

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH

المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Contribution à l'analyse de la sécheresse , étude et previsions
cas du bassin de l'Oued Isser (w. Boumerdes) .**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 7-0002-11

APA Citation (APA توثيق):

**Hamadene, Amine (2011). Contribution à l'analyse de la sécheresse , étude et
previsions cas du bassin de l'Oued Isser (w. Boumerdes)[Thèse de magister, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتمكين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
ARBAOUI ABDELLAH

N° d'ordre :.....
Série :

MEMOIRE DE MAGISTER

Option : **GENIE DE L'EAU**

Présenté par

HAMADENE Amine

CONTRIBUTION A L'ANALYSE DE LA SECHERESSE : ETUDE ET
PREVISIONS : CAS DU BASSIN DE L'OUED ISSER (W. BOUMERDES)

Soutenu le : Jeudi 10/02/2011

Président : M. KHETTAL Tahar

Maître de conférences. ENSH. Blida

Rapporteur : Mme TOUAÏBIA.B

Professeur . ENSH. Blida

Examineurs : Mme LAGHA BOUZID Souad

Maître de conférences. USTHB

M. AIDAOUI Abdellah

Professeur. ENSA. El Harrach

M. DECHEMI Nourredine

Professeur. ENSP. El Harrach

M. BENLAOUKLI Bachir

Maître de conférences. ENSH. Blida

Remerciements

REMERCIEMENTS

Moment mythique du thésard : la rédaction des remerciements ! Instant clé car symbole de l'aboutissement des travaux ou de sortie du tunnel, selon l'état d'esprit. M'y voilà, donc à mon tour de remercier tous ceux qui m'ont permis de vivre ses moment-là.

Je remercie mes parents, ma sœur et mon frère qui m'ont tout le temps soutenu dans mon travail ainsi toute ma famille.

Que Madame Touïbia Benina Professeur à l'ENSH, reçoive toute l'expression de ma reconnaissance pour m'avoir proposé ce sujet de recherche, et, pour tout son dynamisme et ses compétences scientifiques qui m'ont permis de mener à bien cette étude.

Je remercie tous particulièrement Monsieur le président du jury, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de cette thèse qu'il trouve ici l'expression de mon sincère estime.

Je tiens également à remercier mesdames et messieurs d'avoir acceptés de participer au jury de ce mémoire.

Je suis très reconnaissant à Monsieur Keddar Abdelkader et Monsieur Zeggane Houari, qui m'ont beaucoup aidé et orienter dans mon travail, ils étaient tout le temps disponible et répondaient toujours avec joie à mes préoccupations.

A mon employeur Mr Ait Kaci Sid qui m'a toujours aidé et orienté dans mon travail et mes collègues de travail Azouz Manel et Tafer kamel pour toutes les orientations et conseils qu'ils m'ont données.

Une spéciale dédicace pour tous le personnel de l'ENSH, où je me suis toujours senti comme chez moi.

A tous mes professeurs, du primaire au supérieur qui ont fait de moi ce que je suis devenu aujourd'hui.

Mes remerciements vont également aux Monsieur et Madame, cadres supérieurs de l'Etat et fonctionnaires des institutions, MRE, ANBT, DHW, ONM et ANRH rencontré lors de la collecte des données.

Enfin, merci mille fois à toutes mes proches qui m'ont accompagné au quotidien mes doutes et mes enthousiasmes.

Bien sûr ... j'en oublie mais j'y ai pensé à de nombreuses reprises. Alors à vous tous, merci.

Dédicaces

DEDICACES

- ✚ A la mémoire de mes grands-pères ;
- ✚ A ma mère et mon père ;
- ✚ A ma sœur et mon frère ;
- ✚ A mes grands-mères, mes tantes et mes oncles,
- ✚ A tous ceux qui me sont chère.

Amine

Résumé

ملخص

إن الهدف من هذا العمل المساهمة في تحليل ظاهرة الجفاف لحوض يسر.

رؤية شاملة للمنطقة - كاشفت المواضع - فترات مختلفة - دراسة كميّة الأمطار - بار المتساقطة - كمية الجريان السطحي توصلت إلى وجود نقص في هذه الكميات بالنسبة لمحطات معينة من الحوض، ثم دراسة المناخ مكنت من تصنيف مناخ الحوض الذي يهيمن عليه المناخ الشبه الجاف الذي يميل إلى الجفاف كلما انتقلنا إلى الجنوب.

أخير - نماذج - وادجيسد للعلاقي - ب - ميطيد - رتاف - ن الت - وازن المل كمي - ة الأمط - بار المتساقطة - واقلمة - ة الجري - ان السطحي قد وضع في حيز التطبيق الذي يمكن به تقدير الكميات المائية لبعض الأودية.

في ختام هذا العمل حلول و توصيات تم أدراجها للحد من آثار الجفاف في حوض يسر.

كلمات البحث : الجفاف، حوض، المناخ، الجفاف، النموذجية و التوازن المائي.

RESUME

L'objectif de ce travail de mémoire est de contribuer à l'analyse de la sécheresse dans le bassin versant de Isser.

Une présentation du cadre de l'étude a permis de constater les différentes spécifications du bassin ainsi que ses potentialités diverses. L'étude pluviométrique et des écoulements a fait remarquer un déficit des précipitations et d'écoulements pour certaines stations du bassin, ensuite l'étude climatique de notre région d'étude a classé le climat du bassin versant dominé en grande partie par un climat semi aride qui tend vers l'aridité en allant vers le Sud.

Enfin une modélisation statistique de la relation qui existe entre certains paramètres du bilan hydrologique comme les précipitations et les lames écoulées a été élaborée, permettant une éventuelle estimation des apports pour certains affluents du bassin.

Des solutions et recommandations ont été énumérées, pour réduire les effets de la sécheresse dans le bassin versant.

Mots clés : sécheresse, bassin versant, climat, aridité, modélisation, bilan hydrologique

ABSTRACT

The objective of this thesis work is to contribute to the analysis of drought in the catchment of Isser.

A presentation of the study revealed the different specifications of the basin and its various potentialities. The study of rainfall and runoff has noticed a lack of precipitation and runoff for selected stations in the basin, then the climate study of our study area has classified the climate of the watershed dominated largely by a semi-arid tends toward dryness by going south.

Finally a statistical model of the relationship between certain parameters of the water balance such as precipitation and slides past has been developed, which can then allow to estimate the contributions for some basin.

Solutions and recommendations that have been listed and to reduce the effects of drought in the watershed.

Keywords: drought, watershed, climate, aridity, modeling, water balance.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	14
I CHAPITE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	16
I.1 LE CLIMAT ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	16
I.1.1 Changement climatique au Maghreb.....	18
I.1.2 Climat de la région	20
I.1.3 Perspectives en cas de changements climatiques.....	21
I.1.4 Contexte socio-économique	21
I.1.5 Des ressources naturelles fragiles	22
I.1.5.1 Ressources en eau :	22
I.1.5.2 Sols, végétation et agriculture :.....	22
I.1.5.3 Environnement urbain.....	23
I.1.5.4 Secteur de l'eau.....	23
I.2 LA SECHERESSE	25
I.2.1 Historique de la sécheresse	26
I.2.1 Types de sécheresse	28
I.2.1.1 Sécheresse météorologique.....	28
I.2.1.2 Sécheresse agricole	28
I.2.1.3 Sécheresse hydrologique.....	28
I.2.2 Conséquences de la sécheresse	28
I.2.3 Travaux réalisés sur la sécheresse.....	30
CONCLUSION.....	34
II CHAPITRE II : CADRE DE L'ETUDE.....	35
II.1 GEOGRAPHIE.....	35
II.1.1 Découpage administratif	38
II.1.2 Découpage hydrographique.....	38
II.2 GEOLOGIE.....	42
II.2.1 Morphologie du bassin	42
II.2.1.1 Lithologie.....	42
II.3 TOPOGRAPHIE	45
II.3.1 Le Haut ISSER.....	45
II.3.2 Le Moyen ISSER	45
II.3.3 Le Bas ISSER.....	45

TABLE DES MATIERES

II.4	PEDOLOGIE.....	47
II.4.1	Résultats des études antérieures.....	48
II.4.1.1	Plaine de Sidi Lakhdar.....	48
II.4.1.2	Vallée de l'Isser.....	49
II.4.1.3	Vallée du Bas Isser.....	50
II.4.1.4	Plaine des Arribs - Beni Slimane.....	51
II.4.1.5	Plaine de Sidi Naamane.....	53
II.4.2	Conclusion.....	54
II.5	VEGETATION.....	56
II.5.1	Le haut ISSER.....	56
II.5.2	Le moyen ISSER.....	56
II.5.3	Le bas ISSER.....	56
II.6	RESSOURCES EN EAU.....	57
II.6.1	Eaux superficielles.....	57
II.6.1.1	Potentialités.....	57
II.6.1.2	Mobilisations.....	57
II.6.2	Eaux souterraines.....	66
II.6.2.1	Description hydrogéologique du bassin d'Isser.....	66
II.6.2.2	Unité hydrogéologique du haut et moyen Isser.....	66
II.6.2.3	Unité hydrogéologique du Bas Isser.....	66
II.6.2.4	Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs.....	67
II.6.2.5	Unité hydrogéologique de la plaine de l'Oued Melah.....	67
II.6.2.6	Caractéristiques hydrodynamiques des différentes unités hydrogéologiques du bassin de l'Isser.....	68
II.6.2.7	Potentialités en eaux souterraines.....	69
II.6.2.8	Mobilisation des eaux souterraines.....	69
II.7	HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT.....	74
II.7.1	Présentation des stations hydrométriques.....	74
II.7.2	Caractéristiques de forme.....	74
II.7.2.1	Indice de compacité ou indice de Gravélius.....	74
II.7.2.2	Coefficient de forme « Rf ».....	75
II.7.2.3	Coefficient de forme « Kf ».....	75
II.7.2.4	Elancement « Re ».....	75
II.7.2.5	Rectangle équivalent.....	75

TABLE DES MATIERES

II.7.3	Hypsométrie des bassins	76
II.7.3.1	Indice de pente	77
II.7.3.2	Indice de pente de roche « Ip »:	77
II.7.3.3	Indice de pente globale Ig	77
II.7.3.4	Pente moyenne d'un bassin versant «Im ».....	78
II.7.4	Paramètres du réseau hydrographique.....	78
II.7.4.1	Densité de drainage Dd	78
II.7.4.2	Paramètre de torrencialité.....	78
II.7.4.3	Temps de concentration	79
II.7.4.4	Profil en long de Oued Isser.....	79
	CONCLUSION	82
III	CHAPITRE III : ETUDE PLUVIOMETRIQUE ET CLIMATIQUE	83
III.1	ETUDE PLUVIOMETRIQUE	84
III.1.1	Postes pluviométriques dans le bassin versant de Isser.....	85
III.1.2	Homogénéisation des données pluviométriques	87
III.1.2.1	Méthode des Rapports.....	87
III.1.2.2	Méthode de la régression linéaire	88
III.1.3	Détermination de la station représentative du BV	89
III.1.3.1	Analyse en composante principales (ACP).....	89
III.1.3.2	Les étapes de l'analyse en composantes principales.....	89
III.1.3.3	Analyse des résultats de L'A.C.P	91
III.1.3.4	Interprétations	93
III.1.4	Stations représentatives des différentes zones de mêmes régimes de précipitations	95
III.1.5	Stations représentatives des sous bassins de ISSER	97
III.1.6	Conclusion.....	99
III.1.7	Précipitations moyenne du bassin versant.....	100
III.1.8	Détermination des caractéristiques de la série représentative.....	101
III.1.8.1	Interprétations	103
III.1.9	Détermination du déficit des précipitations	103
III.1.10	Étude spatiale des précipitations en utilisant le coefficient de variation.....	104
III.1.11	Ajustement des précipitations a une loi de probabilité.....	105
III.1.11.1	A l'échelle annuelle.....	105
III.1.11.2	A l'échelle mensuelle	113

TABLE DES MATIERES

III.2	ETUDE DES ECOULEMENTS.....	116
III.2.1	Débit moyen annuel	116
III.2.1.1	A l'Echelle Annuelle.....	116
III.2.1.2	A l'Echelle Mensuelle.....	121
III.2.2	Variations annuelles des débits moyens.....	127
III.2.3	Variations mensuelles des débits moyens	128
III.2.4	Caractéristiques d'écoulement	129
III.3	ETUDE CLIMATIQUE.....	131
III.3.1	Climat en Algérie	131
III.3.2	Climat du BV de ISSER.....	132
III.3.3	Classifications des climats	132
III.3.4	Paramètres du climat	134
III.3.4.1	Température	134
III.3.4.2	Gelée	137
III.3.4.3	Vents	138
III.3.4.4	Humidité	139
III.3.4.5	Evaporation	142
III.3.4.6	Evapotranspiration	143
III.3.4.7	Indice D'aridité	144
III.3.4.8	Indice mensuel d'aridité.....	145
III.3.4.9	L'indice xérothermique de Gaussen.....	145
	CONCLUSION.....	149
IV	CHAPITRE IV : MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE.....	150
IV.1	APPROCHE DU BILAN HYDRIQUE.....	151
IV.1.1	Régime pluviométrique	151
IV.1.2	Ruissellement de surface.....	151
IV.1.3	Pertes par infiltration.....	151
IV.1.4	Evapotranspiration	152
IV.1.5	Estimation du Ruissellement.....	153
IV.1.6	Calcul de l'évapotranspiration potentielle et réelle.....	153
IV.1.6.1	Évapotranspiration Potentielle (ETP).....	153
IV.1.6.2	Évapotranspiration Réelle (ETR).....	155

TABLE DES MATIERES

IV.1.7	Calcul de l'évapotranspiration réelle pour différentes périodes de retour :	156
IV.1.7.1	Ajustement des précipitations	156
IV.1.7.2	Lois d'ajustements	157
IV.1.7.3	Test Appliqués aux stations pluviométriques	157
IV.1.7.4	Equations des droites d'ajustements :	157
IV.1.7.5	Calcul des Quantiles	157
IV.1.8	Ajustements de lames d'eaux écoulées	158
IV.1.8.1	Loi d'ajustement	158
IV.1.8.2	Tests Appliqués à la station de Lakhdaria	159
IV.1.8.3	Equation de la droite d'ajustement	159
IV.1.8.4	Calcul des Quantiles	159
IV.1.9	Détermination de l'infiltration	160
IV.1.10	Infiltration pour différentes périodes de retour :	163
IV.2	LA MODELISATION HYDROLOGIQUE	164
IV.2.1	Modèles hydrologiques	164
IV.2.2	Modélisation en milieu semi-aride	167
IV.2.3	Relations Précipitations – Lames écoulées	168
IV.2.3.1	Période (1971 – 1998).....	168
IV.2.3.2	Période (1983 – 1998).....	172
IV.2.4	Calage du modèle Précipitation – Lame écoulé	176
IV.2.5	Lame écoulée obtenues par le modèle pour différentes périodes de retour	177
IV.2.6	Estimation des apports annuels à l'aide de la modélisation Statistique Précipitation – lame écoulée	178
	CONCLUSION	179
	CONCLUSION GENERALE	180
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	182

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre II

Tableau II-1: Evaluation de la population par wilaya	38
Tableau II-2 : Superficies des Sous bassins de l'Isser	39
Tableau II-3 : Catégories des sols - Plaine de Sidi Lakhdar.....	49
Tableau II-4 : Catégories des sols - Vallée de Isser	50
Tableau II-5 : Classifications des sols - Vallée du bas Isser	50
Tableau II-6 : Catégories des sols - Vallée du bas Isser.....	51
Tableau II-7 : Classifications des sols - Plaine des Arribs - Beni Slimane	51
Tableau II-8 : Catégories des sols - Plaine des Arribs - Beni Slimane.....	52
Tableau II-9 : Classification des sols - Plaine de Sidi Naamane	53
Tableau II-10 : Potentialités en eau superficielle du bassin Isser (période 1910-1993).....	57
Tableau II-11 : Caractéristiques des barrages en exploitation.....	60
Tableau II-12 : Retenues collinaires et leurs capacités par wilaya.....	65
Tableau II-13 : Caractéristiques hydrodynamiques du haut, moyen et bas Isser	68
Tableau II-14 : Répartition des potentialités en eaux souterraines par unité Hydrogéologique.....	69
Tableau II-15 : Répartition des forages par wilaya	70
Tableau II-16 : Etat des forages par wilaya.....	70
Tableau II-17 : Répartition des volumes d'eau exploités à partir des forages par wilaya et par usage.	71
Tableau II-18 : Récapitulation des puits par wilaya.....	72
Tableau II-19 : Répartition des sources par wilaya.....	72
Tableau II-20 : Stations hydrométriques du BV Isser	74
Tableau II-21 : Caractéristiques Hydromorphométriques des Sous bassins de Isser	81

Chapitre III

Tableau III-1 : Identification des stations pluviométriques.....	85	
Tableau III-2 : Vecteurs Régionaux de l'ACP.....	90	
Tableau III-3 : Moyenne et écart Type des variables Initiales	91	
Tableau III-4 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	91	
Tableau III-5 : Valeur propre, variances expliquées et variances cumulées	91	
Tableau III-6 : Projection des variables actives	Tableau III-7 : Projection des observations	92
Tableau III-8 : Codes et Noms des stations pluviométriques représentatives des Sous Bassins.....	95	
Tableau III-9 : Codes et Noms des stations pluviométriques représentatives du bassin Versant de Isser	95	
Tableau III-10 : Stations pluviométriques représentatives des Sous Bassins de Isser	97	
Tableau III-11 : surfaces d'influences des stations pluviométriques	100	
Tableau III-12 : Années sèches et humides pour la station représentative de Djebahia 090 403.....	101	
Tableau III-13 : Classification de la sécheresse dans le BV Isser	103	
Tableau III-14 : Coefficients de variations des stations pluviométriques	104	
Tableau III-15 : Précipitations annuelles classées et leurs fréquences expérimentales - station Djebahia	106	
Tableau III-16 : Lois d'ajustements des séries pluviométriques.....	108	
Tableau III-17 : Tests appliqués aux séries pluviométriques	111	
Tableau III-18 : Equations d'ajustements des précipitations annuelles	111	
Tableau III-19 : Précipitations annuelles pour différentes périodes de retour.....	112	
Tableau III-20 : Lois d'ajustements aux séries des précipitations mensuelles - Station Djebahia.....	113	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III-21 : Tests appliqués aux séries des précipitations mensuelles - Station Djebahia	114
Tableau III-22 : Equations d'ajustements des précipitations mensuelles – station de Djebahia.....	115
Tableau III-23 : Valeurs des précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour - Station Djebahia.....	115
Tableau III-24 : Ajustement à loi log normale des débits moyens de la Station hydrométrique de Lakhdaria.....	117
Tableau III-25 : Lois d'ajustements des séries de débits moyens	119
Tableau III-26 : Test d'ajustement de χ^2 aux séries hydrométriques	119
Tableau III-27 : Equations d'ajustements des débits moyens annuels.....	120
Tableau III-28 : Débits moyens pour différentes périodes de retour.....	120
Tableau III-29 : Ajustement à loi log normale des débits moyens de la Station hydrométrique de Lakhdaria – Mois de Novembre	122
Tableau III-30 : Lois d'ajustements des débits moyens du mois de Novembre - Station de Lakhdaria	124
Tableau III-31 : Tests appliqués aux séries des débits moyens - Station Lakhdaria	125
Tableau III-32 : Equations d'ajustements des débits moyens mensuels :	126
Tableau III-33 : Débits moyens pour différentes périodes de retour.....	126
Tableau III-34 : Caractéristiques de l'écoulement - Station de Lakhdaria	129
Tableau III-35 : Répartition mensuelle de la température «Station de (BS 21)»	134
Tableau III-36 : Répartition mensuelle de la température « Station de Souagui ».....	134
Tableau III-37 : Répartition mensuelle de la température « station de Ouled Ammar ».....	135
Tableau III-38 : Répartition mensuelle de la température « station de Berouaghia ».....	135
Tableau III-39 : Répartition mensuelle de la température "station de Dar El Beida"	136
Tableau III-40 : Répartition mensuelle de la température "station de Dellys".....	136
Tableau III-41 : Répartition mensuelle de la température "station de Tizi Ouzou"	136
Tableau III-42 : Répartition mensuelle de la température - Station de Bouira.....	137
Tableau III-43 : Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat et BirGhbalou	137
Tableau III-44 : Nombre de jours de sirocco aux stations Beni Slimane et BirGhbalou	138
Tableau III-45 : Vitesses moyennes mensuelles "Station de Dar El Beida"	138
Tableau III-46 : Vitesses moyennes mensuelles "Station de Dellys".....	139
Tableau III-47 : Répartition mensuelle de l'humidité « station de (BS21) ».....	139
Tableau III-48 : Répartition mensuelle de l'humidité « station de Souagui ».....	140
Tableau III-49 : Humidité relative pour la station de Dar El Beida	140
Tableau III-50 : Humidité relative pour la station de Dellys.....	140
Tableau III-51 : Humidité relative pour la station de Tizi Ouzou	141
Tableau III-52 : Répartition mensuelle de l'évaporation :	142
Tableau III-53 : ETR Potentielle au niveau du bassin Isser	143
Tableau III-54: Evapotranspiration réelle des sous bassins de Isser :	144
Tableau III-55 : Indice d'aridité et climats dans le BV de Isser	144
Tableau III-56 : Indice d'aridité mensuel dans le BV de Isser	145
Tableau III-57 : Longueur de la saison sèche dans le BV de Isser.....	145

CHAPITRE IV

Tableau IV-1 Lame écoulée enregistrées au niveau des stations hydrométriques	153
Tableau IV-2 : Coefficient Béta (β)	154
Tableau IV-3 : L'ETP et L'ETR du BV de Isser.....	155
Tableau IV-4 : Tests appliqués aux séries pluviométriques.....	157
Tableau IV-5 : Equation d'ajustement des précipitations annuelles	157

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV-6 : Précipitations annuelles pour différentes périodes de retour	157
Tableau IV-7 : Tests appliqués à la série des lames ruisselées	159
Tableau IV-8 : Equation d'ajustement des lames d'eau écoulées.....	159
Tableau IV-9 : lames d'eau écoulées pour différentes périodes de retour	159
Tableau IV-10 : Paramètres de l'ETR pour différentes périodes de retour	160
Tableau IV-11 : Valeurs de l'ETR pour différentes périodes de retour.....	160
Tableau IV-12: Bilan hydrique.....	160
Tableau IV-13 : Valeurs de l'infiltration pour différentes périodes de retour – Station de Lakhdaria	163
Tableau IV-14 : Equations et Coefficients de corrélation : Précipitation - Lame écoulée 1971 -1998	171
Tableau IV-15 : Equations et Coefficients de corrélation : Précipitation - Lame écoulée 1983 – 1998	175
Tableau IV-16 : Valeurs Observées et calculées de la lame écoulée pour différentes périodes de retour.	177
Tableau IV-17 : Apports annuels mesurés et calculées du BV Isser pour différentes périodes de retour	178

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Chapitre II

Figure II-1 : Plan de situation du BV de Isser	37
Figure II-2 : Réseau Hydrographique du BV de Isser (ANRH)	41
Figure II-3 : GEOLOGIE DU BV DE ISSER	44
Figure II-4 : Modèle Numérique de la Topographie du BV de Isser	46
Figure II-5 : Etudes pédologiques et Agro pédologiques dans le BV de Isser (ANRH)	55
Figure II-6 : Implantation des barrages dans le BV de Isser	64
Figure II-7 : Profil en Long de l'oued principal	80

Chapitre III

Figure III-1 : Implantation des stations pluviométrique dans le BV de Isser	86
Figure III-2 : Projection des variables sur le plan	93
Figure III-3 : Zones de précipitations du BV Isser	96
Figure III-4 : Stations Pluviométriques représentatives des SBV de Isser	98
Figure III-5 : Evolution temporelle des précipitations	102
Figure III-6 : Ajustement des précipitations annuelles à loi normale - Station Djebahia	107
Figure III-7 : Ajustement à la loi log normale des débits moyens annuels de la station de Lakhdaria	118
Figure III-8 : Ajustement à la loi log normale des débits moyens annuels de la station de Lakhdaria	123
Figure III-9 : Variation des débits moyens annuels - Station de Lakhdaria	127
Figure III-10 : Variation mensuelle des débits moyens mensuels à différentes stations	128
Figure III-11 : variation du déficit Hydrique pour la station de Lakhdaria	130
Figure III-12 : Diagramme Ombrothermique - Haut Isser –	146
Figure III-13 : Diagramme Ombrothermique - Moyen Isser –	147
Figure III-14 : Diagramme Ombrothermique : Bas Isser	148

Chapitre IV

Figure IV-1: Ajustement des précipitations annuelles à loi log normale - Station Ouled Touati	156
Figure IV-2: Ajustement des lames d'eau écoulées à loi normale - Station hydrométrique de Lakhdaria	158
Figure IV-3 : L'ETR pour différentes périodes de retour - Station de Lakhdaria	162
Figure IV-4 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Puissance)	168
Figure IV-5 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Exponentielle)	169
Figure IV-6 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Linéaire)	169
Figure IV-7 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression logarithmique)	170
Figure IV-8 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Polynomiale)	170
Figure IV-9: Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Puissance)	172
Figure IV-10 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Exponentielle)	173
Figure IV-11 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Linéaire)	173
Figure IV-12 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression logarithmique)	174
Figure IV-13 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Polynomiale)	174
Figure IV-14 : Apports Annuels Mesurés et Calculés pour différentes périodes de retour	178

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est essentielle à la vie sur Terre. Pour que les populations humaines et les écosystèmes puissent se développer, l'eau doit être propre et doit rester propre et surtout si, elle doit être accessible à tous.

Le nombre de personnes n'ayant pas accès à une eau de boisson salubre est estimé à 884 millions dont la majorité se trouve en Afrique. Chaque année, environ 1,5 millions d'enfants meurent de maladies transmises par l'eau. La dégradation de la qualité de l'eau des rivières, des fleuves, des lacs et des nappes souterraines a des répercussions directes sur les écosystèmes et la santé des êtres humains. Une telle situation représente une terrible tragédie humaine et un obstacle majeur pour le développement économique d'un pays.

Nos vies quotidiennes prennent leurs racines dans l'eau et se façonnent par rapport à l'eau. Sans cette eau qui nous entoure, notre existence serait impossible. Notre corps est constitué d'eau à près de 80% et celle-ci recouvre les deux tiers de la surface de la terre.

Le changement climatique observé par la communauté de chercheurs internationaux, depuis les années 1980 a fait prendre la conscience internationale, qui ne cesse de s'investir davantage pour étudier et mettre en œuvre des modèles capable de prédire un événement extrême (inondation ou sécheresse) à un point donné du globe.

Les causes et les impacts de ce changement climatique sont l'objet de nombreux débats que nous ne chercherons pas ici à introduire, mais l'ensemble des débats reposent sur l'opportunité de la connaissance des événements extrêmes qui vont en s'accroissant. D'où une inquiétude grandissante de l'opinion publique face aux impacts de ces changements sur les ressources naturelles et particulièrement les ressources en eau en climat semi aride.

Nous assistons à une mobilisation importante autour de la thématique des ressources en eau : dossiers, loi, décrets, programmes sociaux et de recherche fleurissent. Depuis 1965, l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, les Sciences et la Culture (UNESCO) a mis en place une succession de programmes hydrologiques visant d'une part à mieux comprendre le fonctionnement hydrologique des différentes régions du globe et d'autre part à accompagner les différents utilisateurs à une gestion optimisée et concertée pour éviter les gaspillages mais surtout des tensions politiques potentielles majeures. La mobilisation autour de l'eau observée depuis quelques dizaines d'années est motivée par des préoccupations qui dépassent maintenant la ressource en elle-même : les enjeux sociaux, politiques et stratégiques sont majeurs.

La production alimentaire, telles les récoltes de céréales, est menacée notamment dans les régions arides ayant des pluies saisonnières. La perte de bétail constitue également un problème majeur pendant la sécheresse: les régions arides comme par exemple l'Asie du Sud-Est sont particulièrement vulnérables.

INTRODUCTION GENERALE

Les systèmes d'alerte précoce tels que les prévisions climatiques peuvent aider les communautés à se préparer à la sécheresse: d'autres mesures précoces importantes comprennent la coordination de l'alimentation en eau et tout rationnement nécessaire.

La sécheresse a un impact majeur sur les infections et l'hygiène personnelle: outre l'augmentation de maladies telles que le trachome et la gale, les populations risquent davantage de boire de l'eau malsaine avec son lot d'infections.

Notre pays n'est pas épargné par cette sécheresse qui se manifeste fréquemment ses dernières années, plusieurs études ont été menées pour essayer de voir les impacts de la sécheresse sur les ressources naturelles et plus précisément : l'eau.

C'est dans cette optique de recherche que s'inscrit notre étude, consistant en l'analyse de la sécheresse dans le bassin versant de Isser. Le choix de ce dernier n'a pas été fortuit du fait de l'importance primordiale du bassin sur lequel sont implantés les plus grands barrages qui approvisionnent en eau potable, la région centre du pays, entre autre la capitale, mais aussi pour ses potentialités agricoles existantes.

Pour mener à bien le travail, celui-ci a été scindé en 4 chapitres distincts, à savoir :

- L'étude bibliographique a fait l'objet du premier chapitre consistant à décrire les éventuels changements climatiques où le phénomène de la sécheresse va se greffer
- Le chapitre deuxième est consacré au cadre de l'étude avec une présentation détaillé du bassin versant de l'Oued Isser.
- L'étude pluviométrique ainsi que l'étude des écoulements ont fait l'objet du chapitre troisième, pour l'estimation des paramètres du bilan hydrologique. L'étude climatique entreprise aussi dans ce chapitre permettra de classe le bassin dans l'étage bioclimatique ;
- En chapitre 4, la modélisation statistique sera approchée pour mettre en exergue la relation entre paramètres du bilan hydrologique permettant d'identifier le phénomène de la sécheresse.

La modélisation reste un outil de prévision de la ressource. Ceci est capital dans le contexte de raréfaction de la ressource. Cette partie de l'étude est très importante car elle mènera à répondre à deux questions essentielles :

- Quelles en sont les carences qui limitent notre capacité à produire des prévisions fiables et quelles en sont les informations nécessaires à cette prévision ?
- Quelle est la densité requise d'un réseau de pluviomètres pour capter la variabilité spatiale des précipitations dans ces zones ?

Nous ne prétendons pas dans ce travail traiter intégralement le sujet de la sécheresse, cependant, il a permis d'apporter des éléments de réponses dans un contexte climatique défini.

I CHAPITE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Le but de cette étude bibliographique est d'illustrer tous ce qui a été fait dans le monde et en Algérie comme études et travaux pour la sécheresse, on a tout d'abord commencé ce chapitre par donner un aperçu sur le climat dans le monde et en Algérie puis on a parlé des changements climatiques à travers la planète pour ensuite donner un aperçu sur les changements climatiques au Maghreb.

A la suite de ça on a attaqué le sujet de la sécheresse avec des définitions, les différents types de sécheresse et son historique à travers le monde et en Algérie. Pour enfin illustrer quelques travaux faits dans le domaine de la sécheresse dans le monde et en Algérie et ce qui a pu être tiré comme enseignements.

I.1 LE CLIMAT ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Vu l'importance du phénomène et ses impacts directs sur plusieurs ressources dont une très importante qui est l'eau, les scientifiques et chercheurs ont fait des changements climatiques et tous ce qui en résulte leur voie pour la recherche et ce afin d'essayer d'analyser le phénomène pour mieux le prévoir.

Plusieurs études ont été faites dans ce domaine pour anticiper les choses et prévoir des solutions, si à l'échelle mondiale ses études sont très diversifiées et ont atteint un degré très avancé dans la recherche ce qui n'est malheureusement pas le cas au niveau local.

Comprendre comment la variabilité du climat actuel interagit avec les modifications de l'hydrologie d'un bassin versant est une nécessité pour anticiper ce que pourraient être les conséquences des changements climatiques futurs dans cette région et définir d'éventuelles stratégies d'adaptation.

Les scientifiques essayent de prévoir ce qui va se passer à l'avenir en réalisant des modèles qui donnent des résultats que personne ne puisse garantir. Le système climatique est définit autour de cinq composantes que définissent l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la surface continentale et la biosphère (organismes vivants et écosystèmes terrestres et océaniques). Forcées par l'énergie solaire, ce sont les interactions qui sont activées entre ces composantes qui déterminent le climat et sa variabilité. La complexité du climat provient du fait qu'il dépend d'un grand nombre de paramètres tels que la rotation de la Terre, la topographie et végétation des surfaces continentales, la température et la salinité des océans, la composition chimique de l'atmosphère, qui interviennent dans le bilan énergétique et le bilan de masse et déterminent ainsi le climat et sa dynamique. Pris isolément, ces principaux processus climatiques sont assez bien connus ; en revanche la manière dont ils interagissent l'est moins (Groupement BCEOM–BG– SOGREAH, 2005).

Les modèles climatiques constituent aujourd'hui l'outil de référence pour aider à la compréhension de ces interactions.

Si les scientifiques ont amélioré leurs connaissances sur les émissions de gaz à effet de serre (GES), l'évolution du climat représente un défi considérable pour les décideurs. L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ont ainsi créé, en 1988, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) ou Inter governmental Panel on Climate Change (IPCC). Ce groupe a été établi afin (Groupement BCEOM–BG– SOGREAH, 2005) :

- D'évaluer les informations disponibles sur la science, les effets, les aspects socioéconomiques et les options d'atténuation de l'évolution du climat et d'adaptation à cette évolution ;
- De rendre, sur demande, des avis scientifiques/techniques/socio-économiques à la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

De nombreux indices témoignent d'un réchauffement de la planète et d'autres modifications du système climatique, dont les principaux sont les suivants :

- La température moyenne de surface a augmenté de $0,6 \text{ °C} \pm 0,2 \text{ °C}$ au cours du XXème siècle. Le réchauffement s'est notamment produit durant deux périodes, de 1910 à 1945 et depuis 1976. Depuis 1861, la décennie 90 a très probablement été la plus chaude.
- Les données satellites montrent une diminution probable de 10 % de la couverture neigeuse depuis la fin des années 60, ainsi qu'une diminution de l'extension des glaciers et la fonte de ses derniers.
- Le niveau moyen de la mer a progressé entre 10 et 20 centimètres au cours du XXème siècle.
- Dans les zones de moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord, les précipitations et la fréquence des épisodes de fortes précipitations ont augmenté.

Certaines régions, notamment en Asie et en Afrique, la fréquence et l'intensité des sécheresses ont augmenté durant ces dernières décennies.

- Les épisodes chauds du phénomène El Nino ont été plus fréquents, plus durables et plus intenses depuis le milieu des années 1970 (Groupement BCEOM–BG– SOGREAH, 2005)

L'IPCC annonce qu'il dispose aujourd'hui d'analyses d'une très grande fiabilité qui lui permettent d'affirmer que le réchauffement observé au cours des cinquante dernières années est bien dû aux activités humaines. De plus, les modèles utilisés, dont la confiance dans leur capacité à prévoir le climat futur a augmenté, conduisent à prévoir une augmentation de la température globale et une élévation du niveau de la mer :

- La température moyenne de surface devrait encore augmenter entre 1,4 et 5,8 °C entre 1990 et 2100. Le réchauffement devrait s'intensifier notamment durant l'hiver dans les régions de hautes latitudes de l'hémisphère nord ;
- La concentration moyenne de vapeur d'eau dans l'atmosphère et les précipitations devraient augmenter au cours du XXIème siècle ;
- Le réchauffement climatique devrait accroître les phénomènes extrêmes (sécheresses et fortes précipitations-inondations);
- L'étendue de la couverture neigeuse, des glaciers et de la banquise de l'hémisphère nord devrait continuer de diminuer ;
- L'élévation du niveau moyen des océans est estimée entre 9 et 88 cm, selon les modèles.

I.1.1 Changement climatique au Maghreb

Une étude très intéressante a été faite par l'institut international du développement durable à l'échelle du Maghreb pour comprendre ses effets sur les pays du Maghreb.

En Afrique du Nord, les pays du Maghreb se trouvent dans une région aride à semi-aride avec un climat saharien dans la partie sud, océanique dans la partie ouest et méditerranéen dans la partie Nord. La partie centrale du Maghreb, constituée par le Maroc, l'Algérie et la Tunisie regroupait déjà 65 millions d'habitants en l'an 2000 et rassemblée plus de 72 millions en 2010. Une population regroupée pour plus des deux tiers sur les côtes méditerranéennes et atlantiques du nord de la région.

Dans ces pays la vie des populations est très liée au climat et ses fluctuations. L'économie est très dépendante de l'eau, de l'agriculture, du tourisme, du littoral.

Les données climatiques relevées dans la région durant le 20ème siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée depuis 1970. Ces données montrent aussi une augmentation nette de la fréquence des sécheresses et inondations. (Et les inondations de 2001 à Alger en sont un exemple) (IISD, 2003).

La sécheresse est passée tous les dix ans au début du siècle à cinq à six années de sécheresses en dix ans actuellement. Les modèles de circulation générales; même s'ils ne sont pas assez précis pour cette région car ne disposant pas de modèle à maillage centré sur celle-ci convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° à 4° durant le 21ème siècle.

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Les changements climatiques, pour cette partie du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) très peu émettrice de gaz à effet de serre (entre 1.5 et 3.5 TE Co₂/Hab/an), représentent une véritable menace pour son développement socio-économique et pour la vie des populations.

Cette vulnérabilité extrême et le besoin de stratégies d'adaptation de secteurs clefs de l'économie de la région aux impacts possibles de ces changements climatiques représentent de vrais enjeux pour le développement durable de ces pays qui peut être freiné par ses aléas de la nature.

A ce jour, les négociations menées dans le cadre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques ont beaucoup été axées sur l'aspect atténuation des émissions en Gaz à Effet de Serre et ce en vue de limiter les problèmes à l'origine de ce phénomène planétaire. Ainsi des efforts soutenus déployés pour faire aboutir le protocole de Kyoto et lancer donc cette dynamique de réduction des émissions, même si le concept de pollueur payeur doit être appliqué à tout le monde car malheureusement ce n'est pas seulement les pays émetteurs de gaz à effet de serre qui sont touchés par ses changements climatiques mais tout le globe terrestre.(IISD, 2003).

Un autre aspect tout aussi important a connu peu de développement lors de ces négociations : *la vulnérabilité de certaines régions du monde et leurs besoins d'adaptation aux effets de ces changements climatiques*. Il est vrai que des fonds de financement de ces aspects ont été créés mais leur mise en œuvre reste lointaine et peu de résultats concrets sur cette problématique sont visibles

Au Maghreb trois pays (Algérie, Maroc, Tunisie) ont agi dans le domaine des changements climatiques de façon concertée et en forte synergie depuis 1994 avec l'appui d'un projet PNUD-FEM de renforcement des capacités. Ces pays, peu émetteurs de gaz à Effet de Serre, se trouvent être particulièrement vulnérables à ces changements climatiques.

Les principaux résultats des études et recherches menées sur cet aspect ont été résumés dans les communications nationales initiales présentées par ces pays à la septième conférence des parties à la convention tenue à Marrakech en 2001.

L'étude a pour objectif de montrer à travers les résultats d'études techniques et de recherches réalisées à ce jour dans le Maghreb comment pourrait se présenter trois secteurs clefs de l'économie de la région (eau, agriculture et littoral) les prochaines décennies et avec quelles conséquences pour les populations si de véritables politiques d'adaptation ne sont pas élaborées et mises en œuvre dans ces pays les années à venir.

L'étude met aussi en relief les besoins en études et recherches pour mieux estimer cette vulnérabilité et définir les actions d'adaptation les plus appropriées (IISD, 2003).

I.1.2 Climat de la région

De par leur position géographique, situés en zone aride à semi-aride, trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) ont depuis des millénaires, une évolution fortement liée au climat de la région et à sa variabilité. Ce climat se caractérise par des contrastes importants avec des types de climats très différents et ce, en relation avec les particularités géographique et écologique de cette région :(IISD, 2003).

- Les trois pays sont situés sur un territoire d'une superficie de plus de 3,3 millions de Km², dont plus des deux tiers en zone désertique;
- La région est à dominance semi-aride à aride, soumise à un climat résultant d'influence maritime au nord, à l'est (Mer Méditerranée) et à l'ouest (Océan atlantique) et saharienne au sud;
- Une grande diversité de type de climat est associée à l'étendue en longitude et latitude de la région, à l'existence de chaînes montagneuses dépassant les 3 000 m et à l'influence maritime au voisinage des côtes;
- Une grande variabilité spatiale, et inter annuelle des précipitations avec des précipitations plus faibles dans la partie sud, un nombre de jours de pluie très limité (moins de 50 jours sur une grande partie de la zone) et des épisodes de sécheresses périodiques et fréquents dont la durée peut dépasser trois années successives est observée;
- Des températures moyennes annuelles élevées, dépassant les 20°C dans le sud et plus douces le long du littoral. Ceci est lié au niveau élevé du rayonnement solaire parvenant à la région. Ces éléments entraînent une forte évapotranspiration.
- Les données climatiques relevées dans la région durant le 20ème siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les 40 dernières années.

Ces données montrent aussi une augmentation nette de la fréquence des sécheresses et inondations. Ainsi, la sécheresse est passée d'une fréquence tous les dix ans au début du siècle à cinq à six années de sécheresses en dix ans actuellement.

Cette nouvelle situation est accentuée par la nature excessive des rares années humides avec une pluviométrie très forte et répartie sur une courte période de l'année : ainsi des centaines de millimètres d'eau tomber dans des régions arides en quelques jours et rien pour le reste de l'année. Un sol aride, une érosion forte, un ruissellement excessif, sont des caractéristiques de cette région qui favorisent des catastrophes naturelles en relation avec ces fortes précipitations et ces inondations (IISD, 2003).

I.1.3 Perspectives en cas de changements climatiques

Les modèles de circulation générales; même s'ils ne sont pas assez précis pour cette région, ne disposant pas de modèle à maillage centré sur celle-ci; convergent tous pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° à 4° durant le 21ème siècle avec en particulier plus de 1°C de réchauffement entre 2000 et 2020 selon des études réalisées pour le Maroc et l'Algérie.

Par contre les estimations des différents modèles concernant l'avenir des précipitations convergent peu.

Elles indiquent cependant :

- Une perturbation probable des régimes pluviométriques (répartition spatio-temporelle);
- Une tendance très légère à la baisse.

Un exemple est donné de ce que les changements peuvent causer comme dégâts, L'Algérie a connu la plus terrible inondation de son histoire du 10 au 14 novembre 2001. Frappant principalement Alger, cet événement météorologique extrême fera 751 victimes dont plus de 700 à Alger, et occasionnera des dégâts estimés à 300 millions USD. Le nombre de personnes déplacées sera de 24 000 et plus de 2 700 habitations seront sévèrement endommagées. Entre 40 000 et 50 000 personnes perdront leurs habitations et près de 109 routes seront endommagées. Seize autres départements seront affectés à un degré moindre par ce phénomène d'une rare violence durant lequel Alger enregistrera en quelques heures l'équivalent de la pluie totale mensuelle. Les vents atteindront 120 km/h. Le phénomène avait fait l'objet d'une prévision des services météorologiques algériens et étrangers, mais l'ampleur des dégâts humains et matériels est certainement en relation avec la violence d'un phénomène classé comme l'un des plus sévères de ces 40 dernières années (IISD, 2003).

D'autres inondations ont touchées de 2007 à 2010 d'autres régions du pays avec des dégâts humains et matériels comme celles de Bechar en 2007 et Ghardaïa en 2009

I.1.4 Contexte socio-économique

La démographie de la région est importante. Elle a connu une croissance significative ces dernières décennies : La population de trois pays de cette région (Algérie, Maroc, Tunisie) est passée de moins de 60 millions en 1994 à près de 65 millions en l'an 2000 a atteint en 2010 plus de 72 millions d'habitants.

Cette croissance démographique s'est accompagnée d'une urbanisation rapide et parfois anarchique avec l'apparition de grandes villes dont les infrastructures ne répondent guère aux besoins de base des populations en particulier dans des domaines touchant à l'hygiène et la qualité de vie des citoyens : eau potable, assainissement, déchets urbains, qualité de l'air.

L'exode rural a été fort durant ces dernières décennies en particulier en liaison avec l'évolution climatique de ses années. On est ainsi passé d'une population plutôt rurale dans les années 70 (plus de 60 % de la population était en milieu rural) à une population plutôt urbaine. (Plus de 60 % de la population est aujourd'hui urbaine) ce qui peut nous renseigner sur l'étroite liaison qui existe en l'évolution du climat et le cadre de vie.

Dans ces pays la vie des populations est très liée au climat et de ses fluctuations. L'économie est très dépendante de l'eau, de l'agriculture, du tourisme, du littoral. Ainsi le développement socio-économique dans chacun de ses pays pourtant peu émettrice de gaz à effet de serre est sérieusement menacé (IISD, 2003).

I.1.5 Des ressources naturelles fragiles

Les ressources naturelles de la région sont importantes mais très fragiles et vulnérables :

1.1.5.1 Ressources en eau

- 53 milliards de m³ d'eau mobilisables dans ces trois pays : principalement des eaux de surface avec un niveau de mobilisation autour des 60 %;
- Une utilisation principale en Agriculture 80 %, Eau potable (13 %) et Industrie (7 %);
- Trois pays à stress hydrique (moins de 1000m³/hab./an), l'Algérie et la Tunisie, étant plus près de la pénurie, (moins de 500 m³/hab./an).
- Des écoulements rapides et parfois violents et un transport solide significatif : de 500 à 2 000 tonnes/km²/an;
- Une qualité des eaux parfois à la limite des normes;
- Un niveau de nappes en forte baisse ces dernières années avec une salinisation de certaines nappes côtières (IISD, 2003).

1.1.5.2 Sols, végétation et agriculture

L'agriculture de la région est très importante et très diversifié . Elle est très sensible aux variations du climat :

- Des zones fertiles et bien arrosées au Nord avec parfois des petites forêts;
- Une végétation du type steppique avec dominance de l'Alfa dans les régions arides du centre et du sud ;
- Des oasis plantés de palmiers dattiers dans le sud;
- Un potentiel important en terres à vocation agricole (terres cultivables, forêts, nappes alfatières, terres de parcours) : pour l'Algérie et le Maroc en particulier;

- Une agriculture principalement pluviale : soumise aux aléas climatiques;
- Une érosion forte avec une grande dégradation des sols;
- Des rendements de cultures pluviales en chute : réduction du rendement des céréales,
- pouvant atteindre les 50 % pour les périodes de sécheresse;
- Un accroissement des besoins en eau pour l'irrigation et une diminution de la production agricole par manque d'eau ces dernières années;
- Une désertification accélérée particulièrement au sud de la région;
- Une forêt limitée qui connaît une exploitation peu rationnelle avec, comme conséquence, une déperdition des réserves forestières (IISD, 2003).

I.1.5.3 Environnement urbain

L'environnement urbain a été beaucoup touché par les changements climatiques et a subi beaucoup de changements.

- Un développement notable d'habitats insalubres autour des grandes villes;
- Un assainissement liquide et solide très peu performants dans les grandes villes particulièrement en Algérie et au Maroc et ce, par manque tant au niveau des réseaux que des stations de traitement;
- Une qualité de l'air dans les villes très critique certaines périodes de l'année particulièrement à Alger, Casablanca et Tunis (IISD, 2003).

