

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



**Université Kasdi Merbah Ouargla**



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de :génie civile et hydraulique**

C:.....

R :.....

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de  
Master, Filière: hydraulique  
Spécialité : ressources hydrique**

**Thème**

**Etablissement d'outils de calcul de l'évaporation des  
plans d'eau (barrages et retenues collinaires) en  
absence des données.**

**Présenté par :**

- ❖ HADJI Hadjer
- ❖ BELHOCINE Chaima

**Soumis au jury composé de :**

<b>Saggai Sofiane</b>	<b>MCA</b>	<b>UKM ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>Bouamrane Ali</b>	<b>MCB</b>	<b>UKM ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>Boutoutaou Djamel</b>	<b>Professeur</b>	<b>UKM ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

**Année Universitaire: 2020 / 2021**

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions الله de nos avoir donné la force, la volonté et le courage pour terminer notre travail de fin d'études.

- A terme de ce modeste travail, je voudrai remercier en premier lieu monsieur **BOUTOUTAOU DJAMEL** , professeur au département d'hydraulique de l'université de ouargla, d'avoir accepter de diriger ce travail. Ses conseils ainsi que sa gentillesse nous a permis de mener à bien ce travail.
- Les enseignants de département génie civile et hydraulique.
- Tous les camarades de la promotion Master hydraulique 2020/2021.
- Toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribué à laréalisation de ce mémoire.
- Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nosfamilles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participer de réaliser ce mémoire.

## Sommaire

<b>Titre</b>	<b>page</b>
Remerciement.....	I
Sommaire.....	II
Liste des figures.....	IV
Liste de tableau.....	VI
Résumé .....	V.
Introduction générale.....	1

### **Chapitre I :situation géographique et aperçu climatique d'Algérie**

I.1.introduction.....	2
I.2. Situation géographique.....	2
I.3 Aperçu climatique.....	4
I.3.A. la zone A.....	5
I.3.B.la zone B.....	6
I.3.C. la zone B'.....	6
I.3.D. la zone C.....	6
I.3.E.la zone D1.....	7
I.3.F. la zone D2.....	7
I.3.G. la zoneD3.....	8
I.4 Végétation.....	9

### **Chapitre II : EVAPORATION DU PLAN D'EAU ET METHODES D'EVALUATION**

II.1 Evaporation du plan d'eau.....	11
-------------------------------------	----

II.2 Méthode de détermination de l'évaporation du plan d'eau.....	11
II.2.1 Méthode indirecte.....	11
II.2.1.A.Méthode du bilan hydrique.....	11
II.2.1.B.Méthode du bilan énergétique des étendues d'eau (cas d'une retenue).....	12
II.2.1.C.Méthode hydrométéorologique.....	14
II.2.2 Méthode directe.....	15

### **CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES**

3.1 Matériels.....	16
3.2 Méthode.....	21

### **CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION**

- Exemple de calcul de l'évaporation du plan d'eau à Béchar (par les deux méthodes).....	35
- Conclusion.....	37
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>38</b>
<b>Référence.....</b>	<b>39</b>

## Liste de figures

N	Titre	Page
	<b>Chapitre 1</b>	
1.1	Carte de l'Algérie	3
1.2	carte de régions climatiques des 4 zones.	5
1.3	schéma des températures max et min plus les précipitations de la station du port d'Alger.	5
1.4	schéma des températures max et min plus les précipitations de la station de Chleff.	6
1.5	carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Djelfa	7
1.6	Carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Ghardaïa	7
1.7	carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Adrar	8
1.8	carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Tamanrasset	8
	<b>Chapitre 2</b>	
2.1	Retenue d'un barrage	12
2.2	Bacs d'évaporation Classe « A » et Colorado	15
	<b>Chapitre 4</b>	
4.1	Moyenne des températures de l'air (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.	24
4.2	Moyenne des humidités de l'air (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.	24
4.3	Moyenne des humidités de l'air (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques	25
4.4	Evaporation du plan d'eau (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.	25
4.5	Relation entre l'évaporation du plan d'eau E,mm et la température de l'air t,°C	26
4.6	Relation entre l'évaporation du plan d'eau E,mm et l'humidité de l'air	27

	H,%	
4.7	Relation entre l'évaporation du plan d'eau E,mm et la vitesse du vent V,m/s	27
4.8	Relation entre $\delta_i$ et $\lambda$ . Station Alger (zone côtière)	29
4.9	Relation entre $\delta_i$ et $\lambda$ . Station Constantine (Haut plateau).	30
4.10	Relation entre $\delta_i$ et $\lambda_i$ . Station Bordj Badji Mokhtar (Sahara)	30
4.11	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Jijel)	32
4.12	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Alger)	32
4.13	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Annaba)	33
4.14	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Boussaâda)	33
4.15	Comparaison de l'évaporation calculée par les deux modèles (Station Souk ahras)	34
4.16	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Saida)	34
4.17	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Timimoune)	34
4.18	Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Adrar)	35
4.19	Comparaison de l'évaporation calculée par les deux modèles (Station Ouargla)	35
4.20	Comparaison entre l'évaporation calculée par la formule de Boutoutaou et le modèle prposé	37

## Liste de tableau

N	Titre	Page
	<b>Chapitre 2</b>	
2.1	Eléments du bilan hydrique de la retenue	12
	<b>Chapitre 3</b>	
3.1	Liste des stations météorologiques et leurs coordonnées géographiques	16
3.2	Données de la température de l'air $t, ^\circ\text{C}$ (ONM -1992-2003)	17
3.3	Données de l'humidité de l'air $H, \%$ (ONM - 1992-2003)	17
3.4	Données de la vitesse du vent $V, \text{m/s}$ ( ONM- 1992-2003)	17
3.5	Calcul de l'évaporation dans la zone humide (Annaba)	18
3.6	Calcul de l'évaporation dans la zone semi-aride (Batna)	18
3.7	Evaporation du plan d'eau $E, \text{mm}$ en Algérie	19
3.8	Calcul de $\lambda_i$ et $\delta_i$ de la station météorologique de Ain Bessam	23
	<b>Chapitre 4</b>	
4.1	Calcul de $\lambda_i$ et $\delta_i$ de la station météorologique de Ain Bessam	29
4.2	Valeurs des paramètres $a$ et $b$ dans les deux zones géographiques de l'Algérie.	31
4.3	Calcul de l'évaporation du plan d'eau à Béchar par la formule de boutoutaou (2-5)	36
4.4	Calcul de l'évaporation du plan d'eau $E, \text{mm}$ par le modèle (4-5) à Béchar	37

## Résumé

**ملخص:** تعتبر قيمة تبخر المياه من البيانات الأساسية لتحديد التوازن المائي للبحيرات والسدود والخزانات. بشكل عام ، يتم تقييم تبخر المسطحات المائية إما من بيانات المراقبة من حوض التبخر (حوض كولورادو وحوض الصنف A) من محطات الأرصاد الجوية ، أو عن طريق القياس مع سدود الخزانات الأخرى التي تتوفر لها هذه البيانات في الحالات المتكررة ، يصبح تقييم تبخر المسطحات المائية مستحيلًا بتطبيق الطريقتين المذكورتين بسبب قلة عدد محطات الطقس أو عدم وجود صواني التبخر بين معداتها. يمكن أن يؤدي تطبيق القياس على سدود الخزانات الأخرى إلى أخطاء جسيمة من أجل القضاء على صعوبة تحديد تبخر المياه ، التي غالبًا ما يواجهها المهندسون ومشغلو السدود ، فإن تطوير طريقة حساب بسيطة تحاكي ظاهرة التبخر أمر ضروري.

**الكلمات المفتاحية:** التبخر ، المسطح المائي ، عناصر الأرصاد الجوية ، الجزائر

**Résumé :** La valeur de l'évaporation de l'eau est une donnée clé pour établir le bilan hydrique des lacs et barrages-réservoirs.

En général, l'évaporation des plans d'eau est évaluée soit à partir des données d'observation du bac d'évaporation (bac Colorado et bac de classe A) des stations météorologiques, soit par analogie avec d'autres barrages réservoirs pour lesquels ces données sont disponibles

Dans des cas fréquents, l'évaluation de l'évaporation des masses d'eau devient impossible en appliquant les deux méthodes mentionnées à cause du nombre réduit de stations météorologiques ou de l'absence de bacs d'évaporation parmi leur équipement. L'application de l'analogie avec d'autres barrages réservoirs peut conduire à des erreurs considérables

Afin d'éliminer la difficulté de déterminer l'évaporation de l'eau, souvent rencontrée par les ingénieurs et exploitants de barrages-réservoirs, le développement d'une méthode de calcul simple simulant le phénomène d'évaporation est essentiel.

**Mots-clés:** évaporation, plan d'eau, éléments météorologiques, Algérie



**Abstract:** The value of water evaporation is a key data to establish the water balance of lakes and dams -reservoirs.

In general, the evaporation of water bodies is evaluated either from observation data from the evaporation pan (Colorado pan and class A pan) from meteorological stations, or by analogy with other reservoir dams for which these data are available

In frequent cases, the evaluation of the evaporation of water bodies becomes impossible by applying the two methods mentioned because of the reduced number of weather stations or the absence of evaporation trays among their equipment. Applying the analogy to other reservoir dams can lead to considerable errors

In order to eliminate the difficulty of determining water evaporation, often encountered by engineers and reservoir dam operators, the development of a simple calculation method simulating the phenomenon of evaporation is essential.

**Keywords:** evaporation, body of water, meteorological elements, Algeria

## **Introduction générale :**

La valeur de l'évaporation de l'eau n'apparaît pas souvent dans les bulletins et atlas climatologiques, publiés chaque année par l'Office national de météorologie.

En hydrologie, l'évaporation présente un intérêt pratique évident [15], car elle est responsable des pertes de volumes d'eau (barrages, lacs etc.), parfois très importants dans les zones arides et semi-arides.

L'établissement du bilan hydrique d'un barrage réservoir ou d'un lac nécessite la connaissance de la valeur de l'évaporation [4, 5, 20].

La valeur de l'évaporation est également très nécessaire pour la conception des ouvrages d'irrigation [11] et des lagunes dans le traitement des eaux usées.

En Algérie, la mesure de l'évaporation est confiée aux services de l'Office National de Météorologie (ONM) et aux services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Faute de donnée, la valeur de l'évaporation des plans d'eau est évaluée soit à partir des données d'observation du bac d'évaporation (bac Colorado et bac de classe A) des stations météorologiques, soit par analogie avec d'autres barrages réservoirs pour lesquels ces données sont disponibles [2].

L'erreur liée à l'évaluation par analogie, peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du plan d'eau analogue).

Quant aux stations météorologiques (bacs d'évaporation), qui offrent de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et ne couvrent que quelques régions du pays.

Plusieurs auteurs proposent des modèles ou des formules pour calculer l'évaporation de la surface de l'eau en fonction de différents paramètres météorologiques [7, 13, 16, 17].

Cependant, il est à noter que généralement l'extrapolation de ces formules à d'autres régions dont les conditions climatiques sont totalement différentes de celles où elles ont été développées peut conduire à des valeurs aberrantes.

Dans cette étude, nous proposons l'application d'une formule simple reliant l'évaporation du plan d'eau à la température de l'air qui est toujours disponible et facilement accessible.

**CHAPITRE I**

**SITUATION GEOGRAPHIQUE ET**

**APERCU CLIMATIQUE DE**

**L'ALGERIE**

# Chapitre I

## I.1.Introduction

Le premier chapitre aborde dans un premier temps une présentation du site d'étude, avec un aperçu physico-géographique et climatique. Les caractéristiques physiques et géographiques présentées dans ce chapitre sont la situation de la région d'étude, la végétation, et Le climat de cette région est présenté par quelques paramètres .

## I.2Situation géographique

L'Algérie s'étend de l'Est à l'Ouest sur la côte septentrionale de l'Afrique avec une superficie de 2 381 741 de km<sup>2</sup>, dont le quatre cinquième est occupée par le Sahara (Assaba,2004). Elle est bornée au Nord par la Méditerranée, qui la sépare de l'Espagne et de la France; à l'Est, par la Tunisie; à l'Ouest, par le Maroc, et au Sud par le grand Atlas (figure 1.1) elle forme avec la Tunisie et le Maroc une seule région naturelle dans l'ensemble, si l'on y ajoute le Nord de la Libye, constitue les anciens Etats Barbaresques.

