



## MEMOIRE

Présente en vue de l'obtention du Master 2  
Filière : Géologie  
Spécialité : Eau et Environnement

### Thème

*Contribution à l'étude de la variation hydroclimatologique du grand  
bassin versant de la Soummam  
Cas de trois sous-bassins  
[El-Kseur (15 10 04), Akbou (15 05 03), Bouira (15 02 04)]*

Présenté par :

Hamdaoui Achour  
Ichalal Yasmina

Soutenu publiquement le : ...../2013.

Devant le jury composé de :

Président

Promoteur

Co-promoteur

M. Tekkouk. M

M. Akdim. A

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé en collaboration avec  
laboratoire de recherche 3BS, de l'université de Bejaia, nous tenons ici à remercier M.  
MADANI, K., directeur du laboratoire de recherche 3BS, M. BENHAMMICHE, N., membre  
du laboratoire de recherche 3BS, M. A. AKDIM, notre Co-promoteur, M.H.REMINI et  
toutes personnes qui nous ont épaulés, soutenu et aidé au cours de ce mémoire.

Nous remercions chaleureusement les personnes qui nous ont encadrés pour  
réaliser ce travail dans les meilleures conditions. M.M.TEKKOUK, notre promoteur,  
enseignant à l'université de Jijel, M. A. AKDIM, le Co-promoteur, enseignant à  
l'université de Bejaia, L'ANRH de Jijel en particulier monsieur Babay.

Nous adressons aussi nos remerciements aux membres de jury de mémoire, qui  
ont accepté d'évaluer ce travail par le biais du mémoire et de la soutenance : il s'agit de

Nous remercions toutes ces personnes pour leurs gentilles remarques lors de la  
soutenance, et plus particulièrement, nous sommes reconnaissants envers M.TEKKOUK  
et M.AKDIM pour les nombreuses discussions qui nous avons eu et qui ont permis  
mener ce sujet de mémoire à termes dans les meilleures conditions.

D'autres personnes ayant participé à ce travail doivent évidemment être  
remerciées, nous pensons dans un premier temps aux personnes qui ont eu l'honneur ;  
de nous aider dans les manips ou qui nous ont subi en tant que stagiaires. Un grand  
merci à M.H.REMINI, qui nous a donné une petite formation sur logiciel *EndNote* qui sert  
à réaliser les références bibliographiques.

Dans un second temps, nous pensons à toutes personnes qui ont apporté une  
pièce à l'édifice de ce mémoire, soit M. AKDIM, M.TEKKOUK, pour leurs  
impressionnantes compétences, leurs gentilles et leurs remarques pertinentes, Pour  
nous avoir ouvert la voie en matière d'étude du comportement de climat dans  
l'environnement et pour leurs explications toujours très pédagogiques.

Nous tenons aussi à remercier les amis/amies les plus proches : S. Boukerouis, S.  
Ouhnia, N. BEDJA, Massinissa, N. MADKOUR, L. BEN MEZIANE, Nassima, Chavha, F.  
AYAD, Sabrina, M. ZEROUJJI, H.BELLASSOUS, O. ZEBIRI, L. MIRA, DJ. TABOUDA, I. Saadi,  
H.HAMDAOUI, S. ICHALAL, N. OUADFEL, Mounir et Mustafa.

Maintenant, nous tenons à remercier très vivement tous nos enseignants, dès le  
primaire jusqu'à l'université qui ont été un peu plus que des collègues de travail et qui  
nous ont aidés à tenir le cap dans les heures les plus sombres ou les plus capiteuses de

# Dedicates

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères dans ma vie, mes parents, mes frères et mes sœurs à qui je ne pourrais jamais les remercier assez, pour leur soutien moral et matériel, leur compréhension, leur tendresse, leurs Amours et leurs sacrifices

Mon père : Hafid.

Ma très chère mère : Fatima.

Je dédie ce travail aussi et en particulier à ma très chère collègue de travail : M<sup>lle</sup> ICHALAL YASMINA à qui je ne pourrais jamais aussi oublier ses sacrifices au cours de réalisation de ce travail de mémoire.

Mes très chères amis, amies : smail, najib, massinissa, nawal, lamia, nassima, chavha.

Mes amis, amies de la promotion.

À tout les enseignants de département, Science de la terre et de l'univers de l'université de Jijel.

À tout les membres de jury, en particulier mes encadrateurs : M. FERROUK, M. AKDIM.

Enfin, je dédie ce travail à tous les membres de laboratoire de recherche 3BS, université de Bejaia.

HAMDAOUI ACHOUR

juin : 2013

# Dedicoes

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents

A ma sœur et mes frères

A mes chers encadreurs : M. Tekkouk, M et M. Akdim. A

A mes amis (es) : Achour, Smail, Omar, Nawel, Lamia, Salima, Nassima,

Lounes, Fares, Nadjib, Massi, Merzak, Sabrina, Slimane

A mes enseignants de l'université de Jijel et de Setif en particulier : M.

Gherbi, F, M. Kacimi. M.....

A M. Babay. K le directeur de l'ANRH de Jijel

A tous les membres de laboratoire de recherche SBS de l'université de

béjaia

Ichalal.Yasmina



**Sommaire**

Chapitre I : Présentation du site

1.1. Définitions.....03

1.1.1. Bassin versant.....03

1.1.2. Géologie.....03

1.1.3. Hydrologie.....03

1.1.4. Climatologie.....04

1.1.5. Couvert végétal.....04

1.2. Contexte géographique.....05

1.2.1. Situation géographique généralités sur le bassin versant de la Soummam

(BVS).....05

1.2.2. les caractéristiques morphométriques du BVS.....07

1.2.2.1. Forme générale.....07

1.2.2.2. Altitudes et pentes.....09

1.2.3. Climat du BVS.....13

1.2.4. Réseau hydrographique du BVS.....13

1.2.5. Couverture végétale du BVS.....14

1.3. Contexte géologique du BVS.....14

Chapitre II : Matériels et méthodes

1.3.1. Cadre géologique régional.....14

1.3.2. Cadre géologique local.....19

1.3.2.1. Stratigraphie.....19

1.3.2.2. Tectonique.....23

1.3.2.2.1. Cadre général.....23

1.1.1. Sources des données.....26

1.1. Données étudiées.....26

\*  
sc  
de  
le  
de  
de



II.1.2. Présentation des données.....27

II.1.2.1. Présentation des données climatiques.....27

II.1.2.1.1. Les données pluviométriques.....27

a) Caractéristiques des stations pluviométriques.....27

b) Localisation des stations pluviométriques.....27

c) Présentation des séries chronologiques des précipitations.....28

II.1.2.1.2. Données de température.....30

a) Présentation des séries chronologiques des températures.....30

II.1.2.2. Présentation des données hydrologiques.....31

II.1.2.2.1. les données des débits.....31

a) Les débits maximums.....32

b) Les débits minimums.....32

c) Les débits moyens.....32

d) Les apports.....32

II.2. Méthodologies de travail.....32

II.2.1. Représentation graphique.....32

II.2.1.1. Graphique des cumuls annuels des précipitations.....32

II.2.1.2. Graphique des moyennes annuelles des précipitations.....32

II.2.1.3. Graphique des températures mensuelles.....32

II.2.2. Méthode de Bagnouls et Gausson.....32

II.2.2.1. Diagramme ombrothermique.....32

II.2.3. Méthode d'emberger.....33

II.2.3.1. Climatogramme d'emberger.....33

II.2.4. L'aridité.....34

II.2.4.1. L'indice d'aridité.....34

II.2.4. Méthode d'établissement du bilan hydrologique.....35

II.2.4.1. Notion d'évapotranspiration réelle et potentielle.....35

II.2.4.1.1. l'évapotranspiration potentielle (ETP).....35

a) Formule de Thornthwaite.....36

*de l'opss*  
*de l'opss*

*de l'opss*  
*de l'opss*

38 c) Méthode du bilan hydrologique de Thornthwaite.....

39 II.2.4.2. Ruissellement et infiltration.....

39 II.3. Outils de travail.....

39 II.3.1. Arc GIS-10.0.....

41 II.3.2. Microsoft Office Excel.....

42 II.3.3. le logiciel XLSTAT.....

42 II.3.4. Logiciel EndNote.....

### Chapitre III : Résultats et discussions

43 III.1. Etude climatologique et hydrologique.....

43 III.1.1. Etude climatologique.....

43 III.1.1.1. Traitement statistique des données climatiques.....

43 III.1.1.1.1. Traitement des données de la station de Bouira (15 02 04).....

43 a) Traitement des données pluviométriques.....

45 b) Traitement des données de température.....

46 c) Diagramme ombrothermique.....

47 d) Climatogramme d'Emberger.....

47 e) Le calcul de l'indice d'aridité de la station de Bouira selon E. DE Mar-

48 f) Etude des corrélations précipitation-température.....

48 III.1.1.2. Traitement des données de la station d'Akbou (15 05 03).....

49 a) Traitement des données pluviométriques.....

49 b) Traitement des données de température.....

52 c) Diagramme ombrothermique.....

53 d) Climatogramme d'Emberger.....

53 e) Le calcul de l'indice d'aridité de la station d'Akbou selon E. DE Mar-

54 f) Etude des corrélations précipitation-température.....

54 III.1.1.3. Traitement des données climatiques de la station d'El Kseur

*Handwritten notes:*  
d'Emberger  
d'Emberger

*Handwritten notes:*  
d'Emberger  
d'Emberger



60	d) Climatogramme d'Emberger.....
61	e) Le calcul de l'indice d'aridité de la station d'El-Kseur selon E. DE Mar- tonne.....
61	f) Etudes des corrélations précipitation-température.....
63	III.1.2. Etude hydrologique.....
63	III.1.2.1. traitement statistique des données hydrologiques.....
63	III.1.2.2. traitement des résultats de la série des débits de l'exutoire de Sidi- Ali Levhar (période 1990-2010).....
63	III.1.2.2.1. lecture et interprétation des graphiques.....
63	a) Variation des débits minimaux.....
64	b) Variation des débits maximaux.....
65	c) variation des débits moyens.....
66	d) variation des apports de débits annuels.....
67	e) Variation des différents types de débits et apport.....
68	f) Etude des corrélations débit min-débit max.....
69	III.1.3. Estimations du bilan hydrologique.....
69	III.1.3.1. Estimations du bilan hydrologique de la station de Bouira (15 02 04).....
69	III.1.3.1.1. étude de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....
69	a) Formule de Thornthwaite.....
69	b) Formule de Serra.....
70	III.1.3.1.2. étude de l'évapotranspiration réelle (ETR).....
70	a) Formule de Turc.....
70	b) Formule de Coutagne.....
71	c) Méthode du bilan de Thornthwaite.....
72	III.1.3.1.3. Ruissellement et infiltration.....
73	III.1.3.2. Estimations du bilan hydrologique de la station d'Akbou (15 05 03).....
73	III.1.3.2.1. étude de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....
73	a) Formule de Thornthwaite.....

## Références bibliographiques

Conclusion.....	81
III.1.3.3.3. Ruissellement et infiltration.....	80
c) Méthode du bilan de Thornthwaite.....	79
b) Formule de Coutagne.....	78
a) Formule de Turc.....	78
III.1.3.3.2. étude de l'évapotranspiration réelle (FTR).....	78
b) Formule de Serra.....	77
a) Formule de Thornthwaite.....	77
III.1.3.3.1. étude de l'évapotranspiration potentielle (FTP).....	77
III.1.3.3. Estimations du bilan hydrologique de la station d'EL Kseur (15 10 04).....	77
III.1.3.2.3. Ruissellement et infiltration.....	76
c) Méthode du bilan de Thornthwaite.....	75

*01/09/05*  
*W. K. Kseur*  
*01/09/05*  
*W. K. Kseur*

03	Figure I.1. Délimitation du bassin versant.....
05	Figure I.2. Carte de situation du bassin versant de la Soummam.....
06	Figure I.3. Carte de localisation du bassin versant de la Soummam.....
06	Figure I.4. Carte des sous bassins versant de la Soummam (DHW).....
10	Figure I.5. Carte hypsométrique du bassin versant de la Soummam (Ichalal Y ; Hamdaoui, A).....
10	Figure I.6. Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam.....
12	Figure I.7. Carte des pentes du bassin versant de la Soummam (Ichalal Y ; Hamdaoui, A).....
13	Figure I.8. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam.....
14	Figure I.9. Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes d'après Durand-Delga et Fontboté (1980).....
16	Figure I.10. Carte géologique schématique de la cote algérienne à l'Est de cap de Ténès, d'après Wildis 1983.....
16	Figure I.11. Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (modifiées d'après Durand-Delga, 1969).....
17	Figure I.12. Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides.....
19	Figure I.13. Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500 000.....
24	Figure I.14. Schéma structural de l'Est de la grande Kabylie, des Babors occidentaux et de la région des Bibans d'après A.Coutelle (1979).....
25	Figure I.15. Coupe géologique présente le cadre structural de la Soummam d'après A.Coutelle (1979).....
27	Figure II.1. Carte de localisation des stations pluviométriques.....
34	Figure. II.2. Climatogramme d'Emberger.....
40	Figure II.3. L'application Arc Map.....
40	Figure II.4. L'application Arc Catalog.....
41	Figure II.5. L'application Arc Toolbox.....

Figure III.2. Evolution des précipitations moyennes annuelles, station de Bouira, série 1913-2010.....	44
Figure III.3. Variation des températures mensuelles, station de Bouira, série 1990-2010.....	45
Figure III.4. Diagramme ombrothermique, station de Bouira, série 1990-2010.....	46
Figure III.5. Climatogramme d'Emberger, station de Bouira, série 1990-2010.....	47
Figure III.6. Graphique de dispersion des données des températures et des précipitations, station de Bouira, Série 1990-2010.....	48
Figure III.7. Evolution des précipitations annuelles, station d'Akbou, série 1923-2010.....	49
Figure III.8. Evolution des précipitations moyennes annuelles, station d'Akbou, série 1923-2010.....	50
Figure III.9. Variation des températures mensuelles, station d'Akbou, série 1990-2010.....	51
Figure III.10. Diagramme ombrothermique, station d'Akbou, série 1990-2010.....	53
Figure III.11. Climatogramme d'Emberger, station d'Akbou, série 1990-2010.....	54
Figure III.12. Graphique de dispersion des données des températures et des précipitations, station d'Akbou, série 1990-2010.....	55
Figure III.13. Evolution des précipitations annuelles, station d'El Kseur, série 1902-2010.....	56
Figure III.14. Evolution des précipitations moyennes annuelles, station d'El Kseur, série 1902-2010.....	57
Figure III.15. Variation des températures mensuelles, station d'El Kseur entre 1990-2010.....	58
Figure III.16. Diagramme ombrothermique, station d'El Kseur, série 1990-2010.....	59
Figure III.17. Climatogramme d'Emberger, station d'El Kseur, 1990-2010.....	60
Figure III.18. Graphique de dispersion des données des températures et des précipitations, station d'El-Kseur, série 1990-2010.....	62
Figure III.19. Graphique des débits minimaux annuels de Sidi Ali Levhah (Exutoire), période (1920-1992).....	63

Figure III.22. Graphique des apports de débits annuels de Sidi Ali Levhah, l'exutoire de sidi Ali Levhah, période (1920-1992).....	66
Figure III.23. Graphiques superposés des variations des débits et apports annuels de l'exutoire de sidi Ali Levhah, campagne 1920-1992.....	67
Figure III.24. Graphique de dispersion des données des débits min et des débits max, station Sidi Ali Levhah, série 1920-1992.....	68
Figure III.25. Représentation graphique du bilan hydrique obtenu selon la méthode de Thornthwaite, station de Bouira, Série 1990-2010.....	71
Figure III.26. Représentation graphique du bilan hydrique obtenu selon la méthode de Thornthwaite, station d'Akbou, Série 1990-2010.....	75
Figure III.27. Représentation graphique du bilan hydrique obtenu selon la méthode de Thornthwaite, station d'EL-Kseur, Série 1990-2010.....	79



Tableau I.1. Superficie des sous bassins versant de la Soummam(DHW).....	07
Tableau I.2. Paramètres géométriques du bassin versant de la Soummam.....	08
Tableau I.3. Répartition des fréquences altimétriques du bassin versant de la Soummam.....	09

Tableau I.4. Classification de relief selon O.R.S.T.O.M.....	11
Tableau I.5. Deuxième classification de relief selon O.R.S.T.O.M.....	12
Tableau II.1. Caractéristiques des stations pluviométriques de la plaine de la Soummam.....	27
Tableau II.2. Cumuls et moyennes inter-annuelles des précipitations.....	28
Tableau II.3. Moyennes mensuelles des températures.....	31

Tableau II.4. Valeurs moyennes inter-annuelles des différents types de débits et apport de l'Exutoire de Sidi Ali Levhari, compagnie 1920-1992.....	31
Tableau III.1. Valeurs mensuelles et moyennes annuelles des températures maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station de Bouira, série 1990-2010.....	45

Tableau III.2. Valeurs mensuelles et annuelles des précipitations (p (mm)) et des températures, maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station de Bouira, série 1990-2010.....	46
Tableau III.3. Indice d'aridité de la station de Bouira, selon E.D.F Martonne, série 1990-2010.....	48

Tableau III.4. Valeurs mensuelles et moyennes annuelles des températures maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'Akbou, série 1990-2010.....	51
Tableau III.5. Valeurs mensuelles et annuelles des précipitations (p (mm)) et des températures, maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'Akbou, série 1990-2010.....	52

Tableau III.6. Indice d'aridité de la station d'Akbou, selon E.D.F Martonne, série 1990-2010.....	54
Tableau III.7. Valeurs mensuelles et moyennes annuelles des températures maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'El Kseur, série 1990-2010.....	58

Tableau III.8. Valeurs mensuelles et annuelles des précipitations (p (mm)) et des températures, maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'El Kseur, série 1990-2010.....	58
---	----

Tableau III.10. Evapotranspirations potentielles corrigées et non corrigées par la méthode de Thornthwaite, station de Bouira série 1990-2010.....	69
Tableau III.11. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Serra, station de Bouira série 1990-2010.....	69
Tableau III.12. Evapotranspiration réelle selon Turc, station de Bouira série 1990-2010.....	70
Tableau III.13. Evapotranspiration réelle selon Coutagne, station de Bouira série 1990-2010.....	70
Tableau III.14. Bilan hydrologique selon Thornthwaite, station de Bouira série 1990-2010.....	71
Tableau III.15. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Thornthwaite, station d'Akbou série 1990-2010.....	73
Tableau III.16. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Serra, station d'Akbou série 1990-2010.....	73
Tableau III.17. Evapotranspiration réelle selon Turc, station d'Akbou, série 1990-2010.....	74
Tableau III.18. Evapotranspiration réelle selon Coutagne, station d'Akbou série 1990-2010.....	74
Tableau III.19. Bilan hydrologique selon Thornthwaite, station d'Akbou série 1990-2010.....	75
Tableau III.20. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Thornthwaite, station d'El Kseur série 1990-2010.....	77
Tableau III.21. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Serra, station d'El Kseur série 1990-2010.....	77
Tableau III.22. Evapotranspiration réelle selon Turc, station d'El Kseur série 1990-2010.....	78
Tableau III.23. Evapotranspiration réelle selon Coutagne, station d'Akbou, série 1990-2010.....	78
Tableau III.24. Bilan hydrologique selon Thornthwaite, station d'El Kseur série 1990-2010.....	78

Les dernières études attribuées au changement climatique pendant ces dernières années crée un domaine de recherche particulièrement sensible.

Dans le cadre de notre étude nous avons préféré trois paramètres, la pluviométrie, la température et le débit pour déterminer les changements climatiques au niveau du bassin versant de la Soummam. Pour cet effet nous avons traité trois séries de données pluviométriques et trois séries de données de températures des trois différentes stations météorologiques <sup>de</sup> ayant implanté dans les trois sous bassins versants de la soummam Bouira, Akbou, El kseur, et une série des différents débits et apport de l'Exutoire de sidi Ali Levhar.

Les données numériques en question seront traitées par des programmes informatiques tel que Microsoft office Excel 2007, XLSTAT version 7.5.2, ayant pour principe la méthode de graphique et de corrélation des données traitées.

Les résultats issus des différentes techniques d'analyses statistiques, permettent d'évaluer l'impact climatique et hydrologique sur le bassin versant de la Soummam durant des longues périodes étudié en fonction des données fiables des différentes stations préférées.

**MOTS CLÉS :** Soummam, Algérie, diagramme ombrothermique, le quotient d'Emberger, climagramme d'Emberger, variabilité hydroclimatologique, pluviométrie, débit, température.

## Abstract

The various studies adapt with the climate change during the last years creates a particularly significant field of search.

In the case of our study we had three parameters, pluviometry, the temperature and the flow to determine the climate changes on the level of area catchment of Soummam. For this negotiable instrument we discussed three sets of pluviometric data and three sets of data of temperatures of the three various stations meteorology having

The digital data in question will be discussed by computer programs chalks  
Microsoft Office Excel 2007, XLSTAT version 7.5.2, having for principle the method of  
graph and correlation of the discussed data.

The results resulting from the various techniques of statistical analyzes, make it  
possible to evaluate the climatic and hydrological impact on the catchment area of  
lasting Soummam of the long periods studied according to the reliable data of the  
various preferred stations.

**KEY MOT:** Soummam, Algerien, diagram ombrothermic, the quotient of Embarger,  
climagramme of Embarger, hydroclimatologic variability, pluviometry, flow,  
temperature.

Tizrawin yemgaraden deg wayen yezan yezan  
tinggura, yesnulta-d yiwet n tayult n unadai yellan d tamazlayt i yeszan azal s wajas yef  
lemhadra n tewennaqt.

Yef waya « *tusnan unezwu* » terza s wudem agejdan yef ugwucel n lehšabat n  
yisemskalen yemgaraden am ugefur, tazđalt, aktum...

Tizrawin yezan tusna n unezwu ilaq ad seqdcent tarayin yemxalafen n tesleqt n  
lehšabat yellan yemden. Deg tejrut yezan tazrawt-mey nesza krađ n yisemeskal agfur,  
tazđalt, aktum... i ubeyyen n ubeddel n unezway deg uswir n uxnaq n Sumam. Ilmend n  
wannect-a nferm-d krađ n yimazrayen n yinfkan n waddad n tegnawt akked d krađ n  
yimukan n teessast n leħala n tegnawt wid yellan deg Bwira, Aqbu, Leqser. Infkan  
yemgaraden yezan tagnawt akked lħuman n yal amekan n teessast n tegnawt ggan-ay  
ad d-beynen krađ n tbutat i lħuman akked tesmed i d-yettbeyyinen azayar akked  
teubya iwakken ad nesismel yal tamnaqt deg yal aswir n tegnawt i tlaqen.

Infkan-a inggura d wid iy-yeġġan ad neqgeym tazla n waman deg tergwa d  
wayen tettes leqaza. Ilmend n wannect-a nseqdec allalen yemgaraden am tesneslekimt.

Tasugqelt n n teskkawin yemgaraden n yinfkan akked wudmawen n usmeskel n  
yimfkan i nesza . Dayen axeddin n tekerđawin yezan laeliyat n yimukan yemgaraden d  
tekerđawin n yizzeran yessufuyen aman. Tinggura-a ttwasexdem-tt-d s ttawil n  
usežan n "Arc Gis version 10.0" d unekcum n yiwen n usežaan miden win i wumi  
smman "Global Mapper version 10.0";

Igmáđ yer wacu i nessawed d aqeyem n tezirt n unezway akked waman n ugfur yef  
uxnaq n Sumam deg talliyin tinggura, tikerdawin n tezrawt s tewuri n yinfkan  
lħeqaniyen i yimukan n teessast n tegnawt wid i nextar.







# Introduction

La spécificité de notre planète est constituée de différents états : gazeux, solide et surtout liquide, constituant ainsi la condition essentielle pour l'apparition et le maintien de la vie sur terre.

La circulation annuelle de l'eau constitue le plus grand déplacement d'une substance chimique à la surface de la terre.

Le cycle de l'eau de la surface terrestre se divise en deux parties liées (atmosphérique et terrestre). L'eau qui se déplace sur la terre passe d'un réservoir à un autre par l'intermédiaire de plusieurs mécanismes : l'évaporation (transformation d'eau liquide en vapeur), précipitations, et ruissellement (superficiel ou souterrain, qui retourne à l'océan). Ces déplacements d'eau agissent comme l'agent régulateur des climats terrestres à travers les processus d'évaporation/précipitation (Laurent, F et al ; 2009).

Nous allons tenter donc à faire une étude hydro-climatologique pour le bassin versant de la Soummam qui fait partie du littoral Algérien, le climat est de type méditerranéen.

Le bassin versant de la Soummam (Nord-Est de l'Algérie) appartient à la wilaya de Bejaia. Troisième fleuve d'Algérie, situé à la charnière de la basse et de la haute Kabylie, l'Oued Soummam est formé de la confluence de l'Oued Sahel qui descend des montagnes de Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'Oued Bou Sellam qui descend du plateau Sétifien. Il se jette dans la mer Méditerranée à Bejaia.

La population de la vallée de la Soummam est dense, elle est de 150 à 300 habitants au Km<sup>2</sup> d'environ, et 30% de cette population est concentrée principalement dans les centres urbains suivants : Sétif, Bejaia, Bouira, Akbou, Sidi-Aïch, El-Kseur, Bougaâ et Oued Amizour (Kaous, A et al ; 1989).

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à l'étude de trois sous bassins versants de la Soummam codés respectivement 15.02, 15.05, 15.10 compris entre Bouira et Bejaia, et le sujet que nous allons traiter permet de connaître la climatologie et l'hydrologie de ces régions afin d'établir le bilan hydrologique, et pour la réalisation de ce travail, nous

- Définir son contexte géologique à partir des cartes géologiques suivantes :
  - extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500.000, la carte géologique schématique de la cote Algérienne à l'Est de cap de Ténès d'après Wildis (1983), la carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides d'après Durand, Delga et Fontboté(1980).
  - L'analyse des séries de données des différents facteurs climatologiques (les températures et les précipitations) et hydrologique (les débits) pour la station de Bouira, de 1923 à 2010 compris entre 1913 et 2010 pour la station de Bouira, de 1923 à 2010 pour la station d'Akbou, et de 1902 à 2010 pour la station d'EL Kseur, il s'agit essentiellement d'une collecte de données effectuée au niveau des organismes suivants :
    - Office National de la Météorologie (ONM).
    - Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH).
    - Direction hydraulique de la Wilaya de Bejaia (DHW).



