

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر  
UNIVERSITÉ DESAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

---

### **Etude des Paramètres Morphométriques et Hydrographiques du Bassin Versant de l'Oued AGHLAL**

---

Présenté par :

**SEKOUR Imene Oum Saad**  
**MAKHLOUF Badra**

Soutenu le ... / ... / 2020, devant le jury composé de :

<b>Dr. HAFIANE Mohamed</b>	Président
<b>Dr. YELES Fouad</b>	Encadreur
<b>Dr. ZAÏRI Souad</b>	Examineur

**Année universitaire 2019/2020**

## **DÉDICACE**

Je dédie ce mémoire :

**A** nos chers parents ;

A nos frères et sœurs ;

A nos amis ;

Et, à tous ceux qui nous ont aidé et encouragé tout au long de mes études.

Oum Saad & Badra

# Remerciement

Nous remercions en premier lieu, Dieu l'unique de nous avoir donné la foi, le courage et la confiance en nous-mêmes pour pouvoir continuer nos études.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à Monsieur **Dr. YELES FOUAD**, professeur à l'université Dr. TAHAR MOULAY de Saida, pour ses orientations éclairées, ses conseils constructifs, son esprit critique et son aide précieuse.

Nous remercions tous nos professeurs qui ont fait de gros efforts pour la réussite de notre formation.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de notre mémoire.

Nous remercions tous ceux qui nous ont permis d'arriver à ce stade nos parents, pour leur soutien et encouragements.

Enfin nous tenons à remercier le Dr. **Hafiane.M** et le Dr. **ZAIRIS** qui nous ont fait l'honneur de juger ce mémoire.

# Table des matières

Résumé	1
Liste des symboles	2
Liste des figures	4
Liste des tableaux	5
Introduction generale	7
<b>Chapitre I Etude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d’oued AGHLAL</b>	
I.1 Cadre géographique du bassin versant de l’Oued AGHLAL	9
I.2 Caractéristiques physiques du bassin d’Oued AGHLAL	9
I.2.1 Surface et périmètre du bassin versant	10
I.2.2 Forme du bassin	10
I.2.3 Notion du rectangle équivalent.	11
I.2.4 Altitudes caractéristiques du bassin	12
I.2.4.1 Les altitudes maximales et minimales	12
I.2.4.2 L’altitude moyenne	12
I.2.5 Indices de pente	13
I.3 Indice de pente de ROCHE	13
I.3.1 Dénivelée spécifique	14
I.4 Etude du réseau hydrographique :	15
I.4.1 Densité de drainage	16
I.4.2 Fréquence des cours d’eau	16
I.4.3 Coefficient de torrentialité	16
I.4.4 Temps de concentration	17
I.5 Cadre géologique et hydrogéologique	18
I.5.1 Cadre géologique	18
I.5.1.1 Aspect structural et tectonique de la région d’étude	18
I.5.1.1.1 Phase hercynienne	19
I.5.1.1.2 Phase compressive alpine	19
I.5.1.1.3 Phase transgressive alpine	19
I.5.1.1.4 Néotectonique	19
I.5.1.2 Le Volcanisme :	20
I.6 Cadre hydrogéologique	23
I.6.1 Identifications des aquifères	23
I.6.1.1 Aquifère des alluvions Quaternaire	23
I.6.1.2 Aquifère des basaltes plio Quaternaires	23
I.6.1.3 Aquifère des sables et grés du pliocène	23
I.6.1.4 Aquifère des calcaires du miocène supérieur	24
I.6.1.5 Aquifère des calcaires et grés de l’oligo miocène	24
I.6.1.6 Aquifère du jurassique inferieur	24
<b>Chapitre II Etude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d’Oued AGHLAL</b>	
II.1 Introduction :	25
II.2 Etude des températures :	25
II.3 Classification climatique:	26
II.3.1 Méthode pluviométrique:	26
II.3.2 Les indices climatiques généraux:	27
II.3.2.1 L’indice de DEMERTONNE:	27

II.3.2.2	Indice D'EMBERGER :	28
II.3.2.3	Indice de STEWART:	29
II.3.2.4	Indice de DEMORAL :	30
II.4	L'évapotranspiration réelle et le déficit d'écoulement:	31
II.4.1	L'évapotranspiration réelle :	31
II.4.1.1	Méthode de TURC:	31
II.4.1.2	Méthode de COUTAGNE:	32
II.4.1.3	Méthode de P.VERDEIL:	34
II.4.1.4	Méthode de WUNDT :	33
II.4.2	L'évapotranspiration potentielle (ETP) :	34
II.4.2.1	Méthode de THORNTWAITE :	34
II.4.2.2	Les différents paramètres du bilan hydrologique:	35
II.4.3	Ruissellements :	37
II.5	Infiltration:	37
II.6	Volume d'eau infiltré :	38
II.7	Conclusion	38

### Chapitre III Etude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d'Oued AGHLAL

III.1	La pluviométrie	39
III.1.1	Introduction	39
III.1.2	Etude des précipitations :	39
III.1.3	Etude des précipitations annuelles :	40
III.1.4	Etude des précipitations mensuelles :	41
III.1.5	Études des précipitations saisonnières :	42
III.1.6	Etude de la température :	43
III.1.7	Analyse statistique des séries pluviométriques.	44
III.1.7.1	Ajustement des précipitations :	44
III.1.7.2	Calculs des paramètres statistiques :	45
III.1.7.3	Calculs de paramètre de test $\chi^2$ (khi carré)	46
III.1.7.4	Calcul des précipitations pour les périodes de récurrence donnée :	47
III.2	Etude hydrologique.	48
III.2.1	Débits moyens annuels.	49
III.2.2	Analyse des débits annuels.	49
III.2.3	Hydraulicité	51
III.2.4	Etude des débits mensuels	52
III.2.5	Etude des débits saisonniers :	53
III.2.6	Ajustement des débits annuels	54
III.2.6.1	Calculs des paramètres statistiques :	55
III.2.6.2	Calculs de paramètre de test $\chi^2$ (khi carré)	55
III.2.6.3	Calcul des débits pour les périodes de récurrence donnée :	56
III.2.7	L'irrégularité interannuelle des modules.	57
III.2.8	Etude des débits mensuels.	58
III.2.9	Coefficient mensuel de débits.	58
III.2.10	Répartitions des débits mensuels Oued AGHLAL	60
III.2.11	Coefficient de variation :	60
III.2.12	Bilan moyen annuel de l'écoulement.	62
	Conclusion générale	63
	Annexes	65
	Bibliographie	69

## Résumé

Le bassin versant d'Oued AGHLAL ( $240.92km^2$ ) se situe en zone semi-aride, touché par la régression climatique d'une part et la forte pression d'autre part.

Dans le cadre de ce travail et dans le but de mieux cerner le problème, l'étude portera dans une première phase a caractérisé quelques facteurs en particulier, physiques, morphométriques, géologiques et climatiques suivie d'un ajustement de la série des précipitations et dans une deuxième phase l'évolution des régimes pluviométriques et hydrologiques et leurs conséquences sur les ressources en eau superficielle.

**Mots-clés :** Oued AGHLAL, Climatologie, Morphologie, Hydrologie, Ajustement.

## Abstract

The Oued AGHLAL watershed ( $240.92km^2$ ) is located in a semi-arid zone, affected by climate regression on the one hand and strong pressure on the other hand.

As part of this work and in order to better understand the problem, the study will focus on In a first phase characterized some factors in particular, physical, morph metric, geological and climatic followed by an adjustment of the series of precipitations and in a second phase the evolution of rainfall regimes and hydrological and their consequences on surface water resources

**Keywords :** Oued AGHLAL Climatology, Morphology, Hydrology, Ajustement

## ملخص

تقع متجمعات المياه في واد أغلال (240.4 كم<sup>2</sup>) في منطقة شبه قاحلة، متأثرة بانحدار المناخ من ناحية والضغط الشديد من ناحية أخرى.

كجزء من هذا العمل ومن أجل فهم المشكلة بشكل أفضل، ستركز الدراسة على في المرحلة الأولى، تميزت بعض العوامل على وجه الخصوص الفيزيائية والشكلية والجيولوجية والمناخية، تلاها تعديل لسلسلة الترسبات وفي المرحلة الثانية تطور أنظمة هطول الأمطار والهيدرولوجية ونتائجها على موارد المياه السطحية

**الكلمات المفتاحية:** علم المناخ، علم الصرف، الهيدرولوجيا، التعديل

# Liste des symboles

$K_G$ :	Indice de compacité de GRAVELIUS.
$P$ :	Périmètre du bassin versant (Km).
$A$ :	Surface du bassin versant (Km <sup>2</sup> ).
$H_{moy}$ :	Altitude moyenne du bassin ( $m$ ).
$A_i$ :	Aire comprise entre deux courbes de niveau ( $km^2$ ).
$h_i$ :	Altitude moyenne entre deux courbes de niveau ( $m$ ).
$A$ :	Superficie totale du bassin versant ( $km^2$ ).
$I_g$ :	Indice globale de Roche
$D$ :	Dénivelée (m).
$L$ :	Longueur du rectangle équivalent en (Km)
$L$ :	Longueur du thalweg principal ( $km$ ).
$H_{max}$ :	Altitude maximale ( $m$ ).
$H_{min}$ :	Altitude minimale ( $m$ ).
$I_g$ :	Indice de pente global (m/Km).
$A$ :	Aire du bassin (km <sup>2</sup> ).
$F_s$ :	Fréquence des cours d'eau.
$N$ :	Nombre de talweg.
$A$ :	Surface du bassin en Km <sup>2</sup>
$D_d$ :	Densité de drainage.
$F_l$ :	Fréquence des thalwegs élémentaires.
$N_l$ :	Nombre de cours d'eau d'ordre 1.
$T_c$ :	Temps de concentration (heures).
$I$ :	Indice d'aridité de MARTONNE.
$P$ :	Précipitation moyenne annuelle ( $mm$ ).
$T$ :	Température moyenne annuelle ( $C^\circ$ ).
$Q$ :	Indice D'EMBERGER (quotient pluviothermiques).
$P$ :	Précipitation moyenne annuelle en ( $mm$ ).
$M$ :	Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en ( $K$ ).
$m$ :	Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en ( $K$ ).
$Q$ :	Le quotient pluviothermiques (indice de STEWART).
$I_p$ :	Indice annuel de DEMORAL.

- $T$  : Température moyenne annuelle en ( $C^{\circ}$ ).
- $I_m$  : Indice mensuelle.
- $ETR$  : Évapotranspiration réelle ( $mm$ ).
- $T$  : Moyenne interannuelle des températures du mois ( $C^{\circ}$ ).
- $F$  : Coefficient de correction (dépendant de l'altitude et du mois).
- $I$  : Indice thermique annuel.
- $R$  : Ruissellements ( $mm$ ).
- $E$  : Évapotranspiration ( $mm$ ).
- $D$  :  $ETR$ , déficit d'écoulement ( $mm$ ).
- $I$  : Infiltration ( $mm$ ).
- $V_e$  : Volume d'eau infiltré ( $m^3$ ).
- $I$  : La lame d'eau infiltré dans le bassin versant ( $m$ ).
- $n$  : Nombre d'années.
- $K$  : Nombre de classe.
- $n_i$  : Effectif.
- $np_i$  : Effectif espéré.
- $\sigma$  : Écart type.
- $U$  : Variable de GAUSS.
- $(Le)$  : Lame d'eau écoulée.
- $(Lp)$  : Lame d'eau précipitée.
- $C_v$  : Coefficient de variation.

# Liste des Figures

## Chapitre I Etude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d'oued AGHLAL

<i>Figure I.1</i> Situation du bassin versant de l'Oued AGHLAL	9
<i>Figure I.2.</i> Délimitation d'oued AGHLAL	10
<i>Figure I.3 -</i> Représentation schématique du rectangle équivalent du bassin versant de l'oued AGHLAL.	12
<i>Figure I. 4.</i> Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued AGHLAL	15
<i>Figure I. 5.</i> Carte géologique de la région d'AIN TEMOUCHENT.	22

## Chapitre II Etude CLIMATOLOGIQUE : cas de bassin versant d'Oued AGHLAL

<i>Figure II.1.</i> Variation des températures mensuelles	26
<i>Figure II.2</i> le diagramme pluviométrique.	27
<i>Figure II.3</i> Abaque de l'indice de DEMARTONNE.	28
<i>Figure II.4.</i> Abaque de l'indice d'aridité d'EMBERGER.	29
<i>Figure II.5.</i> Abaque de P. VERDEIL en 1988 pour calculer le déficit d'écoulement en Algérie.	33
<i>Figure II.6</i> Abaque de WUNDT du déficit.	34

## Chapitre III. HYDROLOGIE D'OUED AGHLAL

<i>Figure III.1.</i> Variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT (1982/2006).	41
<i>Figure III.2:</i> variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT (1982/2006)	42
<i>Figure III.3</i> Répartition des régimes saisonniers des précipitations en pourcentage dans le bassin d'ouedAGHLAL	43
<i>Figure III.4.</i> Variations des débits moyens annuelles ( $m^3/s$ ).	44
<i>Figure III.5.</i> Ajustement graphique des précipitations moyennes annuelles à la loi normale.	48
<i>Figure III.6.</i> Variations des débits mensuelles ( $m^3/s$ ).	51
<i>Figure III.7.</i> Variations des débits mensuelles ( $m^3/s$ ).	53
<i>Figure III.8.</i> Histogramme des débits saisonniers de la station d'AIN TEMOUCHENT (1975/2006).	53
<i>Figure III.9.</i> L'ajustement graphique des débits moyen annuel à la loi log normal.	57
<i>Figure III.10.</i> Variations des débits mensuelles ( $m^3/s$ ).	58
<i>Figure III.11.</i> Variations de coefficients mensuels de débits.	59
<i>Figure III.12.</i> Variation des lames d'eau précipitées et écoulées.	61

# Liste des Tableaux

## Chapitre I Etude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d'oued AGHLAL

<i>Tableau I.1 : classement du relief selon <math>I_g</math> par l'ORSTOM.</i>	14
<i>Tableau I.2 : classement du relief à partir du dénivelé spécifique selon la classification de l'ORSTOM.</i>	14
<i>Tableau I.3 : Récapitulation des paramètres morpho métriques du bassin d'oued AGHLAL.</i>	17
<i>Tableau I.4: Récapitulation des paramètres hydrographiques du bassin de l'oued AGHLAL.</i>	18

## Chapitre II Etude CLIMATOLOGIQUE : cas de bassin versant d'Oued AGHLAL

<i>Tableau II.1: variation de la température mensuelle en fonction du mois.</i>	25
<i>Tableau II.2: les différents températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles.</i>	26
<i>Tableau II.3 : variation de l'indice de DEMORAL mensuel.</i>	30
<i>Tableau II.4 : classification des mois.</i>	31
<i>Tableau II.5 : représente le calcul de <math>\gamma</math>.</i>	32
<i>Tableau II.6 : paramètre mensuelle interannuels de l'ETP (THORNTWAITE).</i>	35
<i>Tableau II.7 : représentation des différentes valeurs de l'ETP, ETR, <math>R_u</math> en fonction de précipitation.</i>	36
<i>Tableau II.8 : les différentes valeurs de l'ETR.</i>	36
<i>Tableau II.9: caractéristiques climatiques, statistique et hydrologiques.</i>	38

## Chapitre III. HYDROLOGIE D'OUED AGHLAL

<i>Tableau III.1 : Coordonnées de la Station météorologiques de TEMOUCHENT.</i>	39
<i>Tableau III.2: valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	40
<i>Tableau III. 3 : valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	41
<i>Tableau III.4 : valeur des précipitations saisonnières a la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	42
<i>Tableau III. 5 : valeurs des températures moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	43
<i>Tableau III. 6 : classement des précipitations par ordre croissant.</i>	45
<i>Tableau III.7: Résultats des paramètres statistiques.</i>	46
<i>Tableau III. 8 : calcul des paramètres de test <math>x^2</math>.</i>	46
<i>Tableau III. 9 : La valeur critique sera tabulée.</i>	47
<i>Tableau III.10 : les précipitations du différent temps de retour.</i>	47
<i>Tableau III.11: valeurs des débits moyennes annuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	50
<i>Tableau III.12 : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude.</i>	52
<i>Tableau III.13 : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	52
<i>Tableau III.14 : valeur des débits saisonniers a la station d'AIN TEMOUCHENT.</i>	53
<i>Tableau III. 15 : classement des débits par ordre croissant.</i>	54
<i>Tableau III. 16 : Résultats des paramètres statistiques.</i>	55
<i>Tableau III.17: calcul des paramètres de test <math>x^2</math>.</i>	55
<i>Tableau III.18: La valeur critique.</i>	56
<i>Tableau III.19: les débits du différent temps de retour.</i>	57
<i>Tableau III.20: Valeurs caractéristiques des débits annuels.</i>	58

---

<b>Tableau III.21:</b> valeurs des débits moyennes mensuelles à la station d'Ain TEMOUCHENT. _____	58
<b>Tableau III.22 :</b> valeurs des Coefficient mensuel des débits à la station d'AIN TEMOUCHENT. ____	59
<b>Tableau III.23:</b> Répartitions des débits mensuels. _____	60
<b>Tableau III.24 :</b> Répartition des Lames d'eau écoulées <sup>(le)</sup> et tranche d'eau précipitée ( $l_p$ ). _____	60
<b>Tableau III.25 :</b> Répartition des Lames d'eau écoulées <sup>(le)</sup> et tranche d'eau précipitée ( $l_p$ ). _____	61
<b>Tableau III.26:</b> Bilan moyen annuel de l'écoulement à la station de AIN TEMOUCHANT. _____	62

# **Introduction générale**

L'eau est la source de la vie et le vecteur le plus important pour un développement durable, elle est limitée en quantité et en qualité, cette source est indispensable a des activité humaines et vitale pour le fonctionnement des écosystèmes.

La protection de cette richesse et sa bonne gestion nécessite une stratégie face aux pénuries d'eau, par exagération souvent associées à certains phénomène naturels (changements climatiques, désertification).

Donc dans ce contexte on comprend aisément l'importance de cette richesse ce qui nécessite de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible.