I.1.5.4 Secteur de l'eau

Pour ce qui est du secteur de l'eau, l'analyse faite au niveau du Maghreb a mis en exergue les risques suivants :

- Diminution probable des écoulements des eaux;
- Modification du régime hydrologique saisonnier avec des impacts sur l'efficacité de certains aménagements hydrauliques et agricoles;
- Augmentation de l'évapotranspiration et donc de la salinité des eaux;
- Baisse du niveau des nappes et augmentation de la salinité des eaux souterraines côtières; et des eaux de surface plus chaudes, moins aérées, à débits plus réduits et donc moins capable de diluer et de biodégrader certaines pollutions.

Une recherche très intéressante menée sur l'un des plus stratégiques bassins versant du Maroc, le bassin de l'Ouergha qui alimente le plus grand barrage du royaume : barrage Al Wahda.

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Un modèle hydrologique simulant les ruissellements à l'exutoire de ce bassin tenant compte des précipitations, des températures de l'air a été développé, calibré et validé pour ce bassin. Dans une seconde phase de cette recherche cet outil a été utilisé pour estimer le devenir de ces ruissellements en cas de changements climatiques en y intégrant les températures nouvelles prévues par les modèles de circulation générale.

Différents scénarios ont été testés pour ce qui est des températures de l'air et des précipitations allant de 1 à 4°C de réchauffement et de 0 à 10 % de diminution en précipitations.

Sur l'ensemble des scénarios testés avec ce modèle, la diminution des ruissellements annuels pouvant résulter de ces changements climatiques, et donc des apports dans ce barrage a été évaluée entre 4 et 25 %.

Ce modèle donne des chiffres alarmant Pour les prochaines années (horizon2020) ou l'élévation des températures envisagée a été estimée à 1°C et en supposant constant le niveau des précipitations l'évolution des ce ruissellements serait de l'ordre de -10 %.

Si les résultats obtenus par ce modèle et surtout avec une diminution des ruissellements annuels de 10%, ce qui vaut une perte d'un barrage par an que pour les bassins versants du nord.

Même s'il faut prendre ses résultats avec précaution du fait que les modèles réalisés dépendent de beaucoup de paramètres pas encore complètement maîtrisés (IISD, 2003).

I.2 LA SECHERESSE

Un phénomène extrême résulte de ses changements climatiques qu'est la Sécheresse, un phénomène qui se reproduit plus fréquemment ces dernières années et qui provoque des conséquences aussi désastreuses qu'une inondation.

La sécheresse peut être définie comme un état d'aridité provoqué par des précipitations plus faibles que la normale pendant une période prolongée. Elle commence par une diminution du taux humidité du sol, puis des réserves de surface et de la nappe phréatique. En période de sécheresse, la croissance des plantes ralentit, et il faut restreindre la consommation, à des fins domestiques, municipales, agricoles et industrielles, des réserves de surface et de la nappe phréatique. Une sécheresse perturbe momentanément l'écosystème et favorise la propagation de certains insectes nuisibles et de maladies chez les végétaux et les animaux (Ait Mouhoub, 1998).

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, la sécheresse est définie comme étant « un déficit de pluviosité par rapport à une moyenne établie sur une longue durée, affectant de grandes surfaces pendant une ou plusieurs saisons ou années, et qui réduit notablement la production primaire des écosystèmes naturels et l'agriculture pluviale » (Organisation Météorologique Mondiale, 2009)

Plusieurs études ont été menées par des chercheurs et scientifiques pour analyser ce phénomène et connaître les paramètres qui influent sur la sécheresse.

De plus, la sécheresse est un phénomène complexe et mal compris. Elle affecte cumulativement l'être humain et son environnement.

Pour un Hydrologue, la sécheresse peut être considérée comme étant le facteur principal qui cause la réduction des approvisionnements en eau, y compris l'écoulement superficiel, ou/et les approvisionnements d'eaux souterraines.

En résumé, la sécheresse est une situation de déficit en eau suffisante pour avoir un effet inverse sur la végétation, les animaux et l'homme.

Naturellement, le risque sécheresse peut affecter d'abord l'agriculture et l'élevage. Il peut avoir aussi des conséquences sur les consommations urbaines et industrielles dès lors que les ressources mobilisables pour ces consommations deviennent insuffisantes ou doivent être rationnées. La sécheresse conduit alors à une pénurie conjoncturelle

Au-delà des difficultés sémantiques, il s'agit là d'un phénomène redoutable, peut-être le plus grave dans les affrontements homme - nature, et désormais au premier rang des préoccupations en matière de risques, notamment en Méditerranée (Albergel, 1987).

I.2.1 Historique de la sécheresse

Plusieurs scientifiques ont étudié la sécheresse dans le monde, des sécheresses frappent le monde entier depuis des millions d'années. On découvre l'existence de sécheresses préhistoriques en étudiant les anneaux de croissance des arbres, les sédiments des lacs et océans et les carottes de glace des glaciers. Récemment, de grandes sécheresses se sont abattues sur les prairies de l'Amérique du Nord dans les années 30, le Sahel (région semi-désertique entre l'Éthiopie et le Sénégal) dans les années 70 et les années 80, la Grande-Bretagne en 1975-1976, la Californie en 1976-1977 et le Sud-Est des États-Unis en 1986, la France en 2003 et la Russie en juillet et août 2010 avec une sécheresse jamais connue auparavant suivie d'inondations quelques jours après. La sécheresse est apparue dans les années 80 dans tous les pays de la méditerranée (Journal Le monde, Août 2010).

La sécheresse n'a pas épargné la région la plus humide du Brésil pendant l'été 2010, l'Amazonie. A Manaus, la capitale régionale, l'Amazone est à son niveau le plus bas depuis 1963. Les enfants jouent dans le lit asséché du Quarenta, un affluent du fleuve qui traverse la ville (Journal Le monde, Août 2010).

La situation est plus grave à un millier de kilomètres de là, dans la région du Haut-Solimoes, l'affluent qui, en s'unissant à Manaus avec le Rio Negro, forme l'Amazone. Plusieurs localités ont dû fermer leurs ports à la navigation pour préserver la sécurité des passagers. Certains cours d'eau sont presque à sec, rendant la navigation impossible (Koullm Guillomie et Al, 2005).

Cette sécheresse confirme l'accentuation des écarts saisonniers des débits de l'Amazone. En 2009, le plus puissant fleuve du monde avait connu une crue historique mais il est impossible d'établir un lien direct entre le changement climatique mondial et les évolutions de l'Amazone. Une chose est sûre néanmoins : la variabilité climatique amplifie les situations extrêmes (Journal Le monde, Août 2010).

Pour notre Pays plusieurs sécheresses ont touché l'Algérie et les plus importantes sont :

De 1945 à 1947 l'Algérie a connu une terrible sécheresse surtout au Sahara, où il n'est même pas tombé les 80 ou 90 mm de pluie observée en temps normal. Dans le Sud Oranais, dans la région de Ain Sefra on a eu à déplorer, selon des sources officielles, environ 3000 morts de faim sur une population de 80 000 habitants et 900 000 moutons, soit 90% du cheptel ont péri. Vingt ans plus tard, au début de l'année 1966, on a constaté en Algérie que la pluviométrie la plus basse enregistrée depuis 1945, et cette sécheresse n'a permis, dans beaucoup de régions de pays ni des semailles normales, ni la germination convenable après les semailles (Vaillant, 1977).

Une étude sur l'évolution climatique de l'Algérie du Nord a été réalisée en 1994. Les auteurs se sont basés sur l'utilisation du paramètre précipitation, qui est reconnu comme étant le paramètre le plus représentatif et le plus caractéristique du phénomène de la sécheresse (Meklati, 2009).

Afin de mettre en évidence l'évolution temporelle des précipitations, des calculs statistiques ont été effectués sur un échantillon de 120 stations pluviométriques réparties sur le nord de l'Algérie. Cette étude a montrée l'existence des périodes sèches et des périodes humides entre 1922 et 1992 (Meklati, 2009).

Dont il apparaît :

- Une période humide de 1922 à 1939 ;
- Une période sèche de 1939 à 1948 ;
- Une période humide de 1948 à 1972 ;
- Une période sécheresse accentuée de 1973 à 1992.

Les périodes sèches confirment l'accentuation des sécheresses des années 1910/1920 et celle de 1938/1948. Ces sécheresses ont été la cause de la famine et des incendies de forêt (Demmak et Al, 2001).

Pour l'épisode 1973/1992, un déficit pluviométrique qui s'accroît de l'Est vers l'Ouest, passant de 17% à l'Est à 33% à l'Ouest, D'autre part, les effets de cette sécheresse dévoilent nettement leurs effets néfastes sur la ressource hydrique dont on a enregistré des diminutions importantes sur les écoulements et les apports aux barrages ; un abaissement des niveaux piézométriques des nappes, un assèchement des puits de faible profondeur et le tarissement des sources (Ait Mouhoub, 1998).

En effet, ces sécheresses vécues en Algérie ont touchées l'ensemble de l'Afrique du Nord et de l'Ouest.

En 2001, une étude similaire à celle citée ci-dessus confirme la tendance à la sécheresse pour la période 1975 à 1998, et les effets de cette sécheresse sont analogues aux effets de la sécheresse 1973/1992, dont l'ampleur de déficit pluviométrique est estimé à 20% à l'Ouest et 11% à l'Est (Demmak et Al, 2001).

En 2002, un événement météorologique a traversé le pays et a donné naissance à une sécheresse accentuée, qui a touchée tout le territoire Algérien et a provoqué une pénurie d'eau surtout dans les grands centres urbains comme Alger et Oran, dont l'opinion publique s'est retrouvée face à des conditions sérieuses de carence d'eau ce qui a poussé les responsables à enclencher le plan Orsec (Kettab et Al, 2004).

I.2.1 Types de sécheresse

I.2.1.1 Sécheresse météorologique

On en mesure l'intensité en comparant la quantité des précipitations reçues par rapport à la quantité normale de précipitations. Pour évaluer une telle sécheresse, il faut tenir compte de facteurs comme la quantité totale de précipitations reçues pendant une période donnée (semaine, mois, année), le temps écoulé entre les pluies substantielles et l'époque à laquelle elles sont tombées (Organisation Météorologique mondiale, 2009).

I.2.1.2 Sécheresse agricole

Causede par la sécheresse météorologique, elle s'aggrave avec les pertes dues à l'évapotranspiration. La jachère diminue la gravité d'une sécheresse agricole en maintenant dans le sol l'humidité emmagasinée l'année précédente. Une sécheresse météorologique ne provoque pas nécessairement une sécheresse agricole et cela dans les régions où l'eau d'irrigation reste accessible et les réserves d'eau abondantes (Organisation Météorologique mondiale, 2009).

I.2.1.3 Sécheresse hydrologique

Elle correspond à une diminution des réserves d'eau dans les cours d'eau, les réservoirs de surface et la nappe phréatique. La sécheresse hydrologique est causée par un manque de précipitations accompagné d'une évaporation massive. Cependant, des facteurs non météorologiques, comme la demande en eau, la disponibilité de réservoirs de surface et le forage de puits artésiens, en aggravent l'effet (Organisation Météorologique mondiale, 2009).

I.2.2 Conséquences de la sécheresse

Les sécheresses hydrologiques affectent tous les secteurs économiques et peuvent altérer les systèmes, écologiques. Dans les zones où l'approvisionnement en eau est déjà rare, les sécheresses peuvent aggravées les conflits d'usage c'est-à-dire engendrent un déséquilibre entre les besoins économiques, humains et environnementaux

Plusieurs chercheurs ont étudié les diverses manifestations de la sécheresse qui se traduisent par :

Le déficit hydrique des sols avec dessèchement des litières sous forêt et, en périodes végétatives des cultures et des prairies engendre une sécheresse agricole : (Meklati, 2009)

- L'abaissement des niveaux piézométriques lié à un déficit de régénération des nappes, qui est parfois considérable;
- La diminution du débit des rivières avec une perte de vitesse d'écoulement d'où une décantation des matières en suspension, et une augmentation de la concentration des matières dissoutes;
- L'augmentation du pouvoir évaporant en l'atmosphère qui agit sur la demande en eau donc sur le bilan hydrique;

- L'augmentation de la température de la masse d'eau, qui entraîne un accroissement de la végétation aquatique (prolifération des algues) et une diminution des teneurs en oxygène dissous d'autant plus important si la masse d'eau est polluée et, par conséquence l'accentuation de l'eutrophisation dans les systèmes de stockage d'eau (Chillasse, 1990).

Il faut aussi considérer que des conséquences graves sur l'alimentation des populations peuvent être déséquilibrées et c'est le résultat direct dû aux difficultés de traitement à cause de la forte pollution organique des eaux brutes.

Les conséquences des sécheresses sur l'agriculture sont fatales. L'on sait d'ores et déjà que la sécheresse a eu des effets sur l'élevage et différentes récoltes. Bien entendu les cultures non irriguées sont les plus touchées.

Des scientifiques ont étudié les conséquences écologiques de la sécheresse, dont ils ont estimés que ce phénomène a des conséquences directes sur les zones humides, d'où l'abaissement des niveaux des lacs et les débits des rivières, provoquant des crises écologiques plus ou moins aiguës. Baisse des courants et du taux d'oxygène, réchauffement et forte minéralisation des eaux, eutrophisation du milieu, avec possibilité de disparition d'espèces des eaux froides au profit d'espèces thermophiles. Les cours d'eau vont subir ainsi des pertes écologiques irréversibles de disparition considérable de leur valeur piscicole (Journal Le monde, Aout 2010)

D'une manière indirecte la sécheresse a des effets sur le plan socioéconomique; tel que le déclenchement des exodes ruraux qui manifestent pour le gonflement brutal des centres urbains (comme cité pour l'exemple du Maghreb) provoquant ainsi un accroissement excessif d'eaux usées, et de la demande de l'eau potable et industrielle. Pendant ce temps, la demande en eau d'irrigation n'a pas cessé d'augmenter (Albergel, 1987).

I.2.3 Travaux réalisés sur la sécheresse

Des experts internationaux se sont réunis à Beijing (Chine) les 16 et 17 février 2009 pour examiner la question des sécheresses, dont la fréquence et l'intensité ne cessent d'augmenter dans le monde au même titre que les vagues de chaleur. Une bonne quarantaine de scientifiques provenant d'instituts de recherche climatologique et agronomique, d'universités et d'organismes de surveillance de l'environnement ont pris part à l'Atelier international sur les sécheresses et les températures extrêmes organisé conjointement par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et l'Administration météorologique chinoise.

Plusieurs exposés présentés lors de l'atelier ont fait état de la vague de chaleur et des incendies de forêt qui ont frappé récemment l'Australie, où sévit une sécheresse persistante.

Il se peut que l'aggravation de la sécheresse en Australie ne soit qu'un phénomène climatique temporaire, quoiqu'étalé sur 10 à 30 ans, dans la mesure où, comme l'ont indiqué plusieurs experts, cette situation s'est déjà produite par le passé dans d'autres régions du monde. Mais la multiplication récente des sécheresses et des vagues de chaleur en Australie cadre bien avec les conclusions du quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental OMM/PNUE sur l'évolution du climat (GIEC), selon lesquelles les sécheresses sont devenues plus fréquentes dans le monde ces 25 dernières années. Plusieurs intervenants ont décrit les caractéristiques de certaines sécheresses et vagues de chaleur comme celles qui ont touché l'Europe en 2003 et le sud-est de l'Australie en 2009, et aussi la sécheresse qui sévit actuellement dans le nord et le centre de la Chine, la pire du dernier demi-siècle.

D'après les projections climatiques établies pour le XXI^e siècle, il faut s'attendre à une augmentation de la fréquence des grandes sécheresses aux États-Unis (partie continentale) et au Mexique, dans le bassin méditerranéen, dans certaines régions du nord de la Chine, en Afrique australe et en Australie ainsi que dans certains pays d'Amérique du Sud. D'après le GIEC, les fortes vagues de chaleur devraient se multiplier un peu partout, en particulier dans l'Ouest des États-Unis d'Amérique, en Afrique du Nord, au Moyen-Orient, en Asie centrale, en Afrique australe et en Australie.

L'atelier a débouché sur plusieurs recommandations concernant les moyens de faire face aux problèmes que les sécheresses et les températures extrêmes posent pour l'agriculture, l'élevage et l'exploitation forestière. L'une d'elles vise à mettre au point un indice de sécheresse normalisé applicable à un large éventail d'activités agricoles de par le monde. Les participants à l'atelier ont vivement recommandé que l'OMM s'attache dans les plus brefs délais à définir des méthodes et à mobiliser des ressources pour établir un tel indice (Organisation Météorologique mondiale, 2009).

D'autres recommandations visent à mieux anticiper les sécheresses, à promouvoir des stratégies plus rationnelles face au manque d'eau telles que le recours à de nouvelles variétés culturales résistantes à la sécheresse, la récupération de l'eau, la micro-irrigation et l'agroforesterie, et à utiliser plus efficacement l'eau souterraine pour les besoins de l'agriculture. Pour mettre en œuvre à bon escient ces stratégies de parade, il faudra apprendre à tirer le meilleur parti de l'information météorologique et climatologique et des systèmes d'alerte rapide.

Les participants à l'atelier ont souligné la nécessité de renforcer les capacités nationales de collecte et de traitement des données et des informations relatives aux catastrophes naturelles telles que les sécheresses, d'encourager le recours à des produits d'assurance-récolte et de choisir les variétés culturales en fonction de la variabilité et de l'évolution du climat. Il faudra de plus en plus tenir compte de l'impact des changements climatiques sur l'intensité et la durée des sécheresses, en particulier dans les pays qui sont aujourd'hui encore relativement épargnés, et s'employer aussi à resserrer les liens entre les agriculteurs et les services de vulgarisation agricole. (Organisation Météorologique mondiale, 2009)

Plusieurs études ont été réalisées pour contribuer à analyser le phénomène de la sécheresse parmi les régions les plus étudiées la région du Sahel en Afrique qui subit des périodes de sécheresses très fréquentes.

Sur une étude de l'impact de la sécheresse sur le sahel il a été conclu que après les très forts déficits pluviométriques des années 1983 et 1984 et ce après la sécheresse de 1972 – 1973 la région Soudano Sahélienne n'a jamais retrouvé une pluviométrie des années antérieures et se caractérise par un affaiblissement des totaux pluviométriques jamais encore observés, tant par son intensité, sa persistance et son extension géographique. Les conséquences sur les grands systèmes hydrologiques ont été impressionnantes:(Albergel, 1987)

- Effondrement des débits des grands fleuves comme le Sénégal, le Niger ou l'ensemble des grands cours d'eau tropicaux.
- Le bouleversement des systèmes lacustres; lac Tchad, delta intérieur du Niger.
- La baisse généralisée de tous les aquifères importants.

Une autre étude sur les conséquences d'une sécheresse provoquée par les changements climatiques a été réalisée pour la région du sahel, mais pour cette étude les résultats obtenus sont à prendre avec des pincettes du fait que même si certains modèles prévoient le contraire au Niger par exemple le niveau des nappes phréatiques a augmenté (Koumoum et Al, 2005).

Ce qui a été conclu de cette étude est que la sécheresse a été aggravée dans cette région de l'Afrique par le fait que malgré la présence abondante d'eaux souterraines. Elles ne sont que très peu exploitées à cause de la profondeur des nappes et ce que, ça peut engendrer comme dépenses. En plus de ce facteur y a d'autres facteurs humains qui peuvent rendre la sécheresse encore plus désastreuse comme par exemple l'état des sols qui ne retiennent pas l'eau de pluie quand ils sont dans un état dégradé causé par la négligence de l'homme.

Enfin ils ont conclu que même si la sécheresse est le résultat de changements climatiques, les conséquences de cette sécheresse seront nettement déterminées par des facteurs anthropiques et économiques ce qui rend toute étude d'impact difficile à large échelle.

Le sud de l'Europe et particulièrement l'Espagne est touché par la sécheresse durant ses dernières années, Une étude sur le sud Est de l'Espagne a traité du problème et l'apparition d'une des périodes les plus sèches du 20e siècle, ce qui a provoqué une baisse remarquable des débits des cours d'eaux. L'étude de tendances appliquée à quatre stations pluviométriques représentatives (Grenade, Almeria, Murcie et Alicante) montre que la tendance à la baisse est généralisée. Trois des stations ont enregistré des changements brusques. L'étude des dernières décennies montre que les précipitations sont réduites de 9.2 et 11.7% à Grenade et à Almeria respectivement, entre 1980 et 1989 (Wenseclao, 2007).

La diminution en 1990–1999 est généralisée; et pendant la même période, la variabilité interannuelle augmente avec des valeurs comprises entre 37 et 49%. Cette variation s'est répercutée sur les rivières, dont trois enregistrent une réduction du débit moyen mensuel d'environ 34% pendant la période 1980–2003 par rapport à la décennie 1969–1979.

La baisse généralisée des niveaux, l'assèchement des sources, l'abandon de nombreux puits et captages, et la salinisation des sols et des eaux sont les effets d'une exploitation intensive des eaux souterraines dans le Sud Est espagnol au cours de ses 40 dernières années qui a été l'effet climatique le plus remarquable (Wenseclao. M, 2007).

Pour l'Algérie, des études ont traité de la sécheresse, une de ses études était de confirmer la persistance du phénomène de la sécheresse dans la région de la capitale Alger.

L'étude consiste à mettre en évidence la représentation graphique des indices normalisés des précipitations annuelles et mensuelles d'une part et l'étude des variations annuelles des écarts des apports moyens annuels à l'apport moyen interannuel.

Les données de précipitations et les apports des Oueds sont fournis amiablement par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), dont ces données concernent la station hydrométrique de Beraki de 1979 à 2003.

Ce qui a été remarqué après analyse de ses données est que entre 1976 et 1978 nous avons enregistré un déficit pluviométrique de 16% par rapport à la valeur moyenne des précipitations interannuelles d'une part et un déficit sur l'écoulement des Oueds qui est de 48% pour la même période d'étude. Cela expliqué par une corrélation directe entre les précipitations et les apports des Oueds.

Entre 1981 et 1984, la région d'Alger a subi trois années sèches consécutives dont le déficit pluviométrique moyen pour cette période est de 22%.

La période à travers laquelle nous avons enregistré la plus longue période de sécheresse (plusieurs années sèches consécutives) est entre 1987 et 1994 telle que l'ampleur de déficit hydrique a atteint 17%.

Après cette période, nous avons enregistré des années de forte pluie telle que la hauteur annuelle de précipitations a touché les 700 mm puis elle a diminué durant la période 1998 et 2002 où les précipitations n'ont pas dépassé les 450 mm, synonyme d'un déficit pluviométrique de 25% (Meklati, 2009).

Ainsi, ces sécheresses ont provoquées des perturbations cruelles sur l'équilibre du système hydrique dans la région d'Alger et par conséquent des crises d'eau réelles et répétitives qui ont troublées le bilan besoin - ressource et ont engendré des préjudices socioéconomiques.

En conclusion à cette étude, la ressource en eau a été souvent aggravée par les effets des différentes sécheresses en Algérie qui a vécu le climat de la partie Sud de la méditerranée. L'absence de pluie pendant la saison d'automne de 2001 et, aussi pendant la saison d'hiver 2002, a rendu la situation de l'approvisionnement en eau potable particulièrement critique dans les grands centres urbains de l'Algérie et en particulier dans la capitale et ses périphéries. Ainsi, l'ensemble des barrages qui alimentent Alger, en l'occurrence le barrage de Keddara, Hamiz et Beni Amrane; se sont retrouvés presque à leur niveau de volume mort avec un volume stocké en fin janvier 2002 d'environ 8.8 millions de m³, soit une baisse jamais atteinte depuis leurs mise en service. La même situation s'est présentée pour le barrage de Hamiz avec un volume de 1.91 millions m³ et celui de Beni Amrane, qui s'est trouvé avec un volume de 1.18 millions m³ (Meklati, 2009).

Cette sécheresse avait provoqué un plan orsec pour essayer de maîtriser la situation, même si depuis 2002 à ce jour, la situation s'est nettement amélioré avec des précipitations abondantes au niveau de tout le nord Algérien, mais notre pays n'est pas à l'abri d'autres sécheresses qui pourront se répéter et qui pourront durer ce qu'on n'espère pas pendant plusieurs années consécutives ce qui va rendre la situation très délicate. (Meklati. A, 2009).

Une autre étude fort intéressante a été réalisée pour traiter de la sécheresse sur les régions du littoral Algérien, Plusieurs régions du littoral Algérie ont été prises en considération pour cette étude qui appartiennent aux bassins 04 à l'ouest, 02 au centre et 03 à l'est avec des séries pluviométriques de 48 années d'observation (1954 - 2001).

Une étude de la sécheresse par simulation a permis de remarquer une période humide de 1954 à 1986 et une période sèche de 1987 à 2001. L'Algérie a classé l'année 1988/1989 comme année sèche et le déficit pluviométrique a été bien remarqué à l'ouest (à Ghazaouet notamment) et les barrages de Beni Bahdel et Mafrouch se sont asséchés durant le mois de juin 1988, Les régions du Centre et de l'Ouest ont eu un déficit pluviométrique supérieur à 50% et à l'Est, il était de 30%, durant ces deux dernières décennies (Kettab et Al, 2004).

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Les barrages en exploitation à travers le territoire national algérien souffrent d'une insuffisance caractérisée dans leur exploitation due particulièrement au manque de moyens matériel et financière.

A la fin de cette étude plusieurs solutions d'urgence ont été proposées pour protéger la ressource en eau et cela surtout pour les barrages qui souffrent d'une mauvaise exploitation : (Kettab et Al, 2002).

- ✓ Travaux de protection (lutte contre l'envasement, traitement des bassins versant, correction torrentielles, construction de petites retenues pour piéger la vase et lutter contre l'érosion et la pollution ;
- ✓ Maintenance des équipements hydromécaniques (réfection des équipements électriques, électromécaniques et hydromécaniques) ;
- ✓ Entretien et auscultation des ouvrages (travaux de confortement et réfection des réseaux d'auscultation) ;
- ✓ Formulation et perfectionnement du personnel chargé de l'exploitation.

Enfin, et pour y remédier aux problèmes de manque d'eau, il faut adapter la technologie des installations, sensibiliser l'opinion publique et démonter les moyens sur le plan local, national et international pour une meilleure gestion en fonction des conditions climatiques d'une région.

CONCLUSION

Cette étude bibliographique a permis de faire le tour de la question et de donner un aperçu sur ce qui se fait dans le monde ou en Algérie pour étudier le phénomène de la sécheresse. Tout le monde s'accorde à dire que la sécheresse est une menace majeure pour la ressource en eau et ses fréquences de répétitions ses dernières années font craindre le pire.

Au niveau mondial le problème de la sécheresse fait l'objet de plusieurs travaux et l'état d'alerte a été donné pour essayer de trouver un remède à ce problème qui menace tout le globe terrestre. Au niveau national, les études sur la sécheresse existent mais restent insuffisantes surtout pour certaines régions de l'Algérie, le problème en Algérie réside dans le manque de données pluviométriques et surtout climatologiques dans certaines régions du pays.

II CHAPITRE II : CADRE DE L'ETUDE

Le bassin versant de l'Oued Isser a été choisi afin d'étudier la sécheresse et ses impacts sur les ressources naturelles du bassin, vu l'importance que requiert ce bassin de par l'existence d'ouvrages hydrauliques importants qui alimentent la capitale en eau potable ainsi que les wilayas avoisinantes. Contribuer à l'étude d'un phénomène climatologique qui menace une ressource aussi importante que l'eau ne peut qu'aider les décideurs et ce pour protéger cette ressource naturelle.

II.1 GEOGRAPHIE

Le bassin de l'Isser est situé au Centre - Nord de l'Algérie, avec une superficie totale de 4 149 Km², ce qui vaut à 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois - Hodna - Soummam avec une population totale estimée en 2030 à 812 291 habitants.

Il est limité comme suit:

- A l'Est, par le bassin de la Soummam;
- Au Sud, par le bassin du Hodna;
- A l'Ouest, et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Le bassin versant de l'Oued Isser au droit du barrage de Beni Amrane draine une superficie de 4126 km².

Le bassin versant Isser est situé environ à 70 Km au Sud Est d'Alger. Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud -Ouest /Nord-Est.

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Aribes d'altitude 550 m.

Le bassin versant de l'Oued Isser dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m a une altitude moyenne de 710 m

Le cours d'eau principal parcourt une distance de 98,2 km.

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

Chapitre II : CADRE D'ETUDE

Bas Isser: il est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité comme suit:

- Au Nord par la mer Méditerranée;
- Au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;
- Au Nord-Est par le Massif de Cap Djinet;
- A l'Est par les Massifs Raicha et Chender;
- A l'Ouest par les Massifs de Thénia.

Haut et Moyen Isser: la plaine du Haut et Moyen Isser est limitée comme suit:

- Au Nord par le Massif de Beni Amrane;
- A l'Est par l'oligocène de Drâa El Mizane;
- A l'Ouest par les formations oligocènes du Djebel Bou Zegza.

Le plan de situation du bassin versant est représenté dans la figure II.1



Figure II-1 : Plan de situation du BV de Isser

II.1.1 Découpage administratif

Le bassin de l'Isser couvre quatre wilayas en partie:

- Médéa
- Bouira
- Boumerdes
- Tizi Ouzou

Il compte 50 communes et 114 agglomérations.

La répartition des communes, des agglomérations et de la population dans le bassin de l'Isser figure dans le tableau II.1 :

Tableau II-1: Evaluation de la population par wilaya

WILAYA	Nombre de Communes	Nombre d'agglomérations	Population (hab) ONS 1998	Estimation Nombre d'Habitants				
				2010	2015	2020	2025	2030
Médéa	24/36	22	339 397	347543	350936	354330	357724	361118
Bouira	16/45	39	210 538	235803	246329	256856	267383	277910
Boumerdes	8/32	37	168 388	212842	231365	249888	268410	286933
Tizi Ouzou	2/67	16	45 108	46191	46642	47093	47544	47995
TOTAL	50	114	763 431	781753	789388	797022	804656	812291

Source DHW

Le nombre d'habitants dans les 50 communes du BV des Issers était de 763 431 habitants en 1998 et l'estimation pour l'année 2030 est de 812 291 habitants.

II.1.2 Découpage hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est l'une des plus importantes caractéristiques d'un bassin versant.

Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux, que sont :

- **La géologie** : qui de par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. La structure de la roche, sa forme, ses failles, ses plissements, forcent le courant à changer de direction.
- **Le climat** : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

- **La pente du terrain:** elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.
- **La présence humaine :** le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin Isser ont conduit à la formation d'un réseau hydrographique dense dont la mer Méditerranée constitue l'exutoire. Il draine les apports de **05** sous bassins présentés dans le tableau II.2 :

Tableau II-2 : Superficies des Sous bassins de l'Isser

Code	Sous bassin	Superficie (Km ²)
0901	OUED MELAH KHERZA	666
0902	OUED MELAH YAGOUR	774
0903	OUED ZEROUA	1 132
0904	OUED ISSER MOYEN	1 031
0905	OUED ISSER MARITIME	546
Total	05	4 149

Source AHRH

L'oued Isser coule en direction Sud - Nord. Ses principaux affluents sont:

- ✓ Les oueds Soufflat et Djemaa amont qui se jettent dans l'oued Isser en amont de Lakhdaria;
- ✓ Les oueds Bouhamoud et Djemaa aval qui rejoignent l'Isser au niveau de l'Isser ville.

Facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau (oueds principaux et affluents), la classification des cours d'eau du réseau hydrographique est très importante pour décrire le développement du réseau de drainage d'un bassin versant.

LE HAUT ISSER

On y trouve deux principaux cours, l'Oued MELLAH et l'Oued ISSER. L'Oued ISSER est formé par la réunion de l'Oued EL HAMMAM issu de calcaires marneuses de crétacé inférieur de BERROUGHIA et de l'Oued MELLAH qui draine 1/3 de la superficie du ce bassin.

LE MOYEN ISSER

Il est drainé par les Oueds:

- ✓ DJEMAA à l'Est.
- ✓ BOU-HAMMOUD à l'Ouest.
- ✓ ISSER au milieu.

LE BAS ISSER

Le bas ISSER est traversé par l'oued ISSER et quelques affluents à l'Est et à l'Ouest de celui-ci. Le réseau hydrographique est présenté sur la figure II.2.



Figure II-2 : Réseau Hydrographique du BV de Isser (ANRH)

II.2 GEOLOGIE

II.2.1 Morphologie du bassin

II.2.1.1 Lithologie

Notre région d'étude fait partie de l'Atlas tellien complexe de par sa lithologie et sa structure. Du point de vue géologique, cette zone est constituée de plusieurs structures tectoniques, qui se répartissent du Nord au Sud comme suit :

Au Nord, dans le massif Kabyle, les pointements de roches du socle métamorphique recouverts par une nappe allochtone de flyschs créacés et paléogènes, d'autre part, elles sont recouvertes en discordance stratigraphique par des formations autochtones tertiaires et quaternaires ; tandis que le flysch allochtone est surmonté par des terrains néogènes et quaternaires.

Au Sud, dans les limites des sous zones de la chaîne calcaire et des nappes de flysch, les formations les plus répandues sont les terrains méso-cénozoïques qui constituent une structure complexe en nappes imbriquées.

La structure géologique de la région d'étude est marquée par la présence de terrains métamorphiques précombriens, recoupés par des intrusions de roches basiques et acides, ainsi que par la présence de formations sédimentaires plus récentes.

Pour l'étude géologique, on se limitera à une description lithologique du bassin versant afin de connaître le degré d'érodabilité et de dégradation.

LE HAUT ISSER

Le haut ISSER est constitué à 60% de formation marneuse et marno- calcaire appartenant au créacé inférieur, moyen et supérieur.

Les argiles et sable rouge de l'aquitaniens continental occupent 13 % du bassin.

On y trouve également des alluvions en terrasses du quaternaire continental. Ces formations occupent 12% de la surface du bassin. Des pointements triasiques dans le créacé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah.

Ces marnes qui constituent 69 % de la superficie totale, se fissurent et craquellent par déshydratation pendant la saison sèche. Elles s'altèrent sur plusieurs centimètres en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui partent en débâcle aux premières averses orageuses de la saison de pluie. Ces formations sont assez facilement érodables. (Figure II.3).

LE MOYEN ISSER

La description lithologique du bas ISSER et moyen ISSER est extraite de la carte de géologie.

Les schistes argileuses, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grès occupent 70 % du moyen ISSER. Ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen de supérieur.

L'oligocène marin dont les formations sont représentées par des conglomérats, grès et marnes constituent 13.41% de la superficie totale de bassin.

Le miocène inférieur est représenté par des grès et marnes ; ces formations constituent 4 % du bassin.

Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6,90% de la superficie totale. (Figure II.3).

Notons la présence des traces de trias marin ou lagunaire formant 0,6 % du bassin.

Le moyen ISSER présente en général des formations meubles, facilement érodables.

LE BAS ISSER

Le bas ISSER est constitué de 43.15% des formations marneuses des grès et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grès et des marnes constituant 14,91% du bas ISSER.

Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19,84% de la superficie totale.

Le crétacé inférieur occupe 2,11 % du bassin. Ces formations sont représentées par des schistes argileuses, des marnes grises et des grès ; Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6 % du bas ISSER.

Les granites forment 1.93 % de la superficie totale. Ces formations dures 'conglomérats et granites' donnent au bas ISSER, la caractéristique du moins érodable en comparaison avec le haut ISSER.

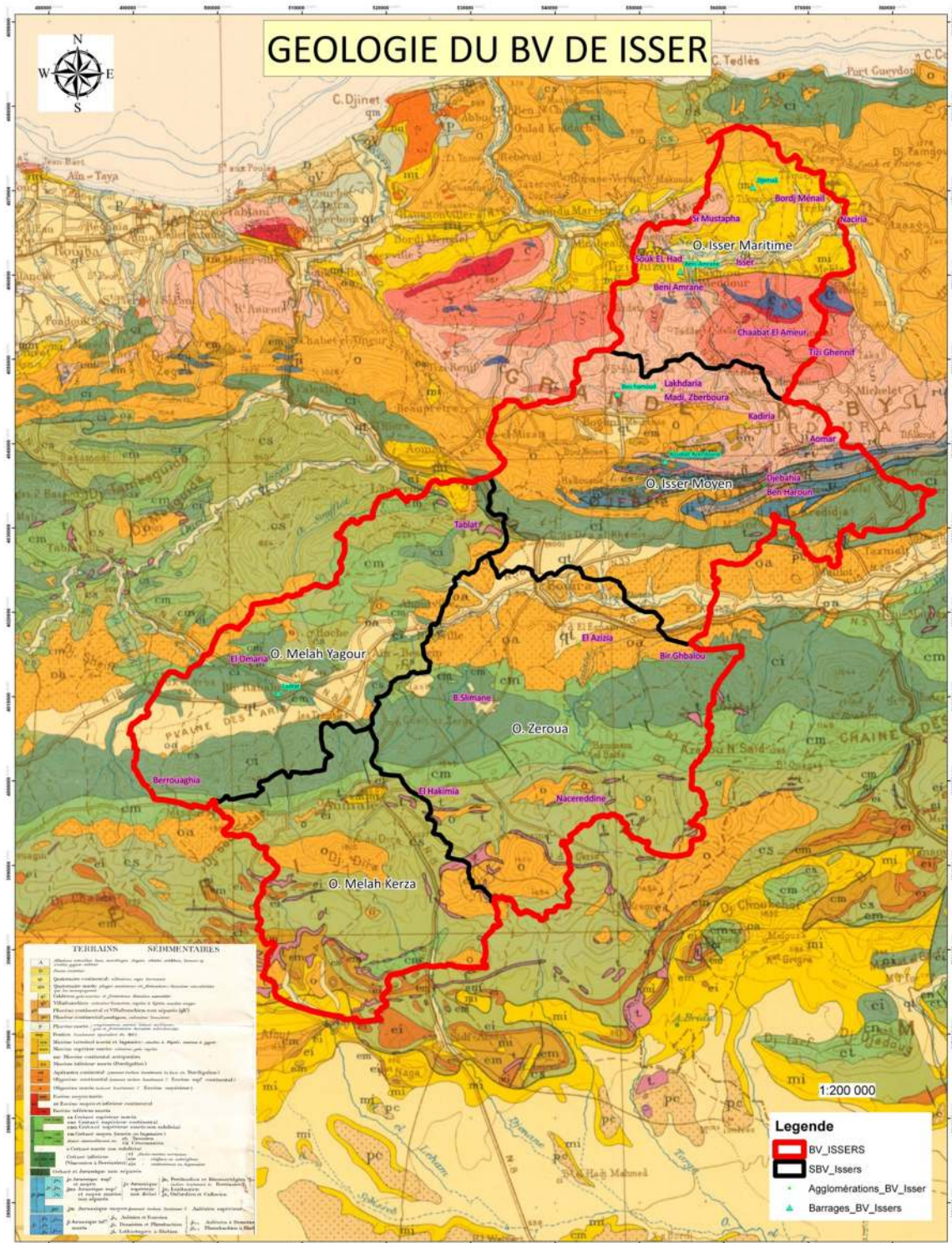


Figure II-3 : GEOLOGIE DU BV DE ISSER

II.3 TOPOGRAPHIE

II.3.1 Le Haut ISSER

Le haut ISSER dont les lignes de crête se situent entre 1200-1800 m à une altitude moyennes 843 m, 50% de la surface est comprise entre les altitudes 700- 1100 m.

Il Nord- Ouest est moins élevée, son altitude passe de 1240 m au KEF-R'MEL à 1971 au Bou mali.

L'arrête présente deux arrêtes principales orientées, Sud – Ouest et Nord –Est. L'arrête Sud –Ouest est plus élevée et passe de 1460m à KEF LAKHDAR CHERGUI à la cote 1810 au BJEBLE DIRA, point culminant du bassin. (Zeggane, 2005).

II.3.2 Le Moyen ISSER

Le relief est plus au moins accentué. Il se situe entre l'altitude 900 à la station LAKHDARIA à 1265m au BJEBLE FOUDA.

II.3.3 Le Bas ISSER

Les altitudes du bas ISSER sont comprises entre 0-1031 m sur la bordure du massif occidental du DJURDJURA. Il présente une topographie accentuée.

La figure II.4 représente un modèle numérique terrestre du bassin versant Isser.

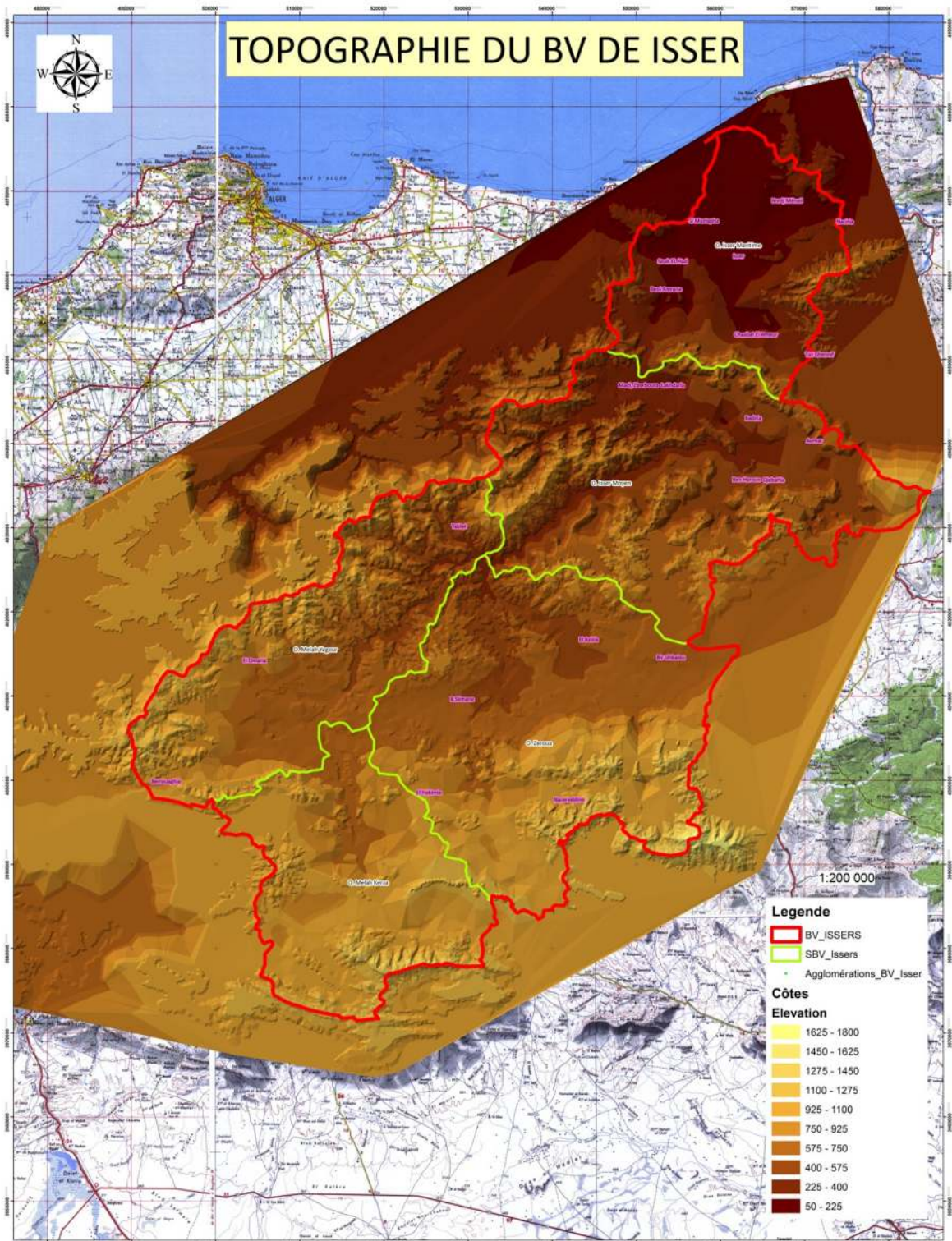


Figure II-4 : Modèle Numérique de la Topographie du BV de Isser

II.4 PEDOLOGIE

Afin de différencier le sol et d'après une étude dans le bassin de l'oued ISSER, les types de sols qui ont été recensés sont les suivants :

Dans la présente étude, nous avons présenté une synthèse des résultats des études antérieures dont la plupart ont été réalisées par l'ANRH. Cette présentation prend en considération les points suivants:

- Situation de l'étude (localisation, superficie, échelle de cartographie,...)
- Une classification des sols du point de vue géomorphologique, lithologiquement chimique.
- Aptitudes culturales des sols.
- Catégories des sols.

La classification des sols en zone homogènes, adoptée par l'ANRH, selon leurs aptitudes à la mise en valeur en irrigué a dégagé cinq catégories dont les trois premières représentent les sols irrigables :

- **Catégorie I** : sols profonds, de texture moyenne à fine, bien structurés et bien drainés à topographie régulière et à pente faible.
- **Catégorie II** : sols peu profonds de texture moyenne à fine, bien structurés jusqu'à une profondeur moyenne, d'une topographie régulière et pente faible.
- **Catégorie III** : sols profonds ou moyennement profonds à texture moyenne fine ou très fine, généralement bien structurée jusqu'à moyenne profondeur. La topographie est régulière ou moyennement ondulée, la pente peut aller jusqu'à 5%
- **Catégorie IV** : sols à profondeur variable. La texture est grossière à très fine, leur structure peut être défavorable. La topographie est peu ondulée et la pente peut atteindre 10%.
- **Catégorie V** : sols à profondeur insuffisante avec présence de croûte à faible profondeur. La topographie est défavorable : pente trop forte, relief accidenté.

II.4.1 Résultats des études antérieures

II.4.1.1 Plaine de Sidi Lakhdar

Situation : d'une superficie totale de 12 000 ha, couvrant les deux régions de Berrouaghia et Souagui, cette zone d'étude est limitée :

- Au Nord, par les hauteurs des Djebels Soebbah, Rharbi et M'Saidins ;
- Au Sud, par une série de Draas très érodés (Médar, El Mergueb, El Faibi) ;

➤ *Classification des sols*

L'étude pédologique a fait ressortir sept classes de sols ce qui montre l'hétérogénéité de cette région. Les classes de sols ainsi retenues sont les suivantes (les superficies ne sont pas renseignées par l'étude):

Vertisols – sols calcimagnésiques – sols peu évolués – sols à sesquioxydes de fer – sols minéraux brutes – sols hydromorphes – sols isohumiques.

➤ *Aptitudes culturales*

L'étude des sols avec la carte pédologique a permis d'établir une carte d'aptitude culturale où sont distinguées cinq zones différentes :

- Sols aptes à certaines cultures arbustives possibles en sec et aux cultures annuelles et fourragères (1 900 ha).
- Sols aptes aux cultures annuelles et fourragères possible en sec avec exclusion des cultures arbustives (2 350 ha).
- Sols aptes aux fourrages (prairies permanentes) avec drains recommandés (250 ha).
- Sols dont la meilleure utilisation est la forêt avec localement des sols aptes aux cultures annuelles et fourragères (4 300 ha).
- Sols non cultivables (3 400 ha).

➤ *Catégories de sols*

La classification des sols selon leurs aptitude à la mise en valeur en irriguée est présentée dans le tableau II.3 :

Tableau II-3 : Catégories des sols - Plaine de Sidi Lakhdar

Catégories de sols	I	II	III	IV	V
Superficie (ha)	1900	2350	250	1700	5800
Sols irrigable (I+II+III)	4 500				

Source ANRH

II.4.1.2 Vallée de l'Isser

Situation : La zone d'étude renferme la basse et la moyenne vallée de oued Isser ainsi qu'une partie du plateau côtier de Mandoura.