Présentation du site



Le bassin versant est une aire délimitée par les lignes de partage des eaux. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette aire doit traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

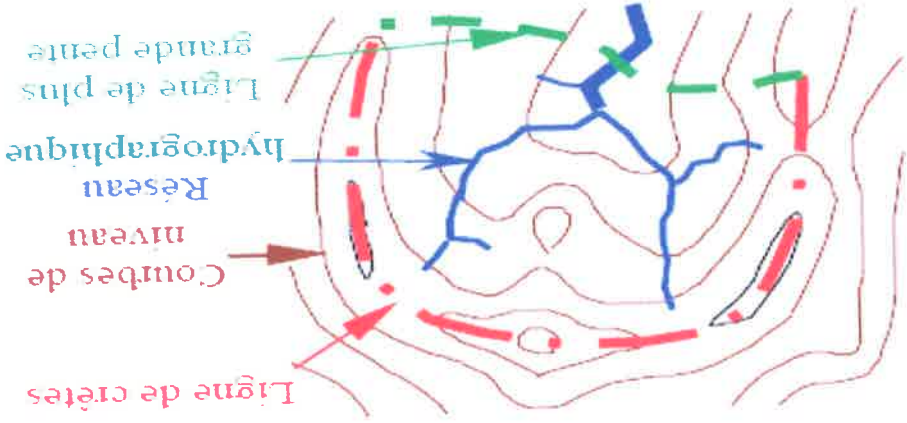


Figure 1.1. Délimitation du bassin versant.

### 1.1.2. La géologie :

Géologie, est la science qui étudie les matériaux constituant de la croûte terrestre

- La stratigraphie : étude des relations mutuelles des couches sédimentaires qui constituent une grande partie de l'écorce terrestre
- La tectonique : étude des déformations de l'écorce terrestre, séisme et formation des chaînes de montagnes, cassures et plissements.
- La géographie physique : étude du visage actuel de la terre et des paysages.

### 1.1.3. Hydrologie :

D'une façon générale, l'hydrologie peut se définir comme l'étude de cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux. L'hydrologie au sens large regroupe :

- La climatologie pour la partie aérienne du cycle de l'eau (précipitation, température...).
- L'hydrologie de surface au sens strict, implique les écoulements à la surface des continents.

l'atmosphère à partir des nappes).

- Hydrodynamique souterraine implique les écoulements en milieux saturés.

L'hydrologie de surface est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents. Ces problèmes se ramènent généralement à des prévisions ou des prédéterminations de débits ou de volume en un point ou sur une surface.

#### 1.1.4. Climatologie :

Selon l'organisation météorologique mondiale (OMM), la climatologie est l'étude du climat, de ses variations et de son impact sur divers activités dont celles qui affectent la santé humaine, la sécurité et le bien-être. En un sens restreint, le climat peut être défini comme le temps qu'il fait en moyenne. En un sens plus large, c'est l'état du système climatique. Le climat peut être décrit en termes de description statistique en tant que tendance centrale et variabilité d'éléments pertinents comme la température, les précipitations, les vents, ou au travers d'une combinaison d'éléments comme les types de temps caractéristiques, d'un lieu, d'une région ou du monde pour une période de temps déterminée.

#### 1.1.5. Le couvert végétal :

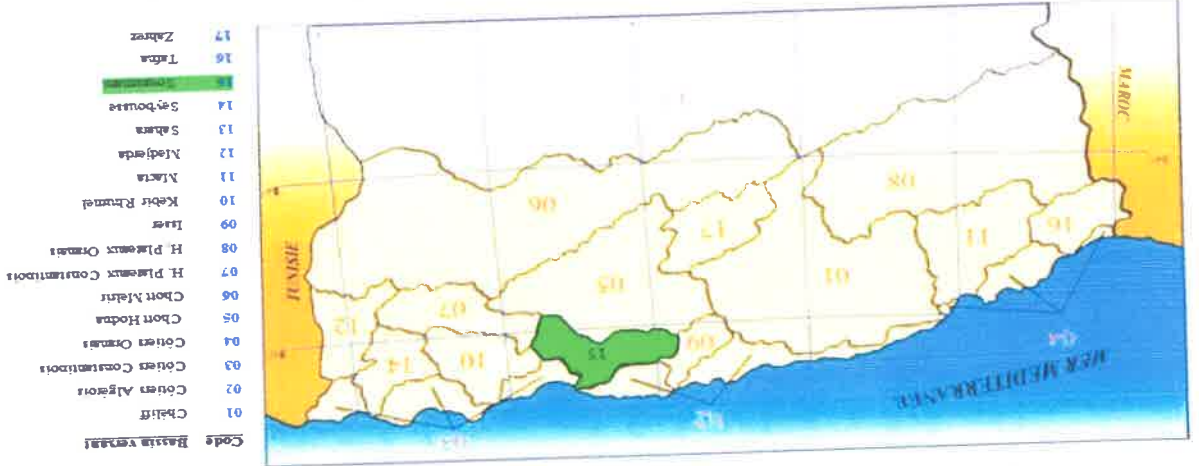
Le couvert végétal influence beaucoup sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface. En effet l'évapotranspiration par les végétaux est très importante et elle varie selon la nature des végétaux (forêts, cultures, prairies...) Pour caractériser le couvert végétal, on utilise le pourcentage des surfaces occupées par chaque type de végétation.

Par ailleurs la végétation joue un rôle très important en période de crue : lorsque la végétation est développée, le ruissellement est retardé, l'écoulement est plus long, la part d'eau reprise par l'évapotranspiration augmente et le volume de la crue diminue.

Le bassin versant de la Soummam et un important bassin Algérien dont le numéro est 15 dans le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) avec une superficie de 9125 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 554 Km, il se situe au Nord de l'Algérie affectant les Wilayas de Bouira, Bejaia, Setif et Tizi-Ouzou, entre les méridiens 3°60' et 5°57', et les parallèles 35°75' et 36°77' (Figure 1.1).

**Soummam :**

**Figure 1.2. Carte de situation du bassin versant de la Soummam.**



- Ce bassin versant est limité naturellement par :
- Au Nord par le massif de Djurdjura et les chaînes côtières de Bejaia (monts de Taourirt Ighil, de Toudja, et de Gouraya).
  - Au Sud par les contreforts des monts du Hodna qui ferme le bassin.
  - A l'Ouest par le plateau de Bouira.
  - A l'Est par les chaînes des Babors, le plateau de Setif, et la mer méditerranéenne.

Figure I.3. Carte de localisation du bassin versant de la Soummam.  
 Le bassin versant de la Soummam est subdivisé en dix (10) sous bassin versant (Figure I.3.).

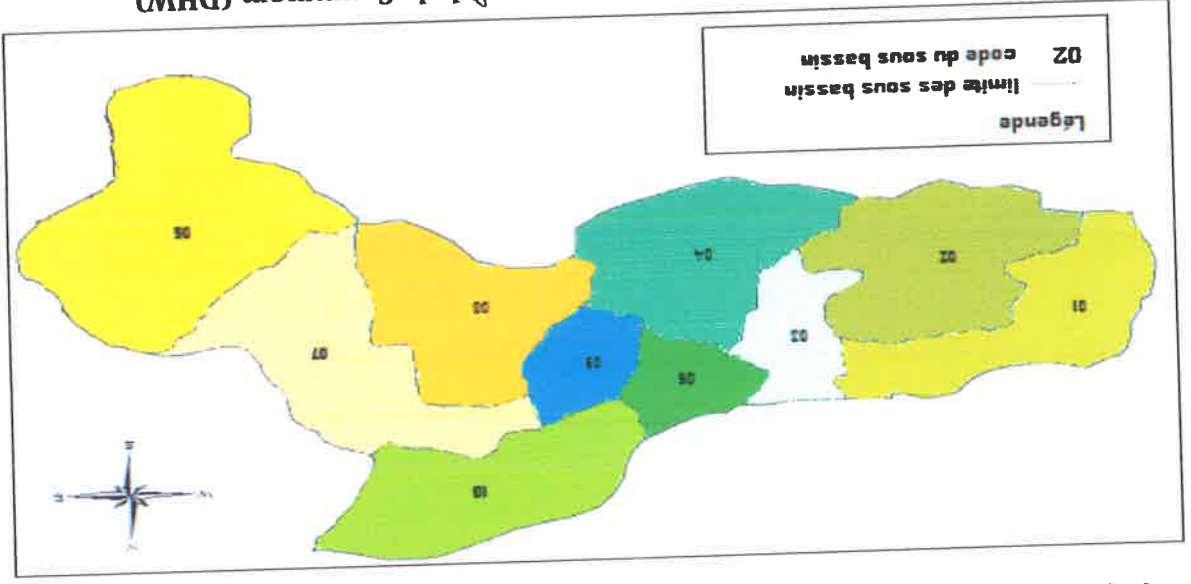


Figure I.4. Carte des sous bassins versant de la Soummam (DHW).

Qued Zaiane	15 02	
Qued Sahel Amont	15 03	430,00
Qued Azerou	15 04	1084,00
Qued Sahel Aval	15 05	326,00
Qued Bou-sellam Amont	15 06	1785,00
Qued Bou-sellam Moyen	15 07	1234,00
Qued El Ham	15 08	930,00
Qued Bou-sellam Aval	15 09	360,00
Qued Bou-sellam Maritime ou Soummam	15 10	1061,00
Total	10	9125,00

**Tableau I.1. Superficie des sous bassins versant de la Soummam(DHW).**

La plaine de la Soummam est comprise dans l'ensemble géographique de la Kabylie, elle dessine un étroit sillon d'environ 80 Km de long, orienté Sud-Ouest/Nord-Est entre El Adjiba au Sud-Ouest et Bejaia au Nord-Est, sur la cote méditerranéenne au Nord d'Alger, elle est constituée de deux parties séparées par le seuil de Sidi-Aïch :

- La vallée de l'Oued Sahel-Soummam en amont de Sidi-Aïch.
- La vallée de la Basse Soummam entre Sidi-Aïch et Bejaia.

Le seuil hydrogéologique de Sidi-Aïch constitue un verrou à l'écoulement et justifie le découpage de la plaine en deux zones.

## I.2.2. Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de la

### Soummam :

L'étude morphométriques d'un bassin versant repose sur des mesures et des calculs géométriques des différents paramètres morphométriques (surface, altitude, pente ...etc.). Ces paramètres sont obtenus à partir des données topographiques et permettent de connaître la forme du bassin, le relief, le régime et l'ordre des cours d'eau.

### I.2.2.1. Forme générale :

- L'indice de compacité de Gravelius Kc :

Se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface.



A : superficie du bassin en km<sup>2</sup>,

On a : A = 9125 km<sup>2</sup> et P = 554 km.

Si :  $K_c \leq 1$  ← Bassin versant de forme circulaire.

$K_c = 1,12$  ← Bassin versant de forme carree.

$K_c > 1,12$  ← Bassin versant de forme allongee.

On obtient  $K_c = 1,62$ . Une telle valeur correspond à un bassin versant de forme allongee.

Donc : la forme du bassin versant de la Soummam est allongee.

- Recherche d'un modele de representation « rectangle equivalent » :

Une autre façon de caracteriser l'allongement est de calculer le rectangle equivalent selon Roche (bassin versant de forme rectangulaire de même superficie, et ayant le même indice de compacite).

On a :

$$\begin{aligned} \text{La longueur } L_{RE} &= \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{K_c}{1,12} \right)^2} \right] \\ \text{La largeur } l_{RE} &= \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{K_c}{1,12} \right)^2} \right] \end{aligned}$$

$K_c$ : L'indice de compacite de Gravelius.

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

Parametres	Valeurs
Périmètre P (km)	554
Surface S (km <sup>2</sup> )	9125
Indice de Gravelius K <sub>c</sub>	1,63
Longueur L <sub>RE</sub>	237,999
Largeur l <sub>RE</sub>	38,34

La courbe hypsométrique de la figure (1.6) ci-dessous a été établie à partir du tableau (1.2). Cette courbe fournit la répartition des surfaces en fonction de l'altitude.

Classe des altitudes	Altitude moyenne (m)	Surface élémentaire (km <sup>2</sup> )	Surface élémentaire SI (%)	Surface cumulée SI (%)
2200 - 2400	2 300	50	0.54	0.54
2000-2200	2 100	0	0.01	0.55
1800-2000	1 900	0	0.01	0.6
1600-1800	1 700	50	0.54	1.14
1400-1600	1 500	174	1.9	3.04
1200-1400	1 300	274	3.002	6.042
1000-1200	1 100	1105	12.10	18.142
800-1000	900	3119	34.18	52.322
600-800	700	1825	20	72.322
400-600	500	1425	15.61	87.94
200-400	300	724	7.93	95.87
2-200	100	379	4.15	100

Tableau 1.3. Répartition des fréquences altimétriques du bassin versant de la

Soummam.

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

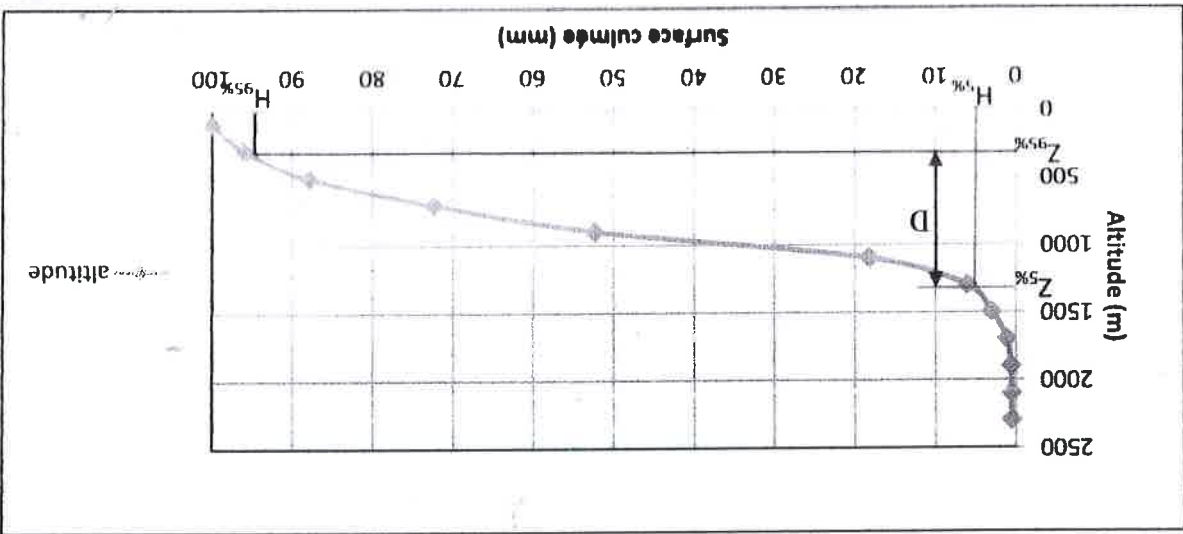
Donnée par la formule suivante :

entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  .

La "dénivelée D" est définie comme étant la différence de cote

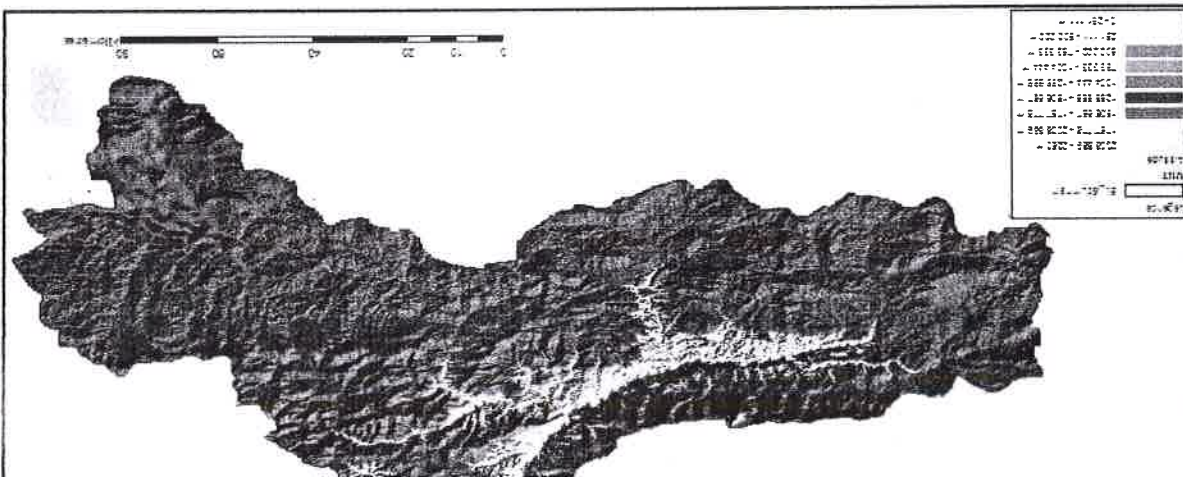
- Dénivelée simple (D) :

Figure I.6. Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam.



Hamdaoui,A, 2013).

Figure I.5. Carte hypsométrique du bassin versant de la Soummam (Ichalal,Y ;



### 1.2.2.2.2. L'indice de pente :

- Indice global de pente ( $I_g$ ) :  
L'indice global de pente ( $I_g$ ) permet de caractériser une pente représentative de la pente moyenne des versants, il est défini également par M. Roche (1963).  
Lorsque la surface du bassin augmente l'indice  $I_g$  décroît pour un même bassin.

Cet indice est calculé comme suit :

$$I_g = D / L_{RE}$$

Avec : D : la dénivellée simple en (m).

$L_{RE}$  : Longueur du rectangle équivalent en (m).

On a : D = 999,5 m et  $L_{RE} = 237,999$  Km.

Donc :  $I_g = 0.0042\%$ .

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), le relief du bassin versant de la Soummam se trouve dans la classe R2 : caractérisée par un relief faible (Tableau I.4).

R1	Relief très faible	$I_g < 0,002\%$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005\%$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01\%$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02\%$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05\%$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1\%$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

Tableau I.4. Classification de relief selon O.R.S.T.O.M.

- Dénivellée spécifique  $D_s$  :

La dénivellée spécifique dérive de la pente globale  $I_g$  en la corrigeant de

l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à  $\sqrt{A}$ .

Elle est donnée par la formule suivante :

La dénivellée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie  
 Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M, indépendante des surfaces des bassins :

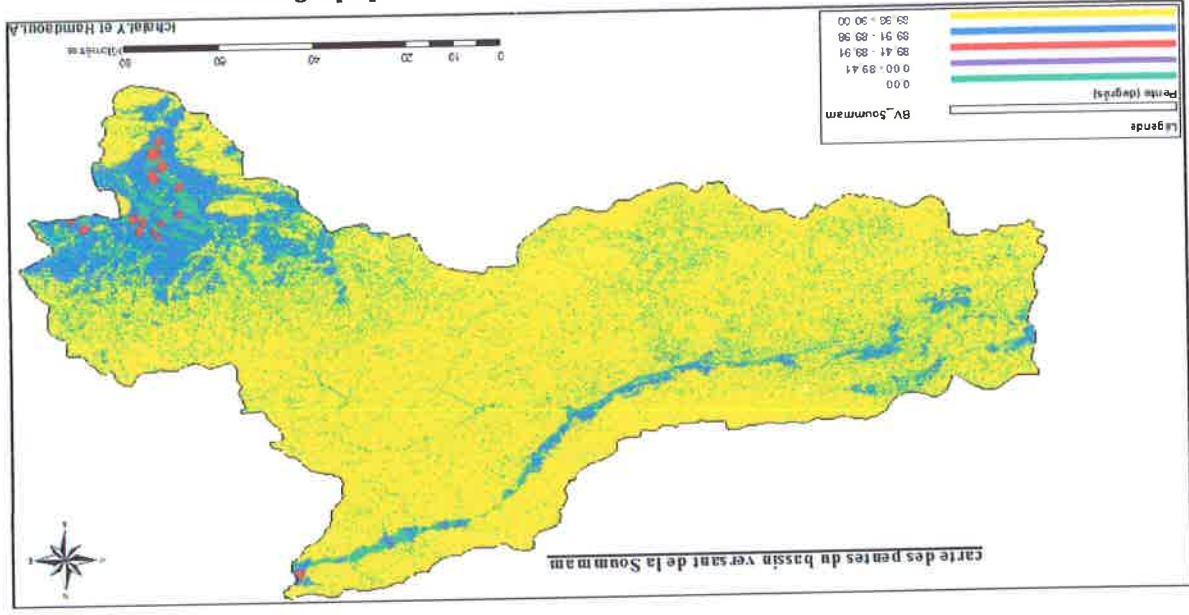
R1	Relief très faible	Ds < 10 m
R2	Relief faible	10 m < Ds < 25 m
R3	Relief assez faible	25 m < Ds < 50 m
R4	Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
R5	Relief assez fort	100 m < Ds < 250 m
R6	Relief fort	250 m < Ds < 500 m
R7	Relief très fort	500 m < Ds

**Tableau I.5. Deuxième classification de relief selon O.R.S.T.O.M.**

On a : D = 999.5 m, L = 237.999 Km et l = 38.34 Km.

Donc : Ds = 401.16 m.

D'après le tableau (I.5) Deuxième classification selon O.R.S.T.O.M, le relief du bassin versant de la Soummam est classé dans le groupe R6 : relief fort.



**Figure I.7. Carte des pentes du bassin versant de la Soummam**  
 (Ichalal, Y.; Hamdaoui, A, 2013).



- Humide sur le bassin versant Nord.
- Subhumide le long de la Soummam entre Sidi-Aïch et Bejaia cette zone reçoit une bonne pluviométrie de 600 à 900 mm avec des températures qui oscillent entre 24 et 28 °C.
- Une zone semi-aride le long de la vallée de la Soummam entre Tazmalt et Sidi-Aïch, qui est caractérisée par une faible pluviométrie de 400 à 600mm et des températures plus élevées en été.

#### 1.2.4. Réseau hydrographique :

Le bassin versant de la Soummam est caractérisée par un réseau hydrographique dense, il est constitué d'une part de trois cours d'eau importants, l'oued sahel qui descend du plateau de Bouira qui est formé de la confluence des oueds Eddous et Zaiane avec une superficie de 1084 Km<sup>2</sup>, l'oued Bou-Sellam avec une superficie de 930 Km<sup>2</sup> et l'oued Soummam qui est formé de la confluence de l'oued Sahel et de l'oued Bou-Sellam.

Les principaux affluents qui coulent sur les versants de ce bassin sont :

Oued Amizour, oued Imoula, oued Seddouk, oued El-Mehrir, oued Beni-Mellikouch, oued Allaghane, oued Illoula, oued Amokrane, oued Roumilla, oued El-Kseur, oued Ghir, oued Eddous, oued Zaiane, oued Azerou, oued El-Ham (Figure 1.7).

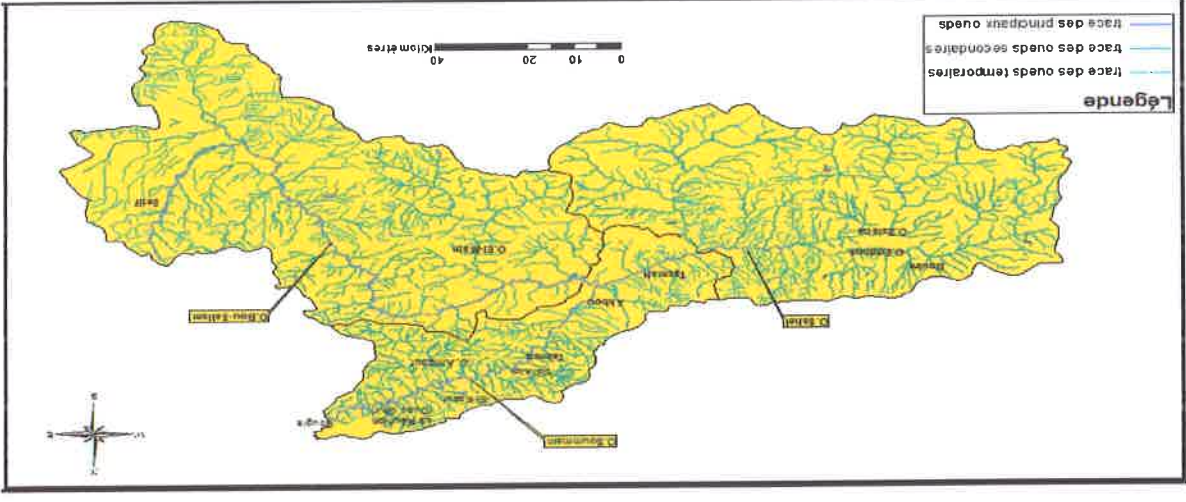


Figure 1.8. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam

Méditerranéen humide. Toutes les régions gréseuses sont occupées par des chaînes de chène afares, de chène zen et de chène liège. Dans les zones défrichées et cultivées on trouve des figuiers, oliviers et céréales. Dans la vallée de l'Oued Soummam, les alluvions donnent lieu à des superbes cultures de vignes, d'orangers et de primeurs qui fond la richesse de la région.

### 1.3. Le contexte géologique du bassin versant de la Soummam :

#### 1.3.1. Géologie régionale :

Le bassin versant de la Soummam est situé dans la chaîne des Maghrébides, qui est allongée de l'Ouest à l'Est sur 2000Km (Durand Delga 1969). Cette chaîne est divisée en deux zones :

- Zones internes au Nord.
- Zones externes au Sud.



Ces deux zones sont séparées par le sillon des flyschs

❖ Zones internes :

Elles correspondent aux massifs de grande Kabylie, qui constituent le socle Kabyle ainsi qu'une étroite bande de terrains située plus au Sud « la dorsale Kabyle » (Durand Delga, 1969) ou « chaîne calcaire » (Glangeaud, 1932).



l'Est par Qued Isser.

La petite Kabylie : elle est constituée par les trois massifs cristallins, les Babors, massif de collo, et de l'Eldough. La limite au Sud est imprécise, la limite Est n'est pas très précise (zone de transition), la limite Ouest est une zone de dépression (vallée de la Soummam), la limite Nord est la mer jusqu'à l'embouchure de la Soummam.

- Socle Kabyle : est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique. Ce socle affleure d'ouest en est dans les massifs du Chenoua (à l'ouest d'Alger), d'Alger, de Grande Kabylie et de Petite Kabylie (entre Jijel et Skikda). Ce dernier, avec 120 km de long et 30 km de large, constitue le plus large affleurement du socle kabyle en Algérie. Le socle est par endroits recouvert en discordance par des dépôts détritiques (principalement des molasses conglomératiques) d'âge Oligocène supérieur-Miocène inférieur, appelés Oligo-Miocène Kabyle.

- La dorsale Kabyle (Durand Delga, 1969) ou chaîne calcaire à cause de l'importance du jurassique inférieur calcaire (Glangaud, 1932) : c'est une étroite zone ne dépassant pas quelque km de largeur, elle se trouve en Algérie dans les zones suivantes : cap de Ténès, dans le massif Chenoua, au Sud Est d'Alger (massif de Larba, de Bou-Zegza, et du Djurdjura), et au Nord de Constantine jusqu'au Sud d'Annaba.

La dorsale se présente sous forme d'écaillés d'âge Permo-Triasique à Eocène, des dolomies de Trias au Lias inférieur et des grès de Permo-Trias.

Cette dorsale est subdivisée du Nord au Sud en trois unités selon le faciès et l'épaisseur de calcaires : dorsale interne, médiane, et externe.

Bas

Mes



Figure 1.10. Carte géologique schématique de la côte algérienne à l'Est de cap de Ténès, d'après Wildis 1983.