De ce fait, l'eau en Algérie n'a jamais autant retenu l'attention des pouvoirs publics secouées par les organismes spécialisés qui prévoit de graves pénuries a des échéances très proche, il est admis que des mesures sont nécessaire pour améliorer la capacité à s'adapter a la variabilité hydrologique et aux phénomène externe (incendies et sécheresse).

Les travaux entrepris dans le cadre de ce mémoire s'organisent autour de trois chapitres qui sont développées comme suit :

Le premier chapitre est basé sur le diagnostic physico-géographique, qui permettra de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement (situation, relief, formation géologique, réseau hydrographique)

Le deuxième chapitre est basé sur une étude climatologique de la région ayant pour but de mieux comprendre les caractéristiques climatiques et d'établir le bilan hydrologique et d'estimer les réserves d'eau à l'exutoire de l'oued.

Dans le troisième chapitre nous représentons la détermination des processus hydrologiques, leur fonctionnement et leur impact sur la variabilité spatio-temporelle.

L'étude hydrologique portera aussi, sur le traitement statistique des données hydrométriques ainsi que l'évaluation des apports liquides annuels, mensuels et saisonniers une étude climatologique de la

région ayant pour but de mieux comprendre les caractéristiques climatiques et d'établir le bilan hydrologique et d'estimer les réserves d'eau à l'exutoire de l'oued.

En fin une conclusion générale sera donnée à la fin du travail.

## I. Chapitre I

### Etude des paramètres hydrologiques : cas de bassin versant d'oued AGHLAL

#### I.1 PRESENTATION DE LA REGION D'ETUD

#### I.2 Cadre géographique du bassin versant de l'Oued AGHLAL

Le bassin versant d'Oued AGHLAL, fait partie du grand bassin du côtier oranais qui s'étend au Nord-Ouest de l'Algérie. Il est limité au Nord par Hammam BOUHADJER à l'Ouest par Ain el KIHAL et au sud par Sidi ABDELI. L'altitude des crêtes du bassin varie entre 824m et 350 m. Il occupe la partie sud-ouest du côtier oranais, sa structure est celle d'une vallée entaillée du sud au nord (Figure I.1).

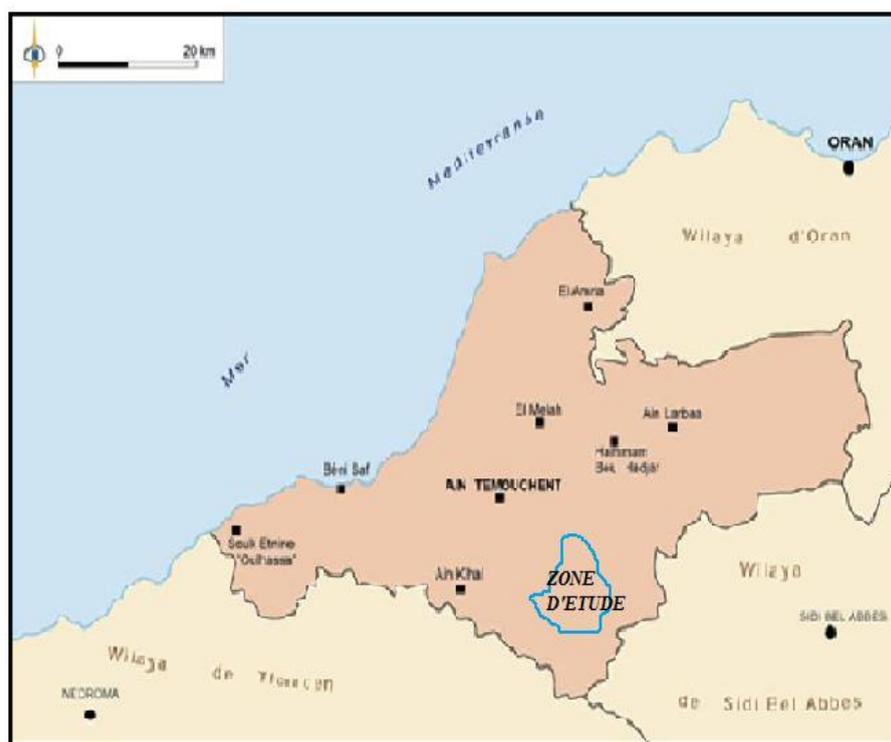


Figure I.1 : Situation du bassin versant de l'Oued AGHLAL [07]

#### I.3 Caractéristiques physiques du bassin d'Oued AGHLAL

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage Musset (2005). Parmi les caractéristiques morphologiques nous citons en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, sa pente et son orientation (figure I.2). A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs physiques, s'estiment

aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques. Pour le cas de notre étude, nous avons utilisé le logiciel MAP-INFO 7.0 pour la digitalisation, ainsi que pour la détermination du modèle numérique du terrain (M.N.T).

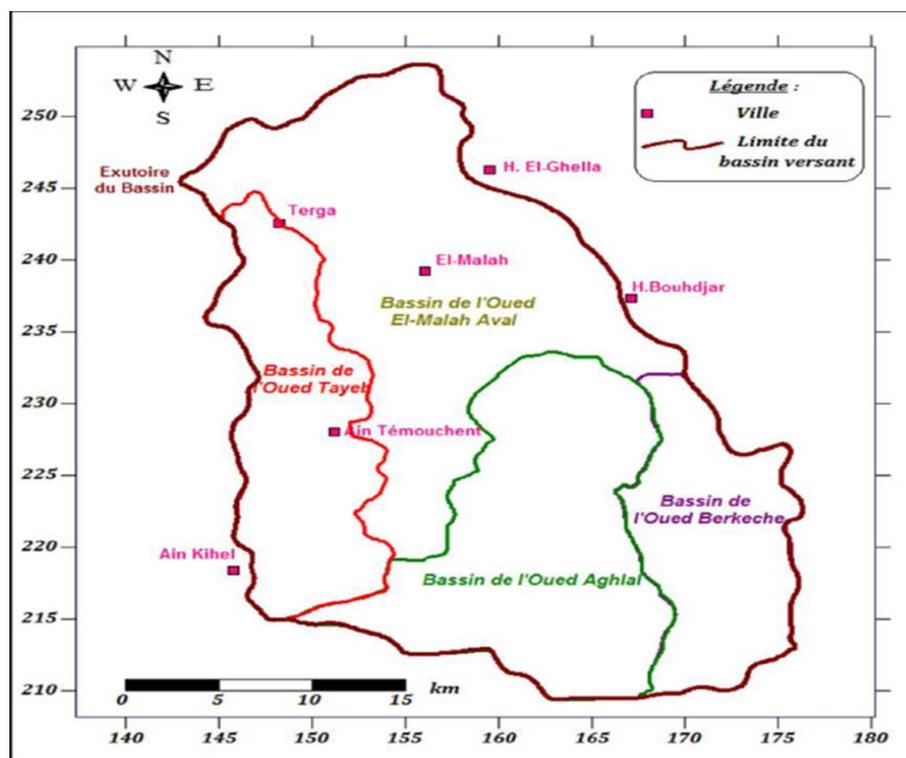


Figure I.2 : Délimitation d'oued AGHLAL [07]

### I.3.1 Surface et périmètre du bassin versant

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits d'écoulement sont en partie reliés à sa surface. La détermination de la surface du bassin versant ainsi que son périmètre ont été déterminés par la technique de digitalisation de la carte topographique établie à l'échelle 1/25000 grâce au logiciel MAP-INFO 7.0. Cette technique nous a permis de déterminer avec précision la surface de notre bassin versant qui est 240.92 km<sup>2</sup> et un périmètre de 79.77 km.

### I.3.2 Forme du bassin

La nature de la forme d'un bassin, influence énormément l'écoulement et détermine l'allure de son hydrogramme. Un bassin très allongé ne réagit pas de la même manière qu'un autre bassin de forme très ramassés ayant évidemment les mêmes caractéristiques Roche (1963).

Généralement, la forme d'un bassin versant est relative à l'indice de compacité de GRAVELIUS. Ce dernier est déterminé en comparant le périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle possédant la même superficie (A). [12]

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (I.1)$$

$K_G$  : Indice de compacité de GRAVELIUS.

$P$  : Périmètre du bassin versant (Km).

$A$  : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

Sur le plan morphologique, l'indice de compacité est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, est supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Pour le cas du bassin versant de l'oued AGHLAL, la valeur du coefficient de compacité = 1,43 indique que le bassin est de forme plutôt allongée.

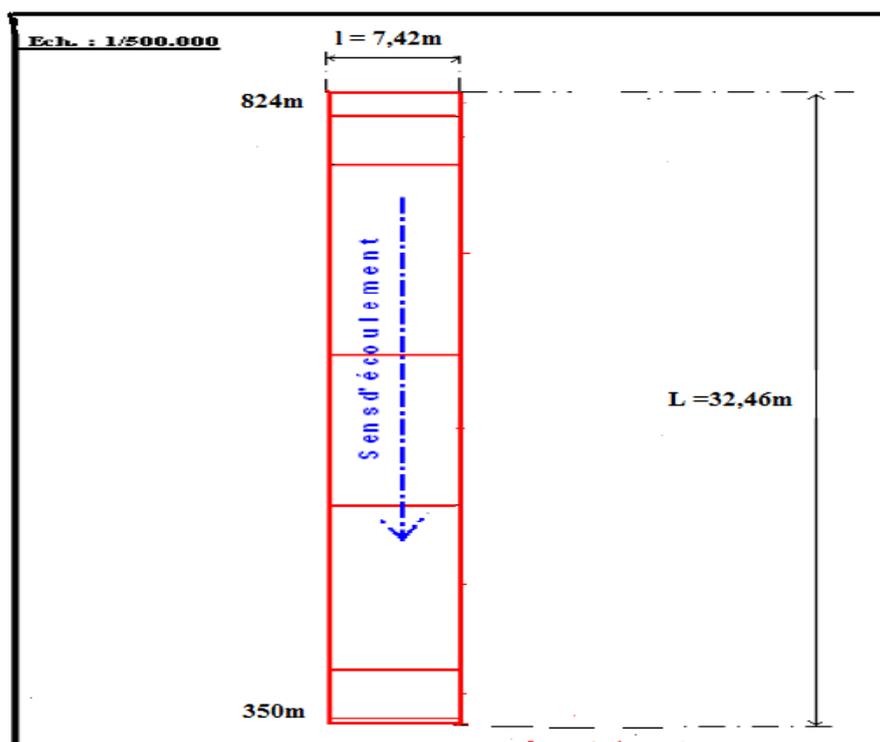
### I.3.3 Notion du rectangle équivalent.

Ce paramètre traduit l'influence de la forme géométrique du bassin sur les écoulements. Le rectangle équivalent s'identifie par une simple transformation géométrique du contour du bassin en un rectangle de même surface ( $A$ ), de périmètre ( $P$ ), de longueur ( $L$ ), de largeur ( $l$ ), indice de compacité  $K_C$ , et de la même courbe hypsométrique que le bassin versant étudié. Les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petites côtes et les exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle (Figure I.3)

La longueur du rectangle est déduite à partir de la relation suivante [12] :

$$L = \frac{k_c \sqrt{A}}{l} \left[ 1 - \frac{(l)^2}{k_g} \right] \quad (I.2)$$

L'application de la relation (I.2), donne  $L = 32.46m$   $l = 7.42m$



**Figure I.3 : Représentation schématique du rectangle équivalent du bassin versant de l'oued AGHLAL [12]**

### I.3.4 Altitudes caractéristiques du bassin

#### I.3.4.1 Les altitudes maximales et minimales :

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. Ces deux données déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Pour le cas de notre bassin  $H_{max} = 824\text{ m}$   $H_{min} = 350\text{ m}$ .

#### I.3.4.2 L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit à partir de la carte topographique. On peut la définir comme suit [08]:

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} \quad (\text{I.3})$$

D'où  $H_{moy} = 620\text{ m}$

$H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin ( $m$ ).

$A_i$  : Aire comprise entre deux courbes de niveau ( $km^2$ ).

$h_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau ( $m$ )

$A$  : Superficie totale du bassin versant ( $km^2$ )

### I.3.5 Indices de pente

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global  $I_g$  donné par la relation : [7]

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (I.4)$$

$I_g$  : Indice globale de Roche

$D$  : Dénivelée (m).

$L$  : Longueur du rectangle équivalent en (Km)

$H_5$  et  $H_{95}$  sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée  $D$

est donc égale à  $H_{5\%} - H_{95\%}$ .

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 360m$$

$$H_{5\%} = 740m$$

$$H_{95\%} = 380m$$

$$L = 32.463km$$

Donc :  $I_g = 11.08m / km$

### I.4 Indice de pente de ROCHE

Indice de roche sert à déterminer la pente moyenne, il tient compte du facteur de ruissellement et son influence sur le régime hydrologique, cet indice se calcule par la relation suivante : [01]

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (I.5)$$

Avec :

$L$  : Longueur du thalweg principal (km).

$H_{max}$  : Altitude maximale (m).

$H_{min}$  : Altitude minimale (m).

$L = 41.6km$  ;  $H_{max} = 840m$  ;  $H_{min} = 350m$ .

**Tableau I.1 : classement du relief selon  $I_g$  par l'ORSTOM [12]**

Relief	Valeur de $I_g$ (m)
Relief très faible	$I_g < 0.002$ m/km
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$I_g > 0.5$ m/km

**I.4.1 Dénivelée spécifique**

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins. La dénivelée spécifique se calcule alors par la relation suivante : [13]

$$D_s = I_g \sqrt{A} \quad (I.6)$$

Avec :

$I_g$  : Indice de pente global (m/Km).

$A$  : aire du bassin (km<sup>2</sup>).

$I_g = 11.08$  m/km Et  $A = 240.92$  km<sup>2</sup>

Donc :  $D_s = 171.97$  m

**Tableau I.2 : classement du relief à partir du dénivelé spécifique selon la classification de L'ORSTOM [07]**

Relief	Valeur de $D_s$ (m)
Relief très faible	$D_s < 10$
Relief faible	$10 < D_s < 25$
Relief assez faible	$25 < D_s < 50$
Relief modéré	$50 < D_s < 100$
Relief assez fort	$100 < D_s < 250$
Relief fort	$250 < D_s < 500$
Relief très fort	$D_s > 500$

- D'après la classification de l'ORSTOM (tableau I et II) on a :

$$0.01 < I_g < 0.02 \quad ; \quad 100 < D_s < 250$$

Ces valeurs indiquent que le relief de notre région est modéré, ce qui résulte un ruissellement superficiel assez faible et par conséquent un  $T_c$  relativement long.

Les valeurs d' $I_g$  et  $D_s$  sont portées au tableau I.2.

### I.5 Etude du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique, est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin (Figure I.4).

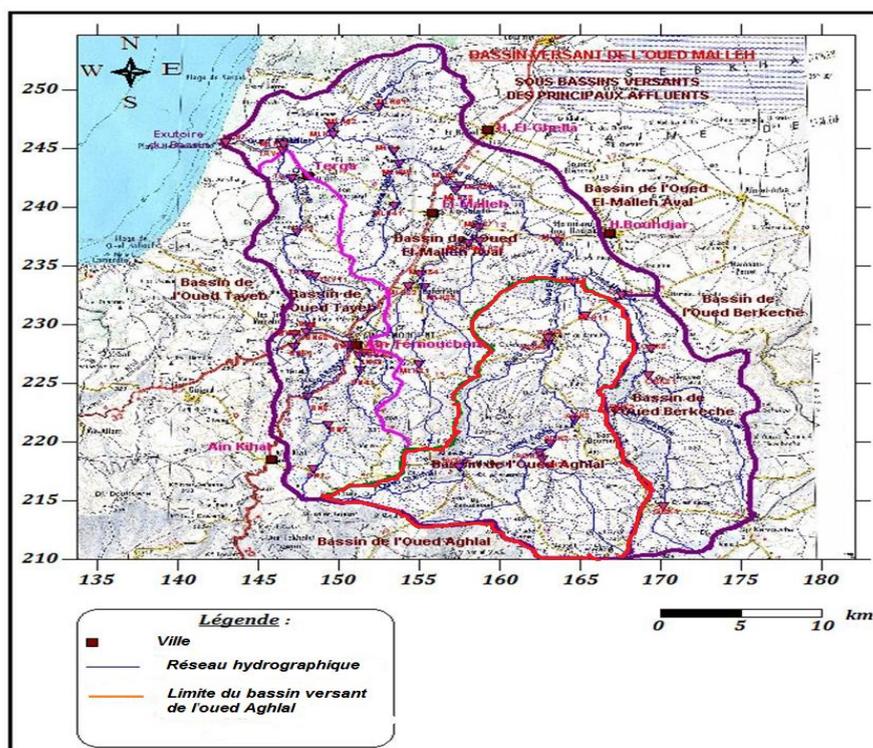


Figure I.4 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued AGHLAL [07]

Il peut donc prendre une multitude de formes. La différence du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux.

- Géologie : La nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique
- Climat : Le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- Pente du terrain : Elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.

- Cours d'eau : Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent. Contrairement, dans les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine [07].

### I.5.1 Densité de drainage

La densité de drainage est définie par la relation suivante [14] :

$$D_d = \frac{\sum I_i}{A} \quad (I.7)$$

Avec :

$D_d$  : Densité de drainage en km/km<sup>2</sup>

$\sum I_i$  : Longueur totale des thalwegs en km

$A$  : Aire du bassin en km<sup>2</sup>.

$$\sum I_i = 323.2 \text{ km} \quad \text{Et} \quad A = 240.92 \text{ km}^2$$

Donc :  $D_d = 1.34 \text{ km/km}^2$

### I.5.2 Fréquence des cours d'eau

Elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface. Elle est obtenue à partir du rapport du nombre de cours d'eau (N) à la surface totale (A) du bassin. Elle est calculée par la relation suivante [11] :

$$F_s = \frac{N}{A} \quad (I.8)$$

Avec :

$F_s$  : Fréquence des cours d'eau.

$N$  : Nombre de talweg.

$A$  : Surface du bassin en Km<sup>2</sup>.

$$N = 197 \quad \text{Et} \quad A = 240.92 \text{ km}^2$$

Donc :  $F_s = 0.81$

### I.5.3 Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage [11] :

$$C_T = D_d \cdot F_s \quad (I.9)$$

Avec :

$D_d$  : Densité de drainage.