- la plaine de la basse vallée est comprise entre la mer et Souk El Had ;
- la moyenne vallée englobe les plaines de Kadiria et de Lakhdaria.

➤ *Classification des sols :*

L'étude pédologique a fait ressortir six classes distinctes. Les classes des sols ainsi retenues sont :

Sols minéraux brutes – sols peu évolués – vertisols – sols calcimagnésiques – sols à sesquioxydes de fer et sols hydromorphes.

➤ *Aptitudes culturales :*

L'étude des aptitudes culturale a classé les sols en trois catégories comme suit :

- Sols convenant bien à moyennement à toutes cultures arbustives, industrielles, maraîchères et céréalières (4 600 ha).
- Sols convenant bien à moyennement aux cultures industrielles, céréalières et maraîchères. Les cultures industrielles exclues (2843 ha).
- Sols convenant moyennement aux cultures maraîchères et céréalières (272 ha).

➤ *Catégories des sols*

La classification des sols selon leurs aptitude à la mise en valeur en irriguée est présentée comme suit :

Tableau II-4 : Catégories des sols - Vallée de Isser

Catégories de sols	I	II	III	IV	V
Superficie (ha)	1 125	1 742	4 087	1 015	1 615
Sols irrigable (I+II+III)	6 954				

Source ANRH

II.4.1.3 Vallée du Bas Isser

Situation : L'étude pédologique de la vallée du l'Isser a fait l'objet d'une étude de détail avec une échelle de précision de 1/10 000. Cette étude a concerné une superficie de 9 000 ha et a fait ressortir les résultats suivants :

➤ *Classification des sols*

Les classes de sols identifiées sont au nombre de six avec une classe dominante qui est les sols peu évolués comme le montre le tableau II.5 :

Tableau II-5 : Classifications des sols - Vallée du bas Isser

Classe de sols	Superficie (ha)	Superficie (%)
Sols minéraux bruts non climatiques	504	5,6
Sols peu évolués	6 615	73,5
Vertisols	387	4,3
Sols hydromorphes	540	6,0
Sols calcimagnésiques	189	2,1
Sols à sesquioxydes de fer	765	8,5

Source ANRH

➤ *Aptitudes culturales*

Toutes les cultures peuvent être pratiquées sur tous les sols investigués. Mais le moyen Isser peu se particularise par les cultures arbustives.

➤ **Catégories des sols**

La classification des sols selon leurs aptitude à la mise en valeur en irriguée est présentée dans le tableau II.6 :

Tableau II-6 : Catégories des sols - Vallée du bas Isser

Catégories de sols	I	II	III	IV	V
Superficie (ha)	2142	1110	2062	444	2255
Sols irrigable (I+II+III)	5 314				

Source ANRH

II.4.1.4 Plaine des Arribs - Beni Slimane

Situation : La région d'étude occupe la haute plaine des Arribs (plaine d'Ain Bessam et de Beni Slimane) située entre l'Atlas Tellien au Nord et la chaîne montagneuse d'Aumale au Sud. La plaine des Arribs – Beni Slimane s'étend parallèlement à la chaîne montagneuse de l'Atlas Tellien dans la direction Est – Ouest sur une superficie de 42 279 ha.

➤ **Classification des sols**

Les sols de cette zone d'études sont représentés par six classes comme le montre le tableau II.7 :

Tableau II-7 : Classifications des sols - Plaine des Arribs - Beni Slimane

Classe de sols	Superficie (ha)	Superficie (%)
Sols minéraux bruts	2811	6,6
Sols peu évolués	10 780	25,5
Vertisols	1761	4,2
Sols calcimagnésiques	564	1,3
Sols à sesquioxyde de fer	25 605	60,5
Sols hydromorphes	778	1,8

Source ANRH

➤ *Aptitudes culturales*

Selon la carte d'aptitude culturale, les sols de la plaine des Arribs – Beni Slimane sont classés globalement dans trois catégories :

- Sols convenant bien à moyennement aux cultures arbustives, industrielles, céréalières et maraîchères (16 330 ha).
- Sols convenant bien à moyennement aux cultures industrielles, céréalières et maraîchères (10 284 ha). Les cultures arbustives sont exclues.
- Sols convenant moyennement aux cultures céréalières et maraîchères (9 133 ha).

➤ *Catégories des sols*

La classification des sols selon leurs aptitude à la mise en valeur en irriguée est présentée comme suit :

Tableau II-8 : Catégories des sols - Plaine des Arribs - Beni Slimane

Catégories de sols	I	II	III	IV	V
Superficie (ha)	1 478	5 789	11 405	11 207	4 170
Sols irrigable (I+II+III)	18 672				

Source ANRH

II.4.1.5 Plaine de Sidi Naamane

Situation : La région étudiée est située aux piémonts des collines délimitant une partie des bassins versants des oueds Ladrat et Besbes. Elle est limitée au Nord par oued Ladrat, à l'Est par oued Melah, au Sud par Djebel Maamar et au Nord – Ouest par oued Besbes. La zone est un plateau qui s'étale entre 600 et 700 m d'altitude sur une superficie de 10 000 ha.

➤ **Classification des sols**

Les sols de cette région sont répartis entre cinq classes comme le montre le tableau II.9 :

Tableau II-9 : Classification des sols - Plaine de Sidi Naamane

Classe de sols	Superficies (ha)	Superficies (%)
Sols minéraux bruts	1 357.75	13,4
Sols peu évolués	965.35	9,5
Sols calcimagnésiques	2 372.50	23,3
Sols à sesquioxydes de fer et de manganèses	4 857	47,8
Sols isohumiques	616.75	6,1

Source ANRH

➤ **Aptitudes culturales**

Trois zones de sols ont été distinguées en fonction de leurs aptitudes culturales qui sont les suivantes :

- Couvrant une superficie de 186.25 ha, ce sont des sols qui conviennent bien aux cultures arbustives rustiques (olivier, figuier, etc.).
- D'une superficie de 1860 ha, des sols convenant moyennement aux cultures arbustives rustiques.
- Sur une superficie de 9 123 ha, ce sont des sols qui conviennent aux cultures annuelles.

➤ *Catégories des sols*

La classification des sols selon leur aptitude à la mise en valeur en irriguée est présentée comme suit :

Catégories de sols	I	II	III	IV	V
Superficie (ha)	11	139	1 685	1 055	1 197
Sols irrigable (I+II+III)	1 835				

Source ANRH

II.4.2 Conclusion

Il en ressort d'après cette synthèse que les ressources en sols dans le bassin Isser sont estimées à 58 149 ha dont 30 321 ha irrigables, soit 52%.

Par ailleurs, un programme d'actualisation de cet inventaire est en cours d'élaboration par l'ANRH avec le recours aux systèmes d'information géographique SIG. Ce travail permettra d'apporter plus de précisions sur les potentialités en sols et les superficies irrigables et d'avoir un accès rapide et précis à l'information.

La figure II.5 donne un aperçu sur les études pédologiques réalisées au niveau du bassin Isser.

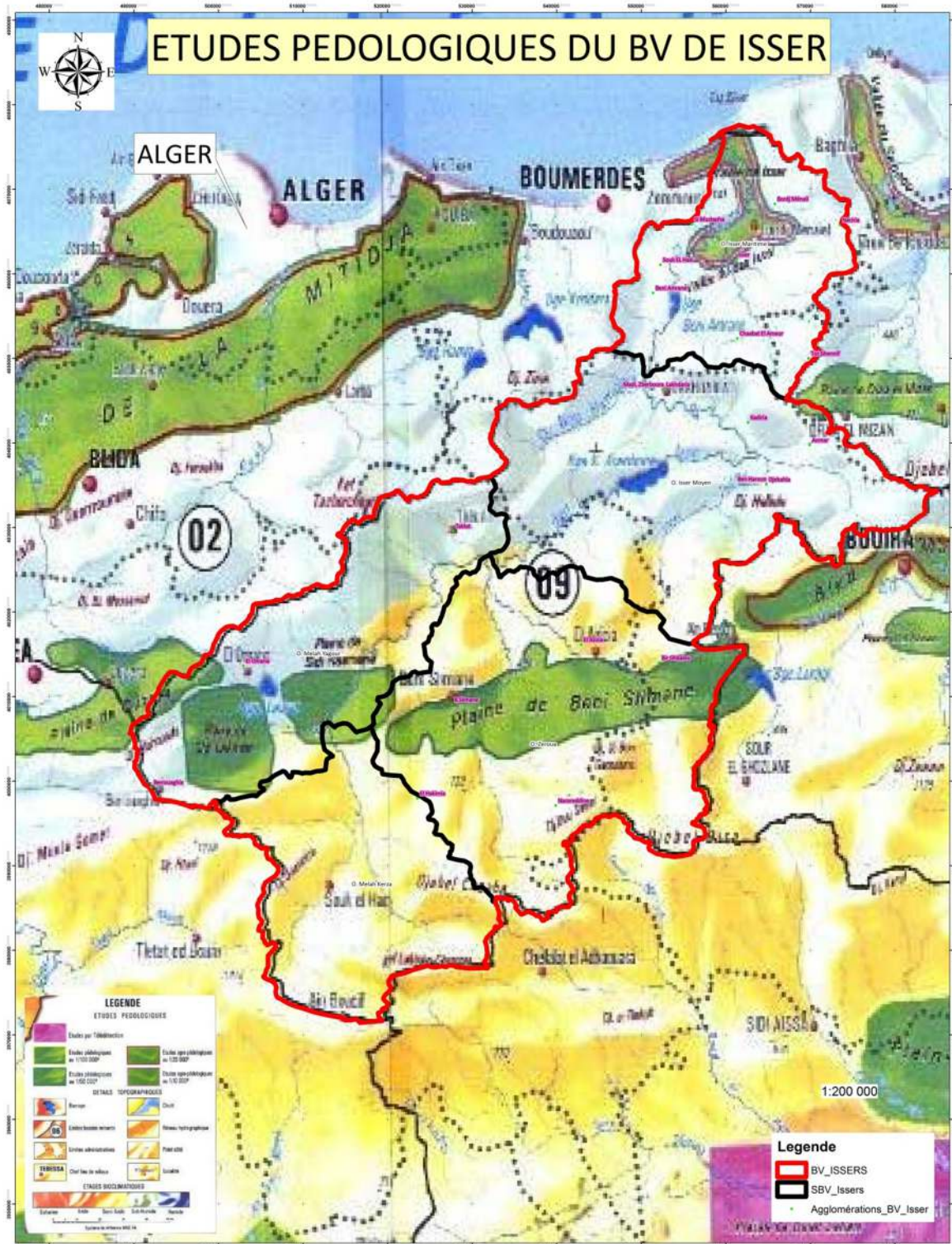


Figure II-5 : Etudes pédologiques et Agro pédologiques dans le BV de Isser (ANRH)

II.5 VEGETATION

II.5.1 Le haut ISSER

La caractéristique la plus apparente en étudiant le bassin est l'absence d'une couverture végétale arbustive dense, ce qui favorise le phénomène de l'érosion et provoque des dégâts tels que, les pertes des terres cultivables et l'envasement des ouvrages hydrauliques existants au niveau de ce bassin. (Zeggane, 2005).

Les collines marneuses du haut ISSER sont couvertes des cultures céréalières, maraîchères et fourragères et de l'arboriculture fruitière mais en faible quantité. Les versants abrupts sont dénudés ou couverts de broussailles clairsemées, on y trouve surtout du Pin d'Alep et le chêne vert. Figure II.5.

II.5.2 Le moyen ISSER

Les cultures annuelles occupent la quasi-totalité des terres agricoles de moyen ISSER, Les plaines, tout en long d'oued ISSER sont couvertes des cultures maraîchères et d'arboricultures fruitières. Les collines sont occupées par la céréaliculture et l'arboriculture.

On note que le moyen ISSER manque d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistes les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées.

II.5.3 Le bas ISSER

On rencontre le même problème de végétation arbustive dans le bas ISSER.

Les cultures annuelles dominant la majeure partie basse du bassin à savoir l'arboriculture fruitière, fourragère et aussi céréalicultures qui occupent les plaines.

Les collines sont couvertes d'une grande partie de céréaliculture et fourragère. Quant aux montagnes et les piémonts, on y trouve de l'olivier et autres espèces forestières.

II.6 RESSOURCES EN EAU

II.6.1 Eaux superficielles

II.6.1.1 Potentialités

Les potentialités en eaux superficielles du bassin de l'Isser ont été estimées dans le cadre de l'étude du plan national de l'eau pour une période de référence allant de 1910 à 1993.

La lame d'eau moyenne annuelle pour toute la surface du bassin est estimée à 165 mm ce qui donne un potentiel en eau superficielle de 729 Hm³, soit 17% des potentialités en eau superficielle du bassin Algérois-Hodna-Soummam, le tableau II.10 résume les potentialités en eau superficielle du Bassin versant de Isser :

Tableau II-10 : Potentialités en eau superficielle du bassin Isser (période 1910-1993)

Bassin versant	Code	Superficie (Km ²)	Débit spécifique (mm/an)	Apport annuel (Hm ³ /an)
Isser	09	4 149	165	729

Source ANRH

II.6.1.2 Mobilisations

- **BARRAGES**

Le bassin versant de l'Isser compte actuellement deux barrages en exploitation à savoir : Beni Amrane et Ladrat totalisant une capacité de 26 Hm³ (estimation ANBT 2003).

Par ailleurs, on note l'existence d'un barrage en cours de réalisation (Koudiat Acerdoune) d'une capacité totale de 640 Hm³.

Avec les ouvrages existants, projetés et en cours d'étude, le bassin de l'Isser est contrôlé à raison de 92 % de sa superficie. Le pourcentage de régularisation attendu de l'ensemble de ces ouvrages est de 100 % représentant environ 290 Mm³/an. Mais Une partie significative de ressources additionnelles provient du bassin voisin 02b Sebaou grâce au transfert depuis l'ouvrage de prise de Draa El Kiffan dans le barrage de Djemaa aval ; une autre partie est transférée directement vers le bassin 02a à partir du bassin 09 depuis le barrage de Beni Amrane et le cas échéant de Koudiat Acerdoune.

En cas de bilan besoins-ressources négatif, les possibilités de mobilisation complémentaire sont très faibles : un site pourrait être recherché sur l'oued Soufflat ainsi qu'une amélioration des performances de la prise de Beni Amrane.

a) Ouvrages Opérationnels

Barrage Beni Amrane: Avec une capacité actuelle de 6 Hm^3 , cet ouvrage de prise implanté sur l'oued Isser, est situé à 5 km environ à l'amont de la ville de Thenia, dans la wilaya de Boumerdès. Les apports de l'oued Isser, sont estimés à 414 Hm^3 pour une superficie du bassin versant de $3\,710 \text{ km}^2$. Après la réalisation du barrage Koudiat Acerdoune, implanté sur le même oued, le barrage Beni Amrane ne drainera que les apports du bassin Intermédiaire soit 370 km^2 . Il est conçu de manière à fournir un stockage de l'oued Isser afin de faciliter le pompage d'eau brute vers les réservoirs de Keddara et éventuellement directement à la station de traitement de Boudouaou.

Barrage Ladrat: Le barrage Ladrat implanté sur l'oued Ladrat, se trouve à l'Est de Médéa à 5 km environ au Sud-Ouest d'El Oumaria dans la wilaya de Médéa. Les apports de l'oued Ladrat au niveau du barrage sont estimés à 8 Hm^3 pour une superficie du bassin versant de 73 km^2 . D'une capacité actuelle de 9 Hm^3 , ce barrage est destiné à l'irrigation du périmètre de Ladrat.

Barrage Koudiat Acerdoune: la mise en eau de ce barrage a été faite la saison passé, ce barrage est situé dans la commune de Maala wilaya de Bouira. En Plus de sa participation à la régularisation du système Isser-Kaddara, ce barrage est destiné à l'alimentation en eau potable de 14 centres urbains et 34 localités à travers le territoire des wilayas : Bouira, Tizi Ouzou, Médéa et M'sila et à l'irrigation de $3\,000 \text{ ha}$ du périmètre du moyen Isser ainsi qu'au renforcement de la mise en valeur hydro-agricole du périmètre de la Mitidja Centre et Est.

b) Ouvrages en Etude :

Le barrage El Mellah sur l'oued Eponyme dans la partie amont du bassin, contrôle un bassin versant de 180 km^2 . Avec des apports annuels estimés à 8 Mm^3 , cet ouvrage est en mesure de régulariser annuellement environ $6.5 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Cet ouvrage est destiné à l'AEP et l'irrigation.

Le barrage de Djemaa aval sur l'oued Djemaa, affluent rive droite de l'oued Isser à l'aval de Beni Amrane, contrôle un bassin versant de 120 km^2 où les apports annuels sont de 16 Mm^3 . Sa capacité utile de 176 Mm^3 , il est surdimensionné afin de stocker les eaux provenant de la prise de Draa El Kiffan sur l'Oued Sebaou dans le bassin 02b Sebaou.

Le volume annuel transféré depuis Draa El Kiffan pourrait être d'environ 96 Mm^3 et le volume total ainsi régularisé d'environ $115 \text{ Mm}^3/\text{an}$, destinés à l'AEP d'Alger, l'AEP de Boumerdes et à l'irrigation du périmètre Isser. Les études d'APD de ces ouvrages sont achevées.

c) **Etudes programmées**

Les études du barrage de Bouhamoud sur l'oued Eponyme ou Kara affluent rive gauche de l'oued Isser à l'aval de Koudiat Acerdoune, doivent débiter prochainement ; de ce fait ses caractéristiques ne sont pas encore connues. La superficie du bassin versant et les apports sont respectivement de l'ordre de 140 km^2 et de 22 Mm^3 . Le volume régularisé de 13 Mm^3 est destiné à l'AEP et l'irrigation.

Les caractéristiques de ces barrages figurent dans le tableau II.11 :

Tableau II-11 : Caractéristiques des barrages en exploitation

Nom du barrage	Code du barrage	Code SBV	Wilaya	Commune	Coordonnées (m)			Oued	Sup B.V (Km ²)	Type de barrage	Année M.E.S
					X	Y	Z				
Beni Amrane	BG0901	0905	Boumerdès	Beni Amrane	570 100	369 750	90	Isser	3 710	Enrochement	1988
Ladrat	BG0902	0902	Médéa	El Omaria	533 300	326 550	650	Ladrat	73,50	Terre	1989

Nom du barrage	Apport moy (Hm ³ /an)	Volumemoy annuel (Hm ³)	Capacité initiale (Hm ³)	Volume utile initial (Hm ³)	Volume Rég initial (Hm ³ /an)	Capacité totale actuelle (Hm ³)	Volume utile actuel (Hm ³)	Volume Rég actuel (Hm ³ /an)	Usage	Volume affecté (Hm ³ /an)
Beni Amrane	414	4,10	16,00	11,60	Trans-Keddara	6,00	ND	ND	Trans-Keddara	110
Ladrat	8	-	10,00	6,80	4,70	29,00	ND	ND	-	4,70

Chapitre II : CADRE D'ETUDE

Nom du barrage	Taux d'envasement mesuré (%)	État	Hauteur Hors sol du barrage (m)	Côte NNR (m NGA)	Côte PHE (m NGA)	Tour de prise		
						Nombre	Diamètres	Débit (m ³ /s)
Beni Amrane	ND	En Exploitation	40	63,50	63,90	02	2 000	7,2
Ladrat	ND	En Exploitation	37	675,60	679,80	03	400	ND

Nom du barrage	Levés bathymétriques (1986)										
	H (m)										
Beni Amrane	H (m)	47	49	51	53	54	56	58	60	63,50	63,90
	S (Km ²)	0,19	0,29	0,41	0,52	0,62	0,81	1,01	1,22	1,63	1,68
	V (Hm ³)	0,79	1,37	2,21	3,17	4,00	5,82	7,95	10,36	15,60	16,33
Ladrat	H (m)	655	660	665	665,90	970	675,80	680			
	S (Km ²)	0,12	0,22	0,44	0,46	0,64	0,88	1,06			
	V (Hm ³)	0,40	1,20	2,80	2,80	5,40	10,50	14,00			

SOURCE : ANBT

Chapitre II : CADRE D'ETUDE

Nom du barrage	Code du Barrage	Code SBV	Wilaya	Commune	Coordonnées (m)			Oued	Sup B.V (Km ²)	Type de barrage	Année M.E.S
					X	Y	Z				
K. Acerdoune	BG0903	0904	Bouira	Maala	580 150	354 700	217	Isser	2 800	BCR	-

Nom du barrage	Apport moy (Hm ³ /an)	Envasement moy annuel (Hm ³ /an)	Capacité initiale (Hm ³)	Volume utile initial (Hm ³)	Volume Rég initial (Hm ³ /an)	Usage	Volume affecté (Hm ³ /an)
K. Acerdoune	246	ND	640	450,00	178	AEP-AEI-IRRIG	

Nom du barrage	Etat	Hauteur Hors sol du barrage (m)	Côte RN (m NGA)	Côte PHE (m NGA)	Tour de prise		
					Nombre	Diamètres	Débit
K. Acerdoune	Construction	110	311,00	317,60	03	ND	ND

Chapitre II : CADRE D'ETUDE

Nom du barrage	Levés bathymétriques												
	H (m)	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
K. Acerdoune	S (Km ²)	0,90	2,10	3,30	5,30	7,30	9,40	11,50	14,10	17,70	21,10	24,70	27,90
	V (Hm ³)	5,00	24,00	48,00	94,00	152,00	241,00	339,00	471,00	626,00	815,00	1038,00	1291,00

SOURCE : ANBT

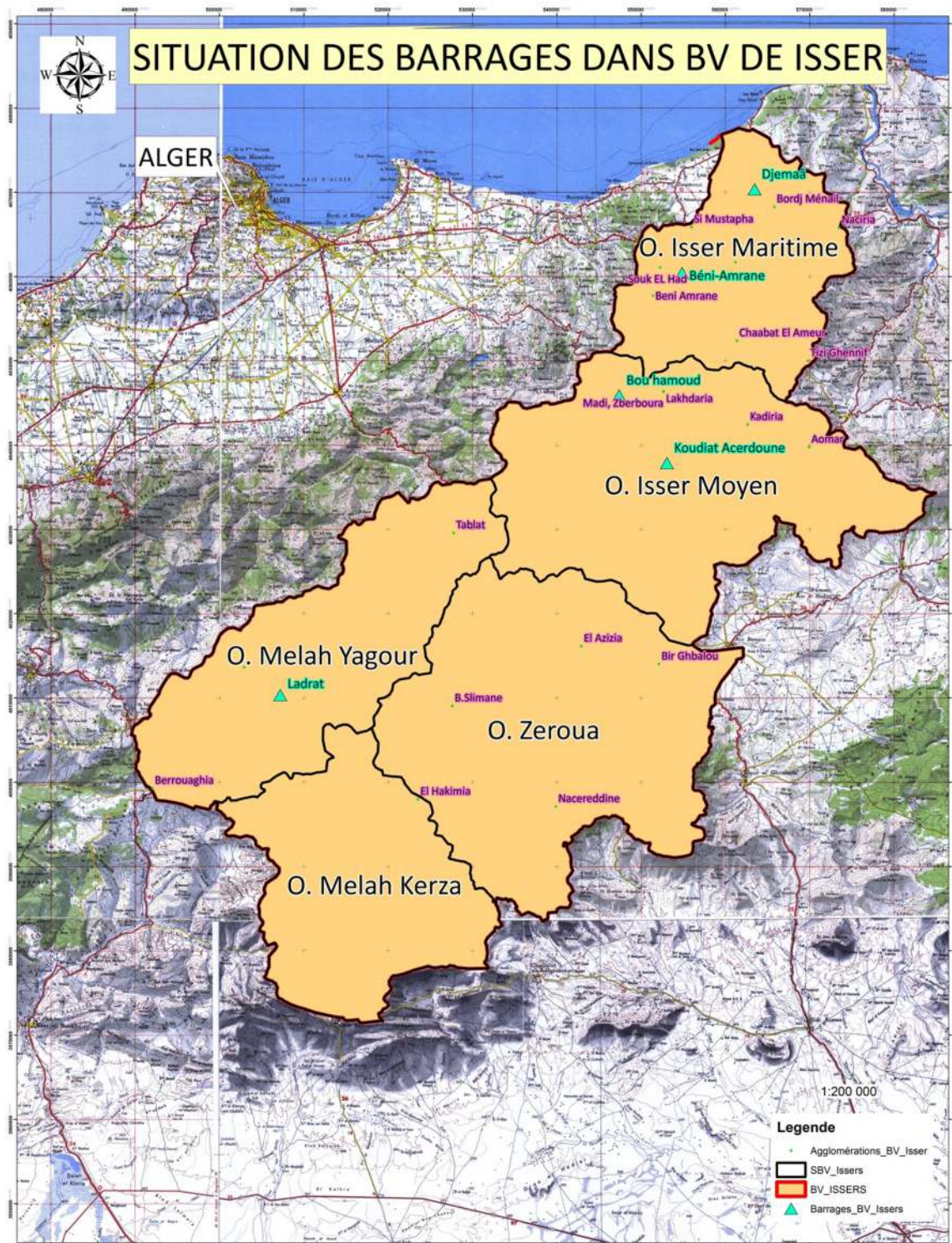


Figure II-6 : Implantation des barrages dans le BV de Isser

• **PRESENTATION DES RETENUES COLLINAIRES**

La réalisation de retenues collinaires n'a connu un véritable essor qu'à partir de l'année 1982 où un grand programme d'étude et de réalisation de ce type d'ouvrage a été initié par le secteur de l'hydraulique visant la satisfaction des besoins des petites exploitations agricoles.

Les retenues collinaires dans le bassin de l'Isser sont au nombre de 52 retenues totalisant une capacité de l'ordre de 10 hm³.

La répartition par wilaya de ces retenues par wilaya est donnée dans le tableau II.12:

Tableau II-12 : Retenues collinaires et leurs capacités par wilaya

Wilaya	Retenues collinaires	
	Nombre	Capacité x1000 m ³
Tizi Ouzou	4	630
Boumerdes	12	1 080
Bouira	7	592
Médéa	29	7 949
Total	52	10 245

DHW 2009

II.6.2 Eaux souterraines

II.6.2.1 Description hydrogéologique du bassin d'Isser

Les principales unités hydrogéologiques qui constituent le bassin versant des Issers peuvent être présentées de la manière suivante :

- Unité hydrogéologique du haut et moyen Isser.
- Unité hydrogéologique du bas Isser.
- Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs.
- Unité hydrogéologique de l'oued Mellah.

II.6.2.2 Unité hydrogéologique du haut et moyen Isser

Elle se situe dans le bassin de l'Oued Isser, et s'étend sur une superficie de 101 Km².

Les limites d'extensions de la nappe aquifère se confondent avec celles des terrasses alluviales.

Les travaux géophysiques et les forages ont permis de déterminer les épaisseurs des formations Alluviales. Nous pouvons distinguer deux zones dans le moyen Isser selon l'épaisseur des alluvions :

Une zone située en amont de Lakhdaria ou l'épaisseur moyenne des alluvions est de 15 m.

Une zone située à proximité des Gorges de Lakhdaria, ou l'épaisseur moyenne des Alluvions est de 8 à 10m, mais peut atteindre par endroits 15 à 20 m.

Les résultats des travaux hydrogéologiques mettent en évidence la relation hydraulique étroite avec l'Oued dans la zone du moyen Isser.

II.6.2.3 Unité hydrogéologique du Bas Isser

La plaine alluviale du bas Isser est limitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- Au Nord-Est par le massif de Cap-Djinet ;
- A l'Est par le massif Raicha et Chender ;
- A l'Ouest par le Djebel Bou-Arous, le mont Lala Touila, les collines des Issers-Ouidane ;
- Au Sud par les contreforts de la dorsale kabyle et le Djebel Ahmed.

Le bassin versant du Bas Isser est séparé du Moyen Isser par le massif de Krachena.

Les formations alluviales occupent une superficie d'environ 98 km².

Les formations quaternaires ont mis en évidence sept terrasses Alluviales, disposées en gradins étagés reposant sur des Marnes bleues.

Les observations faites sur le terrain d'une part, les résultats géophysiques et les données de forages d'autre part, ont permis de reconnaître deux niveaux aquifères constitués de gros galets, graviers surmontés par des niveaux Argileux et Argilo-Sableux d'épaisseur de 70m, le tous surmonté par un horizon Limoneux.

Dans la partie avale de l'oued Isser, après le seuil des Gorges de Lakhdaria les conditions du réservoir deviennent plus perméables.

II.6.2.4 Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs

La plaine des Arribs se situe au Nord-Ouest de Berouaghia, elle couvre une superficie de 229 Km², et est limitée:

- Au Nord par les formations Crétacé du Djebel Tamesguida ;
- Au Sud par les terrains du Crétacé de Sour el Ghouzlane;
- A l'Est par les Alluvions de l'oued Melah ;
- A l'Ouest par la plaine de Médéa.

L'aquifère principal de la plaine est constitué par les Alluvions du Quaternaire de l'oued Zeroua, Ces formations Quaternaires sont assez ou peu perméables.

II.6.2.5 Unité hydrogéologique de la plaine de l'Oued Melah

Elle est située au Nord de Beni Slimane, la plaine couvre une superficie de 102km², et est limité:

- Au Nord par le plateau de Tablat ;
- Au Sud par l'Oligocène du Djebel Guentra ;
- A l'Est par la plaine des Arribs ;
- A l'Ouest par les terrains Crétacé du Djebel Seram.

Les forages qui captent les formations alluviales à 20m de profondeur, sont des formations à prédominance argileuse caractérisées par une mauvaise perméabilité et des ressources en eau faible.

II.6.2.6 Caractéristiques hydrodynamiques des différentes unités hydrogéologiques du bassin de l'Isser

Le tableau II.13 donne les caractéristiques hydrodynamiques du Haut, moyen et Bas Isser

Tableau II-13 : Caractéristiques hydrodynamiques du haut, moyen et bas Isser

Bassin	Unités hydrogéologiques	Nature lithologique	Transmissivité T(m ² /s)	Coefficient d'emmagasinement (S)
Isser	Unité de moyen et haut Isser	Alluvions	0.2.10 ⁻³ à 2.7.10 ⁻²	–
	Unité de bas Isser	Gros galets, graviers argileux et argilo- sableux	7 à 13 .10 ⁻²	0.03 à 24

PNE 1993

II.6.2.7 Potentialités en eaux souterraines

Selon le Plan National de l'Eau (PNE), les ressources en eaux souterraines du bassin versant des Issers sont évaluées à 210.2Hm³.

Tableau II-14 : Répartition des potentialités en eaux souterraines par unité Hydrogéologique.

Unités hydrogéologiques	Méthode d'estimation	Potentialités
Unité moyen et Haute Isser	Etude hydrogéologique Pluie / infiltration	50
Unité du bas Isser	Etude hydrogéologique	100
Unité de la plaine des Aribis	Pluie / infiltration	40
Unité de la plaine de l'oued Melah	Pluie / infiltration	20.2
Total		210.2

Source PNE 1993

II.6.2.8 Mobilisation des eaux souterraines

• **Mobilisation à partir des Forages**

La situation en matière de mobilisation des ressources en eau souterraines à partir des forages se présente comme suit :

- 338 forages mobilisant un volume de 55.126 Hm³/an (voir tableau II.15);
- 10 forages se trouvent actuellement hors service dont 09 forages abandonnés et un forage non équipés (voir tableau II.16) ;
- 328 forages en service permettant l'exploitation d'un volume de 37.418 Hm³/an (voir tableau II.17).

Tableau II-15 : Répartition des forages par wilaya

Wilayas	Nombre total de forage	Volume mobilisé (Hm ³ /an)	Volume exploité (Hm ³ /an)
Bouira	23	4.567	ND
Médéa	277	25.467	22.995
Boumerdes	38	25.091	14.423
Tizi Ouzou	ND	ND	ND
Total	338	55.126	37.418

Source DHW2009

Tableau II-16 : Etat des forages par wilaya

Wilayas	Nombre total de forage	Etat des forages		
		En exploitation	Non équipé	Abandonnés
Bouira	23	23	0	0
Médéa	277	274	1	2
Boumerdes	38	31	0	7
Tizi Ouzou	ND	ND	ND	ND
Total	338	328	1	9

Source DHW2009

Tableau II-17 : Répartition des volumes d'eau exploités à partir des forages par wilaya et par usage

Wilayas	Nombre de forage	Volume exploité (Hm ³ /an)	Affectations					
			AEP		IRR		IND	
			Nombre de forage	Volume exploité (Hm ³ /an)	Nombre de forage	Volume exploité (Hm ³ /an)	Nombre de forage	Volume exploité (Hm ³ /an)
Bouira	23	ND	21	ND	2	ND	0	0
Médéa	274	22.995	47	5.084	227	17.911	0	0
Boumerdes	31	14.423	31	14.423	0	0	0	0
Tizi Ouzou	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total	328	37.418	99	19.507	229	17.911	-	-

DHW 2009

- **Mobilisation à partir des Puits**

La mobilisation de la ressource en eau souterraine à partir des puits, se présente comme suit :

- Selon les directions de l'hydraulique des wilayas de Médéa et Boumerdes on compte 348 puits produisant un volume d'eau de 75.55 l/s soit 2.38 Hm³/an.
- Pour les 12 communes de la wilaya de Bouira relevant du Bassin de l'Isser, on dénombre 491 puits mobilisant un volume de 635.5 l/s soit 20.04 Hm³/an et ce d'après l'étude du schéma d'aménagement hydraulique de la wilaya de Bouira établie par l'ABH AHS.

En résumé le bassin de l'Isser compte 839 puits le volume moyen produit annuellement est de l'ordre de 2.38 Hm³ soit un débit moyen annuel de 75.55 l/s.

Tableau II-18 : Récapitulation des puits par wilaya

Wilayas	Nombre de puits	Volume exploité (l/s)	Volume mobilisé (l/s)
Bouira	491	ND	635.5
Médéa	347	71.55	ND
Boumerdes	1	4	ND
Tizi Ouzou	ND	ND	ND
Total	839	75.55	635.5

DHW 2003

- **Mobilisation à partir des Sources**

Le bassin de l'Isser compte 41 sources mobilisant un volume d'eau de 5.796 Hm³/an.

Cependant ces informations demeurent incomplètes dont la mesure où elles ne nous renseignent pas sur la mobilisation à partir des sources dans les wilayas de Bouira et Tizi Ouzou.

Le tableau II.19 résume la situation en matière des ressources en eau mobilisées à partir des sources.

Tableau II-19 : Répartition des sources par wilaya

Wilayas	Nombres de sources	Volume de la source (Hm ³ /an)	Affectations
Bouira	ND	ND	ND
Médéa	40	5.546	AEP
Boumerdes	1	0.25	AEP
Tizi Ouzou	ND	ND	ND
Total	41	5.796	-

ANRH

Constats :

A la lumière des données collectées auprès des différents directions et agences (DHW, ANRH et ANBT) il en ressort que :

- Les potentialités en eaux superficielles et souterraines dans le Bassin de Isser sont évaluées respectivement à 729 Hm^3 et 210.2 Hm^3 , totalisant un volume d'eau annuelle de $750.2 \text{ Hm}^3/\text{an}$.
- Le volume mobilisé annuellement à partir des eaux superficielles et souterraines est de l'ordre de 95.66 Hm^3 dont 14.7 Hm^3 des eaux superficielles.
- Le volume d'eau mobilisé à partir des eaux souterraines est estimé annuellement à 80.962 Hm^3 reparti comme suit :
 - 55.126 Hm^3 à partir du forage ;
 - 20.04 Hm^3 à partir de puits ;
 - 5.796 Hm^3 à partir de source.

II.7 HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant de l'oued Isser comprend cinq sous bassins drainés par différents Oueds à savoir : ISSER Moyen, Oued Mellah, Oued Zeroua, Oued ISSER, ISSER Maritimes, leur implantations est donnée en figure II.6.

II.7.1 Présentation des stations hydrométriques

Le bassin versant de l'Oued ISSER est équipé de cinq(05) stations hydrométriques, en fonctionnement dont les caractéristiques sont données dans le tableau II.20.

Tableau II-20 : Stations hydrométriques du BV Isser

Code	Station	Oued	X (Km)	Y (Km)	Superficie (Km ²)	Année de Mise en service
09 01 01	MEZAHIM	Mellah Ouest	539,7	322,65	665	1973
09 03 05	BENI SLIMANE	Mellah Est	557,55	322,25	273	1973
09 03 09	DECHMIYA	ZEROUA	578,25	316,45	73	1972
09 04 08	LA TRAILLE	ISSER	559,25	343,25	2570	1968
09 05 01	LAKHDARIA	ISSER	579,1	368,75	3620	1954

ANRH

II.7.2 Caractéristiques de forme

La forme du bassin versant est la configuration géométrique telle est qu'elle projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement sur le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent, il influe sur l'hydrogramme de crue (Zeggane, 2005)

II.7.2.1 Indice de compacité ou indice de Gravélius

Défini par la relation

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (II-1)$$

P : Périmètre du bassin en Km

S : la surface du bassin en Km²

II.7.2.2 Coefficient de forme « Rf »

Ce paramètre est le rapport entre la superficie du bassin et le carré de la largeur (Lm) selon Horton :

$$Rf = \frac{A}{Lm^2} \quad (II-2)$$

A : surface du bassin en Km²

Lm : la distance entre l'embouchure et le point le plus éloigné du bassin suivant le cours d'eau principal en Km

II.7.2.3 Coefficient de forme « Kf »

Il exprime le rapport entre la largeur moyenne et la longueur axiale.

$$Kf = \frac{Bm}{La} \quad (II-3)$$

B_m : représente la largeur suivant le cours d'eau principal en Km

La : la longueur axiale du bassin en Km.

II.7.2.4 Elancement « Re »

Ce rayon de circulation entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égal au périmètre du bassin

$$Re = \frac{4 \Pi A}{P^2} = 12.56 \cdot \frac{A}{P^2} \quad (II-4)$$

Sa valeur est 1 pour un bassin circulaire et de 0.78 pour un bassin carré.

II.7.2.5 Rectangle équivalent

Défini par sa longueur "L" et sa largeur "l" et par la même surface du bassin versant "S"

Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules II.5 et II.6 :

➤ La longueur :

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (\text{II-5})$$

➤ La largeur :

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (\text{II-6})$$

II.7.3 Hypsométrie des bassins

La variation d'altitude à l'intérieur d'un bassin ainsi que l'altitude moyenne sont des données essentielles aux études de la température et des précipitations (Touaïbia, 2004)

La description détaillée de l'élévation d'un bassin est donnée par les courbes hypsométriques, et à partir de celles-ci, nous pouvons déterminer les caractéristiques, à savoir :

- L'altitude maximale (Hmax).
- L'altitude minimale (Hmin).
- L'altitude médiane correspond à 50% de la surface (H50%) ; ou l'altitude médiane
- L'altitude moyenne (Hmoy).
- L'altitude correspond à 5% de la surface (H5%)
- L'altitude correspond à 95% de la surface (H95%)
- Dénivelée (D= H5%- H95%).
- L'altitude moyenne (Hmoy), qui peut être déterminée par l'expression II.7.

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{A} \quad (\text{II-7})$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin(m)

S_i : surface comprise entre deux courbes de niveaux i et $i+1$ (Km^2)

h_i : altitude entre ces deux courbes de niveaux (m)

A : surface totale du bassin versant en Km^2

II.7.3.1 Indice de pente

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant pour permettre des comparaisons et des classifications entre bassins.

Ces indices de pentes sont déterminés à partir de la connaissance des courbes hypsométriques.

II.7.3.2 Indice de pente de roche « Ip »:

Il sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant ; il est déterminé par l'expression II.8 :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^N \sqrt{B_i(a_i - a_{i-1})} \quad (\text{II-8})$$

I_p : indice de pente de roche en %

B_i : fraction de surface comprise entre l'altitude a_i et a_{i+1} (a_i, a_{i+1}) altitude des courbes de niveau du bassin (m).

L : longueur du rectangle équivalent en (Km).

a_{i+1}, a_i : Cotes de ligne de niveaux du bassin (m).

II.7.3.3 Indice de pente globale I_g

Pour la classification du bassin versant, cet indice est déterminé par la formule II.9

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (\text{II-9})$$

D : Dénivelée (m).

L : Longueur du rectangle équivalent. (Km)

II.7.3.4 Pente moyenne d'un bassin versant «Im »

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculer par l'expression II.10.

$$I_m = \frac{H(0.5L_{1+} + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{A} \quad (\text{II-10})$$

Avec :

Im : pente moyenne du bassin en (%).

H : hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives (m).

Li : longueur de la courbe de niveau en (Km).

A : superficie du bassin versant (Km²).

L : longueur du rectangle équivalent en (Km).

II.7.4 Paramètres du réseau hydrographique

II.7.4.1 Densité de drainage Dd

C'est le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km².

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (\text{II-11})$$

$\sum l_i$: Longueur totale cumulée des talwegs.

S : Surface du bassin versant (Km²).

II.7.4.2 Paramètre de torrentialité

$$C_t = F_t \times D_d \quad (\text{II-12})$$

Avec :

F_t : Fréquence des talwegs élémentaires : $F_t = \frac{N}{S}$.

N : Nombre des talwegs d'ordre 1.

II.7.4.3 Temps de concentration

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par la formule de Giandotti.

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (II-13)$$

Avec :

L : longueur du talweg principal qu'est égale à 98,2 Km

Tous les résultats de calcul sont résumés dans le tableau II.14

II.7.4.4 Profil en long de Oued Isser

Le profil en long d'oued Isser a été dressé à partir d'une carte topographique à l'échelle 1/200000 (voir figure II.7)

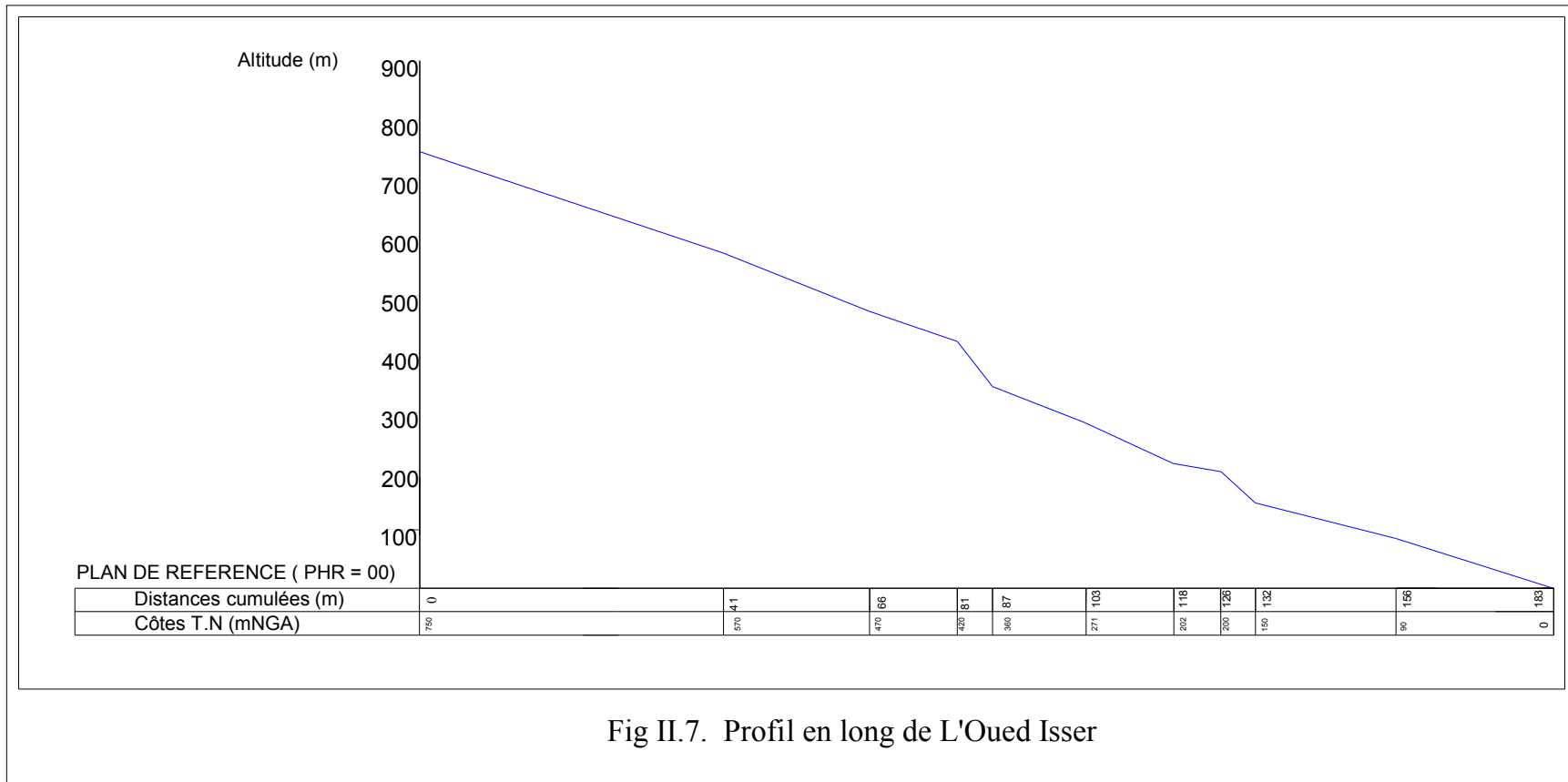


Figure II-7 : Profil en Long de l'oued principal

Tableau II-21 : Caractéristiques Hydromorphométriques des Sous bassins de Isser

Paramètres		Station					Barrage	
	Symbole	Unité	Beni Slimane	Mezahim	Dechmiya	La Traille	Lakhdaria	Ladrat
caractéristiques de forme	S	Km2	273	665	73	2570	3615	73,5
	P	Km	71	110	41	210	270	70
	Kc	-	1,2	1,19	1,1	1,16	1,26	1,28
	Rf	-	0,40	0,33	0,55	0,22	0,09	0,53
	Kf	-	0,43	0,40	0,66	0,36	0,18	0,19
	Re	-	0,72	0,65	0,84	0,52	0,34	0,82
	Rc	-	0,68	0,69	0,55	0,73	0,62	0,19
	L	Km	24,2	37	9,55	66,1	98,2	32,4
caractéristiques topographiques	Hmax	m	1371	1467	1810	1810	1810	1200
	Hmin	m	600	595	810	349	90	650
	Hmoy	m	940	750	940	843	710	890
	D	m	771	872	1000	1461	1720	550
	Ds	m	489,96	499,71	742,96	679,50	517,07	399,60
	Ig	%	29,65	19,38	86,96	13,40	8,60	46,61
	Ip	%	13,00	15,00	22,00	12,00	11,00	7,63
Hydrographiques	Im	%	53	54	60	51	48,5	46,5
	Dd	Km/Km2	2,4	3,03	2,4	3,2	3,6	4,8
	Ct		17,5	19,39	17,5	23,98	29,5	21,5
	Lcp	Km	26	45	11,5	109	200	11,8

CONCLUSION

L'étude du bassin versant a permis de constater ou confirmer son importance dans le système des bassins versants du Nord Algérien de par l'importance de sa surface, des ouvrages hydrauliques existants ou en projet.

L'étude géologique de la région a mis en évidence une structure complexe, constituée par un empilement de nappes imbriquées, mises en place lors de l'orogénèse alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre :

Les nappes du flysch mauritanien et massylien ont subi des déplacements considérables.

Les flyschs autochtones paléocènes ne se déplaçaient pas ;

Les formations de la chaîne calcaire déposées au Sud du massif kabyle, ont subi les plus faibles déplacements ;

L'étude géologique nous a permis de partager le bassin versant en trois zones ; le haut, le moyen et le bas Isser.

