

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Laboratoire Promotion des Ressources Hydriques, Minières et Pédologiques :

Législation de l'Environnement et Choix Technologiques

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en géologie

Option : Hydrogéologie

Présenté par :

HAMZA Boubekour

BIBI -TRIQUI Chakib

**Thème**

---

Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro  
climatique appliquée au bassin versant de l'Oued Sikkak.

---

**Soutenu le : 11 /07/2017**

Président : M BOUDJEMA A. M.C.B à l'Université de Tlemcen

Encadreur : Mme. Djelad R. M.A.A à l'Université de Tlemcen

Examineur : Mme FANDI W. M.A.A à l'Université de Tlemcen

**Promotion 2016/2017**

## **Remerciements**

*Tout d'abord, remercier Dieu Tout-Puissant pour nous aider et nous donner la volonté de faire ce travail.*

*. Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes.*

*Nous souhaitons ici les en remercier.*

*Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement Madame **R DJELED**, qui nous a permis de bénéficier de son encadrement.*

*Nous remercions, **M BOUDJEMA A**, pour nous faire l'honneur de présider mon jury..nous remercions également Mme W Fendi, d'avoir accepté d'examiner mon modeste travail.*

*Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.*

*Nous remercions également tous*

*Nos professeurs au cours des années de l'étude, est surtout excellente enseignante Mme **K BABA-HAMED**,*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail*

## ***Dédicaces***

*À la mémoire de mon défunt père.*

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre ,,*

*À cet source de tendresse, de patience et de générosité,,*

*À ma mère !*

*À tous mes frères et ma sœur*

*,*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les étudiants de la promotion 2015/2016*

*Option : Hydrogéologie*

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....*

***BIBI-TRIQUI Chakib.***

## *Dédicace*

*C'est avec un grand plaisir et une grande émotion, que je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon père, que*

*Dieu ait pitié de lui pour ses conseils inoubliables et sa compassion tout au long de ma vie.*

*Je dédie ce mémoire à ma chère mère pour son soutien pendant toutes mes études, à qui je souhaite un prompt rétablissement.*

*A mes cher frères Omar , mohemad Abderrazak Abdelhamid, abdelkrim et mes sœurs Fadila, Nadira,*

*A toute la famille, surtout les petits Ismahen, Islem Anes , Ilyes , Hossem, Bisma, Chayma . .*

*A tous les étudiants des sciences de la terre, à tous mes très chers amis , bachir, ramdhan , selah , soufien .*

*A ceux qui m'ont connu de près ou de loin.*

*A mon binôme Chakib et sa famille.*

*A ma promotion. Master hydrogéologie*

*A ma promotrice Mme . Djelad R*

*A tous mes enseignants de tout le cycle d'étude.*

*Boubekeur*

**DEDICACE**

**REMERCIEMENT**

**RESUME**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**TABLE DES MATIERES**

<b>Introduction générale</b>	<b>07</b>
<b>Chapitre I : généralité et morphométrie</b>	<b>08</b>
<b>I.1. Situation géographique</b>	<b>09</b>
<b>I.2. Caractéristiques physiques du bassin versant</b>	<b>10</b>
<b>I.2.1. Caractéristiques de forme</b>	<b>10</b>
<b>I.3.2- Etude du réseau hydrographique</b>	<b>11</b>
<b>I.3.3- Etude du Relief</b>	<b>14</b>
<b>I.3.4- Profil en long de l'Oued Sikkak</b>	<b>18</b>
<b>I.4- Conclusion</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre II : géologie</b>	
<b>II.1. La géologie du bassin versant</b>	<b>20</b>
<b>II.1/Introduction</b>	<b>20</b>
<b>II.2. Aperçu géologique</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1. Jurassique</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1.1. Les grès de Boumediene</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1.2. Les calcaires de Zarifet</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.3. Les dolomies de Tlemcen</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.4. Les calcaires de Stah</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.5. Les marno-calcaires de Raourai</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.6. Les calcaires du Lato</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.7. Les dolomies de Terny</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.8. Les marno calcaires de Hariga</b>	<b>22</b>
<b>II.3.2. Miocène :</b>	<b>22</b>

<b>Chapitre III : hydro-climatologie</b>	<b>24</b>
<b>I-1- Introduction</b>	<b>25</b>
<b>III.2- Etude des paramètres climatiques</b>	<b>25</b>
<b>III.2.1- Etude des précipitations</b>	<b>25</b>
<b>III.2.2- Etude des températures</b>	<b>29</b>
<b>III.2.3- Evapotranspiration potentielle</b>	<b>32</b>
<b>III.2.4- Etude du climat</b>	<b>35</b>
<b>III.3- Etude hydrologique</b>	<b>41</b>
<b>III.3.1- Etude des modules (débits)</b>	<b>41</b>
<b>III.3.2- Etude des lames d'eau écoulées</b>	<b>43</b>
<b>III.4- Etude statistique</b>	<b>45</b>
<b>III.4.1- Ajustement des précipitations annuelles à la station de Sikkak</b>	<b>46</b>
<b>III.4.2- Ajustement des lames d'eau écoulées à la station de Sikkak</b>	<b>51</b>
<b>III.5- Conclusion</b>	<b>54</b>
<b>Chapitre VI : la variabilité hydroclimatique</b>	<b>55</b>
<b>VI .1 . Introduction</b>	<b>56</b>
<b>VI.2.Test de rupture des précipitations</b>	<b>56</b>
<b>Indice Standardisé des précipitations</b>	<b>56</b>
<b>B-Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles</b>	<b>58</b>
<b>C - Détection des ruptures au sein des séries de débit annuelles</b>	<b>62</b>
<b>D- Détection des ruptures au sein des séries de températures</b>	<b>63</b>
<b>Chapitre V : Modélisation Pluie-débit</b>	
<b>Caractéristique du Modèle Hydrologique GR et Son Application</b>	
<b>dans le Bassin Versant de L'Oued Sikkak</b>	<b>66</b>
<b>V.1 Introduction</b>	<b>67</b>
<b>V.2 Historique</b>	<b>67</b>
<b>V.3 modèle pluie-débit annuel GR1A :</b>	<b>68</b>
<b>V.3.1 Introduction</b>	<b>68</b>
<b>V.3.2 Description mathématique</b>	<b>68</b>
<b>V.3.3 Paramètre</b>	<b>68</b>

<b>V.4 Description du modèle pluie-débit mensuel GR2M</b>	<b>69</b>
<b>V.4.1 Introduction</b>	<b>69</b>
<b>V.4.2 Description mathématique</b>	<b>69</b>
<b>V.4.3 Paramètres</b>	<b>70</b>
<b>V.5 Applications du modèle GR</b>	<b>70</b>
<b>V.5.1 Modèle GR1A</b>	<b>70</b>
<b>V.5.2 Modèle GR2M</b>	<b>83</b>
<b>Conclusion Générale</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXE</b>	

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b>	Classification des thalwegs.	12
<b>Tableau 2</b>	Le rapport de confluence.	13
<b>Tableau 3</b>	Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Sikkak (Moyenne Tafna).	15
<b>Tableau 4</b>	caractéristiques morphométriques du bassin versant sikkak.	18
<b>Tableau 5</b>	Présentation de la station pluviométrique.	25
<b>Tableau 6</b>	Précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1969/1970-2010/2011).	26
<b>Tableau 7</b>	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1969/1970-2010/2011)	27
<b>Tableau 8</b>	Précipitations saisonnières moyennes à la station Tlemcen (1969/1970-2010/2011).	29
<b>Tableau 9</b>	Températures moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1973/1974-2010/2011).	30
<b>Tableau 10</b>	Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales à la station de Tlemcen (1973/1974-2010/2011).	31
<b>Tableau 11</b>	Valeur l'ETP par la méthode de Turc à la station Tlemcen (1973/1974-2010/2011).	33
<b>Tableau 12</b>	Valeur l'ETP par la méthode de Thornthwaite à la station de Tlemcen (1973/1974-2010/2011).	34
<b>Tableau 13</b>	Valeurs des précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen.	35
<b>Tableau 14</b>	Indice d'aridité annuel de Martonne à la station de Tlemcen.	36
<b>Tableau 15</b>	Valeurs des indices d'aridité mensuels De Martonne à la station de Tlemcen.	38
<b>Tableau 16</b>	Indice de moral à la station de Tlemcen.	38
<b>Tableau 17</b>	Indice de mensuelle à la station de Tlemcen.	37
<b>Tableau 18</b>	Indice de Kerner de la station de Tlemcen.	40
<b>Tableau 19</b>	Débit annuels à la station hydrologique de Sikkak (1970/1971-2009/2010).	41
<b>Tableau 20</b>	Débit moyens mensuels à la station de Sikkak (1970/1971-2010/2011).	42
<b>Tableau 21</b>	lames d'eau écoulées annuelles à la station de Sikkak (1970-1971 /2010-2011)	43
<b>Tableau 22</b>	lames d'eau écoulées moyennes mensuelle à la station de Sikkak (1970/1971-200/2011).	44
<b>Tableau 23</b>	Paramètres de position des précipitations à la station de Sikkak.	46
<b>Tableau 24</b>	Calcul du $\chi^2$ .	48
<b>Tableau 25</b>	Calcule des précipitations période de récurrences donnée.	48
<b>Tableau 26</b>	Paramètres de position pour la loi normale des précipitations à la	

	station (1969/1970-2010/2011)	50
<b>Tableau 27</b>	Test du $\chi^2$ :	50
<b>Tableau 28</b>	Calcule des précipitations période de récurrences donnée.	51
<b>Tableau 29</b>	Calcule des précipitations pour une période de récurrence donnée.	51
<b>Tableau 30</b>	Calcul du $\chi^2$ .	53
<b>Tableau 31</b>	Calcule des Lames d'eau écoulées pour une période de récurrence donnée.	53
<b>Tableau 32</b>	Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI.	56
<b>Tableau 33</b>	Valeurs annuelles de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de la station de Sikkak (1969/1970-2010/2011).	57
<b>Tableau 34</b>	Valeur des paramètres du modèle GR2M obtenues sur un large échantillon de bassins versants.	70
<b>Tableau 35</b>	Application du GR1A (turc).	71
<b>Tableau36</b>	Démonstration de la validation du modèle GRA1.	73
<b>Tableau 37</b>	Application du GR1A (thorntwaite).	74
<b>Tableau 38</b>	La validation modèle GR1A.	76
<b>Tableau39</b>	Application du GR1A (turc).	77
<b>Tableau 40</b>	Démonstration de la validation du modèle GRA1.	80
<b>Tableau 41</b>	Application du GR1A (Thorntwaite).	81
<b>Tableau 42</b>	Démonstration de la validation du modèle GRA1(Thorntwaite).	81
<b>Tableau 43</b>	Application du GR2M (Turc).	83
<b>Tableau 44</b>	Application du GR2M (Thornthwaite).	87

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b>	Position géographique de bassin de la Tafna	09
<b>Figure 2</b>	Situation du bassin versant de Sikkak	10
<b>Figure 3</b>	Rectangle équivalent du bassin versant de Sikkak	11
<b>Figure 4</b>	Réseaux hydrographique de Oued sikkak	12
<b>Figure 5</b>	Rapport de confluence	14
<b>Figure 6</b>	Courbe hypsométrique du bassin versant de Sikkak.	15
<b>Figure 7</b>	Histogramme des fréquences altimétrique du bassin de Sikkak.	16
<b>Figure 8</b>	Profil en long du cours d'eau principal « Oued Sikkak »	18
<b>Figure 9</b>	Carte lithologique du bassin versant d'oued Sikkak (Tafna- Algérie)	21
<b>Figure 10</b>	Colonne lithostratigraphique type des Mont de Tlemcen	23
<b>Figure 11</b>	Variation des précipitations annuelles de la station de Tlemcen	27
<b>Figure 12</b>	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen	28
<b>Figure 13</b>	Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen	29
<b>Figure 14</b>	Variation des températures annuelles de la station de Tlemcen	31
<b>Figure 15</b>	Variation des températures moyennes mensuelles de la station de Tlemcen	31
<b>Figure 16</b>	Variation de l'ETP Turc et l'ETP Thornthwaite pour la station de Tlemcen	34
<b>Figure 17</b>	Diagramme pluviothermique à la station de Tlemcen	36
<b>Figure 18</b>	Abaque De Martonne	37
<b>Figure 19</b>	Climagramme d'Emberger	40
<b>Figure 20</b>	Variation des débits annuels à la station de sikkak	41
<b>Figure 21</b>	variations des débits mensuels	42
<b>Figure 22</b>	Variations des lames d'eau écoulées annuelles de la station de sikkak	44
<b>Figure 23</b>	variations des lames d'eau écoulées mensuelles à la station de Sikkak	44
<b>Figure 24</b>	Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution normale. Test du $\chi^2$	47
<b>Figure 25</b>	Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi normale.	49
<b>Figure 26</b>	Ajustement graphique des lames d'eau écoulées annuelles à la loi log	

	normale de la Station de Sikkak	52
<b>Figure 27</b>	Variation temporelle des indices de pluie standardisés (1969/1970-2010/2011).	58
<b>Figure 28</b>	résultat du test de corrélation	59
<b>Figure 29</b>	résultat du test de buishand	59
<b>Figure 30</b>	ellipse de bois	59
<b>Figure 31</b>	L'évolution de la variable U du test de PETTITT	60
<b>Figure 32</b>	Densité de probabilité 'a posteriori' de la position d'un changement	61
<b>Figure 33</b>	résultat du test de corrélation	62
<b>Figure 34</b>	L'évolution de la variable U du test de pettitt	63
<b>Figure 35</b>	résultat du test de corrélation	63
<b>Figure 36</b>	résultat du test de buishand	63
<b>Figure 37</b>	ellipse de bois	64
<b>Figure 38</b>	L'évolution de la variable U du test de pettitt	64
<b>Figure 39</b>	Densité de probabilité 'a posteriori' de la position d'un changement	65
<b>Figure 40</b>	procédure de lee et heghinian.	65
<b>Figure 41</b>	Schéma de la structure de modèle GR2M.	69
<b>Figure 42</b>	Visualisation de la qualité du calage le GR1A (turc) de Sikkak	72
<b>Figure 43</b>	Corrélation entre les débits observés et les débits estimés de Sikkak.	72
<b>Figure 44</b>	Corrélation de la validation de notre modèle GRA1 (TURC).	73
<b>Figure 45</b>	Visualisation de la quantité du calage le GR1A (Thorntwaite) de Sikkak.	75
<b>Figure 46</b>	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de Sikkak.	75
<b>Figure 47</b>	Corrélation de la validation de notre modèle GRA1 (Thorntwaite).	76
<b>Figure 48</b>	Visualisation de la quantité du calage le GR1A (turc) de Sikkak.	78
<b>Figure 49</b>	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de Sikkak.	78
<b>Figure 50</b>	Corrélation de la validation de notre modèle GRA1 (turc).	79
<b>Figure 51</b>	Visualisation de la quantité du calage le GR1A (Thorntwaite) de Sikkak.	80
<b>Figure 52</b>	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés mensuelles(Thorntwaite).	81
<b>Figure 53</b>	Corrélation de la validation de notre modèle GR1A.	82

<b>Figure 54</b>	Le niveau S du réservoir de Routage.	84
<b>Figure 55</b>	Le niveau R du réservoir de Routage.	84
<b>Figure 56</b>	Visualisation du résultat du calage (Turc) de La transformation pluie en débit mensuels pour Sikkak.	85
<b>Figure 57</b>	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés mensuelle de Sikkak.	85
<b>Figure 58</b>	Corrélation de la validation de notre modèle GR2M (Turc).	86
<b>Figure 59</b>	Le niveau S du réservoir de production.	87
<b>Figure 60</b>	Le niveau R du réservoir de Routage.	88
<b>Figure 61</b>	Visualisation du résultat du calage (Thornthwaite) de La transformation pluie en débit mensuels de Sikkak	88
<b>Figure 62</b>	Corrélation entre les débits observés et les débits simulés mensuelles (Thornthwaite).	88
<b>Figure 63</b>	Corrélation de la validation de notre modèle GR2M (Thornthwaite).	89

## Introduction général

L'eau est d'une grande importance dans la vie. Il est donc nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible. Dans ce contexte, nous utilisons les outils et les modèles hydrologiques qui ont émergé au cours des vingt dernières années.

La simulation de la transformation de la pluie en débit du bassin versant par des modèles mathématiques est devenue très répandue grâce à l'accroissement des capacités de calcul et l'amélioration de l'outil informatique.

Parmi le nombre de modèles existant, les modèles conceptuels ou empiriques globaux sont les plus performants, ils présentent le lien entre la pluie et le débit par des agencements variés de réservoirs.

Dans ce cadre, une étude intitulée modélisation est variabilité hydroclimatologique du bassin versant de Sikkak. Il a plusieurs objectifs :

- Caractériser le bassin versant de Sikkak par l'analyse de quelques facteurs en particulier physiques, géologiques et climatiques régissant l'écoulement ;
- Une étude hydrologique ;
- Etablissement d'une modélisation corrélatrice et une modélisation à l'aide d'un modèle pluie-débit par la transformation de la pluie en débit à deux pas de temps Annuelle et mensuelle ;

Le mémoire s'articule en quatre chapitres :

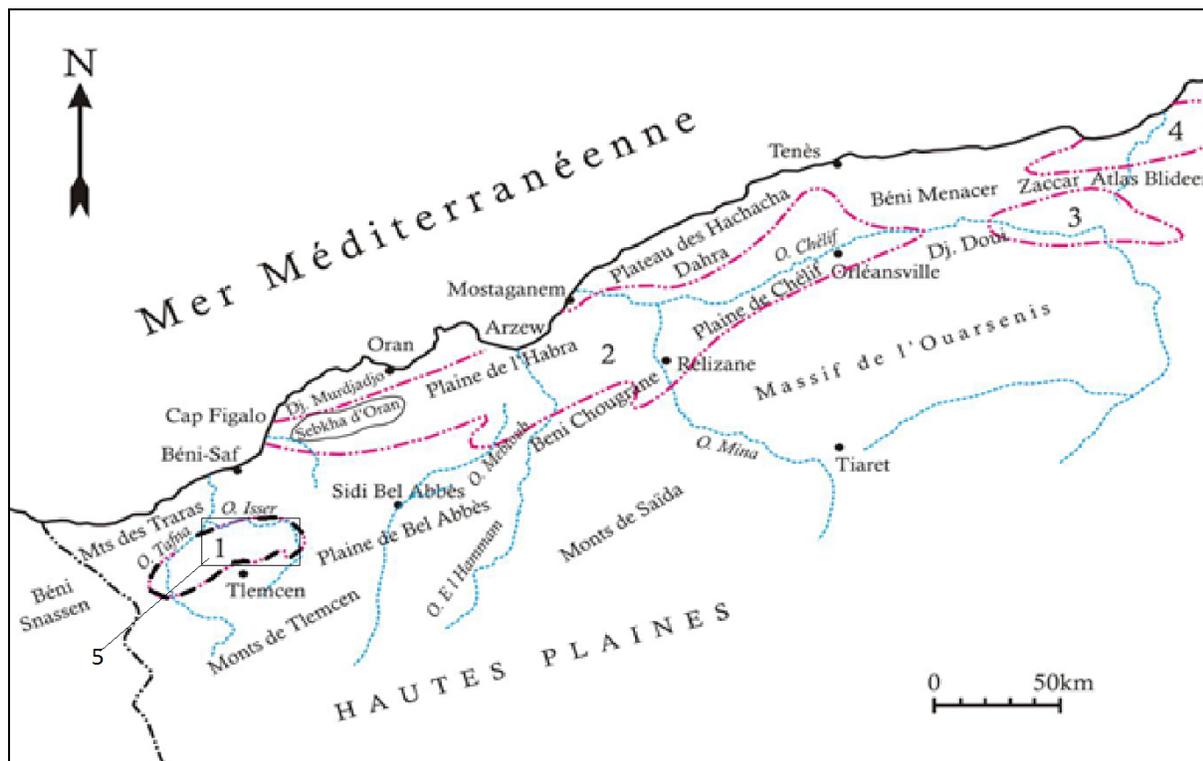
- **Chapitre I** : aborde une présentation générale du bassin versant de Sikkak (situation géographique, étude morphométrique, étude géologique).
- **Chapitre II** : c'est La géologie du bassin versant qui basé sur la Colonne lithostratigraphique type des Mont de Tlemcen
- **Chapitre III** : il s'attache à décrire les paramètres hydrologiques du bassin versant en utilisant les données des précipitations, des débits et des températures ainsi qu'une étude statistique afin de déterminer la loi d'ajustement de la distribution des précipitations et des débits.
- **Chapitre IV** : Ce chapitre montre les différentes méthodes graphiques et statistiques utilisées pour analyser successivement la variabilité des précipitations annuelles.
- **Chapitre V** : nous proposons plus de détail sur le modèle GR qui fait l'objet de la présente étude. Il s'agit d'une :
  - Modélisation par application du modèle GR à deux pas de temps annuelle et mensuelle.

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

### I-1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE :

Le bassin versant de la Tafna, situé au Nord-Ouest du territoire algérien (Fig.01), s'étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km<sup>2</sup>. Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin versant de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranie –Chott Cherguie.

Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties (Fig. 1) :



**Fig. 01- Position géographique de bassin de la Tafna  
(D'après PERRODON, 1957).**

- partie orientale avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak),
- partie occidentale comprenant la Haute Tafna (oued Sebdu et oued Khemis) et l'oued Mouilah
- partie septentrionale : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie. (Bemmoussat A ,2011)

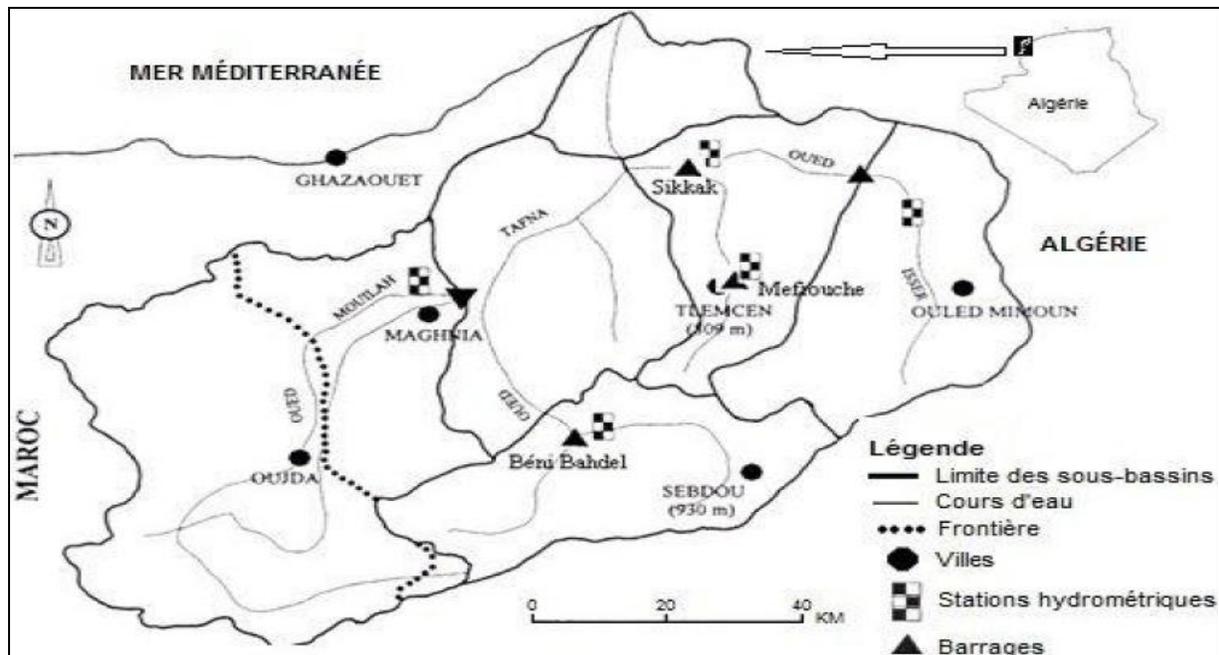


Fig2 : Situation du bassin versant de Sikkik (Bouanani A,2004)

Notre bassin versant de Sikkak d'une superficie 241 Km<sup>2</sup> ce bassin est limité :

- Au Nord par djbel taouli,
- A l'Ouest par djbel tifatiset et le plateau de Zenata,
- A l'Est par djbel Eramliya, oukarif et tabeldaout,
- Au Sud djbel Nadoure et bouladour **Bemmoussat A ,2011)**

## I.2.Caractéristiques physiques du bassin versant du sikkak

### I.2.1.Caractéristiques de forme :

Paramètres géométriques : superficie de 241 Km<sup>2</sup> avec un périmètre de 91 km

- ✓ Son indice de forme ou de compacité K<sub>c</sub>.
- ✓ Les cotés de son rectangle équivalent.

#### I.2.1.1- Indice de compacité (de Gravelius)

Le coefficient de Gravelius exprime la forme d'un bassin versant, il est égal au rapport du périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

Plus cet indice sera proche de « 1 » plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration des eaux sera court.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K_c = 1.64.$$

avec : A : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>) 241 Km<sup>2</sup>

P : Périmètre du bassin versant (km) 91 Km

La valeur du K<sub>c</sub> qui est supérieur à 1 donc le bassin d'Oued Sikkak est moyennement allongé.

#### I.2.1.2.rectangle équivalent :

Pour pouvoir comparer des bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement, on introduit la notion du rectangle équivalent qui a une représentation géométrique du bassin versant ayant le même périmètre et la même surface.

**\*La longueur du rectangle équivalent L (km) :**

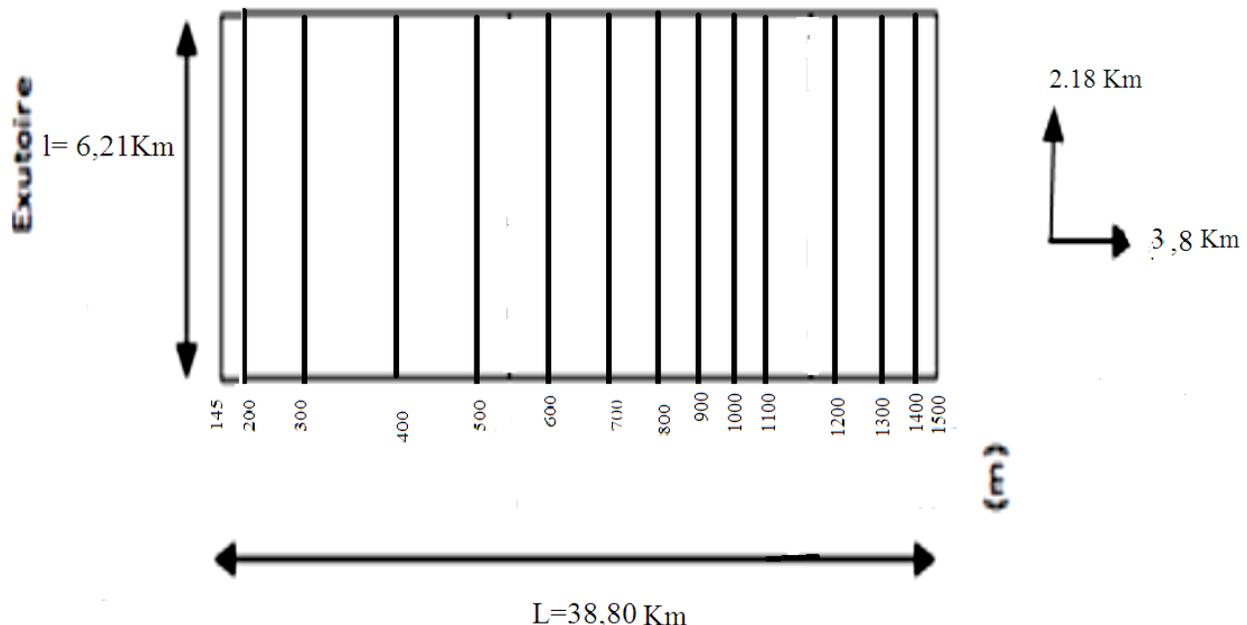
$$L = \sqrt{A} \frac{K_c}{1,128} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$L = 38,80 \text{ Km}$$

**\*La largeur du rectangle équivalent l (km) :**

$$l = \sqrt{A} \frac{K_c}{1,128} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$l = 6,21 \text{ Km}$$



**Fig. 3 : Rectangle équivalent du bassin versant de Sikkak**

### I.3.2- Etude du réseau hydrographique :

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux, qui ont affecté la région au cours des temps géologiques (Seladji.S,2000).

Les affluents les plus importants de oued sikkak sont les oueds tassarine, boughrara, sennoun et chaabthoura, el houdi, ainbaida, teshret, melah, houed ben rahou

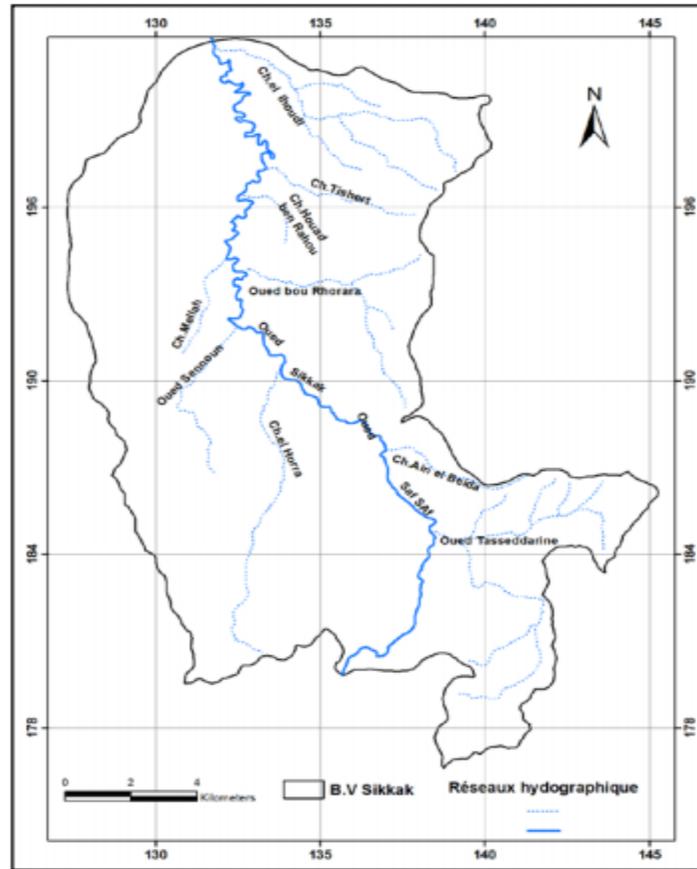


Fig 4 Réseaux hydrographique de Oued Sikkak(Bemmoussat A ,2011)

Tableau 1 : Classification des thalwegs

Ordre	Nombre des cours d'eau (n)	Longueur cumulée Lx (km)	Longueur cumulée Ln (km)
1	820	226.5	0.276
2	139	129.5	0.649
3	50	100	2
4	13	44.5	3.42
5	1	28	28

On obtient une droite d'équation:  $\log N = ax + b$

$$a = \frac{\log N(x) - \log(x+1)}{(x - (x+1))}$$

Pour le bassin de Sikkak :  $Rc = 1,93$

Le réseau est bien organisé, le nombre de cours d'eau d'ordre successifs forme une progression géométrique d'ordre inverse.

### I.3.2.1.densité de drainage :

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique  $L_x$  sur la surface du bassin versant :

$$Dd = \sum_{x=1}^n \frac{L_x}{A}$$

$$Dd = 2.19 \text{ km/ km}^2$$

Avec :

$Dd$  : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>]

$L_x$  : longueur de cours d'eau [km]

$A$  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>]

Les valeurs de densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé. (Musy et Al, 1998).

### I.3.2.2.Rapport de confluence $R_c$ :

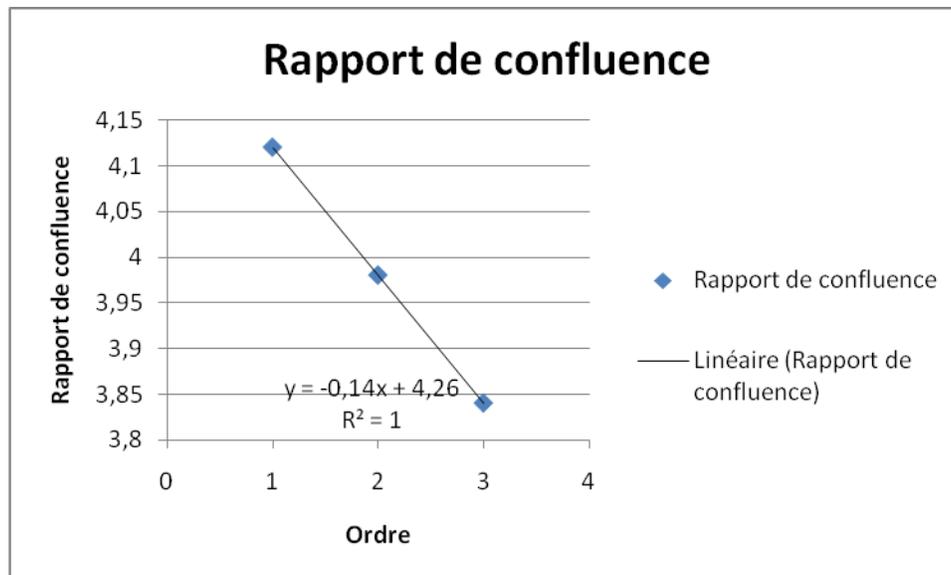
Le rapport de confluence est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage.

$$R_c = \frac{N_n}{N_{(n+1)}}$$

Avec  $N_n$  : nombre de cours d'eau d'ordre  $n$ .