$F_1$  : Fréquence des thalwegs élémentaires  $F_1 = \frac{N_1}{A}$  avec  $N_1$  : nombre de cours d'eau d'ordre 1 est égal à 196.

Alors :  $F_1 = 196 / 240.92 = 0.81$  Et  $D_d = 1.34 \text{ km/km}^2$

Donc :  $C_T = 1.09$

#### I.5.4 Temps de concentration

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul, nous faisons appel à la formule de GIANDOTTI [08].

$$T_c = 4(A + 1,5 L)^{\frac{1}{2}} / 0.8(H_{moy} - H_{min})^{\frac{1}{2}} \quad (I.10)$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration (heures).

$A$  : Superficie du bassin ( $\text{km}^2$ ).

$L$  : longueur du thalweg principal ( $\text{km}$ ).

$H_{moy}$  : Altitude moyenne ( $m$ ).

$H_{min}$  : Altitude minimale ( $m$ ).

$A = 240.92 \text{ km}^2$     $L = 41.6 \text{ km}$     $H_{max} = 620m$     $H_{min} = 350$

Donc :  $T_c = 5 \text{ h } 30$

**Tableau I.3 : Récapitulation des paramètres morpho métriques du bassin d'oued AGHLAL.**

Caractéristiques	Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
<b>Morphologie du Bassin versant</b>	Surface	$A$	$\text{km}^2$	240.92
	Périmètre	$P$	$\text{km}$	79.77
	Coefficient de GRAVELIUS	$K_G$	-	1.43
	Longueur du rectangle équivalent	$L$	$\text{km}$	32.46
	Largeur du rectangle équivalent	$l$	$\text{km}$	7.42
<b>Relief</b>	Altitude maximale	$H_{max}$	$m$	824
	Altitude moyenne	$H_{moy}$	$m$	620
	Altitude minimale	$H_{min}$	$m$	350
	Pente globale	$I_p$	%	-

	Dénivelée spécifique	$D_s$	$m$	171.97
--	----------------------	-------	-----	--------

**Tableau I.4: Récapitulation des paramètres hydrographiques du bassin de l'oued AGHLAL.**

Caractéristiques	Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
<b>Réseau hydrographique</b>	Densité de drainage	$D_d$	$km/km^2$	1.34
	Temps de concentration	$T_c$	Heure	5h30
	Coefficient de torrentialité	$C_T$	/	1.09
	Fréquence des cours d'eau	$F_s$	/	0.81

L'exploration du tableau I.3 et I.4, montre que la valeur du coefficient de torrentialité  $C_t$  est relativement faible (1,09). Ceci est dû essentiellement à la faiblesse des précipitations, où encore à la forte perméabilité des structures lithologiques. D'autre part, le temps de concentration s'avère assez important (5h30), en raison de la forme et du relief qui caractérise le bassin. La valeur de densité de drainage (1,34 Km/Km<sup>2</sup>) et la fréquence des cours d'eau (0,81) indiquent que le bassin versant est assez bien drainé. L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forment le bassin (présence de faille qui favorisent la genèse des cours d'eau), ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par des pluies irrégulières et violentes. On considère alors, que le réseau hydrographique, de notre bassin témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé moyennement dense, mais assez ramifié.

## I.6 Cadre géologique et hydrogéologique

### I.6.1 Cadre géologique

La région d'Ain t'émouchent est caractérisée par une succession de nappe de charriages, dont les racines se situeraient à l'emplacement de la méditerranée actuelle.

Après la mise en place des nappes, une alternance de transgressions et régressions marines devait donner une succession de dépôts marins et continentaux. Ces dépôts sont couronnés du Miocène post nappe ou quaternaire.

La zone étudiée fait partie de plateau d'AIN TEMOUCHENT (figure I.5) et qui correspond à une terrasse néogène et quaternaire, inclinée vers la mer à travers la quelle percent des îlots secondaires qui créent des accidents sur la topographie, ce plateau est bordé par une ligne de reliefs côtiers secondaires découpés en plusieurs sections séparés par des étendues de formations néogènes.

### I.6.1.1 Aspect structural et tectonique de la région d'étude

Aujourd'hui de nombreuses études faites par des chercheurs géologues, permettent d'avoir une connaissance parfaite du style tectonique et l'architecture des principaux reliefs.

Notre région d'étude est passée par ces 4 phases tectoniques [07] :

#### I.6.1.1.1 Phase hercynienne

Le substratum hercynien n'est que rarement visible et les témoins ont subi des transformations au cours de la tectogenèse tello rifaine. Le substratum primaire affleure largement au nord du domaine atlasique oranais, il est constitué essentiellement de série carbonatée et grès élitiques qui ont subi une tectogenèse hercynienne.

#### I.6.1.1.2 Phase compressive alpine

Le domaine tellien a connu une vaste compression durant la phase alpine dont les plis sont orientés. Une émergence paléogéographique accompagne ce mouvement tectonique allant d'Est en Ouest. Elle comprend deux phases :

##### a) Phase lutétienne :

Elle est responsable de certains phénomènes attribués à la tectonique miocène, en particulier des massifs littoraux à schistosité.

##### b) phase miocène :

Cette phase est responsable d'un nouvel épi métamorphisme. La compression engendre la schistosité des massifs littoraux. Elle est subdivisée en deux phases de plissements :

- **Première phase de plissement** : elle entraîne une schistosité flux à style isoclinal en plis couchés dans les zones profondes comme le synclinal d'AGHLAL et le Djebel sidi Kassem.
- **Deuxième phase** : elle est caractérisée par une schistosité de fracture, de plan axial subverti cal due à la première phase.

#### I.6.1.1.3 Phase transgressive alpine

A la suite des deux phases lutétienne et miocène qui finissent avec un comblement du bassin synchrone par les nappes telliennes et après la compression alpine, survient la transgression du deuxième cycle post nappe pendant le néogène ou vont s'emboîter la différente unité charriées du nord vers le sud, elle est caractérisée par une grande épaisseur des dépôts. au cours de cette période, une importante tectonique provoque la mise en place des nappes dans les grands bassins. la limite d'avancée des nappes se trouve donc dans l'avant fosse miocène qui constitue la partie septentrionale du domaine atlasique. Cette tectonique dessine les traits essentiels de la structure actuelle.

#### I.6.1.1.4 Néotectonique

L'Oranie est caractérisée par un volcanisme acide pli quaternaire, cette tectonique est représentée où deux phases [03] :

- **Tectonique du Messénien**

Cette tectonique distensifs sont est épirogénique ou on marque plusieurs événements qui sont responsable du découpage en hors et graben du littoral.

- **Tectonique du plio quaternaire :**

La déformation plio quaternaire constitue des failles inverses et des décrochements suivants les quels s'effectue le découpage de l'orogénèse alpine du nord en suite l'association du volcanisme basaltique alcalin de la zone.

#### I.6.1.2 Le Volcanisme :

Dans la région d'AIN TEMOUCHENT les émissions volcaniques couvrent une surface de 450 km<sup>2</sup> entre Ain KIHAL et sidi Safi. Bien que l'érosion ait été intense.

Les formations volcaniques de cette région sont formées de 3 niveaux de produits :

Les tufs, les brèches et les coulées [05].

- **Les Tufs :**

Les premières manifestations responsables de la formation des anneaux (anneau de Bengana) de tufs sont de type phréatomagmatiques. D'après leur origine, on peut distinguer :

- ✓ **Les Tufs d'origine volcano sédimentaire**

Ce sont les cendre et lapillis qui ont entraîné la formation de tufs ci néritiques très fertiles et parfois très fins présentant des enclaves (nodules a olivine, bombes a hornblendes brunes, hydrologie et modélisation pluie débits).

- ✓ **Les Tufs de retombée**

Ils sont de couleur rougeâtre à aspect induré, de faible densité. Composés de bombes centimétriques a décimétrique, de nature scoriacée et renferment des minéraux ferromagnésiens.

- ✓ **Les Tufs d'origine explosive**

C'est une formation litée, de couleur sombre contenant des blocs de calcaire, marnes ou grés et des blocs d'origine volcanique de taille variable, ce sont des fragments de coulée.

- **Les Brèches**

On distingue des brèches de base ou de sommet de coulées et des brèches stromboliennes :

- ✓ **Brèches de base ou de sommet de coulées**

Scoriacées avec des éléments soudés entre eux. Elles sont de couleur rouge en raison du remaniement des tufs sous-jacents au moment du dépôt de la brèche.

**✓ Brèches stromboliennes**

Ce sont des bombes très caractéristiques des volcans stromboliens, formées soit de cônes (Beganna) soit des pitons. Ces brèches sont bien litées avec des enclaves d'origine profonde (enclaves de péridotites) ayant une taille de quelques centimètres à un mètre.

**• Les Coulées**

Les coulées et les amas de roches pyroclastiques du massif d'AIN TEMOUHENT occupent de vastes étendues de très faible pente, légèrement inclinées vers la mer de direction du sud au nord. Ces coulées sont massives, rarement prismes, de couleur sombre quand elles affleurent. En raison de leur fluidité, elles s'y accumulent dans les thalwegs en formant de vastes plateaux autour des cratères, les coulées ayant par ailleurs empreinte les lits des anciens oueds entraînant une profonde transformation du réseau hydrographique [05].

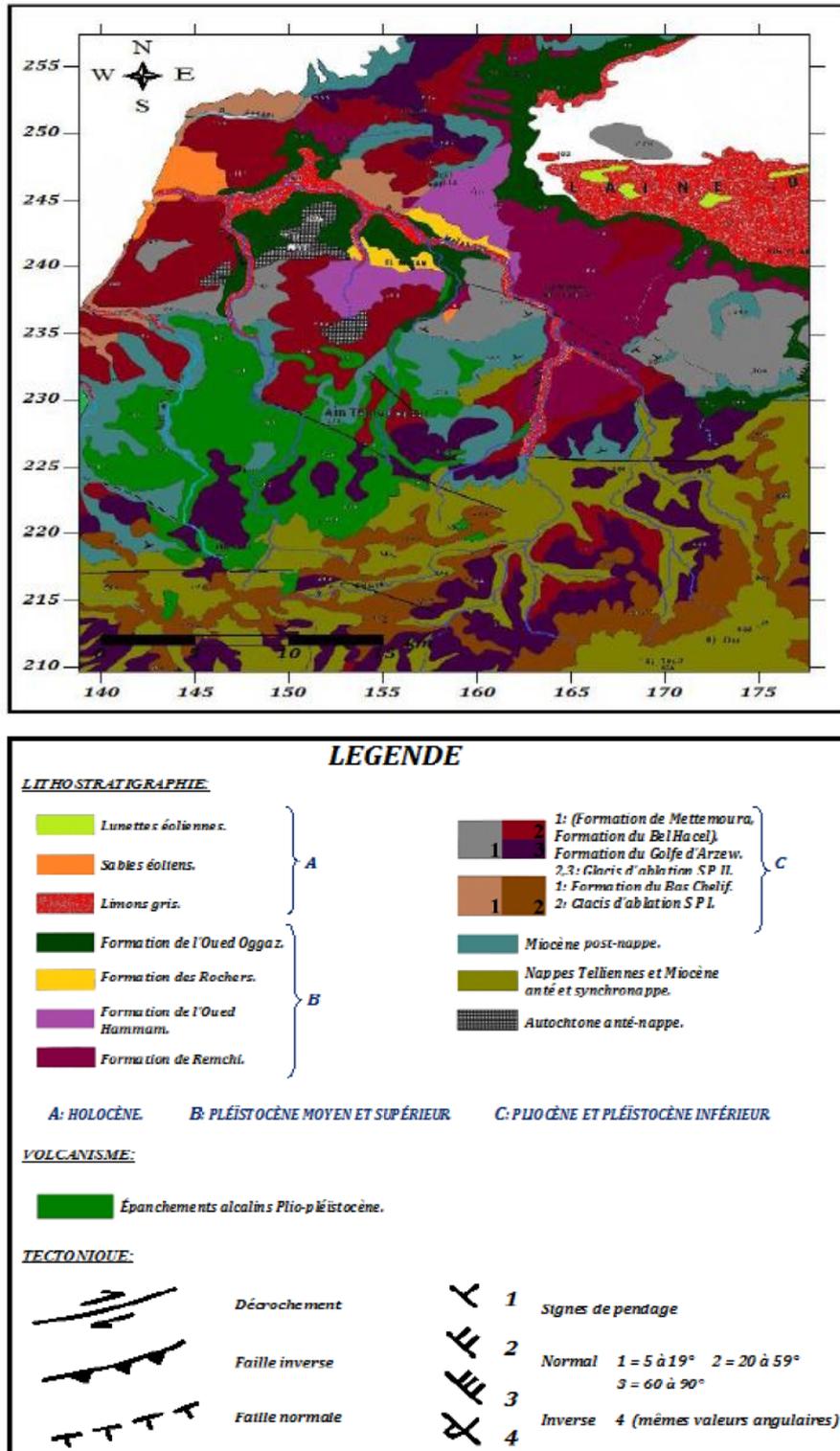


Figure I.5 : carte géologique de la région d'AIN TEMOUCHENT [07]

I.7

## I.8 Cadre hydrogéologique

D'après les études géologiques faites sur les forages on distingue les formations perméables suivantes :

- Aquifère des alluvions quaternaires
- Aquifère des basaltes plio quaternaires
- Aquifère des sables et grés du pliocène
- Aquifère des calcaires du miocène supérieur
- Aquifère des calcaires et grés d'oligo miocène
- Aquifère du jurassique inférieur

La carte hydrogéologique a été établie à partir de la carte géologique et des relevés piézométriques de l'aquifère, ces derniers ont été exécutés en période de hautes eaux. Afin de déterminer le comportement hydrodynamique [03].

### I.8.1 Identifications des aquifères

#### I.8.1.1 Aquifère des alluvions Quaternaire

Les quaternaires sont des alluvions et sédiments de pente, limons sableux, sable argileux et poudingues, il représente une formation avec une perméabilité importante (Terge, la plaine de la M'leta). Les apports d'eau douce de l'aquifère des calcaires miocènes permettent d'obtenir des mélanges acceptables et d'augmenter les réserves [06].

#### I.8.1.2 Aquifère des basaltes plio Quaternaires

Les basaltes ont une grande importance sur le plan des ressources en eau en raison de leur extension dans la région. Le substratum de cette formation varie suivant la localisation on distingue trois niveaux de bas en haut :

- Tufs basaltiques : est une formation légère formée de matériaux grossiers. Ces tufs d'origine phréatomagmatique que représente une perméabilité d'interstices.
- Scories : composées d'éléments cimentés, de tailles variables (épaisseur de 5 à 10 m), caractérisées par une perméabilité d'interstices.
- Coulées : occupent de vastes étendues et se disposent en dalles massives. Comportant un réseau de fissures très dense et d'orientations différentes.

#### I.8.1.3 Aquifère des sables et grés du pliocène

Généralement le pliocène est constitué par une alternance de sable, grés et des marnes, qui surmontent les calcaires du miocène supérieur du djebel kéroulis (djebel el maida). C'est un aquifère

a perméabilité d'interstices renfermant une nappe dont l'écoulement se dirige du nord vers le sud, une partie de l'alimentation se fait par les calcaires blancs messéniens [06].

#### **I.8.1.4 Aquifère des calcaires du miocène supérieur**

Cet aquifère affleure dans la région d'AIN TEMOUHENT entre sidi Safi et TERGA , il constitue d'un ensemble du miocène supérieur comprend des calcaires friables, crayeux a algues d'une couleur blanchâtre.

#### **I.8.1.5 Aquifère des calcaires et grès de l'oligo miocène**

Cet aquifère ne présente que des nappes perchées et superposées d'extension réduite, donnant naissance a des sources de déversement de faibles débits. D'autre part, la perméabilité des terrains est souvent faible, les débits des exutoires sont peu importants (en générale inférieur a quelques litres par seconde) sauf dans le cas d'une disposition favorable (structurale) comme celui d'Ain El Hadj au Nord Est d'AOUBELLIL qui présente un débit élevé : environ 35 l/S [07].

#### **I.8.1.6 Aquifère du jurassique inférieur**

Le jurassique formé de séries carbonatés qui reposent sur la série qui reposent sur la série schiste gréseuse. La nappe des calcaires liasiques a des réponses de forte amplitude aux variations extérieures car elle se vidange rapidement après avoir été rechargé pendant les périodes pluvieuses, le rabattement annuel est important [07].

## II. Chapitre II

### III. Etude des paramètres climatologiques : cas de bassin versant d'Oued AGHLAL

#### III.1 Introduction :

Cette étude pour objectif d'étudier l'état moyen de climat, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques sur de longue période.

#### III.2 Etude des températures :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques.

Le tableau (II.1) représente les températures moyennes maximales et minimales ainsi que les températures moyennes mensuelles.

*Tableau (II.1) : variation de la température mensuelle en fonction du mois*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$T_{max} (C^{\circ})$	10.4	10.6	12.5	13	16	30.4	27.4	33.7	19.6	18	14.7	10.7
$T_{min} (C^{\circ})$	5.5	5.3	9.3	10.3	11	16.9	17.1	18	16.9	12.9	8.5	7
$T_{moy} (C^{\circ})$	8.2	8.3	9.1	11.6	14.3	18.6	21.4	22.6	18.7	15.7	11	9.2

L'exploration du tableau (II.1) montre que le mois le plus froid est le mois de janvier (avec  $8.2 C^{\circ}$ ) et le plus chaude est le mois d'Aout (avec  $22.6 C^{\circ}$ ).

La moyenne annuelle de la température est de ( $14.05 C^{\circ}$ ).

Dans la figure (II.1) nous avons représenté en abscisse les différents mois, et en ordonne les températures ( $C^{\circ}$ ).

