

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : **Hydraulique**

Spécialité : **Ouvrages hydrauliques**

Par :

BEDDIAR Fatima & ZERGOUN Sabrine

Étude et conception d'une retenue collinaire au niveau du bassin versant de l'oued Boukiou (NW Algérie).

Soutenu publiquement, le 29/ 06 / 2019, devant le jury composé de :

M. GENIM A N.	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. BOUANANI A.	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme. BABA HAMED K.	Professeur	Univ. Tlemcen	Co-Directrice de mémoire
Mme. ADJIM H.	Maître de conférences B	Univ. Tlemcen	Examinatrice
M. ROUSSAT B.	Maître de conférences A	Univ. Tlemcen	Examineur

2018 - 2019

Remerciements

Nous remercions vivement tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions en particulier, nos encadreurs pour leur disponibilité, leurs qualités humaines et leur savoir faire dans le domaine de l'eau.

- Monsieur **BOUANANI Abderrazak** (Directeur de mémoire) pour son appui et ses conseils,*
- Madame **BABA HAMED Kamila** (Co-Directrice de mémoire) pour sa patience et ses conseils,*

Nous remercions également :

- Monsieur **GENIM Abderrahmane N** de nous avoir honoré en présidant notre jury,*
- Madame **ADJIM Hayet** d'avoir accepté de juger notre travail,*
- Une motion particulière pour Monsieur **ROUISSAT Boucherit**, d'avoir été très présent avec nous et qui n'a en aucun moment refusé de nous aider, nous orienter et nous faire profiter de son expérience sur les ouvrages hydrauliques. Qu'il soit aussi remercié pour avoir accepté d'examiner ce travail.*
- Nos remerciements vont aussi à tout le personnel de la direction des Ressources en Eau de Tlemcen, en particulier : Monsieur **RAZI** et Monsieur **BELABBACI Abderrazek**.*
- Que tout le personnel de la direction des Services Agricoles de Tlemcen, trouvent sur cette page notre reconnaissance et notre respect pour toutes les portes qu'ils ont ouvert pour nous recevoir et nous orienter en particulier: Monsieur **KOUISI Hichamet** Monsieur **BAKHITAOUI Ilyas** (subdivision de Fillaoucène).*
- Nous ne saurons terminer cette page sans penser à tous les enseignants du Département d'Hydraulique. Qu'ils soient vivement remerciés.*

Dédicaces

*J*edédie, ce fruit de mes longues années d'étude tout d'abord:

A mon père « Bachir », qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, que Dieu le garde et le protège.

A Mamère qui m'a comblée d'amour, d'affection et qui a tout fait pour ma réussite, Allahy Rahmek. Oumi je t'aime.

*J*e vous remercie pour tous vos efforts fournis pour moi, que Dieu vous garde, vous protège, et vous bénisse.

Et je le dédie :

A tous les membres de ma famille, ma sœur "Iness", mes frères « Walid », « Mohamed » et « Bilal » et mes belles sœurs « Siham » et « Zohra », et leurs enfants « Iyad » « Jihad » et « Amir ».

A tous mes amis et mes collègues avec qui j'ai partagé de très bons moments tout le long de ces années.

A tous les enseignants et les collègues de ma promotion Master 2 (2018/2019).

SABRINE ZERGOUN

Dédicaces

*J*edédiecefruitdemeslonguesannéesd'étude tout d'abord:

*A*mestrèschersparents(Abderahmmen,Naima),quisontlalumièredemavie,quionttant souffert et se sont sacrifiés pour que je sois heureuse, pour leurs conseils, leur affection et leurs encouragements.

*J*evousremerciepourtoutvoisefforts consacrés pour moi, que Dieu vous garde, vous protège et vous bénisse.

Et je le dédie :

*A*touslesmembresdema famille, mes frères «Mohamed» «Fethi» et «M'hamed» ainsi que mes sœurs «Nadia» et « Amaria », et leurs enfants «Faysal, Isam, Houria, Ferdous, Asma» et ma belle sœur « Manel » et mon mari « Taleb Anes » et sa famille,

*A*tousmesamis et mes collègues avec qui j'ai partagé de très bons moments tout le long de ces années d'études.

*A*tous les enseignants et les collègues de ma promotion Master2 (2018/2019).

FATIMA BEDDIAR

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى بناء سد صغير على واد بوكيو (تحت حوض تافنا) لري الأراضي التابعة للآخر. مساحة حوض بوكيو 117.3 كم²، مساحة حوض السد 41,98 كم² يتميز بمناخ شبه قاحل لشتاء معتدل، ومتوسط هطول الأمطار السنوي على مدى فترة 44 عاما يسجل قيمة 290.5مم، ودرجة الحرارة في المتوسط يساوي 18 درجة مئوية. شفرة المياه المنبعثة هو 26مم ما يعادل تدفق ث/م³ 0.10. المساهمة سنوية داخل الحوض من 3م³ 710252,54. إنشاء هذا السد على واد بوكيو على مستوى الميوسن الغير نفوذ للمياه , المساهمة في تحسين وتطوير المحاصيل في المنطقة، مما يؤدي أيضا إلى تحسين الظروف المعيشية لسكانها. ومع ذلك، فإن عدم وجود مسح طبوغرافية للحوض يجعل الدراسة صعبة وي طرح بعض المشاكل عند مواصلة إيجاد الإبعاد الأساسية و المنشآت التابعة لها.

الكلمات المفتاحية : واد بوكيو, تساقطات, تدفق ,سد ,منشآت الري ,الأبعاد .

Résumé

La présente étude a pour objectif de réaliser un petit barrage sur oued Boukiou (sous bassin de la Tafna) destiné à l'irrigation des terres se trouvant en aval de ce dernier.

Boukiou affluent de la Tafna couvre une superficie de 117,3km².

Le sous bassin versant de la retenue avec une superficie de 41,98 km² caractérisé par un climat semi aride à Hiver tempéré, Les précipitations moyennes annuelles sur une période de 44 ans enregistrent une valeur de 290,5mm, la température est en moyenne égale à 18°C.

La lame d'eau écoulé est de 26mm équivalente à un débit de 0,10m³/s . L'apport annuel transitant dans le bassin est de l'ordre de 710 252 ,54 m³.

La réalisation d'une retenue collinaire sur l'Oued Boukiou au niveau du Miocène imperméable, devait contribuer à l'amélioration et développement des cultures dans la région, entraînant aussi l'amélioration des conditions de vies de ses habitants.

Cependant, l'absence des levés topographique de la cuvette rend l'étude difficile et pose quelques problèmes quant à la continuation de dimensionnement de la retenue collinaire et ses ouvrages annexes.

Mots clés : Oued Boukiou, Précipitations, débit ,Apport, Retenue collinaire, Ouvrage hydraulique, Dimensionnement.

Abstract

The aim of this study is to build a small dam on Oued Boukiou (under Tafna Basin) for irrigating the lands downstream from the latter.

Boukiou tributary of the Tafna covers an area of 117.3km^2 ,

The sub watershed of the reservoir has a area of $41,98\text{ km}^2$, characterized by a semi-arid climate at temperate winter, the average annual rainfall over a period of 44 years record a value of 290.5mm , the temperature is on average equal to 18°C .

The water slide is 26mm equivalent to a flow rate of $0.10\text{m}^3/\text{s}$. The annual contribution transiting in the basin is of the order of $710252,54\text{ m}^3$.

The construction of a hilly reservoir on Oued Boukiou at the level of the impervious Miocene, was to contribute to the improvement and development of crops in the region, also leading to the improvement of the living conditions of its inhabitants.

However, the absence of topographic surveys of the basin makes the study difficult and poses some problems as to the continued sizing of the hillside reservoir and its ancillary works.

Key words: Oued Boukiou, Precipitation, Supply, Hill retention, Hydraulic structure, Dimensioning.

Table des matières

Chapitre I : Généralité sur les ouvrages D'art « Barrage et Retenue collinaire »	1
Introduction	2
I.1.Historique	3
I.2.Barrage en Algérie	3
I.2 .1 Choix du type de barrage	4
I.2.2 Types de barrages	4
I.2.3. L'utilité des ouvrages de stockages	5
I.3.Ouvrages de stockage dans la wilaya de Tlemcen	5
I.3.1. Les retenues collinaires	6
I .3.1.1 Rôle des retenues collinaires	6
I.3.1.2. La conception de la retenue	7
I.3.1.2.1. Critères du choix du site de la retenue	7
I.3.1.2.2. Étude de projet	8
I.3.1.2.3. Les étapes d'étude d'un Barrage.....	8
I.4. Les retenues collinaires qui existent dans willaya de Tlemcen	9
I.5. Ouvrages annexes	11
I.5.1.Type des évacuateurs	11
I.5.2.Evacuateur classique	12
I.5.2.1..Déversoirs	12
Conclusion	13
Chapitre II : Présentation du bassin versant d'Oued Boukiou	14
II.1.SITUATION GEOGRAPHIQUE	15
II.1. Cadre géographique générale du bassin versant de la Tafna.....	15
II.1.1. Cadre géographique du bassin versant d'oued Boukiou	17
II.2.Contexte géologique et hydrogéologique de la région	18
Introduction.....	18
II.2.1. Cadre géologique générale	18
II.2.2. Etude litho-stratigraphique	19
II.2.3. Tectogénèse et analyse structurale	21
II.2.4. Etude Hydrogéologique.....	21
II.3. Morphométrie.....	23

II.3.1. Caractéristiques géométriques.....	23
I.3.1.1. Superficie	23
II.3.1.2. Périmètre	23
II.3.2. Caractéristiques de forme.....	24
II.3.2.1. Indice de compacité de Gravelius.....	24
II.3.2.2. Rectangle équivalent.....	24
II.3.2.3. Facteur de forme	25
II.3.2.4. Coefficient de circularité	26
II.3.3. Etude du relief	26
II.3.3.1. Hypsométrie	26
II.3.3.2. Altitudes Caractéristiques.....	27
II.3.3.3. Indices de pente	28
II.3.3.4. Dénivelée spécifique (Ds)	29
II.3.3.5. Classification du bassin versant d'oued Boukiou	30
II.3.4. Caractéristiques du réseau hydrographique.....	30
II.3.4.1. Classification par ordre et étude du chevelu hydrographique.....	31
II.3.5. Fréquence des cours d'eau	34
II.3.6. Densité de drainage	34
II.3.7. Coefficient de torrencialité	34
II.3.8. Temps de concentration.....	35
II.3.9. Profil en long et profil en travers.....	35
Conclusion	37

Chapitre III : Hydro-climatologie39

Introduction.....	40
III.1. Etude des précipitations	40
III.1.1. Variation de la pluviométrie interannuelle.....	40
III.1.2. Analyse Statistique des précipitations.....	41
III.1.3. Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle.....	45
III.1.4. Variation des précipitations saisonnières	46
III.1.5. Variation des précipitations journalières.....	47
III.2. Etude des Températures	48
III.2.1. Variation des Températures interannuelles	48
III.2.2. Variation des Températures moyennes mensuelles	48
III.3. Étude du climat	49
III.3.1. Indices climatiques.....	50

III.3.1.1. Indice d'aridité de De Martonne	50
III.3.1.2. Indice de continentalité de Kerner.....	51
III.3.1.3 Indice de Moral	52
III.3.1.4. Climagrammes	53
III .4. Evapotranspiration potentielle (ETP) et déficit d'écoulement (ETR).....	55
III.4.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	55
III.4.2. Evapotranspiration réelle (ETR)	56
III.4.3. Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.)	59
III.4.4. Calcul du ruissellement « R »	60
III.4.5. Détermination de l'infiltration et calcul des bilans	61
III.5. Etude des débits	62
Introduction :.....	62
III.5.1.Variation interannuelle des débits.....	62
III.5.2. Analyse statistique des débits	63
III.5.3. Variation moyenne mensuelle des débits et la lame d'eau.....	67
III.5.4. Variation saisonnière des débits et des lame d'eau correspondes.....	68
III.5.5.Variation journalière des débits	70
III.6. Etiages et Tarrisements de l'oued.....	71
III.6.1. Définition	71
III.6.2. Calcul du coefficient de tarissement	72
III.6.3. Volume de la réserve hydrogéologique	72
Conclusion	73
Chapitre IV : Etude socio-économique	74
Introduction	75
IV.1. Etude socio-économique de la vallée de Boukiou	75
IV.1.1. Zone de Boukiou	75
IV.1.2. Zone d'Ain Fetah	76
IV.1.3. Zone de Fillaoucene	76
IV.1. 3. 1. Perspectives démographiques	76
IV.1. 3. 2. Enseignement scolaire	77
IV.1.3.3. Installation public	77
IV.1.3.4. ressources et mobilisation des eaux	77
IV.1.3.5. Facteurs économiques	77
IV.1.3.5.1. Agriculture	77
IV.1.3.5.2. Type de spéculation	78

IV.1.4.. Zone d'Ain Kébira	78
IV.1.4.1. Installation public	79
IV.1.4.2. Activités	79
IV.1.4.2. Besoins en eau potable.....	79
IV.2. Activités agricoles de la vallée de l'oued Boukiou.....	79
IV.2.1. 1.Les cultures maraichères	79
IV.2.1. 2 La pomme de terre	79
IV.3.1. 3. Les tomates et le poivron	80
IV.3.1. 4. Les Oliviers	81
IV.3.Calcul des besoins en eau d'irrigation.....	88
IV.3.1.Généralités sur les besoins en eau des cultures	88
IV.3.2. Détermination des besoins en eau nets	89
IV .3.3 Détermination des besoins eau bruts	89
Conclusion	91
Chapitre V : L'étude de faisabilité de la retenue collinaire	92
Introduction.....	93
V.1. Choix du site de la retenue	93
V.2. Morphométrie.....	95
V.2.1. Caractéristiques géométriques	95
V.2.1 .1. Superficie et Périmètre	95
V.2.2. Caractéristiques de forme.....	95
V.2.2.1. Indice de compacité de Gravelius.....	95
V.2.2.2. Rectangle équivalent	95
V.2.2.3. Facteur de forme	96
V.2.2.4. Coefficient de circularité	96
V.2.3. Etude du relief.....	96
V.2.3.1. Hypsométrie	96
V.2.3.2. Altitudes Caractéristiques.....	98
V.2.3.3. Indices de pente	98
V.2.3.4. Dénivelée spécifique (Ds)	99
V.2.3.5. Classification du bassin versant d'oued Boukiou.....	99
V.3. Détermination des Paramètres hydrologiques pour la conception d'une retenue	100
V.3. 1.Analyse fréquentielle des précipitation journalière maximale	100
V.3.1.1 . calculer les caractéristiques empiriques de l'échantillon à savoir	100
V.3.2. Estimation du temps de concentration	103
V.3.3.Pluie de durée égale au temps concentration	104

V.3 .4. Pluie max journalière	105
V.3.5.Etude des Apporte liquide	105
V.3.5.1. Apport moyen annuel	105
V.3.5.2. estimation de l'Apport fréquentiel	106
V.3.6. Etude des crues	107
V.3.6.1 débits maximal	107
V.3.6.2 Volume de la crue	107
V.3.6.3 Hydrogramme des crues	108
V.3.7. Apport solides	109
V.4. Détermination des tranches du déversoir	110
V.4.1. Topographie de la cuvette	110
V.4.2. Evaluation des pertes de volume.....	111
V.4.2.1. Pertes par infiltration :.....	111
V.4.2.2. volume utile	111
V.5.Dimenssionnement de l'ouvrage.....	111
V.5..1.hauteur de la digue	111
V.5.1.1. Hauteur normal de la digue :	112
V.5.1.1.1. La revanche	112
V.5.1.1.2. Hauteur des plus hautes eaux :.....	112
V.5.1.1.3. Largueur en crête	113
V.5.1.1.4. Pent des talus.....	113
V.5.1.1.5. les drains	114

Liste des tableaux

Tableau I- 1 : petits barrages existants, hauteur >10m (dre).....	10
Tableau I- 2 : retenues collinaires existantes, hauteur <10m (dre).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau II- 1 :Distinction hydrogéologique des formations d’oued Boukiou.....	22
Tableau II- 2 :Répartition Hypsométrique du bassin versant d’Oued Boukiou. (Berrezoug, 2015)	26
Tableau II- 3 :Altitude moyenne par rapport à une classe d’altitude donnée.....	28
Tableau II- 4 :Altitudes caractéristiques du bassin versant d’oued Boukiou	28
Tableau II- 5 : paramètres de Calcul de Ip du bassin d’oued Boukiou	29
Tableau II- 6 :Classification de l’O.R.S.T.O.M.....	30
Tableau II- 7 :Valeurs des indices de pente et reliefs du sous bassin d’oued Boukiou.....	30
Tableau II- 8 :Classification des bassins versants selon leur superficie.....	30
Tableau II- 9 :Paramètres morphométriques du bassin de l’Oued Boukiou.(Berezoug . 2016)..	31
Tableau II- 10 :Caractéristiques morphométriques du bassin versant d’oued Boukiou	38
Tableau III- 1 :Caractéristiques de la station de mesure	40
Tableau III- 2 :Distribution des précipitations moyenne annuelle en terme croissant de la station de Dj. Chouachi sur la période de 1974-1975 à 2017-2018	42
Tableau III- 3 : Paramètres de position et de dispersion des précipitations de la station de Dj. Chouachi	42
Tableau III- 4 :Paramètres de position et dispersion pour la loi log normale.....	44
Tableau III- 5 : Comparaison entre χ^2 calculé et χ^2 tabulé (loi normale et log normale).....	45
Tableau III- 6 :Calcul des précipitations pour différentes périodes de retour.....	45
Tableau III- 7 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations.....	45
Tableau III- 8 : Répartition des précipitations saisonnières.....	46
Tableau III- 9 : Valeurs des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales exprimées en °C de la station Dj. Chouachi (1974/1975-2017/18)	49
Tableau III- 10 :Précipitations et températures moyennes mensuelles (1974/1975 – 2017/2018)	49
Tableau III- 11 :Classification du climat suivant l’indice d’aridité de De. Martonne.....	51
Tableau III- 12 : Calcul de l’indice de Kerner	52
Tableau III- 13 :Calcul des indices mensuels de Moral.....	53
Tableau III- 14: Calcule d’Indice d’Emberger	54
Tableau III- 15 :Calcul et correction des valeurs de l’ETP (Dj. Chouachi, (1974/1975-2017/2018)	56
Tableau III- 16 : Calcul d’ETR par la méthode de Turc	57

