



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

## MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE SCIENCES ET TECHNIQUES

FILIERE HYDRAULIQUE

OPTION HYDRAULIQUE

### Thème

HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT :  
CAS DES BASSINS VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET  
OUED SEYBOUSE (SEYBOUSE NE-ALGERIEN)

**Présenté par:**

BENDJEDOU OUSSAMA  
DJEDID KHALED

**Dirigé par:**

M.CHABI MONCEF

**Jury de soutenance:**

**Président :**

- M.HAMMAR YAHIA                      P r                      HYDRAULIQUE                      U.ANNABA

**Examineurs :**

- M.LAOUACHRIA FARES                      M C B                      HYDRAULIQUE                      U.ANNABA

- M.KECHIDA SAID                      M A A                      HYDRAULIQUE                      U.ANNABA

**Rapporteur :**

- M.CHABI MONCEF                      M A A                      HYDRAULIQUE                      U.ANNABA

**Invité :**

- M.SAADANE NACEUR                      M A A                      HYDRAULIQUE                      U.ANNABA

## *Remerciements*

*Le travail présenté dans ce mémoire a été effectués à l'Université Badji-Mokhtar Annaba.*

*Nous remercions tout d'abord notre dieu tout puissant de nous avoir donné toute La patience le courage nécessaire pour accomplir ce travail durant le mois Sacré de ramadhan.*

*Nous remercions surtout Mer. CHABI MONCEF, maître-assistant à l'université d'Annaba Pour avoir encadré cette mémoire et pour le soutien continu qu'il a bien voulu nous accorder tout au long de la mémoire. Nous le remercions pour la façon dont il a su nous mettre en confiance pendant les moments difficiles, pour ses remarques constructives, et pour les aptitudes pédagogiques et sa connaissance parfaite du domaine dont il a fait preuve. Nous le remercions également de son aide importante au moment de la rédaction de ce mémoire. Nous lui exprimons toute notre gratitude pour son expérience, son art de la multi-compétence, son soutien inconditionnel et ses qualités humaines. Sans elles, ce travail n'aurait peut-être pas abouti.*

*Nous remercions tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail : pour avoir accepté d'être les examinateurs du mémoire, pour l'intérêt qu'ils y ont porté, et pour les différentes remarques constructives dont ils ont fait preuve dans leur rapport.*

*Nos remerciements vont également à tout le personnel du département d'hydraulique, les enseignants, le personnel administratif, les doctorants, et aussi tous nos camarades sans exception.*

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

## المخلص:

إن دراسة العلاقات التي تربط التساقط بالجريان في الأودية عملية ذات أهمية خاصة و ذلك في العديد من التطبيقات العملية في مجال تسيير الموارد المائية. و بغرض معرفة و فهم أوضوح لهيدرولوجيا الحوض المائي لوادي الرسول و وادي سيبوس (شمال شرق - الجزائر) قمنا بتطبيق نموذج التساقط-جريان مياه التدفق وهو النموذج الشامل للخران أو نموذج الهندسة الريفية على حوض واد الرسول و وادي سيبوس. قبل ذلك استعملنا نموذج العلاقات الرياضية البسيطة, والتي لم تعطي النتائج المرجوة ذلك أن هذا النوع من النماذج لا يستعمل كل المعطيات التي تؤثر في ظاهرة الجريان. في هذه الدراسة, ارتأينا أن نركز على تطبيق نموذج الهندسة الريفية قمنا بالحسابات و ذلك على المدى السنوي حيث أدخلنا عامل التبخر كأحد المعطيات بالإضافة إلى عاملي التساقط و التدفق. بعد ضبط النماذج المحصل عليها قمنا بإثبات صحة هذه النتائج بهدف إيجاد النموذج الفعال و النتائج كانت مرضية جدا مع بيانات أمطار التساقط, إن النتائج المحصل عليها تثبت أن هذا النموذج 'الهندسة الريفية' يعتمد على مبادلات الغلاف الجوي – باطن الأرض وكذا سعة الخزان الجوفي, مما أكسبه نجاعة أكثر و فعالية إضافية في الأداء, لذا ينصح باستعماله.

**الكلمات المفتاحية:** الهيدرولوجيا, الحوض المائي, واد سيبوس, النموذج, التساقط – التدفق, نموذج الهندسة الريفية, السنوي.

## Résumé :

Pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique des bassins versants de Oued Ressoul et Oued Seybouse, nous avons tenté dans ce travail l'application de la modélisation pluie- débit en utilisant un modèle global à réservoir : le modèle du Génie rural « GR ».

Les modèles hydrologiques globaux permettent de simuler la transformation de la pluie en débit sur des bassins naturels, pour de nombreuses applications pratiques dans le domaine de la gestion de la ressource en eau. Ce travail basé sur la modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle, est appliqué aux bassins versants d'Oued Ressoul et Oued Seybouse (Nord Est algérien). Nous avons tenté une modélisation pluie-lame d'eau écoulée par l'approche corrélatrice.

L'application du modèle GR dont les paramètres d'entrée sont les précipitations et l'ETP (calculée par trois méthodes différentes en l'occurrence celles de Thornthwaite, Turc et ANRH pour le modèle annuel) et le paramètre de sortie est constitué par les lames d'eau écoulées.

La phase du calage du modèle GR donne des résultats très appréciables. Pour tester la validité de l'ajustement obtenu du calage, il est nécessaire de juger les performances du modèle sur une période différente de celle ayant servi à ajuster les paramètres du modèle.

**Mots clés :** Hydrologie, bassin versant, Oued Seybouse, Modélisation, pluie-Débit, Modèle, GR1A.

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

**ABSTRACT :**

For a better understanding of the hydrological behavior of Ressoul Wadi and Seybouse Wadi watershed, we attempted, in this work, the application of rainfall-runoff modeling using a global model for reservoir: the Agricultural Engineering model "GR".

The global hydrological models can simulate the transformation of rainfall into runoff in natural basins, for many practical applications in the field of water resources management. This work is on a yearly, monthly and daily rainfall-runoff modeling basis, applied to ressoul wadi and seybouse watershed (NE Algeria). We tried a rainfall-depth of runoff modeling by correlation approach.

Application of the GR model which input parameters are rainfall and évapotranspiration (calculated by two different methods: for annual models Thornthwaite, Turc and ANRH methods) and the output parameter is given by the runoff.

**Keywords:** Hydrology, Watershed, Wadi seybouse Modeling , Rain-flow, Model, GR1A.

# Sommaire

**Remerciements**

**RESUME**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**INTRODUCTION GENERALE ..... 1**

**Chapitre I : Présentation de la zone d'étude**

I.1. Situation géographique de la région d'Annaba.....2

I.1.1. Localisation.....2

I.2. Topographie et relief .....2

I.3. Situation climatique..... 3

I.3.1. Climat.....3

I.3.2. Les températures annuelles et leur variabilité interannuelle .....3

I.4. Géomorphologie du bassin versant .....4

I.5. L'organisation du réseau hydrographique..... 5

I.6. Caractéristique morphométrie .....6

I.6.1. La surface.....6

I.6.2. Le périmètre :.....6

I.6.3. Les affluents de l'oued Seybouse caractérisés par leurs profils en long.....7

I.6.3.1 Profil en long de l'oued Seybouse et l'oued Ressoul .....7

I.6.3.2. Altitudes des bassins jaugés ..... 8

I.7. Paramètre de forme..... 9

I.7.1. indice de compacité de Gravelius (Kc).....9

I.7.2. Rectangle équivalent ..... 10

I.8. Conclusion ..... 11

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

**Chapitre II : Etude pluviométrique**

|   |    |
|---|----|
| II.1. Introduction .....  | 12 |
| II.2. Généralité .....  | 12 |
| II.3. Mécanismes de formation des précipitations .....                | 12 |
| II.4. Types des précipitations .....                                  | 13 |
| II.4.1. Les précipitations convectives .....                          | 13 |
| II.4.2. Les Précipitations orographiques .....                        | 14 |
| II.4.3. Les Précipitations cycloniques .....                          | 14 |
| II.5. Régime des précipitations .....                                 | 16 |
| II.6. Mesures des précipitations .....                                | 18 |
| II.6.1. Le pluviomètre .....  | 18 |
| II.6.2. Le Pluviographe .....   | 18 |
| II.7. Etude des précipitations .....                                  | 19 |
| II.7.1. Précipitations moyennes mensuelles d'Annaba .....             | 19 |
| II.7.1.1 Précipitation moyenne mensuelle Ain Berda (1970-2008).....   | 20 |
| II.7.1.2. Précipitation moyenne mensuelle Kef Mourad (1970-2008)..... | 21 |
| II.7.2. Précipitations moyennes annuelles d'Annaba (1970-2008).....   | 21 |
| II.7.2.1 Précipitations moyennes annuelles d'Ain Berda.....           | 21 |
| II.7.2.2. Précipitations moyennes annuelles de Kef Mourad .....       | 22 |
| II.8. Conclusion.....   | 24 |

**Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad**

|   |    |
|---|----|
| III.1. Introduction .....                         | 25 |
| III.2. Présentation des lois d'ajustement .....   | 25 |
| III.3. Méthode d'ajustement .....                 | 25 |
| III.4. Procède d'ajustement .....                 | 25 |
| III.4.1. Présentation du logiciel « HYFRAN »..... | 26 |
| III.4.2. Définition de période de retour .....    | 26 |
| III.5. Méthodologie de travail.....               | 26 |

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

|   |    |
|---|----|
| III.6. Ajustement des précipitations max annuelles de la station Ain Berda .....    | 27 |
| III.6.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel.....               | 27 |
| III.6.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Weibull (A.B) .....      | 29 |
| III.6.3. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Normale .....               | 30 |
| III.6.4. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Log Normale .....           | 32 |
| III.6.5. Comparaison les lois d'Ajustements pour la Station d'Ain Berda.....        | 33 |
| III.7.Ajustement des précipitations max annuelles de la Station de Kef Mourad.....  | 34 |
| III.7.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel .....             | 34 |
| III.7.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Weibull (K.F) .....      | 36 |
| III.7.3. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Normale .....               | 37 |
| III.7.4. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Log Normale .....           | 38 |
| III.7.5. Comparaison les lois d'Ajustements pour la Station Kef Mourad .....        | 40 |
| III.8. Conclusion .....   | 41 |
| <b>Chapitre IV : MODELISATION PLUIE-DEBIT</b>                                       |    |
| IV.1.Introduction.....  | 42 |
| IV.2. Objectif de la modélisation.....  | 42 |
| IV.3. Classification des modèles.....   | 43 |
| IV .3.1 Le modèle déterministe.....   | 44 |
| IV .3.2 Le modèle probabiliste.....   | 44 |
| IV.3.2.1 Le modèle statistique et stochastique.....                                 | 45 |
| IV .3.3 Le modèle événementiel.....   | 45 |
| IV .3.4 Le modèle global ou distribué.....  | 45 |
| IV .3.5 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques..... | 45 |
| IV .3.6.1 La modélisation de type boîte noire.....                                  | 45 |
| IV .3.6.2 Un modèle hydrologique à base physique .....                              | 46 |
| IV .3.6.3 Un modèle à réservoir.....  | 46 |
| IV .3.7. Les modèles génie rural GR.....  | 46 |
| IV .3.8. Le calage et validation d'un modèle.....                                   | 46 |

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

|  |           |
|--|-----------|
| IV .3.8.1. Critères de qualité.....  | 46        |
| IV .3.9. Objectifs de développement.....                                     | 47        |
| IV .3.10. Mode de développement.....   | 47        |
| IV .3.11. Le modèle pluie-débit annuel GR1A.....                             | 48        |
| IV .3.12. Commentaires et critiques du modèle GR1A.....                      | 48        |
| IV .3.12.1. Description mathématique.....                                    | 48        |
| IV .3.12.2 Paramètre.....  | 48        |
| IV .4 modélisation par corrélation (précipitations/lames d'eau écoulée)..... | 49        |
| IV .4 .1.Corrélation annuelle.....   | 49        |
| IV .4 .2. Analyse et interprétation.....                                     | 53        |
| IV .5. Application du modèle GR.....   | 53        |
| IV .5.1. Modèle annuel GR1A.....   | 53        |
| IV .5.2.L'évapotranspiration potentielle annuelle.....                       | 53        |
| IV .5.2.1 Evaluation de l'E.T.P. Thornthwaite.....                           | 54        |
| IV .5.2.2.L'E.T.P. Turc.....   | 55        |
| IV .5.2.3.L'E.T.P. A.N.R.H.....  | 55        |
| IV .5.3.l'E.T.P. annuelle Thornthwaite, Turc et E.T.P.A.N.R.H. d'Annaba..... | 56        |
| IV .5.4.Calage du modèle GR1A.....   | 56        |
| IV.6. Conclusion.....  | 57        |
| <b>CONCLUSION GENERALE.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>                                      | <b>60</b> |
| <b>ANNEXES.....</b>  | <b>62</b> |



**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

**LISTE DES TABLEAUX**

| <b>Chapitre</b> | <b>N °</b>                                       | <b>Liste des tableaux</b>   | <b>Page</b> |
|-----------------|--|---|-------------|
| I               | 1  | Températures moyennes mensuelles (1973-2006) de la station des Salines.   | 3           |
|                 | 2  | Les données hypsométriques et les altitudes caractéristiques des bassins versants (D'après Mebarki, 2005 et Annuaire hydrologiques de l'A.N.R.H.) | 9           |
| II              | 3  | Régimes pluviométriques du monde  | 17          |
|                 | 4  | Précipitation moyenne mensuelle Ain Berda   | 19          |
|                 | 5  | Précipitation moyenne mensuelle Kef Mourad  | 20          |
|                 | 6  | Précipitations moyennes annuelles d'Ain Berda (1970-2008)   | 21          |
|                 | 7  | Précipitations moyennes annuelles de Kef Mourad (1970-2008)   | 23          |
| III             | 8  | Caractéristiques des stations   | 26          |
|                 | 9  | Caractéristique de l'échantillon  | 28          |
|                 | 10   | Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel (M.V)   | 28          |
|                 | 11   | Caractéristique de l'échantillon  | 29          |
|                 | 12   | Résultats d'ajustement à la loi de Weibull (M.V)  | 29          |
|                 | 13   | Caractéristique de l'échantillon  | 31          |
|                 | 14   | Résultats d'ajustement à la loi Normale   | 31          |
|                 | 15   | Caractéristique de l'échantillon  | 32          |
|                 | 16   | Résultats d'ajustement à la loi Log Normale   | 32          |
|                 | 17   | Critère de comparaison des lois (toutes égales)   | 34          |
|                 | 18   | Caractéristique de l'échantillon  | 35          |
|                 | 19   | Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel (M.V)   | 35          |
|                 | 20   | Caractéristique de l'échantillon  | 36          |
|                 | 21   | Résultats d'ajustement à la loi de Weibull (M.V)  | 36          |
| 22              | Caractéristique de l'échantillon                 | 37  |             |
| 23              | Résultats d'ajustement à la loi de Normale (M.V) | 38  |             |
| 24              | Caractéristique de l'échantillon                 | 39  |             |
| 25              | Résultats d'ajustement à la loi log normale      | 39  |             |
| 26              | Critère de comparaison des lois (toutes égales)  | 40  |             |
| IV              | 27   | Résultats des différentes corrélations entre les deux paramètres pluie et la lame d'eau écoulée annuelle  | 49          |
|                 | 28   | l'E.T.P. annuelle Thornthwaite, Turc et E.T.P.A.N.R.H. d'Annaba   | 56          |
|                 | 29   | Résultat du calage du modèle GR1A   | 56          |

| <b>Annexe</b> | <b>Liste des tableaux</b>                   | <b>Pages</b> |
|---------------|---|--------------|
| <b>3</b>      | Données du modèle GR1A (Station Kef Mourad) | 68           |
| <b>4</b>      | Données du modèle GR1A (Station Ain Berda)  | 69           |

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

**LISTE DES FIGURES**

| <b>Chapitre</b> | <b>N °</b> | <b>Liste des figures</b>  | <b>Pages</b> |
|-----------------|------------|---|--------------|
| I               | 1          | Situation géographique de la zone d'étude                               | 2            |
|                 | 2          | Histogramme des Variations des températures moyennes inter-mensuelles   | 3            |
|                 | 3          | Variations des températures moyennes annuelles, station d'Annaba        | 4            |
|                 | 4          | Position du bassin-versant de la Seybouse en Algérie                    | 5            |
|                 | 5          | Réseau hydrographique de la zone d'étude                                | 6            |
|                 | 6          | Caractéristique morphométrie de la zone d'étude                         | 7            |
|                 | 7          | Profil en long de l'oued Ressoul et de ses affluents                    | 8            |
|                 | 8          | Profil en long de l'oued Seybouse (d'après Ghachi, 1986)                | 8            |
|                 | 9          | Les différentes formes des bassins versants selon l'indice de compacité | 10           |
| II              | 10         | Les précipitations convectives  | 13           |
|                 | 11         | Précipitations orographiques  | 14           |
|                 | 12         | Front chaud et froid  | 15           |
|                 | 13         | Nuage et précipitation associés à un front chaud et froid               | 16           |
|                 | 14         | Pluviomètre de Heilmann   | 18           |
|                 | 15         | Pluviographe, augets basculeurs et système d'enregistrement MADD        | 19           |
|                 | 16         | Histogramme des Précipitations moyennes mensuelles                      | 20           |
|                 | 17         | Histogramme des Précipitations moyennes mensuelles                      | 20           |
|                 | 18         | Histogramme des Précipitations moyennes annuelles                       | 22           |
|                 | 19         | Histogramme des Précipitations moyennes annuelles                       | 24           |
| III             | 20         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Gumbel (A.B)   | 28           |
|                 | 21         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Weibull (A.B). | 30           |
|                 | 22         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi normale (A.B).    | 31           |
|                 | 23         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi Log Normale(A.B). | 33           |
|                 | 24         | Comparaison des Ajustement des lois statistiques(A.B)                   | 33           |
|                 | 25         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Gumbel (K.M)   | 35           |
|                 | 26         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Weibull (K.M). | 37           |
|                 | 27         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi normale (K.M).    | 38           |
|                 | 28         | Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi Log Normale(K.M). | 39           |
|                 | 29         | Comparaison des Ajustement des lois statistiques (K.M).                 | 40           |
| IV              | 30         | Composants d'un modèle (Singh, 1995).                                   | 43           |
|                 | 31         | Classification des modèles proposée par Singh (1995).                   | 44           |

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

|    |    |  |    |
|----|----|--|----|
| IV | 32 | Variation interannuelle des hauteurs des pluies moyennes (Kef Mourad) et des lames d'eau écoulées                        | 49 |
|    | 33 | annuelle (La moyenne des précipitations de Kef Mourad)   | 51 |
|    | 34 | Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulée annuelle (La moyenne des précipitations d'Ain Berda) | 52 |

| Annexe   | N ° | Liste des figures  | Pages |
|----------|-----|--|-------|
| <b>1</b> | 35  | Calage GR1A de la station Kef-Mourad( <b>Thornthwaite</b> )  | 62    |
|          | 36  | Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station de Kef-Mourad( <b>Thornthwaite</b> ) | 62    |
|          | 37  | Calage GR1A de la station Kef-Mourad ( <b>Turc</b> )   | 63    |
|          | 38  | Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Kef-Mourad ( <b>Turc</b> )           | 63    |
|          | 39  | Calage GR1A de la station Kef-Mourad( <b>A.N.R.H</b> )   | 64    |
|          | 40  | Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Kef-Mourad ( <b>A.N.R.H</b> )        | 64    |
| <b>2</b> | 41  | Calage GR1A de la station Ain Berda ( <b>Thornthwaite</b> )  | 65    |
|          | 42  | Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Ain Berda( <b>Thornthwaite</b> )     | 65    |
|          | 43  | Calage GR1A de la station Ain Berda ( <b>Turc</b> )  | 66    |
|          | 44  | Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Ain Berda( <b>Turc</b> )             | 66    |
|          | 45  | Calage GR1A de la station Ain Berda ( <b>A.N.R.H</b> )   | 67    |
|          | 46  | Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Ain Berda( <b>A.N.R.H</b> )          | 67    |

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE- NE ALGERIEN)**

---

**INTRODUCTION GENERALE**

Avec l'augmentation des besoins en eau liés à la poussée démographique, la croissance urbaine, les besoins industriels et agricoles, la gestion de l'eau est devenue une préoccupation majeure du pays.

L'Algérie, qui appartient à la diagonale aride, est soumise, en plus de la relative faiblesse des précipitations, à leur très grande variabilité spatiale et temporelle.

Ce sont les données pluviométriques et géologiques (structurales) qui expliquent l'inégale répartition spatiale des ressources en eau.

La région Est de l'Algérie bénéficie d'une pluviométrie plus importante que le reste du pays. Ce sont les grands types de circulation qui expliquent ce phénomène. L'Algérie du Nord est moins fréquemment sujette aux flux d'Ouest qu'aux flux d'Ouest et du Nord-Ouest qui viennent sur le Tell Est après avoir traversé l'isthme Gascogne-Méditerranée (Côte, 1996).

Schématiquement, les ressources en eau en Algérie se différencient en fonction des grandes zones structurales. Les eaux de surface correspondent plus à la zone tellienne. C'est la zone des grands bassins-versants à écoulement exoréique (Chellif, Tafna, Macta, Soummam, Kébir-Rhumel, Seybouse). Les eaux souterraines se localisent plus dans les zones des Hautes Plaines et du Sahara (Côte, 1996), même si les écoulements ne sont pas absents: oueds dans le bassin du Hodna, les bassins du versant Nord des Aurès et sur le piémont saharien des Aurès.

La région Est bénéficie certes d'une pluviométrie plus importante mais les surfaces des plaines sont limitées et elles ont subi une diminution du fait de l'urbanisation à l'exemple des plaines d'Annaba et de Jijel.

L'objectif de cette étude est fourni aux agents utilisateur des ressources en eau un outil permet de contrôler les variations des précipitations au niveau du bassin versant du Seybouse .on Testant quelque lois d'ajustement, à fin de la classer par ordre d'adéquation entre deux stations pluviométriques ont une différence d'altitude, il s'agit de la station de Ain Berda (55m) et celle de Kef Mourad (10 m).

Cette recherche est structurée en quatre chapitres :

Le premier chapitre, donne une présentation du site d'étude, ainsi qu'un aperçu géologique et morphologique sur le bassin versant.

Le second chapitre, donne un aperçu sur la variation mensuelle et annuelle des précipitations au niveau des deux stations (Ain Berda et Kef Mourad).

Dans le troisième chapitre, nous avons essayé de faire sortir la loi la plus adéquate on utilise les lois : Normale, log Normale, Gumbel et Weibull, avec des séries de précipitation annuelles.

Enfin, le quatrième chapitre présente l'état de l'art de la modélisation pluie-débite porte sur l'application du modèle GR1A, sur les données relatives au bassin versant d'Oued Ressoul et Oued Seybouse.

### I.1. Situation géographique de la région d'Annaba :

#### I.1.1. Localisation :

Annaba anciennement Bône durant la période de la colonisation française et Hippone dans l'Antiquité) est la quatrième ville d'Algérie en nombre d'habitants après la capitale Alger, Oran et Constantine. Chef-lieu de la wilaya d'Annaba, Annaba est située à 152 km au nord-est de Constantine, à 536 km à l'est d'Alger et à environ 100 km à l'ouest de la frontière tunisienne. Elle est également une métropole littorale dont la population dépasse 600 000 habitants.

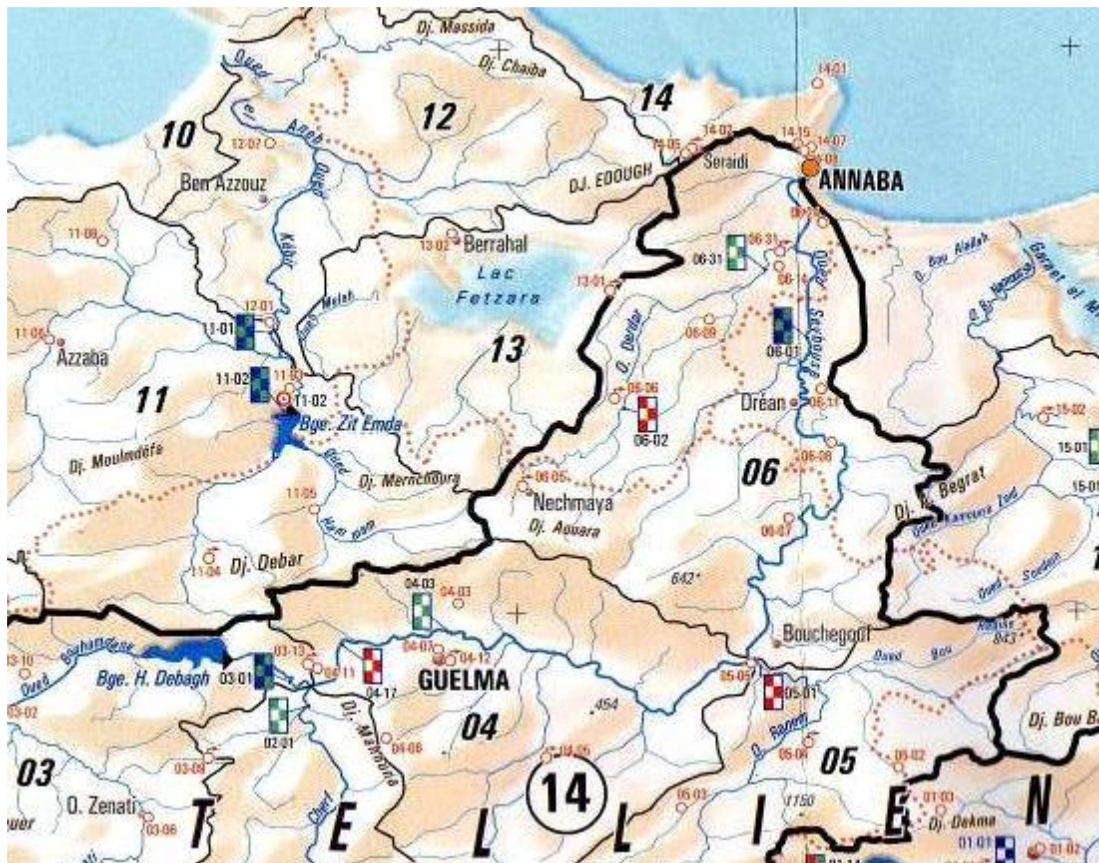


Figure.1: Situation géographique de la zone d'étude

#### I.2. Topographie et relief :

L'étude géomorphologique donne une idée sur les possibilités aquifères des formations et leurs sources d'alimentation. Au niveau de la région d'Annaba, nous distinguons trois formes morphologiques distinctes, il s'agit de la plaine d'Annaba, le cordon dunaire et les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Belleleita au Sud Ouest et Bouhamra au Sud. I. Les montagnes Au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer s'élève l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough témoin des événements géologiques et tectoniques complexes. La masse principale de ce massif qui a l'allure d'un dôme anticlinal est limitée au sud ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'est par la plaine d'Annaba et au nord par la mer. La ligne de crête longue et relativement rectiligne suit une direction sud-ouest, nord-est en débutant de la bordure du lac Fetzara au

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

sud-ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à koudiet El-Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa (point culminant) puis s'abaisse régulièrement pour s'achever par la presqu'île du cap de garde.

### I.3.Situation climatique :

#### I.3.1. Le Climat :

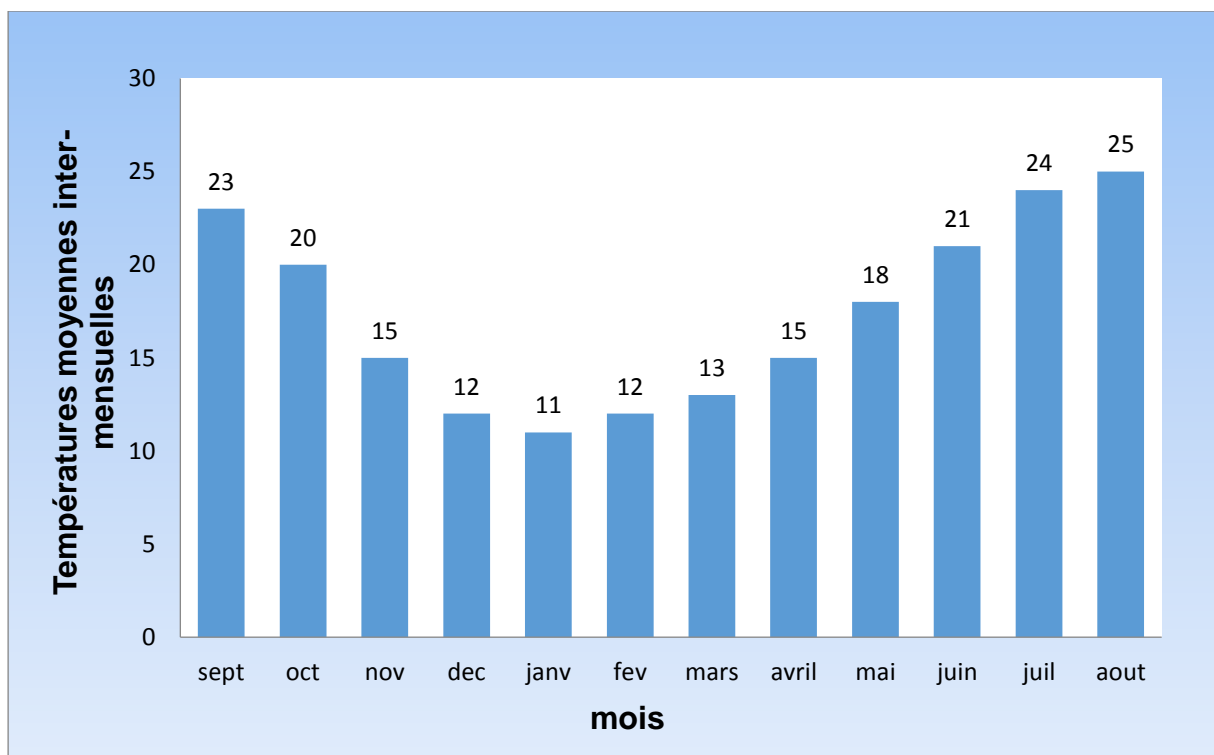
Annaba bénéficie d'un climat méditerranéen. Elle est connue pour ses longs étés chauds et secs. Les hivers y sont doux et humides ; les jours de neige sont rares. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août.

