calcaires perméables. La basse Seybouse est peu perméable dans le secteur amont, alors que les alluvions quaternaires de la plaine Ouest d'Annaba sont perméables.

Les formations prédominantes du bassin de Oued Mellegue sont celles du Crétacé et celles du Quaternaire. Cependant, les formations des calcaires sont assez peu présentes, alors que la majorité des terrains peu ou pas perméables (Marno-calcaire, argile,...) limitent la possibilité d'infiltration et permettent l'écoulement de surface.

***CHAPITRE III:
LES CARACTERISTIQUES
BIOGEOGRAPHIQUES***

Introduction :

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluviale, en diminuant l'écoulement des eaux et en favorisant leur infiltration. Cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

L'action complexe du couvert végétal, s'exerce aussi bien sur les paramètres climatiques notamment l'évaporation que sur les bilans hydriques des sols. La végétation donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité, l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol, l'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées au sein du sol par le réseau des racines.

1. BASSIN DE LA SEYBOUSE :

Dans le secteur Sud du bassin, la steppe d'alfa domine, seuls les Djebel de Sidi Reghis, El Kef Lahmar, Tiffech sont recouverts de vastes forêts de type atlasique, constituées surtout de Pins d'Alep et de Genévriers rouge, mais aussi en Cyprès et même en Eucalyptus (carte n°8).

Le revers Nord de la chaîne atlasique est couvert de forêt tellienne de type forestier. Ce bassin est occupé essentiellement de Chênes liège et de Chêne Zen. Cette association est présente dans tout le reste du bassin. Le massif de la Mahouna constitue la région forestière par excellence, avec de belles forêts de chêne liège.

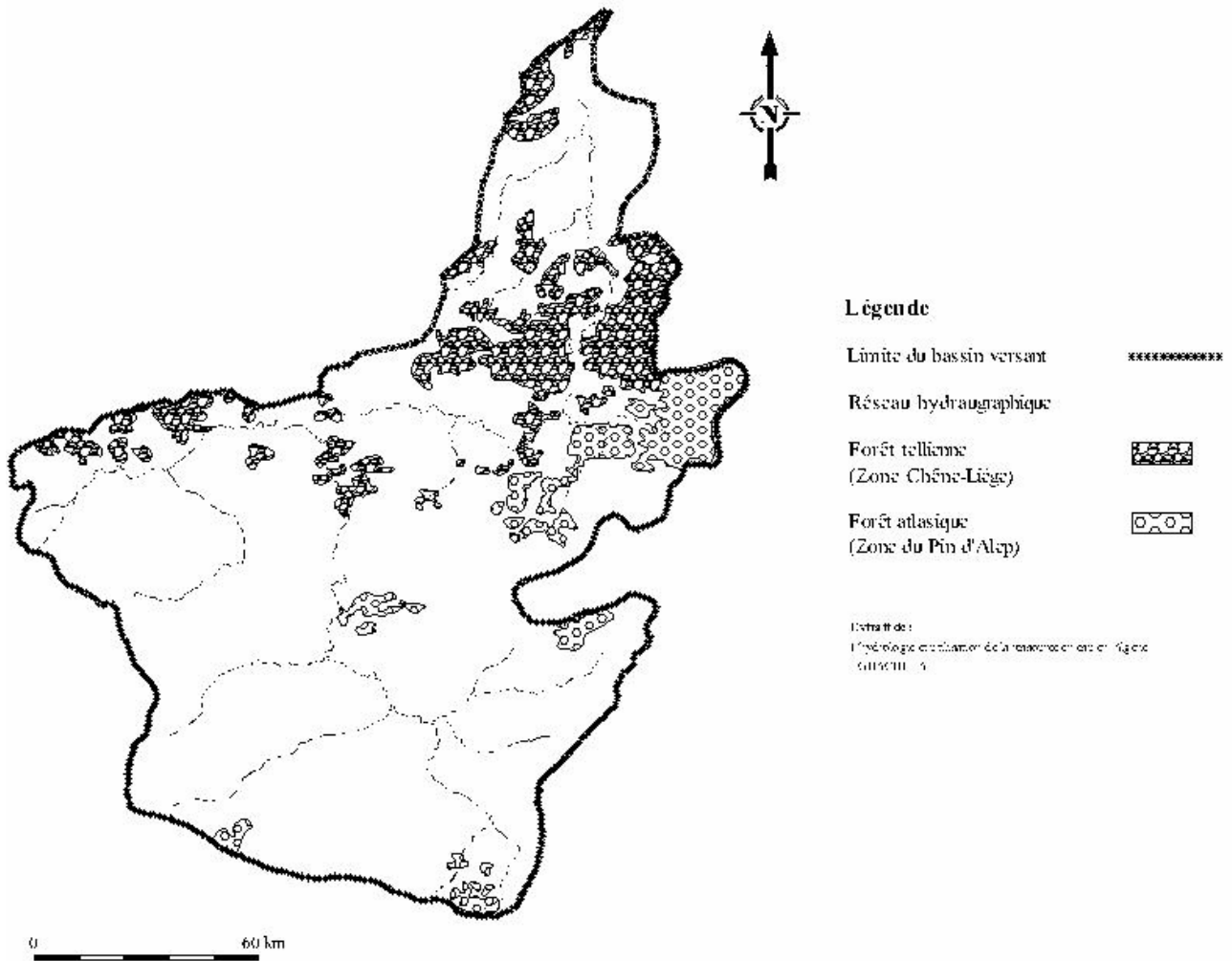
Au nord-Ouest de Oued Zenati, quelques grands îlots forestiers de Chêne liège et de Zen couvrent les hauteurs de la chaîne numidique. Le versant Nord de Bouhamdane n'est couvert que de Cystes, de broussaille et de Gandoul. L'olivier est très bien représenté à Hammam Maskhoutine.

Le bassin du Melah est relativement boisé par rapport aux régions précédemment décrites. Au Sud et à l'Est de ce dernier dominent les forêts de Pin d'Alep avec un sous-bois de Lentisques et de Genévriers, elles alternent avec des zones de broussailles.

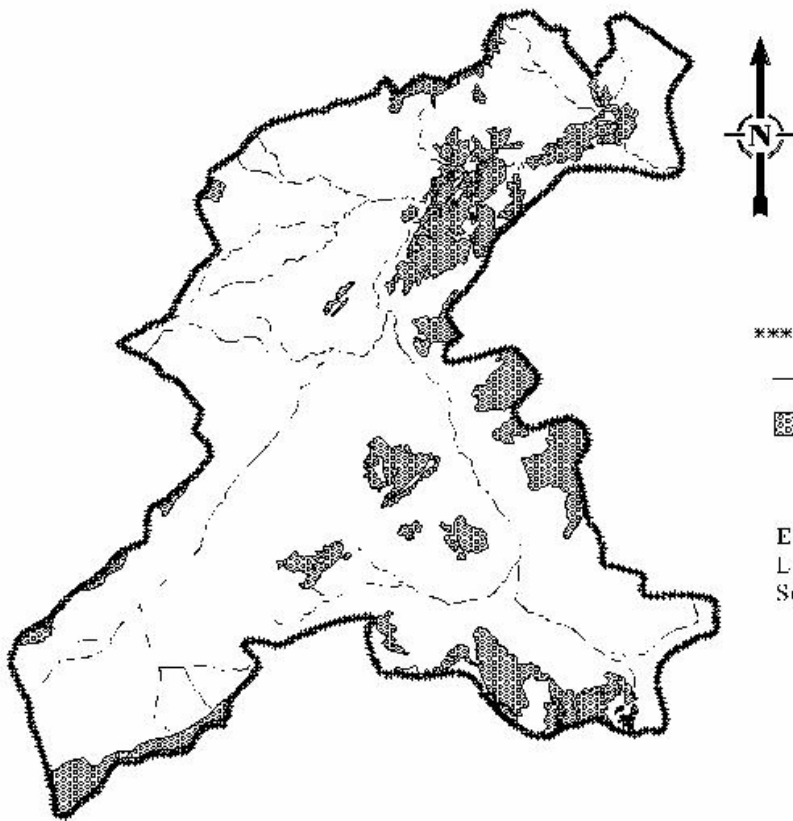
La région du massif de Nador n'est recouverte que de Buissons rabougris et épars où domine le Lentisque. A l'Ouest de la Seybouse, une forêt ne présente que de broussailles de Maquis de type méditerranéen. Au fond de l'Oued, le Laurier rose et le Tamaris trouvent un milieu propice pour leur développement.

Enfin, le massif de l'Edough est recouvert par la plus belle forêt de Chênes d'Algérie.

CARTE N°- 08: LA COUVERTURE VEGETALE DU BASSIN
DE LA SEYBOUSE



CARTE N°- 09: LA COUVERTURE VEGETALE DU
BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



Légende

- ***** Limite du bassin versant
- Réseau hydrographique
- ▨ Forêt de Pin d'élep

Extrait de :

La cartes topographiques: Tébessa (R-S-5-6)
Souk Ahres (R-S-3-4). 1:200.000

48 km

2. BASSIN DE OUED MELLEGUE :

Dans le bassin de Oued Mellegue, la quasi-totalité des forêts est située dans les zones montagneuses. Dans la partie Sud-Est, la zone de Djebel Tella et Djebel Anoual est couverte de forêt de Pin d'Alep et Genévriers, ainsi que la zone de Djebels Tadinart et Hammamir dans la partie Sud-Ouest (carte n°9) .

A l'Est et à l'Ouest de Oued Ksob, on y rencontre également les forêts de Pin d'Alep sur Djebel Zitouna à l'Est et à Djebel Metloug à l'Ouest.

Les versants Est de Oued Chabro sont couverts de forêt de Pin d'Alep et de broussaille.

Enfin, la zone limitée par djebel Ouenza au Nord-Est et Djebel Guelb au Sud-Ouest sont constituées par une vaste zone forestière de Pin d'Alep, de broussaille et de Maquis.

Conclusion :

La végétation, qui a une influence mécanique certaine sur l'écoulement fluvial pour les deux bassins (la Seybouse et Oued Mellegue) est très faible, les deux bassins sont caractérisés par un taux faible du couvert végétal permanent voisin de 25% pour le bassin de la Seybouse et 18% pour le bassin de Oued Mellegue.

***CHAPITRE IV :
ETUDE CLIMATIQUE***

Introduction :

Les facteurs climatiques tels que la température, l'humidité de l'air, la vitesse du vent, les rayonnement solaire,... jouent un rôle déterminant dans l'estimation de l'évapotranspiration, ces paramètres sont facilement mesurables par les stations météorologiques équipées de l'ensemble des instruments de mesures de ces paramètres.

1. La 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. Comme la température de l'eau varie dans le même sens que la température de l'air, il est plus facile de mesurer cette dernière. On utilise ainsi dans les formules de calcul de l'évaporation la température de l'air plutôt que celle de l'eau. Les stations qui ont été utilisées sont celles de Gulema, Souk Ahras, Pont Bouchet, Constantine, Oum El Bouaghi, Tébessa et Chefia.

La variation de ce paramètre a été reportée dans les tableaux 10 à 16 et les figures numérotées de 11 à 17

Tableau N°09: Les paramètres climatiques disponibles

Station	Longitude (° ")	latitude (° ")	Altitude (m)	Paramètres climatiques				
				P(mm)	T(°C)	Hr(%)	V(m/s)	Inso(h/j)
Pont Bouchet	7.45	36.49	3.0	x	x	x	x	x
Guelma	7.28	36.28	228	x	x	x	x	x
Souk Ahras	7.58	36.17	680	x	x	x	x	x
Constantine	6.37	36.17	694	x	x	x	x	x
Oum El Bouaghi	7.07	35.52	889	x	x	x	x	x
Tébessa	8.07	35.25	820	x	x	x	x	x
Chefia	8.06	36.33	170	x	x			

Tableau N°10: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Pont Bouchet (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	4.5	5.8	6.9	8.1	10.2	15.6	17.9	15.6	16.9	13.2	9.7	6.2	10.88
Tx	19	19.5	22.7	22	25.9	31.7	33.8	35.2	31.5	28.6	30.5	19.8	26.68
T	11.75	12.65	14.80	15.05	18.05	23.65	25.85	25.40	24.20	20.90	20.10	13.0	18.78
A	14.5	13.7	15.8	13.9	15.7	16.1	15.9	19.6	14.6	15.4	20.8	13.6	15.80

Tn: Moyenne mensuelle des températures minimales.

Tx: Moyenne mensuelle des températures maximales.

T: température moyenne mensuelle. $T = (Tn + Tx) / 2$

A: Amplitude thermique $A = Tx - Tn$

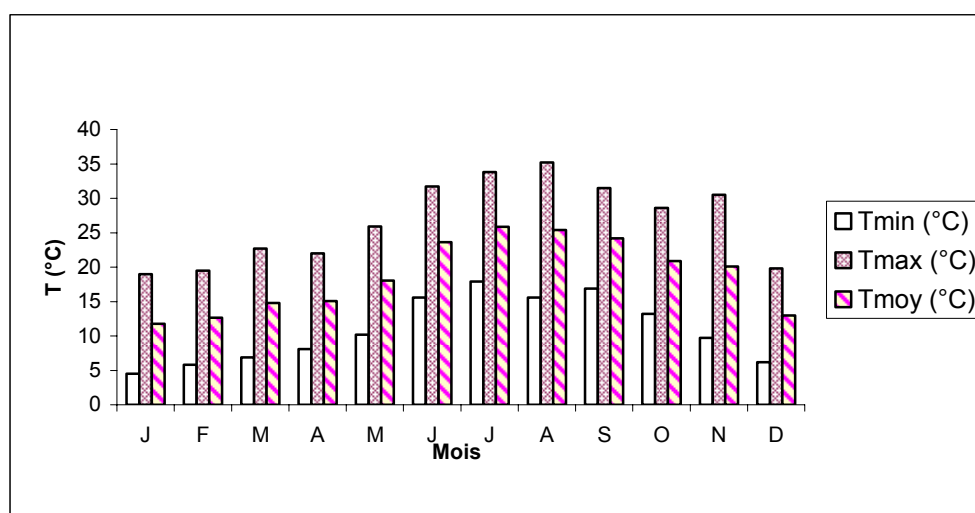


Figure N°11: Histogrammes des températures à la station de Pont Bouchet en °C

Tableau N°11: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Gulema (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	1.9	3.5	4	5.5	6	13.4	15.9	17.2	15.2	11.1	8	3.9	8.80
Tx	17.8	20.3	24.2	23.7	30.3	35.4	38.6	39.8	34.4	31	29	19.4	28.66
T	9.85	11.90	14.10	14.60	18.15	24.40	27.25	28.50	24.80	21.05	18.50	11.65	18.73
A	15.9	16.8	20.2	18.2	24.3	22	22.7	22.6	19.2	19.9	21	15.5	19.86

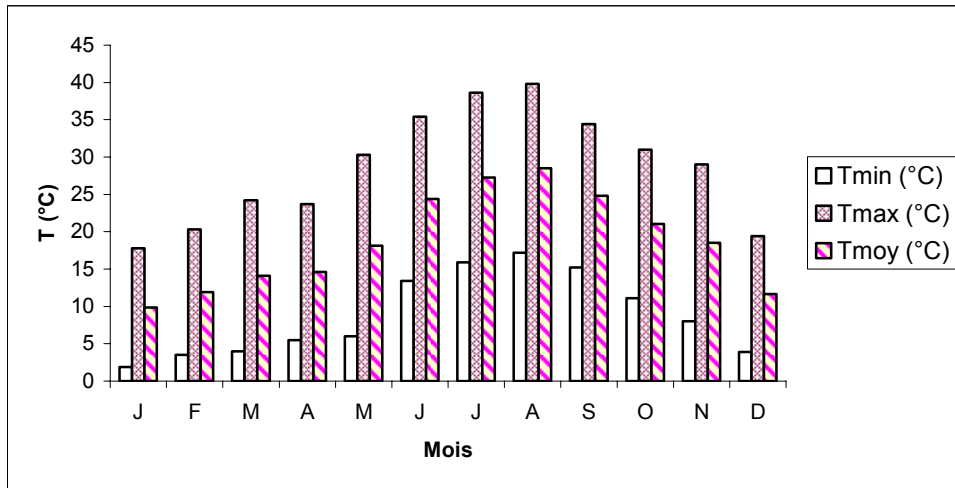


Figure N°12: Histogrammes des températures à la station de Guelma en °C

Tableau N°12: Température moyenne mensuelle (°C) à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	-1.6	0.8	2	4.2	6.8	11.6	15.1	16	12.1	7.4	4.6	0.8	6.65
Tx	12.8	17.5	27.5	22.7	29.8	33.4	37	37.2	31.2	27.5	23.9	15	26.29
T	5.60	9.15	14.75	13.45	18.30	22.50	26.05	26.60	21.65	17.45	14.25	7.90	16.47
A	14.4	16.7	25.5	18.5	23	21.8	21.9	21.2	19.1	20.1	19.3	14.2	19.64

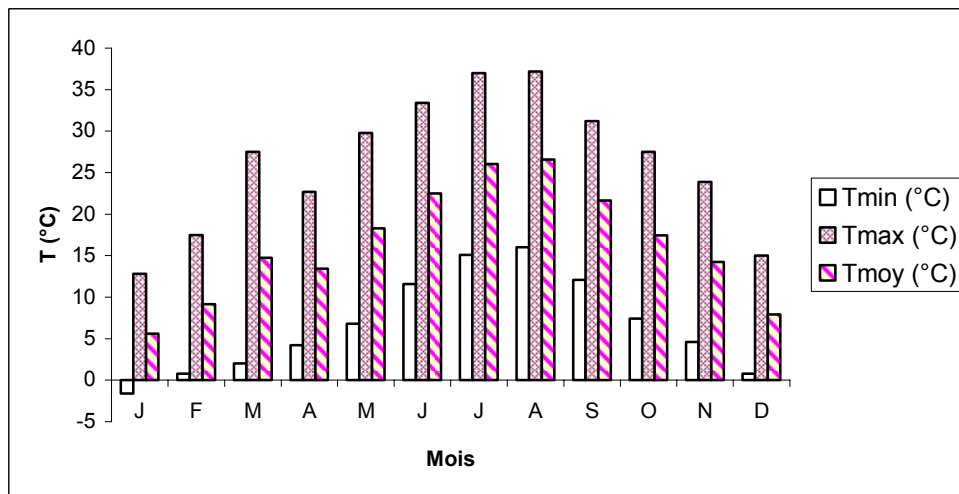


Figure N°13: Histogrammes des températures à la station D'Oum El Bouaghi en °C

Tableau N°13: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Tébessa (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	-1.2	1.4	1.4	5	7.5	13.6	15.6	15.9	13.7	8.7	4.7	1	7.28
Tx	14	17.7	22.6	23.2	30.2	34.8	37.6	37.2	31.3	27.8	23.6	19.8	26.65
T	6.40	9.55	12.00	14.10	18.85	24.20	26.60	26.55	22.50	18.25	14.15	10.40	16.96
A	15.2	16.3	21.2	18.2	22.7	21.2	22	21.3	17.6	19.1	18.9	18.8	19.38

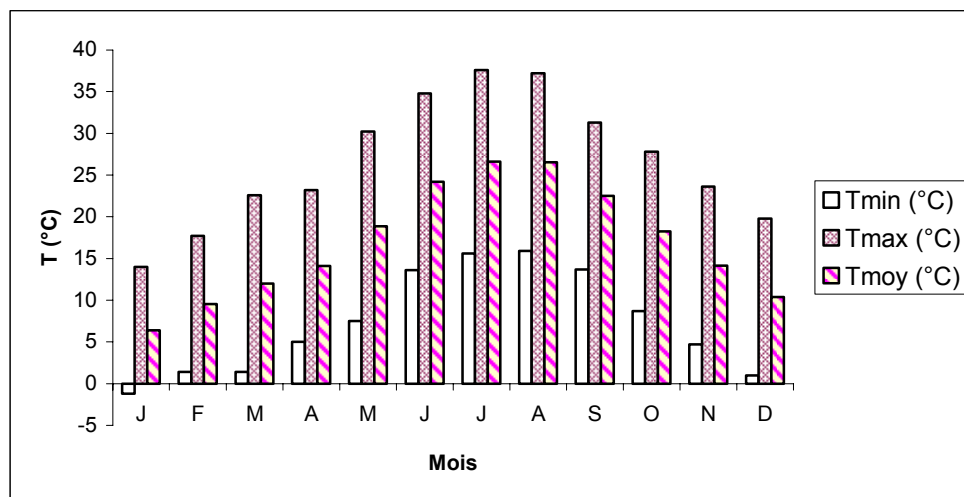


Figure N°14: Histogrammes des températures à la station de Tébessa en °C

L'étude de la température permet de diviser l'année en deux saisons thermiques bien distinctes. A la station de :

Pont Bouchet: la saison chaude s'étend de juin à Novembre, mois pendant lesquels les températures moyennes sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 18.78 °C, un maximum en Août de 25.85°C, alors que la saison froide s'étend de à décembre à mai, avec un minimum en janvier de 11.75°C.

Gulema: la saison chaude s'étend de juin à octobre, avec un maximum en Août de 28.50°C, alors que la saison froide s'étend de novembre à mai, avec un minimum en janvier de 9.85°C.

Oum El Bouaghi: la saison chaude s'étend de mai à octobre, avec un maximum en Août de 26.6°C, alors que la saison froide s'étend de novembre à avril, avec un minimum en janvier de 5.60°C.

Tébessa: la saison chaude s'étend de mai à octobre, avec un maximum en juillet de 26.6°C, alors que la saison froide s'étend de novembre à avril, avec un minimum en janvier de 6.4°C.

Tableau N°14: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Constantine (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	0.1	0.1	3.1	5.1	7	12.8	15.6	17.1	10.3	9.1	5.7	1.6	7.30
Tx	14	17.7	21.4	21.6	29.4	33.4	37	37.4	32	26.4	25	15.4	25.89
T	7.05	8.90	12.25	13.35	18.20	23.10	26.30	27.25	21.15	17.75	15.35	8.50	16.60

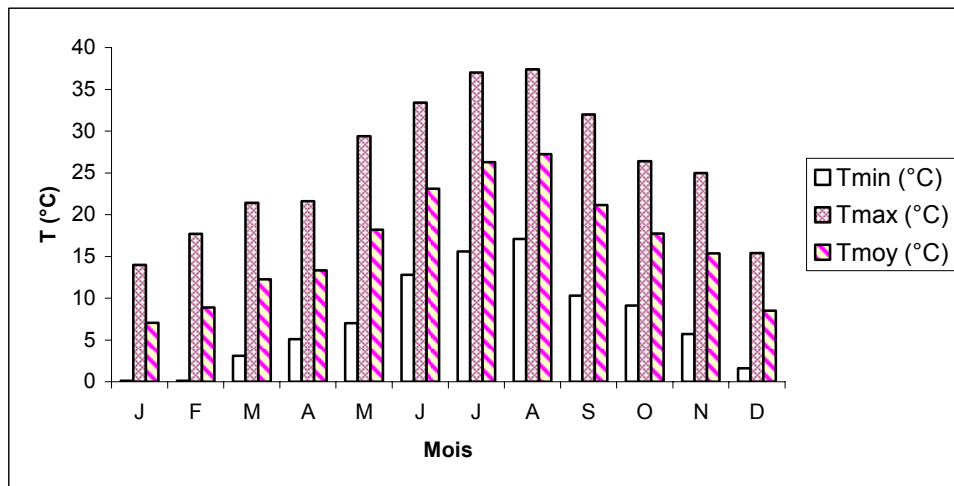


Figure N°15: Histogrammes des températures à la station de Constantine en °C

Tableau N°15: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Souk Ahras (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	1	2.4	3.2	5.3	7.1	12.3	15.2	16.6	14	9.9	6.3	2.7	8.00
Tx	13.7	17.1	21	20.9	28.2	32.7	36.6	36.7	31.3	27.5	26	18.6	25.86
T	7.35	9.75	12.10	13.10	17.65	22.50	25.90	26.65	22.65	18.70	16.15	10.65	16.93
A	12.7	14.7	17.8	15.6	21.1	20.4	21.4	20.1	17.3	17.6	19.7	15.9	17.86

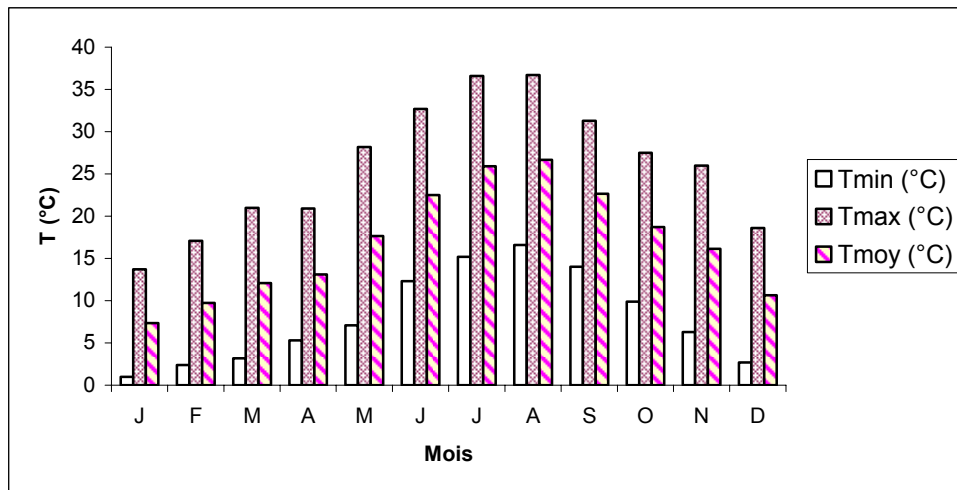


Figure N°16: Histogrammes des températures à la station de Souk Ahras en °C

Tableau N°16: Température moyenne mensuelle (°C) à la station: Chefia (1990-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Tn	1	-3	1.5	1.5	4	6	5	6	5	4	2	1	2.83
Tx	27	32	35	32	39.5	45.5	47	44.5	46	39.5	33.5	29	37.54
T	14.00	14.50	18.25	16.75	21.75	25.75	26.0	25.25	25.50	21.75	17.75	15.00	20.19
A	26	35	33.5	30.5	35.5	39.5	42	38.5	41	35.5	31.5	28	34.71

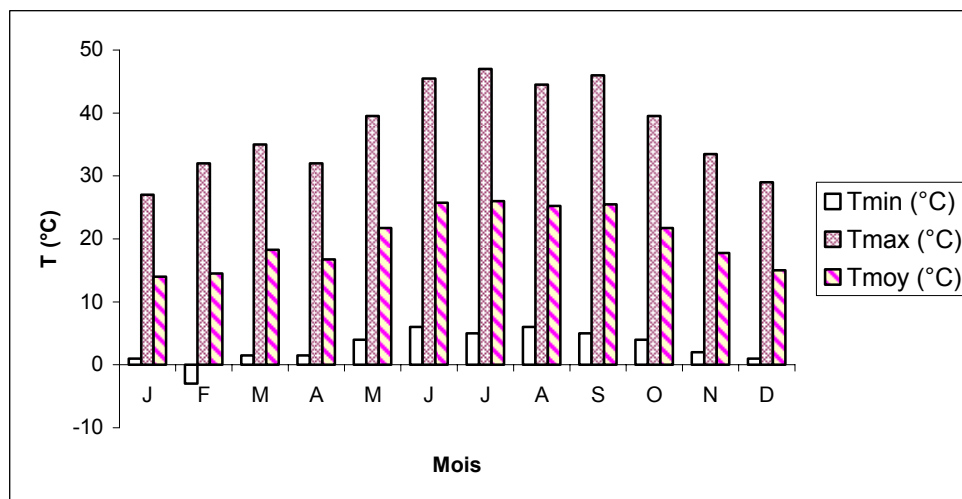


Figure N°17: Histogrammes des températures à la station de Chefia en °C

2. Les précipitations:

2.1. Réseau d'observation

Les stations pluviométriques d'un bassin versant ou une région donnée forment un réseau d'observations. Elles fournissent des mesures ponctuelles des précipitations.

Pour les besoins de l'étude nous avons utilisé quatre (04) stations situées dans le bassin de la Seybouse, et cinq (05) stations dans le bassin de l'Oued Mellegue ainsi que, les neuf (09) stations situées aux alentours des deux bassins (cartes n°:10 et n°11), la série d'observation pluviométrique a été reportée dans la fig n°18

2.2. Homogénéisation des données pluviométriques :

Les méthodes statistiques d'analyse des séries pluviométriques exigent de celle-ci une homogénéité de leurs composants. Or bien souvent dans la pratique, on est amené à travailler dans des conditions qui interdisent l'utilisation directe des données brutes. Soit que les données sont défectueuses ou bien la période d'observation d'une station est trop courte pour que les données puissent être traitées statistiquement.

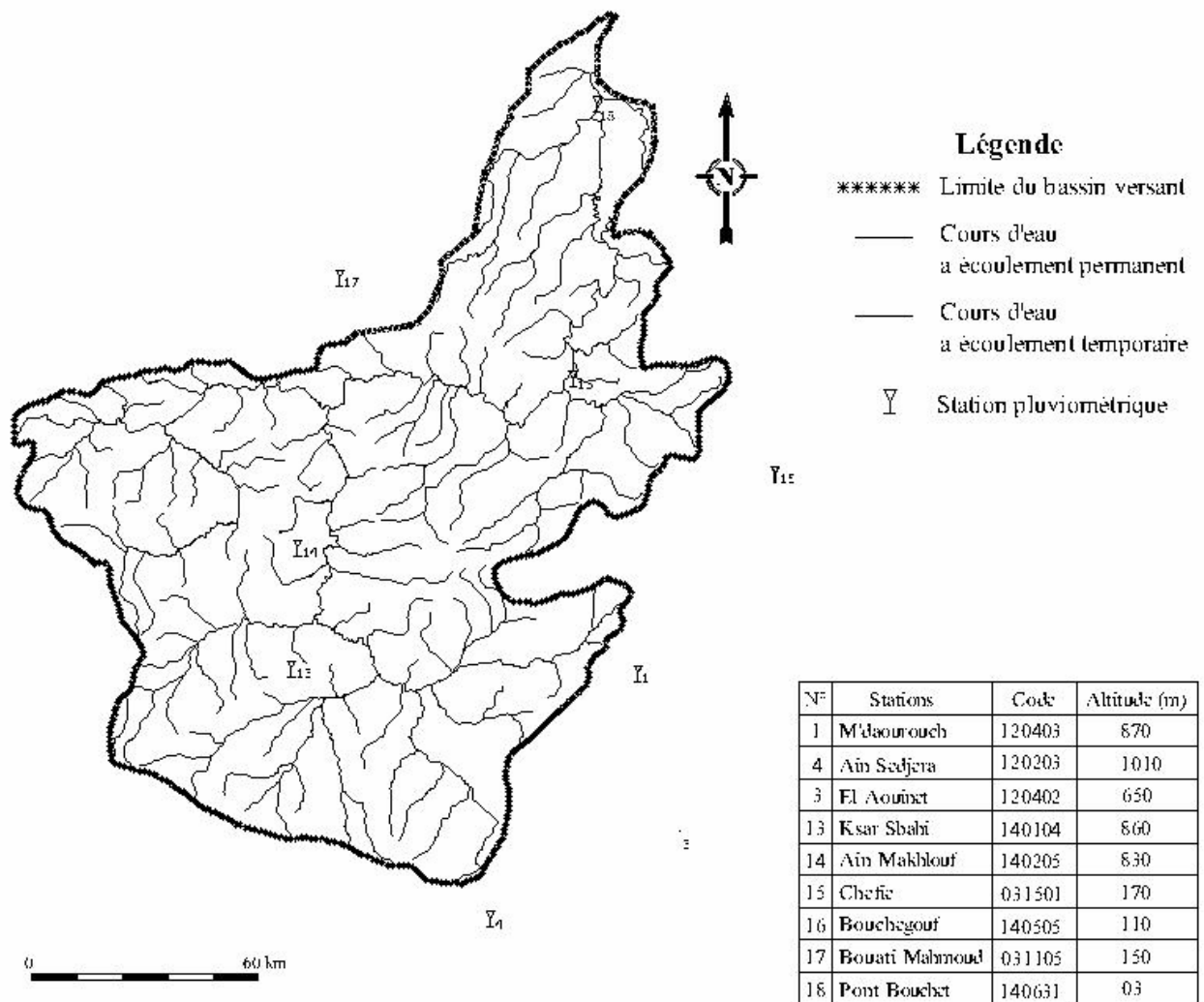
L'homogénéisation consiste à combler les lacunes ou de corriger les données aberrantes.

2.2.1. Méthode d'homogénéisation :

La méthode utilisée pour d'homogénéisation est la régression linéaire simple. Il s'agit de prendre les postes deux à deux, situés dans la même région climatique et à une distance relativement faible. Le but de la régression est l'estimation d'un caractère correctif en fonction d'un autre.

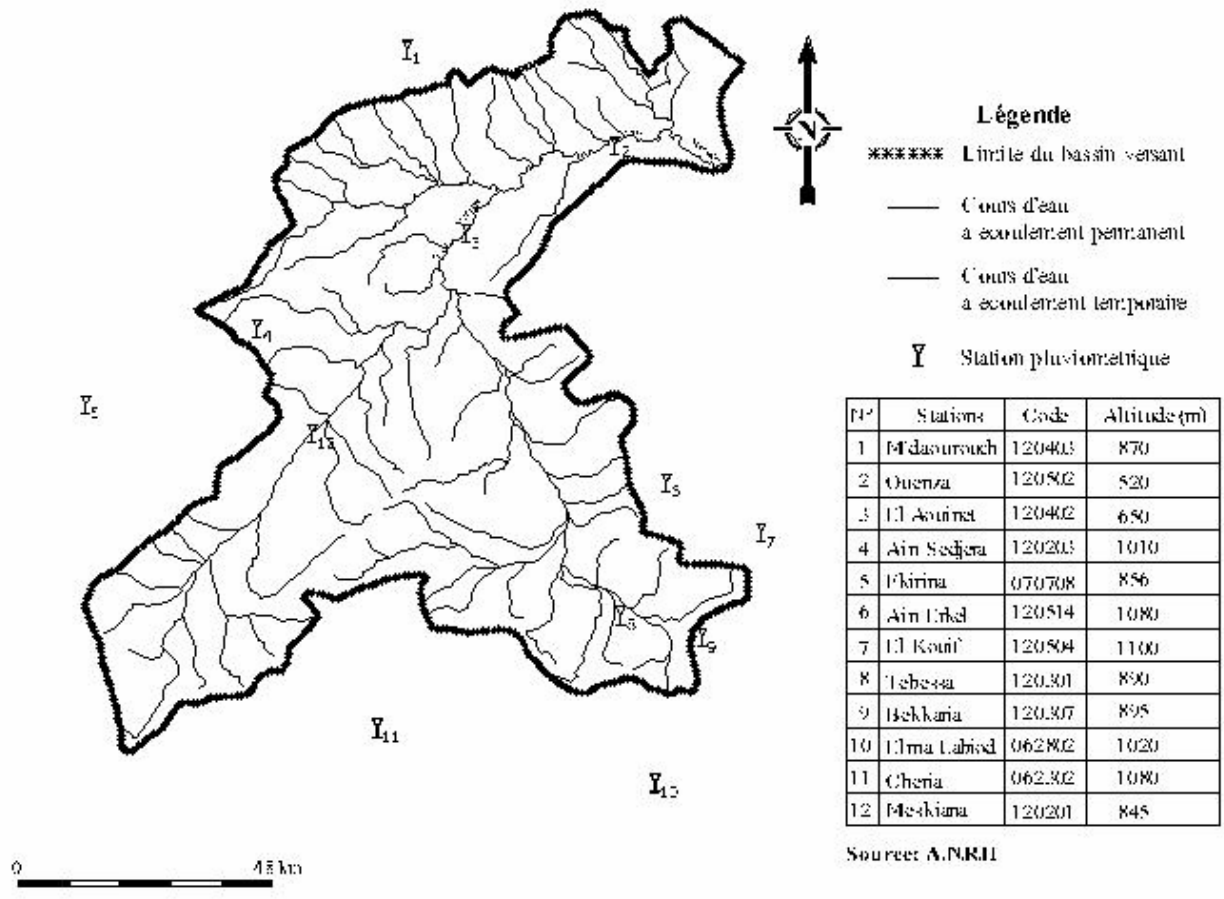
Sur un diagramme on représente un nuage de point et par ajustement on cherche une courbe de régression qui suit une fonction mathématique résumant la dispersion du nuage de point. Chaque point étant positionné sur un graphe selon les valeurs reportées en abscisse par la variable X, on cherche ainsi à définir le degré de relation entre les deux séries. On calcule un coefficient de correction (K_{xy}^r) linéaire si la dépendance est forte. Le fait de connaître X permet de déterminer Y, car $Y=f(X)$. La formule qui permet de connaître le coefficient de corrélation linéaire est la suivante :

CARTE N° 10 **EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUE DU
BASSIN VERSANT DE LA SEYBOUSE**



Source: A.N.R.H + O.N.M

CARTE N°= 11 **EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUE DU
BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE**



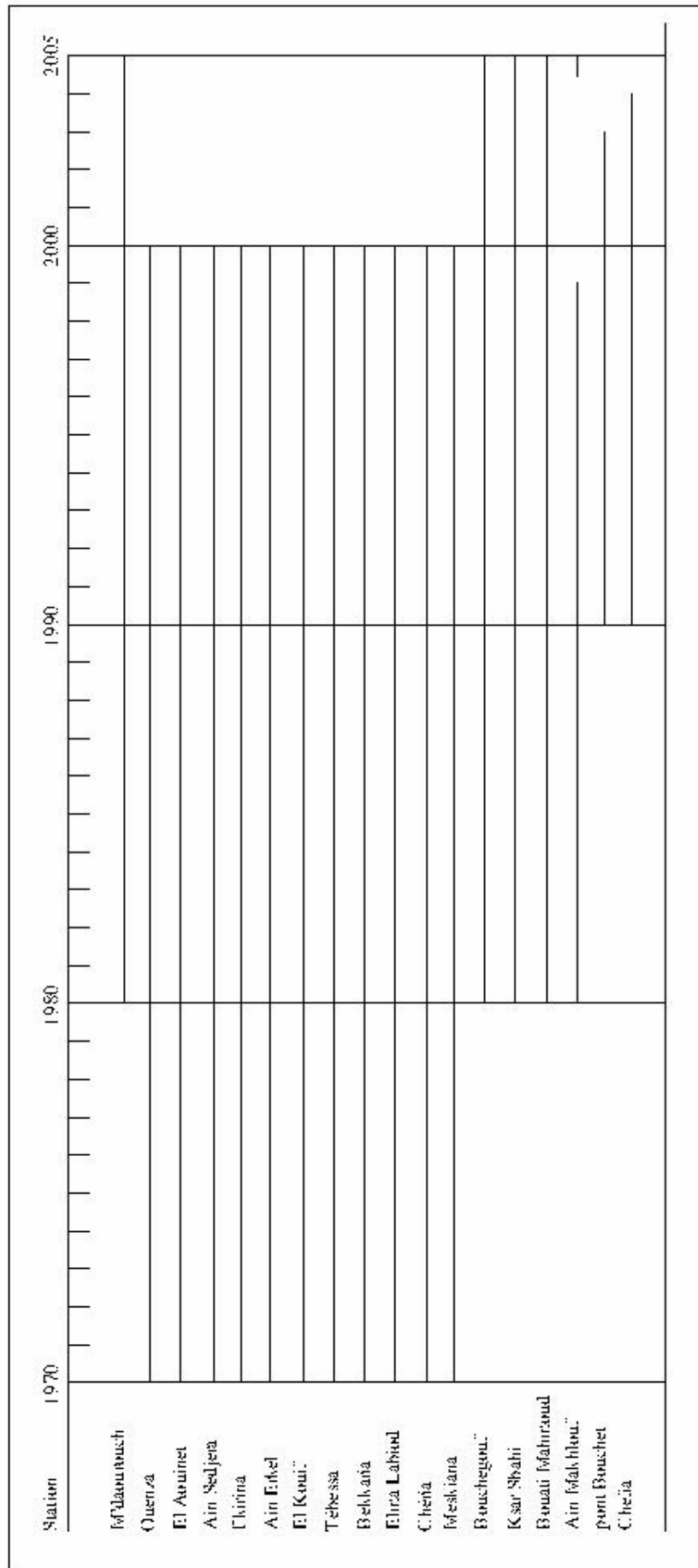


Figure n° 18 SERIE D'OBSERVATION PLYVIOMETRIQUE DES POSTES RETENUS DANS L'ETUDE

$$K_{xy}^r = \frac{\sum [(x_i - m_x^k)(y_i - m_y^k)]}{(k-1)(\delta_x^k - \delta_y^k)}$$

Avec :

$$m_x^k : \text{Moyenne des } x = \frac{\sum xi}{k}$$

$$m_y^k : \text{Moyenne des } y = \frac{\sum yi}{k}$$

$$\delta_x^k : \text{Ecart type des } x = \sqrt{\frac{\sum (xi - m_x^k)^2}{k-1}}$$

$$\delta_y^k : \text{Ecart type des } y = \sqrt{\frac{\sum (yi - m_y^k)^2}{k-1}}$$

K: Nombre de valeurs communes d'observation.

Pour que les valeurs de k_{xy}^r sont significatives en fonction du nombre de couples utilisés. On utilise la table de Fisher des valeurs critiques du coefficient de corrélation (Fig n°18).

Si la corrélation est significative, on peut écrire l'équation de la droite de régression :

$$Y_x = m_y^k + k_{xy}^r \frac{\delta_y^k}{\delta_x^k} (x - m_x^k)$$

Ou encore $Y(x) = a x + b$

Avec :

$$a = k_{xy}^r \frac{\delta_y^k}{\delta_x^k} \quad \text{et} \quad b = m_y^k - m_x^k \cdot k_{xy}^r \frac{\delta_y^k}{\delta_x^k}$$

2.3. Evaluation de précipitation moyenne sur le bassin :

Parmi les méthodes généralement proposées pour calculer la moyenne des précipitations à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations

pluviométriques sur le bassin ou à proximité, on peut citer la méthode de la moyenne arithmétique, la méthode des polygones de Thiessen ou celle des isohyètes.