Tableau III- 17 : Calcul du déficit d'écoulement par la méthode de Coutagne	57
Tableau III- 18 : Valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt)	57
Tableau III- 19 : Valeur du déficit d'écoulement (Verdeil, 1988)	58
Tableau III- 20 : Valeurs de C-F (%) en fonction de la nature du sol	59
Tableau III- 21 :Eléments du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj Chouachi (1969/1970-2012/2013) (R.U = 90 mm)	60
Tableau III- 22 :Valeur du ruissellement (Tixeront – Berkaloff).....	61
Tableau III- 23 : Valeurs de l'infiltration selon les différents auteurs.....	61
Tableau III- 24 :Valeurs de ETR calculées à partir des précipitations et des lames d'eau écoulées mesurées.....	61
Tableau III- 25 : Distribution interannuelles des débits de la station D.j.Chouachi	64
Tableau III- 26 : Paramètres de position et dispersion des débits de la station de Dj. Chouachi (1974/75-2013/14)	65
Tableau III- 27 : Paramètres de position et dispersion pour la loi log normale (1974/75-2013/14)	66
Tableau III- 28 : Comparaison entre χ^2 calculé et χ^2 tabulé (loi normale et log normale).....	67
Tableau III- 29 :Valeurs moyennes mensuelles des débits.....	67
Tableau III- 30 :Répartition saisonnière des débits et des lames d'eau écoulées.....	69
Tableau III- 31 :Valeurs des débits caractéristiques	71
Tableau IV- 1 :Installations publiques de la zone de Boukiou.....	75
Tableau IV- 2 :Installations publiques et administratives de la commune d'Ain Fetah	76
Tableau IV- 3 : Perspectives démographiques	76
Tableau IV- 4 : Structures de l'enseignement	77
Tableau IV- 5 : répartition des terres agricoles de la commune (subdivision de l'agriculture 2010).	77
Tableau IV- 6 : Type de spéculation.....	78
Tableau IV- 7 :Installations publiques et administratives de la zone d'Ain kbira	79
Tableau IV- 8 : les statistiques culturelles de la région de Fillaoucene.....	82
Tableau IV- 9 : les statistiques culturelles de la région d'Ain Kébira.....	84
Tableau IV- 10 : les statistiques culturels de la région d'Ain Fettah	86
Tableau IV- 11 : éléments du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj Chouachi (1969/1970-2012/2013) (R.U= 90 mm)	89
Tableau IV- 12 : calcul des besoins Pommes de terre.....	90
Tableau IV- 13 :calcul des besoins Les oliviers	90
Tableau IV- 14 :calcul des besoins pour la Tomate	90

Tableau IV- 15 : Besoin en eaux de la vallée de Boukiou.....	91
Tableau V- 1 : Répartition Hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Boukiou.....	97
Tableau V- 2 : Altitude caractéristique de sous bassin de oued Boukiou	98
Tableau V- 3 : Classification de l'O.R.S.T.O.M.....	99
Tableau V- 4 : valeurs des indices de pentes et reliefs de sous bassin de Oued Boukiou	99
Tableau V- 5 : Classification des bassins versants selon leur superficie	99
Tableau V- 6 :Variation des précipitations max journalières de station Dj.Chouachi.....	100
Tableau V- 7 :Distribution des précipitations max journalières en terme croissant de la station de Dj. Chouachi sur la période de 1974-1975 à 2017-2018.....	101
Tableau V- 8 : Calcule de précipitation pour différentes périodes de retour.....	102
Tableau V- 9 :Variation du temps de concentration calculer par différents méthode	104
Tableau V- 10: Calcul de pluie égale au periode de retour et les fréquences	104
Tableau V- 11 : Variation des pluies maximales journaliées et des pluies de duré égale au temps de concentration en fonction des fréquences	105
Tableau V- 12 :Variation des Apports moyens annuels	106
Tableau V- 13 : valeurs des ruissellement dubassinversant.....	107
Tableau V- 14 :Période de retour avec les débits du crues.....	107
Tableau V- 15 : Evaluation des volumes des crues en fonction des fréquences	108
Tableau V- 16 : Parametre pour tracé l'hydrogramme de crue.....	108
Tableau V- 17 : Topographie et capacité de la cuvette.....	110
Tableau V- 18 : choix de type de barrage et calcul de pentes des talus par la hauteur d'eau ...	113

Liste des figures

Figure I- 1 : Barrage Beni Haroun	2
Figure I- 2: L'utilité des ouvrages de stockage.....	3
Figure II- 1 : Situation géographique du bassin versant de la Tafna. (Adjim, 2003) in (Belarbi, 2010).	11
Figure II- 2 : Bassin versant de la Tafna dans l'ensemble Oranie-Chott Chergui (Bouanani, 2004).....	12
Figure II- 3 : Situation géographique du bassin de la Tafna (Perrodon, 1957)	13
Figure II- 4 : Situation géographique d'Oued Boukiou In (Kacemi&Sennina. 2015).	14
Figure II- 5 : Schéma structurale de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale (Ameur, 1988).....	15
Figure II- 6 : Log synthétique du secteur d'étude (Oued Boukiou)(Kébir&Miri, 1992 in Kacemi & Senina, 2015)	16
Figure II- 7 : Carte géologique du bassin oued Boukiou.....	17
Figure II- 8 : Coupe en travers de la plaine alluviale de l'Oued Boukiou (Miri &Kébir. 1991).	19
Figure II- 9 : Rectangle équivalent du bassin versant de Boukiou	21
Figure II- 10 : Courbe Hypsométrique du bassin versant de l'oued Boukiou.	23
Figure II- 11 : Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant d'oued Boukio.	23
Figure II- 12 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Boukiou. (Kacemi et Senina, 2015 modifié).....	27
Figure II- 13 : Droite représentative du nombre de thalwegs en fonction de l'ordre.....	28
Figure II- 14 : Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre.	29
Figure II- 15 : Droite représentative du rapport des aires en fonction de l'ordre.....	30
Figure II- 16 : Profil en long du bassin versant de l'Oued Boukiou.....	32
Figure II- 17 : Profil en travers du bassin versant de l'Oued Boukiou.....	32
Figure III- 1 : Variation moyenne interannuelle des précipitations à la station Dj. Chouachi (1974/1975-2017/2018).....	36
Figure III- 2 : Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution normale.....	39

Figure III- 3 :Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi log normale.....	40
Figure III- 4 :Variation des précipitations moyennes mensuelles, (1974/75-2017/18).....	42
Figure III- 5 :Variations saisonnières des précipitations (1974/1975-2017/2018).....	43
Figure III- 6 : Variation des précipitations moyennes journalières (1974-1975/ 2017-2018. 43	
Figure III- 7 : Variation des températures moyennes annuelles de la station Dj Chouachi (1974/1975-2017/2018	44
Figure III- 8 : Répartition des Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la station Dj. Chouachi (1974/1975-2017/2018)	45
Figure III- 9 :Courbe pluviothermique de la station de Dj. Chouachi (1974/1975 – 2017/2018)	46
Figure III- 10 :Abaque de De Martonne	47
Figure III- 11 :Climagramme d’Emberger	50
Figure III- 12 :Abaque de Thornthwaite	52
Figure III- 13 :Détermination du déficit d’écoulement (Abaque de Wundt)	53
Figure III- 14 :Abaque pour le calcul du déficit d’écoulement en Algérie (P. Verdeil, 1988)	54
Figure III- 15 :Variation interannuelle des débits de la station Dj. Chouachi (1974/75- 2013/14)	58
Figure III- 16 :Variation interannuelle des lames d’eaux écoulées (1974/1975-2013/2014).58	
Figure III- 17 :Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution normale pour un niveau de confiance de 95% (1974/1975-2013/2014).....	60
Figure III- 18 :Ajustement à la loi Log normale des débits	61
Figure III- 19 :Ajustement graphique des débits annuels la loi de distribution log-normale pour un niveau de confiance de 95% (1974/1975-2013/2014).	62
Figure III- 20 :Variation mensuelle des débits de l’oued Boukiou (1974/75-2013/14)	63
Figure III- 21 :Variation mensuelle des lames d’eau écoulées de l’oued Boukiou (1974/75- 2013/14)	63
Figure III- 22 :Variations saisonnières des débits de la station Dj. Chouachi	64
Figure III- 23 :Variation saisonnière des lames d’eau écoulées (1974/75-2013/14).....	64
Figure III- 24 : Variation moyenne journalière des débits (1974/75-2013/14)	65
Figure III- 25 : Courbe des débits classés	66
Figure III- 26 : Courbe de tarissement de l’oued	67

Figure IV- 1 Pompe de terre.....	75
Figure IV- 2 Tomate de la région de Boukiou.	75
Figure IV- 3 :Poivron.....	75
Figure IV- 4 :Oliviers de la commune	75
Figure IV- 5 :Histogramme des cultures existantes dans la communes de FILLAOUCENE	77
Figure IV- 6 : Histogramme des cultures existant dans la communes Ain kebira.....	79
Figure IV- 7 : Histogramme des cultures existant dans la communes Ain FETTAH	81
Figure V- 1 : Carte d'état majeure de sous bassin versant d'oued Boukiou.....	88
Figure V- 2 : rectangle équivalent de sous bassin versant de Boukiou.....	90
Figure V- 3 : la courbe hypsométrie du sous bassin versant de oued boukiou.....	91
Figure V- 4 : carte d'état majeure de sous bassin versant de oued Boukiou (DRE).....	95
Figure V- 5 : Variation des précipitation max journalières de station dj.chouachi (1974-1975/2017-2018)	97
Figure V- 6 : hydrogramme de crue	101
Figure V- 7 : Courbe de remplissage $V=F(H)$	103
Figure V- 8 : Courbe de remplissage $S=F(H)$	103

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

A : Aire

As : Apport solide spécifique (t/km²/An)

A₀ : Apport liquide (m³)

b : exposant climatique régional

B : Largueur de la base du barrage

Bc : largeur de la crête (m)

B.V : Bassin versant

CMI : Indice climatique d'humidité

C_T : Coefficient de torrentialité

D_d : Densité de drainage

D_s : Dénivelée spécifique

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

h : Charge déversant en m.

H_{max} : Altitude maximale

H_{med} : Altitude médiane

H_{min} : Altitude minimale

H_{moy} : Altitude moyenne

HYFRAN: Hydrology Frequency Analysis

I : Indice climatique de De. Martone

i : Indice d'aridité mensuelle

I : Infiltration

I_a : Indice de continentalité pluviométrique d'Angot

I_G : Indice de pente global

I_M : Indice annuel de Moral

I_m : Indice mensuel de Moral

I_{moy} : Pente moyenne

I_p : Indice de pente de Roche

K_c : Indice de compacité de Graveluis

OMM : Organisation météorologique mondiale

ONM : Office National de Météorologie

O.R.S.T.O.M : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Q₂ : Quotient d'Emberger

P : Périmètre

Q_{jmax} : Débit moyen journalier, (m³/s)

R : Revanche (m)

R : Ruissellement

R_a : Rapport des aires

R_c : Rapport de confluence

R_{ci} : Coefficient de circularité

R_f : Facteur de forme

R_l : Rapport des longueurs

RFU : Réserve facilement utilisable

RN : Rapport à la normale des précipitations

T : Température (°C)

T_c : Temps de concentration des eaux

χ² : Khi deux.χ

Σ : Somme

δ : Ecart type

σ²:Variance

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est l'élément vital et indispensable pour la vie humaine elle est considérée comme une richesse permanente pour l'être humain et pour son développement économique. La rareté de cet élément a créé d'une manière ou d'une autre des conflits entre les différents pays.

A cet égard, comme l'Algérie est un pays jeune en voie de développement, une politique a été tracée qui donne une grande importance au secteur de l'Hydraulique afin de mobiliser au mieux les ressources en eau.

La wilaya de Tlemcen à paysage diversifié et terrains agricoles en majeure partie participe par un taux important à l'économie local en matière d'agriculture.

L'Oued Boukiou qui coule de l'Ouest vers l'Est (du Djebel Fillaoucène à la Tafna s'inscrivant ainsi dans le système géomorphologique de la moyenne Tafna) traverse une région pauvre en eau dont la population s'alimente difficilement à partir des écoulements superficiels intermittents. Les populations n'utilisent aujourd'hui qu'une très faible part des eaux pour l'irrigation et l'agriculture est loin de disposer des volumes qui lui seraient nécessaires.

La réalisation d'une retenue collinaire sur l'Oued Boukiou devrait contribuer à l'amélioration et développement des cultures dans la région, entraînant ainsi l'amélioration des conditions de vie de ses habitants.

Pour l'étude de faisabilité d'une retenue collinaire sur l'Oued Boukiou en passe par plusieurs étapes :

- Chapitre 1 : dans lequel seront présentés des généralités sur les ouvrages d'art (Barrages et Retenues collinaires),
- Chapitre 2 : englobant la localisation, les caractéristiques morphométriques, la lithologie et l'hydrogéologie du bassin versant de l'Oued Boukiou,
- Chapitre 3 : dans lequel une étude détaillée des paramètres climatiques et hydrologiques seront traités.
- Chapitre 4 : fera appel à une étude socio-économique de la vallée de Oued Boukiou

Introduction générale

- Chapitre 5 : sera consacré au choix du site et étude du dimensionnement de la retenue.
- Enfin, en dernier, une conclusion générale fera l'objet d'une synthèse des résultats trouvés et la proposition de quelques recommandations.

Chapitre I

Généralités sur les ouvrages D'art
« Barrages et Retenues collinaires »

Introduction

Les barrages sont des ouvrages destinés à retenir temporairement une quantité d'eau plus ou moins grande pour différents usages (alimentation en eau potable, irrigation, régulation des débits de cours d'eau, production d'énergie hydroélectrique, activités touristiques ...). De ce fait, ils sont construits, le plus souvent, en travers d'un cours d'eau. Certains barrages sont toutefois construits en dehors du lit majeur d'un cours d'eau et alimentés en dérivant une partie du débit de cours d'eau proches, c'est le cas des retenues collinaires et des barrages faisant partie de stations de transfert d'énergie par pompage (STEP).

 **Les Barrages**

C'est un ouvrage hydraulique édifié au travers d'une vallée, ou une barrière qui emprisonne ou retient l'eau d'un cours d'eau, y compris les ruisseaux souterrains. Admis comme un ouvrage d'art, leur objectif est de répondre à plusieurs problèmes: l'approvisionnement en eau et l'irrigation. Avec le développement des civilisations, les besoins furent plus importants et plus nombreux, Ils peuvent également être utilisés en tant que régulateurs de crues à des fins énergétiques (production d'énergie hydroélectrique) ou pour l'alimentation en eau potable. Ces différentes fonctions sont souvent associées afin de valoriser un même barrage. Mais, dans la gestion du stock de l'eau, une prépondérance est toujours donnée à l'une d'entre elles. D'autres utilisations, bien que secondaires, sont également à mentionner : usages industriels (rétention d'effluents boueux), navigation, création de polders,

 **Les petits barrages**

Les petits barrages présentent a priori autant de difficultés que les très grands. Bien sûr leur faible taille s'accompagne de faibles contraintes : le comportement d'un rocher d'appui va rester dans le domaine élastique, les vitesses à l'aval d'un coursier d'évacuateur n'engendreront pas de phénomènes de cavitation, mais à l'inverse, il ne sera pas toujours financièrement raisonnable de vouloir acquérir une connaissance parfaite de l'étanchéité d'une cuvette, l'absence de station limnigraphique gonflera l'indétermination des débits de crue... Indétermination, zones d'ombre compliquent donc la tâche du concepteur. Celui-ci devra alors concevoir un ouvrage adapté à ces incertitudes. Si c'est impossible, il sera placé

devant le dilemme de déclarer le site impropre ou bien de prendre un risque. Risque de rupture, mais plus souvent risque de fuites excessives.

I.1.Historique

Les premiers barrages sont nés avec les premières civilisations de l'antiquité, en particulier dans la vallée du Nil, Mésopotamie, en Chine et en Asie du sud. Ce sont certainement les traces de ces anciennes civilisations que les archéologues retrouvent facilement.

Le XX^{ème} siècle a été marqué pour un taux très élevé de construction de barrages sur la planète, la plupart concentrés dans les pays les plus industrialisés. Selon le rythme de la croissance démographique et du développement économique, on a assisté à un accroissement de la construction des barrages dans le monde. À la fin du XX^{ème} siècle, le total de retenues a atteint les 45 000, distribuées sur plus de 140 pays. Actuellement, près de la moitié des grands fleuves du monde comptent au moins un grand barrage. L'apogée de la construction de ces ouvrages remonte aux années 1960 et 1970, époque à laquelle ils étaient considérés comme un symbole de développement économique, de progrès technologique et de modernisation. C'est à cette époque que la plus partie des barrages a été construite dans les pays d'Amérique du Nord, d'Asie et d'Europe, tandis que les pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Océanie présentaient un taux linéaire de croissance.

Après les pays du nord de la Méditerranée, ceux d'Afrique du Nord et du Proche-Orient se sont lancés dans une politique de construction de petits barrages. Les objectifs de ces aménagements sont essentiellement la gestion et la conservation des eaux et des sols avec la protection des infrastructures en aval, en particulier en Afrique du Nord, celles des grands barrages contre une sédimentation trop rapide. Le développement des petits barrages a suivi des chemins et des objectifs différents. Le premier trait commun est une volonté politique de développer ce type d'aménagement dans les années à venir. L'évolution des capacités de stockage des petits barrages a été étudiée à travers un modèle d'estimation et de simulation des transports solides. Ces études ont permis de mieux comprendre les phénomènes d'envasement en relation avec l'érosion des sols sur les bassins-versants (Alberge et al., 2004).

I.2.Barrage en Algérie

L'Algérie est un pays riche en ressources en eau, non seulement par son extension le long de la mer Méditerranée, mais aussi par les caractéristiques géographiques qui lui permettent d'annexer un grand nombre de barrages, dont le plus grand est le barrage de Beni Haroun,

d'une hauteur de 120 mètres d'une capacité de 960 millions de mètres cubes. Ces barrages jouent un rôle majeur dans l'approvisionnement en eau potable du pays (fig.I.1).



Figure I- 1: Barrage Beni Haroun

I.2 .1 Choix du type de barrage

Le choix du type de barrage est basé sur les critères suivants :

- ✓ Forme de la vallée,
- ✓ Risque sismique,
- ✓ Géologie et géotechnique,
- ✓ Matériaux de construction,
- ✓ Conditions climatiques,
- ✓ Crues à maîtriser,
- ✓ Economie,
- ✓ Sécurité.

I.2.2 Types de barrages

Depuis longtemps l'homme a eu recours à des barrages pour stocker de l'eau. Ils étaient composés de bois mais de nos jours, ce sont d'incroyables structures de béton qui se différencient par leurs formes et leurs tailles. Nous allons ainsi voir les différents types de barrages :

- Barrage poids,

- Barrage à contre forts,
- Barrage voûte, multi voûtes,
- Barrage à masque amont,
- Barrage en BCR (béton Compacté au Rouleau),
- Barrage mixte,
- Barrage en terre.

I.2.3. Utilité des ouvrages de stockages

Ces ouvrages sont construits essentiellement pour l'alimentation en eau potable mais ils peuvent être utilisés pour :

- Alimentation en eau potable,
- Irrigation,
- Tourisme,
- Navigation maritime.
- Protection contre les inondations et les incendies (fig.I.2).