**Tableau 2 : Répartition de rapport de confluence**

Ordre	Rapport de confluence
1	4.12
2	3.98
3	3.84
4	13



**Fig. 5 : Rapport de confluence**

Le rapport de confluence varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence (Strahler, 1994).

### I.3.3- Etude du Relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit naturellement, par la variation des altitudes, les paramètres hydrométéorologiques (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. La pente influe sur la vitesse d'écoulement, donc l'étude du relief se détermine aussi par les caractéristiques suivantes :

-L'indice de pente IP de roche,

-L'indice de pente global Ig.

L'indice de pente globale établi par M. Roche

$$I_G = \frac{D}{L}$$

$$I_G = 0,022 \text{ m/km}$$

Avec :

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

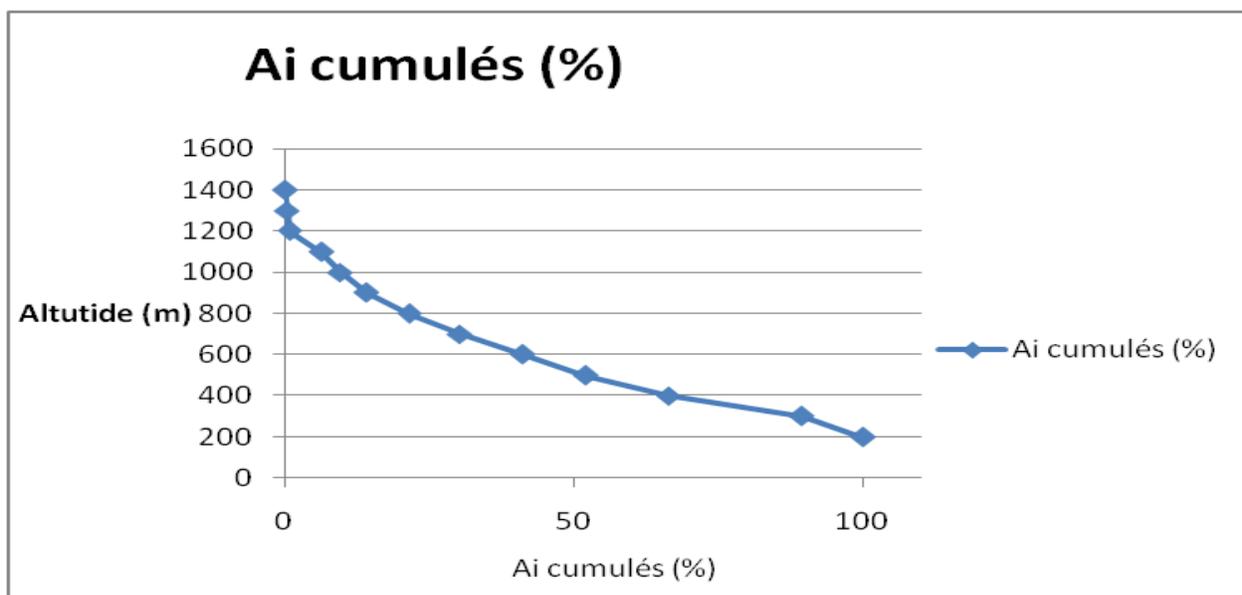
$$D = 881 \text{ m}$$

L : longueur du rectangle équivalent d'après la classification de L'O.R.S.T.O.N. Le relief de B.V de sikkak est assez fort :  $20\text{m/km} < I_g < 35\text{m/km}$ .

**Tableau 3 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Sikkak (Moyenne Tafna)**

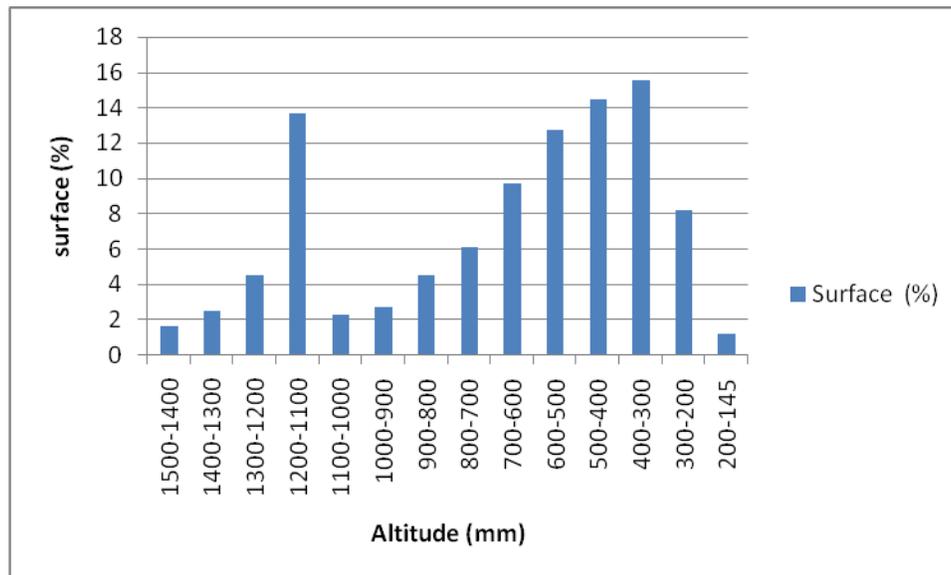
(Bouanani 2004)

Tranches d'altitudes	Ai (km <sup>2</sup> )	Ai cumulées (km <sup>2</sup> )	Ai %	% Ai cumulés	% altitudes cumulés
1500-1400	7.675	7.675	1.66	1.66	100
1400-1300	11.750	19.425	2.54	4.2	92.62
1300-1200	20.95	40.375	4.52	8.72	85.24
1200-1100	63.25	103.625	13.66	22.38	77.86
1100-1000	10.75	114.375	2.32	24.7	70.48
1000-900	12.65	127.025	2.73	27.43	63.10
900-800	20.975	148	4.53	31.96	55.72
800-700	28	176	6.15	38.01	48.34
700-600	45.150	221.15	9.75	47.76	40.96
600-500	58.975	280.125	12.74	60.5	33.58
500-400	67.025	347.15	14.48	74.98	26.20
400-300	72.075	419.225	15.57	90.55	18.82
300-200	38.075	457.3	8.22	98.77	11.44
200-145	5.7	463	1.23	100	4.06



**Fig.06: Courbe hypsométrique du bassin versant de Sikkak.**

Pour notre cas, la courbe hypsométrique présente une concavité vers le bas, c'est un bassin jeune d'où un potentiel érosif important, il est donc en pleine évolution géomorphologique.



**Fig. 07 : Histogramme des fréquences altimétrique du bassin de Sikkak.**

D'après La courbe hypsométrique et l'histogramme des fréquences altimétrique du bassin de Sikkak (figure 6et 7) nous déterminons les altitudes caractéristiques

Suivantes :

- Altitude la plus fréquente : 400m-300m.
- Altitude de fréquence ½ : 200m

### I.3.3.1- Coefficient de torrentialité :

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

$$C_t = D_d \cdot \frac{N_1}{A}$$

$$C_t = 7.45$$

Avec :

$D_d$  : densité de drainage (km/km<sup>2</sup>)

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

$N_1$  : nombre de cours d'eau d'ordre 1

**I.3.3.2- Temps de concentration des eaux :**

Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire que met une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique du point le plus éloigné du bassin à l'exutoire. On peut estimer  $t_c$  en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface).

$$T_C = \frac{4\sqrt{A + 1,5L_P}}{0,8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \text{ (Formule de GIANDOTTI)}$$

$T_c = 4.2$  heures Avec

$T_c$  : temps de concentration (heure)

A : superficie du bassin (km<sup>2</sup>)

L : longueur du thalweg principal (km)

$H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne (m)

$H_{\text{min}}$  : altitude minimale (m)

**I.3.3.3- Vitesse de concentration :**

Elle est définie comme étant la vitesse moyenne de propagation d'une crue

$$V_C = \frac{L_P}{T_C}$$

$V_c = 9.3 \text{ km/h}$

Avec :

$L_p$  : longueur du thalweg principal (km)

$T_c$  : temps de concentration (heure)

**I.3.4- Profil en long de l'oued sikkak.**

Le profil en long du cours d'eau principal permet de déterminer les pentes des thalwegs et leur influence sur le régime d'écoulement. Une pente forte observée entre l'altitude 600 et 1200m et faible entre 200 et 400m.

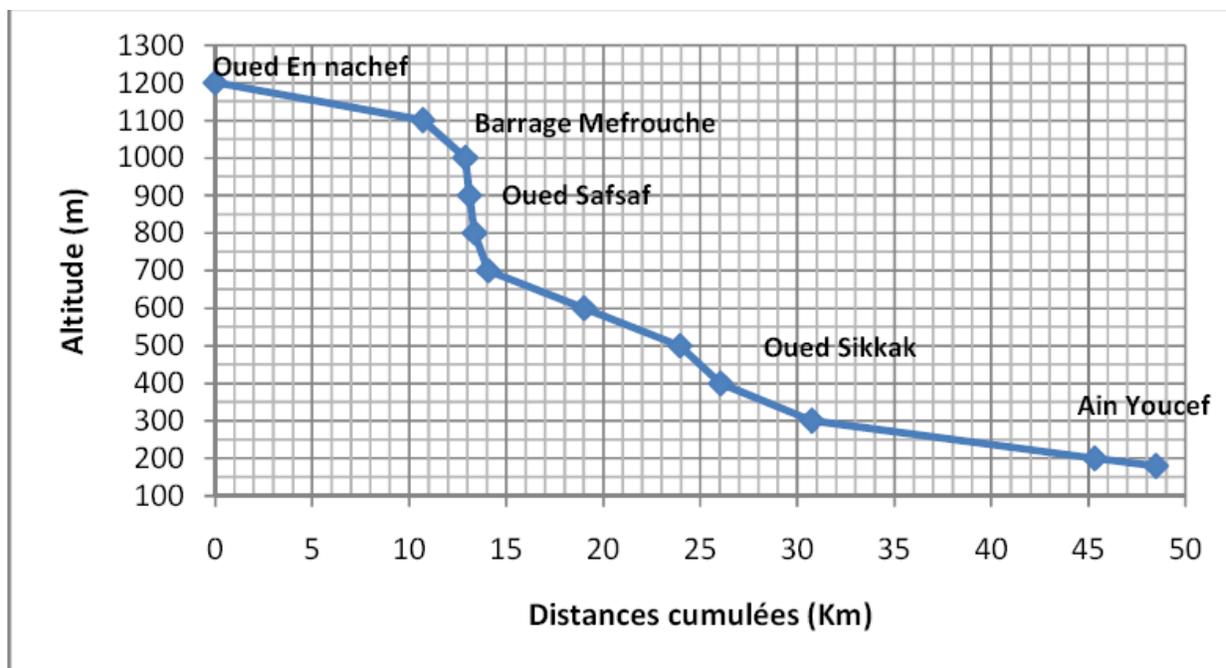


Fig08 : Profil en long de l'Oued Sikkak

#### I.4- Conclusion

Nous présentons sur le tableau 4 les différentes valeurs des caractères physiques du bassin, qui met en évidence le caractère allongé du bassin et un relief généralement très fort. L'altitude est entre 200 et 1100 m montre que la majeure partie de ce bassin 79% de la surface. Le réseau hydrographique de ce bassin versant est très limité avec une densité de drainage  $Dd = 2.19 \text{ km/km}^2$ .

**Tableau04 : caractéristiques morphométriques du bassin versant sikkak**

caractéristiques	Symboles	unités	Valeurs
surface	A	$\text{Km}^2$	241
périmètre	p	$\text{Km}^2$	91
Indice de compacité	Kc	-	1.64
Longueur	L	Km	38.8
largeur	l	Km	6.21
Indice Global	Ig	m/Km	22.7
Pente moyenne	P moy	m/Km	23.2

## **I1 La géologie du bassin versant**

### **I1.1/Introduction :**

La connaissance de la géologie d'un bassin versant s'avère importante pour cerner l'influence des caractéristiques physiographiques. La géologie du substratum influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement de surface. Dans ce dernier cas, les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie et la structure tectonique. La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. En effet la perméabilité d'un bassin versant intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume et sur le soutien apporté aux débits d'étiage par les nappes souterraines. Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication précieuse sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la quantité de terre susceptible d'être érodée (FAO,1994 ; DEMMAK,1982). Les argiles, les marnes, les schistes, les basaltes et les gneiss sont très vulnérables au ravinement (Roose,1994).

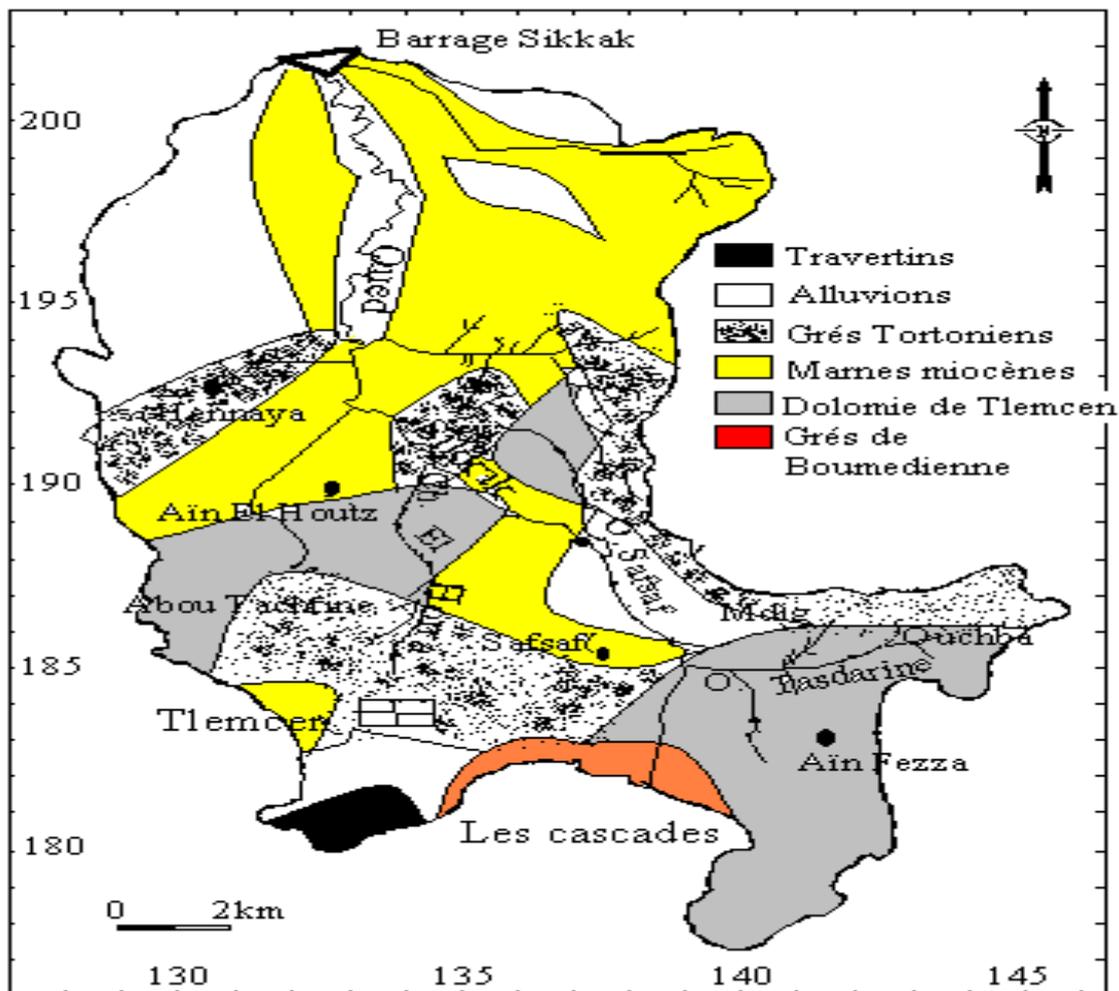
Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques caractères généraux sur la géologie de la Tafna et passer ensuite à une structure géologique montrant des formations rencontrées au niveau du bassin versant qui fait l'objet de cette étude.

Les principales formations du ce bassin sont (fig.08)

Nord : les massifs montagneux de travers ce sont des formations jurassiques composées de calcaire, marne et calcaire marneux.

Centre : formation alluviales anciennes recouvertes de dépôts alluviaux marins et des dépôts lacustre.

Sud : les massifs calcaires des monts de Tlemcen sont constitués de terrains jurassiques carbonatés et dolomitiques qui comporte une karstification importante permettant l'infiltration des eaux pluviales



**Figure 09 : Carte lithologique du bassin versant d'oued Sikkak (Tafna- Algérie) (Bouanani A,2004)**

L'aperçu géologique est le résumé de quelques travaux antérieurs effectués dans la région (Guardia 1975, Neurdin 1992 et Kerzabi 2008).

La région étudiée fait partie de la moyenne Tafna, elle est bordée au Nord-Ouest par les formations plissées de Sebaa Chioukhet au Sud par les terrains jurassiques des Monts de Tlemcen, à l'Ouest le plateau de Zenata et à l'Est par oued Isser.

La Série stratigraphique rencontrée dans le bassin étudié de bas en haut est comme suite (fig. 09 :

### II.2.1. Jurassique

Les argiles de Saïda : Correspondent à des dépôts argileux et marneux, parfois schisteux, à passage gréseux, attribuées au callovo-oxfordien peuvent atteindre 500 m d'épaisseur.

**II.2.1.1. Les grès de Boumediene:** correspond à des grès blancs à bruns, c'est une série assez épaisse comporte à son sommet des bancs de calcaires bleu (calcaire de Zarifet).

**II.2.1.2. Les calcaires de Zarifet:** au sommet de grès de Boumediene et à la base des dolomies de Tlemcen, 105 à 110 m d'épaisseur à Nif El Ogab.

**II.2.1.3. Les dolomies de Tlemcen:** D'aspect ruiniforme, donnent naissance à des reliefs très pittoresques marquant ainsi les Monts de Tlemcen par une morphologie très particulière. Attribuées au kimméridgien, leur limite supérieure correspond à la première passée marneuse peu indurée par laquelle débutent les calcaires de Stah.

**II.2.1.4. Les calcaires de Stah:** correspondent à des calcaires massifs à dominante micritique, pouvant atteindre une épaisseur de 65 m.

**II.2.1.5. Les marno-calcaires de Raourai:** c'est une alternance de bancs de marnes et de calcaires, l'épaisseur minimum est de 75 m, et le maximum est de 400 m.

**II.2.1.6. Les calcaires du Lato:** viennent au sommet des marno-calcaires de Raourai et atteignent une épaisseur de 50 m au maximum.

**II.2.1.7. Les dolomies de Terny:** D'aspect très massifs, les distinguant des dolomies de Tlemcen, leur épaisseur est d'environ 50 mètres, attribuées eux aussi au Kimméridgien supérieur.

**II.2.1.8. Les marno calcaires de Hariga:** il s'agit d'une alternance de marnes et de marno-calcaires, leur limite inférieure est difficile à déterminer (les premières assises de la formation sont des calcaires et entièrement atteintes par la dolomitisation), leur limite supérieure correspond à la semelle du premier banc gréseux des grès Merchiche.

**II.3. 2. Miocène :** Il s'agit, dans notre zone d'étude, d'une alternance de marnes gris verdâtres et des grès gris roux, à grain généralement fins mais passant parfois par des grès grossiers ou même à des poudingues. Les bancs de grès ont une épaisseur variant de quelques centimètres à plus d'un mètre et regroupés en grosses barres d'une vingtaine de mètres. L'ensemble de cette formation dépasse les 1000 m selon les études géophysiques (Icosium Forage et Engineering Services, 2002)

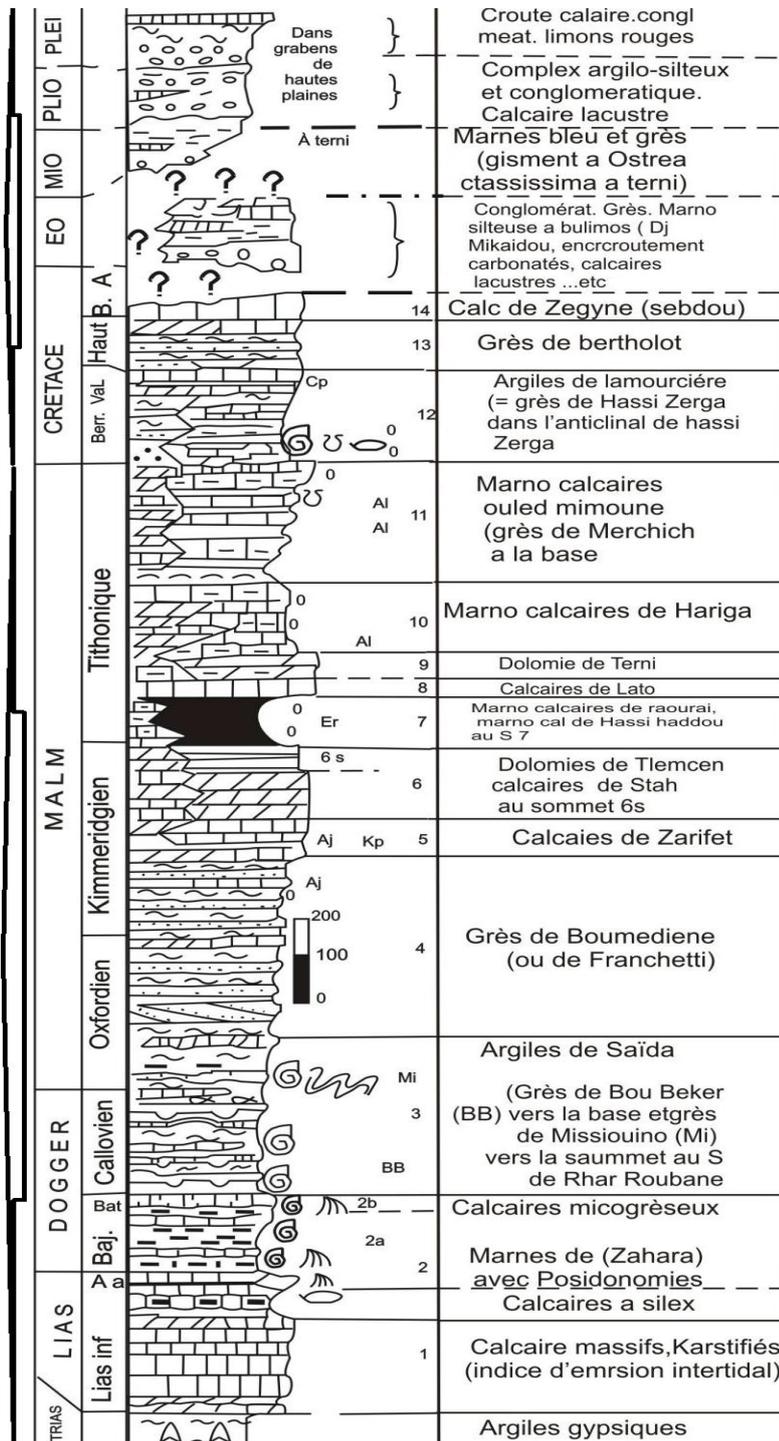


Fig. 10- Colonne lithostratigraphique type des Mont de Tlemcen (D'après BENEST et al.,1999).

### I-1- Introduction :

L'étude des caractéristiques hydro-climatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eau, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de la circulation des eaux naturelles. Elle permet également d'identifier les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, les températures, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

C'est à cet effet que nous tenterons dans ce chapitre de déterminer ces paramètres hydro climatologiques et surtout ceux intervenant directement ou indirectement dans l'évaluation du bilan hydrique, Où nous s'attacherons plus particulièrement à la détermination des apports d'eau dans la zone d'étude en mettant l'accent sur les quantités des eaux reçues par précipitation et les quantités des eaux perdues par évaporation.

Pour ce faire, nous avons utilisé les données de la station météorologique.

**Tableau 5 : Présentation de la station pluviométrique**

Coordonnées de station de SKKAK BGE	X	Y	Z
Lambert	129 ,500	205,150	224
Grade	01°01'27"	35°02'56"	224

### III.2.1- Etude des précipitations :

#### III.2.1.1- Précipitations annuelles :

Ce sont des précipitations surtout liquides qui constituent le facteur essentiel, leur quantité moyenne mensuelle et annuelle est l'un des paramètres qui permet de caractériser le climat. La pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat (Djebaili, 1978).

Pour cette étude, nous avons pris en considération les valeurs annuelles des précipitations à la station de Tlemcen sur la période (1969/1970-2010/2011).

**Tableau 6 : Précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen(1969/1970-2010/2011).**

Années	P annuel les (mm)	Années	P annuel les (mm)	Années	P annuel les (mm)	Années	P annuelles (mm)
1969-1970	806,9	1980-1981	561,2	1991-1992	496,5	2002-2003	391,3
1970-1971	531,7	1981-1982	426,7	1992-1993	331	2003-2004	112,8
1971-1972	613,8	1982-1983	276,26	1993-1994	297	2004-2005	289,4
1972-1973	731,36	1983-1984	230,29	1994-1995	416,6	2005-2006	260,5
1973-1974	821,8	1984-1985	305,49	1995-1996	498,4	2006-2007	271,3
1974-1975	819	1985-1986	293,7	1996-1997	394,6	2007-2008	213,6
1975-1976	770,1	1986-1987	357,8	1997-1998	464,7	2008-2009	522,8
1976-1977	594,2	1987-1988	357,7	1998-1999	352,2	2009-2010	433,1
1977-1978	495,1	1988-1989	282,9	1999-2000	255,1	2010-2011	340,8
1978-1979	523,42	1989-1990	331,2	2000-2001	339,1		
1979-1980	494,6	1990-1991	438,9	2001-2002	474,4		
Moyenne annuelle : 433,79 mm							

D'après le tableau 06 et la figure 10 nous désignons la moyenne interannuelle des précipitations de la période citée qui est de 433.79mm et le maximum enregistré en 1973/1974 est de 821.8mm, par contre le minimum est observé en 2003/2004 avec 112.8 mm

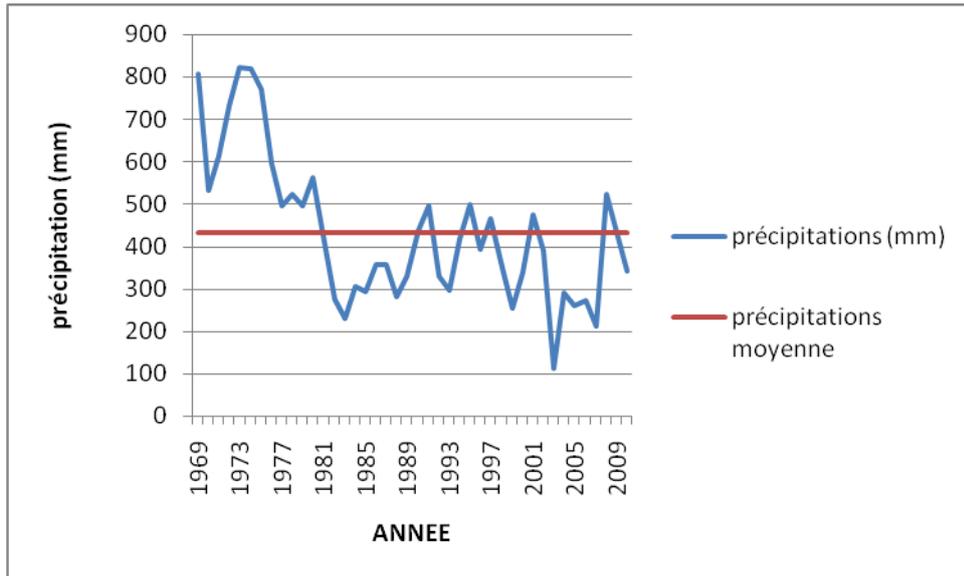
17 années sur 34 ont enregistré des hauteurs de pluie supérieures à la moyenne annuelle.

Nous désignons selon le tableau 6 et la figure 11 :

La moyenne interannuelle des précipitations de la période citée qui est de 433.79mm.

Le maximum est enregistré en 1973/1974 avec 821.8mm, par contre le minimum est observé en 2003/2004 avec 112.8 mm

14 années sur 41 ont enregistré des hauteurs de pluie supérieures à la moyenne annuelle.



**Fig. 11 : Variation des précipitations annuelles de la station de Tlemcen(1969/1970-2010/2011)**

Le coefficient d'irrégularité est :

**PM /Pm=7,28**

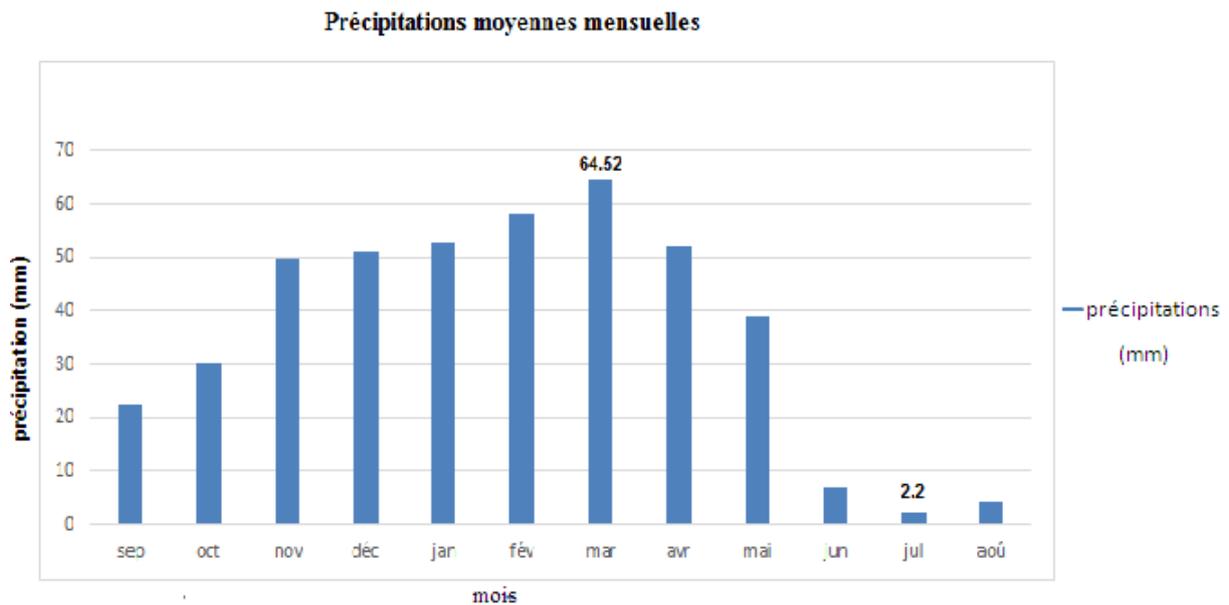
C'est donc une zone où les précipitations sont distribuées irrégulièrement d'une année à une autre.

**III.2.1.2- Précipitations mensuelles**

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même, le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. Sa connaissance est donc fort utile dans l'optique de notre étude

**Tableau 07 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1969/1970-2010/2011)**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT
<b>Précipitations mensuelle</b>	22,53	30,18	49,81	51,16	52,78	58,29	64,52	52,238	38,89	6,91	2,20	4,23



**Fig.12 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen**

Nous désignons selon l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tlemcen que le mois le plus pluvieux est le mois de 'mars' par une moyenne de précipitation de 64.52 mm par contre le mois le plus sec est le mois de 'Juillet' avec une moyenne de précipitation de 2.2 mm .