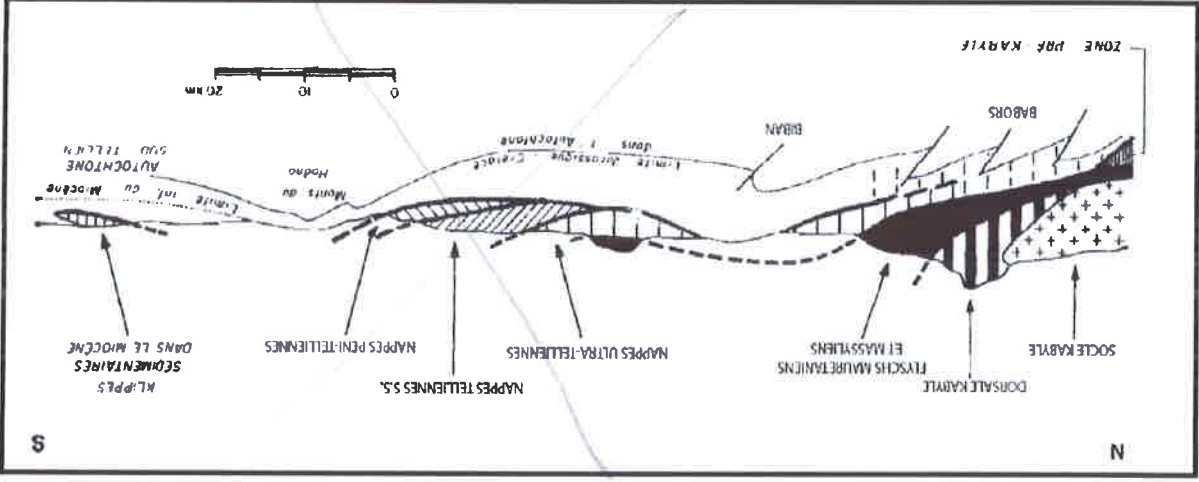


Figure 1.11. Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (modifiés d'après Durand-Delga, 1969).

❖ Les flyschs Kabyle

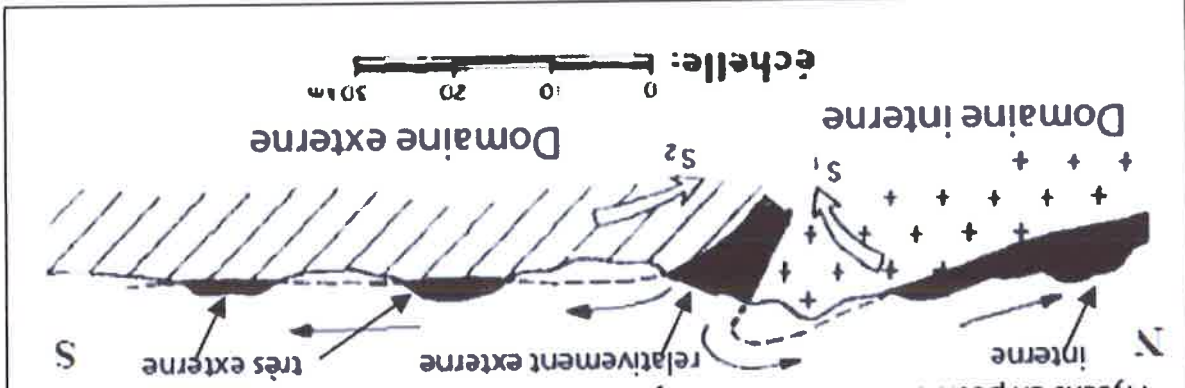
Se présentent de trois manières (Figure 1.12) :

- En situation interne, superposés tectoniquement aux massifs Kabyles, flyschs Nord Kabyle.
- En situation relativement externes, à la bordure Sud de la dorsale, flyschs Sud Kabyles.

- En situation très externe sous forme de masses isolées flottant sur le

Tell.

Figure 1.12. Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des



### Maghrébides.

On distingue du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs :

- les flyschs mauritaniens : sont relativement épais et occupent une position interne dans le domaine des flyschs. Ils sont composés d'alternances de bancs argileux calcaires et gréseux.
- les flyschs massyliens : occupent une position externe dans le domaine des flyschs et comportent une série pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur surmontée par une série pélito-micro-bréchiqque d'âge Crétacé supérieur.

Et un troisième groupe de flyschs plus récent :

- les flyschs numidiens : constitués de niveaux gréseux d'âge Oligocène terminal-Aquitainien épais de plusieurs centaines de mètres qui reposent sur des argilites versicolores oligocènes. Ces flyschs reposent anormalement à la fois sur les zones internes et sur les zones externes.

### ❖ Zones externes :

Les unités telliennes forment un ensemble complexe surmontant au Sud l'autochtone présaharien des Hautes Plaines.

- Le Tell autochtone ou parautochtone : ces unités sont du Nord au

Sud :

*les*

chaîne numidique (Durand Delga, 1989), l'énorme massif des Babors (Ehrmann, 1952) et les écaillés intermédiaires au Sud d'Alger (Glaugaud, 1932).

• Les nappes telliennes : elles se regroupent en trois unités du Nord au

Sud :

○ Les unités ultra-telliennes : elles sont définies par un faciès homogène essentiellement marneux du Crétacé à l'Éocène avec quelques intercalations de bancs de calcaire à silex noir.

○ Les nappes telliennes sensu-stricto : formées de Lias de plate-forme surmonté de Jurassique plus marneux, puis par le Crétacé qui, détritique, devient marneux à argilo-calcaire et enfin, l'Éocène aux marnes épaisses. Elles peuvent se rassembler en cinq groupes :

- Les nappes Baboriennes (D. Obert, 1981).

- Les unités Bibaniques (A. Caire, 1957 ; M. Leikine, 1971).

- Les nappes de Djemila, beni Adallah, Barbacha Draa et

Arba Erragrène.

- Les unités Gouraya-Arbalou-Brek.

- Les nappes Sétifiennes à matériel Éocène (M. Leikine, 1971 ; D. Obert, 1981).

○ Les nappes peni-telliennes : Elles sont formées par une

alternance de faciès telliens et de faciès rappelant ceux des domaines néritiques sétifiens ou constantinois. Ces séries assureraient le transit entre les faciès néritiques et les faciès septentrionaux plus profonds d'affinités Bibaniques

(N. Kazitani, 1986).

A partir de la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000, la zone d'étude représente trois unités stratigraphiques :

- Les formations alluvionnaires du quaternaire.
- Les formations tertiaires du Miocène.
- Les formations secondaires regroupant le Crétacé, le Jurassique, et le Trias et constituant le substratum.

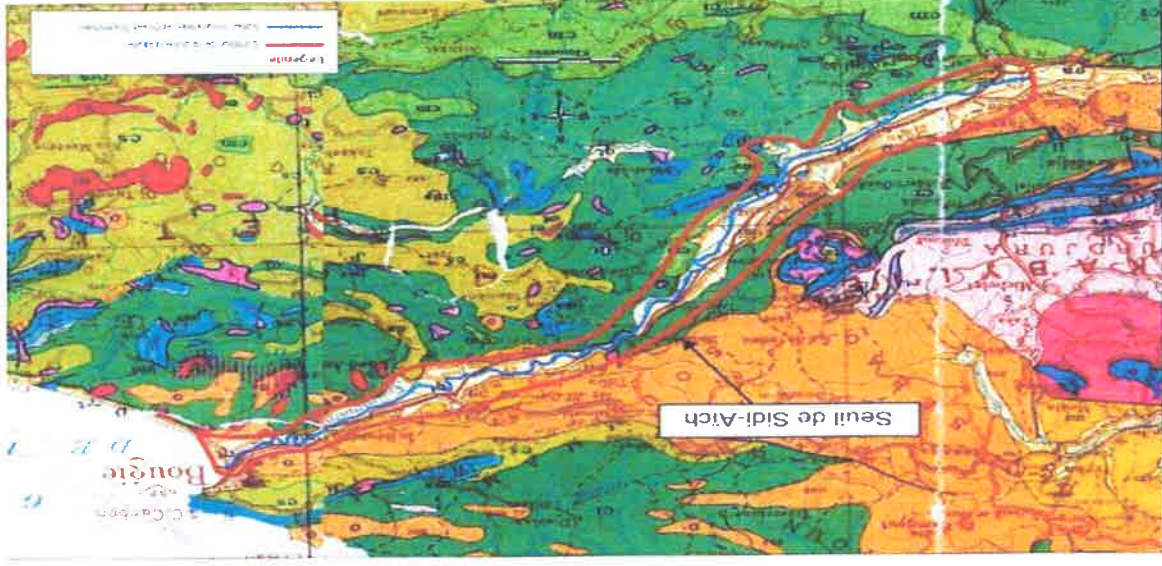


Figure 1.13. Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500 000.

- ❖ Les formations quaternaires :
  - Elles occupent la majeure partie de la vallée de la Soummam comprenant :
    - Au centre de la vallée :

Les alluvions anciennes et récentes : sur toute la longueur de la vallée, au centre les alluvions constituées des galets et de graviers à remplissage sableux avec des intercalations argileuses, les alluvions récentes présentent une épaisseur d'environ 20 à 30m.

Au niveau de l'Oued Sahel-Soummam. Au niveau de la vallée de la basse Soummam, des éléments sont grossiers, sont présents avec une épaisseur qui peut aller jusqu'à 40 m.



Sidi-Aïch, elle augmente lorsque on s'approche de l'embouchure (vers l'aval) jusqu'à atteindre une épaisseur de 50 à 60m.

Sur les bordures :

elles sont constituées des éboulis des cônes de déjection et de pente développées surtout pour les affluents en rive gauche s'écoulant sur les pentes du Djurdjura, et en rive droite aux bords de Sidi-Aïch, ces éboulis sont essentiellement constitués de gros galets ou d'argilles caillouteuses.

Leur présence est plus importante sur la vallée Sahel-Soummam que sur la basse Soummam.

❖ Les formations tertiaires :

• Miocène supérieur et pliocène (Mi-Pliocène) :

Cette formation est constituée de brèches de sable et de grès surmontés d'argiles bleues, elle est présente uniquement entre les villes de la Réunion (Oued Chir) et de Bejaia, dans la vallée de l'Oued Chir et de l'Oued Sfir, et on les trouve aussi sur la rive droite de la Soummam près du village Hl-Oubarouak.

• Miocène inférieur

Sur les bordures de la vallée de la Soummam on trouve le Miocène

post-nappe (Miocène inférieur).

Il est représenté par deux types de roches : les roches sédimentaires

et les roches éruptives.

○ Roches sédimentaires : il est constitué de deux ensembles

- De Sidi-Aïch à Bejaia :

Constitué de dépôts marins : marnes gréseuses, conglomérats, grès fins et grossiers, il est présent majoritairement en rive gauche de la Soummam (El-Kseur, région de Roumla, et la Réunion), son épaisseur est comprise entre 10 et 15m au niveau

Gautiere  
Galets  
Jura  
Sillons et  
de vallées

or

Wen

inf

○ Crétacé allochtone : présent en rive gauche de la Soummam (Djebel Arbalou, Djebel Gouraya, et au Nord d'Illmaten).

Il est constitué de flysch (crétacé inférieur) formés essentiellement d'argiles schisteuses grises, avec des intercalations de lits gréseux ou marno-calcaires.

Suivant l'origine des matériaux qui constituent ses flyschs on distingue : les flyschs internes et les flyschs externes, ainsi que l'unité tellienne.

- Flyschs externes : ils sont constitués de marnes, de bancs calcaires, de quartzites gris, de grès fins, de pelites, de conglomérats grossiers et de microbrèches argilleuses et sableuses.

Ils chevauchent l'unité tellienne ainsi que les flyschs internes.

- Flyschs internes : ils affleurent sur tout le flanc Nord de la vallée ainsi qu'au Sud de Bejaia.

Ils sont constitués de marnes, de grès, de quartzites, de schistes à petits bancs calcaires allant du Sénonien au Cénomannien.

- Unité tellienne : chevauche les flyschs internes, au Nord de Sidi-Aïch à Bejaia, présente les mêmes facies de Crétacé autochtone.

• Jurassique : Il est constitué à la base de calcaires dolomitiques de dolomies et de calcaires massifs et à débris, et au sommet de calcaire gris contenant des bancs de silex à la base, il est présent dans la vallée Sahel-Soummam surtout dans la région d'Akbou.

• Trias : Il est constitué d'un faciès gypso-salin à argiles versicolores, cagneules et dolomies dans la basse Soummam.

Il se manifeste sous forme de masses plus ou moins étendues remplissent de grandes cassures, le long de contact de nappes de

*Unité tellienne*

*Unité tellienne*

*Unité tellienne*

*Unité tellienne*

*Unité tellienne*



Charriage notamment (région Nord d'Akbou), mais aussi sous forme d'époinçements locaux (Sidi-Aïch, et Ilmaten).

### 1.3.2.2. Tectonique :

#### 1.3.2.2.1. Cadre général :

La vallée de la Soummam à connu une histoire tectonique très complexe et les principaux traits de cette histoire de la tectonique de secteur d'étude sont :

- Une phase Anté-nappes allant de Jurassique à crétacé.
  - Une phase tangentielle au Miocène inférieur.
  - Une phase après le dépôt du Miocène post-nappes.
- ❖ Tectonique anti-nappes : cette période allant de Jurassique au crétacé, caractérisée par une tectonique cassante distansive, elle est marquée par :

- Un bassin interne ou se déposent les formations qui vont donner les flyschs internes.
- Le haut fond Kabyle ou se déposent les matériaux qui formeront la chaîne calcaire de Djurdjura.
- Un bassin externe ou sédimentaire, les formations qui donneront les flyschs externes.
- Une zone ou se constituent les formations du sillon tellien.

#### ❖ Tectonique tangentielle : au Miocène inférieur, marqué par les phases

suivantes :

- Un chevauchement affecte les unités crétacées et Jurassique et conduit à la formation d'écaillés jurassiques chevauchant vers l'Est crétacé inférieur.
- La nappe Sénonienne d'Arbala-Seddouk vient chevaucher le crétacé supérieur.
- La nappe des flyschs internes qui par-dessus le domaine Kabyle calcaire pour arriver jusqu'à la zone tellienne.
- Le charriage Nord-Sud de l'unité tellienne, suivie des flyschs externes et de chaîne calcaire du domaine Kabyle.

#### ❖ Tectonique post-nappes :

Après le dépôt de Miocène, en remise en mouvement de tout l'ensemble précédemment mis en place à lieu, ceci entraîne la formation de failles

verticales, de décrochements et parfois de remises en mouvement de nappes. Au moment se produit une intense activité volcanique, la structure générale de la plaine de la Soummam correspond au contact Miocène-Crétacé qui plonge rapidement on allant vers le Nord.

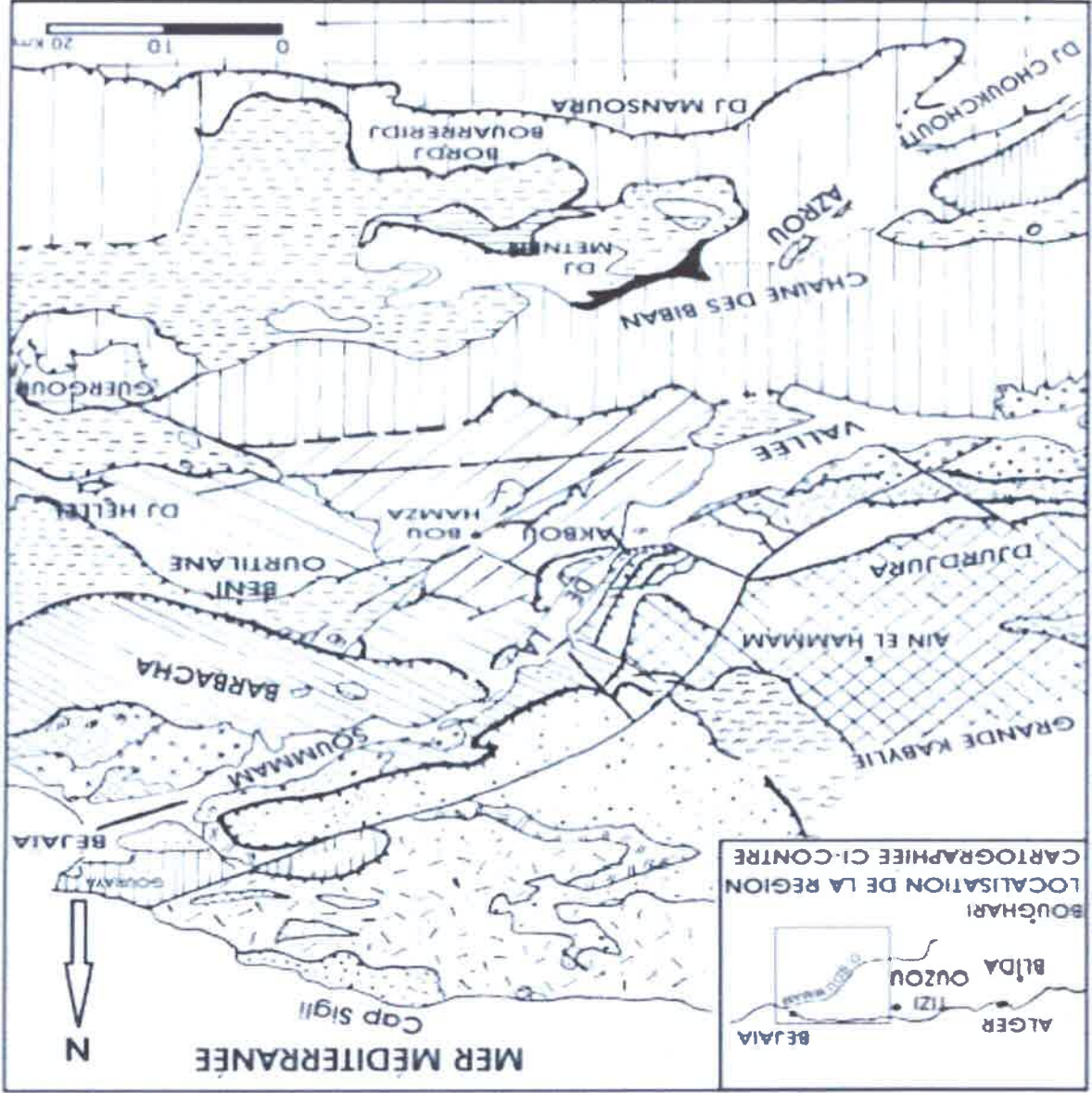


Figure 1.14. Schéma structural de l'Est de la grande Kabylie, des Babors occidentaux et

de la région des Bibans, mis à part les contours de la portion centrale et Centro-occidentale du schéma structural, qui sont originiaux, les autres traces sont empruntées à A. Caire (1957) pour la portion méridionale ; à J. Glajon (1964) ; J.M.Villa et M. Leikine (1976) pour la région de Guerourg Hellel; À M. Leikine (1971) pour la région située au Sud de Bejaia; à Flaval pour tout le Nord-Est de la grande Kabylie.

(D'après A. Coutelle 1979)

LÉGENDE DU SCHEMA STRUCTURAL

- |  |  |
|--|--|
|  | Quaternaire  |
|  | Unités supérieures   |
|  | Numidien   |
|  | Flysch chaotique   |
|  | Socio kabyle et Chaîne calcaire  |
|  | Unité des Ait Ouakour (flysch de Guerrouch et formation de bordure)      |
|  | Unité marnouso et microconglomératique du NE de la Grande Kabylie        |
|  | Unité inférieure des flyschs du flanc sud du Djurdjura (u de Takerbouzt) |
|  | Unité du Djabol Gouraya  |
|  | Unités médianes  |
|  | Miocène de la Basse Soummam (sédimentaire et éruptif)                    |
|  | Numidien   |
|  | Unité de Barbacha et apparentées   |
|  | Unités inférieures   |
|  | Miocène de la Moyenne Soummam  |
|  | Numidien et "Modjanien"  |
|  | Flysch craté de la lamo C <sub>2</sub>                                   |
|  | Unités à Sónonien conglomératique, lamo C <sub>1</sub>                   |
|  | Unités à Sónonien marnoux, lamos B                                       |
|  | Unité des Beni Ourtilane   |
|  | Unité de Bou Hamza   |
|  | Unité des Biban  |
|  | Lamos A  |
|  | Trias tellien  |
|  | Autochtone et parautochtone  |
- 
- |  |                          |
|--|--------------------------|
|  | Limite stratigraphique   |
|  | Base de nappes           |
|  | Recouvrement post-nappes |
|  | Faïlle                   |

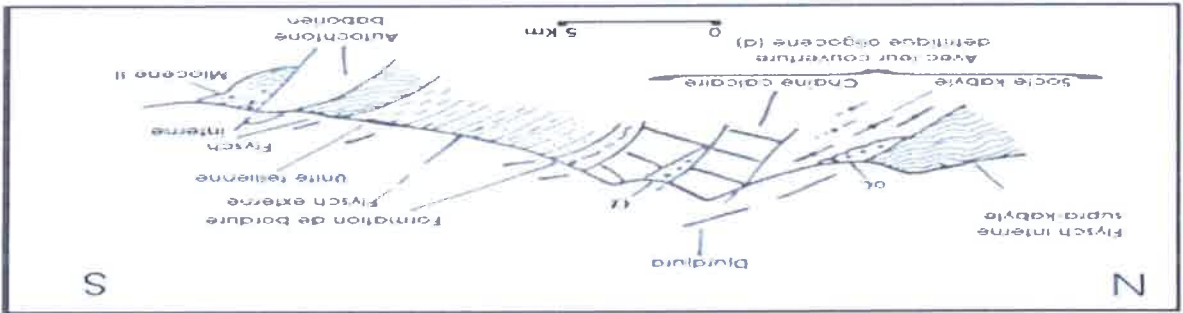
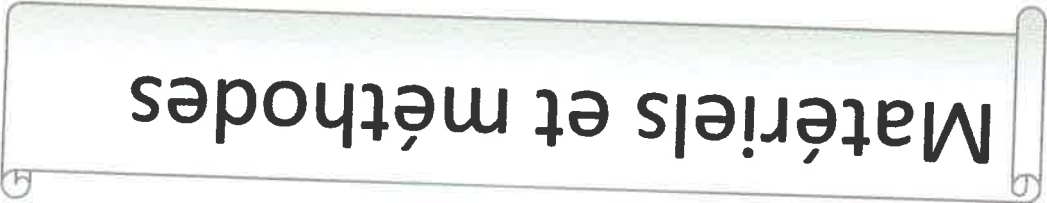


Figure I.15. Coupe géologique présentant le cadre structural de la Soummam d'après A.Coutelle (1979).

Coupe synthétique de l'extrémité orientale du Djurdjura sur la figure, les Flyschs du flanc Sud du Djurdjura sont distingués par leur origine paléogéographique. Structuralement on distingue les Flyschs supérieurs (Flyschs externes) et les Flyschs inférieurs (Flyschs internes). Ces derniers sont identiques par leurs faciès à certaines unités des Flyschs qui reposent sur la grande Kabylie (Flyschs supra kabyles) eux aussi d'origine supposée interne.



Matériels et méthodes

## I.1. Données étudiées :

## II.1.1. Sources des données :

## II.1.1.1. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques(ANRH) :

L'agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) est un établissement public algérien à caractère administratif et à vocation scientifique et technique. Elle est placée sous la tutelle du ministère chargé des ressources en eau, et son siège social est fixé à Alger. Sa mission principale est de mettre en application les programmes d'inventaire des ressources en eau et en sols irrigables du pays, en conformité avec les objectifs du plan national de développement et dans les conditions fixées par l'autorité de tutelle.

## II.1.1.2. Direction Hydraulique de la Wilaya de Bejaia(DHW) :

La DHW est un organisme implanté dans toutes les Wilaya, activant sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau (MRÉ) cet organisme a pour tâches essentielles la mise en œuvre des prérogatives du ministère en question dans la wilaya, notamment celles relatives au développement et l'amélioration du bien être des populations principalement en matière d'alimentation en eau potable (AEP) , l'assainissement et le traitement des eaux usées des agglomérations relevant du territoire de la wilaya.

## II.1.1.3. Agence du Bassin Hydrographique Algérois Hodna-Soummam

## (ABH- AHS) :

L'agence du bassin hydrographique " Algérois-Honda-Soummam " est un établissement public national à caractère industriel et commercial, créé par le décret exécutif n° 96-279 du 11 Rabie Ethani 1417correspondant au 26 août 1996. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau, et son siège est fixé à Alger.

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam est situé dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Il couvre une superficie de 47 588 Km<sup>2</sup>. Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Chellif-Zahrez, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellègue et enfin au Sud par le bassin du Sahara. La population totale de la région est de 10.000.000 habitants.



## II.1.2. Présentation des données :

## II.1.2.1. Présentation des données climatiques :

## II.1.2.1.1. Les données pluviométriques :

Notre étude s'intéresse uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent un facteur primordial dans le bilan hydrologique de la région.

## a) Caractéristiques des stations pluviométriques :

La pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs (P. Seltzer, 1913-1938 ; H. Gausson, 1913-1947 ; G. Medenger, 1913-1953 ; Chaumont et C. Paquen, 1913-1963).

Les données pluviométriques ont été fournies par l'ANRH, la DHW de Bejaïa, et l'ABH-AHS, pour trois stations : la station de Bouira, la station d'Akhou et la station d'El Kseur.

Les caractéristiques de ces trois stations pluviométriques de la plaine de la Soummam sont présentées dans le tableau ci-dessous :

station	Code	Chronique dis- ponible	Caractère bio- climatique	Pluviométrie (mm)
Bouira	15 02 04	1913-2010	Semi-aride	393.77
Akhou	15 05 03	1923-2010	Semi-aride	441.80
El Kseur	15 10 04	1902-2010	Sub-humide	675.68

Tableau II.1. Caractéristiques des stations pluviométriques de la plaine de la Soummam.

## b) Localisation des stations pluviométriques :

La situation géographique de ces trois stations est indiquée sur la (figure II.1.)

ci-dessous :

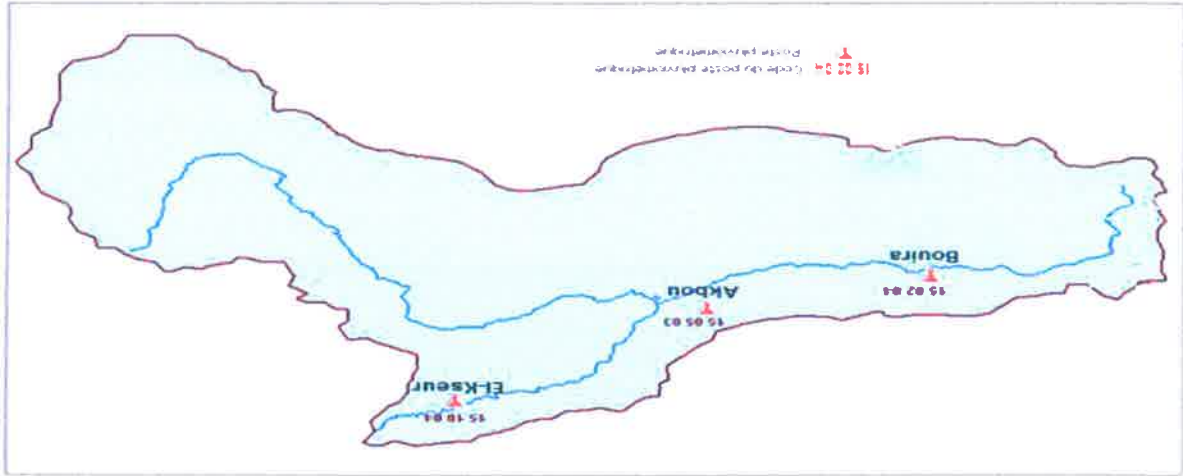


Figure II.1. Carte de localisation des stations pluviométriques.

c) Présentation des séries chronologiques des précipitations :

Le tableau suivant résume la répartition annuelle et inter-annuelle des précipitations à l'échelle des trois stations :

Tableau II.2. Cumuls annuels et moyennes inter-annuelles des précipitations.