Le bassin versant Isser peut être considéré comme étant le « Réservoir en eau » du centre de l'Algérie, étudier l'impact des différents facteurs climatiques sur ce bassin semble indispensable pour voir les variations ou changements que peuvent subir les ressources naturelles de ce bassin et ce, afin de prendre les décisions adéquates pour le protéger.

III CHAPITRE III : ETUDE PLUVIOMETRIQUE ET CLIMATIQUE

Les mécanismes météorologiques qui déterminent les régimes pluvieux dans notre pays sont complexes et liés, d'une part à la circulation atmosphérique des masses d'air et d'autre part, aux effets de contraste : Mer- Continent- Altitude.

Il existe un affrontement entre les masses d'air d'origine polaire et celles d'affinité tropicale. Il est aujourd'hui admis que les masses d'air polaire, sous l'effet du jet stream (courant atmosphérique très rapide en haute altitude) associé aux centres d'action à basse altitude, envahissant largement notre région en développant des aires de cyclogénèse responsables des perturbations que nous connaissons en hiver. En revanche, en été le retrait plus au nord du flux zonal déclenche l'avancée des masses d'air tropicales génératrices des pluies violentes et éphémères (Site ONM)

A cette influence directe, liée à la circulation atmosphérique, se conjuguent les effets convectifs provoqués par la méditerranée en tant que régulateur thermique. En hiver, la mer étant plus chaude (12°) que les continents elle devient propice à la formation de nombreuses dépressions locales donnant lieu à des averses orageuses torrentielles.

Enfin à une échelle régionale, les chaînes de montagnes font obstacle à la circulation libre des nuages et par effet orographique interceptent une partie non négligeable des pluies. C'est ce phénomène qui explique pourquoi les plaines sont moins arrosées que les montagnes et les versants septentrionaux plus arrosés que les versants méridionaux.

En effet, par sa position géographique le bassin méditerranéen auquel notre région se rattache constitue un large couloir de circulation

III.1 ETUDE PLUVIOMETRIQUE

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et géographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- Leur totale annuelle ;
- Leur répartition mensuelle qui influence directement les régimes hydrologiques.

En régime climatique méditerranéen, les précipitations ont deux origines principales :

✓ **Les précipitations frontales de convergence :**

Elles sont dues à l'opposition des grandes masses d'air polaire et tropicale, altérée localement par l'étirement de la barrière des hautes pressions de la bordure du front et par l'infiltration de courants d'air froid polaire à travers les couloirs de basses pressions créées dans le chapelet des perturbations ainsi créées. (Chaumont, 1968).

✓ **Les précipitations de convection :**

Elles sont dues à l'ascension rapide et giratoire des masses d'air chaud tropicales jusque dans la troposphère supérieure, provoquant une situation instable orageuse (Chaumont, 1968).

Les précipitations du front polaire sont les plus fréquentes et les plus abondantes, elles alimentent à peu près seul le régime des pluies d'hiver, alors que les pluies de convection sont à l'origine des averses orageuses du printemps et de l'été.

Les valeurs moyennes annuelles des deux systèmes sont très différentes et il en est de même des valeurs les plus fréquentes, elles sont plus importantes pour le régime des précipitations frontales que pour celui des averses orageuses de convection.

Ce fait explique sans doute la forte dissymétrie des distributions des pluies annuelles du régime méditerranéen vers les petites valeurs.

III.1.1 Postes pluviométriques dans le bassin versant de Isser

Le réseau pluviométrique du bassin versant de l'oued Isser comporte 21 stations pluviométriques, dont les données fournies par l'ANRH que pour 17 stations. Leur identification est donnée dans le tableau III.1

L'implantation de ces stations est représentée dans la figure III.1.

Tableau III-1 : Identification des stations pluviométriques

N°	Station	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)	Equipement
1	Pont de la traïlle	90304	532105.45	4026429.18	370	PV+PG
2	TablatDrs	90203	527714.17	4029242.46	450	PV
3	El Omaria Pep	90205	505958.92	4010959.68	659	PV
4	El Omaria	90201	503114.41	4012718.37	790	PV+PG
5	Djouab	90301	539821.47	3998956.07	825	PV
6	Souk El Djemâa	50103	549736.44	3987525.62	830	PV+PG
7	Dechmya	90314	551373.83	3999720.72	850	PV+PG
8	Souk El khemis	90402	556955.98	4026753.86	782	PV
9	OuledTouati	90413	549618.50	4030875.97	831	PV
10	Khabouzia	90401	552078.65	4017718.65	720	PV
11	Tizi Ghenif	90506	569323.68	4049416.66	415	PV+PG
12	Djebahia	90403	568678.96	4036824.15	410	PV
13	OuledBouhaddada	90503	547593.14	4055681.15	425	PV
14	B MenaielPepin	90510	564095.17	4073581.08	27	PV
15	Chabet El Ammeur	90512	561889.66	4054738.58	260	PV+PG
16	Khemisti	11004	514373.92	3968840.86	935	PV
17	Mahterre	90202	515804.66	4025978.95	875	PV+PG

PV : Pluviométrie et PG : pluviographe.

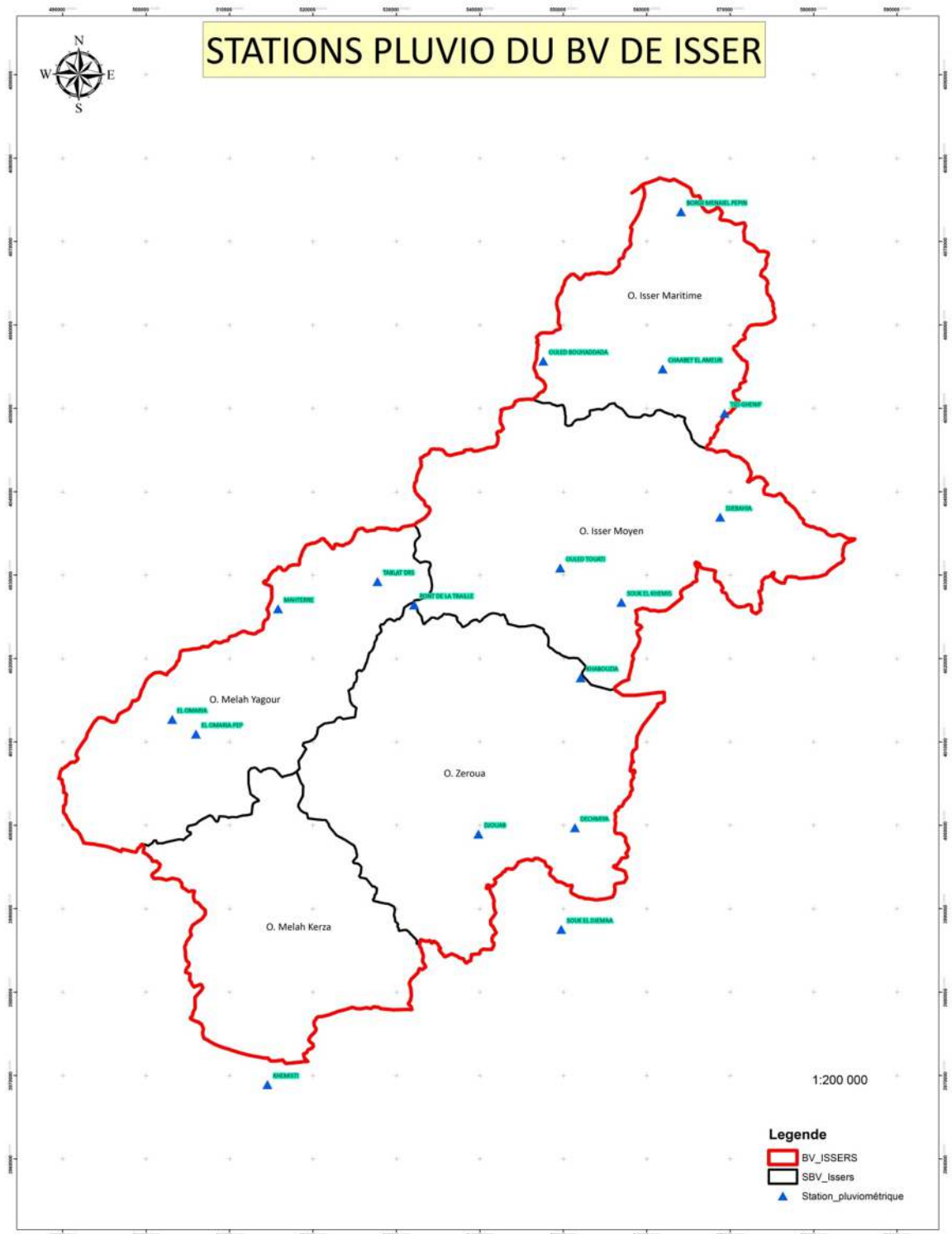


Figure III-1 : Implantation des stations pluviométrique dans le BV de Isser

III.1.2 Homogénéisation des données pluviométriques

Avant de commencer tout travail avec les données des stations pluviométriques, il faudrait obligatoirement combler les lacunes de celles-ci. Ainsi l'homogénéisation des pluies mensuelles a été faite par la méthode des rapports et les pluies annuelles par la méthode de régression.

III.1.2.1 Méthode des Rapports

La méthode des rapports utilise le rapport entre la somme des précipitations pendant un période homogène de la station à ajuster et la somme des précipitations pour la période correspondante à la station de comparaison.

$$Y = b * X \quad (III.1)$$

Avec :

Y : valeur pluviométrique pendant une période homogène de la station à ajuster

X : valeur correspondante à la station de référence

b : constante d'ajustement

$$b = \frac{V}{U}$$

Avec :

V : Somme des précipitations pendant un période homogène de la station à ajuster.

U : Somme des précipitations pour la période correspondante à la station de comparaison.

III.1.2.2 Méthode de la régression linéaire

Cette méthode permet le comblement des lacunes d'observation par rapport à une station de référence, cette dernière doit être proche à une station à corriger.

Le facteur qui lie cette régression es le coefficient de corrélation 'r' estimé à partir de 'n' couples de valeurs observées simultanément, sa formule est :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

X_i : variable connue de la station de référence à partir de laquelle est estimée la variable inconnue de la station incomplète.

Y_i : Variable de la station incomplète.

\bar{X} : Moyenne de la série d'observation de référence.

\bar{Y} : Moyenne de la série incomplète

Cette méthode est utilisée pour combler les lacunes à l'échelle annuelle.

III.1.3 Détermination de la station représentative du BV

III.1.3.1 Analyse en composante principales (ACP)

L'analyse en composantes principales, permet de visualiser l'information contenue dans un tableau de données quantitatives, et par sa capacité de concentrer l'information dans un nombre réduit de nouvelles variables.

Cette étude est appliquée sur des données des précipitations annuelles dont nous avons à notre disposition en formant une matrice initiale rectangulaire avec en ligne les valeurs des précipitations annuelles de dix-sept stations (17) et en colonne les 31 années d'observations.

III.1.3.2 Les étapes de l'analyse en composantes principales

- ✓ Matrice des données brutes.
- ✓ Calcul des paramètres statistiques (\bar{X} , σ).
- ✓ Transformation des données brute en données centrées réduites ;
- ✓ Détermination de la matrice de corrélation des données centrées- réduites
- ✓ Détermination des valeurs propres et des vecteurs propres à partir de la matrice de corrélation des données centrées – réduites
- ✓ Détermination des composantes principales (Cp)
- ✓ Détermination des composantes principales réduites Cp'
- ✓ Détermination du coefficient de régression
- ✓ Reconstitution des données
- ✓ Calcul des résidus ;
- ✓ Simulation.

Les résultats sont présentés dans le tableau III.2

Tableau III-2 : Vecteurs Régionaux de l'ACP

CP	Valeur	pourcentage	cumul
1	11,27	66,27%	66,27%
2	1,94	11,43%	77,70%
3	0,91	5,36%	83,07%
4	0,77	4,52%	87,59%
5	0,60	3,54%	91,13%
6	0,38	2,24%	93,37%
7	0,32	1,89%	95,27%
8	0,20	1,16%	96,43%
9	0,18	1,04%	97,47%
10	0,14	0,81%	98,28%
11	0,09	0,55%	98,83%
12	0,06	0,37%	99,20%
13	0,05	0,28%	99,48%
14	0,04	0,22%	99,70%
15	0,02	0,13%	99,82%
16	0,02	0,12%	99,94%
17	0,01	0,05%	100,00%

III.1.3.3 Analyse des résultats de L'A.C.P

Les résultats obtenus pour la matrice de corrélation par l'analyse en composantes principales sont résumés dans les tableaux III.4 et III.5 :

Tableau III-3 : Moyenne et écart Type des variables Initiales

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Moyennes	463,4	537,2	326,7	401,1	474,2	350,3	404,0	504,9	464,9	355,7	656,9	549,7	693,5	598,5	661,1	332,7	510,7
Ecart type	133,4	128,7	90,2	109,2	114,4	116,8	137,7	121,6	127,1	108,9	144,7	123,9	162,0	121,7	149,6	192,6	133,9

Tableau III-4 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

St	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1,00	0,89	0,62	0,65	0,50	0,36	0,08	0,83	0,79	0,72	0,84	0,86	0,77	0,83	0,85	0,08	0,76
2	0,89	1,00	0,55	0,58	0,49	0,30	0,02	0,83	0,86	0,75	0,86	0,87	0,69	0,89	0,77	0,09	0,87
3	0,62	0,55	1,00	0,94	0,57	0,68	0,37	0,73	0,69	0,65	0,70	0,77	0,75	0,64	0,70	-0,15	0,66
4	0,65	0,58	0,94	1,00	0,57	0,58	0,28	0,76	0,68	0,64	0,71	0,78	0,77	0,66	0,72	-0,10	0,65
5	0,50	0,49	0,57	0,57	1,00	0,41	0,27	0,49	0,43	0,39	0,41	0,50	0,46	0,48	0,61	-0,19	0,54
6	0,36	0,30	0,68	0,58	0,41	1,00	0,77	0,48	0,50	0,42	0,51	0,50	0,48	0,38	0,50	-0,30	0,43
7	0,08	0,02	0,37	0,28	0,27	0,77	1,00	0,22	0,23	0,19	0,27	0,20	0,23	0,16	0,29	-0,31	0,15
8	0,83	0,83	0,73	0,76	0,49	0,48	0,22	1,00	0,87	0,81	0,93	0,90	0,76	0,87	0,84	-0,26	0,82
9	0,79	0,86	0,69	0,68	0,43	0,50	0,23	0,87	1,00	0,86	0,90	0,88	0,78	0,84	0,74	-0,12	0,84
10	0,72	0,75	0,65	0,64	0,39	0,42	0,19	0,81	0,86	1,00	0,84	0,86	0,81	0,78	0,74	-0,14	0,86
11	0,84	0,86	0,70	0,71	0,41	0,51	0,27	0,93	0,90	0,84	1,00	0,96	0,83	0,89	0,89	-0,17	0,88
12	0,86	0,87	0,77	0,78	0,50	0,50	0,20	0,90	0,88	0,86	0,96	1,00	0,89	0,88	0,91	-0,12	0,90
13	0,77	0,69	0,75	0,77	0,46	0,48	0,23	0,76	0,78	0,81	0,83	0,89	1,00	0,80	0,86	-0,06	0,73
14	0,83	0,89	0,64	0,66	0,48	0,38	0,16	0,87	0,84	0,78	0,89	0,88	0,80	1,00	0,84	-0,01	0,82
15	0,85	0,77	0,70	0,72	0,61	0,50	0,29	0,84	0,74	0,74	0,89	0,91	0,86	0,84	1,00	-0,22	0,79
16	0,08	0,09	-0,15	-0,10	-0,19	-0,30	-0,31	-0,26	-0,12	-0,14	-0,17	-0,12	-0,06	-0,01	-0,22	1,00	-0,04
17	0,76	0,87	0,66	0,65	0,54	0,43	0,15	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,73	0,82	0,79	-0,04	1,00

Tableau III-5 : Valeur propre, variances expliquées et variances cumulées

Axes	1	2	3
Valeurs propres	11,27	1,94	0,91
Variances expliquées	66,27%	11,43%	5,36%
Variances cumulées	66,27%	77,70%	83,07%

Au vu du tableau III.5 les inerties expliquées par les trois axes sont respectivement 11,27 ; 1,94 ; 0,91 sur 17 de la trace de la matrice variance covariance ou bien sur l'inertie totale du nuage de points.

Tableau III-6 : Projection des variables actives

St	C1	C 2	C 3
1	0,88	-0,27	0,08
2	0,87	-0,36	-0,01
3	0,82	0,29	0,28
4	0,83	0,18	0,27
5	0,59	0,22	0,20
6	0,58	0,69	0,18
7	0,30	0,81	0,12
8	0,93	-0,03	-0,19
9	0,91	-0,09	-0,10
10	0,87	-0,10	-0,15
11	0,95	-0,07	-0,16
12	0,97	-0,10	-0,05
13	0,89	-0,03	0,08
14	0,91	-0,21	-0,03
15	0,92	0,03	-0,07
16	-0,15	-0,59	0,74
17	0,90	-0,16	-0,04

Tableau III-7 : Projection des observations

Année	C1	C 2	C 3
1971	2,94	-0,41	0,49
1972	1,59	-1,40	-1,59
1973	1,09	-1,06	-0,72
1974	-0,44	-0,17	-1,13
1975	1,14	0,03	-0,49
1976	-0,57	0,24	-1,05
1977	-0,24	2,67	0,05
1978	0,25	1,59	0,25
1979	0,67	1,11	0,04
1980	0,01	0,71	-1,01
1981	-0,21	1,24	-0,83
1982	-0,44	0,09	-0,90
1983	-0,50	1,00	-0,92
1984	0,77	0,48	-0,17
1985	-0,06	1,24	1,65
1986	0,31	-0,59	1,08
1987	-1,16	-0,39	0,98
1988	-0,58	-0,55	0,06
1989	-1,22	-0,34	0,51
1990	-0,45	-0,75	0,53
1991	0,43	-0,46	1,24
1992	-0,84	-1,38	-1,35
1993	-0,99	-0,99	-0,24
1994	0,37	-0,31	1,01
1995	0,05	-0,84	2,40
1996	-1,92	-0,77	0,13

La projection des variables sur l'axe C1 et C2 est illustrée sur la figure III.2

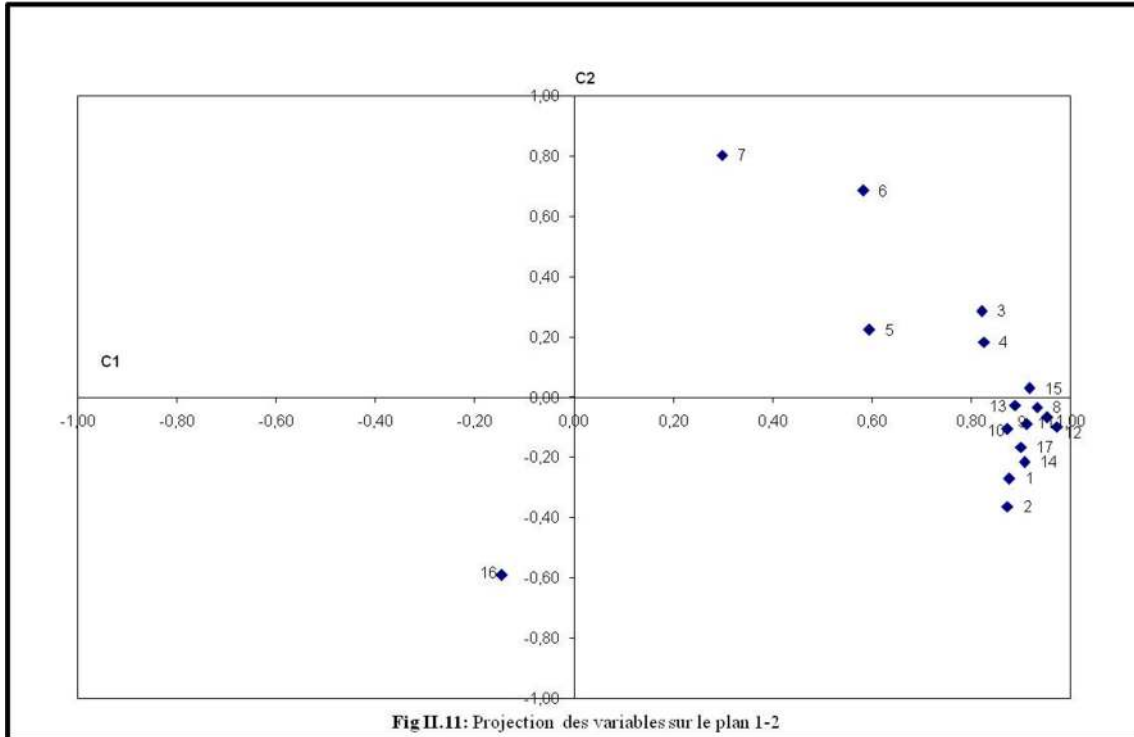


Figure III-2 : Projection des variables sur le plan

III.1.3.4 Interprétations

A la première lecture du graphique III. 2, le comportement du nuage de point pesant est autour du premier axe C1 qui explique à lui seule 66 % de la variance , ce qui nous fait dire que la tendance dominante est autour du premier axe C1, à savoir que la direction Sud-Nord a une tendance dominante

L’analyse de la corrélation montre une régionalisation des précipitations au niveau du bassin. Au vu de la figure III.1, les stations pluviométriques s’organisent en 03 trois groupes.

- Le premier groupe est composé des stations 17, 2, 1, 10, 9, 8, 12, 11, 15, 13 et 14, lui-même subdivisé en trois sous-groupes distincts.

1. le premier sous-groupe(**SG1**), 14,15,13,11,8, met en exergue l'influence de la mer, mais la position de la station de la station 8 se trouvant dans le groupe composé des stations 14,15,13,11 alors géographiquement elle se trouve dans le groupe des station 10,9,12 peut être expliquée par sa position géographique, à savoir son altitude qui est de l'ordre de 750 m et en l'absence de chaînes montagneuse entre le Nord (la mer) et cette station.
 2. le deuxième sous-groupe(**SG2**), est constitué des stations 10, 9, 12.
 3. Le troisième sous-groupe(**SG3**) composé des stations 17, 1et 2 se regroupe sous l'effet de leurs moyennes.
- Le deuxième groupe (**G2**) composé des stations 3, 4, 5, 6 et 7, se situe dans la partie sud-ouest du bassin versant avec une pluviométrie moyenne comprise entre 326.7 et 474.2mm.
- Le troisième groupe(**G3**) est constitué d'une seule station 16 présentant une pluviométrie moyenne de 332.7 mm et se trouve dans la partie sud en dehors du bassin versant de l'Isser.

Cette répartition en groupe peut être expliquée par les chaînes montagneuses qui subdivisent le bassin en deux parties distinctes comme le montre la figure I.3.

III.1.4 Stations représentatives des différentes zones de mêmes régimes de précipitations

L'analyse en composantes principales a permis de dégager les stations représentatives des zones de même régime de précipitations. Ses zones présentent des précipitations qui se rapprochent ainsi que leur variabilité et de là la station représentative du bassin versant de l'Oued Isser a été tiré puisque leur inertie est respectivement faible par rapport au premier axe C1 de l'ellipsoïde d'inertie du fait que leurs coefficients de corrélation par rapporte à l'axe C1 sont grands, donc plus près de l'axe C1. Les codes des stations représentatives des différents sous bassins sont donnés dans le tableau III.8 et pour le bassin versant dans le tableau III.9

Tableau III-8 : Codes et Noms des stations pluviométriques représentatives des Sous Bassins

Zones	Code et Nom de la station représentative
SG1	090506 Tizi Ghenif
SG2	090403 Djebahia
SG3	090202 Mahterre
G2	090205 El Omaria Pep
G3	011004 Khemisti

Tableau III-9 : Codes et Noms des stations pluviométriques représentatives du bassin Versant de Isser

Bassin Versant	Code et Nom de la station représentative
ISSER	090403 Djebahia

Les différentes zones de précipitations ainsi que l'implantation des stations pluviométriques représentatives de ses zones sont représentées dans la figure III.3

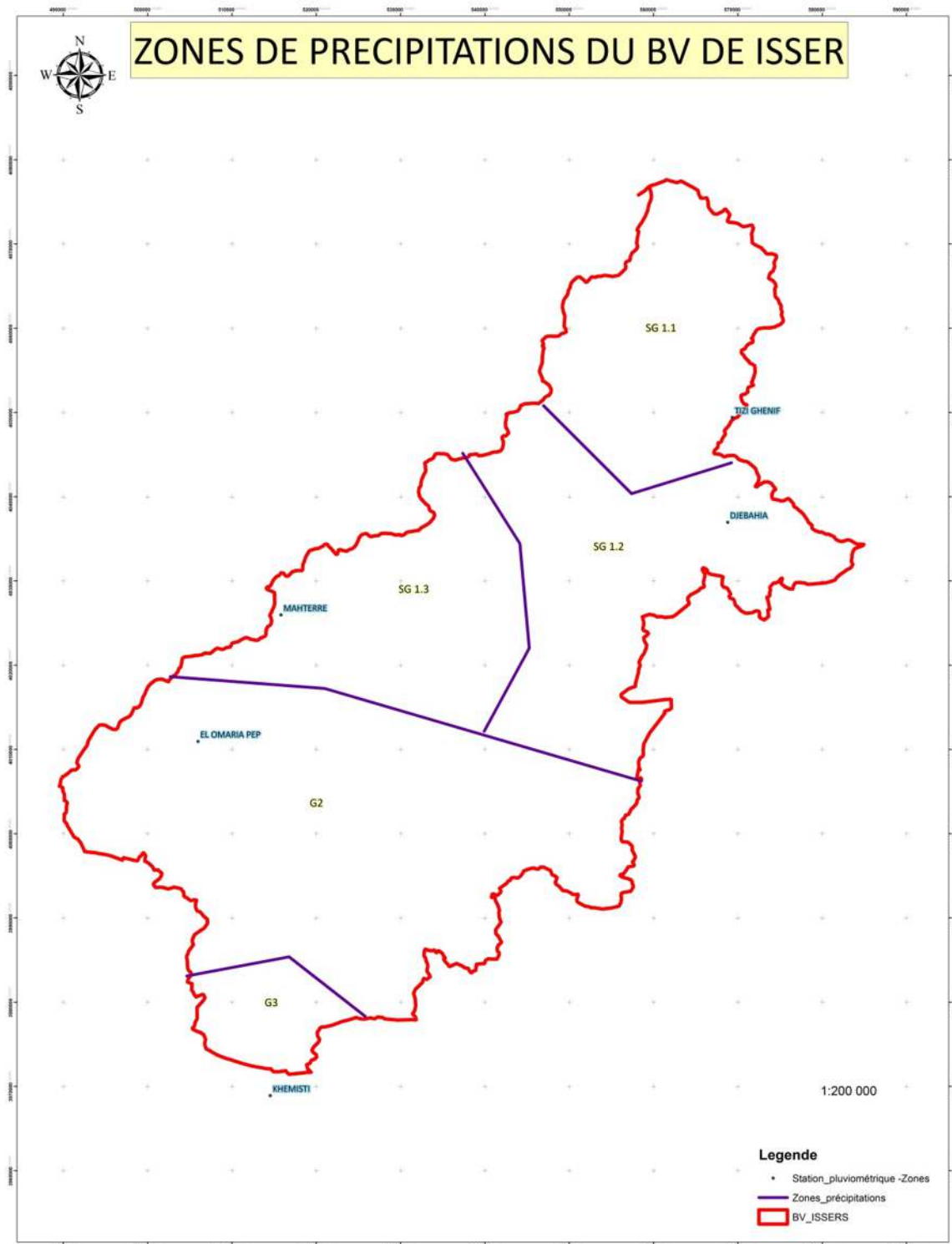


Figure III-3 : Zones de précipitations du BV Isser

III.1.5 Stations représentatives des sous bassins de ISSER

De la même manière que pour connaître les stations représentatives des zones de précipitations et en utilisant l'ACP mais en considérant cette fois les différents sous bassin de Isser, les stations représentatives de ses sous bassin sont identifiées

- Sous bassin de Lakhdaria : Station N° 09 (090413) Ouled Touati.
- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique de la traïlle (090408) : Station N°02 (09203) Tablat Drs.
- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique Beni Slimane (090305) : Station pluviométrique Djouab N° 05 (090301).
- Sous bassin contrôle par la station hydrométrique de DECHMIYA (090309) : Station pluviométrique N° 07 Dechmiya (090314).
- Sous bassin contrôlé par la station hydrométrique Mezahim (090101) par : la station pluviométrique N°16 Khemisti (090104).

Les stations représentatives sont résumées dans le tableau III.10 :

Tableau III-10 : Stations pluviométriques représentatives des Sous Bassins de Isser

Sous Bassins	Code et Nom de la station représentative
ISSER MARITIME	090413 Ouled Touati
ISSER MOYEN	090203 Tablat DRS
MELAH YAGOUR	090301 Djouab
ZEROUA	090314 Dechmiya
MELAH KERZA	011004 Khemisti

La figure III.4 montre l'implantation des stations représentatives des sous bassins.

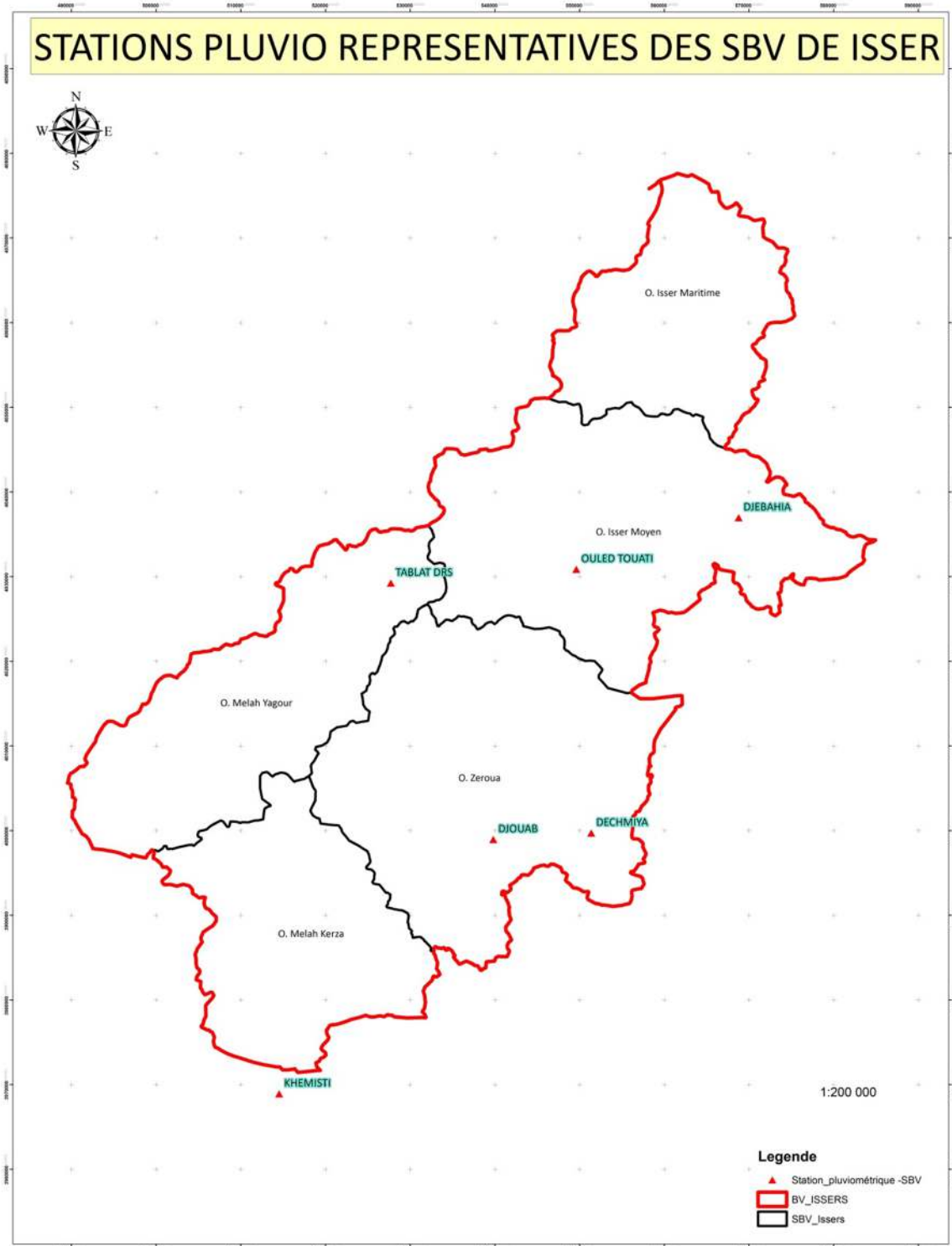


Figure III-4 : Stations Pluviométriques représentatives des SBV de Isser

III.1.6 Conclusion

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour étudier la variabilité des précipitations moyennes annuelles dans l'espace et la détermination des différentes stations représentatives des sous bassins et du bassin versant est très intéressante et s'applique bien à ce type d'études ce qui permis de décomposer le bassin versant de Isser en cinq zones ayant un régime de précipitation homogène, avec des précipitation qui diminuent du Nord vers le Sud.

La méthode de l'ACP a permis de déterminer les stations représentatives des zones ayant le même régime de précipitations et aussi déterminer les stations représentatives des sous bassins de Isser.

III.1.7 Précipitations moyenne du bassin versant

Pour le calcul des précipitations moyennes au niveau du BV de Oued Isser, la méthode de Thiessen est utilisée. C'est une méthode arithmétique où pour chaque station pluviométrique une zone d'influence définie géométriquement lui est attribuer, cette méthode ne dépend ni de la distribution spatiale des pluies ni de la topographie du bassin versant.

La précipitation moyenne sur l'ensemble du bassin est déterminée par l'expression III.3 :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot P_i}{S} \quad (III.3)$$

P_{moy} : lame d'eau moyenne sur le bassin.

P_i : la lame d'eau enregistrée à la station i (mm).

S_i : la surface d'influence de la station i (Km²).

S : surface totale du bassin versant (Km²).

Le tableau II.11 donne les surfaces d'influence des stations pluviométriques.

Tableau III-11 : surfaces d'influences des stations pluviométriques

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P (mm)	463,4	537,2	326,7	401,1	474,2	350,3	404,0	504,9	464,9	355,7	656,9	549,7	693,5	598,5	661,1	332,7	510,7
Si (km ²)	324	230	226	518	442	106	174	146	314	196	145	270	224	175	215	248	196

La lame d'eau précipitée moyenne calculée sur l'ensemble du bassin versant est de 480mm

III.1.8 Détermination des caractéristiques de la série représentative

Après avoir tiré la station représentative du BV, la moyenne interannuelle des précipitations est calculée pour la période 1975 – 2006 et ce pour tirer après les années sèches et les années humides, en comparant les valeurs des précipitations annuelles avec la moyenne interannuelle.

Il est à noter que la précipitation annuelle est inférieure à la moyenne interannuelle, concluant que cette année est sèche, sinon elle est humide.

Les résultats ont été récapitulés dans le tableau III.12 :

Tableau III-12 : Années sèches et humides pour la station représentative de Djebahia 090 403

N	Stations	12	Moyenne	Obs
1	75/76	764,8	549,7	Humide
2	76/77	518,6	549,7	Sèche
3	77/78	494,3	549,7	Sèche
4	78/79	629,3	549,7	Humide
5	79/78	696,6	549,7	Humide
6	80/81	644,9	549,7	Humide
7	81/82	533,0	549,7	Sèche
8	82/83	469,8	549,7	Sèche
9	83/84	538,2	549,7	Sèche
10	84/85	698,8	549,7	Humide
11	85/86	473,5	549,7	Sèche
12	86/87	706,9	549,7	Humide
13	87/88	430,7	549,7	Sèche
14	88/89	477,2	549,7	Sèche
15	89/90	407,7	549,7	Sèche
16	90/91	525,7	549,7	Sèche
17	91/92	637,4	549,7	Humide
18	92/93	532,7	549,7	Sèche
19	93/94	440,2	549,7	Sèche
20	94/95	641,7	549,7	Humide
21	95/96	596,6	549,7	Humide
22	96/97	288,7	549,7	Sèche
23	97/98	683,6	549,7	Humide
24	98/99	469,3	549,7	Sèche
25	99/00	327,9	549,7	Sèche
26	00/01	470,0	549,7	Sèche
27	01/02	330,3	549,7	Sèche
28	02/03	644,4	549,7	Humide
29	03/04	644,4	549,7	Humide
30	04/05	617,2	549,7	Humide
31	05/06	705,8	549,7	Humide

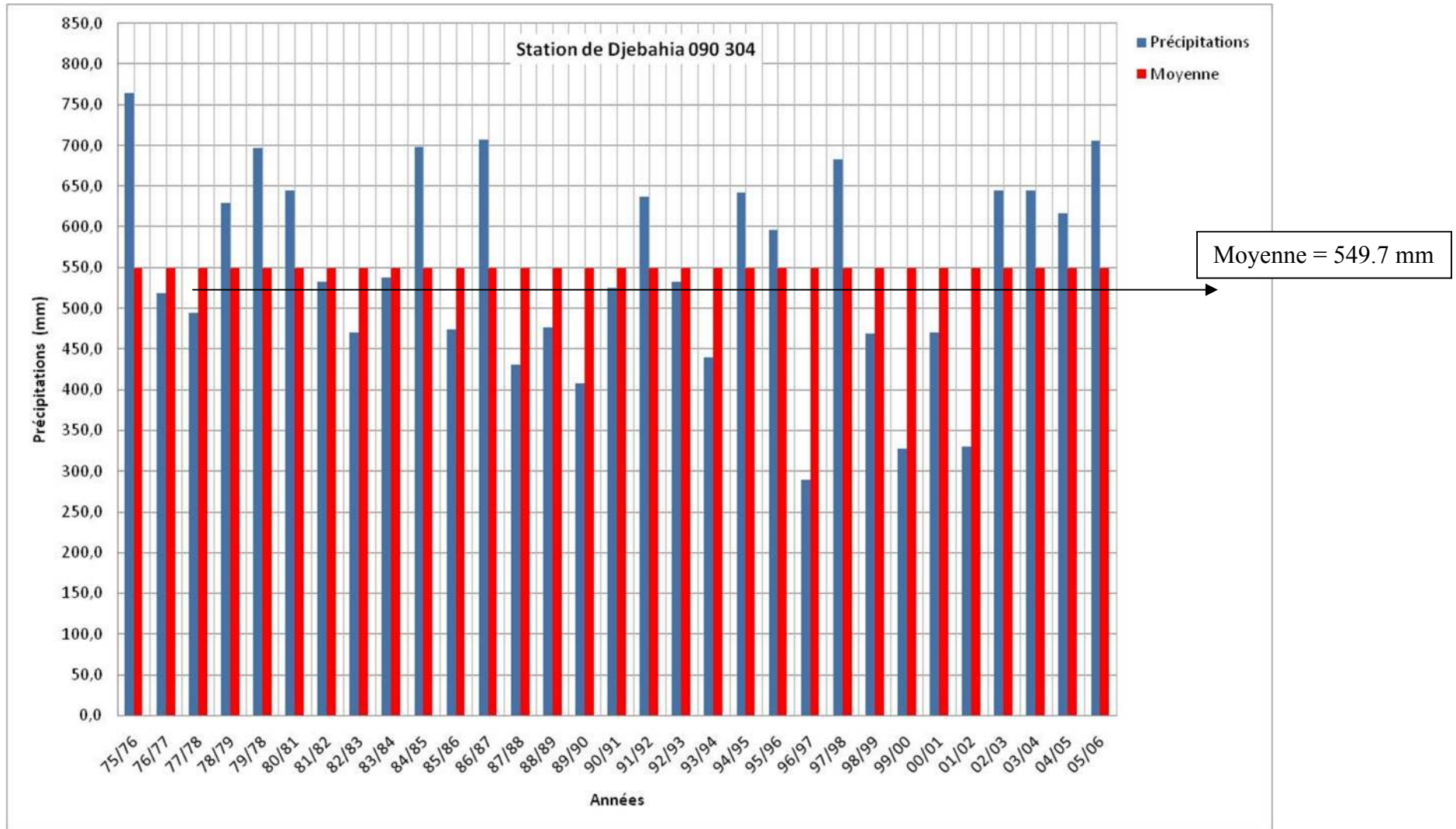


Figure III-5 : Evolution temporelle des précipitations

III.1.8.1 Interprétations

Au vu de la figure III.3, il est à noter :

- Qu'il y a pour la période 1975 – 2006 : 17 années sont sèches (1976-1978, 1981-1984, 1985-1986, 1987-1991, 1992-1994, 1996-1997 et 1998-2002) ;
- 14 années sont humides ;
- Les périodes de sécheresse durent de 1 an à 4 ans ;
- Deux périodes de sécheresses de 4 ans se sont produites durant les dernières vingt années;
- Qu'il y a une certaine fréquence de répétition des années sèches;
- Que les périodes de sécheresses durent souvent plus longtemps que les périodes humides.

III.1.9 Détermination du déficit des précipitations

Dans cette partie de travail, il est fort intéressant de s'inspirer des travaux de Hadjiri dans lesquels, l'année présente une sécheresse modérée quand son déficit varie de 20 - 40% par rapport à la moyenne, une année sèche quand le déficit est de 40 - 60 % et très sèche si le déficit varie entre 60 - 80%, si le déficit est supérieur à 80% on parle d'années hyper sèches.(Hadjiri, 1996)

Les résultats obtenus pour les stations représentatives des zones (SG1, SG2, SG3, GR2, GR3) sont données dans le tableau III.13 :

Tableau III-13 : Classification de la sécheresse dans le BV Isser

	El Omaria Pep	Tizi Ghenif	Djebahia	Khemisti	Mahterre
années de sécheresses modérées	4	4	6	1	4
années sèches	3	2	0	7	3
années très sèches	0	0	0	0	0
Années hyper sèches	0	0	0	3	0

III.1.10 Étude spatiale des précipitations en utilisant le coefficient de variation

Le tableau III.14 donne les valeurs du coefficient de variations de chaque station pluviométrique du bassin versant.

Tableau III-14 : Coefficients de variations des stations pluviométriques

N°	Station	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)	CV(%)
1	Pont de la trailla	90304	532105.45	4026429.18	370	29
2	TablatDrs	90203	527714.17	4029242.46	450	24
3	El Omaria Pep	90205	505958.92	4010959.68	659	28
4	El Omaria	90201	503114.41	4012718.37	790	27
5	Djouab	90301	539821.47	3998956.07	825	24
6	Souk El Djemâa	50103	549736.44	3987525.62	830	33
7	Dechmya	90314	551373.83	3999720.72	850	34
8	Souk El khemis	90402	556955.98	4026753.86	782	24
9	OuledTouati	90413	549618.50	4030875.97	831	27
10	Khabouzia	90401	552078.65	4017718.65	720	31
11	Tizi Ghenif	90506	569323.68	4049416.66	415	22
12	Djebahia	90403	572291.96	4072657.15	410	23
13	OuledBouhaddada	90503	547593.14	4055681.15	425	23
14	B MenaielPepin	90510	564095.17	4073581.08	27	20
15	Chabet El Ammeur	90512	561889.66	4054738.58	260	23
16	Khemisti	11004	206121.92	3947844.86	935	58
17	Mahterre	90202	515804.66	4025978.95	875	26

Le coefficient de variabilité des précipitations annuelles de l'ensemble de stations est de 28 %

Ce qu'on remarque est que la variabilité des précipitations diminue en allant vers le nord du fait que le coefficient de variation diminue.

Aussi les précipitations sont très variables à l'échelle interannuelle en allant vers le sud.

L'altitude joue un rôle assez important. Les précipitations sont assez variable en altitude qu'on basse altitude pour le SG1. Le même constat a été fait concernant les autres zones à savoir (SG2, SG3, G2 et G3).

III.1.11 Ajustement des précipitations a une loi de probabilité

L'analyse statistique des précipitations est réalisée à l'échelle annuelle et mensuelle. Elle est portée uniquement sur les stations représentatives des différents sous bassins. L'ajustement a pour objectif de trouver les valeurs des quantiles pour des périodes de sécheresse.

III.1.11.1 A l'échelle annuelle

L'analyse statistique des précipitations annuelles a permis d'ajuster la loi log normale aux séries d'observations des stations pluviométriques.

Le tableau III.15 et la figure III.6 montre l'ajustement des précipitations annuelles de la station Djebahia, les résultats des autres ajustements sont en annexe A.

Le tableau III.18 résume les équations de la droite d'ajustements pour tous le sous bassins versants, permettant ainsi de calculer les quantiles.