### III.2.1.3- Précipitations saisonnières

Les 4 saisons de l'année correspondent à :

**-Hiver** : (Décembre, Janvier, Février)

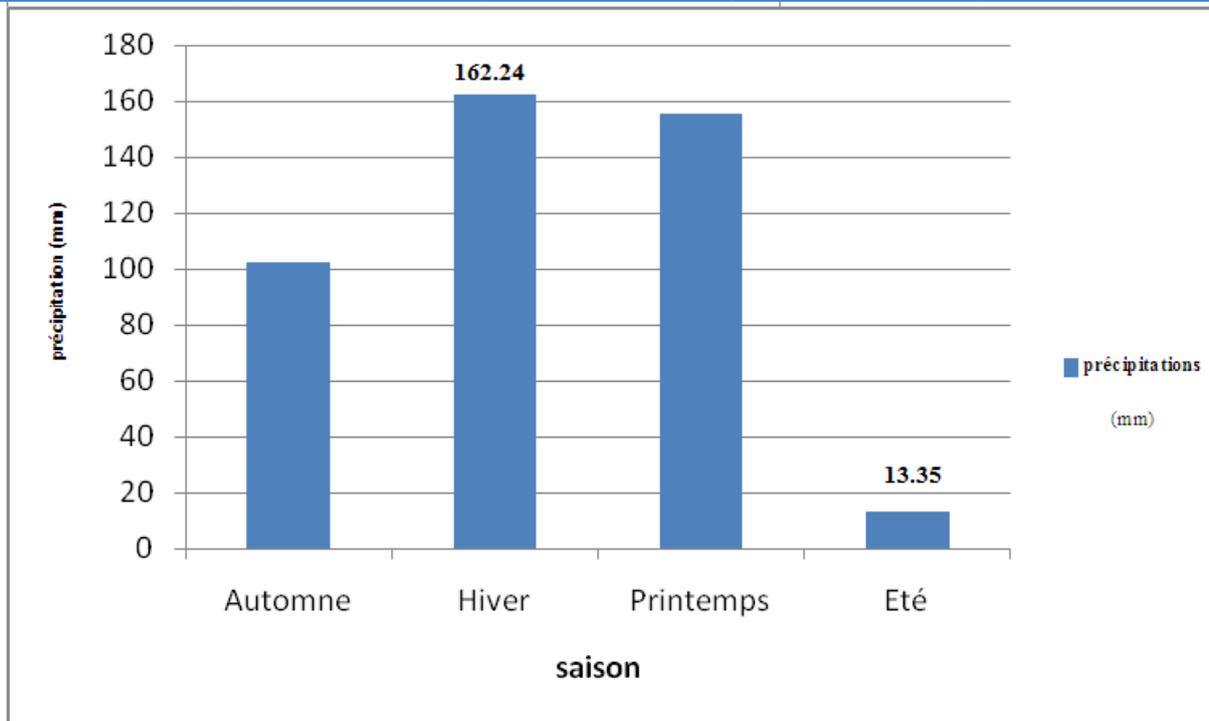
**-Printemps** : (Mars, Avril, Mai)

**-Eté** : (Juin, Juillet, Août)

**-Automne** : (Septembre, Octobre, Novembre)

**Tableau.08 : Précipitations saisonnières moyennes à la station Tlemcen (1969/1970-2010/2011)**

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P (mm)	102.53	162.24	155.65	13.35

**Fig.13 : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemce**

La distribution des précipitations saisonnières (figure 13), montre que la saison plus humide est l'Hiver Suivie par le Printemps, automne. L'Eté est la saison la plus sèche.

### III.2.2- Etude des températures

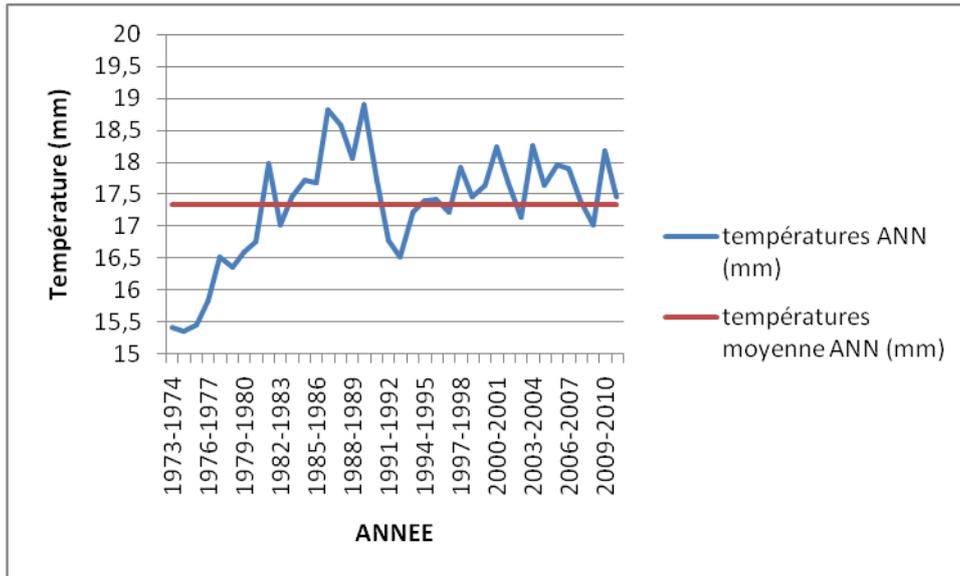
Les paramètres thermiques jouent un rôle déterminant dans la vie végétale. En effet, la température intervient dans le déroulement de tous les processus, biologique selon des modalités diverses. Elle contrôle la croissance, la reproduction, la survie et par conséquent la répartition géographique, générant les paysages, les plus divers. Son effet sur les points d'eau est très important car elle peut provoquer un déficit d'écoulement [Chekouki Z. &Belguerna A., 2012].

Le tableau n° 09 donne les températures annuelles et mensuelles sur la période (1969/1970-2010/2011).

### III.2.2.1- Températures annuelles

**Tableau 09 : Températures moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1973/1974-2010/2011).**

Années	T moy Annuelles	Années	T moy Annuelles	Années	T moy Annuelles	Années	T moy Annuelles
1973-1974	15,41	1983-1984	17,45	1993-1994	17,22	2003-2004	19,08
1974-1975	15,34	1984-1985	17,72	1994-1995	17,39	2004-2005	17,64
1975-1976	15,44	1985-1986	17,67	1995-1996	17,40	2005-2006	17,95
1976-1977	15,83	1986-1987	18,81	1996-1997	17,22	2006-2007	19,40
1977-1978	16,51	1987-1988	18,58	1997-1998	17,91	2007-2008	17,4
1978-1979	16,35	1988-1989	18,06	1998-1999	17,46	2008-2009	17
1979-1980	16,6	1989-1990	18,9	1999-2000	17,64	2009-2010	18,18
1980-1981	16,75	1990-1991	17,7	2000-2001	18,23	2010-2011	17,45
1981-1982	17,97	1991-1992	16,77	2001-2002	17,68		
1982-1983	17,01	1992-1993	16,5	2002-2003	17,14		
<b>Moyenne annuelle : 17.33 C°</b>							



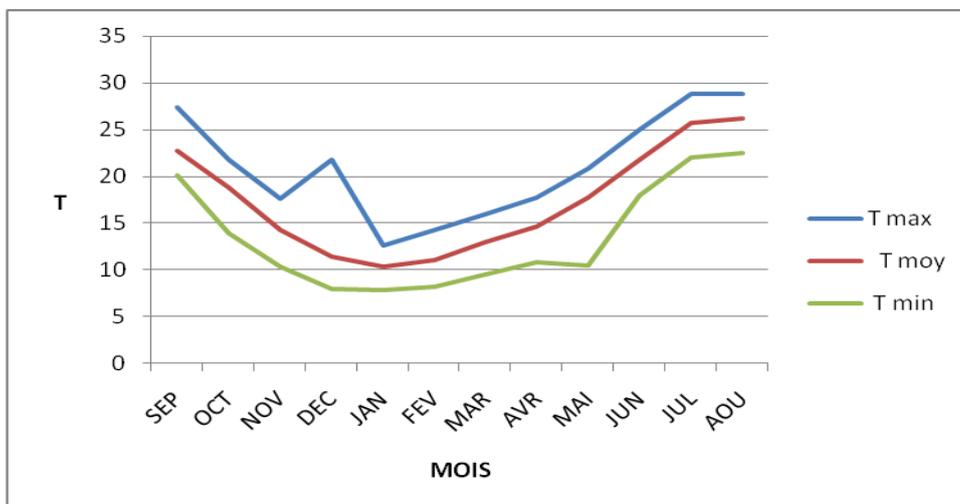
**Fig.14 : Variation des températures annuelles de la station de Tlemcen**

Elles sont comprises entre 15.34 à 18.81°C avec une moyenne interannuelle est de 17.33°C

**III.2.2.2- Températures moyennes mensuelles**

**Tableau 10 : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales à la station de Tlemcen (1973/1974-2010/2011).**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
<b>T max</b>	27,4	21,8	17,65	21,8	12,6	14,3	16	17,7	20,8	25	28,8	28,85
<b>T moy</b>	22,65	18,83	14,30	11,39	10,35	11,03	12,95	14,64	17,72	21,77	25,71	26,14
<b>T min</b>	20,1	13,93	10,32	7,94	7,87	8,2	9,51	10,85	10,45	17,9	22	22,45



**Fig.15 : Variation des températures moyennes mensuelles de la station de Tlemcen**

La figure 15 Montre la variation des températures au cours des années et regroupe-les températures moyenne maximal et minimal aussi montre que les mois d'Août et de Juillet sont les plus chauds et le mois de Janvier et février par contre est le plus froid.

### III.2.3- Evapotranspiration potentielle

C'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. (MARGAT, 1997).

Elle est estimée par une mesure par un évaporomètre ou déduite par des formules empiriques telles que celles de PENMAN, 1968, MORTON, 1983.

#### III.2.3.1- Estimation de l'évapotranspiration

Plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP à partir de différentes mesures climatologiques. Dans notre cas, nous avons utilisé les formules de Turc et Thornothwaite.

- **Formule de Turc**

La formule de Turc, qui dérive en la simplifiant de la formule de Penmann, ne nécessite que la connaissance des températures de l'air et de la radiation globale ou de la durée d'insolation. Cette formule est la suivante :

$$ETP = 0.4 (I_g + 50) k \frac{T}{T+15}$$

**Avec :**

Etp : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm d'eau),

T : Température moyenne mensuelle de l'air (°C),

I<sub>g</sub> : Radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (calorie/cm<sup>2</sup>/jour),

K : Coefficient égal à 1 si l'humidité relative hr est supérieure à 50 % (généralement le cas sous nos climats) ;

Si non 
$$K = 1 + \frac{50 - hr}{70}$$

Si la radiation globale I<sub>g</sub> n'est pas mesurée, on pourra l'évaluer à partir de la durée d'insolation h par la formule.

$$I_g = I_gA (0.18 + 0.62 h / H)$$

**Avec :**

I<sub>gA</sub> : Radiation globale théorique (calorie/cm<sup>2</sup> /jour);

H : Durée théorique des jours du mois.

Pour le calcul de l'ETP par la méthode de Turc on a utilisé le programme élaboré par (L BENADDA, 2000).

**Tableau 11 : Valeur l'ETP par la méthode de Turc à la station Tlemcen (1973/1974-2010/2011).**

Années	ETP (mm)	Années	ETP (mm)	Années	ETP (mm)	Années	ETP (mm)
1973-1974	901,84	1983-1984	962,85	1993-1994	892,44	2003-2004	928,44
1974-1975	913,74	1984-1985	968,50	1994-1995	868,27	2004-2005	929,02
1975-1976	904,59	1985-1986	978,95	1995-1996	862,01	2005-2006	932,3
1976-1977	914,72	1986-1987	975,67	1996-1997	843,37	2006-2007	898,88
1977-1978	932,83	1987-1988	1001,66	1997-1998	906,74	2007-2008	884,17
1978-1979	944,77	1988-1989	999,42	1998-1999	895,43	2008-2009	901,55
1979-1980	943,17	1989-1990	984,95	1999-2000	905,1	2009-2010	910,91
1980-1981	950,34	1990-1991	1005,47	2000-2001	928,11	2010-2011	889,58
1981-1982	955,17	1991-1992	972,75	2001-2002	888,24		
1982-1983	985,57	1992-1993	952,22	2002-2003	873,71		
Moyenne annuelle : 965,64 mm							

- **Formule de Thornthwaite**

En 1948 Thornthwaite introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, il a proposé également une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 1.6 (10T/I)^a * K \text{ et}$$

$$I = \sum i \text{ avec } i = (T5)^{1.514}$$

$$a = 1.6 I/100 - 0.5$$

Avec :

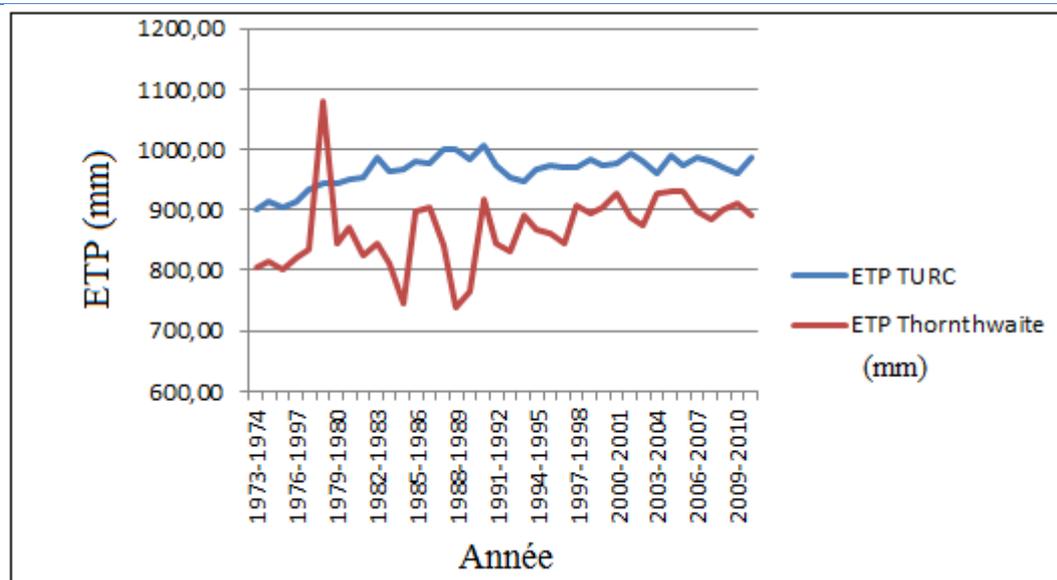
T : Température moyenne mensuelle du mois considéré (C°),

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré (mm),

K : Coefficient d'ajustement mensuel en fonction de la latitude et de la durée du jour.

**Tableau 12 : Valeur l'ETP par la méthode de Thornthwaite à la station de Tlemcen(1973/1974-2010/2011).**

Années	ETP (mm)	Années	ETP (mm)	Années	ETP (mm)	Années	ETP (mm)
1973-1974	804,76	1983-1984	811,21	1993-1994	892,44	2003-2004	928,44
1974-1975	814,80	1984-1985	745,56	1994-1995	868,27	2004-2005	929,02
1975-1976	801,71	1985-1986	898,08	1995-1996	862,01	2005-2006	932,3
1976-1977	820,00	1986-1987	905,50	1996-1997	843,37	2006-2007	898,88
1977-1978	835,10	1987-1988	842,52	1997-1998	906,74	2007-2008	884,17
1978-1979	1081,27	1988-1989	740,00	1998-1999	895,43	2008-2009	901,55
1979-1980	845,78	1989-1990	764,90	1999-2000	905,1	2009-2010	910,91
1980-1981	869,56	1990-1991	915,92	2000-2001	928,11	2010-2011	889,58
1981-1982	825,81	1991-1992	846,12	2001-2002	888,24		
1982-1983	844,03	1992-1993	830,89	2002-2003	873,71		
Moyenne annuelle : 867,94 mm							



**Fig. 16 : Variation de l'ETP Turc et l'ETP Thornthwaite pour la station de Tlemcen (1973/1974-2010/2011).**

Les courbes dans la figure 15 montrent que les valeurs annuelles de l'ETP de turc sont supérieures à celles de l'ETP de Thornthwaite ; on remarque aussi un pic dans la courbe des ETP de Thornthwaite entre l'année 1978-1979 qui atteint une valeur 1081.27 mm.

### III.2.4- Etude du climat

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression, atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

Nous disposons de différentes méthodes :

- Les premières, nous permettent de visualiser l'étendue des périodes sèches et humides.
- Les secondes sont basées sur le calcul d'indices permettant à partir des précipitations et températures de caractériser le climat dominant la région.

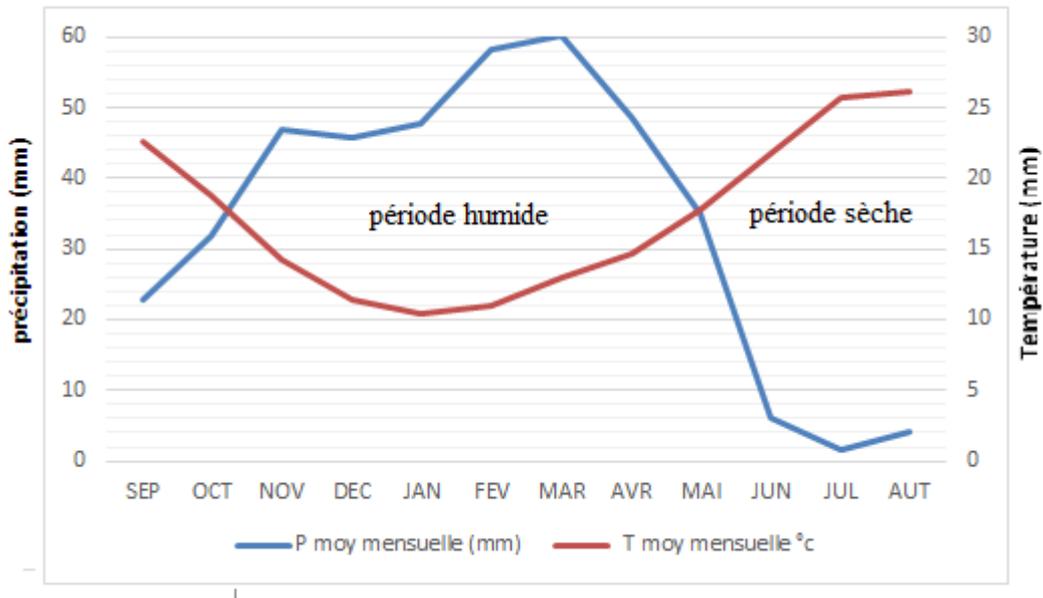
#### A- Les méthodes graphiques : (courbe pluvio-thermique de bagnouls et Gausсен)

Pour Gausсен et Bagnouls, un mois sec est celui où, le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius ( $P < 2T$ ) Cette relation permet d'établir des diagrammes pluvio-thermiques sur lesquels les températures sont portées à une échelle double de celle des précipitations.

- La courbe des températures passe au-dessus de celles des précipitations pendant les mois secs alors que pour les mois humides, la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures.

**Tableau 13 : Valeurs des précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1973-1974/ 2010-2011).**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT
P mensuelle	22,53	30,18	49,81	51,16	52,78	58,29	64,52	52,238	38,89	6,91	2,2	4,23
T moy	22,65	18,83	14,30	11,39	10,35	11,03	12,95	14,64	17,72	21,77	25,71	26,14



**Fig.17 : Diagramme pluviothermique à la station de Tlemcen (1973-1974/ 2010-2011).**

- Une période humide entre le mois d’octobre et mois de Mai.
- Une période sèche occupant les autres mois de l’année.

**B- Indices climatiques :**

L’utilisation des indices climatique définis par les différents auteurs est très intéressante, car elle permet de mieux visualiser le type de climat d’une région.

**B.1- Indice d’Aridité De Martonne :**

De Martonne a imaginé en 1923 un indice d’aridité dont les variations correspondaient aux changements des conditions d’écoulement de l’eau.

-Indice d’aridité annuelle :

En 1923, De Martonne a défini l’indice d’Aridité comme ceci :

$$I = P / (T + 10)$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) (1973-1974/2010-2011).

T : Températures moyennes annuelles (°C) (1973-1974/2010-2011).

**Tableau 14: Indice d’aridité annuel de Martonne à la station de Tlemcen (1973-1974/ 2010-2011).**

P (mm)	400,74 (mm)
T C °	17, 39
I	14.63

De Martonne propose la classification suivante :

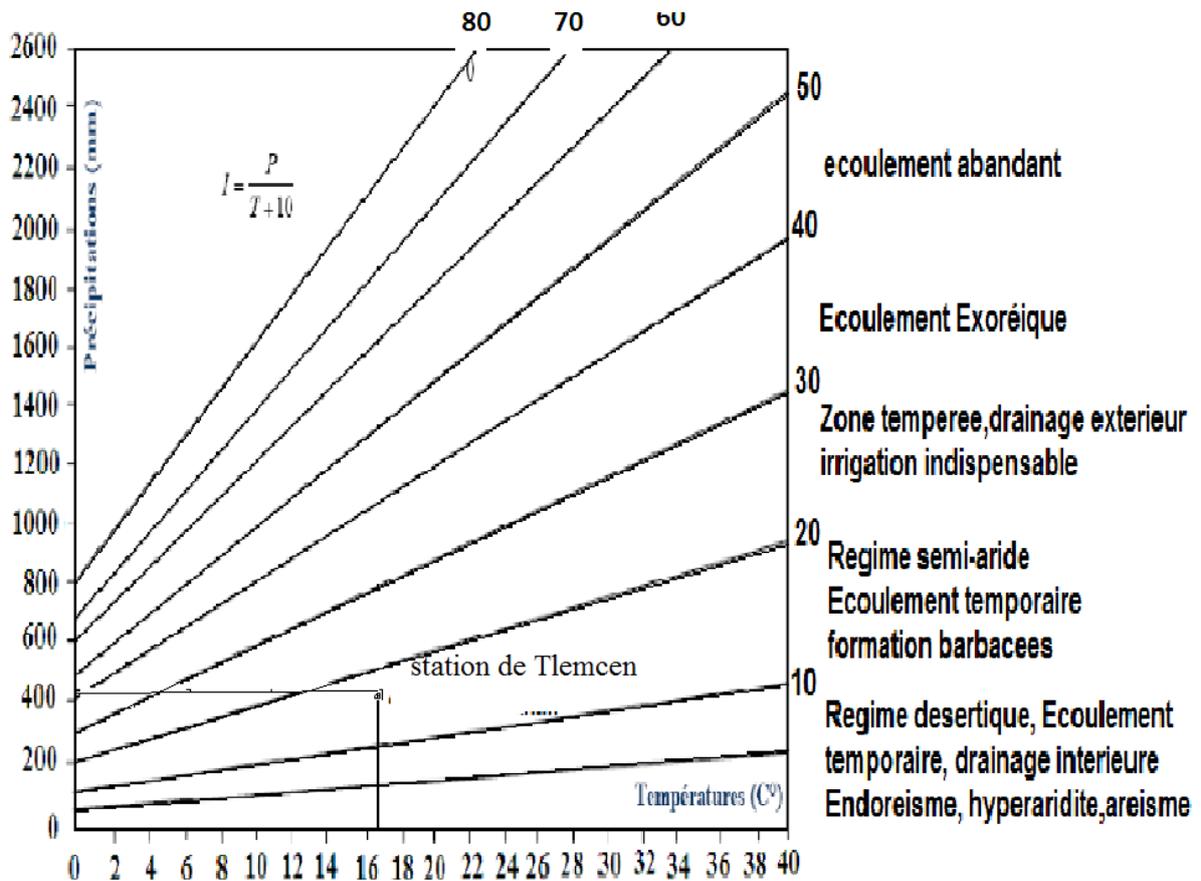
$20 < I$  : Climat humide

$10 < I < 20$  : Climat semi-aride

$5 < I < 10$  : Climat désertique

$I < 5$  : Climat hyper aride

Le calcul donne une valeur comprise entre 10 et 20 et le report sur l'abaque (figure 17) Caractérise cette région par un climat semi-aride avec des écoulements temporaires.



**Fig.18 : Abaque De Martonne**

**-Indice d'aridité mensuelle :**

Utilisé par les élèves De Martonne dans le but de préciser les conditions de la semi aridité.

Cet indice est donné par la relation suivante :

$$I = 12p / (T + 10)$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

T : Température moyenne mensuelle (°C)

$I < 5$  : climat hyperaride.

$5 < I < 7,5$ : climat désertique.

$7,5 < I < 10$ : climat steppique.

$10 < I < 20$ : climat semi-aride.

$20 < I < 30$ : climat tempère.

Les résultats sont représentés dans le tableau

**Tableau 15 : Valeurs des indices d'aridité mensuels De Martonne à la station de Tlemcen**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT
<b>P moy men</b>	24,17	30,65	44,19	43,19	52,61	58,51	59,53	45,07	31,74	5,46	1,70	3,87
<b>T moy men</b>	22,84	18,76	14,28	11,61	10,17	11,14	12,95	14,64	17,52	21,94	25,88	26,20
<b>I</b>	8,83	12,78	21,84	23,98	31,29	33,21	31,12	21,94	13,84	2,05	0,56	1,28

**On peut alors définir :**

Les valeurs des indices d'aridité mensuelle (Tableau.15) indiquent que les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre sont des mois très secs, et les mois Novembre, Décembre, Janvier et Février, Mars sont des mois humide, ceux qui restent, sont des mois secs.

### **B.2- Indice de Moral (1964)**

L'Indice pluviométrique annuel est donné par :

$$I = PT^2 - 10T + 200$$

Avec

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyenne annuelles (°C)

**Tableau 16 : Indice de moral à la station de Tlemcen**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT
P moy men	24,17	30,65	44,19	43,19	52,61	58,51	59,53	45,07	31,74	5,46	1,70	3,87
T moy men	22,84	18,76	14,28	11,61	10,17	11,14	12,95	14,64	17,52	21,94	25,88	26,20
IM	0,48	0,84	1,69	1,97	2,60	2,75	2,4	1,68	0,95	0,11	0,02	0,06

Moral a proposé un indice mensuel donné par la formule suivante :

$$Im = p / (0.1t^2 - t + 20)$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

T : Température moyenne mensuelle (°C)

Les quatre types de mois de l'indice de Moral :

**Tableau 17 : Indice de mensuelle à la station de Tlemcen**

mois pluvieux	mois humide	mois sec	mois aride
$P > 0,1t^2+t+30$	$0,1t^2+t+30 > p > 0,1t^2+t+20$	$0,1t^2+t+20 > p > 0,05t^2-t+10$	$p < 0,05t^2-t+10$

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
P moy men	24,17	30,65	44,19	43,19	52,61	58,51	59,53	45,07	31,74	5,46	1,70	3,87
T moy men	22,84	18,76	14,28	11,61	10,17	11,14	12,95	14,64	17,52	21,94	25,88	26,20
$0,1t^2+t+30$	105,05	83,95	64,68	55,09	50,51	53,56	59,74	66,10	78,24	100,10	122,88	124,85
$0,1t^2+t+20$	95,05	73,95	54,68	45,09	40,51	43,56	49,74	56,10	68,24	90,10	112,88	114,85
$0,05t^2-t+10$	13,25	8,83	5,91	5,12	5,00	5,06	5,43	6,08	7,83	12,13	17,61	18,12
Type	sec	sec	sec	sec	Pluvieux	Pluvieux	humide	sec	sec	aride	aride	aride

L'indice de Moral de la station de Tlemcen montre deux mois pluvieux, six mois Secs, trois mois arides et le mois de mars est humide.

## B.2- Climogramme De Emberger.

-Pour déterminer les climats, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q2, qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minima et maxima, respectivement du mois le plus froid et le plus chaud qui permet de positionner une station sur un diagramme, il propose donc la formule suivante :

$$Q2 = \frac{P}{(M+m)(M-m)/2} \cdot 1000$$

Avec ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (en degré Kelvin)

m : moyenne des minima du mois le plus froid (en degré Kelvin)

P = 400,74 mm M= 301.85 °K , m = 280.87°K Ce qui donne : Q2 = 65.55

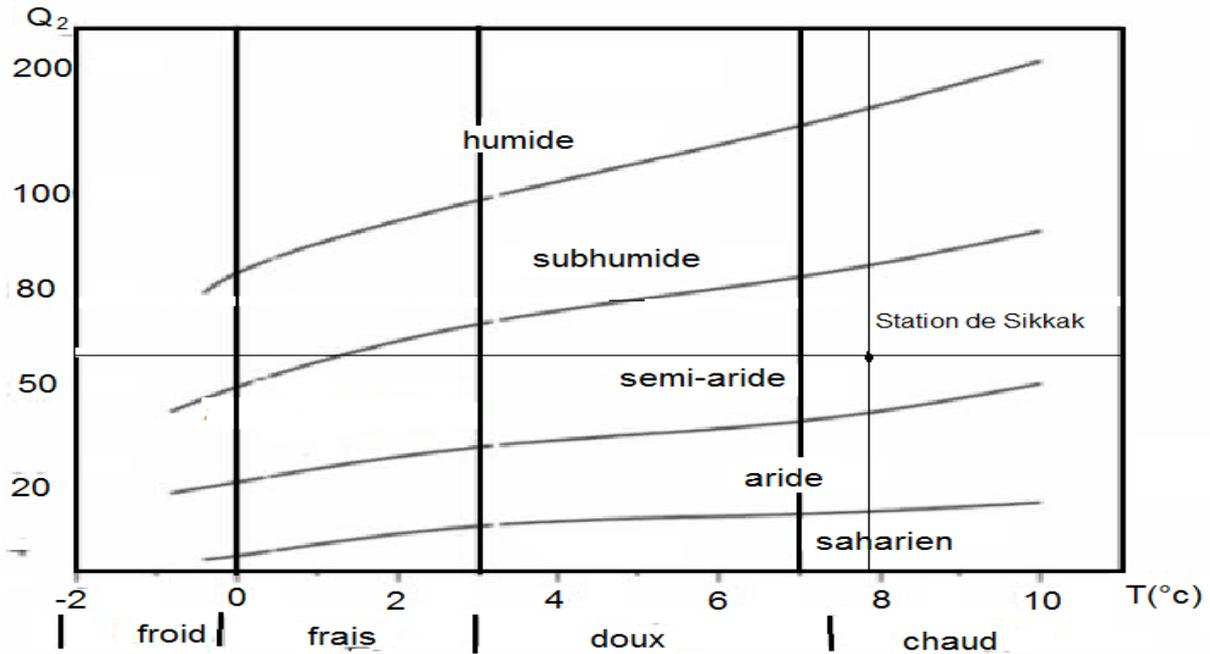


Figure.19 :Climagramme d’Emberger

En reportant cette valeur sur le climagramme d’Emberger qui comporte en ordonnées les valeurs de Q2 et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

Nous constatons que la région présente un climat semi-aride avec un hiver chaud

**B.5- Indice de continentalité de Kerner**

Cet indice permet de préciser l’influence de la mer sur les conditions locales, Kerner a donné la relation suivante :

$$IK = (T0 - TA) / A * 100$$

T0 : température moyenne du mois d’octobre (C°)

TA : température moyenne du mois d’avril (C°)

A : amplitude entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid (C°)

**Tableau 18 : Indice de Kerner de la station de Tlemcen**

T0	18.83
TA	14.64
A	15.79
IK	26.53

Comparant la valeur obtenue (Ik=26.53) avec les résultats de la station côtière de Béni-Saf (Ik=34,7) et celle très continentale de Ghardaïa (Ik=1,3), Nous constatons que notre région subie des influences maritimes (climat méditerranéen).

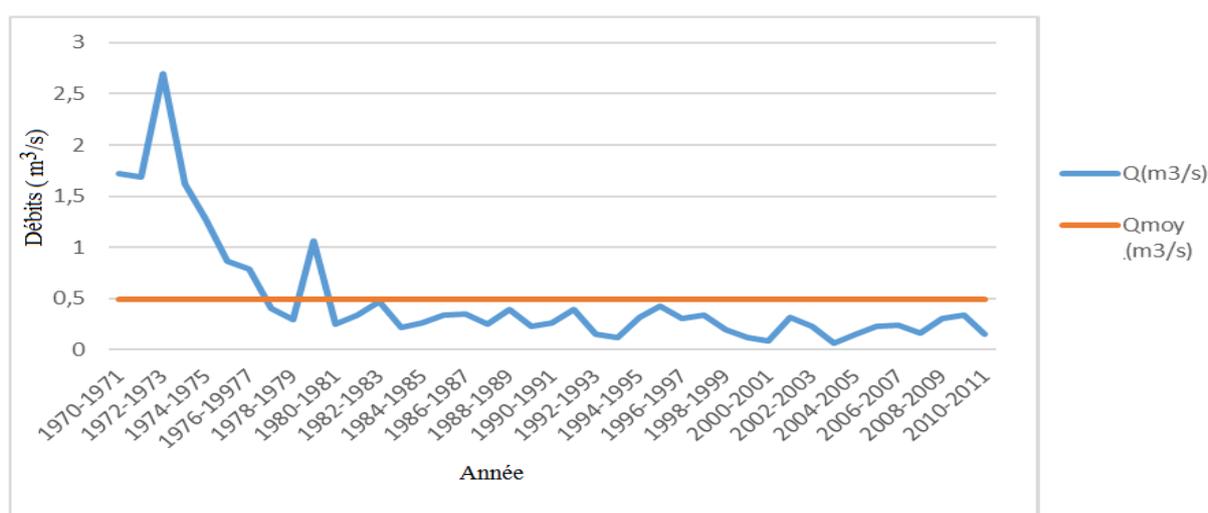
### III.3- Etude hydrologique

#### III.3.1- Etude des modules (débits)

##### III.3.1.1- Débit annuels :

**Tableau 19 : Débit annuels à la station hydrologique de Sikkak (1970/1971-2009/2010)**

Années	Q (m <sup>3</sup> /s) annuelles	Années	Q (m <sup>3</sup> /s) Annuelles	Années	Q (m <sup>3</sup> /s) annuelles	Années	Q(m <sup>3</sup> /s) annuelles
1970-1971	1,72	1981-1982	0,33	1992-1993	0,15	2003-2004	0,06
1971-1972	1,68	1982-1983	0,46	1993-1994	0,11	2004-2006	0,15
1972-1973	2,69	1983-1984	0,21	1994-1995	0,31	2005-2006	0,22
1973-1974	1,61	1984-1985	0,25	1995-1996	0,42	2006-2007	0,24
1974-1975	1,28	1985-1986	0,33	1996-1997	0,30	2007-2008	0,16
1975-1976	0,86	1986-1987	0,34	1997-1998	0,33	2008-2009	0,29
1976-1997	0,79	1987-1988	0,24	1998-1999	0,19	2009-2010	0,33
1977-1978	0,40	1988-1989	0,38	1999-2000	0,11	2010-2011	0,14
1978-1979	0,29	1989-1990	0,22	2000-2001	0,08		
1979-1980	1,05	1990-1991	0,26	2001-2002	0,32		
1980-1981	0,24	1991-1992	0,38	2002-2003	0,22		
Moyenne annuelle : 0.49 m <sup>3</sup> /s							



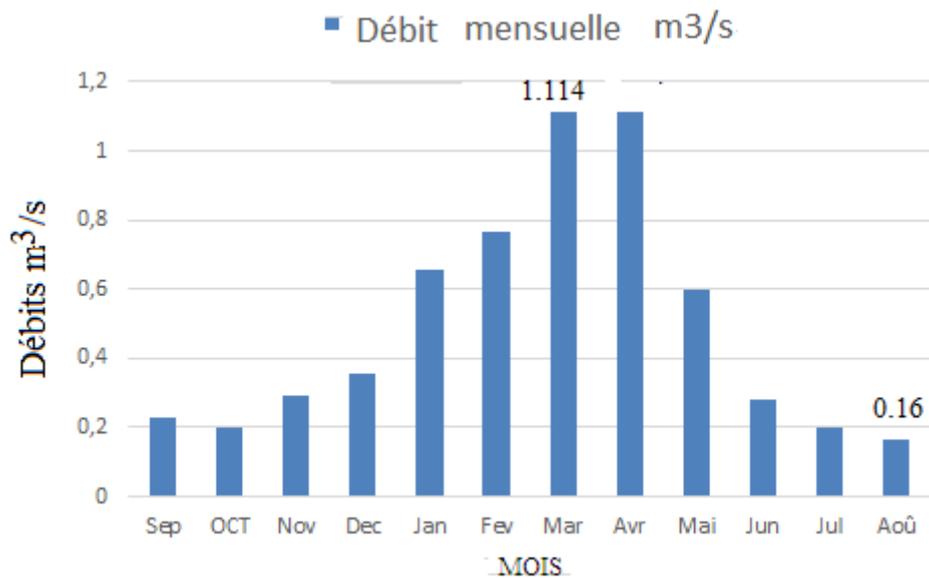
**Fig.20 : Variation des débits annuels à la station de sikkak(1970/1971-2009/2010)**

La courbe de la variation des débits annuels à la station de Sikkak montre que la moyenne interannuelle des débits est de 0.49 m<sup>3</sup>/s, le maximum est enregistré en 1972 -1973 avec 2,69 m<sup>3</sup>/s par contre, le minimum est enregistré en 2003-2004 il n'est que de 0.06 m<sup>3</sup>/s.