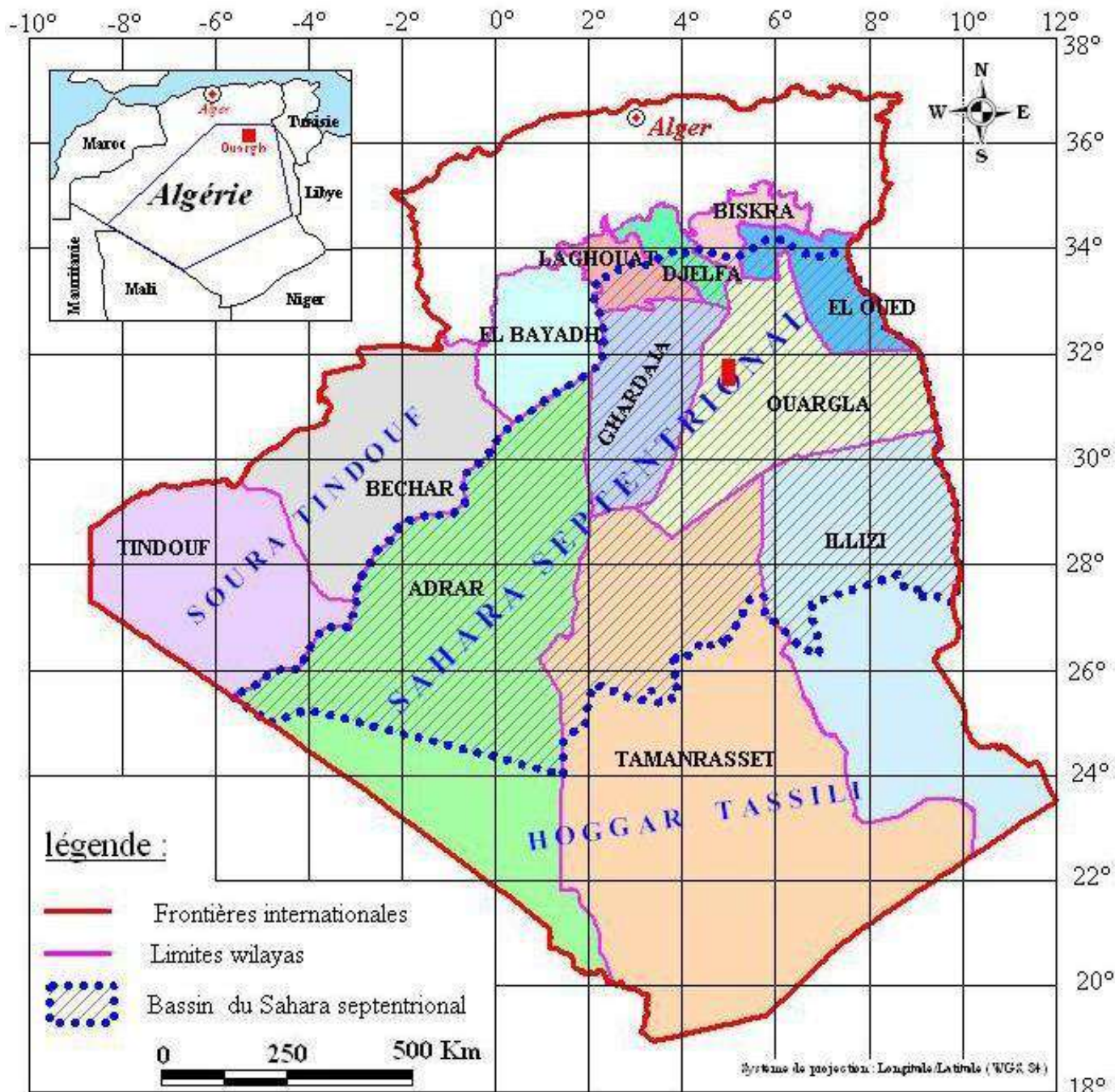


Figure 1.1 Carte de l'Algérie

La partie du littoral s'étend sur 1200Km environ. L'Atlas Tellien commence par les hauteurs du djebel Tessala (1061m) qui limite au Nord la plaine de Sidi Bel Abbas, suivipar les djebels Daya (1417m) et Saïda (1288m), Frenda (1132m), El Ouencheriss (1985m), Dahra (1071m) et Zekkar (1579m). A l'Est du djebel Zekkar débute une série de montagnes constituée par l'Atlas de la Mitidja (1972m), à l'Est de celui-ci, on trouve les hauteurs de la Kabylie (Djurdjura, 2328m). L'Atlas Tellien est également composé par les plaines du littoral et tels que : la plaine d'Oran, Mitidja et Annaba, et des plaines intérieures : la plaine de Tlemcen, de Sidi Bel Abbas et Sebaou.

Les hauts plateaux s'étendent sur 700K environ. Ils s'étalent d'Ouest en Est, les hauteurs

varient de 1000 à 1200m. Parmi ces djebels, on cite ceux de Tlemcen (1142m). Les hauts plateaux se rétrécissent à l'Est du fait de leur proximité de l'Atlas Tellien. L'altitude diminue jusqu'à 400m au niveau du chott El Hodna.

L'Atlas Saharien est considéré comme la limite naturelle entre le Nord et le Sud sur une distance de 700Km environ. Il est constitué par une série de montagnes discontinues, à l'Ouest on trouve djebels Ksour (1980m), Amour (1683m) et Ouled Naïl (1500m), à l'Est on trouve El Aouress(2328m).

Le point culminant de l'Algérie est situé dans le Hoggar au point de Tahat à 2918 m d'altitude. Le massif des Eglab à l'Ouest et celui du Hoggar à l'Est, forment pratiquement les limites septentrionales du Sahara Algérien.

La majorité de la population est concentrée dans la partie septentrionale du territoire, large seulement de 200 Km où le climat méditerranéen est plus clément et plus favorable aux activités humaines.(AssabaM.,2004).

### **I.3 Aperçu climatique :**

Le climat de l'Algérie est essentiellement méditerranéen, c'est-à-dire caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers pluvieux. Mais sous ce qualificatif général, on est appelé à distinguer une grande diversité de climats régionaux, déterminés par la situation géographique et par l'orographie de l'Algérie. Celle-ci est bordée au Nord par la Méditerranée, relativement chaude en été, relativement froide en hiver, au Sud par le Sahara où la température est élevée en moyenne, mais très variable dans le temps ; il en résulte pour les différentes parties de l'Algérie, soumise à ces deux influences, des écarts de température considérables, et essentiellement variables d'une saison à l'autre.

Les importantes chaînes de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien qui traversent le pays d'ouest en Est contribuent pour leur part à différencier les climats en abaissant la température de l'air, et en augmentant les précipitations aux dépens des régions situées plus au Sud. Cette diversité des climats régionaux et locaux entraîne la bigarrure de la carte agricole de l'Algérie.

On définit pour l'Algérie les régions ou les zones climatiques suivantes (figure 1.2) :

- 4 zones climatiques et une sous zone au Nord.
- 3 zones climatiques au Sud. Pour chaque zone, on distingue les sites d'altitude inférieure à 500 m, comprise entre 500 et 1000 m et supérieure à 1000m.

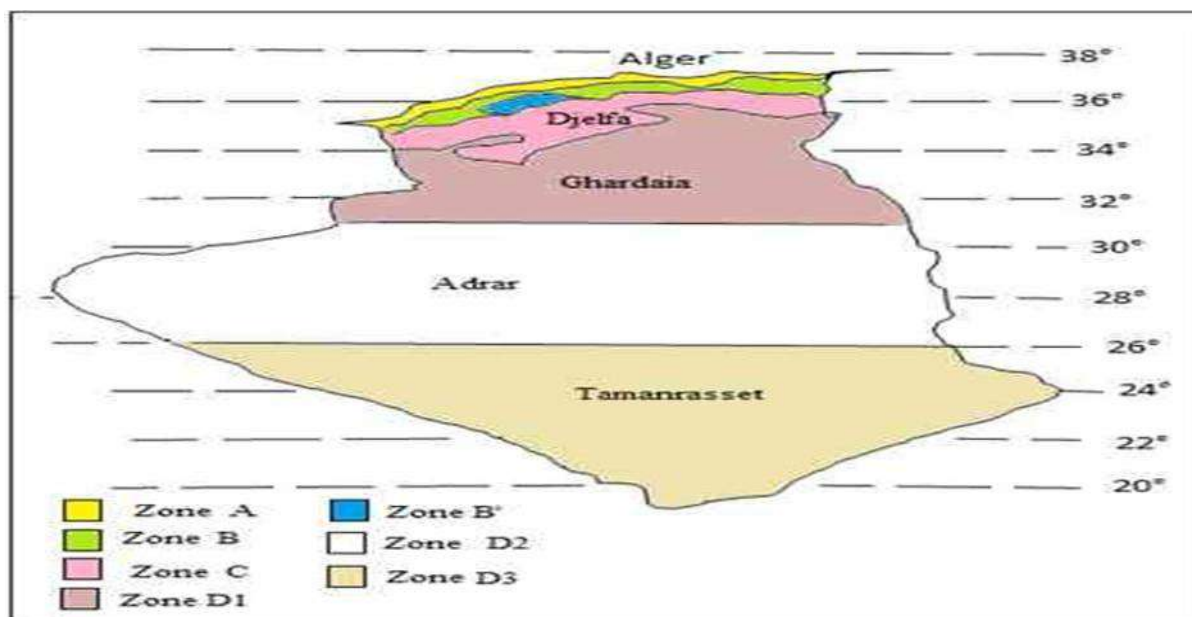


Figure 1. 2: carte de régions climatiques des 4 zones.

**I.3.A.La zone A :** Elle comprend le littoral et une partie du versant Nord des chaînes côtières (climat méditerranéen maritime). Cette zone bénéficie d'un climat doux et régulier, dû à l'influence modératrice de la mer.

Les températures moyennes y sont sensiblement les mêmes de l'Ouest à l'Est, et en un point donné la température varie relativement peu entre le jour et la nuit comme entre l'hiver et l'été comme le décrit la figure 1.3.

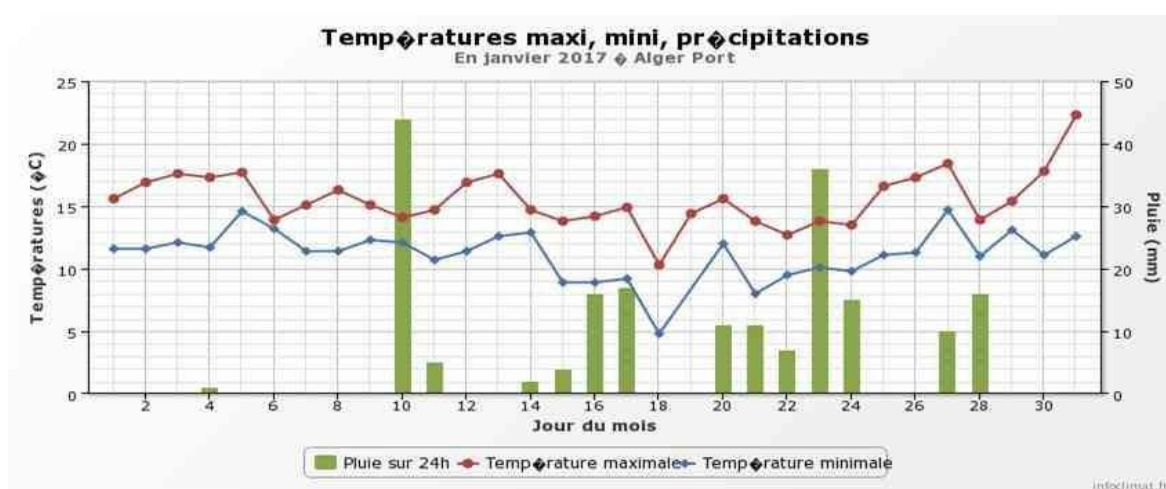


Figure 1.3: schéma des températures max et min plus les précipitations de la station du port d'Alger.

**I.3.B.La zone B** : Elle comprend la plaine et les vallées comprises entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien, autre que celle de Chleff (climat méditerranéen continental).

La plaine du Chélif peut être considérée comme "une zone climatique un peu particulière" de l'Algérie, par les écarts de température considérables que l'on y rencontre. Distante de la mer de moins de 50 km., elle est cependant soustraite à l'influence maritime par la chaîne du Dahra qui la borde au Nord. L'important massif de l'Ouarsenis qui la domine au Sud augmente les effets du sirocco, les masses d'air transportées des Hautes Plaines s'échauffant en même temps qu'elles s'abaissent vers la plaine du Chélif. Enfin on trouve confirmée ici la loi générale suivant laquelle toute forme concave du terrain - vallée, cuvette - entraîne de fortes variations de température comme on le constate sur le schéma de la figure 1.4.

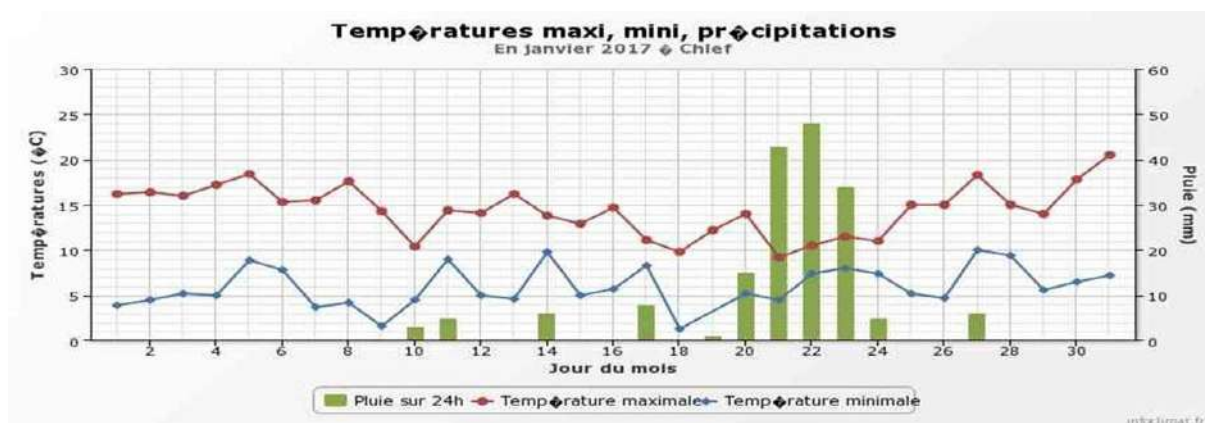


Figure 1.4: schéma des températures max et min plus les précipitations de la station de Chleff.

**I.3.C.La zone B'** : C'est une sous-zone de la zone B. Elle comprend la vallée de Chleff, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dahra et des Braz.

**I.3.D.La zone C** : Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, avec des altitudes supérieures à 500 m (climat méditerranéen de montagne) comme en témoigne la figure 1.5.



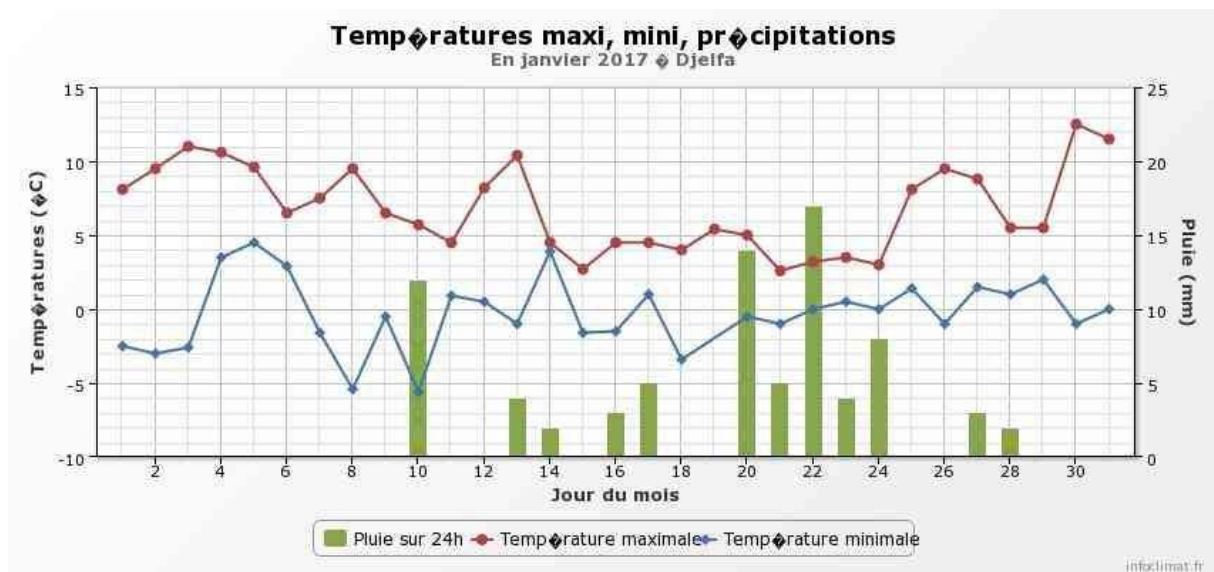


Figure 1.5 carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Djelfa.