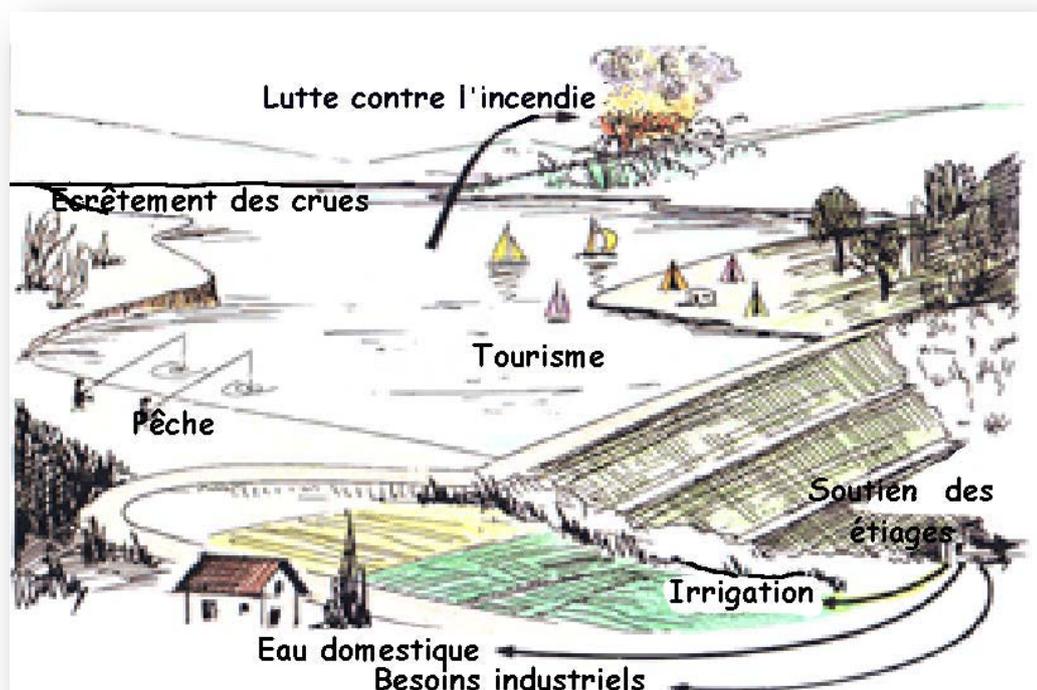


Figure I- 2: Utilité des ouvrages de stockage

I.3.Ouvrages de stockage dans la wilaya de Tlemcen

La wilaya de Tlemcen contient un nombre important d'ouvrages de stockage des eaux superficielles tel que les barrages et les retenues collinaires. Pour faire la différence entre eux en bas sur les critères suivante :

- âge du barrage;
- capacité de retenue;
- état du barrage;
- fiabilité des appareils d'évacuation;
- hauteur du barrage;
- niveau des conséquences en cas de rupture;
- type de barrage;
- type de terrain de fondation;
- zone de séismicité dans laquelle le barrage est situé.

I.3.1. Retenues collinaires

Les retenues collinaires sont des ouvrages de stockage de l'eau, principalement alimentées par les eaux de surface et les eaux ruissellement. L'ouvrage, constitué d'une digue en terre, permet de retenir l'eau dans un thalweg et de stocker une part des écoulements d'eau. Les retenues sont utilisées essentiellement pour l'irrigation des cultures. Elles peuvent faire l'objet d'usages secondaires, la protection contre les incendies, les loisirs, la pisciculture et l'eau potable.

I .3.1.1 Rôle des retenues collinaires

Les différents types de retenues de stockage d'eau ont été utilisés selon les régions et selon la période de leur construction pour répondre à plusieurs types de besoin :

- Irrigation,
- Abreuvement du bétail,
- Protection contre les crues,
- Alimentation en eau potable.

I.3.1.2. Conception de la retenue**I.3.1.2.1. Critères du choix du site de la retenue**

Le choix du type de la retenue doit satisfaire à plusieurs paramètres comme :

- **La demande en eau d'irrigation**

L'activité agricole intense et les grandes surfaces agricoles demandent des quantités considérables en eau, la réalisation d'une retenue sur le site est indispensable pour satisfaire la demande en eau d'irrigation.

- **Condition hydrogéologique et géologique**

Il est très utile de connaître la nature des roches de la région et du site de la retenue collinaire. Les conditions hydrogéologiques seront modifiées suite à la réalisation de l'ouvrage notamment le tassement du cours d'eau. La localisation sur la carte géologique des différents sols à utiliser pour la construction de la digue en terre.

- **Conditions géotechniques**

On s'intéresse à la stabilité de la digue. Ainsi, on est amené à tenir compte du coefficient de sécurité et la résistance des matériaux aux différents efforts.

- **Conditions hydrologiques**

L'étude hydrologique permet d'estimer les apports en eau naturelle (pluie, ruissellement, etc.), ainsi, on peut tracer l'Hydrogramme de crue et étudier l'aptitude en eau de la retenue à satisfaire la demande en eau et également à partir des conditions hydrologiques, on pourra dimensionner la digue de la retenue.

- **Conditions topographiques**

Le choix du site de la retenue s'effectue d'abord sur des cartes topographiques sur les quelles, on localise les axes de digue sur les endroits les plus appropriés représentés, généralement par des courbes de niveau resserrées sur la carte topographique, qui correspond à la section la plus étroite du cours d'eau.

- **Conditions économiques**

Elles sont traduites aux frais relatifs aux coûts des matériaux, de main d'œuvre, transport et engins de travaux plus les différents équipements de la digue, ainsi que d'éventuels frais relatifs à l'indemnisation suite à la réalisation de la retenue.

« Une fondation trop perméable, des versants instables, l'absence de matériaux fins en quantité suffisantes et à proximité du site conduiront à l'abandon du site. »

I.3.1.2.2. Étude de projet

Une fois la décision prise pour poursuivre les études, ce qui suppose qu'aucune contrainte majeure n'ait été révélée ou que celle-ci ait été levée, l'étude du projet sera entamée.

Elle portera sur les volets ci-après :

Avant tous il faut Collecter la donnée, et rechercher l'emplacement adéquat de site.

- ✓ Conception et dimensionnement des ouvrages : digue, évacuateur de crues, prise d'eau et vidange de fond.
- ✓ Impact sur l'environnement.
- ✓ Estimation économique de l'aménagement.
- ✓ Planning des travaux et organisation de chantier.
- ✓ Devis descriptif et estimatif.
- ✓ Dossier d'appel d'offre.

I.3.1.2.3.les étapes d'étude d'un Barrage:

1. Avant-projet sommaire (APS).

- Etude des séries hydrologiques (précipitations, apports, crues...)
- Etude du laminage de la crue
- Etude de régularisation
- Evaporation au droit de site
- Caractéristique du bassin versant
- Calcul de remplissage et du volume de la retenue
- Définition et études des transports solides
- Définition des conditions d'exploitation de la retenue en fonction des besoins

2. Avant-projet détaillé (APD).

- Faisabilité de l'aménagement
- Options et choix liés aux multiples variantes avec études technico économiques
- Calcul, conception et projection de l'ensemble des ouvrages et leurs fondations
- Pièces écrites et dessinées et élaboration du DAO

3. Dossier d'exécution.**4.** Etudes d'impact de réalisation d'un barrage et leurs influences à l'amont et à l'aval :

- Faune et la flore.
- Paysage et environnement.
- Economie.
- Ecologie.
- Social.

5. Dossier d'appel d'offre (DAO)**6.** Cahier des charges.**I.4. Les retenues collinaires qui existent dans willaya de Tlemcen :**

Le tableau 2 et 3 représente la liste des retenues collinaires existant dans la willaya de Tlemcen.

Tableau I- 1 : Petits barrages existants, hauteur > 10m

Daira	Commune	Année de réalisation	Nom de l'ouvrage (oued)	Hauteur (m)	Capacité actuelle (m3)	Superficie irriguée (ha)	Nombre d'agriculteurs	Etat de la gestion (1)	Etat de l'ouvrage
Hennaya	Ouled Riah	1990	Oued Atchane	17	500000	89	35	pas de gestionnaire	Ouvrage en exploitation, partiellement envasé, dégradation totale de l'évacuateur, digue et prise d'eau
Bensekrane	Sidi Abdelli	1990	Oued Tiloua	18,5	350000	60	30	pas de gestionnaire	Ouvrage en exploitation, partiellement envasé, dégradation totale de l'évacuateur, digue et prise d'eau
		1984	Sidi Snouci	13	400000	25	20	pas de gestionnaire	Ouvrage en exploitation, partiellement envasé, dégradation totale de l'évacuateur, digue et prise d'eau
		1980	Chaàbet Alia	14	400000	20	23	pas de gestionnaire	Ouvrage en exploitation, partiellement envasé, dégradation prise d'eau et équipements hydrauliques
Chetouane	Amieur	1990	Guettara	14,5	300000	66	18	pas de gestionnaire	Ouvrage en exploitation, partiellement envasé, dégradation totale de l'évacuateur, digue et prise d'eau
Oued Mimoun	Ouled Mimoun	2004	Oued Khelfoun	16	1000000	125	50	association agréée	Ouvrage en exploitation, en bon état
Beni Boussaid	Zouia	1991	Oued Aich	18	750000	50	31	géré par APC	Ouvrage en exploitation, partiellement envasé.
		2008	Oued Zouia	23,6	2000000	30	50	géré par APC	Ouvrage en exploitation AEP et irrigation, bon état
Ain Tellout	Ain Tellout	2014	Bahloula	12,5	1200000	50	10	association agréée	Ouvrage en exploitation, en bon état
Marsa Ben M'hidi	Marsa Ben M'hidi	2004	Sahd Ali Ben Aissa	14,9	130000	0	0	pas de gestionnaire	Ouvrage non exploité, réalisé par les forêts

Source : D.R.E.

Tableau I- 2 : Retenues collinaires existantes, hauteur <10m

Daira	Com-mune	Année de réalisation	Nom de l'ouvrage (oued)	Hauteur (m)	Capacité actuelle (m3)	Superficie irriguée (ha)	Nombre d'agriculteurs	Etat de la gestion 1	Etat de l'ouvrage
Béni Snous	Béni Snous	2010	Béni Snous	4,25	140000	3	3	pas de gestionnaire	Ouvrage en bon état, exploité pour l'irrigation, abreuvement du cheptel et régularisation de l'écoulement sur l'oued Mazzer
Sidi Djilali	Bouihi	2010	Malka el widane (El ABED)	9,3	250000	10	7	pas de gestionnaire	Ouvrage en bon état, exploitée pour l'irrigation, abreuvement du cheptel (zone pastorale frontalière)
		1988	Magoura	8,3	300000	60	5	pas de gestionnaire	Ouvrage en exploitation partielle, situé en zone frontalière et pastorale, taux d'envasement estimé à 80% dégradation totale de l'évacuateur et prise d'eau

Source : D.R.E.

I.5.Ouvrages annexes

I.5 .1 Types des évacuateurs

a-. **Barrage poids** : incorporation facile zone aval à protéger : fosse de dissipation, saut de sky, déflecteurs...etc .

- ✚ Evacuateurs vannés.

- ✚ Type de vanne segment.

- ✚ Evacuateurs à faible charge en cas de surélévation.

- ✚ Evacuateur en puits difficultés d'implantation sur corps du barrage ou rives (difficultés techniques ou financières).

- ✚ Evacuateur en siphon difficultés d'implantation sur corps du barrage ou rives (difficultés techniques ou financières).

- ✚ Evacuateurs les hausses fusibles.

b- . Barrage en terre.

Incorporation au niveau des remblais difficile, risque élevé en cas de submersion, translation sur les rives.

✚ Evacuateur frontal : Ecoulement dans le coursier perpendiculaire au seuil .

✚ Evacuateur latéral: Ecoulement dans le coursier parallèle au seuil

I.5 .2 Evacuateur classique à

- Zone déversant.
- Évacuateur.
- Zone de dissipation: il maitre pour la transforme de l'écoulement fluvial à torrentiel, et pour éviter le reçus hydraulique.

I.5 .2 .1 Déversoirs

Le déversoir est un ouvrage de bifurcation qui permet un partage des débits dans deux canaux ou collecteurs. Par rapport à une simple bifurcation, où les débits sont partagés quelque soit la hauteur d'eau, dans un déversoir, le déversement n'a lieu que si la hauteur du fluide atteint la hauteur de la crête déversant.

Le déversoir est un orifice ouvert à sa partie supérieure, il est utilisé pour le contrôle et la mesure des débits dans les canaux à ciel ouvert. Il existe plusieurs formes de déversoirs.

- Déversoir rectangulaire.
- Déversoir triangulaire.
- Déversoir trapézoïdal.
- Déversoir étagé.

Conclusion

Ce chapitre représente des généralités sur les barrages et les retenues collinaires et les critères de choix du site.

Au cours des chapitres suivants nous allons traiter les points suivants :

- Présentation de la région d'étude et le traitement cartographique,
- Collecte et analyse des données,
- Calcul de la régularisation de l'écoulement de l'oued.

Chapitre II:

PRESENTATION DU BASSIN VERSANT D'OUED BOUKIOU

II.1.Situation géographique

II.1. Cadre géographique générale du bassin versant de la Tafna

Le bassin versant de la Tafna, situé au Nord-Ouest du territoire algérien occupe une superficie de 7245 km². Il s'étend sur toute la wilaya de Tlemcen et déborde sur le royaume du Maroc (fig.II.1).

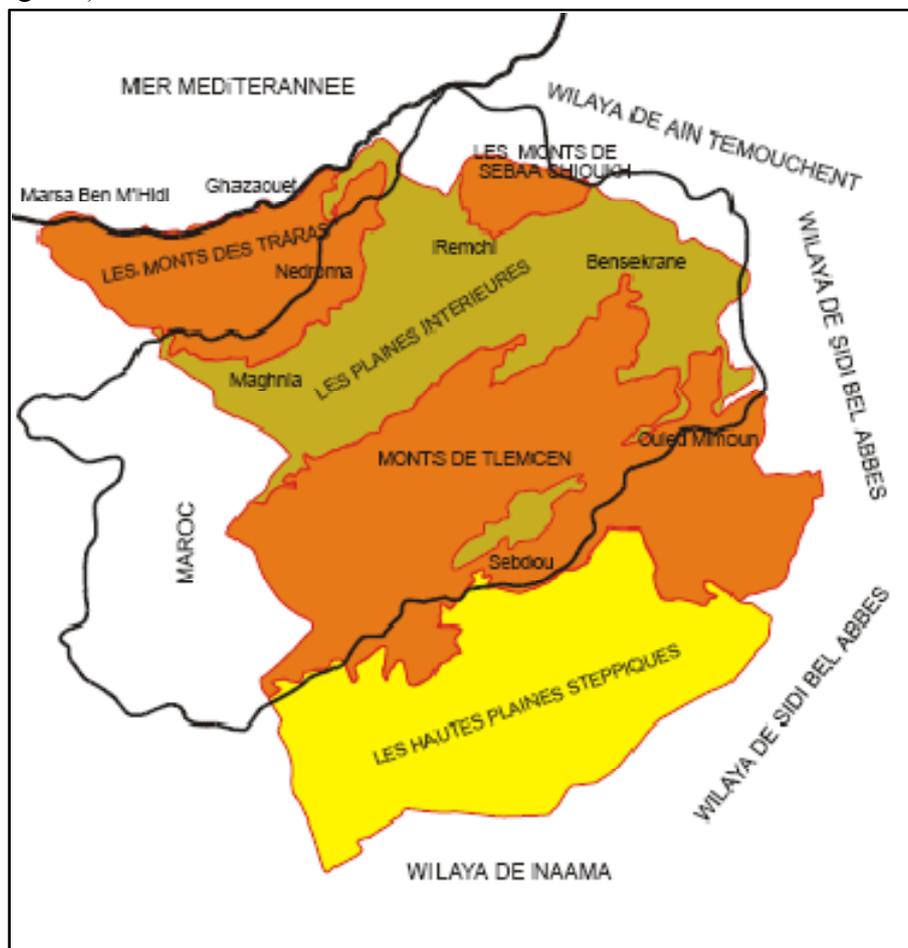


Figure. II.1: Situation géographique du bassin versant de la Tafna.
(Adjim, 2003) in (Belarbi, 2010).

Selon la nouvelle structuration des unités hydrographiques en Algérie, le bassin versant de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranie –Chott Chergui (fig. II.2).

Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties:

- **Partie orientale** : avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak,
- **Partie occidentale** : comprenant la Haute Tafna (oued Sebdiou et oued Khemis) et l'oued Mouilah.
- **Partie septentrionale** : qui débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer. Les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun sont les principaux affluents de cette partie (Bouanani, 2004).

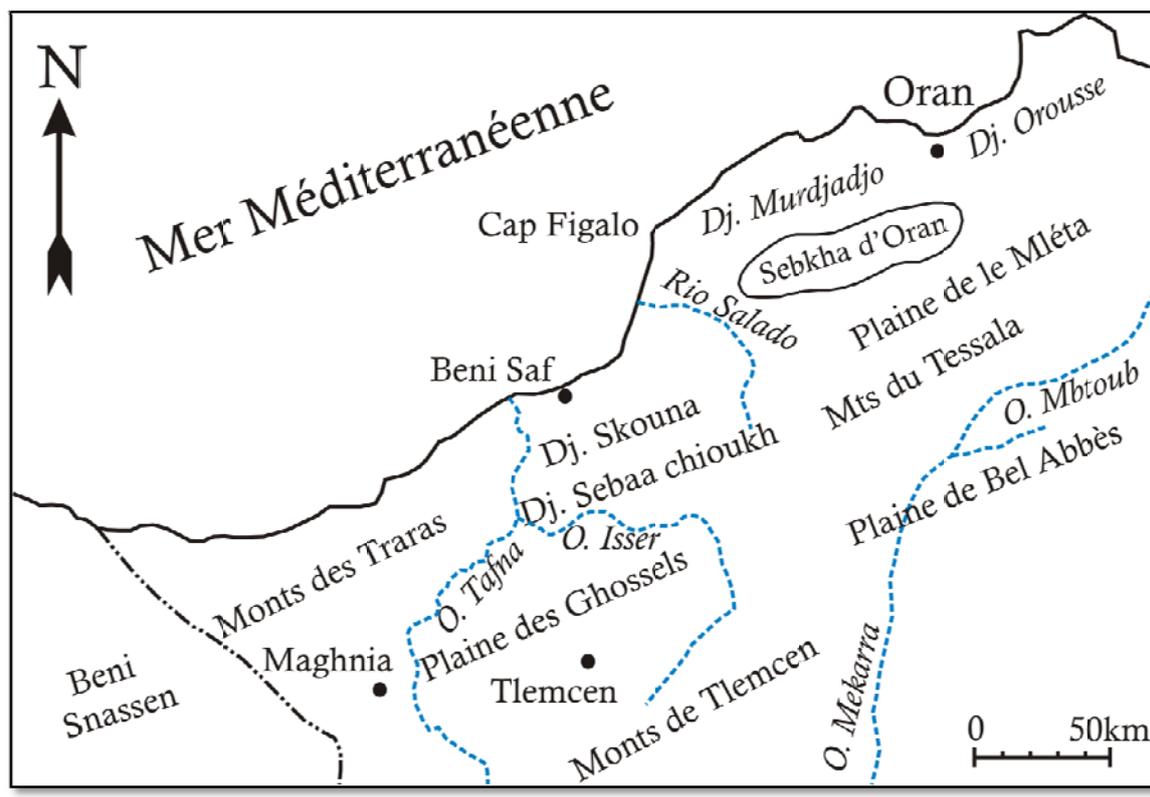


Figure .II.3 : Situation géographique du bassin de la Tafna (Perrodon, 1957)

II.1.1. Cadre géographique du bassin versant d'oued Boukiou

L'Oued Boukiou, affluent rive gauche de l'Oued Tafna, prend naissance dans les Monts des Traras pour rejoindre le cours de la Tafna dans la plaine des Ghossels (fig. II.3).