	Station d'El-Kseur (1902-2010)	Station d'Akbou (1923-2010)	Station de Bouira (1913-2010)
année	p. annuelles (mm)	p. annuelles (mm)	p. annuelles (mm)
1902	985,4	-	-
1903	1054,8	-	-
1904	1079,8	-	-
1905	1031,1	-	-
1906	1151,9	-	-
1907	754,1	-	-
1908	946,0	-	-
1909	633,6	-	-
1910	679,7	-	-
1911	568,3	-	-
1912	491,0	-	-
1913	785,9	-	310,7
1914	821,0	-	414,6
1915	1088,2	-	313,8
1916	811,6	-	298,8
1917	628,3	-	311,5
1918	1051,0	-	485,5
1919	521,9	-	298,2
1920	800,7	-	439,8
1921	888,5	-	241,4
1922	1086,8	-	358,1
1923	755,1	709,1	271,9
1924	653,6	707,1	265,0
1925	648,5	458,7	413,0
1926	593,3	462,6	391,1
1927	914,3	506,6	395,0
1928	798,0	544,6	557,6
1929	631,7	450,5	544,3
1930	892,7	578,2	412,8
1931	832,9	402,2	407,6
1932	894,7	413,7	471,9
1933	918,4	305,4	504,4
1934	822,0	630,5	443,1
1935	706,0	447,8	530,3
1936	644,2	371,7	345,0
1937	660,3	444,4	357,7



1938	1137.9	486.0	499.2
1939	724.3	464.4	404.0
1940	613.8	508.8	262.4
1941	642.5	444.4	293.7
1942	770.0	474.4	429.5
1943	494.1	259.8	264.8
1944	622.9	395.8	287.9
1945	839.8	408.2	366.0
1946	438.5	418.5	271.5
1947	690.6	511.5	551.6
1948	753.9	406.7	325.1
1949	587.5	363.5	286.0
1950	655.9	555.3	436.6
1951	1039.7	637.6	414.2
1952	729.6	416.1	365.2
1953	518.7	449.3	398.7
1954	646.1	475.9	309.5
1955	922.2	443.1	469.8
1956	482.3	420.3	218.7
1957	1232.3	600.1	551.7
1958	862.0	558.1	437.5
1959	871.7	459.2	314.2
1960	513.4	381.8	237.3
1961	679.9	318.5	260.6
1962	400.0	421.6	414.5
1963	624.2	446.3	449.3
1964	520.1	482.5	339.8
1965	653.3	494.1	452.8
1966	523.4	424.0	436.6
1967	543.4	414.0	458.8
1968	331.5	456.1	372.1
1969	1097.7	821.2	817.1
1970	472.0	468.1	365.8
1971	838.2	644.4	586.4
1972	856.9	417.0	528.2
1973	885.1	475.5	410.9
1974	479.1	324.9	281.1
1975	583.4	422.0	521.5
1976	535.8	348.3	296.2
1977	363.5	318.1	299.7
1978	346.7	376.6	440.8
1979	588.3	350.5	311.4
1980	725.5	414.0	308.6
1981	519.8	414.8	316.3
1982	496.9	456.0	372.9

a) Présentation des séries chronologiques des températures :  
 Les données de température disponible, allant de 1990 à 2010 dans les trois stations : Bouira, Akbou, El Kseur.  
 Le tableau ci-dessous représente les températures moyennes mensuelles de chaque station.

La température est l'un des facteurs ayant une grande influence sur le bilan hydrologique. Du fait qu'elle conditionne le déficit d'écoulement, l'évapotranspiration reste un facteur déterminant dans tout calcul de bilan au niveau des bassins versants.

II.1.2.1.2. Données de température :

1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	moy.int.ann
618.9	500.27	489.6	742.59	353.0	651.37	326.6	408.2	663.89	449.7	642.94	606.1	511.57	591.1	394.89	612.41	400.3	390.98	367.9	519.71	652.9	534.25	549.4	368.62	331	426.6	384.99	322.62	488.216667
343.2	443.6	342.0	495.0	157.8	225.3	334.7	336.1	537.1	313.3	344.15	310.61	347.44	326.97	451.52	771.38	368.95	368.35	325.48	465.68	646.31	294.32	342.5	340.2	373.03	644.51	352.64	251.33	360.786167
																												407.965

### apport d'eau à l'Exutoire de Sidi Ali Lehar, compagne 1920-1992.

Tableau II.4. Valeurs moyennes inter-annuelles des différents types de débits et

1920-1992	1,451138889	753,64	21,27	659,82375
période	Q min (m <sup>3</sup> /S)	Q max (m <sup>3</sup> /S)	Q moy (m <sup>3</sup> /S)	Apport (H.m <sup>3</sup> )
débit et apport				

de débits et apport en volume d'eau (Tableau II.4).  
 ant de 1920 à 1992, chaque année présente quatre (04) données, de différent types  
 L'échantillon des débits disponible dans notre série n'est que de 72 ans, période al-  
 projets d'aménagement de la vallée de Soummam.  
 cette étude est de fournir les différents types de débits à considérer pour l'étude des  
 mètres nécessaires à l'interprétation des résultats relatifs aux débits. L'objectif de  
 du bassin versant de la Soummam, présentées dans cette partie, fournit les para-  
 viométriques présentées dans la partie précédente. L'analyse des caractéristiques  
 bassins versant de Bouira, El kseur et Akbou, fournisseurs principaux des séries plu-  
 provenance les différents sous bassins versant de la Soummam, en particulier les sous  
 Soummam comme seul collecteur de toutes les eaux de ruissellement pluvial ayant  
 moyens et apports des débits en volume d'eau. Pour cet effet nous avons choisi l'Oued  
 mesurés au niveau de l'Exutoire de Sidi Ali Lehar, les débits minimaux, maximaux,  
 Dans cette partie, nous nous sommes intéressés aux principaux types de débits

#### II.1.2.2.1. les données des débits :

#### II.1.2.2. Présentation des données hydrologiques :

Tableau II.3. Moyennes mensuelles des températures.

Mois	S.El kseur (1990-2010)	S.Akbou (1990-2010)	S.Bouira (1990-2010)
Janv	12.435	11.505	11.77
Fev	12.65	12.66	11.93
Mar	14.275	14.37	14.33
Avr	16.375	15.565	15.71
Mai	18.955	19.065	19.595
Jun	16.57	21.4	22.075
Juill	23.725	25.005	25.725
Aout	24.93	25.38	26.1
Sept	23.88	23.76	23.05
Oct	21.04	20.345	20.665
Nov	17.425	16.375	16.32
Dec	13.375	12.73	12.71
moyennes mensuelles des températures T (°C)			

- a) Les débits maximaux : valeur maximum de volume d'eau par unité de temps passant dans un cours d'eau, établie d'après les données d'une période d'observation suffisamment longue.
- b) Les débits minimaux : est la valeur la plus basse en volume d'eau par unité de temps enregistré pendant une longue période.
- c) Les débits moyens : est la moyenne arithmétique des débits mesurés en un point donné pendant une période donnée.
- d) Les apports en volume d'eau : est la somme des volumes d'eau ayant défilé pas l'exutoire d'un cours d'eau durant un période donnée, en tenant compte du volume initial.

## II.2. Méthodologie de travail :

### II.2.1. représentation graphique :

#### II.2.1.1. Graphique des cumuls annuels des précipitations :

Le graphique des cumuls pluviométriques nous permettra d'établir l'année la plus pluvieuse et l'année la moins pluvieuse en fonction du volume total reçu durant la série en question (pluvieuse par rapport au volume précipité).

#### II.2.1.2. Graphique des moyennes annuelles des précipitations :

Le graphique des moyennes annuelles des précipitations nous permettra de déterminer l'année la plus humide et l'année la plus sèche pluvieuse en fonction du volume total reçu durant la série en question (humide par rapport au nombre de mois pluvieux par année).

#### II.2.1.3. Graphique des températures mensuelles :

Le graphique des températures moyennes mensuelles, nous permettra de déterminer le mois le plus chaud, et le mois le plus froid de l'année pour les séries des trois stations de mesure, afin de réaliser le diagramme ombrothermique et le climatogramme d'Emberger.

### II.2. Méthode de Bagnouls et Gausson (1957) :

#### II.2.2.1. Diagramme ombrothermique :

Un diagramme ombrothermique présente à la fois les données relatives aux précipitations et à la température pour une station donnée.



$$K = 273.15 + C$$

P : précipitation annuelle moyenne en (mm).  
 M : la moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°K).  
 m : la moyenne des minima du mois le plus froid en (°K).  
 (M+m)/2 : Température moyenne en (°K).  
 (M-m) : amplitude thermique extrême des moyennes en (°K).

$$Q_2 = \frac{1000 * P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) * (M-m)}$$

L'interêt du diagramme ombrothermique est de distinguer les mois secs et humides. Si la courbe des températures se situe au dessus de la courbe des précipitations, on a un mois sec, par contre là ou la courbe des précipitations est supérieure à celle des températures, on a un mois humide.

La détermination des étages bioclimatiques dans les régions de Bouira, El-kseur et Akbou est estimée à l'aide du quotient pluviothermique d'Emberger (1955), et la formule adoptée s'écrit :

**II.2.3.1. Climatogramme d'Emberger (1955)**

**II.2.3. Méthode d'Emberger :**

L'interêt du diagramme ombrothermique est de distinguer les mois secs et humides. Si la courbe des températures se situe au dessus de la courbe des précipitations, on a un mois sec, par contre là ou la courbe des précipitations est supérieure à celle des températures, on a un mois humide.



En abscisse, on représente les mois de l'année. En ordonnée, on place deux axes : l'axe des précipitations (p (mm)) est à gauche, et l'axe des températures (T (°C)) est à droite. La graduation des précipitations est le double de celle des températures

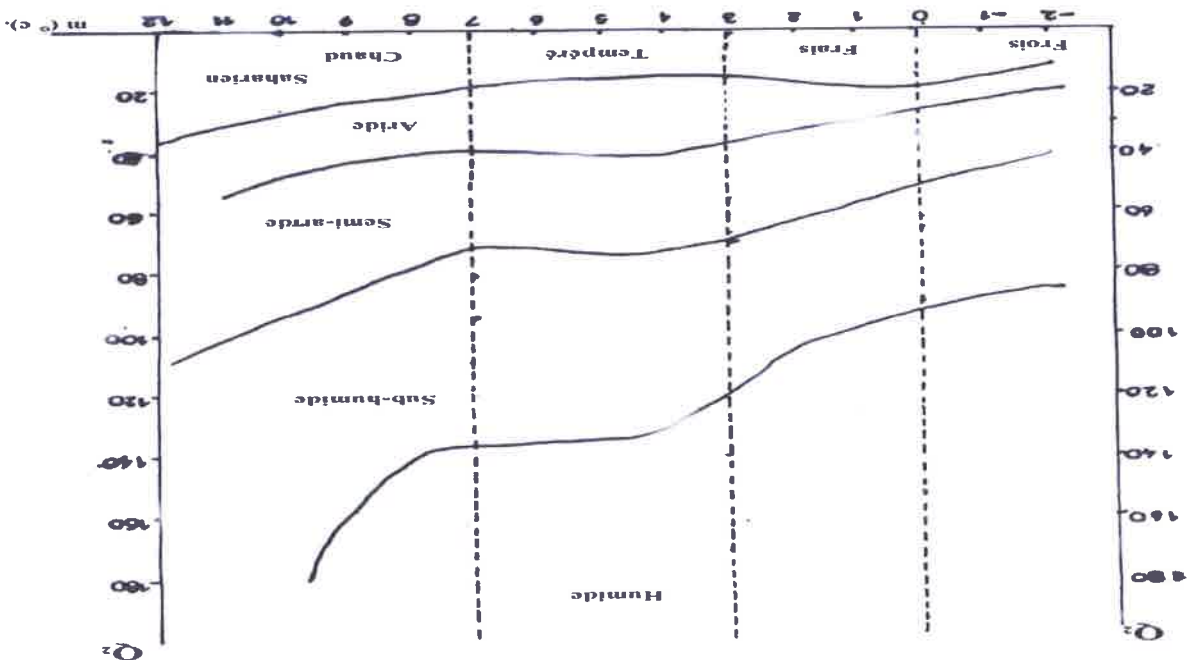


Figure. 11.2. Climogramme d'Emberger (1957).

11.2.4. L'aridité :

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP). "L'aridité résulte d'une indigence en eau, mesurée au sol et dans l'atmosphère; ces deux milieux réagissent d'ailleurs l'un sur l'autre". *Grand Larousse Encyclopédique* (1982).

L'aridité est exprimée par l'indice d'aridité.

11.2.4.1. l'indice d'aridité :

Noté (I) c'est un indice établi en fonction du montant des précipitations, des moyennes de température et parfois, de l'évapotranspiration observée sur les appareils de mesure (George, 1970), cet indice permet de déterminer le degré d'aridité.

Il existe une multitude d'indices et de formules, certaines basées sur des critères climatologiques, d'autre biogéographiques, et les plus connus sont : l'indice d'Emmanuel De Martonne (1926 à 1941), de Charles Warren Thornthwaite (1948), et de Bagnouls et Gausson (1953 à 1957).



Cas de notre étude, on utilise l'indice d'E. De Martonne, exprimé par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec : I : indice d'aridité.

P : précipitations moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en (°C).

On a, lorsque :

0 < I < 5 : le climat dit hyper aride.

5 < I < 10 : climat aride.

10 < I < 20 : climat semi-aride.

20 < I < 30 : climat sub-humide.

30 < I < 55 : climat humide.

**II.2.5. Méthode d'établissement du bilan hydrologique :**

L'établissement d'un bilan hydrique nécessite pour appréhender le fonctionnement d'un système hydraulique de surface ou de sub-surface, passe impérativement par la connaissance des éléments tels que la pluie, l'évaporation, l'écoulement ou le ruissellement et l'infiltration qui constituent le cycle de l'eau dans cette étude, on calcule le bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant les méthodes de calcul adaptées à la région.

**II.2.5.1. Notion d'évapotranspiration réelle et potentielle :**

- Evapotranspiration (évaporation+transpiration) : l'ensemble des phénomènes qui renvoient l'eau de pluie vers l'atmosphère.
- Evapotranspiration potentielle (ETP) : quantité d'eau qui pourrait s'évaporer d'un milieu si celui-ci recevait la réserve nécessaire.
- Evapotranspiration réelle (ETR) : c'est la quantité effectivement disparue, dont la valeur est souvent plus faible que celle de l'ETP.

**II.2.5.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

Elle a pour but de quantifier les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme

de vapeur d'eau. Ces pertes peuvent représenter l'évapotranspiration des eaux de surface, du sous-sol et par transpiration des végétaux, plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP parmi lesquelles :

- Formule de Thornthwaite.
- Formule de Serra.

a) Formule de Thornthwaite :

pour le calcul de l'ETP Thornthwaite propose la formule suivante :

$$ETP = 16 * \left(\frac{I}{10T}\right)^a$$

Dont :  $I = \sum_{i=1}^{12} i$  ou :  $i = \left(\frac{S}{T}\right)^{1.514}$

Et :  $a = 0.016 * I + 0.5$

$$ETP_c = ETP * K$$

ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée en mm.

ETP<sub>c</sub> : évapotranspiration corrigée en mm.

I : indice annuel de chaleur (somme des indices thermique mensuel).

i : indice thermique mensuel.

T : température moyenne mensuelle (°C).

K : facteur de correction mensuelle en fonction de la latitude.

a : exposant climatique en fonction de la durée du jour.

b) Formule de Serra :

La formule de Serra est la suivante :

$$ETP = 16 * \left(\frac{I}{10T}\right)^a$$

Dont :  $I = \sum_{i=1}^{12} i$  ou :  $i = 0.09T^{3/2}$

Et :  $a = (1.6 * I / 100) + 0.5$

$$ETP_c = ETP * K$$

ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée en mm.

ETP<sub>c</sub> : évapotranspiration corrigée en mm.

I : indice annuel de chaleur (somme des indices thermique mensuel).

i : indice thermique mensuel.

T : température moyenne mensuelle (°C).

K : facteur de correction mensuelle en fonction de la latitude.

a : exposant climatique en fonction de la durée du jour.

### II.2.5.1.1. L'évapotranspiration réelle (ETR) :

ETR ou le déficit d'écoulement (De) et la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libres. Plusieurs formules sont utilisées pour calculer l'ETR :

- Formule de Turc.

- Formule de Coutagne.

a) Formule de Turc :

Formule en fonction des températures et des précipitations moyennes annuelles, applicable à tous les climats.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{Lz}{P^2}}}$$

dont :  $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

ETR : évapotranspiration réelle en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

L : paramètre dépendant de la température.

b) Formule de Coutagne :

ETR ou De peut être estimé en fonction de la température moyenne annuelle et la précipitation moyenne annuelle, selon la formule suivante :

$$ETR = De = P - YP^2 \quad \text{ou : } Y = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$$

Cette formule est applicable si :  $\frac{8Y}{1} > P > \frac{2Y}{1}$

De : le déficit d'écoulement en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en m.

Y : un paramètre dépendant de la température.

T : température moyenne annuelle en °C.

Dans le cas où :  $P < \frac{1}{84}$  on a :  $ETR = De = P$ .

c) Méthode du bilan hydrologique de Thornthwaite :

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU).

La quantité d'eau stockée dans la RFU est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100mm.

Pour la vallée de la Soummam, l'étude pédologique élaborée par l'ANRH avait révélée l'existence de 7 classes de sol, selon la classification CPCs (commission pédologique et de cartographie des sols), la classe la plus rependue est celle de sols peu évolués d'apport alluvial modaux et hydromorphes.

La raison pour laquelle nous fixons la valeur du RFU à 100 mm (Kessasra, F, 2006).

Un bilan hydrologique mensuel peut être établi avec l'intégration des précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Cette méthode permet l'estimation chaque mois des paramètres suivants :

- L'évapotranspiration réelle (ETR).

- La réserve facilement utilisable (RFU).

- Le déficit agricole (Da).

- L'excédent (water surplus(WS)).

Le principe de calcul est basé sur les cas suivants :

- Si  $P > ETR$  :  $ETR = ETP$  la quantité P-ETP alimente la RFU jusqu'au maximum.

- Si  $P < ETP$  :  $ETR = P$  + toute une partie de RFU jusqu'à égaliser la valeur de ETP.

Le  $Da = ETP_i - (P + RFU_{(i-1)})$

- Si  $P < ETP$  et  $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$ , il existe un déficit agricole

$Da = ETP - ETR$ .

- Si  $P = ETR$  : les précipitations sont justes suffisantes pour

alimenter le sol. Il n'y aura pas de water surplus pour

alimenter la RFU.

**II.2.5.2. Ruissellement et infiltration :**

**II.2.5.2.1. Ruissellement :**

Eau circulant à la surface du sol, sans tenir compte de la fraction infiltrée.

Il est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff qui s'écrit :

$$R = \frac{3(ETPc)^2}{P^3}$$

Avec : R : ruissellement en (mm).

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée en (mm).

**II.2.4.2.2. Infiltration :**

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol, la lame d'eau infiltrée est estimée par l'application directe de la formule du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \quad \longleftarrow \quad I = P - (ETR + R)$$

Avec : I : infiltration en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

R : ruissellement en (mm).

**II.3. Outils de travail :**

**II.3.1. Arc GIS-10.0 :**

**II.3.1.1. Définition :**

Le logiciel Arc-GIS est un système d'information géographique développé par la Société ESRI (Environmental Systems Research Institute). C'est un outil pour gérer, visualisé, Cartographe, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale.

**II.3.1.2. Les composantes de l'environnement Arc-GIS :**

**II.3.1.2.1. Les applications :**

Système d'information géographique avec plusieurs applications dont : Arc Map, Arc Catalog, Arc Toolbox.

a) Arc Map : Est utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes.

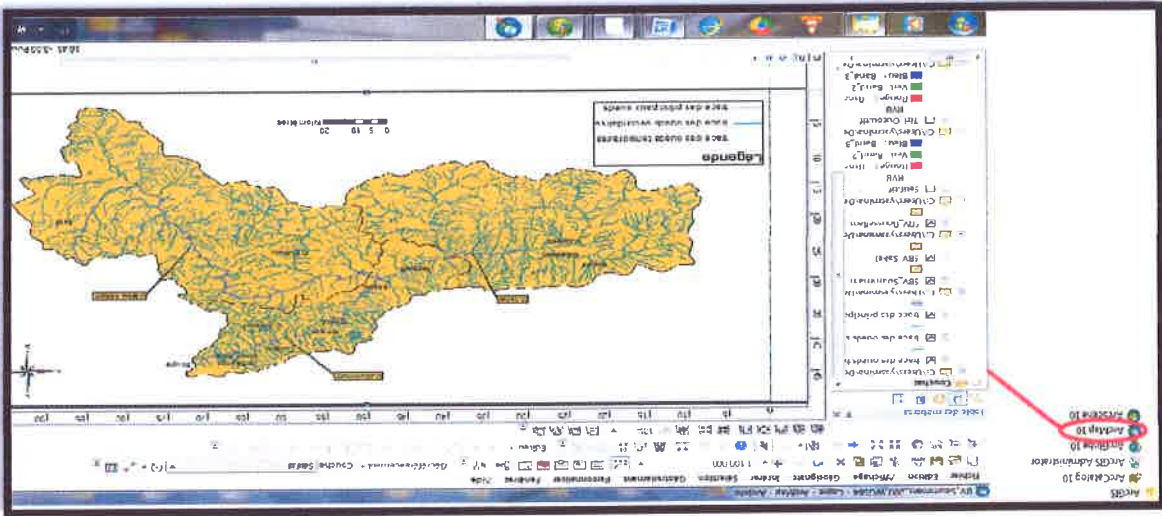


Figure II.3. L'application Arc Map.

b) Arc Catalog : permet de trouver, d'afficher, de se documenter et d'organiser les données géographiques et de créer des géodatabases sophistiquées pour stocker ces données.

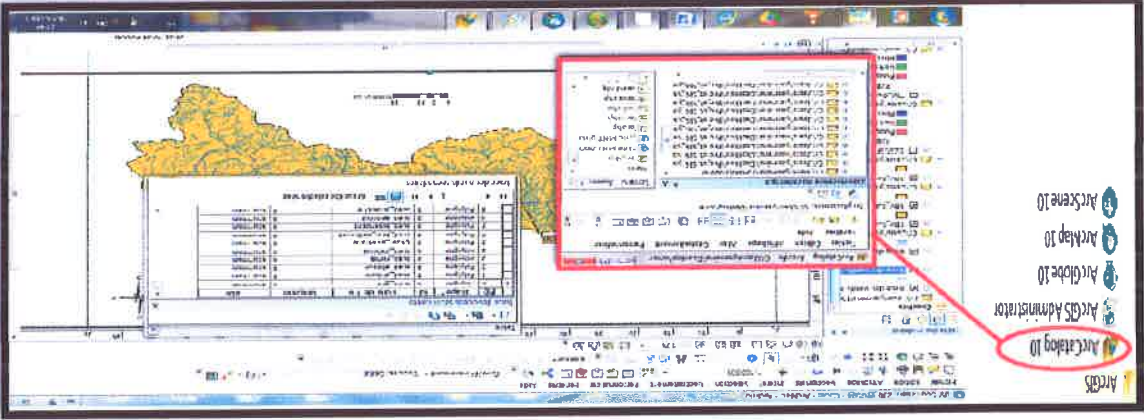


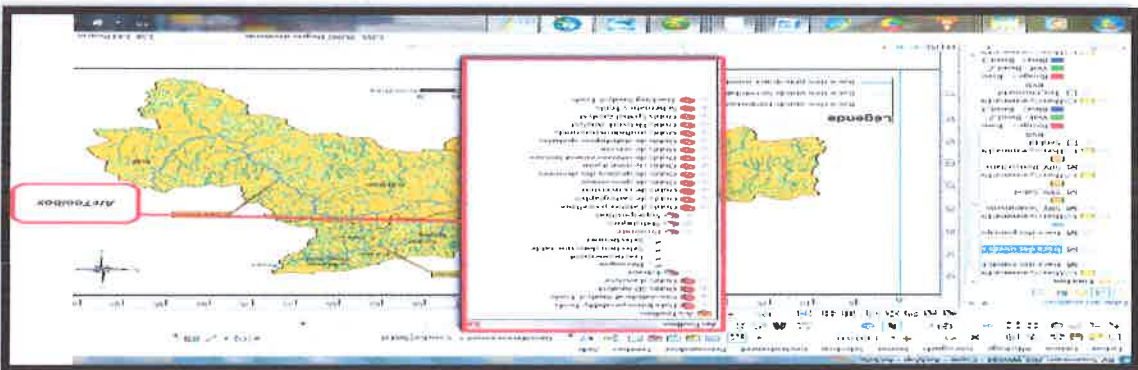
Figure II.4. L'application Arc Catalog.

c) Arc Toolbox : ArcToolbox est une application simple contenant de nombreux outils SIG utilisés dans le géotraitement.



A l'aide de ces trois applications, nous pouvons effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement... etc.

**Figure II.5. L'application Arc Toolbox.**



**II.3.1.2.2. L'outil de navigation :**

Outil permet d'effectuer certaines opérations.



**Figure II.6. L'outil de navigation.**

Dans ce travail, on a utilisé ce logiciel pour la réalisation de trois types de cartes :

- La réalisation d'une carte du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam, par l'utilisation des cartes topographiques de 20000<sup>ème</sup> de Bejaia, Bouira, Tizi-Ouzou, et Setif.
  - La réalisation d'une carte hypsométrique du bassin versant de la Soummam par l'utilisation des cartes MNT de l'Algérie.
- Pour faire cette carte, on a utilisé une combinaison entre deux logiciels : Arc-GIS et Global Mapper 10.
- La réalisation d'une carte des pentes du bassin versant de la Soummam à partir de la carte hypsométrique.

**II.3.2. Microsoft Office Excel :**

Logiciel de tableur de la suite bureautique Microsoft Office, il est destiné à fonctionner sur les plates formes Microsoft Windows ou Mac OSX.

Le logiciel Excel intègre des fonctions :

- de calcul numérique.
- Représentation graphique.
- Analyse de données.
- Programmation.

Dans notre cas, on a utilisé ce logiciel pour :

- Le calcul numérique (moyenne, somme...).
- Dessiner automatiquement des graphiques des températures, des précipitations, des débits, et les diagrammes ombrothermique des séries de chaque station étudiée.

### II.3.3. Logiciel XLSTAT 7.5.2 :

Est un ensemble de caractéristiques statistiques et de caractéristiques d'analyse pour Microsoft Excel (2000, 2002, 2003, et 2007).