### III.3.1.2- Débit moyens mensuels

**Tableau 20 : Débit moyens mensuels à la station de Sikkak (1970/1971-2010/2011)**

Mois	Sep	OCT	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Moy
Débit mensuelle	0,22	0,19	0,28	0,35	0,65	0,76	1,11	1,11	0,60	0,27	0,19	0,16	0,49



**Fig 21 : variations des débits mensuels**

Les variations des débits moyens mensuels à la station de Sikkak, montre que les deux mois à grand débit est les mois de mars avec 1.114 m<sup>3</sup>/s et le mois de Avril avec 1.11 m<sup>3</sup>/s et le mois à faible débit est celui d'aout avec 0.16 m<sup>3</sup>/s.

Nous observons sur cette courbe des débits moyens mensuels, une augmentation des modules à partir du mois de Septembre jusqu'au mois de avril, cela correspond à la période de fortes précipitations. Ensuite, une nette diminution des débits marque les autres mois à cause de la diminution des précipitations.

### III.3.2- Etude des lames d'eau écoulées

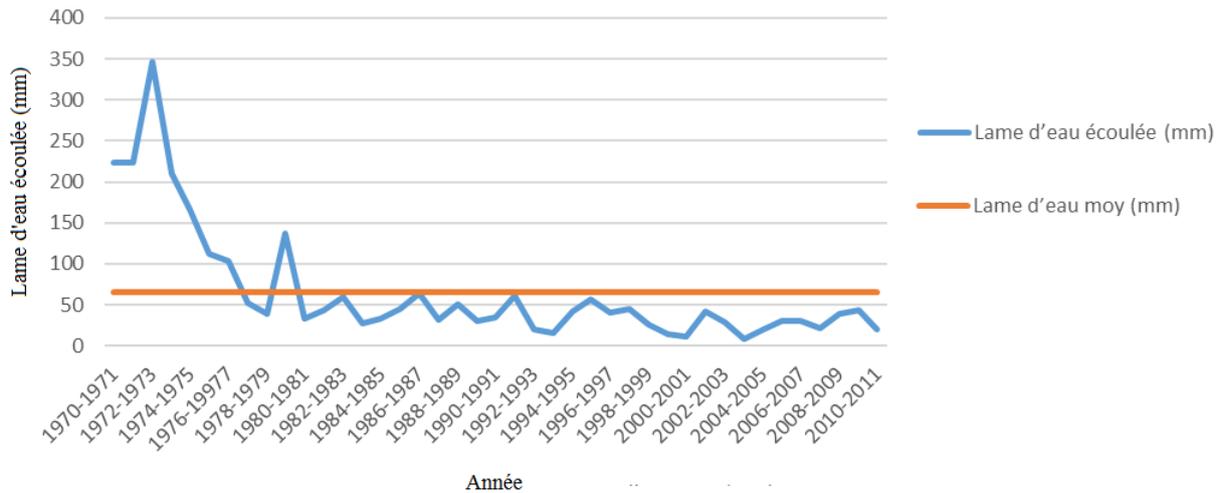
Pour cette étude, nous avons pris en considération les valeurs annuelles et mensuelles des lames d'eau écoulées de la station de Sikkak, d'où la lame d'eau écoulée est calculée de puis le débit, et le débit d'après les résultats de l'ANRH.

#### III.3.2.1- Lame d'eau écoulée annuelle :

**Tableau 21 : lames d'eau écoulées annuelles à la station de Sikkak (1970-1971 /2010-2011)**

Années	Lame d'eau (mm)	Années	Lame d'eau (mm)	Années	Lame d'eau (mm)	Années	Lame d'eau (mm)
1970-1971	224,2	1981-1982	43,60	1992-1993	20,22	2003-2004	8,5
1971-1972	223,42	1982-1983	59,61	1993-1994	15,02	2004-2005	20,36
1972-1973	346,04	1983-1984	27,70	1994-1995	42,05	2005-2006	29,65
1973-1974	209,60	1984-1985	33,50	1995-1996	56,14	2006-2007	31,03
1974-1975	165,80	1985-1986	45,10	1996-1997	40,14	2007-2008	21,09
1975-1976	112,20	1986-1987	63,50	1997-1998	44,54	2008-2009	39,3
1976-1997	103,20	1987-1988	32,20	1998-1999	25,55	2009-2010	43,14
1977-1978	52,32	1988-1989	50,80	1999-2000	14,78	2010-2011	19,47
1978-1979	38,46	1989-1990	29,58	2000-2001	11,50		
1979-1980	137,60	1990-1991	34,21	2001-2002	41,82		
1980-1981	32,50	1991-1992	61,03	2002-2003	29,34		
Moyenne annuelle : 65,36 mm							

la variation des lames d'eau écoulées annuelles à la station de Sikkak montre que la moyenne interannuelle des lames d'eau écoulées est de 65.36 mm, le maximum est enregistré en 1972 - 1973 avec 346.04mm et le minimum est enregistré en 2003-2004 avec 08.50 mm.

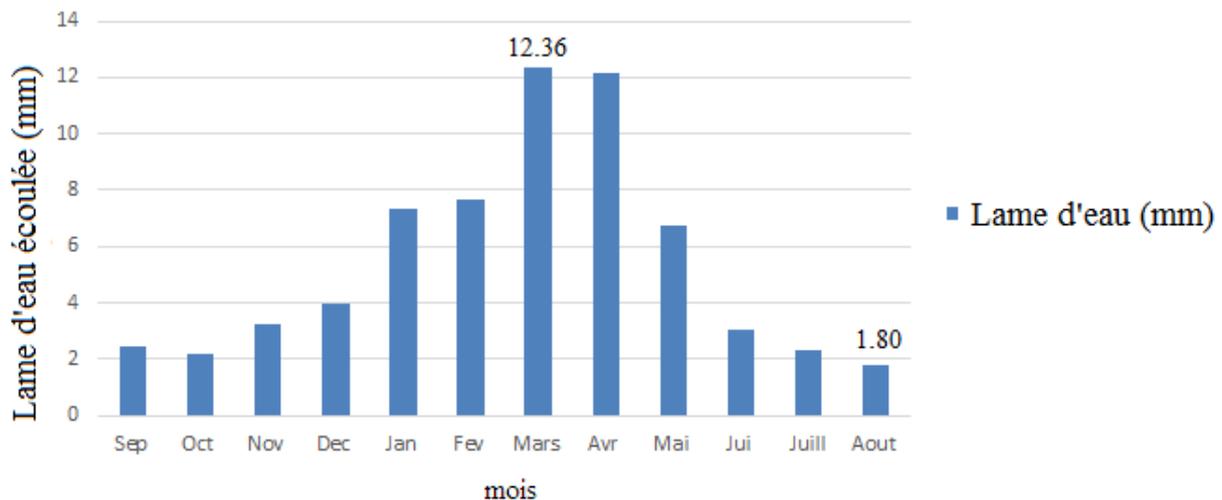


**Fig.22 :** Variation des lames d’eau écoulées annuelles de la station de Sikkak (1970/1971-2010/2011).

**III.3.2.2- Lame d’eau écoulée moyenne mensuelle**

**Tableau 22 :** lames d’eau écoulées moyennes mensuelle à la station de Sikkak(1970/1971-200/2011).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout
lame d'eau (mm)	2,48	2,19	3,21	3,99	7,34	7,69	12,36	12,19	6,73	3,05	2,29	1,80



**Fig.23 :** variations des lames d’eau écoulées mensuelles à la station de Sikkak (1970/1971-2010/2011).

Cette figure des lames d’eau écoulées mensuelles à la station de Sikkak Montre que les mois à grands débit est les mois de mars et avril avec 12.36 mm par contre un débit plus faible accusé par le mois d’Août avec 1.80 mm.

### III.4- Etude statistique

L'ajustement statistique consiste à vérifier des hypothèses d'homogénéité entre une variable aléatoire et un modèle calculé, si ce modèle est bien superposé à l'échantillon étudié, on peut dire qu'il est bien ajusté. L'objet de la méthode statistique est la réduction de la masse de données, qui si importante, devrait être remplacée par un nombre réduit de paramètres statistiques pouvant représenter correctement cette masse (DADI, 1998 in BOUKHARI, 2004).

Afin de découvrir la structure des variations des débits et des précipitations annuels et pour faire une analyse détaillée de ces données, l'ajustement statistique a été réalisé grâce au logiciel Statistica 8. Ce dernier propose les ajustements statistiques et détermine le modèle d'une loi ou plus qui ajustent au mieux l'ensemble des données. La méthode de calcul choisie pour l'estimation des paramètres du modèle est la méthode du maximum de vraisemblance.

L'ajustement graphique permet de vérifier si la forme de la loi retenue, ayant une valeur de test la plus petite, corrèle bien avec la distribution de la variable étudiée et représentent mieux l'échantillon. Le calcul des différents paramètres de la loi ou les lois choisies permet enfin de déduire les variations futures de la variable pour une probabilité donnée (R BOUANANI ,2010).

#### - Test analytique

Parmi les tests utilisés nous avons le test du  $\text{Khi}^2$ , le test de Kolmogorov, et nous pouvons aussi utiliser un test qui considère les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement. Le test de  $\text{Khi}^2$  mesure l'écart qu'il y a entre les fréquences observées et les fréquences théoriques, il est donné par la statistique du  $\chi^2$ . Il est utilisé pour déterminer si une distribution théorique comme la distribution normale, peut ajuster une distribution empirique, c'est-à-dire une distribution calculée à partir des données observées.

La loi normale est la loi statistique la plus répandue et la plus adéquate pour notre série parmi les tests utilisés nous avons le test du  $\text{Khi}^2$ , le test de Kolmogorov, et nous pouvons aussi utiliser un test qui considère les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement.

Le test de  $\text{Khi}^2$  mesure l'écart qu'il y a entre les fréquences observées et les fréquences théoriques, il est donné par la statistique du  $\chi^2$ . Il est utilisé pour déterminer si une distribution théorique comme la distribution normale, peut ajuster une distribution empirique, c'est-à-dire une distribution calculée à partir des données observées.

La loi normale est la loi statistique la plus répandue et la plus adéquate pour notre série pluviométrique annuelle. De plus, de nombreuses autres lois statistiques peuvent être approchées par la loi normale. Pour notre cas, nous allons appliquer les tests graphiques et le test du  $\chi^2$  sur les données de notre bassin versant.

#### III.4.1- Ajustement des précipitations annuelles à la station de Sikkak. (1969/1970-2010/2011)

Tableau 23 : Paramètres de position des précipitations à la station de Sikkak

Parametre	Formules	Valeurs
Moyenne	$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n p_i$	433,79
Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (P_i - \bar{P})^2$	29120,05
Ecart type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	170,65
Coefficient de variation	$CV = \frac{\sigma}{\bar{P}}$	0,39

Le coefficient de variation  $Cv < 0,5$ , laisse fortement penser que l'ajustement suit une loi normale

Le test du  $\chi^2$  permettra de vérifier cette adéquation.

#### A- Ajustement par la loi normale

$$x = \bar{x} + \sigma u$$

Test graphique

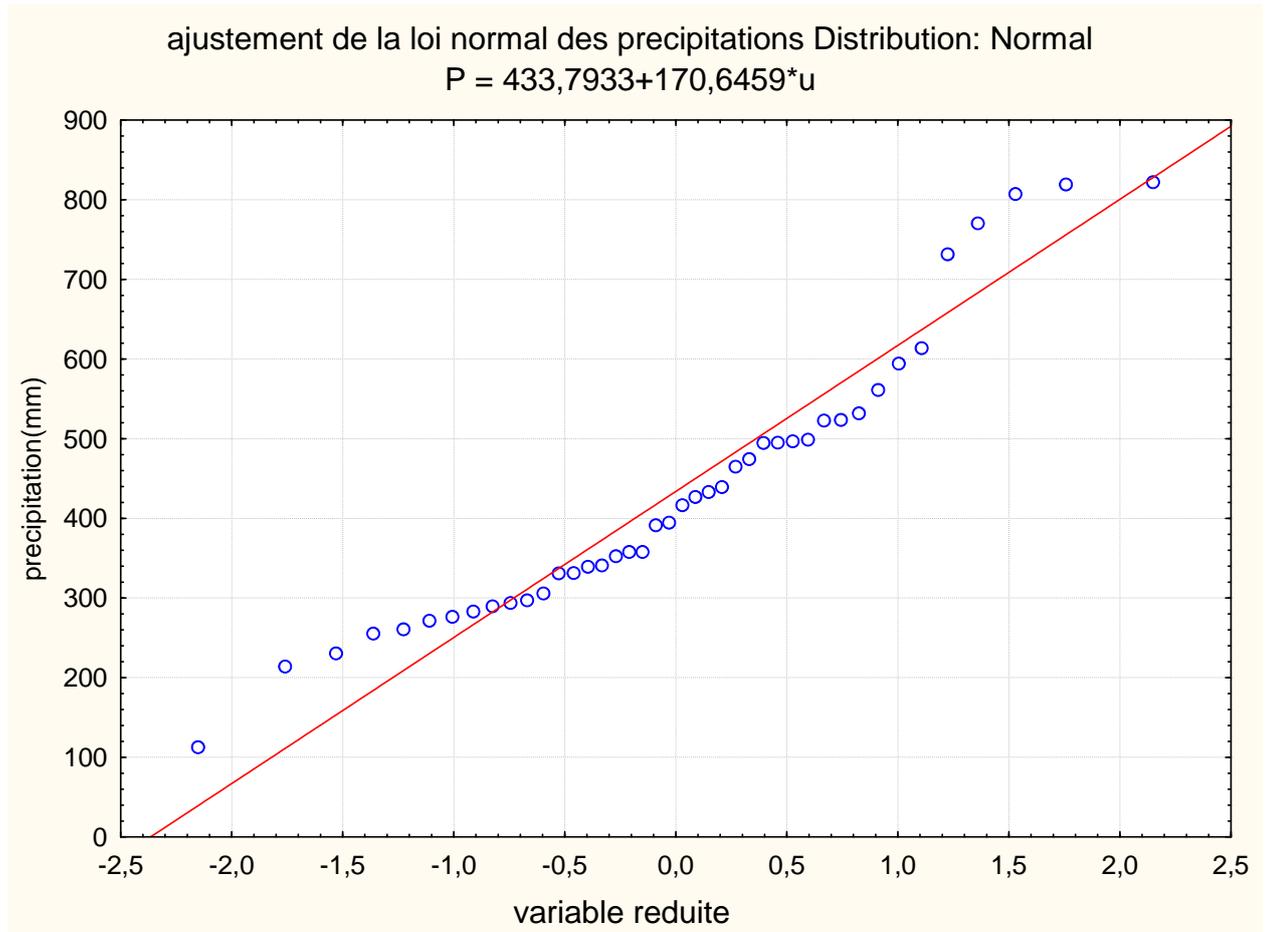
L'ajustement graphique des séries pluviométriques à la station Sikkak (figure 23), montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi normale de Gauss La fréquence de chaque valeur sera calculée par la relation suivante :

$$F_i = i / N + 1$$

Avec :

**i** : Rang

**N** : Période d'observation (nombres d'années)



**Fig.24 : Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution normale. Test du  $\chi^2$**

Afin de déterminer la valeur du  $\chi^2$ , nous avons repris les séries des précipitations et nous avons réparti ces valeurs en classes. Les résultats sont donnés au **Tableau 24** qui suit :

Tableau 24 : Calcul du  $\chi$ 

NOMBRE	LIMITE DE CLASSE	effectif observé NI	effectif théorique NPI	$(NI-NPI)^2/NPI$
1	(112 ,8-230,96)	3	6	1,5
2	(230,96-349,13)	13	6	8,17
3	(349,13-467,3)	10	6	2,67
4	(467,3-585,46)	9	6	1,5
5	(585,46-703,63)	2	6	2,67
6	(703,63-821,8)	5	6	0,17

$X^2$  calculé = 16.68

- Le nombre de degré de liberté = nombre de classe- nombre de paramètre-1.

Ddl = n-k-1. Ddl = 6 - 2- 1 = 3.

- Pour la loi normale avec un seuil de probabilité de 5% (0,05) et un ddl=3, le

$X^2$  Tabulé = 7.815.

Le  $X^2$  Calculé étant supérieur au  $X^2$  Tabulé donc l'ajustement ne permet pas donc d'admettre une distribution log normale des précipitations.

• **Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée :**

On peut calculer les valeurs des précipitations pour une période de retour des précipitations présentant une valeur connue :

L'équation de la loi représentative correspondante à la station étudiée est égale :

$$P = 433.79 + 170.65 \mu$$

A partir de cette équation on peut calculer un certain nombre de précipitations types ; en remplaçant «  $\mu$  » par sa valeur dans le tableau.

Tableau 25 : Calcul des précipitations période de récurrences donnée.

Précipitations types	Précipitations (mm)
Précipitations de (10 ans) $\mu = 1,28$	652.22
Précipitations de (50 ans) $\mu = 2,05$	783.62
Précipitations de (100 ans) $\mu = 2,32$	829.69

**B - Ajustement par la loi log normal**

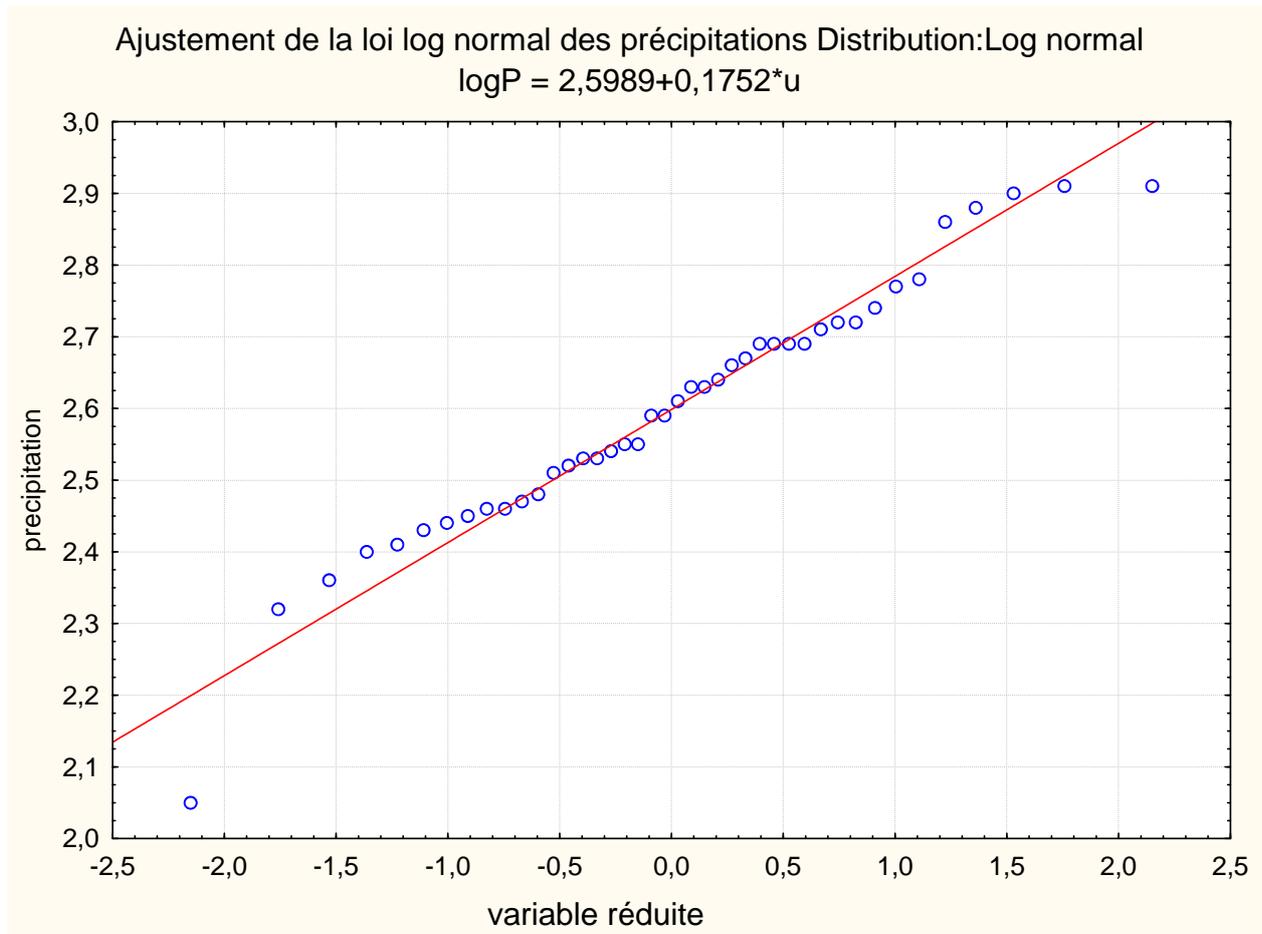
$$\text{Log } P = \mu + \sigma \text{Log } U$$

La variable statistique dans ce cas n'exprime pas les précipitations, mais leurs logarithmes

Test graphique :

Ajustement de la loi log normal des précipitations

Distribution : Log normal



**Fig.25 : Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi log normale.**

**Tableau 26 : Paramètres de position pour la loi log normale des précipitations à la station de Tlemcen (1969/1970-2010/2011)**

Paramètres	Formules	Valeurs
Moyenne	$P \log = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \log p_i$	2.59
Variance	$\sigma^2 \log = \frac{1}{N} \sum (\log p_i - \overline{P \log})^2$	0,03
Ecart type	$\sigma \log = \sqrt{\sigma \log^2}$	0.17
Coefficient de variation	$CV = \frac{\sigma \log}{P \log}$	0.07

**Tableau 27 : Test du  $\chi^2$ :**

NOMBRE	LIMITE DE CLASSE	effectif observé NI	effectif théorique npi	$(ni-npi)^2 / npi$
1	[2.05-2.19]	1	6	4.16
2	[2.19-2.33]	1	6	4.16
3	[2.33-2.48]	9	6	1.5
4	[2.48-2.62]	11	6	4.16
5	[2.62-2.76]	13	6	8.16
6	[2.76-2.91]	9	6	1.5

$X^2$  calculé = 23.64

- Le nombre de degré de liberté = nombre de classe-nombre de paramètre-1.

Ddl = n-k-1. Ddl = 6 - 3 - 1 = 2.

- Pour la loi normale avec un seuil de probabilité de 5% (0,05) et un ddl=1, le

$X^2$  Tabulé = 5.991.

Le  $X^2$  Calculé étant supérieur au  $X^2$  Tabulé donc L'ajustement ne permet pas donc d'admettre une distribution log normale des précipitations.

### III.4.2- Ajustement des lames d'eau écoulées à la station de Sikkak.

**Tableau 28 : Paramètres de position des lames d'eau écoulées à la station Sikkak (1980/1981-2013/2014)**

Parametre	Formules	Valeurs
Moyenne	$P \log = \frac{1}{N} \Sigma \log pi$	65.36
Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \Sigma (Pi - P)^2$	5018,49
Ecart type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	70.84
Coefficient de variation	$CV = \frac{\sigma}{P}$	1.08

Le coefficient de variation  $Cv > 0,5$ , laisse fortement penser que l'ajustement suit une loi log normale

A- Ajustement des lames d'eau écoulées annuelles à loi log normale

$$\text{Log } L \text{ (mm)} = L \text{ Log} + \sigma \text{ Log.U}$$

**Tableau 29 : Calcule des lames d'eau écoulées pour une période de récurrence donnée.**

Paramètres	Formules	Valeurs
Moyenne	$L \log = \frac{1}{N} \Sigma \log Li$	1.64
Variance	$\sigma^2 \log = \frac{1}{N} \Sigma (\log Li - L \log)^2$	0,12
Ecart type	$\sigma \log = \sqrt{\sigma^2 \log}$	0.34
Coefficient de variation	$CV = \sigma \log / L \log$	0.21

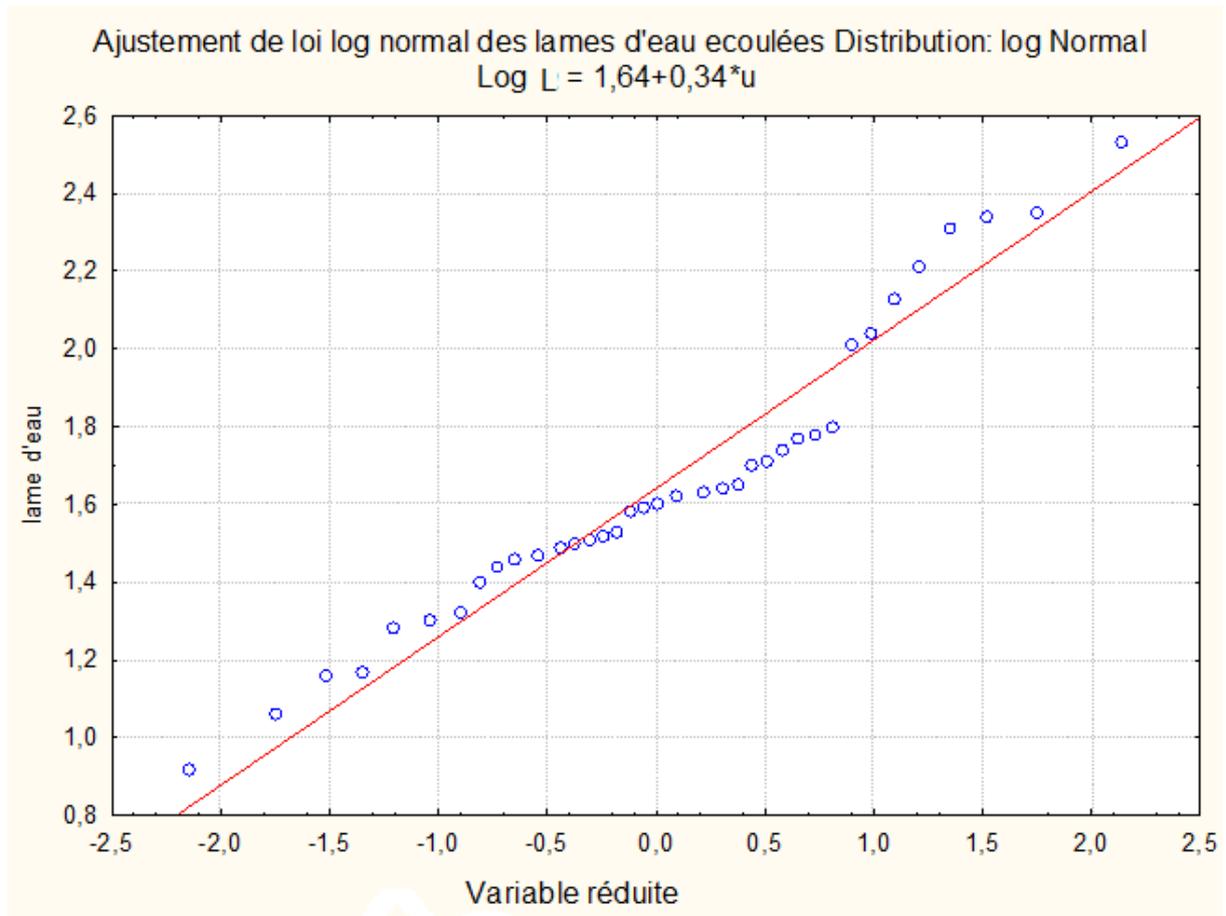
#### Test graphique

Le test graphique (Figure 29), montre que la distribution log normale s'ajuste bien.

#### Ajustement de loi log normal des lames d'eau ecoulées

Distribution: log Normal

$$\text{Log } L = 1,64 + 0,34 * u$$



**Fig.26: Ajustement graphique des lames d'eau écoulées annuelles à la loi log normale de la Station de Sikkak**

**Test du  $\chi^2$  :**

**Tableau 30 : Calcul du  $\chi^2$ .**

NOMBRE	LIMITE DE CLASSE	effectif observé NI	effectif théorique npi	$(ni-npi)^2/npi$
1	[0.92-1.18]	4	6	0.66
2	[1.18-1.45]	6	6	0
3	[1.45-1.72]	19	6	28.16
4	[1.72-1.99]	4	6	0.66
5	[1.99-2.26]	4	6	0.66
6	[2.26-2.53]	4	6	0.66

**$X^2$  calculé = 30.8**

Le nombre de degré de liberté = nombre de classe – nombre de paramètre -1

ddl = n-m-1 m=3,ddl = 6-3-1 = 2 et pour probabilité de 0.05 et ddl =, donc le  $X^2$  Tabulé = 5.991.

Le  $X^2$  Calculé étant supérieur au  $X^2$  Tabulé, l'ajustement ne permet pas donc distribution log normale des précipitations

### **B- Calcul des lames d'eau écoulées pour une période de récurrence donnée**

A partir de l'équation d'ajustement, nous pouvons calculer les lames d'eau écoulées pour des périodes de récurrences données.

Partant de l'équation de la loi log normal :  $Q \text{ (mm)} = 65.36 + 70.84u$

**Tableau 31 : Calcul des Lames d'eau écoulées pour une période de récurrence donnée**

Lames d'eau écoulées types	Lames d'eau écoulées (mm)
Lames d'eau écoulées de (10 ans) $\mu = 1,28$	156.03
Lames d'eau écoulées de (50 ans) $\mu = 2,05$	210.58
Lames d'eau écoulées de (100 ans) $\mu = 2,32$	229.70

### III.5- Conclusion

Cette étude nous amène à conclure que le climat de la zone d'étude est caractérisé par :

- des précipitations moyennes annuelles égales à **433.79 mm**, à la station de Tlemcen (1969/1970-2010/2011).
- une moyenne annuelle des lames d'eau écoulées égale **65.36 mm** à la station de Sikkak pour une période (1970/1971-2010/2011).
- Une moyenne annuelle de température égale à **17.33 °C** dont Janvier est le mois le plus froid et Août le plus chaud dans la période (1973/1974-2010/2011).
- A l'échelle saisonnière, l'étude des précipitations montre que l'Hiver est la saison humide et l'Été est la plus sèche.
- Les indices climatiques permettent de préciser qu'il s'agit d'un climat semi-aride à hiver chaud.

**VI.1 . Introduction :**

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la Communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs Impacts sur les ressources en eau. Parmi elles, on peut citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, et l'Algérie en particulier, depuis les années 1970.