Tableau III-15 : Précipitations annuelles classées et leurs fréquences expérimentales - station Djebahia

Ajustement à une loi Log-normale								
Taille n= 31		Moy.log(x-xo)= 2,728216348			I.C. à (en%)= 95		U Gauss= 1,960	
xo= 0		E.T. log(x-xo)= 0,106610294						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
764,8	288,7	1	0,016	-2,142	288,7	316,2	258,3	360,9
518,6	327,9	2	0,048	-1,661	327,9	355,7	300,4	399,2
494,3	330,3	3	0,081	-1,401	330,3	379,2	325,6	422,0
629,3	407,7	4	0,113	-1,211	407,7	397,3	345,0	439,8
696,6	430,7	5	0,145	-1,057	430,7	412,6	361,5	455,0
644,9	440,2	6	0,177	-0,925	440,2	426,2	376,1	468,7
533,0	469,3	7	0,210	-0,807	469,3	438,7	389,4	481,4
469,8	469,8	8	0,242	-0,700	469,8	450,4	401,8	493,5
538,2	470,0	9	0,274	-0,600	470,0	461,6	413,6	505,3
698,8	473,5	10	0,306	-0,506	473,5	472,4	424,9	516,7
473,5	477,2	11	0,339	-0,416	477,2	483,0	435,8	528,1
706,9	494,3	12	0,371	-0,329	494,3	493,4	446,4	539,4
430,7	518,6	13	0,403	-0,245	518,6	503,7	456,9	550,8
477,2	525,7	14	0,435	-0,162	525,7	514,0	467,2	562,4
407,7	532,7	15	0,468	-0,081	532,7	524,3	477,5	574,3
525,7	533,0	16	0,500	0,000	533,0	534,8	487,8	586,5
637,4	538,2	17	0,532	0,081	538,2	545,5	498,1	599,1
532,7	596,6	18	0,565	0,162	596,6	556,5	508,6	612,2
440,2	617,2	19	0,597	0,245	617,2	567,9	519,3	626,1
641,7	629,3	20	0,629	0,329	629,3	579,8	530,3	640,7
596,6	637,4	21	0,661	0,416	637,4	592,3	541,7	656,4
288,7	641,7	22	0,694	0,506	641,7	605,5	553,6	673,2
683,6	644,4	23	0,726	0,600	644,4	619,7	566,1	691,6
469,3	644,4	24	0,758	0,700	644,4	635,1	579,6	711,9
327,9	644,9	25	0,790	0,807	644,9	652,1	594,2	734,6
470,0	683,6	26	0,823	0,925	683,6	671,2	610,3	760,6
330,3	696,6	27	0,855	1,057	696,6	693,3	628,7	791,3
644,4	698,8	28	0,887	1,211	698,8	720,0	650,4	829,1
644,4	705,8	29	0,919	1,401	705,8	754,4	677,8	878,6
617,2	706,9	30	0,952	1,661	706,9	804,1	716,6	952,2
705,8	764,8	31	0,984	2,142	764,8	904,8	792,5	1107,3

Chapitre III : ETUDE PLUVIOMETRIQUE ET CLIMATIQUE

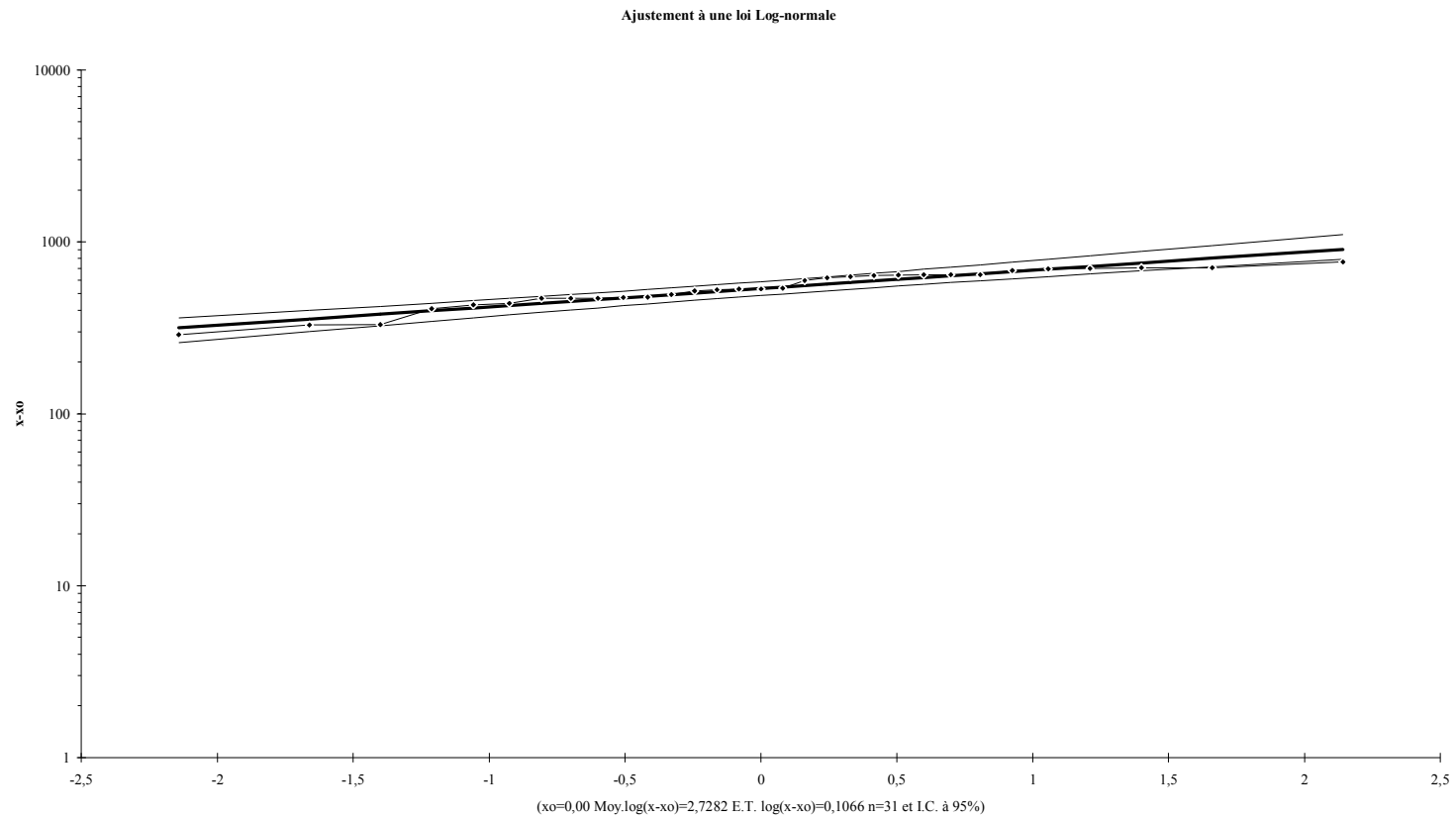


Figure III-6: Ajustement des précipitations annuelles à loi normale - Station Djebahia

L'ajustement des séries de précipitations annuelles aux différentes lois d'ajustements a été vérifié avec le test d'adéquation de Pearson χ^2

- **Lois d'ajustements**

Les lois d'ajustements à les quels s'ajustent le mieux les séries pluviométriques sont regroupés dans le tableau III.16

Tableau III-16 : Lois d'ajustements des séries pluviométriques

Stations	Lois
Djebahia	Log Normale
Khemisti	Log Normale
Tizi Ghenif	Log Normale
Mahterre	Log normale
El Omaria Pep	Log Normale

- **Test Appliqués aux stations pluviométriques**

- ✓ **Test de Wald-Wolfowitz**

Soit un échantillon de taille N , $(x_i, i = 1, 2, \dots, n)$ le test de Wald-Wilfowitz Considère :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X_i \cdot X_{i+1} \cdot X_1 \cdot X_n$$

Supposons que R suit une loi normale de moyenne \bar{R} et de variance $\text{car}(R)$ dont leurs expressions sont :

Et de variance :

$$\text{var}(R) = \frac{(S_2^2 - S_4)}{(n-1)} - R_2 + \frac{(S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4)}{(n-1)(n-2)} \quad (\text{III.4})$$

Avec : $S_r = \sum x_i^r = M'_r$

m^r : moment d'ordre r de l'échantillon.

On calcule la statistique $U = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{\text{var}(R)}}$ qui suit une loi normale $N(0;1)$, et on teste

l'hypothèse d'indépendance en comparant $U_{\alpha/2}$ avec la valeur normale standard à la probabilité de dépassement de $\alpha/2$

✓ **Test de stationnarité (Kendall)**

Stationnarité si caractéristiques statistiques (moyenne, variance, ...) invariantes dans le temps.

Non-stationnarité, en particulier, si changement (brusque ou graduel) dans la moyenne.

- Changement brusque, si date du saut est connue : test de Wilcoxon
- Si date de changement brusque est inconnue ou si l'on a un changement graduel : test de Kendall

Pour un échantillon classé par ordre chronologique x_1, \dots, x_N

On calcule la statistique S telle que :

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(X_j - X_i) (j > i)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \text{ concordance avec les rangs} \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \text{ discordance avec les rangs} \end{cases}$$

✓ **Test de stationnarité et d'homogénéité**

Soit une série complète divisée en deux échantillons de taille n_1 et n_2 . La date des séparations étant choisie a priori. Les deux échantillons sont classés par ordre croissant.

Nous considérons la statistique suivante :

$$V = R - n_1(n_2 + 1) / 2 \quad \text{(III.5)}$$

$$W = n_1 n_2 - V \quad \text{(III.6)}$$

Où :

R : la somme des rangs des éléments de premier échantillon (taille n_1) et V représentent le nombre de fois des individus du premier échantillon (n_1) qui existe dans le deuxième échantillon (taille n_2).

$n = n_1 + n_2$ avec $n_1 < n_2$ puis on classe l'échantillon global de taille n par ordre croissant.

La statistique U, est définie par le minimum de (V, U), U est supposé suivre une loi normale de moyenne et de variance.

$$\bar{U} = n_1 \cdot n_2 / 2$$

$$Var(U) = \left[\frac{n_1 \cdot n_2}{n(n-1)} \right] \left[\frac{n^3 - n_2}{12} - \sum T \right] \quad (III.7)$$

Avec : $T = (J^3 - J)/12$, où J est le nombre d'observation lié à un rang donné.

$\sum T$: représente toutes les observations qui sont liées à des rangs pour les deux échantillons, l'hypothèse d'homogénéité et de stationnarité pour un seuil de signification α % stipule que l'indicateur :

$$\left| \frac{U - \bar{U}}{\sqrt{V(U)}} \right| \leq U_{\alpha/2} \quad (III.8)$$

✓ **Le test de KHI deux**

Pour mettre en place le test :

- Découper l'échantillon de n éléments en K classe (K>4 éléments, de manière à ce que chaque classe contienne théoriquement plus de 5 éléments.
- Calcul de χ^2 calculé (observé).
- calcul du nombre de degrés de liberté $\gamma = K - 1 - m$ (nombre de paramètres de la loi normal =2),
- Poser les hypothèses H_0 et H_1
 H_0 : L'échantillon provient d'une loi Log normale (par exemple) au seuil de signification 5% ou 10%.
 H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Log normale (par exemple) au seuil de signification 5% ou 10%.
- Déterminer χ^2 théorique à partir de la table,
 si χ^2 calculé > χ^2 théoriques à 5% ou 10% (qui sont les valeurs critiques au seuil de signification),

Alors les fréquences observées diffèrent significativement de la fréquence théorique (on rejette l'hypothèse H_1 et on accepte H_0)

Le tableau III.17 regroupe tous les tests appliqués aux stations pluviométriques.

Tableau III-17 : Tests appliqués aux séries pluviométriques

Test	Indépendance Test de Wald Wolfowitz	Stationnarité Test de Kendall	Homogénéité Test de Wilcoxon	Ajustement Test de χ^2
Djebahia	OK U = 0.44	OK K = 1.44	OK W = 1.89	OK $\chi^2 = 4.90$
Khemisti	OK U = 1.70	OK K = 0.75	OK W = 0.53	OK $\chi^2 = 8.97$
Tizi Ghenif	OK U = 1.39	OK K = 0.47	OK W = 0.52	OK $\chi^2 = 8.06$
Mahterre	OK U = 0.42	OK K = 1.91	OK W = 1.75	OK $\chi^2 = 5.35$
El Omaria Pep	OK U = 0.28	OK K = 0.27	OK W = 0.50	OK $\chi^2 = 8.06$

- **Equations des droites d'ajustements**

Les équations des droites d'ajustements sont résumées dans le tableau III.18 :

Tableau III-18 : Equations d'ajustements des précipitations annuelles

Stations	Equation de la Droite d'ajustement
Djebahia 090 403	$\text{Log } X_{p\%} = 2.72 + 0.11u_{p\%}$
El Omaria Pep 090 205	$\text{Log } X_{p\%} = 2.49 + 0.14u_{p\%}$
Tizi Ghenif 090 506	$\text{Log } X_{p\%} = 2.80 + 0.10u_{p\%}$
Khemisti 011 004	$\text{Log } X_{p\%} = 2.43 + 0.31 u_{p\%}$
Mahterre090 202	$\text{Log } X_{p\%} = 2.69 + 0.11 u_{p\%}$

- **Calcul des Quantiles**

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour de la sécheresse donne les résultats regroupés dans le tableau III.19.

Les intervalles de confiance : $P[x_1 < x < x_2] = 95\%$

Tableau III-19 : Précipitations annuelles pour différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	2	3	5	10	20	50	100	200	500
Djebahia 090 403	534	481	434	380	357	323	302	284	263
El Omania Pep 090 205	313	273	240	209	187	164	151	139	127
Tizi Ghenif 090 506	635	573	519	467	428	388	363	342	318
Khemisti 011 004	269	197	146	106	81.6	60.7	49.8	41.6	33.4
Mahterre 090 202	493	440	394	350	318	285	265	248	229

III.1.11.2 A l'échelle mensuelle

Dans le but de mettre en valeur la variation des précipitations à l'échelle mensuelle, nous avons dès le départ déterminé les paramètres statistiques des stations représentatives des sous bassins et l'ajustement des données mensuelles à une loi de probabilité.

Il est à noter que les précipitations mensuelles s'ajustent beaucoup mieux avec à la loi log normale, le tableau III.21 donne les équations de Galton pour la station de DJEBAHIA 090 403.

Tous les résultats des ajustements sont en Annexes A.

On prend pour exemple la station de Djebahia qui est représentative du BV de Isser, le reste des résultats est en annexes.

- **Lois d'ajustements**

Les lois d'ajustements à les quels s'ajustent le mieux les séries pluviométriques sont regroupés dans le tableau III.20

Tableau III-20 : Lois d'ajustements aux séries des précipitations mensuelles - Station Djebahia

Stations	Djebahia
Septembre	Log normale
Octobre	Log normale
Novembre	Log normale
Décembre	Log normale
Janvier	Gumbel
Février	normale
Mars	Gumbel
Avril	Gumbel
Mai	Gumbel
Juin	Gumbel
Juillet	Gumbel
Août	Gumbel

• **Test Appliqués aux stations pluviométriques**

Le tableau III.21 regroupe tous les tests appliqués aux stations pluviométriques.

Tableau III-21 : Tests appliqués aux séries des précipitations mensuelles - Station Djebahia

Test	Indépendance Test de Wald Wolfowitz	Stationnarité Test de Kendall	Homogénéité Test de Wilcoxon	Ajustement Test de χ^2
Septembre	OK U = 0.1620	OK K = 0.1876	OK W = 0.8148	OK $X^2 = 2.5$
Octobre	OK U = 0.74	OK K = 0.06	OK W = 0.65	OK $X^2 = 15.62$
Novembre	OK U = 0.621	OK K = 1.31	OK W = 0.377	OK $X^2 = 4$
Décembre	OK U = 1.18	OK K = 0.53	OK W = 0.95	OK $X^2 = 1.29$
Janvier	OK U = 0.13	OK K = 1.28	OK W = 1.18	OK $X^2 = 15.74$
Février	OK U = 1.10	OK K = 1.23	OK W = 1.08	OK $X^2 = 1.74$
Mars	OK U = 0.13	OK K = 0.09	OK W = 0.10	OK $X^2 = 2.65$
Avril	OK U = 1.03	OK K = 0.19	OK W = 0.36	OK $X^2 = 3.55$
Mai	OK U = 0.20	OK K = 1.35	OK W = 1.29	OK $X^2 = 2.65$
Juin	OK U = 1.07	OK K = 0.34	OK W = 0.37	OK $X^2 = 24.3$
Juillet	OK U = 0.68	OK K = 1.14	OK W = 1.07	OK $X^2 = 32.2$
Août	OK U = 2.34	OK K = 0.1	OK W = 0.76	OK $X^2 = 18.45$

• **Equations des droites d'ajustements**

Les équations des droites d'ajustements sont résumées dans le tableau III.22.

Tableau III-22 : Equations d'ajustements des précipitations mensuelles – station de Djebahia

Stations	Equation d'ajustements
Septembre	$\text{Log } X_{p\%} = 1.10 + 0.74 U_{p\%}$
Octobre	$\text{Log } X_{p\%} = 1.40 + 0.90 U_{p\%}$
Novembre	$\text{Log } X_{p\%} = 1.73 + 0.29 U_{p\%}$
Décembre	$\text{Log } X_{p\%} = 1.86 + 0.33 U_{p\%}$
Janvier	$X_{p\%} = 52.31 + 41.68 U_{p\%}$
Février	$X_{p\%} = 69.36 + 48.65 U_{p\%}$
Mars	$X_{p\%} = 35.72 + 49.26 U_{p\%}$
Avril	$X_{p\%} = 37.21 + 29.20 U_{p\%}$
Mai	$X_{p\%} = 23.54 + 28.40 U_{p\%}$
Juin	$X_{p\%} = 2.89 + 6.56 U_{p\%}$
Juillet	$X_{p\%} = 0.92 + 11.78 U_{p\%}$
Août	$X_{p\%} = 2.41 + 7.68 U_{p\%}$

• **Calcul des Quantiles**

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour de la sécheresse donne les résultats regroupés dans le tableau III.23.

Tableau III-23 : Valeurs des précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour - Station Djebahia

Période de retour	2	3	5	10	20	50	100	200	500
Septembre	14.22	8.12	4.75	2.68	1.67	0.98	0.69	0.42	0.34
Octobre	28.3	15.6	8.77	4.75	2.86	1.62	1.11	0.78	0.51
Novembre	53	39.4	29.6	21.9	17	12.8	10.6	8.93	7.25
Décembre	71.7	51.7	37.83	27.08	20.54	15.06	12.24	10.13	8.05
Janvier	67.0	48.39	32.95	18.46	7.82	-2.97	-9.57	-15.25	-21.7
Février	69.03	48.09	28.07	6.64	-11.05	-30.96	-44.23	-56.37	-71.09
Mars	52.8	35.0	20.2	6.35	-3.82	-14.15	-20.46	-25.88	-32.06
Avril	46.9	34.1	23.5	13.6	6.3	-1.1	-5.7	-9.6	-14.0
Mai	33.1	22.0	12.89	4.30	2.01	-8.41	-12.32	-15.68	-19.51
Juin	4.63	2.30	0.37	1.44	2.76	4.12	4.95	5.66	6.47
Juillet	3.36	1.14	-0.70	-2.42	-3.69	-4.97	-5.75	-6.42	-7.20
Août	4.69	2.44	0.60	-1.17	-2.45	-3.75	-4.54	-5.23	-6.00

Les valeurs négatives des précipitations dans le tableau III.23, sont significatives de déficits de précipitations mensuels pour différentes périodes de retour de la sécheresse.

Pour des mois qui ne sont pas secs comme Février on a des déficits de précipitation de mensuels de 11 mm qui se produisent tous les vingt ans, et pour le mois de juillet c'est encore plus critique et fréquent avec des déficits de précipitation tous les cinq (5) ans.

III.2 ETUDE DES ECOULEMENTS

III.2.1 Débit moyen annuel

III.2.1.1 A l'Echelle Annuelle

L'analyse statistique des débits moyens annuels a permis d'ajuster à la loi de Gumbel ou la loi Log normale les séries de débits moyens annuels.

Le tableau III.24 et la figure III.7 montre l'ajustement des débits moyens annuels de la station de Lakhdaria, les résultats des autres ajustements sont en annexe B.

Le tableau III.27 résume les équations de la droite d'ajustements pour toutes les stations hydrométriques du bassin versant, permettant ainsi de calculer les quantiles (tableau III.28)

Tableau III-24 : Ajustement à loi log normale des débits moyens de la Station hydrométrique de Lakhdaria

Ajustement à une loi Log-normale								
Taille n= 28		Moy.log(x-xo)= 0,789420531			I.C. à (en%)= 95		U Gauss= 1,960	
xo= 0		E.T. log(x-xo)= 0,371411083						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
27,52	0,58	1	0,018	-2,101	0,58	1,02	0,49	1,65
29,42	1,51	2	0,054	-1,612	1,51	1,55	0,84	2,35
20,12	2,08	3	0,089	-1,345	2,08	1,95	1,12	2,86
5,87	2,75	4	0,125	-1,150	2,75	2,30	1,38	3,32
13,18	2,91	5	0,161	-0,991	2,91	2,64	1,64	3,75
4,80	3,40	6	0,196	-0,854	3,40	2,97	1,89	4,18
3,99	3,99	7	0,232	-0,732	3,99	3,29	2,14	4,61
8,47	4,36	8	0,268	-0,619	4,36	3,63	2,41	5,06
12,33	4,68	9	0,304	-0,514	4,68	3,97	2,68	5,52
12,80	4,76	10	0,339	-0,414	4,76	4,32	2,95	6,00
6,08	4,80	11	0,375	-0,318	4,80	4,69	3,24	6,52
7,77	4,82	12	0,411	-0,225	4,82	5,08	3,55	7,07
3,40	5,87	13	0,446	-0,134	5,87	5,49	3,87	7,66
8,86	6,08	14	0,482	-0,045	6,08	5,93	4,21	8,31
4,36	6,14	15	0,518	0,045	6,14	6,40	4,56	9,02
12,10	6,39	16	0,554	0,134	6,39	6,91	4,95	9,80
1,51	7,14	17	0,589	0,225	7,14	7,47	5,37	10,69
4,82	7,77	18	0,625	0,318	7,77	8,08	5,82	11,69
2,08	8,47	19	0,661	0,414	8,47	8,77	6,32	12,84
4,68	8,86	20	0,696	0,514	8,86	9,56	6,87	14,17
7,14	11,88	21	0,732	0,619	11,88	10,45	7,50	15,76
2,91	12,10	22	0,768	0,732	12,10	11,51	8,22	17,68
2,75	12,33	23	0,804	0,854	12,33	12,79	9,07	20,08
11,88	12,80	24	0,839	0,991	12,80	14,38	10,10	23,19
6,14	13,18	25	0,875	1,150	13,18	16,47	11,42	27,46
0,58	20,12	26	0,911	1,345	20,12	19,46	13,24	33,87
6,39	27,52	27	0,946	1,612	27,52	24,43	16,15	45,29
4,76	29,42	28	0,982	2,101	29,42	37,12	23,04	77,92

Ajustement à une loi Log-normale

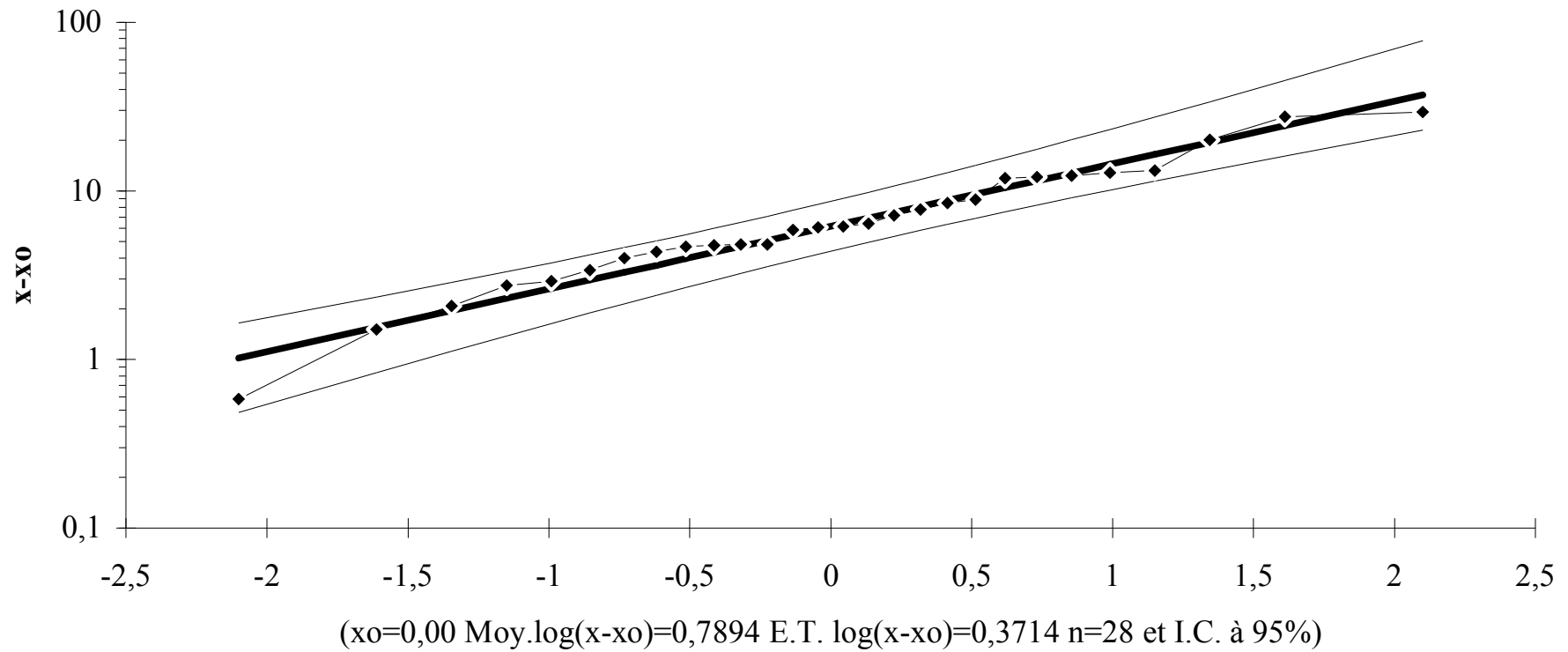


Figure III-7 : Ajustement à la loi log normale des débits moyens annuels de la station de Lakhdaria

- **Lois d'ajustements**

Les lois d'ajustements à les quels s'ajustent le mieux les séries des débits moyens sont regroupés dans le tableau III.25

Tableau III-25 : Lois d'ajustements des séries de débits moyens

Stations	Lois
DECHMIYA	Gumbel
MEZAHIM	Gumbel
TRAILLE	Log normale
Beni Slimane	Gumbel
LAKHDARIA	Log normale

- **Test d'ajustement de Khi² aux stations hydrométriques**

L'ajustement des séries de débits moyens annuels aux différentes lois d'ajustements a été vérifié avec le test d'adéquation de Pearson Khi²

Tableau III-26 : Test d'ajustement de Khi² aux séries hydrométriques

Test	Ajustement Test de Khi ²
DECHMIYA	OK $X^2 = 1.33$
MEZAHIM	OK $X^2 = 1.00$
TRAILLE	OK $X^2 = 2.00$
BENI SLIMANE	OK $X^2 = 3.42$
LAKHDARIA	OK $X^2 = 2.50$

• **Equations des droites d'ajustements**

Les équations des droites d'ajustements sont résumées dans le tableau III.27.

Tableau III-27 : Equations d'ajustements des débits moyens annuels

Stations	Equation de la Droite d'ajustement
DECHMIYA	$X_{p\%} = 0.18 + 0.11 U_{p\%}$
MEZAHIM	$X_{p\%} = 0.40 + 0.23 U_{p\%}$
TRAILLE	$\text{Log } X_{p\%} = 0.57 + 0.30 U_{p\%}$
BENI SLIMANE	$X_{p\%} = 0.31 + 0.17 U_{p\%}$
LAKHDARIA	$\text{Log } X_{p\%} = 0.78 + 0.37 U_{p\%}$

• **Calcul des Quantiles**

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour de la sécheresse donne les résultats regroupés dans le tableau III.28.

Les intervalles de confiance : $P[x_1 < x < x_2] = 95\%$

Tableau III-28 : Débits moyens pour différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	2	3	5	10	20	50	100	200	500
DECHMIYA	0.22	0.17	0.13	0.96	0.70	0.43	0.27	0.13	0
MEZAHIM	0.48	0.37	0.29	0.21	0.15	0.94	0.58	0.27	0
TRAILLE	3.71	2.75	2.06	1.51	1.17	0.88	0.73	0.61	0.49
BENI SLIMANE	0.34	0.24	0.16	0.89	0.35	-0.02	-0.05	-0.08	-0.11
LAKHDARIA	6.84	4.48	2.99	1.94	1.36	0.91	0.69	0.55	0.41

Les valeurs négatives des débits moyens annuels dans le tableau III.28 pour certaines périodes de retour de la sécheresse sont indicatives de déficits d'écoulement.

Par exemple la station hydrométrique de Beni Slimane enregistre un déficit d'écoulement de 0.02 m³/s tous les cinquante (50) ans, le déficit d'écoulement passe à 0.11 m³/s tous les cinq cents ans (500) ans.

III.2.1.2 A l'Echelle Mensuelle

L'analyse statistique des débits moyens annuels a permis d'ajuster à la loi Log normale, la loi de Gumbel ou la loi de normale les séries de débits moyens mensuels.

Le tableau III.29 et la figure III.8 montre l'ajustement des débits moyens annuels de la station de Lakhdaria, les résultats des autres ajustements sont en annexes.

Le tableau III.29 résume les équations de la droite d'ajustements pour toutes les stations hydrométriques du bassin versant, permettant ainsi de calculer les quantiles (tableau III.30)

Pour l'ajustement suivant on a pris l'exemple de la station de Lakhdaria et les ajustements des autres stations sont en annexe B.

Tableau III-29 : Ajustement à loi log normale des débits moyens de la Station hydrométrique de Lakhdaria – Mois de Novembre

Ajustement à une loi Log-normale								
Taille n= 28		Moy.log(x-xo)= 0,350542812		I.C. à (en%)= 95			U Gauss= 1,960	
xo= 0		E.T. log(x-xo)= 0,647541443						
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
45,98	0,14	1	0,018	-2,101	0,14	0,10	0,03	0,22
1,72	0,23	2	0,054	-1,612	0,23	0,20	0,07	0,42
1,47	0,27	3	0,089	-1,345	0,27	0,30	0,11	0,59
8,97	0,37	4	0,125	-1,150	0,37	0,40	0,17	0,76
15,45	0,43	5	0,161	-0,991	0,43	0,51	0,22	0,95
8,34	0,44	6	0,196	-0,854	0,44	0,63	0,29	1,14
1,66	0,55	7	0,232	-0,732	0,55	0,75	0,36	1,35
5,42	0,88	8	0,268	-0,619	0,88	0,89	0,44	1,59
11,44	0,99	9	0,304	-0,514	0,99	1,04	0,52	1,85
0,88	1,13	10	0,339	-0,414	1,13	1,21	0,62	2,14
6,70	1,47	11	0,375	-0,318	1,47	1,39	0,73	2,47
16,42	1,66	12	0,411	-0,225	1,66	1,60	0,86	2,85
0,43	1,72	13	0,446	-0,134	1,72	1,83	1,00	3,28
1,13	2,11	14	0,482	-0,045	2,11	2,10	1,15	3,78
2,60	2,13	15	0,518	0,045	2,13	2,40	1,33	4,36
2,13	2,60	16	0,554	0,134	2,60	2,74	1,53	5,04
2,81	2,81	17	0,589	0,225	2,81	3,14	1,76	5,86
0,37	4,26	18	0,625	0,318	4,26	3,60	2,03	6,85
0,44	5,42	19	0,661	0,414	5,42	4,16	2,34	8,07
0,99	6,70	20	0,696	0,514	6,70	4,82	2,71	9,59
0,23	8,34	21	0,732	0,619	8,34	5,64	3,16	11,54
9,17	8,97	22	0,768	0,732	8,97	6,67	3,71	14,10
0,27	9,17	23	0,804	0,854	9,17	8,01	4,40	17,60
2,11	9,98	24	0,839	0,991	9,98	9,83	5,31	22,62
0,55	11,44	25	0,875	1,150	11,44	12,46	6,58	30,37
0,14	15,45	26	0,911	1,345	15,45	16,66	8,52	43,80
9,98	16,42	27	0,946	1,612	16,42	24,78	12,04	72,69
4,26	45,98	28	0,982	2,101	45,98	51,38	22,38	187,16

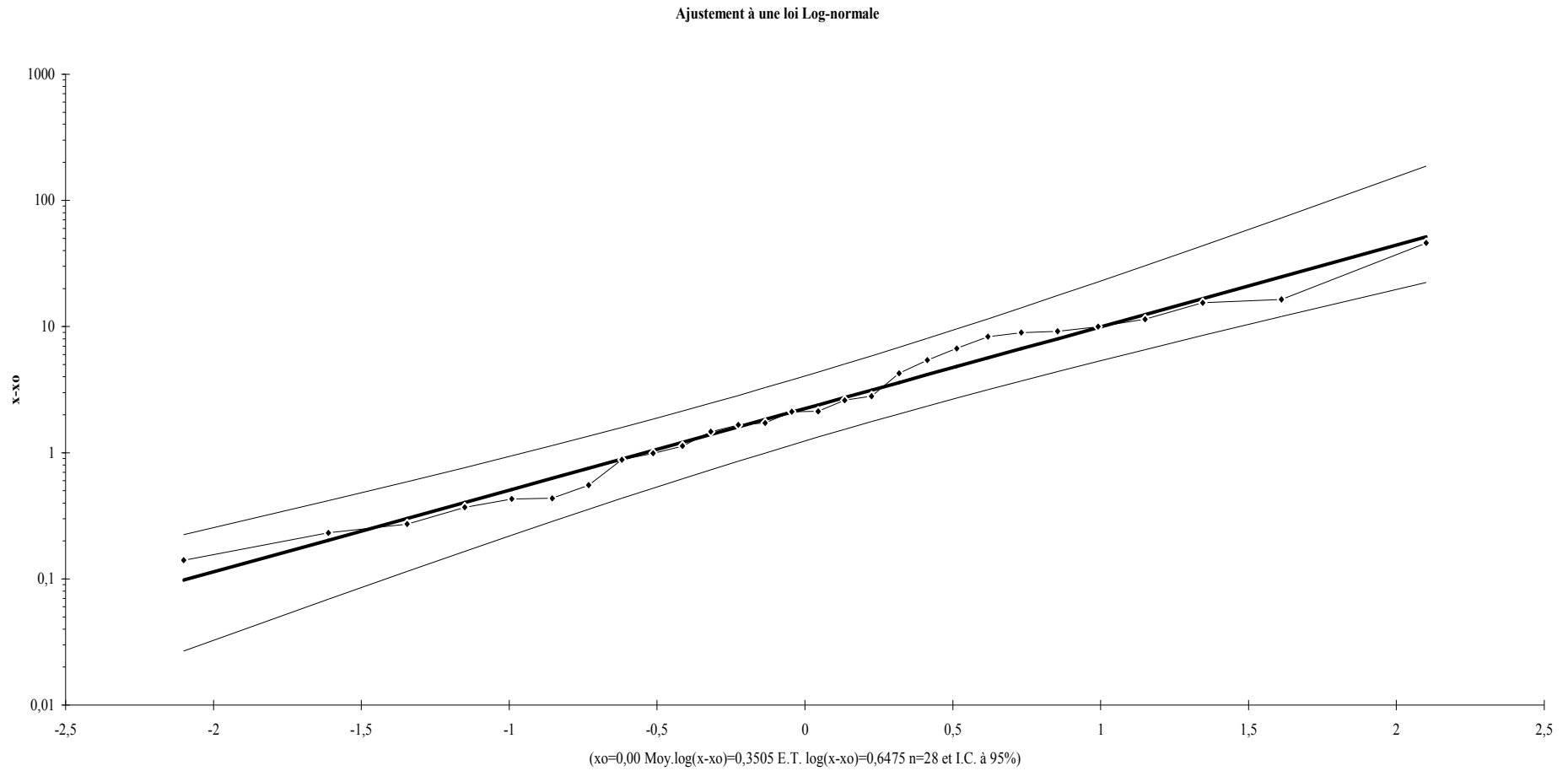


Figure III-8 : Ajustement à la loi log normale des débits moyens annuels de la station de Lakhdaria

- **Lois d'ajustements**

Les lois d'ajustements à les quels s'ajustent le mieux les séries des débits moyens sont regroupés dans le tableau III.30

Tableau III-30 : Lois d'ajustements des débits moyens du mois de Novembre - Station de Lakhdaria

Stations	Lois
Septembre	Log Normale
Octobre	Gumbel
Novembre	Log Normale
Décembre	Log Normale
Janvier	Log Normale
Février	Log Normale
Mars	Log Normale
Avril	Log Normale
Mai	Log Normale
Juin	Normale
Juillet	Log normale
Août	Log normale

- **Test Appliqués aux stations hydrométriques**

Le tableau III.31 regroupe tous les tests appliqués aux stations pluviométriques.

L'ajustement des séries de débits moyens annuels aux différentes lois d'ajustements a été vérifié avec la méthode de Khi^2

Tableau III-31 : Tests appliqués aux séries des débits moyens - Station Lakhdaria

Test	Indépendance Test de Wald Wolfowitz	Stationnarité Test de Kendall	Homogénéité Test de Wilcoxon	Ajustement Test de χ^2
Septembre	OK U = 1.13	OK K = 0.894	OK W = 1.37	OK $\chi^2 = 5$
Octobre	OK U = 0.59	OK K = 0.18	OK W = 0.11	OK $\chi^2 = 3.00$
Novembre	OK U = 1.47	OK K = 0.10	OK W = 0.65	OK $\chi^2 = 5.50$
Décembre	OK U = 1.81	OK K = 0.05	OK W = 1.75	OK $\chi^2 = 5.50$
Janvier	OK U = 0.62	OK K = 0.73	OK W = 0.35	OK $\chi^2 = 3.00$
Février	OK U = 1.40	OK K = 0.37	OK W = 1.76	OK $\chi^2 = 2.00$
Mars	OK U = 0.19	OK K = 2.20	OK W = 1.06	OK $\chi^2 = 1$
Avril	OK U = 1.01	OK K = 0.15	OK W = 0.36	OK $\chi^2 = 8.00$
Mai	OK U = 1.06	OK K = 0.75	OK W = 0.43	OK $\chi^2 = 5.00$
Juin	OK U = 0.58	OK K = 1.25	OK W = 1.60	OK $\chi^2 = 1.5$
Juillet	OK U = 0.43	OK K = 0.89	OK W = 0.25	OK $\chi^2 = 3.50$
Août	OK U = 0.56	OK K = 0.68	OK W = 0.84	OK $\chi^2 = 7.50$

• **Equations des droites d'ajustements**

Les équations des droites d'ajustements sont résumées dans le tableau III.32.

Tableau III-32 : Equations d'ajustements des débits moyens mensuels :

Stations	Equation de la Droite d'ajustement
Septembre	$\text{Log } X_{p\%} = -0.28 + 0.95 U_{p\%}$
Octobre	$X_{p\%} = 1.44 + 2.18 U_{p\%}$
Novembre	$\text{Log } X_{p\%} = 0.35 + 0.65 U_{p\%}$
Décembre	$\text{Log } X_{p\%} = 0.69 + 0.65 U_{p\%}$
Janvier	$\text{Log } X_{p\%} = 0.94 + 0.52 U_{p\%}$
Février	$\text{Log } X_{p\%} = 1.02 + 0.57 U_{p\%}$
Mars	$\text{Log } X_{p\%} = 0.96 + 0.62 U_{p\%}$
Avril	$\text{Log } X_{p\%} = 0.69 + 0.68 U_{p\%}$
Mai	$\text{Log } X_{p\%} = 0.52 + 0.53 U_{p\%}$
Juin	$X_{p\%} = 1.66 + 1.46 U_{p\%}$
Juillet	$\text{Log } X_{p\%} = -0.76 + 0.80 U_{p\%}$
Août	$\text{Log } X_{p\%} = 0.69 + 0.68 U_{p\%}$

• **Calcul des Quantiles**

Le calcul des quantiles pour différentes périodes de retour de la sécheresse donne les résultats regroupés dans le tableau III.33.

Les intervalles de confiance : $P[x_1 < x < x_2] = 95\%$

Tableau III-33 : Débits moyens pour différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	2	3	5	10	20	50	100	200	500
Septembre	0.44	0.14	0.52	0.17	0.67	0.002	0.001	0	0
Octobre	2.19	1.35	0.66	0.013	-0.40	-0.95	-1.24	-1.50	-1.78
Novembre	2.24	1.18	0.64	0.33	0.19	0.10	0.07	0.05	0.03
Décembre	4.88	2.57	1.39	0.72	0.42	0.23	0.15	0.10	0.07
Janvier	8.78	5.22	3.18	1.87	1.20	0.73	0.53	0.39	0.27
Février	10.40	5.89	3.43	1.92	1.19	0.69	0.48	0.35	0.23
Mars	9.08	4.89	2.71	1.44	0.86	0.48	0.32	0.23	0.15
Avril	4.92	2.50	1.31	0.66	0.37	0.19	0.13	0.08	0.05
Mai	3.35	1.98	1.21	0.71	0.46	0.28	0.20	0.15	0.10
Juin	1.66	1.03	0.43	-0.20	-0.73	-1.33	-1.73	-2.09	-2.53
Juillet	0.17	0.07	0.04	0.02	0.008	0	0	0	0
Août	0.13	0.05	0.02	0	0	0	0	0	0

Les valeurs négatives du tableau III.33 sont des déficits d'écoulement mensuels pour différentes périodes de retour de la sécheresse.

Le mois de juin qui n'est pas un mois sec enregistre un déficit d'écoulement de 0.20 m³/s tous les dix (10) ans qui passe à 2.53 m³/sec tous les cinq cent (500) ans. De même pour le mois d'octobre avec un déficit d'écoulement de 0.40 m³/sec tous les vingt (20) ans.

III.2.2 Variations annuelles des débits moyens

A partir des valeurs de débits moyens de la station hydrométrique de Lakhdaria le graphique de la variation annuelle de ses débits a été établi (figure III.9).

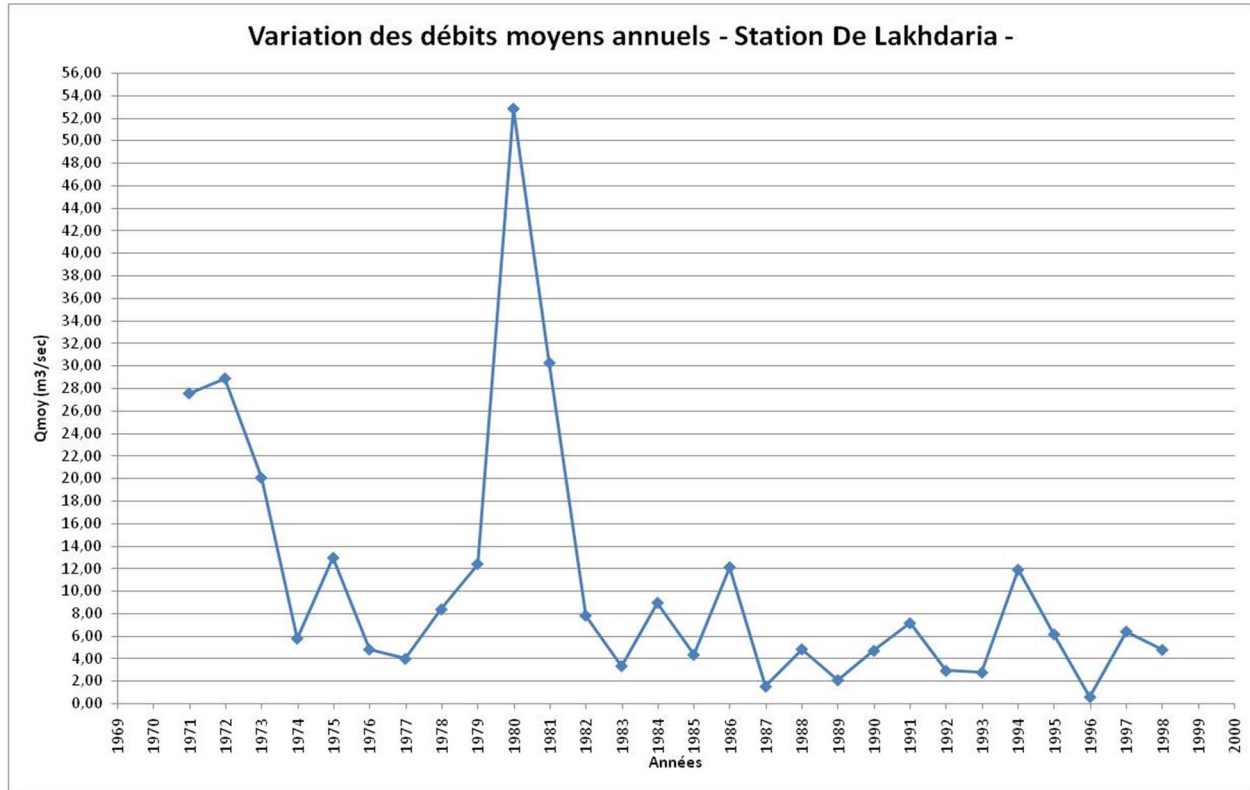


Figure III-9 : Variation des débits moyens annuels - Station de Lakhdaria

Nous remarquons que les débits varient considérablement au cours des années et les valeurs enregistrées au cours des périodes 1971 – 1973 et 1980 -1981 sont assez importantes par rapport aux autres années.

Nous remarquons aussi que les périodes durant lesquels les débits sont faibles durent plus longtemps et sont plus fréquentes que les périodes avec débits importants comme par exemple pour la période de 1987 à 1993 ou les débits moyens n'excèdent pas les 8 m³/s alors que les années où le débit excède les 20 m³/s sont de l'ordre de quatre années pour une série d'observation de 27 ans (1971-1998).

III.2.3 Variations mensuelles des débits moyens

A partir des valeurs de débits moyens de chaque station hydrométrique du BV de Isser nous avons tracé la variation mensuelle de ses débits (figure III.10).

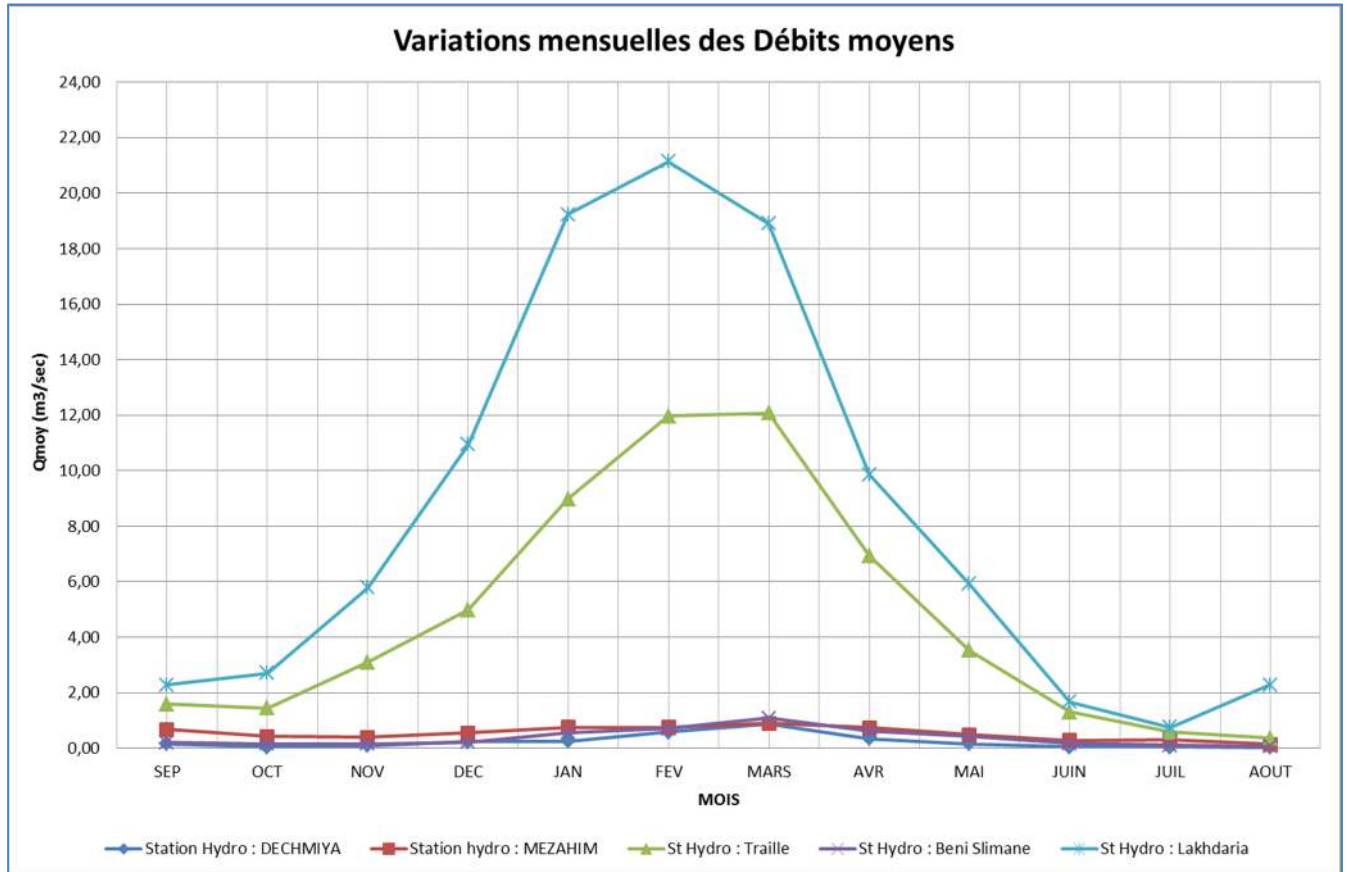


Figure III-10 : Variation mensuelle des débits moyens mensuels à différentes stations

Au vu de la figure III.10, il est à remarquer que seulement pour les stations de Lakhdaria et Traille la variation est visible du fait que les valeurs de débits moyens varient considérablement au cours de l'année contrairement à ceux des autres stations qui enregistrent des débits moyens faibles par rapport aux stations de Lakhdaria et Traille.