Les fonctionnalités de XLSTAT sont entièrement intégrées dans l'Excel et peuvent être consultées avec des cartes et des barres portes outils.

Les caractéristiques comprennent des plots de cadre, analyse de composant principal, régression non linéaire, méthodes de prévisions.

Ce logiciel nous permet de faire le teste de corrélation entre deux paramètres température et précipitation, afin d'estimer la signification des relations entre les paramètres étudiés.

### II.3.4. Logiciel EndNote :

EndNote est un logiciel de gestion de références bibliographiques qui permet de créer des bases de données personnelles à partir de références saisies manuellement ou importées d'une source externe (p. ex. d'une base de données ou d'un catalogue de bibliothèque). Grâce à EndNote, il est possible d'annoter, trier, chercher et sélectionner les références afin de créer des bibliographies à volonté.

# Résultats et discussions

III.1. Etude climatologique et hydrologique :

III.1.1. Etude climatologique :

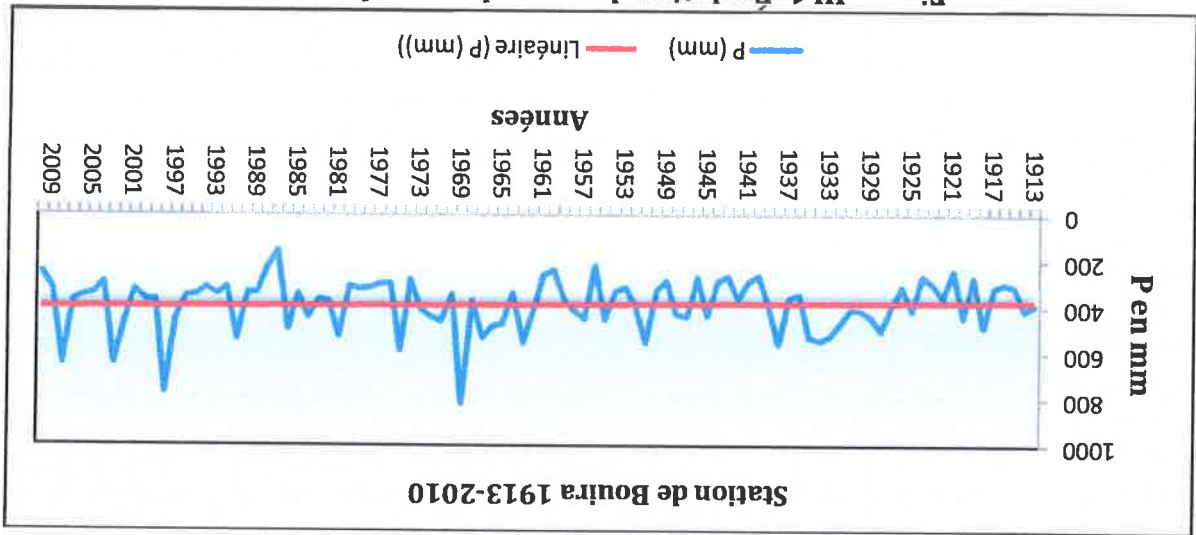
III.1.1.1. Traitement statistique des données climatiques :

III.1.1.1.1. Traitement des données climatiques de la station de

Bouira (15 02 04) :

a) Traitement des données pluviométriques :

- Variation des cumuls annuels des précipitations :



des précipitations, station de Bouira, série 1913-2010.

Le graphique des cumuls pluviométriques de la station de Bouira (figure III.1),

nous a permis de dégager l'intensité des pluies pour toutes les années de la série de Bouira, compagne 1913-2010, chaque année sur le graphique, présente la somme des précipitations mensuelles ayant été reçue pendant les douze mois de cette dernière (année en question). En effet le graphique regroupe les résultats des mois cumulés de chaque année pour une représentation linéaire mettant en

évidence les années les plus pluvieuses et celles les moins pluvieuses. Par conséquence les années les plus remarquables (plus pluvieuses), sont celles de

1969 (817,1 mm) et de 1998 avec 771,38 mm de précipitations, par contre l'année la moins pluvieuse a été enregistrée en 1987 avec une valeur de 157,8 mm. Les cumuls des autres années sont plutôt, hétérogènes à l'exception de certaines années présentant des cumuls de précipitations annuels proches les uns des

autres, en effet les cumuls annuels des précipitations de la station de Bouira ont tendance à l'accroissement au cours des années de la série. Les travaux obtenus sont comparés avec d'autres travaux, en effet nous relevons des similitudes très significantes (travaux de M. AKDIM, A).

- Variation des moyennes annuelles des précipitations :

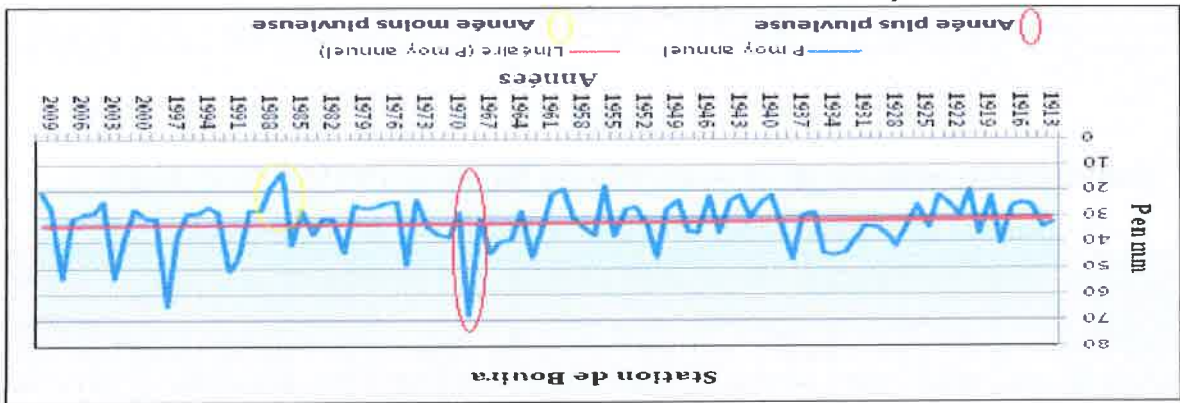


Figure III.2. Evolution des précipitations moyennes annuelles, station de Bouira, série 1913-2010.

station de Bouira, série 1913-2010.

La lecture du graphique (figure III.2), représentant le changement des précipitations moyennes annuelles de la station de Bouira pendant la série 1913-2010, a permis de constater que l'année la plus humide est celle de 1969 (cercle rouge), avec une quantité de 68,09 mm de précipitations moyennes arithmétique annuelles enregistrées. Par contre l'année 1987 (moins humide) mise en évidence par un cercle jaune est remarquée par sa faible humidité par rapport au autres années de la série 1913-2010 avec un volume de 13,15 mm de pluie précipité retenu en tant que moyenne arithmétique annuelle. Tendis que la courbe de tendance témoigne une augmentation gradue des précipitations moyennes annuelle de la série, par conséquent une augmentation de l'humidité.

On comparant nos résultats avec d'autres travaux, pour cet effet nous relevons des similitudes très significantes (travaux de M. BENHAMICHE, N)

c) Diagramme ombrothermique (Bagnouls et Gausse, 1957) :

Paramètres	Mois											
	J	F	M	Av	M	J	Ju	A	S	O	N	D
M	14.21	13.65	15.65	17.43	21.87	23.83	28.34	28.88	25.45	23.01	18.32	15.32
m	9.33	10.21	13.01	13.99	17.32	20.32	23.11	23.32	20.65	18.32	14.32	10.1
M+m/2	11.77	11.93	14.33	15.71	19.59	22.07	25.72	26.1	23.05	20.66	16.32	12.71
P (mm)	57.11	49.97	27.48	21.54	21.37	8.860	6.828	1.22	35.27	44.68	60.57	70.07
	5	7	2	2	5	9	9	9	3	3	8	09
	20.4966666	16.1666667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667	18.3316667
Moy.	Annuelle											

Tableau III.2. Valeurs mensuelles et annuelles des précipitations (p (mm)) et des températures, maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station de Bouira, série 1990-2010.

Le tableau ci-dessus présente les données climatiques de la région de Bouira sur 21 ans, les data sont présentées en moyenne de chaque paramètre sur une durée de 21 ans (la valeur de M du mois d'Aout, est de 28,88°C, cette dernière représente la valeur maximum des températures des mois d'Aout durant 21 ans ; De 1990-2010, le reste des données sont obtenues selon la même méthode). Pour ce qui est du diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausse (figure III.4), on représente les valeurs des précipitations (P), et les valeurs des températures moyennes mensuelles [(M+m)/2], on tenant compte de la condition de l'échelle, P=2T (T c'est la température moyenne [(M+m)/2] et P représente les précipitations).

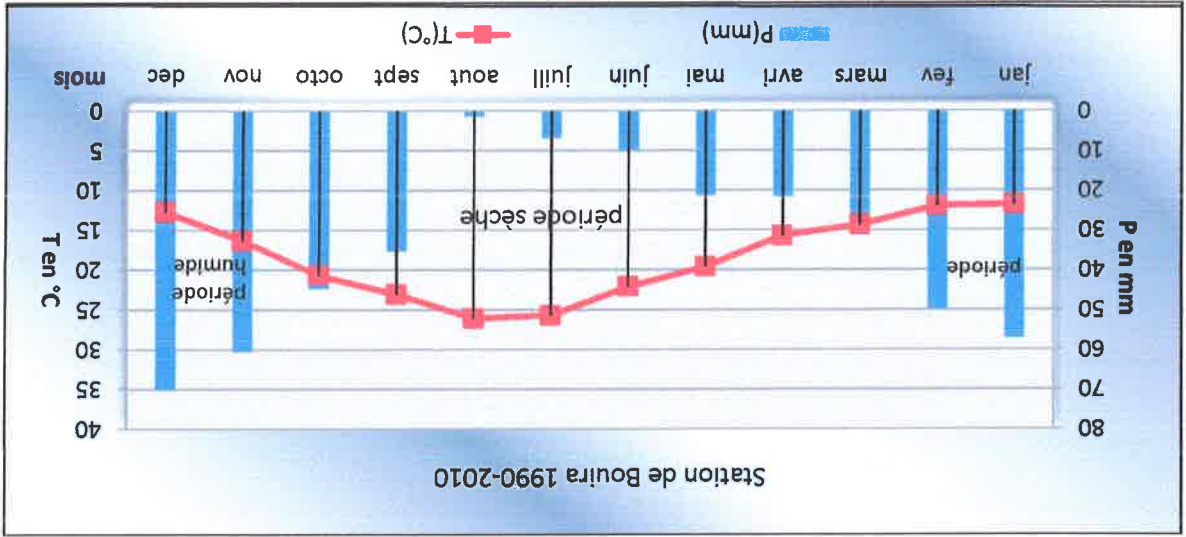


Figure III.4. Diagramme ombrothermique, station de Bouira, série 1990-2010.

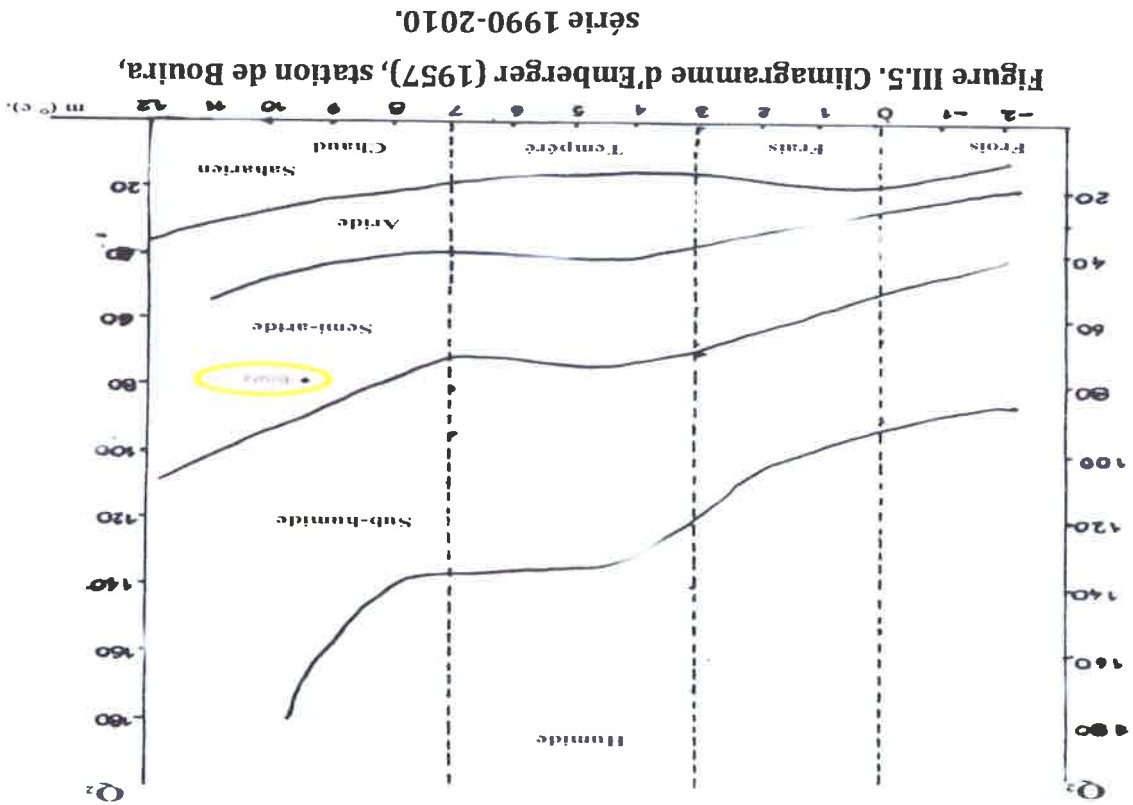


Le diagramme Ombrothermique de la région de Bouira montre que la période de sécheresse s'étale sur la moitié de l'année (figure III.4), à partir du mois d'avril jusqu'au mois de septembre, et deux périodes humides dont la 1<sup>ère</sup> s'étale sur une continuité de trois mois (janvier, février et mars), et la 2<sup>ème</sup> apparaît aussi sur une durée de trois mois (octobre, novembre et décembre).

d) Climatogramme d'Emberger :

- Le mois le plus chaud : Aout → M=28,88°C=302,03°K.
- Le mois le plus froid : Janvier ← m=9,33°C=282,48°K.
- Précipitation moyenne annuelle : P=405,998 mm.
- $(M+m)/2 = (302,03+282,48)/2 = 292,255°K$ .
- $(M-m) = (302,03-282,48) = 19,55°K$ .
- $Q_2 = (1000 * 405,998) / (292,255 * 19,55)$ .

$$Q_2 = 71,058$$



e) Le calcul de l'indice d'aridité de la station de Bouira selon E. DE Martonne, Compagne 1990-2010 :

$$I = \frac{T+10}{P}$$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Station de Bouira	
Précipitation totales annuelles (P) en mm	405,998
Température moyenne annuelle (T) en°C	18,3316667
I	14,33

Tableau III.3. Indice d'aridité de la station de Bouira, selon E.DE Martonne, série 1990-2010.

L'indice d'aridité calculé pour la station de Bouira vient de confirmer l'emplacement de la région de Bouira dans un étage bioclimatique semi-aride chaud.

f) Etude des corrélations précipitation-température :

XLSTAT 7.5.2 - Tests de corrélation - le 14/05/2013 à 13:37:22

Variable 1 : classeur = Série pluviométrique de BOUIRA-H. Achour and I. Yasmina.xlsx / feuille =

Feuille /

plage = \$C\$3:\$C\$23 / 21 lignes et 1 colonne

Variable 2 : classeur = Série pluviométrique de BOUIRA-H. Achour and I. Yasmina.xlsx / feuille =

Feuille /

plage = \$D\$3:\$D\$23 / 21 lignes et 1 colonne

Seuil de signification : 0,05

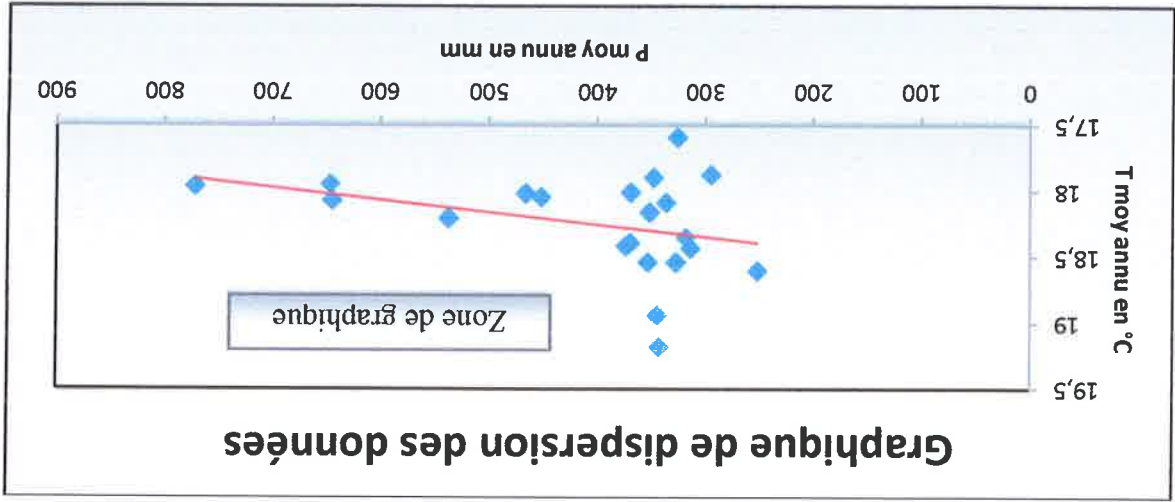


Figure III.6. Graphique de dispersion des données des températures et des précipitations, station de Bouira, Série 1990-2010.

Test de corrélation de Pearson (test paramétrique) :

Alpha	0,05
p-value bilatérale	0,137
Valeur observée	-0,336

Conclusion :

Au seuil de signification  $\alpha=0,050$  on ne peut pas rejeter l'hypothèse

nulle d'absence de corrélation.

Autrement dit, la corrélation n'est pas significative.

### III.1.1.2. Traitement des données climatiques de la station d'Akhou

(15 05 03) :

a) Traitement des données pluviométriques :

- Variation des cumuls annuels des précipitations :

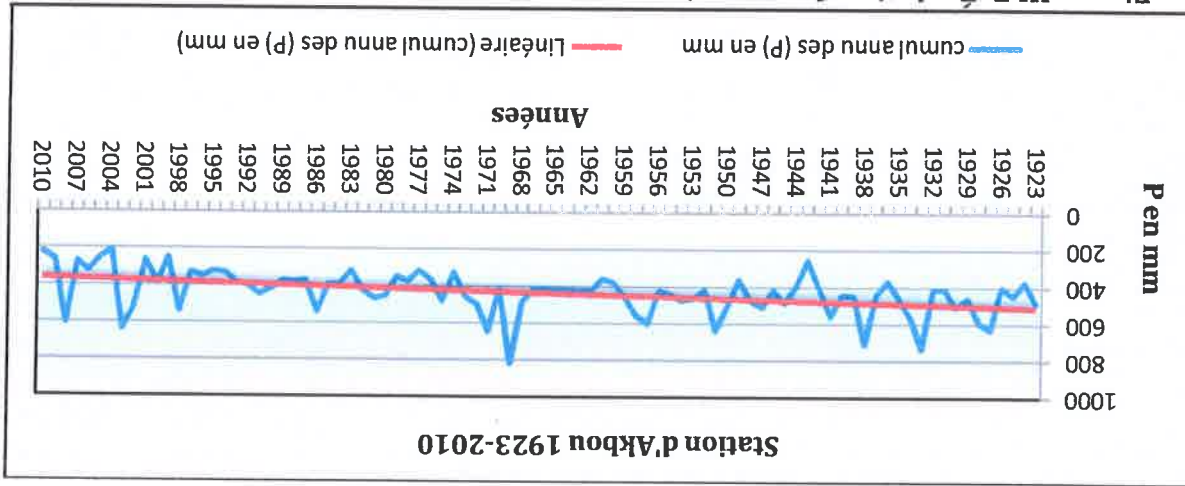


Figure III.7. Evolution des cumuls annuels des précipitations, station d'Akhou, série 1923- 2010

Le graphique ci-dessus (figure III.6), présente la somme des précipitations

mensuelles pour les années de la série d'Akhou 1923-2010, l'ensemble des valeurs

présentent les cumuls mensuels des années de la série, les années les plus

pluvieuses et les années les moins pluvieuses sont mises en évidence par les pics

hauts et bas de la courbe. Les plus remarquables sont ceux des années les plus

pluvieuses 1969 et 1933 avec des valeurs consécutives 821,2 mm et 737,1 mm des

précipitations. Par contre les années faiblement pluvieuses sont, 2010, 2005, 1999

et 1943 dans les valeurs respectives 224,44 mm, 252,58 mm, 253,12 mm et 259,8

mm. Autres années de la série présentent une fluctuation dans les valeurs. La courbe de tendance indique une diminution des cumuls annuels des précipitations dans la région d'Akbou, compagne 1923-2010.

Nous comparons nos résultats avec ceux obtenus avec d'autres travaux, en effet nous relevons des similitudes très significantes (travaux de M. AKDIM, A).

- Variation des moyennes annuelles des précipitations :

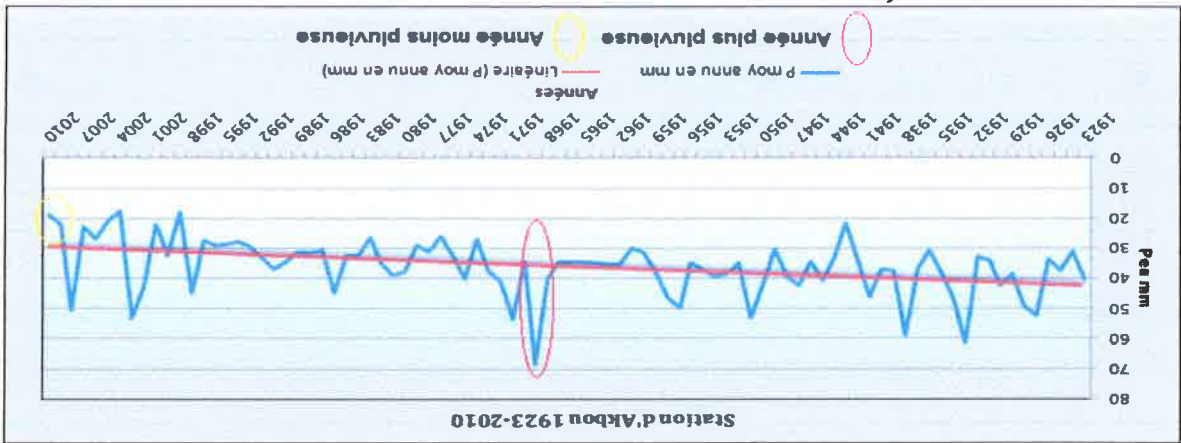


Figure III.8. Evolution des précipitations moyennes annuelles, station d'Akbou, série 1923- 2010.

Les variations de l'intensité des précipitations moyennes annuelles de la station d'Akbou, compagne 1923-2010 représentées sur le graphique ci-dessus (figure III.7), nous a permet de relever les années les plus humides de celles les moins secs, le pic encerclé en rouge représente l'année 1969 la plus humide de toutes les années de la série étudiées, offrant une quantité de 68,43mm de pluie reçoit dans cette année, par contre 2010 (cercle jaune) est l'année la plus sèche (moins humide) pendant la période 1923-2010 avec un volume de 18,70 mm de pluie précipitée. La courbe de tendance ajoutée sur le graphique ci-dessus (figure III.7), signale que les précipitations moyennes annuelles des années de la série d'Akbou ont une tendance à l'affaiblissement.

On comparant nos résultats avec ceux obtenus par d'autres travaux, en revanche nous relevons des similitudes très significantes (travaux de M. BENHAMICHE, N).

b) Traitement des données de température :

- Variation des températures mensuelles :

	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	ao	sep	oct	no	de	Moy ann
M	13.7	14.4	15.8	17.35	21.35	22.7	27.3	28.4	25.9	22.3	18.4	14.2	20.1933333
m	9.23	10.8	12.8	13.78	16.78	20.0	22.6	22.3	21.5	18.3	14.3	11.2	16.16416
(M+m)/2	11.5	12.6	14.3	15.565	19.165	21.4	25.0	25.3	23.6	20.3	16.3	12.7	18.1883333
	05	6	7	7	7	8	05	8	4	45	7	3	

Tableau III.4. Valeurs mensuelles et moyennes annuelles des températures maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'Akbou, série 1990-2010.

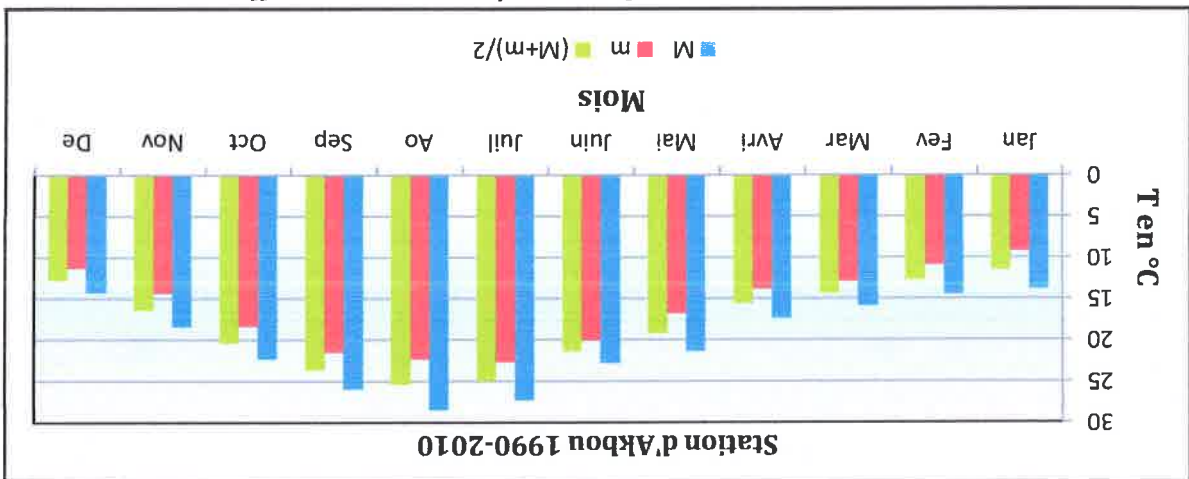


Figure III.9. Variation des températures mensuelles, station d'Akbou, série 1990-2010.