2.3.1. Méthode des isohyètes :

Les isohyètes sont des lignes d'égale précipitation. Grâce aux valeurs pluviométriques acquises aux stations du bassin et aux autres stations avoisinantes, on peut tracer la carte en isohyètes. Il existe aujourd'hui des méthodes automatiques qui permettent de tracer ce type de cartes comme le logiciel Surfer avec ses différentes versions.

Lorsque la carte est tracée, la pluie moyenne peut être calculée de la manière suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^K A_i \cdot P_i}{A}$$

$$\text{Avec } P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin.

A : surface totale du bassin.

A_i : surface entre deux isohyètes i et $i+1$.

K : nombre total des courbes.

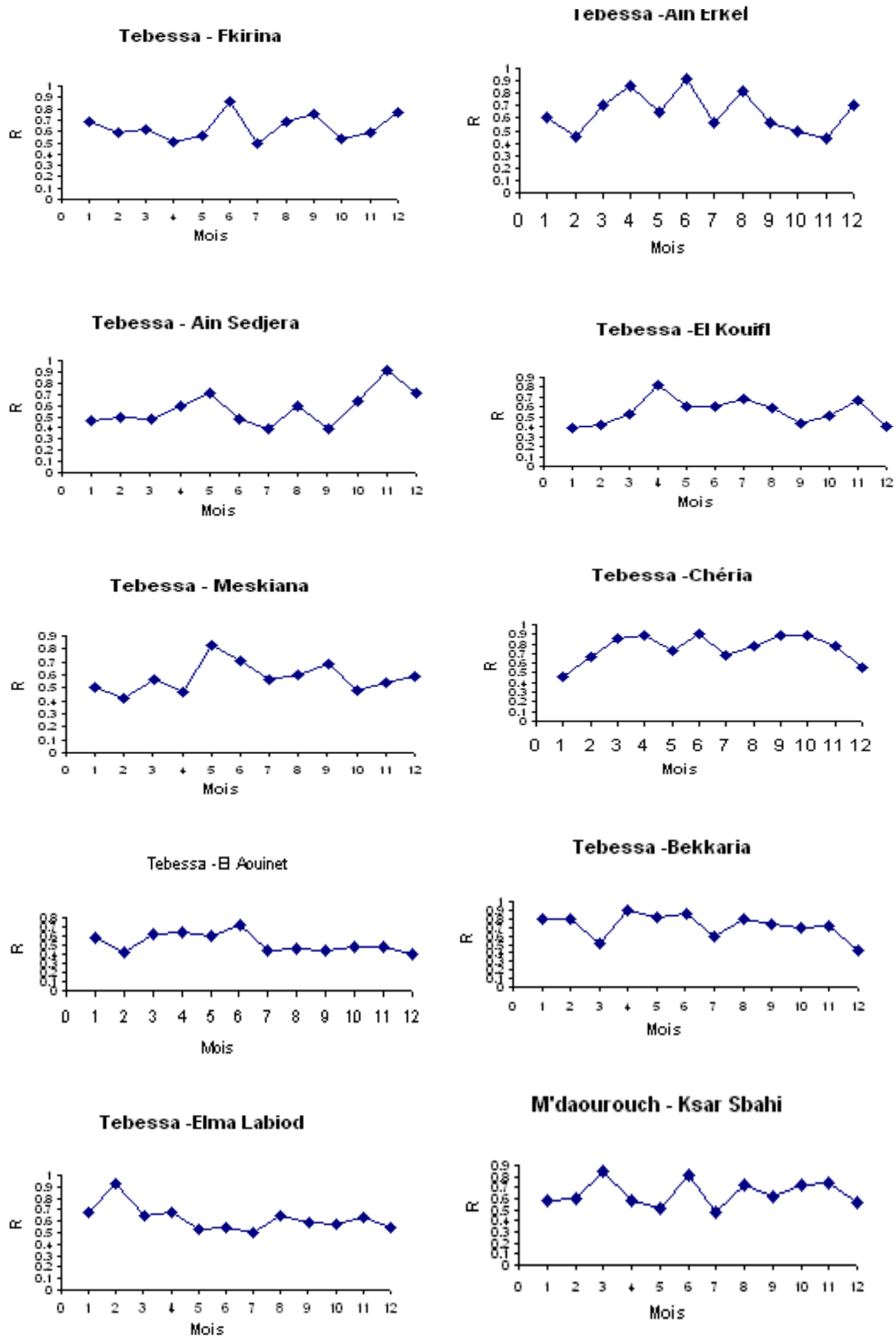
P_i : moyenne des précipitations entre deux isohyètes i et $i+1$.

2.3.2. Moyenne arithmétique

La méthode la plus simple qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées, s'applique uniquement si les stations sont bien réparties et si le relief du bassin est homogène.

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N} \quad (\text{mm})$$

Figure N°19: Coefficient de corrélation



Avec:

P_i : précipitation moyenne annuelle à la station i .

N : Nombre de station d'observation.

2.3.3. Méthode des polygones de THIESSEN

La méthode des polygones de Thiessen est la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne en général de bons résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement).

Cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin sur une carte topographique. La précipitation moyenne pondérée P_{moy} pour le bassin, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire A_i), le tout divisé par la surface totale A du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{A}$$

Avec :

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin.

A : aire totale du bassin ($=\sum A_i$).

P_i : précipitation enregistrée à la station i .

A_i : superficie du polygone associée à la station i .

Les stations disponibles étant reportées sur une carte géographique, on trace une série de segments de droites reliant les stations adjacentes. On élève des perpendiculaires au centre de chacune des droites (médiatrices), les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones. Dans chaque polygone, la hauteur de précipitation choisie est

celle relevée à la station située à l'intérieur de celui-ci. L'aire de chaque polygone A_i est déterminée par planimétrie ou numériquement.

3. Synthèse climatique :

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques: la température et les précipitations permettent de localiser les deux bassins dans un étage bioclimatique bien définie à l'aide du coefficient Q_p . Ceci nous permet d'estimer la lame d'eau pour chaque zone climatique, ceci a été établi à l'aide des cartes n°12 et13.

Le coefficient pluviométrique d'Emberger Q_p est calculé par la formule suivante :

$$Q_p = \frac{1000.P}{\frac{(M + m)}{2.(M - m)}}$$

Ce quotient est simplifié par la suite par STEWART qui propose :

$$Q_p = 3.43 \frac{P}{M - m}$$

Avec:

Q_p : Coefficient pluviométrique d'Emberger.

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

M: Température moyenne des maximums du mois le plus chaud.

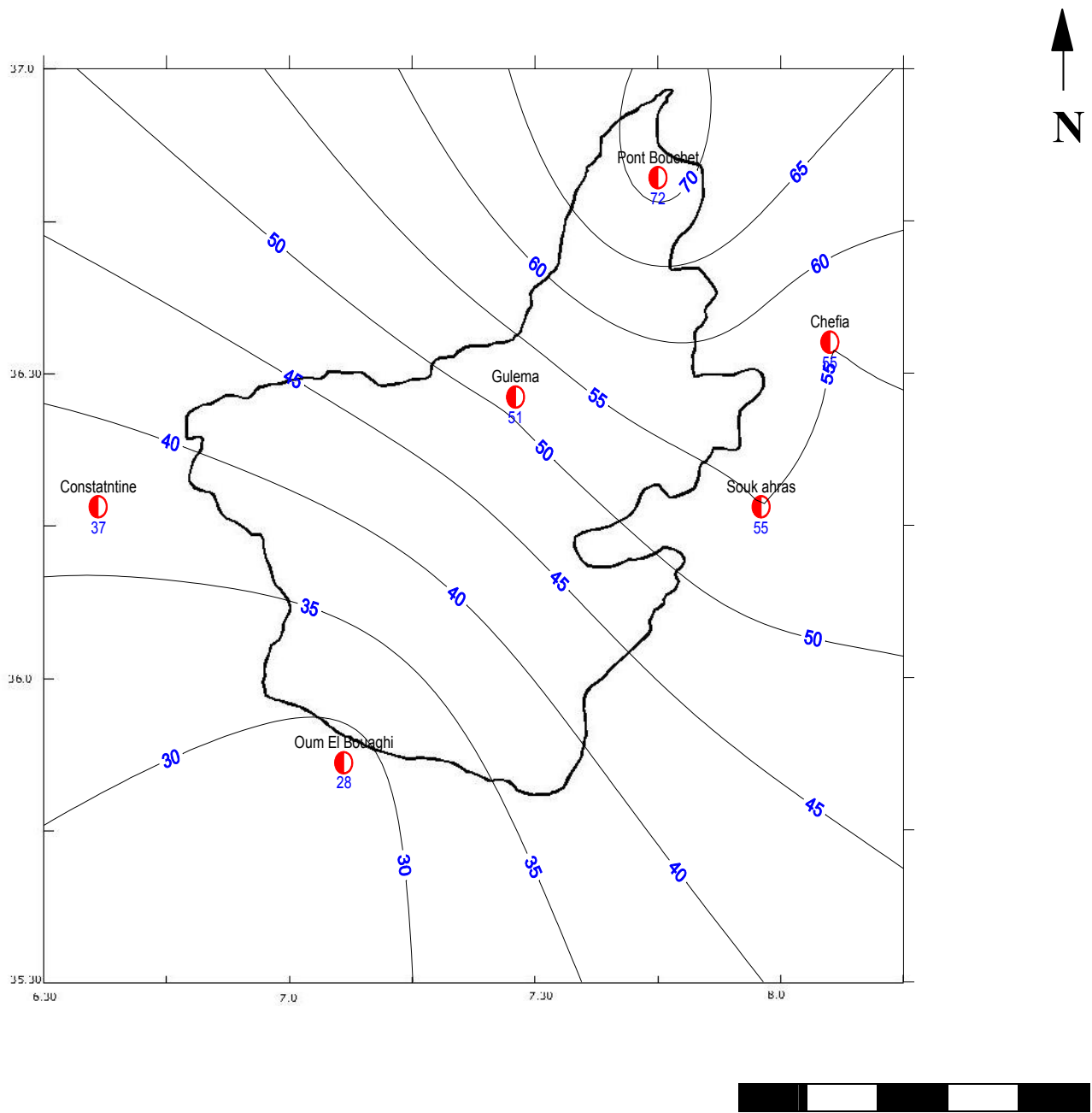
m: Température moyenne des minimums du mois le plus froid.

Tableau N°17: Le climat en fonction de Q_p

Valeur de Q_p	Type de climat
$I_p > 100$	Humide
$100 > I_p > 50$	Tempéré
$50 > I_p > 25$	Semi-aride
$25 > I_p > 10$	Aride
$10 > I_p$	Désertique

Les valeurs du coefficient pluviométrique des stations d'étude sont reportées dans le tableau n°18

**CARTE N° :12 CARTE DU COEFFICIENT PLUVIOMETRIQUE
DU BASSIN VERSANT DE LA SEYBPUSE**

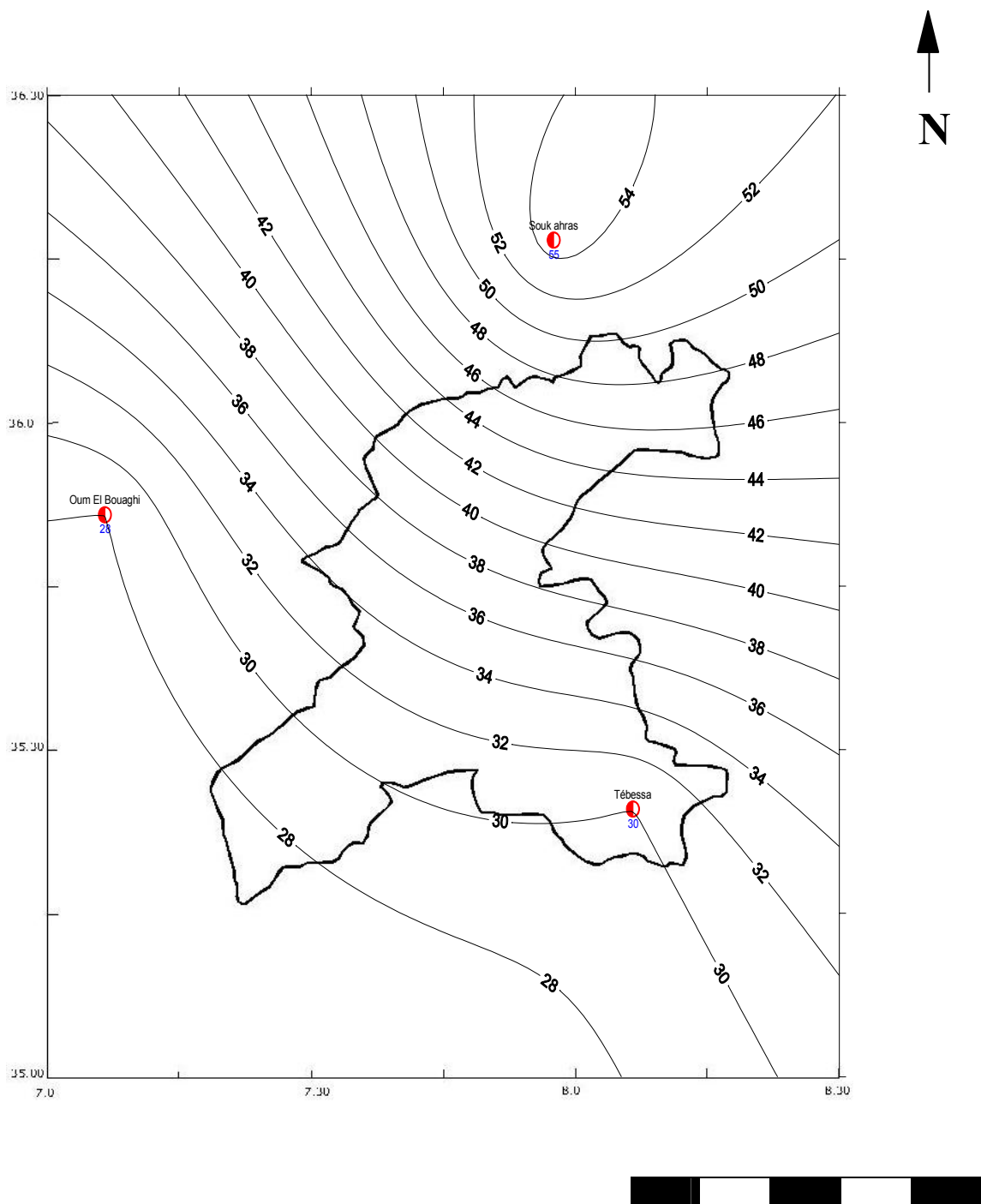


Légende

58 Km

- Limite du bassin versant
- 50 Courbe de valeur 50
- ⊕ Station pluviométrique

CARTE N° :13 **CARTE DU COEFFICIENT PLUVIOMETRIQUE**
DU BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



Légende

46 Km

- Limite du bassin versant
- 50 Courbe de valeur 50
- ⊕ Station pluviométrique

Tableau n°18: Les valeurs de Qp des stations climatiques

Station	Qp
Pont Bouchet	72,26
Chefia	54,56
Gulema	50,88
Souk Ahras	54,57
Constantine	36,68
Oum El Bouaghi	27,74
Tébessa	30.06

Les cartes du coefficient pluviométrique d'emberger permettent de dire que l'ensemble du bassin de Oued Mellegue est soumis à un climat semi-aride alors que le bassin de la Seybouse est soumis à un climat semi-aride au Sud et à un climat tempéré au Nord. (cartes n°12 et13)

Donc, on détermine la pluie moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin de Oued Mellegue et la pluie moyenne annuelle sur les deux zones du bassin de la Seybouse: zone Nord et zone Sud.

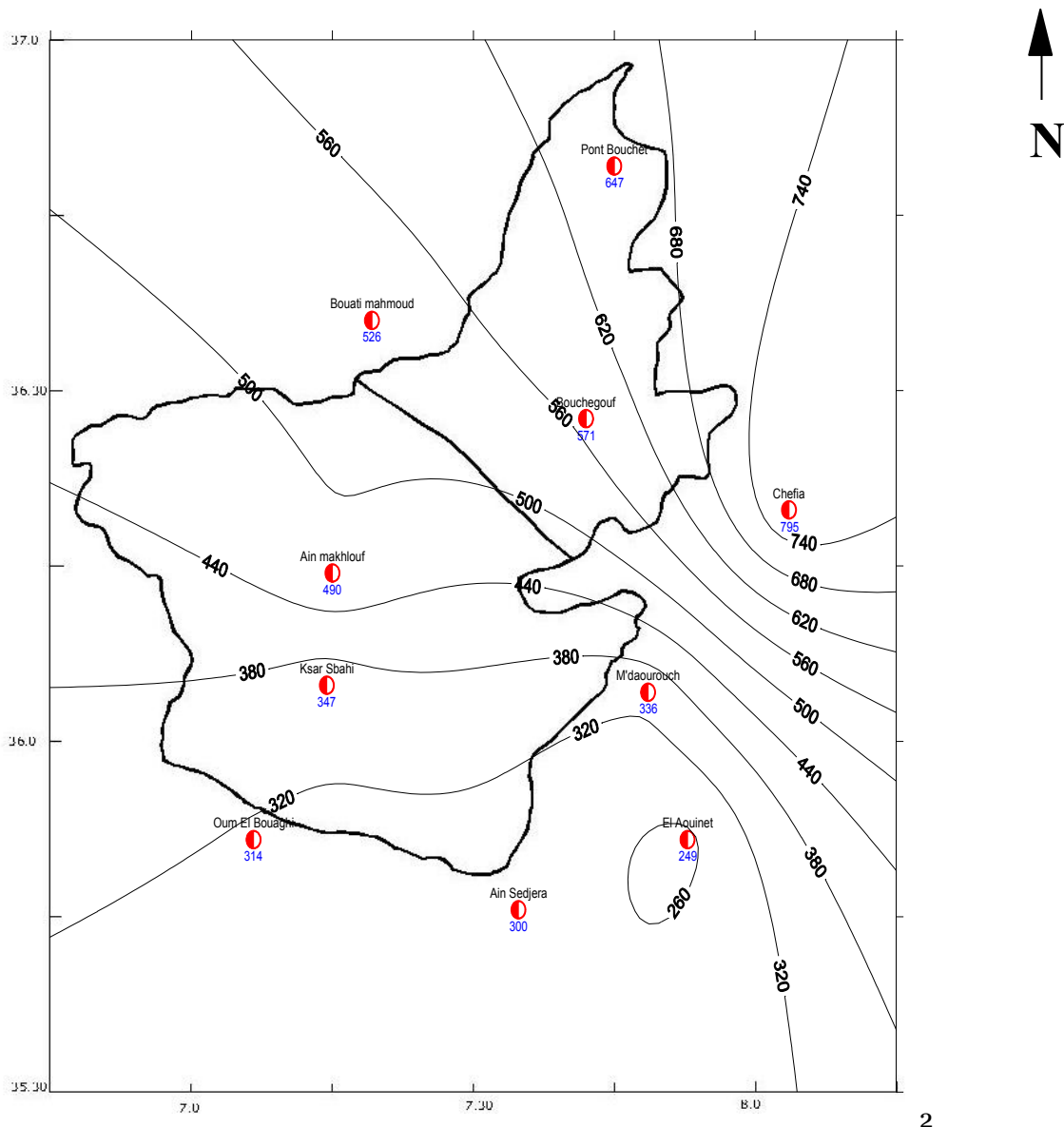
Les valeurs estimées de la lame d'eau moyenne sur les deux zones du bassin de la Seybouse et sur le bassin de Oued Mellegue par la méthode des isohyètes (cartes n° 14 et 15), par la méthode de Thiessen (cartes n°16 et 17) et par la méthode de moyenne arithmétique sont récapitulées dans le tableau n°19.

Tableau n°19: Les valeurs estimées de la lame d'eau moyenne précipitée sur les bassins par les trois méthodes

Bassins	Lame d'eau moyenne (mm)		
	Méthode des isohyètes	Méthode de Thiessen	Méthode de moyenne arithmétique
Mellegue	290.19	285.08	284.17
Seybouse (zone Nord S= 2088,00 km ²)	592,63	592,61	606,00
Seybouse (zone Sud S= 4395,00 km ²)	413,82	416,99	412,00

Parmi les trois méthodes de calcul de la lame d'eau moyenne annuelle, nous retenons la méthode de isohyètes qui est la plus précise et tient compte de la réalité géographique et climatique de chaque région.

CARTE N° :14 CARTE DES ISOHYETES DU
BASSIN VERSANT DE LA SEYBOUSE

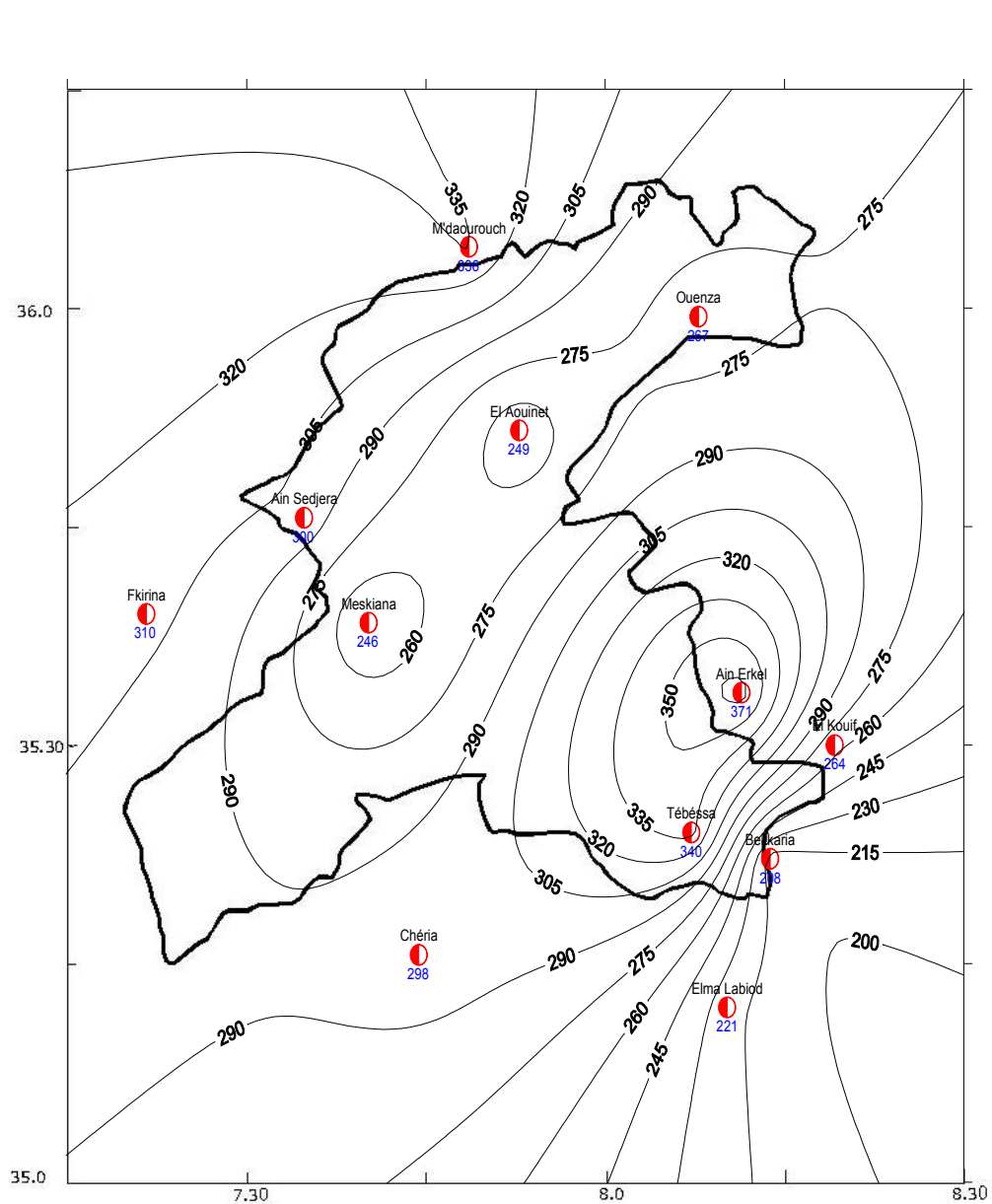


Légende

60 Km

- : Limite du bassin versant
- 400 : Isohyète 400 mm/an
- ⊕ : Station pluviométrique
- Ain Makhlouf : Nom da la station
- 490 : valeur de la pluie annuelle (mm)

CARTE N° :15 CARTE DES ISOHYETES DU
 BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



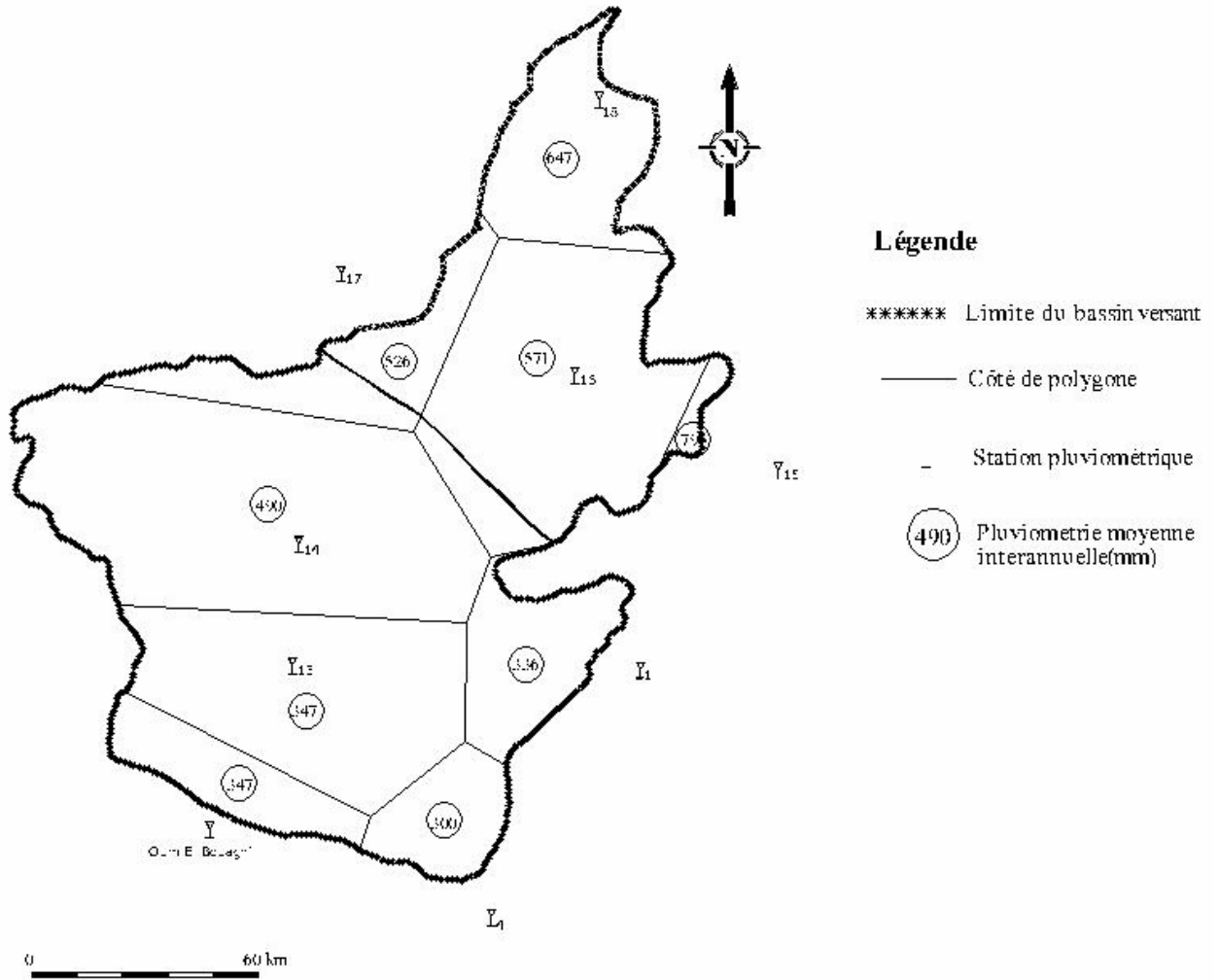
Légende

48 Km

- : Limite du bassin versant
- 260 : Isohyète 260 mm/an
- ⊕ : Station pluviométrique
- Ain Makhlouf : Nom da la station
- 246 : valeur de la pluie annuelle (mm)

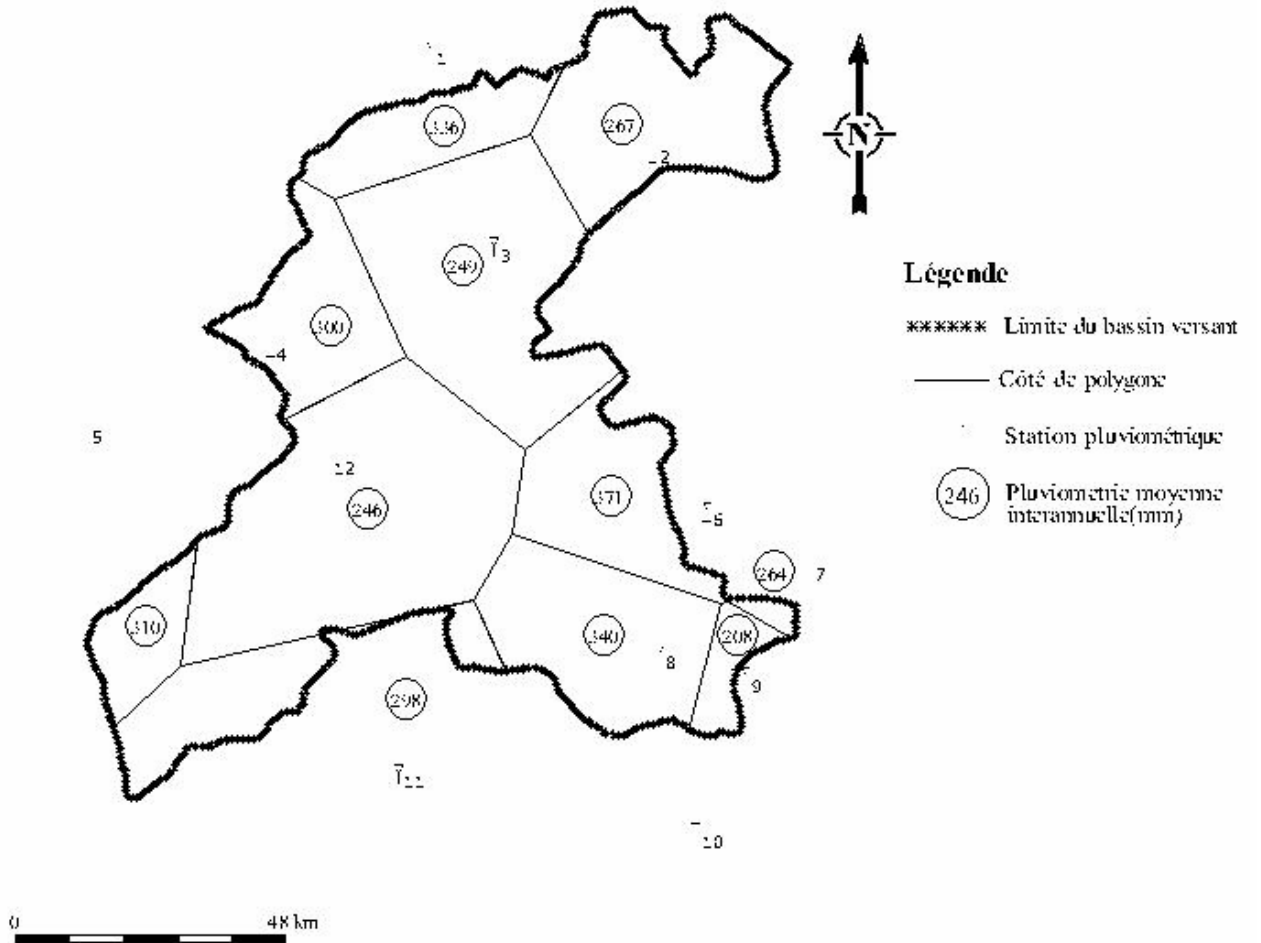
CARTE N°= 16

RESEAU DE THIESSEN DU BASSIN VERSANT DE LA SEYBOUSE



CARTE N°=17

RESEAU DE THIESSEN DU BASSIN VERSANT DE OUED MELLEGUE



D'après la carte des isohyètes tracée pour les deux bassins, On peut observer une augmentation de la pluie du Sud vers le Nord, et de l'Ouest vers l'Est

On remarque que les isohyètes sont légèrement modifiées dans la partie Sud du bassin de la Seybouse par rapport à la carte pluviométrique de l'ANRH (carte n°18) et une diminution pluviométrique de la série récente dans la partie Nord et Est du bassin de la Seybouse ainsi que la diminution pluviométrique remarquable dans le bassin de Oued Mellegue en comparant notre cartes avec celle de l'ANRH.

4. Les 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,...

L'analyse du climat du bassin de Oued Mellegue est basée sur les données climatiques de la station de Tébessa, alors que l'analyse du climat du bassin de la Seybouse est basée sur les données climatiques de la station d'Oum El Bouaghi pour la zone Sud et le données climatiques des stations de Guelma et de Pont Bouchet pour la zone Nord.

4.1. L'humidité relative de l'air:

L'air contient de l'eau sous forme de vapeur. Cette humidité 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 Pont Bouchet, Gulema, Oum El Bouaghi et Tébessa a été reportée dans les tableaux 20 à 23.

Tableau N°20: L'humidité relative de l'air (%) à la station de Pont Bouchet (1990-2003)

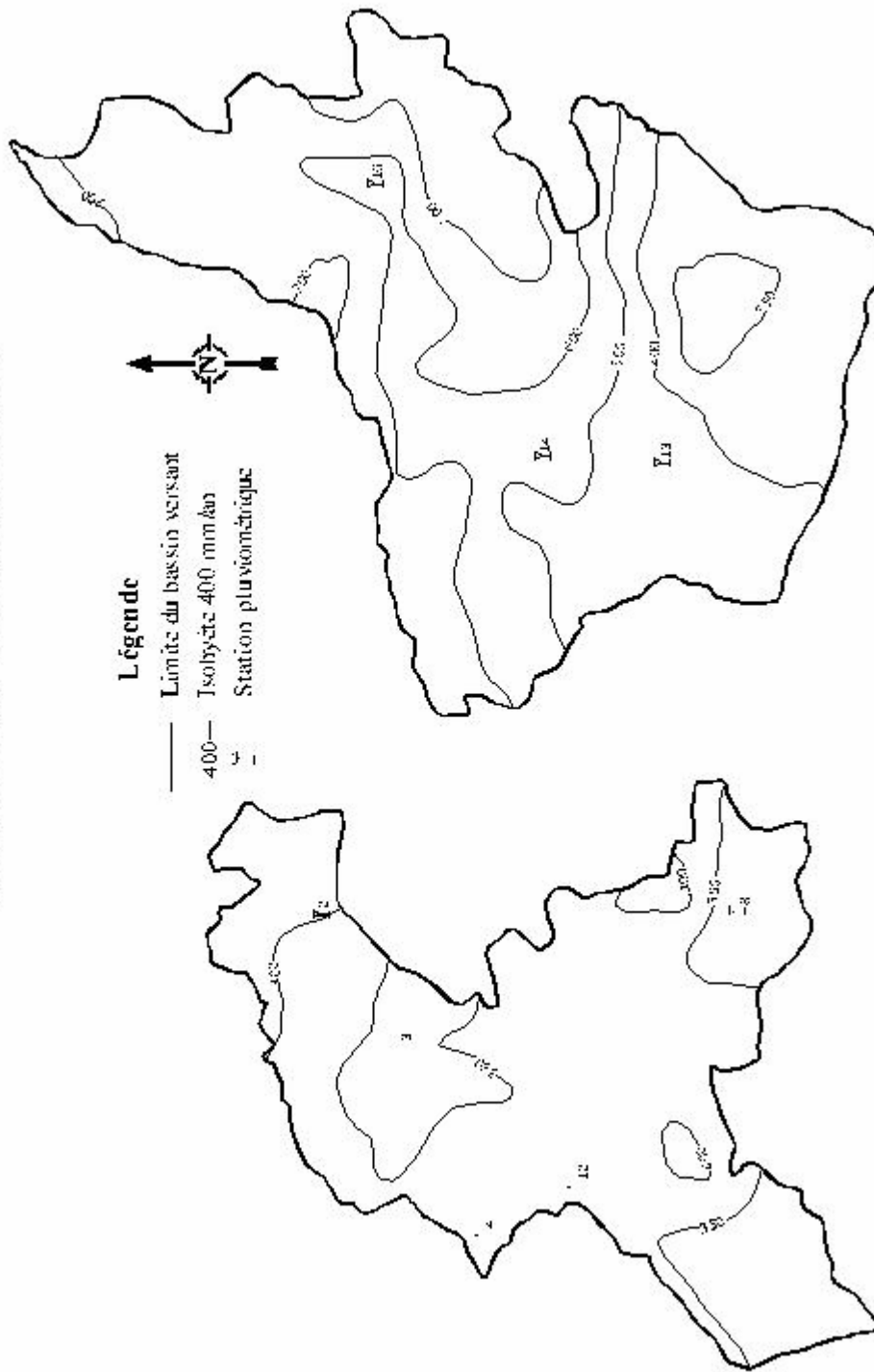
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Hr (%)	76.7	74.5	73.8	72.1	74.1	71.8	69.1	67.6	70.6	72.0	73.6	75.2	871.1

Tableau N°21: L'humidité relative de l'air (%) à la station de Gulema (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Hr (%)	75.0	74.5	70.5	70.3	65.4	56.5	50.4	50.7	62.1	66.8	71.6	74.4	788.1

CARTE N°= 18

**CARTE PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE
DU BASSIN DE LA SEYBOUSE ET DE OUED MELLEQUE
PERIODE 1922.1960 - 1969.1989 SELON L.A.N.R.H**



Extrait de :
La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord 1:500.000

Tableau N°22: L'humidité relative de l'air (%) à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Hr (%)	77.4	71.7	65.5	63.9	56.9	48.9	42.1	45.6	57.6	64.0	71.7	77.6	743.0

Tableau N°23: L'humidité relative de l'air (%) à la station de Tébessa (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Hr (%)	70.6	64.4	59.1	56.2	47.9	42.2	40.9	43.9	53.6	59.3	65.1	70.6	673.7

L'humidité relative de deux station de Pont Bouchet et de Gulema est supérieure à 50% pour les douze (12) mois de l'année avec un maximum de 76.7% en janvier et un minimum de 67.7% en août pour la station de Pont Bouchet, et un maximum de 75% en janvier et un minimum de 50.4% en juillet pour la station de Gulema. Par contre l'humidité relative de la station d'Oum El Bouaghi dépasse les 50% pendant neuf (09) mois avec un maximum de 77.6% en décembre, alors qu'elle est inférieure à 50% pendant l'été (juin, juillet, août) avec un minimum en juillet (42.1%), pour la station de Tébessa l'humidité relative dépasse les 50% pendant huit (08) mois avec un maximum de 70.6% en décembre et janvier, alors qu'elle est inférieure à 50% pendant quatre mois (mai, juin, juillet, août) avec un minimum en juillet (40.91%) .

4.2. La vitesse de vent:

Le vent joue un rôle essentiel sur les processus d'évaporation car c'est lui qui permet, par le mélange de l'air ambiant, de remplacer au voisinage de la surface évaporante, l'air saturé par de l'air plus sec. En effet, l'air au voisinage de la surface évaporante va se saturer plus ou moins rapidement et par conséquent stopper le processus d'évaporation.

La variation mensuelle de la vitesse du vent a été reportée dans les tableaux 24 à 27.

Tableau N°24: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de pont Bouchet (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V (m/s)	3.7	3.9	3.8	3.9	3.7	3.9	4.0	3.8	3.6	3.4	3.7	4.0	3.8

Tableau N°25: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de Gulema (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V (m/s)	1.6	1.7	1.7	2.0	1.8	2.0	1.9	1.8	1.8	2.0	1.8	1.9	1.8

Tableau N°26: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station d'Oum El Bouaghi (1992-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V (m/s)	2.0	2.0	1.9	2.3	1.8	2.0	2.2	2.3	2.0	1.6	1.8	1.9	2.0

Tableau N°27: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de Tébessa (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V (m/s)	2.8	3.3	3.4	3.8	3.5	3.1	3.1	2.5	2.7	2.4	2.9	3.1	3.0

La vitesse moyenne de vent durant l'année est de l'ordre de 3.8 m/s (modéré) dans la station de pont Bouchet, 1.8 m/s (léger) dans la station de Gulema, 2 m/s, 3m/s (modéré) dans les stations d'Oum El Bouaghi et Tébessa.

4.3. Le rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est la principale source d'énergie reçue directement par la surface du sol. L'évolution de ce paramètre a été consigne dans les tableaux allant de 28 à 31.