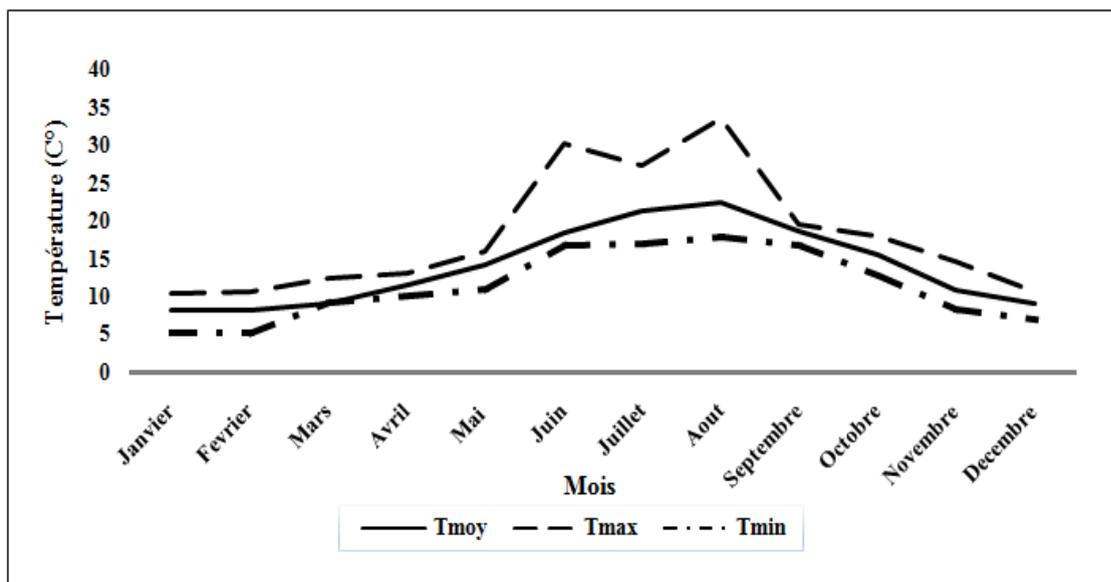


Figure II.1 : variation des températures mensuelles

### III.3 Classification climatique :

Pour déterminer le type de climat de notre région nous avons utilisé les données fournies par la station d'AIN TEMOUCHENT.

Les différentes méthodes utilisées dans cette étude, sont les suivantes :

#### III.3.1 Méthode pluviométrique :

Selon GAUSSEN et BAGNOULS, un mois est dit sec si le total moyen des précipitations est inférieur ou égale au double de la température moyenne  $P \leq 2T$ .

Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviothermiques sur lesquels la température est portée sur une double échelle de celle des précipitations.

- Si la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations nous avons un mois sec.
- Si la courbe des températures passe au-dessous de la courbe des précipitations nous avons un mois humide.

Le tableau (II.2) représente les différentes températures moyennes mensuelles, et les précipitations moyennes mensuelles [01].

Tableau (II.2) : les différentes températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$P(mm)$	55.9	48.4	39.1	30.4	24.3	4.1	1.3	2.8	14.2	28.4	59.7	34.8
$T(°C)$	8.2	8.3	9.1	11.6	14.3	18.6	21.4	22.6	18.7	15.7	11	9.2

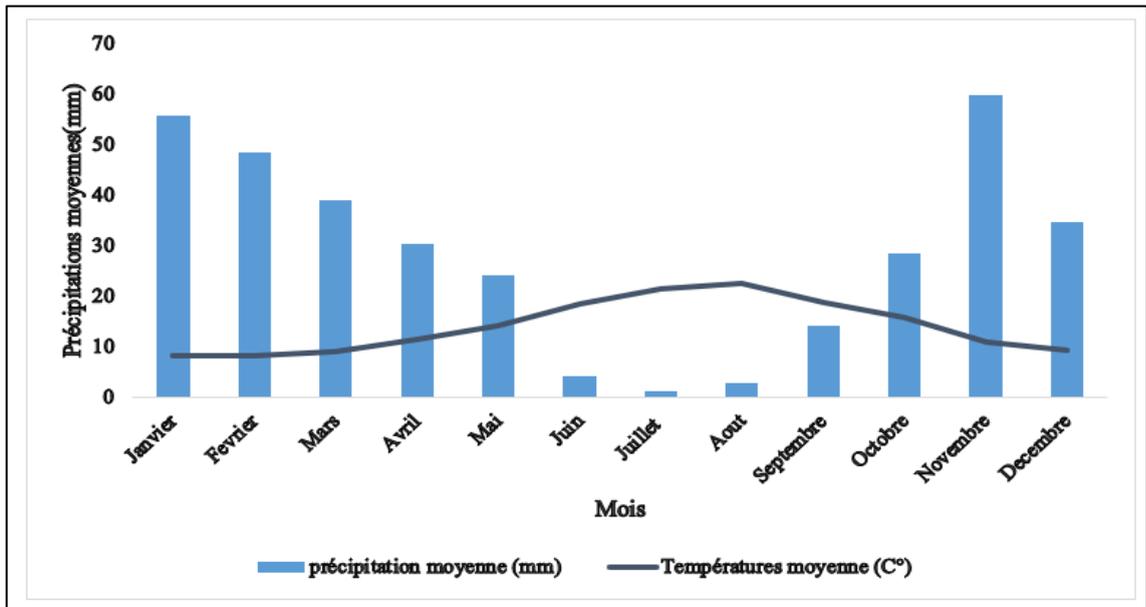


Figure II.2 : le diagramme pluviométrique

### III.3.2 Les indices climatiques généraux :

Pour le calcul des indices climatique nous avons utilisé différentes méthodes à savoir [08].

#### III.3.2.1 L'indice de DEMERTONNE :

DEMARTONNE au 1933 a introduit un indice d'aridité

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (\text{II.1})$$

$I$  : indice d'aridité de MARTONNE.

$P$  : précipitation moyenne annuelle ( $mm$ ).

$T$  : température moyenne annuelle ( $C^\circ$ ).

D'après le tableau (III.2) nous avons :

$$p = 343.5 \text{ mm} \quad \text{Et} \quad T = 14.05C^\circ$$

On obtient un indice d'aridité de DEMARTONNE.

$$I = 14.28$$

Selon la répartition donnée par DEMARTONNE l'indice d'aridité ( $I$ ) est compris entre 10 et 20 ( $10 < I < 20$ ), l'exploitation de l'abaque de l'indice d'aridité de DEMARTONNE montre que notre région a un climat semi-aride.

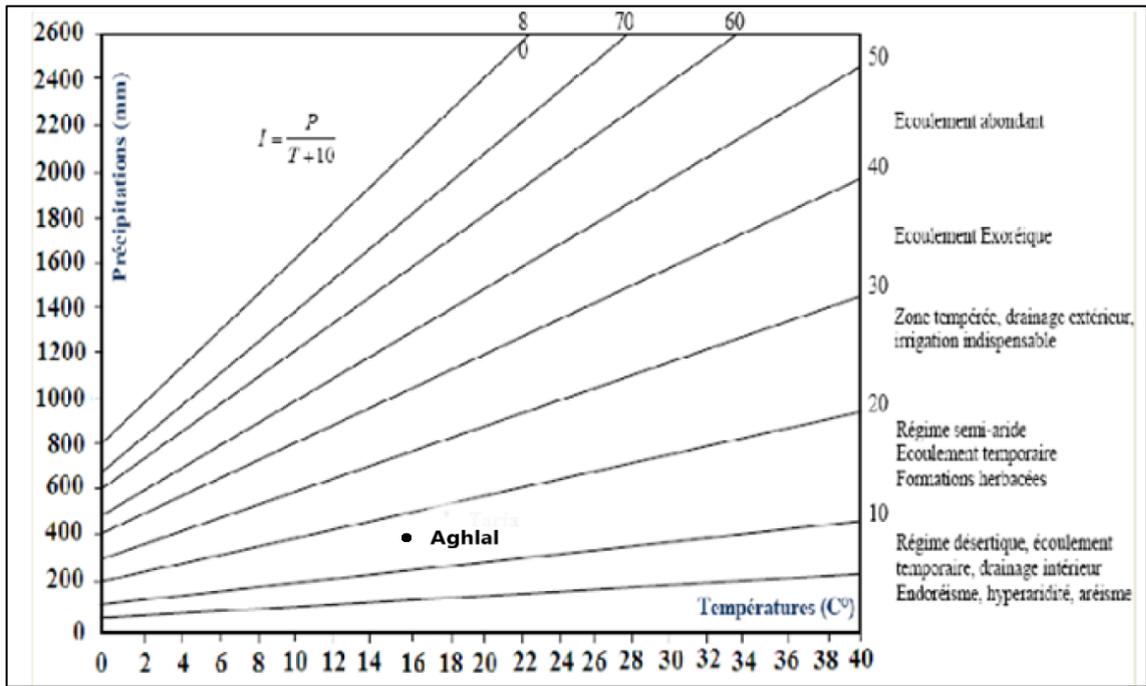


Figure II.3 : Abaque de l'indice de DEMARTONNE [09]

### III.3.2.2 Indice D'EMBERGER :

$$Q = \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M-m)} \times 1000 \quad (\text{II.2})$$

$Q$  : indice D'EMBERGER (quotient pluviothermiques).

$P$  : précipitation moyenne annuelle en (mm).

$M$  : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (K).

$m$  : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (K).

$$P = 343.5m$$

D'après le tableau (II.2) nous avons :

$$M = 33.7C^{\circ} = 306.15K$$

$$m = 5.3C^{\circ} = 278.15K$$

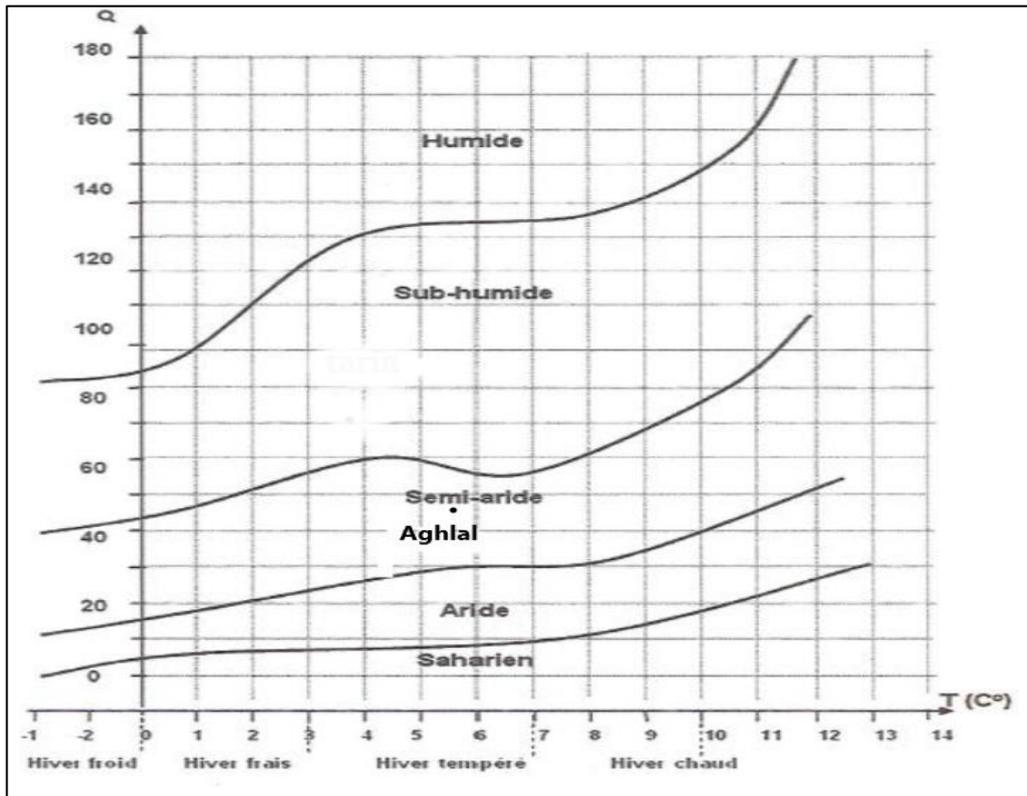


Figure II.4 : Abaque de l'indice d'aridité d'EMBERGER [09]

### III.3.2.3 Indice de STEWART :

Il est donné par la relation suivante :

$$Q = 3.43 \times \frac{P}{M + m} \quad (\text{II.3})$$

$Q$  : le quotient pluviothermiques (indice de STEWART).

$P$  : précipitation moyenne annuelle ( $mm$ ).

$M$  : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en ( $C^\circ$ ).

$m$  : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en ( $C^\circ$ ).

$$P = 343.5m$$

$$M = 33.7(C^\circ)$$

$$m = 5.3(C^\circ)$$

La relation (II.3) nous permet de calculer l'indice de STEWART.

$$Q = 30.21$$

### III.3.2.4 Indice de DEMORAL :

$$I_p = \frac{P}{(T^2 - 10) \times (T + 200)} \quad (\text{II.4})$$

$I_p$  : Indice annuel de DEMORAL.

$P$  : précipitation moyenne annuelle en (mm)

$T$  : température moyenne annuelle en ( $C^\circ$ )

$$P = 343,5 \text{ mm}$$

$$T = 14.05 C^\circ$$

L'équation (III.4) nous permet de calculer l'indice de DEMORAL.

$$I_A = 0.0085$$

Pour préciser le caractère climatique mensuel DEMORAL a proposé un indice mensuel  $I_m$ .

$$I_m = \frac{P_m}{\frac{T^2}{10} - T + 20} \quad (\text{II.5})$$

$I_m$  : Indice mensuelle

$P_m$  : précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

Le tableau (II.3) représente les variations des indices de DEMORAL en fonctions du mois.

**Tableau (II.3) : variation de l'indice de DEMORAL mensuel.**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$I_m$	3.01	2.60	2.03	1.39	0.92	0.11	0.02	0.05	0.39	0.98	2.82	1.80

DEMORAL a classé les mois on 4 types :

- Mois pluvieux :  $P > 0.1T^2 + T + 30$
- Mois humide :  $P > 0.1T^2 + T + 30 > P \geq 0.05T^2 - T + 10$
- Mois sec :  $0.1T^2 - T + 20 > P \geq 0.05T^2 - T + 10$
- Mois aride :  $P < 0.05T^2 - T + 10$

Le tableau (II.4) représente la classification des mois selon DEMORAL.

**Tableau (II.4) : Classification des mois**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Régime	Pluvieux	Pluvieux	Humide	Humide	Sec	Aride	Aride	Aride	Sec	Sec	Pluvieux	Humide

### III.4 L'évapotranspiration réelle et le déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration réelle désigne les pertes d'eau sous forme de vapeur d'eau, elle correspond à un phénomène complexe qui regroupe à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol des processus de transpiration qui correspondent à l'utilisation de l'eau atmosphérique, et de l'eau dans l'atmosphère par les végétaux [01].

Le déficit d'écoulement est défini par la différence entre les précipitations est la lame d'eau écoulée à l'échelle du bassin versant. Pour permettre d'atteindre une estimation acceptable des valeurs d'EVT et de déficit d'écoulement nous utilisons des méthodes empiriques.

#### III.4.1 L'évapotranspiration réelle :

##### III.4.1.1 Méthode de TURC :

La formule de turc s'écrit de la manière suivante [09]:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{B^2}}} \quad (II.6)$$

Avec :

$ETR$  : évapotranspiration réelle ( $mm$ ) .

$P$  : précipitation moyenne annuelle ( $mm$ ) .

$$B = 300 + 25T + T^3 \quad (II.7)$$

$T$  : température moyenne annuelle ( $C^\circ$ ) .

$$P = 343.5mm$$

$$T = 14.05C^\circ$$

L'application de l'équation (II.7) montre que :

$$B = 789.92$$

La formule (II.6) nous permet de calculer l'évapotranspiration réelle :

$$ETR = 329.14mm$$

#### III.4.1.2 Méthode de COUTAGNE :

Le déficit d'écoulement qui est l'équivalent de l'évapotranspiration réelle est donné par la relation suivante [09] :

$$D = ETR = P - (\gamma \times p^2) \quad (\text{II.8})$$

$ETR$  : Evapotranspiration réelle ( $mm$ ).

$P$  : Précipitation moyenne annuelle ( $mm$ ).

$$\gamma = \frac{I}{0.8 + 0.14T} \quad (\text{II.9})$$

$T$  : température moyenne annuelle ( $C^\circ$ ).

$$P = 343,5mm$$

$$T = 14.05C^\circ$$

La formule (II.8) n'est pas applicable que pour les précipitations moyennes annuelles comprises entre

$$\frac{I}{8\gamma} \text{ et } \frac{I}{2\gamma} .$$

L'application de la relation (II.9) nous permet de donnée les résultats qui sont enregistrés dans le tableau (II.5).