Les débits moyens annuels atteignent leurs valeurs maximales pendant la période entre Janvier et Mars ce qui est tout à fait logique.

Pour les stations qui de Dechmiya, Mezahim et Beni Slimane le maximum des débits moyens est enregistré au cours du mois de Mars.

III.2.4 Caractéristiques d'écoulement

Afin de mieux visualiser les variations de débits, nous calculons les caractéristiques d'écoulement de chaque sous bassin pour enfin aboutir au calcul d'un paramètre très important qui est le déficit d'écoulement appelé aussi déficit hydrique et qui est la différence entre les précipitations annuelles et la lame d'eau ruisselée.

Pour chaque station hydrométrique qui couvre un sous bassin et comme cité dans le paragraphe de la détermination des stations représentatives, dans notre cas on utilise les stations représentatives obtenues pour les différents sous bassins de Isser.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.31 pour la station hydrométrique de Lakhdaria, les autres résultats sont en annexes

Tableau III-34 : Caractéristiques de l'écoulement - Station de Lakhdaria

ANNEE	Qmin	Q max	Qmoy	Apport	M ₀ (l/s.Km2)	Ki	Lr (mm)	Ce	P (mm)	Dh (mm)
1971	0,03	2020,00	27,53	870,53	7,62	2,65	240,81	0,47	1159,00	918,19
1972	1,03	1080,00	28,86	910,25	7,98	2,78	251,80	0,49	864,80	613,00
1973	0,50	2350,00	20,04	631,93	5,54	1,93	174,81	0,34	839,90	665,09
1974	0,19	314,50	5,78	182,34	1,60	0,56	50,44	0,10	507,30	456,86
1975	0,12	365,30	12,94	409,12	3,58	1,24	113,17	0,22	639,70	526,53
1976	0,05	242,30	4,80	151,50	1,33	0,46	41,91	0,08	457,40	415,49
1977	0,04	319,53	3,97	125,25	1,10	0,38	34,65	0,07	486,10	451,45
1978	0,02	901,00	8,35	263,44	2,31	0,80	72,87	0,14	584,90	512,03
1979	0,02	608,00	12,38	391,48	3,42	1,19	108,29	0,21	373,60	265,31
1980	0,03	458,72	52,78	1664,34	14,60	5,08	460,40	0,90	588,50	128,10
1981	0,02	350,00	30,23	955,90	8,36	2,91	264,43	0,51	493,10	228,67
1982	0,00	271,00	7,81	246,21	2,16	0,75	68,11	0,13	396,70	328,59
1983	0,00	191,20	3,33	105,35	0,92	0,32	29,14	0,06	386,10	356,96
1984	0,03	288,00	8,94	281,90	2,47	0,86	77,98	0,15	573,10	495,12
1985	0,00	713,80	4,33	136,59	1,20	0,42	37,78	0,07	492,20	454,42
1986	0,00	383,80	12,10	369,40	3,35	1,16	102,19	0,20	429,20	327,01
1987	0,01	102,50	1,51	47,86	0,42	0,15	13,24	0,03	232,70	219,46
1988	0,00	509,00	4,82	153,10	1,33	0,46	42,35	0,08	461,00	418,65
1989	0,00	331,60	2,08	66,22	0,57	0,20	18,32	0,04	342,84	324,52
1990	0,01	424,30	4,68	145,30	1,30	0,45	40,19	0,08	404,50	364,31
1991	0,01	513,10	7,14	225,80	1,97	0,69	62,46	0,12	592,30	529,84
1992	0,00	172,20	2,91	91,60	0,81	0,28	25,34	0,05	360,80	335,46
1993	0,00	355,90	2,75	85,91	0,76	0,26	23,76	0,05	356,70	332,94
1994	0,00	620,53	11,88	378,52	3,29	1,14	104,71	0,20	656,30	551,59
1995	0,00	583,01	6,14	191,20	1,70	0,59	52,89	0,10	471,27	418,38
1996	0,00	144,00	0,58	18,31	0,16	0,06	5,07	0,01	210,87	205,80
1997	0,01	471,25	6,39	200,52	1,77	0,61	55,47	0,11	673,60	618,13
1998	0,00	214,20	4,76	147,00	1,32	0,46	40,67	0,08	466,34	425,67

Avec : Ce : coefficient d'écoulement

D_h : déficit d'écoulement (mm)

Le graphique III.11 montre la variation du déficit hydrique sur la période 1971-1998.

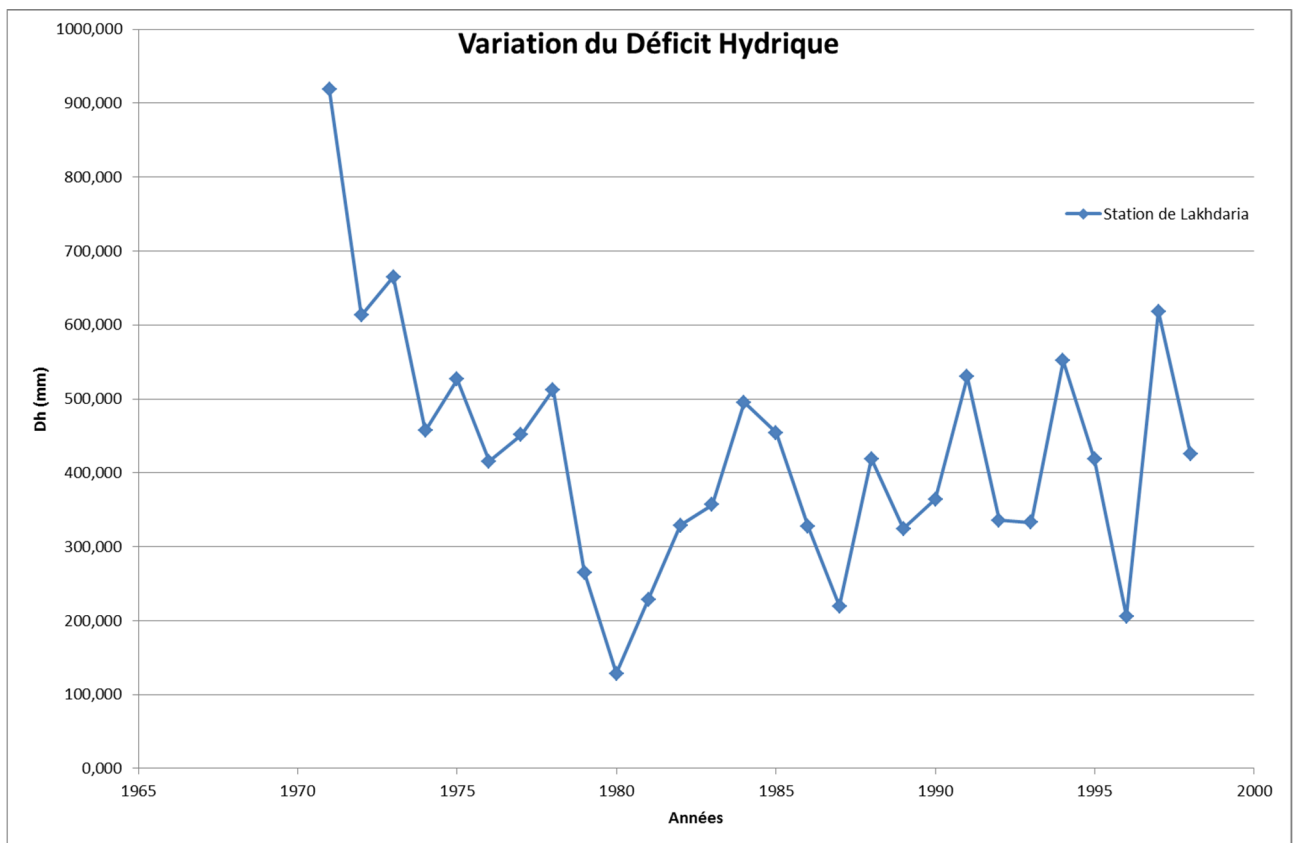


Figure III-11 : variation du déficit Hydrique pour la station de Lakhdaria

Le déficit hydrique varie d'une manière continue et les périodes où le déficit est en décroissance sont plus fréquentes que les années où le déficit connaît une augmentation, par exemple sur une année le déficit augmente et pendant les trois à quatre années qui suivent cette augmentation le déficit subit une diminution.

III.3 ETUDE CLIMATIQUE

III.3.1 Climat en Algérie

Le climat correspond dans cette région à une zone de contact et d'opposition entre les masses d'air d'origine polaire et arctique d'une part, et les masses d'air tropicales d'autre part (Site ONM, 2008).

Les oscillations saisonnières du front de séparation des deux grandes masses d'air, en rapport avec les variations en latitude du jet stream de la troposphère sont responsables des alternances de beau temps stable quand l'une des situations anticycloniques envahit largement la région et d'un temps capricieux variable à précipitations irrégulièrement réparties quand la région est balayée par le passage de fronts de discontinuités.

Aux limites subtropicales des latitudes moyennes, il y a des zones dans lesquelles le climat est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs. Ce type de régime climatique, connu comme le climat Méditerranéen.

Le Nord de l'Algérie tire la clémence de ses hivers et la douceur de ses étés de sa position privilégiée. Située à une latitude à cheval entre les régions tempérées et celles désertiques, son climat méditerranéen se caractérise par la présence de la chaîne montagneuse de l'atlas tellien sur son flanc sud et de la mer méditerranée au nord dont les eaux restent plus aux moins chaudes toute l'année.

L'atlas tellien, une chaîne de montagne qui s'étend parallèlement à la mer méditerranée, du Maroc à la Tunisie, protège la région du littoral côtier des remontées d'air sec et chaud du Sahara.

L'air saharien arrive parfois à traverser ces montagnes pour s'étendre vers le littoral. Subissant l'effet de Föhn, cet air s'assèche et se réchauffe sous le vent engendrant les canicules les plus sévères. Des canicules que la proximité de la mer dissipe difficilement par le phénomène de la brise.

Les précipitations sur l'ensemble du territoire se présentent d'une manière assez diverse, d'une part par leurs causes et d'autre part par les quantités recueillies. Elles diminuent d'Est en Ouest et du Nord au Sud.

Le climat des Hauts-Plateaux est aride avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400mm par an. Le Désert du Sahara est aride avec des précipitations annuelles extrêmement faibles, moins que 70mm par an.

III.3.2 Climat du BV de ISSER

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire, entre le climat tellien de montagne pluvieux et à l'amplitude thermique faible, avec des chutes de neiges et le climat tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant des forts écarts de température. On peut distinguer deux principaux régimes pluvieux:

- Le régime méditerranéen est le régime le plus important, il s'étale d'octobre à mai. Son efficacité se fait sentir entre octobre et mars. Les précipitations d'origine cyclonique représentent 60 % environ du total annuel dont une partie non négligeable provient des pluies orageuses (dues à la proximité de la mer) ou de l'effet orographique.
- Le régime subtropical se caractérise par des pluies qui se manifestent le plus souvent en été ou à la fin du printemps (Zeggane, 2005).

III.3.3 Classifications des climats

Il était nécessaire mais également suffisant pour nos besoins, que la classification fasse intervenir ces deux éléments météorologiques fondamentaux que sont la température et les précipitations. Il y a deux moyens de dresser une nomenclature des climats une fois qu'un principe de classification est retenu : Comme l'a fait de Martonne, donner aux types de climat des noms qui rappellent certaines particularités climatiques ou certaines régions caractéristiques. Cela nécessite une description détaillée de chacun des types, l'avantage est d'avoir une idée exacte ou utiliser au contraire, comme l'a fait Koppen, des « formules climatiques » établies d'une manière conventionnelle (Fournier, 1960).

Une lettre majuscule peut, par exemple, indiquer la zone à laquelle appartient le type de climat étudié ; une minuscule peut indiquer le caractère essentiel de ce type de climat, puis d'autres minuscules les subdivisions, sous-types de climat, qu'il peut être nécessaire de distinguer. Ces lettres peuvent aussi être affectées d'indices également conventionnels pour représenter les modalités de variation de chaque facteur.

Ce second système est en somme un mode de notation abrégé, lors d'une étude faite dans un but défini. Il permet d'indiquer de façon commode les variations d'un élément climatique qui peuvent présenter un intérêt certain pour une recherche donnée. Ceci est le cas pour nous, qui entreprenons une étude sur les facteurs climatiques de la sécheresse.

Une classification des climats du globe du type de celle de Koppen étant tout aussi valable qu'une autre, le choix s'est donné porte sur une classification de ce genre pour réaliser, en fonction du climat, celle des sous bassins fournissant les valeurs de l'indice d'aridité.

Le caractère essentiel du climat aride BW réside en ce que l'évapotranspiration surpasse toujours ou presque toujours au cours de l'année la précipitation. Le drainage est nul ou extrêmement faible.

Sur le pourtour des zones arides se situent les zones de climat semi-aride. Elles forment la transition vers les zones humides. Elles sont caractérisées également par un important déficit en eau.

Ce qui est important de signaler est que la déficience en eau d'une région ne dépend pas seulement de la quantité de pluie tombée mais également de la hauteur d'eau perdue par évapotranspiration, il est impossible de s'en tenir à une quantité de précipitation pour déterminer les zones arides et semi-arides. C'est pour cela, que divers indices sont calculés permettant d'évaluer le degré d'aridité. L'autre paramètre important pour évaluer cet indice est la température à laquelle l'évapotranspiration est liée.

III.3.4 Paramètres du climat

III.3.4.1 Température

La recherche de données climatologiques au niveau de l'ANRH a été infructueuse du fait que les stations climatologiques de l'ANRH dans le BV de Isser ne sont plus opérationnelles. C'est l'ONM (office national de la météorologie) qui a fourni les données climatologiques sur les chefs lieu de wilaya sur une période de 10 ans.

Le bassin versant de l'oued ISSER est caractérisé par une température relativement douce d'octobre au mois d'Avril et chaude de Mai à Septembre. La température moyenne annuelle à la station de Beni Slimane (600m d'altitude) est de l'ordre de 16,5°C (Keddar, 2006).

Les données sont présentées dans les tableaux III.35 et III.36

Tableau III-35 : Répartition mensuelle de la température «Station de (BS 21)»

Température (°C)	Sept	Oct.	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Année
Min	8.2	7.5	3.8	0.8	-4	0.3	0.0	2.3	4.3	14.0	16.7	12.3	5,52
Moy	22.2	15.8	13.63	8.4	6.5	12.2	8.90	13.9	16.23	25.08	29.15	27.14	16,59
Max	36.2	31.8	23.2	17.0	18.0	25.8	20.8	32.3	34.3	40.0	41.6	42.9	30,33

Source : ANRH, Alger.

Tableau III-36 : Répartition mensuelle de la température « Station de Souagui ».

T (°C)	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Année
Min	7.7	4.1	2.2	-0.1	-4.3	2.9	0.0	3.6	3.0	11	14.6	10.2	4,58
Moy	20.75	13.4	11.87	7.00	4.62	11.69	7.71	13.6	15.12	22.5	27.07	25.04	15,03
Max	32.9	29.4	22.0	19.3	15.5	24.3	19.5	30.7	30.0	35.5	38.2	39.2	28,04

Source : ANRH, Alger.

Tableau III-37 : Répartition mensuelle de la température « station de Ouled Ammar ».

Température	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Année
Min	11.5	9.3	2.5	2.0	-1.5	1.0	1.8	4.0	5.0	6.0	13.7	11.9	5,60
Moy	24.6	18.0	15.5	10.2	8.2	13.9	11.0	16.2	18.75	21.4	28.8	28.2	17,90
Max	38.8	34.8	25.7	19.4	20.0	28.0	23.8	34.3	37.4	42.7	44.0	44.8	32,81

Source : ANRH, Alger.

Tableau III-38 : Répartition mensuelle de la température « station de Berouaghia »

Température	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Année
Min	9.4	7.2	1.7	2.3	1.9	1.3	0.1	1.6	5.2	9	12.1	12.5	4.5
Moy	26.7	17.6	11.9	8	7.1	8.5	11.1	19	17.9	22.5	26.7	26.7	16.2
Max	57.3	50.8	24.1	17.9	17.6	19.4	24.3	27.9	33	37.4	41	40.6	29.3

Source : ANRH, Alger.

Et pour les données des températures récupérées au niveau de l'ONM, elles représentent les températures moyennes mensuelles des stations d'Alger (Dar el Beida), Tizi Ouzou, Dellys et Bouira pour la période 1995 – 2004.

Toutes les données sont mises dans les tableaux III.39, III.40, III.41 et III.42.

Tableau III-39 : Répartition mensuelle de la température "station de Dar El Beida"

Station Dar el Beida		Latitude = 36°41		Longitude = 3°13		Altitude = 25 m							
Températures moyennes (°C)													
Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	22,2	20,4	17,1	14,7	10,9	12,8	12,6	13,6	19,3	22	25,1	25,9	18,1
1996	21,6	17,1	15,3	13,6	14,3	11,3	13,3	15,2	17,4	21	24,5	25,7	17,5
1997	24,3	21,2	16,3	13,3	13,4	12	11,8	15,5	19,7	22,9	23,9	25,7	18,3
1998	24,7	17,9	15	11,2	12	12,4	12,7	15,4	17,8	21,7	24,8	25,7	17,6
1999	24,6	22,5	14	12,1	11,7	10,1	13,9	15,2	20,4	23,3	25,5	27,8	18,4
2000	23,4	18,9	15,9	13,6	9,1	11,6	13,6	16,5	20,3	22,3	25,9	26,6	18,1
2001	23,7	22,5	14,3	10,1	12,2	11	16,6	15	18,1	23,8	25,4	26,7	18,3
2002	23,1	20	16,1	14	11,3	11,1	14,1	15,2	18,7	22,9	24,6	25,2	18,0
2003	24,1	20,7	16,3	12	10,9	10,4	13,7	15,6	18,4	25,4	27,8	28,5	18,7
2004	24,8	22,3	13,8	12,6	11,5	12,5	13,1	14,9	16,4	22,2	24,8	27,3	18,0
Moyenne	23,7	20,4	15,4	12,7	11,7	11,5	13,5	15,2	18,7	22,8	25,2	26,5	18,1

Source ONM, 2008

Tableau III-40 : Répartition mensuelle de la température "station de Dellys"

STATION DELLYS AFIR		Latitude = 36°55		Longitude = 3°57		Altitude = 8 m							
Températures moyennes (°C)													
Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	22,4	20,8	18,2	16,1	12,8	14,5	13,4	13,8	18,7	21,2	23,8	25,1	18,4
1996	21,6	18	16,7	15	15,5	12,2	14,1	15,3	17,6	20,8	23,2	25,1	17,9
1997	*	*	*	*	14,1	13,6	*	*	*	*	*	*	13,9
1998	23,8	19,3	15,9	12,8	13,4	13,6	14	16,2	17,5	21,1	*	24,8	17,5
1999	24,4	22,8	15,4	13,1	12,9	11,4	14,5	15,9	19,9	22,1	24,2	27	18,6
2000	23,6	19,5	16,9	15,2	11,2	13,3	14,1	16,9	19,3	21,1	25,2	25,8	18,5
2001	22,4	23,1	15,5	12,3	*	*	*	*	*	*	*	*	18,3
2002	23,1	20,5	17,3	15,4	12,6	13,2	14,7	15,6	18,2	21,5	23	24,2	18,3
2003	23,8	21,3	17,4	13,3	12,5	11,4	14,3	15,8	17,6	23,7	26,6	27,4	18,8
2004	23,8	23,1	15,2	13,7	13,2	13,4	13,7	15,1	16,5	21	23,4	26,2	18,2
Moyenne	23,2	20,9	16,5	14,1	13,1	13,0	14,1	15,6	18,2	21,6	24,2	25,7	17,8

Source ONM, 2008

Tableau III-41 : Répartition mensuelle de la température "station de Tizi Ouzou"

Station de Tizi Ouzou		Latitude = 36°42		Longitude = 4°03		Altitude = 188 m							
Températures Moyennes (°C)													
Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	22,4	17,9	15,5	12,8	13,3	10,4	13,5	15,8	18,7	23,1	27	27,8	18,2
1996	26,2	19,3	15,5	12,8	8,8	12,4	14,9	17	22	25,1	30,1	30,1	19,5
1997	25,9	24,1	15	9,9	11,3	11	17,2	16,1	19,4	26,8	30	30	19,7
1998	24,9	21,2	16,1	13,6	10,5	12,1	14,3	15,7	20,3	26,2	28,1	28,1	19,3
1999	25	21,4	16,7	11,3	10,9	9,8	14,6	16,4	19,7	28	30,9	30,9	19,6
2000	26,6	23,8	14,1	12,3	11,3	13,3	13,3	15,3	17,2	24,3	29,8	29,8	19,3
2001	24,4	21,7	15,3	11,2	8,2	8	13,5	15,8	21,2	25,8	27,9	27,9	18,4
2002	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2003	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2004	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Moyenne	25,1	21,3	15,5	12,0	10,6	11,0	14,5	16,0	19,8	25,6	29,1	29,2	19,1

Source ONM, 2008

Tableau III-42 : Répartition mensuelle de la température - Station de Bouira

BOUIRA														
Températures moyennes (°C)														
Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne	
1995	21,4	18,9	13,8	11,7	8	11,2	10,6	12,5	19,8	23,1	27,1	26	17,0	
1996	20,8	16,1	13,6	10,9	11,2	8,3	11,5	13,5	16,6	21,1	25,9	26,3	16,3	
1997	23,2	18,7	13	10,3	10,1	11,1	11,2	14,3	20,6	24,9	26,5	26,7	10,6	
1998	24,2	16,5	12,4	8,4	9	10,4	11,3	14	16,9	24,3	27,6	26,9	16,8	
1999	24,3	21,5	17,4	9,1	8,7	7,2	11,7	14,3	21,8	25,2	26,9	30,4	18,2	
2000	23,9	17,1	13,6	11	6,8	10	13,1	15,8	21,2	24,2	28,7	28,6	17,8	
2001	24	22,3	12,5	8,2	9,3	8,7	15,4	14	17,7	25,3	28,1	28,5	17,8	
2002	22,8	19,8	13,5	11,1	8,7	10,7	13,2	14,8	20	26,2	26,6	26	17,8	
2003	23,4	19,6	13,6	8,7	8	7,4	12,4	14,6	18,3	26,9	30,3	29,2	17,7	
2004	24,3	21,3	11,3	9,2	9,1	10,8	12,2	13,3	15,1	23	27,2	28,6	17,1	
Moyenne	23,2	19,2	13,5	9,9	8,9	9,6	12,3	14,1	18,8	24,4	27,5	27,7	16,7	

Source ONM, 2008

Au vu des tableaux III.39, III.40, III.41 et III.42, la température moyenne annuelle pour la période 1995 – 2004 oscille entre 17 à 19 °C pour les trois stations qui se trouvent aux périphéries du BV de Isser. Il n’y a pas eu de grandes variations de températures qui dépassent les un (1) °C.

III.3.4.2 Gelée

Les gelées enregistrées des mois de novembre à mai. Le nombre moyen de jour par mois enregistré aux stations de Tablat et Bir Ghalou est donné dans le tableau III.43 : (Keddar, 2006).

Tableau III-43 : Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat et BirGhalou

Station	Alt (m)	sept	Oct	Nov	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total annuel
Tablat	450	0	0	1	5	6	3	3	1	0	0	0	19
Bir Ghalou	624	0	0	3	11	11	8	5	4	1	0	0	13

Source : ANRH

III.3.4.3 Vents

Les vents chargés d'humidité sont de direction Nord –Sud à Nord -Ouest sud- Est alors que les vents desséchant sont de direction Sud –Nord. Le sirocco souffle sur tout le bassin, le nombre moyen de jour de sirocco par an enregistré à la station de Beni Slimane et Bir Ghalou est donnée par le tableau III.44 : (Keddar, 2006).

Tableau III-44 : Nombre de jours de sirocco aux stations Beni Slimane et BirGhbalou

Station	sept	Oct	Nov	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total annuel
Beni Slimane	3	0	0	0	0	0	1	2	5	6	8	25
BirGhbalou	3	1	1	0	0	0	1	1	2	5	4	18

Source : ANRH

De même que pour la température, les données des vitesses des vents récupérées au niveau de l'ONM représentent la vitesse moyenne mensuelle des vents pour les stations d'Alger (Dar el Beida) et Dellys pour la période 1995 – 2004, toutes les données sont mises dans les tableaux III.45 et III.46

Tableau III-45 : Vitesses moyennes mensuelles "Station de Dar El Beida"

Station Dar el Beida	Latitude = 36°41		Longitude = 3°13		Altitude = 25 m								
Vents (m/sec)													
Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	2,3	1,2	2,4	2,9	2,3	1,7	2,2	2	2,8	2,8	2,4	2,3	2,3
1996	2,2	1,3	2,3	2	2,9	3,6	2,9	2,8	2,4	2,4	2,2	2	2,4
1997	2	1,8	2,9	2	2,6	1,2	1,5	2,1	2,1	2,4	2,7	2,3	2,1
1998	2,5	1,7	1,8	1,3	2,2	1,2	1,4	2,6	2,2	2,1	2,1	2,1	1,9
1999	2,8	2,6	2,4	3,4	2,1	2,2	2,1	1,7	2,8	3,1	2,8	2,2	2,5
2000	3	2,9	3,3	3,2	1,2	1,9	2,1	4,2	2,5	3	3,2	3,2	2,8
2001	2,9	1,9	2,5	1,4	3,3	2,4	3,1	3	3,3	3,6	3,2	2,7	2,8
2002	2,4	2,4	3	2,8	1,5	2	2,8	2,7	3,1	3,1	3,1	2,4	2,6
2003	2	2	2,6	3,3	4	3,2	2	2,7	2,5	2,6	2,6	2,5	2,7
2004	1,6	1,6	1,6	3,2	2,4	2	2,3	3,2	3,1	2,4	2,4	2,4	2,4
Moyenne	2,4	1,9	2,5	2,6	2,5	2,1	2,2	2,7	2,7	2,8	2,7	2,4	2,4

Source : ONM 2008

Tableau III-46 : Vitesses moyennes mensuelles "Station de Dellys"

STATION DELLYS AFIR		Latitude = 36°55		Longitude = 3°57		Altitude = 8 m							
Vents (m/sec)													
Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	2,9	1,9	4,1	5,9	5,3	3	2,6	2,4	2,5	2,8	2,5	2,2	3,2
1996	3,8	3,5	4,7	4,8	4,6	5,9	3,6	3,5	3,5	3,3	3,2	3,5	4,0
1997	*	*	*	*	3,5	2,9	*	*	*	*	*	*	3,2
1998	3,6	3,6	4,1	3,3	3,5	*		4,6	2,8	2,4		3,1	3,4
1999	2,7	2,8	3,5	4,9	3,5	3,6	3,3	3,2	2,8	3,2	3,5	2,7	3,3
2000	2,7	2,6	4	4	2,7	2,3	2,4	4,6	2,8	3	3,4	2,7	3,1
2001	2,7	1,9	2,3	2,9	*	*	*	*	*	*	*	*	2,5
2002	2,4	2,5	3,4	3,7	2,6	3,4	3,3	3,2	3,1	2,9	2,9	2,2	3,0
2003	2,6	2,6	2,6	3,7	4,5	3,4	2,6	3,1	3	1,6	1,6	1,9	2,8
2004	1,9	2,1	2,6	3,6	3,3	3	3	3,5	2,9	2	2	2,3	2,7
Moyenne	2,8	2,6	3,5	4,1	3,7	3,4	3,0	3,5	2,9	2,7	2,7	2,6	3,1

Source : ONM 2008

A la lecture des valeurs des vitesses des vents des deux tableaux, nous remarquons que c'est très peu fréquent que les vitesses dépassent les 4 m/sec. Et la moyenne annuel tourne autour de 2.5 à 3 m/sec.

III.3.4.4 Humidité

L'examen de l'humidité relative pour les données de l'ANRH (tableau III.47 et III.48) montre que celle-ci ne descend pas au-dessous de 45%. Ces valeurs peuvent être légèrement différentes d'une station à une autre.

Les plus fortes valeurs de l'humidité en été s'expliquent par l'effet de température qui est plus élevé durant cette saison, à partir d'une coupe allant de Bousmail- Blida- Chréa- Médéa Et Djelfa, nous confirmons que l'humidité relative ne descend jamais en dessous de 50% (en moyenne annuelle). (Keddar, 2006).

Tableau III-47 : Répartition mensuelle de l'humidité « station de (BS21) ».

Humidité	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Annuel
Min	09	04	15	26	21	14	20	0	08	09	09	0.9	11,33
Moy	46.9	65.0	61.4	69.3	68.6	68.3	76.8	67.7	71.4	55.4	45.5	49.5	62,15
Max	89	89	88	89	98	98	100	98	98	100	97	100	95,33

Source : ANRH, Alger

Tableau III-48 : Répartition mensuelle de l'humidité « station de Souagui ».

Humidité	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Annuel
Min	09	1	15	22	12	09	6	09	09	09	09	09	9,92
Moy	46.35	68.3	63.4	74.8	71.2	54.8	67.0	55.2	61.5	44.7	35.0	35.0	56,44
Max	92	95	95	94	94	94	94	94	93	93	88	93	93,25

Source : ANRH Alger

De même que pour les données de la température et la vitesse des vents, les données de l'humidité relative remises par l'ONM, représentent l'humidité moyenne mensuelle des stations d'Alger (Dar el Beida), Tizi Ouzou et Dellys pour la période 1995 – 2004, toutes les données sont mises dans les tableaux III.49, III.50 et III.51 :

Tableau III-49 : Humidité relative pour la station de Dar El Beida

Station Dar el Beida Latitude = 36°41 Longitude = 3°13 Altitude = 25 m

Humidité Relative (%)

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	71	75	66	76	79	79	77	73	70	75	70	70	73,4
1996	71	80	77	76	73	81	78	78	77	73	70	71	75,4
1997	70	71	75	78	69	83	74	73	78	66	69	67	72,8
1998	70	72	79	77	75	85	76	72	80	73	69	71	74,9
1999	70	70	79	81	78	78	75	71	73	70	67	67	73,3
2000	71	76	77	73	80	74	74	69	78	73	68	63	73,0
2001	76	75	80	84	79	81	71	77	76	63	68	72	75,2
2002	72	76	78	80	83	81	76	78	69	71	74	76	76,2
2003	75	78	78	78	82	81	80	81	80	68	68	68	76,4
2004	71	70	87	82	82	82	83	78	80	75	76	71	78,1
Moyenne	71,7	74,3	77,6	78,5	78,0	80,5	76,4	75,0	76,1	70,7	69,9	69,6	74,9

Source : ONM 2008

Tableau III-50 : Humidité relative pour la station de Dellys

STATION DELLYS AFIR Latitude = 36°55 Longitude = 3°57 Altitude = 8 m

Humidité Relative (%)

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	67	75	67	52	70	75	72	73	77	81	75	75	71,6
1996	75	80	68	71	72	79	74	76	76	78	77	77	75,3
1997	79	79	69	69	71	83	69	69	69	79	79	79	77,0
1998	74	74	80	80	69	74	76	72	81	81	79	74	76,2
1999	77	70	77	73	75	70	71	69	80	80	75	77	74,5
2000	72	75	64	60	72	68	77	68	76	76	76	72	71,3
2001	84	75	76	74	69	69	79	69	69	79	79	84	75,5
2002	71	77	71	70	79	74	76	74	79	79	79	71	75,0
2003	78	73	73	72	72	72	75	77	74	74	73	78	74,3
2004	73	62	77	74	73	78	78	73	79	79	79	73	74,8
Moyenne	75,0	74,0	72,2	69,5	72,2	74,2	74,7	72,0	76,0	78,6	77,1	76,0	74,5

Source : ONM 2008

Tableau III-51 : Humidité relative pour la station de Tizi Ouzou

Station de Tizi Ouzou Latitude = 36°42 Longitude = 4°03 Altitude = 188 m

Humidité Relative (%)

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne
1995	62	72	69	74	72	76	73	70	69	66	53	58	67,8
1996	56	72	72	76	83	75	75	65	70	60	49	42	66,3
1997	62	62	74	82	79	78	78	69	71	48	49	50	66,8
1998	61	64	77	81	82	76	76	75	65	51	56	56	68,3
1999	68	73	74	77	81	82	82	79	75	56	52	50	70,8
2000	61	57	82	81	80	76	76	72	79	65	60	57	70,5
2001	67	72	77	82	85	81	81	76	68	61	52	58	71,7
2002	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2003	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2004	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Moyenne	62,4	67,4	75,0	79,0	80,3	77,7	77,3	72,3	71,0	58,1	53,0	53,0	68,9

Source : ONM 2008

A la lecture des valeurs de l'humidité relative des stations ONM, les trois stations qui se trouvent dans la périphérie du BV de Isser ont une l'humidité relative moyenne annuelle variant entre 68 et 75%, ce qui peut nous amener à dire que l'humidité relative est assez élevée dans cette région et sur l'année, c'est rare de mesurer des valeurs inférieures à 60%.

III.3.4.5 Evaporation

L'évaporation est un paramètre qui conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation. Cette connaissance est l'un des moyens fondamentaux d'intervention pour réussir l'aménagement, une pratique culturale, la lutte contre l'érosion, ou tout autre projet qui vise à protéger l'environnement et à accroître l'exploitation maximum du potentiel naturel. Le tableau III.52 montre la variation mensuelle de l'évaporation potentielle (ETP) extraite des cartes d'évaporations établies par ANRH en 2002 (Keddar, 2006).

Tableau III-52 : Répartition mensuelle de l'évaporation :

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Année
Evaporation (mm)	146.5	90.0	52.4	35.3	38.4	85.7	85.7	123.2	166.4	206.0	225.4	199.9	1454.9

Source : ANRH Blida

III.3.4.6 Evapotranspiration

Le BV a été divisé en trois parties : Haut, moyen et bas Isser, chaque partie a une station pluviométrique représentative ainsi qu'une station climatologique pour les températures.

Sous bassins	Station pluviométrique représentative	Station climatologique représentative
HAUT ISSER	El Omaria Pep	Beni Slimane
MOYEN ISSER	Djebahia	Bouira
BAS ISSER	Tizi Ghenif	Dellys

L'évapotranspiration potentielle (ETP_0) est calculée par la formule de BOUTOUTAOU (2003). Pour les conditions climatiques de l'Algérie, elle est donnée par l'expression suivante :

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (III.9)$$

Ou :

E_0 - Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle, (mm) ;

T - température moyenne annuelle de l'air, (° C);

H - Humidité relative moyenne annuelle de l'air, (%);

β - coefficient correctif propre à chaque station météorologique, variant de 0,73 à 1,49. Voir tableau en Annexes

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.54 :

Tableau III-53 : ETR Potentielle au niveau du bassin Isser

Sous Bassins	P (mm)	T (°C)	H (%)	B	ETP_0 (mm)
Haut Isser	327,6	16,59	62,2	1	1874,74014
Moyen Isser	549,7	16,72	69,1	1	1538,95364
Bas Isser	656,9	17,84	74,5	1	1314,7494

Le rapport entre l'évaporation réelle et les précipitations est appelé « coefficient d'évaporation » :

$$\eta = \frac{E_R}{P} \quad (III.10)$$

La formule du coefficient d'évaporation en fonction de l'indice d'aridité trouvée pour les conditions climatiques de l'Algérie est la suivante :

$$\eta = 0.9953 \cdot \text{Exp} \left(- 0.5105 \cdot \left(\frac{P}{E_0} \right) \right) \quad (\text{III.11})$$

Après avoir calculé le coefficient d'évaporation, on calcul après l'évapotranspiration réelle est déterminée (Tab III.54)

Tableau III-54: Evapotranspiration réelle des sous bassins de Isser :

Sous Bassins	P (mm)	T (°C)	H (%)	B	ETP _o (mm)	n	ETR (mm)
Haut Isser	327,6	16,59	62,2	1	1874,74014	0,91	298,23
Moyen Isser	549,7	16,72	69,1	1	1538,95364	0,83	455,92
Bas Isser	656,9	17,84	74,5	1	1314,7494	0,77	506,62

III.3.4.7 Indice D'aridité

En 1923 Martonne établit un indice d'aridité I :

$$E_0 = \frac{P}{T+10} \quad (\text{III.12})$$

Avec : P est la hauteur annuelle des précipitations en mm

T la température moyenne annuelle en °C.

L'aridité est d'autant plus grande que la valeur de I sera plus faible.

- Si $I < 10$, le climat est aride
- Si $10 \leq I \leq 20$, le climat est semi-aride
- Entre 20 et 50, le climat est froid, tempéré ou tropical
- Au-dessus de 50, le climat est équatorial ou montagnard.

Les résultats sont résumés dans le tableau III.55

Tableau III-55 : Indice d'aridité et climats dans le BV de Isser

Sous Bassins	I	Type de Climat
HAUT ISSER	11.52	Climat Semi-aride
MOYEN ISSER	19.33	Climat Semi-aride
BAS ISSER	21.59	Climat froid, tempéré ou tropical

A partir du tableau III.55. Le BV est dominé par deux types de climats : un climat froid, tempéré ou tropical pour le bas du Bassin et un climat semi-aride pour le haut et le moyen Isser, et d'après la classification De Martonne le sous bassin du haut Isser n'est pas loin d'avoir un indice d'aridité propre au climat aride.

III.3.4.8 Indice mensuel d'aridité

Des chercheurs ont conçu un indice mensuel d'aridité E_0 montrant les mois de l'année où l'aridité est marquée, soit :

$$E_0 = \frac{12P}{T + 10} \quad (III.13)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne mensuelle en mm

T : Température moyenne du mois considérée en °C.

Tableau III-56 : Indice d'aridité mensuel dans le BV de Isser

Sous Bassins	I_{mensuel}	Mois le plus Aride
HAUT ISSER	1.2	Juillet
MOYEN ISSER	1.9	Juillet
BAS ISSER	1.2	Juillet

A partir du tableau III.56 on remarque que pour l'ensemble du BV, le mois de juillet reste le plus aride.

III.3.4.9 L'indice xérothermique de Gaussen

Cet indice définit les mois secs comme ceux où :

$$p < 2 t \text{ ou } p/t < 2.$$

p : est la précipitation mensuelle en mm, et

t : la température correspondante en °C.

Les mois secs de Gaussen sont plus clairs sur le diagramme ombrothermique, avec les 12 mois de l'année en abscisse et les précipitations et les températures mensuelles en ordonnées.

Les figures III.12, III.13 et III.14 permettent de tirer la longueur des saisons sèches.

Tableau III-57 : Longueur de la saison sèche dans le BV de Isser

Sous Bassins	Longueur de la saison sèche (mois)
HAUT ISSER	3.5
MOYEN ISSER	6
BAS ISSER	6

A travers les figures III.12, III.13 et III.14 aussi paradoxale que cela puisse paraître, la région du haut Isser qui comme vu précédemment a un climat semi-aride proche de l'aride a la longueur la plus petite de la saison sèche par rapport au moyen et bas Isser.

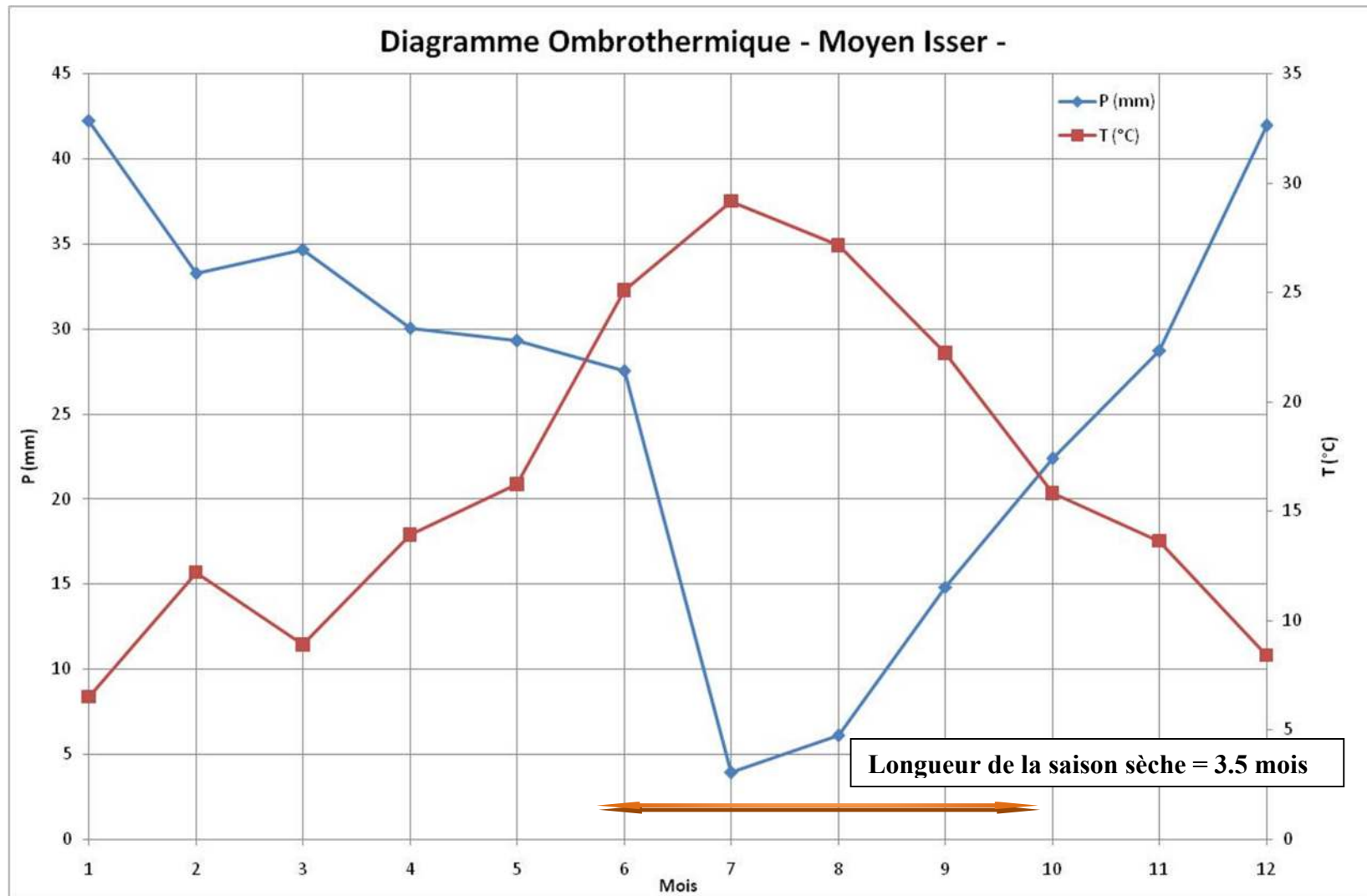


Figure III-12 : Diagramme Ombrothermique - Haut Isser –

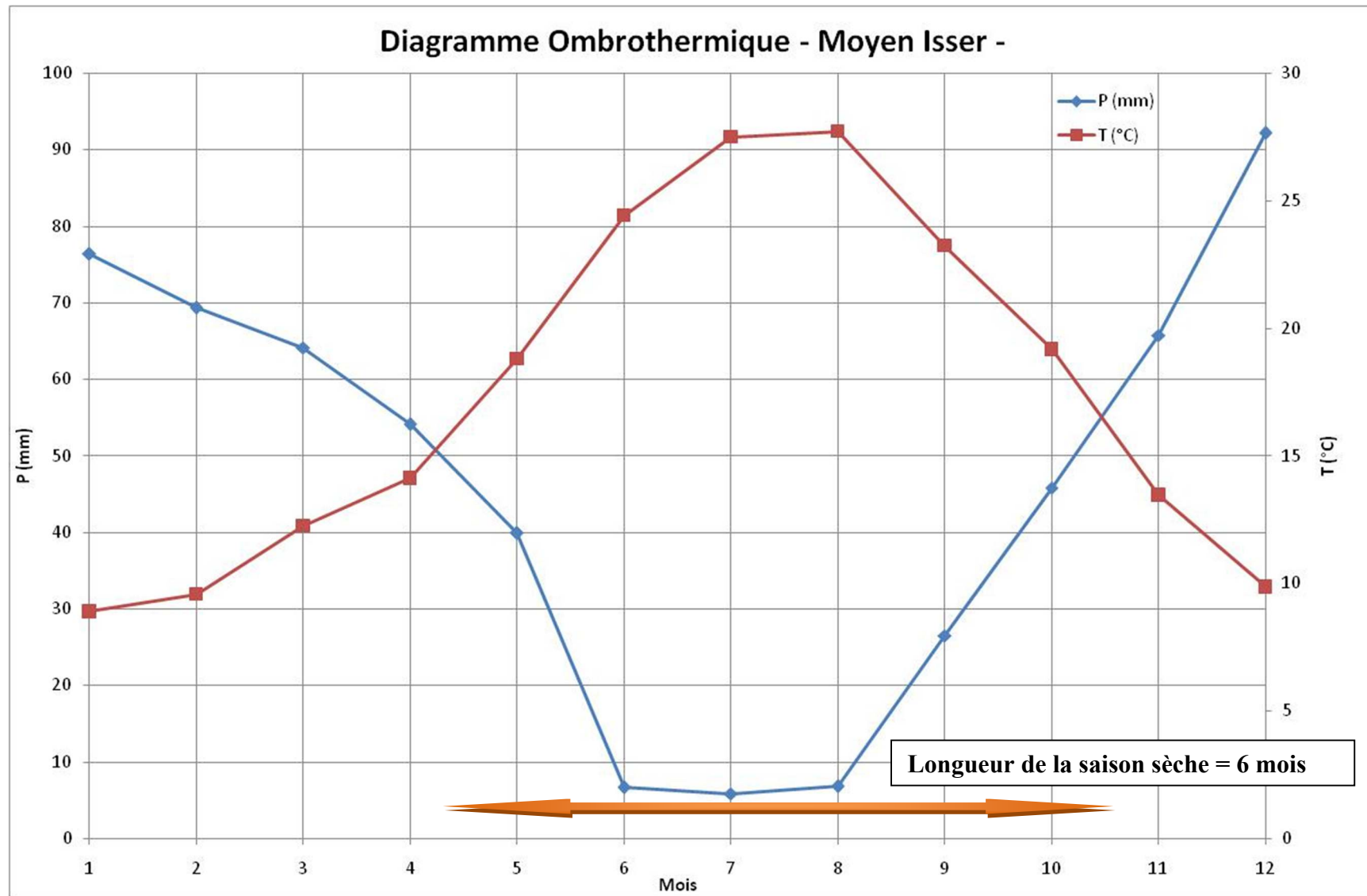


Figure III-13 : Diagramme Ombrothermique - Moyen Isser –

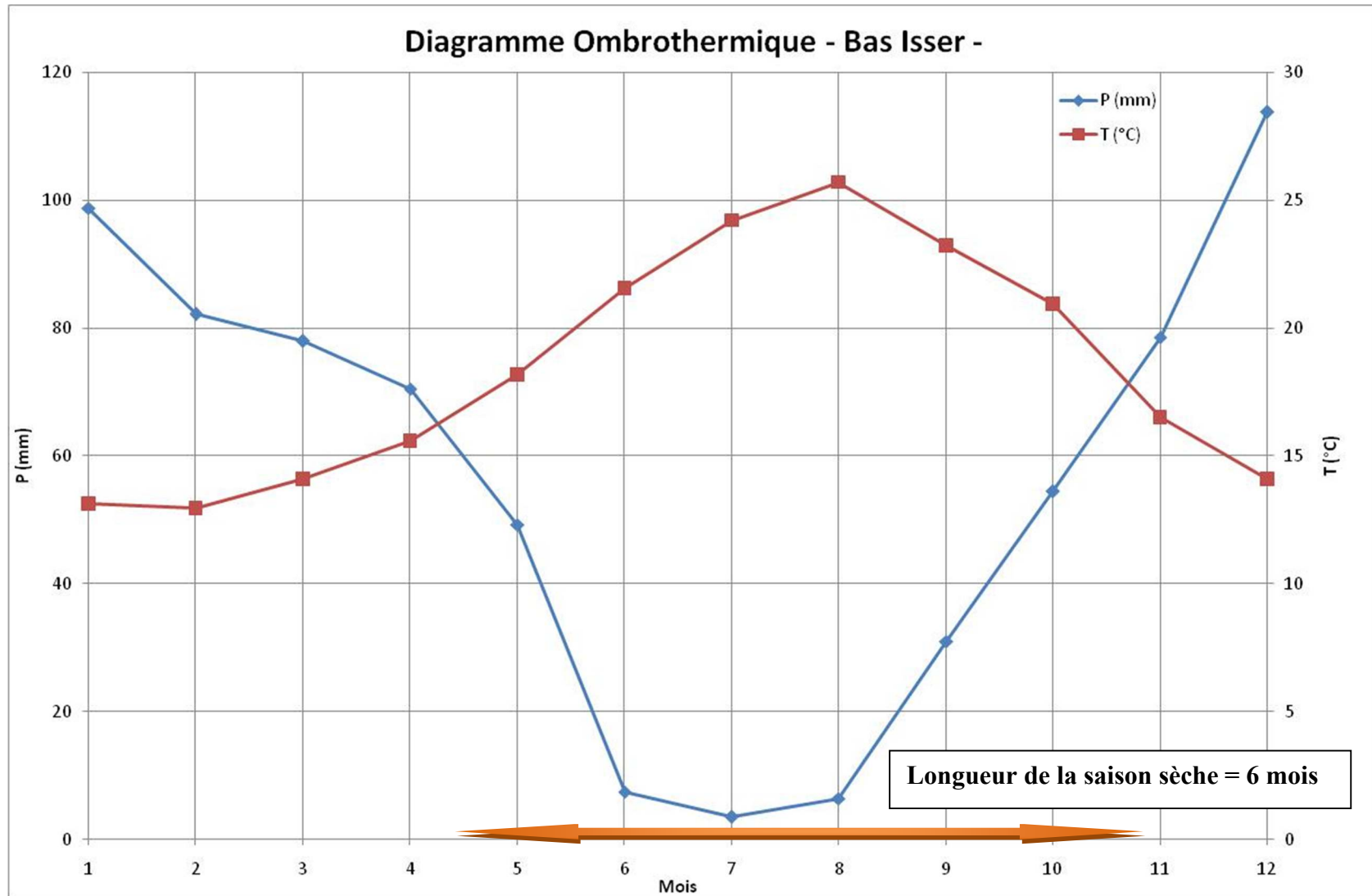


Figure III-14 : Diagramme Ombrothermique : Bas Isser

CONCLUSION

Ce chapitre a permis de déterminer la station représentative du bassin versant, et les stations représentatives des différents sous bassins. Un ajustement a été fait pour toutes les séries de précipitation annuelles et mensuelles pour avoir les différents quantiles pour différentes périodes de retour.