Tableau N°28: Insolation moyenne (h/j) Station de Pont Bouchet (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Insolation (h/j)	5.0	6.3	7.1	7.7	9.5	10.4	11.6	10.4	8.2	6.9	5.5	5.0	93.5
%	5.4	6.7	7.6	8.3	10.1	11.1	12.4	11.1	8.7	7.4	5.9	5.3	100
Insolation par saison (%)	17.4		26.0			34.6			22.0				100

Tableau N°29: Insolation moyenne (h/j) Station de Gulema (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Insolation (h/j)	5.2	6.2	6.4	7.2	8.9	10.1	10.7	9.6	8.1	6.6	5.4	4.7	89.1
%	5.8	7.0	7.2	8.1	10.0	11.3	12.0	10.8	9.1	7.4	6.0	5.3	100
Insolation par saison (%)	18.0		25.3			34.1			22.6				100

Tableau N°30: Insolation moyenne (h/j) Station de Oum El Bouaghi (1994-2004)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Insolation (h/j)	5.2	6.8	7.8	8.2	8.9	9.8	11.1	9.3	8.0	7.2	5.7	5.1	93.1
%	5.6	7.3	8.4	8.9	9.5	10.6	11.9	10.0	8.6	7.7	6.1	5.5	100
Insolation par saison (%)	18.3		26.8			32.5			22.4				100

Tableau N°31: Insolation moyenne (h/j) Station de Tébessa (1990-2003)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Insolation (h/j)	5.1	6.3	7.3	8.2	9.3	9.7	11.2	10.1	8.2	7.4	6.1	5.3	94.2
%	5.5	6.8	7.8	8.7	9.9	10.4	12.0	10.8	8.8	7.9	6.6	5.7	100
Insolation par saison (%)	17.8		26.3			32.9			23.0				100

L'analyse des tableaux n°:35, 36 et 37 montre que la durée d'insolation varie irrégulièrement durant l'année, elle est très important durant le mois de juillet où elle atteint une moyenne de 11.6 h/j à la station de Pont Bouchet, 10.7 h/j à la station de Gulema, 11.1 h/j à la station d'Oum El Bouaghi et 12.0h/j dans la station de Tébessa. Elle descend progressivement à son minimum en mois de décembre avec 5 h/j à la station de Pont Bouchet, 4.7 h/j à la station de Gulema, 5.1 h/j à la station d'Oum El Bouaghi et en mois de janvier avec 5.1 h/j à la station de Tébessa. La moyenne annuelle est de l'ordre de 7.80 h/j à la station de Pont Bouchet, 7.43 h/j à la station de Gulema, 7.76 h/j à la station d'Oum El Bouaghi et 7.85 h/j à la station de Tébessa.

Conclusion :

L'analyse du climat de la zone d'étude (Bassin de la Seybouse et bassin de Oued Mellegue) à partir des données climatiques des stations: Pont Bouchet, Gulema, Oum El Bouaghi et Tébessa, montre que les caractéristiques climatiques de ces deux bassins, sont étroitement liées à leur positions géographiques, et à leur relief. On relève de fortes variabilités spatiales et temporelles de ces différents paramètres climatiques qui vont certainement entraîner une variabilité de l'évapotranspiration sur le même bassin versant.

***CHAPITRE I:
ESTIMATION DE
L'EVAPOTRANSPIRATION***

Introduction :

Nombreuse formules ont été établies pour calculer l'ETP à partir de quatre éléments climatiques fondamentaux: température, humidité relative, insolation et vitesse du vent. Pour notre cas on utilise les formules de Turc, Thornthwaite, Blanney-Cridle, Penman, Penman modifiée par l'FAO plus la formule de l'ANRH. Les données climatiques utilisées sont celles de la station de Tébessa, Pont Bouchet, Gulema, Souk Ahras, Constantine et Oum El Bouaghi sur une période de huit (08) ans (1990-1997). Les mesures de l'évaporation disponibles sont de l'évaporomètre de Piche sur huit ans (1990-1997) sur les mêmes stations sauf à la station d'Oum El Bouaghi qui ne dispose pas des mesures d'évaporation.

1. Formule de TURC :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (voir méthodes d'estimation indirectes à la première partie)

$$\mathbf{ETP} = 0.40(Ig + 50) \frac{t}{t+15}$$

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 32 à 37 et reportée dans les figures 20 à 25.

Avec :

ETP Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

Iga: La radiation maximale théorique donnée par des tables exprimée en cal/cm²/jour ne dépend que de latitude de lieu.

t : Température moyenne mensuelle (°C).

h : Durée moyenne d'insolation (heures).

H : Durée astronomique du jour (heures) s'obtient par des tables.

Ig: Radiation solaire globale du mois considéré sur une surface horizontale (calories/cm²/jour).

Hr: Humidité relative (%)

C: terme correctif si Hr < 50%, $C = (1 + \frac{50 - Hr}{70})$

Tableau n°32: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	403,11	533,3	687,8	842,9	944,77	986,23	964	881,13	745	585,6	438,52	368,11
t	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
h	5,1	6,1	6,6	7,1	9,9	10,2	11,8	10,7	8,1	6,7	6,0	5,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,5
h/H	0,52	0,57	0,56	0,55	0,71	0,71	0,83	0,79	0,65	0,60	0,60	0,53
Ig	203,26	284,90	363,22	438,15	585,67	611,17	670,18	592,79	436,42	321,78	240,78	187,88
Hr	76,6	73,3	74,4	72,3	73,3	73,1	70,0	70,4	71,1	72,9	73,4	75,1
ETP	44,60	56,57	77,68	94,71	138,52	154,44	178,95	165,51	117,11	85,70	58,97	44,18
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP corr	44,60	56,57	77,68	94,71	138,52	154,44	178,95	165,51	117,11	85,70	58,97	44,18
ETP ann	1216,94											

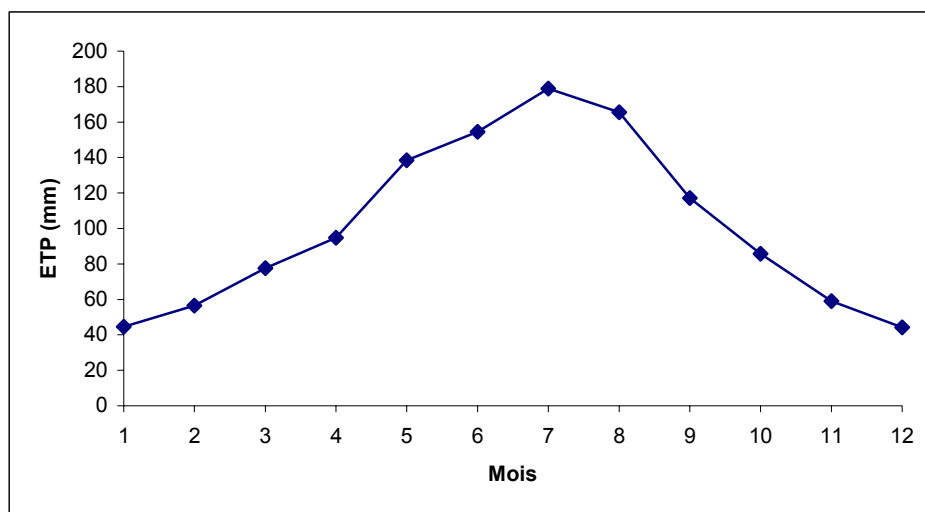


Figure N°20: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Pont Bouchet

Tableau n°33: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Guelma

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	410,9	540,4	693,2	845,6	945,6	985,4	964	883	749,6	591,8	446,1	375,9
t	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
h	5,1	6,1	6,2	7,0	9,1	9,6	11,3	10,5	7,9	6,8	5,6	5,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,52	0,57	0,53	0,54	0,66	0,66	0,79	0,78	0,65	0,61	0,55	0,53
Ig	206,91	287,83	352,16	432,78	555,23	583,46	648,54	587,34	435,05	329,29	232,48	190,43
Hr	74,5	75,4	73,9	72,4	65,4	60,3	52,6	53,0	62,9	69,3	72,3	74,3
ETP	41,11	55,30	72,96	89,36	135,29	152,03	177,93	167,03	117,87	86,42	55,17	42,04
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP corr	41,11	55,30	72,96	89,36	135,29	152,03	177,93	167,03	117,87	86,42	55,17	42,04
ETP ann	1192,50											

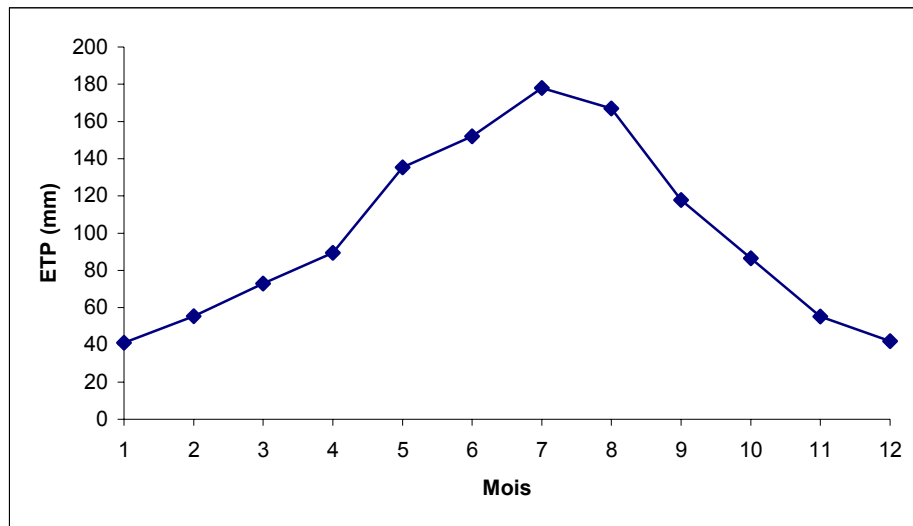


Figure N°21: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Guelma

Tableau n°34: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	412,1	541,4	694	846	945,7	985,3	964	883,3	750,3	592,7	447,2	377,1
t	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
h	4,8	5,9	6,4	7,3	9,2	9,9	11,3	10,5	8,0	6,8	5,7	4,9
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,49	0,55	0,54	0,56	0,66	0,69	0,80	0,78	0,65	0,61	0,56	0,51
Ig	199,00	282,93	356,92	444,80	559,89	597,87	649,14	587,61	436,20	331,03	236,29	188,13
Hr	78,4	74,1	73,1	72,6	65,4	57,4	48,4	50,8	59,8	66,9	72,9	76,6
ETP	33,05	48,53	66,65	85,96	131,36	151,60	173,46	163,19	114,07	82,92	51,30	35,72
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP corr	33,05	48,53	66,65	85,96	131,36	151,60	177,48	163,19	114,07	82,92	51,30	35,72
ETP ann	1141,84											

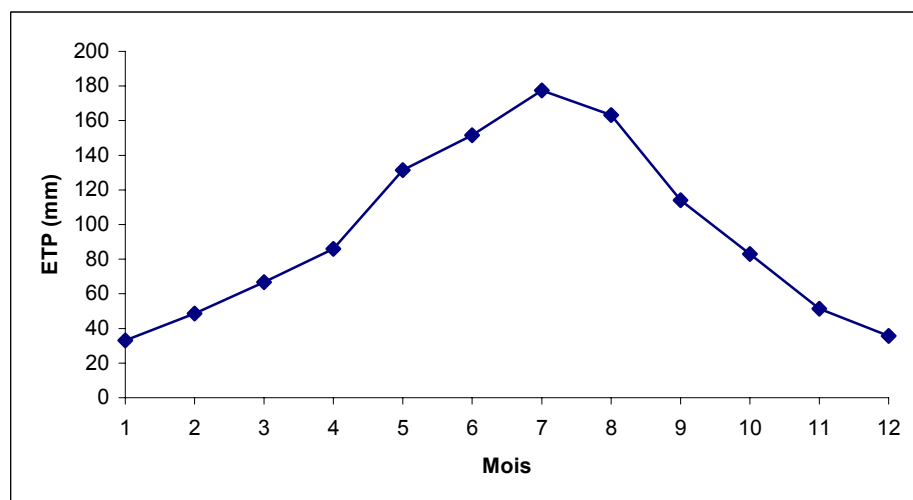


Figure N°22: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Souk Ahras

Tableau n°35: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	412,5	541,8	694,3	846,2	945,8	985,3	964	883,4	750,6	593	447,6	377,5
t	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
h	5,0	6,3	6,7	7,6	9,6	10,4	11,5	10,3	8,1	6,8	5,9	5,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,51	0,59	0,56	0,59	0,69	0,72	0,81	0,76	0,66	0,61	0,58	0,53
Ig	203,43	294,13	367,57	460,04	573,65	616,43	658,61	577,97	441,57	329,55	241,31	191,98
Hr	78,1	74,5	71,9	70,9	64,1	55,8	48,8	49,6	59,1	66,1	71,9	77,5
ETP	33,18	50,31	68,58	89,62	134,33	157,04	178,20	162,01	112,16	81,32	51,19	34,61
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP corr	33,18	50,31	68,58	89,62	134,33	157,04	181,39	162,88	112,16	81,32	51,19	34,61
ETP ann	1156,61											

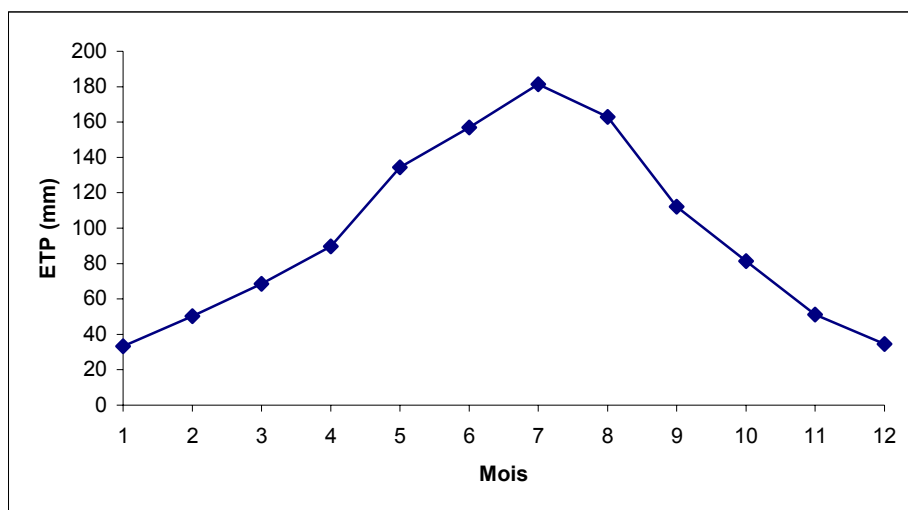


Figure N°23: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Constantine

Tableau n°36: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station d'Oum EL Bouaghi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	422	550,2	700,6	849,4	946,2	984,3	963,8	885,4	755,6	600,5	456,7	387,2
t	5,8	9,4	9,8	12,1	18,1	22,2	24,9	25,9	21,7	16,3	11,3	7,7
h	5,1	6,8	7,9	8,0	9,8	9,5	11,4	9,8	7,6	7,0	6,4	5,5
H	9,9	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,2	9,7
h/H	0,52	0,63	0,67	0,61	0,71	0,66	0,80	0,73	0,62	0,63	0,62	0,57
Ig	210,74	315,03	417,84	475,96	584,98	579,78	654,26	561,87	426,42	340,78	258,48	206,43
Hr	78,6	72,5	70,8	68,6	59,3	53,5	45,0	47,3	59,4	68,1	73,4	79,1
ETP	28,90	51,86	73,95	91,59	138,71	146,44	175,80	154,88	109,76	81,28	51,69	34,79
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,04	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP corr	28,90	51,86	73,95	91,59	138,71	146,44	188,36	160,96	109,76	81,28	51,69	34,79
ETP ann	1158,30											

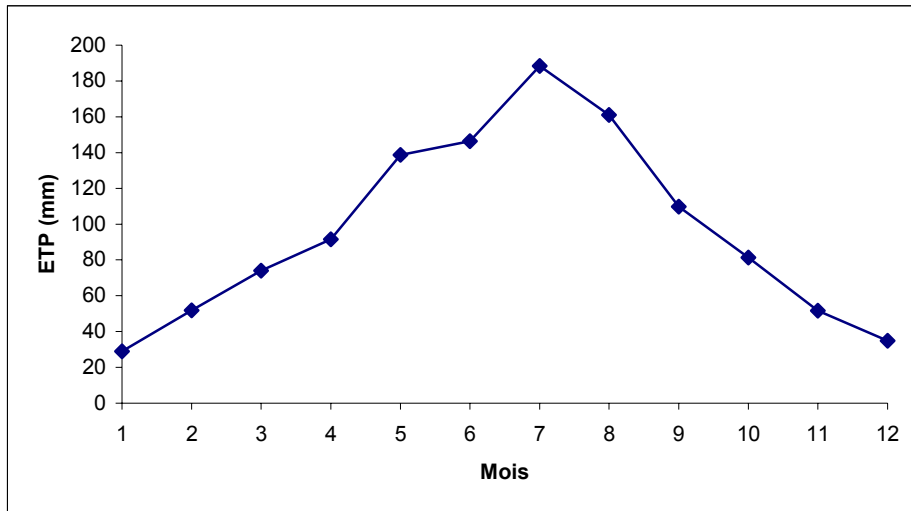


Figure N°24: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station D'Oum El Bouaghi

Tableau n°37: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Tébessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	425,9	553,8	703,1	850,8	946,4	983,9	963,6	886,3	757,6	603,6	460,5	391,3
t	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
h	5,1	6,6	6,9	7,7	9,4	9,9	11,3	10,2	7,9	7,4	6,3	5,4
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,52	0,62	0,58	0,59	0,67	0,69	0,80	0,76	0,64	0,66	0,62	0,56
Ig	213,74	312,28	381,00	466,09	565,58	598,08	649,92	577,30	436,14	354,24	260,63	205,64
Hr	72,1	64,9	62,8	60,4	47,6	44,8	40,1	46,6	53,6	59,0	63,6	70,0
ETP	32,24	52,14	71,97	94,21	136,14	156,03	176,40	159,68	113,76	87,41	53,59	35,86
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,08	1,14	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP corr	32,24	52,14	71,97	94,21	140,76	167,74	201,29	167,38	113,76	87,41	53,59	35,86
ETP ann	1218,34											

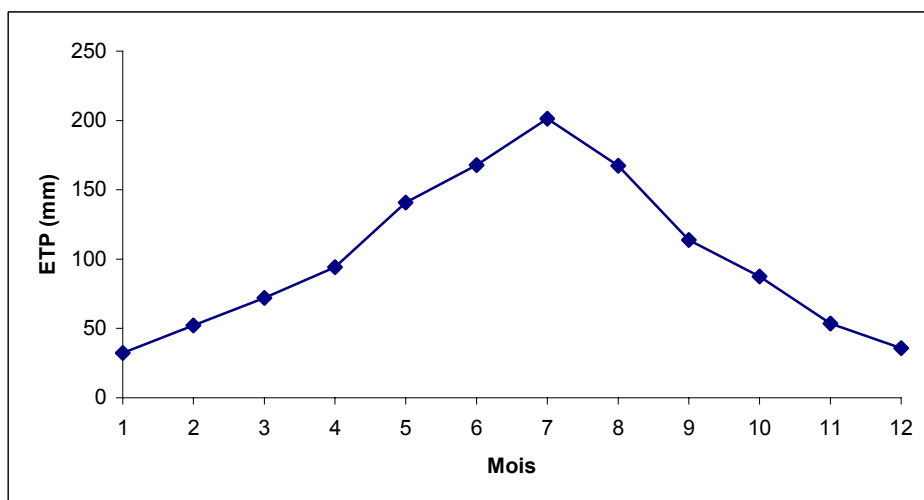


Figure N°25: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Tébessa

2. Formule de THORNTHWAITE :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (voir méthodes d'estimation indirectes à la première partie)

$$ETP = 1,6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 38 à 43 et reportée dans les figures 26 à 31.

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (C°).

i: Indice thermique mensuel.

C: terme de correction dépend de latitude de lieu

Tableau n°38: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
i	3,67	4,05	4,40	5,20	6,92	9,68	11,16	12,92	10,89	8,41	5,96	4,25
C	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
ETP	24,43	27,07	36,82	48,60	77,57	119,65	145,56	164,07	116,22	78,85	44,64	28,40
ETP annu	911,88											

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = 87,50, a = 1,92$$

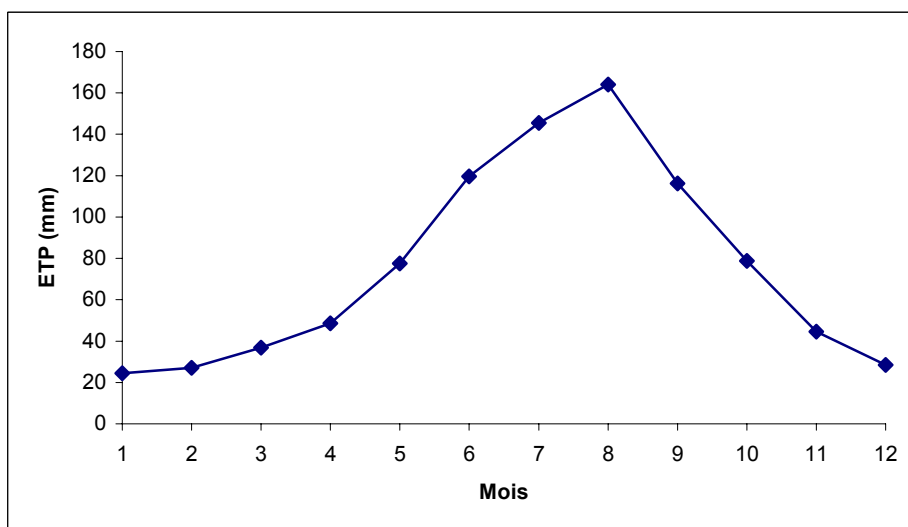


Figure N°26: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Pont Bouchet

Tableau n°39: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Gulema

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
i	2,86	3,72	3,98	4,52	7,55	10,75	12,35	13,94	11,30	8,06	5,30	3,60
C	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
ETP	17,64	24,09	32,23	40,53	86,27	136,49	165,48	180,85	121,76	74,63	38,35	22,85
ETP annu	941,17											

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = 87,93, a = 1,93$$

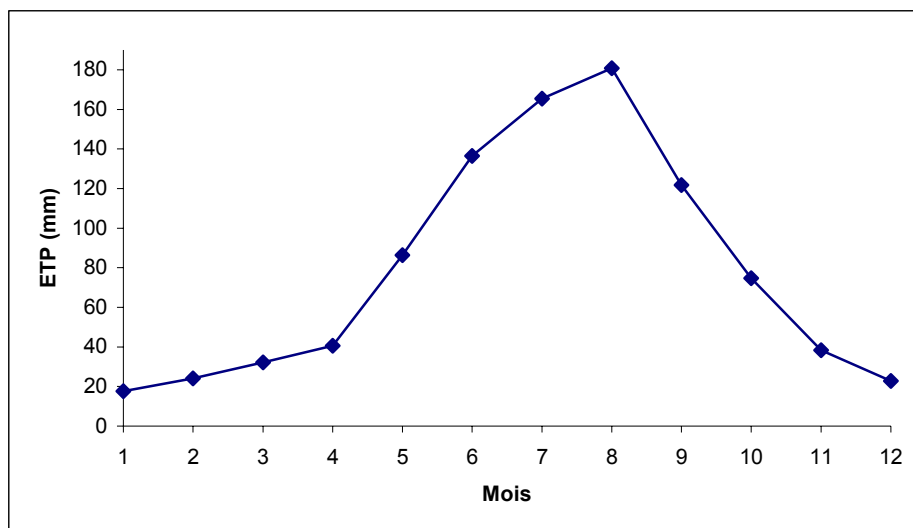


Figure N°27: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Guelma

Tableau n°40: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
i	1,83	2,75	3,03	3,79	6,66	9,75	11,09	12,60	9,85	6,90	4,13	2,43
C	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
ETP	13,67	20,99	28,69	39,25	81,54	125,46	147,14	158,65	106,24	67,34	33,35	18,13
ETP annu	840,45											

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = 74,80, a = 1,68$$

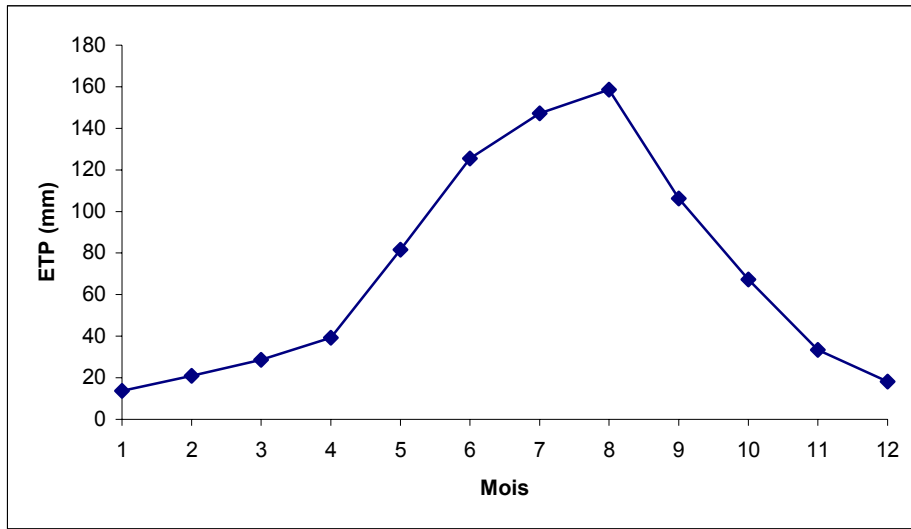


Figure N°28: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Souk Ahras

Tableau n°41: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
i	1,77	2,77	3,05	3,91	6,66	10,01	11,71	13,03	8,88	6,55	3,91	2,17
C	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
ETP	13,32	21,31	29,10	40,84	81,77	129,36	156,39	164,68	94,82	63,77	31,55	16,10
ETP annu	843,02											

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = 74.43, a = 1.68$$

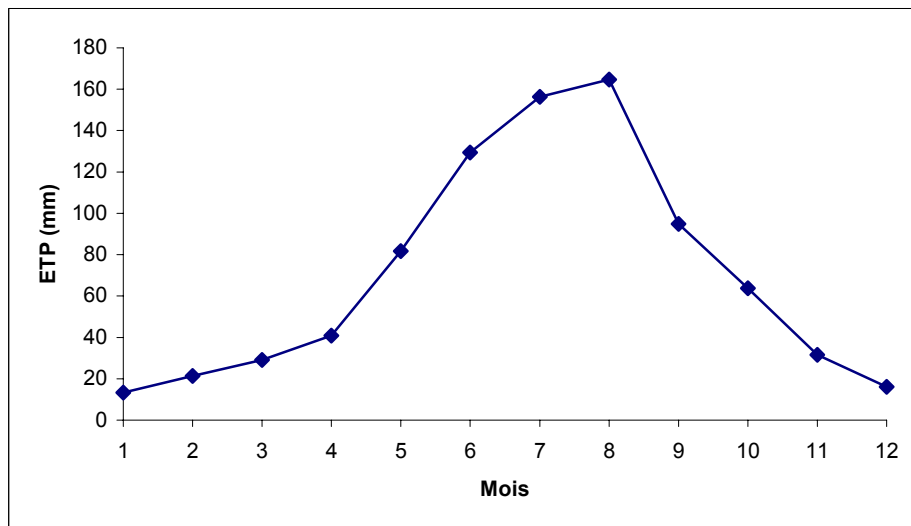


Figure N°29: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Constantine

Tableau n°42: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	5,8	9,4	9,8	12,1	18,1	22,2	24,9	25,9	21,7	16,3	11,3	7,7
i	1,24	2,58	2,77	3,81	6,98	9,52	11,37	12,03	9,20	5,96	3,44	1,92
C	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
ETP	9,95	21,29	27,83	41,76	87,55	122,79	150,72	149,77	99,92	59,24	29,24	15,39
ETP annu	815.45											

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = 70.81, a = 1.61$$

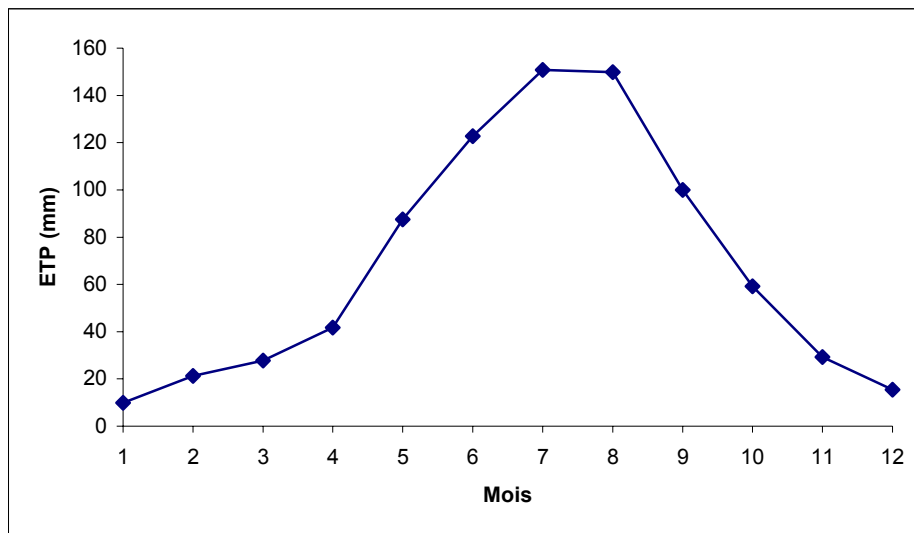


Figure N°30: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi

Tableau n°43: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Tébessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
i	1,52	2,66	3,19	4,35	7,28	10,89	11,82	12,31	9,75	6,75	3,72	2,08
C	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
ETP	10,86	19,96	29,60	44,90	88,34	140,30	156,46	153,29	104,59	65,05	29,40	14,88
ETP annu	857.62											

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} i = 76.31, a = 1.71$$

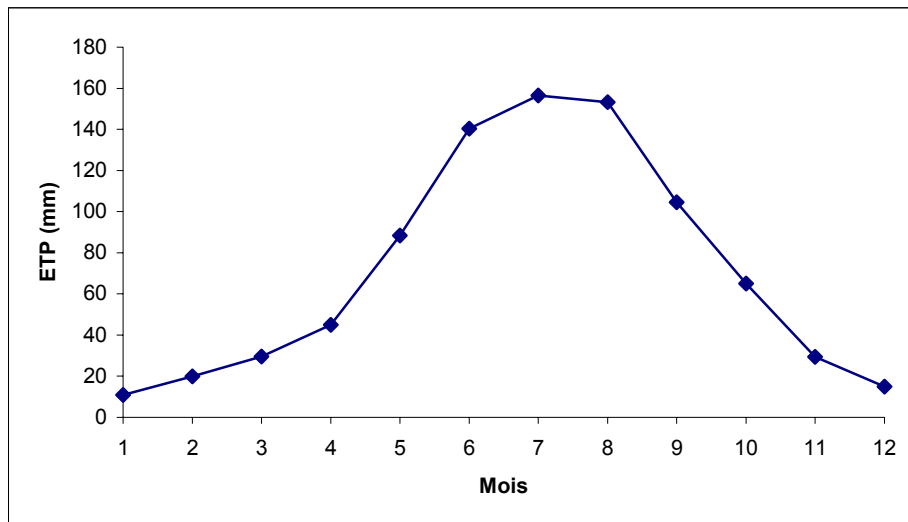


Figure N°31: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Tébessa

3. Formule de BLANNEY-CRIDLE :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (voir méthodes d'estimation indirectes à la première partie)

$$ETP = aF + b$$

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 44 à 49 et reportée dans les figures 32 à 37.

Avec :

ETP_{clim}: Evapotranspiration potentielle climatique (mm).

ETP_{cult}: Evapotranspiration potentielle de culture (mm).

P : Durée d'éclairement en %

t : Température moyenne mensuelle (C°).

F: Force évaporante.

a et b: Coefficients de correction (tableau n°01)

H : Durée astronomique du jour (heures) s'obtient par des tables.

h: Durée moyenne d'insolation (heures).

V: Vitesse moyenne de vent (m/s).

Hr: Humidité relative (%)

Pour le calcul de l'ETP culture, nous avons adopté les valeurs des coefficients proposés par j.Doorenbos et W.O.Pruitt pour des cultures en plein champ, qui ont les valeurs suivantes:

Saison humide: Kc=0.70.

Saison sèche: $K_c=1.10$.

Car la détermination des valeurs de K_c exige un grand nombre de mesures expérimentales sur terrain.

Tableau n°44: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	6,94	6,83	8,34	8,86	9,84	9,89	10,03	9,43	8,36	7,83	6,89	6,75
t	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
F	94,1	95,1	118,8	132,6	161,2	182,3	195,0	194,2	161,0	137,1	107,5	95,2
a	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,25	1,25	1,25	1,14	1,14	1,14	1,14
b	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,88	-1,88	-1,88	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
aF+b	105,43	106,59	133,62	149,27	181,98	226,01	241,92	240,90	181,73	154,49	120,73	106,74
h	5,1	6,1	6,6	7,1	9,9	10,2	11,8	10,7	8,1	6,7	6,0	5,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,5
h/H	0,52	0,57	0,56	0,55	0,71	0,71	0,83	0,79	0,65	0,60	0,60	0,53
V	3,5	3,8	3,7	3,9	3,7	3,9	4,0	3,8	3,5	3,3	3,5	3,8
Hr	76,6	73,3	74,4	72,3	73,3	73,1	70,0	70,4	71,1	72,9	73,4	75,1
ETP clim	105,43	106,59	133,62	149,27	181,98	226,01	241,92	240,90	181,73	154,49	120,73	106,74
K_c	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP cult	73,80	74,61	93,54	104,49	127,39	248,61	266,12	264,98	127,21	108,15	84,51	74,72

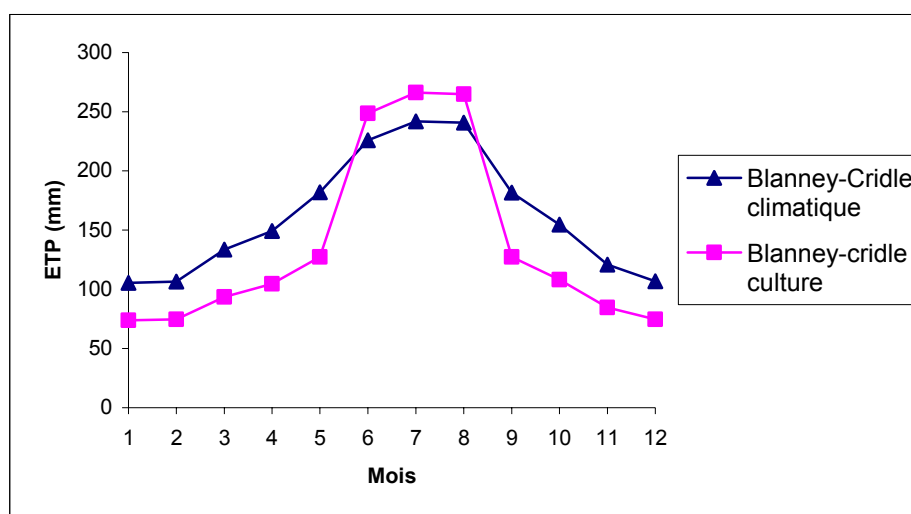


Figure N°32: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Pont Bouchet

Tableau n°45: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Gulema

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	6,97	6,84	8,34	8,85	9,82	9,85	9,99	9,41	8,36	7,84	6,91	6,79
t	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
F	88,7	93,1	115,6	127,1	165,7	188,8	202,1	199,9	163,3	135,3	104,0	91,6
a	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,16	1,16	1,16	1,05	1,05	1,05	1,05
b	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,96	-1,96	-1,96	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
h	5,1	6,1	6,2	7,0	9,1	9,6	11,3	10,5	7,9	6,8	5,6	5,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,52	0,57	0,53	0,54	0,66	0,66	0,79	0,78	0,65	0,61	0,55	0,53
V	1,4	1,6	1,7	1,8	1,7	1,9	1,9	1,7	1,7	1,5	1,6	1,9
Hr	74,5	75,4	73,9	72,4	65,4	60,3	52,6	53,0	62,9	69,3	72,3	74,3
ETP clim	91,32	95,86	119,51	131,63	172,11	217,08	232,45	229,89	169,66	140,25	107,38	94,33
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP cult	63,93	67,10	83,65	92,14	120,47	238,78	255,70	252,88	118,77	98,18	75,16	66,03

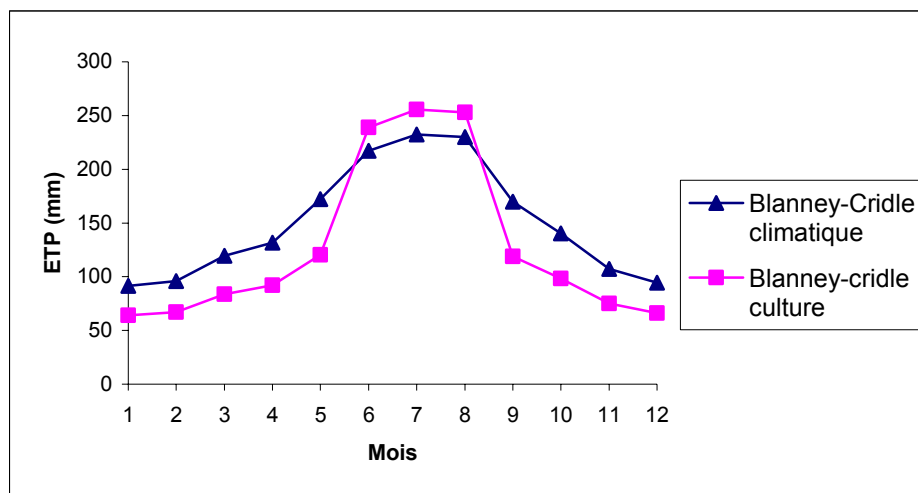


Figure N°33: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Guelma

Tableau n°46: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	6,97	6,84	8,34	8,85	9,82	9,85	9,98	9,41	8,36	7,85	6,92	6,79
t	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
F	80,6	86,3	107,7	121,0	158,9	182,0	193,6	191,9	155,1	128,5	96,8	83,3
a	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,59	1,59	1,14	1,14	1,14	1,14
b	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-2,11	-2,11	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
h	4,8	5,9	6,4	7,3	9,2	9,9	11,3	10,5	8,0	6,8	5,7	4,9
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,49	0,55	0,54	0,56	0,66	0,69	0,80	0,78	0,65	0,61	0,56	0,51
V	3,5	3,8	3,8	3,9	3,1	3,4	3,5	3,0	3,0	2,9	3,3	3,7
Hr	78,4	74,1	73,1	72,6	65,4	57,4	48,4	50,8	59,8	66,9	72,9	76,6
ETP clim	89,99	96,53	120,94	136,11	179,29	205,67	305,73	302,95	174,94	144,60	108,56	93,14
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP cult	62,99	67,57	84,66	95,27	125,50	226,24	336,31	333,24	122,46	101,22	75,99	65,20

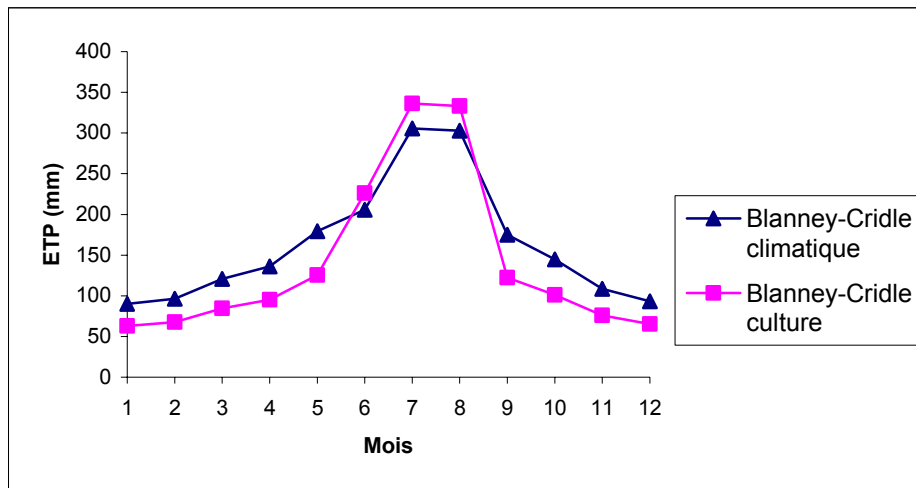


Figure N°34: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Souk Ahras

Tableau n°47: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	6,98	6,85	8,34	8,85	9,81	9,85	9,98	9,41	8,36	7,85	6,92	6,79
t	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
F	80,2	86,6	107,9	122,0	158,7	183,8	197,7	194,5	149,3	126,3	95,4	81,3
a	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,25	1,59	1,59	1,14	1,14	1,14	1,14
b	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,88	-2,11	-2,11	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
h	5,0	6,3	6,7	7,6	9,6	10,4	11,5	10,3	8,1	6,8	5,9	5,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,51	0,59	0,56	0,59	0,69	0,72	0,81	0,76	0,66	0,61	0,58	0,53
V	2,2	2,4	2,5	2,7	2,2	2,4	2,2	2,0	2,3	2,1	2,5	2,7
Hr	78,1	74,5	71,9	70,9	64,1	55,8	48,8	49,6	59,1	66,1	71,9	77,5
ETP clim	89,57	96,85	121,16	137,27	179,11	227,92	312,30	307,08	168,36	142,13	106,93	90,82
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP cult	62,70	67,80	84,81	96,09	125,38	250,71	343,53	337,79	117,85	99,49	74,85	63,58