**VI.2. Test de rupture des précipitations**

Cette section décrit les différentes méthodes graphiques et statistiques utilisées pour analyser successivement la variabilité des précipitations annuelles. (GHENIM A.MEGNOUNIF A, 2011)

**A) Indice Standardisé des précipitations**

L'Indice Standardisé des Précipitations (Standardized Precipitation Index (SPI) proposé par T.B. MCKEE *et al.* (1993) est calculé selon la formule suivante :

$$SPI = (X_i - X_m) / S_i$$

Où :

$X_i$  : Cumul de la pluie pour une année donnée  $i$ ,

$X_m$  et  $S_i$ : Respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées sur une série donnée. ( KACEMI M.SENINA A, 2015)

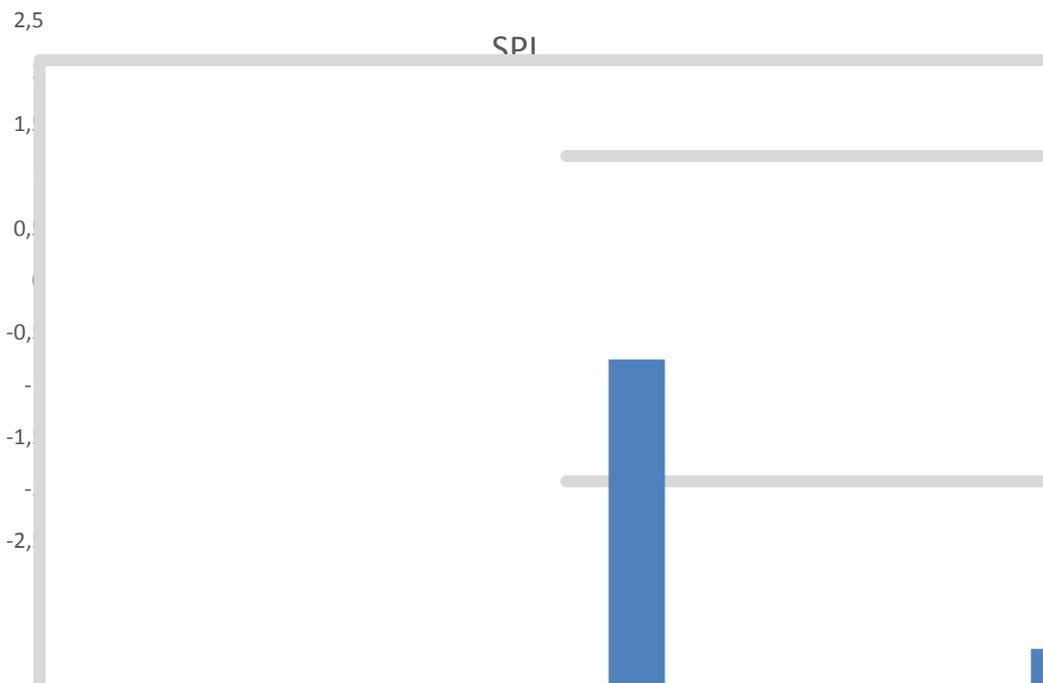
**Tableau 32 : Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI**

Valeurs du SPI	Degré d'humidité ou de sécheresse.
$\geq + 2,0$	Humidité extrême
+ 1,5 à + 1,99	Humidité forte
+ 1,0 à + 1,49	Humidité modérée
+ 0,1 à + 0,99	Humidité légère
0	Normalité absolue
- 0,1 à - 0,99	Sécheresse légère
- 1,0 à - 1,49	Sécheresse modérée
-1,5 à - 1,99	Sécheresse forte
$\leq -2,0$	Sécheresse extrême

Cet indice traduit un excédant ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence. La cartographie des moyennes par décennie des indices pluviométriques annuels ainsi calculés traduit l'évolution dans le temps et dans l'espace de la variable étudiée, engendrant les zones tantôt excédentaires tantôt déficitaires.

**Tableau 33 : Valeurs annuelles de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) de la station de Sikkak (1969/1970-2010/2011)**

annees	Précipitations (mm)	Spi	Degré de la sècheresse
1969-1970	806,9	2,18	Humidité extrême
1970-1971	531,7	0,57	Humidité légère
1971-1972	613,8	1,05	Humidité modérée
1972-1973	731,36	1,74	Humidité forte
1973-1974	821,8	2,27	Humidité extrême
1974-1975	819	2,25	Humidité extrême
1975-1976	770,1	1,97	Humidité forte
1976-1977	594,2	0,93	Humidité légère
1977-1978	495,1	0,35	Humidité légère
1978-1979	523,42	0,52	Humidité légère
1979-1980	494,6	0,35	Humidité légère
1980-1981	561,2	0,74	Humidité légère
1981-1982	426,7	-0,04	Normalité absolue
1982-1983	276,26	-0,92	Sécheresse légère
1983-1984	230,29	-1,19	Sécheresse modérée
1984-1985	305,49	-0,75	Sécheresse légère
1985-1986	293,7	-0,82	Sécheresse légère
1986-1987	357,8	-0,44	Sécheresse légère
1987-1988	357,7	-0,44	Sécheresse légère
1988-1989	282,9	-0,88	Sécheresse légère
1989-1990	331,2	-0,60	Sécheresse légère
1990-1991	438,9	0,02	Normalité absolue
1991-1992	496,5	0,36	Humidité légère
1992-1993	331	-0,60	Sécheresse légère
1993-1994	297	-0,80	Sécheresse légère
1994-1995	416,6	-0,10	Sécheresse légère
1995-1996	498,4	0,37	Humidité légère
1996-1997	394,6	-0,22	Sécheresse légère
1997-1998	464,7	0,18	Humidité légère
1998-1999	352,2	-0,47	Sécheresse légère
1999-2000	255,1	-1,04	Sécheresse modérée
2000-2001	339,1	-0,55	Sécheresse légère
2001-2002	474,4	0,23	Humidité légère
2002-2003	391,3	-0,24	Sécheresse légère
2003-2004	112,8	-1,88	Sécheresse forte
2004-2005	289,4	-0,84	Sécheresse légère
2005-2006	260,5	-1,01	Sécheresse modérée
2006-2007	271,3	-0,95	Sécheresse légère
2007-2008	213,6	-1,29	Sécheresse modérée
2008-2009	522,8	0,52	Humidité légère
2009-2010	433,1	-0,004	Normalité absolue
2010-2011	340,8	-0,54	Sécheresse légère



**Fig 27 : Variation temporelle des indices de pluie standardisés (1969/1970-2010/2011).**

La figure 30 présente l'évolution des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI pour la station pluviométrique sur la période 1969-2010.avec de 18 valeurs positives et 23 négatifs, varie de 0 à 2. Ce caractère déficitaire est particulièrement marqué au cours de la décennie 1969. Vers la fin de la période d'observation, la pluviométrie reste déficitaire, mais les valeurs de l'indice descendent rarement en dessous de -1, tandis que les valeurs positives sont un peu plus fréquentes. Sur la période sèche. (CHEIKH.F& all ,2015)

La répartition graphique du SPI met en évidence la succession entre années humides et sèches.

La sécheresse constatée aux stations pluviométriques influence fortement l'hydrologie du fleuve, ce qui se traduit par une diminution des écoulements.

### **B) Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles**

Il existe plusieurs méthodes de détection des ruptures des séries chronologiques (Test de PETTIT, statistique de BUISSAND, procédure bayésienne de LEE et HEGHINIAN et la segmentation d'HUBERT. ( KACEMI M.SENINA A, 2015)

Ces méthodes sont utilisées à travers le logiciel KRONOSTAT qui permet une visualisation des résultats en format numérique mais aussi sous forme graphique.

Une rupture peut-être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives déterminent les séries chronologiques étudiées. . En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test.

#### **B.1.Test de corrélation sur le rang [LUBES-NIEL et al., 1998]**

Le test de corrélation sur le rang est utilisé pour tester l'indépendance des éléments consécutifs d'une série.

### Résultats du test de corrélation sur le rang

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 99%  
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 95%  
 Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **-3,9773**

Fig 28 : résultat du test de corrélation

### B.2.Statistique U de Buishand [BUISHAND, 1982 ; BUISHAND, 1984] :

La statistique  $U$  de Buishand est de nature bayésienne et fait référence au modèle simple qui suppose un changement de moyenne dans la série. Le test de Buishand est un test paramétrique faisant l'hypothèse d'une distribution normale des variables de la série.

*Khronostats* nous permet de vérifier la normalité de la série étudiée

### Résultats du test de Buishand

Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 99%  
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 95%  
 Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Fig 29 : résultat du test de buishand

### B.3.Ellipse de Bois [LUBES-NIEL et al., 1994] :

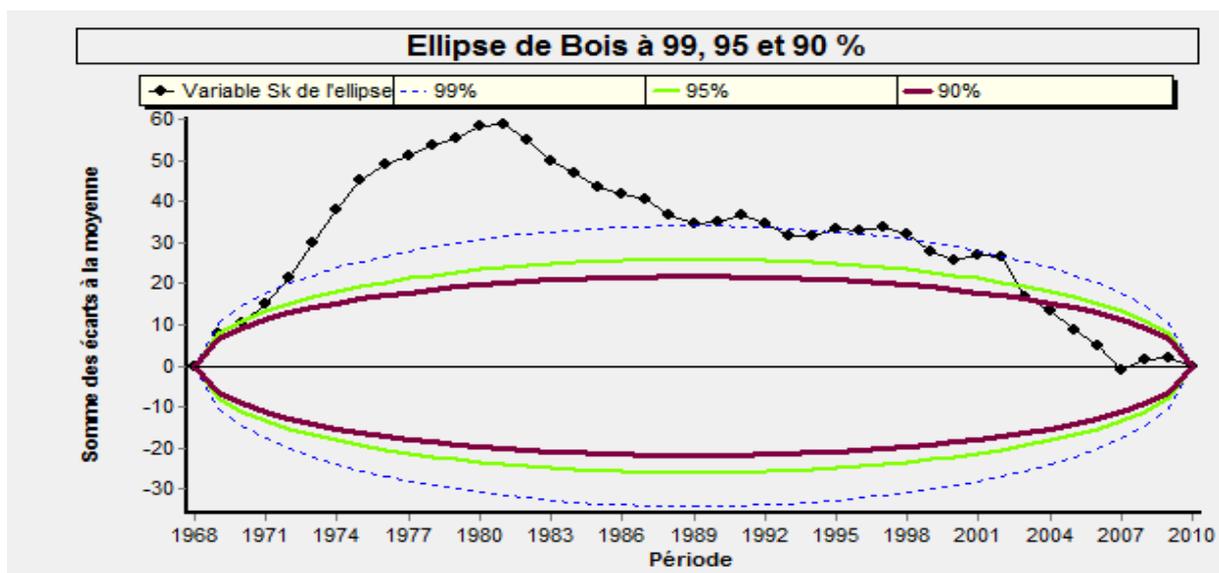


Fig 30 : ellipse de bois

L'hypothèse  $H_0$  est rejetée aux seuils de confiance 90, 95 et 99% avec des hypothèses nulles. donc elle donne une probabilité de rupture après l'année 1980

**B.4.test de PETTITT :**

Le test de Pettitt est une approche Non paramétrique, ce test est utilisé pour détecter le changement de stationnarité (A.N PETTITT, 1979 ., H LUBES *et al.*, 1994 et H LUBES-NIEL *et al.*, 1998). Ce test, reconnu par sa robustesse, dérive du test de MANN-WHITNEY (P DAGNÉLIE, 1970). Il est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne. L'absence de rupture dans une série chronologique ( $X_i$ ) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant "t" compris entre 1 et N, les séries chronologiques ( $X_i$ )  $i=1$  à t et t+1 à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t$ , N définie par :

$$U_{tV} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Où,

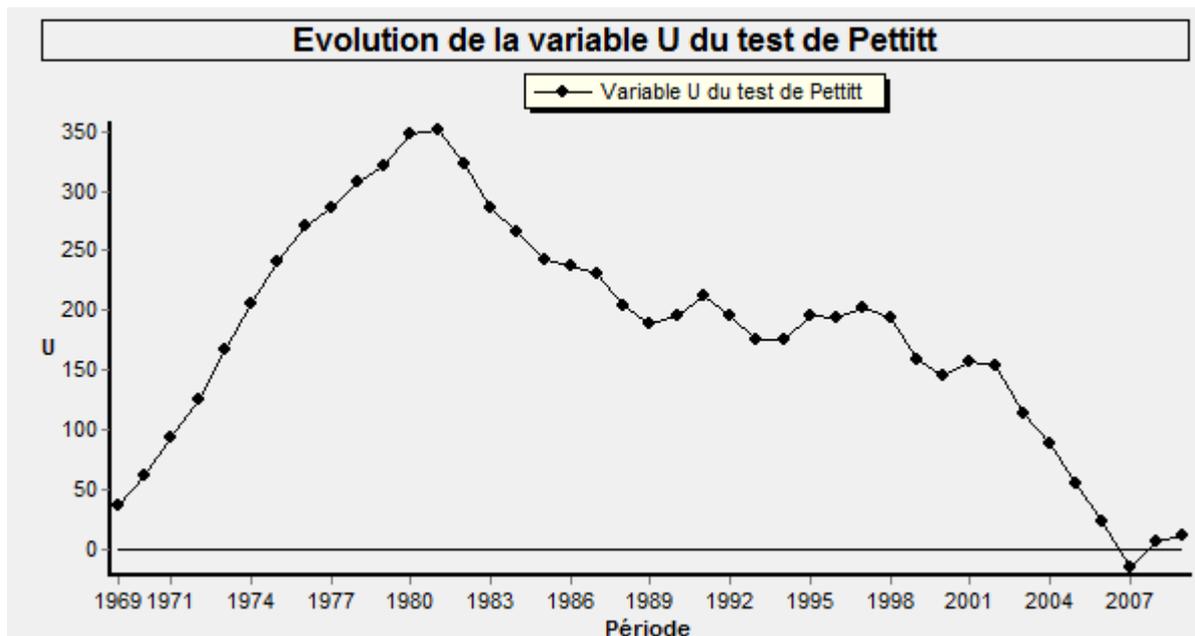
$D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ , avec :

$\text{sgn}(X) = 1$ , si  $X > 0$ ,

$\text{sgn}(X) = 0$ , si  $X = 0$

$\text{sgn}(X) = -1$ , si  $X < 0$

Si l'hypothèse nulle n'est rejetée, une estimation de la date de rupture est proposée.



**Fig. 31 : L'évolution de la variable U du test de PETTITT**

L'évolution de la variable U du test de PETTITT ne présente aucune rupture remarquable sur toute la période d'étude. . (KACEMI M.SENINA A, 2015)

D'après les résultats donnés par « Khronostat », l'application du test de PETTITT montre que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée au seuil de confiance de 99%, 95% et 90%.avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test  $1.17 \text{ E}-0.4$  en 1981.

**- Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN**

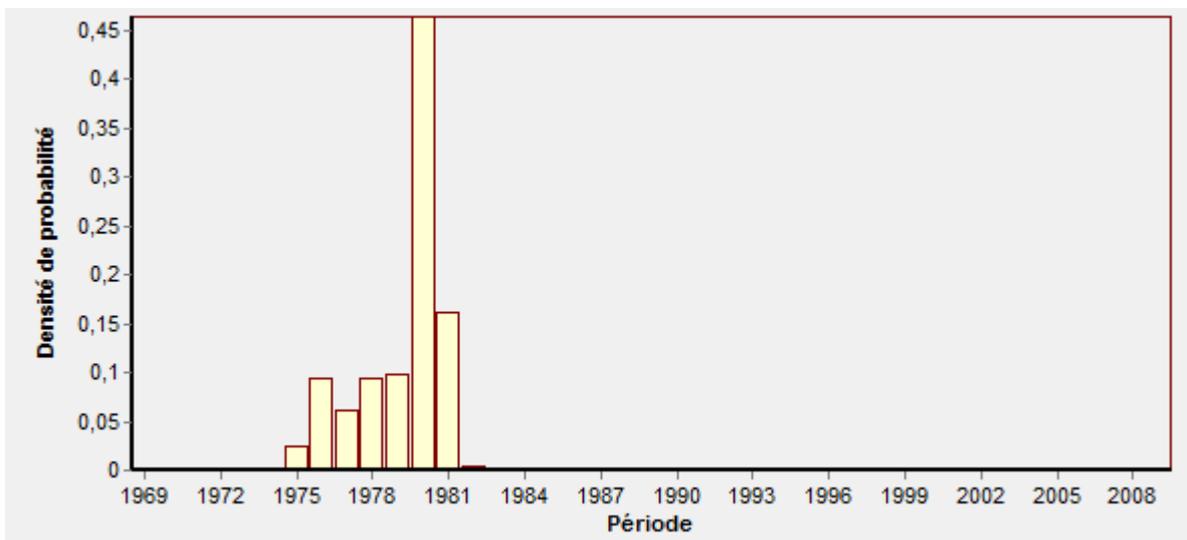
La méthode bayésienne d'A.F.S. LEE et S.M. HEGHINIAN (1977) vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique dont l'application sur une série nécessite une distribution normale des valeurs de

celle-ci. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. La procédure repose sur le modèle suivant :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i=1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i=\tau+1, \dots, N \end{cases}$$

Les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ .  $\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne. La procédure bayésienne se fonde sur la distribution marginale a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ . Lorsque la distribution est unimodale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est très faible.

La figure, illustre les résultats de l'application de ce test par le logiciel « Khronostat ».

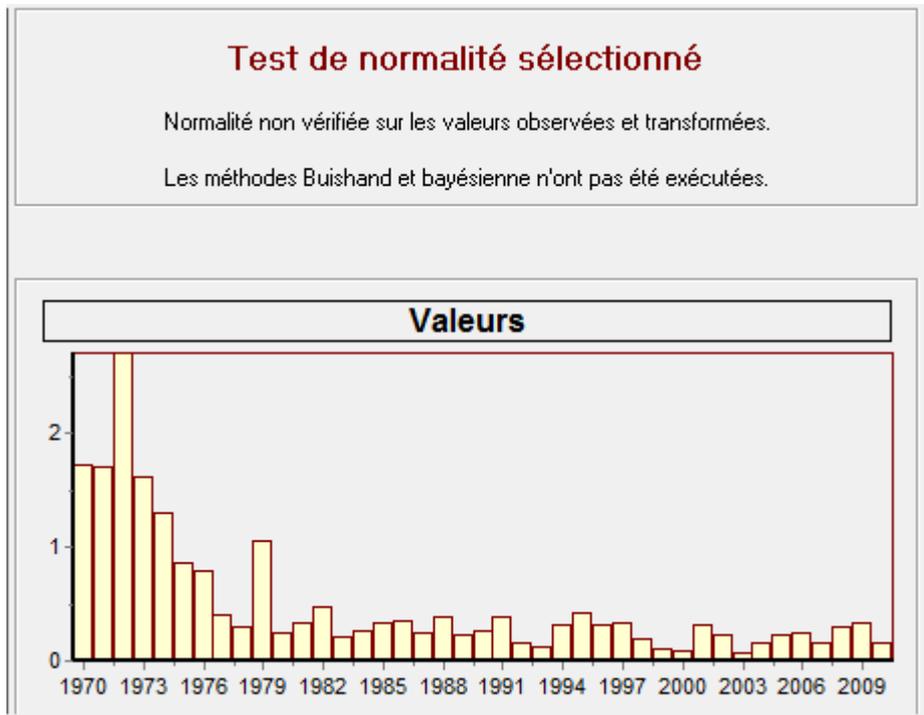


**Fig. 32 : Densité de probabilité 'a posteriori' de la position d'un changement**

Selon le graphe de la densité de probabilité, nous observons une probabilité que le changement de moyenne soit situé dans l'année 1980.

À travers l'analyse des séries pluviométriques annuelles fournies de la station de Sikkak sur la période 1969/1970 à 2010/2011, la région d'étude ne présente pas de rupture ce qui est confirmé par les tests de rupture où l'hypothèse nulle de stationnarité est rejetée sauf la méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN elle donne une probabilité de rupture après l'année 1980.

- C - Détection des ruptures au sein des séries de débit annuelles



### C. 1. Test de corrélation sur le rang [LUBES-NIEL et al., 1998]

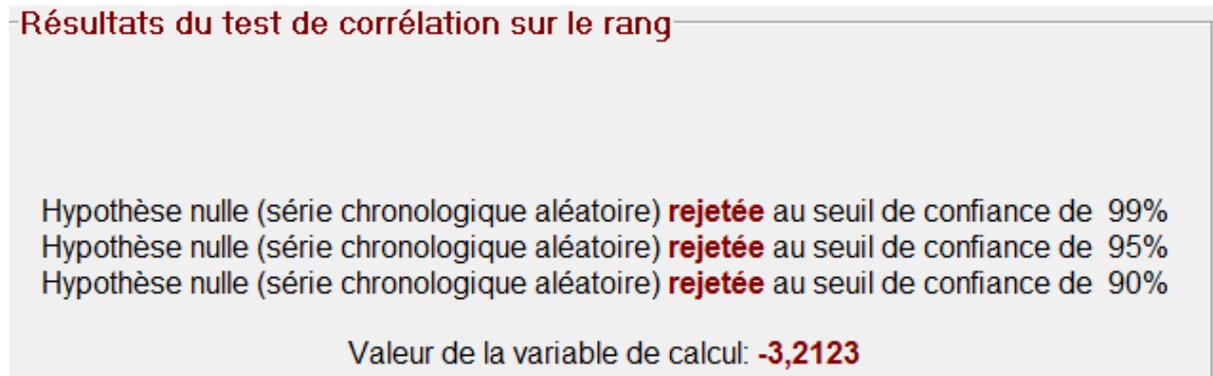


Fig. 33 : résultat du test de corrélation

## C.2 .test de PETTITT :

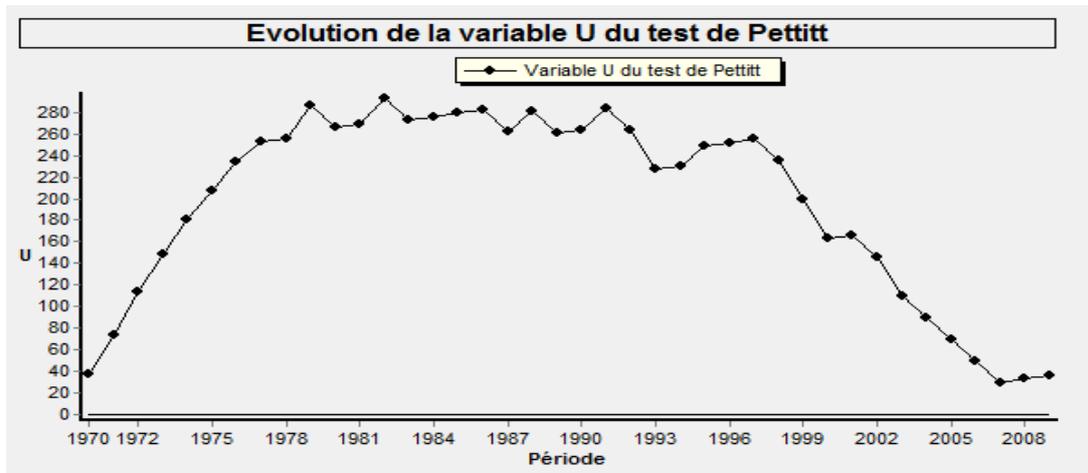


Fig. 34 : L'évolution de la variable U du test de PETTITT

D'après les résultats donnés par « Khronostat », l'application du test de PETTITT montre que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée aux trois seuils de confiance de 90%, 95% et 99%. Avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test  $1.36 \text{ E-}03$  en 1982.

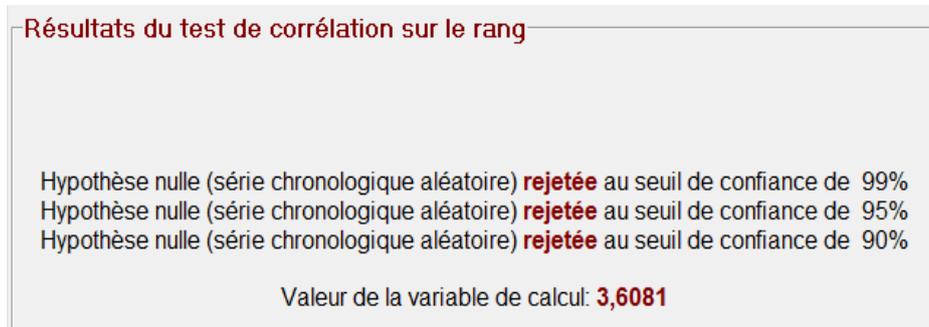
**\*D- Détection des ruptures au sein des séries de températures****D.1. Test de corrélation sur le rang [LUBES-NIEL et al., 1998] :**

Fig. 35 : résultat du test de corrélation

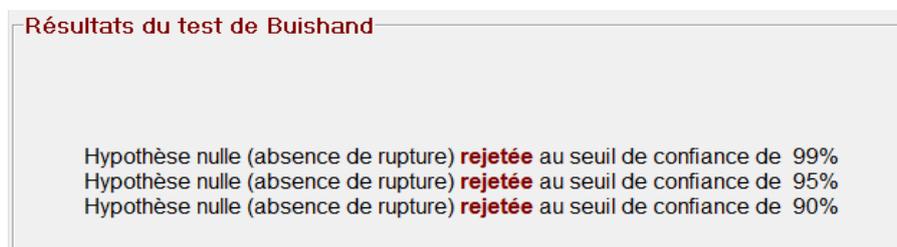
**D.2. Statistique U de Buishand [BUISHAND, 1982; BUISHAND, 1984] :**

Fig. 36 : résultat du test de buishand

D.3. Ellipse de Bois [LUBES-NIEL et al., 1994] :

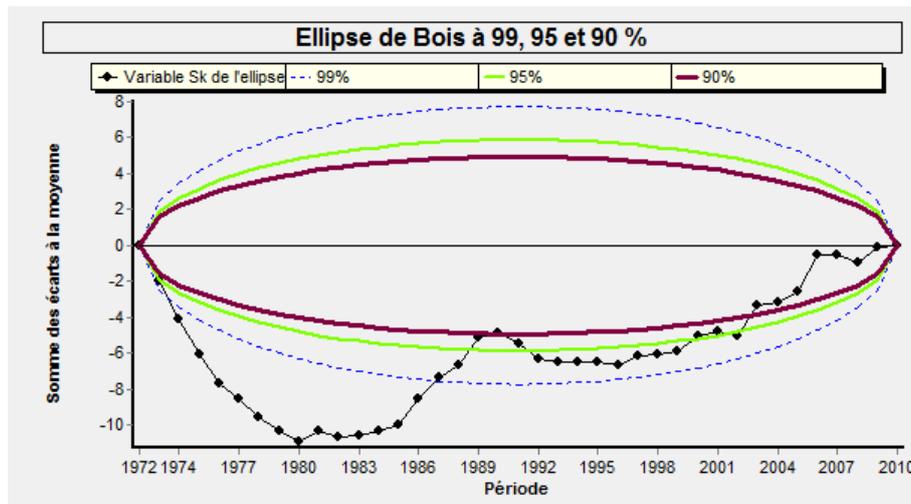


Fig. 37 : ellipse de bois

L'hypothèse H0 est rejetée au seuil de confiance de 90, 95 et 99%, la série des températures présente une rupture de la période (1980-1986).

D.4.test de PETTITT

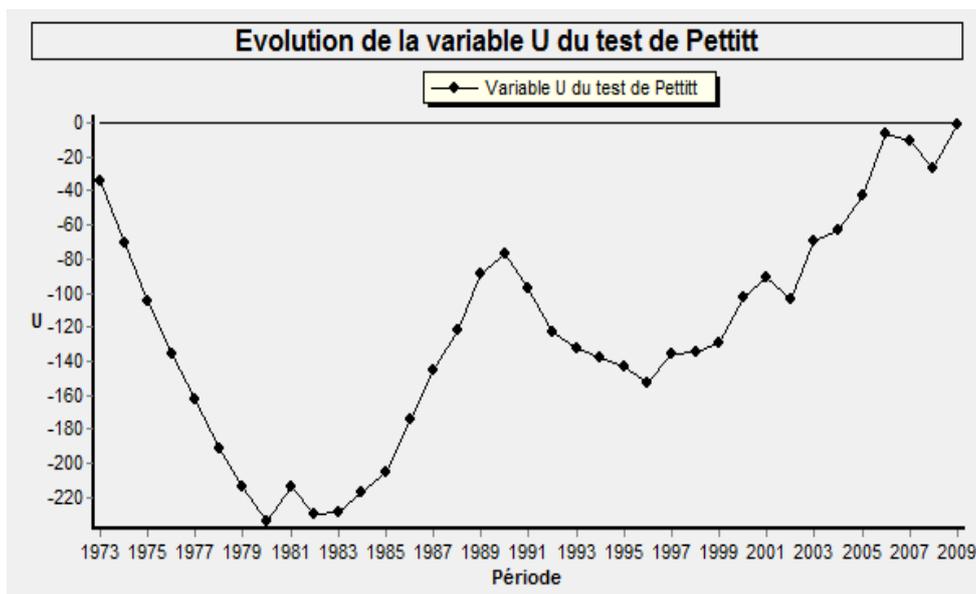


Fig. 38 : évolution de la variable U du test de pettitt

Selon les résultats donnés par « Khronostat », l'application du test de PETTITT montre que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée au seuil de confiance de 99%, 95% et 90%. D'où une Probabilité de dépassement de la valeur critique du test : **5.85E-03** en **1980**.

- Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN

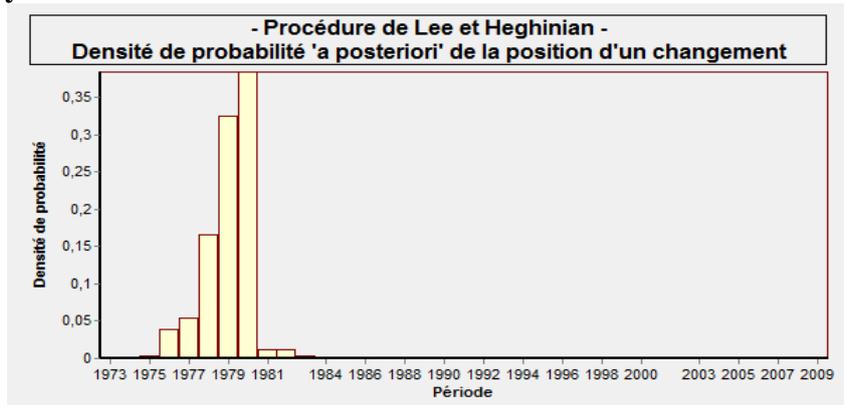


Fig 39: Densité de probabilité 'a posteriori' de la position d'un changement

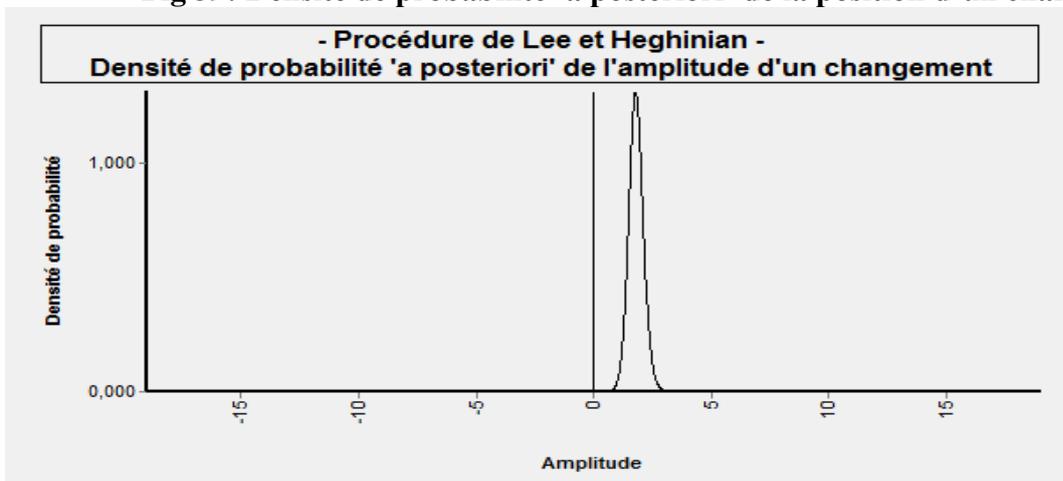


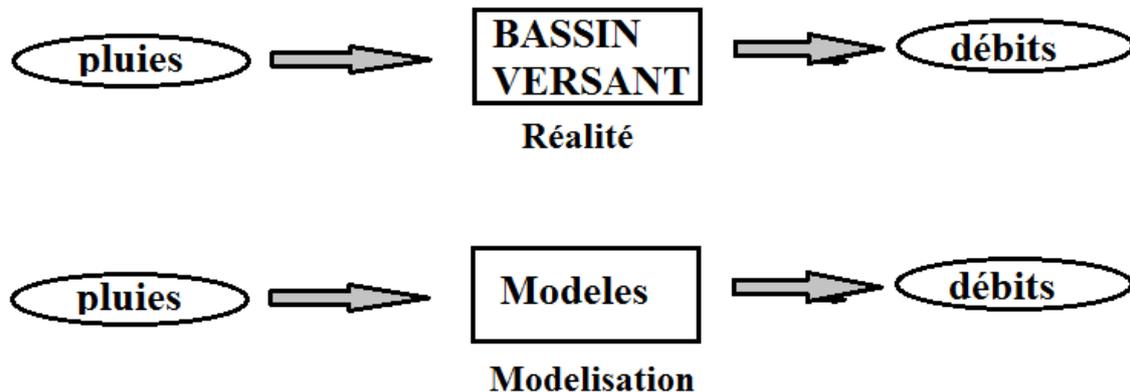
Fig. 40 : procédure de lee et heghinian

Discussion :

À travers l'analyse des séries de températures fournies de la station de Sikkak sur la période 1973/1974 à 2010/2011, la région d'étude présente une rupture ce qui est confirmé par les tests de rupture où l'hypothèse nulle et des séries chronologique aléatoires de stationnarité est rejeté elle donne une probabilité de point de rupture 0.3839 dans l'année 1980.