**Tableau (II.5) : représente le calcul de  $\gamma$**

$p(m)$	$\gamma$	$\frac{I}{8\gamma}$	$\frac{I}{2\gamma}$
0.3435	0.36	0.35	1.38

Selon le tableau (II.5) nous déduisons que la formule de COUTAGNE n'est pas applicable dans

notre cas, car  $p$  n'est pas comprise entre  $\frac{I}{8\gamma}$  et  $\frac{I}{2\gamma}$

### III.4.1.3 Méthode de P. VERDEIL :

L'utilisation de l'abaque de P. VERDEIL nous permet de trouver un déficit d'écoulement D.

$$D = 312mm$$

$$D = 300mm$$

Quotient d'écoulement : 10%

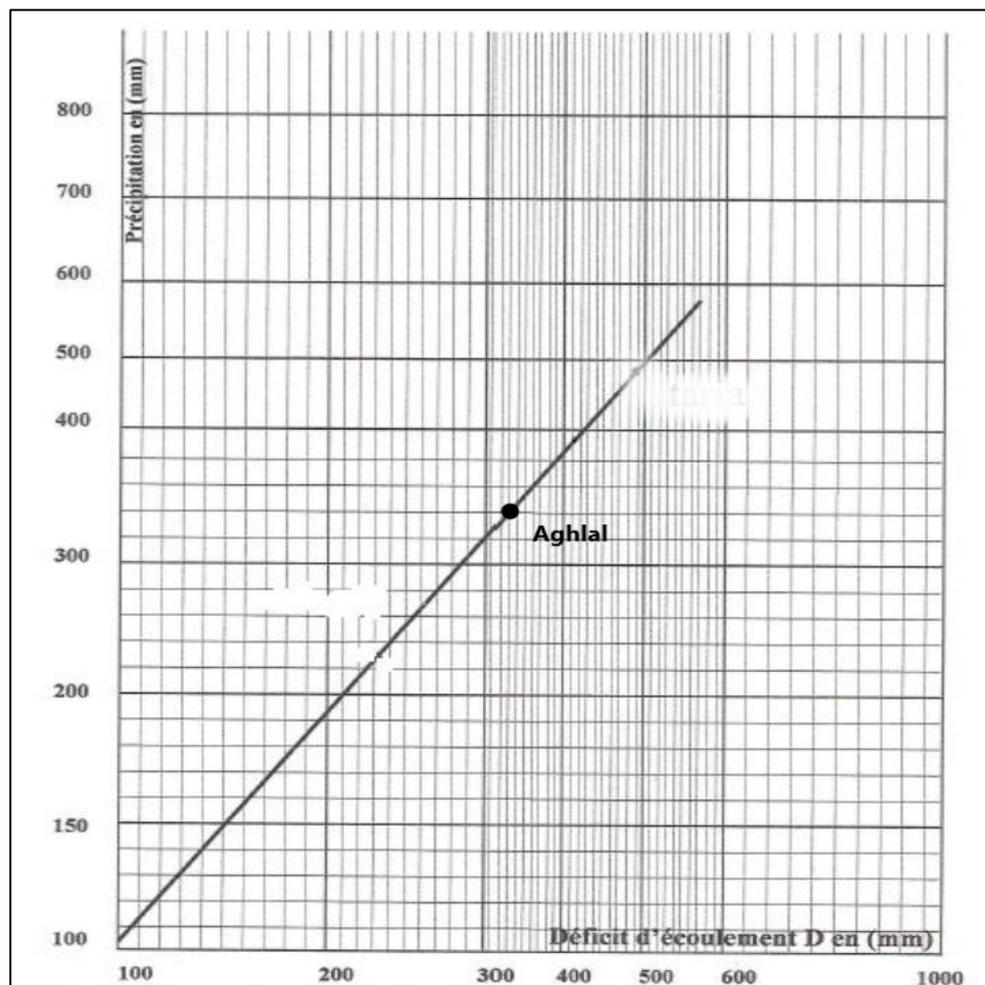


Figure II.5. Abaque de P. VERDEIL en 1988 pour calculer le déficit d'écoulement en Algérie [09]

### III.4.1.4 Méthode de WUNDT

L'abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE, permet de déterminer graphiquement l'évapotranspiration réelle en fonction de la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations moyennes annuelles (mm). Cette dernière, nous permet de donner les résultats suivants :

$$D = 300mm$$

Quotient d'écoulement : 10%

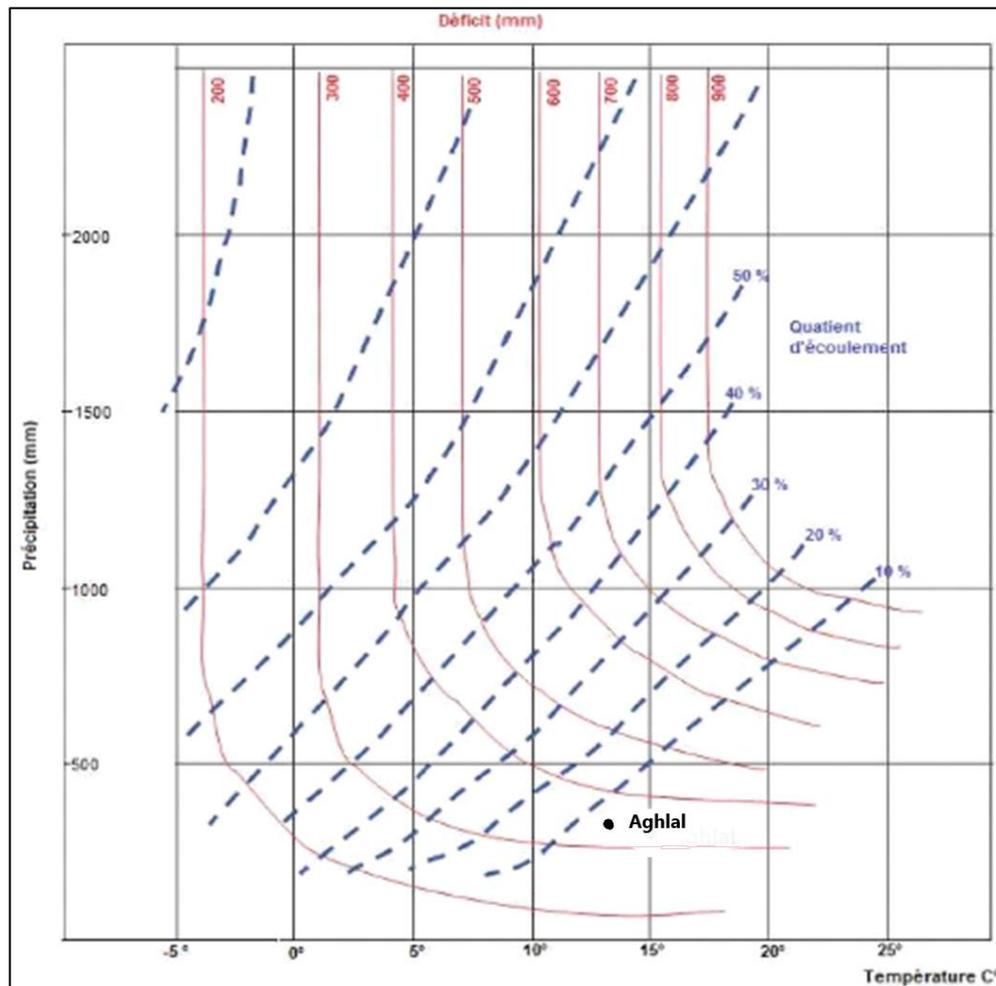


Figure II.6 : Abaque de WUNDT du déficit [09]

### III.4.2 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle ETP est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La valeur de l'évapotranspiration potentielle est fonction de l'énergie disponible [09].

#### III.4.2.1 Méthode de THORNTWAITE

$$ETP = 16 \times \left[ \frac{10 \times T}{I} \right]^a \times F \quad (\text{II.10})$$

$ETP$  : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm d'eau) ;  $T$  : Température moyenne mensuelle ( $C^\circ$ ) ;  $I$  : somme des indices thermiques mensuels de l'année ;  $F$  : coefficient de correction (dépendant de la latitude et du mois) ; -Les résultats suivants ont été réalisés avec Microsoft Excel tout en tenant compte de l'arrondissement des chiffres.

Avec :

- $ETP$  : l'évapotranspiration moyenne du mois  $m$  ( $m = 1$  à  $12$ ) en ( $mm$ ).
- $T$  : moyenne interannuelle des températures du mois ( $^{\circ}C$ ).
- $a$  :  $0.016 \times I + 0.5$
- $F$  : coefficient de correction (dépendant de l'altitude et du mois).
- $I$  : indice thermique annuel :

$$I = \sum_m^{12} i(m) \quad i(m) = \left[ \frac{T(m)}{5} \right]^{1.514} \quad (II.11)$$

Tableau (II.6) : paramètre mensuelle interannuels de l'ETP(THORNTWAITE)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
$T$	8,2	8,3	9,1	11,6	14,3	18,6	21,4	22,6	18,7	15,7	11	9,2
$i$	2,11	2,15	2,48	3,58	4,91	7,31	9,04	9,81	7,37	5,65	3,30	2,52
$ETP_{calculé}$ ( $mm$ )	24,95	25,38	28,98	41,11	55,57	81,14	99,30	107,42	81,77	63,57	38,08	29,44
$F$	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
$ETP_{corrigé}$ ( $mm$ )	21,70	21,57	29,84	44,80	67,23	98,17	122,13	124,60	84,22	61,66	32,74	25,02

L'évapotranspiration potentielle ainsi calculé et corrigé par la formule de THORNTWAITE donne une valeur de (733.68) Elle montre un maximum en mois d'Aout et un minimum en mois de Février.

#### III.4.2.2 Les différents paramètres du bilan hydrologique

Nous avons utilisé l'abaque de THORNTWAITE ce dernier nous permet de calculer les indices thermiques mensuelles en fonction des températures, et l'indice annuel.

THORNTWAITE nous donne les valeurs estimées de l'ETP pour les différents mois.

Le tableau (II.7) résume les valeurs de l'ETP, l'ETR et la réserve utile ( $R_U$ ).

- Si les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle  $P > ETP$ .
  - L'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle.
  - $ETR = ETP$  L'excédent des précipitations sera emmagasiné dans le sol.

- Si les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle  $P < ETP$ .

➤ L'évapotranspiration réelle sera égale à la somme des précipitations du mois.

Si la réserve antérieure d'humidité du sol est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'évapotranspiration réelle sera égale à l'évapotranspiration potentielle  $ETR = ETP$ , et les réserves du sol seront alors réduites par la différence entre l'évapotranspiration potentielle et précipitation du mois considéré.

Si la réserve d'humidité du sol est insuffisante pour satisfaire  $ETP$ ,  $ETR$  reste inférieure à celle-ci sera égale à la somme des précipitations du mois, et des réserves disponibles[08].

Pour le mois de janvier :

$$R_{ujanvier} = p - ETP \quad (II.12)$$

Pour le mois de février :

$$R_{UFévrier} = p - ETP + R_{ujanvier} \quad (II.13)$$

**Tableau (II.7) : représentation des différentes valeurs de l'ETP, ETR,  $R_u$  en fonction de précipitation**

Mois	J	F	M	A	M	J	J t	A	S	O	N	D	Total
$P(mm)$	55.9	48.4	39.1	30.4	24.3	4.1	1.3	2.8	14.2	18.4	59.7	34.8	333.4
$T(C^\circ)$	8.2	8.3	9.1	11.6	14.3	18.6	21.4	22.6	18.7	15.7	11	9.2	/
$ETP(mm)$	21.70	21.57	29.84	44.80	67.23	98.17	122.13	124.60	84.22	61.66	32.74	25.02	733.68
$ETR(mm)$	21.70	21.57	29.84	30.4	24.3	4.1	1.3	2.8	14.2	18.4	32.74	25.02	226.37
$R_u(mm)$	34.2	61.03	70.29	0	0	0	0	0	0	0	26.96	36.74	/

Le tableau (II.8) résume les différentes valeurs de l'évapotranspiration réelle calculées avec différentes méthodes.

**Tableau (II.8) : les différentes valeurs de l'ETR**

Méthode	ETR	Unité
TURC	329.14	mm
WUNDT	312	mm
P. VERDEIL	300	mm
THORNTWAITE	226.37	mm

On prend la moyenne entre  $733.86\text{mm}$  et  $328.8\text{mm}$ .

$$ETP = 531.33\text{mm}$$

Pour avoir une seule valeur d'ETR, on prend la moyenne de tous ces résultats.

On aura donc :

$$ETR = 291.87\text{mm}$$

### III.4.3 Ruissellements

Le ruissellement est l'écoulement des eaux à la surface de la terre, notamment la surface des sols, contrairement celle y pénétrant par infiltration. L'intensité des précipitations favorise le ruissellement en proportion de l'insuffisance de l'infiltration et de capacité de rétention de la surface du sol [08].

Pour calculer le ruissellement nous utilisons la formule de TIXERONT et de BERKALOFF

$$R = \frac{P^3}{3E^2} \quad (\text{II.14})$$

$R$  : Ruissellements ( $\text{mm}$ ).

$P$  : Pluviométrie annuelle ( $\text{mm}$ ).

$E$  : Évapotranspiration ( $\text{mm}$ ).

$$P = 343.5\text{mm}$$

$$E = 531.33\text{mm}$$

La formule (II.12) nous donne :

$$R = 47.85\text{mm}$$

### III.5 Infiltration

Selon le bilan hydrologique :

$$p = D + R + I \quad (\text{II.15})$$

$P$  : Pluviométrie annuelle ( $mm$ ).

$D$  :  $ETR$ , déficit d'écoulement ( $mm$ ).

$I$  : Infiltration ( $mm$ ).

D'après l'application de la formule (II.13) :

$$I = 3.78mm$$

### III.6 Volume d'eau infiltré :

$$V_e = S \times I \quad (II.16)$$

$V_e$  : Volume d'eau infiltré ( $m^3$ ).

$S$  : surface du bassin versant ( $m^2$ ).

$I$  : la lame d'eau infiltré dans le bassin versant ( $m$ ).

$$S = 24 \times 10^7 m^2$$

$$I = 3.78 \times 10^{-3}$$

La formule (II.14) montre que le volume d'eau infiltré est égal à :

$$V_e = 907200m^3$$

### III.7 II7. Conclusion

La région d'Ain-Temouchent où se trouve notre bassin versant à un climat semi-aride qui est caractérisé par une pluviométrie modérée et été chaud et aride.

Le tableau (II.9) résume les différentes caractéristiques climatiques d'oued AGHLAL.

**Tableau (II.9) : caractéristiques climatiques, statistique et hydrologiques**

Caractéristique climatique	Symboles	Résultats	Unité
Précipitation moyenne annuelle	$P$	343.5	$mm$
Température moyenne annuelle	$T$	14.05	$C^\circ$
Evapotranspiration potentielle	$ETP$	531.33	$mm$
Evapotranspiration réelle	$ETR$	291.87	$mm$
Ruissellement	$R$	47.85	$mm$
Infiltration	$I$	3.78	$mm$
Volume d'eau infiltre	$V_e$	907200	$m^3$

## IV. Chapitre

### HYDROLOGIE D'OUED AGHLAL

#### IV.1 La pluviométrie

##### IV.1.1 Introduction

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau Roche (1963). Les relevés pluviométriques constituent l'une des données indispensables dans l'étude du climat d'une région. Les précipitations, représentent essentiellement le facteur influençant le régime d'écoulement et le volume d'eau infiltré.

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, SELTZER (1946), MEDINGER (1956), Chaumont et Paquin (1971). Dans le Nord de l'Algérie, la moyenne des précipitations annuelles varie de (300mm à 600mm) de pluie par an et les ressources en eau Renouvelables sont faibles, irrégulières et localisées dans la bande côtière. TOUAZ (2001), indique que les précipitations en Algérie, se caractérisent par un aspect d'irrégularité dans le temps et dans l'espace. La répartition spatiale des précipitations est caractérisée par un gradient Nord-Sud bien marqué et un gradient Est-Ouest plus faible.

La région de TEMOUCHENT fait partie des régions de l'Algérie où la moyenne des précipitations annuelles est au-dessous de la moyenne des précipitations au niveau national, un déficit en précipitation semble donc bien marquer la région notamment durant la période post 1980 [12].

La station pluviométrique retenue comme représentative de la zone d'étude est celle de TEMOUCHENT, les coordonnées de cette Station sont représentées dans le tableau 1.

**Tableau III.1 : Coordonnées de la Station météorologiques de TEMOUCHENT**

Station	Code	Longitude	Latitude	Altitude ( m )	Période d'observation
SM Ain-Temouchent	12336	35°17'	01°07'	330	1982/2006

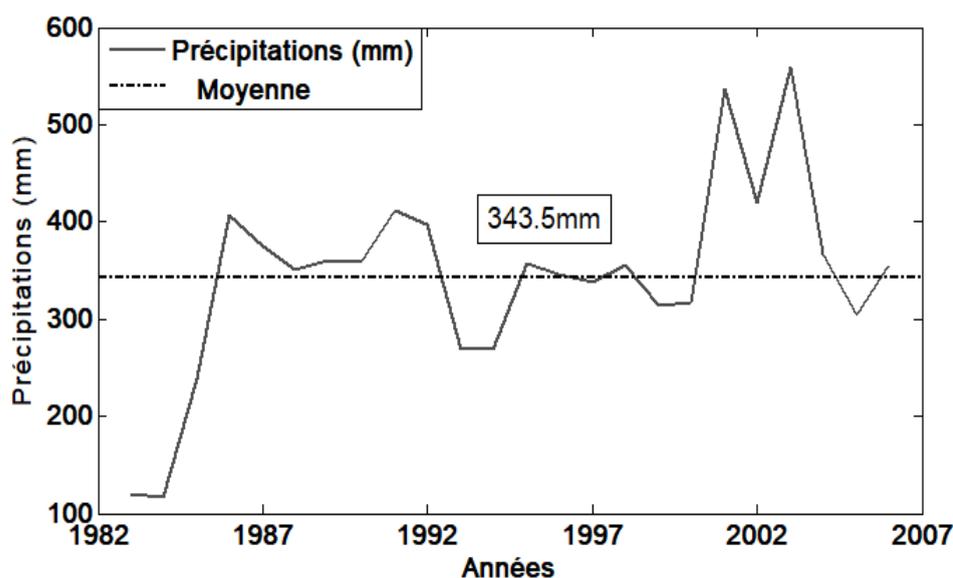
##### IV.1.2 Etude des précipitations

Les précipitations on Algérie sont caractérisées par une variabilité spatio-temporelle très marquante. La tranche précipitée démunie à mesure que l'on avance vers le sud. Les régions De nord reçoivent en moyenne des quantités variante entre  $400mm$  et  $1150mm$ . La moyenne interannuelle dans la région d'étude varie de  $250$  à  $500mm$  [12].

### IV.1.3 Etude des précipitations annuelles :

**Tableau III.2: valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT**

Année	Précipitation ( mm )
1982-1983	120.4
1983-1984	117.3
1984-1985	237.9
1985-1986	406.2
1986-1987	375.6
1987-1988	350.6
1988-1989	359.7
1989-1990	358.6
1990-1991	412.1
1991-1992	397.4
1992-1993	269.1
1993-1994	268.4
1994-1995	357.2
1995-1996	345.2
1996-1997	337.9
1997-1998	355.5
1998-1999	313.2
1999-2000	317.9
2000-2001	536.1
2001-2002	420.5
2002-2003	558.5
2003-2004	367.2
2004-2005	304.9
2005-2006	356.3
La moyenne annuelle = 343.5mm [16]	



**Figure III.1: variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'AINTEMOUCHENT (1982/2006).**

L'analyse du tableau (III.2) et de la figure (III.1), montre que la moyenne interannuelle est de 343.48mm avec plusieurs valeurs au-dessus de la moyenne pendant plusieurs années à savoir l'année (1982/1985), (1995/1997), (1998/2000). Ces périodes indiquent un déficit pluviométrique bien marqué à cause de la faiblesse des précipitations. Par contre, on marque un retour des précipitations durant le reste des années avec un maximum de (558.5 mm) enregistrés durant l'année (2002/2003).