Les variations des températures mensuelles pour la station d'Akbou, compagne 1990-2010, présentées dans le graphique ci-dessus (figure III.8), permettent de constater que le mois le plus chaud durant cette série et le mois d'aout, avec une valeur de 28.44 °C, par contre janvier est le mois le plus froid, avec une valeur de 9.23°C, mesurée dans la station d'Akbou pendant la compagne 1990-2010. L'observation effectuée reste la même pour les valeurs minimales, maximales et pour les moyennes mensuelles des températures pour tous l'ensemble des années de la série.



c) Diagramme ombrothermique (Bagnouls et Gaussen, 1957) :

Moy. Annuel	Paramètres		T (°C)			P (mm)
	Mois	Annuel	M	m	M+m/2	
le	J	20.193	13.78	9.23	11.505	51.428
	F	14.23	14.43	10.89	12.66	40.33
	M	14.23	15.87	12.87	14.37	33.74
	Av	14.23	17.35	13.78	15.56	25.47
	M	14.23	21.35	16.78	19.06	18.31
	J	14.23	22.78	20.02	21.4	8.83
	Ju	14.23	27.34	22.67	25.00	3.741
	A	14.23	28.44	32	25.	2.8
	S	14.23	25.98	22.54	23.64	36.03
	O	14.23	22.34	18.32	20.34	34.82
	N	14.23	18.43	14.32	16.37	42.61
	D	14.23	14.23	11.23	12.73	48.97
	le	20.193	3333	16.164	18.188	369.37

Tableau III.5. Valeurs mensuelles et annuelles des précipitations (p (mm)) et des températures, maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'Akbou, série 1990-2010.

Le tableau ci-dessus défille les données climatiques de région AKBOU sur 21 ans, elles représentent la moyenne de chaque paramètre sur une durée de 21 ans (la M du mois de janvier, est de 13,98°C, cette dernière représente la valeur maximum des températures des mois de janvier durant 21 ans, de 1990-2010. Pour ce qui est du diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen (1957) (figure III.9), on représente les valeurs des précipitations (P), et les valeurs des températures moyennes [(M+m)/2], on tenant compte de la condition de l'échelle, P=2T (T est la température moyenne [(M+m)/2].

ici, on choisi une échelle 0-80 mm pour les précipitations moyennes et 0-40°C pour les températures moyennes.



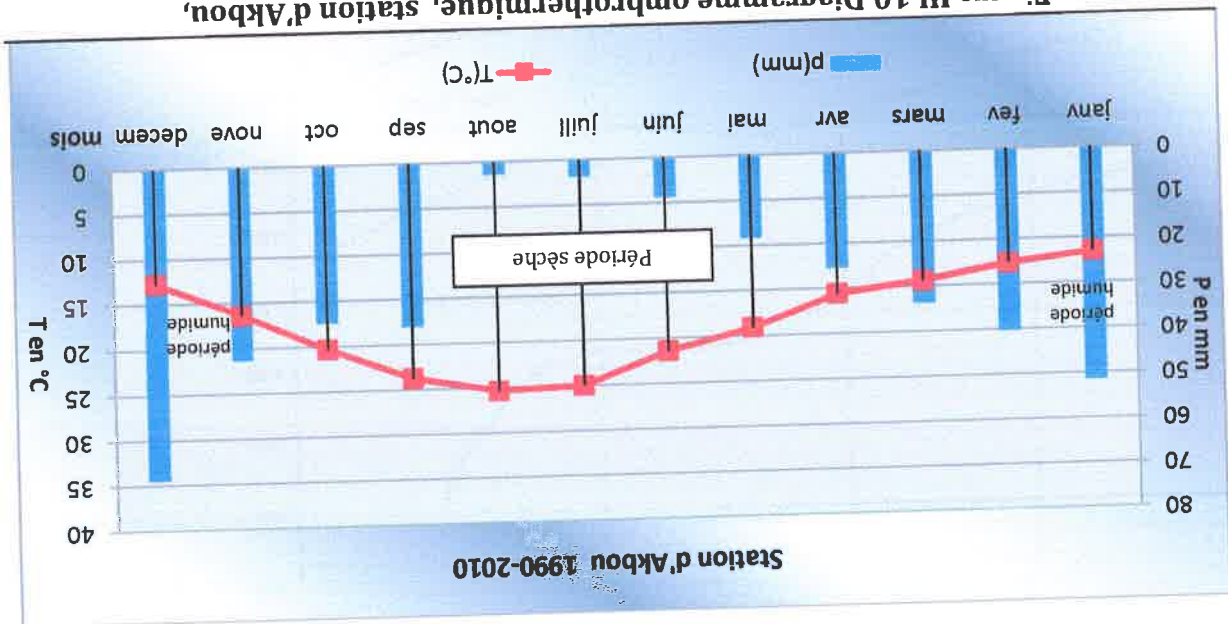


Figure III.10. Diagramme ombrothermique, station d'Akbou, série 1990-2010.

Le diagramme ci-dessus (figure III.9), présente les périodes de sécheresse et celle de l'humidité à partir de 1990 jusqu'à 2010 dans la région d'Akbou, ce diagramme montre que la période sèche s'étale sur sept mois de l'année (av, mai, juin, juil, août, sep et oct). Deux périodes humides dont la première observée sur trois mois (janv, fév et mars), et la deuxième dure de deux mois (nov et decem).

d) Climatogramme d'Emberger :

- le mois le plus chaud : Aout  $\rightarrow M=28,44^{\circ}\text{C}=301,59^{\circ}\text{K}$ .
- le mois le plus froid : Janvier  $\leftarrow m=9,23^{\circ}\text{C}=282,38^{\circ}\text{K}$ .
- Précipitation moyenne annuelle :  $P=369,3786\text{ mm}$ .
- $(M+m)/2 = (301,59+282,38)/2 = 291,985^{\circ}\text{K}$ .
- $(M-m) = 301,59-282,38 = 19,21^{\circ}\text{K}$ .

$$Q_2 = (1000 * 369,3786) / (291,985 * 19,21).$$

$$Q_2 = 65,85425$$

Variable 1 : classeur = Série pluviométrique d'AKBOU-H. Achour and I. Yasmına.xlsx / feuille = Feuil11 / plage = \$G\$32:\$G\$52 / 21 lignes et 1 colonne

Variable 2 : classeur = Série pluviométrique d'AKBOU-H. Achour and I. Yasmına.xlsx / feuille = Feuil11 / plage = \$H\$32:\$H\$52 / 21 lignes et 1 colonne

Seuil de signification : 0,05

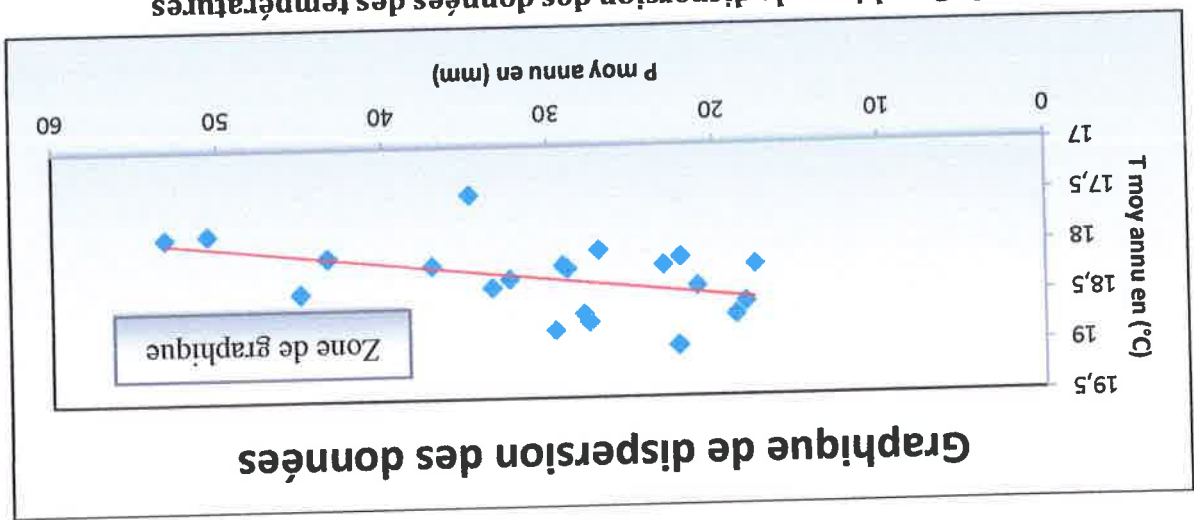


Figure III.12. Graphique de dispersion des données des températures et des précipitations, station d'Akhou, série 1990-2010.

Test de corrélation de Pearson (test paramétrique) :

Valeur observée	-0,491
p-valeur bilatérale	0,024
Alpha	0,05

Conclusion :  
 Au seuil de signification  $\text{Alpha}=0,050$  on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation.  
 Autrement dit, la corrélation est significative.

III.1.1.1.3. Traitement des données de la station d'El Kseur (15 10 04) :

- a) Traitement des données pluviométriques :
- Variation des cumuls annuels des précipitations :

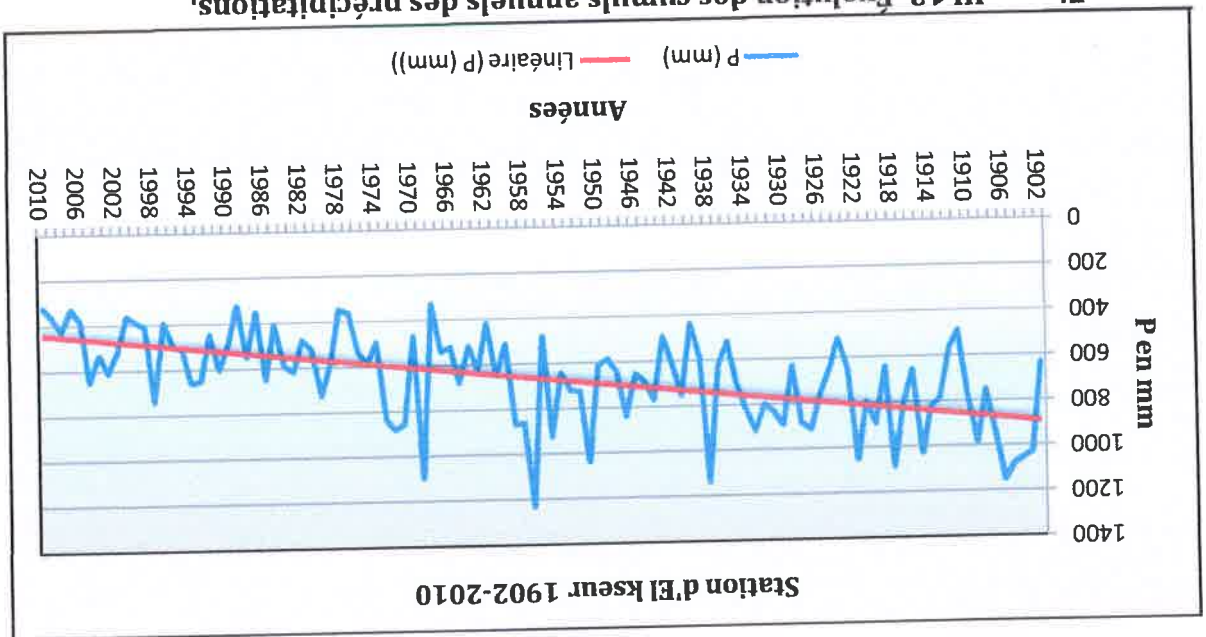


Figure III.13. Evolution des cumuls annuels des précipitations,

station d'El Kseur, série 1902-2010.

L'intensité de pluies annuelles enregistrées dans la station météorologique d'El Kseur pendant les années 1902-2010, présentée sur le graphique ci-dessus (figure III.11), chaque année sur le graphique représente le cumul mensuel des précipitations ayant été reçue durant les 12 mois de l'année en question, cependant le graphique relie les cumuls des précipitations annuelles pour une représentation linéaire permettant une comparaison entre les années pluvieuses et celles moins pluvieuses, les pics les plus remarquables sont ceux de 1906, 1938 et 1957 représentant les années pluvieuses de la série étudiée avec des valeurs de 1152 mm, 1138 mm et 1232 mm des précipitations cumulée respectivement, 1968, 2007 et 2010 représentant les années moins pluvieuses avec 331.5 mm, 331 mm et 322.6 mm respectivement, des précipitations cumulée enregistré. Les autres années de la série exposent des volumes de pluies très différents les uns des autres. La courbe de tendance placée sur le graphique signale une inclination à dominance diminutive des cumuls annuels des précipitations dans la région d'El Kseur pour la campagne d'enregistrement (1902-2010). Nous relevons des similitudes significatives lors de la comparaison avec d'autres travaux (M. AKDIM).

BENHAMICHE, N).

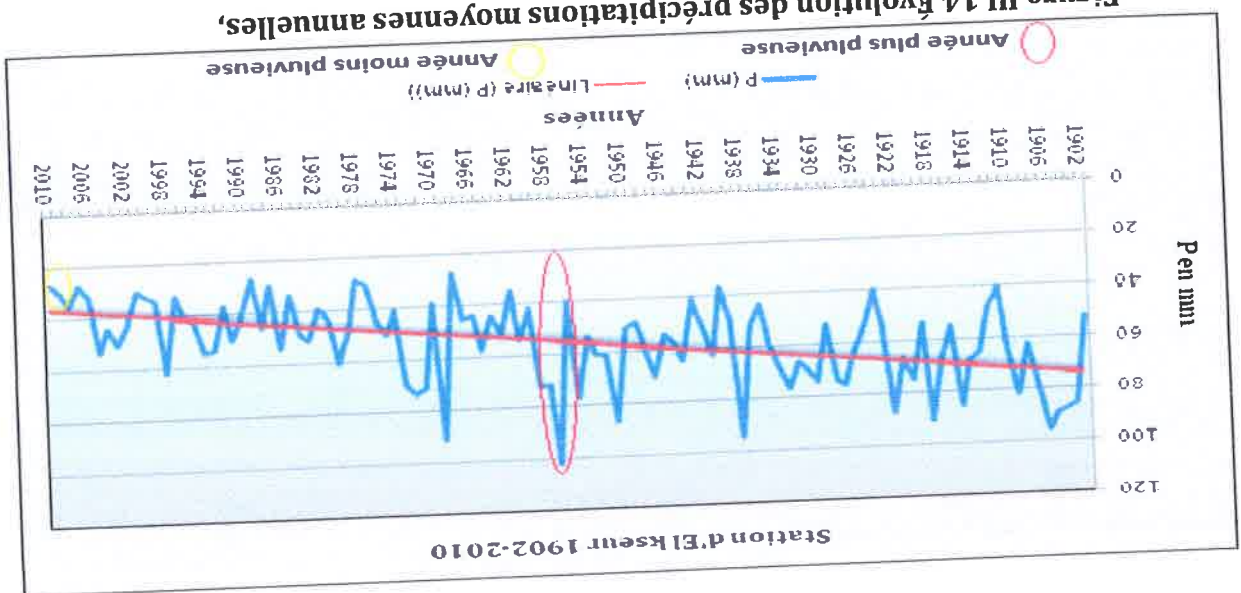
On comparant les résultats obtenus dans ce travail avec d'autres travaux, en revanche nous relevons des similitudes très significatives (travaux de M.

tendance à diminuer.

précipitations moyennes annuelles de la station d'El Kseur période 1902-2010 a de tendance insérée sur le graphique (figure III.12), indique que la série des valeur de 26.88 mm de précipitations reçus en moyenne arithmétique. La courbe annuelles, tandis que l'année 2010 est la plus sèche (moins humide) avec une enregistrée en 1957 avec une valeur de 102.69 mm de précipitations moyennes humides de celles les plus secs, en revanche l'année la plus humide a été Le graphique ci-dessus (figure III.12), nous a permis de dégager les années les plus

station d'El Kseur, série 1902-2010.

Figure III.14. Evolution des précipitations moyennes annuelles,



• Variation des précipitations moyennes annuelles :

b) Traitement des données de température :

- Variation des températures mensuelles :

	jan	fev	mar	avri	mai	juin	juil	ao	sep	oct	no	de	Moy ann
M	14.7	14.9	16.2	18.4	21.5	22.9	27.4	25.9	22.8	18.9	15.3	20.4733333	20.4733333
m	10.1	10.3	12.3	14.3	16.3	10.2	21.23	22.4	21.7	19.2	15.8	11.4	15.465833
(M+m)/2	12.4	12.6	14.2	16.3	18.9	16.5	23.725	24.9	23.8	21.0	17.4	13.3	17.9695
	35	5	75	75	55	7		3	8	4	2	7	

Tableau III.7. Valeurs mensuelles et moyennes annuelles des températures maxima (M) et minima (m) et (M+m)/2 à la station d'El Kseur, série 1990-2010.

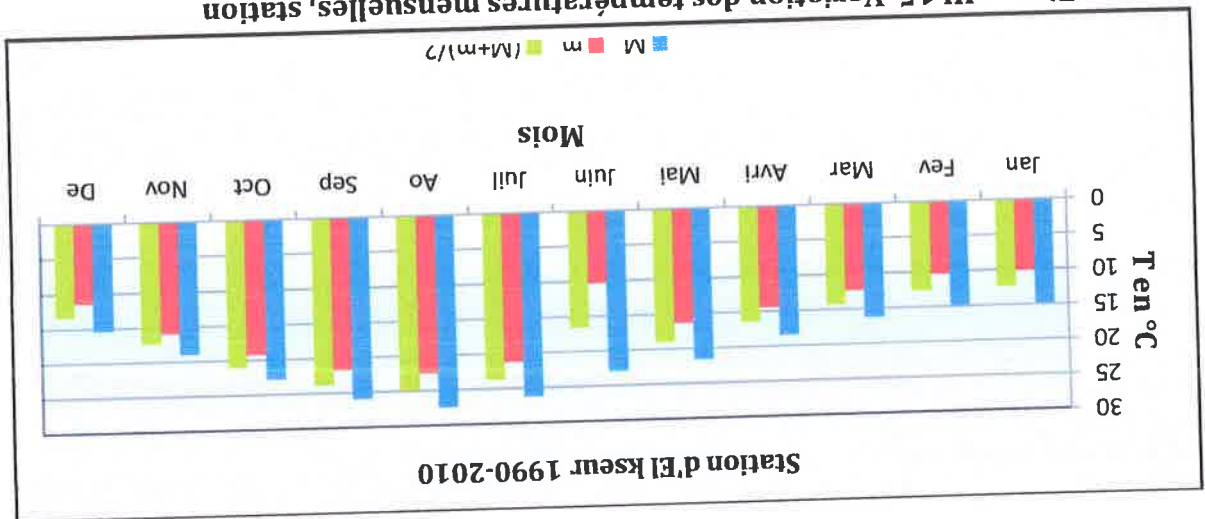


Figure III.15. Variation des températures mensuelles, station d'El Kseur entre 1990-2010.

Dans le graphique (figure III.13), le mois de janvier est le mois le plus froid pendant toutes les années de la série d'El Kseur, avec une valeur de température mensuelle de 10.1 °C, en revanche le mois le plus chaud est celui d'août, dont la valeur de température mensuelle mesurée au niveau de la station est de 27.43 °C.







Le diagramme Ombrothermique de la région d'El kseur montre que la période sec s'étale sur cinq mois de l'année (figure III.14), à partir du mois d'Avril jusqu'au mois d'AOût, et deux périodes humides la 1<sup>ère</sup> période s'étale sur une continuité de trois mois (janvier, février et mars), et la 2<sup>ème</sup> s'annonce sur quatre mois (septembre octobre, novembre et décembre).

d) Climatogramme d'Emberger :

- Le mois le plus chaud : Août ← M=27,43°C=300,58°K.
- Le mois le plus froid : janvier ← m=10,1°C=283,25°K.
- Précipitation moyenne annuelle : P=492,0661 mm.
- $(M+m)/2 = (300,58+283,25)/2 = 291,915°K$ .
- $(M-m) = 300,58-283,25 = 17,33°K$ .
- $Q_2 = (1000 * 492,0661) / ((291,915 * 17,33))$ .

$$Q_2 = 97,26$$

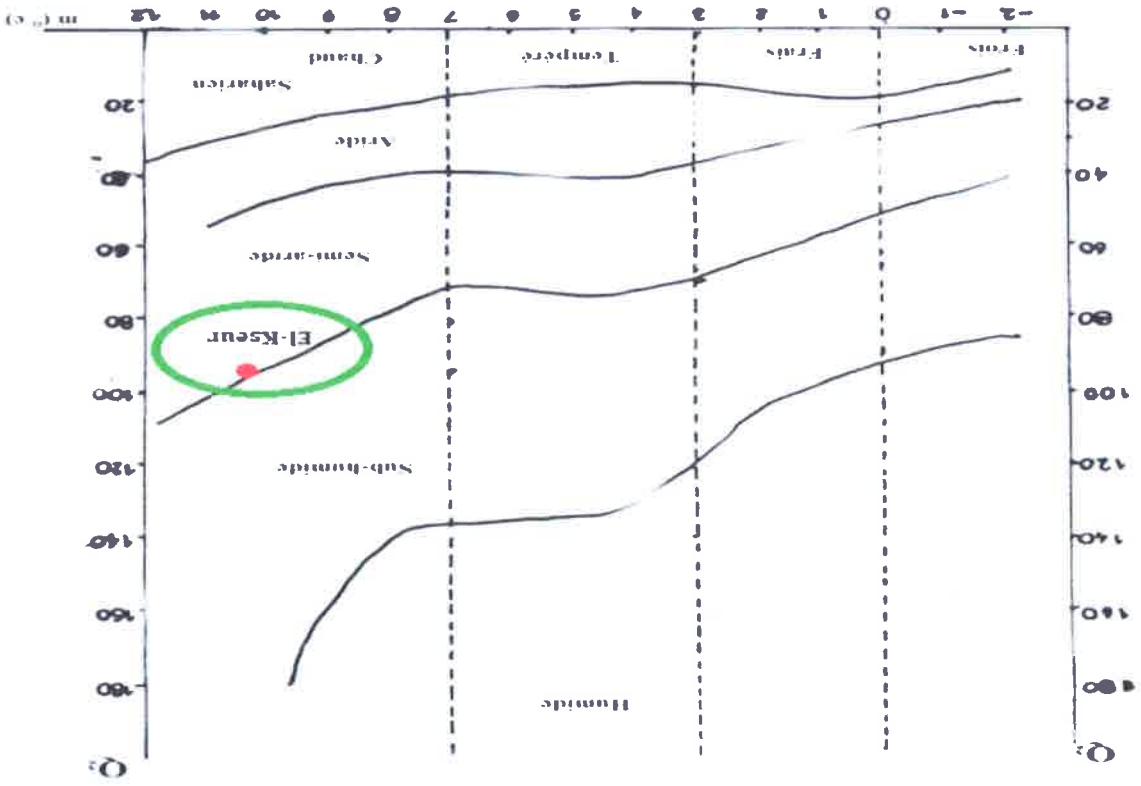


Figure III.17. Climatogramme d'Emberger (1957), station d'El Kseur, 1990-2010.

e) Le calcul de l'indice d'aridité de la station d'El-Kseur selon E. DE

Martonne, série 1990-2010 :

$$\text{Pour Le calculer, on utilise la formule } I = \frac{T+10}{P}$$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Station d'El kseur	
Précipitation totales annuelles (P) en mm	492,0661
Température moyenne annuelle (T) en°C	17,9695
Indice d'aridité	17,6

**Tableau III.9. Indice d'aridité de la station d'Alkou, selon E,DE Martonne, série 1990-2010.**

Le calcul de l'indice d'aridité de E. DE Martonne a abouti à un résultat différent de celui obtenu par le calcul du quotient d'Emberger, en outre la région d'El Kseur se classer dans un étage bioclimatique semi-aride chaud, ce qui nécessite une étude plus poussée et plus approfondie intégrant des paramètres plus complexe, dont la végétation, la pédologie et l'action anthropique.

f) Etude des corrélations précipitation-température :

XLSTAT 7.5.2 - Tests de corrélation - le 14/05/2013 à 19:43:06  
 Variable 1 : classeur = Série pluviométrique d'EL KSEUR-H. Achour and I. Yasmima-.xlsx / feuille = Feuil5 /  
 plage = \$B\$3:\$B\$23 / 21 lignes et 1 colonne  
 Variable 2 : classeur = Série pluviométrique d'EL KSEUR-H. Achour and I. Yasmima-.xlsx / feuille = Feuil5 /  
 plage = \$C\$3:\$C\$23 / 21 lignes et 1 colonne  
 Seuil de signification : 0,05

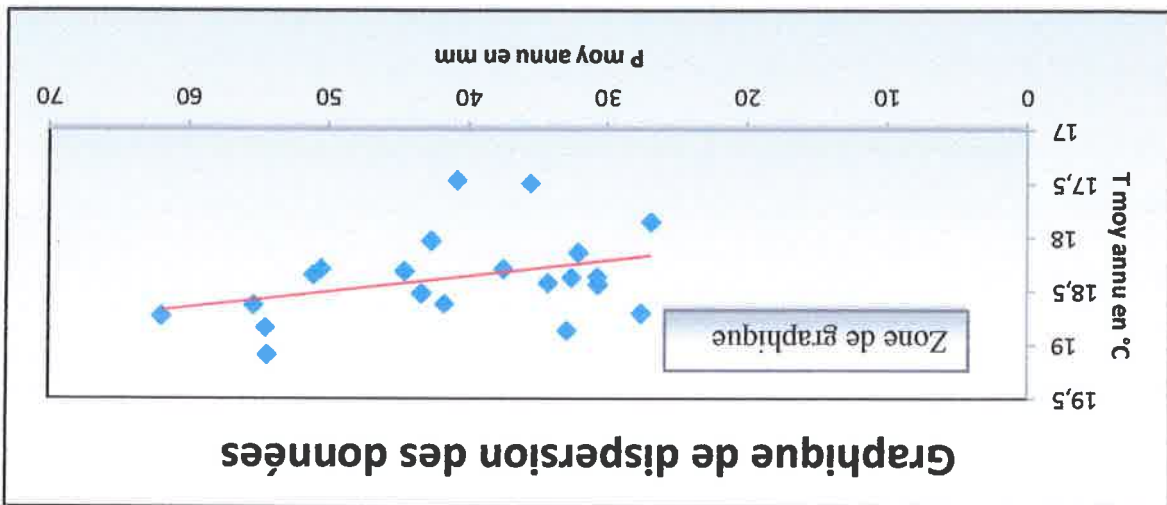


Figure III.18. Graphique de dispersion des données des températures et des précipitations, station d'El-Kseur, série 1990-2010.

Test de corrélation de Pearson (test paramétrique) :

Valeur observée	0,364
p-value bilatérale	0,105
Alpha	0,05

Conclusion :

Au seuil de signification  $\text{Alpha}=0,050$  on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation. Autrement dit, la corrélation n'est pas significative.