Les Monts des traras représentent la partie la plus septentrionale du « Domaine tlemcenien » sont limités géographiquement par :

- ✓ la mer méditerranée au Nord,
- ✓ la plaine d'Hennaya et la région de Sebâa Chioukh à l'Est,
- ✓ la plaine de Maghnia au Sud,
- ✓ et les Monts de Béni-Snassène (Maroc oriental), à l'Ouest.

L'Oued Boukiou qui coule de l'Ouest vers l'Est (du Djebel Fillaoucène à la Tafna s'inscrivant ainsi dans le système géomorphologique de la moyenne Tafna) traverse une région pauvre en eau dont la population s'alimente difficilement à partir des sources à faibles débits et irriguent à partir des écoulements superficiels intermittents et de puits creusés dans l'inféro-flux de l'oued (fig. II.4).

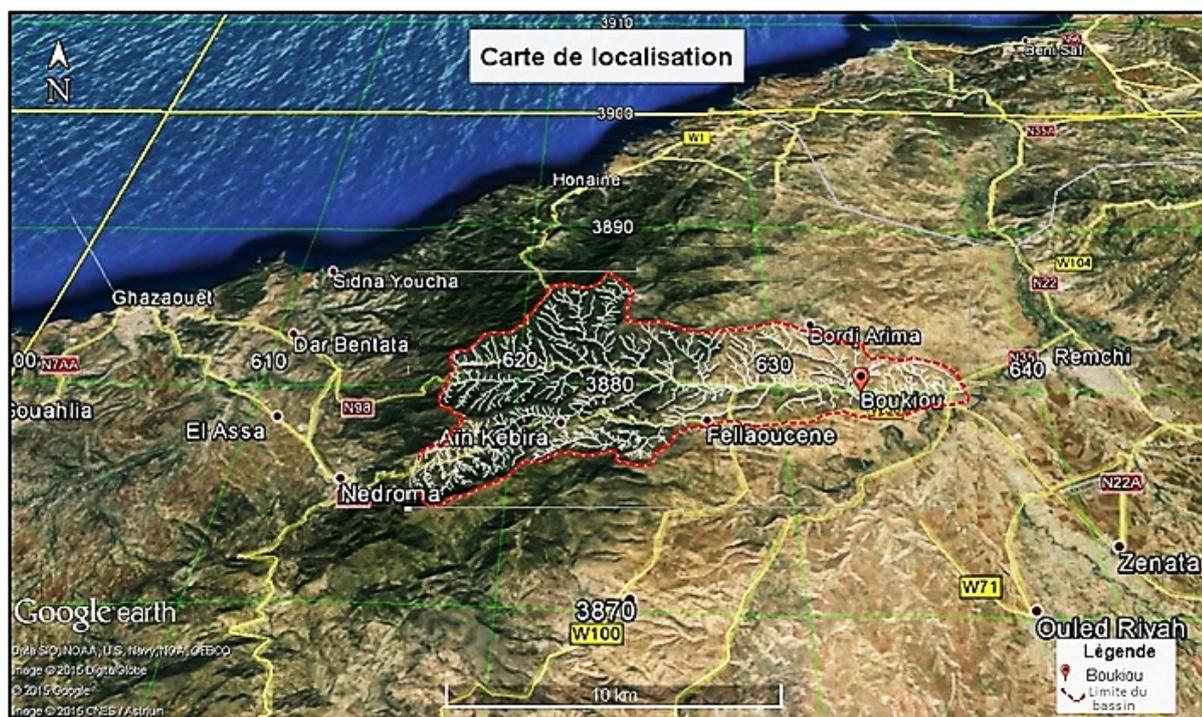


Figure. II.4 : Situation géographique d'Oued Boukiou (in Kacemi & Sennina. 2015).

II.2. Contexte géologique et hydrogéologique de la région

Introduction

II.2.1. Cadre géologique générale

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est liée aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines.

En Oranie, nous distinguons du Nord au Sud :

- La chaîne alpine (Monts des Traras et les Monts de Tlemcen),
 - Les hautes plaines Oranaises: marquées essentiellement par les dépôts du Jurassique inférieur et moyen,
 - Le domaine atlasique: Monts des Ksour,
 - Le domaine saharien : c'est la plate-forme stable.
- Les monts des Traras comprenant la chaîne des Fillaoucène fait partie de la chaîne alpine (Ameur, 1988) (fig. II.5) qui s'étend vers l'Ouest par le massif des Béni-Snassen (Maroc occidental), ils sont constitués de formations primaires et secondaires.
- Les Monts de Tlemcen dessinant la bordure sud du bassin et s'interposent entre deux domaines bien définis :
- le domaine Tello-rifain au Nord : la future région des nappes.
 - le domaine stable des hautes plaines oranaises au Sud (Ameur, 1988).

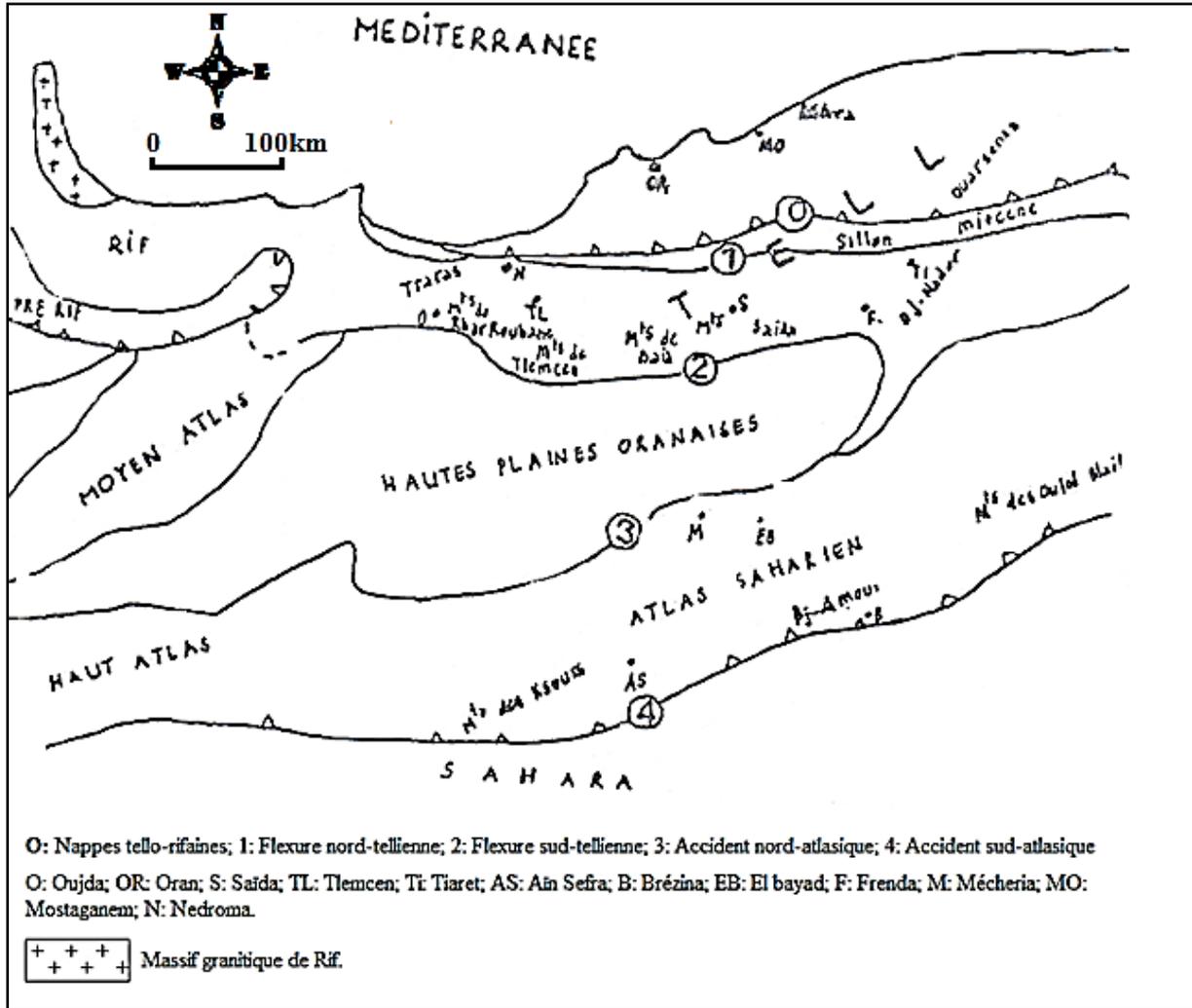


Figure. II.5 : Schéma structurale de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale (Ameur, 1988)

Le secteur étudié se présente comme un bombement anticlinal avec une direction NE-SW, il est constitué par des terrains primaires formant le substratum sur lequel reposent les formations allant du Permo-Trias au Miocène (fig. II.6).

II.2.2. Etude litho-stratigraphique

Dans le secteur d'étude, situé dans la partie orientale des Traras, les faciès jurassiques inférieurs et moyens sont parfois mal présentés, du fait des variations latérales des épaisseurs et de lithofaciès.

L'évolution verticale des terrains rencontrés s'étend du Primaire au Quaternaire et présente trois grandes séries lithostratigraphiques qui sont de bas en haut (fig. II.6).

♣ **Substratum primaire:** (Infra-Silurien à Dévonien) : Très développé dans la partie nord occidentale

♣ **Couverture secondaire:** (Permo-Trias à Crétacé basal) : Très épaisse, affectée par une tectonique souple et cassante très complexe.

♣ **Dépression miocène:** A l'Est, où l'on voit la mise en place de puissantes séries mio-plio-quadernaires.

Pour plus de détail, il faut se référer aux travaux de Guardia, 1975., Benhamou, 1983., Aneur, 1988, Miri et Kebir, 1991 et Kacemi et Senina, 2015.

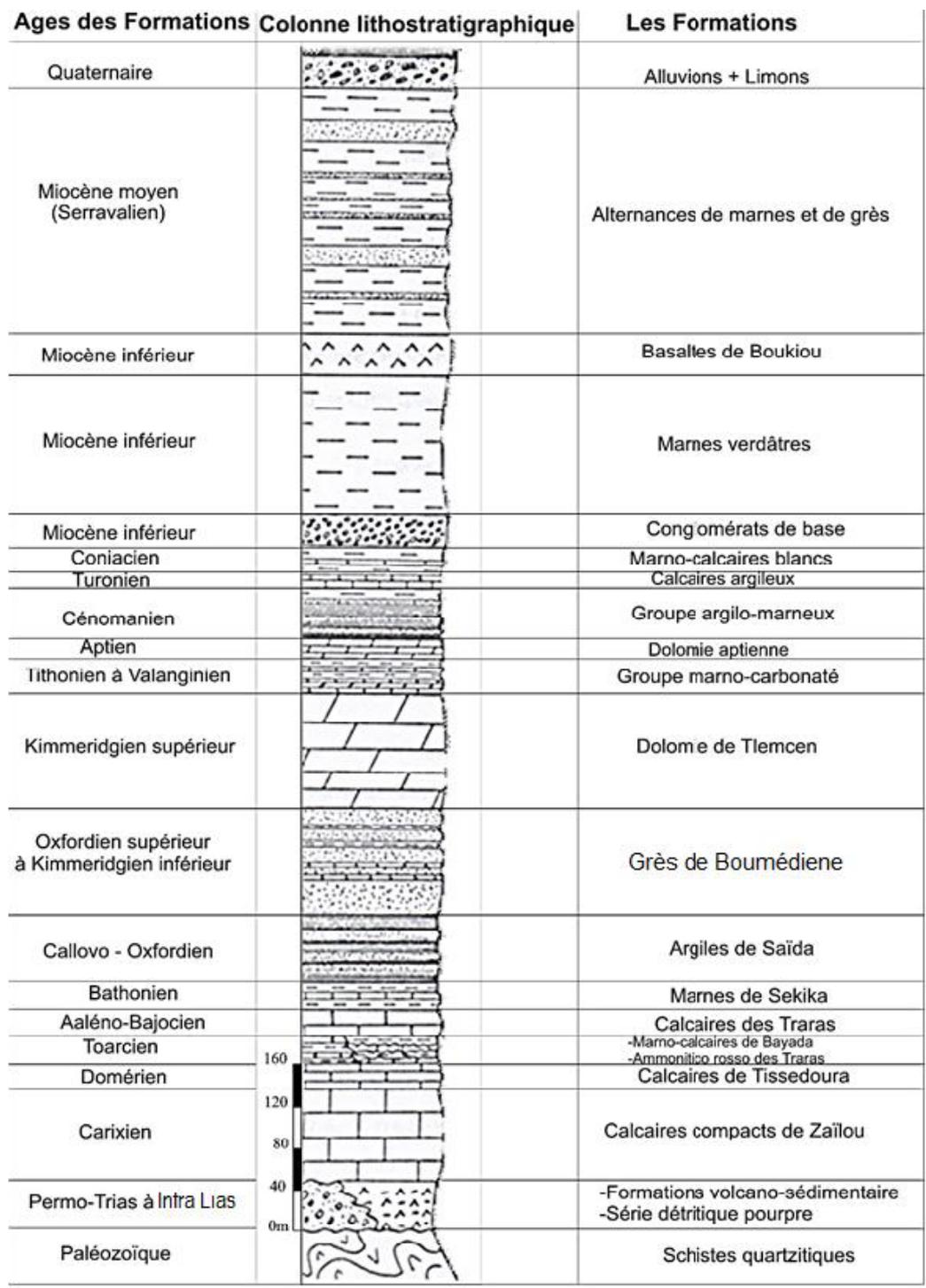


Figure II.6 : Log synthétique du secteur d'étude (Oued Boukiou) (Kébir & Miri, 1992 in Kacemi & Senina, 2015)

II.2.3. Tectogénèse et analyse structurale

La tectogénèse des monts de Traras semble relativement difficile à reconstituer à cause de la superposition d'au moins deux cycles orogéniques reconnus par les différents auteurs dans la région : un cycle ancien hercynien et un cycle récent alpin. (Guardia1975)

Nous pouvons subdiviser la tectogénèse des Traras en deux grandes périodes qui sont définies par Guardia (1975) en une tectogénèse préatlasique et une tectogénèse atlasique. (Guardia1975. 2006).

- **La tectogénèse préatlasique:** regroupe tous les mouvements tectoniques ayant affecté le socle pendant la période de sédimentation de la couverture secondaire.
- **La tectogénèse atlasique :** concerne les mouvements qui se produisent pendant l'émersion définitive de la région, au Crétacé supérieur et la transgression miocène.

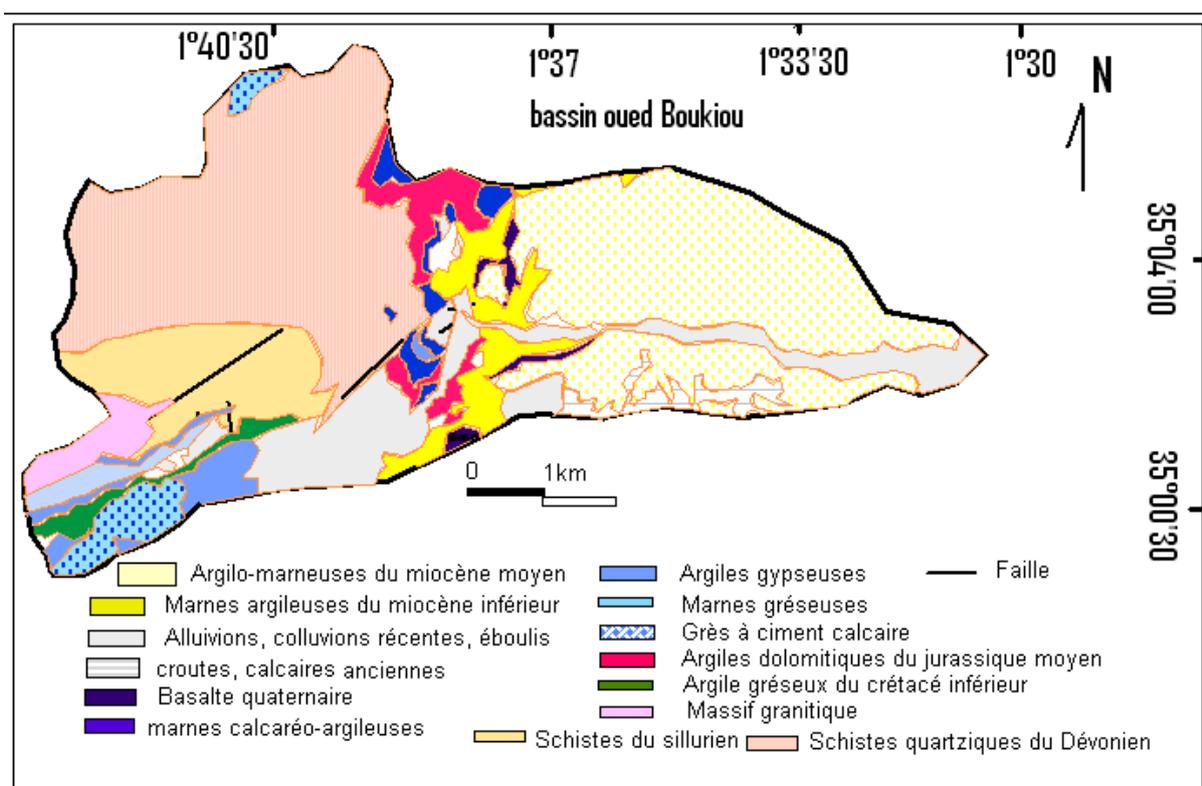


Figure. II.7. Carte géologique du bassin oued Boukiou

II.2.4. Etude Hydrogéologique

Le substratum de la région formé par le Primaire et le Secondaire est recouvert par des sédiments miocènes et quaternaires.