#### I.3.2. Les températures annuelles et leur variabilité interannuelle :

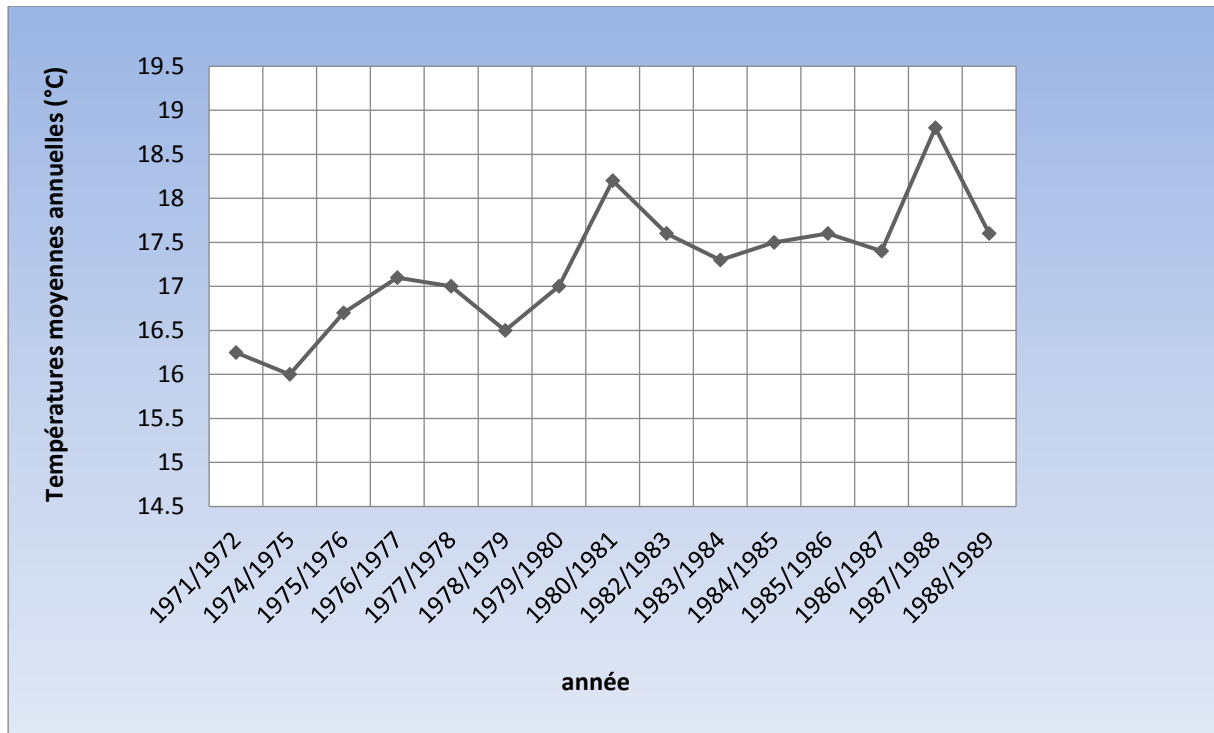
La température est un facteur très important régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données des températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station des Salines sur une période de 33 ans (1973/2006)

**Tableau 1 :** Températures moyennes mensuelles (1973-2006) de la station des Salines.

| Mois            | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Jan | Fév. | Mar | Avar | Mai | Juin | Juil. | Août |
|-----------------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-------|------|
| Station salines | 23  | 20   | 15   | 12   | 11  | 12   | 13  | 15   | 18  | 21   | 24    | 25   |



*Figure.2: Histogramme des Variations des températures moyennes inter-mensuelles*



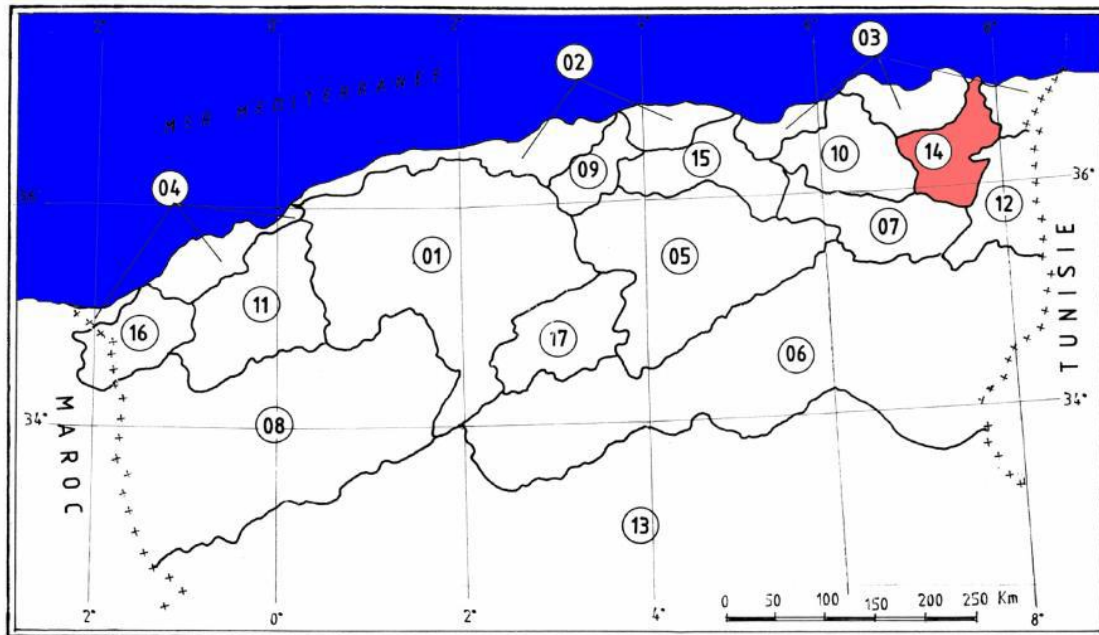
*Figure .3: Variations des températures moyennes annuelles, station d'Annaba*

La moyenne annuelle de la station de Annaba; 17.19 °C, écart-type : 0.65 °C (Coefficient de variation de 3.76 %)

#### **I.4. Géomorphologie du bassin versant :**

Le bassin-versant de la Seybouse présente à l'instar des bassins à écoulement exoréique de l'Algérie orientale (Kébir-Rhumel, Soummam, etc....) une extension latitudinale importante. Les limites méridionales du bassin sont à 120 km de la mer à vol d'oiseau (*Figure.4*).

De ce fait, les milieux physiques et les caractéristiques climatiques et bioclimatiques Connaissent une diversité à partir du bassin amont situé dans les Hautes Plaines jusqu'au Littoral, ce qui entraîne des répercussions aussi bien sur les écoulements que sur les Aménagements.



*Figure.4: Position du bassin-versant de la Seybouse en Algérie*

La région étudiée se situe à l'aval du sous bassin versant de la Seybouse, est traversée par les oueds Kébir Est, Bounamoussa, Seybouse et son affluent principal l'Ouest le Ressoul. Ces oueds proviennent des régions situées en dehors des limites de la zone d'étude. Pour quantifier les apports se faisant par chaque cours d'eau nous sommes intéressés aux dépouillements des résultats des jaugeages réalisés. Notons que d'autres oueds, de moindre importance, traversent également la zone étudiée, il s'agit :

- L'oued Meboudja qui draine le lac Fetzara.
- L'oued Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l'oued Seybouse.

### **I.5.L'organisation du réseau hydrographique:**

La partie montagneuse, constituée par une ligne de crête longue et relativement rectiligne selon une direction Sud-ouest, Nord Est, caractérisée par des versants raides constitués généralement de roches dures est sillonnée par un important réseau hydrographique dense et ramifié (chaabets, " cht. Bellareau, cht. Aouech ") à écoulement torrentiel temporaire.

Ces chaabets convergent vers l'aval pour former des oueds dans les eaux atteignant difficilement la mer à l'Est et au Nord Ouest en raison de la faible pente de la plaine et de la barrière dunaire littorale, causant parfois des inondations importantes. La zone étudiée appartient au sous bassin versant de l'oued Boudjemàa. Ce sous bassin forme la terminaison Est du massif de l'Edough et est limité par la ligne des crêtes de Bouzizi, Séraïdi, Col des Chacals au Nord et au Nord Ouest, de Bellileita au Sud et au Sud- ouest et de Bouhamra à l'Est. Il forme actuellement un réseau hydrographique indépendant après la déviation de l'embouchure de l'oued Seybouse en 1970 dont il faisait partie. L'oued Boudjemàa est le collecteur principal de ce sous bassin. Il reçoit à la hauteur de l'agglomération de Bouhamra les eaux du canal de Kef N'Sour (collecteur de l'oued Bouhdid, Sidi Harb et Forcha) avant de rejoindre la mer entre la cité Seybouse et le complexe industriel « ASMIDAL ». Avant sa



## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

dévié cet oued passait au pied du massif de Kef N'Sour puis sous la butte de la basilique Saint Augustin pour se jeter en mer. Le réseau hydrographique se compose au Sud Ouest par les sous bassins des oueds Forcha, Sidi Harb et Bouhdid qui constituent en aval un cours d'eau unique qui se branche sur l'oued Boudjemaa par le biais du canal de déviation de Kef N'Sour. Le collecteur principal de ces oueds connu sous le nom d'oued Dheb coule à présent dans le sens Nord, vers la mer à l'Est, après la déviation qui consistait à le raccorder à l'oued Boudjemaa à travers les collines de Kef.

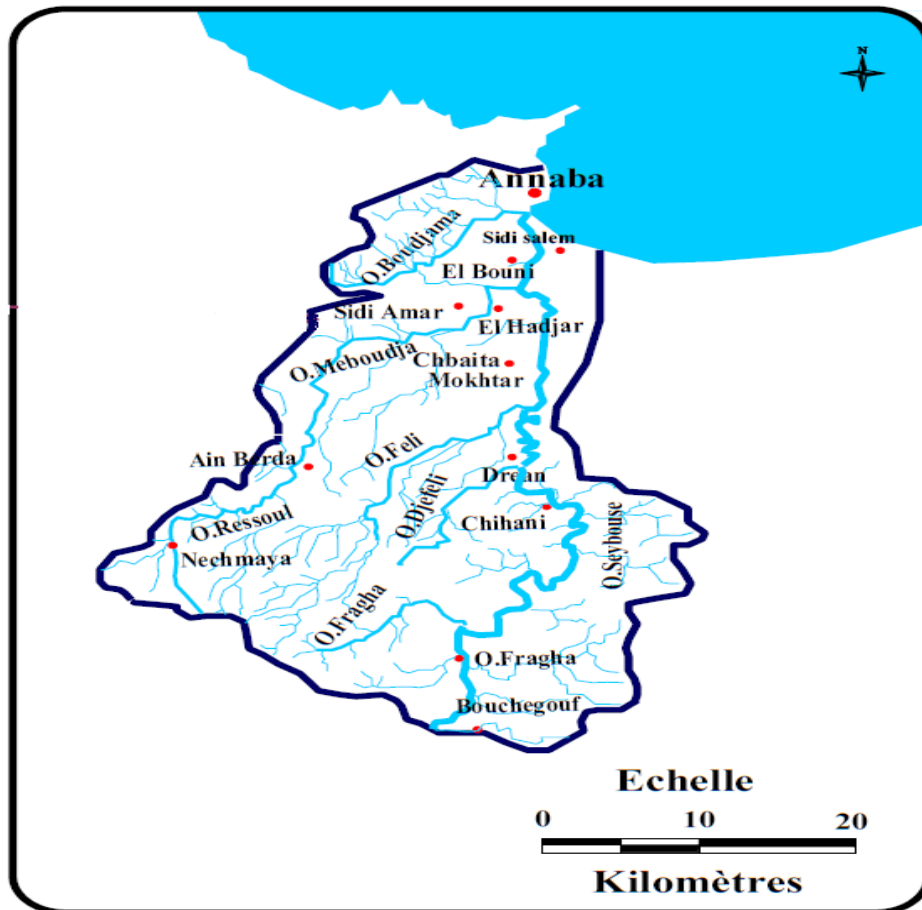


Figure.5: Réseau hydrographique de la zone d'étude

### I.6. Caractéristique morphométrie :

#### I.6.1. La surface :

La superficie du bassin versant [14.06] est évaluée par planimétrie de la surface topographique limitée par les lignes de crêtes et drainée par son cours d'eau et ses affluents elle est de  $S_T = 1043 \text{ km}^2$  (Figure.6).

Soued seybouse =  $558.6 \text{ km}^2$

Soued ressoul =  $107.6 \text{ km}^2$

#### I.6.2. Le périmètre :

Le périmètre du bassin versant [14.06] est mesuré à l'aide d'un curvimètre, la valeur obtenue est  $P = 166.80 \text{ km}$  (Figure.6).

$P_{\text{oued resoull}} = 46.46 \text{ Km}$

$P_{\text{oued seybose}} = 104.90 \text{ Km}$

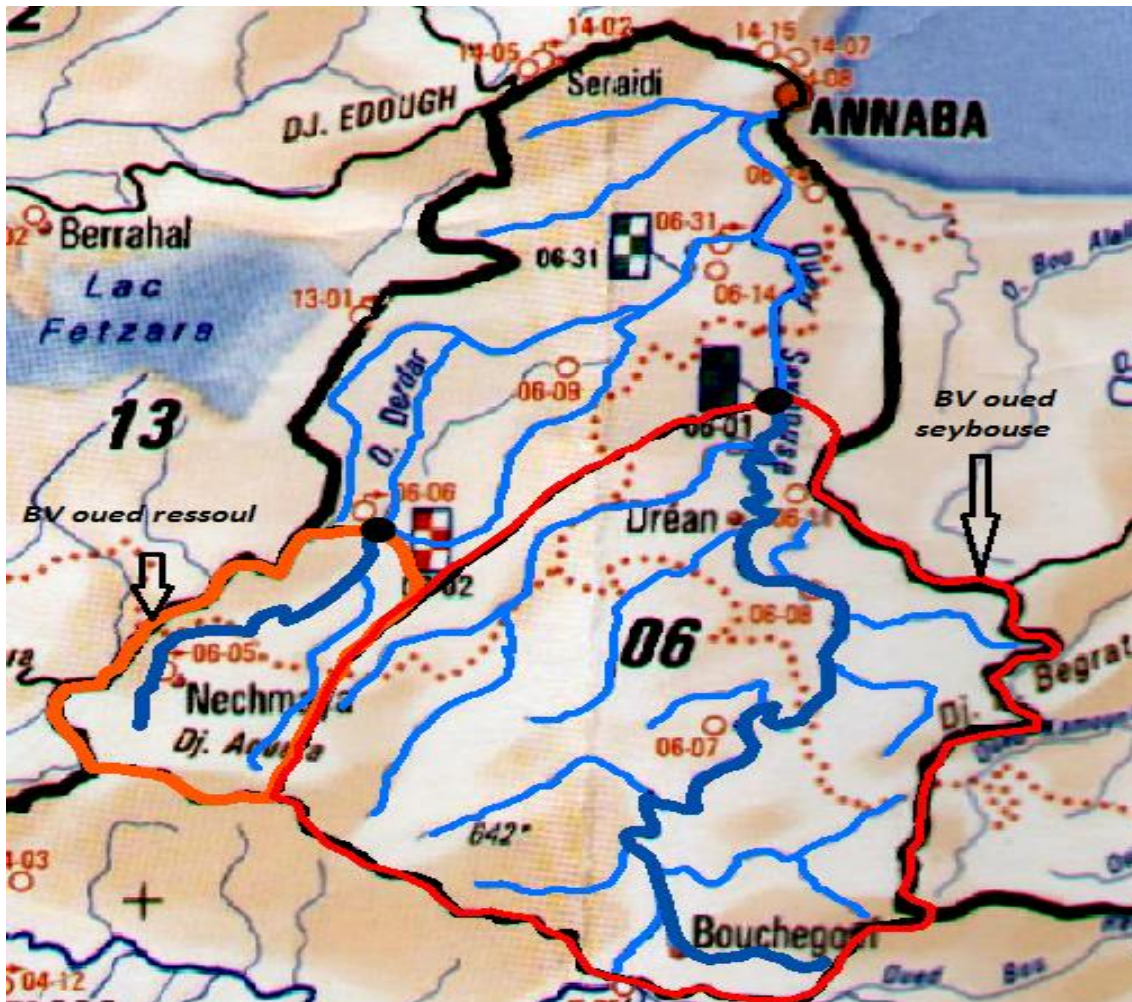


Figure.6 : Caractéristique morphométrique de la zone d'étude

### I.6.3. Les affluents de l'oued Seybouse caractérisés par leurs profils en long :

#### I. 6.3.1 Profil en long de l'oued Seybouse et l'oued Ressoul

Le bassin de l'oued Ressoul à Ain Berda est localisé au sein de la Chaîne numidique.

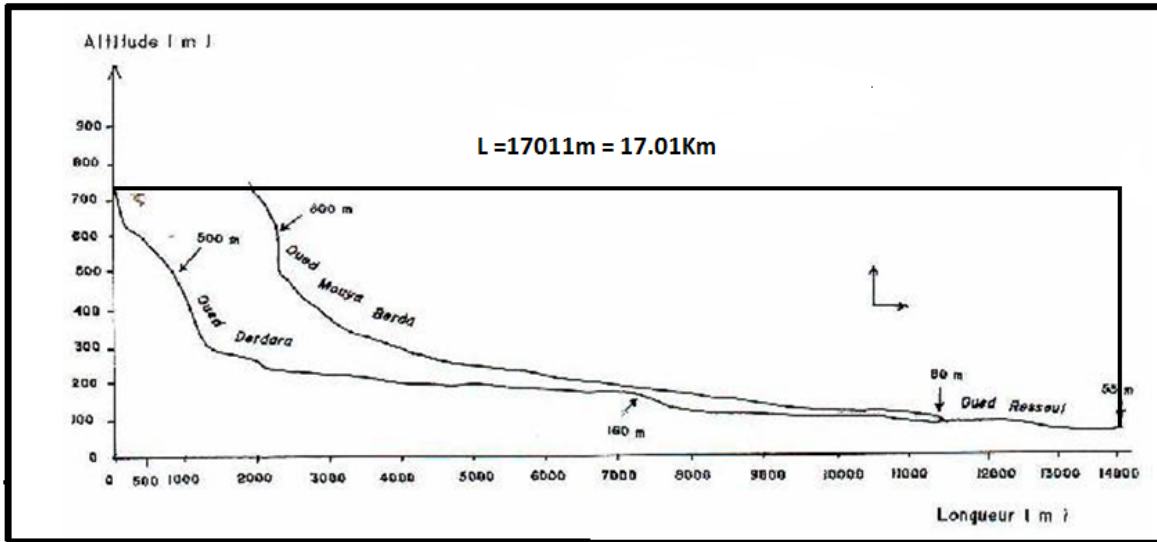


Figure.7: Profil en long de l'oued Ressoul et de ses affluents

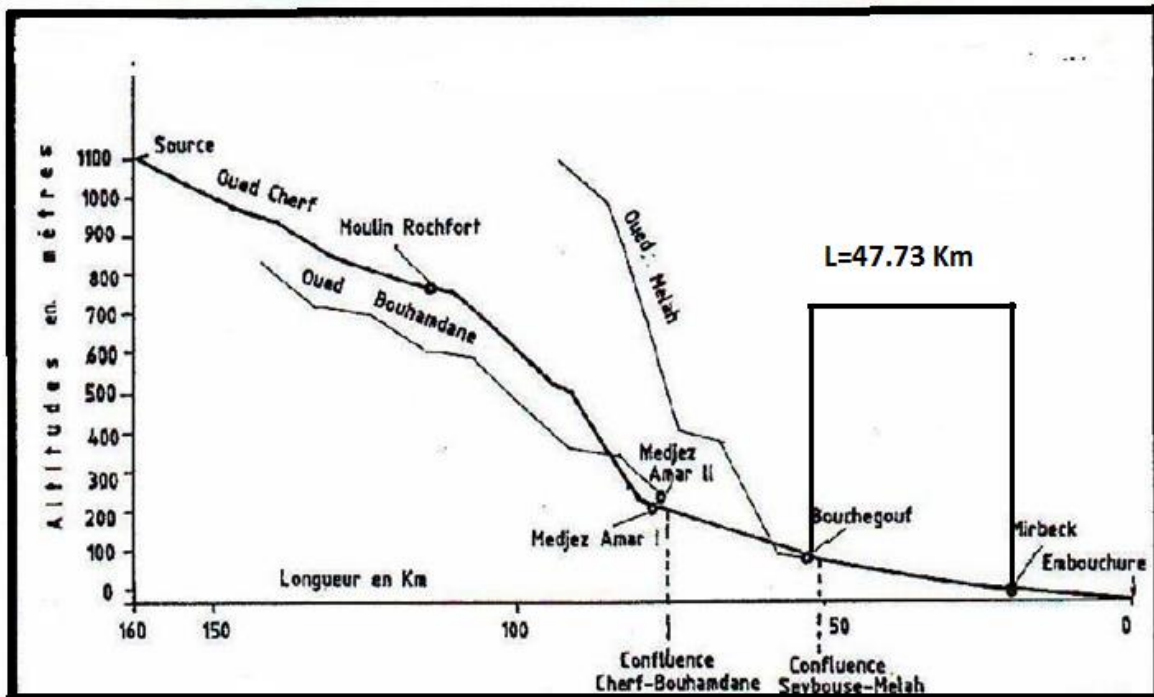


Figure.8: Profil en long de l'oued Seybouse (d'après Ghachi, 1986)

### I.6.3.2. Altitudes des bassins jaugés :

Les données hypsométriques et les altitudes caractéristiques des bassins-versants aux stations hydrométriques sont déterminées à partir des courbes hypsométriques et celles des fréquences altimétriques après la délimitation des bassins et les mesures concernant les surfaces (surface comprises entre les courbes de niveau, surface totale) et périmètre du bassin

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

**Tableau 2 :** Les données hypsométriques et les altitudes caractéristiques des bassins versants (D'après Mebarki, 2005 et Annales hydrologiques de l'A.N.R.H.)

| Bassin        | Station hydrométrique | Surface(Km <sup>2</sup> ) | H min (m) | H max (m) |
|---------------|-----------------------|---------------------------|-----------|-----------|
| Oued Ressoul  | Ain Berda             | 107.6                     | 55        | 927       |
| Oued Seybouse | Mirbeck               | 558.6                     | 10        | 1635      |

- L'altitude maximale: H max (m)
- L'altitude minimale : H min (m)

### I.7. Paramètre de forme :

#### I.7.1. Indice de compacité de Gravelius (K<sub>c</sub>) :

Caractéristique de forme la plus utilisée est le "coefficient K<sub>c</sub> de Gravelius". Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface (appelée aussi coefficient de capacité), il est calculé par la formule suivante (*Figure.9*).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

Alculé par la formule suivante :

**P** : périmètre du bassin versant en km ;

**A** : surface du bassin versant en km<sup>2</sup> ;

**Exemple s d'indice de compacité :**

$$K_c = 0.28 \frac{46.46}{\sqrt{107.6}} = 1.25 \dots \dots \dots \text{OUED RESSOUL}$$

$$K_c = 0.28 \frac{104.90}{\sqrt{558.6}} = 1.24 \dots \dots \dots \text{OUED SEYBOUSE}$$

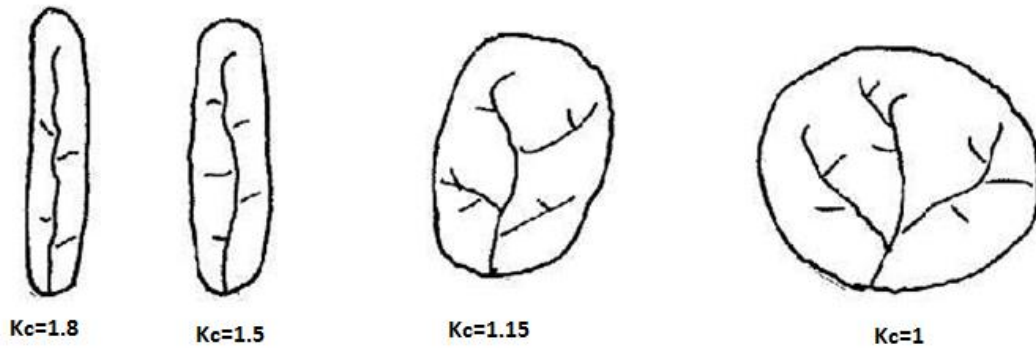


Figure.9 : Les différentes formes des bassins versants selon l'indice de compacité

### I.7.2. Rectangle équivalent :

Cette notion permet de comparer les bassins versants entre eux, du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur un écoulement.

L'écoulement sur un bassin versant donné est approximativement le même que celui d'un rectangle de même superficie et même indice de compacité de Gravelius.

La longueur et la largeur du rectangle équivalent sont calculées par les formules suivantes :

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{I.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{I.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Avec :

**L** : longueur du rectangle équivalent en km

**I** : largeur du rectangle équivalent en km

**S** : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>

**Kc** : indice de compacité de Gravelius

L = 16.71 ≈ 17 Km..... OUED RESSOUL

L = 37.40 ≈ 37 Km..... OUED SEYBOUSE

### **Conclusion :**

Ce chapitre qui a porté sur la nappe alluviale de la plaine d'Annaba, située au Nord Est de l'Algérie, nous a permis d'obtenir aux conclusions suivantes :

La plaine d'Annaba est soumise à un climat méditerranéen, avec un hiver humide et pluvieux et un été chaud et sec, d'après les paramètres géomorphologiques du bassin versant Seybouse, tel que le coefficient de compacité  $K_c = 1.24$ , longueur  $L = 37$  km et largeur  $l = 15$  km, on peut dire que le bassin versant Seybouse a une forme allongée, donc une concentration des eaux à l'exutoire très lente.

### II.1. Introduction :

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.

### II.2. Généralité :

### II.3. Mécanismes de formation des précipitations :

La formation des précipitations nécessite la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. La saturation est une condition essentielle à tout déclenchement de la condensation.

Divers Processus thermodynamiques sont susceptibles de réaliser la saturation des particules Atmosphériques initialement non saturées et provoquer leur condensation :

- Saturation et condensation par refroidissement isobare (à pression constante),
- saturation et condensation par détente adiabatique,
- saturation et condensation par apport de vapeur d'eau,
- saturation par mélange et par turbulence.

La saturation n'est cependant pas une condition suffisante à la condensation ; cette dernière requiert également la présence de noyaux de condensation (impuretés en suspension dans l'atmosphère D'origines variées - suie volcanique, cristaux de sable, cristaux de sel marin, Combustions industrielles, pollution) autour desquels les gouttes ou les cristaux se forment.

Lorsque les deux conditions sont réunies, la condensation intervient sur les noyaux ; il y a alors apparition de gouttelettes microscopiques qui grossissent à mesure que se poursuit L'ascendance, celle-ci étant le plus souvent la cause génératrice de la saturation. Les noyaux de condensation jouent en fait un rôle de catalyseur pour la formation de gouttelettes d'eau.

Pour qu'il y ait précipitations il faut encore que les gouttelettes ou les cristaux composant les Nuages (les hydrométéores) se transforment en gouttes de pluie. Ce phénomène est lié à l'accroissement de ces éléments dont la masse devient suffisante pour vaincre les forces d'agitation. Ce grossissement peut s'expliquer par les deux processus suivant :

#### L'effet de coalescence :

Il y a grossissement par choc et fusionnement avec d'autres particules. Du fait de la dispersion des vitesses, le cristal en se déplaçant, soit en chute libre, soit par - Turbulence, entre en collision avec les gouttelettes surfondues ; la congélation de Celles-ci augmente le volume du cristal. Il en est de même pour les gouttelettes de diamètre Supérieur à 30 microns qui entrent en collision avec des gouttelettes de diamètre inférieur.