#### IV.1.4 Etude des précipitations mensuelles

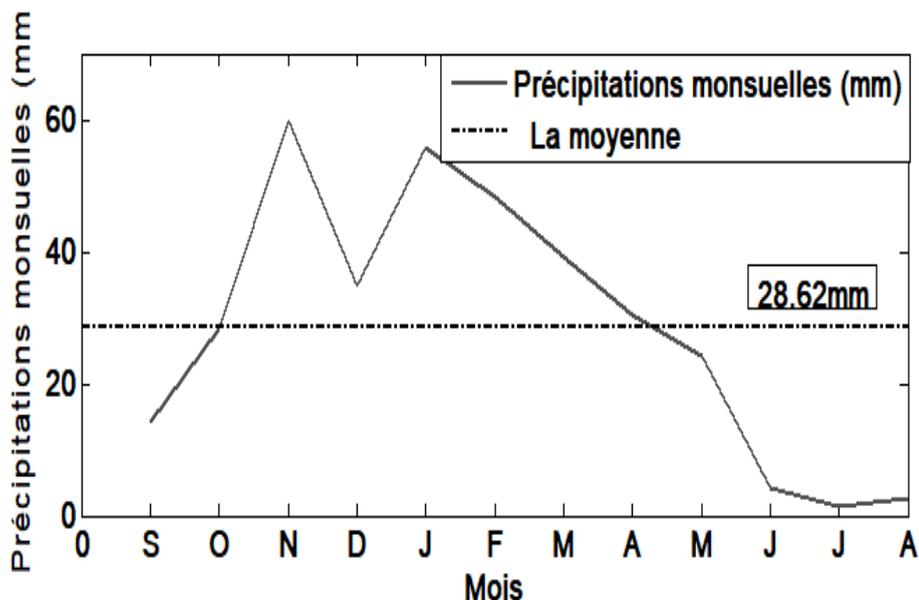
Les valeurs mensuelles pluviométriques relatives à la période d'étude (1982/2006), montre clairement les variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle.

La figure (III.2) fait apparaître deux périodes bien distinctes :

- Une période sèche qui correspond à la saison d'été, caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué.
- Une période pluvieuse qui correspond au reste de l'année.

**Tableau III. 3 : valeurs des précipitations moyennes mensuelles à la station d'AINTEMOUCHENT.**

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Précipitation <sup>(mm)</sup>	14.2	28.4	59.7	34.8	55.9	48.4	39.1	30.4	24.3	4.1	1.3	2.8	343.4



*Figure III.2 : variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT (1982/2006).*

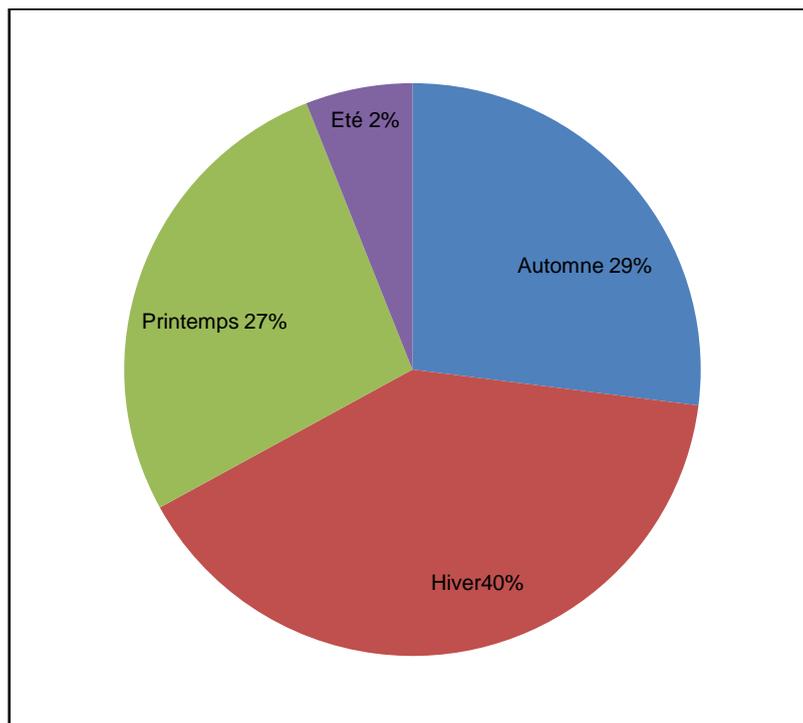
#### IV.1.5 Études des précipitations saisonnières :

L'analyse du tableau (III.4), et la figure (III.3) montrent que la distribution saisonnière des précipitations, fait apparaître deux saisons orageuses similaires ; l'automne et le printemps relevant des quantités pluviométriques comparables environ (29% et 27%). L'hiver, représente la saison la plus pluvieuse avec plus de 40% du total annuel.

Par contre l'été, représente la saison sèche, pendant laquelle les précipitations sont assez rares et ne représentent que 2.4% du total annuel.

*Tableau III.4 : valeur des précipitations saisonnières a la station d'AIN TEMOUCHENT.*

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
Précipitation (mm)	102.3	139.1	93.8	8.2



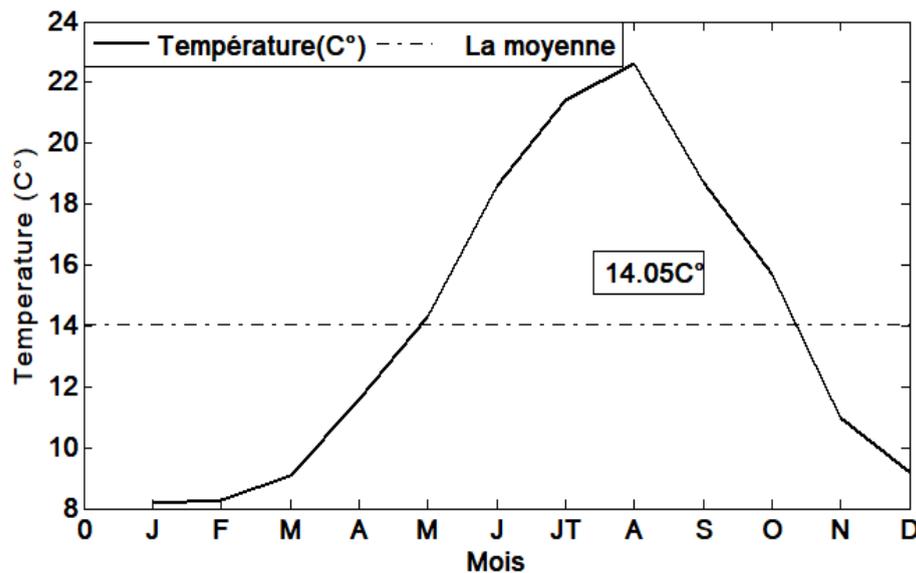
**Figure III.3: Répartition des régimes saisonniers des précipitations en pourcentage dans le bassin d'oued AGHLAL.**

#### IV.1.6 Etude de la température :

On peut définir la température comme l'état atmosphérique de l'aire ce paramètre et un des caractéristiques climatiques de bassin versant. D'après la figure (III.4) on marque un régime thermique irrégulier pendant les 12 mois. On saison de pluie (automne /hiver) l'air est humide donc la température décroît jusqu'à  $16C^{\circ}$  au mois de janvier par contre en saison sèche la température augmente et elle atteint son maximum au mois d'aout ou en marque  $31.4C^{\circ}$

**Tableau III. 5 : valeurs des températures moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.**

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Température $C^{\circ}$	8.2	8.3	9.1	11.6	14.3	18.6	21.4	22.6	18.7	15.7	11	9.2



*Figure III.4 : variation des températures moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT (1982/2006)*

#### IV.1.7 Analyse statistique des séries pluviométriques.

#### IV.1.8 Ajustement des précipitations :

Les séries pluviométriques utilisées dans cette analyse, sont ceux de la station de Temouchent. L'analyse porte sur les précipitations allant de 1982 à 2006, soit 24 années d'observations. Le but recherché dans cette étude est de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles afin d'estimer les paramètres d'ajustement. Les résultats de calcul de ces paramètres sont donnés dans le tableau (III.6), dans lequel, nous avons représenté la répartition des précipitations par ordre croissant [07].

**Tableau III. 6 : classement des précipitations par ordre croissant.**

Ordre	Année	Précipitation en (mm)
1	1983-1984	117.3
2	1982-1983	120.4
3	1984-1985	237.9
4	1993-1994	268.4
5	1992-1993	269.1
6	2004-2005	304.9
7	1998-1999	313.2
8	1999-2000	317.9
9	1996-1997	337.9
10	1995-1996	345.2
11	1987-1988	350.6
12	1997-1998	355.5
13	2005-2006	356.3
14	1994-1995	357.2
15	1989-1990	358.6
16	1988-1989	359.7
17	2003-2004	367.2
18	1986-1987	375.6
19	1991-1992	397.4
20	1985-1986	406.2
21	1990-1991	412.1
22	2001-2002	420.5
23	2000-2001	536.1
24	2002-2003	558.5

**IV.1.8.1 Calculs des paramètres statistiques :**

1. la moyenne :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i}{24} \quad (III.1)$$

2. la variance et définie par :

$$V^2 = \sum (X_i - P_{moy})^2 \quad (III.2)$$

3. l'écart type sera :

$$\sigma = \sqrt{V^2} \quad (III.3)$$

**Tableau III.7: Résultats des paramètres statistiques**

Paramètre	Résultats
Moyenne	343.49
Variance	9990.62
Ecart type	99.95
Coefficient de variation	0.29

$$C_v = \frac{\sigma}{P_{moy}} = \frac{99.95}{343.49} = 0.29 < 0.3 \quad (III.4)$$

IV.1.8.2 Calculs de paramètre de test  $x^2$  (khi carré)**Tableau III. 8 : calcul des paramètres de test  $x^2$** 

Classe	Intervalle des précipitations	$n_i$	$np_i$	$X^2$
1	117.3 < xi < 313.2	6	4.8	0.3
2	313.2 < xi < 355.5	5	4.8	0.0083
3	355.5 < xi < 359.7	4	4.8	0.13
4	359.7 < xi < 412.1	5	4.8	0.0083
5	412.1 < xi < 558.5	4	4.8	0.13

$$X^2 = \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad \text{Avec} \quad np_i = \frac{n}{k} \quad (III.5)$$

$n$  : Nombre d'années

$K$  : Nombre de classe

$$n = 24$$

$n_i$  : Effectif

$np_i$  : Effectif espéré

$$X^2 \text{ calculé} = 0.57$$

$\vartheta = K - P - 1$ $\vartheta = 5 - 2 - 1$ $\vartheta = 2$	(III.6)
---	---------

D'après la table de khi deux c2 on a :

$$\frac{\vartheta}{\alpha} = \frac{2}{0.05} = 4 \quad \text{(III.7)}$$

**Tableau III.9 : La valeur critique sera tabulée :**

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
2	5%	5.99

La valeur du  $\chi^2$  calculée, d'après le tableau II. 8 est égale à 0,57 valeur inférieure au  $\chi^2$  tabulée qui est de 5.99 pour un degré de liberté  $\vartheta$  égale à 2 et un risque toléré de 5%. L'ajustement d'une loi normal est donc confirmé pour la station de TEMOUCHENT.

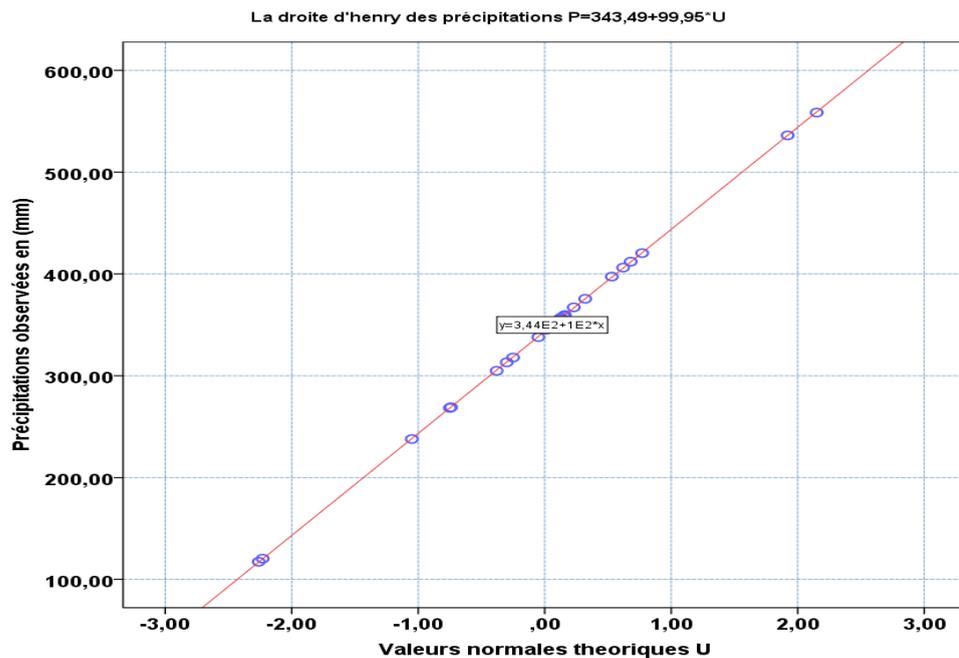
Donc :  $x^2 \text{ calculé} \leq x^2 \text{ Tabulée}$  la loi normale d'ajustement est confirmé.

#### IV.1.8.3 Calcul des précipitations pour les périodes de récurrence donnée :

Dans le tableau II.10, nous avons représenté les différents résultats obtenus

**Tableau III.10 : les précipitations du différent temps de retour**

Période	$U$	Précipitation ( mm )
<b>10 ans</b>	1.28	471.43
<b>50 ans</b>	2.05	548.39
<b>100 ans</b>	2.33	576.37



**Figure III.5 : Ajustement graphique des précipitations moyennes annuelles à la loi normale.**

D'après la figure III.5 on remarque que le nuage des points obtenues s'alignent très bien autour de la droite d'henry

$$P = P_{moy} + \sigma U \quad (III.8)$$

$P_{moy}$  : précipitation moyenne annuelle.

$\sigma$  : écart type.

$U$  : variable de GAUSS.

Donc l'ajustement de la loi normal est confirmé.

## IV.2 Etude hydrologique.

Le comportement hydrologique d'un cours d'eau, dépend essentiellement de plusieurs facteurs physico-géographiques influençant l'écoulement : le régime des précipitations, la nature du bassin versant, sa situation géographique, l'infiltration etc... Une estimation précise des ressources en eau passe donc par la prise en compte des débits moyens annuels et mensuelles, la variation saisonnières des débits et l'intensité des débits des crues [02] [10].

#### **IV.2.1 Débits moyens annuels.**

Le débit moyen annuel ou écoulement moyen annuel est une notion fondamentale en hydrologie. Il dépend essentiellement de la distribution des précipitations et de leur intensité, mais il est fonction également du relief du bassin et de ses caractéristiques physico-géologiques. Le débit moyen annuel est mesuré à l'exutoire du bassin versant, il est exprimé en  $(m^3 / s)$ .

Nous disposons actuellement de séries de données hydrométriques représentant 30 années d'observations. Les données sont fournies par les services de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydriques, (2005).

En Algérie, l'année hydrologique adoptée par les services de l'ANRH, correspond à l'année climatique allant de septembre à août. Afin d'utiliser convenablement la documentation hydrologique fournie par ses services, nous retiendrons cette année de référence [12].

#### **IV.2.2 Analyse des débits annuels.**

La variation annuelle des débits tableau (III.11), montre une fluctuation importante des débits d'une année à l'autre. Sur toute la période d'étude, dix-huit années ont affiché des débits inférieurs à la valeur moyenne interannuelle ( $0,38 m^3/s$ ). L'année la plus sèche était celle de 2004/2005 avec un débit observé de  $0,12m^3/s$ .

Étude des débits annuels :

**Tableau III.11: valeurs des débits moyennes annuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.**

Année	Débit ( $m^3 / s$ )
1975-1976	0.30
1976-1977	0.26
1977-1978	0.26
1978-1979	0.32
1979-1980	0.46
1980-1981	0.44
1981-1982	0.20
1982-1983	0.26
1983-1984	0.13
1984-1985	0.19
1985-1986	0.60
1986-1987	0.27
1987-1988	0.34
1988-1989	0.24
1989-1990	0.90
1990-1991	0.45
1991-1992	0.48
1992-1993	1.24
1993-1994	1.16
1994-1995	0.55
1995-1996	0.67
1996-1997	0.14
1997-1998	0.15
1998-1999	0.26
1999-2000	0.21
2000-2001	0.43
2001-2002	0.40
2002-2003	0.23
2003-2004	0.15
2004-2005	0.12
2005-2006	0.16
La moyenne annuelle= $0.38(m^3 / s)$ [16]	

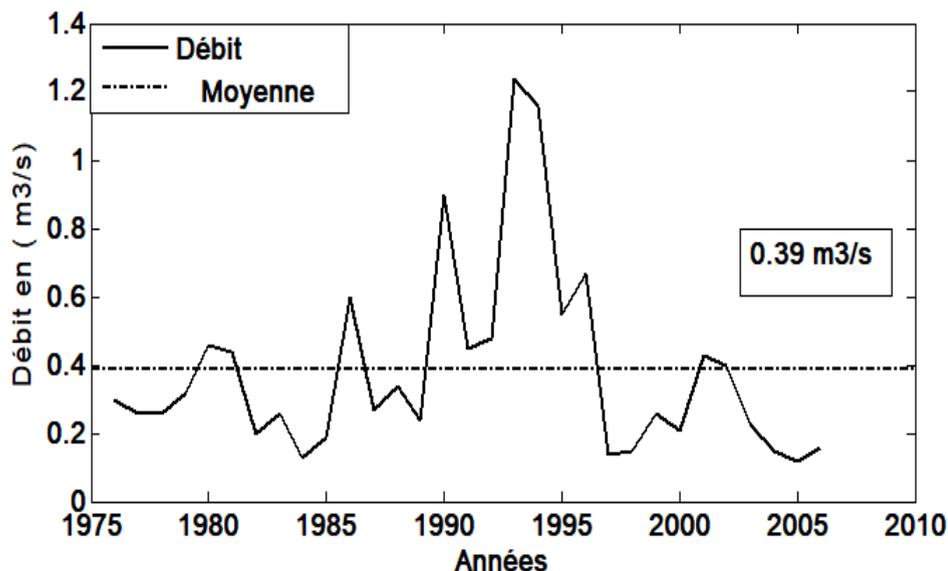


Figure III.6 : variations des débits moyens annuelles ( $m^3/s$ )

D'après la figure (III.6) on remarque que durant la période comprise entre (1975/1989) et (1996/2006) les valeurs de débits se trouvent ou dessous de la moyenne, on constate des valeurs importantes durant une période de 8 ans ou ces dernières se trouvent ou dessus de la moyenne avec un max de 1.24 ( $m^3 / s$ ).