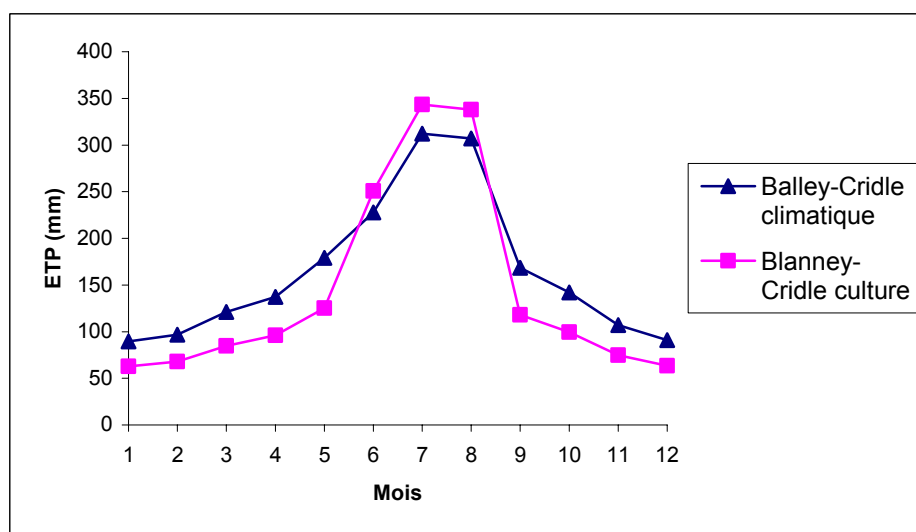


Figure N°35: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Constantine

Tableau n°48: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Oum El Bouaghi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	7,01	6,86	8,34	8,83	9,78	9,81	9,94	9,39	8,36	7,86	6,95	6,84
t	5,8	9,4	9,8	12,1	18,1	22,2	24,9	25,9	21,7	16,3	11,3	7,7
F	75,5	85,3	105,4	120,9	160,7	179,7	194,7	188,0	151,2	122,7	92,6	79,8
a	1,05	1,05	1,05	1,14	1,05	1,3	1,59	1,45	1,05	1,05	1,05	1,05
b	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-2,07	-2,11	-2,00	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
h	5,1	6,8	7,9	8,0	9,8	9,5	11,4	9,8	7,6	7,0	6,4	5,5
H	9,9	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,2	9,7
h/H	0,52	0,63	0,67	0,61	0,71	0,66	0,80	0,73	0,62	0,63	0,62	0,57
V	2,2	2,0	2,0	2,5	1,7	2,0	1,8	1,8	2,0	1,6	1,8	1,8
Hr	78,6	72,5	70,8	68,6	59,3	53,5	45,0	47,3	59,4	68,1	73,4	79,1
ETP clim	77,47	87,70	108,83	136,03	166,91	231,55	307,41	270,60	156,95	126,95	95,42	81,99
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP cult	54,23	61,39	76,18	95,22	116,84	254,71	338,15	297,66	109,86	88,86	66,79	57,39

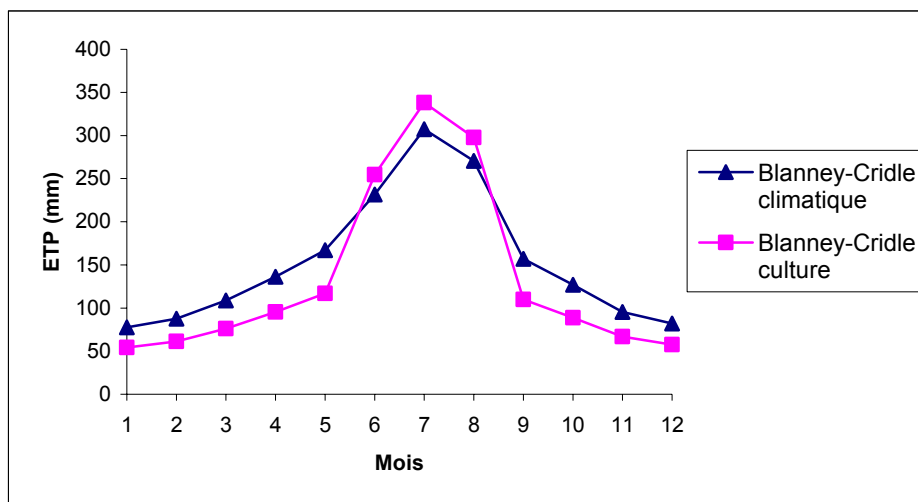


Figure N°36: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station d'Oum El Bouaghi

Tableau n°49: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Tebessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	7,03	6,87	8,34	8,83	9,77	9,79	9,92	9,38	8,36	7,87	6,96	6,85
t	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
F	78,5	86,0	109,0	125,4	162,8	188,6	197,2	189,5	154,5	127,9	94,7	81,2
a	1,14	1,14	1,14	1,14	1,45	1,45	1,59	1,59	1,14	1,14	1,14	1,14
b	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-2,00	-2,00	-2,11	-2,11	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
h	5,1	6,6	6,9	7,7	9,4	9,9	11,3	10,2	7,9	7,4	6,3	5,4
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h/H	0,52	0,62	0,58	0,59	0,67	0,69	0,80	0,76	0,64	0,66	0,62	0,56
V	2,8	3,3	3,3	3,6	3,4	3,2	3,2	2,5	2,6	2,4	2,8	3,1
Hr	72,1	64,9	62,8	60,4	47,6	44,8	40,1	46,6	53,6	59,0	63,6	70,0
ETP clim	87,65	96,24	122,47	141,12	234,06	271,43	311,50	299,23	174,28	143,94	106,10	90,74
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP cult	61,35	67,37	85,73	98,78	163,84	298,58	342,65	329,15	122,00	100,76	74,27	63,52

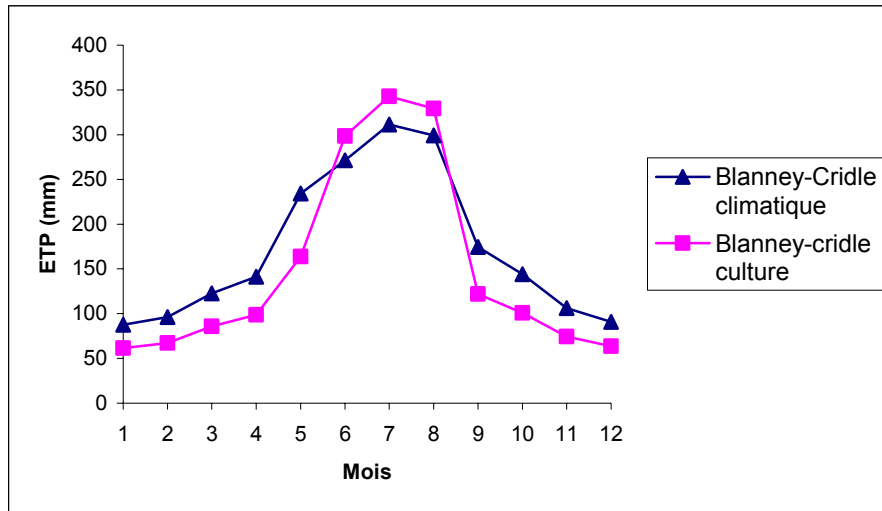


Figure N°37: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Tébéssa

4. Formule de PENMAN :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (voir méthodes d'estimation indirectes à la première partie)

$$ETP = \left[\frac{Iga}{59} (1 - a) \left(0.18 + 0.62 \frac{h}{H} \right) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{e}) \left(0.10 + 0.90 \frac{h}{H} \right) \right] \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} + \frac{0.26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e) (1 + 0.54 u)$$

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 50 à 55 et reportée dans les figures 38 à 43.

Avec :

ETP_j: Evapotranspiration potentielle journalière (mm).

ETP_m : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

Iga: La radiation maximale théorique donnée par des tables exprimée en cal/cm²/jour ne dépendant que de latitude du lieu.

H : Durée astronomique du jour (heures) à partir des abaques.

h: Durée moyenne d'insolation (heures).

Hr: Humidité relative (%)

V: Vitesse moyenne du vent (m/s).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

T : Température moyenne mensuelle (°K).

e : est estimé à partir de l'humidité relative Hr en% et de la température t en degré Celsius par la relation suivante :

E : Tension maximale de la vapeur d'eau dans l'air (millibars).

Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante pour la température de l'air T.

Tableau n°50: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	403,11	533,34	687,8	842,9	944,77	986,23	964	881,13	745	585,6	438,5	368,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,5
h	5,1	6,1	6,6	7,1	9,9	10,2	11,8	10,7	8,1	6,7	6,0	5,1
Hr	76,6	73,3	74,4	72,3	73,3	73,1	70,0	70,4	71,1	72,9	73,4	75,1
V	3,5	3,8	3,7	3,9	3,7	3,9	4,0	3,8	3,5	3,3	3,5	3,8
t(°C)	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
T(°K)	284,8	285,6	286,3	287,9	291,0	295,4	297,6	300,1	297,2	293,4	289,3	286,0
e	10,57	10,65	11,32	12,15	15,00	19,70	21,53	25,09	21,36	17,38	13,50	11,21
E	13,81	14,55	15,23	16,84	20,50	26,98	30,79	35,69	30,06	23,87	18,42	14,94
Δ	0,91	0,95	0,99	1,08	1,29	1,64	1,84	2,10	1,81	1,47	1,17	0,97
ETP _j	1,32	2,11	2,75	3,71	4,96	5,96	6,83	6,51	4,59	3,00	1,90	1,36
ETP _m	41,01	59,00	85,36	111,33	153,84	178,66	211,77	201,83	137,71	92,85	56,87	42,08
ETP ann	1372,32											

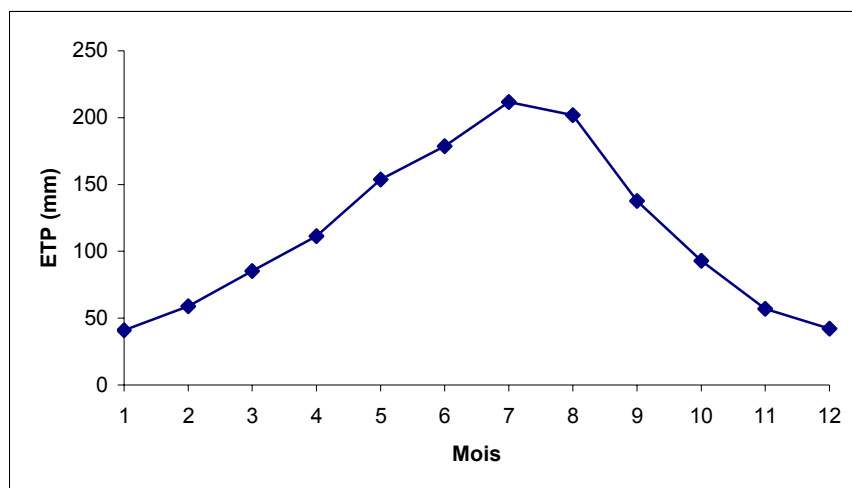


Figure N°38: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Pont Bouchet

Tableau n°51: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Gulema

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	410,9	540,4	693,2	845,6	945,6	985,4	964	883	749,6	591,8	446,1	375,9
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	5,1	6,1	6,2	7,0	9,1	9,6	11,3	10,5	7,9	6,8	5,6	5,1
Hr	74,5	75,4	73,9	72,4	65,4	60,3	52,6	53,0	62,9	69,3	72,3	74,3
V	1,4	1,6	1,7	1,8	1,7	1,9	1,9	1,7	1,7	1,5	1,6	1,9
T(°C)	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
T(°K)	283,0	284,9	285,5	286,6	292,0	297,0	299,3	301,5	297,8	292,9	288,1	284,7
e	9,12	10,46	10,63	11,19	14,31	17,88	17,90	20,50	19,57	15,96	12,31	10,14
E	12,25	13,90	14,41	15,48	21,89	29,71	34,05	38,72	31,16	23,08	17,06	13,67
Δ	0,82	0,91	0,94	1,01	1,36	1,79	2,02	2,26	1,86	1,43	1,10	0,90
ETP _j	0,91	1,55	2,24	3,04	4,55	5,70	6,53	6,16	4,23	2,56	1,40	0,94
ETP _m	28,24	43,51	69,30	91,17	140,95	171,13	202,29	191,00	126,95	79,37	42,12	29,08
ETP ann	1215.13											

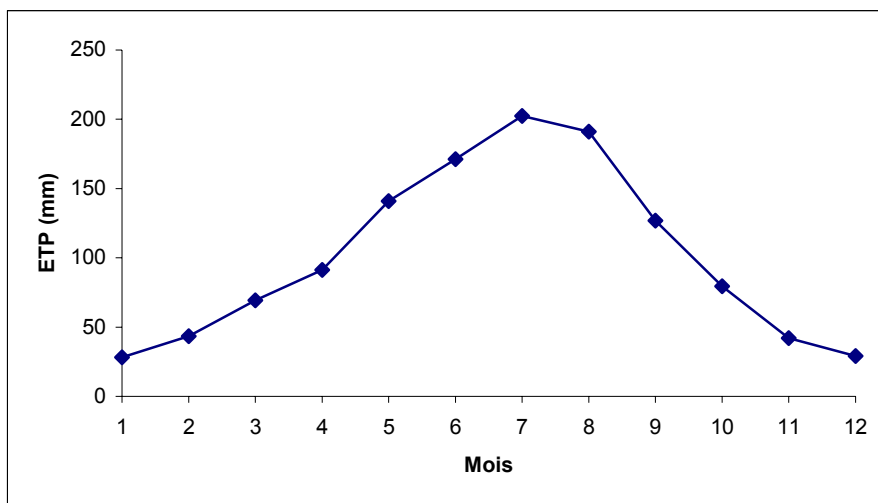


Figure N°39: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Guelma

Tableau n°52: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	412,1	541,4	694	846	945,7	985,3	964	883,3	750,3	592,7	447,2	377,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	4,8	5,9	6,4	7,3	9,2	9,9	11,3	10,5	8,0	6,8	5,7	4,9
Hr	78,4	74,1	73,1	72,6	65,4	57,4	48,4	50,8	59,8	66,9	72,9	76,6
V	3,5	3,8	3,8	3,9	3,1	3,4	3,5	3,0	3,0	2,9	3,3	3,7
T(°C)	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
T(°K)	280,5	282,8	283,4	285,1	290,5	295,5	297,5	299,7	295,7	290,9	285,8	282,0
e	8,08	8,92	9,19	10,18	13,01	15,55	14,79	17,62	16,35	13,65	10,70	8,77
E	10,32	12,05	12,58	14,04	19,93	27,14	30,61	34,76	27,39	20,44	14,70	11,46
Δ	0,70	0,81	0,84	0,92	1,26	1,65	1,83	2,05	1,66	1,28	0,96	0,77
ETP _j	1,06	1,89	2,54	3,40	4,88	6,30	7,22	6,68	4,62	2,86	1,65	1,09
ETP _m	32,76	52,81	78,80	102,06	151,17	189,11	223,68	207,20	138,48	88,69	49,54	33,93
ETP ann	1348.25											

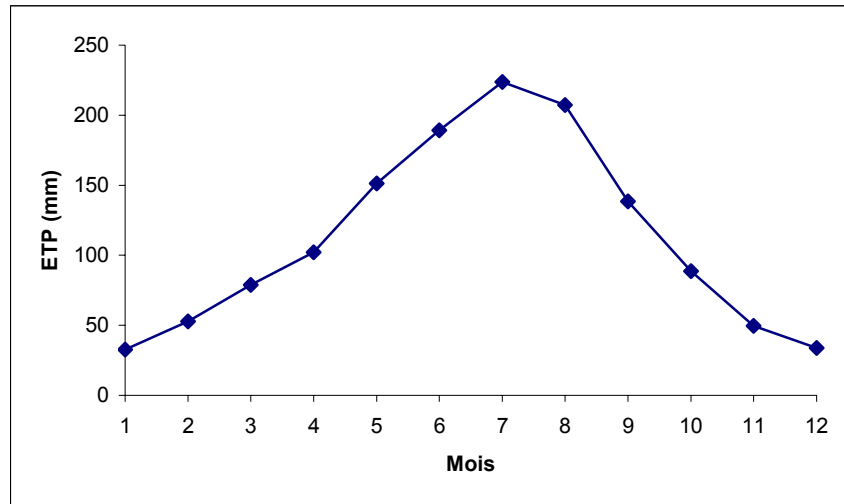


Figure N°40: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Souk Ahras

Tableau n°53: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	412,5	541,8	694,3	846,2	945,8	985,3	964	883,4	750,6	593	447,6	377,5
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	5,0	6,3	6,7	7,6	9,6	10,4	11,5	10,3	8,1	6,8	5,9	5,1
Hr	78,1	74,5	71,9	70,9	64,1	55,8	48,8	49,6	59,1	66,1	71,9	77,5
V	2,2	2,4	2,5	2,7	2,2	2,4	2,2	2,0	2,3	2,1	2,5	2,7
T(°C)	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
T(°K)	280,3	282,8	283,5	285,3	290,5	295,9	298,4	300,3	294,2	290,3	285,3	281,4
e	7,97	9,00	9,06	10,10	12,77	15,48	15,72	17,85	14,76	13,00	10,24	8,49
E	10,21	12,09	12,63	14,27	19,93	27,81	32,29	36,00	25,00	19,68	14,27	10,97
Δ	0,70	0,81	0,84	0,94	1,26	1,69	1,92	2,12	1,53	1,24	0,94	0,74
ETP _j	0,86	1,62	2,35	3,26	4,67	6,05	6,66	6,14	4,13	2,58	1,46	0,88
ETP _m	26,72	45,23	72,78	97,67	144,66	181,57	206,50	190,29	123,99	79,94	43,79	27,15
ETP ann	1240,28											

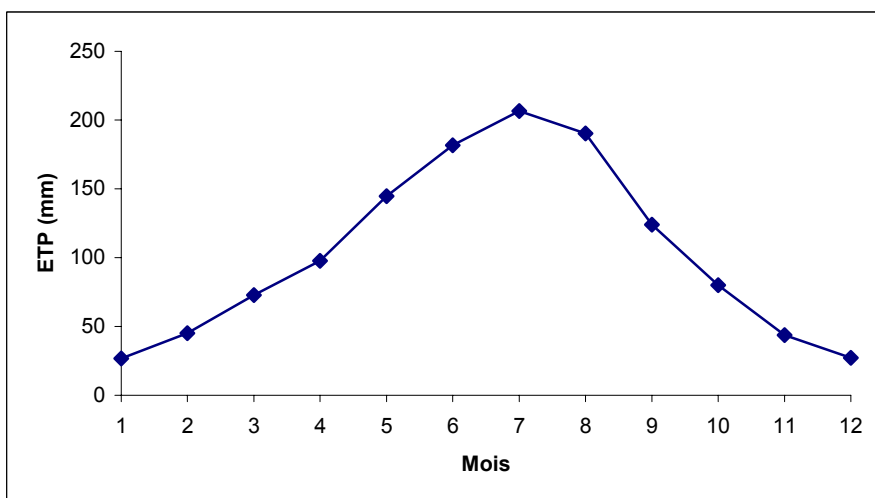


Figure N°41: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Constantine

Tableau n°54: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Oum El Bouaghi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	422	550,2	700,6	849,4	946,2	984,3	963,8	885,4	755,6	600,5	456,7	387,2
H	9,9	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,2	9,7
h	5,1	6,8	7,9	8,0	9,8	9,5	11,4	9,8	7,6	7,0	6,4	5,5
Hr	78,6	72,5	70,8	68,6	59,3	53,5	45,0	47,3	59,4	68,1	73,4	79,1
V	2,2	2,0	2,0	2,5	1,7	2,0	1,8	1,8	2,0	1,6	1,8	1,8
T(°C)	5,8	9,4	9,8	12,1	18,1	22,2	24,9	25,9	21,7	16,3	11,3	7,7
T(°K)	278,8	282,4	282,8	285,1	291,1	295,2	297,9	298,9	294,7	289,3	284,3	280,7
e	7,21	8,50	8,54	9,65	12,21	14,20	14,09	15,65	15,29	12,53	9,79	8,29
E	9,18	11,73	12,09	14,08	20,63	26,57	31,35	33,16	25,77	18,42	13,36	10,49
Δ	0,64	0,79	0,81	0,93	1,30	1,62	1,87	1,97	1,58	1,17	0,88	0,71
ETP _j	0,82	1,60	2,35	3,33	4,71	5,59	6,38	5,77	4,02	2,34	1,25	0,70
ETP _m	25,57	44,73	72,91	99,82	145,98	167,65	197,86	178,85	120,64	72,42	37,56	21,64
ETP	1185,64											

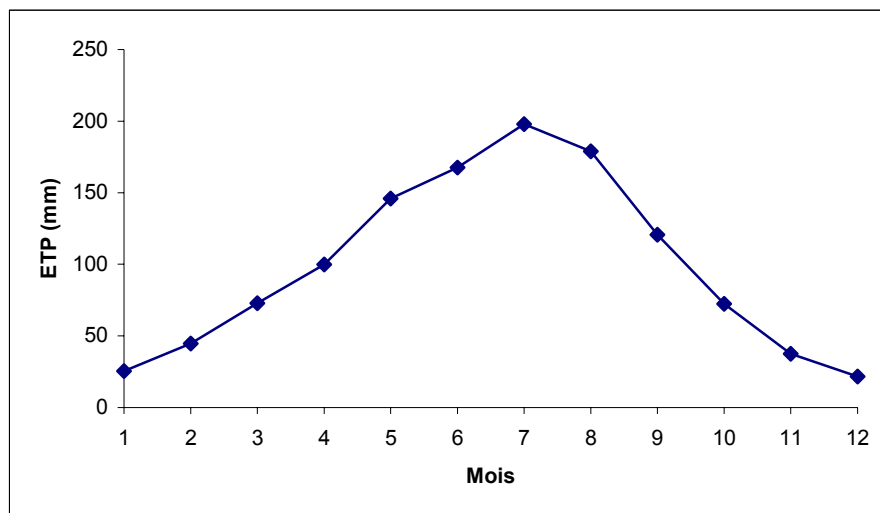


Figure N°42: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station d'Oum El Bouaghi

Tableau n°55: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Tébessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	425,9	553,8	703,1	850,8	946,4	983,9	963,6	886,3	757,6	603,6	460,5	391,3
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	5,1	6,6	6,9	7,7	9,4	9,9	11,3	10,2	7,9	7,4	6,3	5,4
Hr	72,1	64,9	62,8	60,4	47,6	44,8	40,1	46,6	53,6	59,0	63,6	70,0
V	2,8	3,3	3,3	3,6	3,4	3,2	3,2	2,5	2,6	2,4	2,8	3,1
t(°C)	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
T(°K)	279,6	282,6	283,8	286,2	291,6	297,2	298,6	299,3	295,5	290,7	284,9	281,1
e	7,01	7,70	8,07	9,13	10,13	13,44	13,06	15,81	14,54	11,86	8,83	7,54
E	9,73	11,89	12,88	15,13	21,29	30,06	32,58	33,95	27,14	20,12	13,90	10,78
Δ	0,67	0,80	0,86	0,99	1,33	1,81	1,94	2,01	1,65	1,27	0,91	0,73
ETP _j	1,13	2,15	2,92	4,01	5,78	6,92	7,43	6,36	4,61	3,02	1,81	1,19
ETP _m	35,14	60,16	90,49	120,35	179,30	207,63	230,33	197,09	138,25	93,57	54,22	37,01
ETP ann	1443,54											

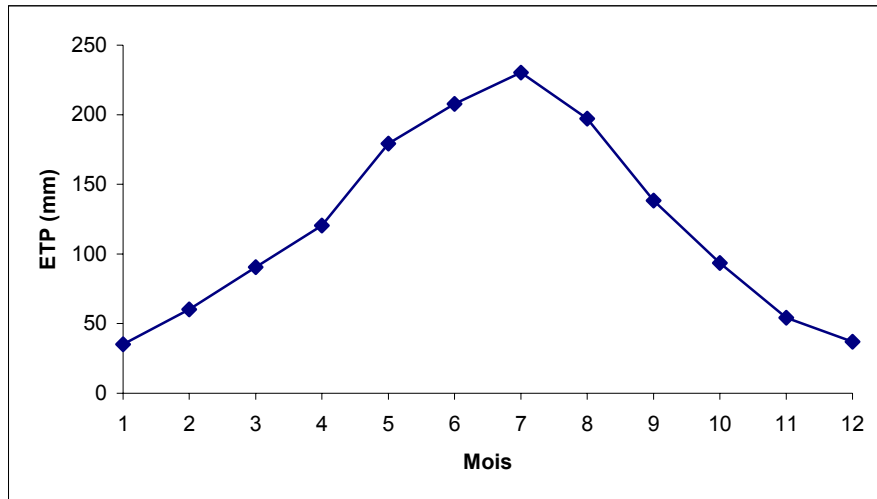


Figure N°43: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Tébessa

5. Formule de PENMAN FAO :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (voir méthodes d'estimation indirectes à la première partie)

$$ETP = \left[\frac{Iga}{59} (1 - a) \left(0.25 + 0.45 \frac{h}{H} \right) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{e}) \left(0.10 + 0.90 \frac{h}{H} \right) \right] \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} + \frac{0.26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e) (1 + 0.864 u)$$

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 56 à 61 et reportée dans les figures 44 à 49.

Tableau n°56: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	403,11	533,34	687,8	842,9	944,77	986,23	964	881,13	745	585,57	438,52	368,11
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,5
h	5,1	6,1	6,6	7,1	9,9	10,2	11,8	10,7	8,1	6,7	6,0	5,1
Hr	76,6	73,3	74,4	72,3	73,3	73,1	70,0	70,4	71,1	72,9	73,4	75,1
V	3,5	3,8	3,7	3,9	3,7	3,9	4,0	3,8	3,5	3,3	3,5	3,8
T(°C)	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
T(°K)	284,8	285,6	286,3	287,9	291,0	295,4	297,6	300,1	297,2	293,4	289,3	286,0
e	10,57	10,65	11,32	12,15	15,00	19,70	21,53	25,09	21,36	17,38	13,50	11,21
E	13,81	14,55	15,23	16,84	20,50	26,98	30,79	35,69	30,06	23,87	18,42	14,94
Δ	0,91	0,95	0,99	1,08	1,29	1,64	1,84	2,10	1,81	1,47	1,17	0,97
ETP _j	1,67	2,50	3,10	4,14	5,12	6,16	6,96	6,72	4,97	3,38	2,29	1,77
ETP _m	51,74	70,08	96,02	124,05	158,75	184,83	215,68	208,38	149,24	104,91	68,82	55,02
ETP ann	1487,53											

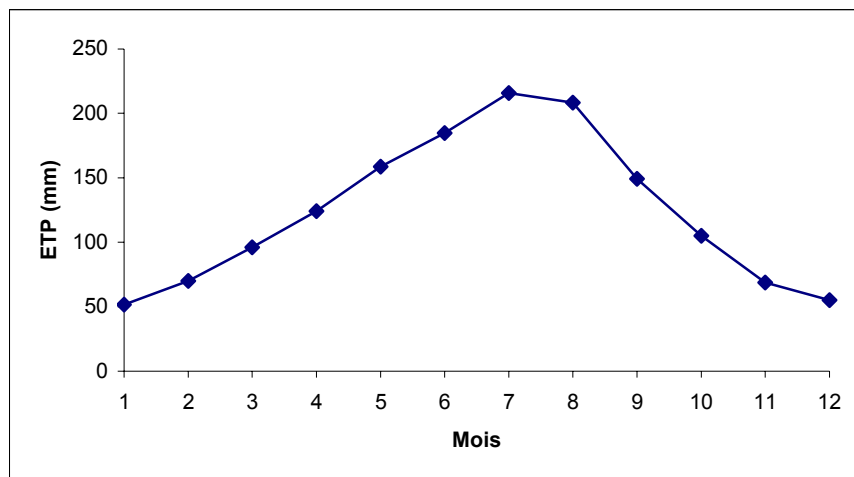


Figure N°44: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Pont Bouchet

Tableau n°57: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Gulema

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	410,9	540,4	693,2	845,6	945,6	985,4	964	883	749,6	591,8	446,1	375,9
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	5,1	6,1	6,2	7,0	9,1	9,6	11,3	10,5	7,9	6,8	5,6	5,1
Hr	74,5	75,4	73,9	72,4	65,4	60,3	52,6	53,0	62,9	69,3	72,3	74,3
V	1,4	1,6	1,7	1,8	1,7	1,9	1,9	1,7	1,7	1,5	1,6	1,9
T(°C)	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
T(°K)	283,0	284,9	285,5	286,6	292,0	297,0	299,3	301,5	297,8	292,9	288,1	284,7
e	9,12	10,46	10,63	11,19	14,31	17,88	17,90	20,50	19,57	15,96	12,31	10,14
E	12,25	13,90	14,41	15,48	21,89	29,71	34,05	38,72	31,16	23,08	17,06	13,67
Δ	0,82	0,91	0,94	1,01	1,36	1,79	2,02	2,26	1,86	1,43	1,10	0,90
ETP _j	1,02	1,63	2,35	3,16	4,53	5,80	6,51	6,15	4,36	2,67	1,56	1,11
ETP _m	31,71	45,77	72,73	94,71	140,45	173,96	201,93	190,79	130,92	82,74	46,68	34,51
ETP ann	1246,89											

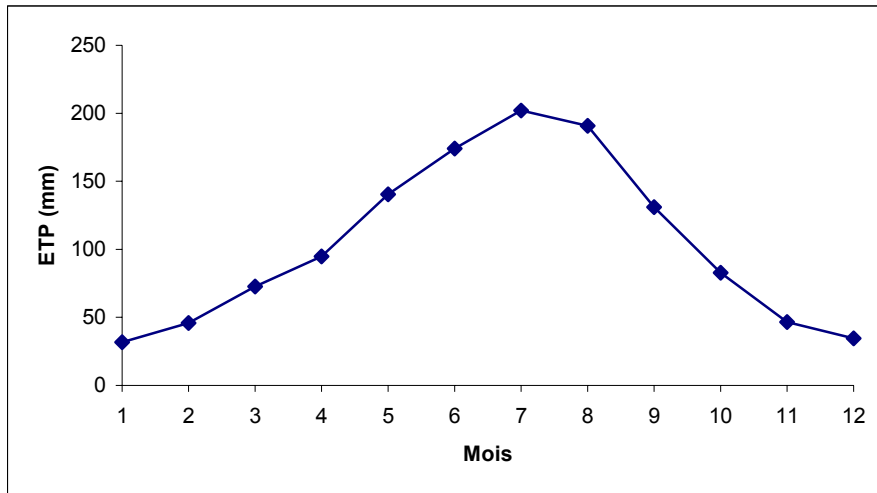


Figure N°45: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Guelma

Tableau n°58: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	412,1	541,4	694	846	945,7	985,3	964	883,3	750,3	592,7	447,2	377,1
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	4,8	5,9	6,4	7,3	9,2	9,9	11,3	10,5	8,0	6,8	5,7	4,9
Hr	78,4	74,1	73,1	72,6	65,4	57,4	48,4	50,8	59,8	66,9	72,9	76,6
V	3,5	3,8	3,8	3,9	3,1	3,4	3,5	3,0	3,0	2,9	3,3	3,7
T(°C)	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
T(°K)	280,5	282,8	283,4	285,1	290,5	295,5	297,5	299,7	295,7	290,9	285,8	282,0
e	8,08	8,92	9,19	10,18	13,01	15,55	14,79	17,62	16,35	13,65	10,70	8,77
E	10,32	12,05	12,58	14,04	19,93	27,14	30,61	34,76	27,39	20,44	14,70	11,46
Δ	0,70	0,81	0,84	0,92	1,26	1,65	1,83	2,05	1,66	1,28	0,96	0,77
ETP _j	1,34	2,24	2,90	3,76	5,14	6,80	7,80	7,18	5,12	3,23	2,01	1,43
ETP _m	41,43	62,85	89,90	112,93	159,49	203,89	241,93	222,43	153,71	100,27	60,43	44,29
ETP ann	1493,56											

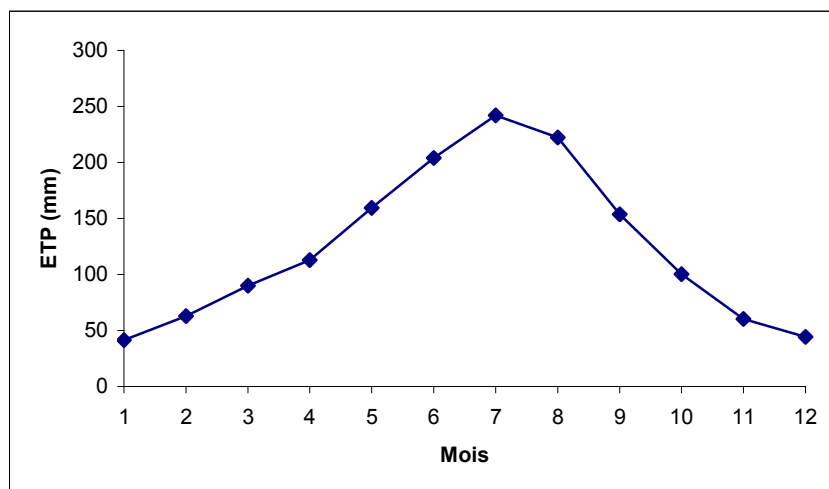


Figure N°46: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Souk Ahras

Tableau n°59: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	412,5	541,8	694,3	846,2	945,8	985,3	964	883,4	750,6	593	447,6	377,5
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	5,0	6,3	6,7	7,6	9,6	10,4	11,5	10,3	8,1	6,8	5,9	5,1
Hr	78,1	74,5	71,9	70,9	64,1	55,8	48,8	49,6	59,1	66,1	71,9	77,5
V	2,2	2,4	2,5	2,7	2,2	2,4	2,2	2,0	2,3	2,1	2,5	2,7
T(°C)	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
T(°K)	280,3	282,8	283,5	285,3	290,5	295,9	298,4	300,3	294,2	290,3	285,3	281,4
e	7,97	9,00	9,06	10,10	12,77	15,48	15,72	17,85	14,76	13,00	10,24	8,49
E	10,21	12,09	12,63	14,27	19,93	27,81	32,29	36,00	25,00	19,68	14,27	10,97
Δ	0,70	0,81	0,84	0,94	1,26	1,69	1,92	2,12	1,53	1,24	0,94	0,74
ETP _j	1,02	1,78	2,54	3,44	4,73	6,25	6,78	6,32	4,42	2,82	1,70	1,09
ETP _m	31,57	49,79	78,78	103,22	146,68	187,46	210,04	195,83	132,64	87,27	51,11	33,75
ETP ann	1308.14											

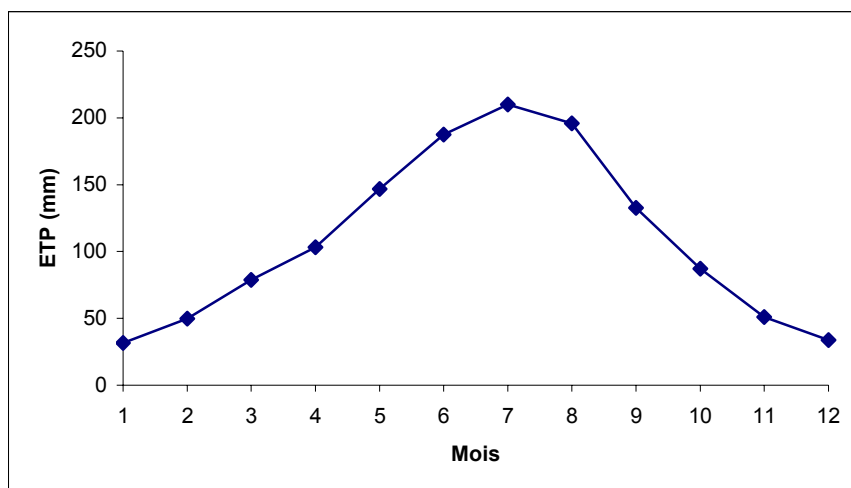


Figure N°47: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Constantine

Tableau n°60: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Oum El Bouaghi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	422	550,2	700,6	849,4	946,2	984,3	963,8	885,4	755,6	600,5	456,7	387,2
H	9,9	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,2	9,7
h	5,1	6,8	7,9	8,0	9,8	9,5	11,4	9,8	7,6	7,0	6,4	5,5
Hr	78,6	72,5	70,8	68,6	59,3	53,5	45,0	47,3	59,4	68,1	73,4	79,1
V	2,2	2,0	2,0	2,5	1,7	2,0	1,8	1,8	2,0	1,6	1,8	1,8
T(°C)	5,8	9,4	9,8	12,1	18,1	22,2	24,9	25,9	21,7	16,3	11,3	7,7
T(°K)	278,8	282,4	282,8	285,1	291,1	295,2	297,9	298,9	294,7	289,3	284,3	280,7
e	7,21	8,50	8,54	9,65	12,21	14,20	14,09	15,65	15,29	12,53	9,79	8,29
E	9,18	11,73	12,09	14,08	20,63	26,57	31,35	33,16	25,77	18,42	13,36	10,49
Δ	0,64	0,79	0,81	0,93	1,30	1,62	1,87	1,97	1,58	1,17	0,88	0,71
ETP _j	0,96	1,69	2,38	3,49	4,69	5,79	6,43	5,96	4,29	2,43	1,35	0,79
ETP _m	29,90	47,23	73,86	104,55	145,39	173,77	199,18	184,66	128,62	75,33	40,57	24,43
ETP ann	1227.51											

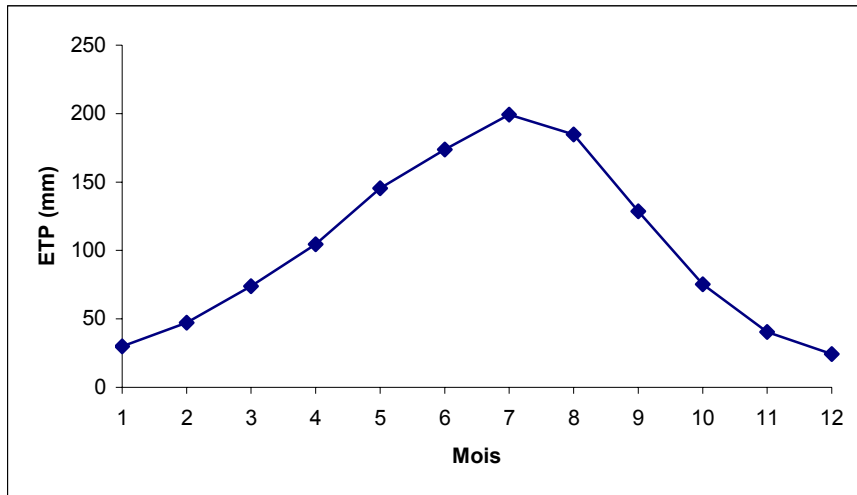


Figure N°48: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station d' Oum El Bouaghi

Tableau n°61: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Tebessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iga	425,9	553,8	703,1	850,8	946,4	983,9	963,6	886,3	757,6	603,6	460,5	391,3
H	9,8	10,7	11,8	13	13,9	14,4	14,2	13,4	12,3	11,2	10,1	9,6
h	5,1	6,6	6,9	7,7	9,4	9,9	11,3	10,2	7,9	7,4	6,3	5,4
Hr	72,1	64,9	62,8	60,4	47,6	44,8	40,1	46,6	53,6	59,0	63,6	70,0
V	2,8	3,3	3,3	3,6	3,4	3,2	3,2	2,5	2,6	2,4	2,8	3,1
T(°C)	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
T(°K)	279,6	282,6	283,8	286,2	291,6	297,2	298,6	299,3	295,5	290,7	284,9	281,1
e	7,01	7,70	8,07	9,13	10,13	13,44	13,06	15,81	14,54	11,86	8,83	7,54
E	9,73	11,89	12,88	15,13	21,29	30,06	32,58	33,95	27,14	20,12	13,90	10,78
Δ	0,67	0,80	0,86	0,99	1,33	1,81	1,94	2,01	1,65	1,27	0,91	0,73
ETP _j	1,40	2,54	3,35	4,53	6,47	7,67	8,11	6,78	5,12	3,38	2,18	1,53
ETP _m	43,51	71,02	103,86	135,95	200,55	230,17	251,30	210,03	153,56	104,66	65,28	47,37
ETP ann	1617,26											

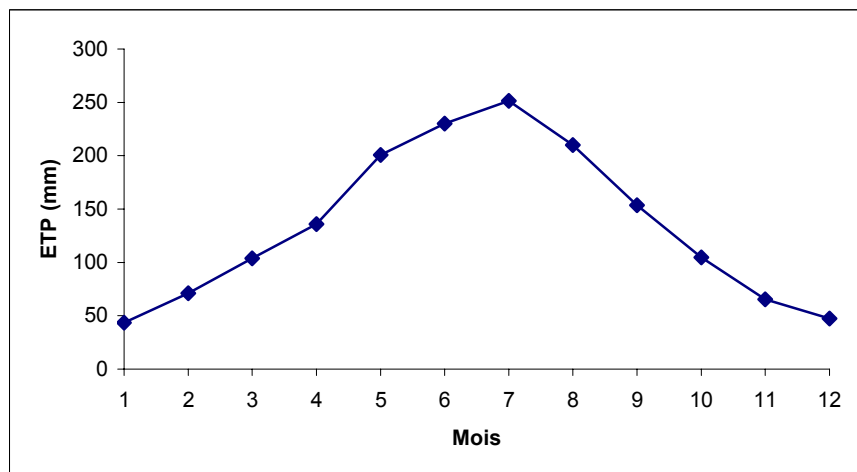


Figure N°49: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Tebessa

5. Formule de ANRH :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (voir méthodes d'estimation indirectes à la première partie)

$$ETP_{ANRH} = Kr \times Km (H - 187) (0.032 t + 0.077)$$

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 62 à 67 et reportée dans les figures 19 à 24.

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (C°).

H : Durée théorique mensuelle d'insolation (heures/mois) et elle exprime en fonction de Y

Km : Coefficient mensuel dont ses valeurs sont données à la figure n°06.

Kr : Coefficient régional qu'on peut lire sur la figure n° 08.

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 62 à 67 et reportés dans les figures 49 à 54.

Tableau n°62: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
H	306,2	302,6	370,5	392,9	437,1	439,0	445,3	419,8	371,2	347,7	303,5	298,1
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,9
Km* (H-187)	114,5	141,0	203,7	241,0	255,1	252,0	250,5	225,8	180,6	144,7	104,9	100,0
Kr	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
ETP	47,35	61,61	93,17	121,08	151,22	182,03	197,01	194,03	139,90	96,07	56,99	44,85

Station de Pont Bouchet: Y=340,72 km.