Ce processus provoque un accroissement rapide de leur dimension et donc de leur masse Augmentant leur vitesse de chute.

## Chapitre II : Etude pluviométrique

L'effet Bergeron : Dans la partie du nuage où la température est négative mais supérieure à  $-40^{\circ}\text{C}$ , Coexistent des cristaux de glace et des gouttelettes d'eau surfondues (eau liquide avec une  $T < 0^{\circ}\text{C}$ , L'eau pure ne se solidifie pas à  $0^{\circ}\text{C}$  mais en dessous de  $-40^{\circ}\text{C}$ ).

Autour d'un cristal de glace, l'air est saturé à un taux d'humidité plus bas qu'autour d'une gouttelette d'eau surfondu. Suite à cette Différence d'humidité, il apparaît un transfert de la Vapeur d'eau des gouttelettes vers les cristaux. Par conséquent, les gouttelettes s'évaporent tandis qu'il y a condensation autour des cristaux.

Lorsque la masse du cristal est suffisante, il précipite. S'il traverse une région à température positive suffisamment épaisse (souvent à partir de 300 m dans les nuages stables) et si la durée de chute le permet, il fond et donne lieu à de la pluie. Le même processus de grossissement a lieu entre deux gouttelettes à des températures différentes (la plus froide grossit au détriment de la plus chaude).

### II.4. Types des précipitations :

Il existe différents types de précipitations : les précipitations convectives, les précipitations Orographiques et les précipitations frontales.

#### II.4.1. Les précipitations convectives :

le système convectif apparaît lorsque deux masse d'air de température différent entrent en contact et plus particulièrement une masse d'air froide recouvre un sol plus chaud ou lorsque les basses couches sont chauffées par les radiation solaires , l'air de ces basses se dilate alors, s'allège et s'élève sont l'effet de la posée d'Archimède elle s'élève en se refroidissent jusqu'au niveau de condensation ,altitude a laquelle se forme la base de nuage , l'air continue de s'élève en se condensant ainsi jusqu'au niveau d'équilibre thermique , altitude de sommet du nuage , celui-ci peut attendre des altitudes de l'ordre 12 km pour les station les plus convectives ,ce système est décrit par 03 phases développement, maturité et dissipation tel qu'il est représenté sur la **figure 10**.

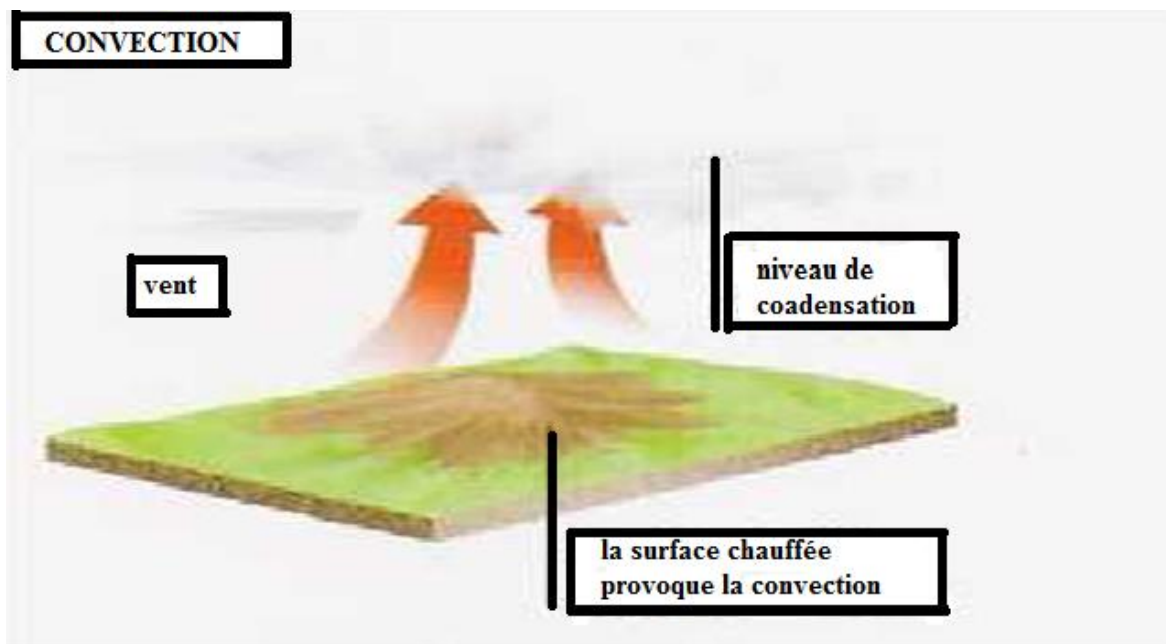


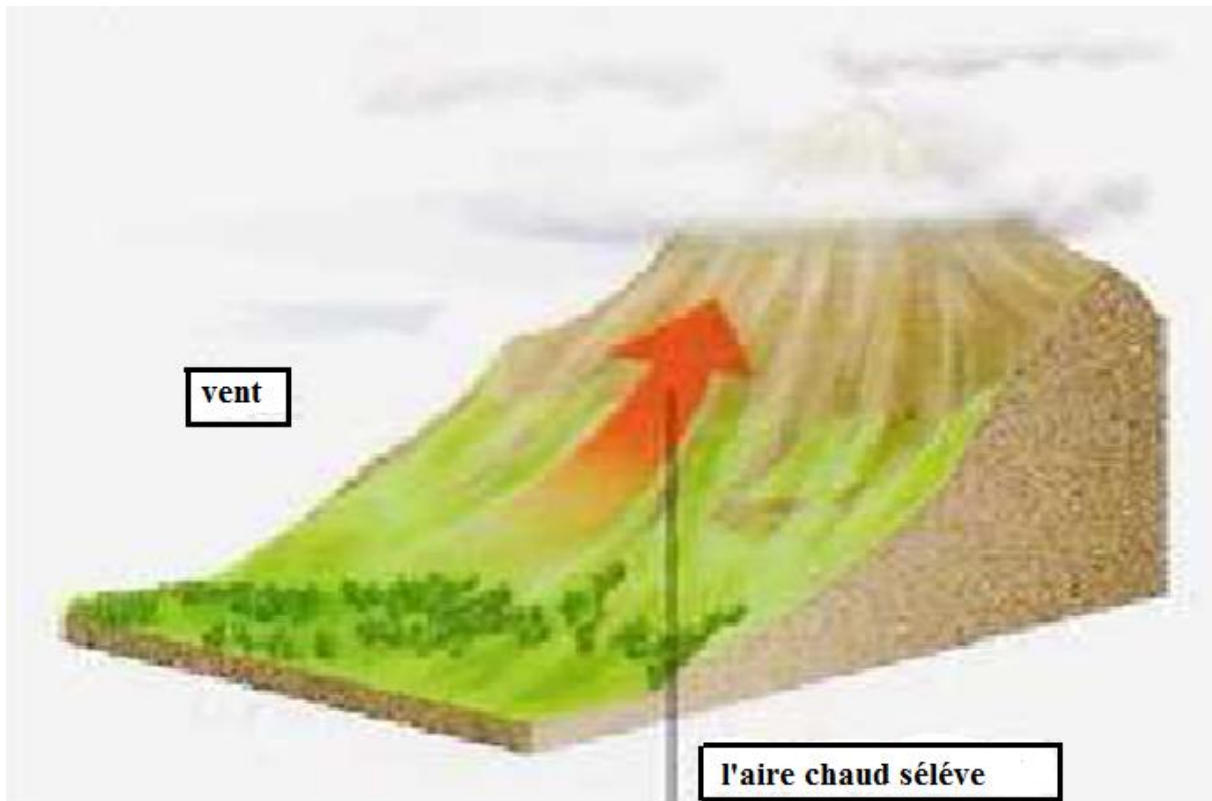
Figure 10 : Les précipitations convectives



### II.4.2. Les Précipitations orographiques :

La présence d'un relief (une chaîne de montagne par exemple) sur la trajectoire d'une masse d'air Provoque l'élévation de celle-ci. Le refroidissement induit peut entraîner la formation d'une Couverture nuageuse et déclencher des précipitations (**figure 11**) Ce type de système est relié aux perturbations cycloniques.

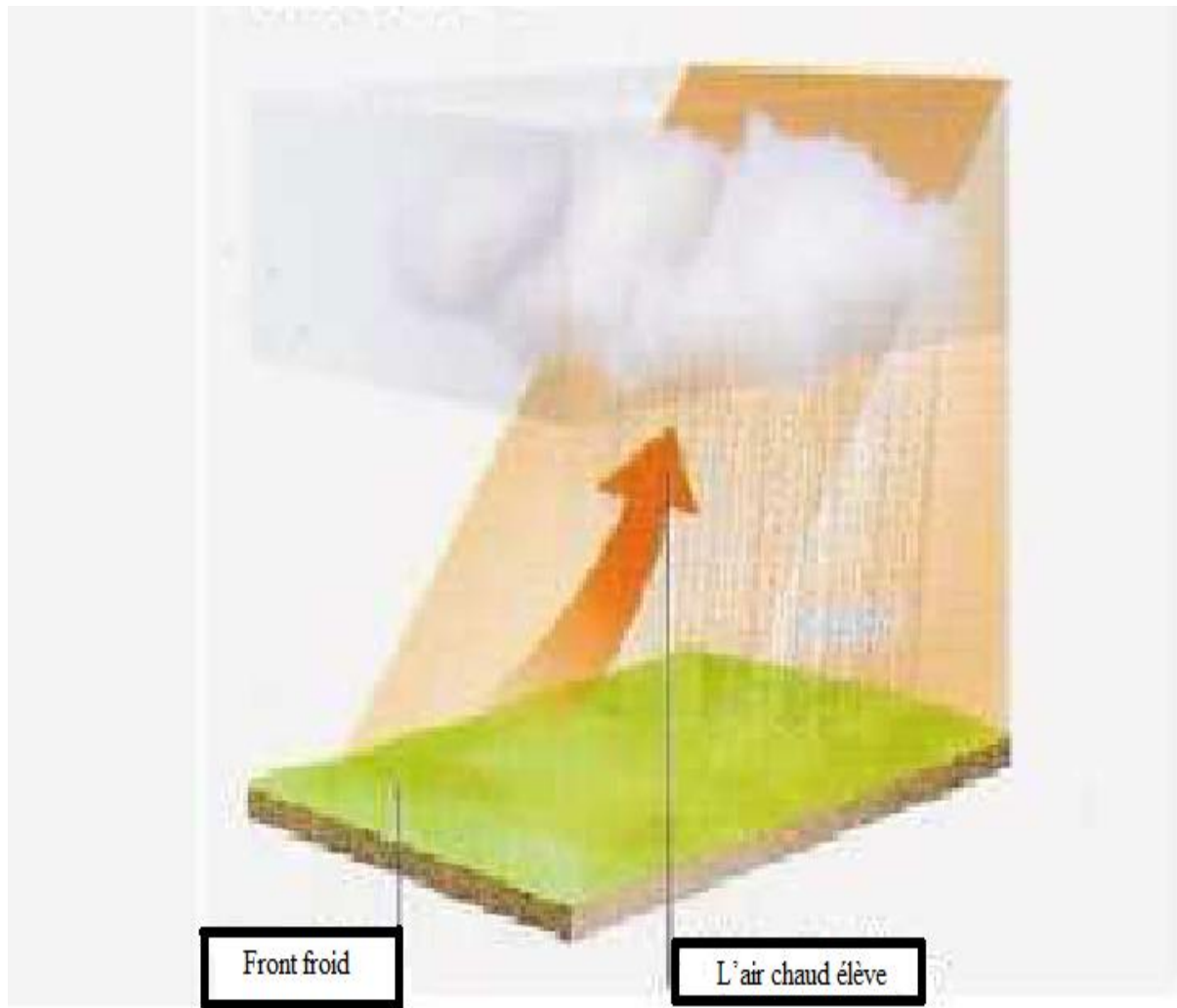
Les précipitations, d'intensité et d'extension variables, touchent principalement le versant situé Face au vent. Le versant sous le vent est au contraire plus sec, car l'humidité relative de la masse d'air et donc la pluie est moindre voir nulle lorsqu'elle descend sur le versant sous le vent.



*Figure. 11 : Précipitations orographiques*

### II.4.3. Les Précipitations cycloniques :

ces système de précipitation sont engendrés au voisinage des surface de contact entre deux masses d'air de température et d'humidité différentes , que l'on appelle en front , la masse d'air chaud est toujours soulevée en altitude par la masse d'air froid , suivent que la messe d'air chaud suive ou précède la masse d'air froid , on trouve un front chaud ou froid **figure 12** Dans le cas d'un front froid , le nuages ont développement vertical important et les précipitation sont intenses . Dans le cas d'un front chaud, les nuages ont une extension horizontale importante et les précipitations sont plus faibles que pour le front froid. La **figure 13** illustre ces deux cas.



*Figure.12: Front chaud et froid*

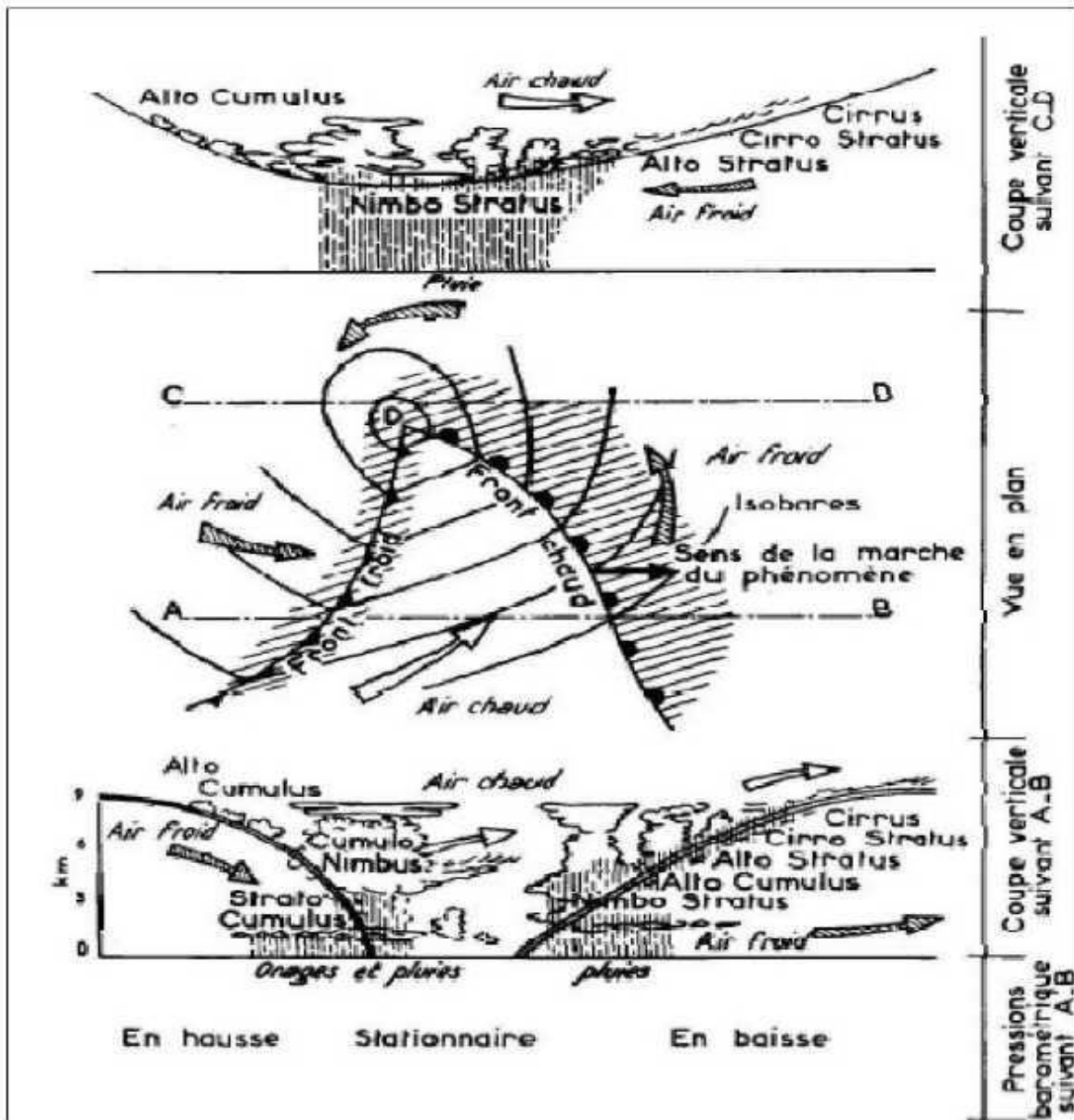


Figure. 13 : Nuage et précipitation associés à un front chaud et froid

## II.5. Régime des précipitations :

En utilisant la seule donnée de précipitation dans une nomenclature climatique, on parvient à définir une répartition mondiale des différents régimes pluviométriques. Pour identifier et classer les diverses régions pluviométriques du globe, on a habituellement recouru aux précipitations moyennes mensuelles ou annuelles (évaluées sur une longue période) et à leurs variations. La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'année (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle.

Une classification pluviométrique générale basée sur les données annuelles est fournie par le **Tableau 3** suivant :

**Tableau 3.** Régimes pluviométriques du monde

| Nom   | Caractéristiques   |
|---|--|
| <b>Régime équatorial humide</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de 200 cm de précipitations annuelles moyennes</li> <li>- à l'intérieur des continents et sur les côtes</li> <li>- région typique de ce régime : bassin de l'Amazonie</li> </ul>   |
| <b>Régime subtropical humide en Amérique</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- entre 100 et 150 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- à l'intérieur des continents et sur les côtes</li> <li>- région typique de ce régime : pointe sud-est de l'Amérique du Nord</li> </ul>                                   |
| <b>Régime subtropical sec</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de 25 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- à l'intérieur des continents et sur les côtes ouest</li> <li>- région typique de ce régime : le sud du Maghreb</li> </ul>   |
| <b>Régime intertropical sous l'influence des alizés</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de 150 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- sur des zones côtières étroites ; humidité</li> <li>- région typique de ce régime : côtes est de l'Amérique centrale</li> </ul>   |
| <b>Régime continental tempéré</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- entre 10 et 50 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- à l'intérieur des continents ; il en résulte des déserts ou des steppes</li> <li>- région typique de ce régime : plaines de l'ouest du continent nord-américain</li> </ul> |
| <b>Régime océanique tempéré</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de 100 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- sur les côtes ouest des continents</li> <li>- région typique de ce régime : la Colombie britannique, L'Europe</li> </ul>  |
| <b>Régime polaire et arctique</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de 30 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- se situe au nord du 60e parallèle ; formation de grands déserts froids</li> <li>- région typique de ce régime : le Grand Nord canadien</li> </ul>                             |

Finalement, les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.). D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux

### II.6. Mesures des précipitations :

Comme les précipitations varient selon différents facteurs (déplacement de la perturbation, lieu de l'averse, influence de la topographie, etc.), leur mesure est relativement compliquée.

Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement en hauteur de précipitation ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps. Les différents instruments permettant la mesure des précipitations :

#### II.6.1. Le pluviomètre :

Instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés (**figure 14**).



*Figure. 14 : Pluviomètre de Heilmann*

#### II.6.2. Le Pluviographe :

Instrument captant la précipitation de la même manière que le Pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur Répartition dans le temps, autrement dit les intensités (**figure 15**).

Il existe plusieurs types de pluviographes: pluviographes à augets basculeurs (les plus répandus), les pluviographes à balance et les pluviographes à siphon.



*Figure. 15 : Pluviographe, augets basculeurs et système d'enregistrement MADD*

### II.7. Etude des précipitations :

#### II.7.1. Précipitations moyennes mensuelles d'Annaba :

Pour l'étude des précipitations moyennes mensuelles nous avons basé sur les données Pluviométriques fournies par l'ANRH de Annaba pour une période d'observation de 34 ans (1970-2008)

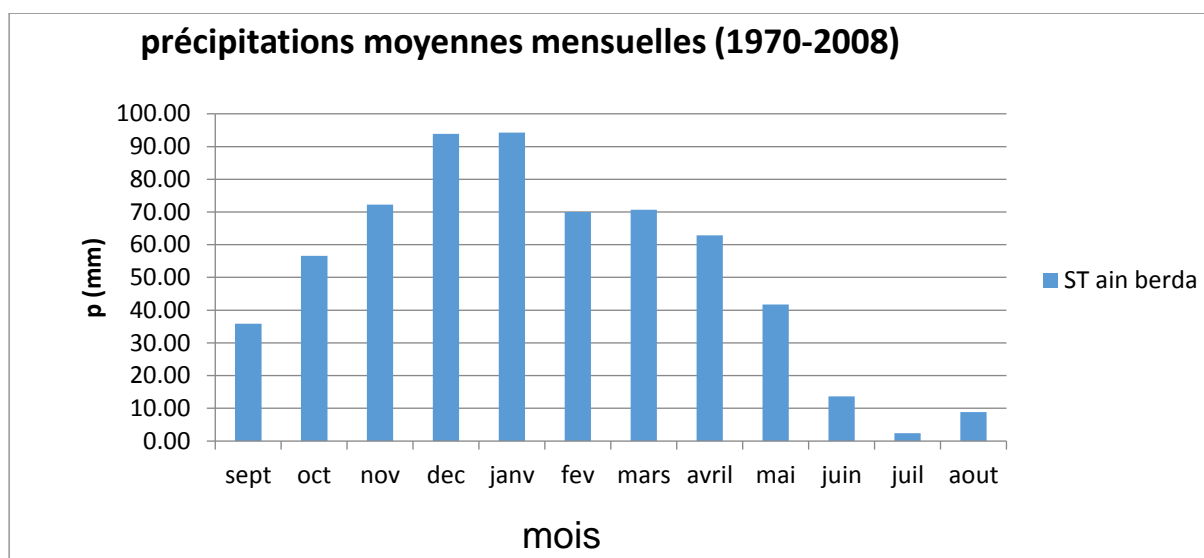
##### II.7.1.1 Précipitation moyenne mensuelle de station Ain Berda (1970-2008)

**Tableau 4** : Précipitation moyenne mensuelle de station Ain

| mois   | sept  | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Janv. | Fév. | Mars  | Avril | Mai   | juin  | juil. | aout |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| P (mm) | 35.89 | 56.59 | 72.25 | 93.85 | 94.25 | 70   | 70.68 | 62.81 | 41.69 | 13.68 | 2.45  | 8.85 |

D'après le **tableau 4** et la **figure 16** on remarque que la période la plus pluvieuse s'étale du Mois de Décembre à janvier, avec un maximum au mois de janvier (94.25mm).

La période sèche s'étale du mois de Juillet au mois d'Août, avec un minimum au mois de Juillet (2.45mm).



*Figure. 16 : Histogramme des Précipitations moyennes mensuelles*

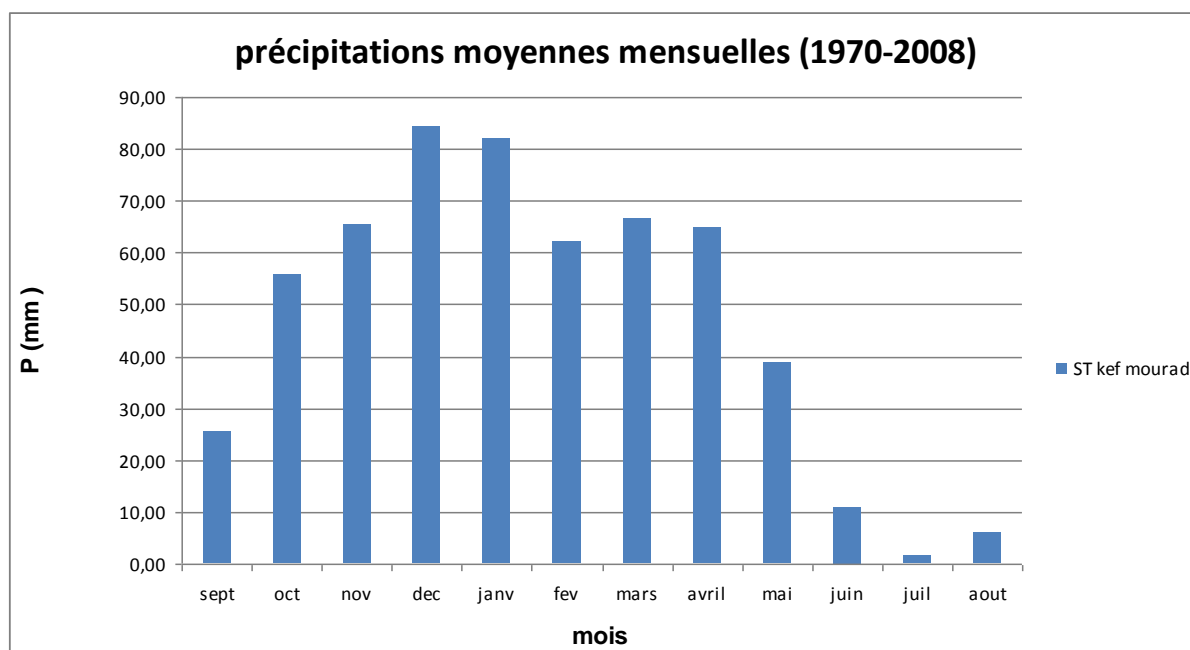
### II.7.1.2. Précipitation moyenne mensuelle Kef Mourad (1970-2008)

**Tableau 5** : Précipitation moyenne mensuelle Kef Mourad

| mois   | sept  | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Janv. | Fév.  | Mars  | Avril | Mai   | juin  | juil. | aout |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| P (mm) | 25.41 | 55.75 | 65.35 | 84.32 | 82.17 | 62.16 | 66.49 | 64.67 | 38.58 | 10.91 | 1.41  | 5.99 |

D'après le **tableau 5** et la **figure 17** on remarque que la période la plus pluvieuse s'étale du Mois de Décembre à janvier, avec un maximum au mois de Décembre (84.32mm).

La période sèche s'étale du mois de Juillet au mois d'Août, avec un minimum au mois de Juillet (1.41mm).



*Figure. 17 : Histogramme des Précipitations moyennes mensuelles*

### II.7.2. Précipitations moyennes annuelles d'Annaba (1970-2008)

#### II.7.2.1 Précipitations moyennes annuelles d'Ain Berda

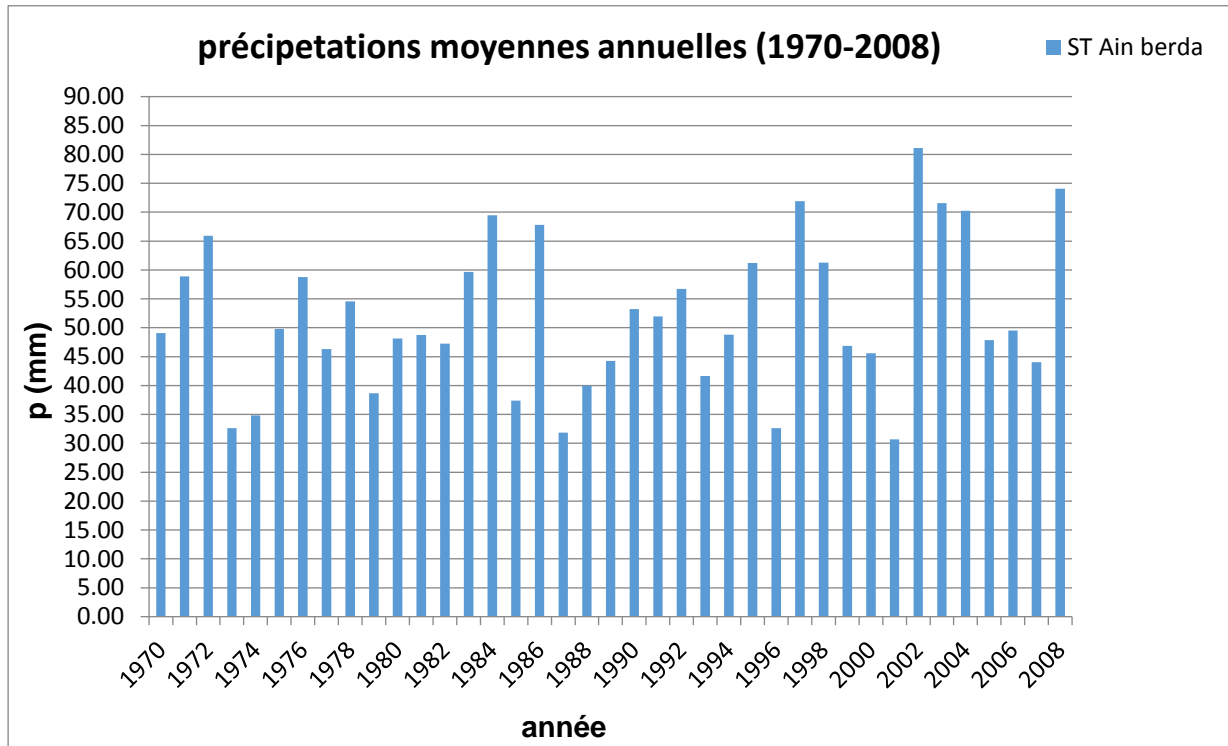
Le **tableau 6** regroupe les valeurs des précipitations moyennes annuelles fournies par l'ANRH de Annaba pour la période 38 ans.