Les structures profondes dues aux mouvements verticaux sont masquées par des formations miocènes affectées de déformations souples. Il faut donc distinguer dans notre secteur d'étude parmi les ressources en eaux souterraines:

- les nappes profondes hypothétiques,
- les nappes superficielles observables.

Le changement du lithofaciès et des épaisseurs des formations qu'offrent les horizons du substratum sera très fréquent et rapide, rend difficile la détermination des réservoirs potentiels. Les seules formations qui peuvent être considérées comme réservoirs fréquents dans notre secteur d'étude sont :

- Les calcaires du Lias,
- Les dolomies de Tlemcen,
- Les alluvions plio-quadernaires.

Nous résumons dans le tableau II.1, les caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations, déduites du Log synthétique de la région d'étude (fig. II.6).

Tableau. II.1 : Distinction hydrogéologique des formations d'Oued Boukiou (Berzoug, 2016)

	Niveaux imperméables	Niveaux perméables
Nappes Profondes	1-Schistes quartzeux. 2- Formation conglomératiques du Permo-Trias. 3-Complexe Volcano-sédimentaire du Lias inférieure. 4-Formation marno-calcaire du Toarcien. 5- Marnes de Sekika. 6- Argile de Saïda. 7- Groupe marno-carbonaté. 8-Groupe Argilo-marneux. 9-Marno-calcaires blancs.	1-Grès de Boumediene, 2-Granite de Nedroma, 3-Calcaires du Lias, 4-Dolomies de Tlemcen, 5-Calcaires des Traras, dolomies aptiennes et calcaires blancs du Turonien 6-Conglomérats de base du Miocène, 7-Travertins.
Nappes Superficielles	- Les marnes du Miocène (Marnes verdâtres et marnes gréseuses) et les limons superficielles sont imperméables.	-Les basaltes et les alluvions grossiers de l'Oued Boukiou sont perméables.

Les alluvions perméables couvrent tous le fond de la vallée de l'Oued Boukiou. En effet, le réservoir alluvionnaire possède un mur et des rives totalement étanches représentés par les marnes gréseuses du Miocène moyen (fig. II.8) en aval et les marnes verdâtres du Miocène inferieur en amont.

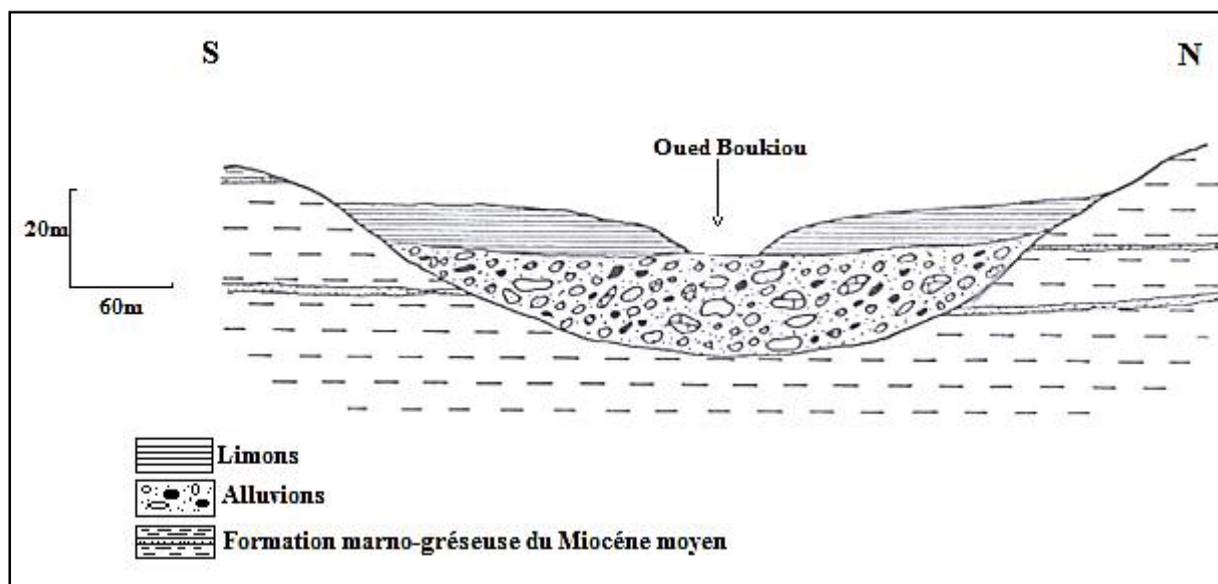


Figure. II.8: Coupe en travers de la plaine alluviale de l'Oued Boukiou (Miri & Kébir. 1991).

II.3. Morphométrie

Les principaux paramètres morphométriques qui jouent un rôle essentiel et qui peuvent influencer la variation du régime hydrologique sont : la forme, l'ordre des cours d'eau, le relief et en particulier, la densité de drainage, la fréquence des cours d'eau, l'allongement et le profil des cours d'eau.

II.3.1. Caractéristiques géométriques

I.4.1.1. Superficie

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin. Sa mesure est faite soit à l'aide d'un planimètre, soit à l'aide d'un papier millimétré, et est généralement exprimée en Km².

La surface du bassin versant de l'oued Boukiou est de 117.3 Km². (in Kacemi et Senina, 2015)

II.3.1.2. Périmètre

L'exactitude du périmètre P du bassin versant dépend de l'échelle de la carte et la forme de sa limite, car la détermination s'effectue directement sur la carte, par mesure de longueurs au curvimètre.

Le Bassin versant de l'oued Boukiou possède un périmètre de 58 km.

NB : Les mesures de la surface et du périmètre d'un bassin peuvent être déterminées par numérisation des cartes topographiques ou par l'utilisation d'imagerie satellitaire sous un environnement d'ArcGis.

II.3.2. Caractéristiques de forme

II.3.2.1. Indice de compacité de Gravelius

La forme du bassin est représentée par le coefficient KG de Gravelius ou indice de compacité de Gravelius ou coefficient de forme. Il est défini comme le rapport du périmètre stylisé du bassin versant (P) au périmètre du cercle ayant la même surface Soit :

$$KG = \frac{p}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

avec

KG : Indice de compacité de Gravelius

A : Surface du bassin versant [km^2]=117,3 km^2

P : Périmètre du bassin versant [km]=58 km

Pour ;

KG = 1: la forme du bassin versant est quasiment circulaire

KG >1 : le bassin est de forme allongée,

Pour le bassin d'oued Boukiou **KG = 1.49**, ce qui traduit un bassin moyennement allongé.

II.3.2.2. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent (fig. II.9) est comme le rectangle de longueur L et de largeur l qui a même surface (S), même périmètre (P), même indice de compacité (C) et même hypsomètre que le bassin versant étudié.

$$P = 2(L + l) = \frac{KG \times \sqrt{A}}{0.28} \quad (2)$$

avec : A = L x l

(3)

L : Longueur du rectangle équivalent [km]

l : Largeur du rectangle équivalent [km]

Longueur (L)

$$L = \frac{KG \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right] \quad (4)$$

L = 23.91 km

Largeur (l)

$$l = \frac{KG \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right] \quad (5)$$

l = 4.9 km

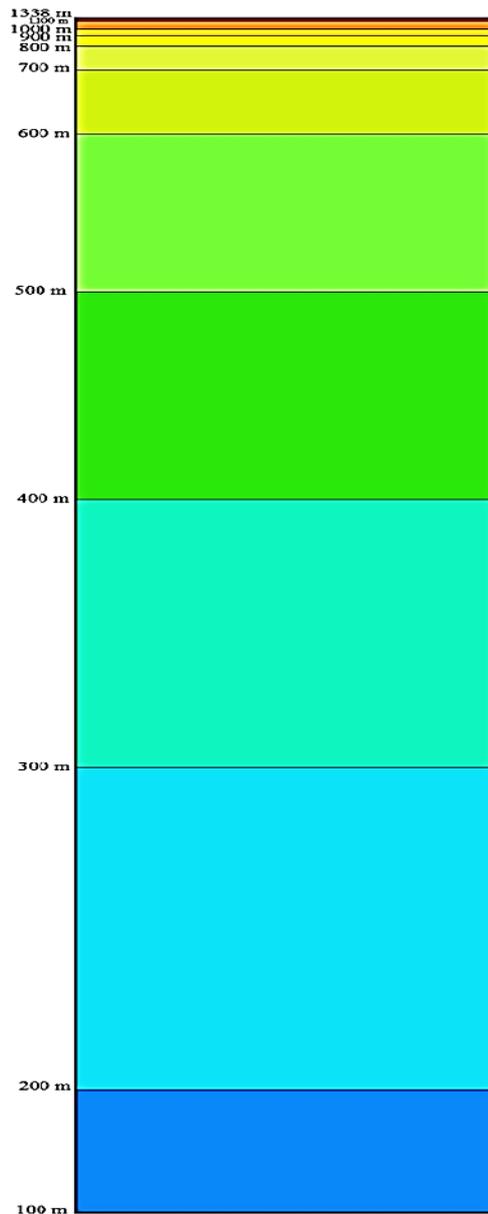


Figure. II.9: Rectangle équivalent du bassin versant d'oued Boukiou

II.3.2.3. Facteur de forme

$$Rf = \frac{A}{L^2} \tag{6}$$

A : Surface du bassin versant [km²]

L : Longueur du bassin versant entre l'embouchure et le point le plus éloigné [km],

Rf = 0.21

Le bassin versant est plus long que large

II.3.2.4. Coefficient de circularité

La circularité d'un Bassin versant (Miller, 1959) est le rapport entre l'aire du BV et l'aire d'un cercle ayant le même périmètre que ce dernier:

$$R_{ci} = \frac{4 A \pi}{P^2} \quad (7)$$

Où, des valeurs de circularité du bassin s'approchant de 1 indiquent une forme quasi Circulaire (Singh, 1992) et une pente relativement faible. Pour de tels bassins versants, l'infiltration est relativement uniforme et le temps que prend l'eau pour rejoindre l'exutoire est moins élevé que celui d'un bassin de forme allongée (Reddy et al., 2004). Les valeurs faibles, médianes et élevées sont des indices du stade (jeune, mature et vieux) du cycle de vie des bassins tributaires (Sreedevi et al., 2005).

Dans notre cas, la valeur $R_{ci} = 0.44$ exprime la jeunesse du bassin

II.3.3. Etude du relief

II.3.3.1. Hypsométrie

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin, le but est la détermination de la classe de relief.

Tableau II.2: Répartition Hypsométrique du bassin versant d'Oued Boukiou.
(Berrezoug, 2015)

Tranche d'altitude (m)	Surface partielle A_i (Km ²)	Surface partielle A_i (%)	Surface partielle cumulée A_i (Km ²)	Surface partielle cumulée A_i (%)
1338-1100	0.3	0.26	0.3	0.26
1100-1000	0.72	0.62	1.02	0.88
1000-900	0.57	0.49	1.6	1.37
900-800	1.05	0.90	2.65	2.27
800-700	2.37	2.01	5.02	4.29
700-600	6.225	5.31	11.25	9.6
600-500	15.65	13.34	26.9	22.94
500-400	20.32	17.33	47.22	40.27
400-300	24.45	20.84	71.67	61.11
300-200	33.47	28.54	105.13	89.65
200-100	12.15	10.36	117.3	100

- La courbe hypsométrique (fig. II.10) a une allure qui semble assez régulière vers le bas, à partir de 600m d'altitude et présente une concavité vers le haut témoignant d'une érosion à une époque récente, indiquant ainsi l'état de « vieillesse » du bassin.

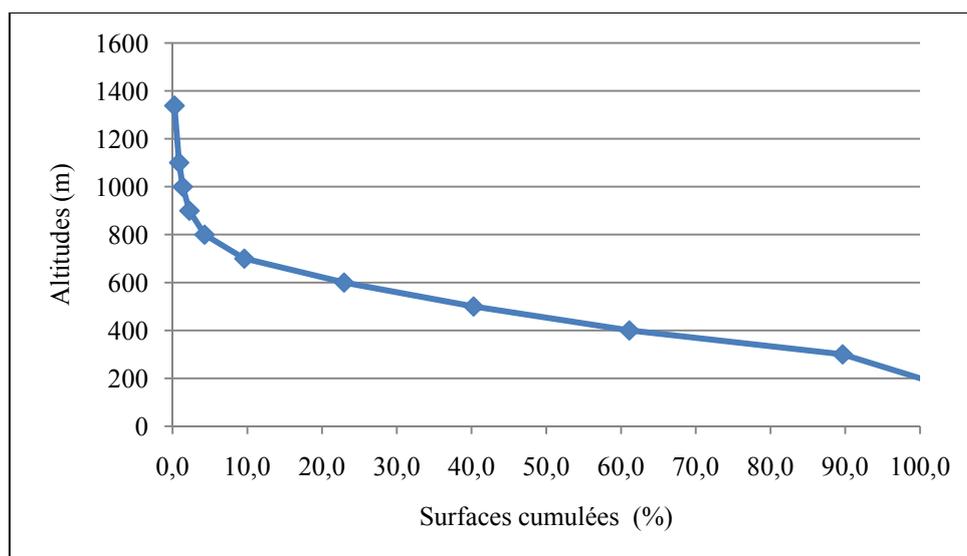


Figure. II.10: Courbe Hypsométrique du bassin versant de l'Oued Boukiou.

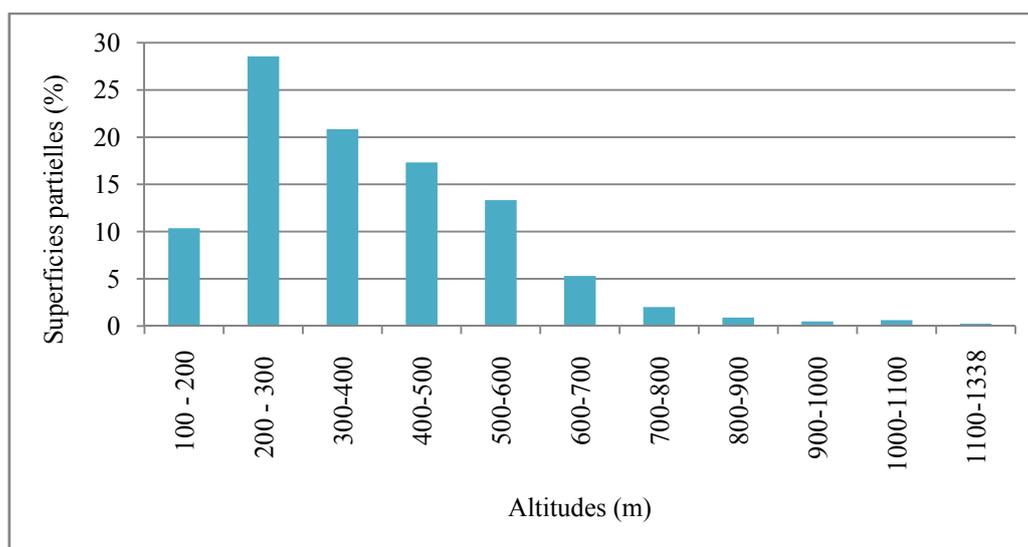


Figure. II.11: Histogramme des fréquences altimétriques du bassin versant d'Oued Boukiou

II.3.3.2. Altitudes Caractéristiques

Certaines altitudes sont notées pour caractériser les bassins versants (tableau II.4), elles nous donnent des indications supplémentaires sur le potentiel érosif du bassin. Ces altitudes sont :

- Altitude la plus fréquente : le maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques,
- Altitude correspondant à 5% : au-dessus de laquelle se trouve 5% de la superficie totale du bassin versant,
-

➤ Altitude moyenne: l'altitude qui correspond à la moyenne de la courbe hypsométrique. Elle est définie comme suit en se basant sur le Tableau II.3.

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum (A_i H_i)}{A} = 326,37 \text{ m} \tag{8}$$

H moy : Altitude moyenne du bassin [m]

A_i: Aire comprise entre deux courbes de niveau [Km²]

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m]

A : Superficie totale du bassin versant [km²]

Tableau.II.3: Altitude moyenne par rapport à une classe d'altitude donnée

Altitude moyenne (m)	H _i (m)	A _i (km ²)	H _i × A _i
1338 – 1100	1219	0.26	316.94
1100 – 1000	1050	0.62	651.0
1000 – 900	950	0.49	465.5
900 – 800	850	0.90	765.0
800 – 700	750	2 .01	1515.0
700 – 600	650	5.31	3451.5
600 – 500	550	13 .34	7337.0
500 – 400	450	17.33	7798.5
400 – 300	350	20.84	7294.0
300 – 200	250	28.54	7135.0
200 – 100	150	10.36	1554.0

Tableau. II.4 : Altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued Boukiou.

Bassin Versant (m)	Altitude Maximale (m)	Altitude Minimale (m)	Altitude 50% (m)	Altitude Moyenne (m)	H5% (m)	H95% (m)	Observation
Boukiou	1338	100	350	388.92	700	150	Vieux

II.3.3.3. Indices de pente

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications se déterminant à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur le bassin (Dubreuil, 1974).

a. Indice de pente de ROCHE (Ip)

IP est donné par la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle, équivalent et pondérée par les surfaces.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n a_i = 1 \sqrt{Bi[ai - (ai - 1)]} \quad (9)$$

avec :

I_p : Indice de pente [%].

L : longueur du rectangle équivalent [m].

B_i : Fraction de la longueur du rectangle équivalent en %

a_i : Fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau

$I_p = 0,31\%$

Tableau. II.5 : Paramètres de Calcul de I_p du bassin d'oued **Boukiou**

Tranches (m)	Sur cum(Km ²)	ai=Si/Stot	Dénivelée	(ai*di)^0,5	Bi=ai*100
1338-1100	0,3	0,0026	238	0,7802	0,26
1100-1000	1,025	0,0087	100	0,9348	0,8
1000-900	1,6	0,0136	100	1,1679	1,36
900-800	2,65	0,0225	100	1,5030	2,25
800-700	5,025	0,0428	100	2,0697	4,28
700-600	11,25	0,0959	100	3,0969	9,59
600-500	26,9	0,2293	100	4,7888	22,93
500-400	47,2 3	0,4026	100	6,3450	40,26
400-300	71,67	0,6110	100	7,8169	61,1
300-200	105,13	0,8962	100	9,4670	89,62
200-100	117,3	1	100	10	228,17

b. Indice de pente global I_g

Cet indice est déterminé par la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de A . $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ sont des altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin.

$$I_g = \frac{D}{L} = 2.3\% \quad (10)$$

avec :

I_g : Indice de pente global de Roche [m/m].

D : Dénivelée $D = H_{5\%} - H_{95\%}$ [m]

L : Longueur du rectangle équivalent [m]

H : Altitude [m]

II.3.3.4. Dénivelée spécifique (D_s)

La dénivelée spécifique D_s sert à comparer des indices de pente de bassin de superficies différentes. L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. Il était donc incommode de comparer des bassins de formes différentes.