**I.3.E.La zone D1** : Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°. Au-delà de l'Atlas saharien, on observe les mêmes fortes amplitudes thermiques, mais des températures plus élevées dues à la moindre altitude et aussi à la latitude plus basse : Touggourt est un exemple typique du climat nord-saharien, avec des maxima absolus voisins de 50°, alors que dans l'Algérie septentrionale ceux-ci dépassent rarement le 45°. La faible humidité atmosphérique permet un rayonnement intense, et les nuits peuvent être très fraîches (figure 1.6) -

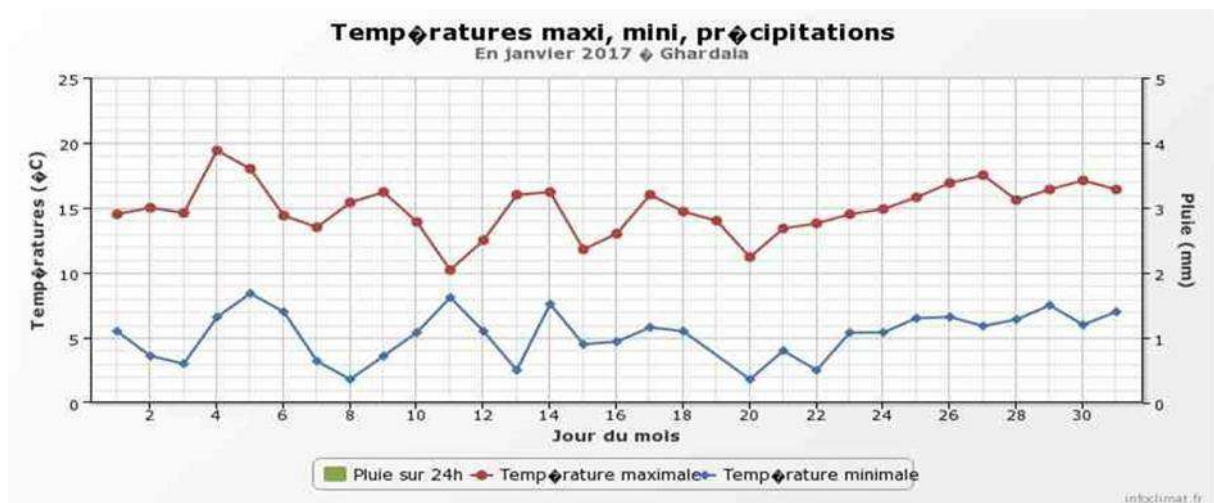


Figure 1.6 Carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Ghardaïa.

**I.3.F.La zone D2** : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°. Figure 1.7.

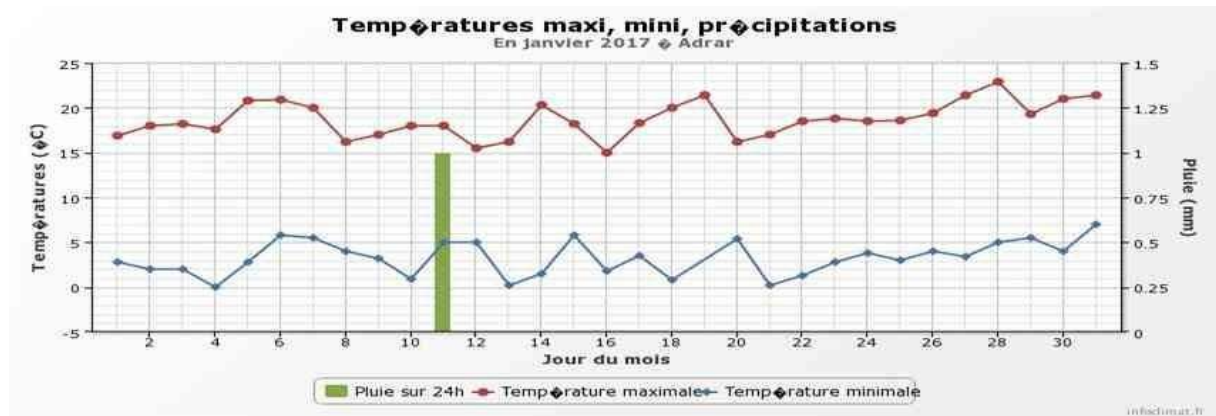


Figure 1.7: carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Adrar.

**I.3.G.La zone D3**: Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud. Nous en sommes nettement édifié par le contenu de la figure 1.8.

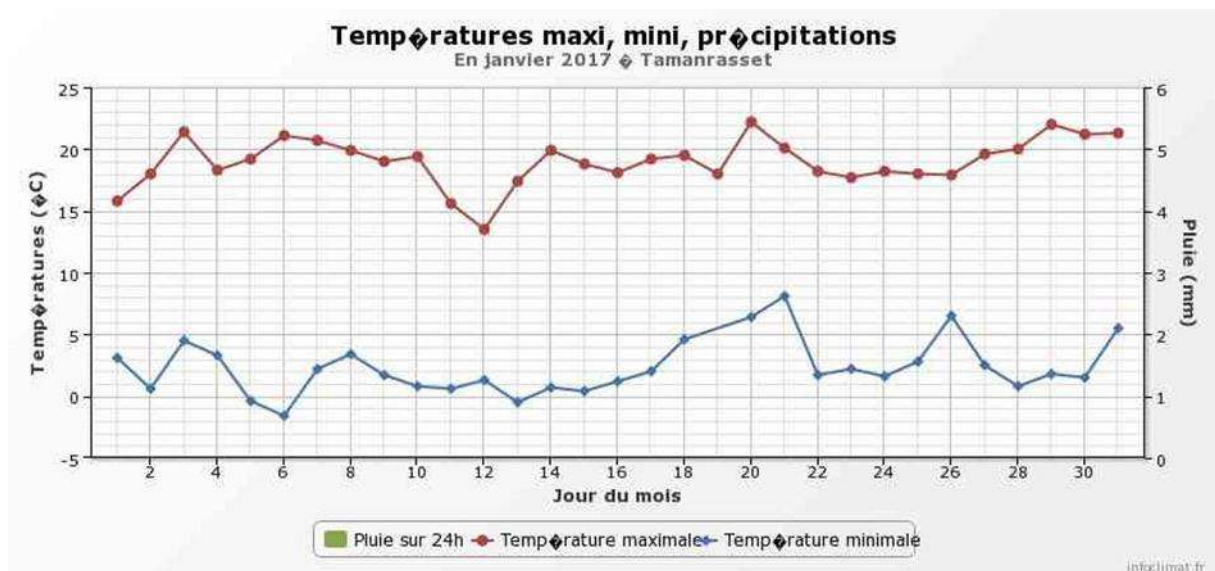


Figure 1.8: carte des températures max et min plus les précipitations de la station de Tamanrasset.

## **I.4 Végétation :**

Dans une optique hydrologique, le couvert végétal d'un bassin versant agit sur le ruissellement. La nature du sol et la couverture végétale complètent les caractéristiques physiographiques et celles du réseau hydrographique des bassins versants (Anctil .F et all.,2012). Pour l'hydrologie, le milieu montagneux est capital car il concentre plus de la moitié de la ressource en eau douce de la planète (Klemes,1988;Rodda,1994;Weingartner et al.,2003),

Quoique n'étant plus aussi boisé qu'autrefois, le Tell est encore riche en forêts, puisque celles-ci couvrent le dixième de sa superficie. L'Est est bien boisé dans toutes ses parties montagneuses. Son littoral même est garni de belles forêts, telles que celles de Collo, de Skikda, d'Annaba et d'ElKala. A mesure qu'on monte vers la chaîne Tellienne, on trouve le pays plus boisé, et l'un des plus grandes masses forestières d'Algérie, celui des environs de Batna.

Un certain nombre de forêts du Tell sont formées d'essences mêlées, mais beaucoup d'autres ne sont composées que d'une seule essence. Les principaux arbres qu'on rencontre dans les forêts sont: le chêne-liège, très abondant dans l'Est; le chêne vert ou yeuse, qui forme des massifs considérables dans la partie Sud du Tell; le chêne zéen; le chêne à glands doux; le chêne à feuilles de châtaignier; le cèdre, qui peuple des forêts entières dans le Sud de la région centrale du Tell, aux environs de Batna, sur divers points de l'Aurès, dans le Djurdjura, et principalement à Constantine; le pin d'Alep, très répandu dans tout le Tell; le thuya articulé, assez commun à l'Ouest et à l'Est; l'olivier sauvage qui forme des forêts aux environs d'Annaba; l'orme et le frêne, assez peu répandus. Des broussailles de lentisques, d'arbousiers, de jujubiers, etc., couvrent des espaces considérables.

A côté des forêts, il faut mentionner les plantations d'eucalyptus. Le Tell est, par excellence, la terre propre à la production des céréales. La moisson a lieu dès la seconde quinzaine de mai. L'orge joue un rôle dans l'agriculture du Tell. Diverses espèces de sorgho ou bechna fournissent des graines très nourrissantes et des tiges qu'on utilise comme fourrage. Dans toute la région du Tell, il y a des vignes d'excellente qualité. Les vendanges ont lieu d'août à septembre. Sur tout le littoral, la

culture maraîchère est très développée; elle fournit des primeurs en artichauts, petits pois, haricots verts, choux fleurs, asperges, oignons, tomates, melons, pastèques, etc. Les fèves, les haricots, les lentilles couvrent de vastes espaces. La pomme de terre donne deux récoltes par an. Quant aux betteraves, aux carottes, aux patates, elles ne sont cultivées que dans les jardins. La culture du cotonnier réussit particulièrement sur les terres légèrement salées des plaines du littoral.

Tous les arbres fruitiers de l'Europe centrale et méridionale sont admirablement acclimatés dans le Tell. Cette terre est, en outre, très apte à la culture des orangers et des citronniers. Le figuier est une des grandes ressources de tout le littoral, surtout de la Kabylie; les fruits du figuier de Barbarie sont également appréciés. Les jujubiers, caroubiers, arbousiers, pistachiers, sont abondants dans tout le Tell. Le grenadier est cultivé dans les jardins. Le Tell a de bonnes prairies naturelles formées de Graminées, de Légumineuses et de composées. Les prairies artificielles consistent en sainfoin excellent et en luzerne. Dans les terres bien irriguées, on peut faire de cette dernière plante huit à dix coupes par an. Le pays des hauts plateaux ne reproduit naturellement que des broussailles, mais on y a introduit deux graminées, l'alfa et les parties qui réussissent.

Les steppes occupent de vastes espaces dont les limites passent par Saida, Bogha, Sétif et Constantine qui marquent le début du domaine. Elles sont très représentées dans l'Oranie. Elles mêlent à des lambeaux de chênes verts et se développent sur des sols essentiellement calcaires. L'Alfa et l'armoise sont des espèces très caractéristiques de zones steppiques. (Assaba M., 2004)

Le Saharavite de la culture des palmiers dattiers qui couvrent les 400 oasis qui y existent, et entre autres les importantes oasis des Ziban, de l'Oued-Righ et du Souf, du Mزاب et des Oued-Sidi-Cheikh.

# **CHAPITRE II**

## **EVAPORATION DU PLAN D'EAU ET METHODES D'EVALUATION**

## Chapitre 2

### II.1 Evaporation du plan d'eau :

L'Evaporation à la surface de l'eau est le phénomène par lequel le liquide se transforme en vapeur (Bennis Saad.,2004 ). A l'échelle continentale, les continent s'évaporent une fraction de leurs précipitations allant jusqu'à 55%pour l'Amérique du Nordet l'Asie, à 75%pour le continent Africain. Cela montre à quel point ce processus est un élément fondamental du bilan hydrique de par les volumes d'eau mis en jeu mais aussi de par son influence sur la circulation climatique mondiale. Même à une échelle plus petite, l'évaporation d'un lac ou d'une retenue à l'amont jouer un rôle significatif. (André Musy)

L'Evaporation joue un rôle déterminant dans le bilan hydrologique et présente un intérêt pratique évident, puisqu'elle est responsable des pertes de volumes d'eau(des barrages, des lacs etc.) parfois considérables.(Boutoutaou).Elle est le premier processus de transfert de l'eau dans le cycle hydrologique.(Karlsson E. et Pomade L.).

### II.2 Méthode de détermination de l'évaporation du plan d'eau

#### II.2.1 Méthode indirecte

##### II.2.1.A.Méthode du bilan hydrique : cas d'une retenue d'un barrage. (figure 2.1)

La méthode du bilan hydrique est basée sur l'égalité de la recette et de la dépense du volume d'eau dans la retenue, tout en prenant en compte la variation du stockage. Tableau 2.1. L'évaporation en volume d'eau est déterminée par la relation suivante :

$$V_E = V_P + V_P + V_{ST} - V_{QS} - V_{QST} \pm \Delta V \quad (2 - 1)$$

L'estimation de l'évaporation par cette méthode du bilan est très peu employée du fait de l'imprécision et de la difficulté d'effectuer des mesures de la plupart des composants de l'équation (1), en particulier les entrées et les sorties souterraines

Tableau 2.1.- Eléments du bilan hydrique de la retenue

<i>Entrée (recette)</i>	<i>Sortie (dépense)</i>
$V_P$ - volume de pluie, reçu par la retenue, $m^3$ ; $V_{P_s}$ - volume d'eau superficiel entrant dans la retenue, $m^3$ ; $V_{ST}$ - volume d'eau souterrain entrant dans la retenue, (exfiltration), $m^3$	$V_{QS}$ - volume d'eau évacué $m^3$ $V_{QST}$ - volume d'eau souterrain sortant de la retenue (infiltration), $m^3$ ; $V_E$ - volume d'eau évaporé de la surface de la retenue, $m^3$
$\pm \Delta V$ - stockage ou déstockage subi par la retenue, $m^3$ .	



Figure 2.1.- Retenue d'un barrage.

• **II.2.1.B.Méthode du bilan énergétique des étendues d'eau (cas d'une retenue)**

Méthode souvent employée pour le calcul de l'évaporation. Elle est basée sur la loi de conservation et transformation d'énergie : la différence entre l'énergie reçue et dépensée par une étendue d'eau doit être égale à la variation de l'énergie de la masse d'eau durant un intervalle de temps donné.

La valeur absolue de l'évaporation dans le bilan énergétique est si grande, par rapport aux d'autres composants de l'équation que son évaluation devienne précise.