**Tableau 6** : Précipitations moyennes annuelles d'Ain Berda (1970-2008)

| année | P (mm) | année | P (mm) |
|-------|--------|-------|--------|
| 1970  | 49.08  | 1992  | 56.72  |
| 1971  | 58.86  | 1993  | 41.67  |
| 1972  | 65.93  | 1994  | 48.79  |
| 1973  | 32.64  | 1995  | 61.22  |
| 1974  | 34.84  | 1996  | 32.65  |
| 1975  | 49.8   | 1997  | 71.92  |
| 1976  | 58.76  | 1998  | 61.25  |
| 1977  | 46.29  | 1999  | 46.84  |
| 1978  | 54.54  | 2000  | 45.59  |
| 1979  | 38.68  | 2001  | 30.68  |
| 1980  | 48.13  | 2002  | 81.08  |
| 1981  | 48.76  | 2003  | 71.58  |
| 1982  | 47.26  | 2004  | 70.24  |
| 1983  | 59.66  | 2005  | 47.85  |
| 1984  | 69.45  | 2006  | 49.50  |
| 1985  | 37.37  | 2007  | 44.03  |
| 1986  | 67.8   | 2008  | 74.04  |
| 1987  | 31.84  |       |        |
| 1988  | 40.01  |       |        |
| 1989  | 44.24  |       |        |
| 1990  | 53.22  |       |        |
| 1991  | 51.98  |       |        |



D'après les valeurs de **tableau 6** et la **figure 18** l'année la plus pluvieuse est celle de 2002 avec un maximum de 81.08 mm, et l'année la plus sèche correspondre à 2001 avec une valeur de 30.68mm.



*Figure. 18 : Histogramme des Précipitations moyennes annuelles*

### II.7.2.2. Précipitations moyennes annuelles de Kef Mourad :

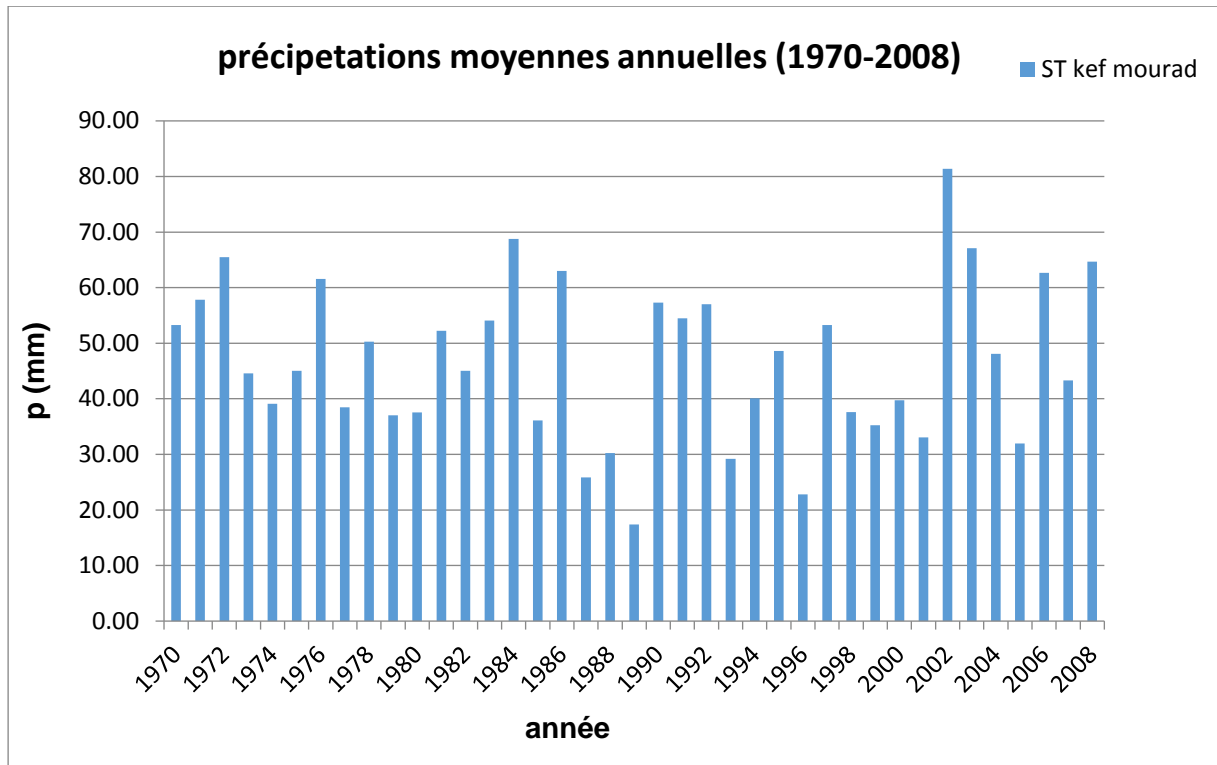
Pour l'étude des précipitations moyennes annuelles nous avons basé sur les données Pluviométriques fournies par l'ANRH Annaba pour une période d'observation de 38 ans

## Chapitre II : Etude pluviométrique

**Tableau 7** : Précipitations moyennes annuelles de Kef Mourad (1970-2008)

| année | P (mm) | année | P (mm) |
|-------|--------|-------|--------|
| 1970  | 53.29  | 1992  | 57.04  |
| 1971  | 57.80  | 1993  | 29.21  |
| 1972  | 65.50  | 1994  | 40.06  |
| 1973  | 44.55  | 1995  | 48.59  |
| 1974  | 39.13  | 1996  | 22.81  |
| 1975  | 45.03  | 1997  | 53.24  |
| 1976  | 61.56  | 1998  | 37.59  |
| 1977  | 38.48  | 1999  | 35.22  |
| 1978  | 50.25  | 2000  | 39.74  |
| 1979  | 37.03  | 2001  | 33.05  |
| 1980  | 37.53  | 2002  | 81.38  |
| 1981  | 52.25  | 2003  | 67.12  |
| 1982  | 45.03  | 2004  | 48.09  |
| 1983  | 54.08  | 2005  | 31.98  |
| 1984  | 68.78  | 2006  | 62.66  |
| 1985  | 36.11  | 2007  | 43.33  |
| 1986  | 63.01  | 2008  | 64.68  |
| 1987  | 25.83  |       |        |
| 1988  | 30.25  |       |        |
| 1989  | 17.37  |       |        |
| 1990  | 57.31  |       |        |
| 1991  | 54.49  |       |        |

D'après les valeurs de **tableau 7** et la **figure 19** l'année la plus pluvieuse est celle de 2002 avec un maximum de 81.38 mm, et l'année la plus sèche correspondre à 1989 avec une valeur de 17.37 mm.



*Figure. 19 : Histogramme des Précipitations moyennes annuelles*

### Conclusion :

Nous concluons que l'étude pluviométrique nous a permis de conclure que le mois le plus pluvieux au niveau de la station d'Ain Berda correspond au mois janvier, et le plus sec celui de mois de juillet.

Au niveau de la station de Kef Mourad c'est le mois de décembre est le plus pluvieux, et le mois le plus Sec correspond au mois de juillet.

Concernant la moyenne annuelle est varié entre les deux stations, elle est de l'ordre de 51.92 mm à Ain Berda pour la période 1970 à 2008, et de 46.93 mm à Kef Mourad.

### III.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude statistique des fortes valeurs de précipitations, il s'agit des précipitations annuelles.

Dans notre cas nous allons procéder au traitement des données des Précipitation annuelles, en utilisant les lois suivantes : Gumbel, Weibull, Normale, Log normale dans un premier cas, ensuite nous allons comparer les résultats obtenus par ses lois afin de choisir la loi la plus adéquate.

### III.2. Présentation des lois d'ajustement :

Il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon.

Dans cette étude on va utiliser uniquement les lois suivantes :

- ❖ Loi de Gumbel
- ❖ Loi de Weibull
- ❖ Loi Normale
- ❖ Loi Log Normale (GALTON)

### III.3. Méthode d'ajustement :

D'après les recherches bibliographiques du différent auteur tel que (Boucefiane AEK, 2014), il y a différentes méthodes d'ajustement des lois de probabilité peuvent être utilisées pour la détermination des paramètres d'une loi quelconque. Nous détaillons les méthodes utilisées dans notre calcul des paramètres :

- La méthode des moments ;
- La méthode des moments pondérés ;
- La méthode du maximum de vraisemblance ;
- La méthode empirique ;
- La méthode pseudo empirique.

### III.4. Procède d'ajustement :

L'étude de l'ajustement passe par les étapes suivantes :

- classement de la série des précipitations par ordre croissant ;
- calcul de la fréquence expérimentale ( $F_i = (n_i - 0.5) / N$ ), on classe nos valeurs par ordre croissant, la formule donne la fréquence au non dépassement ( $F = FND$ ) ;
- calcul des caractéristiques empiriques de la série de données ;
- ajustement graphique à la loi choisie ;
- Calcul d'un quantile et son intervalle de confiance.

## Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad

L'ajustement des pluies annuelles a été traité par logiciel « HYFRAN »

### III.4.1. Présentation du logiciel « HYFRAN »

HYFRAN est un logiciel permettant d'ajuster différentes lois statistiques à un échantillon d'observations indépendantes et identiquement distribuées.

Ce logiciel a été développé par l'équipe de la Chaire en hydrologie statistique (Hydro Québec/CRSNG/Alcan), située à l'Institut national de la recherche scientifique (Québec).

### III.4.2. Définition de période de retour :

Nous définissant la période de retour  $T$ , comme étant l'intervalle de temps moyen entre deux événements, dont l'intensité atteint ou dépasse un certain seuil, Cela veut dire que sur un Intervalle de temps  $T_s$ , il y a en moyenne un événement d'intensité supérieur ou égale à  $T_s$ .

$T_s$  est compté dans une unité de temps arbitraire, en hydrologie le plus souvent c'est l'année, un événement de période de retour  $T$  a en moyenne une probabilité  $1/T$  de se produire chaque année.

Nous reliant la période de retour à la probabilité de dépassement  $P(x) = \text{Prob}(X > x)$ , Ou de non- dépassement  $P' = 1 - P = \text{Prob}(X < x)$  ; de la façon suivante :

$$T = 1/P = 1/1 - P'$$

Avec :

**T** : Période de retour (années) ;

**P** : Probabilité au dépassement ;

**P'**: Probabilité au non dépassement.

### III.5. Méthodologie de travail :

Dans cette partie nous avons utilisé les données de la station de Kef Mourad et Ain Berda pour une série allant de 1970 jusqu'à 2009 avec une durée de 40 ans.

Les caractéristiques des stations sont indiquées dans le **tableau.8**.

**Tableau 8** : Caractéristiques des stations

| Station           | Code Station | Coordonné Lambert |               |
|-------------------|--------------|-------------------|---------------|
|                   |              | Longitude (km)    | Latitude (km) |
| <b>Kef Mourad</b> | 140611       | X : 953,298       | Y : 389,544   |
| <b>Ain Berda</b>  | 140606       | X : 937,288       | Y : 387,737   |

Les résultats de l'application des lois, obtenues par le logiciel **Hyfran** en utilisant la méthode de maximum vraisemblance et dans un intervalle de confiance « 95 % ».

### III.6. Ajustement des précipitations maximales annuelles de la station Ain Berda.

#### III.6.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel :

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = f(y) = e^{-e^{-y}}$$

Tel que :

$$y = 1/\alpha(x-x_0)$$

**y**: variable réduite de Gumbel ;

**x** : précipitation (mm) ;

**x<sub>0</sub>**: ordonnée à l'origine en (mm) ;

On peut écrire : **y = - ln (-ln (F(x)))**

Avant de procéder à l'ajustement il faut suivre les étapes suivantes :

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang.
- calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de Hazan.

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n}$$

Avec :

**m** : rang de précipitation.

**n** : nombre d'observations.

- calculer la variable réduite de Gumbel donnée par la formule suivante :

$$y = - \ln (-\ln (F(x)))$$

- calculer les paramètres d'ajustement « $\alpha$ » et « $x_0$ »

Représenter graphiquement les couples (x, y) sur un papier normal.

**Méthode Maximum de vraisemblance** : Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le **tableau 9** et **10** et la **figure 20** utilisant les paramètres d'ajustement de la loi du Gumbel.

## Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad

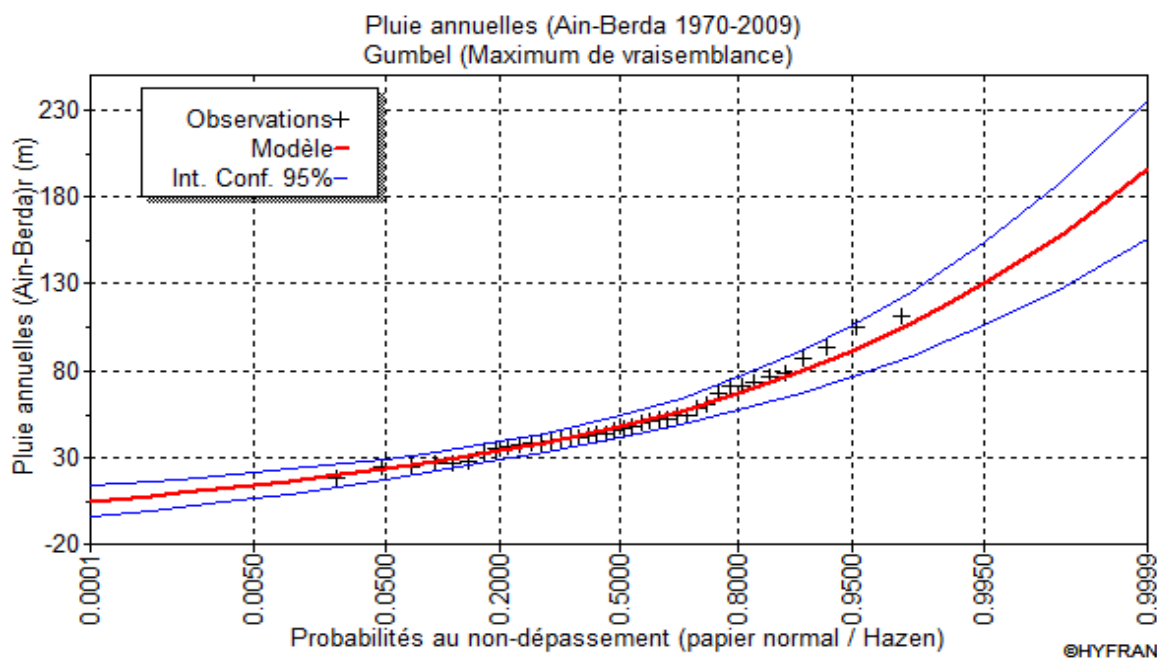
**Tableau 9 :** Caractéristique de l'échantillon

| paramètres                       | Valeurs |
|----------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                    | 18.5    |
| Maximum (Max)                    | 111     |
| Moyenne (Moyé)                   | 51.5    |
| Ecart type ( $\delta$ )          | 22      |
| Médiane (Me)                     | 46.3    |
| Coefficient de variation (Cv)    | 0.426   |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)     | 0.991   |
| Coefficient d'aplatissement (Ck) | 3.25    |
| Paramètre de localisation (u)    | 41.60   |
| Paramètre d'échelle ( $\alpha$ ) | 16.71   |

**Tableau 10 :** Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel (A.B)

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 157     | 15.6       | 127                           | 188  |
| 100     | 0.99      | 119     | 10.8       | 97.3                          | 140  |
| 50      | 0.98      | 107     | 9.42       | 88.4                          | 125  |
| 20      | 0.95      | 91.3    | 7.56       | 76.4                          | 106  |
| 10      | 0.9       | 79.2    | 6.16       | 67.1                          | 91.3 |
| 5       | 0.8       | 66.7    | 4.79       | 57.3                          | 76.1 |

Résultats graphiques de la loi Gumbel :



**Figure 20 :** Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Gumbel (A.B)

## Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad

### Analyse et interprétation :

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite ce qui s'explique par un bon ajustement de ces données à cette loi.

### III.6.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Weibull (A.B) :

L'expression de la fonction de densité de probabilité de Weibull est :

$$F(x) = \frac{c}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^c\right] \quad \text{Avec } c > 0, \alpha > 0 \text{ et } x > \alpha.$$

Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le **tableau 11, 12** et **la figure 21**.

Utilisant les paramètres d'ajustement de la loi de Weibull (A.B)

**Tableau 11** : Caractéristique de l'échantillon

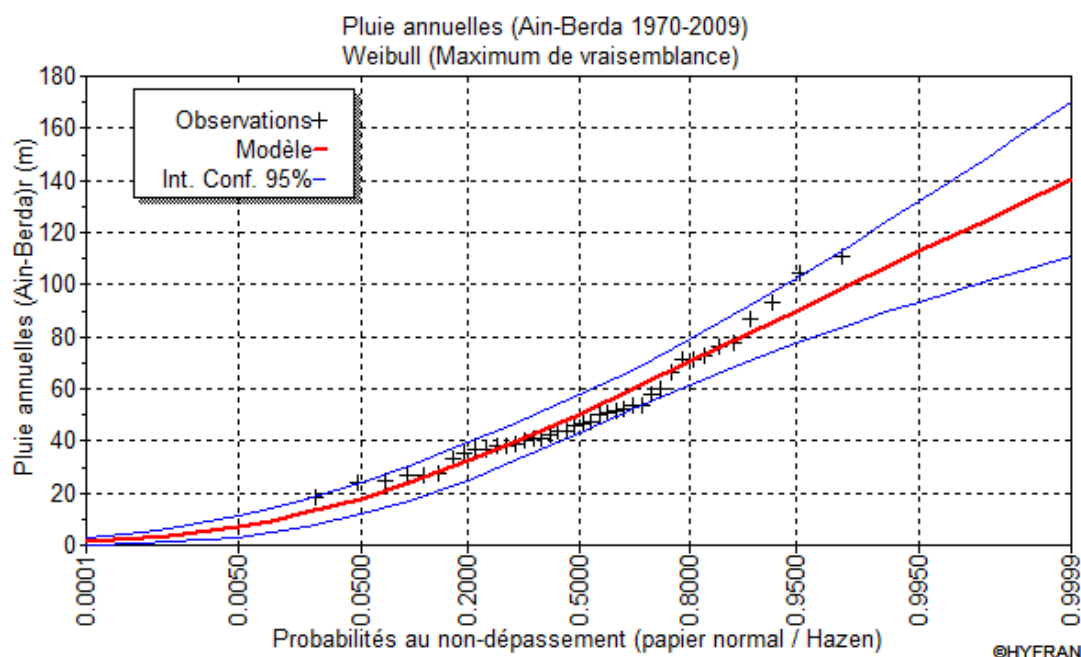
| paramètres                       | Valeurs |
|----------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                    | 18.5    |
| Maximum (Max)                    | 111     |
| Moyenne (Moyé)                   | 51.5    |
| Ecart type ( $\delta$ )          | 22      |
| Médiane (Me)                     | 46.3    |
| Coefficient de variation (Cv)    | 0.426   |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)     | 0.991   |
| Coefficient d'aplatissement (Ck) | 3.25    |
| Paramètre de localisation (c)    | 2.52    |
| Paramètre d'échelle ( $\alpha$ ) | 58.21   |

**Tableau 12** : Résultats d'ajustement à la loi de Weibull (A.B)

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 125     | 12.1       | 101                           | 149  |
| 100     | 0.99      | 107     | 8.82       | 89.3                          | 124  |
| 50      | 0.98      | 100     | 7.77       | 84.7                          | 115  |
| 20      | 0.95      | 89.9    | 6.37       | 77.4                          | 102  |
| 10      | 0.9       | 81      | 5.33       | 70.6                          | 91.5 |
| 5       | 0.8       | 70.3    | 4.41       | 61.6                          | 78.9 |



### Résultats graphique de la loi Weibull :



**Figure 21 :** Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Weibull (A.B).

### Analyse et interprétation :

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite, ce qui s'explique par un bon d'ajustement de ces données à cette loi.

### III.6.3. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Normale :

L'expression de la fonction de densité de probabilité de la loi normale est :

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

Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le **tableau 13, 14** et la **figure 22**.

Utilisant les paramètres d'ajustement de la loi normale.

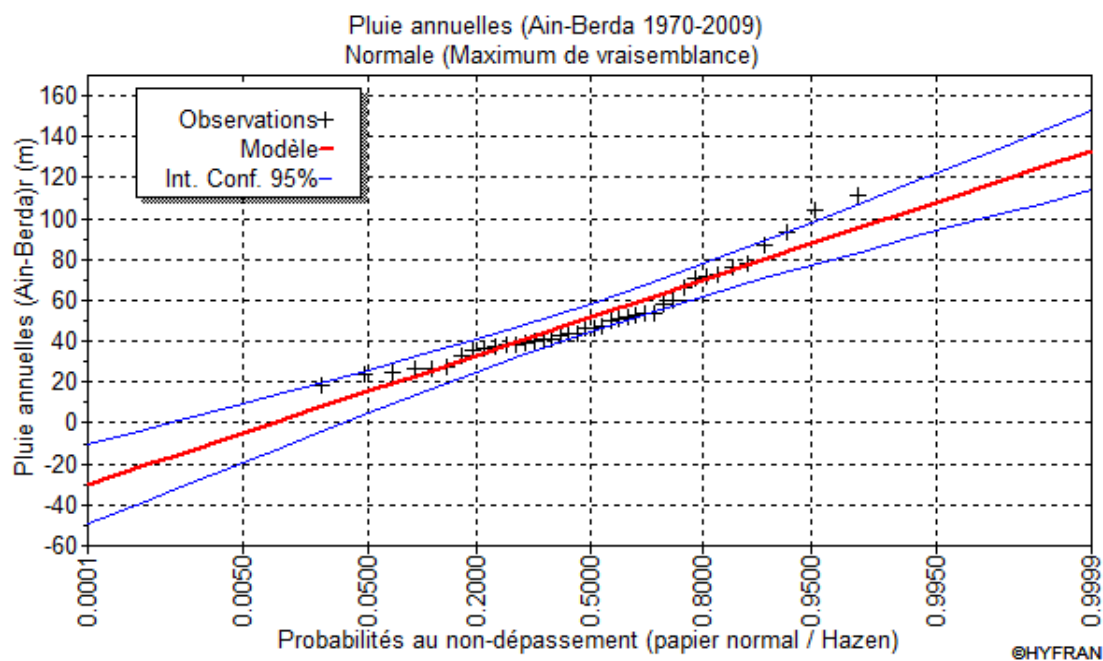
**Tableau 13 :** Caractéristique de l'échantillon

| paramètres                          | Valeurs |
|-------------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                       | 18.5    |
| Maximum (Max)                       | 111     |
| Moyenne (Moyé)                      | 51.5    |
| Ecart type ( $\delta$ )             | 22      |
| Médiane (Me)                        | 46.3    |
| Coefficient de variation (Cv)       | 0.426   |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)        | 0.991   |
| Coefficient d'aplatissement (Ck)    | 3.25    |
| Paramètre de localisation ( $\mu$ ) | 51.53   |
| Paramètre d'échelle ( $\sigma$ )    | 21.95   |

**Tableau 14 :** Résultats d'ajustement à la loi Normale

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 119     | 8.43       | 103                           | 136  |
| 100     | 0.99      | 103     | 6.75       | 89.4                          | 116  |
| 50      | 0.98      | 96.6    | 6.17       | 84.5                          | 109  |
| 20      | 0.95      | 87.6    | 5.36       | 77.1                          | 98.2 |
| 10      | 0.9       | 79.7    | 4.71       | 70.4                          | 88.9 |
| 5       | 0.8       | 70      | 4.05       | 62.1                          | 77.9 |

Résultats graphique de la loi normale :



**Figure 22 :** Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi normale (A.B).

### Analyse et interprétation :

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite à l'exception de quelques points qui sont en dehors de l'intervalle de confiance. Ce qui s'explique par un mauvais ajustement de ces données à cette loi.

### III.6.4. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Log Normale :

La fonction de répartition de la loi log normale s'écrit :

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Où  $z = a \text{Log}(x - x_0) + b$

$a$ ,  $b$ ,  $x_0$  sont des paramètres,  $x_0$  est le paramètre de position.

Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le **tableau 15**, **16** et la **figure 23**.

Utilisant les paramètres d'ajustement de la Loi Log Normale.

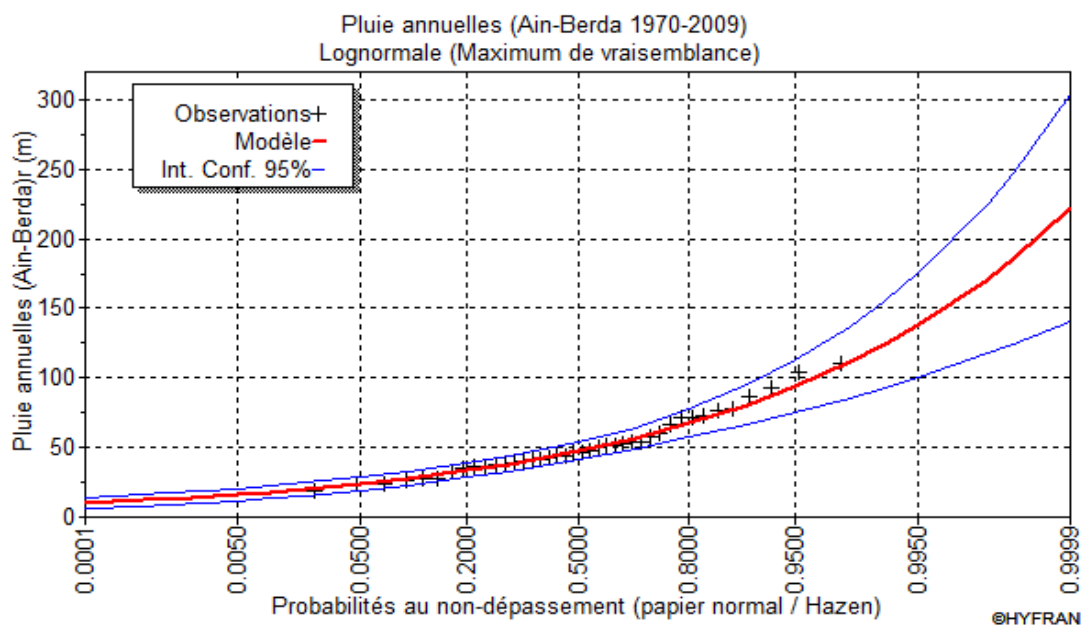
**Tableau 15** : Caractéristique de l'échantillon

| paramètres                          | Valeurs |
|-------------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                       | 18.5    |
| Maximum (Max)                       | 111     |
| Moyenne (Moyé)                      | 51.5    |
| Ecart type ( $\delta$ )             | 22      |
| Médiane (Me)                        | 46.3    |
| Coefficient de variation (Cv)       | 0.426   |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)        | 0.991   |
| Coefficient d'aplatissement (Ck)    | 3.25    |
| Paramètre de localisation ( $\mu$ ) | 3.86    |
| Paramètre d'échelle ( $\sigma$ )    | 0.42    |

**Tableau 16** : Résultats d'ajustement à la loi Log Normale

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 171     | 27.3       | 118                           | 225  |
| 100     | 0.99      | 125     | 15.9       | 93.4                          | 156  |
| 50      | 0.98      | 111     | 13         | 85.8                          | 137  |
| 20      | 0.95      | 93.9    | 9.54       | 75.2                          | 113  |
| 10      | 0.9       | 80.7    | 7.2        | 66.6                          | 94.8 |
| 5       | 0.8       | 67.2    | 5.16       | 57.1                          | 77.3 |

### Résultats graphique de la loi log normale :



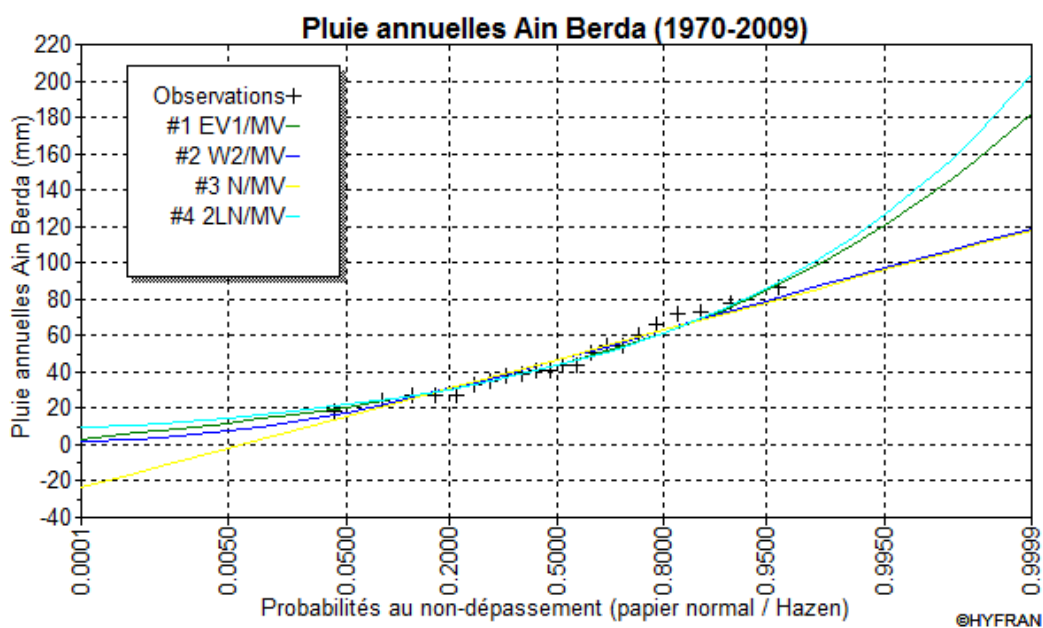
*Figure 23 : Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi Log Normale(A.B).*

### Analyse et interprétation :

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite .Ce qui s'explique par un mieux d'ajustement de ces données à cette loi.