## V1.Introduction :

Très souvent, il y a insuffisance de données de débits alors que les données pluviométriques sont généralement abondantes. Il apparaît donc nécessaire, en vue d'une meilleure gestion des ressources en eau par une connaissance plus précise des quantités d'eau disponible, de transformer les données pluviométriques en données hydrométrique. d'où l'intérêt de la modélisation pluie-débit basée sur l'utilisation de modèles simulant la réalité.



En hydrologie, la simulation de la transformation de la pluie en débit dans les rivières constitue un axe de recherche dynamique. Dans notre cas, nous avons utilisé le modèle global GR (Génie Rural).

## V.2 Historique :

Au début des années 80, le cemagref (France) a engagé une réflexion sur la modélisation pluie-débit à partir du modèle CREC, un modèle à neuf paramètres développé au laboratoire d'hydrologie de l'université de Montpellier (CORMARY et GUILBOT, 1973), partant de cette structure, des simplifications ont été faites, dans le but d'obtenir un modèle à peu de paramètres, sans amoindrir les performances du modèle initial en terme de simulation des débits. Une structure simple à deux réservoirs a ainsi été proposée, avec un seul paramètre correspondant à une capacité maximale identique de ces deux réservoirs dans le cas du bassin versant de l'Orgeval (MICHEL, 1983). De façon plus générale, ce premier modèle était un modèle à trois paramètres, GR2, avec un paramètre pour chaque capacité de réservoir, utilisé par LOUMAGNE(1988) et DEVRED(1989), ce modèle a ensuite été repris par EDIJATNO(1987, 1991) qui a, par une démarche résolument empirique, amélioré sa structure en modifiant notamment la fonction de production et en ajoutant un troisième paramètre, qui est la constante de temps d'un hydrogramme unitaire. Le nouveau modèle journalier GR4 (EDIJATNO et MICHEL, 1989) fut testé sur un échantillon de 110 bassins versants français et donna des résultats satisfaisants en comparaison avec quelques modèles plus complexes.

KABOUYA(1990) avait également mis au point un modèle mensuel GR3M, à trois paramètres, pour l'évaluation de la ressource en eau en Algérie septentrionale (KABOUYA et MICHEL, 1991).

Plus récemment, EDIJATNO et al. (1999) ont proposé une nouvelle version à trois paramètres du modèle journalier. Cette version, dans laquelle la capacité du réservoir de production est

fixe, est très similaire à la version proposée par NASCIMENTO(1995) avec des fonctions de production et d'échange légèrement modifiées.

Enfin, PERRIN(2000) a rajouté un quatrième paramètre au modèle journalier à la suite d'un travail comparatif avec d'autres modèles (PERRIN et al, 2001).

Parmi les travaux ayant appliqué ces modèle GR, nous pouvons tout d'abord citer ceux réalisés par l'IRD en Afrique. SERVANT et DEZETTER(1991,1992) ont appliqué le modèle GR3 d'EDIJATNO sur des bassins de Côte-d'Ivoire en les comparants aux modèles CREC et MODGLO. PATUREL et al. (1998) ont testé le modèle mensuel également sur des bassins ivoiriens (MOUILHI. 2003).

### V.3 modèle pluie-débit annuel GR1A :

#### V.3.1 Introduction

Le modèle GR1A (modèle du Génie Rural à 1 paramètre Annuel) est un modèle pluie-débit global à un seul paramètre. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1990, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit robuste et fiable en vue d'utilisations pour des applications d'évaluation et de gestion de la ressource en eau.

#### V.3.2 Description mathématique :

La structure du modèle est très simple puisqu'elle se résume à une simple équation, le débit  $Q_k$  de l'année  $k$  étant proportionnelle à la pluie  $P$  de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de  $P_k$ , de la pluie  $P_{k-1}$  de l'année  $k-1$  et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne  $E$ . Le modèle s'écrit :

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{0,7P_k + 0,3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0,5}} \right\} \quad \text{Eq. 1}$$

Où  $X$  est l'unique paramètre du modèle.

Cette formule dérive de la formule de Turc (1955), qui donne l'écoulement moyen interannuel. Une recherche systématique de la meilleure manière de prendre en compte l'état antérieur du système a montré que l'on devait se limiter à prendre en compte la pluie de l'année précédant l'année en cours. Le paramètre  $X$  traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique (par exemple échange avec des nappes profondes ou avec des bassins adjacents dans le cas d'une non-superposition des limites topographiques et géologiques) :

Si  $X$  est supérieur à 1, le système perd de l'eau et si  $X$  est plus petit que 1, le système en gagne, le tout exprimé en fraction de l'ETP.

#### V.3.3 Paramètre :

Le modèle ne comporte qu'un paramètre optimisable, le paramètre  $X$  adimensionnel, qui apparaît comme un coefficient modulateur de l'évapotranspiration potentielle. Sur un large échantillon de bassins versants, la médiane de  $X$  vaut 0.7 et un intervalle de confiance à 90% est donné par [0.13; 3.5].

**V.4 modèle pluie-débit mensuel GR2M :**

**V.4.1 Introduction :**

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) est un modèle pluie-débit global à deux paramètres. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le domaine des ressources en eau et des étiages.

Ce modèle a connu plusieurs versions, proposées successivement par KABOUYA (1990), KABOUYA et MICHEL (1991), MAKHLOUF (1994), MAKHLOUF et MICHEL (1994), MOUELHI (2003) et MOUELHI et al. (2006b), qui a permis d'améliorer progressivement les performances du modèle.

La version présentée ici est celle de MOUELHI et al. (2006b) qui paraît la plus performante.

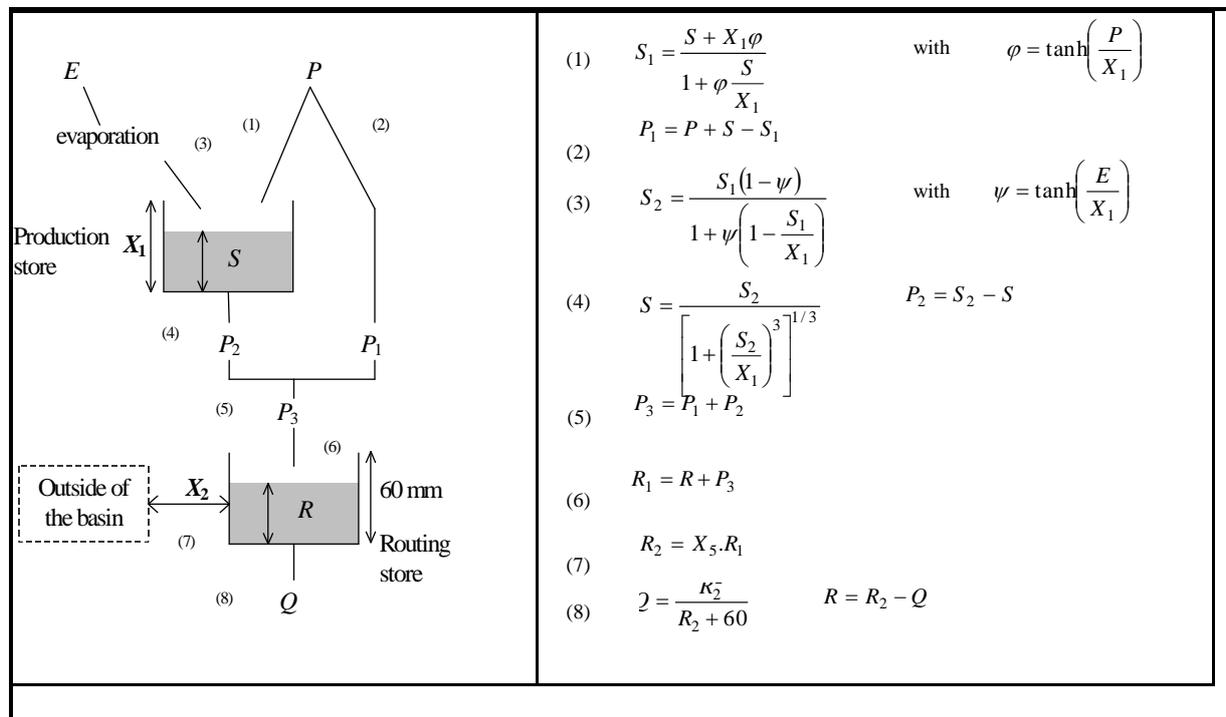
Sa structure bien qu'empirique, l'apparente à des modèles conceptuels a réservoirs avec une procédure de suivi de l'état d'humidité du bassin qui semble être le meilleur moyen de tenir compte des conditions antérieures et d'assurer un fonctionnement en continu du modèle

Sa structure associe un réservoir de production et un réservoir de routage ainsi qu'une ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique. Ces trois fonctions permettent de simuler le comportement hydrologique du bassin (AOUISSI A ,2012).

**V.4.2 Description mathématique :**

Un schéma de la structure est donné à la Figure 45 PK est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

Les équations qui régissent le modèle sont les suivantes :



**Figure 41 : Schéma de la structure de modèle GR2M.**

La fonction de production du modèle repose sur un réservoir de suivi d'humidité du sol. Une partie \$P\_s\$ de la pluie \$P\_k\$ va être ajoutée au contenu \$S\_k\$ dans le réservoir en début de pas de temps

### V.4.3 Paramètres :

Le modèle a deux paramètres optimisables :

X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : coefficient d'échanges souterrains (-)

Sur un large échantillon de bassins versants, on obtient les valeurs données dans le tableau 38

**Tableau 34 : Valeur des paramètres du modèle GR2M obtenues sur un large échantillon de bassins versants.**

Paramètres	Médiane	Intervalle de confiance à 90%
X1 (mm)	380	140-2640
X2 (-)	0.92	0.21-1.31

### V.5 Applications du modèle GR :

L'application de ce modèle a été effectuée sur les données annuelles pour GR1A, mensuelles pour GR2M du pluviomètre (P) mesuré à la station de Sikkak et de débit (Q) mesuré à la même station.

#### V.5.1 Modèle GR1A :

##### V.5.1.A en utilisant les valeurs de l'ETP par la méthode de turc :

Dans cette étude, nous avons utilisé la version Excel disponible dans le site du cemagref . L'application de ce modèle a été effectuée sur les données annuelles : trois données d'entrée alimentent la modélisation, ce sont les données motrices du cycle de l'eau :

Les valeurs des pluies annuelles observées en (mm) ,des ETP calculées par la méthode de Turc et celle de Thornthwaite en (mm).

Et les données des débits annuelles (lames d'eau écoulées) en mm.

La période choisie pour cette étude est celle allant de 1973 /1974 à 2009/2010.

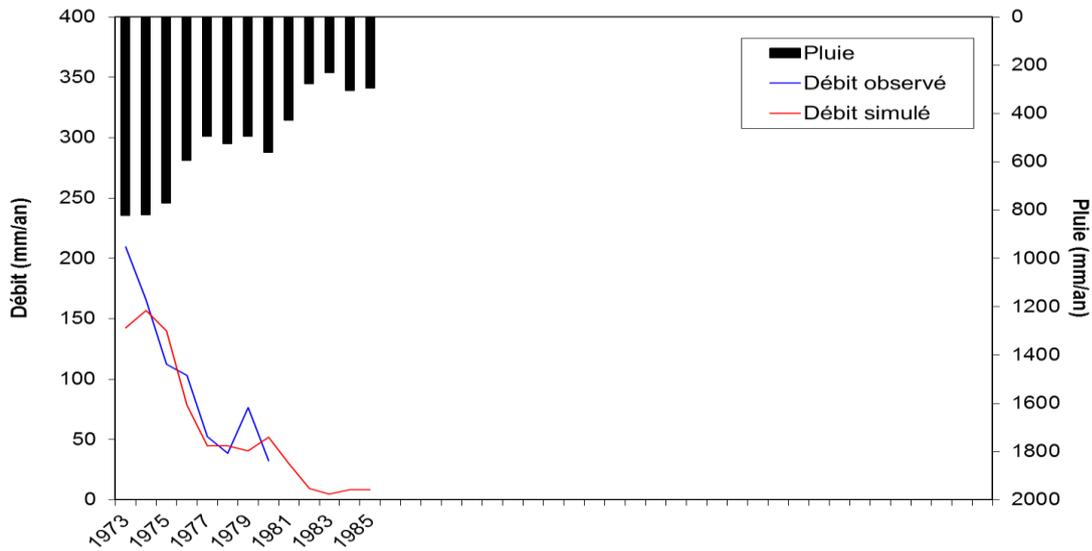
##### a. Calage du modèle GR1A :

Le calage du modèle a été effectué avec la série allant (1973 /1974-1980/1981) et (1982/1983-2003/2004) .

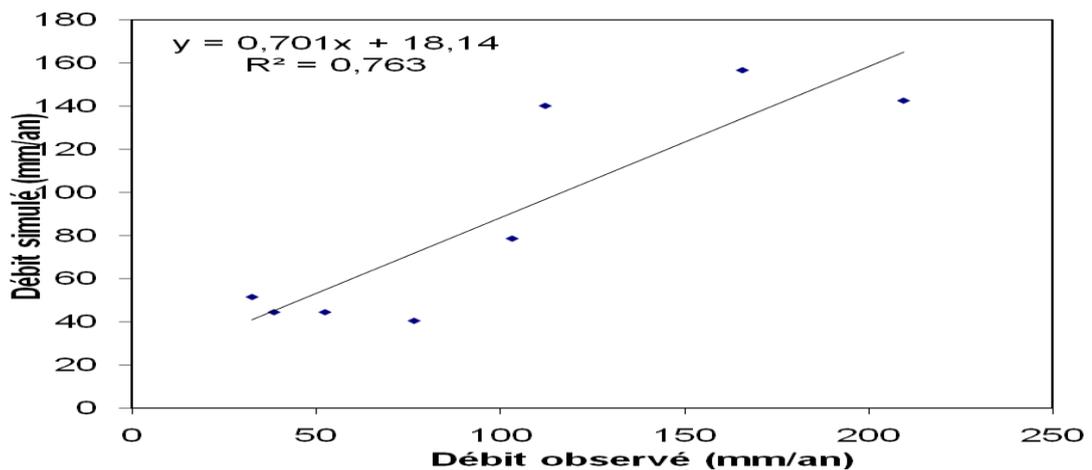
Après le passage par un certain nombre de simulations. Nous avons donc cherché à caler le paramètre X1 du modèle manuellement ,en appliquant des changements sur ce dernier en commençant par la valeur fixée et la faisant accroître successivement avec un intervalle de 0,01 jusqu'à l'obtention d'un critère de Nash optimum supérieur ou égale à 70% et un coefficient de corrélation entre les débits simulés et les débits observés significatif proche de 1 .

Tableau 35 : Application du GR1A (turc)

<b>Nom du bassin</b>		<b>SEKKIK</b>
<b>Superficie du bassin (km<sup>2</sup>)</b>		<b>241</b>
<b>Paramètres modèle</b>	<b>Transf.</b>	<b>Réels</b>
x: Coefficient de correction de l'ETP (mm)	<b>0,21</b>	<b>1,23</b>
<b>Valeur initiale de la pluie</b>		
Pk-1		<b>608,23</b>
<b>Période</b>		
Durée de la période test (années)		<b>7</b>
Date de départ		1974
Date de fin		1980
Moyenne des pluies observées (mm/an)		608,2
Moyenne des ETP observées (mm/an)		929,2
Moyenne des débits observés (mm/an)		83,0
Moyenne des racines des débits observés		8,8
Moyenne des log des débits observés		4,3
<b>Critères d'efficacité (%)</b>		
Nash(Q)		76,4
Nash(VQ)		71,0
Nash(ln(Q))		63,9
Bilan		95,9



**Fig. 42 : Visualisation de la qualité du calage le GR1A (turc) de Sikkak**



**Fig. 43 : Corrélation entre les débits observés et les débits estimés de Sikkak**

**V.6.1.a.1. Résultat du calage :**

Le calage du modèle a été relativement difficile nous avons obtenu un critère de **Nash(Q)=76,4%** (Tableau 39) et un coefficient de détermination  $R^2=0,76$  ; **R=0,87** voir (Figure 47).

**V.6.1.a.2 La validation de notre modèle GR1A (turc) :**

La validation porte sur l'application du modèle sur une série de données qui n'ont pas été utilisées lors du calage. Pour cela nous avons utilisé les données des précipitations et des évapotranspirations relatives à la période (1981-1985) (Tableau 40) pour GR1A.

Tableau 36 : Démonstration de la validation du modèle GRA1.

Années	P (mm/an)	ETP (mm/an)	Débit observé (mm/an)	Débit simulé (mm/an)
1981	426,7	955,17	43,6	30,02
1982	276,26	985,57	59,61	9,17
1983	230,29	962,85	27,7	4,71
1984	305,49	968,50	33,5	8,22
1985	293,7	978,95	45,1	8,51

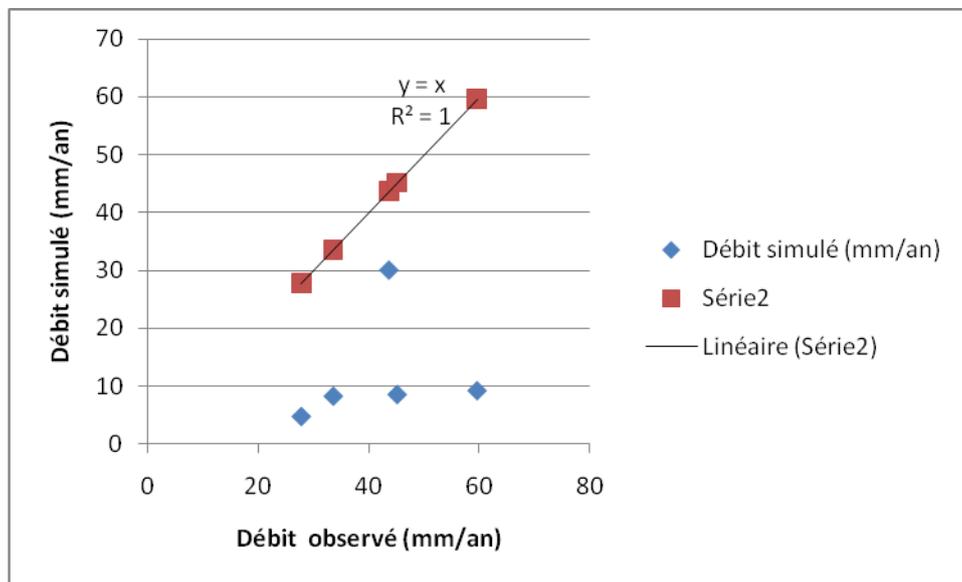


Fig. 44 : Corrélation de la validation de notre modèle GRA1 (turc)

● pour cette validation nous avons utilisé de nouvelles données d'évapotranspirations correspondant à la même période et nous avons obtenu un mauvais coefficient de corrélation  $R^2 = 0.044$ , ceci veut dire que notre modèle GRA1 n'est pas validé.

V.6.1.B. en utilisant les valeurs de l'ETP calculé par la méthode de thornthwaite :

**Tableau 37 : Application du GR1A (thornthwaite)**

<b>Nom du bassin</b>	SiKKAK	
<b>Superficie du bassin (km<sup>2</sup>)</b>	241	
<b>Paramètres modèle</b>	<b>Transf.</b>	<b>Réels</b>
x: Coefficient de correction de l'ETP (mm)	0,34	1,40
<b>Valeur initiale de la pluie</b>		
Pk-1	608,23	
<b>Période</b>		
Durée de la période test (années)	7	
Date de départ	1974	
Date de fin	1980	
Moyenne des pluies observées (mm/an)	608,2	
Moyenne des ETP observées (mm/an)	866,9	
Moyenne des débits observés (mm/an)	83,0	
Moyenne des racines des débits observés	8,8	
Moyenne des log des débits observés	4,3	
<b>Critères d'efficacité (%)</b>		
Nash(Q)	75,0	
Nash(VQ)	68,6	
Nash(ln(Q))	59,4	
Bilan	90,5	

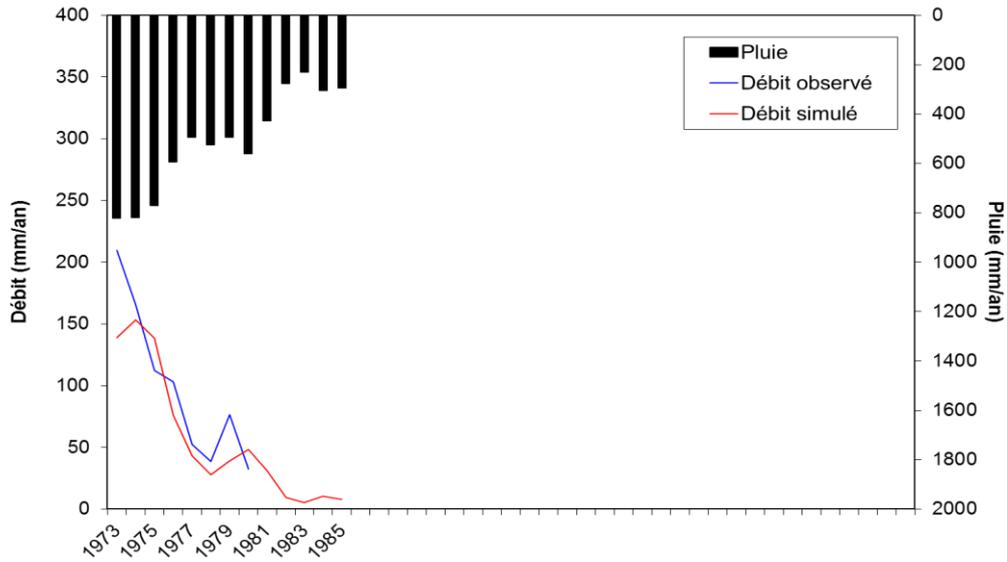


Fig 45: Visualisation de la quantité du calage le GR1A (Thorntwaite) de Sikkak

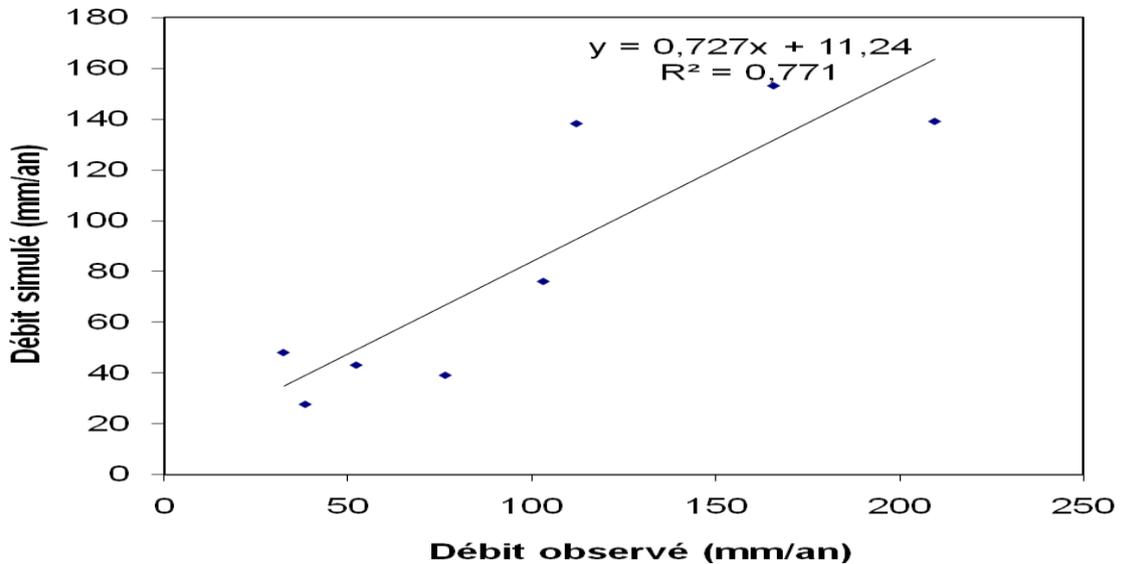


Fig. 46 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de Sikkak

**V.6.1.b.1 Résultat du calage :**

La valeur du critère de Nash obtenue (Q)=75,0% (Tableau 41) et un coefficient de détermination  $R^2=0,771$  ;  $R=0,87$  voir ( Figure 50)

On peut dire que le modèle appliqué aux données de Sikkak a une bonne performance.

**V.6.1.b.2 La validation de notre modèle GR1A (Thorntwaite) :**

nous avons utilisé les données des précipitations et des évapotranspirations relatives à la même période (1981-1985) (Tableau42) pour GR1A.

Tableau 38 : La validation modèle GR1A

Années	P (mm/an)	ETP (mm/an)	Débit observé (mm/an)	Débit simulé (mm/an)
1981	426,7	825,81	43,6	30,87
1982	276,26	844,03	59,61	9,62
1983	230,29	811,21	27,7	5,11
1984	305,49	745,56	33,5	10,57
1985	293,7	898,08	45,1	7,83

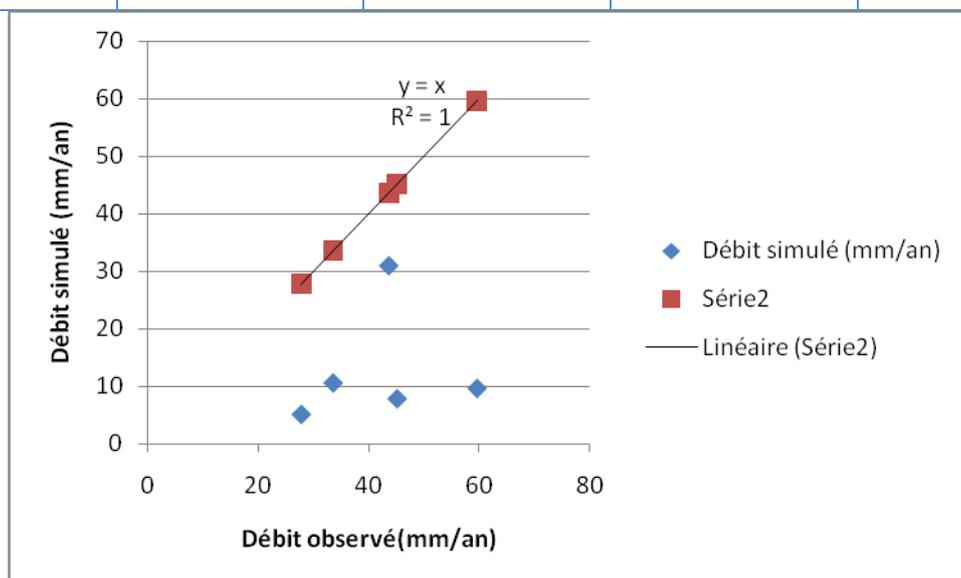


Fig. 47 : Corrélation de la validation de notre modèle GRA1 (Thorntwaite)

- A partir de la figure 51 nous constatons que les points s'éloignent de la droite linéaire, la répartition global parait très faible.

Tableau 39 : Application du GR1A (ture)

<b>Nom du bassin</b>	SIKKAK	
<b>Superficie du bassin (km<sup>2</sup>)</b>	241	
<b>Paramètres modèle</b>	<b>Transf.</b>	<b>Réels</b>
x: Coefficient de correction de l'ETP (mm)	0,01	1,01
<b>Valeur initiale de la pluie</b>		
Pk-1	353,41	
<b>Période</b>		
Durée de la période test (années)	21	
Date de départ	1983	
Date de fin	2003	
Moyenne des pluies observées (mm/an)	353,4	
Moyenne des ETP observées (mm/an)	976,1	
Moyenne des débits observés (mm/an)	28,1	
Moyenne des racines des débits observés	5,1	
Moyenne des log des débits observés	3,2	
<b>Critères d'efficacité (%)</b>		
Nash(Q)	73,2	
Nash(VQ)	68,0	
Nash(ln(Q))	30,6	
Bilan	83,3	

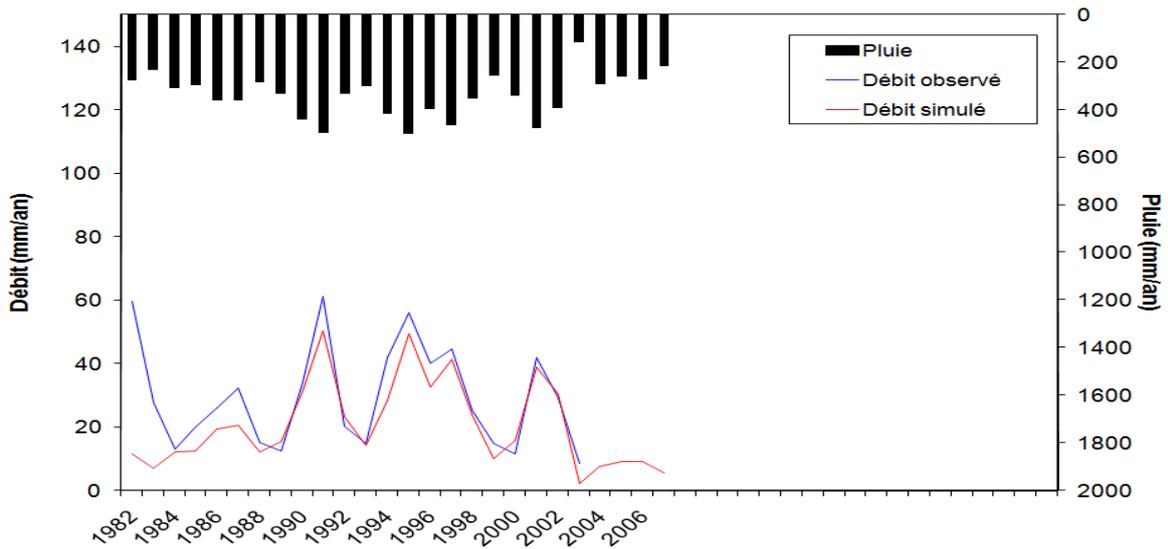


Fig. 48 : Visualisation de la quantité du calage le GR1A (turc) de Sikkak

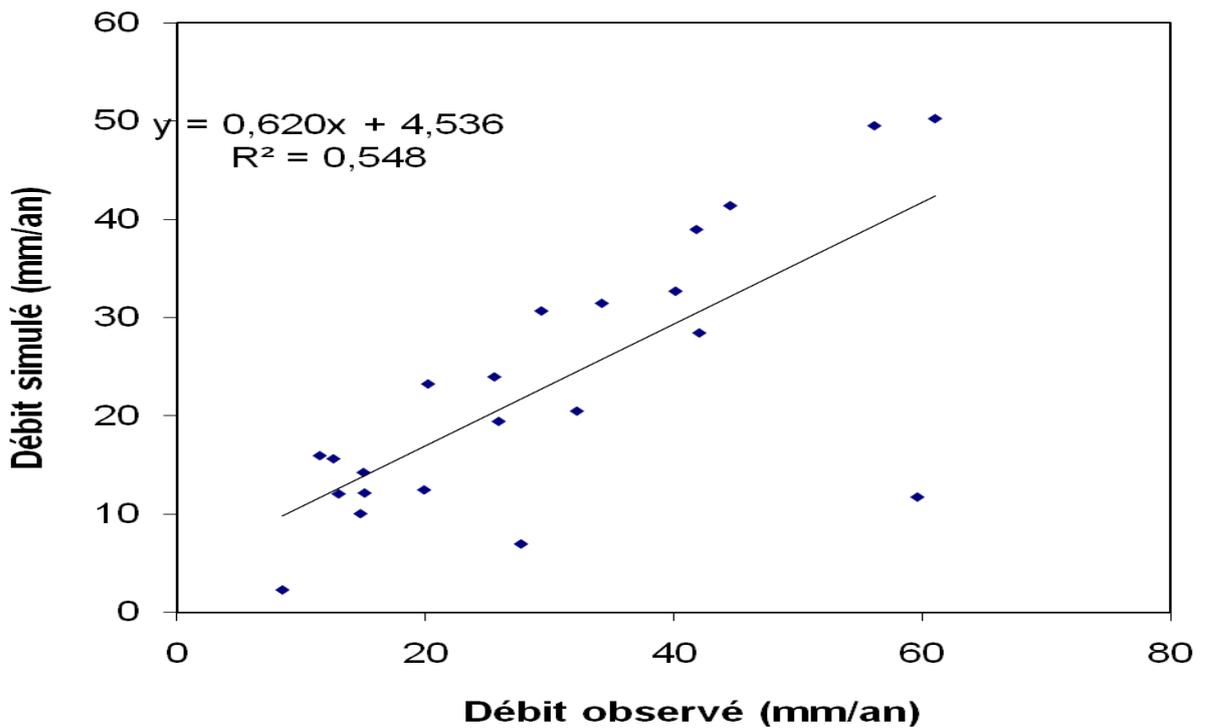


Fig. 49 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de Sikkak

V.6.1.c.1. Résultat du calage :

D’après le tableau et figure 53 nous avons obtenu un critère de **Nash(Q)=73,2%** et un coefficient de détermination **R²=0,548 ; R=0,74**

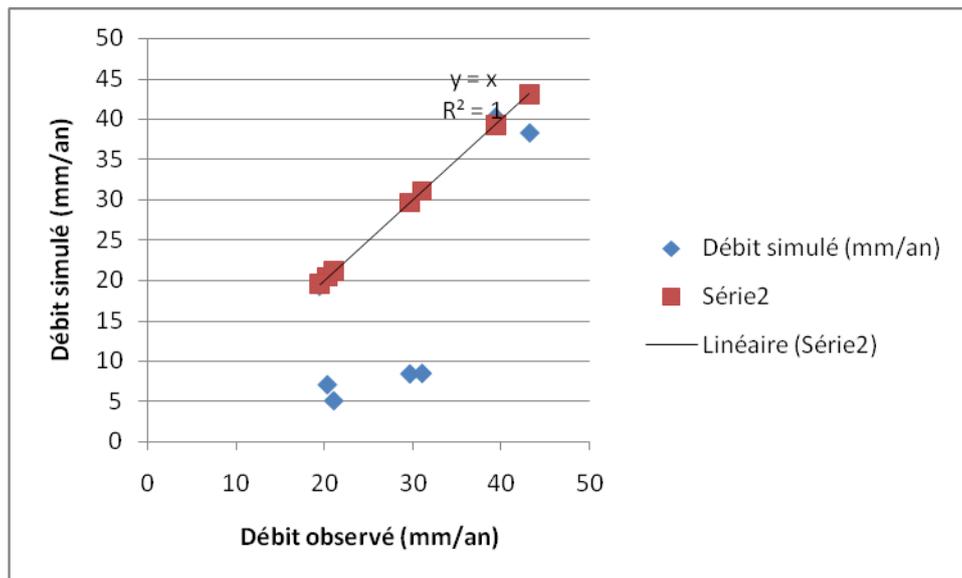
A partir des valeurs des coefficients de détermination, le calage paraît correct .la valeur du critère de Nash obtenu est bonne.