L'expression de l'équation du bilan énergétique est la suivante :

$$R = LE + B + C \quad (2 - 2)$$

$R$  – bilan radiatif de la surface d'eau évaporante ;

$B$  – échange turbulent entre la surface évaporante, et l'atmosphère ;

$C$  – échange d'énergie entre la surface évaporante et les couches inférieurs de l'eau ;

$LE$  – dépense d'énergie par évaporation,

$L$  – énergie spécifique de l'évaporation

$E$  – évaporation

L'expression simplifiée de l'équation (2 - 1) est de forme :

$$E = \frac{0.6150,615 \cdot 10^{-2} R - D_{S1} + D_{S2} + D_{S3}}{1.55 + \frac{D_t}{D_e}} \quad (2 - 3)$$

$R$  – bilan radiatif,  $dj/cm2$ ;

$D_{S1}$  – variation d'énergie de stockage de la masse d'eau dans un intervalle de temps

donné  $dj/cm2$ ;

$D_{S2}$  – différence entre la recette et la dépense d'énergie pour le volume d'eau reçu et

évacué par la retenue  $dj/cm2$ ;



$D_{S3}$  – échange d'énergie entre le sol et le fond de la retenue,  $dj/cm^2$ ;

$D_t$  – différence entre la température de la surface évaporante et de l'air, °C;

$D_p$  – différence des tensions de vapeur d'eau partielles existant au voisinage de la surface évaporante et dans l'air, *MB*.

Le calcul de l'évaporation par l'équation (2 – 2) du bilan énergétique nécessite l'existence de données de  $R$ ,  $D_{S1}$ ,  $D_{S2}$ ,  $D_{S3}$ ,  $D_t$ ,  $D_p$ , indisponibles par ailleurs, en Algérie.

Quoique précise, cette méthode n'a été employée que dans des études exceptionnelles.

- **II.2.1.C.Méthode hydrométéorologique**

La méthode hydrométéorologique est la méthode la plus employée pour la détermination de l'évaporation des étendues d'eau. Elle est basée sur la loi physique de Dalton. Les valeurs numériques de cette méthode sont des données standards qui sont toujours disponibles dans les atlas et les bulletins météorologiques de l'ONM. (Office National de la Météorologie). Les données concernées sont la température et l'humidité de l'air et la vitesse du vent.

Les formules basées sur la méthode hydrométéorologique sont nombreuses et à caractères empirique, c'est-à-dire, elles doivent être appliquées là où elles ont été établies.

Pour les conditions climatiques de l'Algérie, Boutoutaou (Boutoutaou 1995) propose de calculer l'évaporation du plan d'eau par les relations suivantes :

- Pour les zones humides

$$E = 0.342 \cdot n \cdot D^{0.8} (1 + 0.39V_2) \quad (2 - 4)$$

- Pour les zones semi-arides et arides

$$E = 0.342 \cdot n \cdot D^{0.8} (1 + 0.39V_2) \quad (2 - 5)$$

$n$  – nombre de jours dans le mois ;

$V$  – vitesse du vent , ( $m/s$ )

$V_2$  – vitesse u vent à une hauteur de 2 mètre, ( $m/s$ )

$D$  – déficit de saturation de l'air, ( $mb$ )

$$D = 0.063 * (100 - H)e^{(0.0632 \cdot t)} \quad (2 - 6)$$

$H$  – humidité de l'air % ;

$t$  – température de l'air,  $^{\circ}C$

Il existe d'autres méthodes de calcul de l'évaporation des plans d'eau, telles que la méthode de la diffusion turbulente. Quoique précises, ces cette méthode n'a été employée que dans des études exceptionnelles.

## II.2.2 Méthode directe

La méthode directe consiste à mesurer directement la valeur de l'évaporation à partir des bacs d'évaporations.

Le phénomène de l'évaporation à partir des bacs d'évaporation figure 2.2, lui aussi basé sur la loi du bilan hydrique, avec l'absence totale des débits souterrains et des pertes par infiltration qui sont très difficiles à estimer.



Figure 2.2.- Bacs d'évaporation Classe « A » et Colorado

L'expression simplifiée du bilan hydrique d'un bac pourra se traduire comme suit :

$$E_{bac} = \Delta H - P \quad (2-7)$$

$E_{bac}$  – évaporation du bac, mm;

$P$  – pluie tombant sur le bac, mm;

$\Delta H$  – différence de côte du plan d'eau dans le bac entre deux mesures, mm.

Le passage de l'évaporation du bac à l'évaporation du plan d'eau se fait par multiplication des résultats de mesures sur le bac par le coefficient du bac :

$$E = K \cdot E_{bac} \quad (2-8)$$

$E$  – évaporation du plan d'eau, mm ;

$K$  – coefficient du bac; ( $K = 0,7 - 0,8$ , pour le bac Class A et Colorado)

$E_{bac}$  – évaporation mesurée sur le bac, mm.

# **CHAPITRE III**

## **MATERIELS ET METHODES**

## Chapitre 3

### III.1 Matériels

Dans l'étude de l'évaporation du plan d'eau nous avons sélectionné plus de 48 stations météorologiques, réparties homogènement sur tout le territoire de l'Algérie (tableau 3.1).

Tableau 3.1 Liste des stations météorologiques et leurs coordonnées géographiques

LISTE DES STATIONS METEOROLOGIQUES ET LEURS COORDONNES GEOGRAPHIQUE									
STATION	Indicatif	Latitude (Nord)	Longitude (E/W)	Altitude (mètres)	STATION	Indicatif	Latitude (Nord)	Longitude (E/W)	Altitude (mètres)
Adrar	620	27°49	00°11W	279	Khenchela	476	35°28	07°05E	983
Adin Bessem	415	36°19	03°32E	748	Ksar Chellala	514	35°10	02°19E	800
Adin Sefra	560	32°45	00°36W	1058	-----	-----	-----	-----	-----
Algier port	369	36°46	03°06E	14	Laghouat	545	33°46	02°56E	762
Annaba	360	36°50	07°49E	3	-----	-----	-----	-----	-----
Arzew	452	35°49	00°16W	3	Maghnia	522	34°49	01°47W	427
Asselkrem	679	23°16	05°38E	2710	Mascara	506	35°36	00°18E	474
-----	-----	-----	-----	-----	Mecheria	549	33°31	00°17W	1149
Biskria	471	35°21	05°20E	460	Médéa	437	36°17	02°44E	1030
Blatna A.Sikhouna	468	35°43	06°21E	827	Meghress	443	36°20	05°21E	1737
Bouchar	571	31°38	02°15W	807	Miliana	430	36°18	02°14E	715
Boujaia aéroport	402	36°43	05°04E	2	Mostaganem ville	457	35°53	00°07E	137
Boujaia port	401	36°45	05°06E	2	M'Sila	467	35°40	04°30E	441
Bouini Abbès	602	30°08	02°10W	499	-----	-----	-----	-----	-----
Bouini Saf	518	35°18	01°21W	68	Naâma	557	33°16	00°18W	1166
Bouiskra	525	34°48	05°44E	82	-----	-----	-----	-----	-----
Bouoira	417	36°23	03°53E	555	Oran port	461	35°42	00°39W	18
Ordj B.Mokhtar	686	21°12	00°34E	397	Oran sènia	490	35°38	00°36W	90
Ordj B.Arreridj	444	36°04	04°40E	928	Oum El Bouaghi	421	35°52	07°07E	889
Ousaâda	515	35°20	04°12E	459	Ouargla	580	31°55	05°24E	139
Ouharoun	377	36°40	02°57E	3	-----	-----	-----	-----	-----
Ouchegouf	405	36°30	07°43	111	Saïda	536	34°52	00°09E	750
-----	-----	-----	-----	-----	Sétif	445	36°11	05°15E	1033
Hlef	425	36°13	01°20E	143	Sidi Bel Abbès	520	35°12	00°37W	475
Constantine	419	36°17	06°37E	694	Skikda	355	36°53	06°54E	1
-----	-----	-----	-----	-----	Souk Ahras	423	36°17	07°58E	680
Or El Beïda	390	36°41	03°13E	25	-----	-----	-----	-----	-----
Ellyss Afir	387	36°55	03°57E	5	Tamanrasset aéro.	680	22°49	05°27E	1362
Janet	670	24°16	09°28E	970	Tamanrasset ville	681	22°48	05°31E	1377
Jelfa	535	34°20	03°23E	1180	Tebessa	475	35°25	08°07E	820
-----	-----	-----	-----	-----	Ténès	410	36°30	01°20E	17
Bayadh	550	33°40	01°00E	1341	Tiaret	511	35°21	01°28E	977
Golea	590	30°34	02°52E	397	Timimoun	607	29°15	00°17E	312
Kala	367	36°54	08°27E	11	Tindouf	656	27°42	08°10W	443
Kheiter	540	34°09	00°04E	1000	Tizi Ouzou	395	36°42	04°03E	188
Oued Guemar	559	33°30	06°47E	64	Touggourt	555	33°07	06°08E	85
-----	-----	-----	-----	-----	Tlemcen Saf Saf	530	34°57	01°17W	592
hardaïa	566	32°24	03°48E	468	Tlemcen zenata	531	35°01	01°27W	210
hazaouet	517	35°06	01°52W	4	-----	-----	-----	-----	-----
uelma	403	36°28	07°28E	227	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
assi Messaoud	581	31°40	06°09E	142	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
izi	640	26°30	08°25E	543	-----	-----	-----	-----	-----
Amenas	611	28°03	09°38E	561	-----	-----	-----	-----	-----
Guezam	690	19°34	05°46E	401	-----	-----	-----	-----	-----
Salah	630	27°14	02°30E	268	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
jel aéroport	351	36°48	05°53E	8	-----	-----	-----	-----	-----
jel Djendjen	353	36°49	05°53E	15	-----	-----	-----	-----	-----

Les éléments météorologiques utilisées sont essentiellement ceux qui agissent sur l'évaporation à savoir ; la température de l'air, l'humidité de l'air et la vitesse du vent. La période d'observation de ces éléments est située entre 1990 et 2003.

Nous présentons ci-dessous les données de mesure de la température de l'air (tableau 3.2), de l'humidité de l'air (tableau 3.3) et de la vitesse du vent (tableau 3.4) de quelques stations météorologiques appartenant à l'Office national de la Météorologie (ONM).

Tableau 3.2 Données de la température de l'air  $t$ , °C (ONM -1992-2003)

Station Météorologique	Mois											
	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	juin	juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Alger</b>	11.0	11.2	13.3	14.7	19.0	22.3	25.0	26.2	23.3	19.6	15.1	12.3
<b>Ain Bessem</b>	8.4	9.4	12.1	14.2	19.9	24.6	28.3	28.6	22.9	18.3	12.8	9.6
<b>Adrar</b>	12.8	16.1	20.5	24.7	29.8	34.8	37.9	37.0	33.1	25.5	19.1	14.3
<b>Ain Sefra</b>	6.9	9.1	12.6	15.8	21.2	26.4	30.3	29.1	24.0	17.9	12.0	8.4
<b>Annaba</b>	11.3	11.5	13.5	15.1	19.0	22.5	24.8	26.2	23.5	20.1	15.5	12.7

Tableau 3.3 Données de l'humidité de l'air  $H$ , % (ONM - 1992-2003)

Station Météorologique	Mois											
	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	juin	juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Alger</b>	77	79	76	73	74	69	69	68	69	72	77	78
<b>Ain Bessem</b>	70	66	61	55	49	41	35	37	52	58	68	71
<b>Adrar</b>	38	28	20	16	15	12	10	12	18	27	32	39
<b>Ain Sefra</b>	60	52	48	42	36	30	25	28	38	47	56	61
<b>Annaba</b>	77	74	74	71	75	72	70	71	71	73	74	77

Tableau 3.4 Données de la vitesse du vent  $V$ , m/s (ONM- 1992-2003)

Station Météorologique	Mois											
	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	juin	juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Alger</b>	2.2	2.1	2.2	2.7	2.5	2.9	2.6	2.4	2.5	2.1	2.4	2.5
<b>Ain Bessem</b>	3.0	3.0	3.3	3.9	3.5	3.9	3.4	3.8	3.5	3.5	3.6	3.6
<b>Adrar</b>	5.8	6.3	6.8	6.9	6.7	6.4	6.4	6.5	6.1	6.1	5.6	5.5
<b>Ain Sefra</b>	2.1	2.2	2.7	3.2	3.3	3.1	2.7	2.6	2.7	2.1	2.2	2.0
<b>Annaba</b>	3.6	3.8	3.8	3.9	3.7	3.9	3.8	3.8	3.6	3.4	3.8	3.9

Malheureusement, l'évaporation du plan d'eau n'est pas mesurée dans les stations météorologiques. Pour la calculer dans tout le territoire algérien on a utilisée la formule de Boutoutaou D. [2] qui est présentée dans le chapitre 2. Pour illustration nous présentons dans les tableaux 3.5 et 3.6, un exemple de calcul de l'évaporation du plan d'eau dans deux zones climatiques différentes (zone humide et zone semi-aride) est donné ci-dessous :

Exemple de calcul de l'évaporation du plan d'eau en zones humide et semi-aride

- Calcul de l'évaporation du plan d'eau en zones humide :

$$E = 0.342 * n * D^{0.8} (1 + 0.39V_2)$$

- Calcul de l'évaporation du plan d'eau en zones semi-arides et arides :

$$E = 0.342 * n * D^{0.8} (1 + 0.39V_2)$$

n – nombre de jours dans le mois ;

V – vitesse du vent, (m/s)

V<sub>2</sub> – vitesse u vent à une hauteur de 2 mètre, (m/s)

D – déficit de saturation de l'air, (mb)

$$D = 0.0632 * (100 - H) e^{(0.0632 * t)}$$

H – humidité de l'air (mb) ;

t – température mesuelle de l'air, °C.