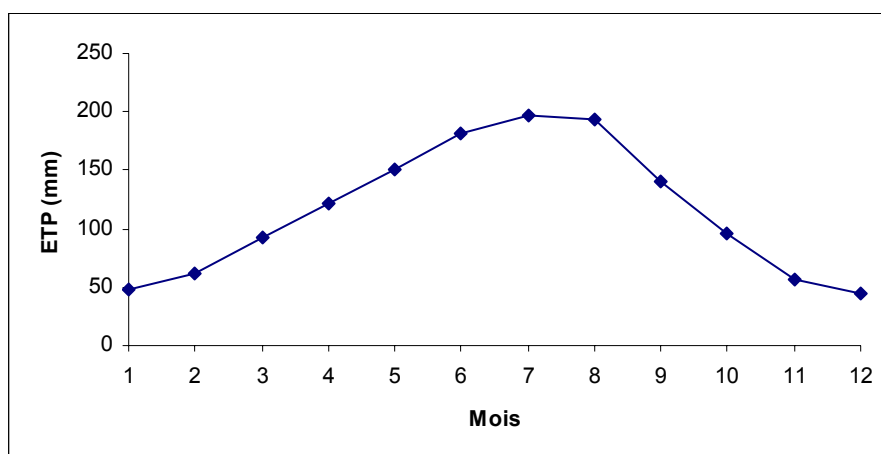


Figure N°50: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Pont Bouchet

Tableau n°63: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Gulema

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
H	307,1	303,0	370,6	392,5	436,3	438,0	444,3	419,2	371,1	348,1	304,3	299,1
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,9
Km* (H-187)	115,3	141,5	203,8	240,5	254,3	251,0	249,6	225,2	180,4	145,0	105,6	100,9
Kr	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
ETP	38,00	53,79	80,40	101,92	144,55	176,01	190,30	184,89	130,38	85,69	48,95	37,67

Station de Gulema: Y=361.44 km.

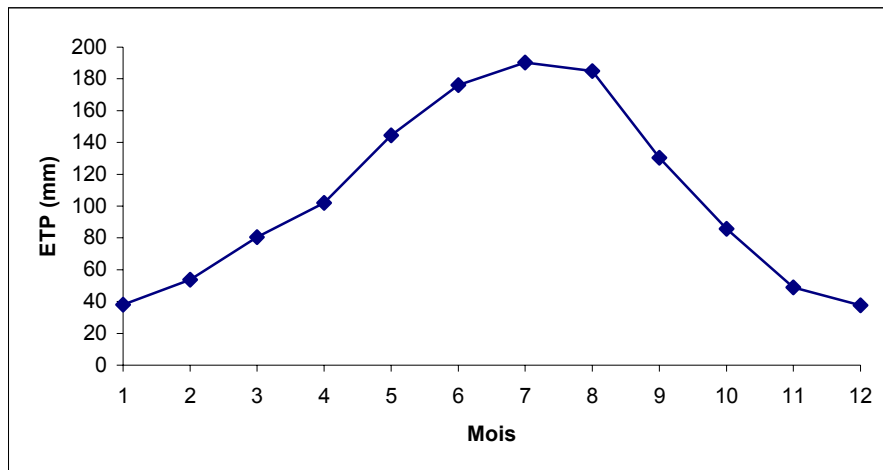


Figure N°51: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Guelma

Tableau n°64: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
H	307,5	303,2	370,6	392,4	435,9	437,5	443,9	419,0	371,1	348,2	304,6	299,5
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,9
Km* (H-187)	115,7	141,8	203,8	240,3	253,9	250,5	249,2	225,0	180,4	145,1	105,9	101,3
Kr	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
ETP	36,12	54,60	82,67	110,04	160,11	197,67	212,42	207,11	143,19	93,34	50,84	36,60

Station de Souk Ahras: Y=343.80 km.

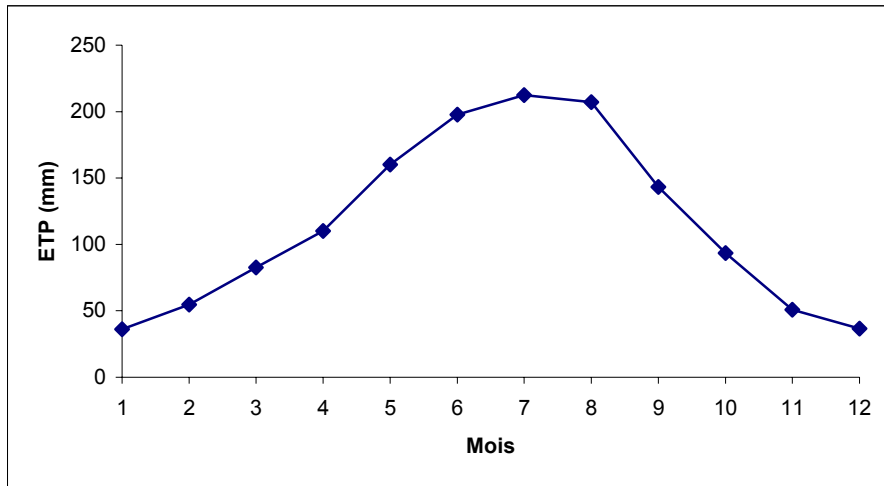


Figure N°52: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de souk Ahras

Tableau n°65: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
H	307,6	303,3	370,6	392,3	435,8	437,4	443,8	418,9	371,0	348,3	304,7	299,7
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,9
Km* (H-187)	115,8	141,9	203,8	240,2	253,8	250,4	249,1	224,9	180,4	145,1	106,0	101,4
Kr	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
ETP	32,73	50,42	76,29	102,87	147,10	184,51	201,68	194,23	123,72	83,29	45,38	31,77

Station de Constantine: Y= 338.10 km.

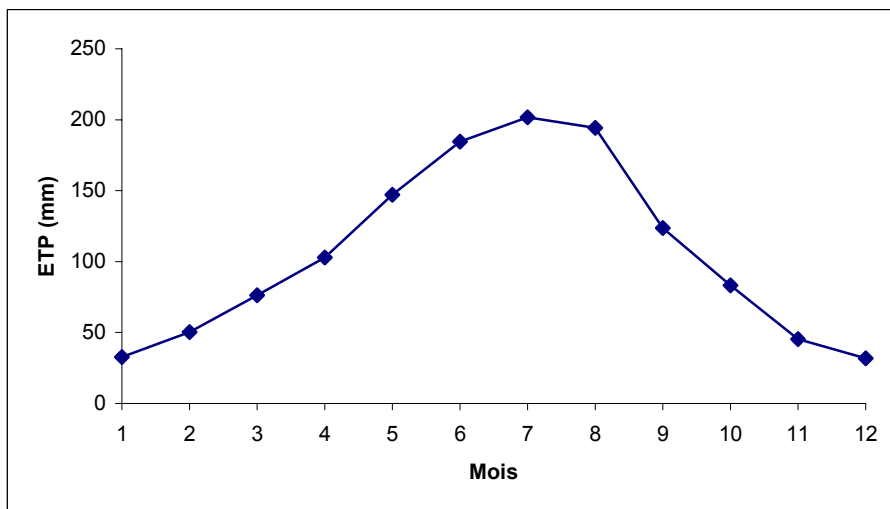


Figure N°53: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Constantine

Tableau n°66: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Oum El Bouaghi

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	5,8	9,4	9,8	12,1	18,1	22,2	24,9	25,9	21,7	16,3	11,3	7,7
H	308,6	303,8	370,6	391,9	434,9	436,3	442,8	418,2	370,9	348,6	305,6	300,8
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,9
Km* (H-187)	116,7	142,5	203,8	239,7	252,9	249,3	248,1	224,3	180,2	145,5	106,7	102,4
Kr	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
ETP	28,03	49,31	73,25	102,37	152,28	180,21	199,43	186,58	127,64	79,89	43,06	30,47

Station de Oum El Bouaghi: Y=293,48 km.

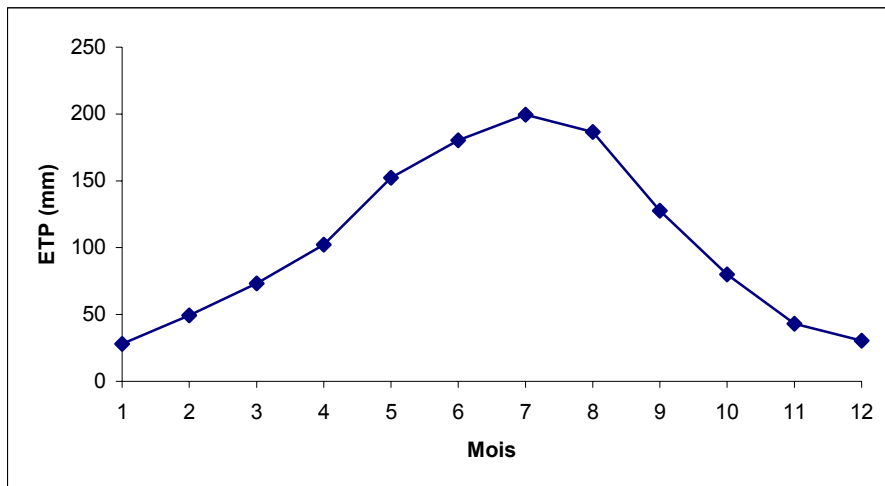


Figure N°54: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station d' Oum El Bouaghi

Tableau n°67: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Tébessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
H	309,6	304,3	370,7	391,4	434,0	435,2	441,7	417,6	370,8	349,0	306,4	301,9
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	0,98	0,9	0,9	0,9
Km* (H-187)	117,7	143,1	203,9	239,2	251,9	248,2	247,1	223,7	180,1	145,8	107,5	103,4
Kr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ETP	33,92	54,74	85,85	119,45	168,94	211,28	221,03	205,09	143,53	93,57	49,20	34,76

Station de Tébessa: Y= 248,19 km.

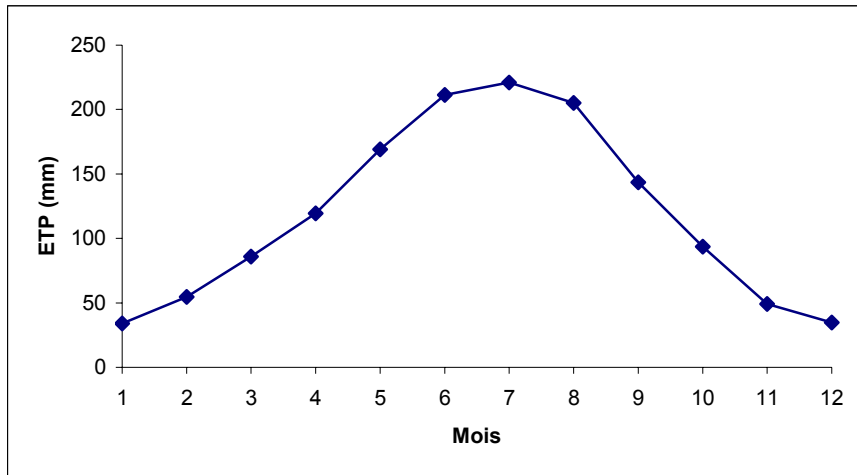


Figure N°55: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Tébessa

7. Estimation de l'évapotranspiration potentielle à partir des valeurs mesurée de l'évaporation par l'évaporomètre de Piche :

L'évaporomètre de Piche installé sous abri, est utilisé dans de nombreuses stations météorologiques. L'estimation de la valeur de l'évapotranspiration potentielle par l'évaporomètre de Piche, on utilise la formule de BOUCHET (*Halimi*) :

$$ETP = \alpha \cdot \lambda \cdot P$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

P: Evaporation mesurée sous abri avec l'évaporomètre de Piche (mm).

α : Coefficient dépendant du type d'abri: abri standart = 0.37.

λ : Coefficient qui dépend de la température moyenne de la période considérée.

Les valeurs du coefficient λ en fonction de la température sont consignées dans le tableau 68.

Tableau N°68: Valeur de λ en fonction de la température

t (°C)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
λ	1.81	1.87	1.92	1.98	2.04	2.11	2.17	2.25	2.32	2.40
t (°C)	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
λ	2.49	2.57	2.66	2.76	2.86	2.97	3.08	3.20	3.32	3.45
t (°C)	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0
λ	3.59	3.73	3.88	4.03	4.20	4.36	4.54	4.72	4.92	5.11

(Soltner.D)

L'application de cette formule aux différentes stations a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans les tableaux 69 à 73 et reportée dans les figures 56 à 60.

Tableau n°69: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Pont Bouchet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
λ	2,64	2,72	2,79	2,96	3,32	3,94	4,3	4,74	4,23	3,65	3,12	2,76
α	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
P	30,8	45,0	71,5	97,3	129,4	154,2	176,4	163,1	118,6	74,5	47,6	30,9
ETP	30,07	45,26	73,76	106,54	158,92	224,83	280,65	285,96	185,60	100,54	54,91	31,58
ETP ann	1578,63											

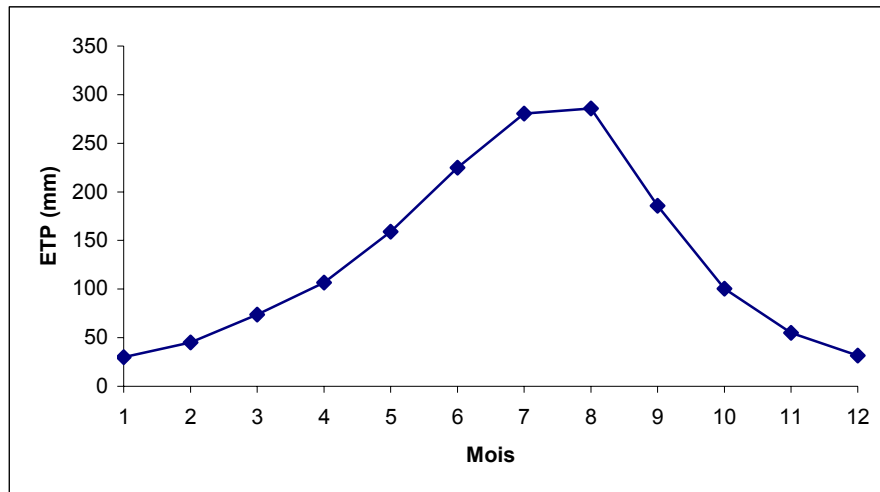


Figure N°56: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Pont Bouchet

Tableau n°70: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Gulema

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
λ	2,49	2,65	2,71	2,82	3,45	4,2	4,59	5,02	4,33	3,58	2,98	2,63
α	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
P	23,5	32,6	59,8	78,7	120,9	141,0	168,3	154,8	106,1	68,2	36,3	22,5
ETP	21,64	31,99	59,95	82,12	154,36	219,04	285,78	287,43	169,96	90,29	40,01	21,88
ETP ann	1464,45											

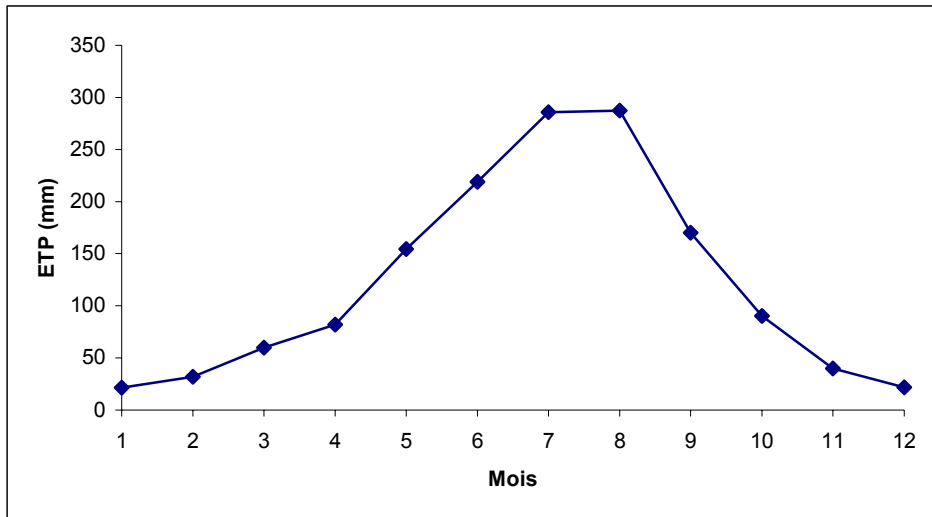


Figure N°57: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Guelma

Tableau n°71: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Souk Ahras

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
λ	2,29	2,47	2,52	2,67	3,26	3,96	4,28	4,67	3,99	3,31	2,74	2,4
α	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
P	25,4	39,5	65,0	83,8	124,8	153,6	181,2	160,7	111,9	68,8	40,6	25,7
ETP	21,55	36,13	60,59	82,81	150,47	225,02	286,97	277,65	165,16	84,27	41,16	22,79
ETP ann	1454.59											

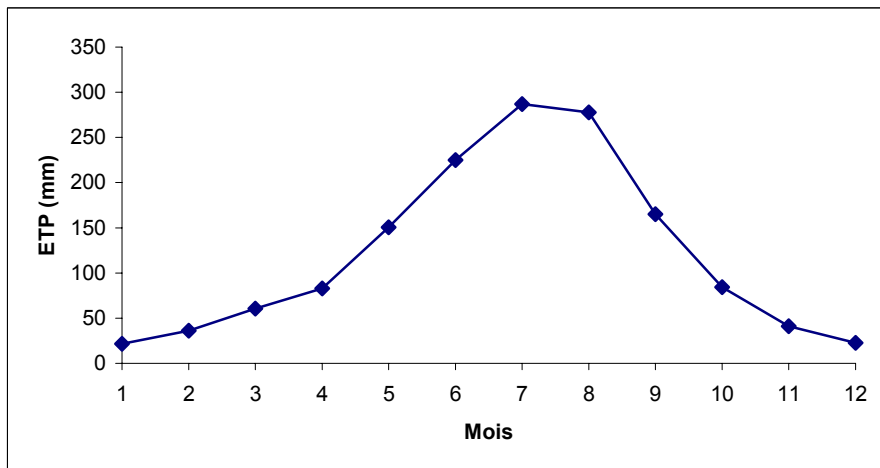


Figure N°58: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Souk Ahras

Tableau n°72: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Constantine

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
λ	2,27	2,47	2,53	2,69	3,26	4,02	4,43	4,78	3,76	3,24	2,69	2,35
α	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
P	19,9	32,5	60,9	83,2	121,7	150,5	169,0	151,8	106,4	63,8	35,3	20,2
ETP	16,72	29,71	57,03	82,85	146,84	223,82	276,99	268,50	147,97	76,53	35,16	17,52
ETP ann	1379.63											

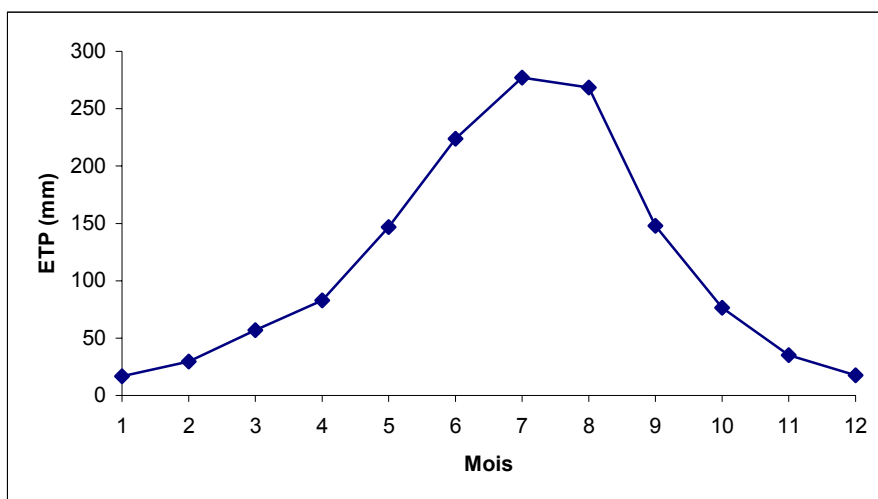


Figure N°59: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Constantine

Tableau n°73: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Tébessa

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
λ	2,22	2,45	2,55	2,78	3,4	4,23	4,41	4,59	3,96	3,28	2,65	2,33
α	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
P	26,9	44,2	74,7	95,2	141,0	168,5	197,9	162,5	114,2	74,2	48,5	28,2
ETP	22,09	40,03	70,44	97,96	177,39	263,64	322,95	275,89	167,33	90,09	47,52	24,31
ETP ann	1599.65											

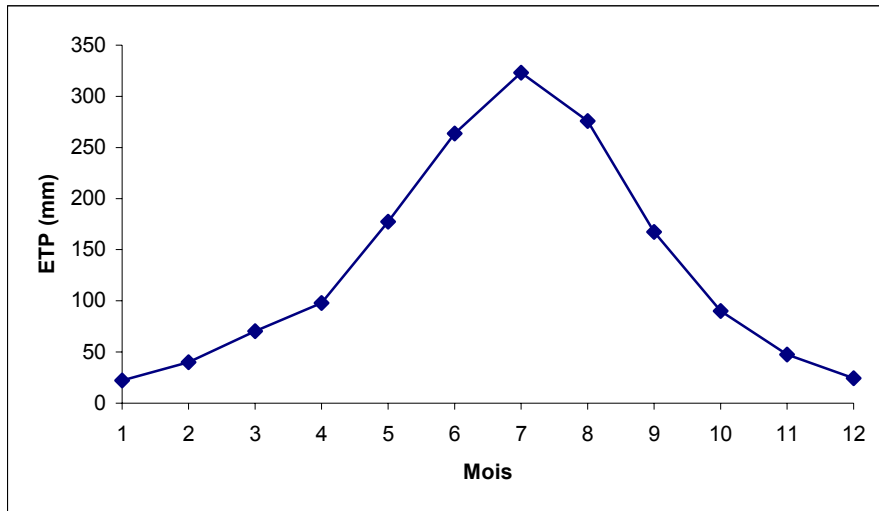


Figure N°60: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Tébessa

***CHAPITRE II:
RESULTATS ET DISCUSSION***

1. Résultats de calcul:

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle mensuelle calculée selon les formules de: Turc, Thornthwaite, Blanney-Cridle, Penman, Penman FAO et ANRH ainsi que les valeurs de l'ETP mesurée sur les stations de: Pont Bouchet, Guelma, souk Ahras, Constantine, Oum El Bouaghi et Tébessa sont récapitulées dans les tableaux 74 à 79 et reportées dans les figures 61 à 66.

Tableau n°74: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Pont Bouchet

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	44,60	56,57	77,68	94,71	138,52	154,44	178,95	165,51	117,11	85,70	58,97	44,18
Th	24,43	27,07	36,82	48,60	77,57	119,65	145,56	164,07	116,22	78,85	44,64	28,40
BC clim	89,57	96,85	121,16	137,27	179,11	227,92	312,30	307,08	168,36	142,13	106,93	90,82
BC cult	62,70	67,80	84,81	96,09	125,38	250,71	343,53	337,79	117,85	99,49	74,85	63,58
P	41,01	59,00	85,36	111,33	153,84	178,66	211,77	201,83	137,71	92,85	56,87	42,08
P. FAO	51,74	70,08	96,02	124,05	158,75	184,83	215,68	208,38	149,24	104,91	68,82	55,02
ANRH	47,35	61,61	93,17	121,08	151,22	182,03	197,01	194,03	139,90	96,07	56,99	44,85
ETP m	30,07	45,26	73,76	106,54	158,92	224,83	280,65	285,96	185,60	100,54	54,91	31,58

Avec:

T: formule de Turc.

Th: formule de Thornthwaite.

BC clim: formule de Blanney-Cidle climatique.

BC cult: formule de Blanney-Cidle culture.

P: formule de Penman.

P. FAO : formule de Penman modifié par FAO.

ANRH: formule dite ANRH.

ETP m: Les valeurs de l'ETP estimées par la formules de Bouchet à partir de mesure de l'évaporation par l'évaporomètre de Piche.

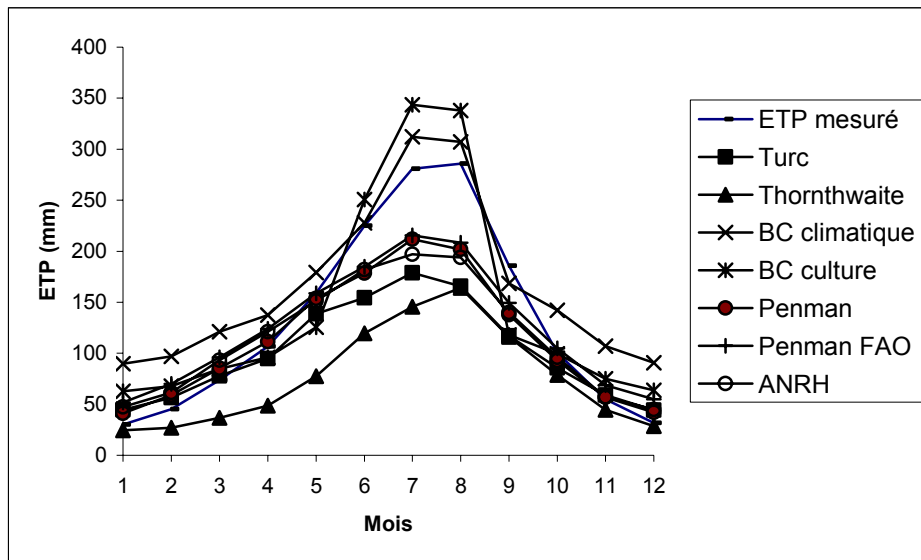


Figure N°61: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Pont Bouchet

Tableau n°75: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Gulema

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	41,11	55,30	72,96	89,36	135,29	152,03	177,93	167,03	117,87	86,42	55,17	42,04
Th	17,64	24,09	32,23	40,53	86,27	136,49	165,48	180,85	121,76	74,63	38,35	22,85
BC clim	91,32	95,86	119,51	131,63	172,11	217,08	232,45	229,89	169,66	140,25	107,38	94,33
BC cult	63,93	67,10	83,65	92,14	120,47	238,78	255,70	252,88	118,77	98,18	75,16	66,03
P	28,24	43,51	69,30	91,17	140,95	171,13	202,29	191,00	126,95	79,37	42,12	29,08
P. FAO	31,71	45,77	72,73	94,71	140,45	173,96	201,93	190,79	130,92	82,74	46,68	34,51
ANRH	38,00	53,79	80,40	101,92	144,55	176,01	190,30	184,89	130,38	85,69	48,95	37,67
ETP m	21,64	31,99	59,95	82,12	154,36	219,04	285,78	287,43	169,96	90,29	40,01	21,88

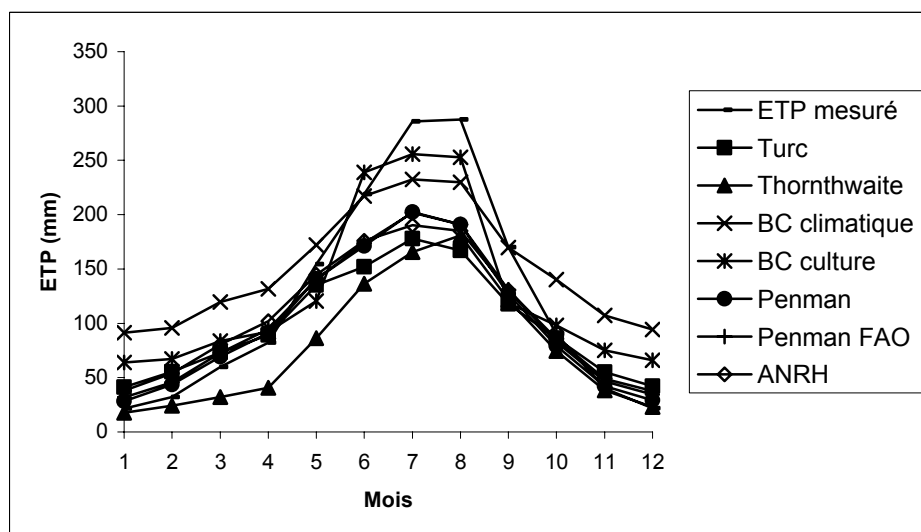


Figure N°62: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Guelma

Tableau n°76: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Souk Ahras

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	33,05	48,53	66,65	85,96	131,36	151,60	177,48	163,19	114,07	82,92	51,30	35,72
Th	13,67	20,99	28,69	39,25	81,54	125,46	147,14	158,65	106,24	67,34	33,35	18,13
BC clim	89,99	96,53	120,94	136,11	179,29	205,67	305,73	302,95	174,94	144,60	108,56	93,14
BC cult	62,99	67,57	84,66	95,27	125,50	226,24	336,31	333,24	122,46	101,22	75,99	65,20
P	32,76	52,81	78,80	102,06	151,17	189,11	223,68	207,20	138,48	88,69	49,54	33,93
P. FAO	41,43	62,85	89,90	112,93	159,49	203,89	241,93	222,43	153,71	100,27	60,43	44,29
ANRH	36,12	54,60	82,67	110,04	160,11	197,67	212,42	207,11	143,19	93,34	50,84	36,60
ETP m	21,55	36,13	60,59	82,81	150,47	225,02	286,97	277,65	165,16	84,27	41,16	22,79

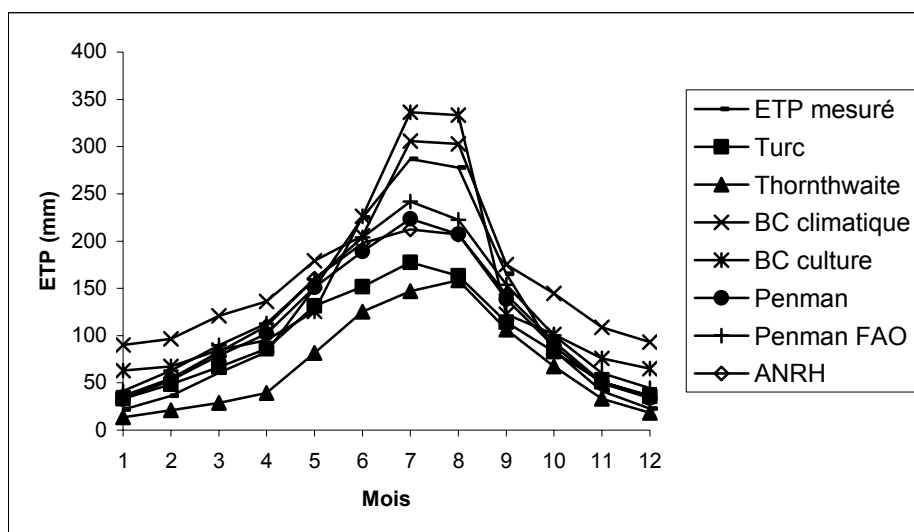


Figure N°63: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Souk Ahras

Tableau n°77: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Constantine

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	33,18	50,31	68,58	89,62	134,33	157,04	181,39	162,88	112,16	81,32	51,19	34,61
Th	13,32	21,31	29,10	40,84	81,77	129,36	156,39	164,68	94,82	63,77	31,55	16,10
BC clim	89,57	96,85	121,16	137,27	179,11	227,92	312,30	307,08	168,36	142,13	106,93	90,82
BC cult	62,70	67,80	84,81	96,09	125,38	250,71	343,53	337,79	117,85	99,49	74,85	63,58
P	26,72	45,23	72,78	97,67	144,66	181,57	206,50	190,29	123,99	79,94	43,79	27,15
P. FAO	31,57	49,79	78,78	103,22	146,68	187,46	210,04	195,83	132,64	87,27	51,11	33,75
ANRH	32,73	50,42	76,29	102,87	147,10	184,51	201,68	194,23	123,72	83,29	45,38	31,77
ETP m	16,72	29,71	57,03	82,85	146,84	223,82	276,99	268,50	147,97	76,53	35,16	17,52

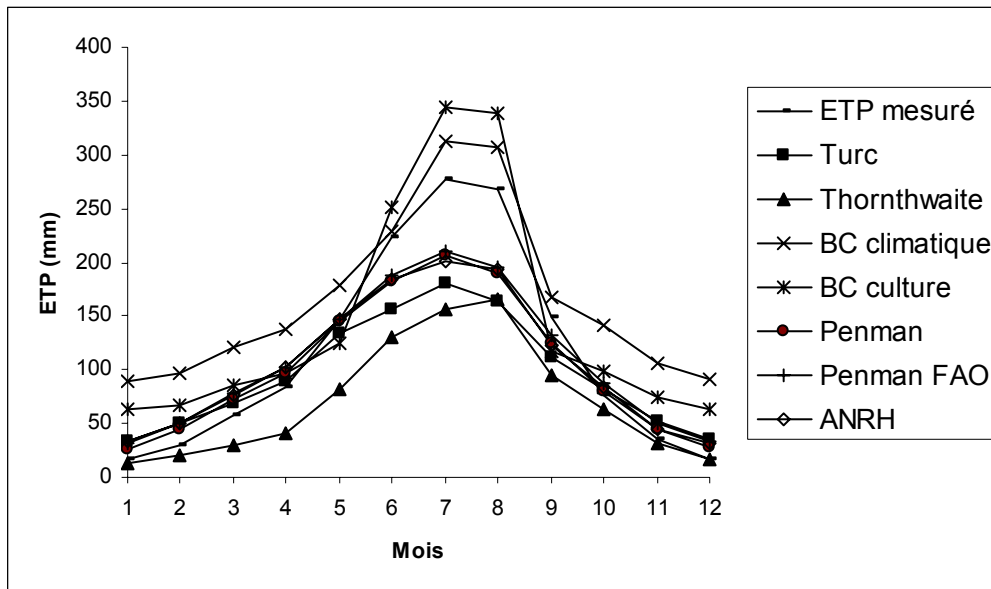


Figure N°64: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Constantine

Tableau n°78: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station d'Oum El Buaghi

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	28,90	51,86	73,95	91,59	138,71	146,44	188,36	160,96	109,76	81,28	51,69	34,79
Th	9,95	21,29	27,83	41,76	87,55	122,79	150,72	149,77	99,92	59,24	29,24	15,39
BC clim	77,47	87,70	108,83	136,03	166,91	231,55	307,41	270,60	156,95	126,95	95,42	81,99
BC cult	54,23	61,39	76,18	95,22	116,84	254,71	338,15	297,66	109,86	88,86	66,79	57,39
P	25,57	44,73	72,91	99,82	145,98	167,65	197,86	178,85	120,64	72,42	37,56	21,64
P. FAO	29,90	47,23	73,86	104,55	145,39	173,77	199,18	184,66	128,62	75,33	40,57	24,43
ANRH	28,03	49,31	73,25	102,37	152,28	180,21	199,43	186,58	127,64	79,89	43,06	30,47

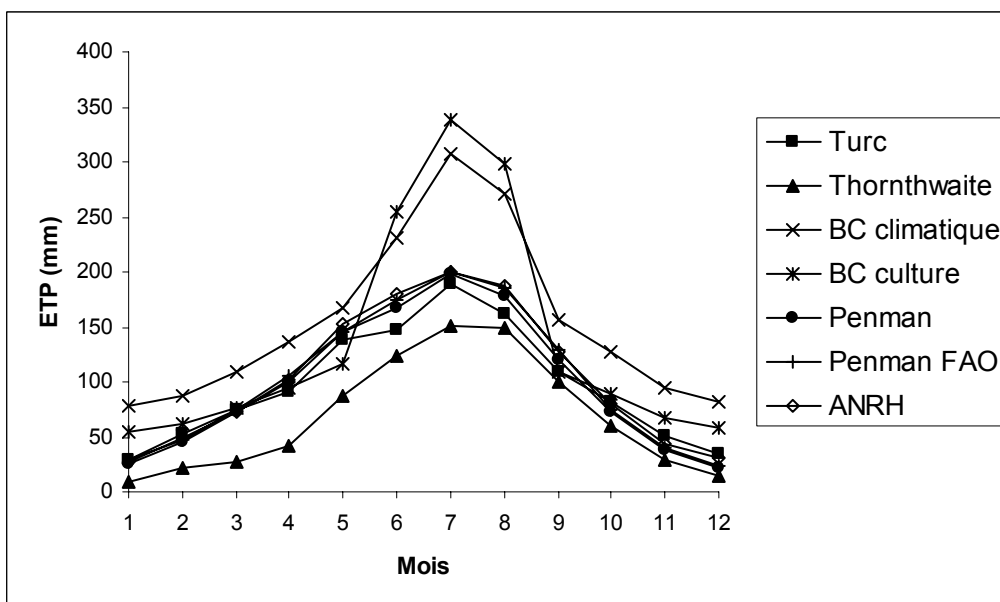


Figure N°65: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station d' Oum El Bouaghi

Tableau n°79: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Tébessa

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	32,24	52,14	71,97	94,21	140,76	167,74	201,29	167,38	113,76	87,41	53,59	35,86
Th	10,86	19,96	29,60	44,90	88,34	140,30	156,46	153,29	104,59	65,05	29,40	14,88
BC clim	87,65	96,24	122,47	141,12	234,06	271,43	311,50	299,23	174,28	143,94	106,10	90,74
BC cult	61,35	67,37	85,73	98,78	163,84	298,58	342,65	329,15	122,00	100,76	74,27	63,52
P	35,14	60,16	90,49	120,35	179,30	207,63	230,33	197,09	138,25	93,57	54,22	37,01
P. FAO	43,51	71,02	103,86	135,95	200,55	230,17	251,30	210,03	153,56	104,66	65,28	47,37
ANRH	33,92	54,74	85,85	119,45	168,94	211,28	221,03	205,09	143,53	93,57	49,20	34,76
ETP m	22,09	40,03	70,44	97,96	177,39	263,64	322,95	275,89	167,33	90,09	47,52	24,31

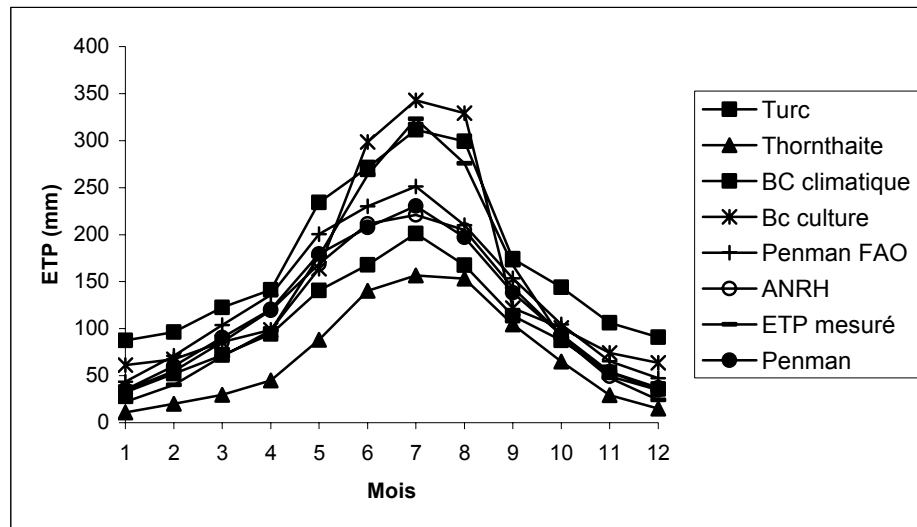


Figure N°66: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Tébessa

2. Discussion:

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle mensuelle calculée à la base de six (06) formules: Turc, Thornthwaite, Blanney-Cridle, Penman, Penman FAO et ANRH pour une période de huit (08) ans sur les stations de Pont Bouchet, Souk Ahras, Constantine, Oum El Bouaghi et Tébessa montre que:

- La formule de Thornthwaite sous-estime l'ETP par rapport aux autres formules.
- La formule de Blanney-Cridle climatique et de culture surestime l'ETP par rapport aux autres formules.
- ETP obtenues par les formules de Turc, Penman, Penman FAO et ANRH présentent la même allure pour toute l'année.

- Concernant le mois de pointe, nous constatons que la plus grande valeur de l'évapotranspiration potentielle correspond au mois de Juillet, les six formules présentent la même tendance d'évolution de évapotranspiration.

2.1. Station de Pont Bouchet:

La formule de Blanney-Cridle surestime l'ETP par rapport aux valeurs de l'ETP mesurée, alors que le modèle de Thornthwaite sous-estime l'ETP. Donc la formule la plus adaptée pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle est choisi permis les quatre formules suivantes: Turc, Penman, Penman FAO et ANRH.

Pour la période mai-octobre les valeurs données par la formule de Penman FAO sont plus proches des valeurs de l'ETP mesurées que des valeurs données par la formules de Turc, Penman, ANRH, alors que la formule de Turc traduit bien l'évolution de l'ETP mesurée pour la période novembre-avril avec des résultats assez similaires.

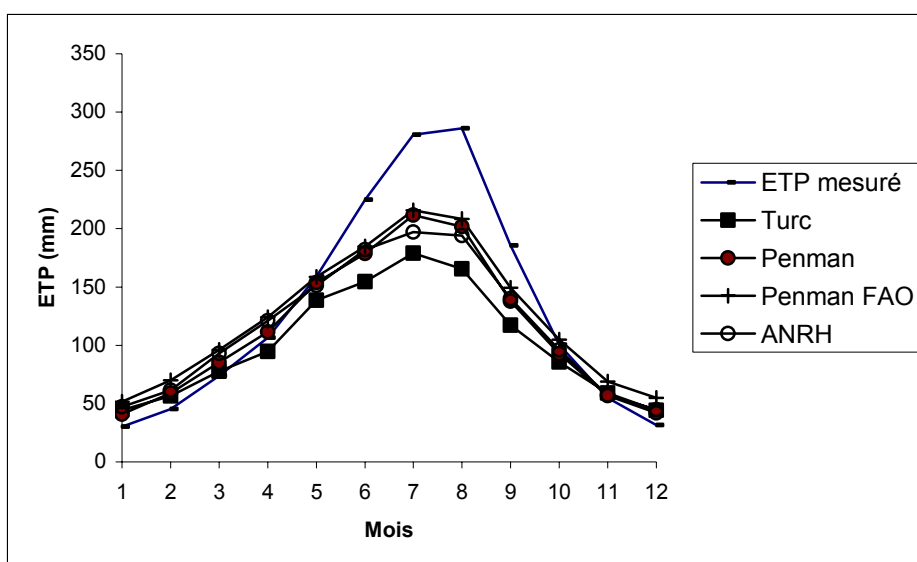


Figure N°67: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Pont Bouchet

2.2. Station de Guelma:

Pour la période allant de juin à septembre les valeurs de la formule de Blanney-Cridle sont plus proches des valeurs de l'ETP mesurées que des valeurs estimées par les formules de Turc, Penman, ANRH, alors que la formule de Penman FAO traduit bien l'évolution de l'ETP mesurée dans la période octobre-mai avec des résultats assez similaires.