### III.6.5. Comparaison les lois d'Ajustements pour la Station d'Ain Berda :

**Figure 24.** Comparaison des Ajustement des lois statistiques



*Figure 24 : Comparaison des Ajustement des lois statistiques(A.B)*

### Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad

En plus de cette figure le **tableau 17** présente aussi une comparaison numérique des critères entre les différentes lois.

**Tableau 17** : Critère de comparaison des lois (toutes égales)

| Modèle      | Nb Paramètre | XT      | P(Mi) | P (Mi(x)) | Bic     | AIC     |
|-------------|--------------|---------|-------|-----------|---------|---------|
| Log Normale | 2            | 114.09  | 25.00 | 35.49     | 194.861 | 192.679 |
| Gumbel      | 2            | 109.756 | 25.00 | 31.15     | 195.122 | 192.94  |
| Weibull     | 2            | 92.474  | 25.00 | 22.16     | 195.803 | 193.621 |
| Normale     | 2            | 91.192  | 25.00 | 11.2      | 197.167 | 194.985 |

**P (mi)** : probabilité a priori ;

**P (mi(x))** : probabilité a posteriori ;

**BIC** : critère d'information Bayésien ;

**AIC** : critère d'information Akaike ;

Moyenne pondérée par la probabilité a posteriori des quantils(**105.384**).

**Analyse et interprétation** : D'après ces résultats nous avons constaté, que la loi de Gumbel est la plus adéquate, avec un quantile estimé  $X(t) = (109.756)$  plus proche à celui observé (**105.384**), va on deuxième ordre ci la loi log normale ou la valeur estime est de (**114.09**), et en dernier lieu c'est la loi Normale avec une valeur de (**91.192**).

#### III.7. Ajustement des précipitations maximales annuelles de la Station de Kef Mourad.

##### III.7.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel :

Dans cette partie nous avons utilisé les donnée de la station de Kef Mourad pour une période allant de 1970 jusqu'à 2009 avec une série de 40 ans.

Les résultats obtenus par la méthode de maximum vraisemblance sont mentionnés dans le **tableau 18,19** et la **figure 25**.

Utilisant les paramètres d'ajustements de la loi du Gumbel.

## Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad

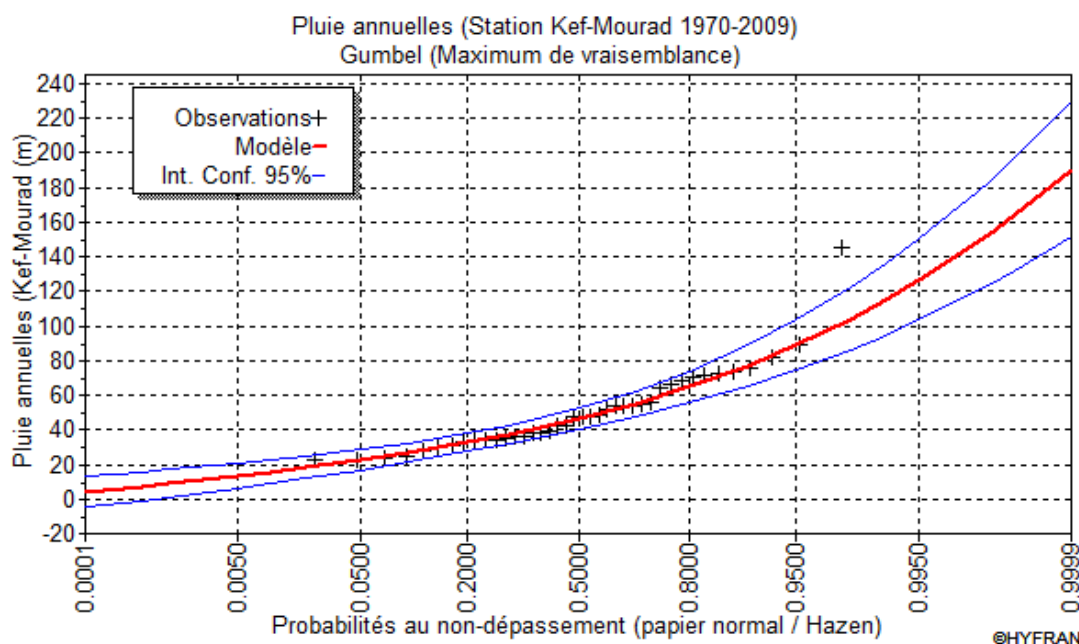
**Tableau 18 :** Caractéristique de l'échantillon

| Paramètres                          | Valeurs |
|-------------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                       | 22.1    |
| Maximum (Max)                       | 146     |
| Moyenne (Moyé)                      | 50.4    |
| Ecart type ( $\delta$ )             | 23.4    |
| Médiane (Me)                        | 47.3    |
| Coefficient de variation (Cv)       | 0.46    |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)        | 1.84    |
| Coefficient d'aplatissement (Ck)    | 7.46    |
| Paramètre de localisation ( $\mu$ ) | 3.86    |
| Paramètre d'échelle ( $\sigma$ )    | 0.42    |

**Tableau 19 :** Résultats d'ajustement à la loi de Gumbel (K.M)

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 153     | 15.2       | 123                           | 183  |
| 100     | 0.99      | 115     | 10.6       | 94.7                          | 136  |
| 50      | 0.98      | 104     | 9.17       | 86                            | 122  |
| 20      | 0.95      | 88.8    | 7.36       | 74.4                          | 103  |
| 10      | 0.9       | 77.1    | 6          | 65.3                          | 88.9 |
| 5       | 0.8       | 64.9    | 4.66       | 55.7                          | 74   |

Résultat graphique de la loi Gumbel :



*Figure 25 : Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Gumbel (K.M).*

## Chapitre III : Ajustement des précipitations d'Ain Berda et Kef-Mourad

### Analyse et interprétation :

D'après cette **figure 25** on remarque que la plus part des points s'alignent selon la droite de Gumbel avec un coefficient de variation peut significatif de **0.46**.

### III.7.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Weibull (K.M) :

Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le **tableau 20, 21** et la **figure 26**.

Utilisant les paramètres d'ajustement de la loi de Weibull (K.M).

**Tableau 20** : Caractéristique de l'échantillon

| Paramètres                       | Valeurs |
|----------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                    | 22.1    |
| Maximum (Max)                    | 146     |
| Moyenne (Moyé)                   | 50.4    |
| Ecart type ( $\delta$ )          | 23.4    |
| Médiane (Me)                     | 47.3    |
| Coefficient de variation (Cv)    | 0.46    |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)     | 1.84    |
| Coefficient d'aplatissement (Ck) | 7.46    |
| Paramètre de localisation (c)    | 2.27    |
| Paramètre d'échelle ( $\alpha$ ) | 56.99   |

**Tableau 21** : Résultats d'ajustement à la loi de Weibull (K.M)

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 133     | 14.3       | 105                           | 161  |
| 100     | 0.99      | 112     | 10.2       | 91.5                          | 132  |
| 50      | 0.98      | 104     | 8.96       | 86.3                          | 121  |
| 20      | 0.95      | 92.3    | 7.25       | 78.1                          | 107  |
| 10      | 0.9       | 82.2    | 6.01       | 70.5                          | 94   |
| 5       | 0.8       | 70.3    | 4.89       | 60.7                          | 79.8 |

Résultat graphique de la loi Weibull :

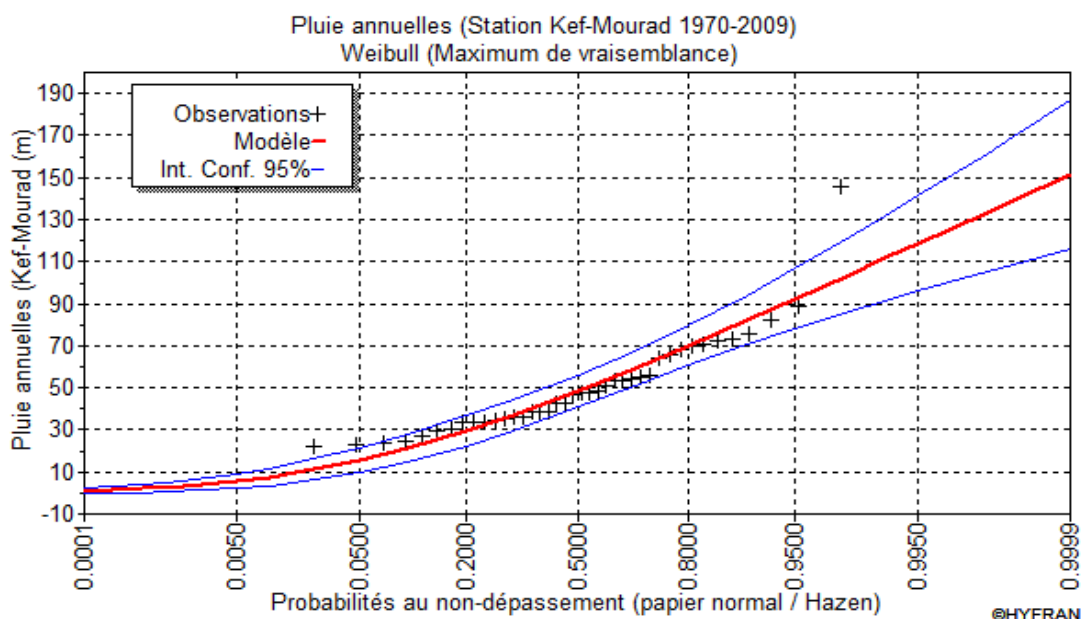


Figure 26. Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi de Weibull (K.M).

**Analyse et interprétation :**

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite à l'exception de quelques points qui sont hors de l'intervalle de confiance. Ce qui s'explique par un mauvais ajustement de ces données à cette loi.

### III.7.3. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Normale :

Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le **tableau 22, 23** et la **figure 27**.

Utilisant les paramètres d'ajustement de la loi Normale.

**Tableau 22** : Caractéristique de l'échantillon

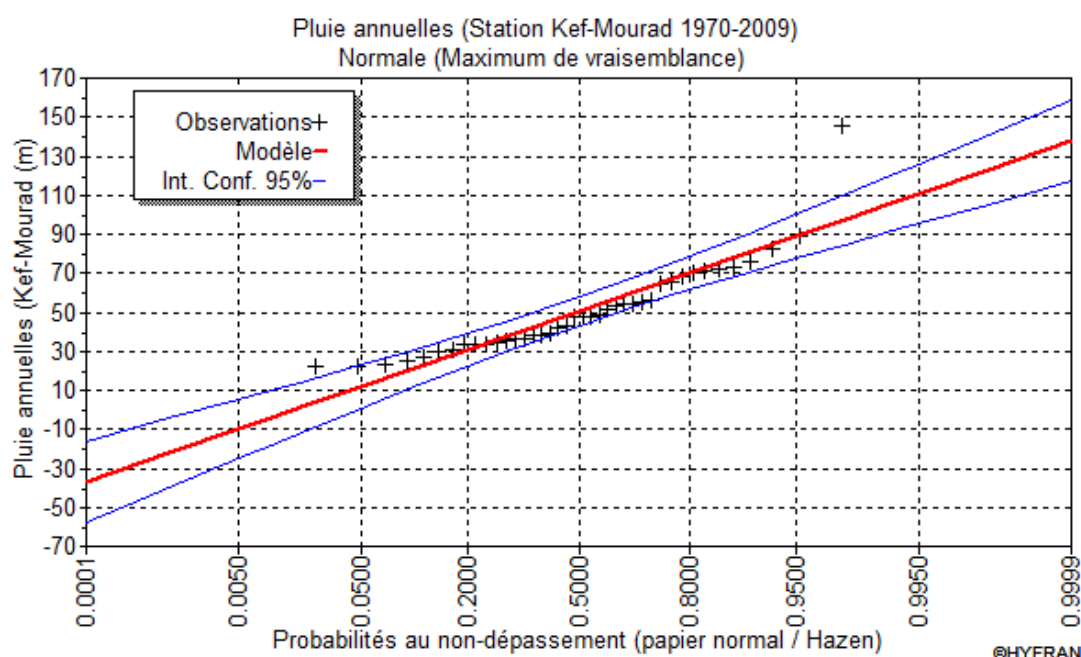
| Paramètres                          | Valeurs |
|-------------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                       | 22.1    |
| Maximum (Max)                       | 146     |
| Moyenne (Moyé)                      | 50.4    |
| Ecart type ( $\delta$ )             | 23.4    |
| Médiane (Me)                        | 47.3    |
| Coefficient de variation (Cv)       | 0.46    |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)        | 1.84    |
| Coefficient d'aplatissement (Ck)    | 7.46    |
| Paramètre de localisation ( $\mu$ ) | 50.41   |
| Paramètre d'échelle ( $\sigma$ )    | 23.44   |



**Tableau 23** : Résultats d'ajustement à la loi de Normale (K.M)

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
|         |           |         |            |                               |      |
| 1000    | 0.999     | 123     | 9          | 105                           | 140  |
| 100     | 0.99      | 105     | 7.2        | 90.8                          | 119  |
| 50      | 0.98      | 98.6    | 6.59       | 85.6                          | 111  |
| 20      | 0.95      | 89      | 5.73       | 77.7                          | 100  |
| 10      | 0.9       | 80.4    | 5.03       | 70.6                          | 90.3 |
| 5       | 0.8       | 70.1    | 4.33       | 61.6                          | 78.6 |

**Résultats graphique de la loi normale :**



*Figure 27.* Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi normale (K.M).

**Analyse et interprétation :**

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite. Ce qui s'explique par un mieux d'ajustement de ces données à cette loi.

### III.7.4. Ajustement de la série pluviométrique à la Loi Log Normale :

Les résultats obtenus par cette méthode sont mentionnés dans le tableau 24, 25 et la figure 28.

Utilisant les paramètres d'ajustement de la loi log normale.

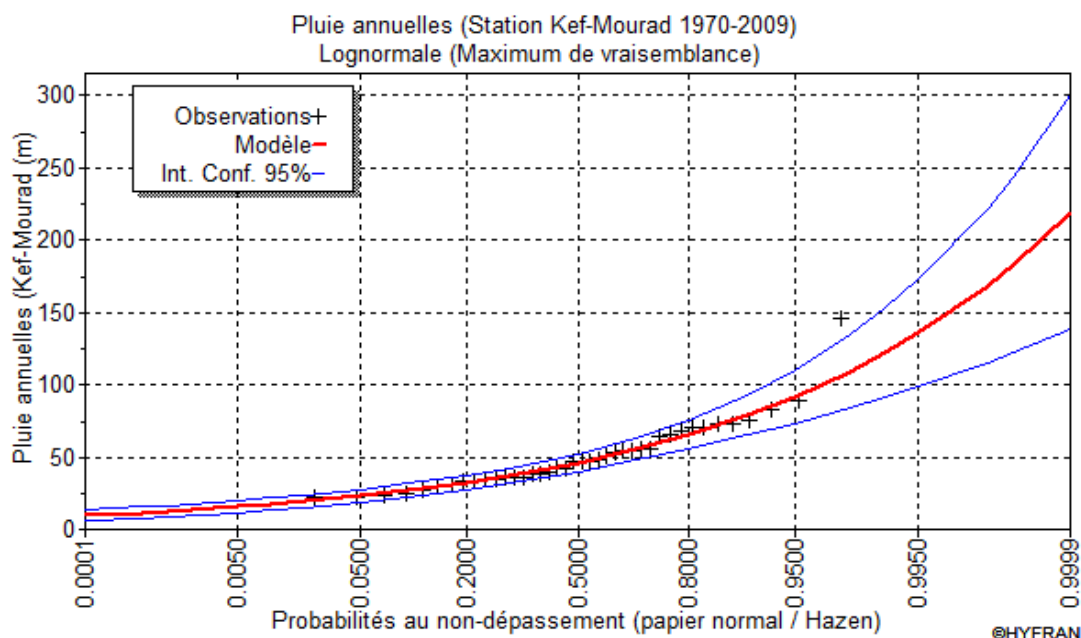
**Tableau 24** : Caractéristique de l'échantillon

| Paramètres                          | Valeurs |
|-------------------------------------|---------|
| Minimum (Min)                       | 22.1    |
| Maximum (Max)                       | 146     |
| Moyenne (Moyé)                      | 50.4    |
| Ecart type ( $\delta$ )             | 23.4    |
| Médiane (Me)                        | 47.3    |
| Coefficient de variation (Cv)       | 0.46    |
| Coefficient d'asymétrie (Cs)        | 1.84    |
| Coefficient d'aplatissement (Ck)    | 7.46    |
| Paramètre de localisation ( $\mu$ ) | 3.83    |
| Paramètre d'échelle ( $\sigma$ )    | 0.42    |

**Tableau 25** : Résultats d'ajustement à la loi log normale (K.M)

| T (ans) | Fréquence | XT (mm) | Ecart-type | Intervalle de confiance (95%) |      |
|---------|-----------|---------|------------|-------------------------------|------|
| 1000    | 0.999     | 168     | 27.1       | 115                           | 221  |
| 100     | 0.99      | 122     | 15.7       | 91.4                          | 153  |
| 50      | 0.98      | 109     | 12.9       | 83.9                          | 134  |
| 20      | 0.95      | 91.9    | 9.41       | 73.4                          | 110  |
| 10      | 0.9       | 78.9    | 7.1        | 65                            | 92.8 |
| 5       | 0.8       | 65.6    | 5.08       | 55.7                          | 75.6 |

Résultats graphique de la loi Log Normale :



**Figure 28** : Ajustement des Précipitations maximales annuelles loi Log Normale(K.M).

### Analyse et interprétation :

D'après ce graphique on remarque que les points s'alignent à la droite, Ce qui s'explique par un mieux d'ajustement de ces données à cette loi.

### III.7.5. Comparaison les lois d'Ajustements pour la Station Kef Mourad :

La figure 29 montre la comparaison graphique entre les quatre lois d'ajustements.

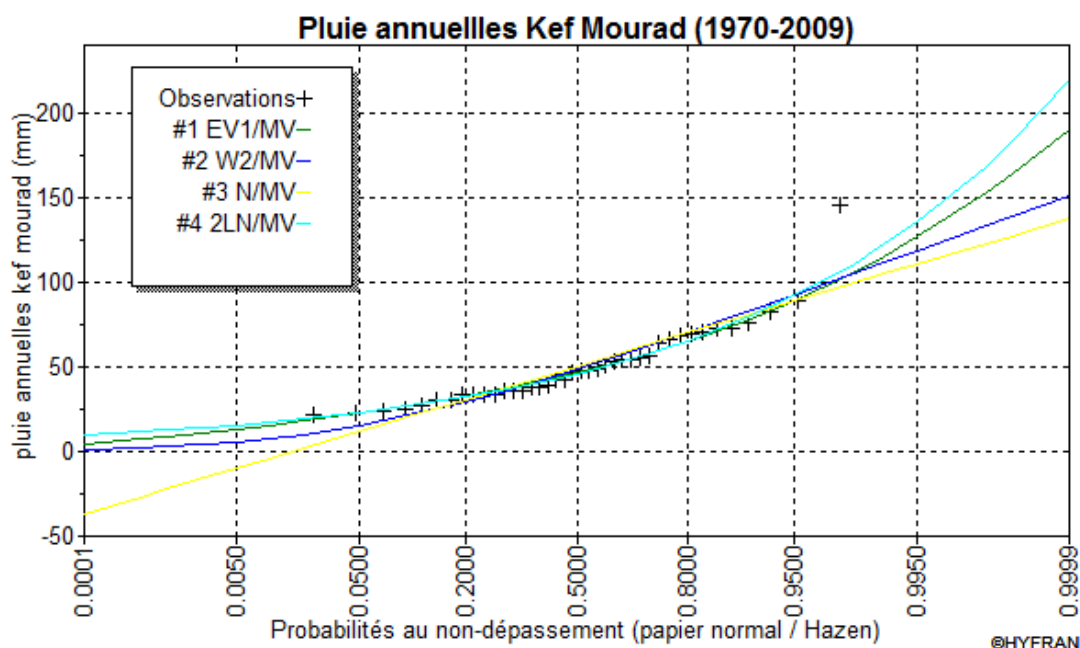


Figure 29 : Comparaison des Ajustement des lois statistiques (K.M).

En plus de cette figure le tableau 26 présente aussi des comparaisons numériques des critères entre les différentes lois.

Tableau 26 : Critère de comparaison des lois (toutes égales)

| Modèle      | Nb Paramètre | XT      | P(Mi) | P (Mi(x)) | Bic     | AIC     |
|-------------|--------------|---------|-------|-----------|---------|---------|
| Log Normale | 2            | 122.250 | 25.00 | 64.30     | 356.794 | 353.417 |
| Gumbel      | 2            | 115.343 | 25.00 | 35.22     | 357.998 | 354.620 |
| Weibull     | 2            | 111.560 | 25.00 | 0.45      | 366.700 | 363.322 |
| Normale     | 2            | 104.946 | 25.00 | 0.03      | 372.254 | 368.876 |

**P (mi)** : probabilité a priori ;

**P (mi(x))** : probabilité a posteriori ;

**BIC** : critère d'information Bayésien ;

**AIC** : critère d'information Akaike ;

Moyenne pondérée par la probabilité a posteriori des quantiles (119.764).

### Analyse et interprétation :

D'après ces résultats nous avons constaté, que la loi log normale est la plus adéquate, avec un quantile estimé  $X(t) = 122.250$  plus proche à celui observé (**119.764**), va on deuxième ordre ci la loi de Gumbel ou la valeur estime et de (**115.343**) et en troisièmes lieu c'est la loi Weibull avec une valeur de (**111.560**) et en derniers ordre la loi normale avec une valeur de (**104.946**).

### III.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous a permis e conclure que les résultats d'ajustement des précipitations maximales annuelles de la Station de Ain Berda obtenu par le logiciel Hyfran montre que la loi Gumbel s'ajuste Mieux aux données pluviométriques par rapport aux autres lois, ainsi que les résultats d'ajustement des précipitations maximales annuelles de la Station de Kef Mourad, on remarque que les données s'ajustent mieux à la loi Log Normale par rapport aux autre lois (Normal, Gumbel et Weibull).

### IV.1. Introduction :

La modélisation hydrologique est une activité en Hydrologie. Le modèle hydrologique est un outil incontournable dans la compréhension de la dynamique d'un bassin versant, dans l'utilisation rationnelle des ressources en eau de ce bassin et dans la lutte contre les catastrophes naturelles liées aux crues. Grâce aux progrès importants réalisés dans le domaine de l'informatique et des Systèmes d'Informations Géographiques les modèles hydrologiques distribués utilisent une description de plus en plus complète du bassin versant et des termes du cycle hydrologique. L'apparition et l'essor des modèles pluie-débit ont commencé dans les années soixante. (Nascimento, 1995). Le souci de la modélisation pluie-débit est de mettre à la disposition des aménageurs ou bien des ingénieurs un outil «simple» permettant l'estimation ou la prévision des débits pour une étude d'aménagement désirée (barrages, lacs, ponts, etc....).

### IV.2. Objectif de la modélisation :

La modélisation pluie-débit peut réussir à répondre à de nombreuses questions centrées sur l'eau, gestion des risques et de la ressource notamment. Michel (1989) et Refsgaard et Abbott (1996) répertorient l'essentiel de ces problématiques. Si des aspects de qualité des eaux peuvent être étroitement liés à des aspects de quantité, nous nous intéresserons ici uniquement à une modélisation pluie-débit quantitative, dont nous donnons quelques-unes de ces problématiques :

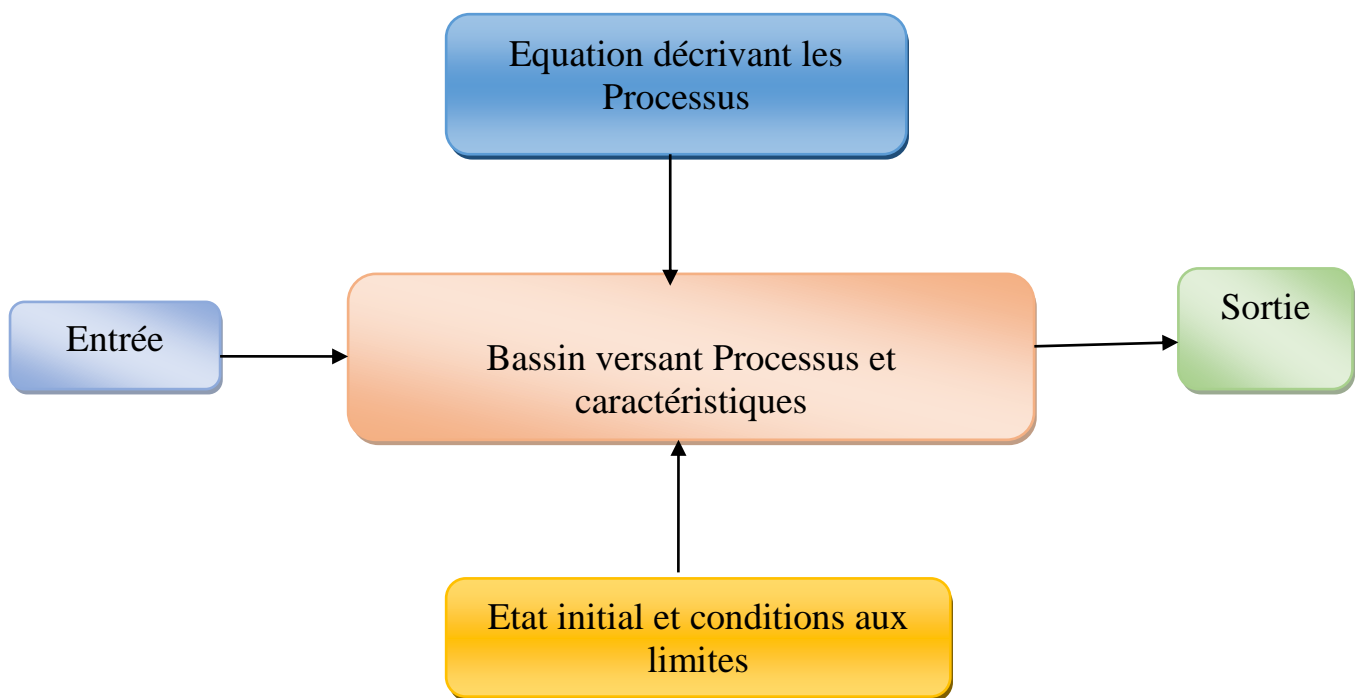
- Simulation de débits, pour le comblement de lacunes dans des séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques
- Prédétermination des débits de crue ou d'étiage : on désire savoir avec quelle fréquence des débits de crue (supérieurs à un seuil de risque par exemple) ou des faibles débits (en deçà d'un débit réservé par exemple) risquent de se produire, et sur quelle durée. On se place ici dans une démarche d'analyse fréquentielle. Cette connaissance peut permettre le Dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagements dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau
- Prévision des crues et des étiages : il s'agit d'évaluer par avance (avec un délai de quelques heures à quelques jours), connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiages pouvant demander de mettre en place une gestion particulière de la ressource (par des barrages-réservoirs par exemple) pour assurer l'approvisionnement en eau ou la préservation de la vie halieutique. On s'inscrit ici dans une démarche d'analyse en continu du bassin
- Influence d'aménagements sur l'hydrologie : on désire pouvoir prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications des caractéristiques du bassin d'origine humaine ou à des changements environnementaux.

Ces problématiques font ressortir deux aspects importants, celui de l'évaluation du risque et celui de la gestion de la ressource. La pertinence des réponses que l'on peut leur apporter est conditionnée par celle du modèle dans sa représentation du bassin relativement aux objectifs fixés. Si d'autres approches hydrologiques que la modélisation pluie-débit propose des réponses à certaines de ces problématiques (analyse fréquentielle statistique sur les débits pour la prédétermination), cette dernière paraît cependant très profitable pour des questions supposant un traitement temporel continu, comme la prévision des débits. Dans ce cas,

le fait de remonter à l'origine des débits (la pluie) permet en plus de profiter d'un délai supplémentaire par rapport à des méthodes n'exploitant que l'information sur les débits.