Tableau 3.5 Calcul de l'évaporation dans la zone humide (Annaba) :

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
<i>n, jours</i>	31	28.5	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
<i>t, °C</i>	11	12	13	15	19	22	25	26	23	20	16	13	
<i>H, %</i>	77	77	74	71	74	71	70	70	71	74	75	76	
<i>V, m/s</i>	3,6	3,8	3,8	3,9	3,7	3,9	3,8	3,8	3,6	3,4	3,8	3,9	
<i>D, mb</i>	3,0	3,1	3,8	4,8	5,4	7,5	9,0	10,0	8,1	5,8	4,2	3,4	
<i>V<sub>2</sub>, m/s</i>	2,8	3,0	2,9	3,1	2,9	3,0	3,0	3,0	2,8	2,7	2,9	3,0	
<i>E, mm</i>	53	52	67	79	87	112	133	144	114	88	69	61	1062

Tableau 3.6 Calcul de l'évaporation dans la zone semi-aride (Batna)

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
<i>n, jours</i>	31	28.5	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
<i>t, °C</i>	6	7	10	13	19	23	26	26	21	16	11	6	
<i>H, %</i>	73	65	58	53	48	39	34	38	50	57	65	78	
<i>D, mb</i>	2,5	3,4	5,0	6,8	10,9	16,5	21,6	20,3	11,9	7,5	4,4	2,0	
<i>V, m/s</i>	3,3	3,2	3,5	4,3	4,0	4,0	3,7	3,4	3,5	3,1	3,4	3,3	
<i>V<sub>2</sub>, m/s</i>	2,6	2,5	2,7	3,4	3,1	3,1	2,9	2,7	2,7	2,4	2,7	2,6	
<i>E, mm</i>	49	56	83	113	159	207	250	229	152	105	73	42	1518

Les valeurs annuelles de l'évaporation du plan d'eau de quelques stations météorologiques calculées sont présentées dans le tableau 3.7

Tableau 3.7 Evaporation du plan d'eau *E, mm* en Algérie

Station	COORDONNEE	GEOGRAPHIQUE	Evaporation annuelle
---------	------------	--------------	----------------------



	S		$\Sigma E, mm$
	X (Latitude)	Y (Longitude)	
Ain Bessam	36°19	03°32E	1667
Ghazaouet	35°06	01°52W	892
Oran	35°38	00°36W	1084
Khenchla	35°28	07°05E	1843
Oued souf			2317
Beni saf	35°18	01°21W	737
Annaba	36°50	07°49E	1057
Arzew	35°49	00°16W	1220
Batna	35°43	06°21E	1510
Maghnia	34°49	01°47W	1080
Tlemcen	34°57	01°17W	1226
Mascara	35°36	00°18E	1089
Sidi belabes	35°12	00°37W	1092
Ténés	36°30	01°20E	1180
Chellif	36°13	01°20E	1543
Meliana	36°18	02°14E	1300
Média	36°17	02°44E	1665
Dellys	36°55	03°57E	945
Alger	36°41	03°13E	865
Bouira	36°23	03°53E	1103
Tizi ousou	36°42	04°03E	1033
Bejaia	36°43	05°04E	876
Jijel	36°49	05°53E	791
Skikda	36°53	06°54E	1014
Guelma	36°28	07°28E	980
El kala	36°54	08°27E	1198
Ksar echellala	35°10	02°19E	1746
Saida	34°52	00°09E	1288
M'sila	35°40	04°30E	1714
Tiaret	35°21	01°28E	1442

Bordj borridj	36°04	04°40E	1407
Bousaada	35°20	04°12E	1949
Sétif	36°11	05°15E	1273
Costantine	36°17	06°37E	1050
Oum el bouagui	35°52	07°07E	977
Souk ahras	36°17	07°58E	1148
Tebessa	35°25	08°07E	1389
Barika	35°21	05°20E	2378
Béchar	31°38	02°15W	3063
Naàma	33°16	00°18W	1615
Ain safra	32°45	00°36W	1783
Mechria	33°31	00°17W	1767
El khider	34°09	00°04E	1920
El beyadh	33°40	01°00E	1775
Djelfa	34°20	03°23E	1423
Biskra	34°48	05°44E	2200
Ghardaia	32°24	03°48E	2577
H. messaoud	31°40	06°09E	2821
Touggourt	33°07	06°08E	2175
Laghouat	33°46	02°56E	1866
Ouargla	31°55	05°24E	2759
El goléa	30°34	02°52E	2721
Timimoun	29°15	00°17E	3962
Béni abbas	30°08	02°10W	2643
Illizi	26°30	08°25E	2990
Ain aménas			3070
Djanet	24°16	09°28E	3101
Adrar	27°49	00°11W	4974
In salah	27°14	02°30E	4272
Tamanrasset	22°48	05°31E	3025
Bordj badji			4998
mokhtar	21°12	00°34E	
Ghazaouet	35°06	01°52W	892

In guezam	19°34	05°46E	4846
Tindouf	27°42	08°10W	3577

### III.2 Méthode

La méthode proposée est basée essentiellement sur l'étude qualitative entre l'évaporation du plan d'eau et les éléments météorologiques la température de l'air.

L'étude de l'évaporation des plans d'eau montre qu'au fur et à mesure de l'éloignement de la mer méditerranée, les éléments météorologiques varient sensiblement et par conséquent l'évaporation du plan d'eau.

L'analyse des éléments météorologiques de toutes les stations de l'ONM montre que l'évaporation est minimale en en mois de janvier et de décembre et maximale en mois de juillet et d'aout.

Pour détecter les éléments météorologiques les plus influençant sur l'évaporation nous avons procéder à l'étude de la corrélation entre l'évaporation des plans d'eau et les éléments météorologiques, c'est-à-dire :

$$E = \text{fonct}(t) \quad (3 - 1)$$

$$E = \text{fonct}(H) \quad (3 - 2)$$

$$E = \text{fonct}(V) \quad (3 - 3)$$

$E$  – évaporation ;  $H$  – humidité relative de l’air ;  $V$  – vitesse du vent

La méthode proposée est basée sur la répartition de l’évaporation mensuelle en fonction uniquement de la température de l’air. Nous déterminons en premier lieu :

- le rapport entre la température mensuelle et la somme des températures mensuelles , c'est-à-dire :

$$\lambda_i = \frac{t_i}{\sum t} \quad (3 - 4)$$

- Le rapport entre l’évaporation mensuelle et la somme des évaporations mensuelles (évaporation annuelle) :

$$\delta_i = \frac{E_i}{\sum E} \quad (3 - 5)$$

$\lambda_i$  – quotient de température (adimensionnel) ;  $t_i$  – température mensuelle de l’air du mois  $(i)$  ;  $\sum t$  – somme des température mensuelles de l’air dans l’année.

$\delta_i$  – quotient de l’évaporation (adimensionnel) ;  $E_i$  – évaporation mensuelle de l’air du mois  $(i)$  ;  $\sum E$  – somme des évaporations mensuelle (évaporation annuelle).

Nous présentons dans le tableau 3.8 l’exemple de de calcul de  $\lambda_i$  et  $\delta_i$  de la station météorologique de Ain Bessam

Tableau 3.8 Calcul de  $\lambda_i$  et  $\delta_i$  de la station météorologique de Ain Bessam

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Température $t_i, ^\circ C$	8,4	9,4	12,1	14,2	19,9	24,6	28,3	28,6	22,9	18,3	12,8	9,6	$\sum 209,1$
Evaporation $E_i, mm$	59	62	80	106	152	222	279	292	163	120	72	58	$\sum 1667$
$\lambda_i \%$	4,0	4,5	5,8	6,8	9,5	11,8	13,5	13,7	11,0	8,8	6,1	4,6	100%

$\delta_i$	3,5	3,7	4,8	6,3	9,1	13,3	16,7	17,5	9,8	7,2	4,3	3,5	100%
------------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	------

En deuxième lieu nous déterminons la relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$ , pour toutes les stations météorologiques, c'est-à-dire :

$$\delta_i = \text{fonct} (\lambda_i) \quad (3-6)$$

Ou encore

La relation (3-7) permet d'exprimer  $\delta_i$  en fonction de la température de l'air :

$$\frac{E_i}{\sum E} = \text{fonct} \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \quad (3-7)$$

$$E_i = \sum E \text{ fonct} \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \quad (3-8)$$

# **CHAPITRE IV**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## Chapitre IV

L'étude de l'évaporation des plans d'eau montre qu'au fur et à mesure de l'éloignement de la mer méditerranéenne, les éléments météorologiques varient sensiblement et par conséquent l'évaporation du plan d'eau. Pour illustration nous présentons cette variation sous forme de courbe dans les figures 4.1 – 4.4 pour les différentes zones climatiques de l'Algérie.

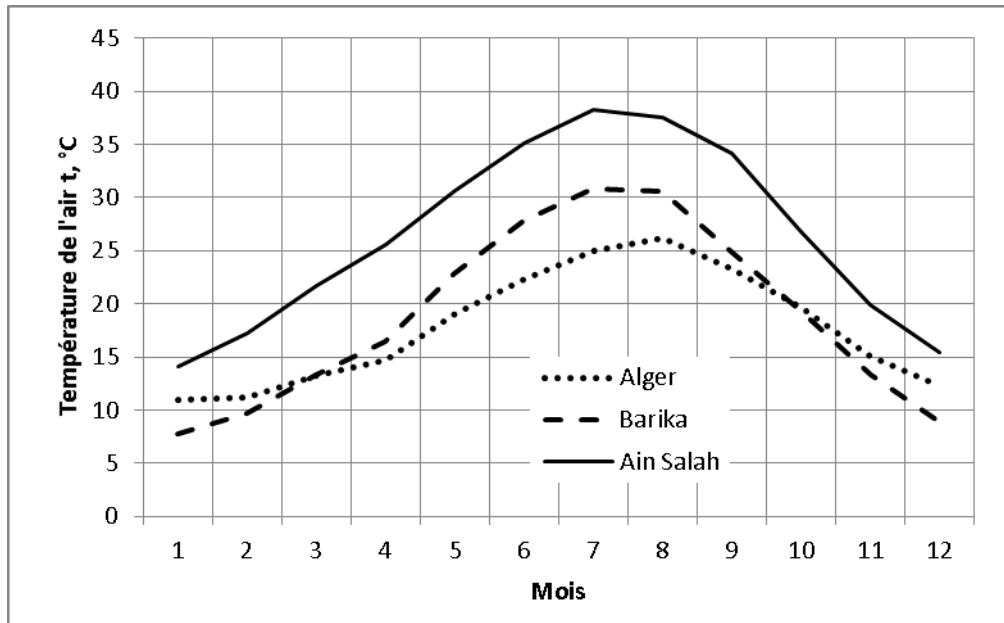


Figure 4.1 Moyenne des températures de l'air (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.

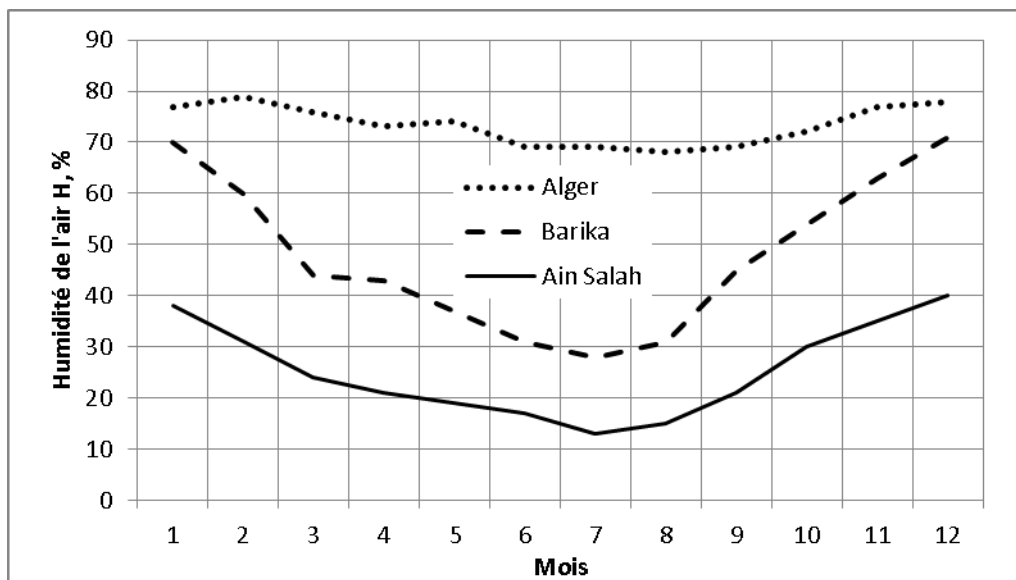


Figure 4.2 Moyenne des humidités de l'air (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.

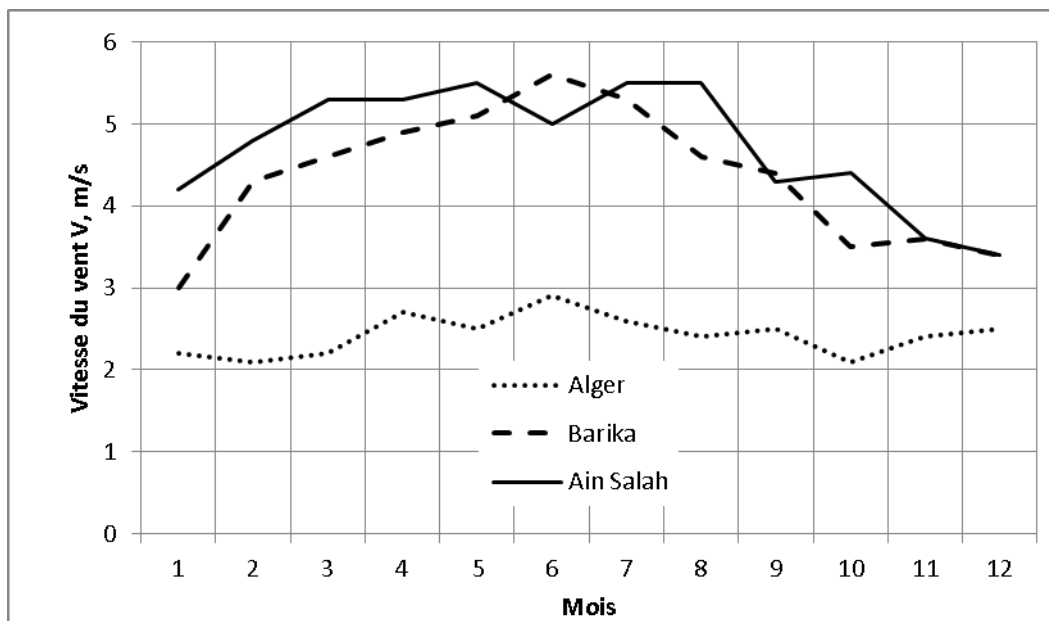


Figure 4.3 Moyenne des humidités de l'air (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.

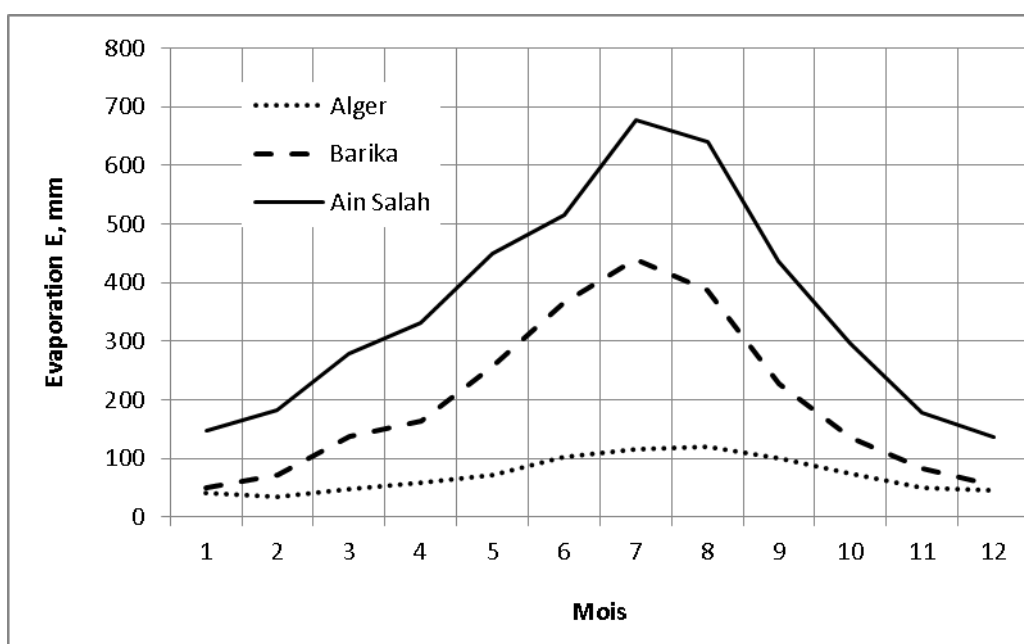


Figure 4.4 Evaporation du plan d'eau (1990-2003) dans les différentes stations météorologiques.