De même que pour les séries de précipitation, un ajustement a été fait pour les séries de débits moyens afin d'obtenir aussi les quantiles pour différentes périodes de retour.

A la suite de l'étude pluviométrique et des écoulements, l'étude climatique a permis de classer le climat du bassin versant qui est composé de deux climats principaux, le tropical pour le bas Isser et le climat semi-aride pour le haut et moyen Isser.

IV CHAPITRE IV : MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE

Les enjeux d'une meilleure gestion de l'eau sont critiques en région semi-aride. Et comme notre bassin est en grande majorité dominé par ce type de climat, il est nécessaire de développer des capacités de simulations de ces zones pour voir l'évolution de la ressource en eau dans un des bassins les plus importants du centre du Pays, en formulant des stratégies de gestion de l'eau aux niveaux régional et national et local permettant notamment d'assurer aussi bien un accès équitable qu'un approvisionnement adéquat et ce pour que cette ressource naturelle très rare soit le moins possible touché par les changements climatiques.

L'approche retenue consiste d'une part à comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant Isser et surtout le côté du bassin semi-aride et d'autre part à le reproduire au mieux, à travers la modélisation.

Quatre principaux objectifs sont fixés à savoir :

- ✓ Comprendre le fonctionnement hydrologique de la zone d'étude ;
- ✓ Explorer certains paramètres du cycle hydrologique ;
- ✓ Evaluer la pertinence d'un outil de simulation dans le contexte spécifique de l'étude ;
- ✓ Spécifier les limites des données disponibles et celles requises pour la modélisation en définissant l'instrumentation à mettre en place sur ce bassin pour améliorer les résultats de simulation.

Poursuivant ces objectifs, certaines questions essentielles se posent :

Quelles sont les carences qui limitent notre capacité à produire des prévisions fiables et quelles sont les informations nécessaires à une prévision fiable ?

Sur un bassin semi-aride, la recherche des principaux facteurs limitant les performances de simulations du régime hydrologique et les informations acquises afin d'améliorer les résultats de simulation.

Quelle est la densité requise d'un réseau de pluviomètres pour capter la variabilité spatiale des précipitations dans ces zones ?

Nous ne prétendons pas dans notre travail traité intégralement, mais ce travail a permis d'apporter des éléments de réponses dans un contexte climatique donné du bassin versant.

IV.1 APPROCHE DU BILAN HYDRIQUE

L'hydrologie consiste, selon les termes de Dooge (1988), à « résoudre l'équation du bilan de l'eau ». L'hydrologie est un vaste domaine d'étude qui fait appel à des disciplines variées.

En milieu semi-aride le cycle hydrologique présente des spécificités importantes. Pilgrim et al (1988) et Güntner (2002) proposent une analyse exhaustive des différences entre le cycle hydrologique en milieu tempéré et en milieux aride et semi-aride. Les spécificités des processus majeurs : la pluviométrie, l'évapotranspiration, le ruissellement et enfin les pertes par infiltration pour les stations hydrométriques du BV de Isser, sont étudiées.

IV.1.1 Régime pluviométrique

Les précipitations en milieu aride sont souvent de type convectif : courte durée, forte intensité et une hétérogénéité spatiale et temporelle les caractérisent.

IV.1.2 Ruissellement de surface

En milieu semi-aride, le ruissellement de surface rapide -qui a lieu pendant et juste après un événement pluvieux- contribue au débit de façon majoritaire. Le ruissellement de surface peut être dû à un dépassement de la capacité d'infiltration du sol (génération de ruissellement Hortonien (Horton, 1933)) ou à un dépassement du seuil de saturation du sol (génération de ruissellement de Dunne (Dunne et Black, 1970)). Les fortes intensités des événements, conjuguées à la faible capacité d'infiltration des sols (due à des sols souvent compactés et recouvert d'une croûte et une végétation peu abondante) expliquent la prépondérance du ruissellement Hortonien dans les zones semi arides.

Le ruissellement par saturation est négligeable, la nappe étant souvent située loin en profondeur, est déconnectée de l'hydrologie de surface (Pilgrim et al. 1988). En milieu tempéré par contre, le ruissellement de Dunne est nettement majoritaire par rapport au ruissellement Hortonien.

IV.1.3 Pertes par infiltration

Propres aux milieux arides et semi-arides, les pertes par infiltration dans le lit des cours d'eau peuvent représenter des volumes d'eau importants et reste le principal mécanisme de recharge des aquifères. Elles expliquent parfois une diminution avale du débit. En milieu semi-aride ou aride, sous l'effet de l'évaporation intense et de prélèvements importants, les nappes sont souvent captives, l'oued alimente la nappe.

IV.1.4 Evapotranspiration

L'évapotranspiration en milieu semi-aride représente une composante majoritaire du cycle hydrologique (Hernandez, 2000) rapporte que l'évapotranspiration recycle 80% des précipitations en milieu semi-aride et 95% en région aride. L'évaporation du sol nu a souvent un poids supérieur à la transpiration des plantes du fait de la large portion de sol nu et d'une couverture végétale souvent discontinue et peu abondante. L'évapotranspiration joue donc un rôle majeur et ne peut pas être négligée sous ce type de climat.

L'établissement du bilan hydrique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes suivantes :

- Evapotranspiration réelle (ETR), Ruissellement (R) et l'infiltration dans le sol.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation de Babkin (Babkin et Al, 1982) :

$$P = ETR + R + I \quad (IV.1)$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en mm,

R : ruissellement en mm,

I : infiltration moyenne en mm,

ETR : évapotranspiration réelle (mm)

En conséquence, en plus des précipitations et de l'écoulement qui sont mesurés aux stations climatologiques et hydrométriques, l'établissement du bilan hydrique nécessite aussi la connaissance du paramètre " évaporation", dont l'approche est plus complexe. Quant au dernier membre de l'équation, l'infiltration efficace est difficilement estimable directement, elle est déduite après la détermination des trois (3) autres.

Les précipitations et l'écoulement étant connus, la méthode qui semble la plus adaptée à notre bassin est celle donnée par Boutoutaou en 2003. Ce dernier a travaillé sur la majorité des bassins versants Algériens pour pouvoir tirer une formule empirique propre aux bassins Algériens.

IV.1.5 Estimation du Ruissellement

La lame d'eau écoulée est mesurée pour chaque station hydrométrique du bassin versant Isser à partir des débits mesurés aux niveaux des stations hydrométriques, les résultats de calculs sont récapitulés dans le tableau IV-1

Tableau IV-1 Lame écoulée enregistrées au niveau des stations hydrométriques

Code	Station	Qmoy (m3/sec)	Apports (Hm3)	Lame d'eau (mm)
090309	DECHMIYA	0,24	7,59	80,86
090101	MEZAHIM	0,53	16,7	22,26
090408	LA TRAILLE	4,74	149,84	58,30
090305	BENI SLIMANE	0,38	11,7	42,85
090501	LAKHDARIA	10,71	337,39	47,04

IV.1.6 Calcul de l'évapotranspiration potentielle et réelle

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

IV.1.6.1 Évapotranspiration Potentielle (ETP)

La valeur de l'évapotranspiration potentielle (E_0) est calculée par la formule de BOUTOUTAOU (2003). Pour les conditions climatiques de l'Algérie, elle est donnée par l'expression IV.2 :

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (IV.2)$$

Ou :

E_0 - Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle, (mm) ;

T - température moyenne annuelle de l'air, (° C);

H - Humidité relative moyenne annuelle de l'air, (%);

β - coefficient correctif propre à chaque station météorologique, variant de 0,73 à 1,49. (tableau IV.2).

Tableau IV-2 : Coefficient Béta (β)

Station météo.	β	Station météo.	β	Station météo.	β	Station météo.	β
beni-saf	0,86	M'sila	1,16	Tlemcen Z.	1,08	Bechar	0,99
Annaba	1,24	Biskra	1,15	Tlemcen S.	0,91	El Goléa	0,95
Skikda	0,97	Ain Safra	1,07	Blida	0,74	Guelma	0,73
Oran	1,11	El Oued	0,83	Constantine	0,82	Ain amenas	1,2
Dar El Beida	0,74	Touggourt	1,02	Sétif	1,38	Timimoun	0,95
Bejaia	0,99	El Kheider	1,27	Batna	1,2	Djanet	0,8
Mostaganem	0,92	Djelfa	0,84	Tebessa	1,15	Adrar	1,17
Meliana	0,74	Ghardaia	0,96	saida	1,49	Tindouf	1,07
Echellif	1	Beni abbas	0,86	Mascara	1	Tamenrasset	0,89
Tlemcen Z.	1,08	Bechar	0,99	Medea	0,74	Tizi-ouzou	0,74
Tlemcen S.	0,91	El Goléa	0,95	Bel Abbes	1,49	Tiaret	1,1
Blida	0,74	Guelma	0,73	BordjBouariridj	1		

Pour les stations météorologiques, ne figurant pas dans le tableau IV.2, (β) est environ ≈ 1 .

L'évaporation réelle (E_R) d'un sol est étroitement liée aux précipitations (P) sur ce dernier. En général, l'évaporation réelle (E_R) croît avec l'augmentation des précipitations.

Le rapport entre l'évaporation réelle et les précipitations est appelé « coefficient d'évaporation » :

$$\eta = \frac{E_R}{P} \quad (IV.3)$$

Le coefficient d'évaporation en fonction de l'indice d'aridité donnée pour les conditions climatiques de l'Algérie est la suivante :

$$n = 0.9953. \exp(-0.5105. (\frac{P}{E_0})) \quad (IV.4)$$

IV.1.6.2 Évapotranspiration Réelle (ETR)

En utilisant ses formules empiriques, on résume les valeurs obtenues sont résumées pour les stations hydrométriques du BV Isser dans le tableau IV.3 :

Tableau IV-3 : L'ETP et L'ETR du BV de Isser

BV Isser

STATIONS	P (mm)	H (%)	T (°C)	ETP (mm)	n	Lr (mm)	ETR (mm)
LAKHDARIA	517,89	73,0	17,84	1394,7	0,82	47,04	426,4
LA TRAILLE	632,21	69,1	16,72	1539,0	0,81	58,30	510,2
DECHMIYA	531,40	69,1	16,7	1537,9	0,83	80,86	443,4
BENI SLIMANE	464,85	62,2	16,6	1875,3	0,88	42,85	407,7
MEZAHIM	304,29	56,4	15	2053,6	0,92	22,26	280,8

IV.1.7 Calcul de l'évapotranspiration réelle pour différentes périodes de retour :

Afin de calculer l'évapotranspiration réelle pour différentes périodes de retour, d'abord faire l'ajustement des précipitations de la station pluviométrique de Ouled Touati qui est représentative du sous bassin de Lakhdaria, puis ajuster les lames écoulées au niveau de la station de Lakhdaria.

IV.1.7.1 Ajustement des précipitations

L'analyse statistique des précipitations annuelles a permis d'ajuster la loi log normale aux séries d'observations de la station représentative de Ouled Touati qui est représentative du sous bassin de Lakhdaria.

La figure IV.1 montre l'ajustement des précipitations annuelles de la station de Ouled Touati.

Le tableau IV.5 résume l'équation de la droite d'ajustements pour la station hydrométrique de Lakhdaria, permettant ainsi de calculer les quantiles.

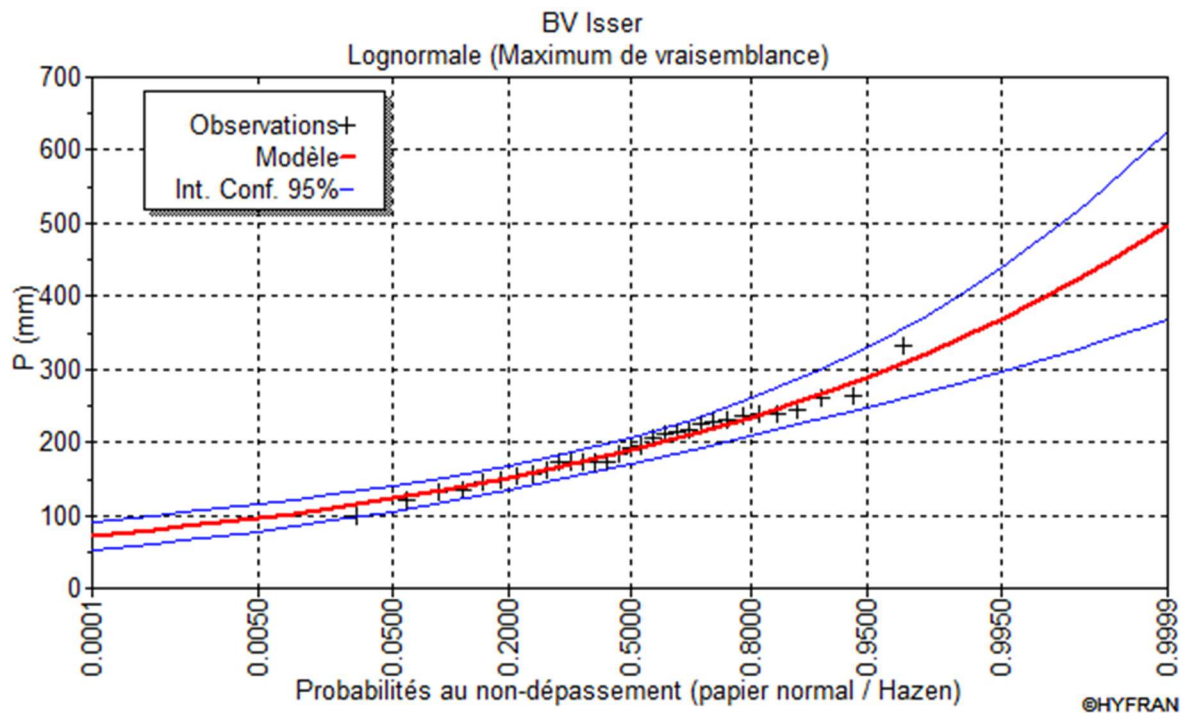


Figure IV-1: Ajustement des précipitations annuelles à loi log normale - Station Ouled Touati

IV.1.7.2 Lois d'ajustements

Les données pluviométriques de la station de Ouled Touati s'ajustement mieux à la loi log normale

IV.1.7.3 Test Appliqués aux stations pluviométriques

Le tableau IV.4 donne les tests appliqués à la série de données pluviométriques de Ouled Touati.

Tableau IV-4 : Tests appliqués aux séries pluviométriques

Test	Indépendance Test de WaldWolfowitz	Stationnarité Test de Kendall	Homogénéité Test de Wilcoxon	Ajustement Test de $K\chi^2$
Lakhdaria	OK U = 1.41	OK K = 0.75	OK W = 0.83	OK $X^2 = 1.74$

IV.1.7.4 Equations des droites d'ajustements :

L'équation de la droite d'ajustement des données pluviométriques est donnée dans le tableau IV.5:

Tableau IV-5 : Equation d'ajustement des précipitations annuelles

Stations	Equation de la Droite d'ajustement
Lakhdaria	$\text{Log } X_{p\%} = 2.65 + 0.14 U_{p\%}$

IV.1.7.5 Calcul des Quantiles

Les quantiles pour différentes périodes de retour de la sécheresse sont regroupés dans le tableau IV.6

Tableau IV-6 : Précipitations annuelles pour différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	2	3	5	10	20	50	100	200	500
Lakhdaria	445.4	389.2	342.1	297.9	265.8	233.8	214.7	198.5	180.6

IV.1.8 Ajustements de lames d'eaux écoulées

L'analyse statistique des valeurs observées des lames d'eau écoulées au niveau de la station hydrométrique de Lakhdaria a permis d'ajuster la loi Log normale aux séries d'observations de la station hydrométrique de Lakhdaria.

La figure IV.2 montre l'ajustement des lames écoulées.

Le tableau IV.7 résume l'équation de la droite d'ajustements pour la station hydrométrique de Lakhdaria, permettant ainsi de calculer les quantiles.

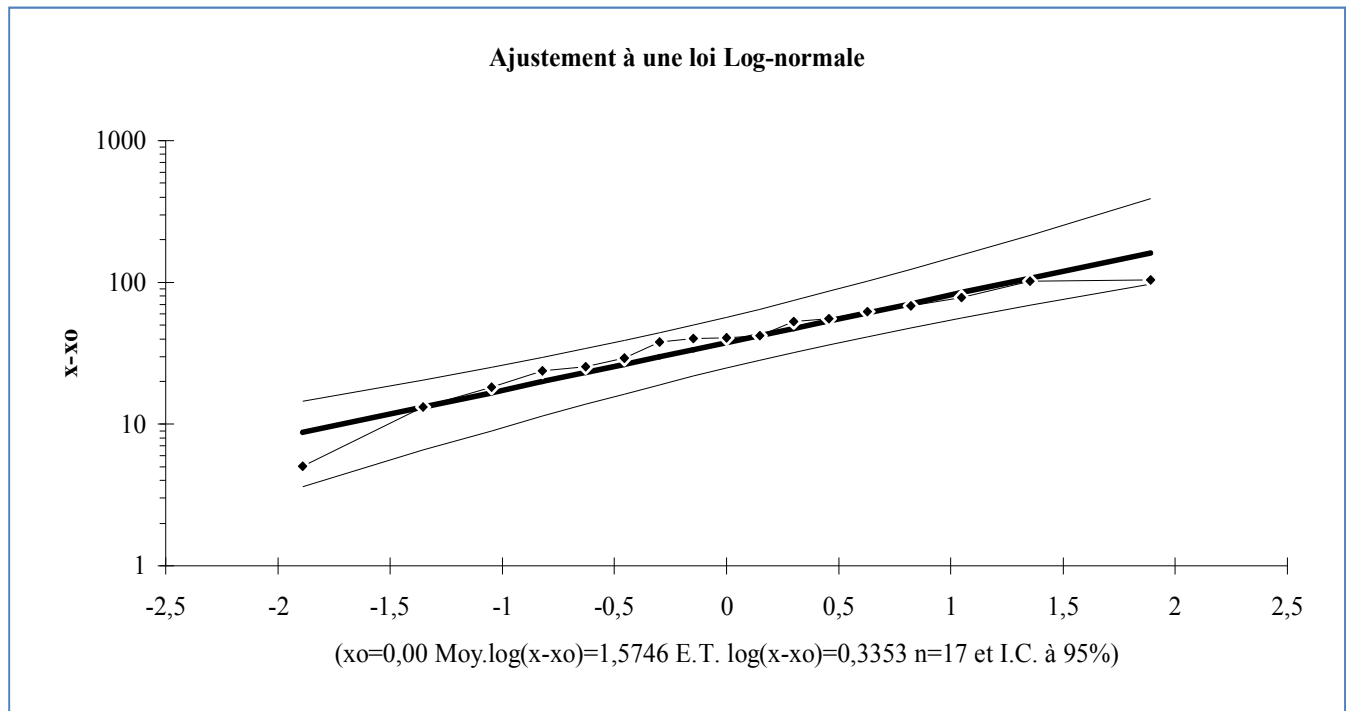


Figure IV-2: Ajustement des lames d'eau écoulées à loi normale - Station hydrométrique de Lakhdaria

IV.1.8.1 Loi d'ajustement

La série de données des lames écoulées s'ajustement mieux à la loi log normale.

IV.1.8.2 Tests Appliqués à la station de Lakhdaria

Le tableau IV.7 donne les tests appliqués à la série des lames écoulées de la station de Lakhdaria

Tableau IV-7 : Tests appliqués à la série des lames ruisselées

Test	Indépendance Test de Wald Wolfowitz	Stationnarité Test de Kendall	Homogénéité Test de Wilcoxon	Ajustement Test de Khi ²
Lakhdaria	OK U = 1.16	OK K = 1.32	OK W = 1.17	OK X ² = 2.41

IV.1.8.3 Equation de la droite d'ajustement

L'équation de la droite d'ajustement des données des lames écoulées est donnée dans le tableau IV.8:

Tableau IV-8 : Equation d'ajustement des lames d'eau écoulées

Station	Equation de la Droite d'ajustement
Lakhdaria	$\text{Log } X_{P\%} = 1.57 + 0.34 U_{P\%}$

IV.1.8.4 Calcul des Quantiles

Les quantiles pour différentes périodes de retour sont regroupés dans le tableau IV.9

Tableau IV-9 : Lames d'eau écoulées pour différentes périodes de retour

Période de retour (ans)	2	3	5	10	20	50	100	200	500
LAKHDARIA	37.1	26.6	19.3	13.7	10.3	7.5	6.1	5.0	3.9

Pour calculer l'évapotranspiration réelle pour différentes périodes de retour, et après avoir calculé les précipitations et lames d'eau ruisselées pour différentes périodes de retour et comme l'ajustement ne peut pas être fait pour les deux autres paramètres qui sont la température et l'humidité du fait que les séries de données sont très courtes, Alors les valeurs moyennes ont été prises pour chaque période de retour sont utilisées (tableau IV.10).

Tableau IV-10 : Paramètres de l'ETR pour différentes périodes de retour

PERIODES DE RETOUR (ANS)	P (mm)	H (%)	T (°C)	Le (mm)
2	445,40	73	17,80	37,10
3	389,20	73	17,80	26,60
5	342,10	73	17,80	19,30
10	297,90	73	17,80	13,70
20	265,80	73	17,80	10,40
50	233,80	73	17,80	7,50
100	214,70	73	17,80	6,10
200	198,50	73	17,80	5,00
500	180,60	73	17,80	3,90

En utilisant toujours la formule de Boutoutaou, l'ETR est calculée pour le bassin versant de Isser pour différentes périodes de retour :

Tableau IV-11 : Valeurs de l'ETR pour différentes périodes de retour

BV Isser							
PERIODES DE RETOUR (ANS)	P (mm)	H (%)	T (°C)	ETP (mm)	Le (mm)	ETR (mm)	Infiltration
2	445,40	73	17,80	1390,4	37,10	376,43	31,9
3	389,20	73	17,80	1390,4	26,60	335,79	26,8
5	342,10	73	17,80	1390,4	19,30	300,30	22,5
10	297,90	73	17,80	1390,4	13,70	265,78	18,4
20	265,80	73	17,80	1390,4	10,40	239,95	15,4
50	233,80	73	17,80	1390,4	7,50	213,56	12,7
100	214,70	73	17,80	1390,4	6,10	197,49	11,1
200	198,50	73	17,80	1390,4	5,00	183,68	9,8
500	180,60	73	17,80	1390,4	3,90	168,22	8,5

IV.1.9 Détermination de l'infiltration

En utilisant l'équation du bilan hydrique, l'infiltration d'eau est calculée pour chaque station hydrométrique du BV Isser, les résultats obtenus sont dans le tableau IV.12

Tableau IV-12: Bilan hydrique

STATIONS	P (mm)	H (%)	T (°C)	ETP (mm)	Lr (mm)	ETR (mm)	Infiltration
LAKHDARIA	517,89	73,0	17,84	1394,7	47,04	426,4	44,40
LA TRAILLE	632,21	69,1	16,72	1539,0	58,30	510,2	63,71
DECHMIYA	531,40	69,1	16,7	1537,9	80,86	443,4	7,17
BENI SLIMANE	464,85	62,2	16,6	1875,3	42,85	407,7	14,33
MEZAHIM	304,29	56,4	15	2053,6	22,26	280,8	1,23

➤ **Interprétations**

Il est à noter que les valeurs de l'infiltration sont plus importantes au niveau du bas et moyen Isser que dans le Haut Isser, ce qui peut nous renseigner sur la relation qui existe entre le type de climat et les valeurs de l'infiltration, Plus le climat tend vers l'aridité, plus les valeurs de l'infiltration sont petites.

Un autre paramètre important influe sur l'infiltration de l'eau dans le sol, c'est la nature géologique du bassin. L'infiltration est plus importante dans le bas et moyen Isser du fait que la nature géologique est composée de grés et d'argiles alors que l'infiltration est faible dans le haut Isser du fait que la géologie de la région est marnées en grande majorité.

Un exemple édifiant de l'importance de la nature géologique sur l'infiltration concerne la station hydrométrique de Dechmiya qui malgré sa bonne pluviométrie n'enregistre qu'une faible infiltration à cause des marnes qui sont imperméables.

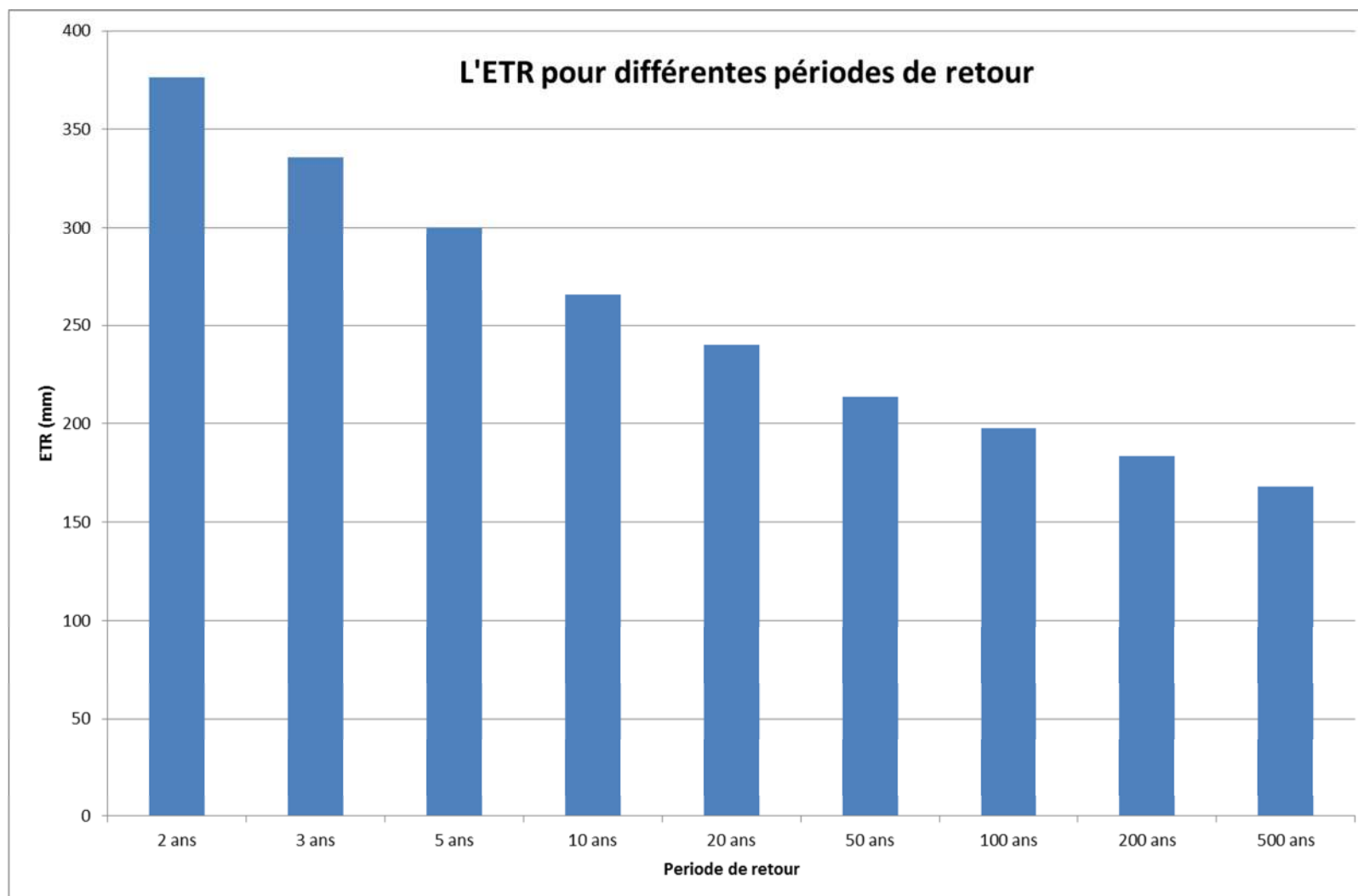


Figure IV-3 : L'ETR pour différentes périodes de retour - Station de Lakhdaria

IV.1.10 Infiltration pour différentes périodes de retour :

Les valeurs obtenues pour l'évapotranspiration réelle sont résumées dans le tableau IV.13 :

Tableau IV-13 : Valeurs de l'infiltration pour différentes périodes de retour – Station de Lakhdaria

PERIODES DE RETOUR (ANS)	P (mm)	H (%)	T (°C)	ETP (mm)	Le (mm)	ETR (mm)	Infiltration	Infiltration (mm)
2	445,40	73	17,80	1390,4	37,10	376,43	31,9	37,10
3	389,20	73	17,80	1390,4	26,60	335,79	26,8	26,60
5	342,10	73	17,80	1390,4	19,30	300,30	22,5	19,30
10	297,90	73	17,80	1390,4	13,70	265,78	18,4	13,70
20	265,80	73	17,80	1390,4	10,40	239,95	15,4	10,40
50	233,80	73	17,80	1390,4	7,50	213,56	12,7	7,50
100	214,70	73	17,80	1390,4	6,10	197,49	11,1	6,10
200	198,50	73	17,80	1390,4	5,00	183,68	9,8	5,00
500	180,60	73	17,80	1390,4	3,90	168,22	8,5	3,90

IV.2 LA MODELISATION HYDROLOGIQUE

La modélisation consiste à mettre un processus en équation. La modélisation hydrologique revient à la traduction mathématique du cycle de l'eau : ses réservoirs et processus doivent être conceptualisés et simplifiés sous forme d'équations. Les objectifs de modélisation sont multiples : prévisions (crues, sécheresse, gestion de l'irrigation, d'ouvrages hydroélectriques, recharge d'aquifères) ou simulations de scénarii (changement climatique ; aménagements de bassins d'un point de vue qualité ou quantité d'eau).

IV.2.1 Modèles hydrologiques

La modélisation hydrologique de bassin versant s'intéresse au cycle de l'eau sur un bassin, Elle inclut des fonctions de production (liées aux transferts verticaux) et des fonctions de transfert (liées aux redistributions latérales).

Un modèle est construit afin de répondre à une question posée dans un milieu donné et suivant une formulation de la réalité choisie. Il doit tenir compte des données de forçage et de validation disponibles ainsi que de la résolution spatio-temporelle de ces données.

Il existe une très grande variété de modèles hydrologiques car les processus pris en compte et l'approche adoptée pour les conceptualiser diffèrent selon les auteurs. Les modèles les plus complets prennent en compte les processus verticaux et latéraux.

Dans la **dimension verticale**, les cinq principaux transferts à prendre en compte sont l'interception, l'évapotranspiration, l'infiltration, la percolation au sein du profil de sol et la percolation profonde vers les aquifères. L'interception et la percolation profonde sont modélisés de façon assez uniforme : l'interception est un réservoir dont la capacité dépend du type de couvert (capacité variable si le modèle a un module de croissance de la végétation) et qui se remplit et se vide en fonction des précipitations et de l'évaporation potentielle ; la percolation est supposée suivre une loi de Darcy. L'évapotranspiration est calculée suivant des formalismes de complexité variée : Penman-Monteith (Penman, 1948), Turc (Turc, 1961), Etc.

Pour notre cas une étude sur différents bassins versants de l'Algérie a permis à Boutoutaou en 2003 d'établir une formule pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

Enfin, l'infiltration et la percolation dans le sol sont calculées soit par des lois à « base physique ((Green et Al, 1911), (Richards, 1931)), soit considérées comme le remplissage et la vidange d'une succession de réservoirs (les couches de sol) dont les capacités de stockage varient, l'infiltration pour notre cas reste à déterminer grâce à l'équation du bilan hydrique.

Dans la **dimension latérale**, il s'agit surtout de conceptualiser les transferts du lieu de production vers le cours d'eau de trois flux : le ruissellement de surface (généralisé soit par excès d'infiltration -ruissellement Hortonien- soit sur surface saturée -ruissellement de Dunne), le ruissellement de sub-surface (apparaissant typiquement dans les premiers mètres en dessous de la surface du sol sur une couche imperméable où se sont accumulés des flux de percolation –formant une « nappe perchée ») et le ruissellement de nappe (flux latéral au niveau des aquifères à plusieurs dizaines de mètres de profondeur) (Chaponnière, 2005).

Suivant la localisation du bassin (géologie et climat) l'importance relative des trois flux diffère.

Une fois les trois flux transférés de l'unité de production au cours d'eau, le modèle peut simuler explicitement le transfert de la lame d'eau au sein même du réseau hydrographique ou faire l'hypothèse qu'aucune modification n'a lieu au cours du cheminement de l'eau dans le réseau.

Pour modéliser ces processus de production et de transferts, les hydrologues ont développé un très grand nombre d'outils. L'abondance des modèles témoigne de la variété des approches possibles pour conceptualiser les processus.

Différentes « *grilles de lecture* » peuvent être utilisées pour distinguer les modèles entre eux. Nous proposons ici trois « *grilles de lecture* » qui nous paraissent pertinentes pour classer quasiment l'intégralité des modèles existants. N'ayant pas pour but de répertorier et classer tous les outils existants, nous illustrerons les différents niveaux de lecture en nous appuyant sur huit modèles classiques de bassins versants.

Un premier critère de distinction entre les modèles réside dans le choix des formalismes des processus simulés : des formulations à base plus ou moins physique peuvent être adoptées, permettant de classer le modèle comme étant :

« **à base physique** » : citons dans cette catégorie le modèle S.H.E. « Système Hydrologique Européen » (Abbott et al. 1986), P.O.W.E.R. « Planner Oriente devaluative Watershed model for Environmental and socio-economical Responses » (Reggiani et al. 1998).

En effet, ces modèles reposent sur une physique assez complète. Il est possible de distinguer des « *niveaux de physique* » parmi ces trois modèles qui illustrent leur complexité croissante (Chaponnière, 2005).

« **Conceptuel** » : les modèles de ce type reposent sur des concepts leur permettant de simplifier les formulations de processus qui restent néanmoins fonction de paramètres physiques. Le concept de zones contributives est à la base des modèles TOPMODEL et VIC.

« **Empirique** » : leurs paramètres n'ont aucune signification physique et sont déterminés par calibration. CEQUEAU (Morin et al. 1981) est entièrement basé sur des réservoirs qui se vident et se remplissent en fonction de la hauteur de l'exutoire du réservoir et GR3J (Edijatno et al. 1999) est un modèle pluie débit simple à seulement trois paramètres.

Une deuxième grille de lecture est l'échelle spatiale du modèle.

Une seule « unité de production », l'échelle spatiale du modèle sera qualifiée de « globale». (Chaponnière, 2005).

Plusieurs unités de production dont les localisations géographiques ne sont pas connues : le modèle est « semi-distribué ». C'est le cas du modèle VIC : la fonction de production est dépendante de la profondeur du réservoir qui n'est pas homogène sur le bassin. L'établissement de cartes des variables hydrologiques n'étant pas possible, le modèle ne sera pas qualifié de « distribué », par contre il est « semi-distribué » car il considère que le bassin n'a pas le même fonctionnement en tout point.

Plusieurs unités de production localisées explicitement : le modèle est « distribué ». Ces unités peuvent être déterminées par une grille découpant le bassin (une maille = une unité), c'est le cas du SHE et de TOPOG, le bilan hydrologique est établi pour chaque classe.

Chaque modèle a ses propres critères pour définir les classes hydrologiques (critères topographiques, critères de couverture sol/ végétation). Le modèle est qualifié de distribué car il est possible d'établir, à chaque pas de temps, des cartes des variables hydrologiques.

La caractérisation des modèles par ces deux premiers critères permet de les placer dans un graphique à deux axes : l'axe « formalismes » qui comporte trois niveaux : empiriques, conceptuels et physiques et l'axe « échelle spatiale » qui se décline en globale, semi-distribuée et distribuée. Les huit modèles peuvent être reportés dans ces coordonnées.

Enfin, une dernière grille de lecture s'attache à la nature probabiliste ou déterministe des variables intégrées au modèle.

Nous entendons par modèles probabilistes des modèles affectant aux variables des valeurs suivant une distribution donnée, comme le modèle VIC pour la profondeur de sol. Par modèles déterministes nous entendons ceux qui cherchent à affecter une valeur à une variable en fonction du terrain (c'est le cas des sept autres modèles évoqués). L'utilisation d'un modèle probabiliste est adaptée si l'objectif n'est pas une connaissance réaliste du fonctionnement du bassin mais une reproduction optimale de ses variables de sortie (souvent, seul le débit est analysé). Ils sont typiquement employés en prévision (Chaponnière, 2005).

Les modèles déterministes sont adaptés à des analyses dont le but est par exemple de comprendre les processus menant à un certain débit, et d'exploiter les informations (cartes de ruissellement par exemple).

IV.2.2 Modélisation en milieu semi-aride

De nombreux modèles et méthodes empiriques ont été développés pour ce type de milieu : reliant des caractéristiques du bassin aux caractéristiques d'écoulement, ils ne considèrent pas la physique des processus générant l'écoulement. Cependant, ils font parfois appel à une grande expertise d'analyse des effets de propriétés observables du bassin sur l'écoulement. Casenave et Al (1992) ont ainsi développé une méthode basée sur la classification du paysage en fonction de ses caractéristiques de sol et de végétation. Cette classification détermine l'écoulement par classe à travers une fonction établie expérimentalement et en fonction de la pluie et de l'humidité du sol.

Des modèles conceptuels ont également été développés : le modèle conceptuel de stockage de Pitman (Pitman, 1973), avec un pas de temps mensuel, a été largement utilisé en région semi-aride du sud de l'Afrique pour réaliser des études à l'échelle interannuelle.

Pour les bassins semi-arides (Lane, 1982) a proposé un modèle distribué événementiel dont les paramètres sont empiriques. Hugues (1995) estime que tout modèle pour le milieu semi-aride se doit de prendre en compte les pertes par transmission et une dynamique de végétation dépendante de la pluie.

Le développement de WASA « Water Availability in Semi-Arid environments » (Güntner, 2002), modèle déterministe à base physique et semi-distribué, s'est fait autour des particularités de l'hydrologie semi-aride. Le modèle SWAT quant à lui a été développé pour simuler l'impact de modifications du climat ou de l'occupation du sol sur le bilan hydrique d'un bassin. C'est un modèle adapté au milieu aride mais qui peut être exploité dans une grande gamme d'environnements du fait de l'exhaustivité des processus qu'il prend en compte.

Cependant il faut noter que les modèles physiques, pour être mis en œuvre, nécessitent une base de données très riche, ce qui n'est malheureusement pas notre cas pour le bassin Isser où l'étude de la sécheresse nécessite beaucoup de données climatiques surtout qui ne sont malheureusement pas disponibles.

Ce qui nous a conduits à utiliser les données comme les précipitations et la lame ruisselée pour trouver la relation qui existe entre ses paramètres importants pour modéliser le bilan hydrique d'un bassin versant.

Cette large gamme de modèles n'a pas pu être utilisée pour l'étude, car ses modèles ne sont pas disponibles à la libre utilisation, de ce fait seul la modélisation statistique a été retenue.

IV.2.3 Relations Précipitations – Lames écoulées

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur chargé de recueillir toutes les pluies et les transformer en écoulement mais les précipitations, une fois au sol ne se transforment pas toutes en écoulement : une partie s'évapore selon les conditions climatiques du bassin et une partie s'infiltré selon le comportement physique du substratum.

La corrélation entre les précipitations et les lames écoulées a pour but de mettre en évidence la part des pluies, des écoulements et des pertes dans le bilan, et les inter-relations entre ces différents paramètres. Ceci, afin de mieux comprendre les mécanismes et de comparer les différents sous bassin versants. Pour cela, une étude des interactions entre les précipitations et les lames écoulés à des pas de temps annuels, s'avère nécessaire pour confirmer les hypothèses sur l'intervention de l'évaporation, l'évapotranspiration et l'infiltration sur les débits que l'on trouve à l'exutoire.

IV.2.3.1 Période (1971 – 1998)

Pour cette corrélation, nous avons tenu compte des précipitations de la station pluviométrique de Ouled Touati représentative du sous bassin versant de Lakhdaria et des lames écoulées de la station hydrométrique de Lakhdaria sur une période de 28 ans (1971-1998).