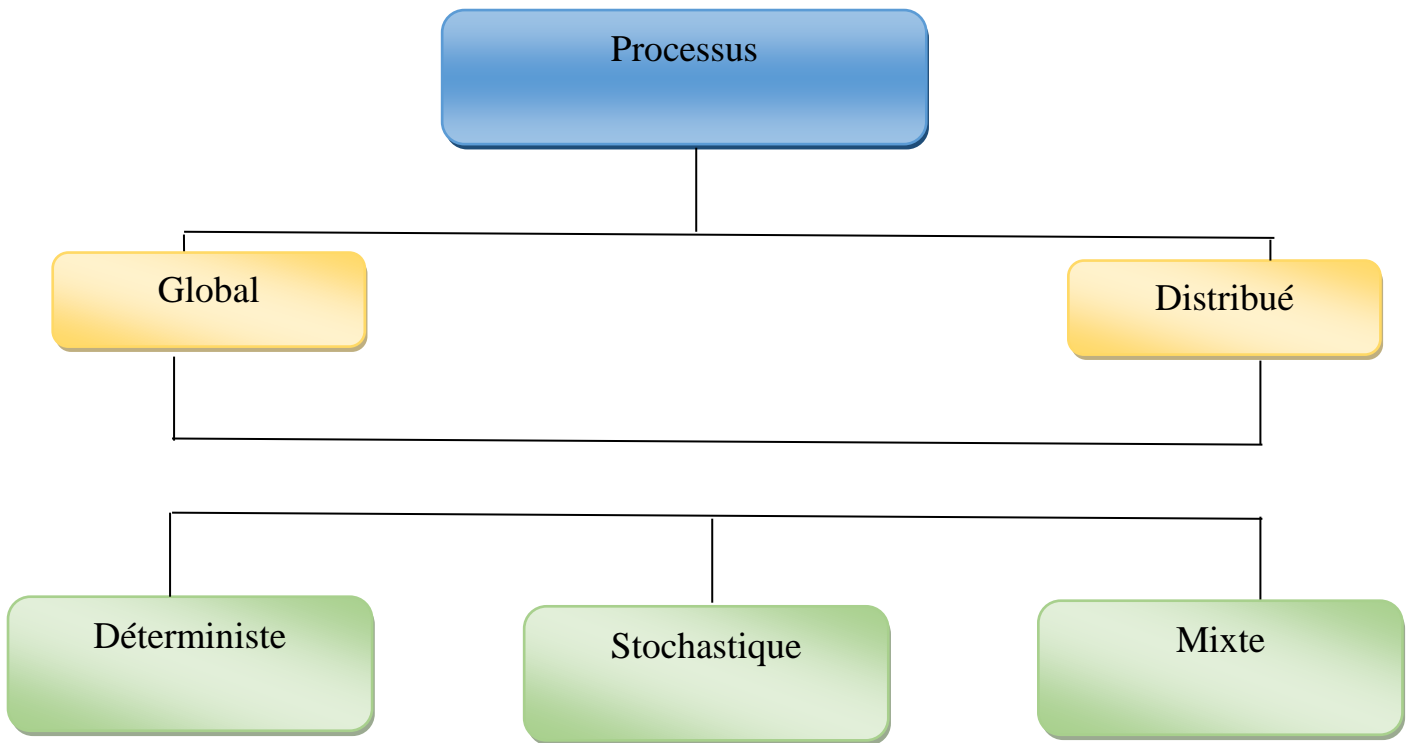
### IV.3. Classification des modèles :

Si la modélisation pluie-débit représente un étroit domaine de l'hydrologie, elle n'en est pas moins féconde en termes de production de modèles. Le développement des moyens de calculs informatiques a certainement été l'un des facteurs majeurs ayant favorisé l'essor de ce secteur de recherche depuis le début des années 60, avec la création de dizaines de modèles. Encore aujourd'hui, de nouveaux modèles sont très souvent proposés dans la littérature. Ce foisonnement tient d'une part de la diversité des approches possibles, qui font appel à des concepts et des points de vue différents sur la manière de représenter la réponse d'un bassin versant à des événements de pluie. Il tient certainement d'autre part d'un certain degré d'ignorance sur la meilleure façon de modéliser la relation pluie-débit. Devant la complexité et la diversité des systèmes observés, il est probable cependant que la solution miracle n'existe pas (Perrin, 2000).



*Figure.30 : Composants d'un modèle (Singh, 1995).*

Beaucoup de classifications des modèles ont été proposées et il y a presque autant de classifications que d'hydrologues. La difficulté de trouver une classification unifiée provient du fait que la grande diversité des approches entraîne une non moins grande diversité des caractéristiques des modèles (Perrin, 2000).



*Figure.31 : Classification des modèles proposée par Singh (1995).*

### IV .3.1 Le modèle déterministe :

S'appuie sur la description du bassin versant et prend en compte une ou plusieurs de ses caractéristiques physiques (pente, superficie, type de sol, occupation du sol, ...). Les modèles déterministes ont pour application la prévision hydrologique pour la gestion des ouvrages hydrauliques ou pour la prévision des crues, la délimitation des zones inondables, la gestion du territoire, la quantification des impacts potentiels des changements climatiques. La méthode des crues maximales probables – PMP/PMF probable maximum précipitation, probable maximum flood (Dumas, 2006) – qui supposent l'existence d'une valeur maximale des précipitations sur une région donnée et donc des crues sur un bassin versant est une méthode déterministe.

Il y a aussi les modèles cinématiques (descriptifs) ou dynamiques (explicatifs), suivant que l'évolution temporelle du système est simplement décrite ou mise en relation avec les forces qui en sont la cause.

### IV .3.2 Le modèle probabiliste :

Sert à établir des critères de conception d'ouvrages (par exemple : dimensionnement des évacuateurs de crue des ouvrages hydrauliques grâce au calcul de la crue et de la cote de projet) ou à vérifier les performances d'ouvrages existants. La finalité du modèle probabiliste est de fournir des grandeurs statistiques de variables hydrologiques : débits maximum de pointe crue d'une occurrence donnée, précipitations minimales d'une durée donnée et d'une période de retour donnée.

### IV.3.2.1 Le modèle statistique et stochastique :

Au sein des modèles probabilistes, on distingue les modèles statistiques – ajustement de lois statistiques, méthode du Gradex ... – et les modèles stochastiques qui représentent la nature aléatoire des phénomènes hydrométéorologiques à l'aide de distributions statistiques. Le générateur stochastique de pluie horaire de la méthode SHYPRE (Cernesson, 1993, Arnaud, 1997) permet ainsi la simulation de longues séries de précipitations grâce à la connaissance de lois de probabilité décrivant les phénomènes pluvieux (durée et nombre des averses, intensité maximale de l'averse, position du maximum, ...) et issues des observations.

### IV .3.3 Le modèle événementiel :

A pour objet la simulation d'un événement borné dans le temps. On modélise par exemple de manière événementielle une crue sur la durée de l'événement pluvieux l'ayant générée, augmentée du temps de concentration. Une telle modélisation requiert la détermination des conditions initiales (débit de base au début de la simulation, humidité du sol) et néglige certains processus hydrologiques considérés comme mineurs par rapport au processus principal étudié. Dans le cas d'une modélisation événementielle de crues au pas de temps horaire, l'évaporation et l'évapotranspiration sont par exemple négligées et les écoulements de sub-surface ne sont pas modélisés. Une modélisation événementielle présente donc l'avantage théorique de prendre en compte un nombre réduit de variables d'entrée, avantage contrebalancé par le besoin d'une initialisation qui fait souvent l'objet d'un calage alors qu'elle est le résultat de processus continus (Fouchier, 2010).

### IV .3.4 Le modèle global ou distribué :

Selon comment sont considérés le territoire étudié et les processus hydrologiques, on parle de modèle global ou de modèle distribué. Le bassin est considéré comme une seule entité qui réagit dans son ensemble. Les caractéristiques physiques et les grandeurs météorologiques sont considérées comme uniformes à l'échelle du bassin versant assimilé à une unité ponctuelle. Il s'agit de valeurs moyennes applicables à tout le bassin versant. Les processus hydrologiques sont simulés pour l'ensemble du bassin versant.

### IV .3.5 Classification basée sur la représentation des processus hydrologiques :

Selon le degré de complexité avec lequel on souhaite traduire les processus hydrologiques, Perrin (2000) distingue trois types de modèles : ceux de type boîte noire, ceux à base physique et ceux à réservoirs.

### IV .3.6.1 La modélisation de type boîte noire :

Propose un schéma sans lien direct avec la réalité. Elle ne fait appel qu'aux seuls variables d'entrée et de sortie d'un bassin sans faire intervenir de données sur sa nature physique. Elle fournit une description purement mathématique et globale de la transformation pluie-débit sans chercher à la décomposer en processus. Son objectif est uniquement d'obtenir des sorties les plus proches possibles des débits d'un bassin versant réel. Elle est représentée principalement par les modèles linéaires d'analyse de séries temporelles (Box et Jenkins, 1976).



### IV .3.6.2 Un modèle hydrologique à base physique :

Met en œuvre des équations qui décrivent la physique des processus hydrologiques : infiltration avec l'équation de Green et Ampt ou le modèle de Philip, évapotranspiration avec la formule de Penman, écoulement dans les zones saturée et non saturée avec les équations de Boussinesq et de Richards ou encore écoulement à surface libre avec les équations de Barré de Saint-Venant. Ces équations s'appuient sur des paramètres physiques mesurables, comme la conductivité hydraulique des sols à saturation, qui ne nécessitent pas en théorie d'être calibrés.

On distingue aussi les modèles empiriques, conceptuels ou théoriques (fondés sur la physique), suivant les relations utilisées pour modéliser la transformation de la pluie en débit et suivant la représentation du système modélisé.

### IV .3.6.3 Un modèle à réservoir :

Dans un modèle hydrologique dit à réservoirs, la transformation de la pluie en débit est décomposée en différentes composantes. Les équations qui les décrivent comportent des paramètres qui ne peuvent être mesurés et qui doivent être obtenus par calage (Fouchier, 2010). Ces procédures prennent souvent la forme de réservoirs qui se remplissent et se vident au cours du temps.

### IV .3.7. Les modèles génie rural GR :

Dans cette partie, nous développerons plus particulièrement la description de ce modèle qui nous utiliserons pour le bassin d'Oued Seybouse. La division hydrologie du Cemagref Antony développe depuis une vingtaine d'années une série de modèles pluie-débit pour l'hydrologie opérationnelle : les modèles GR pour Génie Rural (Edijatno et Michel 1989). Ces modèles appartiennent à la famille des modèles conceptuels à réservoirs. L'approche est globale. Le pas de temps est le plus souvent journalier même si des modèles dérivés à pas de temps mensuel, annuel et interannuel ont été construits (Makhlouf et Michel 1994).

### IV .3.8. Le calage et validation d'un modèle :

Le calage consiste donc à sélectionner le jeu de paramètres d'un modèle de façon à ce que celui-ci simule le comportement hydrologique du bassin versant de la meilleure façon possible (Madsen, 2000).

Le critère utilisé est le critère des moindres carrés des erreurs, présenté sous la forme adimensionnelle du critère de Nash borné. L'opération de calage consiste à trouver des valeurs des paramètres du modèle qui minimise l'erreur de modélisation sur la période considérée. Une période de 5 ans généralement est utilisée pour caler le modèle.

La validation porte sur l'application des modèles sur les données qui n'ont pas été utilisées lors de calage des modèles.

#### IV .3.8.1. Critères de qualité :

La validation du modèle est vérifiée par une comparaison des débits calculés et observés à travers un critère de qualité. Le critère le plus connu et le plus utilisé pour les modèles conceptuels est le critère de Nash et Sutcliffe (1970) qui s'exprime par l'équation ci-dessous.

$$Nash(Q) = 100X[1 - \sum_i (Q_{i,obs} - Q_{i,cal})^2 / \sum_i (Q_{i,obs} - \bar{Q}_{obs})^2]$$

$Q_{i,obs}$  Et  $Q_{i,cal}$  sont les débits observés et calculés au pas de temps  $i$ .

$Q_{i,obs}$  Est la moyenne des débits observés sur la période considérée.

Pour tenir compte de certaines valeurs particulières des débits, ce critère a été calculé en utilisant la racine carré des débits pour atténuer l'importance des débits de pointe, ou le logarithme pour les débits d'étiage.

En pratique, on estime que la simulation est de mauvaise qualité lorsque le critère de Nash est faible (<70%), elle est acceptable lorsqu'il est supérieur à 70%, parfaite lorsqu'il est égal à 100%

### IV .3.9. Objectifs de développement :

La simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant est nécessaire voire indispensable pour de nombreuses applications d'ingénierie et de gestion de la ressource en eau, telles que le dimensionnement et la gestion d'ouvrages, la prévision des crues ou des étiages, la détection d'impact, etc. C'est pour répondre à ces questions que le Cemagref a commencé à développer au début des années 1980 des modèles hydrologiques (du Génie Rural – GR) permettant de faire le lien entre la lame d'eau précipitée sur un bassin versant et son débit à l'exutoire (Michel, 1983). Au-delà de leur aspect pratique, ces modèles ont soulevé des questions essentielles sur la façon de représenter la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant.

### IV .3.10. Mode de développement :

Bien que ces modèles soient parfois apparentés à des modèles conceptuels du fait de leur structure à réservoirs, ce sont en fait des modèles empiriques : leur construction s'est faite sur la base de grands jeux de données et en découvrant progressivement la structure permettant de reproduire au mieux le comportement hydrologique du bassin versant (c'est-à-dire sa réponse aux pluies). Les idées suivantes se sont progressivement imposées au cours du développement de ces modèles pour permettre d'obtenir des modèles fiables et robustes (Mathevet, 2005) :

- représentation globale du bassin versant,
- approche empirique de développement sans recours a priori à la physique des écoulements,
- augmentation progressive de la complexité de la structure du modèle en partant de structures simples,
- justification de la complexité de la structure d'un modèle par ses performances,
- recherche de structures de modèle générales (applicables à des bassins variés),
- utilisation de larges échantillons de bassins versants pour tester les performances des modèles,
- évaluation d'un modèle par comparaison à d'autres structures de modèle.

### IV .3.11. Le modèle pluie-débit annuel GR1A :

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.

### IV .3.12. Commentaires et critiques du modèle GR1A :

#### IV .3.12.1 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  $P_k$  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 GR1A s'écrit sous la forme d'une simple équation :

$$Q_k = P_k \left[ 1 - \frac{1}{\left[ 1 + \frac{(0.7P_k + 0.3P_{k-1})^2}{X.E} \right]^{0.5}} \right]$$

Où :

- $Q_k$  est le débit simulé de l'année  $k$
- $P_k$  est la pluie observée de l'année  $k$
- $P_{k-1}$  est la pluie observée de l'année  $k-1$
- $E$  est l'évapotranspiration potentielle de l'année  $k$
- $X$  est le paramètre du modèle à optimiser

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.

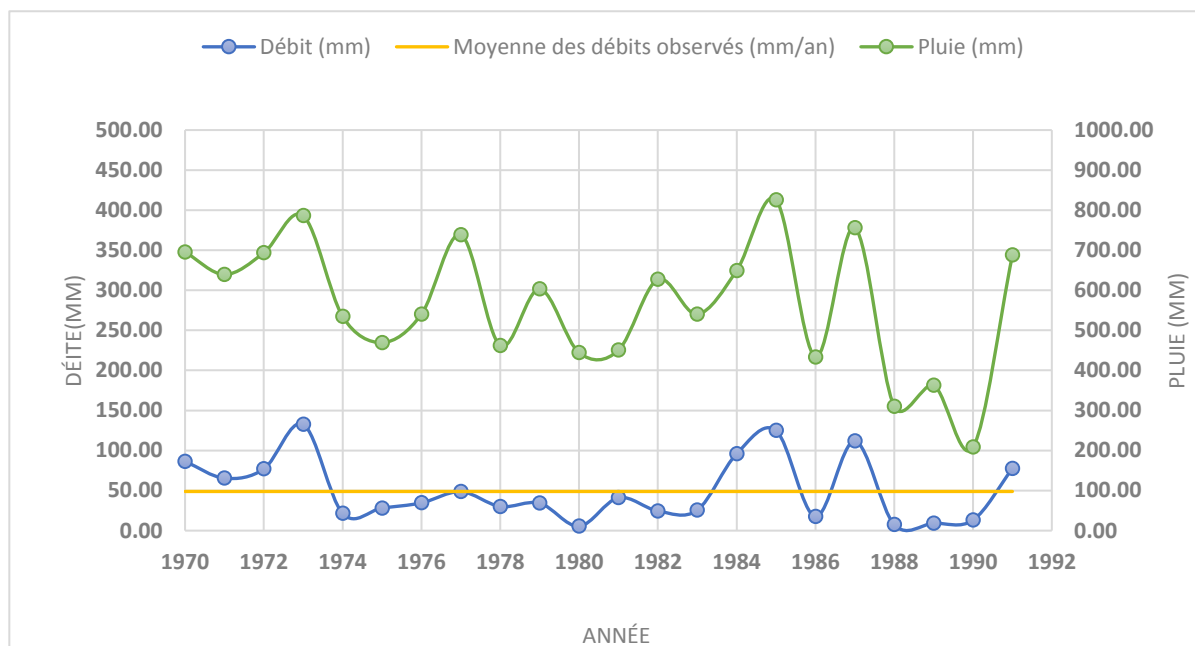
#### IV .3.12.2 Paramètre

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].

**IV .4 modélisation par corrélation (précipitations/lames d'eau écoulée) :**

**IV .4 .1.Corrélation annuelle :**

Avant l'application du modèle du Génie Rural, nous avons essayé une corrélation simple entre les précipitations de chaque station du bassin versant d'une part, et la moyenne arithmétique entre les différentes stations d'autre part avec les lames d'eau écoulées en aval du bassin d'Oued Seybouse.



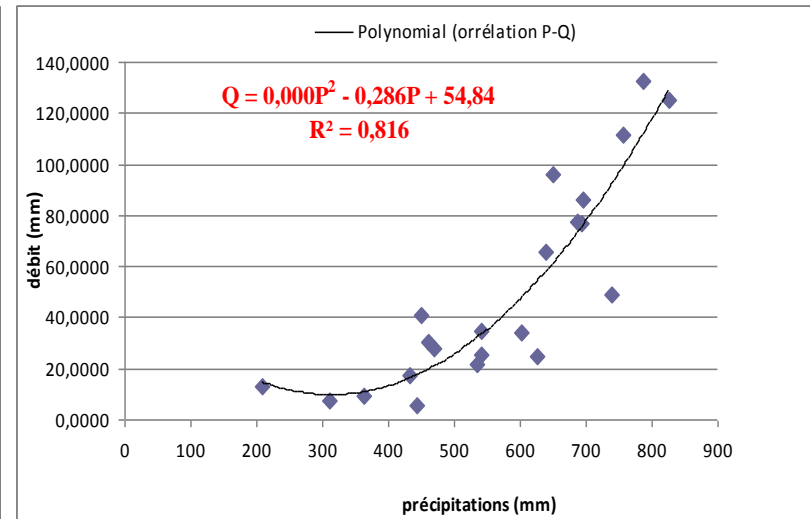
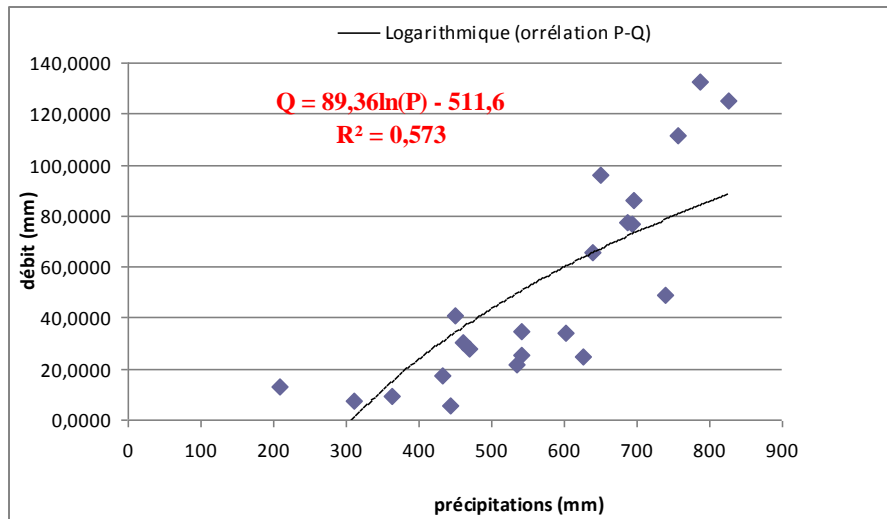
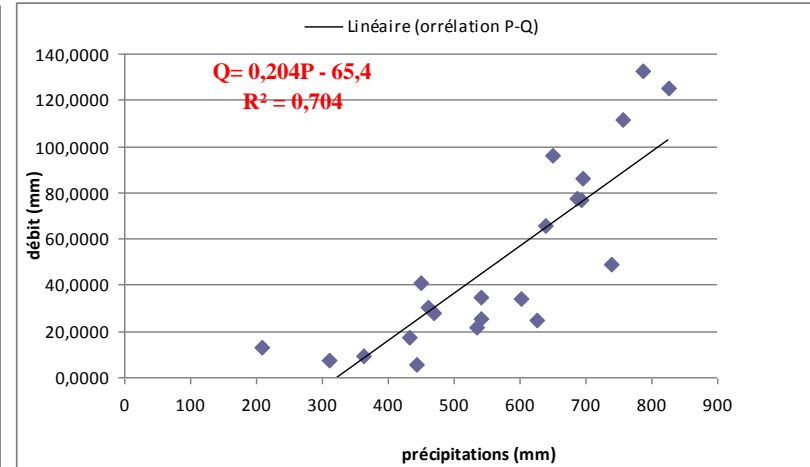
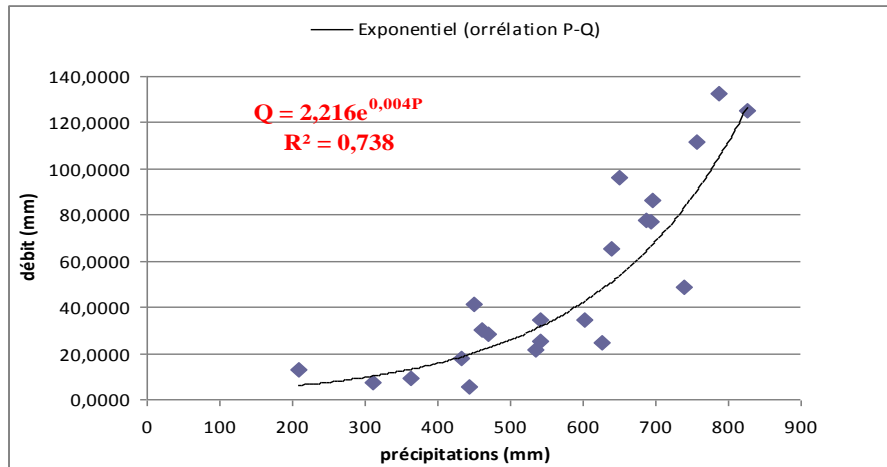
*Figure.32 : Variation interannuelle des hauteurs des pluies moyennes (Kef Mourad) et des lames d'eau écoulées*

**Tableau.27** : Résultats des différentes corrélations entre les deux paramètres pluie et la lame d'eau écoulée annuelle

|                      | Station   |  |
|----------------------|---|--|
|                      | P(K.F) - Q  | P(A.B) - Q   |
| <b>Linéaire</b>      | $Q = 0,204P - 65,4$<br>$R^2 = 0,704$              | $Q = 0.2908P - 118.46$<br>$R^2 = 0.558$              |
| <b>Exponentielle</b> | $Q = 2,216e^{0,004P}$<br>$R^2 = 0,738$            | $Q = 0.1277e^{0.009P}$<br>$R^2 = 0.6982$             |
| <b>Logarithmique</b> | $Q = 0,0002P^2 - 0,286P + 54,84$<br>$R^2 = 0,816$ | $Q = 166.67 \ln(P) - 1006.1$<br>$R^2 = 0.5476$       |
| <b>Polynomial</b>    | $Q = 0,0002P^2 - 0,286P + 54,84$<br>$R^2 = 0,816$ | $Q = -2E-05P^2 + 0.3142P - 125.16$<br>$R^2 = 0.5581$ |
| <b>Puissance</b>     | $Q = 3E - 05P^{2,233}$<br>$R^2 = 0,654$           | $Q = 2E-14P^{5.5043}$<br>$R^2 = 0.7588$              |

P : Précipitation ; Q : Débit ; K.F : Kef-Mourad ; A.B : Ain Berda

## Chapitre IV : MODELISATION PLUIE-DEBIT



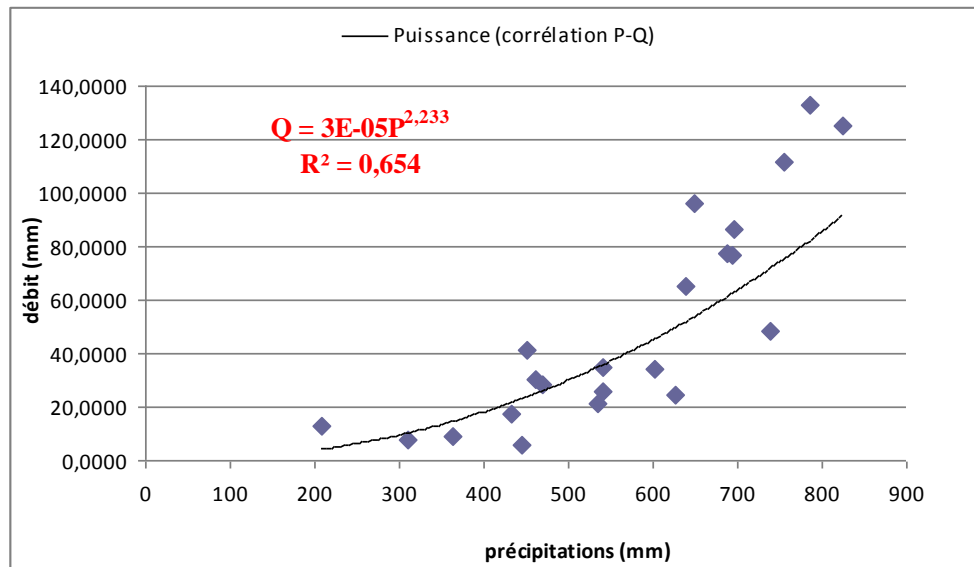
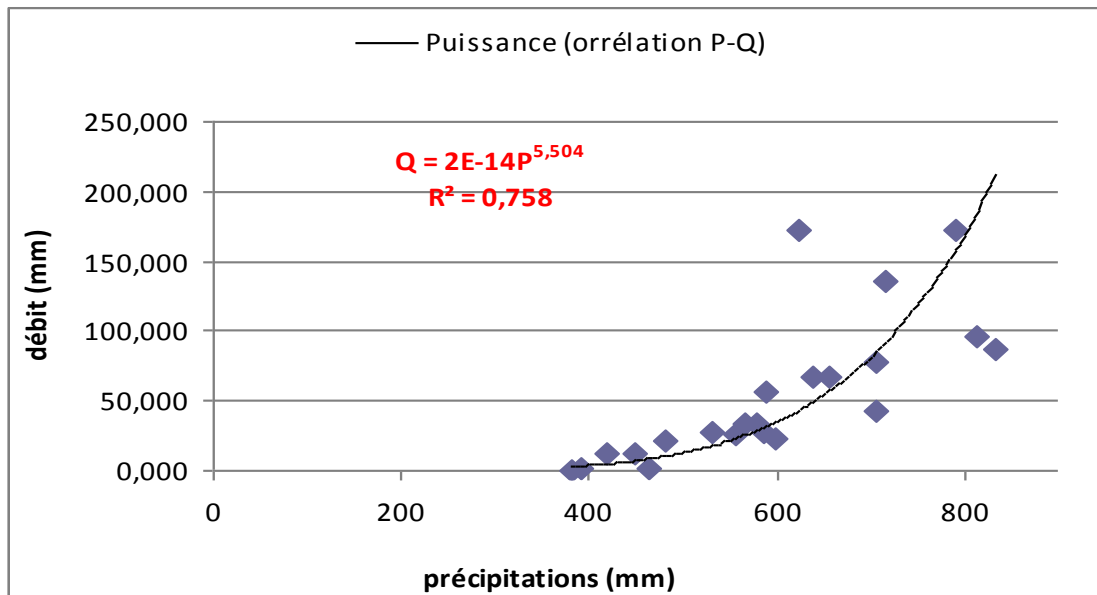
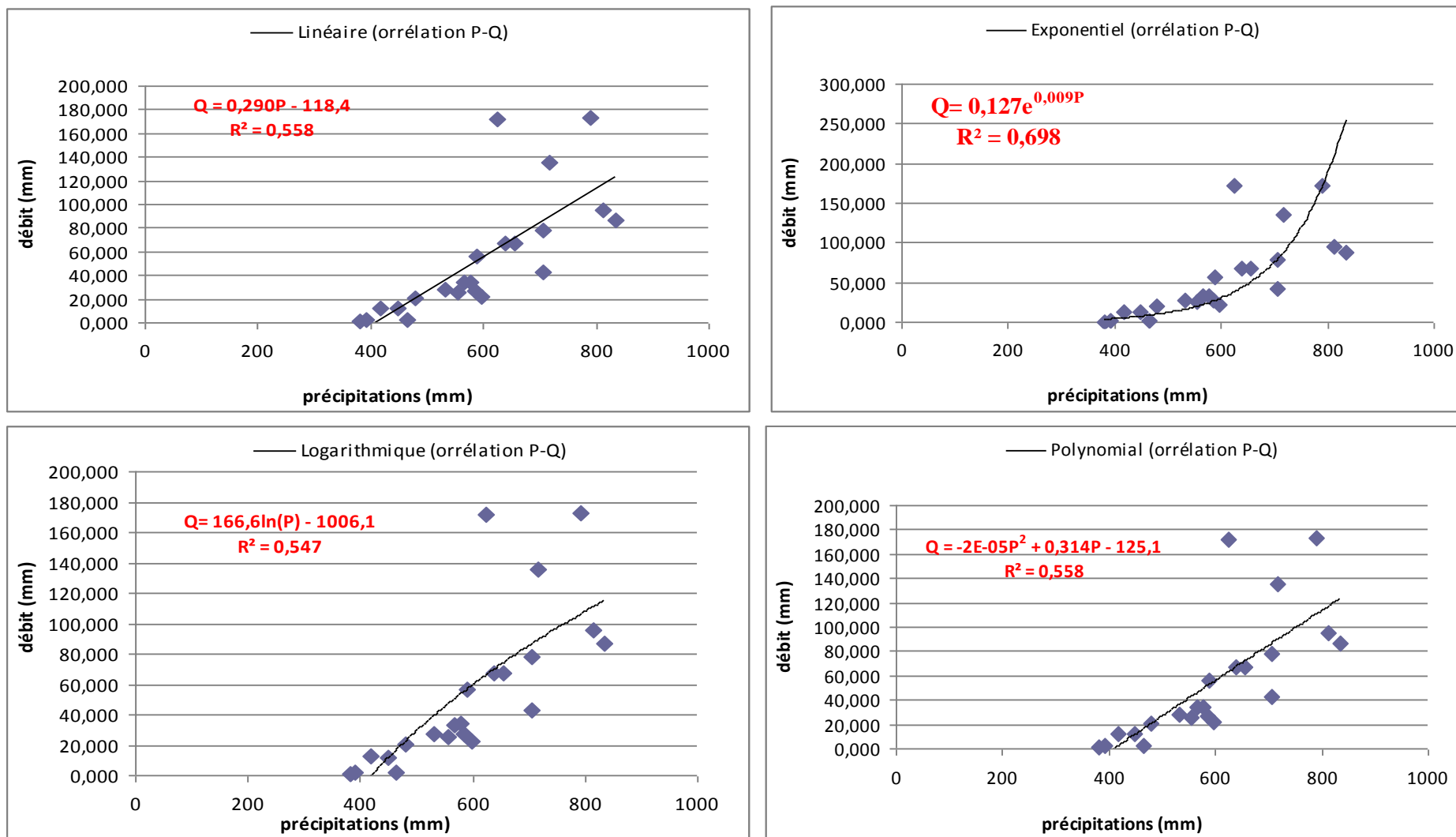


Figure.33 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulee annuelle (La moyenne des précipitations de *Kef Mourad*)





*Figure.34 : Résultats de corrélations entre les pluies et la lame d'eau écoulee annuelle  
(La moyenne des précipitations d'Ain Berda)*

### IV .4 .2. Analyse et interprétation :

La modélisation par corrélation des données annuelles donne des coefficients de corrélation entre le **(0.57-0.81)** pour la station de Kef-Mourad et entre **(0.54-0.75)** pour le cas d'Ain Berda. Donc les corrélations sont admissibles pour les différents cas proposés.