L'analyse des éléments météorologiques de toutes les stations de l'ONM montre que l'évaporation est minimale en en mois de janvier et de décembre et maximale en mois de juillet et d'aout.

Pour détecter les éléments météorologiques les plus influençant sur l'évaporation nous avons procéder à l'étude de la corrélation entre l'évaporation des plans d'eau et les éléments météorologiques, c'est-à-dire :

$$E = \text{fonct}(t)$$

$$E = \text{fonct}(H)$$

$$E = \text{fonct}(V)$$

$E$  – évaporation ;  $H$  – humidité relative de l'air ;  $V$  – vitesse du vent

La corrélation entre l'évaporation et les éléments météorologiques montre qu'elle est très forte entre l'évaporation et la température (figure 4.5) ainsi qu'entre l'évaporation et l'humidité de l'air (figure 4.6), cette corrélation devient moins forte entre l'évaporation du plan d'eau et la vitesse du vent (figure 4.7).

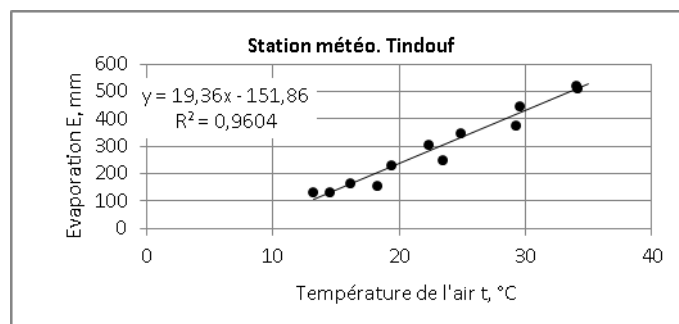
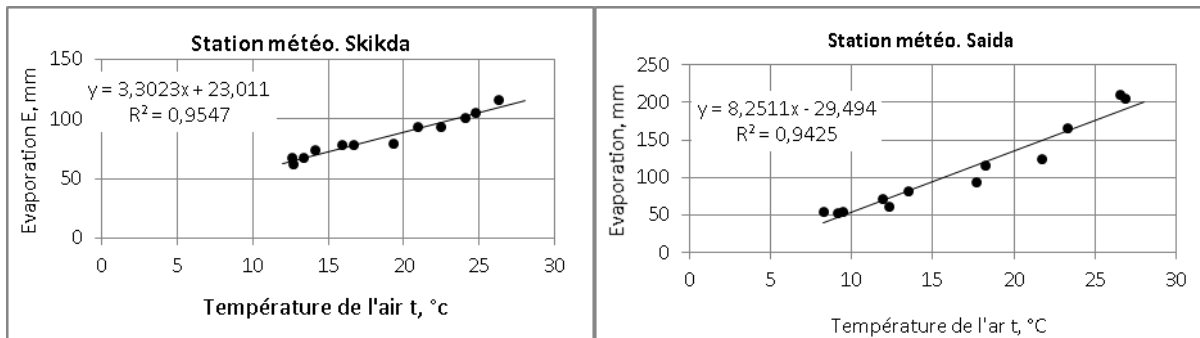


Figure 4.5 Relation entre l'évaporation du plan d'eau  $E$ , mm et la température de l'air  $t$ , °C

dans les différentes régions climatiques de l'Algérie.

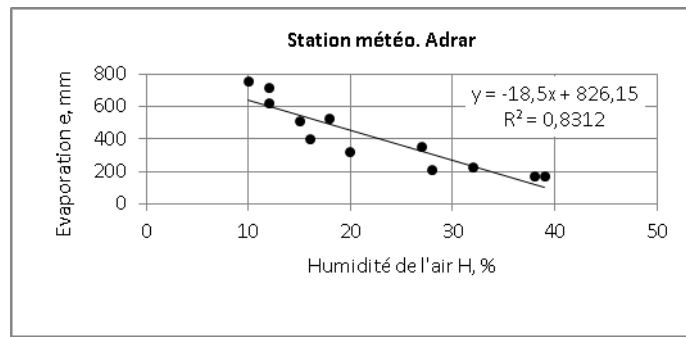
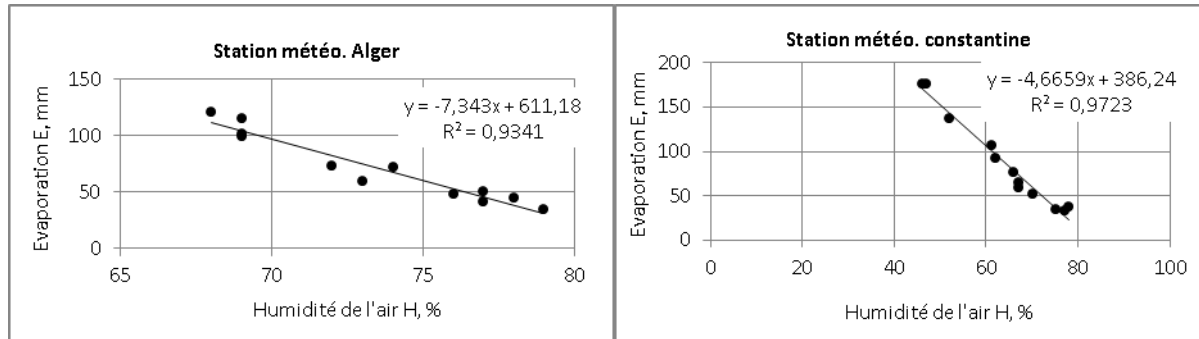
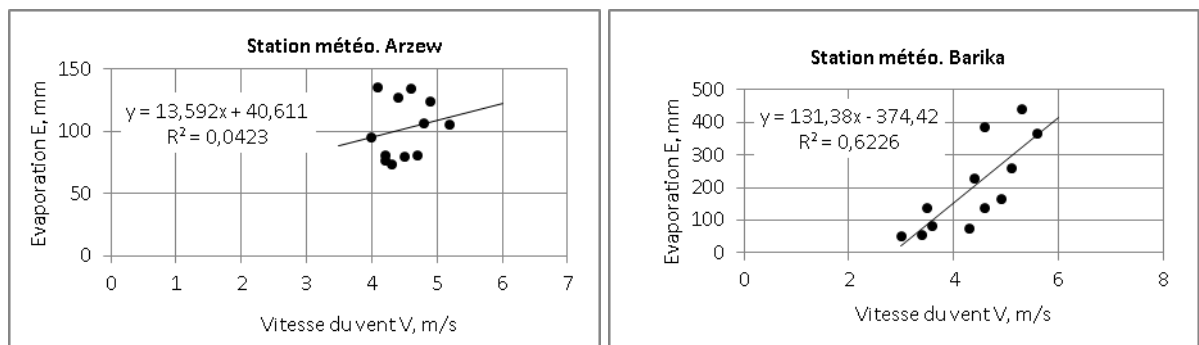


Figure 4.6 Relation entre l'évaporation du plan d'eau  $E$ , mm et l'humidité de l'air  $H$ , %

dans les différentes régions climatiques de l'Algérie.



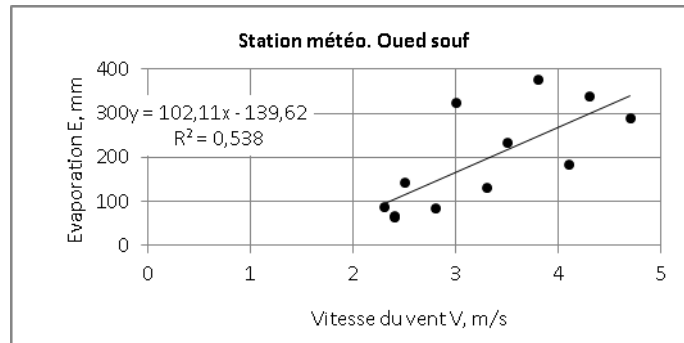


Figure 4.7 Relation entre l'évaporation du plan d'eau  $E$ ,  $mm$  et la vitesse du vent  $V$ ,  $m/s$

dans les différentes régions climatiques de l'Algérie.

Nous constatons que le degré de corrélation le plus fort est celui qui existe entre l'évaporation du plan d'eau et la température de l'air (voir les figure ci-dessus)

La détection de l'élément météorologique (la température de l'air) le plus influant sur l'évaporation du plan d'eau va permettre de réduire le nombre d'éléments dans les relations (E) et (V) et par conséquent faciliter la détermination de l'évaporation en absence des autres données.

La méthode proposée est basée sur la répartition de l'évaporation mensuelle en fonction uniquement de la température de l'air. Nous déterminons en premier lieu :

- le rapport entre la température mensuelle et la somme des températures mensuelles , c'est-à-dire :

$$\lambda_i = \frac{t_i}{\sum t} \cdot 100 \quad ( 1 )$$

- Le rapport entre l'évaporation mensuelle et la somme des évaporations mensuelles (évaporation annuelle) :

$$\delta_i = \frac{E_i}{\sum E} \cdot 100 \quad ( 2 )$$

$\lambda_i$  – quotient de température (adimensionnel) ;  $t_i$  – température mensuelle de l'air du mois  $\langle i \rangle$  ;  $\sum t$  – somme des température mensuelles de l'air dans l'année.

$\delta_i$  – quotient de l'évaporation (adimensionnel) ;  $E_i$  – évaporation mensuelle de l'air du mois  $\langle i \rangle$  ;  $\sum E$  – somme des évaporations mensuelle (évaporation annuelle).

Nous présentons dans le tableau 4.1 l'exemple de de calcul de  $\lambda_i$  et  $\delta_i$  de la station météorologique de Ain Bessam.

Tableau 4.1 Calcul de  $\lambda_i$  et  $\delta_i$  de la station météorologique de Ain Bessam

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Température $t_i, ^\circ C$	8,4	9,4	12,1	14,2	19,9	24,6	28,3	28,6	22,9	18,3	12,8	9,6	$\sum 209,1$
Evaporation $E_i, mm$	59	62	80	106	152	222	279	292	163	120	72	58	$\sum 1667$
$\lambda_i \%$	4,0	4,5	5,8	6,8	9,5	11,8	13,5	13,7	11,0	8,8	6,1	4,6	100%
$\delta_i \%$	3,5	3,7	4,8	6,3	9,1	13,3	16,7	17,5	9,8	7,2	4,3	3,5	100%

En deuxième lieu nous déterminons la relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$ , pour toutes les stations météorologiques, c'est-à-dire :

$$\delta_i = \text{fonct} (\lambda_i) \quad (4 - 1),$$

ou encore :

$$\frac{E_i}{\sum E} = \text{fonct} \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \quad (4-2)$$

Nous présentons ci-dessous quelques relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$  des stations météorologique situées dans les différentes zones climatiques de l'Algérie (figures 4.8 – 4.10)

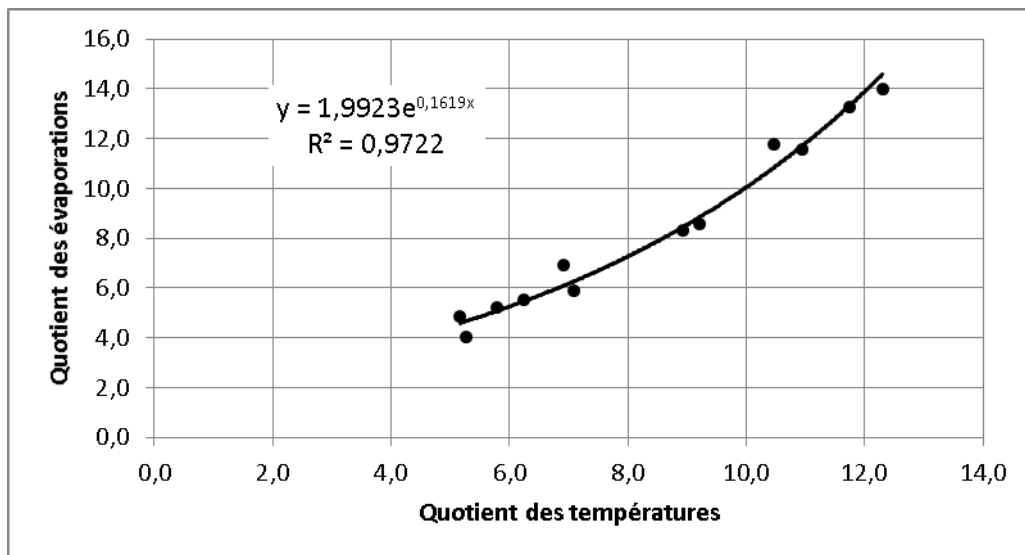


Figure 4.8. Relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$ . Station Alger (zone côtière)

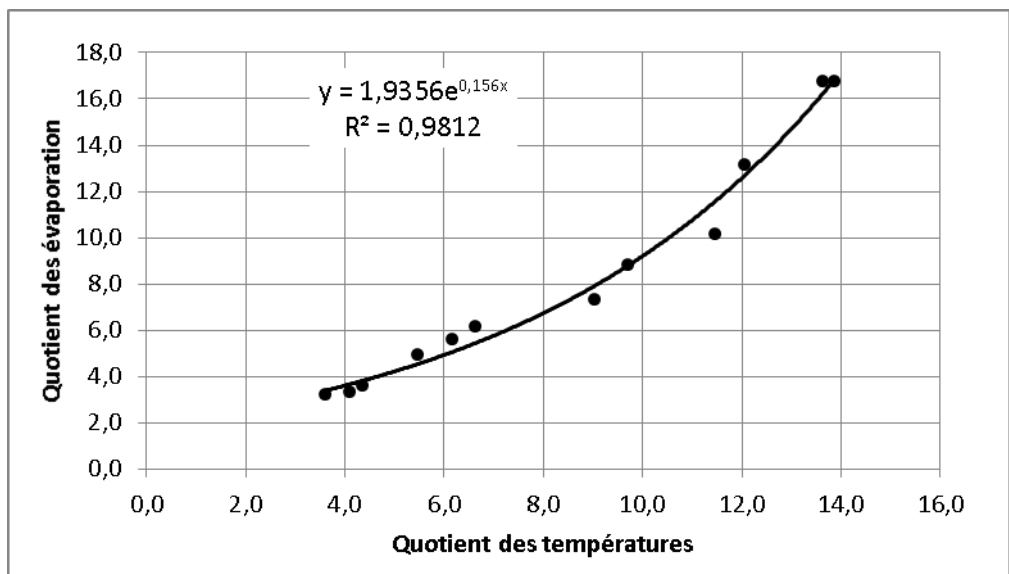


Figure 4.9. Relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$ . Station Constantine (Haut plateau).