Les figures IV.4, IV.5, IV.6, IV.7 et IV.8 illustrent la dispersion pour différents types de régression :

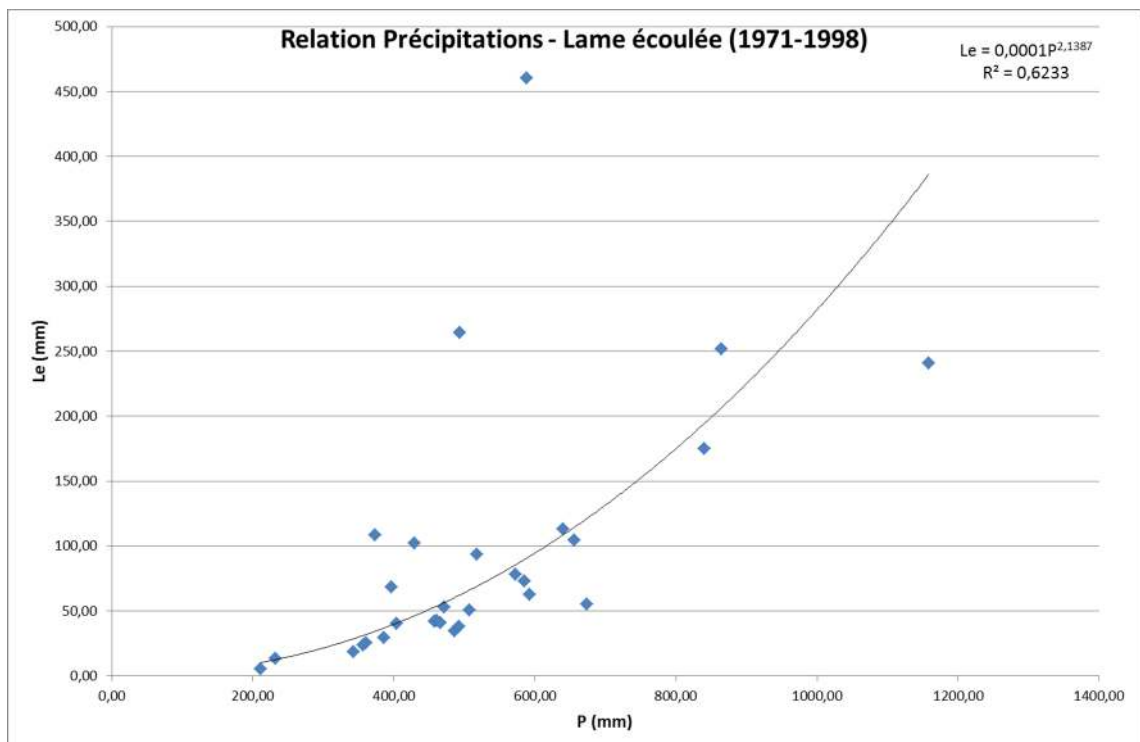
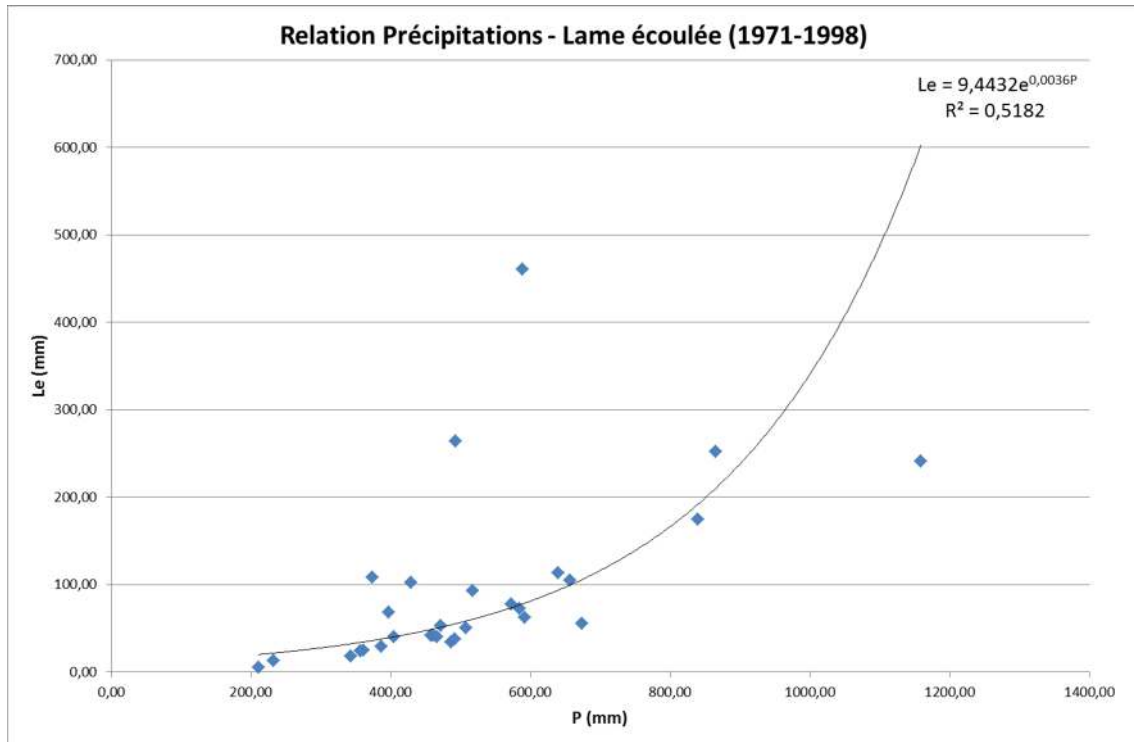
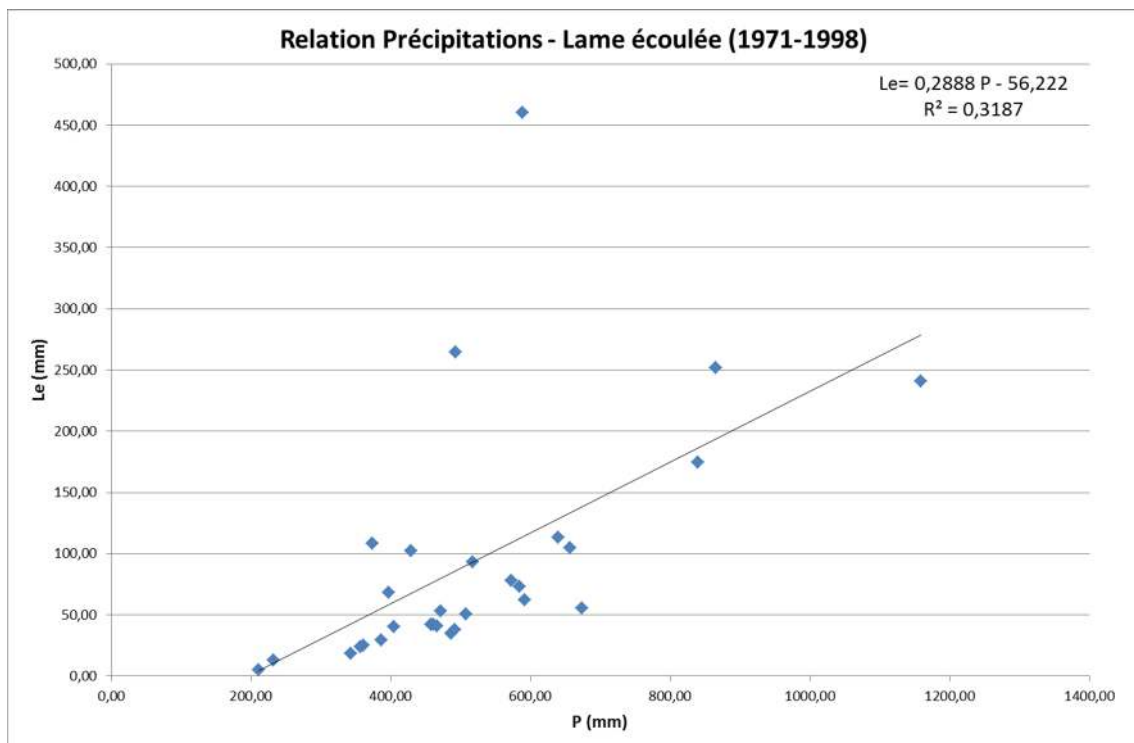


Figure IV-4 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Puissance)

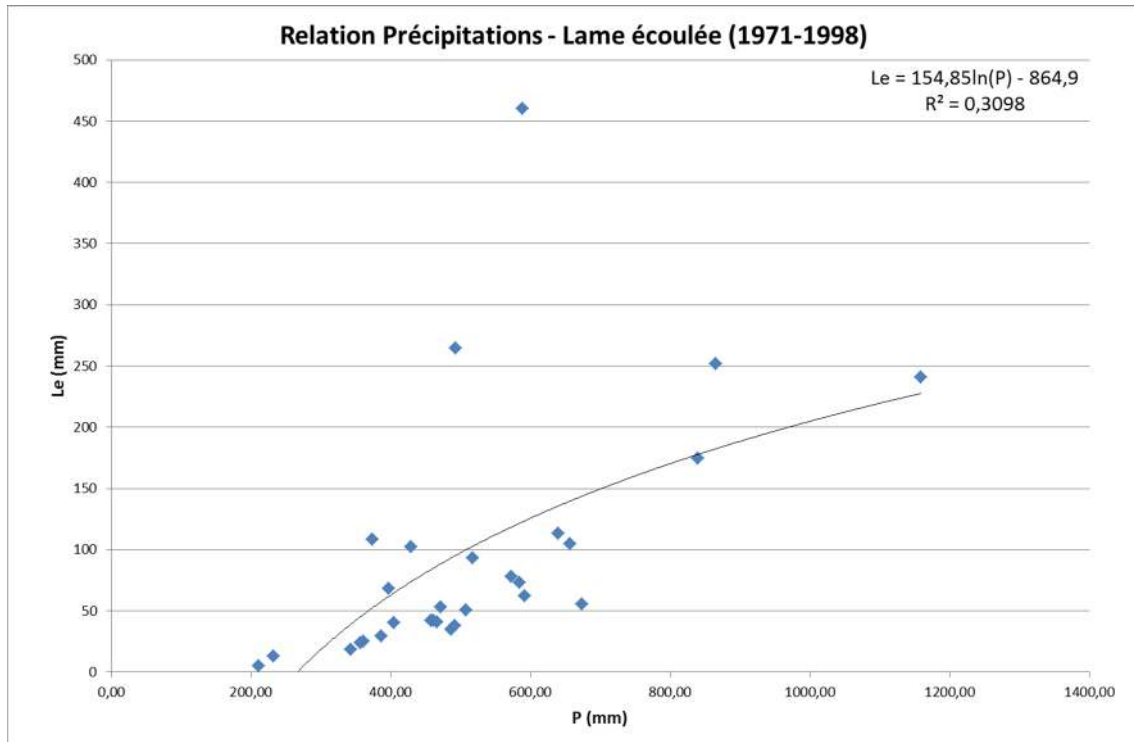
1971 -1998



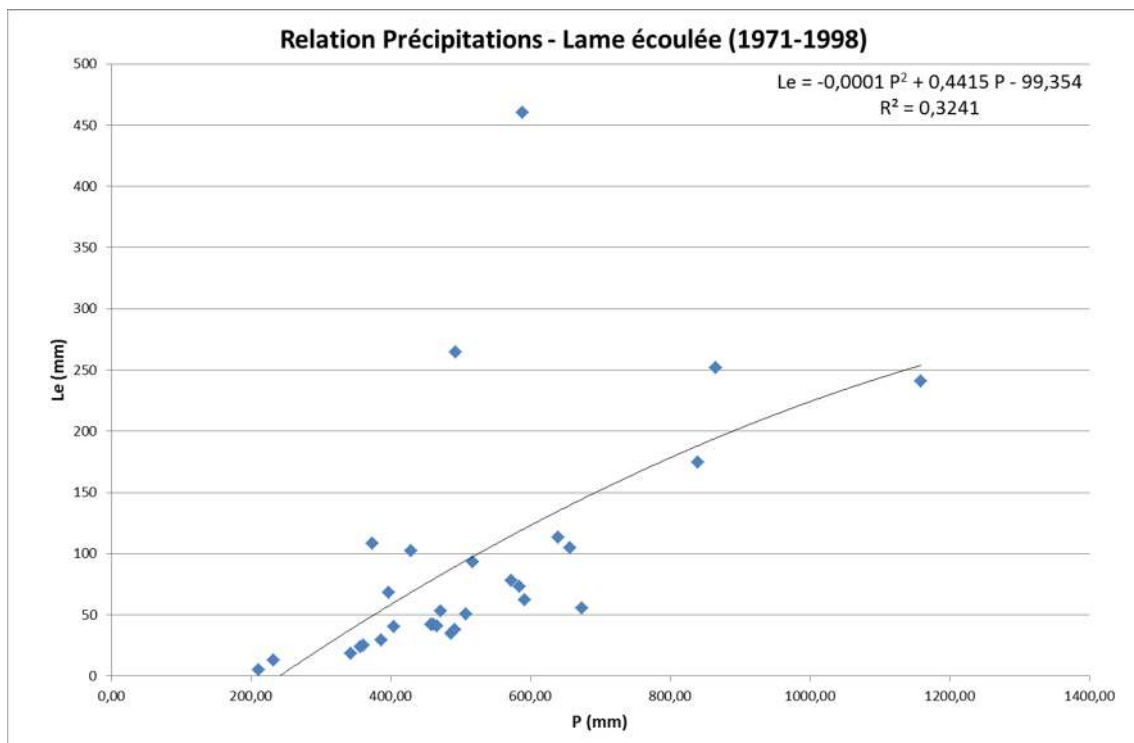
**Figure IV-5 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Exponentielle)
1971 -1998**



**Figure IV-6 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Linéaire)
1971 -1998**



**Figure IV-7 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression logarithmique)
1971 -1998**



**Figure IV-8 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Polynomiale)
1971 -1998**

➤ **Interprétations**

Plusieurs modèles statistiques ont été utilisées pour la recherche d'une relation fonctionnelle entre P – Le, dont les résultats figurent dans le tableau IV.14

Tableau IV-14 : Equations et Coefficients de corrélation : Précipitation - Lame écoulée 1971 -1998

Régression	Equation	R ²	R critique
Puissance	$Le = 0.00011 P^{2.13332}$	0.62	0.38
Exponentielle	$Le = 9.30 e^{0.00359 P}$	0.52	0.38
Linéaire	$Le = 0.29 P - 56.22$	0.32	0.38
Logarithmique	$Le = 155.03 \ln (P) - 865.62$	0.31	0.38
Polynomiale	$Le = -0.0012 P^2 + 0.44 P -99.79$	0.32	0.38

Au vu du tableau IV.14 et les figures IV.4, IV.5, IV.6, IV.7 et IV.8, il est à noter que :

- ✓ Le meilleur modèle régressif est donné par le type puissance
- ✓ Les pluies et les lames écoulés sont étroitement liées. Les années de forte pluviosité ont des lames écoulées élevées et les années de faible pluviosité ont généralement des lames écoulées faibles.

➤ **Conclusion :**

Comme la relation précipitation – lame écoulée est meilleure pour la régression puissance avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.62$ ($R=0.79$) et d'après la table de Fisher (Dagnellie, 1992) qui donne le coefficient R critique égale à 0.38, alors pour notre cas que R est significatif.

Alors la relation entre les précipitations et la lame écoulé se résume en l'équation IV.5 :

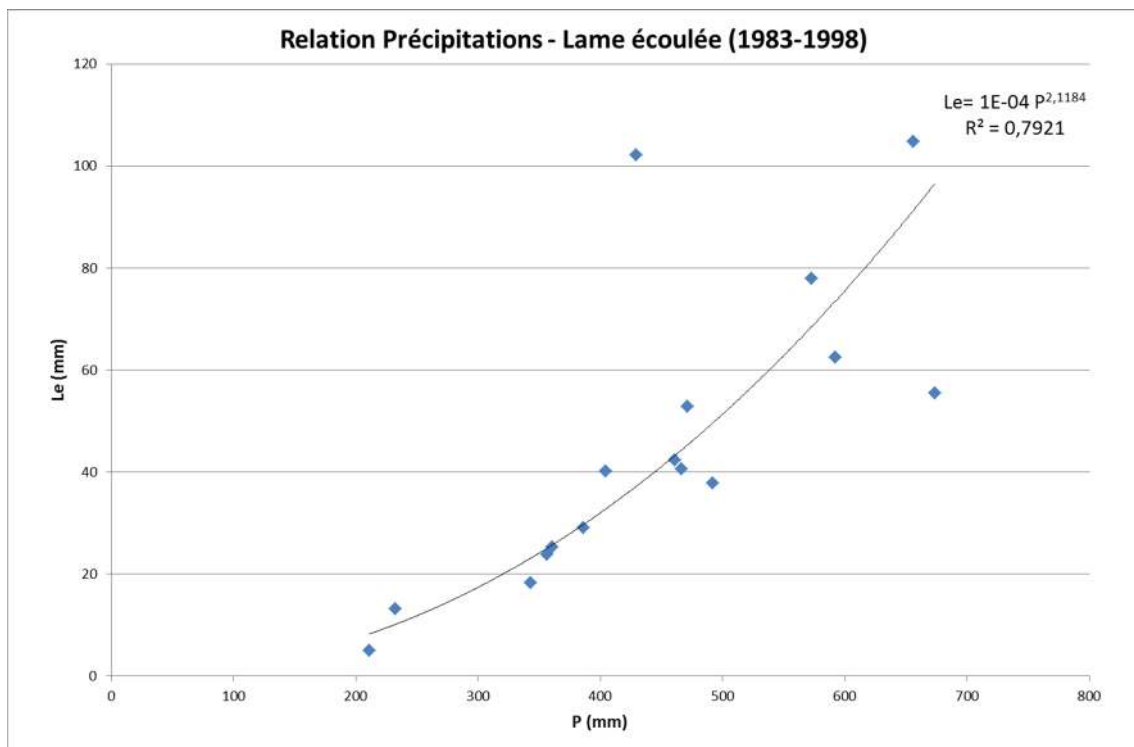
$$Le = 0.00011 P^{2.13332} \quad (IV.5)$$

IV.2.3.2 Période (1983 – 1998)

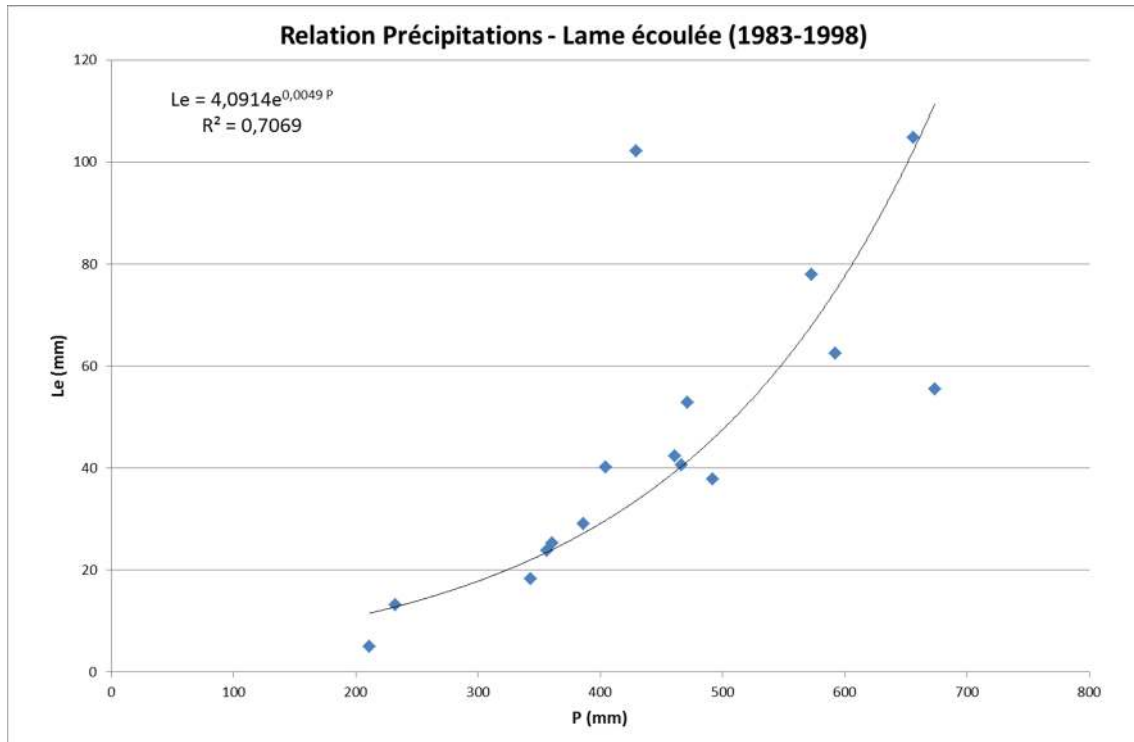
En deuxième étape et pour comparer le modèle précipitation – lame écoulee déjà établi, le même travail est réalisé sauf que au lieu de prendre toutes les années d’observation, seulement la période 1983 – 1998 a été prise et qui donne une meilleure corrélation. Pour reconstituer après la série pour le reste des années avec la relation qui sera obtenue et à la fin pour comparer les valeurs des lames écoulées obtenues des deux modèles et pour différentes périodes de retour.

Pour cette corrélation, les précipitations utilisées sont ceux de la station pluviométrique de Ouled Touati représentative du sous bassin versant de Lakhdaria et des lames écoulées de la station hydrométrique de Lakhdaria sur une période de 16 ans (1983-1998).

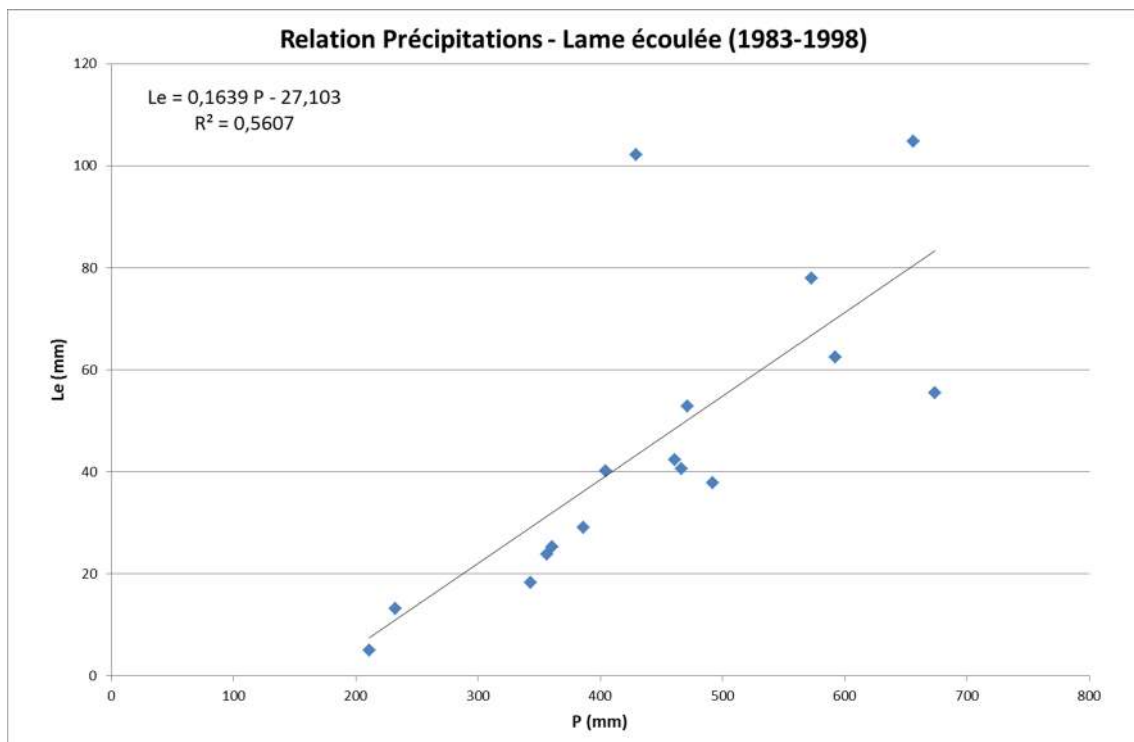
Les figures IV.9, IV.10, IV.11, IV.12 et IV.13 donnent le coefficient de corrélation pour différentes types de régression :



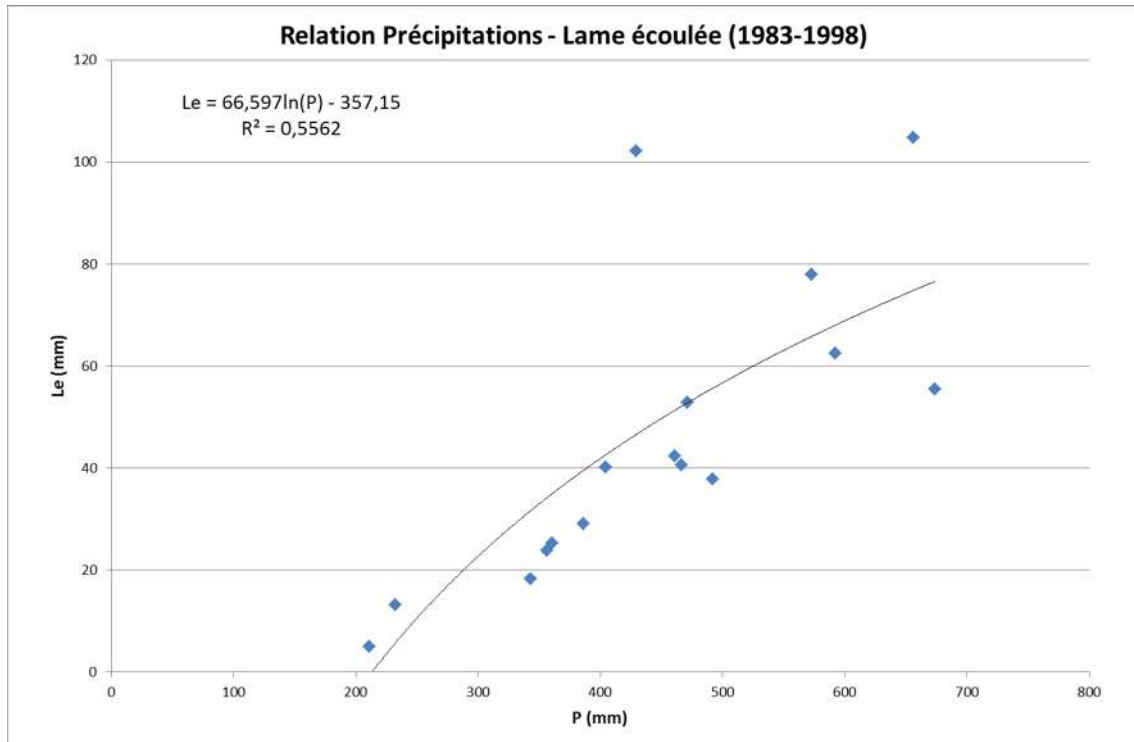
**Figure IV-9: Relation Précipitation - Lame écoulee (Régression Puissance)
1983 -1998**



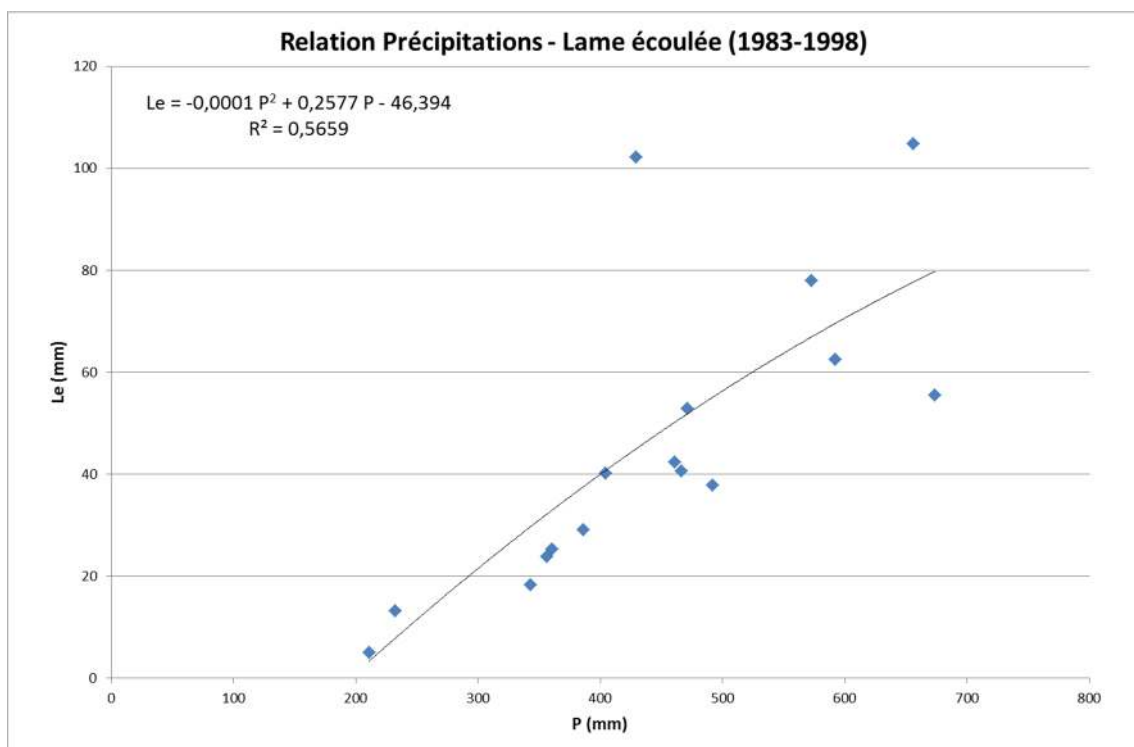
**Figure IV-10 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Exponentielle)
1983 -1998**



**Figure IV-11 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Linéaire)
1983 -1998**



**Figure IV-12 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression logarithmique)
1983 -1998**



**Figure IV-13 : Relation Précipitation - Lame écoulée (Régression Polynomiale)
1983 -1998**

➤ **Interprétations**

Plusieurs modèles statistiques ont été utilisées pour la recherche d'une relation fonctionnelle entre P – Le, dont les résultats figurent dans le tableau IV.15

Tableau IV-15 : Equations et Coefficients de corrélation : Précipitation - Lame écoulée 1983 – 1998

Régression	Equation	R ²	R critique
Puissance	$Le = 0.000098 P^{2.11839}$	0.79	0.55
Exponentielle	$Le = 4.09 e^{0.00491 P}$	0.71	0.55
Linéaire	$Le = 0.16 P - 27.10$	0.56	0.55
Logarithmique	$Le = 66.60 \ln (P) - 357.15$	0.56	0.55
Polynomiale	$Le = -0.0001 P^2 + 0.26 P - 46.39$	0.56	0.55

➤ **Interprétations :**

Au vu du tableau IV.14 et les figures IV.9, IV.10, IV.11, IV.12 et IV.13, il est à noter que :

- ✓ Le meilleur modèle régressif est donné par le type puissance
- ✓ Les pluies et les lames écoulés sont étroitement liées. Les années de forte pluviosité ont des lames écoulées élevées et les années de faible pluviosité ont généralement des lames écoulées faibles.
- ✓ En comparant les tableaux IV.14 et IV.15 on remarque que la relation Précipitation – Lame écoulée est meilleure pour la période 1983 – 1998

➤ **Conclusion :**

Comme la corrélation précipitation – lame écoulée est meilleure pour la régression puissance et que le modèle 1983 – 1998 donne un meilleur coefficient de corrélation $R^2 = 0.79$ ($R = 0.89$) et d'après la table de Fisher (Dagnellie, 1992) qui donne le coefficient R critique égale à 0.55, alors pour notre cas que R est significatif.

Alors la relation entre les précipitations et la lame écoulé pour le BV de Isser se résume en l'équation IV.6 :

$$Le = 0.000098 P^{2.11839} \quad (IV.6)$$

IV.2.4 Calage du modèle Précipitation – Lame écoulé

Dans une étude l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 1986), sur l'inter comparaison des modèles hydrologiques, le coefficient de Nash a été utilisé comme critère pour quantifier la précision des simulations. Le coefficient de Nash représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des lames écoulées observées.

Comme critère de calage, le coefficient de Nash NTD a été considéré, il est donné par l'expression IV.7 :

$$N T D = 1 - \frac{\sum(L e c a l é e - L e o b s é e)^2}{\sum(L e o b s é e - \bar{L e o b s é e})^2} \quad (IV.7)$$

Avec :

- ✓ L_e calculée et L_e observée sont les lames écoulées calculées et observées
- ✓ $\bar{L e o b s é e}$ est la moyenne des lames écoulées observées

Ce coefficient pour la station de Lakhdaria est égal à 0.81. Cette valeur indique que l'écart entre la lame écoulée calculée et la lame écoulée observée est faible. En effet, quand cet écart diminue, la valeur du coefficient de Nash augmente et tend vers 1.

IV.2.5 Lame écoulee obtenues par le modèle pour différentes périodes de retour

Le modèle de l'expression IV.6 a été retenu pour le calcul des lames écoulées pour différentes périodes de retour de la sécheresse, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.16

Tableau IV-16 : Valeurs Observées et calculées de la lame écoulee pour différentes périodes de retour.

Periode de Retour	P (mm)	Le (mm)	1983-1998	Différence
			Le Calc (mm)	
2	445,40	37,10	40,42	3,32
3	389,20	26,60	30,20	3,60
5	342,10	19,30	22,98	3,68
10	297,90	13,70	17,14	3,44
20	265,80	10,40	13,46	3,06
50	233,80	7,50	10,26	2,76
100	214,70	6,10	8,56	2,46
200	198,50	5,00	7,25	2,25
500	180,60	3,90	5,94	2,04

Le coefficient de Nash est égale à 0.92 alors le modèle choisi précipitation – lame écoulee pour la période 1983-1998 est intéressant pour l'estimation des lames écoulées à travers le BV de Isser pour différentes périodes de retour.

IV.2.6 Estimation des apports annuels à l'aide de la modélisation Statistique Précipitation – lame écoulée

Le modèle précipitation – lame écoulée a permis de permettre d'estimer les apports pour le BV de Isser pour différentes périodes de retour de la sécheresse les comparer aux apports enregistrés.

Tableau IV-17 : Apports annuels mesurés et calculés du BV Isser pour différentes périodes de retour

Periode de Retour	P (mm)	Le (mm)	Le Calc (mm)	Apports (Hm3)	Apports Calc (Hm3)
MOYENNE	517,89	47,04	55,64	195,17	230,86
2	445,40	37,10	40,18	153,93	166,72
3	389,20	26,60	30,20	110,36	125,29
5	342,10	19,30	22,98	80,08	95,33
10	297,90	13,70	17,14	56,84	71,11
20	265,80	10,40	13,46	43,15	55,85
50	233,80	7,50	10,26	31,12	42,56
100	214,70	6,10	8,56	25,31	35,53
200	198,50	5,00	7,25	20,75	30,09
500	180,60	3,90	5,94	16,18	24,63

Le coefficient de Nash est égale à 0.92 on peut dire que le modèle choisi précipitation – lame écoulée est intéressant pour l'estimation des apports annuels pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de Isser.

La figure IV.14 montre la variation des Apports annuels calculés et observés pour différentes périodes de retour.

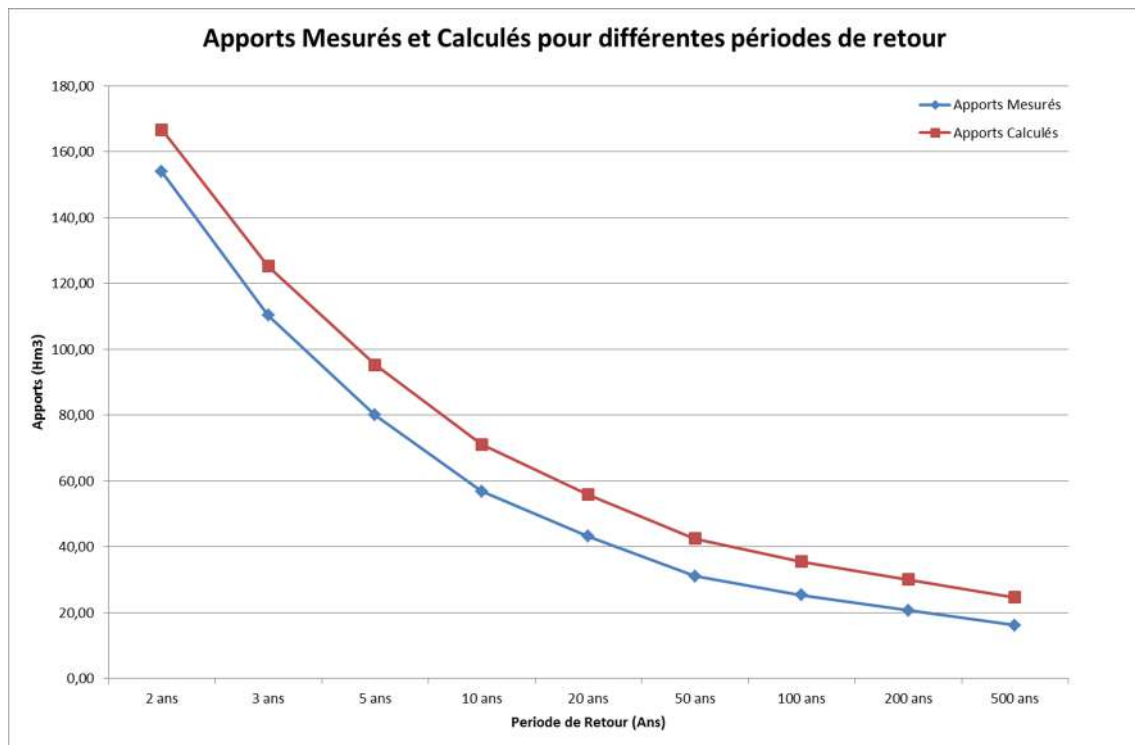


Figure IV-14 : Apports Annuels Mesurés et Calculés pour différentes périodes de retour

CONCLUSION

Ce chapitre a permis d'estimer les différents paramètres du bilan hydrique et de déterminer tous les paramètres, la station de Lakhdaria a été choisie car c'est la station la plus à l'aval du Bassin versant et sur laquelle les séries de données étaient assez longues.

Comme mentionné au début du chapitre, ce dernier doit aider à répondre à certaines questions essentielles, les carences qui ont constitué un frein à produire des prévisions encore plus fiables sont le manque de données sur le bassin versant surtout celles climatologiques et hydrométriques qui pouvaient donner plus de choix dans l'estimation de certains paramètres, des informations telles que les températures, humidités, vents, rayonnement global, durée astronomique du jour et des séries d'au moins cinquante (50) années pour les stations hydrométriques auraient pu être d'une aide pour peaufiner encore mieux le travail.

La seconde préoccupation à laquelle il fallait répondre à la fin de ce chapitre est concernant la densité du réseau de stations pluviométriques et hydrométriques, essentielle pour une bonne simulation, même si les stations pluviométriques étaient suffisantes. Par contre pour les stations hydrométriques avoir seulement cinq (5) sur un bassin versant qui fait plus de 4000 km² est très insuffisant et encore sur ses cinq stations la meilleure d'entre elles donne des séries jusqu'à 1998 pour vous dire que sur ce plan et aussi pour les stations climatologiques y a beaucoup de choses à faire pour aider le chercheur à établir des modèles plus proches de la réalité et profiter de ce qu'il peut tirer comme enseignements.

Un modèle Précipitation – Lame écoulé a été réalisé et a donné d'assez bons résultats et il serait intéressant d'utiliser ce modèle lors de l'estimation des apports d'un oued ou talweg en vue de projeter une retenue collinaire ou un petit barrage sur un site qui se situe dans le bassin versant de Isser, vu le manque de stations hydrométriques, le recours à ce modèle peut donner une estimation très proche de la réalité au concepteur ou planificateur.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif assigné est atteint. Ce travail a permis d'identifier le phénomène de la sécheresse, à travers une étude bibliographique poussée sur les différents travaux réalisés de par le monde et la préoccupation de la communauté scientifique internationale sur cet aléa face à des changements climatiques probables.

Le bassin versant de l'Oued Isser est pris comme champ expérimental. Les caractéristiques étudiées ont permis de le scinder en 3 parties distinctes Haut, Moyen et Bas Isser, chaque partie a ses propres caractéristiques.

L'étude géologique de la région a mis en évidence une structure complexe, constituée par un empilement de nappes imbriquées, mises en place lors de l'orogénèse alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre.

L'étude pluviométrique des différentes stations représentatives du bassin versant a permis de d'estimer les quantiles pour différentes périodes de retour de la sécheresse. Ces valeurs sont très faibles, certaines y sont négatives n'ayant aucune signification mathématique mais, renseignent sur des périodes de retour très critiques, périodes là devant être connues par les gestionnaires du bassin pour tout aménagement hydraulique visant à en rayer la sécheresse.

Le bassin versant Isser peut être considéré comme étant le « Réservoir en eau » du centre de l'Algérie. Etudier l'impact des différents facteurs climatiques sur ce bassin semble très important permettant de classer le haut et moyen Isser dans un climat semi-aride (avec le haut Isser avec un climat qui tend vers l'aridité totale) et le bas Isser dans un climat méditerranéen. Connaître le climat d'une région est très important, ceci permettra de donner aux hydrologues la possibilité d'une bonne estimation des quantiles en périodes sèches.

La partie la plus importante du travail réside en l'estimation du bilan hydrologique ainsi que ses différents paramètres qui le composent. La détermination des infiltrations dans le sol peut aider les gestionnaires du bassin de mieux gérer la ressource naturelle qu'est l'eau dans le bassin, avoir une idée sur ce qui rentre dans le bassin et ce qui sort peut aider à prévenir des périodes de sécheresses et d'y remédier.

Estimer un paramètre du bilan hydrologique à l'aide d'un modèle, n'est pas chose aisée. Le choix des paramètres pour lesquels, il existe une chance de trouver une corrélation acceptable qui pourrait permettre d'élaborer un modèle n'est pas toujours évidente.

Dans notre étude et après avoir étudié plusieurs variantes, celle qui a répondu aux critères de calage d'un modèle est la relation « précipitations - lame écoulée », à partir de laquelle, plusieurs autres paramètres du bilan hydrologique peuvent être tirés.

Ce modèle « Précipitation – lame écoulée » peut être utilisé pour estimer les valeurs des apports d'un oued qui n'est pas équipé en conséquence.

CONCLUSION GENERALE

Comme mentionner en introduction, cette étude doit aider à répondre à certaines questions essentielles. Les carences qui ont constituée un frein à produire des prévisions encore plus fiables sont l'insuffisance de données climatologiques et hydrométriques.

La seconde préoccupation à laquelle il fallait répondre à la fin de cette étude est concernant la densité du réseau de stations pluviométriques et hydrométriques, essentielle, pour une bonne simulation. Même, si pour les stations pluviométriques, leur nombre est suffisant, ce qui ne l'est pas pour les stations hydrométriques. En posséder seulement cinq (5) stations hydrométriques sur un bassin versant qui fait plus de 4000 km², ceci reste très insuffisant d'autant plus que les données de ses cinq stations ne dépassent pas la période 1998-1999. Sur ce plan et aussi pour les stations climatologiques, beaucoup de choses reste à faire pour aider le chercheur à établir des modèles encore plus performants.

Enfin comme la sécheresse menace la ressource naturelle la plus importante du bassin qu'est l'eau, plusieurs recommandations peuvent être citées pour essayer de préserver cette ressource et corriger certaines lacunes :

- ✓ L'aménagement des versants pour lutter contre l'érosion :
- ✓ Travaux de protection (lutte contre l'envasement, traitement des bassins versant, correction torrentielles, construction de petites retenues collinaires pour piéger la vase et lutter contre l'érosion et la pollution ;
- ✓ Gestion des sécheresses par le soutien au débit d'étiage et par la recharge des nappes grâce aux crues artificielles ;
- ✓ Accélérer la mise en œuvre du Programme National de lutte contre la désertification et de réduction des effets de la sécheresse ;
- ✓ La création d'une banque de données fiables, accessibles, compréhensibles et régulièrement mises à jour, sur l'état de la ressource tant en qualité qu'en quantité est une nécessité.
- ✓ Accorder de l'intérêt aux ressources humaines notamment en assurant leur formation en matière d'environnement et de protection des ressources naturelles ;
- ✓ Mettre en place une politique de l'eau basée sur des données réelles et tenant compte des changements survenus au niveau international, régional et national ;
- ✓ Boisement / reboisement et protection et réhabilitation des berges des plans d'eau, récupération des terres dégradées,
- ✓ Inciter le recours aux nouvelles techniques d'irrigation pour la préservation des ressources en eau ;
- ✓ Appliquer le concept du pollueur – payeur.
- ✓ Etablissement d'un réseau de collecte sur données environnementales et socioéconomiques ;
- ✓ Elaboration d'outils de planification, de prévision qui prennent en compte les changements climatiques (base de données SIG)
- ✓ Renforcer la recherche scientifique dans le domaine de la gestion intégré des bassins versant.

Enfin, pour que l'eau soit une locomotive de développement de tous les secteurs socioéconomiques, il est primordial de maîtriser la préservation du cycle naturel de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ait Mouhoub, D, 1998, Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral Algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et la simulation, thèse de Magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger.

Albergel, J, 1987, Sécheresse, Désertification et ressources en eau de surface — application aux petits bassins du Burkina Faso, Jean Albergel, 92p.

Albergel, J, 1987, The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources (Proceedings of the Vancouver Symposium). IAHS Publ. No. 168.

Babkin et Al, 1982, Bilan hydrologique des bassins versants. Ed. hydrométéo. 190 p. Moscou.

Boutoutaou et Al, 2003, Détermination du ruissellement annuel des cours d'eau de l'Algérie. Sciences agronomiques pp 31- 32. Moscou.

Chaumont M, 1968, Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne et en Afrique du nord et leurs conséquences hydrologiques, Thèse de doctorat, Faculté des sciences de Paris, 171 pages.

Casenave et Al, 1992, "A runoff classification system based on surface features criteria in semi-arid areas of West Africa." *Journal of Hydrology*, **130**, 231-249.

Chaponnière, A, 2005, Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride *Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain)*

Chillasse, L, 1990, Les sècheresses : conséquences sur le milieu, salubrité, environnement, P. Ballanr. La houille blanche/N°2. (1990).

Dagnellie, P, 1992, statistiques théoriques et appliquées. Tome 1. Presses agronomiques de gembloux. Belgique. 492p.

Dakki, M, 2004, Potentialités et statut de conservation des zones humides de moyen-atlas (Maroc), Sécheresse N°4 ; Vol. 15 décembre.

Demmak et Al, 2001, La sécheresse en Algérie des années 1970/1990 et son impact sur les ressources en eaux. Table ronde sécheresse_ changement climatique- désertification. Alger,

Dooge, J, 1988, "Hydrology past and present." *Journal of Hydraulic Research*, 26(1), 5-26

Dunne et Al, 1970, "An experimental investigation of runoff production in impermeable soils." *Water Resources Research*, 6, pp 478-490.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Edijatno et Al, 1999**, "GR3J: a daily watershed model with three free parameters." *Hydrological Sciences Journal*, 44(2), pp 263-277.
- Elalmi ,T, 2008**, Evaluation de la ressource en eau superficielle (Bilan hydriques des bassins versants du Nord de l'Algérie). Thèse Magister., 172 p., Université KASDI M.Ouargla.
- Fournier, F, 1960**, climat et érosion, presses universitaire de France, pp 41-66
- Green et Al, 1911**, "Studies of soil physics Part I : The flow of air and water through soils." *Journal of Agricultural Science*, 4, pp 1-24.
- Groupement BCEOM – BG – SOGREAH, 2005**, Etude d'actualisation et de finalisation du plan national de l'eau régions hydrographiques centre et est, 118p.
- Güntner, A, 2002**, "Large-Scale Hydrological Modelling in the Semi-Arid North-East of Brazil,"
- Hadjiri J, 1996**, la sécheresse climatique en Tunisie, variabilité du climat et stratégies d'adaptation humaines en Tunisie, édité par Latifa HENIA, université de Tunis I (1996), pp 187-201.
- Hernandez et Al, 2000**, "Modelling runoff response to land cover and rainfall spatial variability in semi-arid watersheds." *Environmental Monitoring and Assessment*, 64, 285-298.
- Horton, R, 1933**, "The role of infiltration in the hydrological cycle." *American Geophysical Union Transactions*, 14, pp446-460.
- Hugues, D, 1995**, «Monthly rainfall-runoff models applied to arid and semiarid catchments for water resource estimation purposes." *Hydrological Science Journal*, 40(6), pp 751-769.
- IISD : Institut International du développement durable, 2003**, Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques, 14p.
- Keddar, A, 2006**, Impact des aménagements hydrauliques sur le ruissellement : Cas des micro-bassins expérimentaux de Beni Slimane, W. Médea, Thèse de magister, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique, 123 p.
- Kettab et Al, 2004**, Contribution à l'étude du phénomène de la sécheresse sur les régions littorales de l'Algérie, 12p.
- Koulm Guillomie et Al, 2005**, *La sécheresse au sahel un exemple de changements climatiques*, 40p.
- Lane, J, 1982**, "Distributed model for small semiarid watersheds." *Journal Hydraulics Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 108, 1114-1131.
- Meklati, A, 2009**, la mise en place d'un plan d'intervention en cas de sécheresse pour la wilaya d'Alger, thèse de magistère, Université de Boumerdes, 105p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Morin et Al, 1981, "Modèle CEQUEAU : Manuel d'utilisation." n° 93, INRS-Eau, Sainte-Foy, Canada.

Nouaceur, Z, 2003, Crise climatique et mutation des paysages en Afrique subsaharienne: la dynamique des paysages autour de la ville Nouakchott et dans la région de Rosso (Mauritanie). Revue électronique : Sécheresse Volume 1E, N°1 avril.

Padoun, N, 1973, Ecoulement interannuel et bilan hydrique de l'Algérie du Nord »Thèse doctorat Ph.D. Institut d'hydrométéorologie.174 p. Kiev.

Pilgrim et Al, 1988, "Problems of rainfall-run off modeling in arid and semi arid regions."Hydrological Sciences Journal / Journal des Sciences Hydrologiques, 33(4), pp 379-400.

Reggiani et Al, 1998, "A unifying framework for watershedthermodynamics : balance equations for mass, momentum, energy and entropy, and thesecond law of thermodynamics." Advances in Water Resources, 22(4), 367-398.

Richards, A, 1931, "Capillary conduction of liquids through porous mediums."Physics, 1, pp318-333.

Touaïbia, B, 2004, *Manuel pratique* d'hydrologie, Presses Madani frères. Blida. Algérie. 166p.

Turc, L, 1961, "Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise à jour." Ann. Agron., pp 13-16

Vaillant, J R, 1977, Accroissement et gestion des ressources en eau. Edition Eyrolles. Paris, P247.

Wenceslao, M, 2007, Spécial Section: Dryland Hydrology in Mediterranean Regions, Implications hydrologiques de la désertification dans le sud-est de l'Espagne, Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 52p.

Zeggane, H, 2005, Approche cartographique de l'érosion hydrique à partir des ouvrages hydrauliques existants : cas de bassin versant de l'Oued Isser W. Boumerdes. Thèse de magister, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique, 157 p.

SITOLOGIE :

Site internet du journal le monde (www.lemonde.fr)

Site internet de l'organisation météorologique mondiale (www.wmo.int)

Site internet de l'office national de la météorologie (www.meteo.dz)

Site internet de la revue la sécheresse (www.secheresse.info)