### IV .5. Application du modèle GR :

La modélisation pluie-débit a de nombreuses applications (Michel, 1989 ; Refsgaard & Abbott, 1996) parmi lesquelles on peut citer :

- Estimation des débits de rivières pour des sites non jaugés ;
- Dimensionnement des ouvrages d'art (barrages, ponts, déversoirs de sécurité... ) ;
- Délimitation des zones inondables ;
- Simulation des débits pour des reconstitutions historiques ;
- Prévission des crues ;
- Détection de l'influence des changements d'occupation du sol ;
- Simulation de l'impact du changement climatique ;
- Pré détermination des débits de crue ou d'étiage (fréquence et durée) ;
- Prévission des étiages.

Devant ces problématiques, l'application de la modélisation en hydrologie est indispensable. Nous essayons donc, dans cette partie du chapitre ; d'appliquer le modèle GR sur notre bassin d'étude.

L'application de ce modèle a été effectuée sur les données annuelles pour GR1A des pluies (P) et des débits (Q) mesurées à la station de Kef Mourad et Ain Berda.

### IV .5.1. Modèle annuel GR1A :

Dans cette étude, pour prédire le débit à une année donnée on utilise à l'entrée du modèle des valeurs des pluies annuelles observées (mm), des ETP calculées par la méthode de **Thornthwaite** E.T.P. "**A.N.R.H.**" celle de **Turc** en mm et des débits annuels (exprimés en lames d'eau écoulées) observés au niveau des deux stations Kef-Mourad et Ain Berda.

### IV .5.2.L'évapotranspiration potentielle annuelle :

L'évapotranspiration potentielle est une notion dégagée dans les années 1950 par Thornthwaite. Elle exprime la quantité d'eau qui s'évaporerait du sol et serait transpirée par la végétation si aucun problème d'alimentation en eau ne se posait.

Ainsi définie, l'E.T.P. est donc indépendante de la disponibilité réelle du sol en eau et n'est fonction que de la capacité du milieu atmosphérique ambiant à provoquer l'évapotranspiration et fait donc surtout intervenir les facteurs énergétiques.



L'E.T.R. est la quantité d'eau réellement évapotranspirée. Elle dépend donc de la demande (E.T.P.) et de l'offre qui est l'état de la réserve en eau du sol. L'eau est dans ce cas un facteur limitant.

La notion d'E.T.P. a l'avantage de synthétiser les facteurs climatiques qui influent positivement sur le déficit d'écoulement (températures moyennes mensuelles, insolation, radiation, humidité relative). Combinée à la pluie moyenne mensuelle et à la réserve en eau du sol, elle permet d'évaluer l'évapotranspiration réelle qui est assimilée au déficit d'écoulement dans les études hydrologiques.

Les mesures de l'E.T.P. se font grâce aux cases lysométriques et aux évapotranspiromètres.

Mais l'évapotranspiration potentielle est calculée le plus souvent grâce à des formules. Deux types de formules sont à distinguer :

- les formules « empiriques » issues de l'ajustement statistique de résultats expérimentaux à des facteurs climatiques jugés importants. Ce sont les formules de Thornthwaite et de Turc.
- les formules « physiques » fondées sur le bilan d'énergie, et qui prennent en compte selon une base théorique le rôle respectif de chaque paramètre : le rayonnement global, température, déficit de saturation de l'air en vapeur d'eau, vitesse du vent.

Elles regroupent la formule de Penman, et celles qui en dérivent, Bouchet, Brochet – Gerbier.

Les formules du second type sont les plus performantes, mais leur application nécessite la disponibilité de données concernant des paramètres climatiques plus nombreux et plus difficiles à obtenir (durée d'insolation, vent moyen ...).

La formule de Thornthwaite est très utilisée pour deux raisons, bien qu'elle sous-estime l'E.T.P., surtout en été : facilité d'emploi car fondée sur deux paramètres simples : température moyenne mensuelle et insolation théorique exprimée par un coefficient fonction de la saison et de la latitude.

On évaluera l'E.T.P. sur les deux sous bassin Seybouse et Oued Ressoul à partir des formules très utilisées en domaine méditerranéen, à savoir : Thornthwaite, Turc et la formule dite A.N.R.H.

### IV .5.2.1 Evaluation de l'E.T.P. Thornthwaite :

La formule de Thornthwaite s'écrit comme suit :

$$ETP = 16 * \left(\frac{10t}{I}\right)^a * K \text{ Avec :}$$

T : température moyenne mensuelle.

I : Somme de i avec  $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$

$$a = \left(\frac{0.016}{I}\right) + 0.5.$$

K : facteur correctif fonction de la saison et de la latitude de la station.

**Calcul** de  $a = (6.75 * 10^{-7} * I^3) - (7.71 * 10^{-5} * I^2) + (1.79 * 10^{-2} * I) + 0.49$

**IV .5.2.2.L'E.T.P. Turc :**

La formule de Turc, (1954) s'écrit comme suit :

$$ETP = \frac{(0.4 * t)}{(15 + t)} * (I_g + 50) * K$$

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

Avec **I<sub>g</sub>** : moyenne mensuelle de la radiation solaire en cal/cm<sup>2</sup>/jour

**I<sub>g</sub>a**: moyenne mensuelle de la radiation solaire aux confins de l'atmosphère. Les valeurs d'I<sub>g</sub>a sont tabulées.

**T°c** : température moyenne mensuelle en degrés centigrades.

**h**: insolation mesurée avec l'héliographe

**H** : insolation théorique fonction de la latitude et des saisons (heures/mois).

Les valeurs de **H** sont tabulées

**0.40** : mois de 30 jours

**0.37** : mois de février.

**K** : facteur qui dépend de l'humidité relative du mois.

*Si*

$$hr > 50\%. K = 1$$

*Si*

$$hr < 50\%. K = 1 + (50 - \frac{hr}{70})$$

**IV .5.2.3.L'E.T.P. A.N.R.H :**

La formule dite E.T.P. "A.N.R.H." a été proposée à la suite d'une étude publiée en 2002 (A.N.R.H., 2002), avec l'expertise de Laborde dont l'objectif était d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle de Penman en se basant sur les mesures de la température moyenne mensuelle, les 2 autres paramètres étant le mois à considérer et la position géographique de la station.

$$E.T.P. ANRH = Kr * Km * (H - 187) * (0,032 * t + 0,077)$$

**K<sub>r</sub>** : coefficient régional ;

**K<sub>m</sub>** : coefficient mensuel (uniforme pour toutes les stations, il varie en fonction des mois)

**H** : la durée théorique d'insolation du mois i (en heures par mois)

**t** : température moyenne mensuel en °C. Une relation permet d'exploiter les données thermométriques de Seltzer :

$$T_{récent} = 1,0069 * t_{Seltzer} + 0,143$$

**IV .5.3.l'E.T.P. annuelle Thornthwaite, Turc et E.T.P.A.N.R.H. d'Annaba :**

**Tableau 28 :** l'E.T.P. annuelle Thornthwaite, Turc et E.T.P.A.N.R.H. d'Annaba

|               | <b>E.T.P<br/>THORNTHWAITE<br/>(mm)</b> | <b>E.T.P<br/>TURC<br/>(mm)</b> | <b>E.T.P.<br/>A.N.R.H<br/>(mm)</b> | <b>Périodes</b>  |
|---------------|--|--------------------------------|------------------------------------|------------------|
| <b>Annaba</b> | <b>786.67</b>                          | <b>1143.4</b>                  | <b>1334.7</b>                      | <b>1971-1988</b> |

**IV .5.4.Calage du modèle GR1A**

La procédure de calage a consisté à déterminer les paramètres optimisés à partir des différents critères de qualité ; nous avons donc cherché à caler le paramètre X1 du modèle. En modifiant ce paramètre pour la somme moyenne des précipitations des trois ou deux stations, ou même chaque station à part, jusqu'à l'obtention d'un critère de Nash optimum avec une valeur supérieur ou égal à 70% et un coefficient de corrélation acceptable. Les résultats obtenus sont regroupés dans le **tableau 29** et représentés dans les **figures 35 à 46 (voir Annexes 1 et 2)**.

**Tableau 29 :** Résultat du calage du modèle GR1A

| <b>Données<br/>annuelles</b>                        | <b>ETP (Thornthwaite)</b> |                  | <b>ETP (Turc)</b>      |                  | <b>ETP (ANRH)</b>      |                  |
|---|---------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|   | <b>Kef-<br/>Mourad</b>    | <b>Ain Berda</b> | <b>Kef-<br/>Mourad</b> | <b>Ain Berda</b> | <b>Kef-<br/>Mourad</b> | <b>Ain Berda</b> |
| <b>X</b>  | <b>0.51</b>               | <b>0.48</b>      | <b>0.13</b>            | <b>0.13</b>      | <b>0.13</b>            | <b>0.13</b>      |
| <b>Nash (%)</b>                                     | <b>73.9</b>               | <b>51.3</b>      | <b>73.9</b>            | <b>51.2</b>      | <b>61,0</b>            | <b>41</b>        |
| <b>Bilan<br/>(%)</b>                                | <b>103,3</b>              | <b>109.8</b>     | <b>105.8</b>           | <b>105.4</b>     | <b>79.7</b>            | <b>80.6</b>      |
| <b>Coefficien<br/>t de<br/>corrélatio<br/>n (R)</b> | <b>0.763</b>              | <b>0.556</b>     | <b>0.763</b>           | <b>0.556</b>     | <b>0.764</b>           | <b>0.554</b>     |

X : coefficient de correction de l'ETP (mm).

### **Conclusion :**

Le calage du modèle GR1A montre des valeurs très rapprochés du coefficient de corrélation pour les différents cas de précipitations choisies avec l'ETP de Thornthwaite, Turc et ANRH, les valeurs du coefficient sont comprises entre 0,554 et 0,764. Pour la validation les résultats obtenus permettent de constater que la modélisation pluie-débit élaborée par l'utilisation de GR1A, donne des résultats très acceptables pour les pluies maximales de la station Kef Mourad avec un coefficient de corrélation entre la lame d'eau calculée et la lame d'eau simulée de 0,764.

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

---

**CONCLUSION GENERALE**

Les modèles pluie-débit sont des outils qui permettent de simuler les débits en un point donné d'un cours d'eau à partir de la connaissance des pluies tombées sur le bassin versant correspondant. Cette modélisation est faite à l'échelle du bassin versant, entité caractéristique de concentration des écoulements, et permet donc de simuler la transformation qu'effectue le bassin sur les pluies pour générer les débits.

Les applications des modèles pluie-débit sont multiples : simulations de crues à court terme, prévision d'étiages, prédétermination des crues et dimensionnement d'ouvrages, mise en évidence du non stationnarité du comportement hydrologique sous l'effet du changement climatique ou de l'évolution de l'occupation du sol... De plus les modèles pluie-débit permettent d'allonger les délais de prévision par rapport aux modèles débit-débit.

Dans le but de simuler un modèle pluie-débit pour une meilleure compréhension du comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Ressoul et Oued Seybouse ; nous avons entamé l'application du modèle génie rural au pas du temps annuel (GR1A).

L'étude statistique des conditions climatiques, met en évidence une variation des précipitations qui se traduit par une diminution de la pluviométrie de l'amont vers l'aval. L'ajustement de ces valeurs suit la Loi Gumbel pour la station d'Ain Berda et la Loi Log Normal pour la station de Kef Mourad utilisées.

L'étude hydrologique a permis d'apprécier l'évolution des lames d'eau écoulées au niveau des deux stations de jaugeages du bassin versant de l'Oued Ressoul et Oued Seybouse.

Les résultats obtenus par la modélisation pluie-lame d'eau écoulée par l'approche corrélatoire, n'étaient pas concluants, mais nous a permis de choisir pour la suite du travail, les stations pluviométriques qui présentent les meilleurs corrélations.

Pour l'application du modèle du génie rural, les paramètres d'entrés utilisés sont les précipitations de la station Ain Barda et Kef Mourad, Avec l'ETP calculée par la méthode de Thornthwaite, Turc et ANRH pour le modèle GR1A. Le paramètre de sortie étant la lame d'eau écoulé au niveau des stations de jaugeages des bassins versants.

Le calage du modèle GR1A montre des valeurs très rapprochés du coefficient de corrélation pour les différents cas de précipitations choisies avec l'ETP de Thornthwaite, Turc et ANRH, les valeurs du coefficient sont comprises entre 0,554 et 0,764. Pour la validation les résultats obtenus permettent de constater que la modélisation pluie-débit élaborée par l'utilisation de GR1A, donne des résultats très acceptables pour les pluies maximales de la station Kef Mourad avec un coefficient de corrélation entre la lame d'eau calculée et la lame d'eau simulée de 0,764.

Le paramètre X1, varie selon la valeur de l'ETP calculé entre 0,13 et 0,51, la formule de Thornthwaite donne des résultats très acceptables pour les précipitations maximales des deux stations (Ain Berda et Kef Mourad) avec un paramètre de correction X1 de 0,48 et 0,5, inférieur à 1 traduit le transfert d'une partie des eaux superficielles vers les nappes profondes.

A la fin de ce travail, nous pouvons dire que l'application des modèles du Génie Rural aux données du bassin versant d'Oued Seybouse donne des résultats très satisfaisants. Ces résultats vont dans le même sens ceux déjà trouvés par Bouanani, 2004 dans le bassin de la

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

---

Tafna sur les Oueds Haute Tafna, Mefrouch et Sikkak et par Bourek, 2010 dans le bassin de Mekkera.

Aussi, les modèles GR paraissent très indiqués pour être utilisés dans des bassins Méditerranéens à climat semi-aride.

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

---

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Ghachi A., 1986**, Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie: le Bassin de la Seybouse, Alger, O.P.U., 508 p.
- Mebarki A., 2005** : Hydrologie des bassins de l'Est algérien: ressources en eau, Aménagement et environnement. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine, 360 p.
- Singh, P. (1995)**. Hydrologic Systems, vol. 1 : Rainfall - Runoff modeling.
- Refsgaard, J.C. et Abbott, M.B. (1996)**. The rôle of distributed hydrological modelling in water resources management - Chapitre 1. In: Distributed Hydrological modelling, M. B. Abbott et J. C. Refsgaard (Ed.), Kluwer Académique Publisher, Netherlands, 1-16.
- Perrin C., (2000)**. Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, Cemagref. Antony, Institut National Polytechnique de Grenoble: 530 p.
- Nascimento N.O., (1995)**. Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'action anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle du bassin versant. Thèse de Doctorat, CERGRENE/ENPC, Paris, 550 pp.
- Michel C., (1983)**. Que peut-on faire en hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ? La Houille Blanche(1), 39-44.
- Mathevet T., (2005)**. Quels modèles pluie-débit globaux pour le pas de temps horaire ? Développement empirique et comparaison de modèles sur un large échantillon de bassins versants. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris), Cemagref (Antony), France, 463 pp.
- Makhlouf Z. et Michel, C., (1994)**. A two -paramètre Monthey water balance model for French water sheds. Journal of Hydrology 162, 299-318.
- Fouchier C. (2010)**. Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues. Thèse De Doctorat De L'université Montpellier II Sciences Et Techniques Du Languedoc. Thèse préparée au sein du Groupe de Recherche en Hydrologie, Cemagref, Aix-en-Provence., P266.
- Edijatno, Michel, C. (1989)**. Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. La Houille Blanche(2), 113-121.
- Dumas A. (2006)**. Méthode de maximisation : estimation des crues maximales probables (CMP). La Houille Blanche, n° 5, 74-79.
- Cernesson F. (1993)**. Modèle simple de prédétermination des crues de fréquences courante à rare sur petits bassins versants méditerranéens. Thèse de doctorat, Université des sciences et technique du Languedoc. 240 p.
- Arnaud P. (1997)**. Modèle de prédétermination de crues basé sur la simulation. Extension de sa zone de validité, paramétrisation du modèle horaire par l'information journalière et couplage des deux pas de temps. Thèse de doctorat, Université des sciences et technique du Languedoc. 251 p.

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

---

**Box, G.E.P. et Jenkins, G.M. (1976).** Time séries analysais - Forecasting and control. Holden Day (Ed.), Oakland, California, 575 p.