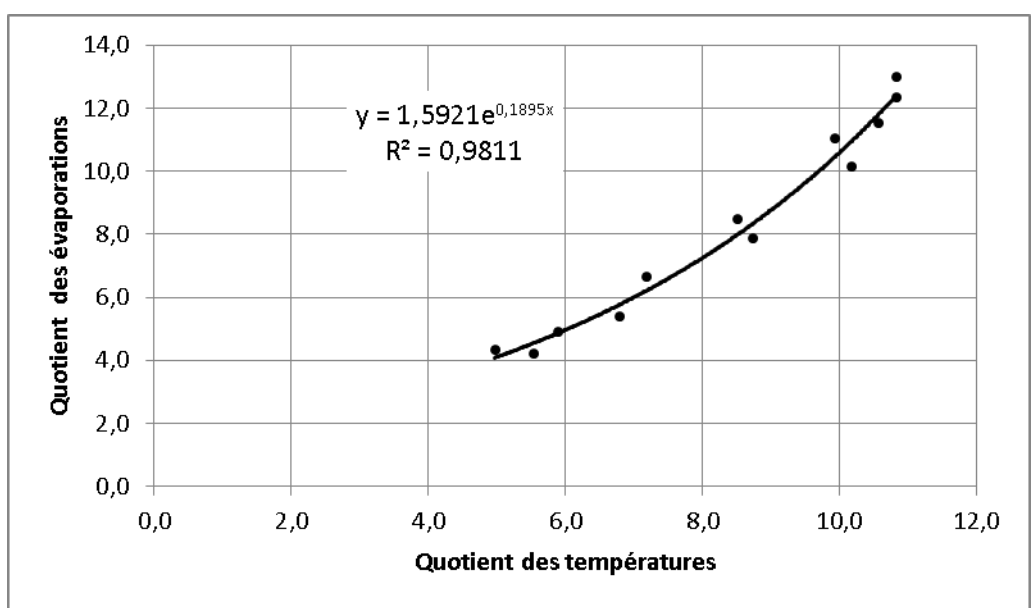


Figure 10. Relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$ . Station Bordj Badji Mokhtar (Sahara)

Comme le montrent les figures 4.8 – 4.10, la relation entre  $\delta_i$  et  $\lambda_i$  peut être approximée par une relation exponentielle suivante :

$$\delta_i = a \exp(b\lambda_i) \quad (4-3)$$

$\alpha$  et  $b$  – paramètres de la relation régressive.

L'analyse minutieuse de la distribution des paramètres  $\alpha$  et  $b$  en Algérie a permis de détecter deux (02) régions géographiques homogènes:

- La première région comprend : la zone côtière , l'atlas tellien et l'atlas saharien ;
- La deuxième région comprend tout le Sahara.

La relation (4 - 5) permet de déterminer l'évaporation du plan d'eau en fonction uniquement de la température de l'air :

$$\frac{E_i}{\sum E} \cdot 100 = \alpha \exp \left[ 100 \cdot b \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \right] \quad (4 - 4)$$

d'où la formule finale:

$$E_i = \frac{\alpha}{100} \sum E \exp \left[ 100 \cdot b \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \right] \quad (4 - 5)$$

Les valeurs moyennes de  $\alpha$  et  $b$  de la relation (4 – 5) dans les différentes zones géographiques de l'Algérie sont présentées dans le tableau 4.2

Tableau 4.2 Valeurs des paramètres  $\alpha$  et  $b$  dans les deux zones géographiques de l'Algérie.

Paramètres	Zone géographique	
	Zone côtière, atlas tellien et atlas saharien	Sahara
$\alpha$	1,95	1,60
$b$	0,16	0,18

Pour vérifier la fiabilité de la relation (4 – 5) nous avons comparé les valeurs de l'évaporation du plan d'eau calculées par les formules (2 – 4) et (2 – 5) selon le cas, à celles calculées par le modèle proposé. La comparaison est présentée dans les figures 4.11 – 4.19

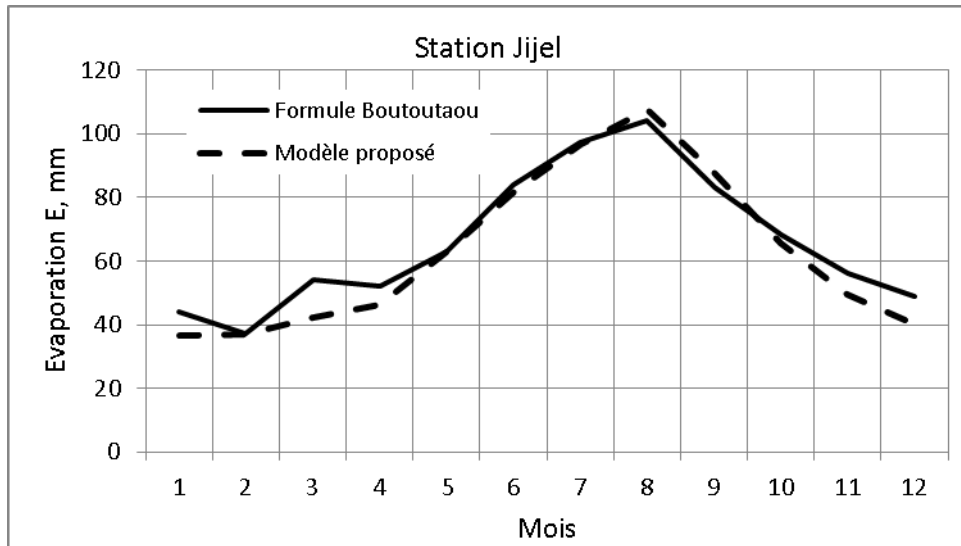


Figure 4.11 Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Jijel)

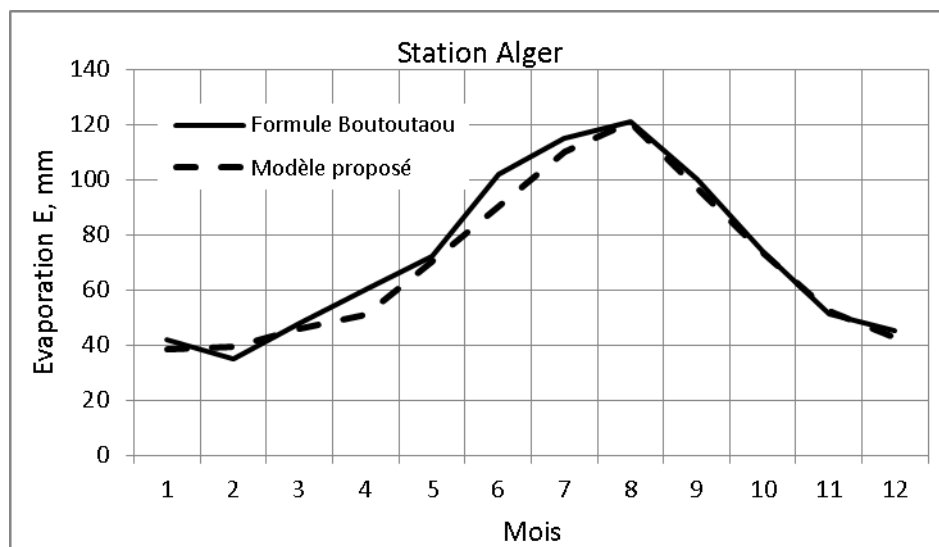


Figure 4.12. Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Alger)



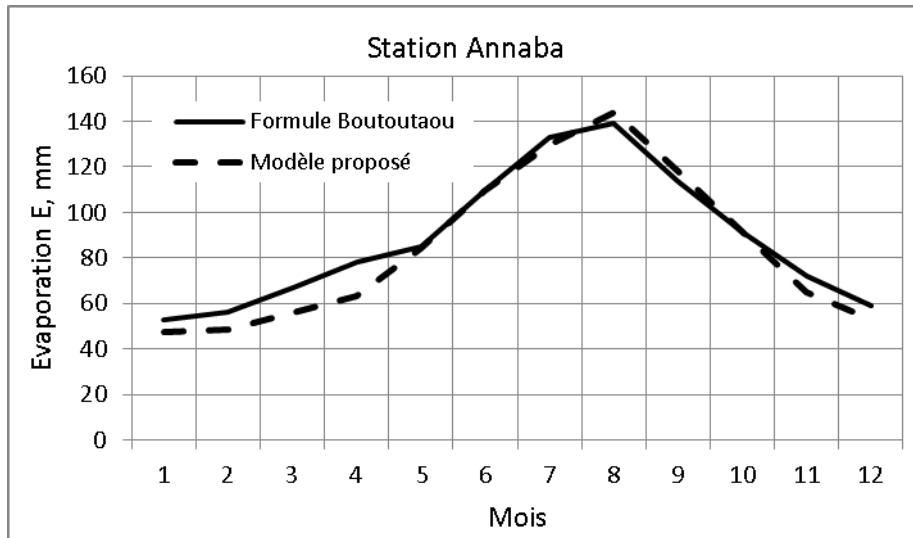


Figure 4.13 Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Annaba)

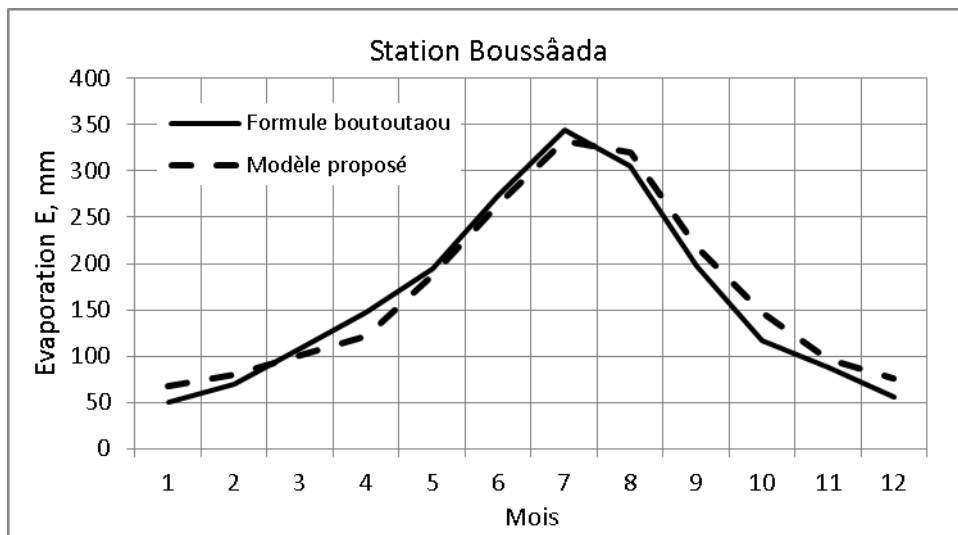


Figure 4.14. Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Boussâada)

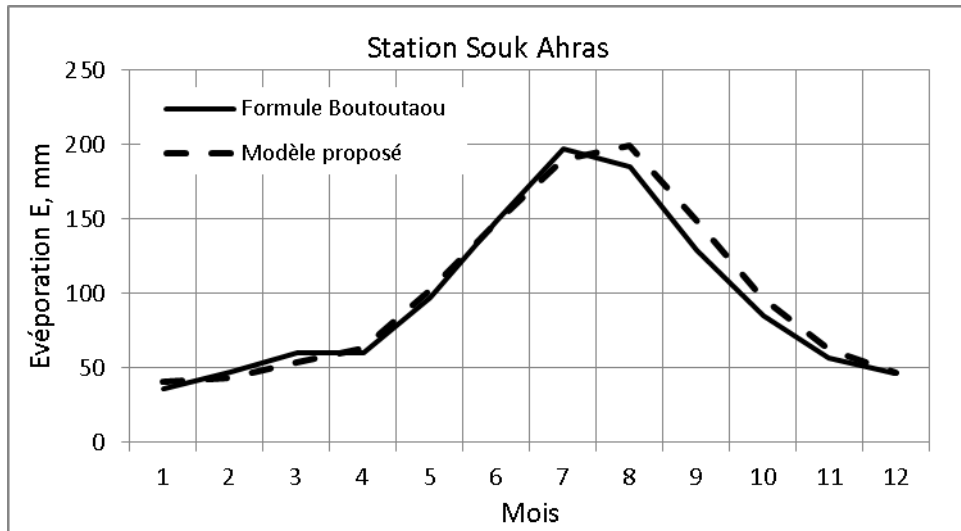


Figure 4.15 Comparaison de l'évaporation calculée par les deux modèles (Station Souk ahras)

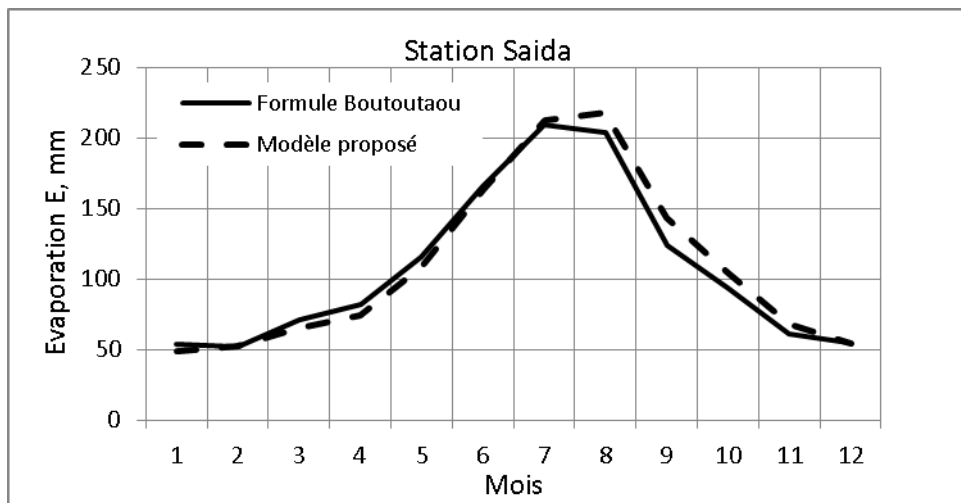


Figure 4.16. Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Saida)