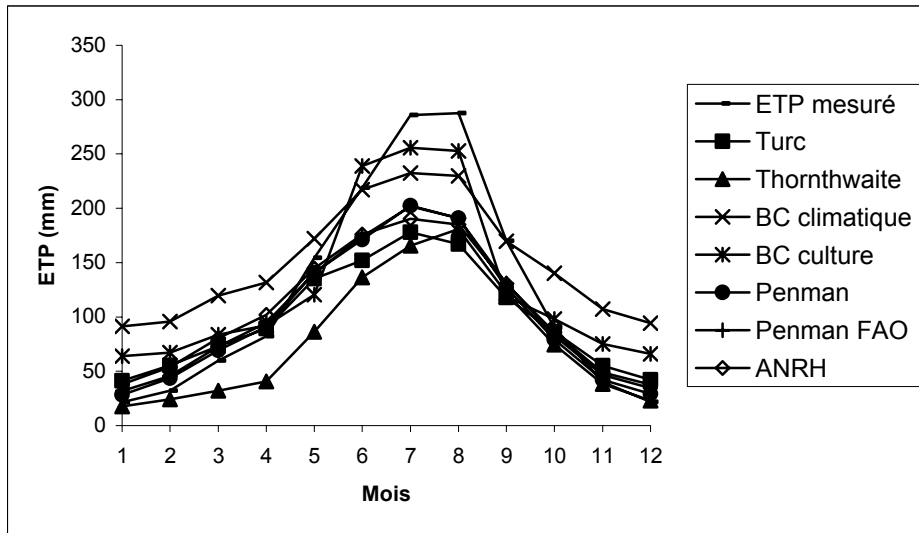


Figure N°68: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Guelma

2.3. Station de Souk Ahras:

Les valeurs de la formule de Penman FAO pour la période correspondant à juin-septembre sont plus proches des valeurs de l'ETP mesurées que les valeurs calculées par les formules de Turc, Penman, ANRH, alors que la formule de Turc traduit bien l'évolution de l'ETP mesurée dans la période octobre-mai avec des résultats assez similaires.

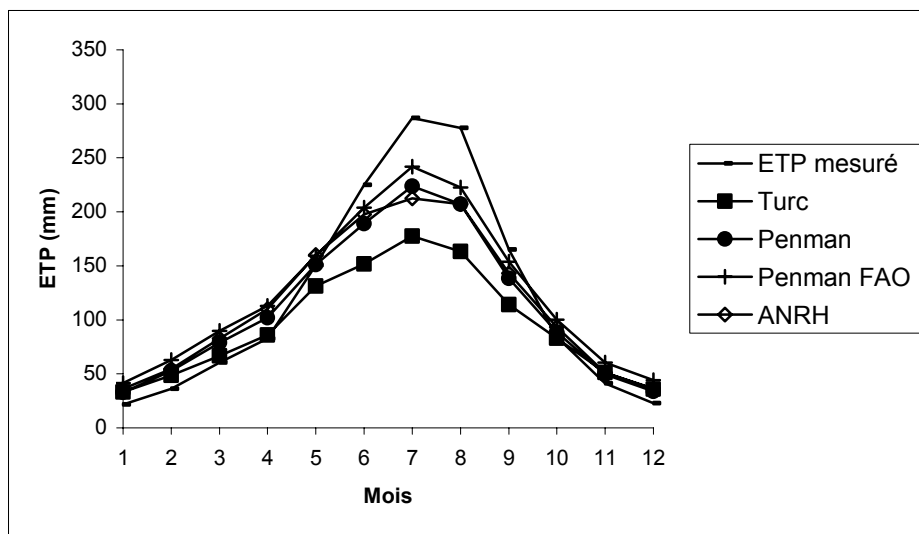


Figure N°69: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Souk Ahras

2.4. Station de Constantine:

Pour la période allant de mai à septembre les valeurs de la formule de Penman FAO sont plus proches des valeurs de l'ETP mesurées que les valeurs estimées par les formules

de Turc, Penman, ANRH, alors que la formule de Turc traduit bien l'évolution de l'ETP mesurée dans la période octobre-avril avec des résultats assez similaires.

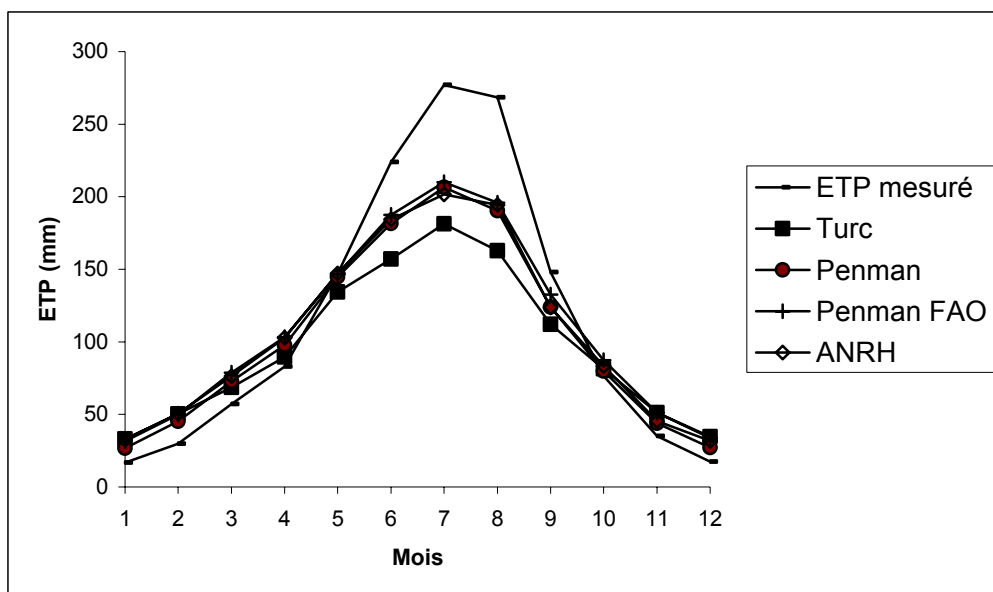


Figure N°70: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Constantine

2.5. Station de Tébessa:

Pour la période allant de juin à septembre les valeurs de la formule de Penman FAO sont plus proches des valeurs de l'ETP mesurées que les valeurs de Turc, Penman, ANRH, alors que la formule de Turc traduit bien l'évolution de l'ETP mesurée dans la période allant d'octobre à mai avec des résultats assez similaires.

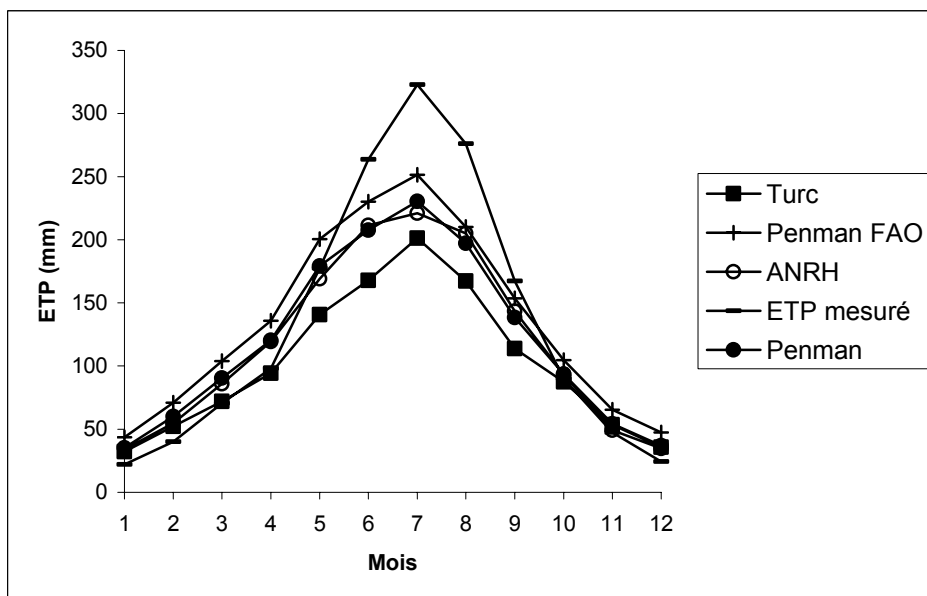


Figure N°71: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Tébessa

En général, les valeurs de la formule de Penman FAO semblent les plus proches des valeurs mesurées de l'ETP au cours de l'année sur l'ensemble des stations de la zone d'étude. On peut tracer le réseau des lignes de mêmes valeurs de l'évapotranspiration potentielle grâce aux valeurs estimées par la formule de Penman FAO sur les stations des deux bassins (Pont Bouchet, Guelma et Tébessa) et aux autres stations avoisinantes (Constantine, Souka Ahras et Oum El bouaghi).

L'examen du tableau 80 montre que la station de Tébessa est soumise à une forte ETP suite aux fortes conditions climatiques (une température moyenne de 16.23°C et une vitesse du vent de 3.03 m/s), alors que la station de Pont Bouchet est soumise à une valeur plus faible suite à des conditions climatiques de température et de vitesse du vent supérieur à celle de la station de Tébessa ($t=18.20$ °C, $V =3.7$ m/s), cette différence est probablement due à la différence dans l'humidité relative ($Hr_{Tébessa} = 57.1\%$, $Hr_{Pont\ Bouchet} = 72.98\%$).

L'ETP à la station de Guelma est de 1247 mm avec une température moyenne de 18.09 °C et une humidité relative moyenne de 67.17%, alors qu'à la station de Souk Ahras, l'ETP est de 1494 mm pour un $t = 16.09$ °C et $Hr =66.35\%$. La différence dans l'ETP est probablement due à la vitesse du vent ($V_{Guelma}=1.69$ m/s, $V_{Souk\ Ahras}= 3.4$ m/s) L'augmentation ou la diminution des valeurs de l'évapotranspiration dépend donc de la conjugaison de l'ensemble des facteurs climatiques de la zone en question.

Tableau N°80: Valeurs de l'évapotranspiration potentielle annuelles sur les différentes stations estimées par la formule de Penman FAO.

Station	Pont Bouchet	Guelma	Souk Ahras	Constantine	Oum El Bouaghi	Tébessa
ETP annuelle (mm)	1488	1247	1494	1308	1228	1617

3. Estimation d'un nouveau coefficient pour la formule de ANRH:

Si les données climatiques sont disponibles en nombre et en qualité, il est préférable d'utiliser la formule de Penman FAO. Ceci n'est possible qu'au niveau des stations climatologiques. Par contre au niveau des postes climatiques auxiliaires où les seules données disponibles sont les précipitations et occasionnellement les températures, on utilisera pour le calcul de l'ETP la formule de l'ANRH. Les différents résultats obtenus précédemment nous permettent d'utiliser un coefficient de correction pour de meilleurs résultats.

$$ETP_{ANRH} = Kr \times Km (H - 187) (0.032 t + 0.077)$$

Cette formule est basée sur la mesure de la température, plus l'utilisation de deux coefficients, l'un régional Kr et l'autre mensuel Km. Avec les valeurs de mesure directe de l'ETP, on peut corriger cette formule par la détermination d'un nouveau coefficient afin de calculer l'ETP uniquement en fonction de la température sans avoir recours aux autres paramètres. Dans ce cas on va estimer un paramètre K en fonction de Kr, Km et Hi. Ceci nous permet de faire la transformation suivante:

$$K = Kr \cdot Km (Hi - 187)$$

$$ETP_{ANRH} = Kr \times Km (H - 187) (0.032 t + 0.077)$$

$$ETP_{mesuré} = ETP_{ANRH} = K (0.032 t + 0.077)$$

Donc: $K = ETP_{mesuré} / (0.032 t + 0.077)$

$$K = ETP_{mesuré} / C$$

L'application d'une telle transformation a permis de calculer un nouveau paramètre (K) qui a été consignés dans les tableaux 81 à 85.

Tableau n°81: Calcul du paramètre K à la station Pont bouchet

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	11,8	12,6	13,3	14,9	18,0	22,4	24,6	27,1	24,2	20,4	16,3	13,0
C	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	0,5
ETP m	30,07	45,26	73,76	106,54	158,92	224,83	280,65	285,96	185,60	100,54	54,91	31,58
K	66	94	147	193	244	283	325	303	218	138	92	64

Avec:

t : Température moyenne mensuelle (C°).

C: le terme (0.032t+0.077)

ETPm: Evapotranspiration potentielle mesurée par l'évaporomètre de Piche et corrigée par la formule de Bouchet (mm).

K: Le nouveau coefficient K=ETPm/C

Tableau n°82: Calcul du paramètre K à la station Souk Ahras

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,5	9,8	10,4	12,1	17,5	22,5	24,5	26,7	22,7	17,9	12,8	9,0
C	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
ETP m	21,55	36,13	60,59	82,81	150,47	225,02	286,97	277,65	165,16	84,27	41,16	22,79
K	68	93	148	179	236	282	333	299	206	130	85	62

Tableau n°83: Calcul du paramètre K à la station Gulema

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	10,0	11,9	12,5	13,6	19,0	24,0	26,3	28,5	24,8	19,9	15,1	11,7
C	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,7	0,6	0,4
ETP m	21,64	31,99	59,95	82,12	154,36	219,04	285,78	287,43	169,96	90,29	40,01	21,88
K	55	70	126	161	225	259	311	291	195	127	72	49

Tableau n°84: Calcul du paramètre K à la station Constantine

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	7,3	9,8	10,5	12,3	17,5	22,9	25,4	27,3	21,2	17,3	12,3	8,4
C	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3
ETP m	16,72	29,71	57,03	82,85	146,84	223,82	276,99	268,50	147,97	76,53	35,16	17,52
K	54	76	139	176	231	276	311	283	196	121	75	51

Tableau n°85: Calcul du paramètre K à la station Tébessa

Formule	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	6,6	9,6	10,8	13,2	18,6	24,2	25,6	26,3	22,5	17,7	11,9	8,1
C	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3
ETP m	22,09	40,03	70,44	97,96	177,39	263,64	322,95	275,89	167,33	90,09	47,52	24,31
K	77	105	167	196	265	310	361	301	210	140	104	72

On peut tracer les lignes de même valeur de K Par les valeurs calculées de ce coefficient, pour obtenir une carte des coefficients correctifs K sur notre zone d'étude.

Le report des différentes valeurs de ce coefficient K pour les stations prévues en considération, a permis de tracer les cartes de l'annexe 13 à 24.

Conclusion:

On peut dire que pour l'estimation de l'évapotranspiration d'une manière générale dans le bassin de la Seybouse et le bassin de Oued Mellegue en cas de disponibilité de données climatiques (température, humidité relative, vitesse du vent et durée d'insolation) la formule de Penman FAO est la plus convenable.

Plus de détail sur l'évapotranspiration à l'échelle mensuelle on conseil d'utiliser aux stations suivantes les formules suivantes :

La station de Pont Bouchet: La formule de Penman FAO: pour la période mai-Octobre

La formule de Turc: pour la période novembre-avril

La station de Gulema: La formule de Blanney-Cridle: pour la période juin-septembre

La formule de Turc: pour la période octobre-mai

La station de Souk Ahras: La formule de Penman FAO: pour la période juin-septembre

La formule de Turc: pour la période octobre-mai

La station de Constantine: La formule de Penman FAO: pour la période mai-septembre

La formule de Turc: pour la période octobre-avril

La station de Tébessa: La formule de Penman FAO: pour la période juin-septembre

La formule de Turc: pour la période octobre-mai

En cas d'absence total des données climatiques, les cartes de l'évapotranspiration potentielle mensuelle établie par la formule de Penman FAO (annexes 1 à 12) permettent la détermination de l'évapotranspiration pour chaque mois par interpolation.

La formule de l'ANRH peut être également utilisée à l'aide du coefficient de correction global défini par un coefficient régional K_r et un coefficient mensuel K_m est déterminées par interpolation à partir des annexes 13 à 24.

CONCLUSION GEGERALE :

La réussite de tout projet d'aménagement en agriculture, en urbanisme ou autre, nécessite la quantification d'un bilan hydrique qui passe obligatoirement par l'estimation des pertes d'eau par évaporation.

L'évapotranspiration est un processus complexe composé d'une évaporation physique et d'une évaporation physiologique (transpiration). Vu la difficulté de séparer ces deux processus dans la nature du fait qu'ils se produisent simultanément, ils sont généralement regroupés sous le même terme d'évapotranspiration.

Il est possible d'estimer l'évapotranspiration par le biais de formulations plus ou moins complexes qui nécessitent la connaissance d'un certain nombre de paramètres climatiques qu'on a cité plus haut.

L'objectif de cette étude est l'estimation de l'évapotranspiration potentielle dans deux régions climatiques différentes, l'une subhumide (Annaba) et l'autre semi aride (Tébessa) de Annaba et Tébessa par sept (07) modèles différents (Turc, Thornthwaite, Blanny-Cridle et Penman, Penman FAO, ANRH) puis nous avons la comparé ces résultats avec les valeurs de la mesure directe à l'aide de l'évaporomètre de Piche.

Cette comparaison des valeurs de l'évapotranspiration potentielle obtenues par les différentes formules empiriques et celle des valeurs mesurées permet de choisir la formule la plus convenable dans un lieu bien déterminé.

Les données disponibles de l'évaporation s'étalent sur huit ans (1990-1997) et corrigées par la formule de Bouchet pour la détermination des valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

La formule de Thornthwaite et celle de l'ANRH permettent d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle par la seule mesure de la température moyenne mensuelle ainsi que la position géographique de la région. La formule de Penman et celle de Blanney-Cridle utilisent tous les paramètres climatiques température, insolation, vitesse du vent et humidité relative. La formule de Turc est basée sur les mesures de la température, humidité relative et l'insolation.

Ce travail nous a permis de constater que :

Le modèle de Blanney-Cridle surestime l'évapotranspiration potentielle mensuelle par rapport aux autres formules, alors que le modèle de Thornthwaite sous-estime. L'évapotranspiration potentielle obtenues par les formules de Turc, Penman, Penman FAO et ANRH aboutissent à la même fourchette de valeurs.

Concernant le mois de pointe, nous constatons que la plus grande valeur de l'évapotranspiration potentielle se situe au mois de Juillet, où les sept formules présentent la même tendance d'évolution de ce paramètre. Les valeurs obtenues à l'aide des formules de l'ANRH et de Penman présentent des résultats identiques.

Afin d'exploiter au mieux ces résultats, il est conseillé en cas de disponibilité des données climatiques d'utiliser la formule de Penman FAO pour tous les mois de l'année dans le bassin de la Seybouse et celui de Oued Mellegue.

Plus de détail sur l'évapotranspiration à l'échelle mensuelle on conseil d'utiliser aux stations suivantes les formules suivantes :

La station de Pont Bouchet: La formule de Penman FAO: pour la période mai-Octobre
La formule de Turc: pour la période novembre-avril

La station de Gulema: La formule de Blanney-Cridle: pour la période juin-séptembre
La formule de Turc: pour la période octobre-mai

La station de Souk Ahras: La formule de Penman FAO: pour la période juin-séptembre
La formule de Turc: pour la période octobre-mai

La station de Constantine: La formule de Penman FAO: pour la période mai-séptembre
La formule de Turc: pour la période octobre-avril

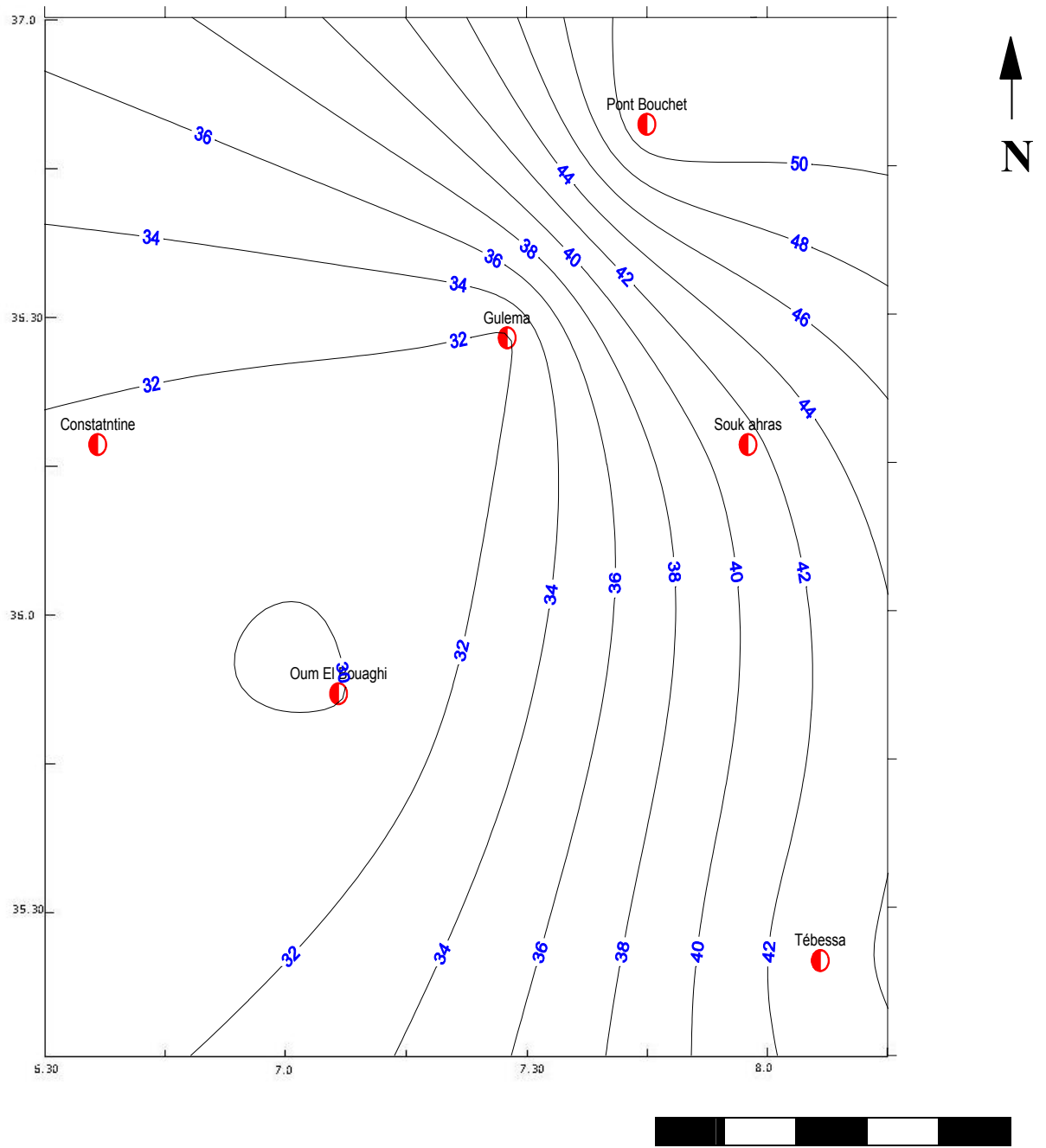
La station de Tébessa: La formule de Penman FAO: pour la période juin-séptembre
La formule de Turc: pour la période octobre-mai

En cas d'absence total des données climatiques, les cartes de l'évapotranspiration potentielle mensuelle établie par la formule de Penman FAO permettent la détermination de l'évapotranspiration pour chaque mois par interpolation.

La formule de l'ANRH peut être également utilisée à l'aide du coefficient de correction global défini par un coefficient régional K_r et un coefficient mensuel K_m est déterminées par interpolation.

ANNEXES

ANNEXES N° :01 **CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
POUR LE MOIS DE JANVIER**

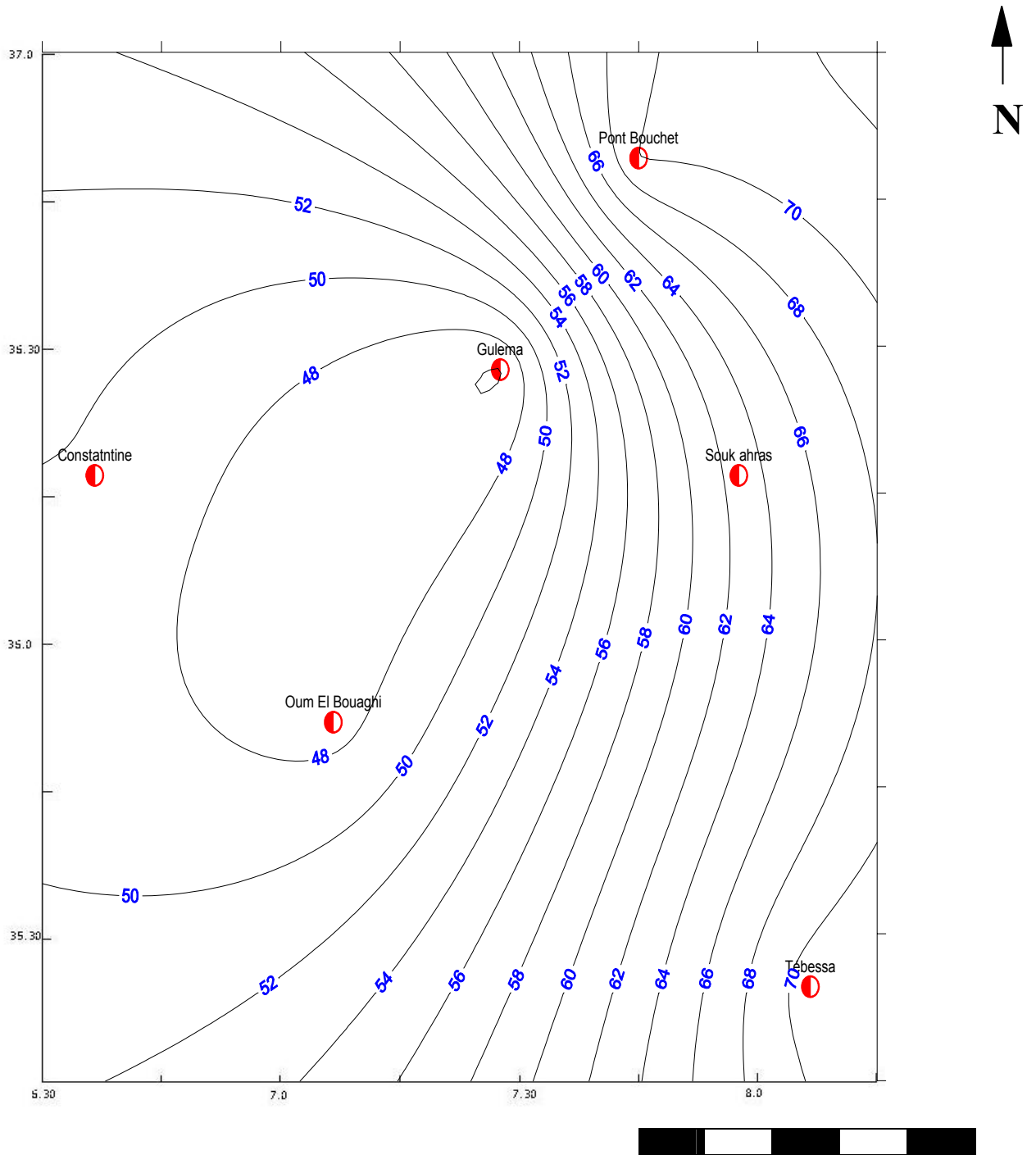


Légende


 : Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :02 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS DE FEVRIER

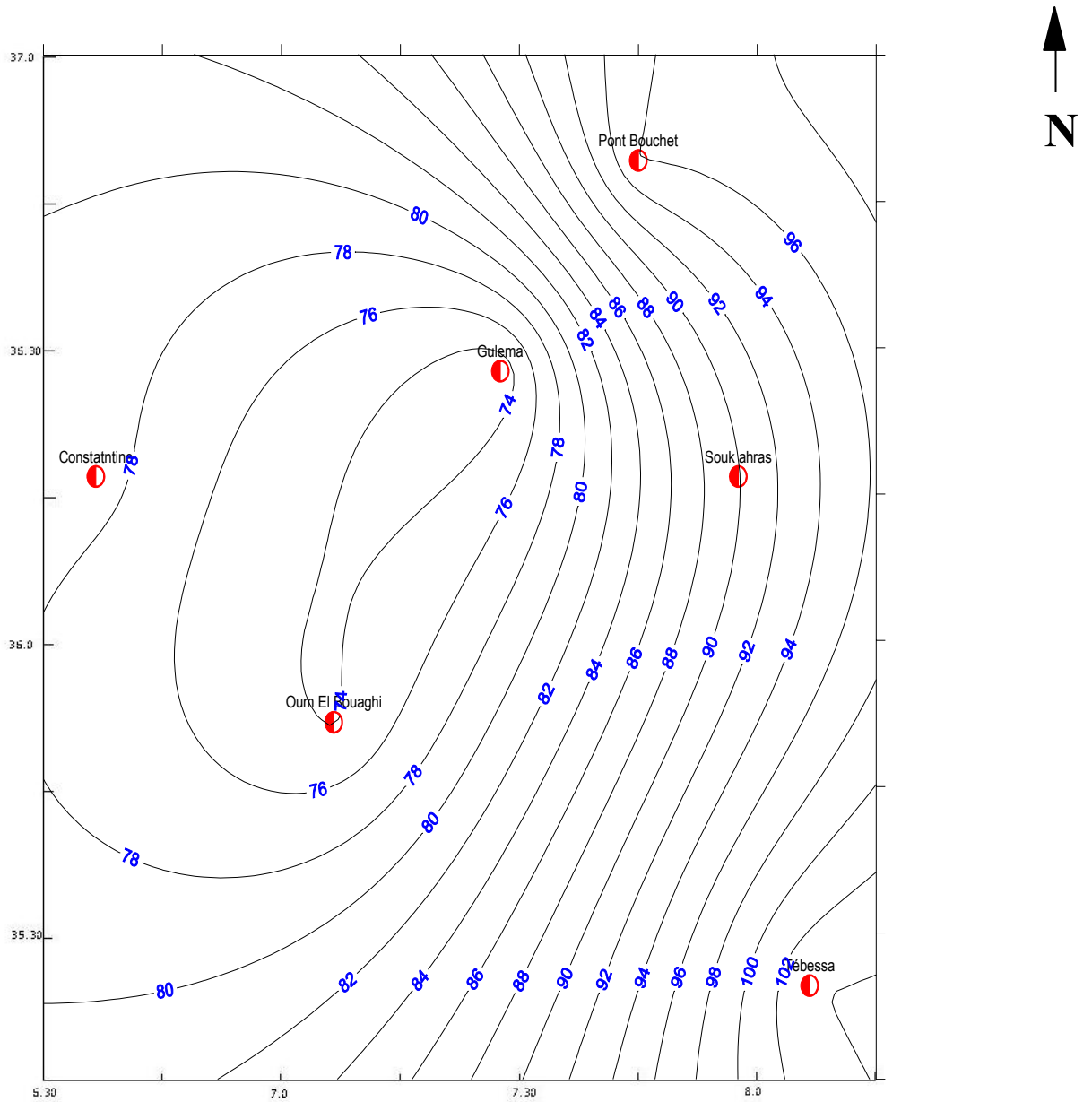


Légende

 : Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :03 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS DE MARS

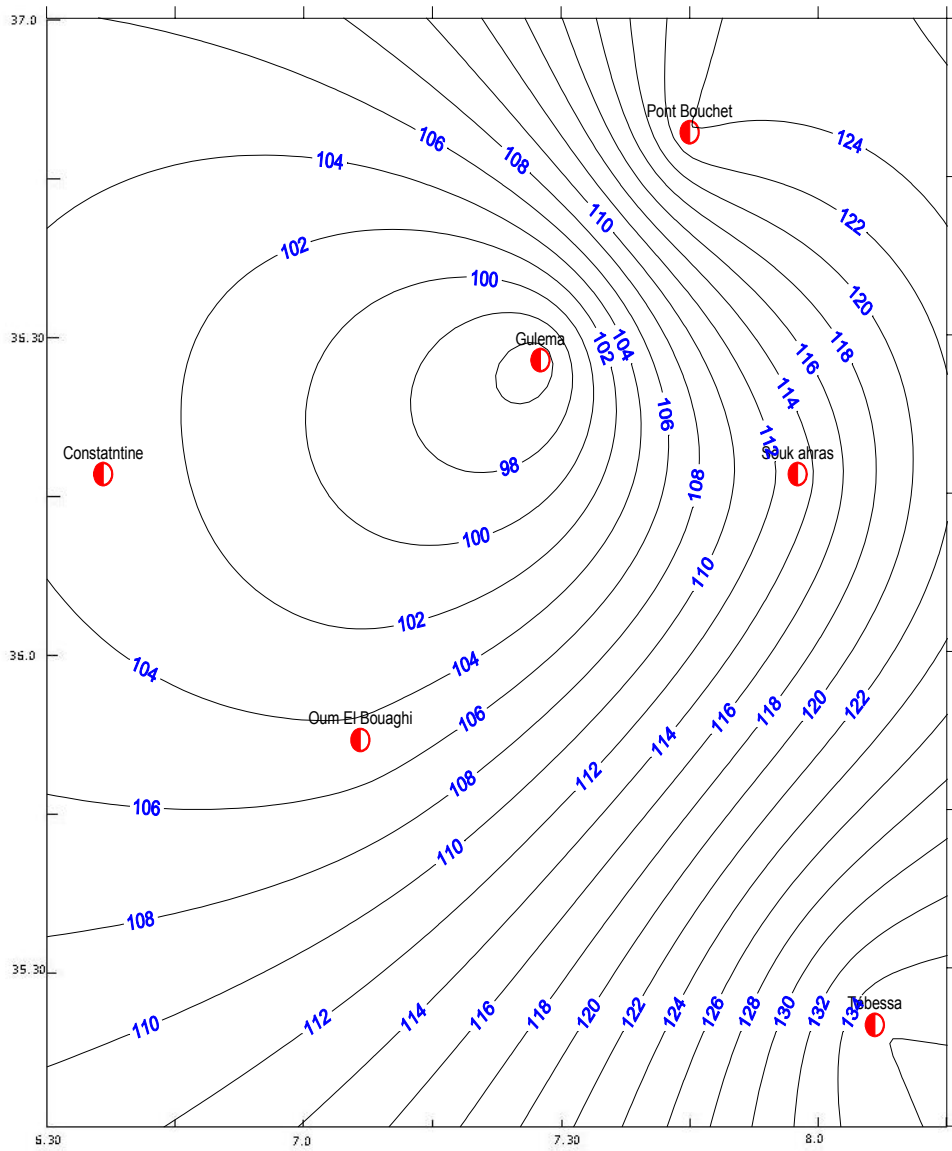


Légende

 : Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :04 **CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
POUR LE MOIS D'AVRIL**



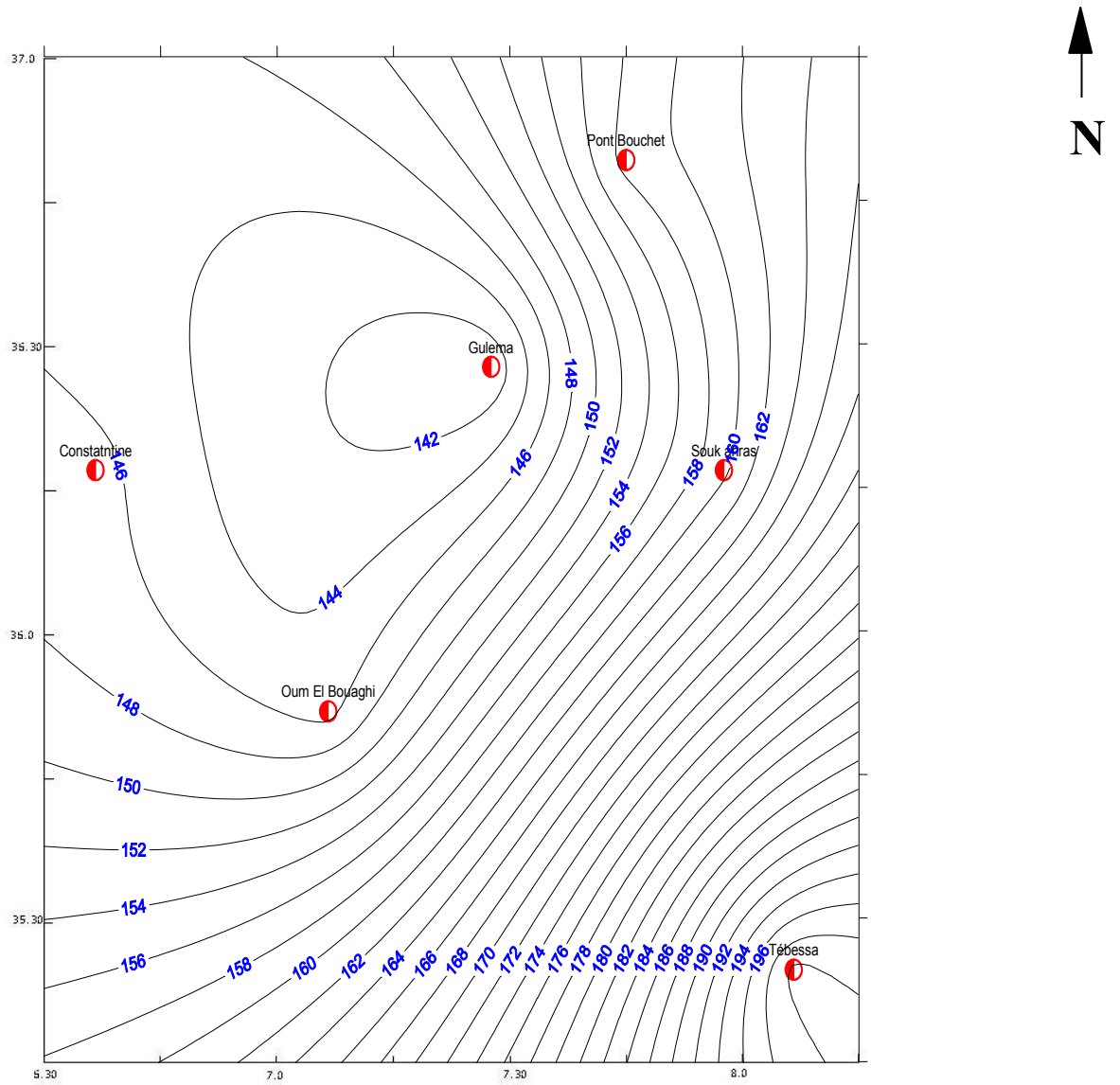
50 Km

Légende



: Station climatologique

ANNEXES N° :05 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO POUR LE MOIS DE MAI