III.1.2. Étude hydrologique :

III.1.2.1. traitement statistique des données hydrologiques :

III.1.2.2. traitement des données de la série des débits de enregistrées à

'exutoire de Sidi-Ali Levhar (période 1990-2010) :

III.1.2.2.1. lecture et interprétation des graphiques :

a) Variation des débits minimums :

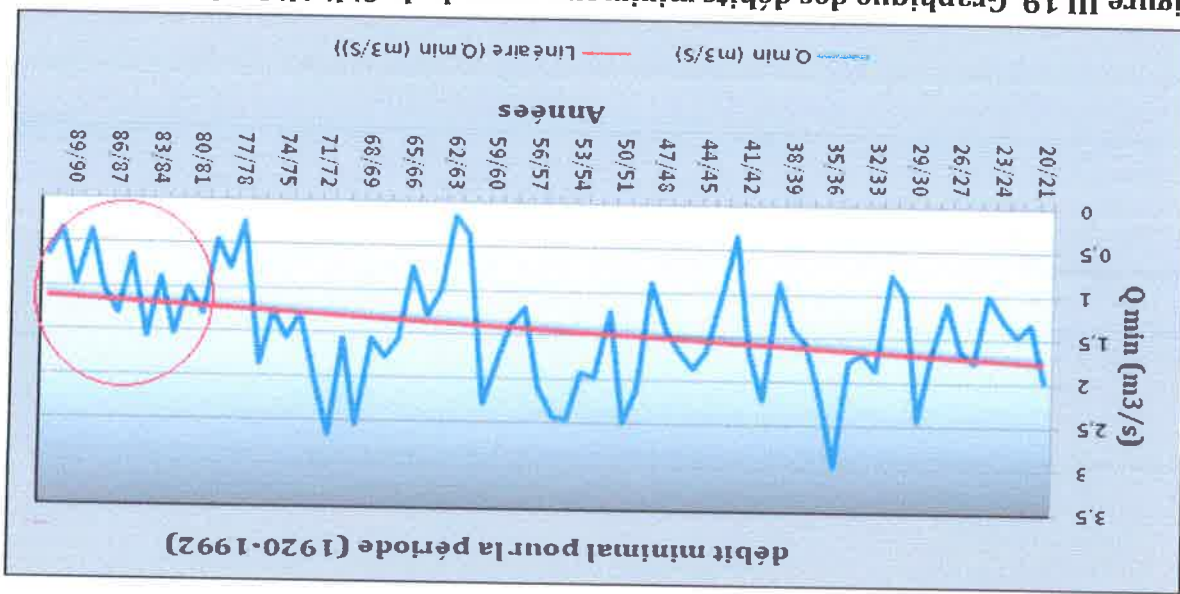


Figure III.19. Graphique des débits minimums annuels de Sidi Ali Levhar

(Exutoire), période (1920-1992).

Le graphique (figure III.15), ci-dessus nous a permis de constater que le débit minimal le plus faible enregistré durant la période 1920-1992, est celui de l'année 1963 en revanche celui le plus élevé a été marqué par l'année 1936 (figure III.15). Les autres années de la même période, montrent une grande différence entre les débits minimums enregistrés. Le cercle rouge inséré à droite du graphique accentue les années présentant une diminution des débits minimums avec une dégradation très significative notée à partir de 1980. La courbe de tendance linéaire accompagnant le graphique des débits minimums confirme la tendance à la diminution pour les débits en question.

On comparant nos résultats avec ceux obtenus par d'autres travaux, nous relevons des similitudes très significatives (travaux de M. AKDIM, A).

b) Variation des débits maximums :

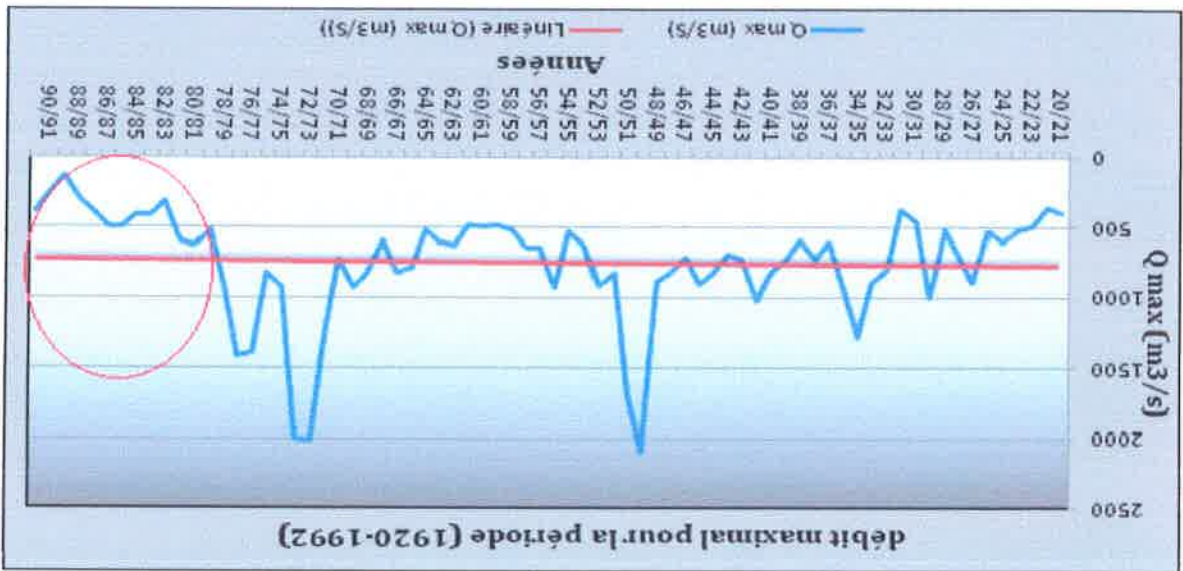


Figure III.20. Graphique des débits maximums annuels de Sidi Ali Levhar (Exutoire), Période (1920-1992).

Le graphique (figure III.16) , des débits maximums annuels de sidi Ali Levhar fait apparaître nettement la différence des débits maximums qui ont été enregistrés pendant les années de la période 1920-1992, le débit le plus élevé à été noté pendant l'année 1950 avec une valeur de 2100.34 (m<sup>3</sup>/s), par contre l'année 1990 à été marquée par un débit maximal faible avec une valeur 134 (m<sup>3</sup>/s). Les autres années de la série présentent des débits maximums différents mais avec des valeurs à différence insignifiantes. Les années comprises dans le cercle rouge sur le graphique (figure III.16), présentent une diminution des débits maximums à partir de l'année 1980, avec une dégradation significative. On peut noter aussi que la série des débits maximums présente une évolution décroissante.

Les résultats obtenus dans ce cas sont comparés avec d'autres travaux, en effet nous relevons des similitudes très significatives (travaux de M. AKDIM, A).

c) variation des débits moyens :

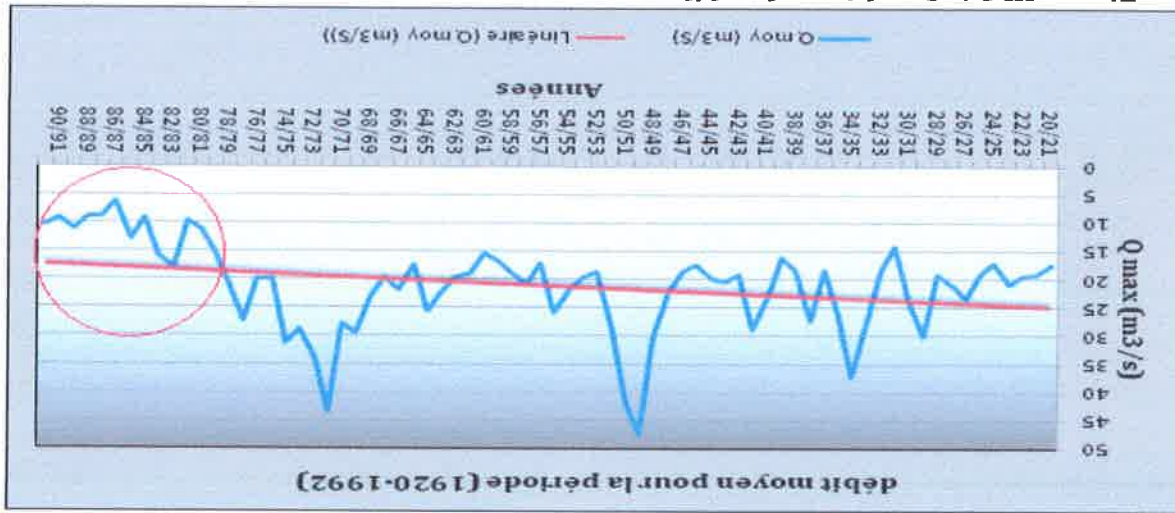


Figure III.2.1. Graphique des débits moyens annuels de Sidi Ali Levhar

(exutoire), Période (1920-1992).

Sur le graphique (figure III.17), l'année 1950 a été marquée par le débit moyen le plus élevé avec une valeur de 47,43 (m<sup>3</sup>/s), par contre le débit moyen le plus faible a été enregistré durant l'année 1987 avec une valeur de 6,35 (m<sup>3</sup>/s). Les autres années de la série présentent des débits différents. Les années entourées par un cercle rouge présentent l'affaiblissement des débits à partir de 1980. La droite de tendance linéaire insérée sur le graphique des débits moyen annuels confirme la tendance à décroissante des débits en question.

Les résultats obtenus dans ce dernier ont été comparés avec des travaux déferents, en revanche nous relevons des similitudes très significatives (travaux de M. AKDIM.

A).



d) variation des apports de débits annuels :

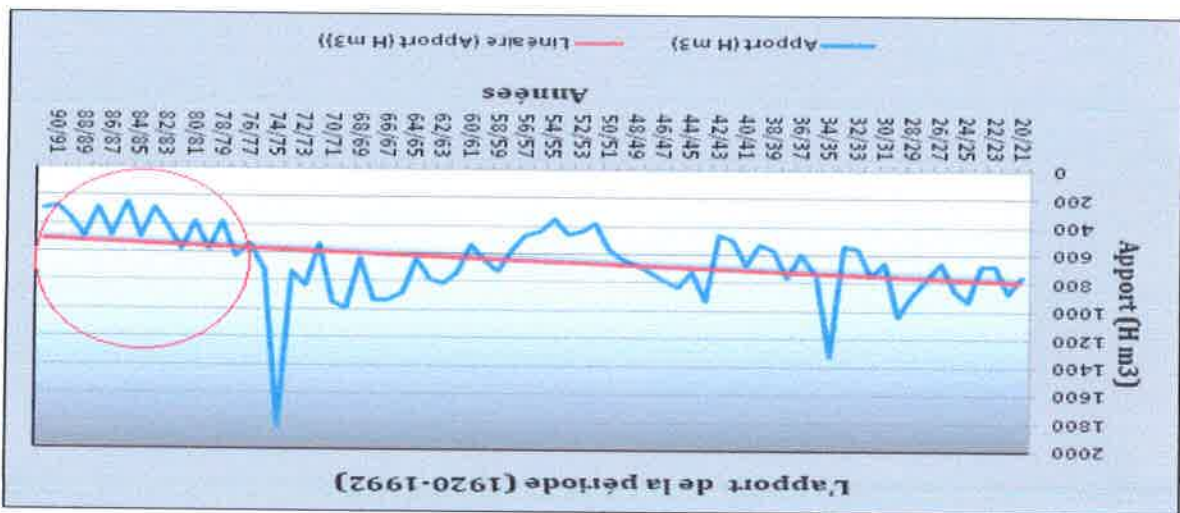


Figure III.22. Graphique des apports de débits annuels de Sidi Ali Levhar, (Exutoire), Période (1920-1992).

Le graphique (figure III.18), nous a permis de dégager l'apport en volume d'eau le plus important durant l'année 1975 dont la valeur est de 1834.99 (H m<sup>3</sup>/s). En outre l'apport le plus faible a été enregistré pour l'année 1986 avec une valeur de 243.09 (H m<sup>3</sup>/s). Les apports annuels des autres années de la série d'enregistrement de Sidi Ali Levhar pour la période 1920-1992 est marquée par des apports des débits haut et bas. Il est à signaler la diminution des apports des débits à partir de l'année 1980 (cercle rouge). La droite de tendances linéaires insérée sur le graphique des apports des débits annuels indique une diminution des valeurs.

On comparant nos résultats avec ceux obtenus par d'autres travaux, nous relevons des similitudes très significatives (travaux de M. AKDIM, A).

e) Variation des différents types de débits et apport :

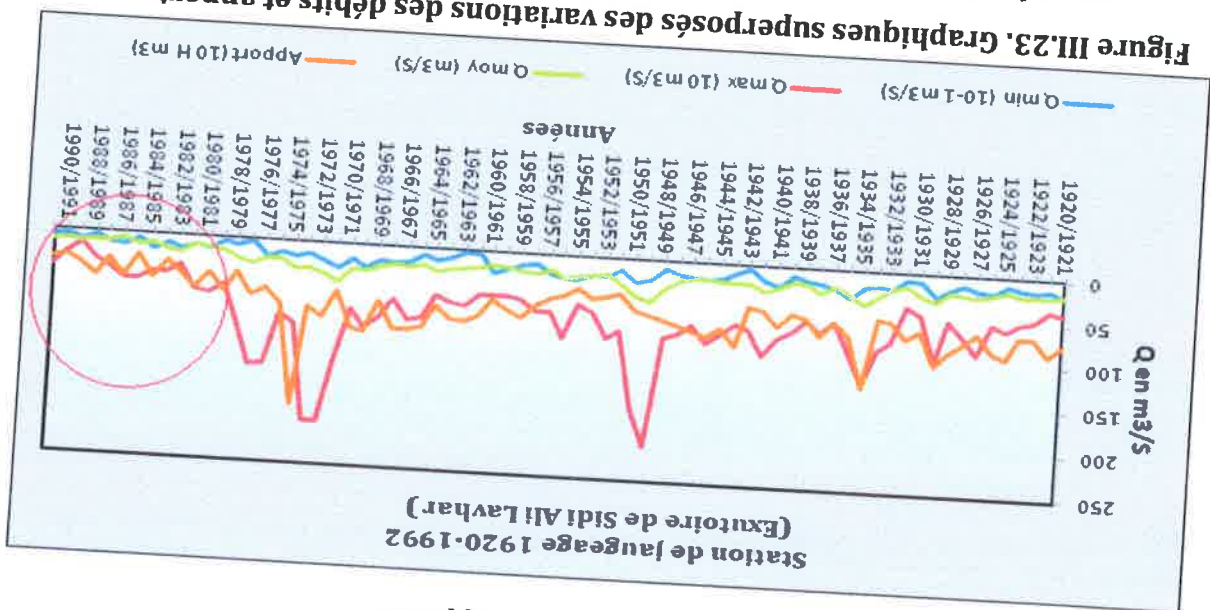


Figure III.23. Graphiques superposés des variations des débits et apports annuels à l'exutoire de sidi Ali Lavhar, compagnie 1920-1992.

La représentation graphique ci-dessus (figure III.19), superpose les différents graphiques présentes dans cette partie (débit max, débit min, débit moyen et apport en volume d'eau) d'où la possibilité de comparer l'évolution de ces paramètres en même lieu et en même période, ainsi une correspondance dans le comportement est très remarquable, les pics hauts et les pics bas des différents graphiques représentent une convergence très significative, les valeurs annoncent des croissances de tout les paramètres durant les même années et des décroissances de tout les paramètres aussi durant les même années. La chute des débits à partir de l'année 1980 est une remarque commune pour les quatre types de graphiques (différents débits et apports), la décroissance significative reste la même pour les différents types de débits et apports pendant les années de la période 1980-1992.

Les résultats obtenus dans ce dernier ont été comparés avec des travaux déferents, en revanche nous relevons des similitudes très significatives (travaux de M. AKDIM.

A).

f) Etude des corrélations débit min-débit max :

XLSTAT 7.5.2 - Tests de corrélation - le 19/05/2013 à 00:59:22

Variable 1 : classeur = débit sidi Ali Levhar (exutoire) -

travail de H. Achour and I. Yasmına.xlsx / feuille / = Feuil1 /

plage = \$C\$4:\$C\$75 / 72 lignes et 1 colonne

Variable 2 : classeur = débit sidi Ali Levhar (exutoire) -

travail de H. Achour and I. Yasmına.xlsx / feuille / = Feuil1 /

plage = \$D\$4:\$D\$75 / 72 lignes et 1 colonne

Seuil des signification : 0,05\*

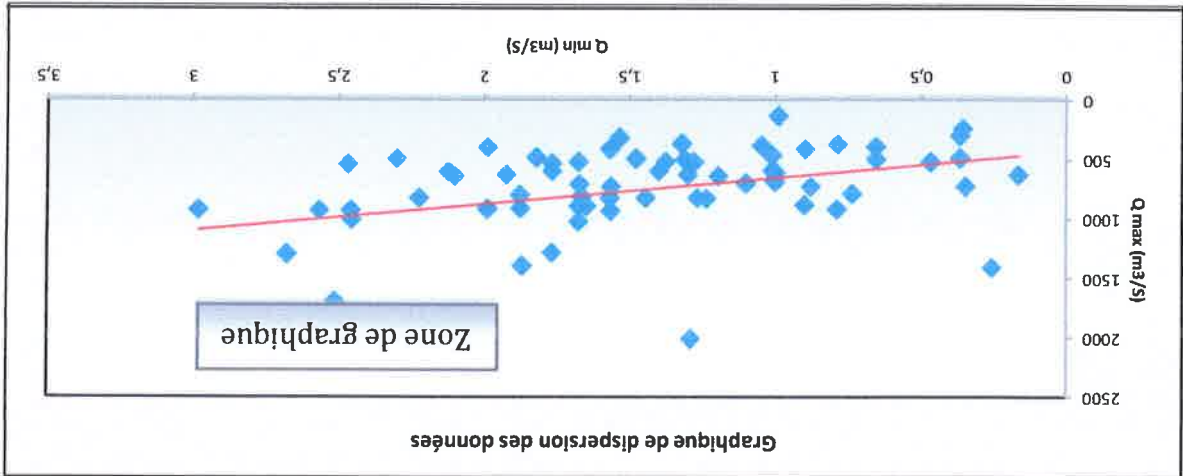


Figure III.24. Graphique de dispersion de données des débits min et des débits max, station Sidi Ali Levhar, série 1920-1992.

Test de corrélation de Pearson (test paramétrique) :

Valeur observée	0,362
p-valeur bilatérale	0,002
Alpha	0,05

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha=0,050 on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation.

Autrement dit, la corrélation est significative.

III.1.3. Estimations du bilan hydrologique de la station de Bouira (15 02

04) :

III.1.3.1.1. étude de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

a) Formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 * (10T/I)^a \quad \text{et} \quad ETP_c = ETP * K$$

$$O_n \hat{=} I = \sum_{12}^i T$$

$$O_u : I = (T/5)^{1.514} \quad \text{donc} \quad I = 88.235$$

$$E_t : a = 0.016 * I + 0.5 = 1.91$$

Tableau III.10. Evapotranspirations potentielles corrigées et non corrigées par la méthode de Thornthwaite, station de Bouira série 1990-2010.

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	total
P (mm)	35.2	44.68	60.57	70.07	57.11	49.97	27.48	21.5	21.35	8.860	6.82	1.22	405.998
T (°C)	79	3	8	09	5	7	2	42	7	9	8	1.22	405.998
	23.0	20.66	16.32	12.71	11.77	11.93	14.33	15.7	19.59	22.07	25.7	26.1	-
I	9.96	8.454	5.933	4.078	3.634	3.708	4.88	5.60	7.806	9.334	11.7	12	87.133
ETP (mm)	100.	82.12	52.51	32.70	28.27	29.01	41.05	48.8	74.25	93.05	124.	127.	834.994
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETPc (mm)	104.	79.65	45.16	27.47	24.60	24.65	42.28	53.7	89.84	113.5	154.	148.	907.376

b) Formule de Serra :

$$ETP = 16 * (10T/I)^a \quad \text{et} \quad ETP_c = ETP * K$$

$$O_n \hat{=} I = \sum_{12}^i T \quad \text{Ou} : I = 0.09T^{3/2} \quad \text{donc} \quad I = 87.133$$

$$E_t : a = 1.6 * I / 100 + 0.5 = 1.894$$

Tableau III.11. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et

annuelle selon Serra, station de Bouira série 1990-2010.

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	total
P (mm)	35.2	44.68	60.57	70.0	57.11	49.97	27.48	21.5	21.35	8.86	6.828	1.22	405.998
T (°C)	79	3	8	709	5	7	2	42	7	09	8	1.22	405.998
	23.0	20.66	16.32	12.7	11.77	11.93	14.33	15.7	19.59	22.0	25.72	26.1	18.33
I	10.1	8.57	5.99	4.10	3.655	3.73	4.92	5.65	7.90	9.47	11.94	12.2	88.23
ETP (mm)	100.	81.29	51.79	32.1	27.74	28.46	40.40	48.1	73.44	92.2	123.5	126.	826.2
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETPc (mm)	103.	78.85	44.53	26.9	24.13	24.19	41.61	52.9	88.86	112.	153.1	147.	898.2



Discussion :

D'après les tableaux (III.10) et (III.11) on a :

Évapotranspiration potentielle (ETP) calculée selon la formule de Serra donne une valeur de 907.376mm, et l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite donne le résultat de 898.205mm, avec un écart de l'ordre de 9.165mm, donc ces deux formules donne des valeurs proches les unes des autres de l'ETP.

### III.1.3.1.2. étude de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

a) Formule de Turc :

$$ETR = \frac{\sqrt{0.9 + \frac{L}{Z}} \cdot P}{P}$$

Ou :  $L = 300 + 25T + 0.05T^3 = 1066.18$

Donc :  $ETR = 397.15\text{mm} = 97.84\%$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

paramètres	P (mm)	T (°C)	ETR (mm)	ETR/précipitation %
	405.998	18.33	397.15	97.84

Tableau III.12. Évapotranspiration réelle selon Turc,

station de Bouira série 1990-2010.

b) Formule de Couagne :

$$ETR = De = P - AP^2 \quad \text{si} \quad \frac{8y}{1} > P > \frac{2y}{1}$$

$$ETR = De = P \quad \text{si} \quad P < \frac{8y}{1}$$

$$\text{Ou : } y = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-après :

paramètres	P (mm)	T (°C)	y	1/8y	1/2y	ETR (mm)	ETR (%)
	0.40599	18.33	0.29	0.42	1.724	358.19	88.22

Tableau III.13. Évapotranspiration réelle selon Couagne,

station de Bouira série 1990-2010.

Discussion :

Les valeurs de l'ETR calculées par la formule de Turc et de Couagne sont proches, on a la formule de Turc donnant le résultat de 397.15mm (tableau III.12), et celle de Couagne permet d'obtenir la valeur de 358.19mm (tableau III.13), l'écart est de l'ordre de 38.96mm.

## Chapitre III

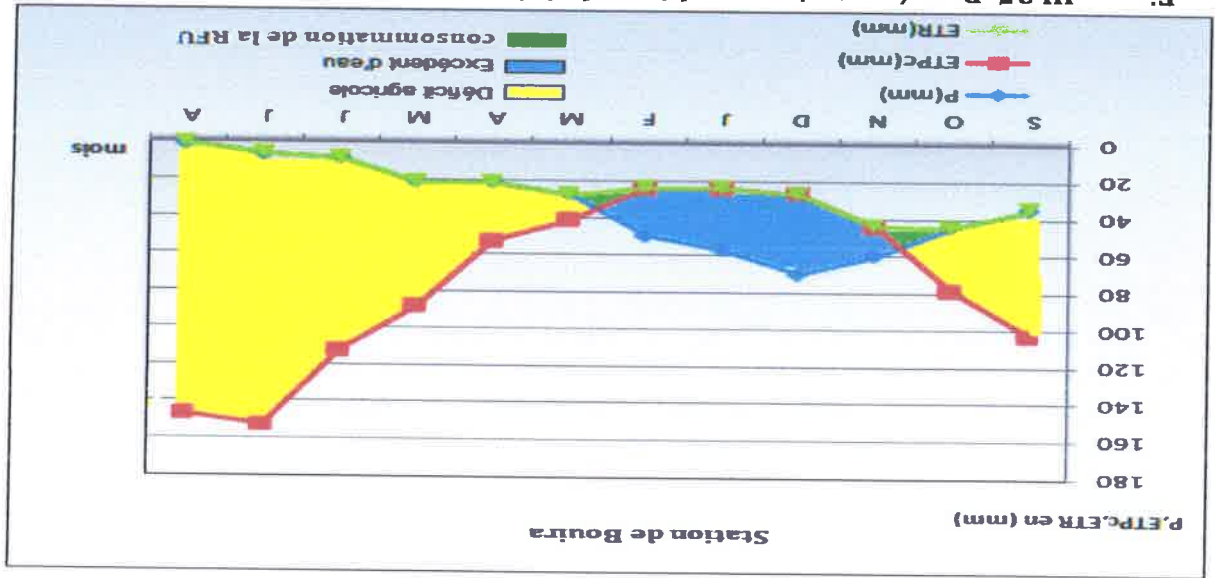
### Résultats et discussions

Par contre l'ETR calculée par la formule de Thornthwaite est nettement inférieur à celles indiquées ci-dessus, avec une valeur de 287,078mm (tableau III.14) et un écart de l'ordre de 110,172mm par rapport à la formule de Turc, et de 71,112mm par rapport à celle de Couagne.

c) Méthode du bilan hydrologique de Thornthwaite :

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P (mm)	35,279	44,683	60,578	70,070	57,115	49,977	27,482	21,542	21,357	8,8609	6,828	1,22	405,99
T (°C)	23,05	20,665	16,12	11,7	11,9	14,33	15,71	19,595	22,075	25,725	26,1	-	-
ETP (mm)	103,15	78,85	44,26	24,1	24,1	41,61	52,965	88,86	112,49	153,16	147,29	898,20	5
p-ETP (mm)	-67,87	-34,17	16,048	43,09	32,985	25,787	-14,12	-31,42	-67,50	-146,3	-146,1	-	-
ETR (mm)	35,279	44,68	26,53	24,1	27,482	21,542	21,357	8,86	6,828	1,22	287,07	8	
RFU (mm)	0	0	16,048	59,138	92,123	100	85,872	54,45	0	0	0	-	-
WS (mm)	0	0	0	0	17,9	0	0	0	0	0	0	0	0
DA	67,87	34,17	0	0	0	0	0	67,503	103,63	146,33	146,07	-	-

Tableau III.14. Bilan hydrologique selon Thornthwaite, station de Bouira série 1990-2010.





III.1.3.1.3. Ruissellement et infiltration :

a) Ruissellement :

$$R = \frac{3(ETP_c)^2}{p^3}$$

On a :  $P = 405,998 \text{ mm}$  et  $ETP_c = 898,205 \text{ mm}$ .

$$R = 27,65 \text{ mm} = 6,81\%$$

b) Infiltration :

Par l'application directe de la formule du bilan hydrologique :

$$\text{On a : } P = ETR + R + I \text{ et } I = P - (ETR + R).$$

$$I = 91,27 \text{ mm} = 22,48\%$$

Interprétation du bilan hydrologique:

L'observation des données résumées dans le tableau (III.14) et les résultats donnés

par la courbe de bilan hydrique (figure III.23), on déduit ce qui suit :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (70.0709mm) pendant la période humide (mi-octobre jusqu'à la mi-mars), durant laquelle l'évapotranspiration atteint son minimum au mois de janvier (24.13mm), cette dernière atteint son maximum au mois de juillet (153.16mm) au cours de la période sèche de la mi-mars jusqu'au mois d'octobre, dont cette période correspond à la période sèche observée sur le diagramme ombrothermique (plus le climat est sec plus l'ETPc est importante). Pendant cette période, il y a consommation de la RFU jusqu'à l'épuisement et l'apparition de déficit agricole (mi-mars jusqu'au mois d'octobre).