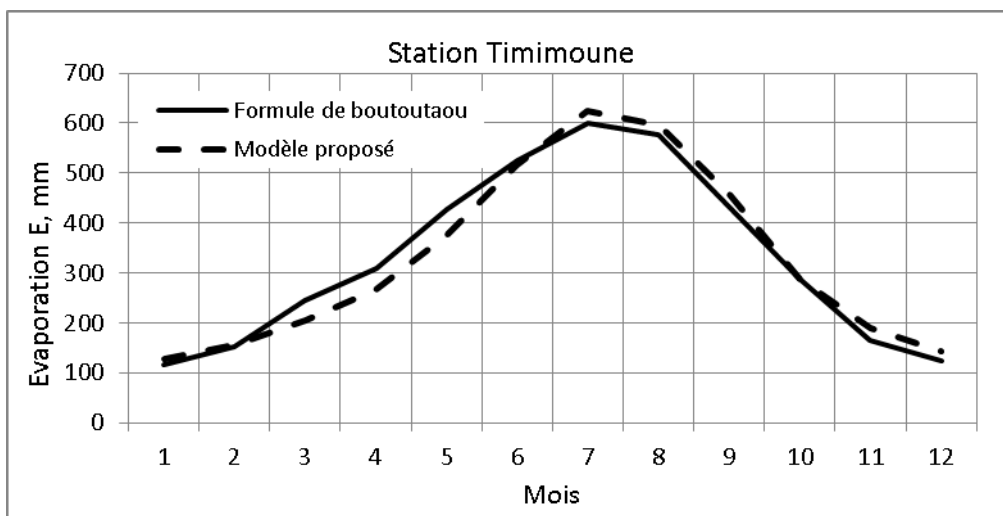


Figure 4.17. Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Timimoune)

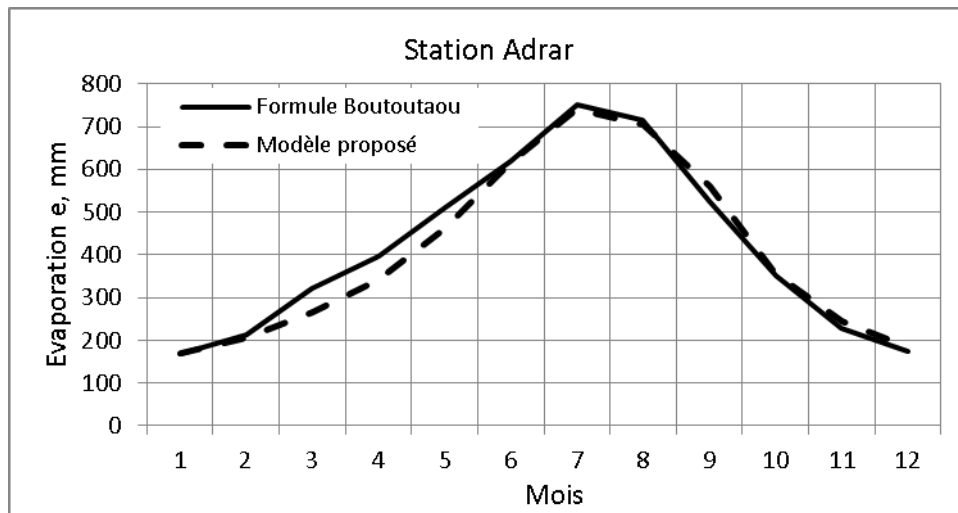


Figure 4.18. Comparaison de l'évaporation calculée pa les deux modèles (Station Adrar)

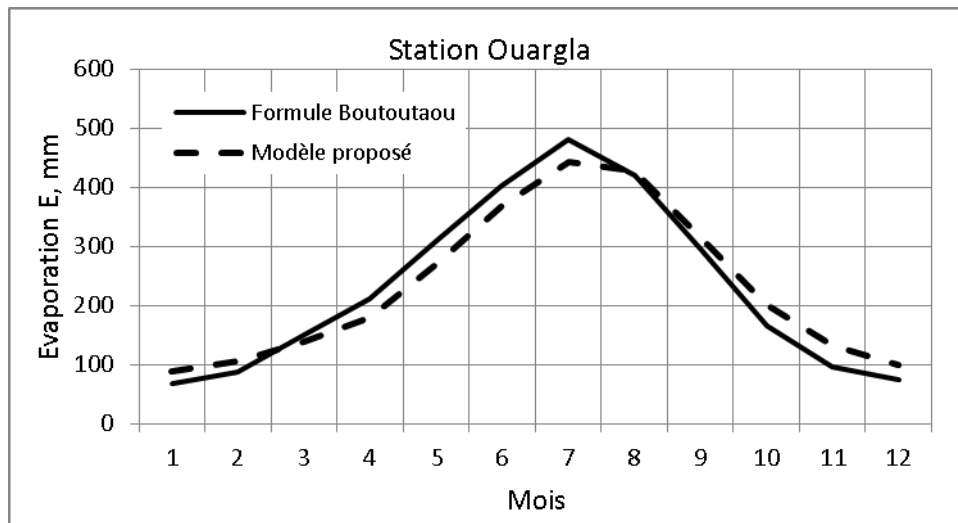


Figure 4.19. Comparaison de l'évaporation calculée par les deux modèles (Station Ouargla)

### Exemple de calcul de l'évaporation du plan d'eau à Béchar (par les deux méthodes) :

1. Pour calculer l'évaporation du plan d'eau par la formule de Boutoutaou nous avons besoin des paramètres météorologiques suivants :

- Température de l'air  $t$ , °C ;
- Humidité de l'air  $H$ , %
- Vitesse du vent

La formule utilisée est celle des régions arides (2 – 5):

$$E = 0.342 \cdot n \cdot D^{0.8} (1 + 0.39V_2)$$

Le résultat de calcul de l'évaporation du plan d'eau par la formule de Boutoutaou est donné dans le tableau 4.3

Tableau 4.3 Calcul de l'évaporation du plan d'eau à Béchar par la formule de boutoutaou (2 – 5)

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc
$n, \text{jours}$	31	28,5	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$t, ^\circ\text{C}$	9,7	12,4	16,2	19,9	25	30,2	34,1	33,1	28,2	21,4	15,2	11,1
$H, \%$	46	37	30	25	22	20	14	18	24	34	41	51
$V, \text{m/s}$	3,2	3,3	4,3	5,1	5,3	5,2	4,8	4,5	4,3	3,5	3,3	3,1
$D, \text{mb}$	6,3	8,7	12,3	16,6	23,9	34,0	46,7	41,8	28,5	16,1	9,7	6,2
$V_2, \text{m/s}$	2,5	2,6	3,4	4,0	4,1	4,1	3,7	3,5	3,4	2,7	2,6	2,4
$E, \text{mm}$	94	112	180	240	331	409	509	452	321	196	127	92

2. Pour calculer l'évaporation par la modèle proposé nous avons besoin uniquement de la température de l'air  $t, ^\circ\text{C}$ .

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température $t, ^\circ\text{C}$	9,7	12,4	16,2	19,9	25	30,2	34,1	33,1	28,2	21,4	15,2	11,1

- On calcule d'abord la somme des températures de tout les mois :

$$\sum t = 9.7 + 12.4 + \dots + 15.2 + 11.1 = 256.5^\circ\text{C}$$

- A partir du tableau 3.7 on tire l'évaporation annuelle (somme des évaporations mensuelles) à Béchar, elle est égale à :

$$\sum E = 3063\text{mm}$$

- L'évaporation mensuelle du plan d'eau  $E_i$  à Béchar est calculée par le modèle proposé

(4 – 5) :

$$E_i = \frac{\alpha}{100} \sum E \exp \left[ 100 \cdot b \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \right]$$

Les coefficient  $\alpha = 1.6$  et  $b = 0.18$  sont tirée du tableau 4.2 pour la région du Sahara

$$E_i = \frac{1.6}{100} \sum E \exp \left[ 100 \cdot 0.18 \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \right]$$

:

$$E_i = 0.016 \sum E \exp \left[ 18 \left( \frac{t_i}{\sum t} \right) \right]$$

Le résultat de calcul est donné dans le tableau 4.4 ci-dessous.

Tableau 4.4 Calcul de l'évaporation du plan d'eau  $E$ , mm par le modèle (4 – 5) à Béchar

Mois	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température $t_i, ^\circ\text{C}$	9,7	12,4	16,2	19,9	25	30,2	34,1	33,1	28,2	21,4	15,2	11,1

Evaporation												
$E_j$ , mm	97	117	153	198	283	408	536	500	355	220	142	107

La comparaison de calcul de l'évaporation du plan d'eau à Béchar par les deux méthodes est présentée dans la figure 4.20

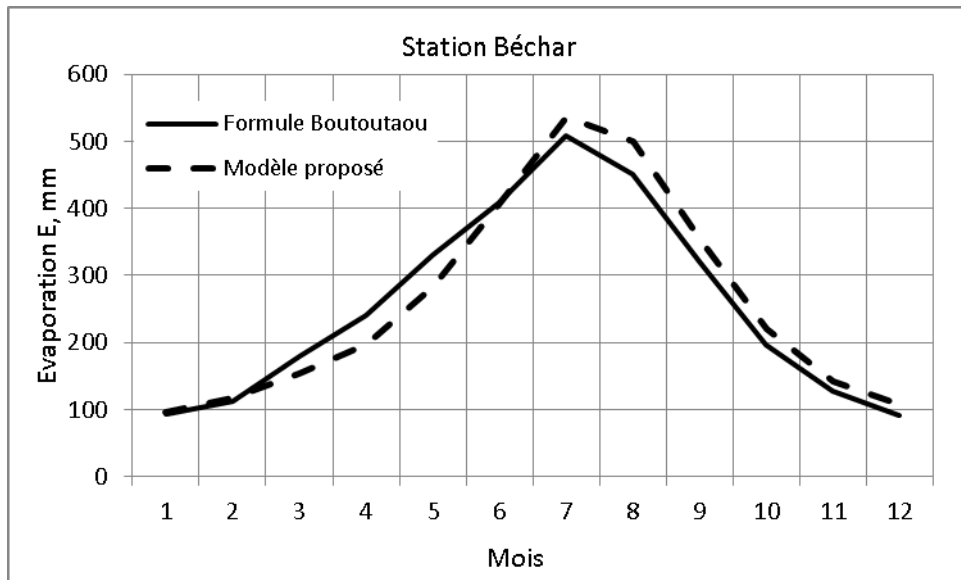


Figure 4.20 Comparaison entre l'évaporation calculée par la formule de Boutoutaou et le modèle proposé

Comme le montre la figure (4.20) les deux évaporations calculées sont proches en elles.

### Conclusion :

La comparaison entre les valeurs de l'évaporation du plan d'eau dans les différentes régions du pays calculées par les deux méthodes montre que la différence entre celles-ci n'est pas significative, avec absence d'erreurs systématiques. Le coefficient de corrélation  $R$  entre les valeurs calculées est très élevé, il varie en moyenne entre 0.8 – 0.9 ce qui signifie que le modèle proposé peut être accepté pour des éventuelle calculs de l'évaporation du plan d'eau en absence ou en présence de peu de données.

### CONCLUSION GENERALE

La construction ou l'exploitation de barrages-réservoirs nécessite une connaissance de l'évaporation du niveau d'eau de ces ouvrages. La valeur de l'évaporation intervient dans l'établissement des bilans hydriques (lors de l'exploitation des barrages réservoirs) et la régulation des apports pour la conception des futurs barrages.

Les données des valeurs d'évaporation mesurées sont très limitées et ne couvrent pas l'ensemble du territoire algérien.

Pour sa détermination, on utilise souvent l'analogie avec d'autres barrages-réservoirs pour lesquels les valeurs d'évaporation sont disponibles ou les valeurs d'évaporation mesurées dans les stations météorologiques.

L'erreur de détermination de l'évaporation par analogie peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du barrage réservoir analogue). Quant aux stations météorologiques, qui offrent de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et ne couvrent que quelques régions du pays.

L'étude de plusieurs relations qui existent entre l'évaporation du plan d'eau et les éléments météorologiques a permis le développement d'un modèle simple qui relie l'évaporation du plan d'eau à la température de l'air. Cette dernière est toujours disponible est facilement accessible.

La comparaison entre les valeurs de l'évaporation du plan d'eau dans les différentes régions du pays calculées par les deux méthodes (Boutoutaou et modèle proposé) montre que la différence entre celles-ci n'est pas significative, avec absence d'erreurs systématiques. Le coefficient de corrélation  $R$  entre les valeurs calculées est très élevé, il varie en moyenne entre 0.8 – 0.9 ce qui signifie que le modèle proposé peut être accepté pour des éventuelle calculs de l'évaporation du plan d'eau en absence ou en présence de peu de données.

Les valeurs d'évaporation calculées par le modèle proposé ne remplacent pas les valeurs d'évaporation mesurées mais peuvent être représentatives pour les régions à climats arides et semi-arides de l'Algérie.

## Référence :

1. Atlas climatologique national. Période 1975-1984 .Office national de la
2. météorologie.Dar El Beida. Alger. 1992
3. Boutoutaou D., 1995. Evaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie » Thèse de Doctorat Ph.D en Sciences Techniques. Institut d'Hydraulique de Moscou.
4. Davydov V.K., 1944. Evaporation from a water surface in the European part of the USSR. Proceedings of NNU GUGMS, ser. IV. Issue 12.
5. Finch, J.W., 2001. A comparison between measured and modelled open water evaporation from a reservoir in South-East England. Hydrol. Process., 15: 2771-2778.
6. Gianniou, S.K. and V.Z. Antonopoulos, 2007. Evaporation and energy budget in Lake Vegoritis, Greece. J. Hydrol., 345: 212-223.
7. Gwaharia V.K., 1976. Evaporation from the water surface of the Caucasus. Proceedings of the All-Union. Hydrolog. Congress. T. 6, p. 237-243. Leningrad.
8. Hamon, W.R., 1963. Computation of direct runoff amounts from storm rainfall. Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ., 63: 52-62.
9. Konstantinov A.R. « Evaporation dans la nature » Ed. Hydro-météo. Leningrad. Russie. 1963.
10. Kumar, P., G. Rasul and D. Kumar, 2013. Evaporation estimation from climatic factors. Pak. J. Meteorol., 9: 51-57.
11. Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A, 193: 120-145.
12. Piri, J., S. Amin, A. Moghaddamnia, A. Keshavarz, D. Han and R. Remesan, 2009. Daily pan evaporation modeling in a hot and dry climate. J. Hydrol. Eng., 14: 803-811.
13. Priestley, C.H.B. and R.J. Taylor, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Mon. Weather Rev., 100: 81-92.
14. Xu, C.Y. and V.P. Singh, 2001. Evaluation and generalization of temperature based methods for calculating evaporation. Hydrol. Proc., 15: 305-319.