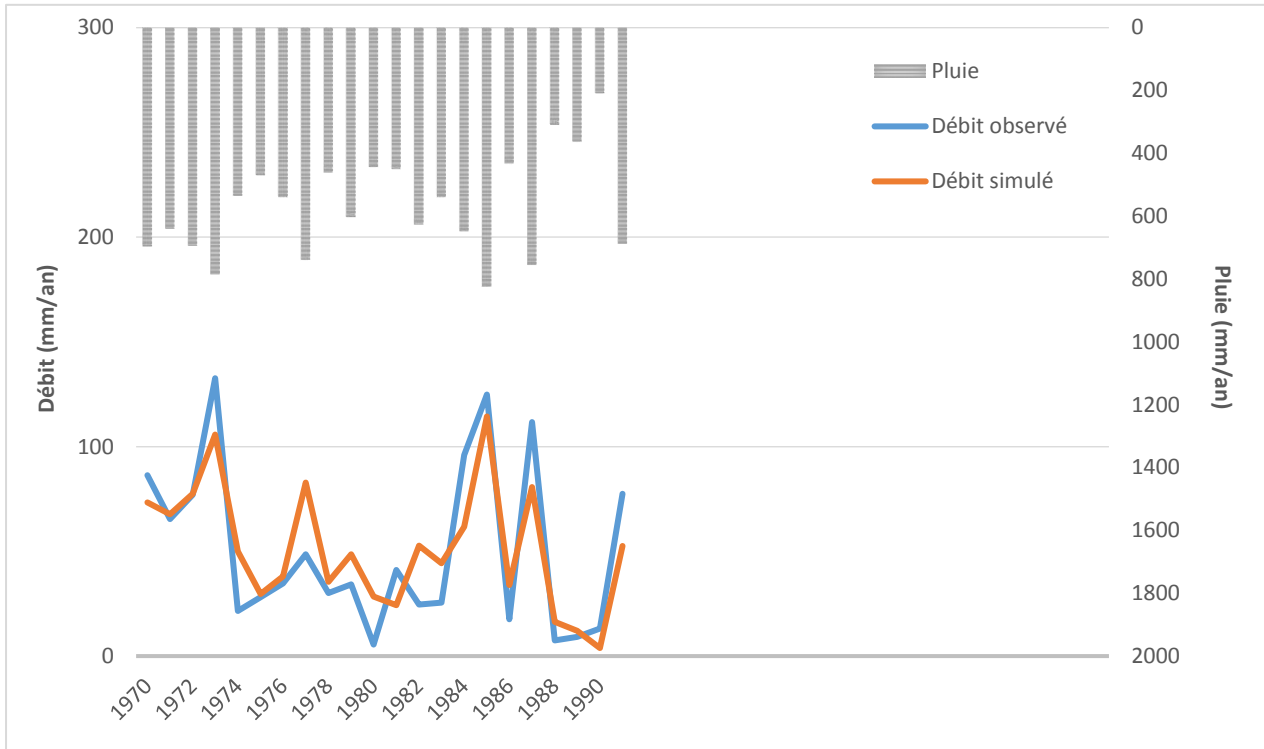


**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

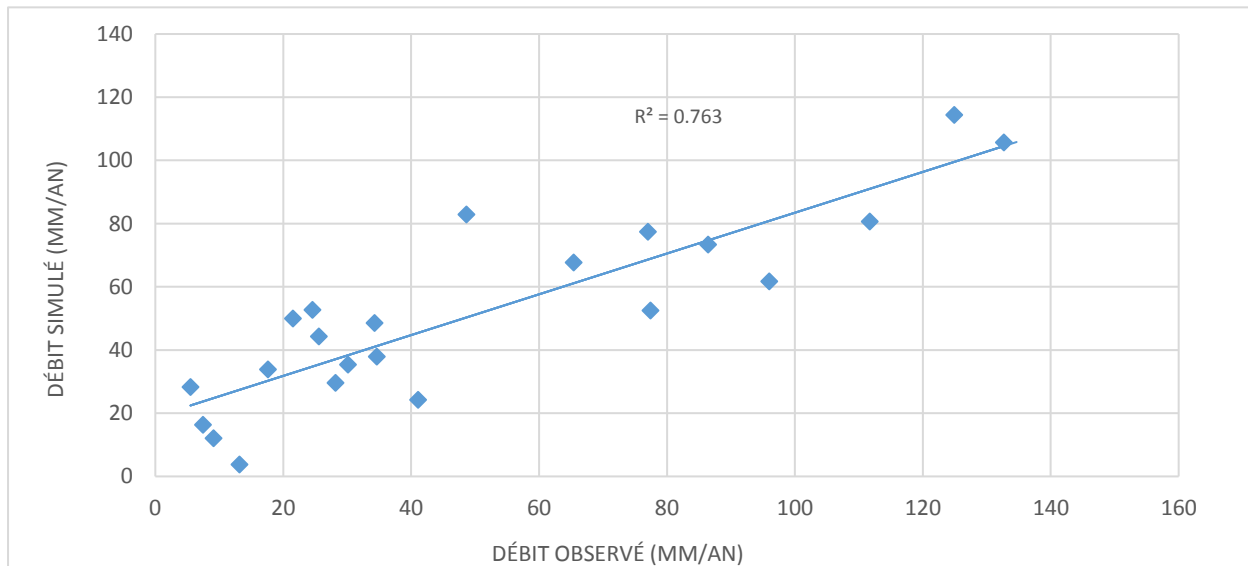
---

**ANNEXES**

**ANNEXE 1 : Le modèle annuel GR1A pour la station Kef Mourad**

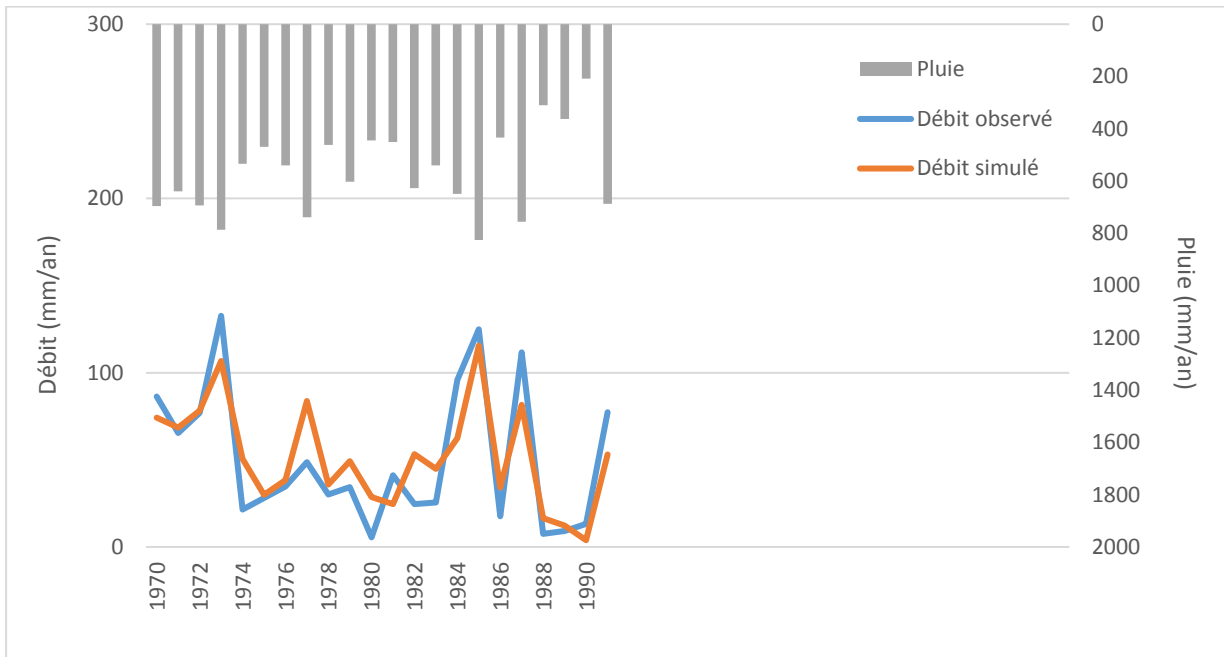


**Figure.35: Calage GR1A de la station Kef-Mourad (Thornthwaite)**

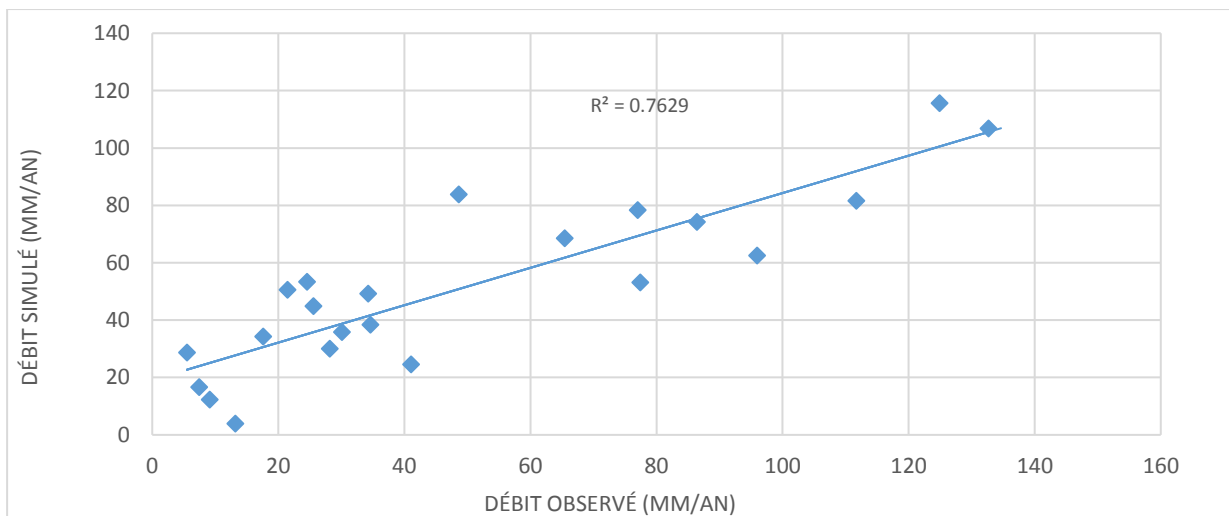


**Figure.36 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station de Kef-Mourad (Thornthwaite)**

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

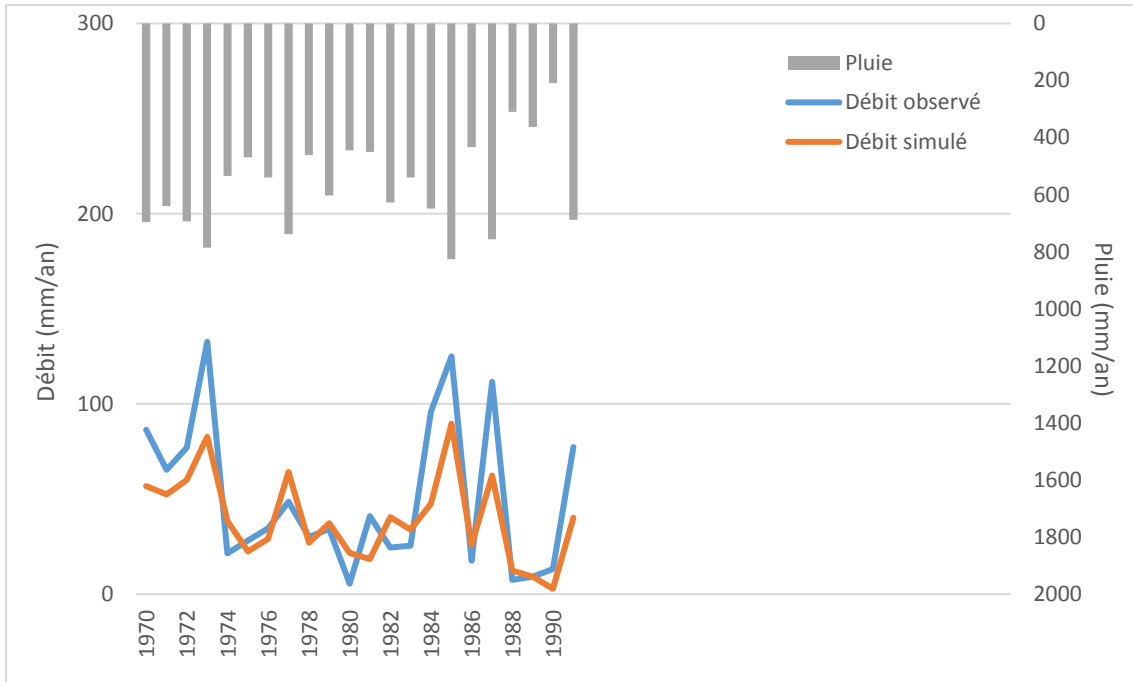


*Figure.37: Calage GRIA de la station Kef-Mourad (Turc)*

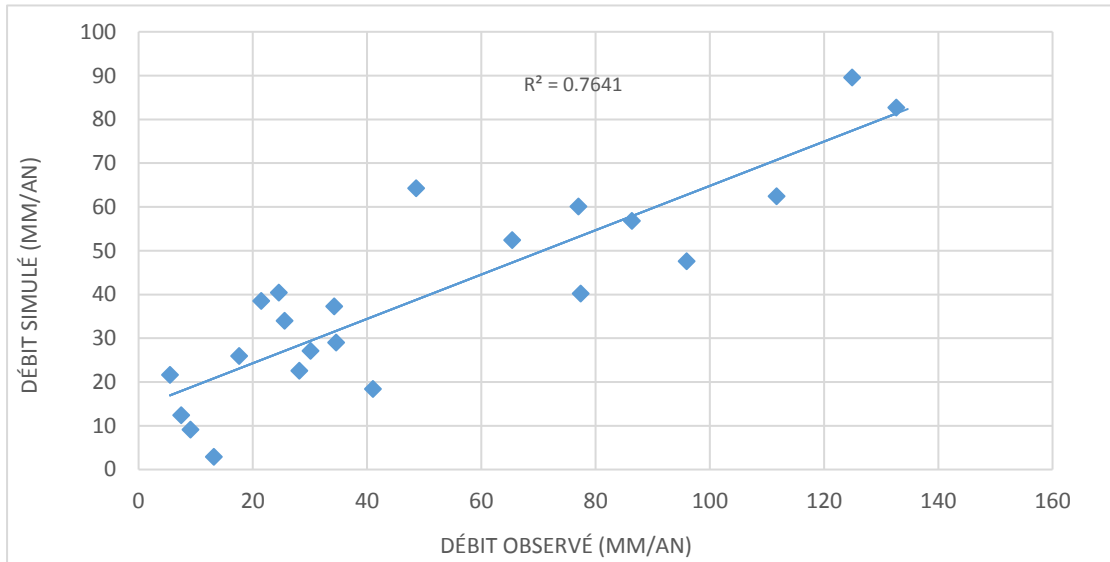


*Figure.38. : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Kef-Mourad (Turc)*

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**



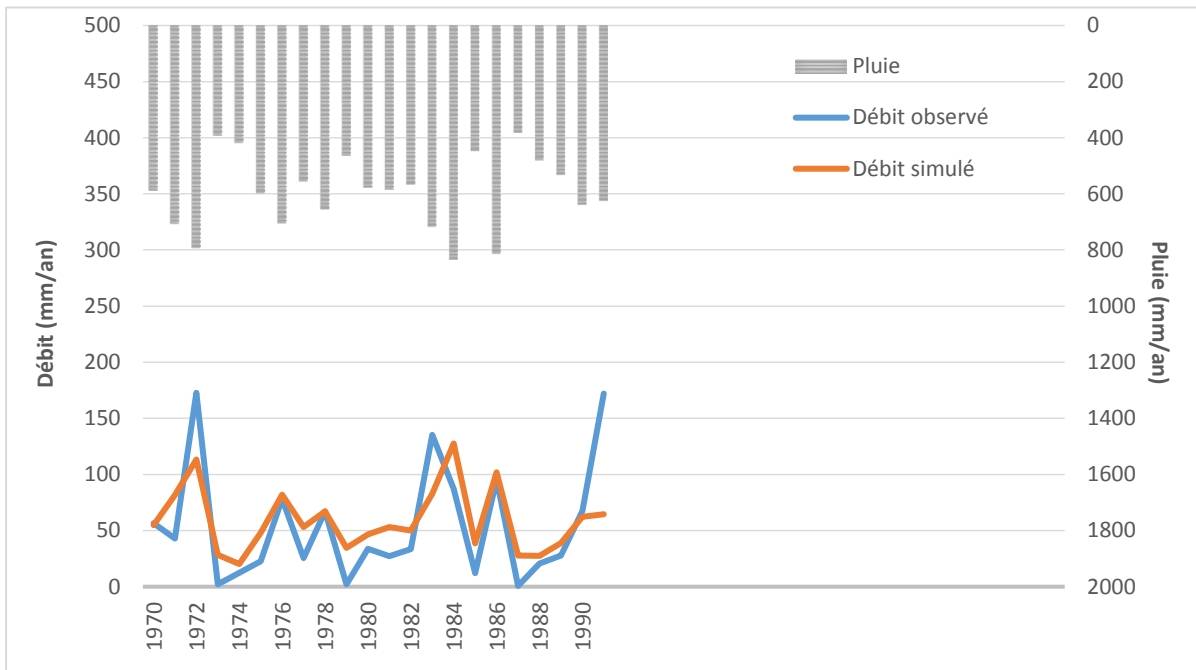
**Figure.39 : Calage GRIA de la station Kef-Mourad(A.N.R.H)**



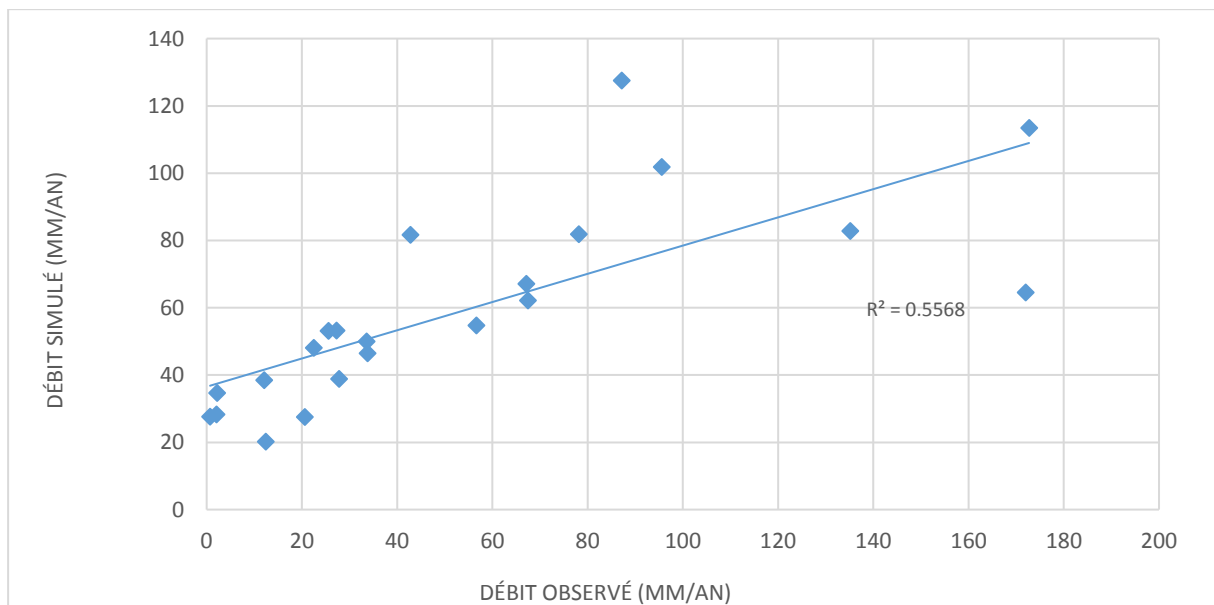
**Figure.40 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Kef-Mourad (A.N.R.H)**

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

**ANNEXE 2 : Le modèle annuel GR1A pour la station Ain Berda**

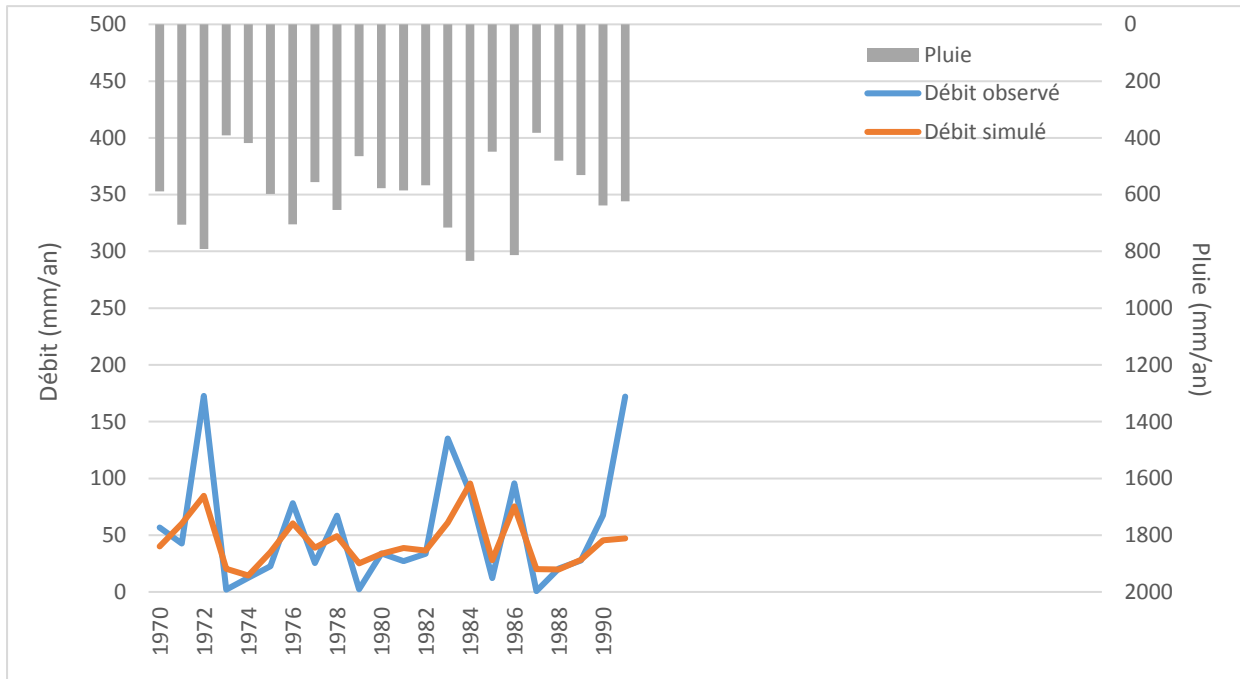


**Figure.41 : Calage GR1A de la station Ain Berda (Thornthwaite)**

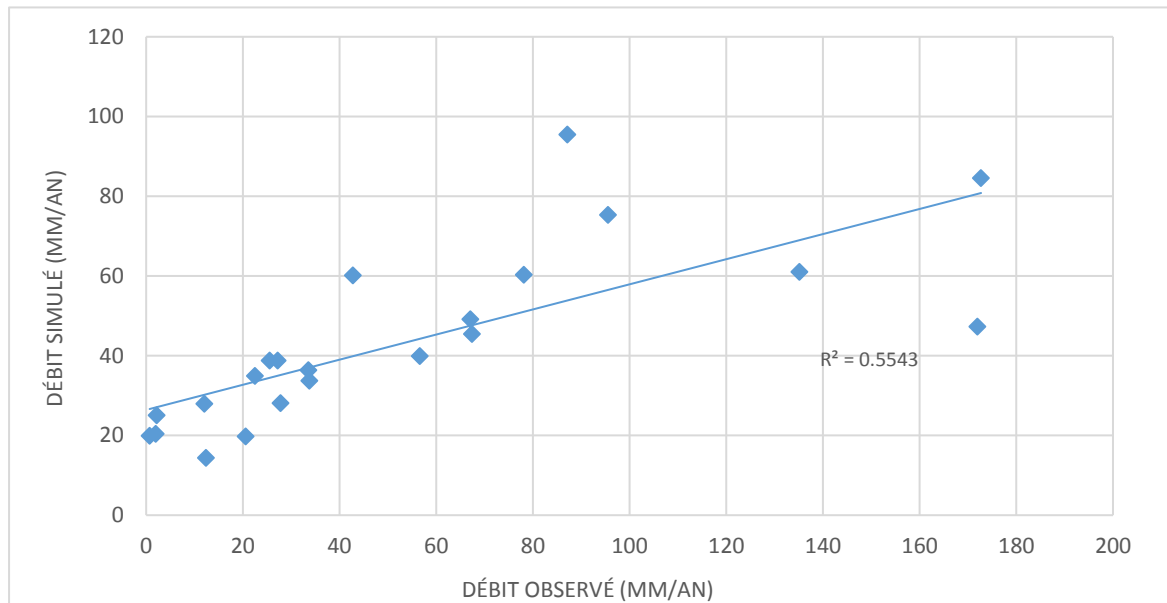


**Figure.42 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Ain Berda(Thornthwaite)**

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

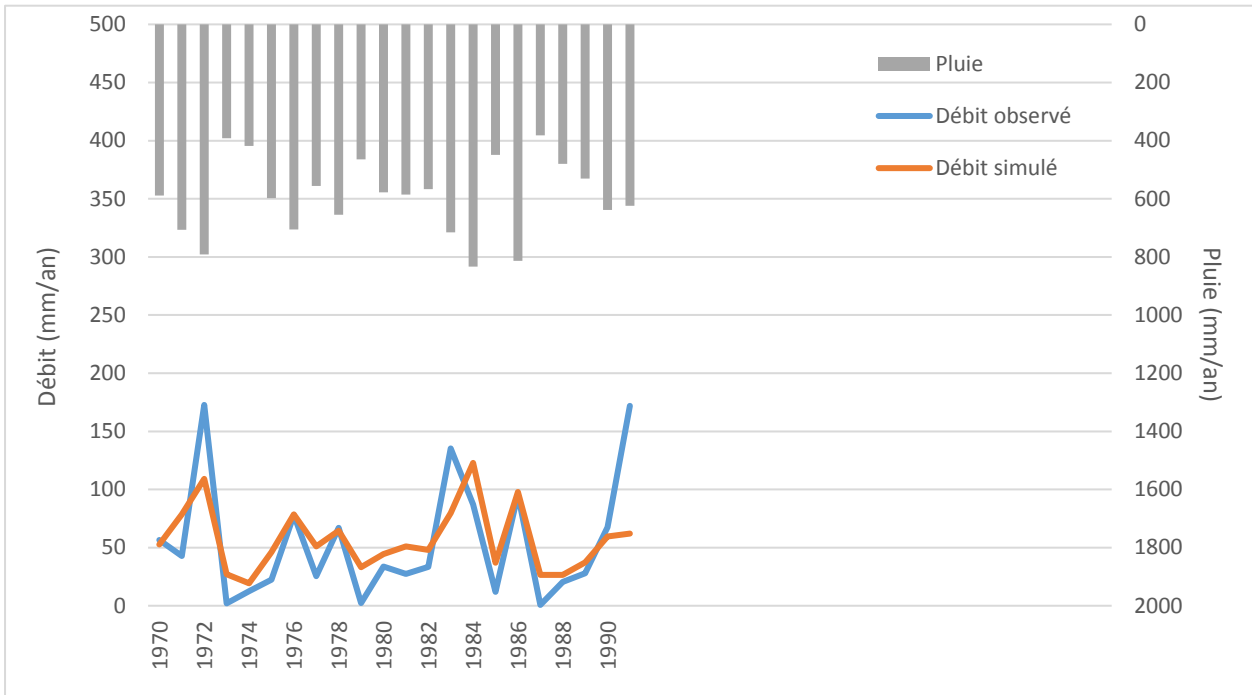


**Figure.43 : Calage GRIA de la station Ain Berda (Turc)**

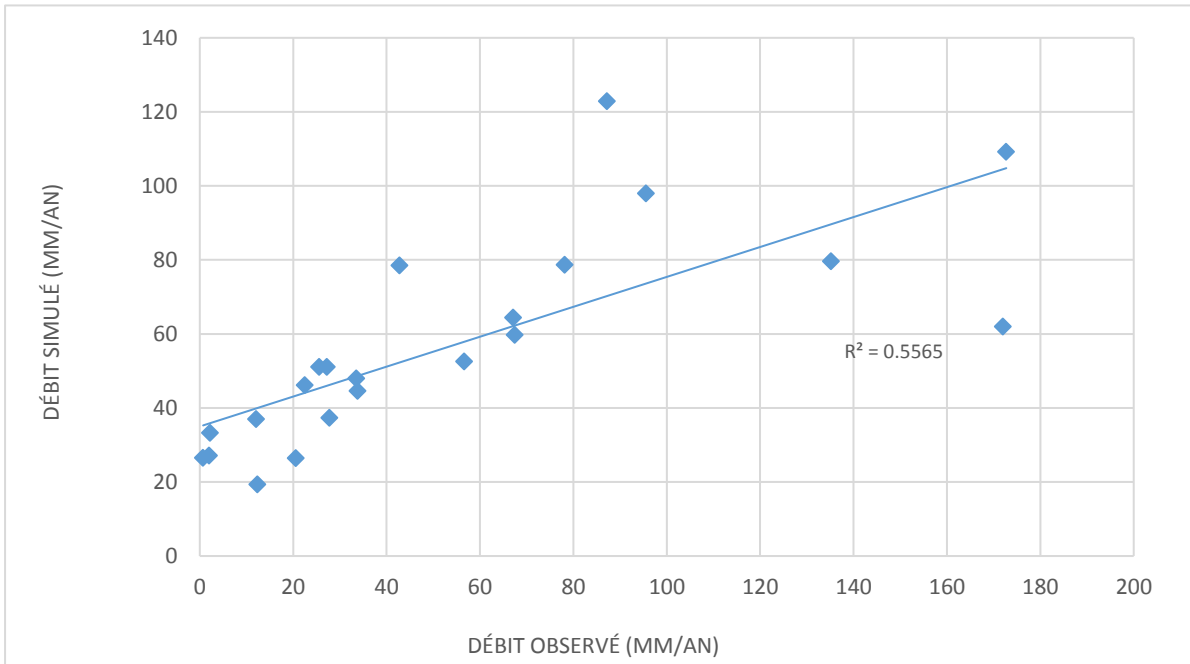


**Figure.44 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station  
Ain Berda(Turc)**

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**



**Figure.45:** Calage GRIA de la station Ain Berda (A.N.R.H)



**Figure.46 :** Corrélation entre les débits observés et les débits simulés de la station Ain Berda(A.N.R.H)

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

---

ANNEXE 3 : Données du modèle GR1A (Station Kef Mourad)

| Année | Pluie<br>(mm) | Débit<br>observés<br>(mm) | THORNTHWAITE |                         | TURC        |                         | A.N.R.H     |                         |
|-------|---------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
|       |               |                           | ETP (mm)     | Débit<br>simulé<br>(mm) | ETP<br>(mm) | Débit<br>simulé<br>(mm) | ETP<br>(mm) | Débit<br>simulé<br>(mm) |
| 1970  | 695.6         | 86.41                     | 786.67       | 73.42                   | 1143.4      | 74.18                   | 1334.7      | 56.78                   |
| 1971  | 639.5         | 65.42                     | 786.67       | 67.47                   | 1143.4      | 68.44                   | 1334.7      | 52.39                   |
| 1972  | 693.6         | 77.03                     | 786.67       | 77.49                   | 1143.4      | 78.28                   | 1334.7      | 60.06                   |
| 1973  | 786.0         | 132.66                    | 786.67       | 105.74                  | 1143.4      | 106.77                  | 1334.7      | 82.66                   |
| 1974  | 534.6         | 21.49                     | 786.67       | 49.97                   | 1143.4      | 50.49                   | 1334.7      | 38.46                   |
| 1975  | 469.5         | 28.16                     | 786.67       | 29.65                   | 1143.4      | 29.97                   | 1334.7      | 22.56                   |
| 1976  | 540.3         | 34.62                     | 786.67       | 37.99                   | 1143.4      | 38.41                   | 1334.7      | 28.99                   |
| 1977  | 738.7         | 48.63                     | 786.67       | 82.90                   | 1143.4      | 83.74                   | 1334.7      | 64.27                   |
| 1978  | 461.7         | 30.12                     | 786.67       | 35.39                   | 1143.4      | 35.78                   | 1334.7      | 27.07                   |
| 1979  | 603.0         | 34.27                     | 786.67       | 48.63                   | 1143.4      | 49.15                   | 1334.7      | 37.25                   |
| 1980  | 444.4         | 5.50                      | 786.67       | 28.37                   | 1143.4      | 28.68                   | 1334.7      | 21.60                   |
| 1981  | 450.4         | 41.07                     | 786.67       | 24.29                   | 1143.4      | 24.56                   | 1334.7      | 18.42                   |
| 1982  | 627.0         | 24.57                     | 786.67       | 52.71                   | 1143.4      | 53.27                   | 1334.7      | 40.43                   |
| 1983  | 540.3         | 25.56                     | 786.67       | 44.36                   | 1143.4      | 44.83                   | 1334.7      | 34.00                   |
| 1984  | 649.0         | 95.98                     | 786.67       | 61.76                   | 1143.4      | 62.40                   | 1334.7      | 47.57                   |
| 1985  | 825.4         | 124.92                    | 786.67       | 114.40                  | 1143.4      | 115.52                  | 1334.7      | 89.57                   |
| 1986  | 433.3         | 17.62                     | 786.67       | 33.88                   | 1143.4      | 34.25                   | 1334.7      | 25.93                   |
| 1987  | 756.1         | 111.69                    | 786.67       | 80.70                   | 1143.4      | 81.53                   | 1334.7      | 62.44                   |
| 1988  | 309.9         | 7.47                      | 786.67       | 16.38                   | 1143.4      | 16.57                   | 1334.7      | 12.42                   |
| 1989  | 363.0         | 9.11                      | 786.67       | 12.11                   | 1143.4      | 12.25                   | 1334.7      | 9.11                    |
| 1990  | 208.4         | 13.18                     | 786.67       | 3.83                    | 1143.4      | 3.88                    | 1334.7      | 2.87                    |
| 1991  | 687.7         | 77.41                     | 786.67       | 52.57                   | 1143.4      | 53.13                   | 1334.7      | 40.21                   |

**HYDROLOGIE ET MODELISATION PLUIE-DEBIT : CAS DES BASSINS  
VERSANTS DE L'OUED RESSOUL ET OUED SEYBOUSE  
(SEYBOUSE NE- ALGERIEN)**

---

ANNEXE 4 : Données du modèle GR1A (Station Ain Berda)

| Année | Pluie<br>(mm) | Débit<br>observés<br>(mm) | THORNTHWAITE |                         | TURC        |                         | A.N.R.H     |                         |
|-------|---------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
|       |               |                           | ETP (mm)     | Débit<br>simulé<br>(mm) | ETP<br>(mm) | Débit<br>simulé<br>(mm) | ETP<br>(mm) | Débit<br>simulé<br>(mm) |
| 1970  | 588.9         | 56.634                    | 786.67       | 54.81                   | 1143.4      | 52.58                   | 1334.7      | 39.97                   |
| 1971  | 706.3         | 42.784                    | 786.67       | 81.68                   | 1143.4      | 78.47                   | 1334.7      | 60.17                   |
| 1972  | 791.2         | 172.711                   | 786.67       | 113.44                  | 1143.4      | 109.18                  | 1334.7      | 84.60                   |
| 1973  | 391.7         | 2.016                     | 786.67       | 28.31                   | 1143.4      | 27.12                   | 1334.7      | 20.46                   |
| 1974  | 418.1         | 12.367                    | 786.67       | 20.20                   | 1143.4      | 19.32                   | 1334.7      | 14.44                   |
| 1975  | 597.6         | 22.501                    | 786.67       | 48.15                   | 1143.4      | 46.15                   | 1334.7      | 34.92                   |
| 1976  | 705.1         | 78.150                    | 786.67       | 81.90                   | 1143.4      | 78.69                   | 1334.7      | 60.35                   |
| 1977  | 555.5         | 25.576                    | 786.67       | 53.20                   | 1143.4      | 51.04                   | 1334.7      | 38.84                   |
| 1978  | 654.5         | 67.109                    | 786.67       | 67.10                   | 1143.4      | 64.41                   | 1334.7      | 49.15                   |
| 1979  | 464.1         | 2.205                     | 786.67       | 34.69                   | 1143.4      | 33.24                   | 1334.7      | 25.09                   |
| 1980  | 577.6         | 33.775                    | 786.67       | 46.51                   | 1143.4      | 44.58                   | 1334.7      | 33.73                   |
| 1981  | 585.1         | 27.239                    | 786.67       | 53.23                   | 1143.4      | 51.06                   | 1334.7      | 38.79                   |
| 1982  | 567.1         | 33.564                    | 786.67       | 50.01                   | 1143.4      | 47.96                   | 1334.7      | 36.40                   |
| 1983  | 715.9         | 135.164                   | 786.67       | 82.83                   | 1143.4      | 79.58                   | 1334.7      | 61.02                   |
| 1984  | 833.4         | 87.175                    | 786.67       | 127.57                  | 1143.4      | 122.86                  | 1334.7      | 95.54                   |
| 1985  | 448.4         | 12.087                    | 786.67       | 38.51                   | 1143.4      | 36.93                   | 1334.7      | 28.00                   |
| 1986  | 813.6         | 95.580                    | 786.67       | 101.85                  | 1143.4      | 97.91                   | 1334.7      | 75.35                   |
| 1987  | 382.1         | 0.713                     | 786.67       | 27.62                   | 1143.4      | 26.46                   | 1334.7      | 19.96                   |
| 1988  | 480.1         | 20.590                    | 786.67       | 27.59                   | 1143.4      | 26.41                   | 1334.7      | 19.81                   |
| 1989  | 530.9         | 27.794                    | 786.67       | 38.93                   | 1143.4      | 37.30                   | 1334.7      | 28.14                   |
| 1990  | 638.6         | 67.432                    | 786.67       | 62.19                   | 1143.4      | 59.68                   | 1334.7      | 45.45                   |
| 1991  | 623.7         | 171.97                    | 786.67       | 64.53                   | 1143.4      | 61.95                   | 1334.7      | 47.28                   |