### V.6.1.c.2 La validation de notre modèle GR1A (turc) :

La validation porte sur l'application du modèle sur une série de données 2004-2010. Le tableau 44 présente les résultats de cette validation.

**Tableau 40 : Démonstration de la validation du modèle GRA1.**

Années	P (mm/an)	ETP (mm/an)	Débit observé (mm/an)	Débit simulé (mm/an)
2004	289,4	989,85	20,36	7,05
2005	260,5	973,56	29,65	8,40
2006	271,3	986,84	31,03	8,46
2007	213,6	980,33	21,09	5,06
2008	522,8	971,54	39,3	40,24
2009	433,1	960,40	43,14	38,30
2010	340,8	987,96	19,47	19,25



**Fig. 50 : Corrélation de la validation de notre modèle GRA1 (turc)**

- Nous avons obtenu un coefficient de corrélation  $R^2 = 0.614$ , ceci veut dire que les points ne s'alignent pas tous sur la droite linéaire et la répartition global des points toutefois la répartition global des points parait acceptable.

V.6.1.c. en utilisant les valeurs de l'ETP calculé par la méthode de Thorntwaite :

Nom du bassin		SEKKIK
Superficie du bassin (km²)		241
Paramètres modèle	Transf.	Réels
x: Coefficient de correction de l'ETP (mm)	0.01	1.01
Valeur initiale de la pluie		
Pk-1		353.41
Période		
Durée de la période test (années)		22
Date de départ		1983
Date de fin		0
Moyenne des pluies observées (mm/an)		353,4
Moyenne des ETP observées (mm/an)		861,6
Moyenne des débits observés (mm/an)		30,7
Moyenne des racines des débits observés		5,4
Moyenne des log des débits observés		3,3
Critères d'efficacité (%)		
Nash(Q)		68,0
Nash(VQ)		59,9
Nash(ln(Q))		42,1
Bilan		95,2

Tableau 41 : Application du GR1A (Thorntwaite)

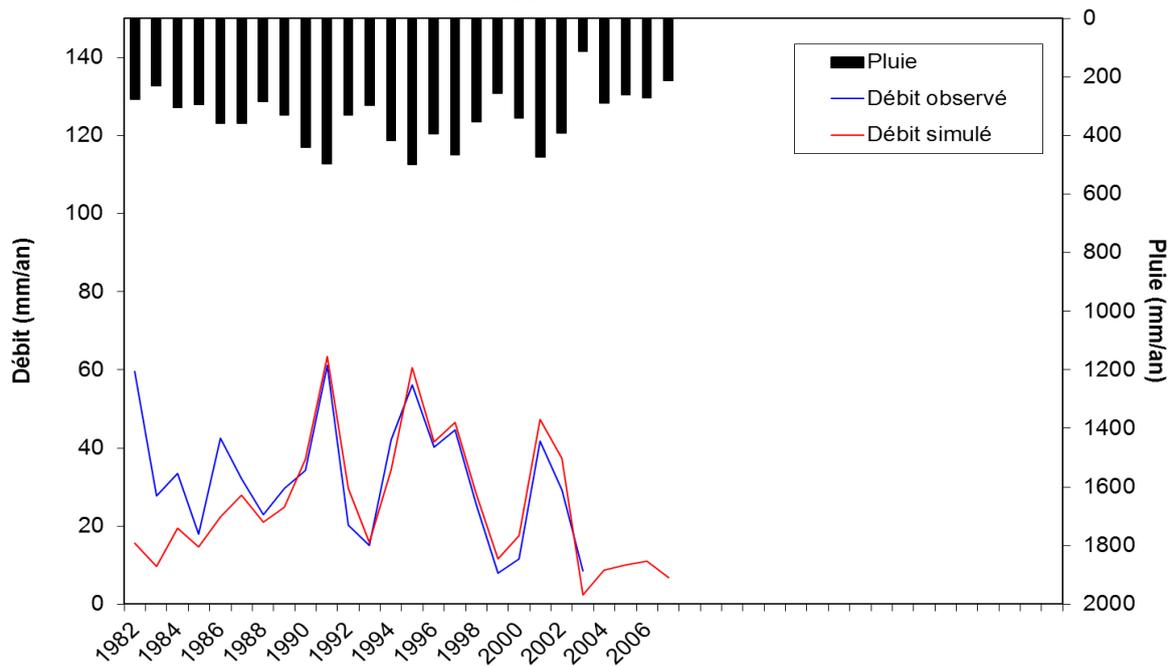
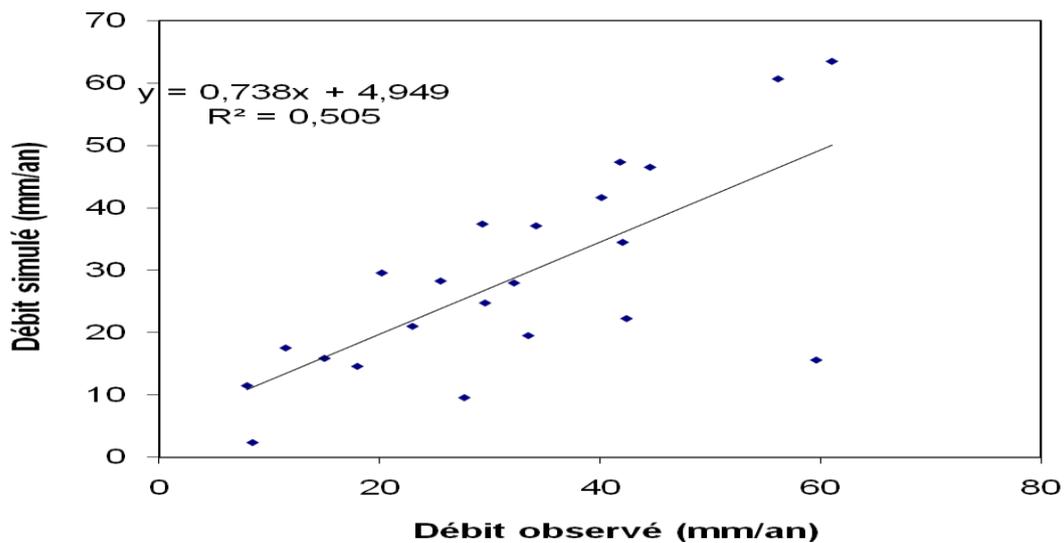


Fig 51: Visualisation de la quantité du calage le GR1A (Thorntwaite) de Sikkak



**Fig52 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés mensuelles(Thorntwaite).**

#### V.6.1.a.1. Résultat du calage :

Le tableau N et la figure N donnent un critère de **Nash(Q)=68%** et un coefficient de détermination  $R^2=0,505$  ; **R=0,71**

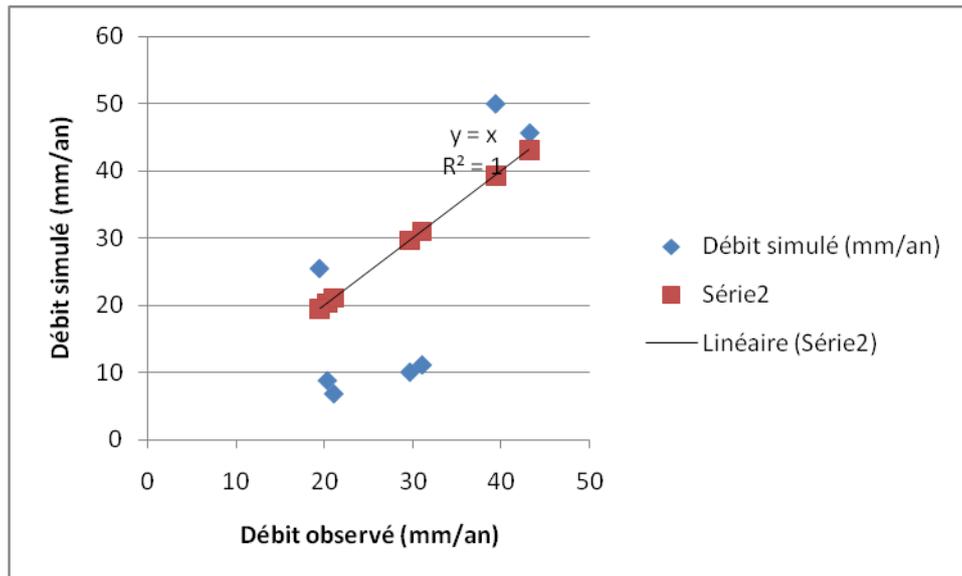
A partir des valeurs des coefficients de détermination, le calage paraît correct .la valeur du critère de Nash obtenu est bonne.

#### V.6.1.c.2 La validation de notre modèle GR1A (Thorntwaite) :

La validation porte sur l'application du modèle sur une série de données 2004-2010. Le présentent les résultats de cette validation.

**Tableau 42 : Démonstration de la validation du modèle GRA1(Thorntwaite).**

Années	P (mm/an)	ETP (mm/an)	Débit observé (mm/an)	Débit simulé (mm/an)
2004	289,4	929,02	20,36	8,77
2005	260,5	932,3	29,65	10,03
2006	271,3	898,88	31,03	11,10
2007	213,6	884,17	21,09	6,80
2008	522,8	901,55	39,3	50,06
2009	433,1	910,91	43,14	45,72
2010	340,8	889,58	19,47	25,49



**Fig. 53 : Corrélation de la validation de notre modèle GR1A.**

- Nous avons obtenu un bon coefficient de corrélation  $R^2 = 0.579$ , ceci veut dire que les points ne s'alignent pas tous sur la droite linéaire et la répartition global des points parait non acceptable.

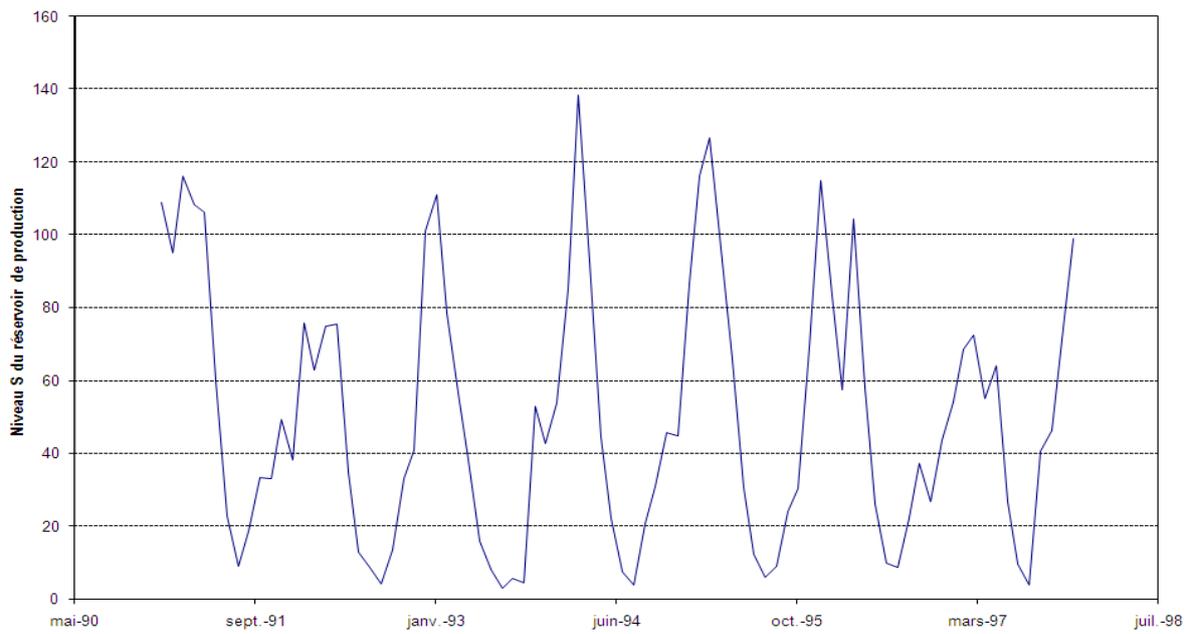
### V.6.2 Modèle GR2M :

Dans ce cas, nous avons cherché à caler les deux paramètres X1 et X2 du modèle aussi manuellement jusqu'à l'obtention des valeurs optimum des coefficients de détermination et du critère de Nash significatif. La période choisie pour le calage est celle comprise entre janvier 1991 à Décembre 1997.

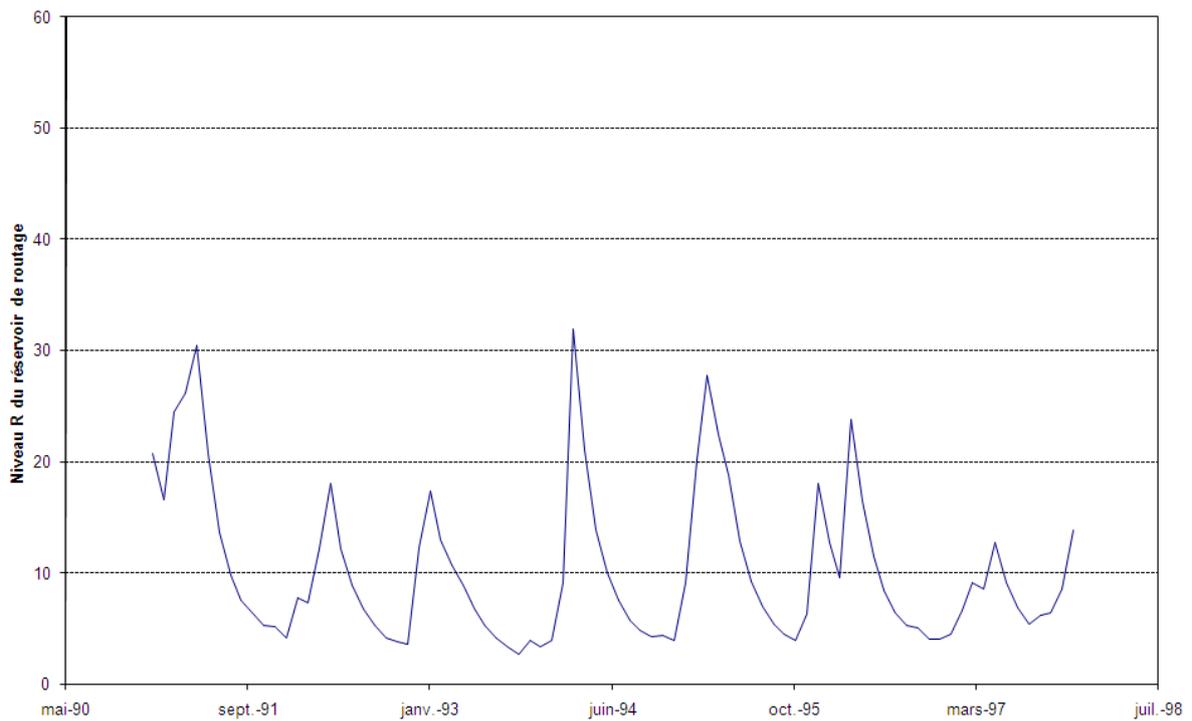
#### V.6.2.a. en utilisant les valeurs de l'ETP calculé par la méthode de Turc :

**Tableau.43 : Application du GR2M (Turc)**

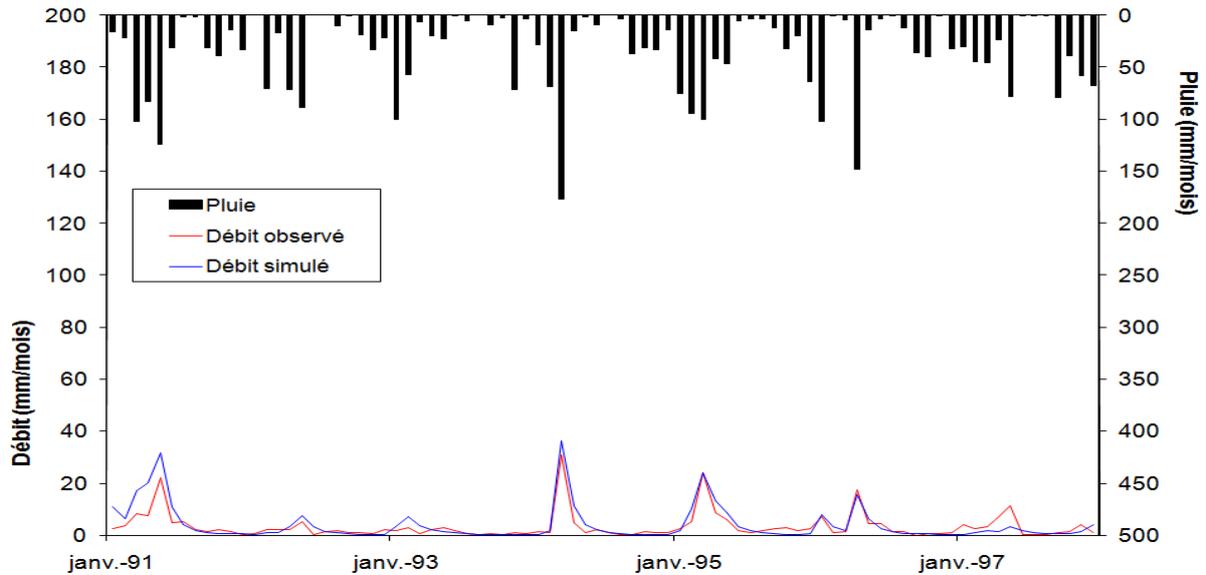
<b>Nom du bassin</b>	Bassin de sekkik	
<b>Superficie du bassin (km<sup>2</sup>)</b>	241	
<b>Paramètres modèle</b>	<b>Transf.</b>	<b>Réels</b>
x1: Capacité rés. production (mm)	5,55	257,24
x2: Paramètre d'échange (mm)	0,85	0,85
<b>Valeurs initiales</b>		
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)	128,62	
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)	30	
<b>Période</b>		
Longueur de la période de mise en route (mois)	12	
Durée de la période test (mois)	71	
Date de départ	01/1992	
Date de fin	12/1997	
Moyenne des pluies observées (mm/mois)	32,9	
Moyenne des ETP observées (mm/mois)	81,0	
Moyenne des débits observés (mm/mois)	3,1	
Moyenne des racines des débits observés	1,5	
Moyenne des log des débits observés	0,5	
<b>Critères d'efficacité (%)</b>		
Nash(Q)	80,3	
Nash(VQ)	59,2	
Nash(ln(Q))	23,5	
Bilan	100,8	



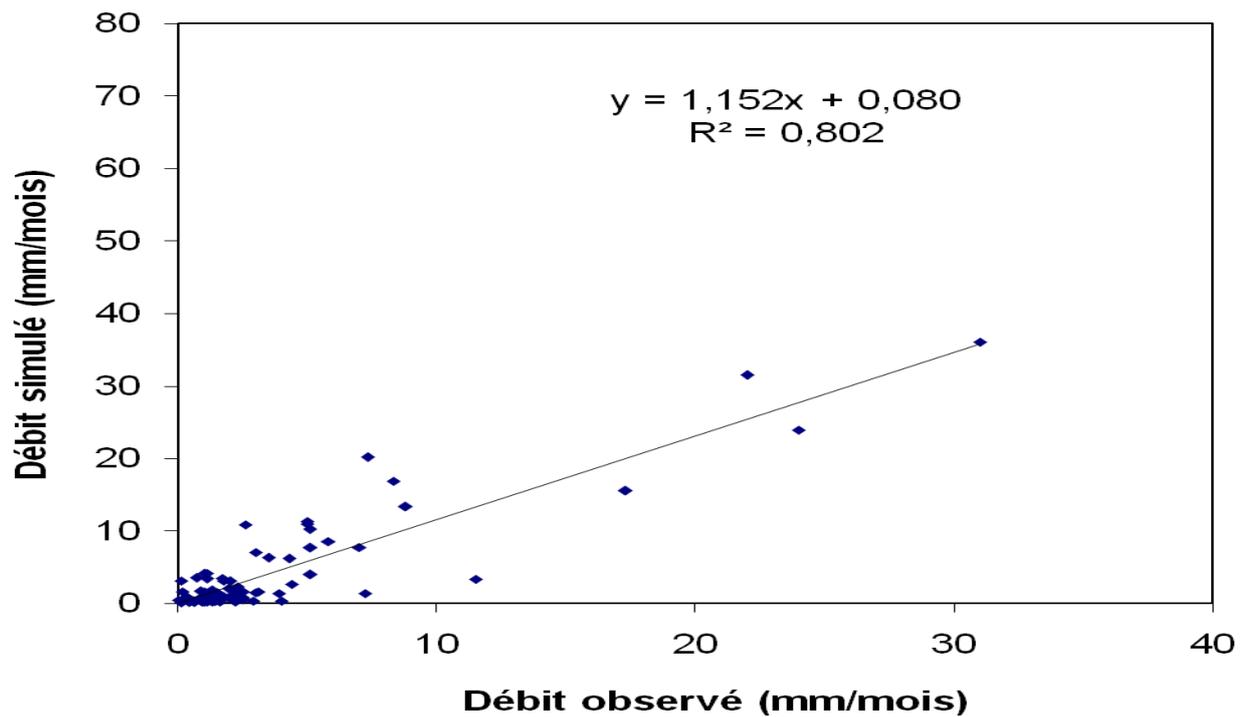
**Fig54 : Le niveau S du réservoir de production.**



**Fig55 : Le niveau R du réservoir de Routage.**



**Fig56: Visualisation du résultat du calage (Turc) de La transformation pluie en débit mensuels pour Sikkak**



**Fig57 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés mensuelles (Turc).**

**V.6.2.a.1 Résultat du calage :**

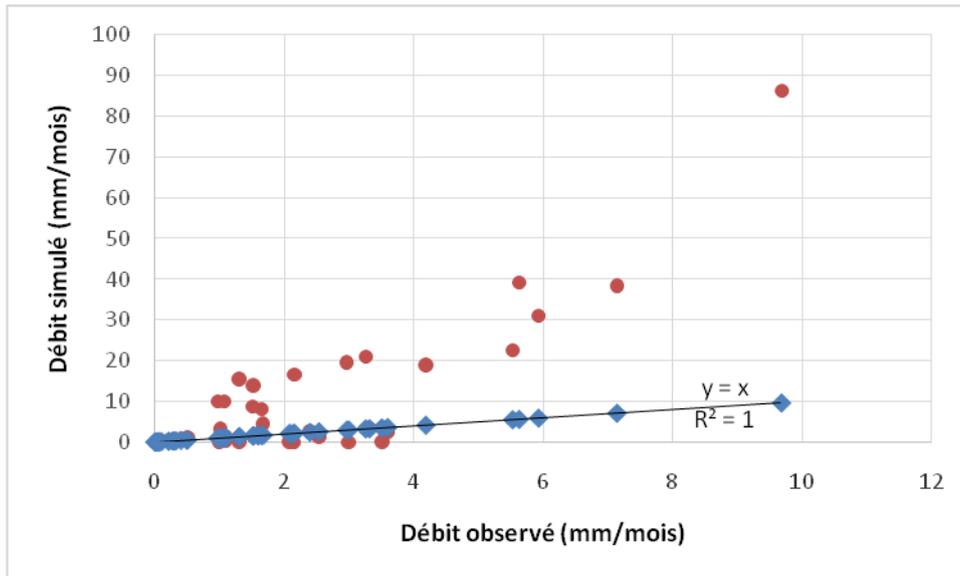
Le calage du modèle a été réalisé après plusieurs passages sur ordinateur (un certain nombre de simulation). Nous avons procédé aux changements des valeurs des paramètres du modèle X1 et X2 entre les valeurs limites comprises entre 140 et 2640 (mm) pour X1 et 0,21 à 1,31 pour X2 avec un intervalle de 0,001. Durant lesquels nous avons calé et obtenu des résultats suivants le critère de **Nash=80.3 %** un coefficient de corrélation **R²=0,802 ; R= 0,89**

Pour améliorer le calage nous avons changé cinq données observés de débit (mm) ceux de (févr 93-mars 94-avr 94-mai 97) qui présentent une différence assez importantes par rapport aux débits simulés.

Le calage du modèle GR2M a été relativement plus difficile par rapport au modèle GRA1.

#### V.6.2.a.2 La validation de notre modèle GR2M (Turc) :

Pour cela nous avons utilisé des données d'entrées qui n'ont pas été utilisées lors du calage et correspondant au sens allant de Jan1998 à Déc2001



**Fig58 : Corrélation de la validation de notre modèle GR2M (Turc)**

- Nous avons obtenu un très bon coefficient de corrélation  $R^2=0,721$  ;  $R=0,84$  (Figure 62) ceci veut dire que notre modèle mensuelle GR2M est validé et présente d'excellente performance pour bassin versant de Sikkak

V.6.2.b. en utilisant les valeurs de l'ETP calculé par la méthode de Thornthwaite :

Tableau.44 : Application du GR2M (Thornthwaite)

<b>Nom du bassin</b>	Bassin de sekkik	
<b>Superficie du bassin (km<sup>2</sup>)</b>		241
<b>Paramètres modèle</b>	<b>Transf.</b>	<b>Réels</b>
x1: Capacité rés. production (mm)	4.96	142.59
x2: Paramètre d'échange (mm)	0.59	0.59
<b>Valeurs initiales</b>		
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)		71.30
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)		30
<b>Période</b>		
Longueur de la période de mise en route (mois)		12
Durée de la période test (mois)		71
Date de départ		01/1992
Date de fin		12/1997
Moyenne des pluies observées (mm/mois)		32.9
Moyenne des ETP observées (mm/mois)		72.9
Moyenne des débits observés (mm/mois)		2.9
Moyenne des racines des débits observés		1.3
Moyenne des log des débits observés		0.2
<b>Critères d'efficacité (%)</b>		
Nash(Q)		71.1
Nash(VQ)		55.4
Nash(ln(Q))		6.7
Bilan		99.5

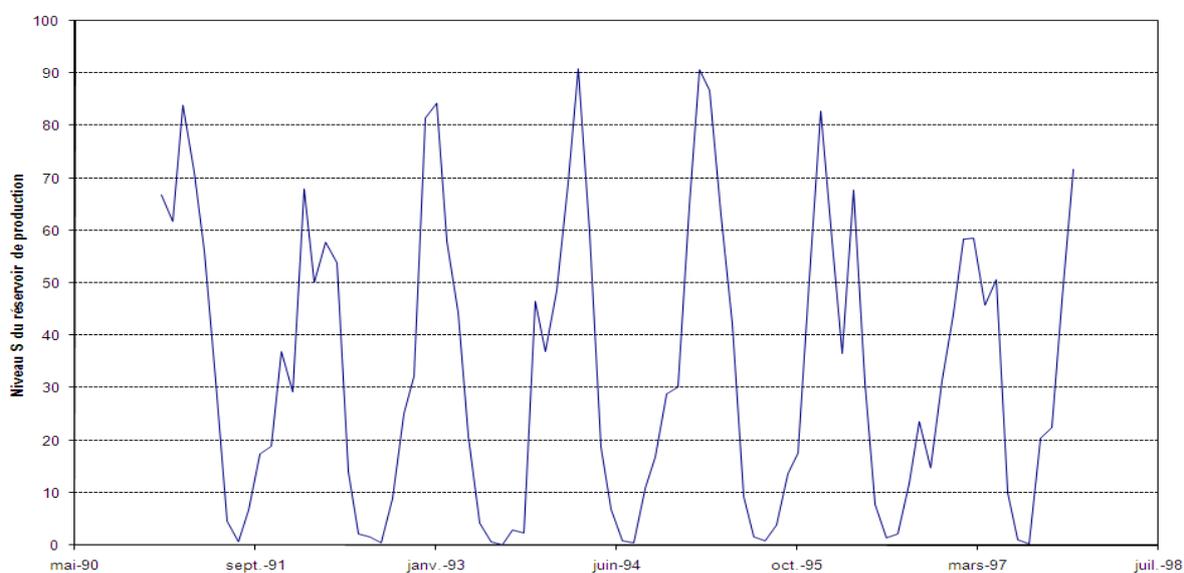


Fig 59 : Le niveau S du réservoir de production.

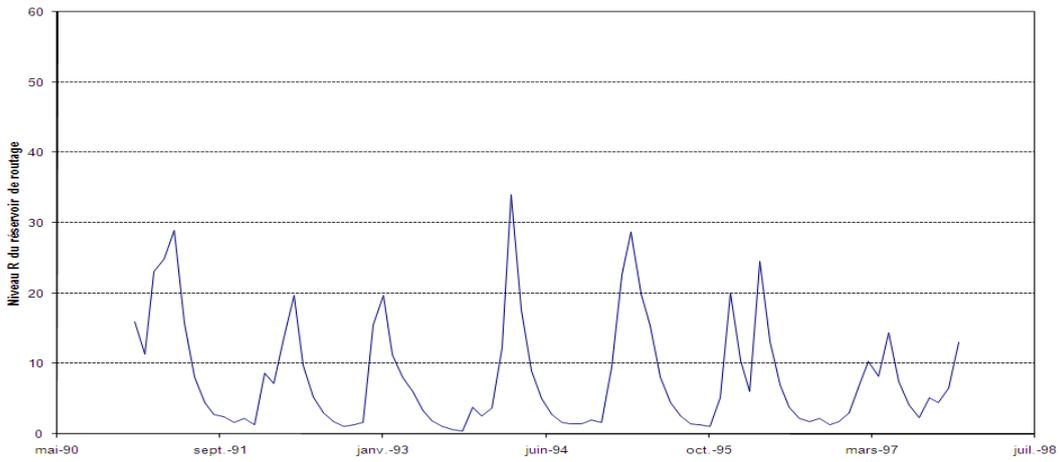


Fig 60 : Le niveau R du réservoir de Routage

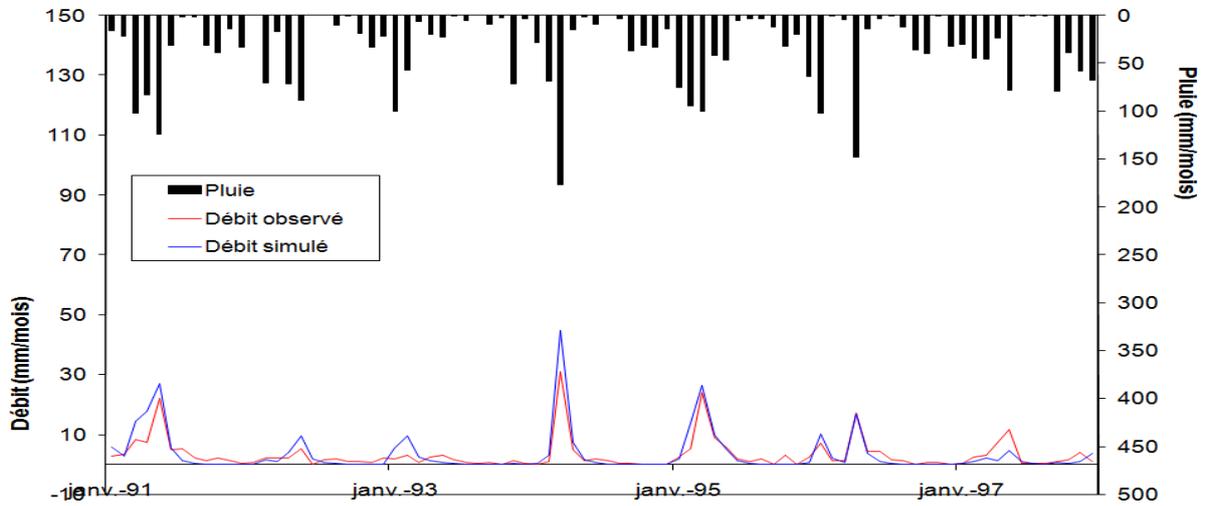


Fig 61 : Visualisation du résultat du calage (Thorthwaite) de La transformation pluie en débit mensuels de Sikkak

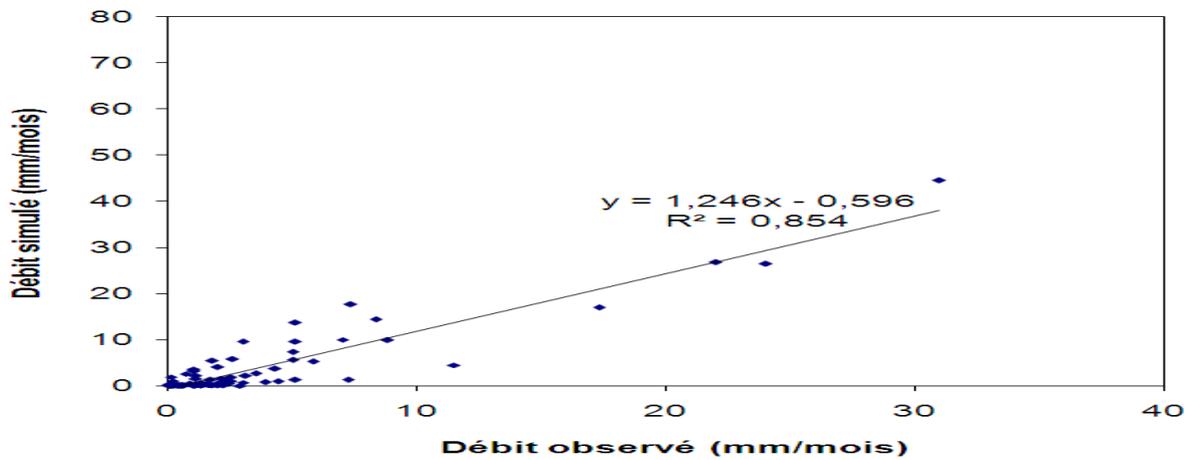


Fig 62 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés mensuelles (Thornthwaite).