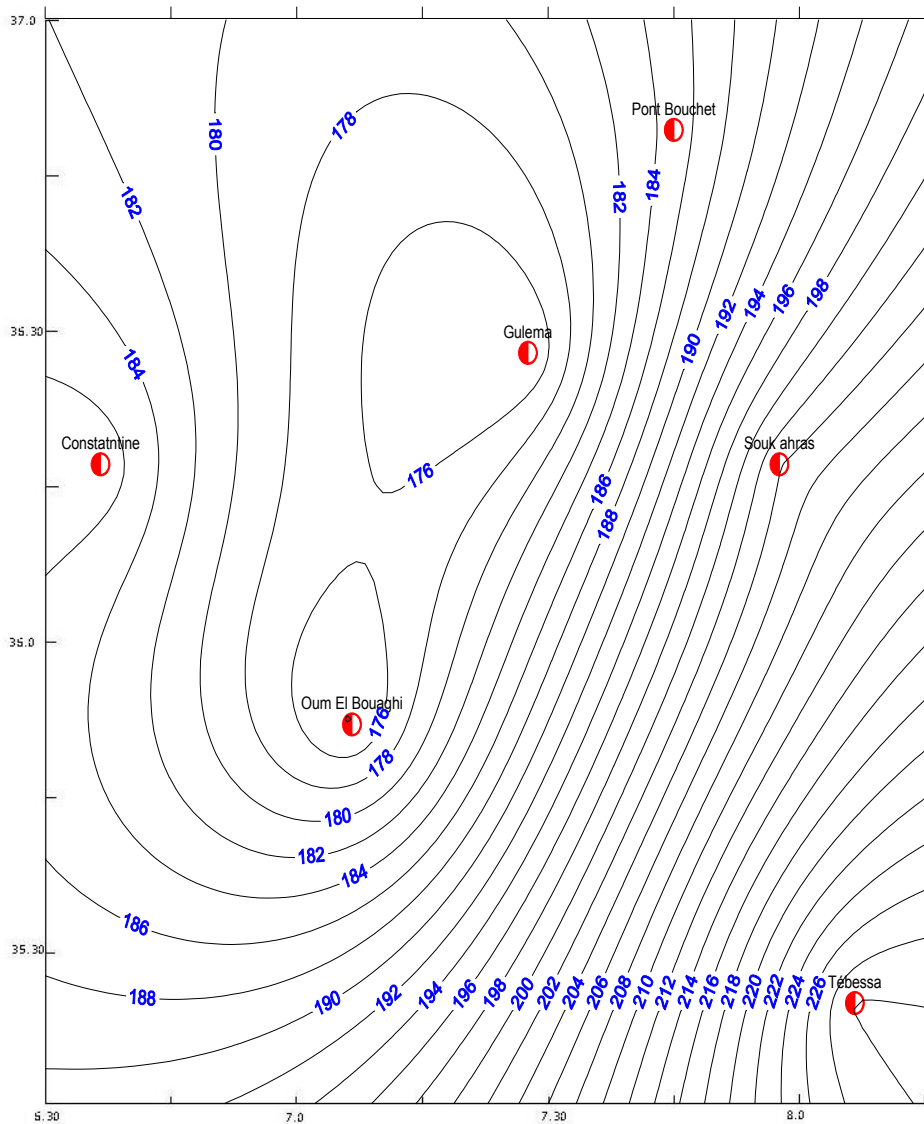
Légende

50 Km



: Station climatologique

ANNEXES N° :06 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS DE JUIN



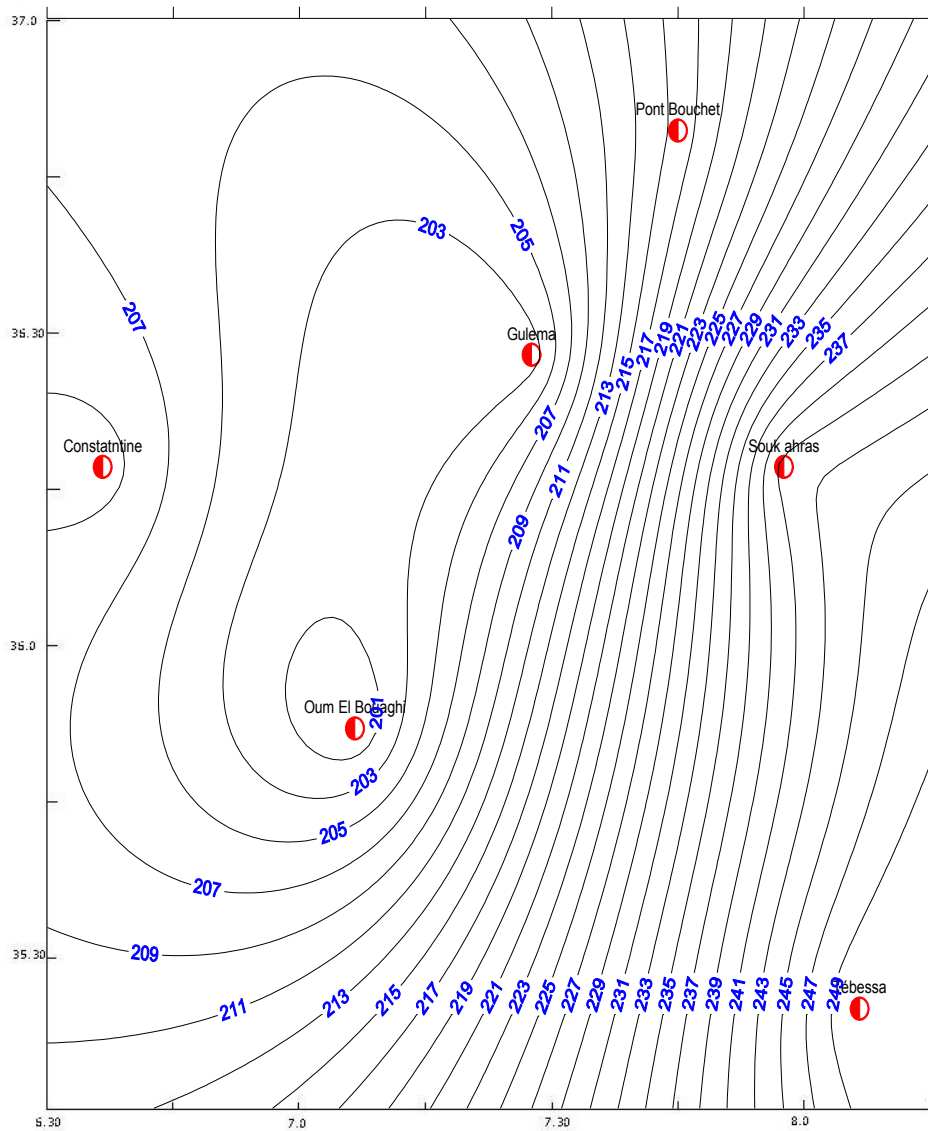
Légende

50 Km



: Station climatologique

ANNEXES N° :07 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS DE JUILLET



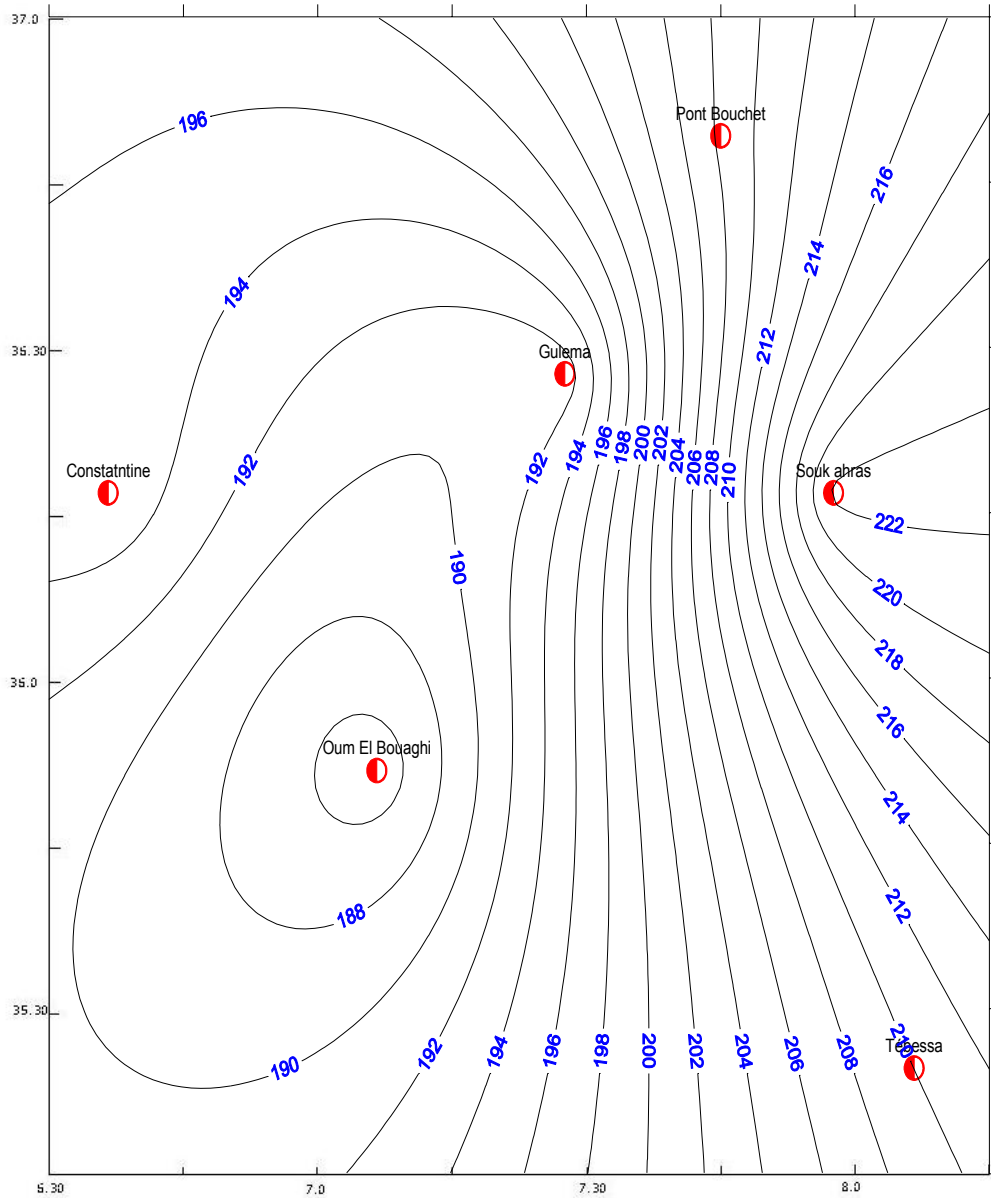
Légende

50 Km



: Station climatologique

ANNEXES N° :08 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS D'AOUT



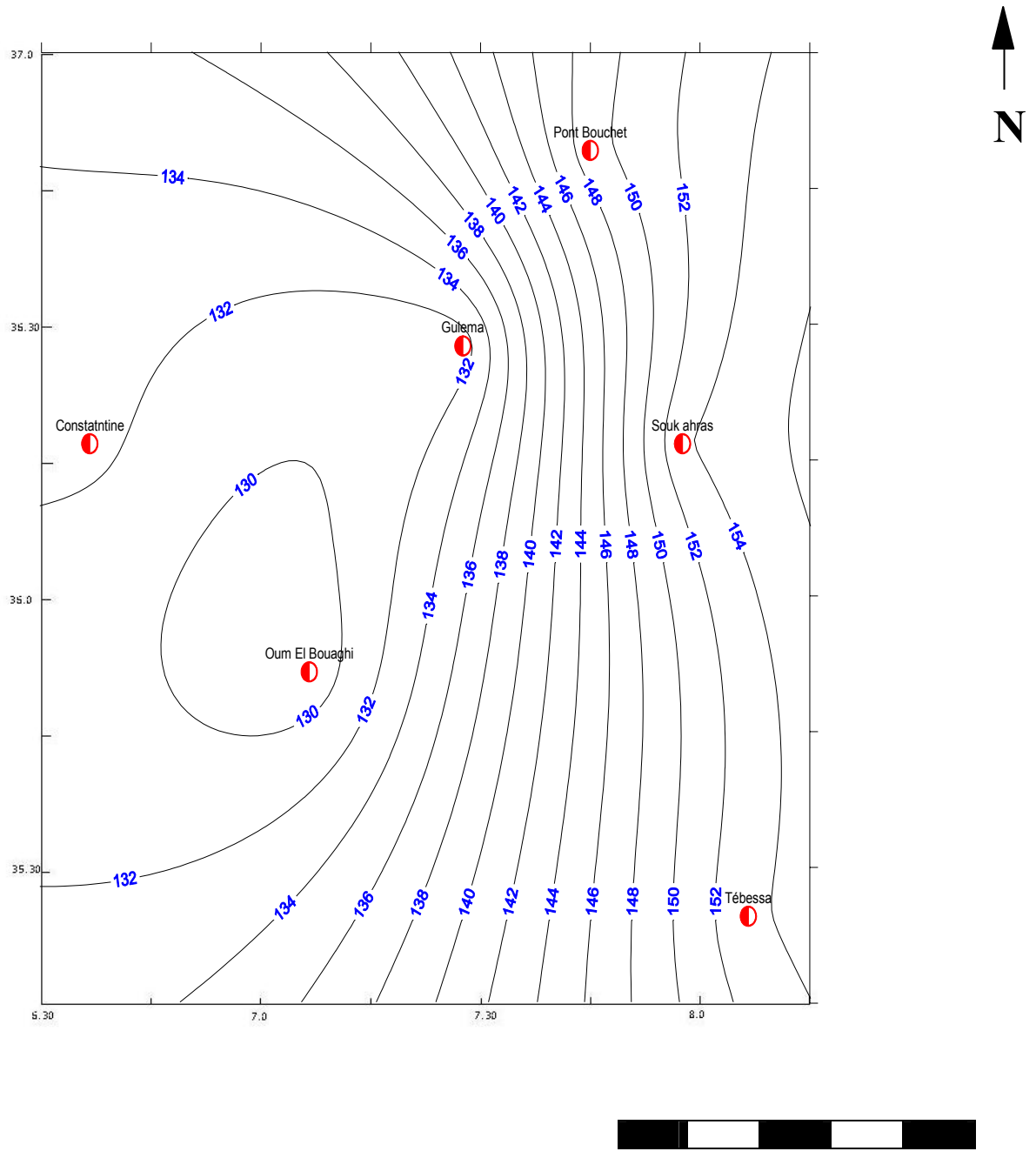
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :09 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS DE SEPTEMBRE



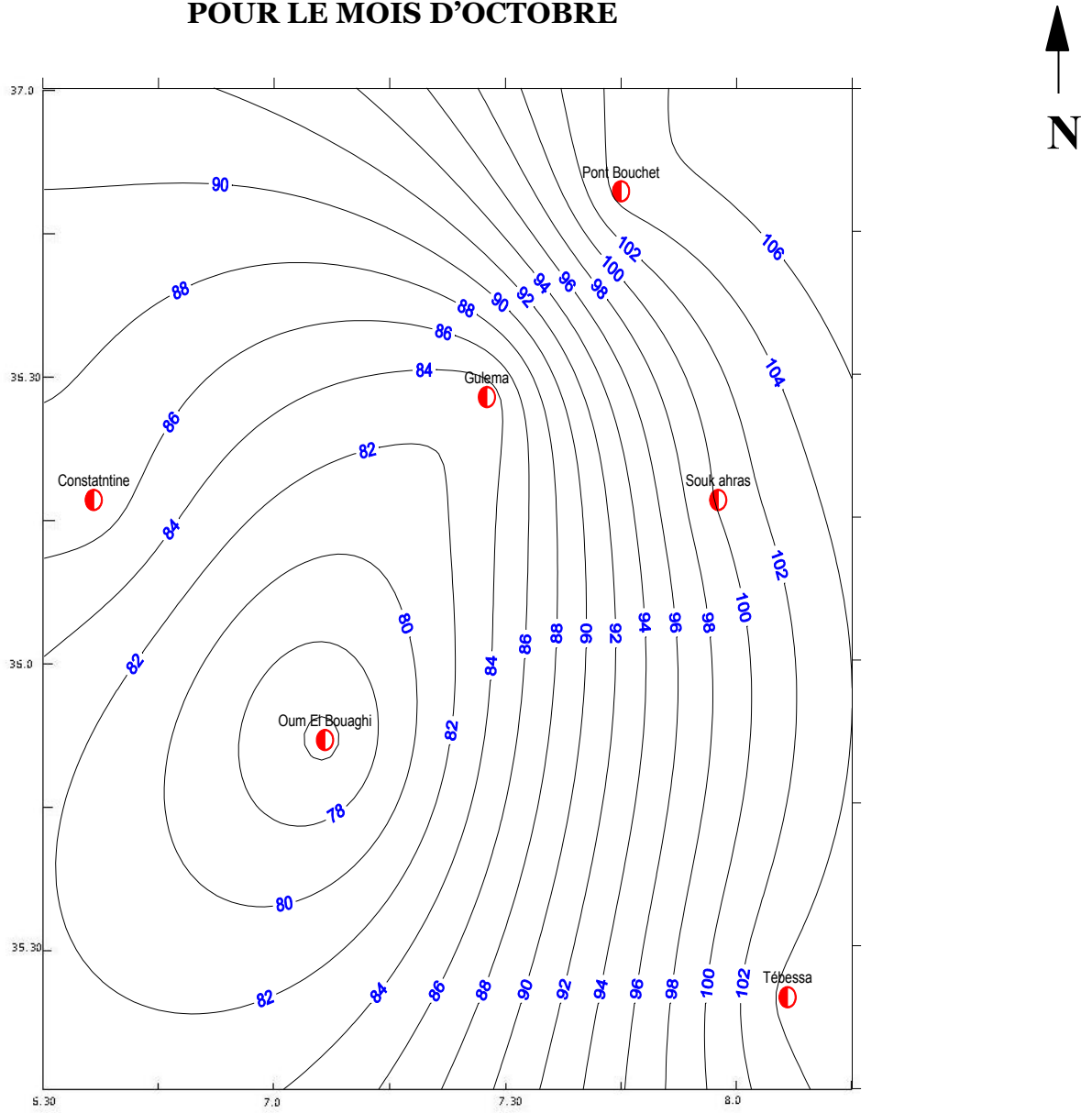
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :10 **CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
POUR LE MOIS D'OCTOBRE**



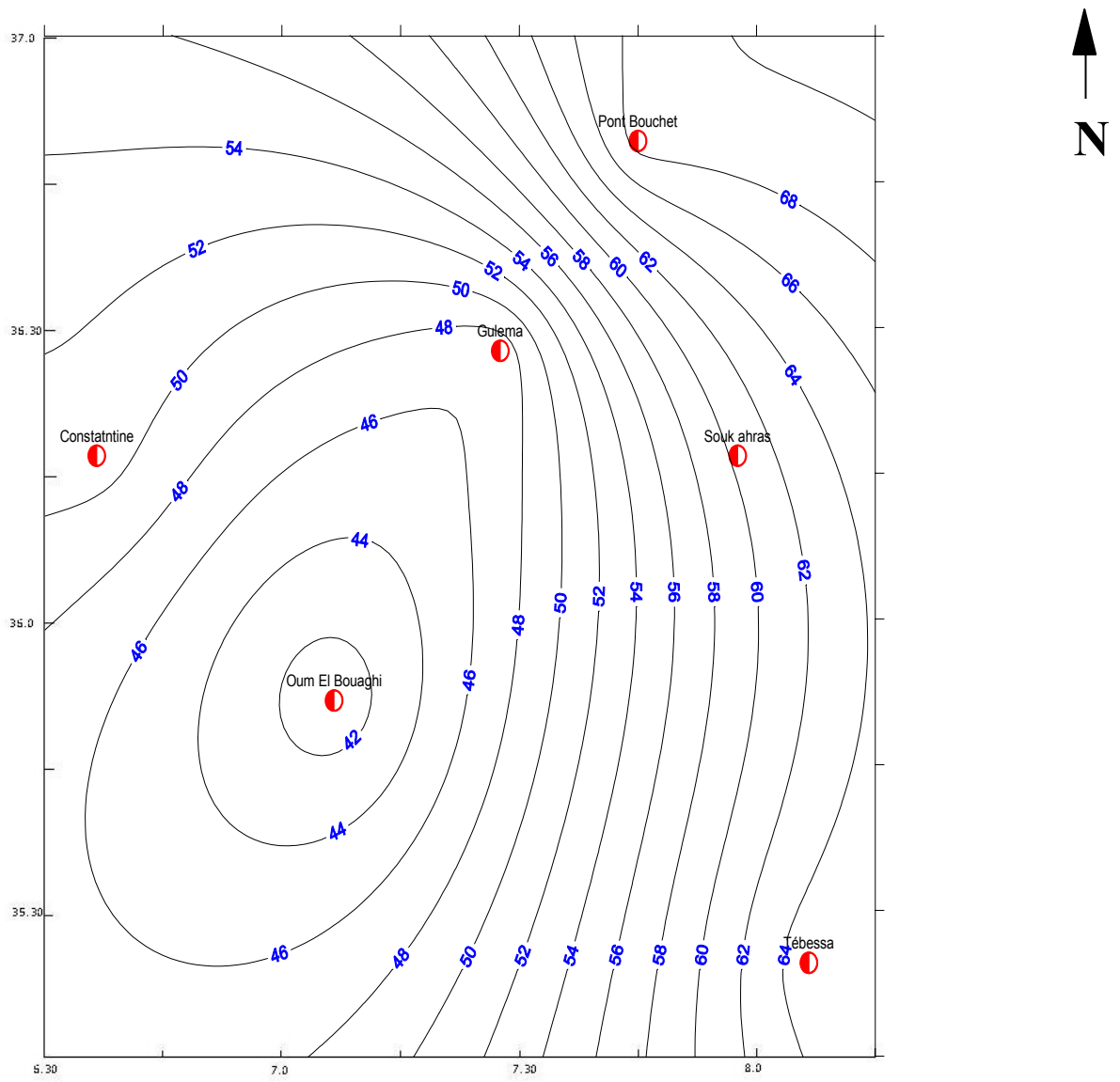
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :11 **CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
POUR LE MOIS DE NOVEMBRE**



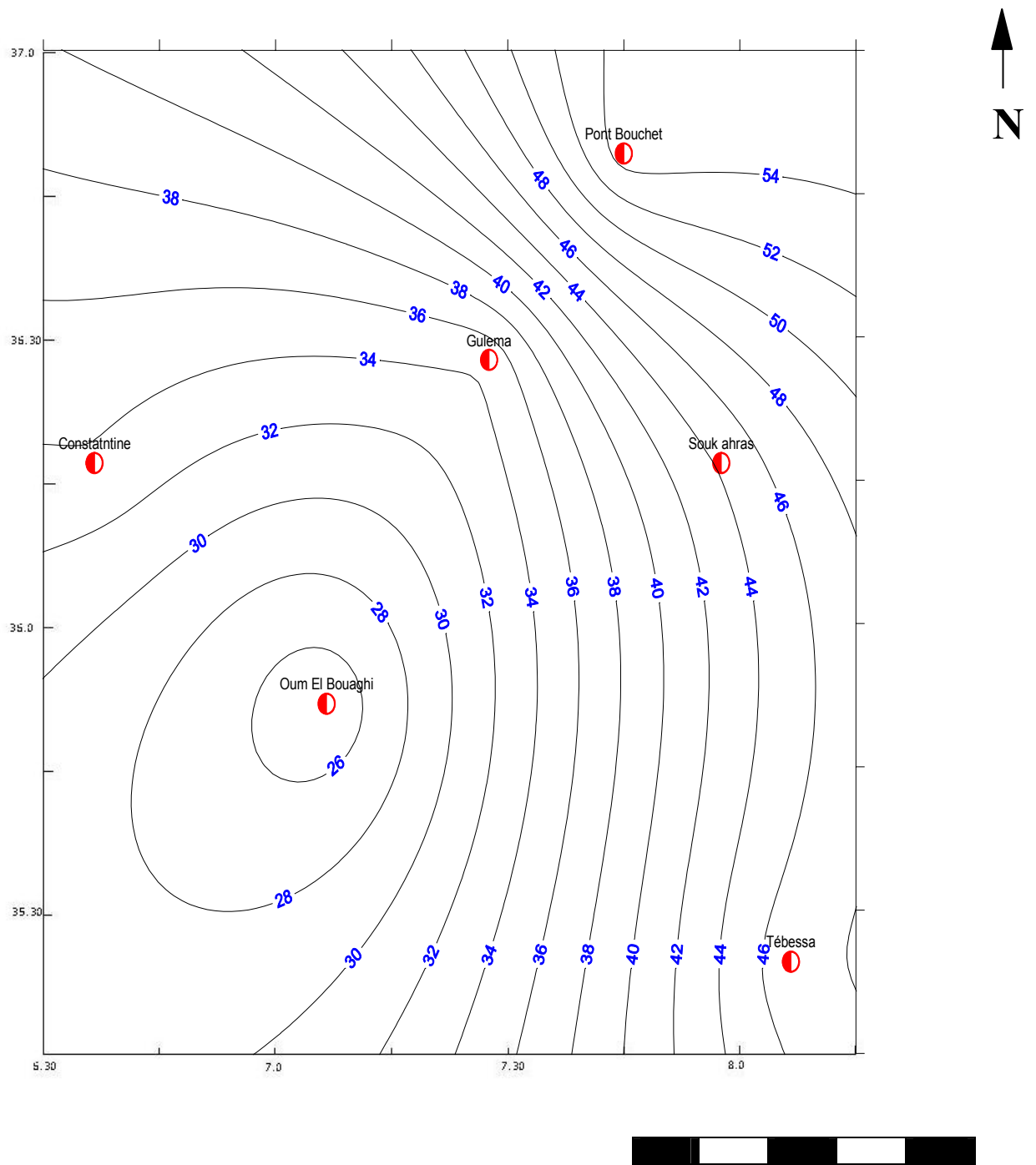
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :12 CARTE DE L'ETP SELON LA FORMULE DE PENMAN FAO
 POUR LE MOIS DE DECEMBRE

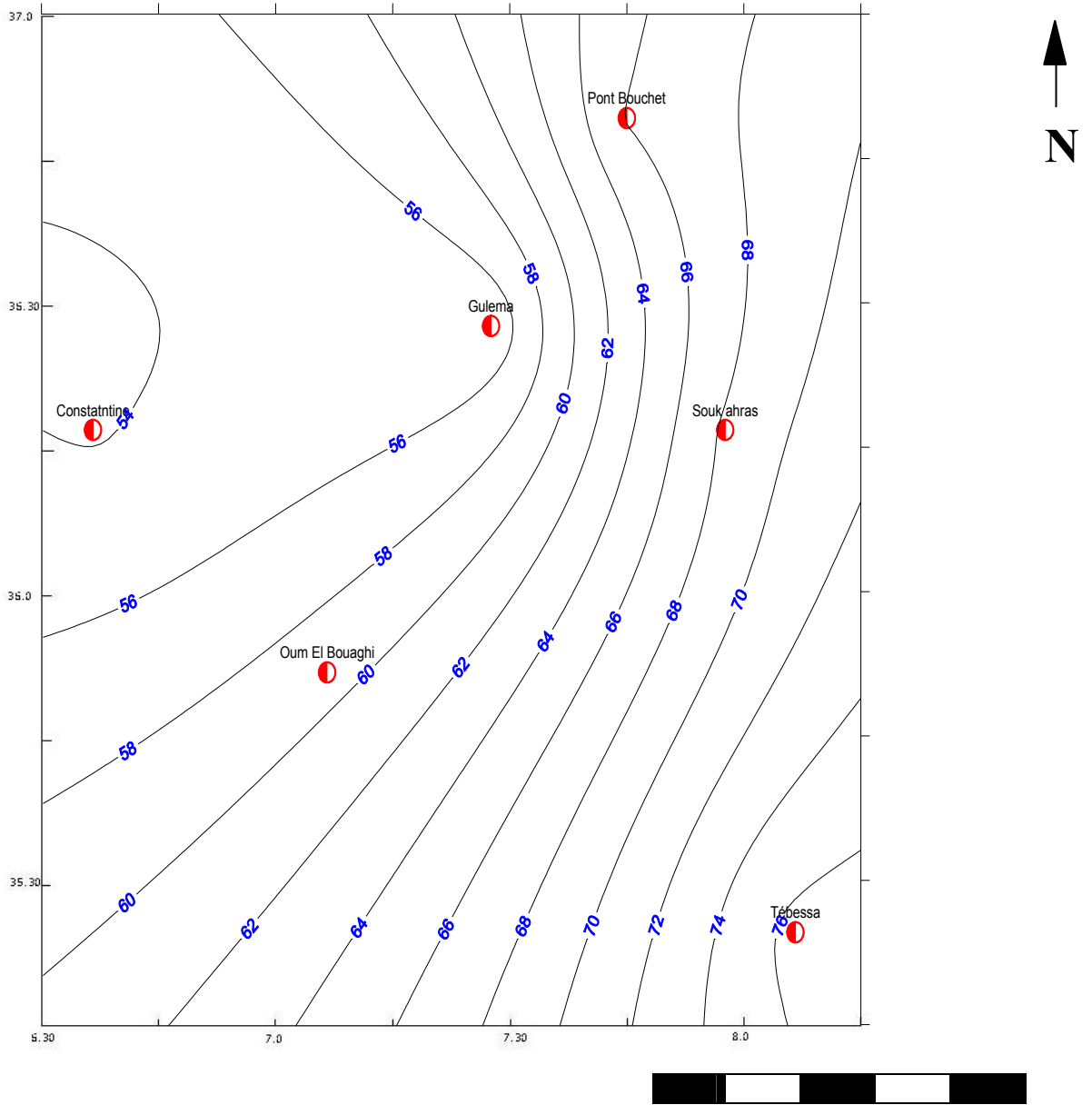


Légende

 : Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :13 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE JANVIER



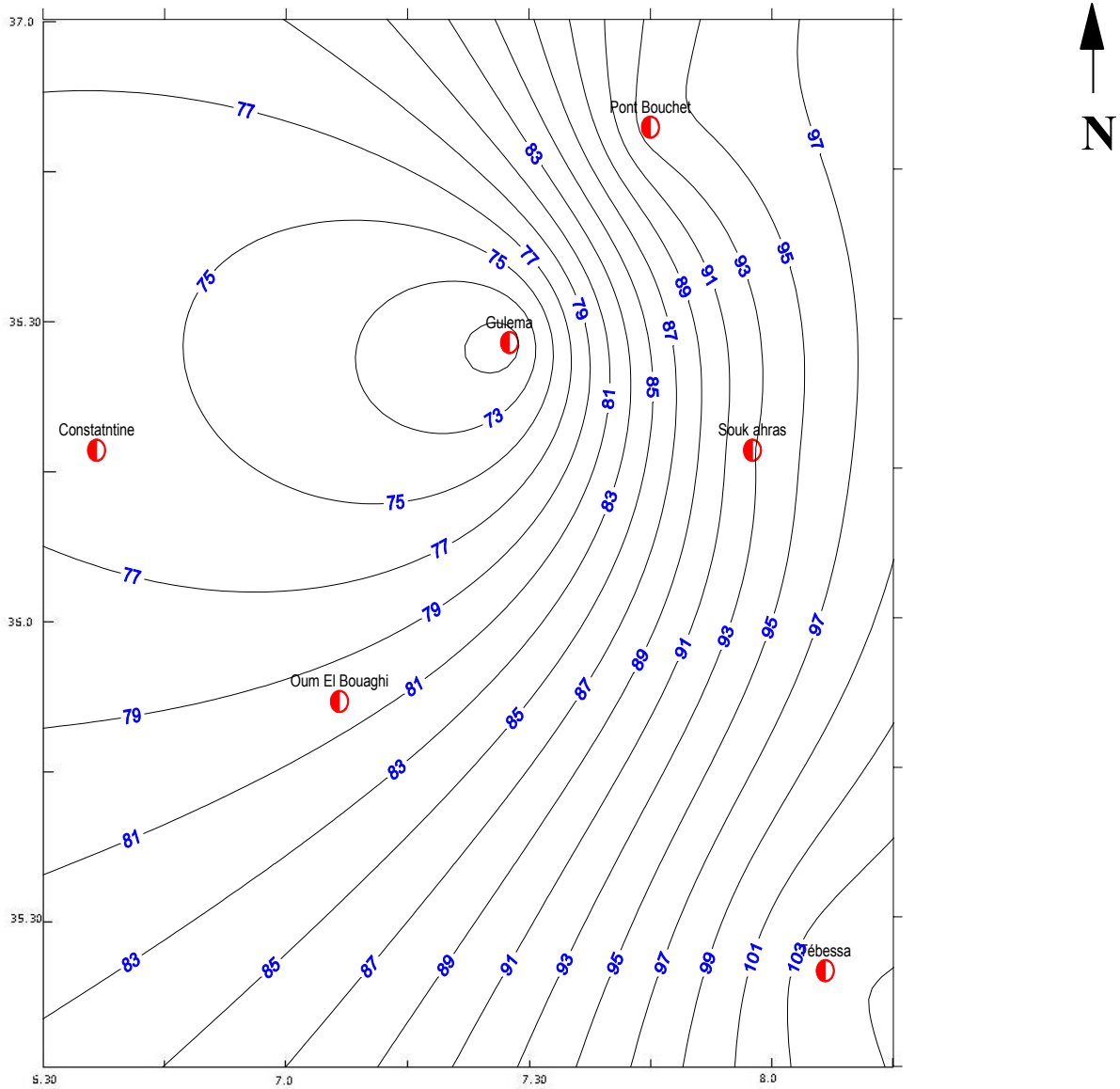
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :14 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE FEVRIER



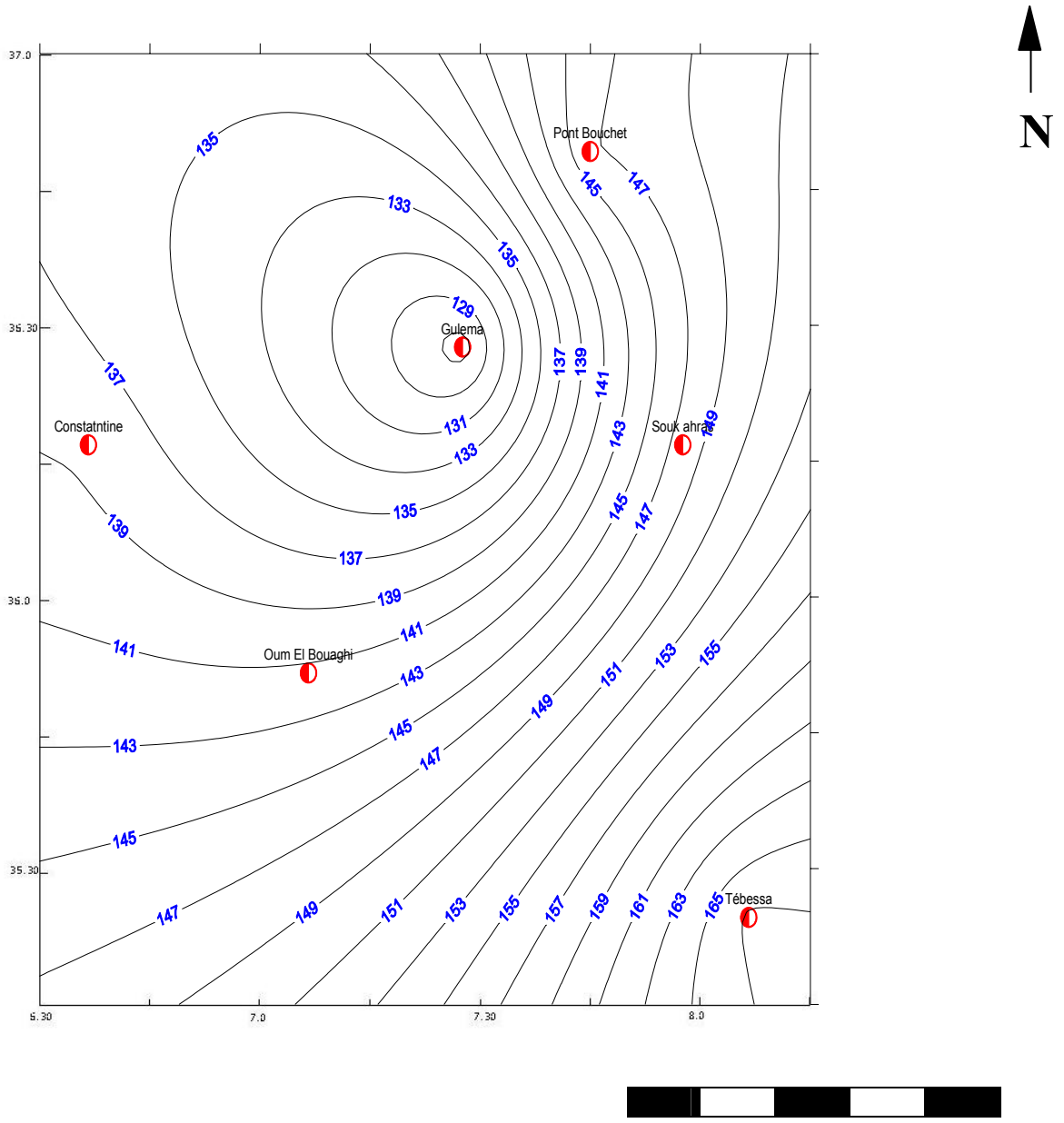
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :15 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE MARS

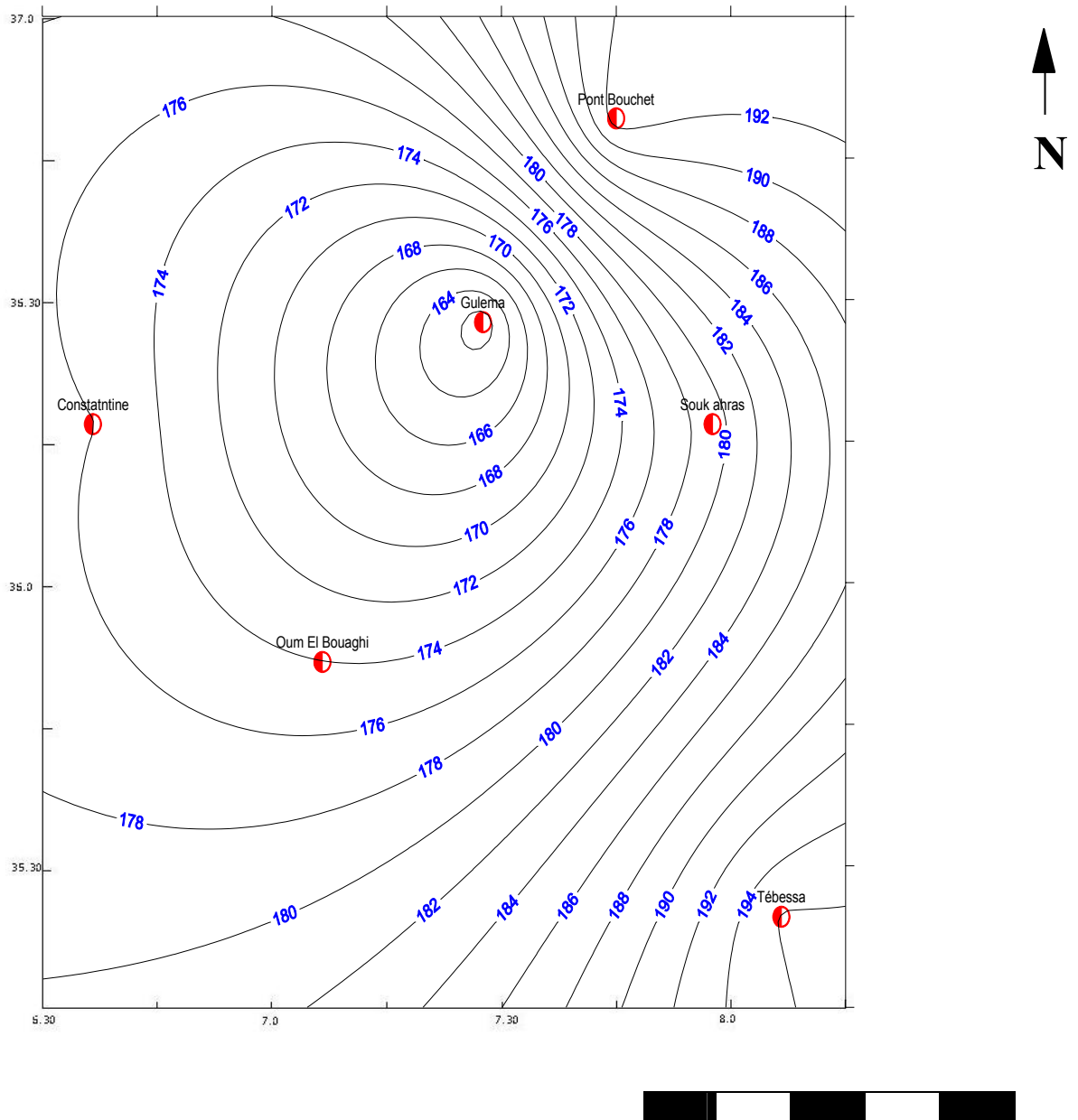


Légende

 : Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :16 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS D'AVRIL



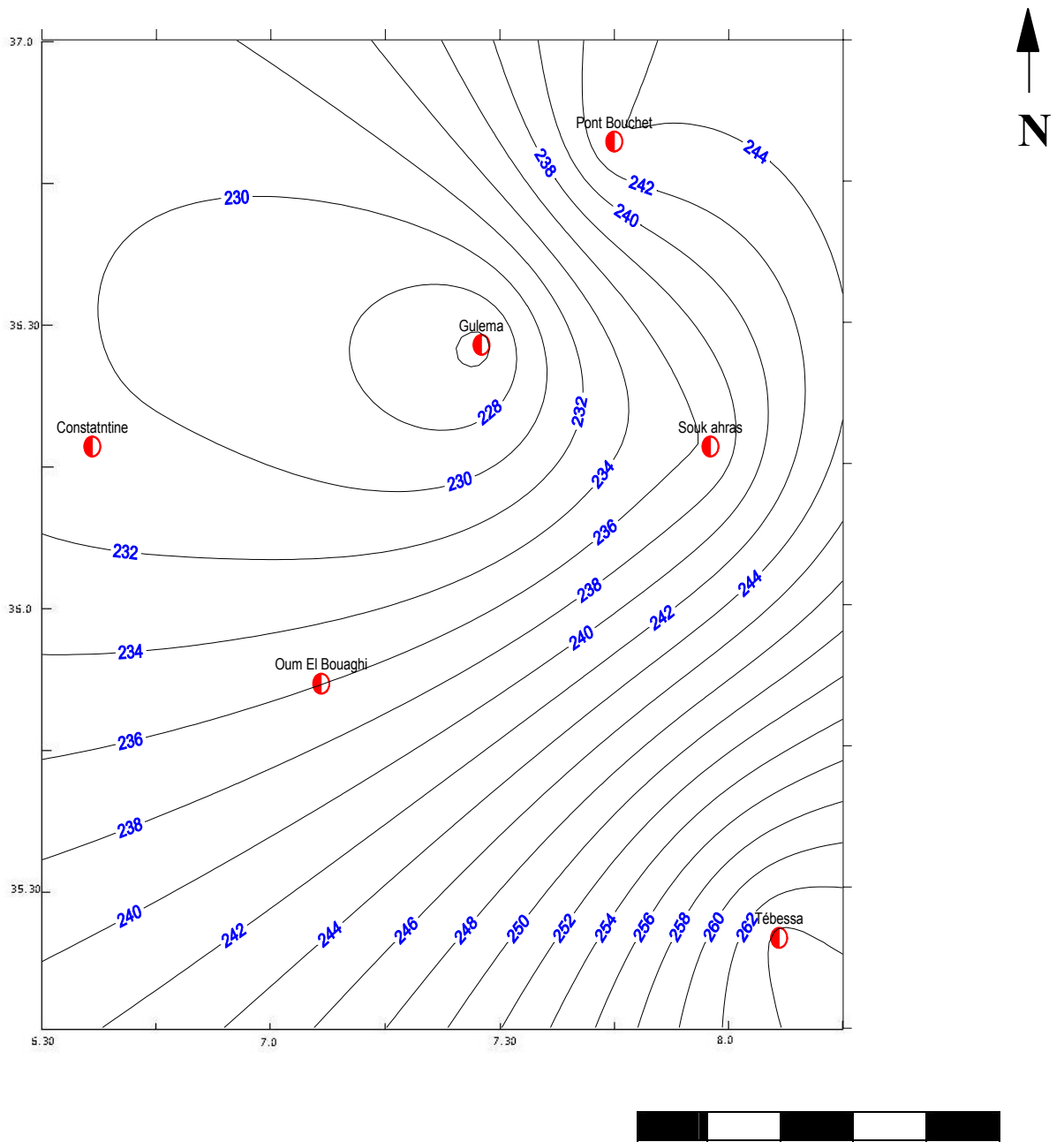
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :17 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE MAI