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} \quad (11)$$

$D_s = 249,1$ m

II.3.3.5. Classification du bassin versant d'oued Boukiou

On se réfère généralement à la classification dressée par l'O.R.S.T.O.M. (Tab. II.6), pour classer le bassin versant en fonction de son relief.

Tableau II.6 : Classification de l'O.R.S.T.O.M

Relief	Type	Ig [m/km]	Ds[m]
1	Relief très faible	$Ig < 0.002$	$Ds < 10$
2	Relief faible	$0.002 < Ig < 0.005$	$10 < Ds < 25$
3	Relief assez faible	$0.005 < Ig < 0.01$	$25 < Ds < 50$
4	Relief modéré	$0.01 < Ig < 0.02$	$50 < Ds < 100$
5	Relief assez fort	$0.02 < Ig < 0.05$	$100 < Ds < 250$
6	Relief fort	$0.05 < Ig < 0.5$	$250 < Ds < 500$
7	Relief très fort	$Ig < 0.5$	$Ds > 500$

- $0,02 < Ig < 0,05$ selon ma classification de l'O.R.S.T.O.M. (Tab.II.6), le bassin de l'Oued Boukiou présente un relief assez fort.
- La valeur élevée de Ds (Tab.II.6), traduit bien l'importance du volume montagneux et d'un relief assez fort.

Ces résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.7 : Valeurs des indices de pente et reliefs du sous bassin d'oued Boukiou.

Bassin versant	Ip [%]	Ig [%]	Relief selon Ig	Ds[m]	Relief selon Ds
Oued Boukiou	0,31	2.3	assez fort	249,10	assez fort

Tableau II.8 : Classification des bassins versants selon leur superficie.

Très petit bassin	Petit bassin	Grand bassin	Très grand bassin
$0 < A < 10 \text{ km}^2$	$10 < A < 200 \text{ km}^2$	$200 < A < 2000 \text{ km}^2$	$A > 2000 \text{ km}^2$

Avec $A = 117.3 \text{ Km}^2$, nous constatons que notre bassin versant est qualifié de petit.

II.3.4. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est définie par l'ensemble des chenaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963).

La disposition du réseau hydrographique (fig. II.12) est liée en grande partie à l'évolution des

a. Rapport de confluence (Rc)

Le rapport de confluence (Rc) est le quotient du nombre de thalwegs d'ordre x par celui des thalwegs d'ordre supérieur (x+1) soit :

$$Rc = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

Où :

Rc: Rapport de confluence.

N_x: Nombre de cours d'eau d'ordre x.

N_{x+1} : Nombre de cours d'eau d'ordre x+1.

Méthode analytique

Ordre	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	Moy
Rapport de confluence Rc	4,75	5,46	4,56	4,50	2,00	4,25

Méthode graphique

Si l'on admet que, pour un bassin parfaitement organisé Rc = 2, alors la figure II.13, illustre que le réseau est mal hiérarchisé, et le nombre de cours d'eau d'ordres successifs croissant forment une série géométrique inverse.

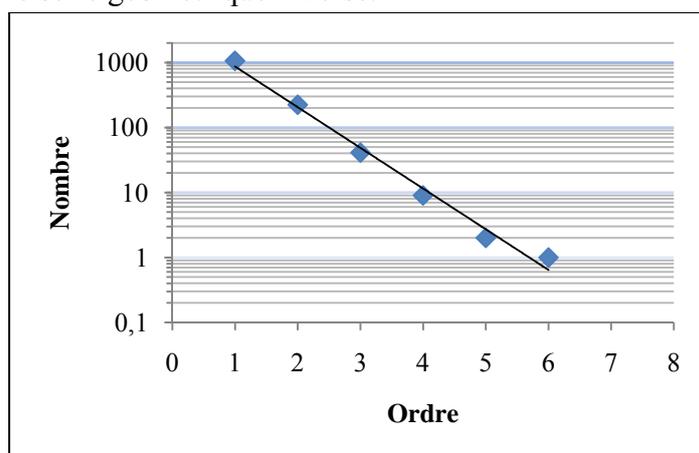


Figure II.13: Droite représentative du nombre de thalwegs en fonction de l'ordre.

- Le rapport de confluence moyen est représenté par : $Rc = \log^{-1}a$ d'où $Rc= 4.98$
- Ce rapport $Rc =4.98$ est inférieur à 5, montre que ce réseau est de type Chêne.

b. Rapport des longueurs

Le rapport de longueur totale (RL) est quotient de la longueur moyenne des talwegs d'ordre (x+1) par celle des talwegs d'ordre x :

$$R_L = \frac{l(x+1)}{l(x)}$$

L_x : longueur de cours d'eau d'ordre x.

L_{x+1}: longueur de cours d'eau d'ordre x+1.

Méthode analytique

Ordre	2/1	3/2	4/3	5/4	6/5
Rapport des longueurs R_L	3.21	2.44	1.99	2.51	2.72

La moyenne représente $R_L = 2.57$

Méthode graphique : (fig. II .14)

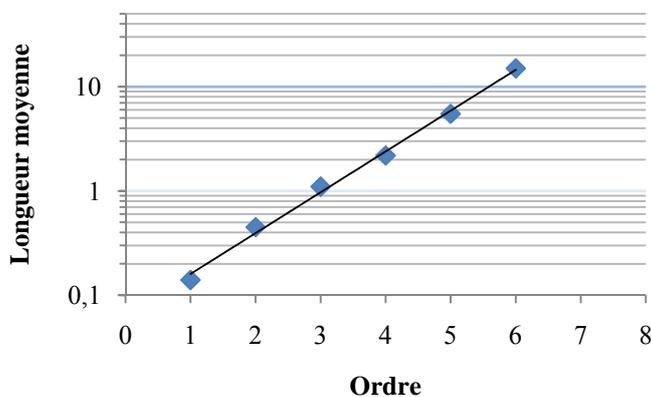


Figure II.14: Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre.

$R_l = 2.57$

c. Rapport des aires (R_a)

Il est défini comme le rapport entre la surface moyenne des thalwegs d'ordre (n+1) par celui des thalwegs d'ordre (n) :

$$R_a = \frac{A_{n+1}}{A_n}$$

avec

R_a : Rapport des aires.

A_n : Surface moyenne des thalwegs d'ordre n.

A_{n+1} : Surface moyenne des thalwegs d'ordre n+ 1.

Méthode analytique

Ordre	2/1	3/2	4/3	5/4	6/5
Rapport des aires	1.83	1.72	3.05	4.01	1.27

La moyenne représente $R_a = 2.37$

Méthode graphique : (fig. II .15)

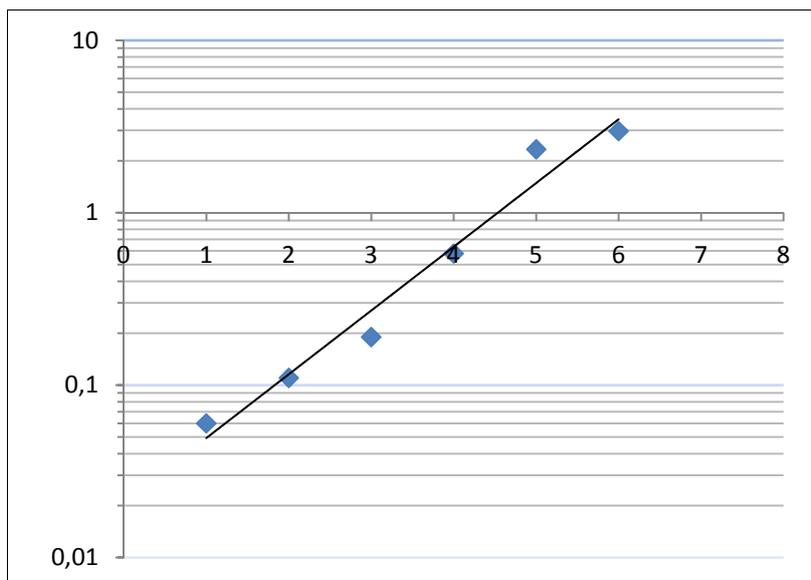


Figure II .15: Droite représentative du rapport des aires en fonction de l'ordre

$$R_c = 2.29$$

II.3.5. Fréquence des cours d'eau

Elle est calculée par :

$$F = N/A$$

N : Nombre de cours d'eau=1340

A : Aire du bassin versant (km²)

On obtient une valeur de F=11.42, ce qui correspond en moyenne au nombre de cours d'eau par Km².

II.3.6. Densité de drainage

La densité de drainage est définie pour un bassin donné de superficie A, comme la longueur totale des cours d'eau de tous les ordres sur la surface drainée, les morphologues l'appellent densité de thalwegs soit :

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Dd : Densité de drainage en km/km².

L : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km

A : Aire du bassin en km²

$$Dd = 2,95 \text{ Km} / \text{km}^2$$

II.3.7. Coefficient de torrentialité

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

$$C_T = Dd * F_1$$

avec :

Dd : Densité de drainage km/km²

F₁ : Fréquence des thalwegs élémentaires $F_1 = N_1 / A$ (avec N₁ : nombre de cours d'eau d'ordre 1=1063).

C_T=26.73

La valeur élevée du coefficient de torrentialité correspond au chevelu hydrographique issu d'un secteur montagneux et pluvieux (Bouanani, 2004).

II.3.8. Temps de concentration

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

$$T_c = \frac{4(A)^{\frac{1}{2}} + 1.5 L}{0.8(H_{moy} - H_{min})^{1/2}}$$

T_c : Temps de concentration (heures)

A : Superficie du bassin (km²)

L : Longueur du thalweg principal (km)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

Donc **T_c = 06h00**

Le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief. (Bouanani, 2004)

II.3.9. Profil en long et profil en travers

Le profil en long du cours d'eau principal du bassin versant (fig. II.16) n'apporte pas des éléments complémentaires à ceux apportés par l'étude de la densité de drainage, sauf à l'extrémité occidentale où, nous remarquons une pente relativement forte, mais elle n'est pas explicative par rapport aux pentes qui s'ensuivent. Les changements de pente sont dus à ceux de la lithologie.

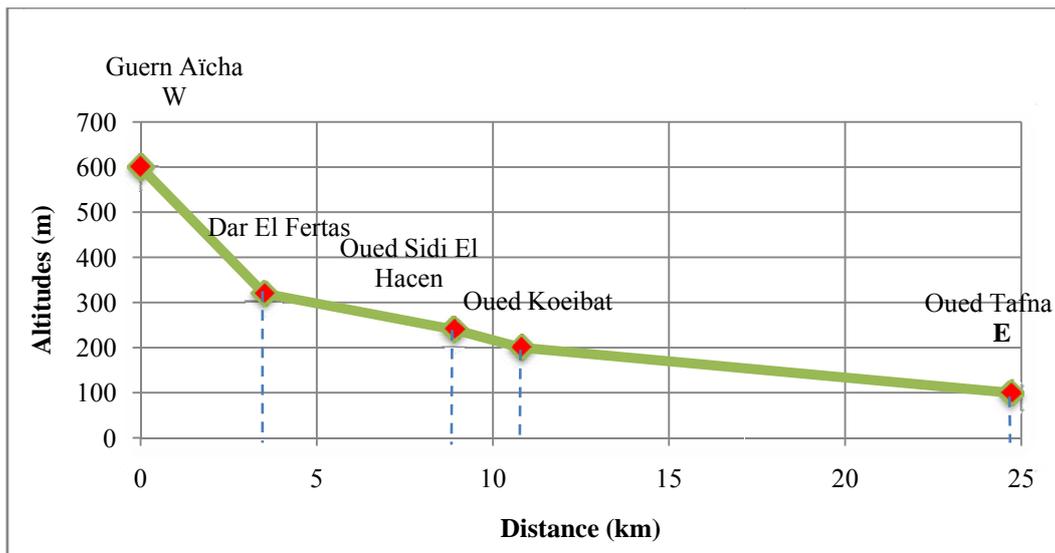


Figure II.16: Profil en long d'Oued Boukiou (Berrezoug, 2016)

Le profil en travers (fig.II.17) fait ressortir au Sud, des pentes fortes dues au chevauchement du Djebel Fillaoucène sur les massifs schisteux. Nous remarquons que les rives sud et nord constituent l'impluvium principal, vu leurs fortes pentes.

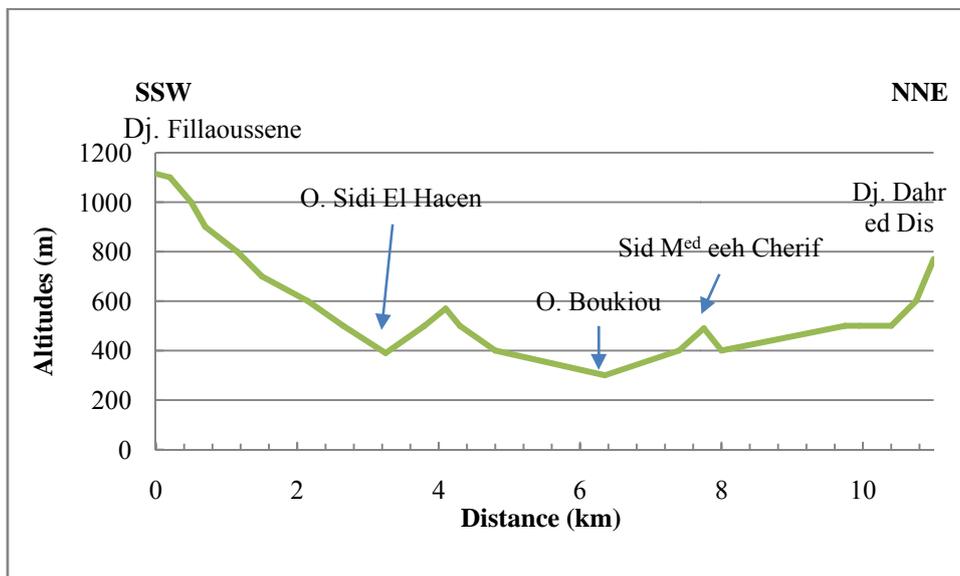


Figure II.17: Profil en travers du bassin versant de l'Oued Boukiou(Berrezoug, 2016).

Conclusion

L'étude litho-stratigraphique et tectonique des différentes formations, montre que les seuls niveaux qui présentant un intérêt hydrogéologique sont :

- Pour le Primaire : le granite de Nedroma.
- Pour le Secondaire : les calcaires du Lias moyen et les dolomies de Tlemcen.
- Pour la dépression miocène : les conglomérats de base, les basaltes et les alluvions occupant la vallée de l'Oued Boukiou.

En ce qui concerne l'étude morphométrique, nous pouvons extraire les informations suivantes sur le bassin versant de Boukiou.

- La superficie indique que ce bassin est de type petit.
- l'Indice de compacité a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin résultant d'une pluie donnée,
- La courbe hypsométrique traduit bien l'aspect accidenté de la zone.
- Les principaux indices calculés, nous permettent de classer la région d'étude à relief assez fort.
- La densité de drainage indique que notre secteur est généralement assez bien drainé.

Concernant la disposition d'ensemble du réseau hydrographique, il faut retenir trois faits essentiels qui caractérisent le bassin versant.

- Un Oued partagé entre deux grands domaines géologiques nettement différents :
 - ✓ Le massif primaire et secondaire occupant les hautes altitudes.
 - ✓ Le Mio- plio- Quaternaire occupant la plaine à basse altitude.
- Un Oued témoignant de la présence d'importantes pentes au niveau du seuil rocheux en amont du bassin versant vers les rives nord et surtout sud (Djebel Fillaoucène).
- Un Oued dont le chevelu s'est trouvé particulièrement désorganisé par l'effet du changement brusque de la lithologie d'amont en aval, du bâti semi-rigide des roches anciennes vers la dépression Mio-plio-quaternaire.

Nous avons essayé de récapituler dans le tableau II.10, l'ensemble des caractéristiques morphométriques du bassin versant étudié.

Tableau. II. 10: Caractéristiques morphométriques du bassin versant d'oued Boukiou.

Caractéristiques	Symbole	Unités	Valeurs
Superficie	A	Km ²	117.3
Périmètre	P	Km	58
Longueur du Rectangle équivalent	Leq	Km	23.91
Largeur du Rectangle équivalent	Leq	Km	4.9
Altitudes caractéristiques	Hmin	M	100
	Hmoy	M	326.37
	Hmax	M	1338
	H50%	M	350
	H95%	M	150
	H5%	M	700
Indice de compacité	KG	-	1,49
Indice de pente globale	Ig	m/m	0.023
Relief	Re	-	Assez fort
Type de bassin			Chêne, petit
Densité de drainage	Dd	Km/km ²	2,95
Rapport de longueur	RL	-	2.57
Rapport de confluence	Rc	-	4.98
Coefficient de Torrentialité	CT	-	26.73
Temps de concentration des eaux	Tc	Heure	6

Chapitre III

Hydro-climatologie

Introduction

Le climat regroupe l'ensemble des paramètres météorologiques (vents, précipitations, température, évaporation...) qui regroupent les conditions de vie qui agissent sur quelque chose.

Les éléments climatiques sont influencés par les facteurs géographiques locaux : la latitude, l'altitude, la présence d'étendue d'eau plus ou moins importante, la disposition et les caractéristiques du relief, la végétation, mais aussi l'urbanisation.

Les conditions climatiques jouent un rôle important dans les comportements hydrologiques des cours d'eau et des conditions de recharge des aquifères.

Cette partie de l'étude a pour but de déterminer les différentes caractéristiques climatiques de notre zone d'étude telles que les précipitations, la température et l'évapotranspiration, pour arriver à établir le bilan hydrique.

III.1. Etude des précipitations

Tableau.III.1: Caractéristiques de la station de mesure.

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Code de la station	Période d'enregistrement	Etat
Dj. Chouachi	35°14' N	01°31'W	130	160518	1974 /1975-2017 /2018	Opérationnelle

Source :A.N.R.H

III.1.1. Variation de la pluviométrie interannuelle

La figure III.1, visualise l'évolution ou bien la variation de la pluviométrie annuelle sur une période de 44 ans (1974/1975-2017/2018), où l'on remarque que le régime annuel est très irrégulier d'une année à une autre. Les hauteurs maximales des précipitations atteignent 551,2mm au niveau de la station de Dj. Chouachi au cours de l'année 2008/2009, tandis que la hauteur minimale de l'ordre de 143,4 mm a été enregistrée à la station en 1987/1988, Les hauteurs moyennes sont de l'ordre de 290.5mm (fig.III.1).