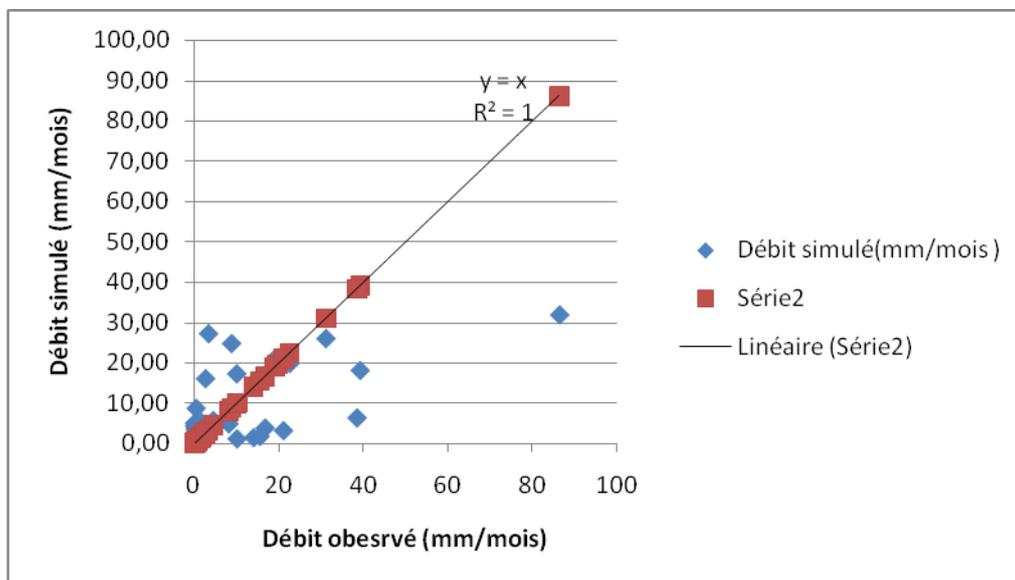
### V.6.2.b.1 Résultat du calage :

Le calage du modèle a été réalisé après plusieurs passages sur ordinateur (un certain nombre de simulation). Durant lesquels nous avons calé et obtenu des résultats suivants le critère de Nash= 71.1 % un coefficient de corrélation  $R^2=0,854$  ;  $R= 0,82$

Pour améliorer le calage nous avons changé cinq données observés de débit (mm) ceux de (févr93-mars94-avr94-avr95-mai97) qui présentent une différence assez importantes par rapport aux débits simulés.

### V.6.2.b.2 La validation de notre modèle GR2M (Thornthwaite) :

Pour cela nous avons utilisé des données d'entrées qui n'ont pas été utilisées lors du calage et correspondant au sens allant de Jan98 à Déc2001



**Fig63 : Corrélation de la validation de notre modèle GR2M (Thornthwaite)**

- Selon les résultats obtenues pour la méthode de Thornthwaite Nous avons un mauvais coefficient de corrélation  $R^2=0,413$  ;  $R=0,64$  (Figure 67) ceci veut dire que les points ne s'alignent pas bien sur la droite

### Conclusion :

L'exploitation du modèle GR1A, GR2M nous ont permis d'évaluer les paramètres de qualité suivants :

- Pour les données annuelles (1973-1980) pour la méthode de Turc le coefficient de Nash=76,4% et le coefficient de corrélation  $R=0,044$ . Et pour la méthode de(Thornthwaite) le coefficient de Nash=75% et le coefficient de corrélation  $R=0,77$ .
- Pour les données annuelles (1982-2003) (Turc) le coefficient de Nash=73,2% et le coefficient de corrélation  $R=0,55$ . Et pour la méthode (Thornthwaite) le coefficient de Nash=68% et le coefficient de corrélation  $R=0,5$ .
- Pour les données mensuelles (Turc) le coefficient de Nash=80,3% et le coefficient de corrélation  $R=0,80$ .
- Pour les données mensuelles (Thorntwaite) le coefficient de Nash=71,1% et le coefficient de corrélation  $R=0,85$ .

Les résultats de la validation entre débits observés et débits simulés sont bons à faibles, ils varient en fonction du pas de temps utilisé .le coefficient de corrélation varie enter 0,721 et 0,029

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude est celui d'effectuer une étude de modalisation hydrologique pluie débit du bassin versant de Sikkak .

Nous nous sommes efforcés tout d'abord de caractériser les principaux facteurs physico-géographiques agissant sur l'écoulement.

L'étude morphométrique, montre que le bassin versant de Sikkak présente une forme assez allongée dans l'ensemble  $Kc=1.64$  et le bassin moyennement drainée dans le sous bassin.

L'indice de pente donc on assistera à un écoulement rapide.

L'étude géologique et structurale : La région étudiée fait partie de la moyenne Tafna, elle est bordée au nord-ouest par les formations plissées de Sebaa Chioukhet au sud par les terrains jurassiques des Monts de Tlemcen, à l'ouest le plateau de Zenata et à l'est par oued Isser.

Les principales formations du ce bassin sous les massifs montagneux de traras ce sont des formations jurassiques composées de calcaire, marne et calcaire marneux au nord, les formations alluviales anciennes recouvertes de dépôts alluviaux marins et des dépôts lacustre au centre et au sud les massifs calcaires des monts de Tlemcen sont constitués de terrains jurassiques carbonatés et dolomitiques qui comporte une karstification importante permettre l'infiltration des eaux pluviales .

De l'étude hydro-climatologique, il ressort que le bassin est caractérisé par une saison pluvieuse en Hiver et sèche en Eté avec une moyenne de 433.79 mm. (1969/1970-2010/2011)

### **Deux saisons sont à distinguer sur la période (1973/1974-2010/2011) :**

\* Saison humide, qui s'étende de Novembre à Mai, avec des pluies irrégulières,

\* Saison sèche, de Juin à Octobre, où la pluviométrie est relativement faible.

La moyenne des températures est de 17.33 °C, le régime thermique est caractérisé par des

Amplitudes annuelles assez fortes qui permettent d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration.

La détermination de l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle ETP par la méthode de Turc et celle de Thornthwaite sont successivement 965.64 mm et 867.94 mm au niveau de la station de Sikkak

Puis une étude de variabilité hydro climatique a été développée dans le but d'identifier une éventuelle évolution portant sur la détection de "points de rupture".

Les résultats de cette étude montrent que les ruptures sont produites en 1980 et 1981.

Pour La modélisation : Nous avons tenté une modélisation pluie-débit par l'approche corrélative, dont les essais de régression effectués entre les précipitations et les lames d'eau écoulées aussi bien mensuelles qu'annuelles. Les résultats obtenus par corrélation simple n'étaient pas concluants, elle semble mal appropriée. Ceci justifiait l'utilisation d'un autre modèle qu'est celui du Génie Rural (GR1A pour le pas de temps annuel et GR2M pour le pas de temps mensuel) de type global.

Ce modèle est basé sur les paramètres d'entrées qui sont les précipitations et l'ETP (Calculée par deux méthodes celles de( Turc et de Thornthwaite) et le paramètre de sortie est constitué par les lames d'eau écoulées.

A cet effet, nous avons opté dans cette étude pour le modèle hydrologique GR, comportant peu de paramètre et pouvant rendre compte du comportement hydrologique de notre bassin.

La modélisation pluie –débit par l'application du modèle GR s'avère intéressante et donne des résultats appréciables comme le montre le tableau récapitulatif ci-dessous :

		<b>Calage</b>		<b>Validation</b>
		<b>Nash</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>GRA1</b> <b>(1973-1980)</b>	<b>Turc</b>	76,4	0,76	0,04
	<b>Thornthwaite</b>	75	0,77	0,02
<b>GRA1</b> <b>(1982-2003)</b>	<b>Turc</b>	73,2	0,55	0,61
	<b>Thornthwaite</b>	68	0,50	0,57
<b>GR2M</b> <b>(1 /1/1991-31 /12/2001)</b>	<b>Turc</b>	80,3	0,80	0,72
	<b>Thornthwaite</b>	71,1	0,85	0,41

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUANANI A.** 2004. Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérien). Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen, 250 p.
- BOUANANI R.** 2010. Modélisation de la fonction pluie-débit. Application au bassin versant de la Tafna (NW-Algérien). Mém. Magister, Univ. Tlemcen, 110 p.
- BOUKRIRIM S, SADKAOUI N, LAHRACH A, CHAOUNI A .**2011.étude d'impact des changements climatiques sure les ressources hydriques du bassin versant de l'Ouergha (rif-Maroc).revue scientifique et technique LJEE n°19, pp 44-53
- Baba Hamed, K., BOUANANI, A. et HAYANE, S.M.** 2001. L'étiage des plus importants sous bassins de la Tafna (Sebdou, Mouilah, et Isser) : Analyse et quantification. Sem. Nat. sur l'eau – SNE 2001, Tlemcen, octobre 2001. p.
- BOUANANI A., BABA HAMED K.** 2002. Protection du futur barrage de Sikkak contre la Pollution et l'envasement (Tafna – NW algérien). Table ronde « Géologie et hydrogéologie en Algérie », Univ.Oran. 2-3 Nov.
- BOUANANI A., MANIA J., BENSALAH M., BABA HAMED K.,** 2004. Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies : cas de trois sous- bassins sud méditerranéens (oueds Sebdou, Mouilah et Isser – Tafna- NW Algérie). Pub. Soumise, Rev. Sci. De l'eau.
- GHENIM A, MEGNOUNIF A.** 2011. Sévérité de la sécheresse dans le Nord-Ouest de l'Algérie. IV international workshop on hydrological extremes from prediction to prevention of hydrological risk in mediterranean countries .Cosenza (Italy)
- KERZABI R,** 2008 : Identification de la nappe des grès ser ravalien du bassin miocène dans la région de Remchi-Hennaya-Bensekrane et Ouled Mimoun. Mémoire de Magister . Université de Tlemcen, pp. 66.
- CHEIKH F, AMADOU ABDOUL S, JEAN BAPTISTE NDONG.** 2015. Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sècheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Revue Physio-Géo, vol 9, pp.17-35.
- GHENIM A, MEGNOUNIF A.** 2013. Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouche (Nord-Ouest de l'Algérie), pp.35-49
- KACEMI M, SENINA A.**2015. Contribution à l'étude hydrologique de la nappe alluviale d'Oued Boukiou (Nord-Ouest Algérien).Mém.Master.Univ.Tlemcen, pp.40-58.
- ROSINE MARIE N'GUESSAN FOSSOU et al.** 2014. Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro,

Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest. Afrique science 10(4), ISSN 1813-548X, pp 188-134

**PERRIN C. 2000.** Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat d'état, unité de recherche qualité et fonctionnement hydrologique des systèmes aquatiques, Cemagref, Antony

**BASSOULET, J.P ET BENEST, M., 1976** - Microfaciès et structure sédimentaire dans les dépôts inter –supracotidaux du Lias carbonaté de Sidi Yahia Ben Sefia (Monts de Tlemcen, Algérie). Publ. Serv.Géol. Algérie, Alger, N.S., n°45, p.35-63, 6 fig., 5 pl.

**MEGNOUNIF A., BOUANANI A., TERFOUS A. ET BABA HAMED K., 1999.** Distributions statistiques de la pluviométrie et mise en évidence de l'influence du relief (cas des monts de Tlemcen, Nord ouestalgérien). Rev. Sci & Tech n°12. pp. 77 - 80. 6 fig.

**BEMMOUSSATA.2011.**Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la tafna. Mém. Magister, Univ. Tlemcen, 41 p.

# ANNEXES

## Données et résultats du modèle GR1A Turc (1973-1980)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
1973	821,8	901,84	209,6	142,57
1974	819	913,74	165,8	156,65
1975	770,1	904,59	112,2	140,16
1976	594,2	914,72	103,2	78,71
1977	495,1	932,83	52,32	44,63
1978	523,42	944,77	38,46	44,64
1979	494,6	943,17	76,54	40,64
1980	561,2	950,34	32,5	51,67

## Données et résultats du modèle GR1A Thornthwaite (1973-1980)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
1973	821,8	804,76	209,6	139,13
1974	819	814,80	165,8	153,15
1975	770,1	801,71	112,2	138,24
1976	594,2	820,00	103,2	76,11
1977	495,1	835,10	52,32	43,16
1978	523,42	1081,27	38,46	27,70
1979	494,6	845,78	76,54	39,16
1980	561,2	869,56	32,5	48,10

## Données et résultats du modèle GR1A Turc (1982-2003)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
1982	276,26	985,57	59,61	11,71
1983	230,29	962,85	27,7	6,93
1984	305,49	968,50	13,02	12,03
1985	293,7	978,95	19,90	12,43
1986	357,8	975,67	25,90	19,41
1987	357,7	<i>1001,66</i>	32,2	20,46
1988	282,9	<i>999,42</i>	15,11	12,12
1989	331,2	<i>984,95</i>	12,60	15,61
1990	438,9	<i>1005,47</i>	34,21	31,44
1991	496,5	<i>972,75</i>	61,03	50,25
1992	331	<i>952,22</i>	20,22	23,23
1993	297	<i>947,48</i>	15,02	14,21

1994	416,6	<i>967,35</i>	42,05	28,43
1995	498,4	<i>972,21</i>	56,14	49,53
1996	394,6	<i>970,29</i>	40,14	32,67
1997	464,7	<i>969,94</i>	44,54	41,39
1998	352,2	<i>982,59</i>	25,55	23,95
1999	255,1	<i>974,61</i>	14,78	10,01
2000	339,1	<i>978,10</i>	11,5	15,92
2001	474,4	<i>993,33</i>	41,82	38,96
2002	391,3	<i>978,79</i>	29,34	30,66
2003	112,8	<i>959,95</i>	8,5	2,24

### Données et résultats du modèle GR1A (Thornthwaite )(1982-2003)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
1982	276,26	844,03	59,61	15,61
1983	230,29	811,21	27,7	9,58
1984	305,49	745,56	33,5	19,52
1985	293,7	898,08	18	14,60
1986	357,8	905,50	42,41	22,25
1987	357,7	842,52	32,2	27,95
1988	282,9	740,00	23	21,01
1989	331,2	764,90	29,58	24,75
1990	438,9	915,92	34,21	37,09
1991	496,5	846,12	61,03	63,44
1992	331	830,89	20,22	29,56
1993	297	892,44	15,02	15,88
1994	416,6	868,27	42,05	34,46
1995	498,4	862,01	56,14	60,63
1996	394,6	843,37	40,14	41,63
1997	464,7	906,74	44,54	46,49
1998	352,2	895,43	25,55	28,26
1999	255,1	905,1	8	11,50
2000	339,1	928,11	11,5	17,55
2001	474,4	888,24	41,82	47,31
2002	391,3	873,71	29,34	37,39
2003	112,8	928,44	8,5	2,39

### Données et résultats du modèle GR2M Turc (1991-1997)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
janv-91	15,6	35,89	2,6	10,89
févr-91	21,7	45,61	3,5	6,30
mars-91	101,7	54,38	8,32	16,89

avr-91	83,3	79,65	7,33	20,17
mai-91	124	106,12	22	31,52
juin-91	30,9	110,36	5	10,98
juil-91	1	133,40	5,12	4,03
août-91	1,4	128,21	2,2	1,89
sept-91	31,1	99,42	1,3	1,07
oct-91	39,2	73,57	1,99	0,76
nov-91	13,9	47,83	1,32	0,50
déc-91	32,7	37,78	0,35	0,48
janv-92	0	38,27	0,6	0,30
févr-92	70	43,66	2,1	1,15
mars-92	16,6	60,28	2,25	1,02
avr-92	71,5	77,71	2	3,10
mai-92	88,5	98,40	5,12	7,69
juin-92	0	120,28	0,1	3,11
juil-92	0	137,65	1,5	1,53
août-92	10	130,46	1,7	0,84
sept-92	0,6	104,23	1,06	0,50
oct-92	19,1	74,64	0,99	0,31
nov-92	33,5	49,27	0,6	0,25
déc-92	21,2	37,88	2,2	0,22
janv-93	<b>100,3</b>	35,89	1,76	3,13
févr-93	<b>57,4</b>	45,61	3	7,10
mars-93	<b>6,2</b>	54,38	0,7	3,54
avr-93	<b>19,3</b>	79,65	2,3	2,33
mai-93	<b>22,2</b>	106,12	2,99	1,54
juin-93	<b>0,2</b>	110,36	1,63	0,85
juil-93	<b>5,6</b>	133,40	0,5	0,50
août-93	<b>0</b>	128,21	0,4	0,31
sept-93	<b>9</b>	99,42	0,6	0,20
oct-93	<b>2</b>	73,57	0,12	0,13
nov-93	<b>71,3</b>	47,83	1,1	0,28
déc-93	<b>3,5</b>	37,78	0,42	0,20
janv-94	28,7	36,66	1,3	0,27
févr-94	68,2	41,32	1,01	1,65
mars-94	176,9	60,16	31	36,10
avr-94	15,1	78,55	5	11,34
mai-94	1,1	101,32	1,1	4,18
juin-94	9	117,86	1,96	2,02
juil-94	0	131,52	1,1	1,07
août-94	3,2	127,17	0,25	0,61
sept-94	36,9	97,12	0,18	0,41
oct-94	30,8	69,04	1,4	0,33
nov-94	33,2	48,00	0,99	0,34
déc-94	13,5	38,77	1,01	0,28
janv-95	75,2	38,39	2,5	1,65
févr-95	94,8	44,89	5,1	10,24
mars-95	100,4	59,67	24	23,92
avr-95	41,5	76,56	8,8	13,37
mai-95	46,3	109,72	5,8	8,56
juin-95	5,3	121,27	1,7	3,48
juil-95	3,1	140,98	0,86	1,69
août-95	3,6	130,05	1,75	0,91

sept-95	12,3	92,37	2,53	0,54
oct-95	32,3	68,84	2,9	0,37
nov-95	19,8	46,02	1,6	0,27
déc-95	63,8	38,57	2,4	0,73
janv-96	102,3	39,34	7	7,75
févr-96	0,2	49,38	1,11	3,44
mars-96	4,4	58,42	1,34	1,83
avr-96	148	78,28	17,3	15,56
mai-96	14,3	110,70	4,3	6,19
juin-96	3,7	118,09	4,4	2,70
juil-96	0,6	134,60	1,45	1,36
août-96	12,1	126,81	1,34	0,76
sept-96	36,1	95,01	0,02	0,51
oct-96	39,8	72,72	0,53	0,46
nov-96	0,8	49,52	0,45	0,29
déc-96	32,3	39,34	0,9	0,28
janv-97	30,1	42,43	4	0,36
févr-97	44,5	49,59	2,5	0,82
mars-97	45,3	62,05	3,1	1,64
avr-97	23,2	82,78	7,23	1,42
mai-97	77,8	105,86	11,5	3,39
juin-97	0,4	119,71	0,17	1,65
juil-97	0,6	130,44	0,3	0,89
août-97	0,7	124,41	0,22	0,52
sept-97	78,7	93,52	0,83	0,71
oct-97	38,5	70,00	1,47	0,75
nov-97	57,6	48,18	3,89	1,42
déc-97	67,3	40,99	1	4,12

### Données et résultats du modèle GR2M (Thornthwaite )(1991-1997)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
janv-91	15,6	16,86	2,6	5,82
févr-91	21,7	24,92	3,5	2,66
mars-91	101,7	29,72	8,32	14,43
avr-91	83,3	52,81	7,33	17,66
mai-91	124	82,51	22	26,84
juin-91	30,9	81,71	5	5,60
juil-91	1	145,72	5,12	1,25
août-91	1,4	158,47	2,2	0,35
sept-91	31,1	116,9	1,3	0,13
oct-91	39,2	74,03	1,99	0,10
nov-91	13,9	38,28	1,32	0,05
déc-91	32,7	24,14	0,35	0,09
janv-92	0	18,66	0,6	0,03
févr-92	70	19,41	2,1	1,46
mars-92	16,6	41,99	2,25	0,99
avr-92	71,5	51,56	2	4,09
mai-92	88,5	70,72	5,12	9,57
juin-92	0	107,21	0,1	1,88
juil-92	0	137,16	1,5	0,50

août-92	10	152,41	1,7	0,15
sept-92	0,6	105,95	1,06	0,05
oct-92	19,1	59,08	0,99	0,02
nov-92	33,5	39,72	0,6	0,03
déc-92	21,2	26,98	2,2	0,04
janv-93	<b>100,3</b>	19,1	1,76	5,44
févr-93	<b>57,4</b>	22,41	3	9,61
mars-93	<b>6,2</b>	37,99	0,7	2,57
avr-93	<b>19,3</b>	44,21	2,3	1,25
mai-93	<b>22,2</b>	92,14	2,99	0,67
juin-93	<b>0,2</b>	118,59	1,63	0,20
juil-93	<b>5,6</b>	191,57	0,5	0,06
août-93	<b>0</b>	170,58	0,4	0,02
sept-93	<b>9</b>	83,64	0,6	0,01
oct-93	<b>2</b>	55,7	0,12	0,00
nov-93	<b>71,3</b>	32,16	1,1	0,25
déc-93	<b>3,5</b>	24,32	0,42	0,11
janv-94	28,7	20,57	0,04	0,25
févr-94	68,2	30,5	1,01	3,14
mars-94	176,9	35,41	31	44,59
avr-94	15,1	47,8	5	7,33
mai-94	1,1	95,64	1,1	1,57
juin-94	9	105,47	1,96	0,45
juil-94	0	151,51	1,1	0,14
août-94	3,2	150,12	0,25	0,04
sept-94	36,9	94,5	0,18	0,03
oct-94	30,8	69,13	0,05	0,04
nov-94	33,2	41,62	0,07	0,07
déc-94	13,5	25,92	0,06	0,05
janv-95	75,2	28,99	2,5	1,81
févr-95	94,8	17,81	5,1	13,75
mars-95	100,4	35,45	24	26,43
avr-95	41,5	52,17	8,8	9,87
mai-95	46,3	74,18	5,8	5,27
juin-95	5,3	125,46	1,7	1,26
juil-95	3,1	147,22	0,86	0,35
août-95	3,6	135,83	1,75	0,11
sept-95	12,3	89,04	0,10	0,04
oct-95	32,3	74,62	2,9	0,03
nov-95	19,8	48,9	0,07	0,02
déc-95	63,8	32,29	2,4	0,49
janv-96	102,3	26,84	7	10,02
févr-96	0,2	31,78	1,11	2,20
mars-96	4,4	44,52	1,34	0,68
avr-96	148	59,7	17,3	16,95
mai-96	14,3	80,85	4,3	3,66
juin-96	3,7	112,81	4,4	0,91
juil-96	0,6	131,15	1,45	0,26
août-96	12,1	137,17	1,34	0,08
sept-96	36,1	89,05	0,02	0,05
oct-96	39,8	60,39	0,53	0,09
nov-96	0,8	38,59	0,45	0,03
déc-96	32,3	30,48	0,07	0,05

janv-97	30,1	23,17	0,20	0,15
févr-97	44,5	27,13	2,5	0,90
mars-97	45,3	40,24	3,1	2,16
avr-97	23,2	45,55	7,23	1,30
mai-97	77,8	64,74	11,5	4,49
juin-97	0,4	127,15	0,17	1,05
juil-97	0,6	175,56	0,3	0,30
août-97	0,7	159,9	0,22	0,09
sept-97	78,7	104,75	0,83	0,48
oct-97	38,5	74,95	1,47	0,36
nov-97	57,6	38,83	3,89	0,79
déc-97	67,3	24,7	1	3,60

### Données et résultats de validation du modèle GR2M Turc (Janv98-Déc00)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
janv-98	107,8	41,79	4,19	19,34
févr-98	69,6	48,53	5,53	22,73
mars-98	93,6	61,58	5,93	31,26
avr-98	0	78,28	1,65	8,12
mai-98	0	101,32	1,02	3,24
juin-98	2,3	123,40	1,09	1,59
juil-98	0	138,56	0,5	0,87
août-98	0	128,38	0,28	0,51
sept-98	13,9	97,46	0,08	0,31
oct-98	6,5	74,56	1,1	0,20
nov-98	47,5	49,19	2,1	0,21
déc-98	11	39,53	2,08	0,16
janv-99	0	40,48	0,05	0,11
févr-99	0	40,49	0,03	0,07
mars-99	4,8	59,42	3,51	0,05
avr-99	11,4	82,02	2,15	0,04
mai-99	38,5	112,12	1,31	0,06
juin-99	0	123,20	0,01	0,04
juil-99	0	135,58	0,01	0,03
août-99	0	127,69	0,06	0,02
sept-99	26,9	97,29	3	0,02
oct-99	24,9	71,48	1	0,02
nov-99	73,9	47,65	0,33	0,40
déc-99	74,7	37,17	3,32	3,45
janv-00	65,7	42,43	1,52	9,00
févr-00	48,4	46,54	1,08	10,15
mars-00	6,9	66,33	1,68	4,51
avr-00	4	82,27	1,6	2,18
mai-00	9,2	105,86	0,51	1,21
juin-00	4	126,78	0,41	0,69
juil-00	0,8	137,65	0,22	0,41
août-00	0	120,83	0,11	0,26
sept-00	14,4	85,92	0,06	0,17
oct-00	77,2	62,56	0,31	0,42
nov-00	69	46,57	1,6	1,76

déc-00	39,5	37,17	2,4	2,69
janv-01	1,8	42,43	1,02	1,69
févr-01	7,3	46,54	2,54	1,42
mars-01	27	66,33	3,6	2,61
avr-01	88,7	82,27	2,97	20,03
mai-01	75,1	105,86	5,63	39,69
juin-01	1	126,78	2,16	16,74
juil-01	0	137,65	0,98	10,03
août-01	28,2	128,72	1,53	13,98
sept-01	25,2	97,46	1,31	15,49
oct-01	38,6	69,81	3,26	21,08
nov-01	150,8	47,12	9,68	86,79
déc-01	30,7	42,36	7,14	38,36

### Données et résultats de validation du modèle GR2M Thornthwaite (Janv98-Déc00)

Mois	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit (mm)	Débit simulé
janv-98	107,8	21,9	18,96	20,94
févr-98	69,6	15,98	22,49	19,80
mars-98	93,6	36,77	31,05	26,00
avr-98	0	55,83	8,11	4,81
mai-98	0	100,25	3,23	1,60
juin-98	2,3	126,97	1,59	0,80
juil-98	0	156,87	0,86	0,42
août-98	0	155,4	0,5	0,26
sept-98	13,9	104,68	0,31	0,55
oct-98	6,5	63,86	0,19	0,59
nov-98	47,5	35,68	0,2	4,95
déc-98	11	21,16	0,16	3,65
janv-99	0	16,12	0,1	1,81
févr-99	0	32	0,071	1,04
mars-99	4,8	40,41	0,05	0,91
avr-99	11,4	47,53	0,03	1,24
mai-99	38,5	86,41	0,05	5,00
juin-99	0	136,91	0,038	2,30
juil-99	0	161,34	0,02	1,27
août-99	0	162,03	0,01	0,78
sept-99	26,9	95,13	0,01	2,54
oct-99	24,9	80,59	0,01	4,30
nov-99	73,9	28,02	0,38	8,67
déc-99	74,7	18,56	3,31	27,21
janv-00	65,7	23,54	8,75	24,76
févr-00	48,4	22,74	9,98	17,24
mars-00	6,9	52,13	4,46	5,66
avr-00	4	53,84	2,16	2,63
mai-00	9,2	76,05	1,2	2,03
juin-00	4	144,93	0,68	1,35
juil-00	0,8	169,71	0,41	0,82
août-00	0	162,35	0,25	1,52
sept-00	14,4	104,15	0,16	1,00
oct-00	77,2	55,81	0,4	3,36

nov-00	69	32,26	1,69	3,17
déc-00	39,5	30,55	2,61	16,04
janv-01	1,8	23,1	1,65	5,14
févr-01	7,3	29,13	1,39	3,08
mars-01	27	42,28	2,55	4,79
avr-01	88,7	47,15	19,58	20,73
mai-01	75,1	78,34	39,15	18,07
juin-01	1	133,87	16,68	3,77
juil-01	0	153,45	10,05	1,09
août-01	28,2	133,36	13,98	1,40
sept-01	25,2	105,28	15,47	1,70
oct-01	38,6	90,5	21,03	3,15
nov-01	150,8	29,04	86,29	31,86
déc-01	30,7	22,69	38,4	6,32

## الملخص.

ان الحوض الهيدروغرافي لواد سكاك (241 كيلومتر مربع) -تافنة- هو موضوع اهتمام من النمذجة التساقط والتدفق باستخدام نماذج الهندسة الريفية على المدى السنوي والشهري

أجرينا في البداية توصيف العوامل جيولوجية والفيزيائية والأمطار الحكم المناخي معين، وتدفق بالنسبة لفترة التي تمتد على 1969-2011.

المرحلة الثانية من هذا العمل هي فواصل الأمطار الأساسية اختبارات على الرسومات والأساليب الإحصائية والاختلافات في مؤشر هطول الأمطار القياسية.

وأخيرا حاولنا نموذج الأمطار والسيول لنمذجة الهندسية الزراعية على حوض سكاك الخاضع لمناخ شبه القاحل الذي يقره نهج مترابط. بالإضافة إلى العوامل الأمطار وتدفق أدخلنا عامل التبخر كأحد المعطيات ملتزمين في ذلك حسابات على المدى السنوي والشهري.

وكانت النتائج نوع ما مرضية

كلمات المفتاحية البحث الحوض الهيدروغرافي، سكاك، تافنة، النمذجة، التساقط، التدفق، عامل التبخر

## RESUME :

Le bassin versant de Oued Sikkak (241 km<sup>2</sup>) - La Tafna – a fait l'objet d'une modélisation pluie-debit par l'utilisation des modeles Genie Rural (GR) à deux pas de temps Annuelle et mensuelle.

Nous avons procede dans un premier temps à une caractérisation de quelque facteur en particulier, géologique, physiques, climatiques régissant précipitations et l'écoulement relativea une periode qui s'étale de 1969-2011.

La deuxième phase de ce travail consiste les tests de ruptures des précipitations base sur les méthodes graphiques et statistiques et les variations de l'indice standard des precipitation SPI.

Enfin Nous avons tenté une modélisation pluie- débit modèle du génie rural (GR) sur le bassin de Sikkak soumis à un climat semi-aride écoulée par l'approche corrélative. nous avons introduit en plus des facteurs pluie et débit, le facteur de l'évapotranspiration, au pas de temps annuel et mensuel. Les résultats ont été quelque peu satisfaisants

**Mots clés :** bassin versant, Oued Sikkak, La Tafna, modélisation, pluie-debit, Genie Rural, (GR), ruptures, l'indice standard, SPI, semi-aride, Evapotranspiration,

## ABSTRACT

The watershed of Oued Sikkak (241 km<sup>2</sup>) - La Tafna - was the purpose of a rain-flow modeling by the use of Genie Rural (GR) models at two steps of Annual and monthly time.

We have firstly carried out a characterization of some particular factors, geological, physical, climatic, precipitation and relative flows over a period from 1969-2011.

The second phase of this work consists of precipitation failure tests based on graphical and statistical methods and variations of the standard index of SPI precipitation.

Finally, we tried to modelate a rain-flow which is a global model reservoir or model of genie rural (GR) on the basin of Sikkak (Tafna) submitted on a semi-arid climate viewed by the correlative approac. We have introduced in addition to the factors rain and flow, the factor of evapotranspiration, to the annual and monthly time step. The results obtained are more satisfactory.

Key words: hydrologie, watershed, Sikkak, Tafna, rain-flow, Genie Rural, (GR), standard index, SPI, semi-arid, Evapotranspiration.