- L'excédent d'eau est enregistrées du mois de novembre jusqu'à la mi-mars, pendant cette période les précipitations couvrent les besoins de l'ETPc et permettent la recharge de la RFU, dont le rapport de ruissellement au niveau de la station de Bouira est de l'ordre de 6.81%, ainsi que l'infiltration qui est de l'ordre de 22.48%.

## Résultats et discussions

### Chapitre III

#### III.1.3.2. Estimations du bilan hydrologique de la station d'Akbou (15 05 03) :

##### III.1.3.2.1. étude de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

a) Formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 \cdot (10T/I)^a \quad \text{et} \quad ETP_c = ETP \cdot K$$

$$O_n a : I = \sum_{i=1}^n I_i$$

$$O_u : I = (T/5)^{1.514} \quad \text{donc} \quad I = 86.97$$

$$E_t : a = 0.016 \cdot I + 0.5 = 1.89$$

Tableau III.15. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Thornthwaite, station d'Akbou série 1990-2010.

mois	P	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
(mm)	36.0	34.82	42.6	68.97	51.42	40.33	33.74	25.47	18.31	8.83	3.741	2.82	369.378	378
T (°C)	23.7	20.34	16.3	12.73	11.50	12.66	14.37	15.56	19.06	21.4	25.00	25.3	378	378
I	10.5	8.37	6.02	4.115	3.53	4.08	4.94	5.58	7.586	9.03	11.43	11.6	86.9	86.9
ETP (mm)	106.	79.74	52.9	32.87	27.15	32.53	41.33	48.06	70.52	87.7	117.7	121.	818.	818.
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	645	645
ETPc (mm)	110.	77.34	45.5	27.61	23.62	27.65	42.56	52.87	85.33	107.	146.0	140.	886.	886.

b) Formule de Serra :

$$ETP = 16 \cdot (10T/I)^a \quad \text{et} \quad ETP_c = ETP \cdot K$$

$$O_n a : I = \sum_{i=1}^n I_i$$

$$O_u : I = 0.09T^{3/2} \quad \text{donc} \quad I = 85.872$$

$$E_t : a = 1.6 \cdot I / 100 + 0.5 = 1.873$$

Tableau III.16. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle selon Serra, station d'Akbou série 1990-2010.

mois	P	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
(mm)	36.	34.82	42.61	68.97	51.42	40.3	33.74	25.47	18.3	8.83	3.741	2.82	369.378	369.378
T (°C)	23.	20.34	16.37	12.73	11.50	12.6	14.37	15.56	19.0	21.4	25.00	25.3	369.378	369.378
I	10.	8.259	5.96	4.087	3.51	4.05	4.90	5.526	7.49	8.909	11.25	11.5	85.872	85.872
ETP (mm)	107	80.49	53.60	33.44	27.67	33.1	41.96	48.74	71.2	88.48	118.4	121.	826.619	826.619
K	1.0	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-	-
ETPc (mm)	110	78.07	46.09	28.08	24.07	28.1	43.22	53.61	86.2	107.9	146.8	141.	894.469	894.469

Discussion :

Nous remarquons que l'ETP calculée selon Serra est proche de celle calculée par la méthode de Thornthwaite. La valeur de l'ETP donnée par la formule de Serra est de 894,469mm, et l'ETP selon la formule de Thornthwaite est de 886,158mm, avec un écart de l'ordre de 8,31mm (tableau (III.15) et (III.16)).

III.1.3.2.2. étude de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

a) Formule de Turc :

$$ETR = \frac{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L}}}{P}$$

Ou :  $L = 300 + 25T + 0.05T^3 = 1054.935$

Donc :  $ETR = 365.287mm = 98.89\%$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

paramètres	P (mm)	T (°C)	ETR (mm)	ETR/précipitation %
	369.3786	18.18	365.287	98.89

Tableau III.17. Evapotranspiration réelle selon Turc, station d'Akbou

série 1990-2010.

b) Formule de Couagne :

$ETR = De = P - Ap^2$  si  $\frac{8y}{1} > P > \frac{2y}{1}$

$ETR = De = P$  si  $P < \frac{8y}{1}$

Ou :  $y = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-après :

paramètres	P (mm)	T (°C)	y	1/8y	1/2y	ETR (mm)	ETR (%)
	0.36937	18.18	0.298	0.41	1.67	369.3786	100

Tableau III.18. Evapotranspiration réelle selon Couagne, station d'Akbou

série 1990-2010.

Discussion :

A partir des tableaux (III.17), (III.18) et (III.19), on distingue que l'ETR calculée par la formule de Turc et couagne sont proche avec des valeurs données successivement 365.287mm, 369.3786mm, et un écart de l'ordre de 4.0916mm.

## Chapitre III

### Résultats et discussions

Par contre l'ETR calculée par la formule de Thornthwaite est inférieur à celles indiquées par la formule de Turc et Couagne, avec une valeur de 285,294mm.

c) Méthode du bilan de Thornthwaite :

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P (mm)	36,0	34,8	42,614	68,9	51,4	40,3	33,748	25,474	18,319	8,83	3,74	2,828	369,378
T (°C)	23,7	20,3	16,375	12,7	11,1	12,1	14,37	15,565	19,065	21,4	25,0	25,38	-
ETP (mm)	110,	77,3	45,5	27,6	23,6	27,6	42,569	52,875	85,337	107,0	146,0	140,48	886,158
P-ETP (mm)	-74,	-	-2,886	41,3	27,1	12,5	-8,821	-27,401	-67,018	-98,2	-	137,65	-
ETR (mm)	36,0	34,8	42,614	27,6	23,6	27,6	33,748	25,474	18,319	8,83	3,74	2,828	285,294
RFU (mm)	0	0	0	41,3	69,8	81,6	73,039	45,638	0	0	0	0	-
WS (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
DA (mm)	74,0	42,5	2,886	0	0	0	0	0	67,018	98,21	142,269	137,65	-

Tableau III.19. Bilan hydrologique selon Thornthwaite, station d'Akbou

série 1990-2010.

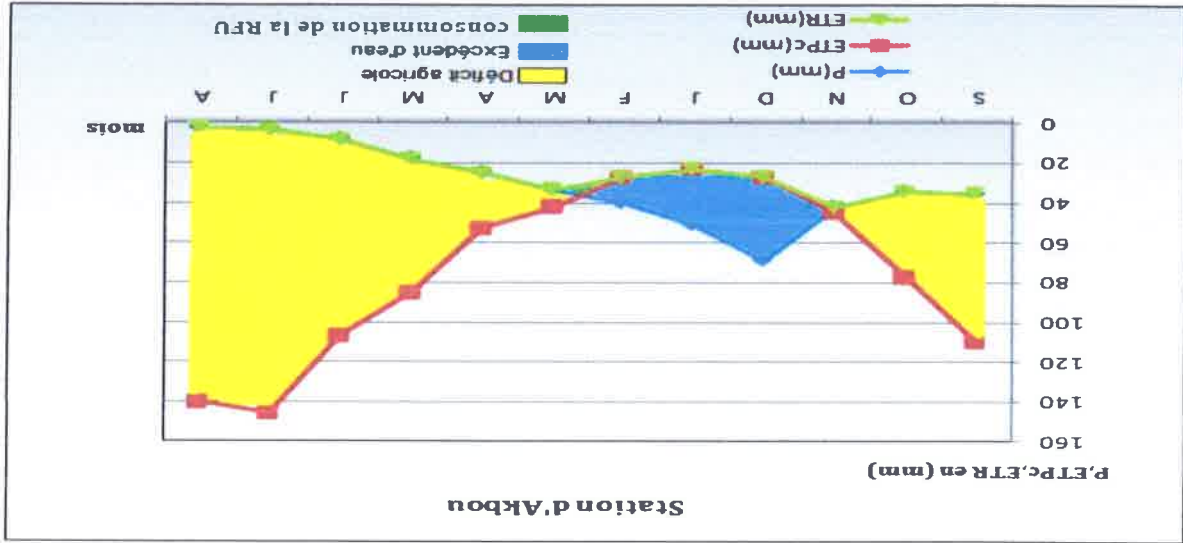


Figure III.26. Représentation graphique du bilan hydrique obtenu selon la méthode de Thornthwaite, station d'Akbou, Série 1990-2010.

III.1.3.2.3. Ruissellement et infiltration :

a) Ruissellement :  $R = \frac{3(ETP_c)^2}{P^3}$

On a :  $P = 369,378 \text{ mm}$  et  $ETP_c = 886,158 \text{ mm}$ .

$$R = 21,39 \text{ mm}$$

b) Infiltration :

Par l'application directe du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \text{ et } I = P - (ETR + R).$$

$$I = 62,694 \text{ mm} = 16,97\%$$

**Interprétation du bilan hydrologique de la station d'Akbou (1990-2010) :**

L'examen du tableau (III.19) et les résultats donnés par le graphique du bilan hydrique (figure III.24), permet d'en déduire deux saisons :

- L'une pendant laquelle, les précipitations sont supérieures à l'ETPc, elle s'étend de la mi-novembre jusqu'à la mi-mars (excédent d'eau), durant cette période les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (68,976mm), et l'évapotranspiration potentielle (ETPc) atteint son minimum au mois de janvier (23,62mm), au cours de cette période les précipitations couvrent les besoins de l'ETPc et permet la recharge de la RFU, dont le rapport de ruissellement au niveau de la station d'Akbou est de 5,79%, ainsi que l'infiltration est de l'ordre de 16,97%.
- La seconde, pendant laquelle l'ETPc est supérieure aux précipitations, elle s'étend de la mi-mars jusqu'à la mi-novembre correspond à la période sèche observée sur le diagramme ombrothermique, durant laquelle l'ETPc atteint leur maximum au mois de juillet (146,01mm), au cours de cette période, il y a consommation de la RFU et l'apparition du déficit agricole (mai jusqu'au mois de novembre).



III.1.3.3. Estimations du bilan hydrologique de la station d'EL Kseur (15 10 04) :

III.1.3.3.1. étude de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

a) Formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 * (10T/I)^a \quad \text{et} \quad ETP_c = ETP * K$$

$$O_n \text{ à } : I = \sum_{12}^1 t$$

$$O_u : I = (T/5)^{1.514} \quad \text{donc} \quad I = 85.097$$

$$E_t : a = 0.016 * I + 0.5 = 1.86$$

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	année
P (mm)	45.1	43.8	46.39	77.83	91.98	80.06	43.77	27.73	20.75	9.04	3.92	1.54	492.06
T (°C)	23.8	21.0	17.42	13.37	12.43	12.65	14.27	16.37	18.95	16.5	23.7	24.9	-
I	10.6	8.80	6.62	4.435	3.97	4.076	4.895	6.026	7.52	6.13	10.5	11.3	85.097
ETP (mm)	109.	86.1	60.68	37.10	32.39	24.33	41.87	54.05	70.96	55.2	107.	118.	797.76
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETPc (mm)	112.	83.5	52.18	31.16	28.18	20.68	43.13	59.46	85.86	67.4	133.	137.	854.56
ETPc (mm)	32	3	4	6	7	4	7	7	1	59	037	5	

Tableau III.20. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et

annuelle selon Thornthwaite, station d'EL Kseur série 1990-2010.

b) Formule de Serra :

$$ETP = 16 * (10T/I)^a \quad \text{et} \quad ETP_c = ETP * K$$

$$O_n \text{ à } : I = \sum_{12}^1 t$$

$$O_u : I = 0.09T^{3/2} \quad \text{donc} \quad I = 84.012$$

$$E_t : a = 1.6 * I / 100 + 0.5 = 1.84$$

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	année
P (mm)	45.1	43.8	46.3	77.8	91.9	80.06	43.77	27.73	20.75	9.04	3.929	1.549	492.0
T (°C)	23.8	21.0	17.4	13.3	12.4	12.65	14.27	16.37	18.95	16.5	23.72	24.93	-
I	10.5	8.68	6.54	4.4	3.94	4.049	4.85	5.95	7.427	6.07	10.4	11.2	84.01
ETP (mm)	109.	86.6	61.2	37.6	32.9	33.97	42.43	54.47	71.5	55.8	108.0	118.3	812.4
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	-
ETPc (mm)	112.	84.0	52.6	31.6	28.6	28.88	43.71	59.92	86.52	68.1	134.0	137.3	868.0
ETPc (mm)	65	4	7	2	4	4	7	7	1	08	27	95	

Tableau III.21. Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et

annuelle selon Serra, station d'EL Kseur série 1990-2010.



Discussion :

À partir des deux tableaux ci-dessus (III.20) et (III.21), on distingue que la valeur de l'ETP calculée par la formule de Serra (868,095mm) est proche de celle calculée par Thornthwaite (854,565mm) avec un écart de l'ordre de 13,53mm.

III.1.3.3.2. étude de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

a) Formule de Turc :

$$ETR = \frac{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}{P}$$

Ou :  $L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 1039,3577$

Donc :  $ETR = 365,287mm = 94,33\%$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

paramètres	P (mm)	T (°C)	ETR (mm)	ETR/précipitation %
	492,0661	17,969	464,21	94,33

Tableau III.22. Evapotranspiration réelle selon Turc, station d'El Kseur

série 1990-2010.

b) Formule de Coutagne :

$ETR = De = P - Ap^2$  si  $\frac{1}{8y} < P < \frac{1}{2y}$

$ETR = De = P$  si  $P < \frac{1}{8y}$

Ou :  $y = \frac{1}{(0,8 + 0,14T)}$

Les calculs sont présentés dans le tableau ci-après :

paramètres	P (m)	T (°C)	y	1/8y	1/2y	ETR (mm)	ETR (%)
	0,49206	17,969	0,3	0,41	1,66	319,44	85,23

Tableau III.23. Evapotranspiration réelle selon Coutagne, station d'Akbou,

série 1990-2010.

Discussion :

Nous remarquons à partir des tableaux (III.22), (III.23) et (III.24) que la valeur de l'ETR calculée par la formule de Thornthwaite (321,557mm) est inférieur à celles calculées par la formule de Turc et Coutagne.

ETR calculée par la méthode de Turc et Coutagne sont plus proche, avec des valeurs données successivement 464,21mm, 419,44mm, et un écart de l'ordre de 44,77mm.

c) Méthode du bilan de Thornthwaite :

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	année
P (mm)	45.13	43.8	46.3	77.8	91.9	80.06	43.77	27.7	20.75	9.04	3.929	1.549	492.06
T (°C)	23.88	21.0	17.4	13.3	12.4	12.65	14.27	16.3	18.955	16.5	23.725	24.93	-
ETP (mm)	112.32	83.5	52.1	31.1	28.1	20.68	43.13	59.4	85.867	67.4	133.59	137.03	854.56
P-ETP (mm)	-67.19	-39.	-	46.6	63.7	59.38	0.636	-31.	-65.	-58.	-129.66	-	-
ETR (mm)	43.8	46.3	46.3	31.1	28.1	20.68	43.13	27.7	20.75	9.04	3.929	1.549	321.55
ETR (mm)	45.13	43.8	46.3	64	86	7	4	38	78	100	100	100	100
RFU (mm)	0	0	0	46.6	100	100	100	68.2	3.161	0	0	0	0
WS (mm)	0	0	0	0	10.4	59.38	0.636	0	0	0	0	0	0
DA	67.19	39.6	5.79	0	0	0	0	0	61.956	58.3	129.66	135.48	-

Tableau III.24. Bilan hydrologique selon Thornthwaite, station d'El Kseur

série 1990-2010.

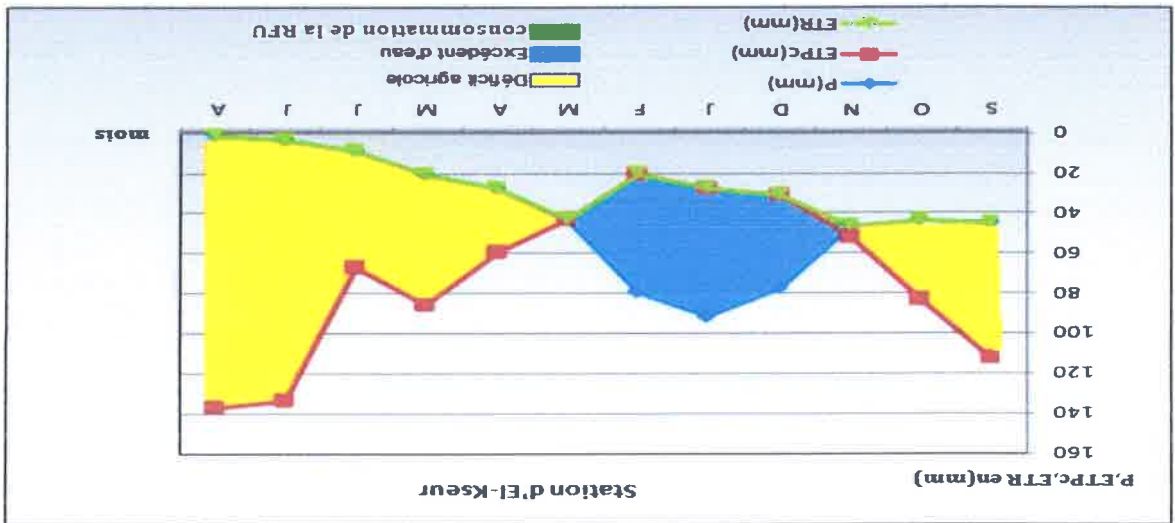


Figure III.27. Représentation graphique du bilan hydrique obtenu selon la méthode de Thornthwaite, station d'El-Kseur, Série 1990-2010.

III.1.3.3. Ruissellement et infiltration :

a) Ruissellement :

$$R = \frac{3(ETP_c)^2}{P^3}$$

On a :  $P = 492.0661 \text{ mm}$  et  $ETP_c = 854.565 \text{ mm}$ .

$$R = 54.38 \text{ mm} = 11.05\%$$

b) Infiltration :

Par l'application directe de la formule du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \quad \text{et} \quad I = P - (ETR + R).$$

$$I = 116.1291 \text{ mm} = 23.6\%$$

**Interprétation du bilan hydrologique de la station d'El-Kseur (1990-2010):**

D'après le bilan hydrologique de Thornthwaite de la station d'El-Kseur (tableau III.24) et les résultats donnés par le graphique figure (III.25), on peut tirer les remarques suivantes :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de janvier (91.98mm) pendant la période humide (mi-novembre - mi-mars), durant cette période l'évapotranspiration potentielle (ETPc) atteint son minimum au mois de février (20.687mm), ce qui permet la recharge de la RFU et de couvrir les besoins de l'ETPc, dont le pourcentage du ruissellement au niveau de la station d'El-Kseur est de l'ordre de 11.05%, ainsi que l'infiltration qui est de l'ordre de 23.6%.
- L'ETPc atteint son maximum au mois d'Aout (137.037mm), période durant laquelle les précipitations atteignent leur minimum (1.549mm), cette période correspond à la période sèche sur le diagramme ombrothermique (mi-avril - mi-septembre), donc on distingue que l'ETPc évolue en fonction de la température suivant une loi normale au contraire des précipitations qui sont irrégulière d'un mois a un autre.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

La connaissance et la compréhension des mécanismes du changement climatique, créant une perturbation dans hydrologique fait objet de notre étude, sachons que la ressource en eau est l'une des questions majeures auxquelles le monde doit faire face. Les sécheresses et les autres événements climatiques extrêmes peuvent amoindrir la capacité de développement des sociétés, et fragiliser l'équilibre de l'offre et de la demande en eau.

Il est particulièrement notable que la relation entre la pluviométrie et le débit est très étroite, ce qui fait de cette relation un signe complémentaire dans le cadre d'étude hydrologique pour décrire l'évolution des déficits hydrique, ce travail montre également la nécessité de prise en compte des précipitations et températures comme deux variables explicatives des sécheresses. Ceci s'engage dans l'étude des phénomènes climatique marquant les séries de pluies précipitées sur un bassin versant pendant une période spécifique et les mesures des débits de l'oued accueillant les eaux de ruissellement provenant du même bassin versant pendant la même période.

Cependant, la méthode de traitement statistique de différentes données numériques issues de différentes stations météorologiques sur des périodes longues, serait utile pour mieux caractériser encore les phénomènes climatiques les plus rares rencontrés dans le climat. Cependant les résultats de traitement statistique des séries chronologiques de deux stations météorologiques, Akbou et El Kseur montrent une diminution de pluviométrie au cours des années. Contrairement à cela, l'analyse statistique des données de la série chronologique de Bouira, montre une amélioration (augmentation) dans la totalité du volume de pluie précipitée dans cette région au cours de la série allant de 1913 à 2010.

L'indice d'aridité et le quotient d'Emberger calculés selon Les données des séries chronologiques de la région d'Akbou et de la région de Bouira indique leurs inscriptions dans un étage bioclimatique Semi-aride chaud. En revanche, Les résultats de calcul du quotient d'Emberger des données de la série chronologique de la station d'El Kseur montrent son inscription dans un étage bioclimatique un peu complexe, car son emplacement est positionné presque sur la limite séparant deux étages bioclimatiques sub-humide chaud et semi-aride chaud par contre l'indice d'aridité calculé selon les mêmes données de la même station pendant la même période signale que la région d'El Kseur se classe dans un étage bioclimatique semi-aride chaud.

L'analyse statistique des données pluviométriques et celles des débits fait dégager une convenance entre les résultats acquis pour les deux types de données. En effet toutes réductions de pluviométrie enregistrée au niveau des stations météorologiques précédentes, provoquaient pendant les mêmes périodes un déficit au niveau des débits mesurés à l'exutoire de Sidi Ali Levhar. Ce travail de recherche a sans aucun doute fait progresser la connaissance disponible sur la ressource en eau dans la



Basin Versant de la Soummam (BVS) et sur son devenir possible en lien avec le changement climatique. Il ne fait cependant qu'ajouter une timide contribution pour les travaux qui visent à résoudre cette problématique.

## Références bibliographiques

## Références bibliographiques

(akdim, 2011; Benhamiche, 1997; Benkhaled, 2007; Berrit, 1973; Bois, Obled, & Zin, 2007; Booth, & Mitchell, 2001; Charre, 1997; Estupina, 2011; F., 2006; Foucault, 2009a, 2009b; Guyot, Callède, Mollinier, & al, 1998; Hamelin, 1957; Hubert, 2008; J.P.Laborde, 2000; kaouas. & Brinet, 1989-1990; M.V.Musham, 1947; Mahé, 2006; Mebariki, & Laborde, 2012; Moail, 2009; "Modélisation des grands aquifères : Etude de modélisation de 5 systèmes d'aquifères ; plaine de la Soummam," 2010; Morat, 1969; Rakotomolala, 2012; "Ressources en eau disponibles dans la région de Bejaia : nappe alluviale de l'oued Soummam," 1990; Soubeyrou, Vidal, & Najac, 2011; Taylor, Jonker, Donkor, & al, 2005)

akdim, A. (2011). Rapport de séminaire international (chronologiques pluies-débit pour la mise en évidence des impacts climatiques et humains sur le bassin versant de la Soummam *Thèse de magister en Sciences de la terre et de l'univers-opt-Géoscience et environnement*(Université de bejaia), 119.

Benhamiche, N. (1997). Modélisation de la relation pluie-relief en vue de la cartographie par krigéage : cas du bassin versant da la Soummam. *Thèse de magister en Sciences Agro-opt-Aménagement et mise en valeur. INA, Alger*(Université de Bejaia ), 158.

Benkhaled, A. (2007). Distributions Statistiques des Pluies Maximales Annuelles dans la Région du Cheliff. In, (pp. 83-91). Université de Biskra.

Berrit, G.-R. (1973). Recherches hydroclimatique dans les régions cotières de l'Atlantique tropical oriental

Etat des connaissances et perspectives. In, vol. 3 (pp. 86-96).

Bois, P., Obled, C., & Zin, I. (2007). *Introduction au traitement de données en hydrologie* (Vol. 01). Grenoble.

Booth, B., & Mitchell, A. (2001). prise en main d'Arcgis. In, (pp. 10-25). Etats-Unis.

Charre, J. (1997). dessin-moi un climat

Que penser du Diagramme Ombrothermique? In, (pp. 3).

Estupina, V. B. (2011). Cours d'Hydrologie Générale In, (pp. 01-25). Université Montpellier 2.

Estupina, V. B. (2011). Le bassin versant. In, (pp. 01-25).

F., k. (2006). Etude hydrogéologique sous l'aspect de la modélisation mathématique en vue d'une gestion rationnelle des écoulements souterrains de la vallée de la Soummam. *mémoire d'ingénieur*,(université des sciences et de la technologie Houari Boumediene), 10-24.

Foucault, A. (2009a). *Climatologie et paleoclimatologie*.

Foucault, A. (2009b). *Climatologie et paleoclimatologie*

Guyot, J. L., Callède, J., Mollinier, M., & al, e. (1998). La Variabilité Hydrologique Actuelle dans le bassin de L'Amazone. (Université de Montpellier), 779-788.

Hamelin, L.-E. (1957). précisions au Sujet des termes de débit, d'écoulement et de ruissellement en hydrologie. 2(Université Laval, Québec), 139-152.

Hubert, P. (2008). Variabilité et Changement hydrologiques aujourd'hui et demain. 21(Issu du colloque << 20ème anniversaire de la Revue des Science de l'eau >>), 135-142.

---

## Références bibliographiques

- J.P.Laborde. (2000). Elements d'hydrologie de surface, In *ebooks*, (pp. 05-123).
- kaouas, A., & Brinet, H. (1989-1990). Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale de la Soummam (Sidi-Aïch\_Bejaia). In *mémoire d'ingénieur*, (pp. 05-25).
- M.V.Musham. (1947). Interprétation de coefficient de corrélation. *Journal de société statistique de paris*, 88(numdam), 02-06.
- Mahe, G. (2006). Variabilité pluie-débit en Afrique de l'Ouest et Centrale au 20ème siècle: Changement hydro-climatiques, occupation du sol et Modélisation hydrologique. *mémoire*, (Université des Sciences et Techniques-Montpellier 2 ), 69-87.
- Mebaraki, A., & Laborde, J. P. ( 2012). << Gestion intégrée des ressources en eau : rôle, organisation et traitement de la mesure >> ABH-CMS, Constantine. In *Colloque international*, (pp. 08-14).
- Moali, A. (2009). Fiche Descriptive Ramsar de la Vallée de L'oued Soummam
- In *FDR-version 2006-2008*, (pp. 01-10): fevrier
- Modélisation des grands aquifères : Etude de modélisation de 5 systèmes d'aquifères ; plaine de la Soummam. (2010). (ANRH).
- Morat, P. (1969). Note sur l'Application à Madagascar du Quotient pluviométrique D'Emberger. (Centre O.R.S.T.O.M de Tananarive (Madagascar)), 118-126.
- Rakotomolala, R. (2012). Analyse de corrélation (Etude des dépendances-Variabiles quantitatives),. (Université Lumière Lyon 2), 04-18.
- Ressources en eau disponibles dans la région de Bejaia : nappe alluviale de l'oued Soummam. (1990). (ANRH).
- Soubeyrou, J. M., Vidal, J. P., & Najac, J. (2011). Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau. In *Projet ClimSec*, (pp. 06-13): Jean-Michel Soubeyrou.
- taylor, P., Jonker, L., Donkor, E., & al, e. (2005). Plans de Gestion Intégrée des Ressources en Eau In Cap-Net (Ed.), *Manuel de Formation et Guide Opérationnel* (pp. 10-20).