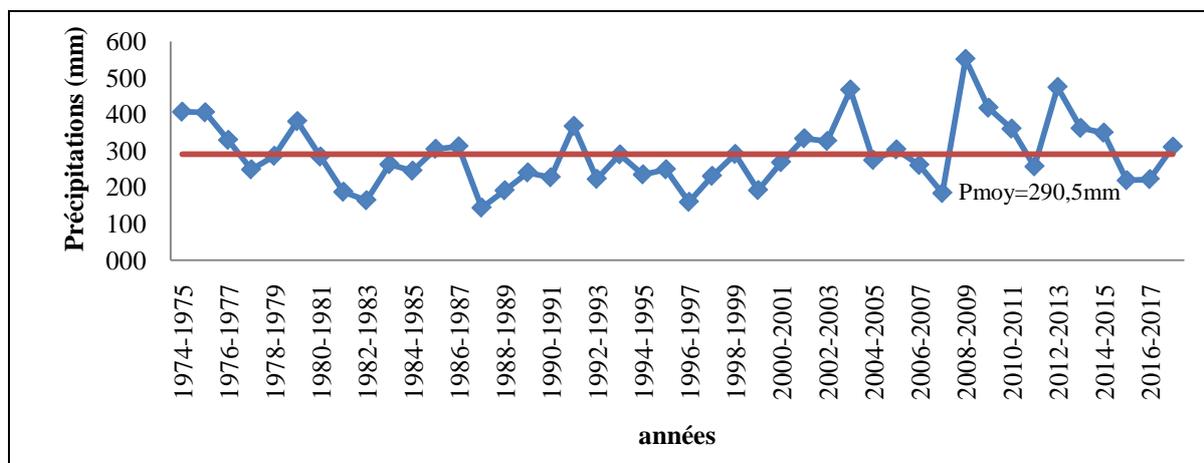


Figure.III.1 : Variation des précipitations moyennes interannuelles à la station Dj. Chouachi (1974/1975-2017/2018).

L'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations mérite d'être complétée par une étude fréquentielle, c'est-à-dire l'estimation des valeurs limites atteintes ou dépassées pendant une période donnée. Ceci suppose de rechercher au préalable la loi d'ajustement.

III.1.2. Analyse Statistique des précipitations

❖ Test de normalité

Pour tester la normalité des séries, il existe deux méthodes :

Test graphique : Consiste à tracer la courbe théorique et la courbe empirique sur un papier de Gauss et de les comparer.

Test analytique : Parmi les tests utilisés nous avons le test du Khi 2, le test de Kolmogorov, et on peut aussi utiliser un test qui considère les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement.

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

a- Adéquation des données à une loi statistique

L'analyse statistique des précipitations vise à définir les régimes à travers certaines valeurs représentatives. On détermine de la sorte :

- ✓ Les valeurs moyennes, tendances centrales ou dominantes (moyenne, médiane),
- ✓ La dispersion ou fluctuation autour de la valeur centrale (écart-type, variance, quantiles),
- ✓ Les lois de distribution statistiques (loi normale, loi log-normale, loi racine),
- ✓ les valeurs extrêmes qui représentent les valeurs que prendront les précipitations pour une probabilité choisie à l'avance.

Nous avons reporté sur le tableau III.2, les valeurs des précipitations moyennes annuelles qui sont classées suivant une distribution ordonnée en terme croissant.

Le calcul des fréquences de chaque valeur est donné par la relation suivante :

$$Fi = \frac{i}{N + 1}$$

Fi= Fréquence.

i : Rang.

N : Effectif (nombre d'années).

Tableau.III.2 : Distribution des précipitations moyenne annuelle en terme croissant de la station de Dj. Chouachi sur la période de 1974-1975 à 2017-2018.

Rang (I)	Années	p annuelle	Fi	Rang (I)	Années	p annuelle	Fi
1	1987-1988	143,40	0,02	23	1980-1981	283,30	0,51
2	1996-1997	159,20	0,04	24	1978-1979	285,40	0,53
3	1982-1983	163,60	0,07	25	1993-1994	289,30	0,56
4	2007-2008	183,40	0,09	26	1998-1999	290,51	0,58
5	1981-1982	186,80	0,11	27	2005-2006	303,00	0,60
6	1988-1989	190,80	0,13	28	1985-1986	304,70	0,62
7	1999-2000	191,40	0,16	29	2017-2018	310,46	0,64
8	2015-2016	218,43	0,18	30	1986-1987	311,40	0,67
9	2016-2017	221,54	0,20	31	2002-2003	326,20	0,69
10	1992-1993	222,10	0,22	32	1976-1977	329,10	0,71
11	1990-1991	226,60	0,24	33	2001-2002	333,60	0,73
12	1997-1998	230,46	0,27	34	2014-2015	349,09	0,76
13	1994-1995	234,50	0,29	35	2010-2011	360,00	0,78
14	1989-1990	239,90	0,31	36	2013-2014	361,90	0,80
15	1984-1985	244,70	0,33	37	1991-1992	367,51	0,82
16	1977-1978	248,30	0,36	38	1979-1980	380,60	0,84
17	1995-1996	248,40	0,38	39	1975-1976	404,70	0,87
18	2011-2012	256,40	0,40	40	1974-1975	406,40	0,89
19	2006-2007	260,30	0,42	41	2009-2010	417,40	0,91
20	1983-1984	262,50	0,44	42	2003-2004	467,30	0,93
21	2000-2001	268,00	0,47	43	2012-2013	474,30	0,96
22	2004-2005	274,10	0,49	44	2008-2009	551,20	0,98

Les résultats de calcul des paramètres de position sont donnés par le tableau suivant :

Tableau III.3 : Paramètres de position et de dispersion des précipitations à la station de Dj. Chouachi.

	Paramètres	formules	Valeurs de la station de Dj.Chouachi	Unités
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\bar{P} = 1/N \sum_{i=1}^n P_i$	290,5	mm
Paramètres de dispersion	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i^2 - \bar{P}^2)$	7980,265	
	Ecat-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	89,33	
	Coefficient de variation	$Cv = \sigma / \bar{P}$	0,31	

avec :

N : Effectif (nombre d'années),

pi : Valeurs des précipitations de chaque année.

Le coefficient de variation $C_v < 0.5$, cela laisse supposer que l'ajustement suit une loi symétrique normale ou log normale, le test χ^2 permettra de vérifier cette adéquation.

a. 1. Ajustement par la loi normale

➤ Test graphique

Pour représenter la fonction (où, $y = P$ pour la loi Normale), on reporte u : variable réduite de Gauss sur l'axe des x en échelle arithmétique. Sur l'axe des y en échelle arithmétique, on reporte P pour la loi Normale). (fig. III.2)

On obtient une distribution représentée par une droite appelée la droite de Henry d'équation :

$$P = \bar{P} + \sigma u \quad (\text{III.1})$$

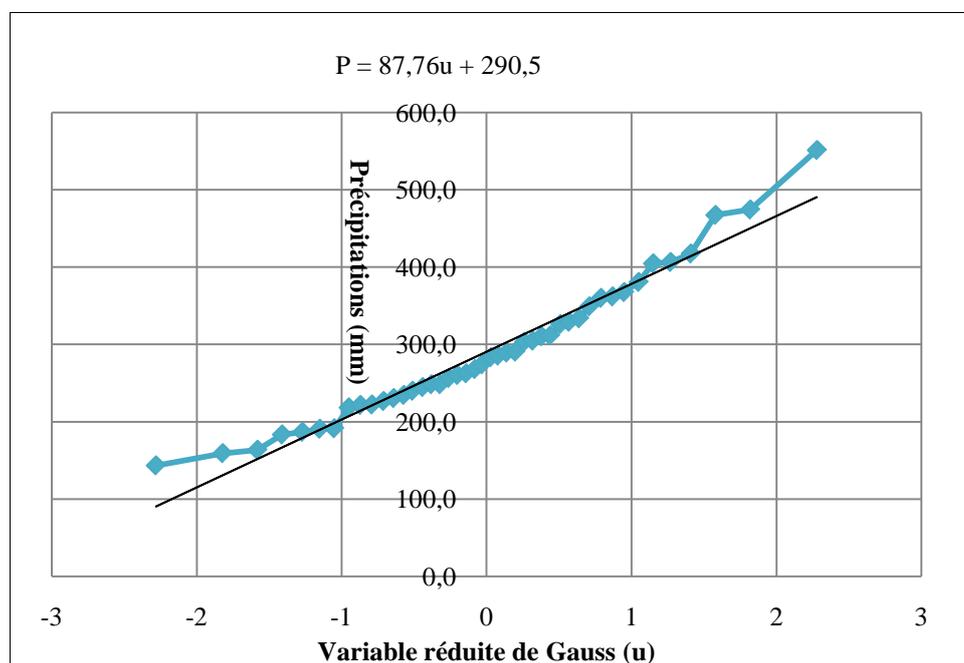


Figure.III.2: Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi de distribution normale

➤ Test numérique (Test du χ^2 de Pearson)

Le test de Pearson ou encore appelé le test du khi-deux (χ^2), permet de juger de la qualité de l'ajustement d'une distribution théorique à une distribution expérimentale, le χ^2 est calculé par le logiciel HYFRAN donne le résultat de : 3.86

➤ Pour un seuil de probabilité de 5% (0.05), le degré de liberté (ddl) sera calculé par :

$$\gamma = K - p - 1 \quad (\text{III.2})$$

avec :

$$\gamma = \text{ddl} = 9 - 2 - 1 = 6,$$

K : Nombre de classes

P : Nombre de paramètres de la loi

Donc : $\chi^2_{\text{tabulé}} = 12.59$

a. 2. Ajustement par la loi log normale

➤ **Test graphique**

Les résultats de calcul sont illustrés sur le tableau III.4:

Tableau.III.4: Paramètres de position et de dispersion pour la loi log normale.

	Paramètres	Formules	Valeurs	Unités
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\overline{\ln P} = 1/N \sum_{i=1}^a \ln P_i$	5.6	mm
Paramètres de dispersion	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a (\ln P_i^2 - \overline{\ln P}^2)$	0.09	
	Ecart-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	0.30	
	Coefficient de variation	$C_v = \sigma / \overline{\ln P}$	0.05	

La distribution représentée par la droite de Henry (fig.III.3) pour la loi log normale est calculée par l'équation suivante :

$$\ln P = \overline{\ln P} + \sigma u \tag{III.3}$$

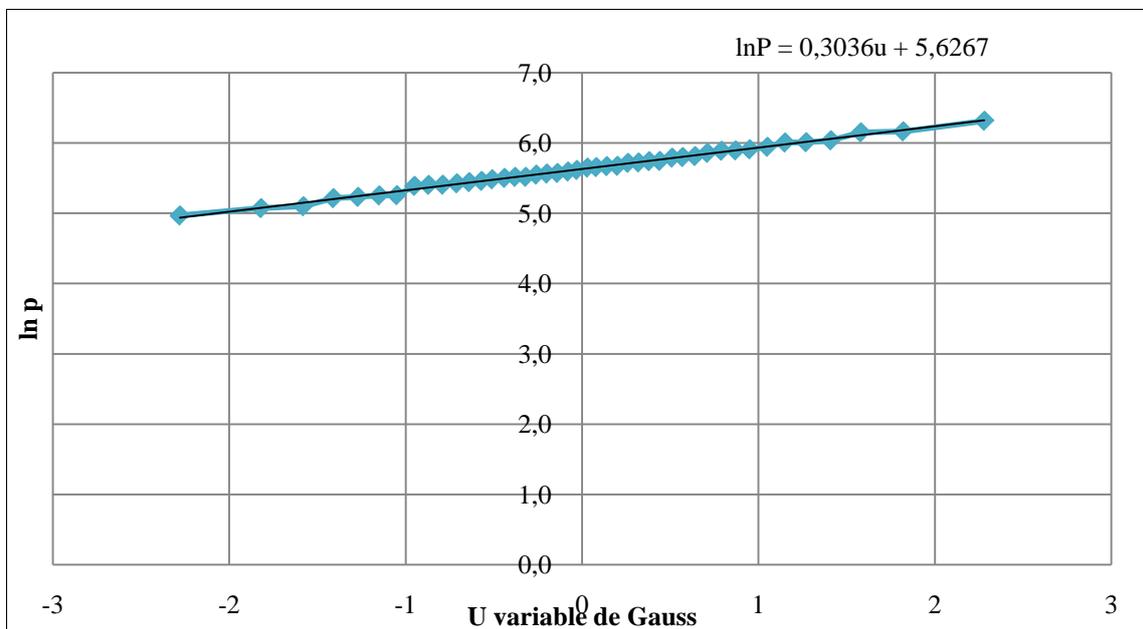


Figure.III.3: Ajustement graphique des précipitations annuelles à la loi log normale.

➤ **Test numérique (Test du χ^2 de Pearson)**

Le χ^2 est calculé par le code HYFRAN les résultats sont:

- avec un seuil de probabilité de 5% (0.05), le degré de liberté est égale à :
ddl = 9-2-1= 6,
 $\chi^2_{\text{tabulé}} = 12.59$

a. 3. Résultats de l'ajustement

Le tableau III.5.ci-dessous, montre que l'ajustement des précipitations avec la loi log Normale et la loi normale est acceptable.

Tableau.III.5: Comparaison entre χ^2 calculé et χ^2 tabulé (loi normale et log normale)

Station	χ^2 (calculé)	χ^2 (tabulé)	Comparaison	Résultat
Djebel Chouachi				
Loi normale	4.27	12.59	$\chi^2_{\text{ca l}} < \chi^2_{\text{tab}}$	Ajustement acceptable
Loi log normale	5.09	12.59	$\chi^2_{\text{cal}} < \chi^2_{\text{tab}}$	Ajustement acceptable

a.4 Calcul des Précipitations pour une période de récurrence donnée

Constatant que la distribution par la loi log-normale présente un meilleur ajustement graphique, nous avons calculé les précipitations pour différentes période de retour, (tableau III.6) :

$$\text{Ln P} = 5,6267 + 0,3036 u \text{ (droite d'Henry)}$$

Tableau. III.6:Calcul des précipitations pour différentes périodes de retour.

	Précipitations	Ln P	P (mm)
Période humide	Précipitations décennales (u=1.28)	6.015308	409.65
	Précipitations de 50 ans (u=2,05)	6.24908	517.53
	Précipitations centenaires (u= 2,33)	6.334088	563.45
	Précipitations millénaires (u=3.29)	6.625544	754.11
Période sèche	Précipitations décennales (u= -1.28)	5.238092	188.31
	Précipitations de 50 ans (u= -2.05)	5.00432	149.05
	Précipitations centenaires (u= -2,33)	4.919312	136.90
	Précipitations millénaires (u= -3.29)	4.627856	102.29

III.1.4. Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations enregistrées durant la période 1974/1975-2017/2018 sont consignées dans le tableau III.7 ci-dessous.

Tableau.III.7: Valeurs moyennes mensuelles des précipitations

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P (mm)	10,2	21,2	45,5	32	38,5	47,2	37,2	27,5	23,1	3,7	0,9	3,6	290 ,5

D’après la répartition des précipitations moyennes mensuelles sur la période (1974/1975 – 2017/2018) (fig.III.4 et Tab.III.7), on observe que le mois le plus sec est Juillet avec 0,9mm, et le plus humide est Février avec 47,2mm.

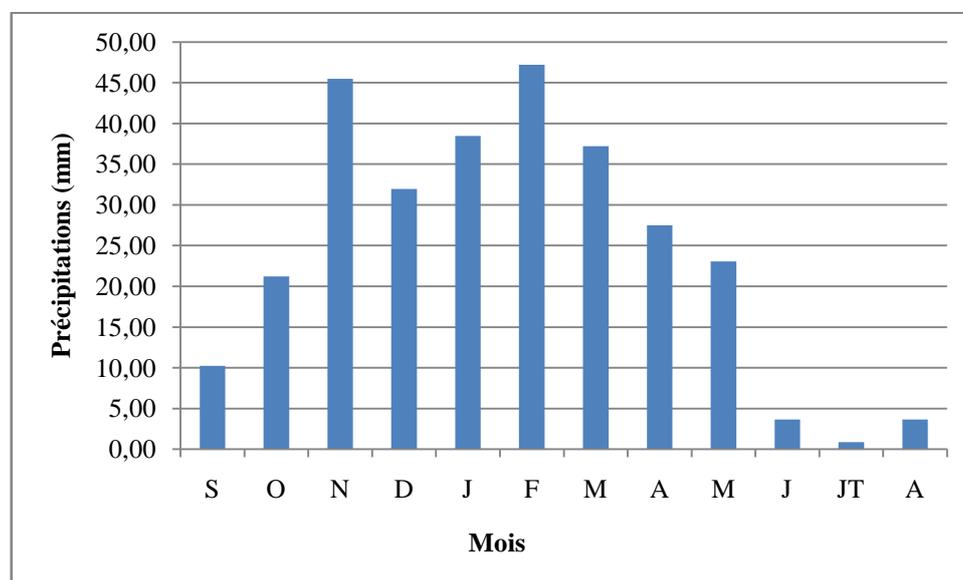


Figure.III.4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station Dj. Chouachi (1974/75-2017/18)

III.1.5.Variation des précipitations saisonnières

L’étude de la variabilité saisonnière (Tab.III.8) est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons. La distribution saisonnière des précipitations (fig.III.5) montre, que l’Eté correspond à la saison la plus sèche. En Hiver se forme une saison humide ou s’effectuerait la plus grande partie des écoulements. Les saisons de l’Automne et le Printemps peuvent elles aussi être le théâtre d’écoulement important.

Tableau III.8: Répartition des précipitations saisonnières.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
P (mm)	76,9			117,7			87,8			8,2		

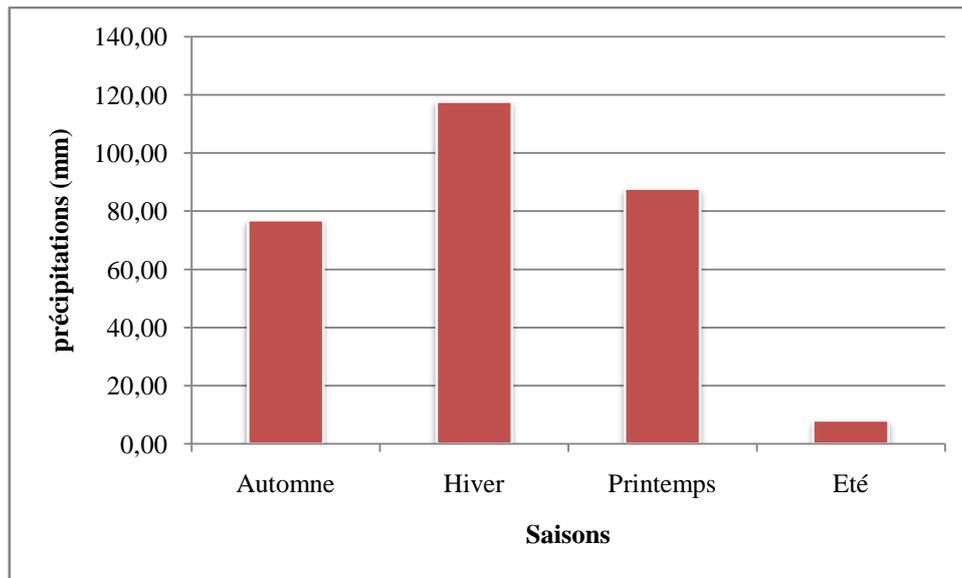


Figure III.5: Variations saisonnières des précipitations (1974/1975-2017/2018)

III.1.6. Variation des précipitations journalières

La variation des précipitations journalières à la station Dj. Chouachi pendant 44 années est illustrée par la figure III.6. On observe une variation en dents de scie très accentuée et une répartition très hétérogène d'un mois à un autre et d'une année à l'autre. C'est typique au régime méditerranéen semi-aride..