#### IV.2.3 Hydraulicité

Les mesures hydrométriques permettent de montrer les variations des débits d'une année à une autre. Dans le tableau 9, nous avons présenté les valeurs de l'hydraulicité calculée durant les 30 dernières années. L'analyse de ce tableau, montre que les années de faible hydraulicité ( $Q_i / Q_{moy}$ ) sont les plus prépondérantes. En effet, plus de (60%) des années hydrologiques sont déficitaires. A partir de l'année 1989/1990, nous assistons à une forte hydraulicité dû à des excédents pluviométriques relativement remarquables. Pour cette classe, l'année la plus marquée était celle de (1992/1993) avec une hydraulicité  $K= 3,06$ . Les crues enregistrées durant cette année ont eu déjà des impacts sur la situation hydrologique de l'Oued AGHLAL [07].

Tableau III.12 : Variation de l'hydraulicité durant la période d'étude

Année	Débit ( $m^3 / s$ )	Hydraulicité
1975-1976	0.30	0.78
1976-1977	0.26	0.68
1977-1978	0.26	0.68
1978-1979	0.32	0.84
1979-1980	0.46	1.21
1980-1981	0.44	1.15
1981-1982	0.20	0.52
1982-1983	0.26	0.68
1983-1984	0.13	0.34
1984-1985	0.19	0.50
1985-1986	0.60	1.57
1986-1987	0.27	0.71
1987-1988	0.34	0.89
1988-1989	0.24	0.63
1989-1990	0.90	2.36
1990-1991	0.45	1.18
1991-1992	0.48	1.26
1992-1993	1.24	3.26
1993-1994	1.16	3.05
1994-1995	0.55	1.44
1995-1996	0.67	1.76
1996-1997	0.14	0.36
1997-1998	0.15	0.39
1998-1999	0.26	0.68
1999-2000	0.21	0.55
2000-2001	0.43	1.13
2001-2002	0.40	1.05
2002-2003	0.23	0.60
2003-2004	0.15	0.39
2004-2005	0.12	0.31
2005-2006	0.16	0.42

#### IV.2.4 Etude des débits mensuels

Tableau III. 13 : valeurs des débits moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuelles
Débit ( $m^3 / s$ )	0.20	0.30	0.55	0.46	0.79	0.66	0.57	0.31	0.30	0.19	0.14	0.15	0.385

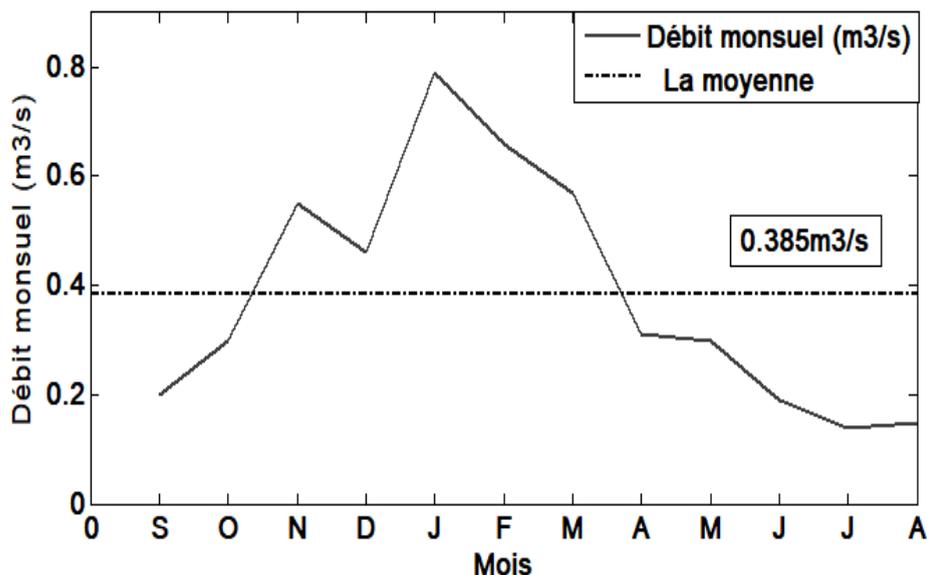


Figure III.7: variations des débits mensuelles (m³/s)

La figure (III.7) montre que la moyenne mensuelles max est enregistré ou mois de janvier avec un débit de (0.79m et la moyenne minimale est marqué au mois de juillet (0.14m³/s) et aout (0.15m³/s) a cause des faibles précipitations.

**IV.2.5 Etude des débits saisonniers :**

**Tableau III.14 : valeur des débits saisonniers a la station d'AIN TEMOUCHENT.**

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Débits (m³ / s)	1.05	1.91	1.18	0.48

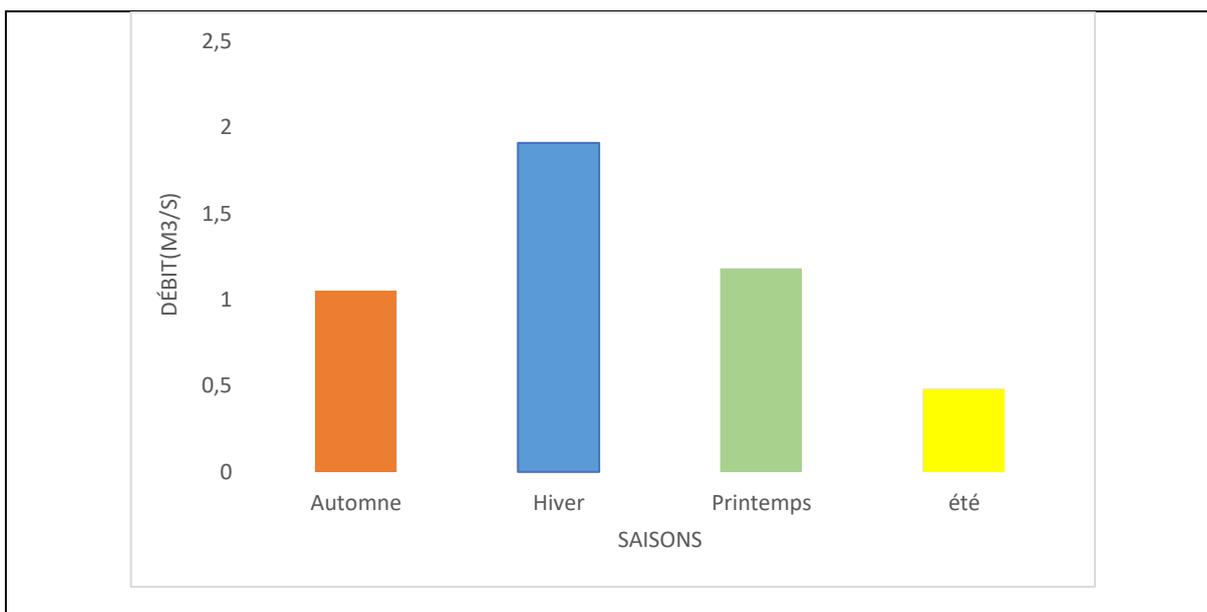


Figure III. 8 : Histogramme des débits saisonniers de la station d'AIN TEMOUCHENT (1975/2006).

D'après l'histogramme on marque un débit max en hiver avec une valeur de  $(1.91m^3 / s)$  et un débit min en été est évalué par  $(0.48m^3 / s)$ .

#### IV.2.6 Ajustement des débits annuels

L'analyse fréquentielle des débits annuels, présente un grand intérêt dans l'élaboration des projets d'aménagements hydrauliques. Dans ce travail, nous essayons de trouver une loi d'ajustement de la distribution des débits annuels. La variabilité des débits sur la période considérée, mise en évidence par les coefficients de variation, nous laisse penser à un ajustement de type Log-normal. Pour vérifier cette adéquation, nous passons à l'ajustement graphique puis au test du  $\chi^2$ .

**Tableau III. 15 : classement des débits par ordre croissant**

Ordre	Année	Débit ( $m^3 / s$ )
1	2004-2005	0.12
2	1983-1984	0.13
3	1996-1997	0.14
4	1997-1998	0.15
5	2003-2004	0.15
6	2005-2006	0.16
7	1984-1985	0.19
8	1981-1982	0.20
9	1999-2000	0.21
10	2002-2003	0.23
11	1988-1989	0.24
12	1998-1999	0.26
13	1976-1977	0.26
14	1977-1978	0.26
15	1982-1983	0.26
16	1986-1987	0.27
17	1975-1976	0.30
18	1978-1979	0.32
19	1987-1988	0.34
20	2001-2002	0.40
21	2000-2001	0.43
22	1980-1981	0.44
23	1990-1991	0.45
24	1979-1980	0.46
25	1991-1992	0.48
26	1994-1995	0.55
27	1985-1986	0.60
28	1995-1996	0.67
29	1989-1990	0.90
30	1993-1994	1.16
31	1992-1993	1.24

## IV.2.6.1 Calculs des paramètres statistiques :

1. La moyenne :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i}{31} \quad (III.1)$$

2. la variance est définie par :

$$V^2 = \sum (X_i - P_{moy})^2 \quad (III.2)$$

3. l'écart type sera :

$$\sigma = \sqrt{V^2} \quad (III.3)$$

Tableau III. 16 : Résultats des paramètres statistiques

Paramètre	Résultats
Moyenne	0.38
Variance	0.08
Ecart type	0.28
Coefficient de variation	0.74

$$C_v = \frac{\sigma}{P_{moy}} = \frac{0.28}{0.38} = 0.74 > 0.3 \quad (III.4)$$

Cette valeur nous oriente vers un ajustement log-normal

IV.2.6.2 Calculs de paramètre de test  $\chi^2$  (khi carré)Tableau III.17: calcul des paramètres de test  $\chi^2$ 

Classe	[Intervalles des débits]	$n_i$	$np_i$	$X^2$
1	0.12 < $x_i$ < 0.16	5	5.17	0.01
2	0.16 < $x_i$ < 0.26	7	5.17	0.65
3	0.26 < $x_i$ < 0.32	6	5.17	0.13
4	0.32 < $x_i$ < 0.46	5	5.17	0.01
5	0.46 < $x_i$ < 0.60	4	5.17	0.26
6	0.60 < $x_i$ < 1.24	4	5.17	0.26
Valeur de $\chi^2$			31	1.32

$$X^2 = \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad \text{Avec} \quad np_i = \frac{n}{k} \quad \text{(III.5)}$$

$n$  : nombre d'années.

$K$  : nombre de classe.

$$\begin{aligned} X^2 \text{ calculé} &= 1.32 \\ g &= K - P - 1 \\ g &= 6 - 2 - 1 \\ g &= 3 \end{aligned} \quad \text{(III.6)}$$

D'après le tableau de khi deux c2 on a :

$$\frac{g}{\alpha} = \frac{3}{0.05} = 7.81 \quad \text{(III.7)}$$

**Tableau III.18: La valeur critique sera tabulée**

Degré de liberté	Seuil	Valeur critique
3	5%	7.81

$$X^2 \text{ calculé} < X^2 \text{ tabulé}$$

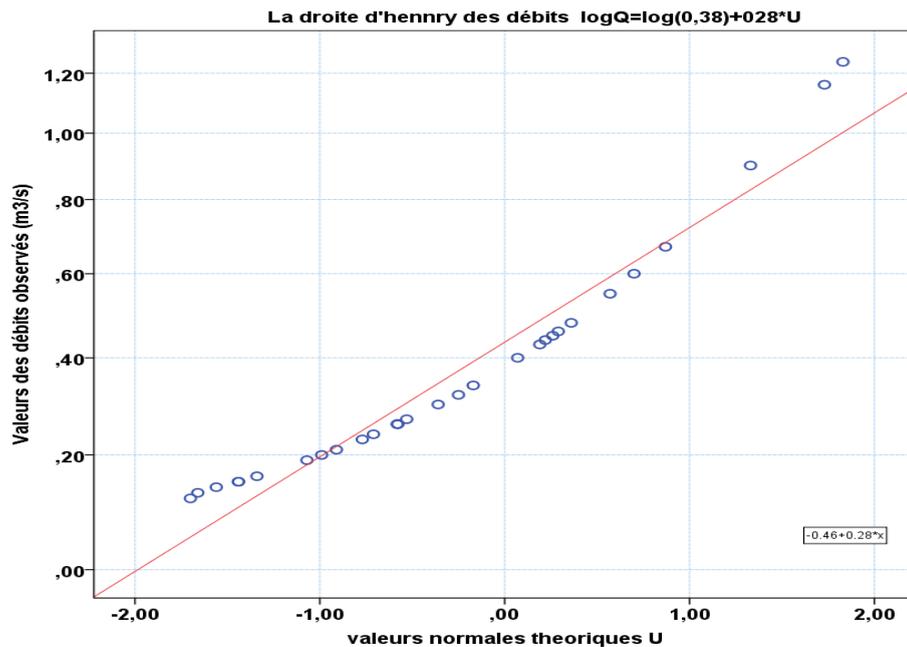
#### IV.2.6.3 Calcul des débits pour les périodes de récurrence donnée :

$$\begin{aligned} \log Q &= \log Q_{\text{moy}} + \sigma U \\ U = 0 &\rightarrow \log Q = \log Q_{\text{moy}} \\ Q &= e^{\log Q} \end{aligned} \quad \text{(III.9)}$$

Le  $X^2$  calculé à partir du tableau II.13, nous donne une valeur de 1,32 ; le  $\chi^2$  tabulé est égale à 7.81 pour un degré de liberté égale à 3 et un risque d'erreur toléré à 5%. Ce qui nous permet de confirmer que l'ajustement des débits moyens annuels suit la loi Log normal. Les modules caractéristiques, pour les périodes de récurrence données sont consignés dans le tableau II.19

Tableau III.19: les débits du différent temps de retour

Temps de retour	U	Log Q	Q
10 ans	1.28	-0.44	0.64
20 ans	1.56	-0.42	0.65
50 ans	2.05	-0.38	0.68
100 ans	2.33	-0.37	0.69



*Figure III.9 : la droite d'henry des débits L'ajustement graphique figure III.9 montre que le nuage des points des débits moyen annuel s'ajuste très bien avec la loi log normal.*

$$\log Q = \log Q_{moy} + \sigma U \quad (III.10)$$

$Q$  : Débit moyen annuel.

$\sigma$  : Ecart type.

$U$  : Variable de GAUSS.

#### IV.2.7 L'irrégularité interannuelle des modules.

L'irrégularité interannuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité. Il s'agit du rapport du débit d'une année particulière ( $Q_i$ ) au débit moyen d'une longue série ( $Q_{moy}$ ). Ce travail sera complété par d'autres critères statistiques à savoir le coefficient de variation et le coefficient d'immodération ( $R$ ).

Tableau III.20: Valeurs caractéristiques des débits annuels.

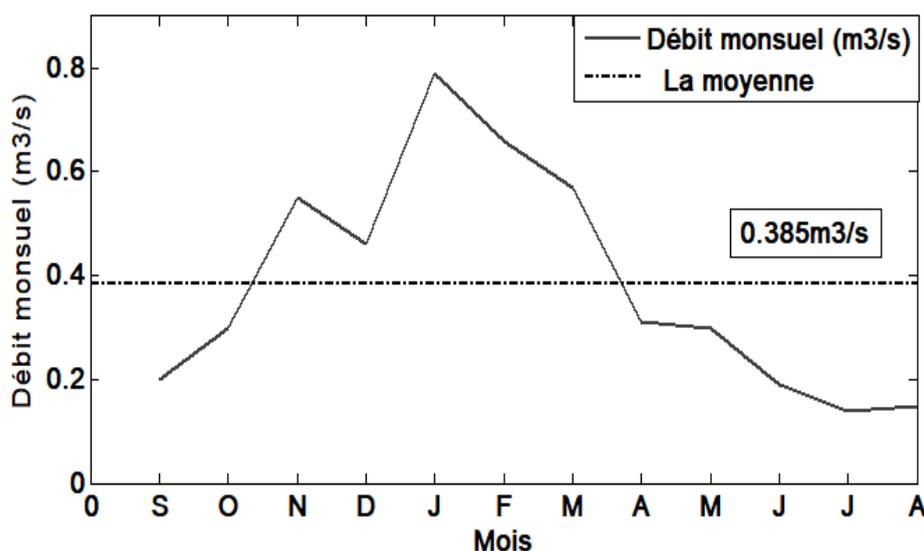
Station	Moyenne ( $m^3 / s$ )	Max (année) ( $m^3 / s$ )	Min(année) ( $m^3 / s$ )	Nombre d'année $Q_i > Q_{moy}$	Coefficient Immodération $R = Q_M / Q_m$	Coefficient de Variation
AGHL AL	0.38	0.90	0.12	10	2.37	0.74

#### IV.2.8 Etude des débits mensuels.

Les relevés des débits d'un cours d'eau pendant une longue série d'années montrent des variations saisonnières systématiques (position des hautes et basses eaux) en fonction des principaux facteurs influençant l'écoulement. La répartition mensuelle des débits est alors utilisée pour classifier le régime d'écoulement d'une rivière tableau (II.21). Ces régimes peuvent être traduits par divers critères numériques et graphiques. Dans ce travail, on retiendra, principalement le coefficient mensuel des débits (C.M.D)

Tableau III.21: valeurs des débits moyennes mensuelles à la station d'AIN TEMOUCHENT.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuelles
Débit ( $m^3 / s$ )	0.20	0.30	0.55	0.46	0.79	0.66	0.57	0.31	0.30	0.19	0.14	0.15	0.385

Figure III.10: variations des débits mensuelles ( $m^3/s$ )

#### IV.2.9 Coefficient mensuel de débits.

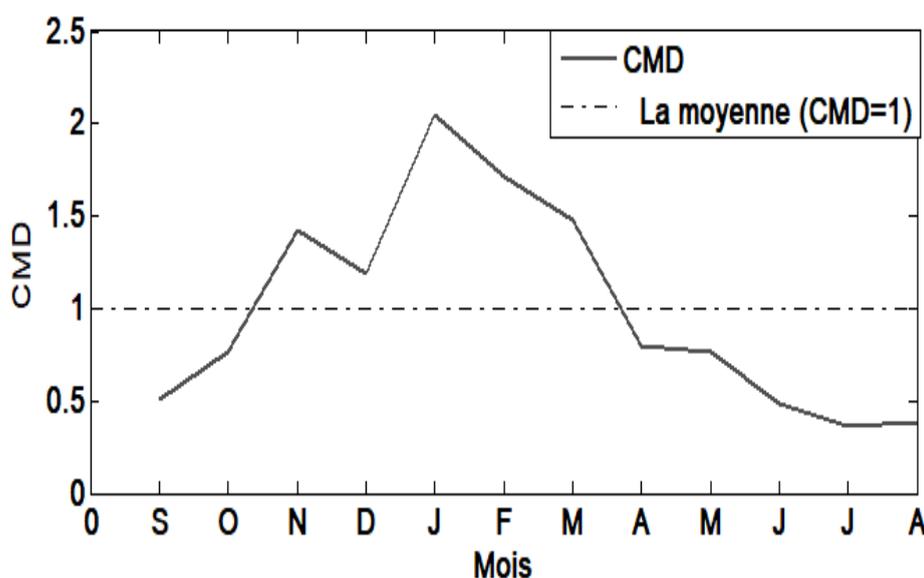
On définit le coefficient mensuel de débit, comme le rapport du débit moyen mensuel au module interannuel de la période considérée (calculé sur un certain nombre d'années). Le module interannuel se calcul (moyenne arithmétique) sur une série d'observations de plusieurs années. Le coefficient

mensuel de débits (CMD), permet la comparaison des variations saisonnières du régime d'un cours d'eau. Les CMD inférieurs à l'unité correspondent aux mois des basses eaux et les CMD supérieurs à l'unité représentent les mois des hautes eaux [12].