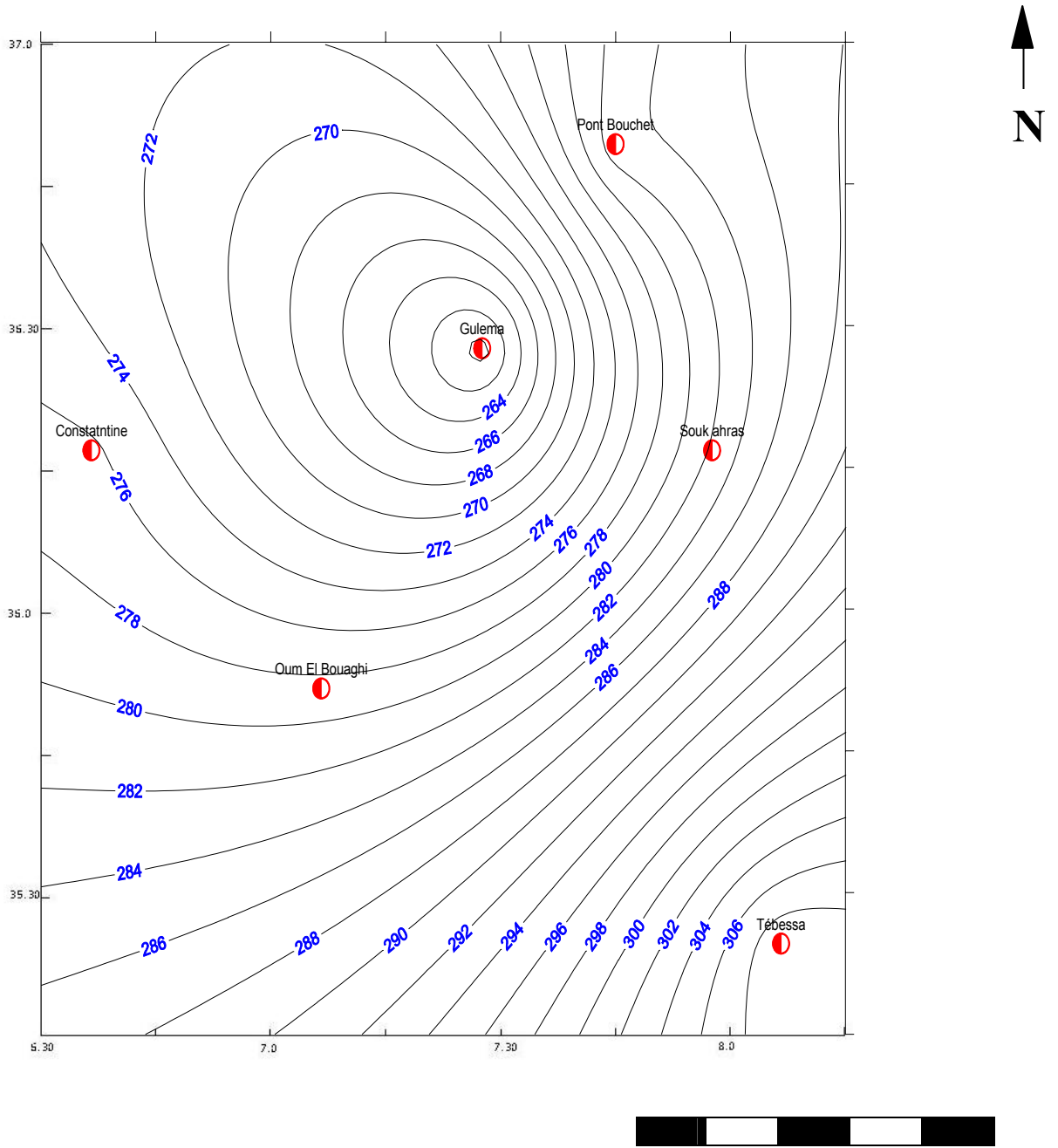
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :18 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE JUIN



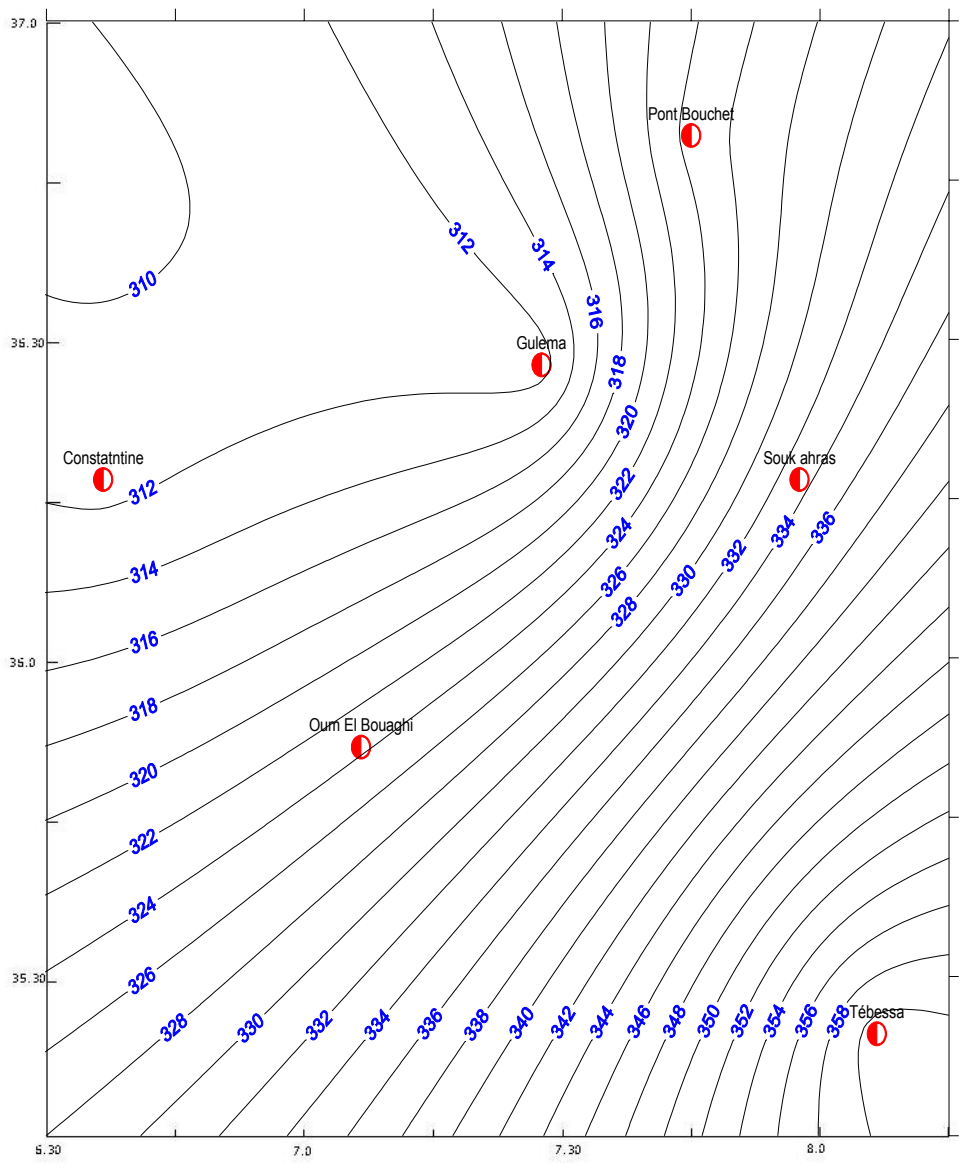
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :19 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE JUILLET



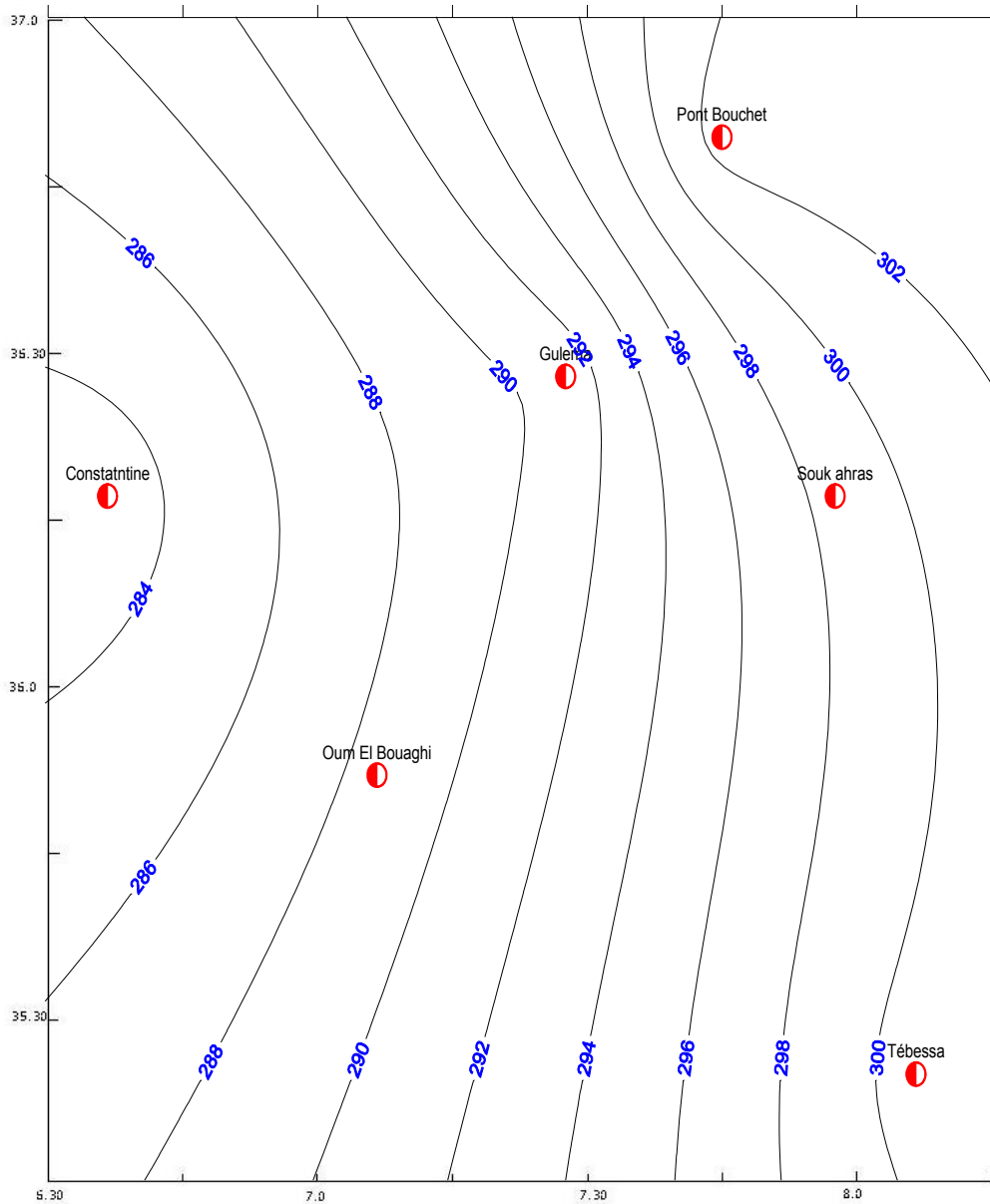
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :20 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS D'AOUT



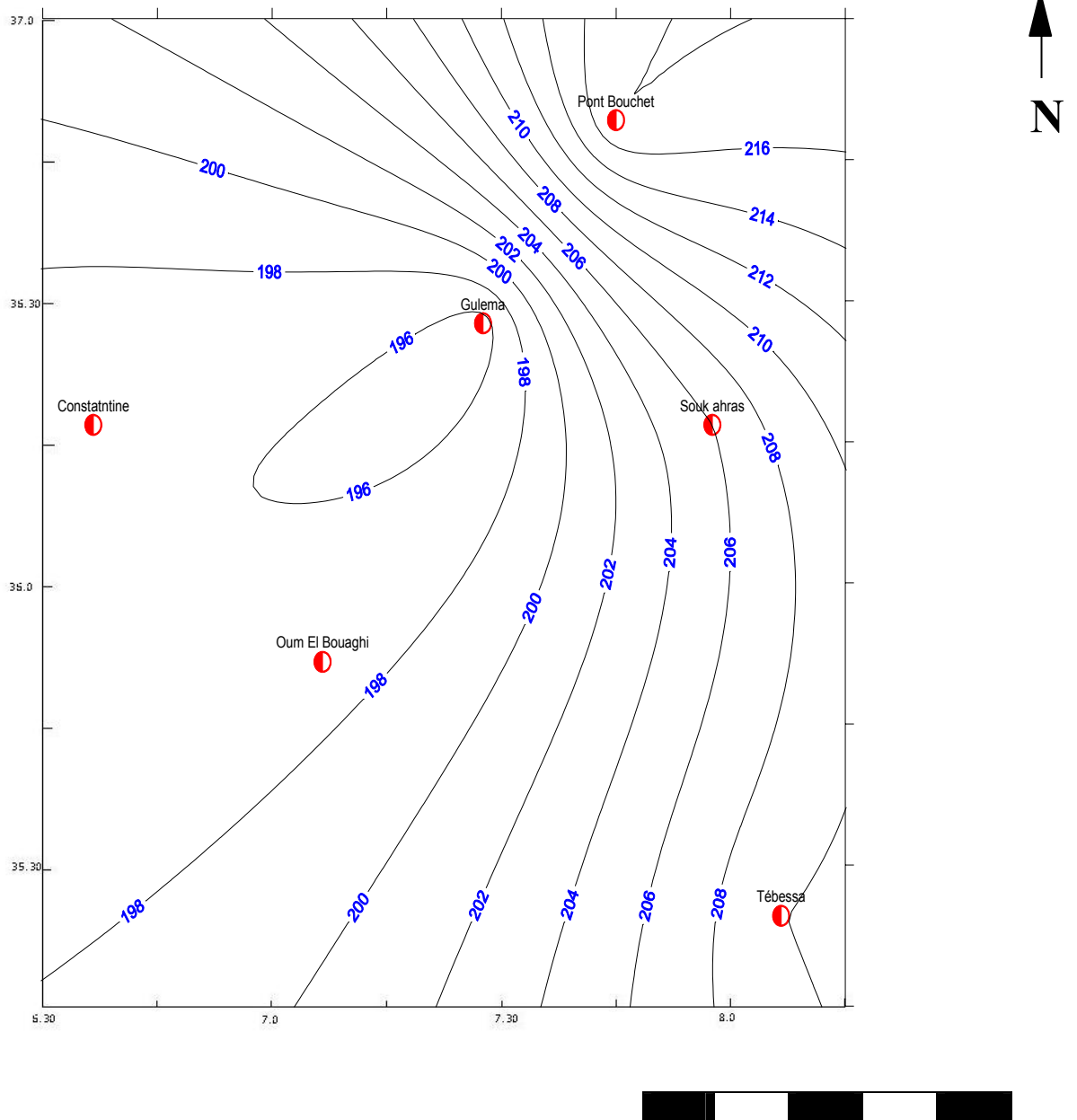
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :21 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE SEPTEMBRE



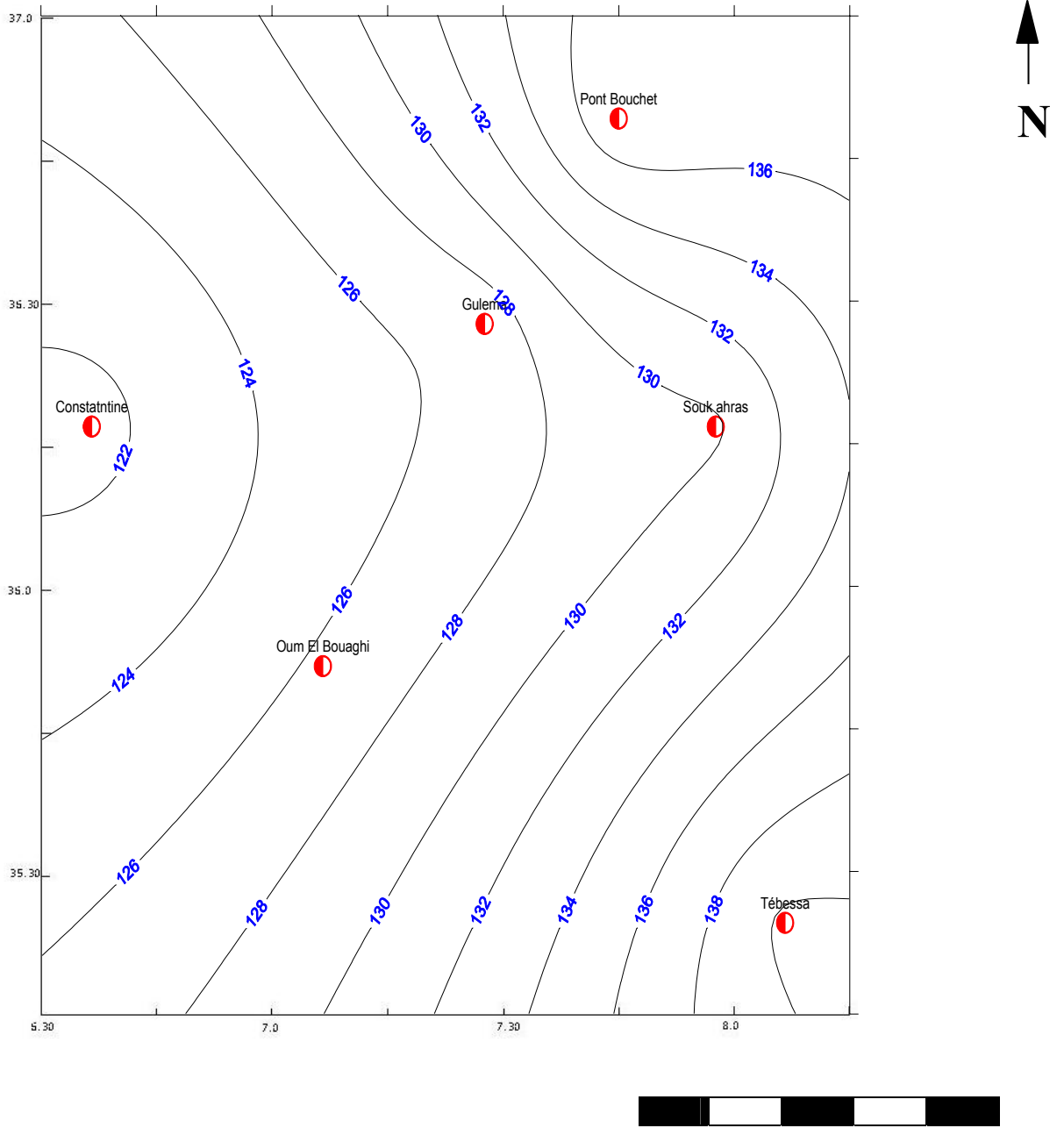
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :22 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS D'OCTOBRE



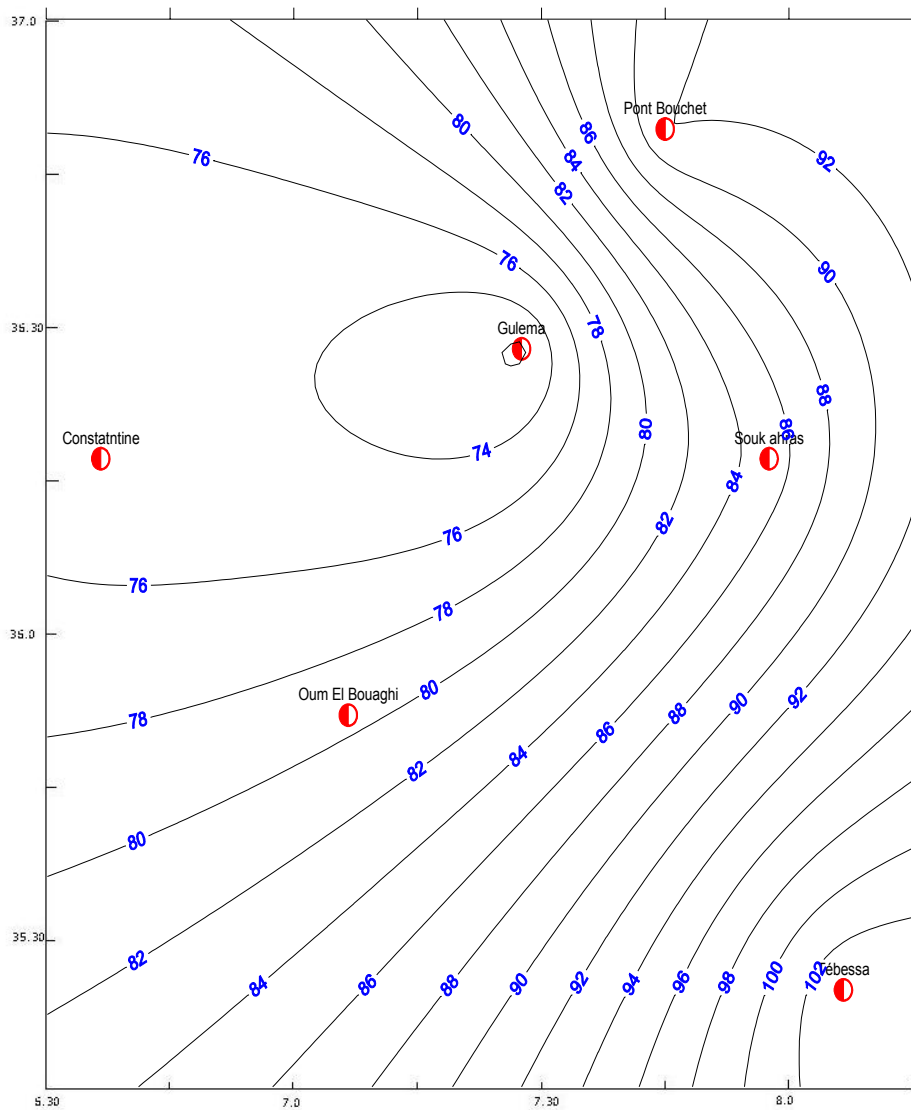
Légende



: Station climatologique

50 Km

ANNEXES N° :23 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE NOVEMBRE



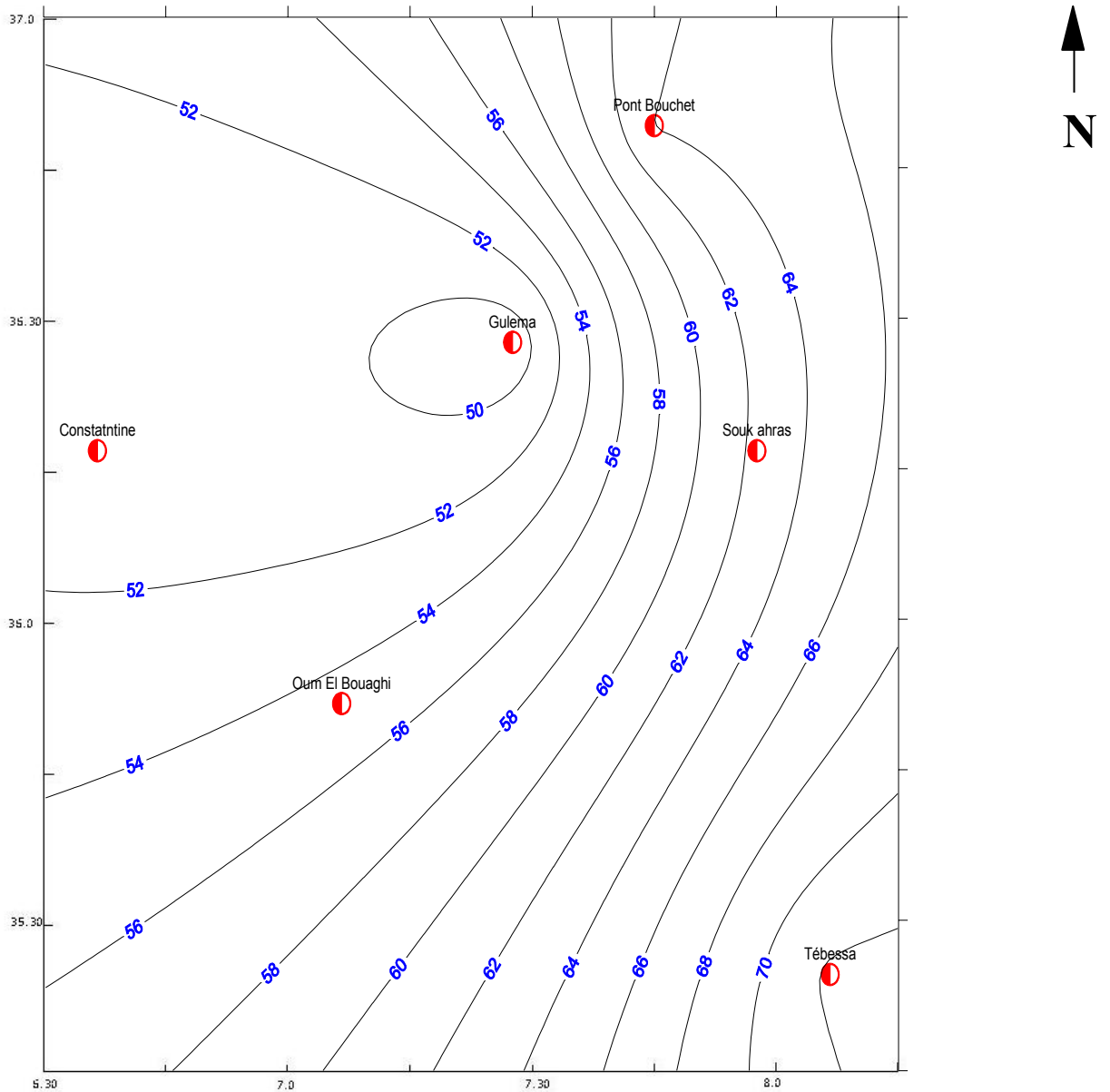
Légende

50 Km



: Station climatologique

ANNEXES N° :24 CARTE DU COEFFICIENT K POUR LE MOIS DE NOVEMBRE



Légende



: Station climatologique

50 Km

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau N°01: Valeurs des coefficients a et b de l'équation $aF+b$
- Tableau N°02 : Coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH
- Tableau N°03 : Répartition altimétrique du bassin versant de la Seybouse.
- Tableau N°04 : Répartition altimétrique du bassin versant de oued Mellegue.
- Tableau n°05 : Altitudes caractéristiques des bassins versants de la Seybouse et Oued Mellegue.
- Tableau n°06 : Indices des pentes des bassins versants de la Seybouse et de Oued Mellegue.
- Tableau n°07 : Densité de drainage pour le bassin versant de la Seybouse.
- Tableau n°08 : Densité de drainage pour le bassin versant de Oued Mellegue.
- Tableau N°09: Les paramètres climatiques disponibles
- Tableau N°10: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Pont Bouchet (1990-2003)
- Tableau N°11: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Gulema (1990-2003)
- Tableau N°12: Température moyenne mensuelle (°C) à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2004)
- Tableau N°13: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Tébessa (1990-2003)
- Tableau N°14: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Constantine (1990-2003)
- Tableau N°15: Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Souk Ahras (1990-2003)
- Tableau N°16: Température moyenne mensuelle (°C) à la station: Chefia (1990-2004)
- Tableau N°17: Le climat en fonction de Q_p
- Tableau n°18: Les valeurs de Q_p des stations climatiques
- Tableau n°19: Les valeurs estimées de la lame d'eau moyenne précipitée sur les bassins par les trois méthodes
- Tableau N°20: L'humidité relative de l'air (%) à la station de Pont Bouchet (1990-2003)
- Tableau N°21: L'humidité relative de l'air (%) à la station de Gulema (1990-2003)
- Tableau N°22: L'humidité relative de l'air (%) à la station d'Oum El Bouaghi (1990-2003)
- Tableau N°23: L'humidité relative de l'air (%) à la station de Tébessa (1990-2003)
- Tableau N°24: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de pont Bouchet (1990-2003)
- Tableau N°25: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de Gulema (1990-2003)
- Tableau N°26: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station d'Oum El Bouaghi (1992-2004)
- Tableau N°27: La vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de Tébessa (1990-2003)
- Tableau N°28: Insolation moyenne (h/j) Station de Pont Bouchet (1990-2003)
- Tableau N°29: Insolation moyenne (h/j) Station de Gulema (1990-2003)
- Tableau N°30: Insolation moyenne (h/j) Station de Oum El Bouaghi (1994-2004)
- Tableau N°31: Insolation moyenne (h/j) Station de Tébessa (1990-2003)
- Tableau n°32: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Pont Bouchet
- Tableau n°33: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Guelma
- Tableau n°34: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Souk Ahras
- Tableau n°35: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Constantine
- Tableau n°36: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station d'Oum EL Bouaghi
- Tableau n°37: Calcul de l'ETP selon la formule de Turc à la station de Tébessa
- Tableau n°38: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Pont Bouchet
- Tableau n°39: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Gulema
- Tableau n°40: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Souk Ahras

Tableau n°41: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Constantine

Tableau n°42: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi

Tableau n°43: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite à la station de Tébessa

Tableau n°44: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Pont Bouchet

Tableau n°45: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Gulema

Tableau n°46: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Souk Ahras

Tableau n°47: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Constantine

Tableau n°48: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Oum El Bouaghi

Tableau n°49: Calcul de l'ETP selon la formule de Blanney-Cridle à la station de Tebessa

Tableau n°50: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Pont Bouchet

Tableau n°51: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Gulema

Tableau n°52: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Souk Ahras

Tableau n°53: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Constantine

Tableau n°54: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Oum El Bouaghi

Tableau n°55: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à la station de Tébessa

Tableau n°56: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Pont Bouchet

Tableau n°57: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Gulema

Tableau n°58: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Souk Ahras

Tableau n°59: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Constantine

Tableau n°60: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Oum El Bouaghi

Tableau n°61: Calcul de l'ETP selon la formule de Penman FAO à la station de Tebessa

Tableau n°62: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Pont Bouchet

Tableau n°63: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Gulema

Tableau n°64: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Souk Ahras

Tableau n°65: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Constantine

Tableau n°66: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Oum El Bouaghi

Tableau n°67: Calcul de l'ETP selon la formule de l'ANRH à la station de Tébessa

Tableau N°68: Valeur de λ en fonction de la température

Tableau n°69: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Pont Bouchet

Tableau n°70: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Gulema

Tableau n°71: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Souk Ahras

Tableau n°72: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Constantine

Tableau n°73: Les valeurs l'ETP mesurées selon la formule de Bouchet à la station de Tébessa

Tableau n°74: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Pont Bouchet

Tableau n°75: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Gulema

Tableau n°76: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Souk Ahras

- Tableau n°77: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Constantine
- Tableau n°78: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station d'Oum El Bouaghi
- Tableau n°79: Résultat de calcul de l'ETP selon les différentes formules à la station de Tébessa
- Tableau N°80: Valeurs de l'évapotranspiration potentielle annuelles sur les différentes stations estimées par la formule de Penman FAO.
- Tableau n°81: Calcul du paramètre K à la station Pont bouchet
- Tableau n°82: Calcul du paramètre K à la station Souk Ahras
- Tableau n°83: Calcul du paramètre K à la station Gulema
- Tableau n°84: Calcul du paramètre K à la station Constantine
- Tableau n°85: Calcul du paramètre K à la station Tébessa

LISTE DES FIGURES ET CARTES

- Figure n°01: Case lysimétrique
Figure n°02 : Bac d'évaporation classe A
Figure n°03 : Bac enterré type « Colorado »
Figure n°04 : Evaporomètre Wild
Figure n°05 : Atmomètre à sphère poreuse type Livingston
Figure n°06 : Evaporomètre Piche
Figure n°07 : Evolution du coefficient correctif mensuel
Figure n°08 : Carte des coefficients correctifs régionaux
Figure n°09: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétrique du bassin versant de la Seybouse.
Figure n°10: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétrique du bassin versant de la Seybouse.
Figure N°11: Histogrammes des températures à la station de Pont Bouchet
Figure N°12: Histogrammes des températures à la station de Guelma
Figure N°13: Histogrammes des températures à la station D'Oum El Bouaghi
Figure N°14: Histogrammes des températures à la station de Tébessa
Figure N°15: Histogrammes des températures à la station de Constantine
Figure N°16: Histogrammes des températures à la station de Souk Ahras
Figure N°17: Histogrammes des températures à la station de Chefia
Figure n°18: Série d'observation pluviométrique des postes retenus dans l'étude.
Figure N°19: Coefficient de corrélation
Figure N°20: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Pont Bouchet
Figure N°21: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Guelma
Figure N°22: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Souk Ahras
Figure N°23: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Constantine
Figure N°24: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station D'Oum El Bouaghi
Figure N°25: Evolution de l'ETP (mm) de Turc à la station de Tébessa
Figure N°26: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Pont Bouchet
Figure N°27: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Guelma
Figure N°28: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Souk Ahras
Figure N°29: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Constantine
Figure N°30: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi
Figure N°31: Evolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Tébessa
Figure N°32: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Pont Bouchet
Figure N°33: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Guelma
Figure N°34: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Souk Ahras
Figure N°35: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Constantine
Figure N°36: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station d'Oum El Bouaghi
Figure N°37: Evolution de l'ETP (mm) de Blanney-Cridle à la station de Tébessa
Figure N°38: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Pont Bouchet
Figure N°39: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Guelma
Figure N°40: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Souk Ahras
Figure N°41: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Constantine
Figure N°42: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station d'Oum El Bouaghi
Figure N°43: Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Tébessa
Figure N°44: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Pont Bouchet
Figure N°45: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Guelma
Figure N°46: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Souk Ahras
Figure N°47: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station

- Figure N°48: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station d' Oum El Bouaghi
- Figure N°49: Evolution de l'ETP (mm) de Penman FAO à la station de Tébessa
- Figure N°50: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Pont Bouchet
- Figure N°51: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Guelma
- Figure N°52: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de souk Ahras
- Figure N°53: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Constantine
- Figure N°54: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station d' Oum El Bouaghi
- Figure N°55: Evolution de l'ETP (mm) de la formule de l'ANRH à la station de Tébessa
- Figure N°56: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Pont Bouchet
- Figure N°57: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Guelma
- Figure N°58: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Souk Ahras
- Figure N°59: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Constantine
- Figure N°60: Evolution de l'ETP mesurée (mm) à la station de Tébessa
- Figure N°61: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Pont Bouchet
- Figure N°62: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Guelma
- Figure N°63: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Souk Ahras
- Figure N°64: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Constantine
- Figure N°65: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station d' Oum El Bouaghi
- Figure N°66: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des différentes formules à la station de Tébessa
- Figure N°67: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Pont Bouchet
- Figure N°68: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Guelma
- Figure N°69: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Souk Ahras
- Figure N°70: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Constantine
- Figure N°71: Evolution de l'ETP (mm) à l'aide des formules de : Turc, Penman, Penman FAO et ANRH à la station de Tébessa

- Carte n°01: Situation géographique du bassin versant de la Seybouse.
- Carte n°02: Situation géographique du bassin versant de Oued Mellegue.
- Carte n°03: Carte hypsométrique du bassin versant de Oued Mellegue.
- Carte n°04: Réseau hydrographique du bassin versant de la Seybouse.
- Carte n°05: Réseau hydrographique du bassin versant de Oued Mellegue.
- Carte n°06: Carte géologique du bassin versant de la Seybouse.
- Carte n°07: Carte géologique du bassin versant de la Oued Mellegue.
- Carte n°08: Carte de la couverture végétale du bassin versant de la Seybouse.
- Carte n°09: Carte de la couverture végétale du bassin versant de Oued Mellegue.
- Carte n°10 : Equipement pluviométrique du bassin versant de la Seybouse.
- Carte n°11 : Equipement pluviométrique du bassin versant de Oued Mellegue.
- Carte n°12 : Carte du coefficient pluviométrique du bassin versant de la Seybouse.
- Carte n°13 : Carte du coefficient pluviométrique du bassin versant de Oued Mellegue.
- Carte n°14 : Carte des isohyètes du bassin versant de la Seybouse.

Carte n°15 : Carte des isohyètes du bassin versant de Oued Mellegue.
Carte n°16 : Réseau du Thiessen du bassin versant de la Seybouse.
Carte n°17 : Réseau du Thiessen du bassin versant de Oued Mellegue.
Carte n°18 : Carte pluviométrique annuelle du bassin versant de la Seybouse et de Oued Mellegue période 1922-1960- 1969-1989 selon l'ANRH.

Annexe 1: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Janvier.
Annexe 2: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Février.
Annexe 3: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Mars.
Annexe 4: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Avril.
Annexe 5: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Mai.
Annexe 6: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Juin.
Annexe 7: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Juillet.
Annexe 8: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Août.
Annexe 9: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Septembre.
Annexe 10: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Octobre.
Annexe 11: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Novembre.
Annexe 12: Carte de l'ETP selon la foemule de Penman FAO pour le moi de Décembre.
Annexe 13: Carte du coefficient K le moi de Janvier.
Annexe 14: Carte du coefficient K le moi de Février.
Annexe 15: Carte du coefficient K le moi de Mars.
Annexe 16: Carte du coefficient K le moi de Avril.
Annexe 17: Carte du coefficient K le moi de Mai.
Annexe 18: Carte du coefficient K le moi de Juin.
Annexe 19: Carte du coefficient K le moi de Juillet.
Annexe 20: Carte du coefficient K le moi de Août.
Annexe 21: Carte du coefficient K le moi de Septembre.
Annexe 22: Carte du coefficient K le moi de Octobre.
Annexe 23: Carte du coefficient K le moi de Novembre.
Annexe 24: Carte du coefficient K le moi de Décembre.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME. (1991). Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. *Edit : Ministère de l'agriculture. Cemagref. France, 441p.*
- ANRH. (2002). Notice explicative de la carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie. *Edit : Agence nationale des ressources hydrauliques. Alger, 42 p.*
- ARLERY, R. (1973). Climatologie méthode et pratique. *Edit : Louis Jean .Paris, 432 p.*
- BOUCHET, P. (1964). Evaporation réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. *Edit : I.N.R.A .Paris, 165 p.*
- CALVET, R. (1988). Etude sur les transfères d'eau dans le système sol-plante-atmosphère. *Edit: INRA. Paris, 362P.*
- C.T.G.R.E.F. Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. *Edit : Ministère de l'agriculture. CTGREff. France, 204p.*
- DEBIECHE,T,H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote, et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle- Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien, thèse de Doctorat. Laboratoire de géologie appliquée et structurele, *Univ. Franche-comte, Besançon. France, 199 p.*
- DJABRI, L. Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat *Dép. Science de la terre, Univ. Annaba.*
- DOCROC, M. (1987). Les bases d'irrigation. *Edit : Presse scientifique universitaire. Paris, 90 p.*
- DOORENBOS, J. KASSAM, A. (1987). Réponse des rendements à l'eau. *Edit : F.A.O Rome*
- DOORENBOS, J et Pruitt,W,O . (1975). Les besoins en eau des cultures. *Edit : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 196 p.*

EERRA, B. (1979). Cours d'hydrologie de surface (Première partie). *Edit : INA El-Harrach. Alger, 153 p.*

GAUME, E. (2002). Hydrologie de versants et de bassins versants et modélisation pluie-débit, *Edit : Ecole nationale des ponts et chaussées, France, 71 p*

GHACHI, A. (1982). Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. *Edit : Office des publications universitaires. Alger, 330 p.*

GUIDOUM, A. (2004). Etude hydrologique du bassin versant de l'oued Chemorah a la station de Chemorah. Mémoire de Magister *Dép. Hydraulique, Univ. Batna, 217 p.*

HALIMI, A. (1980). L'Atlas Blidéen, Climat et étages végétaux. *Edit : Office des publications universitaire. Alger, 523 p.*

HAMIDA, M. (2004). Capacité de rétention et bilan hydrique des sols des zones semi aride de la wilaya de Batna. Mémoire de Magister *Dép. Hydraulique, Univ. Batna, 83 p.*

ITF de Batna (1987): Hydrologie- calcul de l'évapotranspiration par la méthode de Turc. *Edit: institut de technologie forestière. Batna*

ITF de Batna (1987): Hydrologie- calcul de l'évapotranspiration par la méthode de Blanney-Cridle *.Edit: institut de technologie forestière. Batna*

MUSY, A. (2001). Hydrologie générale. *Edit : Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 330 p.*

REMENIERAS, G. l'hydrologie de l'ingénieur. *Edit : Collection de la direction des études et recherche d'électricité. France, 266 p.*

SOLTNER, D. (2000). Les bases de la production végétale, tome 1. *Edit: scientifique universitaire. Paris, 236p.*

Site internet: www.hydrologie.org

Site internet : www.Cemagref.fr

Carte topographique d'Algérie –Annaba-, Echelle : 1/200 000

Carte topographique Tébessa, Echelle : 1/200 000

Carte topographique Tébessa, Echelle : 1/50 000

Carte topographique Souk Ahras, Echelle : 1/50 000

Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, Echelle : 1/500 000

Carte géologique de l'Algérie du Nord, Echelle : 1/500 000

Carte géologique de l'Algérie -Souk Ahras-, Echelle : 1/200 000