L'analyse de la figure (III.10) et le tableau III.22, montrent que le débit maximal est observé au mois de janvier, alors que le débit minimal est enregistré en Juillet-Aout.

**Tableau III.22 : valeurs des Coefficient mensuel des débits à la station d'AIN TEMOUCHENT.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuelles
<b>CMD</b>	0.53	0.79	1.45	1.21	2.08	1.74	1.5	0.82	0.79	0.5	0.37	0.39	1



**Figure III.11: variation de coefficients mensuels de débits.**

La figure indique que les mois de (novembre, décembre, janvier, Février, mars) ont un  $CMD > 1$  donc on marque une période des hautes eaux, et un  $CMD < 1$  aux autres mois de l'année donc on marque une période des basses eaux.

#### IV.2.10 Répartitions des débits mensuels Oued AGHLAL

**Tableau III.23: Répartitions des débits mensuels**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
$Q_{moy} (m^3 / s)$	0.20	0.30	0.55	0.46	0.79	0.66	0.57	0.31	0.30	0.19	0.14	0.15	0.38
<b>CMD</b>	0.53	0.79	1.45	1.21	2.08	1.74	1.5	0.82	0.79	0.5	0.37	0.39	/
$Q(max) (m^3 / s)$	1.01	2.16	3.03	2.05	7.82	3.11	3.54	1.35	2.08	1.1	1.03	0.84	2.43
$Q(min) (m^3 / s)$	0.01	0.02	0.01	0.06	0.07	0.07	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03
$\sigma$	0.21	0.45	0.61	0.47	1.43	0.77	0.73	0.33	0.42	0.24	0.18	0.17	0.5

$C_v$	1.5	1.5	1.11	1.02	1.81	1.17	1.28	1.06	1.4	1.26	1.29	1.13	1.29
-------	-----	-----	------	------	------	------	------	------	-----	------	------	------	------

#### IV.2.11 Coefficient de variation :

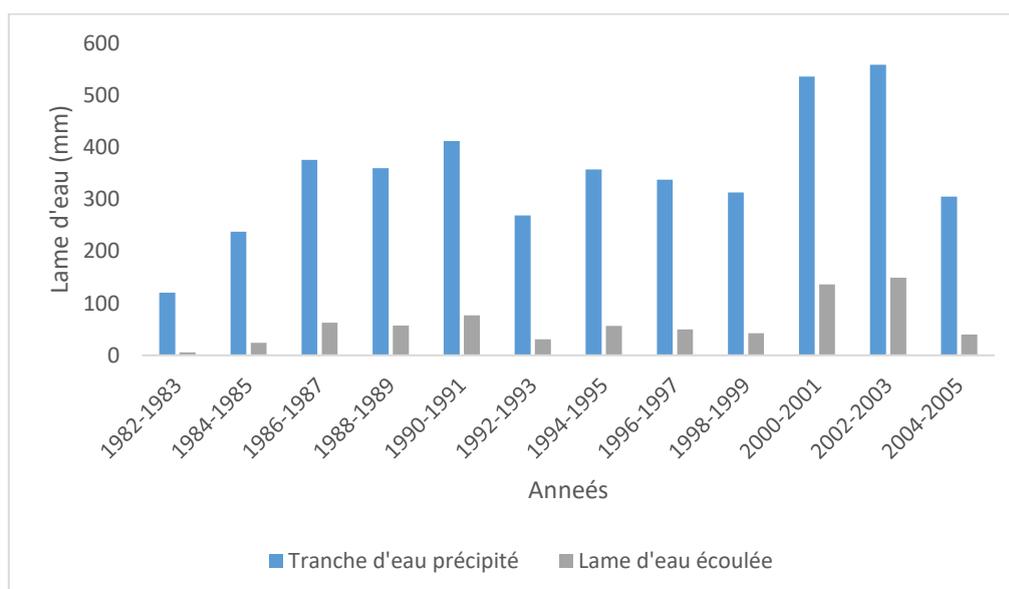
Le tableau (III.21) indique à des valeurs de cv comprises entre 1.5 et 1.13 on marque une forte variation de cv au mois de janvier, le reste des valeurs sont presque égaux.

**Tableau III.24 : Répartition des Lames d'eau écoulées ( $Le$ ) et tranche d'eau précipité ( $Lp$ )**

Année	Formule de COUTAGNE	Formule d'ERRIH
1982-1983	11.32	0.37
1983-1984	10.74	0.34
1984-1985	44.29	3.40
1985-1986	129.21	19.27
1986-1987	110.47	14.95
1987-1988	96.24	11.96
1988-1989	101.31	12.99
1989-1990	100.69	12.87
1990-1991	132.99	20.19
1991-1992	123.67	17.95
1992-1993	56.68	5.07
1993-1994	56.38	5.03
1994-1995	99.90	12.70
1995-1996	93.30	11.37
1996-1997	89.39	10.61
1997-1998	98.95	12.51
1998-1999	76.79	8.30
1999-2000	79.12	8.71
2000-2001	225.13	47.34
2001-2002	138.47	21.55
2002-2003	244.34	54.06
2003-2004	105.58	13.89
2004-2005	72.77	7.61
2005-2006	99.40	12.60

**Tableau III.25 : Répartition des Lames d'eau écoulées (Le) et tranche d'eau précipitée (Lp)**

Année	(Le)	(Lp)
1982-1983	5.85	120.4
1983-1984	5.54	117.3
1984-1985	23.85	237.9
1985-1986	74.24	406.2
1986-1987	62.71	375.6
1987-1988	54.1	350.6
1988-1989	57.15	359.7
1989-1990	56.78	358.6
1990-1991	76.59	412.1
1991-1992	70.81	397.4
1992-1993	30.88	269.1
1993-1994	30.71	268.4
1994-1995	56.3	357.2
1995-1996	52.34	345.2
1996-1997	50	337.9
1997-1998	55.73	355.5
1998-1999	42.55	313.2
1999-2000	43.92	317.9
2000-2001	136.24	536.1
2001-2002	80.01	420.5
2002-2003	149.2	558.5
2003-2004	59.74	367.2
2004-2005	40.19	304.9
2005-2006	56	356.3
<b>Année (mm)</b>	<b>57.15</b>	<b>343.5</b>

**Figure III.12 : Variation des lames d'eau précipitées et écoulées**

D'après la comparaison entre la lame d'eau écoulée et la tranche précipitée pendant toute la période d'étude on marque que l'année la plus orageuse est celle de 2003 avec un maximum de lame d'eau écoulée (149.2 mm) ceci est dû, essentiellement aux fortes précipitations et le remplissage des nappes souterraines par les apports de pluies [15].

#### IV.2.12 Bilan moyen annuel de l'écoulement.

Le déficit moyen annuel de l'écoulement ( $D$  en mm) est défini comme étant la différence entre la tranche d'eau précipitée ( $P$  en mm) et la lame d'eau écoulée ( $E$  en mm)

$$D = P - E \quad (\text{III.11})$$

Le rapport  $E/P$  est appelé coefficient moyen annuel de l'écoulement  $K$  et sera déterminé par la relation suivante

$$K = \frac{E}{P} \quad (\text{III.12})$$

Les résultats de calcul, obtenus à partir de l'équation 1 et 2, sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.26: Bilan moyen annuel de l'écoulement à la station de AIN TEMOUCHANT**

Bassin	Station	Période	$p$ (mm)	$E$ (mm)	$D$ (mm)	$K\%$
AGHLAL	TERGA	1976/2005	343.5	57.15	286.35	16

Le déficit moyen annuel de l'écoulement enregistré au niveau de la station de Terga reste relativement élevé (286,35mm) tableau II.26. Le coefficient moyen annuel de l'écoulement  $K$ , ne représente que 16% d'eau précipitée, le reste (84%) est repris par l'évapotranspiration  $E$ , car dans l'écoulement on comptabilise l'apport des sources (eaux souterraines déjà infiltrées) à l'oued. Ceci, pourrait s'expliquer par la présence d'épaisses couches calcaire-dolomitiques, très Karst fiés facilitant ainsi l'infiltration massive des eaux. Outre le caractère de perméabilité, le climat de la région semi-aride influence d'une manière significative sur l'écoulement de l'oued.

# Conclusion générale

La présente étude menée sur le sous bassin de l'oued AGHLAL appartient au grand bassin de EL MALEH, nous avons essayé d'illustrer les grands traits de son fonctionnement en basant sur l'analyse des données pluviométriques et hydrologiques observées :

- L'étude morphométrique du bassin versant de l'Oued AGHLAL, a permis de montrer que la topographie est marquée par une dénivelée assez importante, tout en ayant une altitude minimale. Les différents paramètres calculés, relatifs au réseau hydrographique, témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé moyennement dense, mais assez ramifié.
- L'aperçu géologique montre que le bassin versant appartient au domaine tellien, caractérisé par une succession de nappes de charriages, dont les racines se situeraient à l'emplacement de la méditerranée actuelle. L'activité volcanique est apparue après l'épisode post-nappe (Mio-plio-quaternaire).

Notre région d'étude représentée une moyenne de précipitation de (334,5mm) et une température moyenne de (14 ,05 C°) ce qui caractérise un climat semi-aride d'après les abaques d'EMBERGER, P. VERDIL et de WUNDT.

Le bilan hydrologique représenté dans le tableau (II .9) montre un déficit important et un faible ruissellement (47 .85mm) du a la relation entre la température élevée et les faibles moyennes de précipitations on marque aussi un volume d'eau infiltré important (907200m<sup>3</sup>) ceci peut s'expliqué par la nature du sol (une perméabilité importante).

Comme perspective, plusieurs voies sont possibles pour l'extension du présent travail

On Peut citer entre autres :

II.La modélisation du comportement hydrologique des bassins versants est incontournable dès lors que l'on s'intéresse à des problématiques relatives à l'évaluation et la gestion optimale des ressources en eau. Ceci s'illustre par un aspect quantitatif, dans les pays comme l'Algérie où l'alimentation en eau est un facteur limitant. Les périodes de sécheresse qui ont sévi ces dernières années ont fait diminuer les réserves en eau, et l'introduction de méthodes d'optimisation de ces ressources s'est révélée utile et indispensable. Cela passe par la maîtrise de la modélisation de la relation pluie-débit Bekasi, (2001).

Dans ce travail, nous avons opté pour la classe des modèles hydrologiques conceptuels globaux tels que les modèles empiriques du Génie Rural mis au point par le CEMAGREF : GR1A et GR2M. [07].

**Annexe : 01. Loi Normale Réduite :**

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

**Annexe 1.** Loi Normale Réduite :  $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}u^2} du$

u	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91309	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992

## Annexe : 02. La table de $X^2$

La table donne une probabilité  $\alpha$  pour que  $X^2$  égale ou dépasse une valeur donnée en fonction du nombre de degré de liberté  $\gamma$

$\alpha \backslash \gamma$	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	<b>6.346</b>	<b>8.383</b>	9.803	12.017	<b>14.067</b>	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877
10	4.865	9.342	11.781	13.442	15.987	18.307	21.161	23.209	29.588
11	5.578	10.341	12.899	14.631	17.275	19.675	22.618	24.725	31.264
12	6.304	11.340	14.011	15.812	18.549	21.026	24.054	26.217	32.909
13	7.042	12.340	15.119	16.985	19.812	22.362	25.472	27.688	34.528
14	7.790	13.339	16.222	18.151	21.064	23.685	26.873	29.141	36.123
15	8.547	14.339	17.322	19.311	22.307	24.996	28.259	30.578	37.697
16	9.312	15.338	18.418	20.465	23.542	26.296	29.633	32.000	39.252
17	10.085	16.338	19.511	21.615	24.769	27.587	30.995	33.409	40.790
18	10.865	17.338	20.601	22.760	25.989	28.869	32.346	34.805	42.312
19	11.651	18.338	21.689	23.900	27.204	30.144	33.687	36.191	43.820
20	12.443	19.337	22.775	25.038	28.412	31.410	35.020	37.566	45.315
21	13.240	20.337	23.858	26.171	29.615	32.671	36.343	38.932	46.797
22	14.041	21.337	24.939	27.301	30.813	33.924	37.659	40.289	48.268
23	14.848	22.337	26.018	28.429	32.007	35.172	38.968	41.638	49.728
24	15.659	23.337	27.096	29.553	33.196	36.415	40.270	42.980	51.179
25	16.473	24.337	28.172	30.675	34.382	37.652	41.566	44.314	52.620
26	17.292	25.336	29.246	31.795	35.563	38.885	42.856	45.642	54.052
27	18.114	26.336	30.319	32.912	36.741	40.113	44.140	46.963	55.476
28	18.939	27.336	31.391	34.027	37.916	41.337	45.419	48.278	56.893
29	19.768	28.336	32.461	35.139	39.087	42.557	46.693	49.588	58.302
30	20.599	29.336	33.530	36.250	40.256	43.773	47.962	50.892	59.703

## Annexe : 03. Table de Kolmogorov-Smirnov

$n \setminus \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
<b>OVER 50</b>	<b>1.94947</b>	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$

## Annexe : 04 Table permettant de déterminer le facteur F

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.86	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80

## Bibliographie et Webographie

- [01] **Ben ZATER. B** « Étude hydrologique du bassin versant d'Oued El-Hammam. Thèse de magister. Institut d'agronomie.154 pages. C.U. MASCARA 1996 ».
- [02] **BOUABALLAH F. (1997)**. Mise au point d'un modèle de transformation pluie-débit au pas de temps annuel. Rapport de DEA, DEA Hydrogéologie-Hydrologie filière Géochimie isotopique, Paris Sud Orsay, CEMAGREF Antony, 45 pp.
- [03] **BABA HAMED K (2006-2007)**. « Hydrodynamique et modélisation d'une nappe alluviale, validation par l'approche géostatistique. Application à la nappe de la plaine de MAGHNIA (NW Algérien) ». Doctorat en géologie appliquée. Université Abou BEKERBELKAID Tlemcen.
- [04] **ELUALI SAID FILALI, 2018**. « Etude hydrologique du bassin versant de l'oued Louza (wilaya de Sidi Bel Abbès) ».
- [05] **HALLOUCHE B, 1986**. « Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie occidentale du bassin versant de l'Oued El MALLEH (W. AINTEMOUCHENT) ». Projet d'ingénieur d'état.
- [06] **HPO (Oran), 2004**. « Étude d'aménagement du bassin versant d'Oued El MALLEH, étude préliminaire ».
- [07] **HACHEMAOUI. D, SADEK.M ,2016**. « Hydrologie et Modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued El- MALLEH Wilaya de AINTEMOUCHENT ».
- [08] **NASRI. K, SLIMANI. D (2002-2003)**. « Etude de faisabilité d'une retenue collinaire sur l'oued ben ADOUANE wilaya de SAIDA ».
- [09] **OULD Ahmed Salem Abdi ,2018**. « Etude des paramètres morpho métriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued TARIA ».
- [10] **REMANIE RAS** « L'hydrologie de l'ingénieur.450 pages. Eyrolles.1989 ».
- [11] **SMAIL R**. « Etude d'un barrage sur l'oued Bouromi.197 pages. E.N.S de Blida ».
- [12] **YLES FOUAD ,2014**. « Hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'oued SAIDA : Modélisation Pluie-Débit et Débit liquide – Transport Solide ».
- [13] **YAMANI.K, BERKANE.F** « Etude de faisabilité d'un petit barrage sur l'oued de sidi Hamadi commune D'EL ANCOR ORAN. Mémoire de fin d'étude. Institut d'hydraulique .177 pages. U SAIDA.
- [14] Rapport géotechnique des sondages électriques des régions : DOUI THABET,EL OUTID,AIATA, Ben ADOUANE , DJEBARET .Saïda 1979.
- [15] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html> [Le bassin versant et son complexe].
- [16] Source : A.N.R.H d'Oran.