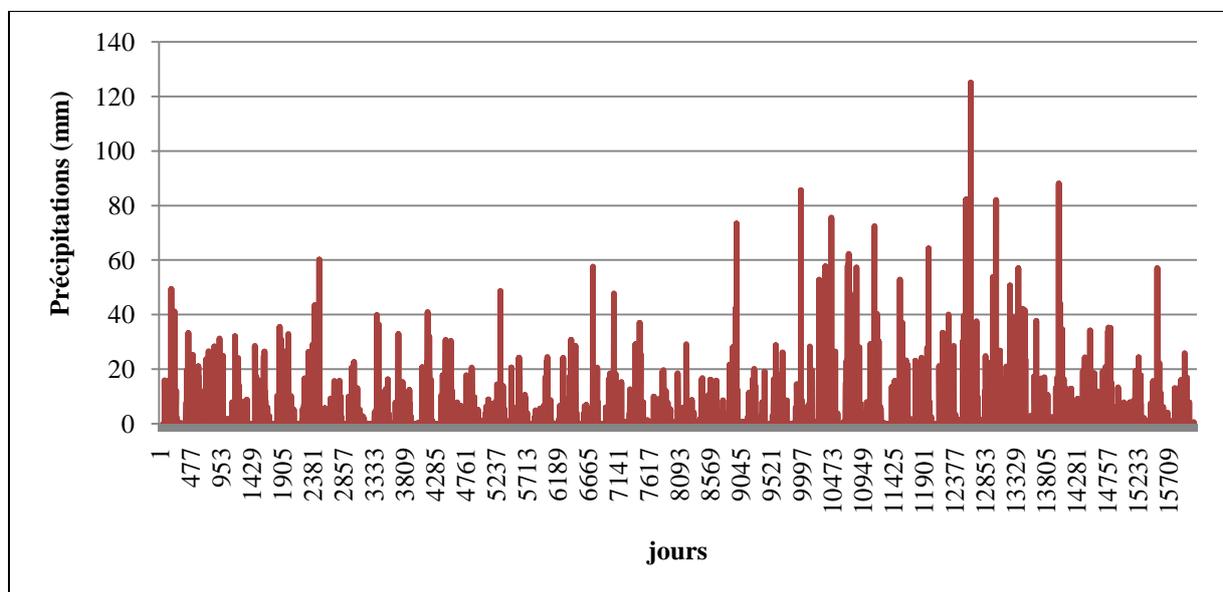


Figure.III.6: Variation des précipitations moyennes journalières (1974-1975/ 2017-2018.)

III.2. Etude des Températures

La température est un facteur fondamental qui détermine le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré de l'évapotranspiration. Elle permet avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et des indices climatiques.

III.2.1. Variation des Températures interannuelles

La courbe de la figure III.7, montre que les températures moyennes annuelles sont assez régulières, avec toutefois une tendance à l'augmentation à partir de la fin des années 80. En effet, on y enregistre une augmentation moyenne annuelle de 0.038 °C avec une température moyenne interannuelle de 18°C.

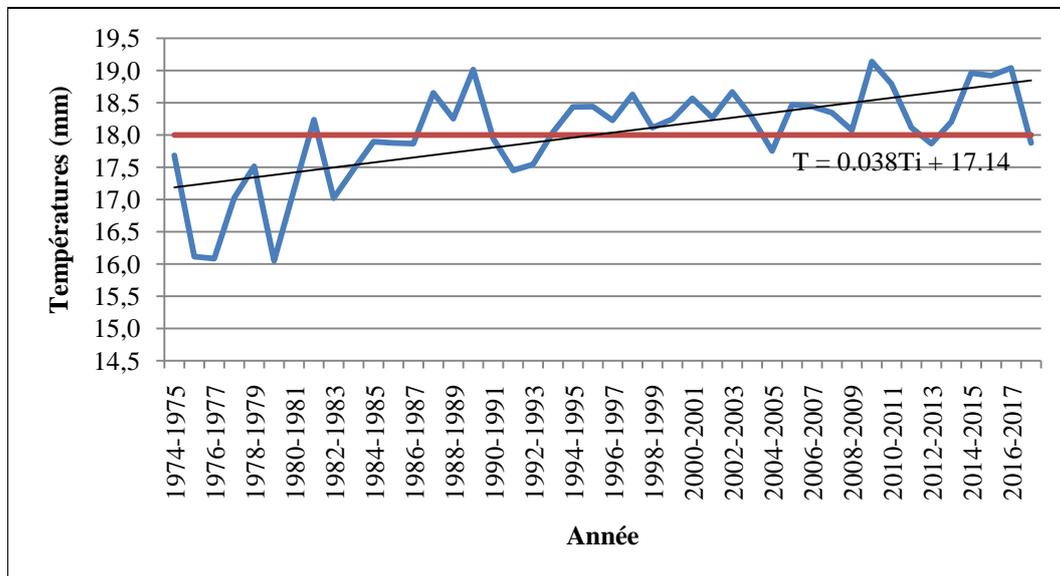


Figure III.7: Variation des températures moyennes annuelles à la station Dj Chouachi (1974/1975-2017/2018).

III.2.2. Variation des Températures moyennes mensuelles

La variation de la température moyenne mensuelle à la station Dj. Chouachi durant la période allant de 1974/1975 à 2017/2018, sont représentées dans (Tab.III.9 et fig.III.8). Cette représentation permet de considérer le mois de Janvier comme le plus froid (5,36°C) et le mois d'Août et comme plus chauds de l'année (>25°C). Pour cette étude, nous avons utilisé les données de température à la station de Zenata.

Tableau III.9: Valeurs des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales exprimées en °C de la station Dj. Chouachi (1974/1975-2017/18)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T _{moy}	23,63	19,65	15,20	12,19	10,86	11,82	13,63	15,48	18,52	22,50	25,90	26,58	18
T _{max}	29,97	25,79	20,77	17,57	16,25	17,23	19,53	21,60	24,76	29,07	32,84	33,36	24,06
T _{min}	17,28	13,51	9,63	6,81	5,47	6,41	7,74	9,36	12,27	15,92	18,96	19,80	11,93

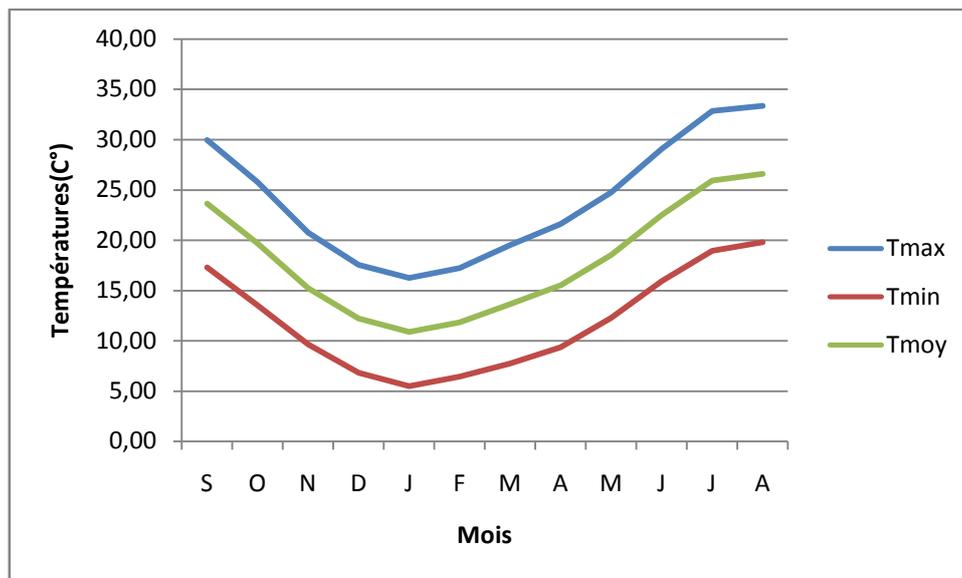


Figure.III.8 : Répartition des Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la station Dj. Chouachi (1974/1975-2017/2018)

III.3. Étude du climat

L'étude du climat et des indices climatiques se fera à partir des données de températures et des précipitations moyennes mensuelles pour la période de (1974/1975-2017/2018) (tab.III.10).

Tableau III.10 : Précipitations et températures moyennes mensuelles (1974/1975 – 2017/2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P (mm)	10,24	21,22	45,49	31,95	38,47	47,20	37,23	27,50	23,05	3,66	0,85	3,63	290,50
T°(C)	23,63	19,65	15,20	12,19	10,86	11,82	13,63	15,48	18,52	22,50	25,90	26,58	18,00

❖ Méthode de visualisation (méthode graphique)

Cette méthode est basée sur une visualisation graphique. On trace les deux courbes des précipitations et des températures moyennes mensuelles sur un graphe avec deux échelles différentes ($P = 2T$).

- Pour Gausсен et Bagnouls, un mois humide est celui où le total moyen des précipitations (mm) est supérieur au double des températures moyennes ($^{\circ}\text{C}$) ($P > 2T$). Par contre, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur au double des températures moyennes ($^{\circ}\text{C}$) ($P < 2T$).

- Si la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations, on dit que la période est déficitaire. Dans le cas inverse, la période est dite excédentaire.

- la courbe pluviothermique (fig. III. 9) permet de visualiser :

- Une période humide qui s'étend depuis la mi- Octobre jusqu'à la mi- Mars.
- Une période sèche qui s'étend sur le reste des mois de l'année.

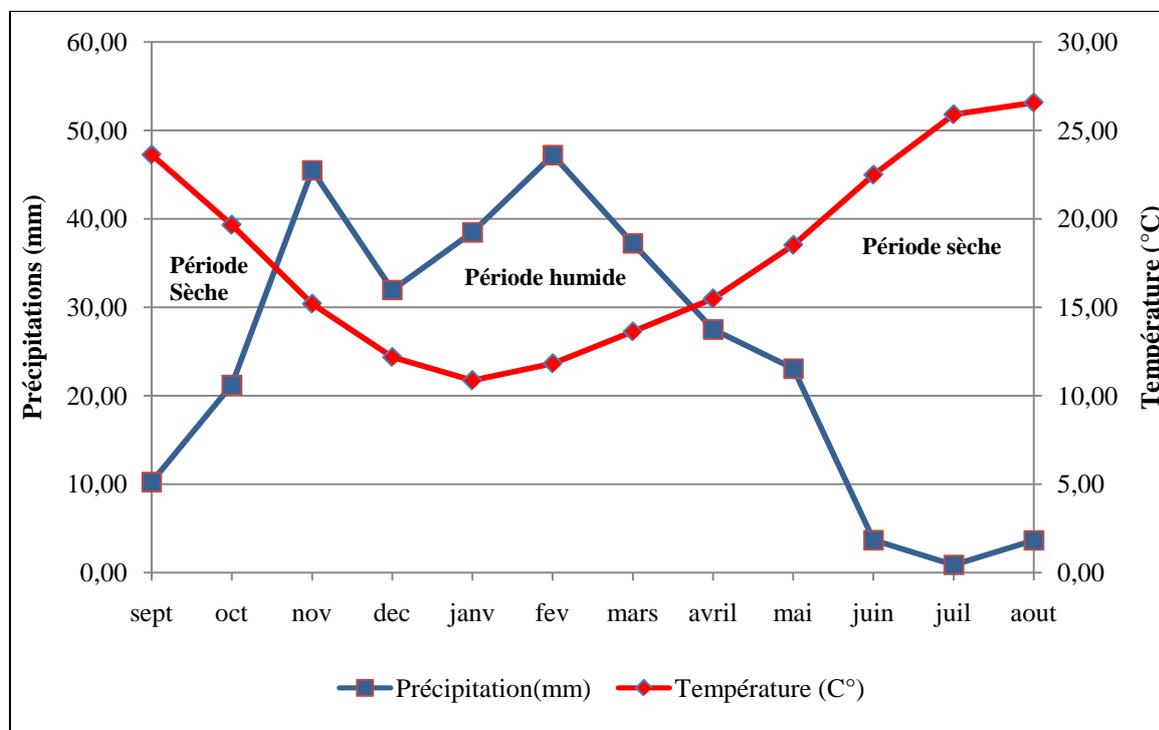


Figure III.9: Courbe pluviothermique de la station de Dj. Chouachi (1974/1975 – 2017/2018).

III.3.1. Indices climatiques

III.3.1.1. Indice d'aridité de De Martonne

a) Indice d'aridité annuel de De Martonne

L'indice annuel d'aridité de De Martonne est fonction des températures et des précipitations, il est calculé par la relation suivante :

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

avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) = 290.5mm.

T : Température moyenne annuelle (°C) = 18 (°C).

I : Indice d'aridité = 10,38

Le calcul du coefficient d'aridité annuel de De. Martonne pour la station Dj Chouachi (1974/1975-2017/2018) et selon la figure III. 11 et le tableau III.11, la région d'étude jouit d'un climat semi-aride avec un écoulement temporaire.

Tableau.III.11 : Classification du climat suivant l'indice d'aridité de De. Martonne..

Indice d'aridité	Type de climat
$I < 5$	Climat hyperaride
$5 < I < 7,5$	Climat désertique
$7,5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$20 < I < 30$	Climat tempéré.

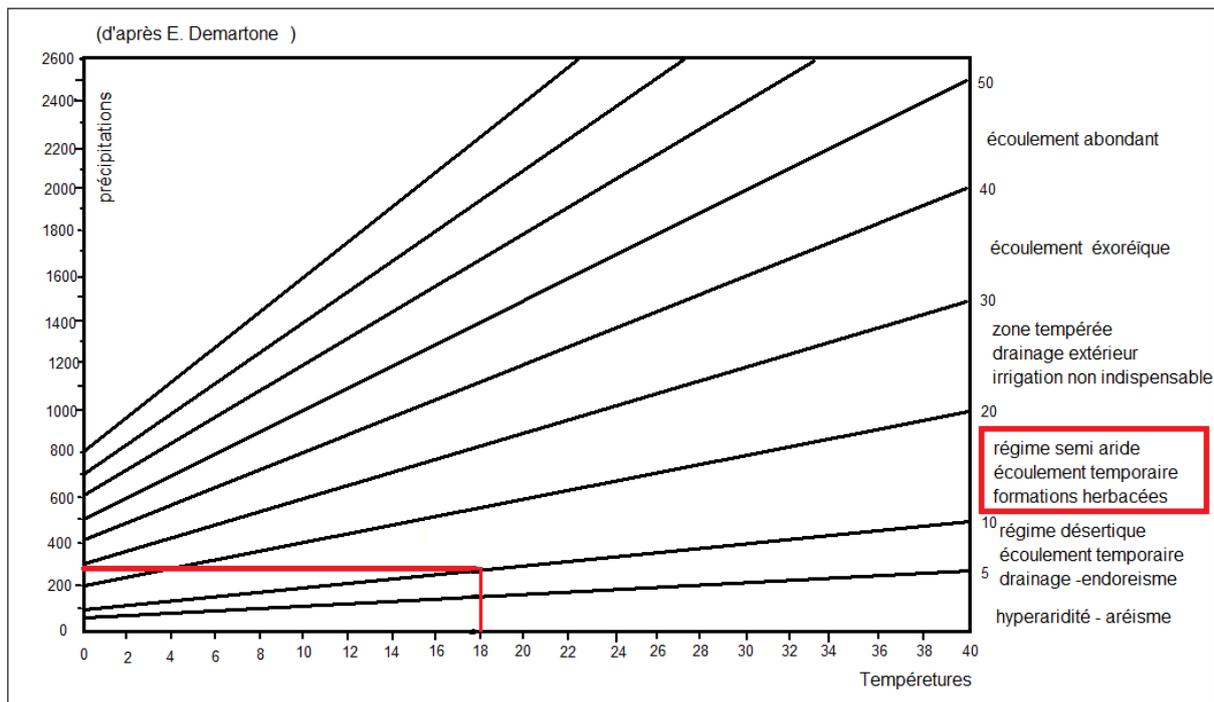


Figure III.10: Abaque de De Martonne.

III.3.1.2. Indice de continentalité de Kerner

Cet indice permet de déterminer l'influence marine sur les conditions locales de la région (Tab.III.12), il est exprimé par :

$$Ik = \frac{(To - Ta)}{A} \times 100$$

A : Amplitude moyenne annuelle entre la température du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid en °C

To : Température moyenne mensuelle du mois d'Octobre en °C

Ta : Température moyenne mensuelle du mois d'Avril en °C

Tableau.III.12: Calcul de l'indice de Kerner

Station	A	To	Ta	Ik
Dj. Chouachi	15,67	19,65	15,48	26,61

Cet indice est plus important au voisinage des régions côtières et diminue de plus en plus que l'on s'éloigne de la mer.

En comparant la valeur obtenue (Ik =26,61), (Tab.III.13) avec les résultats de la station côtière de Béni-Saf (Ik =34,7) et celle très continentale de Ghardaïa (Ik =1,3), Nous constatons que notre région subie des influences maritimes (climat méditerranéen).

III.3.3. Indice de Moral

a) Indice mensuel de Moral

Pour préciser le type du climat de chaque mois, on utilise l'indice mensuel de Moral qui est donné par la formule suivante :

$$I_m = \frac{p}{0,1t^2 - t + 20}$$

Avec :

p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

A partir du tableau III.14 de l'indice de Moral mensuel, nous remarquons que les mois de Décembre, Janvier et Février présentent un caractère pluvieux. Les mois de Novembre, Mars et Avril présentent un régime humide, par contre le reste de l'année marque un régime sec et aride.

Tableau III .13: Calcul des indices mensuels de Moral

Mois	P(mm)	T (°C)	I	Im	Type de climat	Poids
S	10,24	23,63	3,7	0,2	A	-1
O	21,22	19,65	8,6	0,5	A	
N	45,49	15,20	21,7	1,6	P	2
D	31,95	12,19	17,3	1,4	H	1
J	38,47	10,86	22,2	1,9	P	2
F	47,2	11,82	26,2	2,2	P	
M	37,23	13,63	18,9	1,5	P	
A	27,5	15,48	12,9	0,9	S	0
M	23,05	18,52	9,8	0,6	S	
J	3,66	22,50	1,4	0,01	A	-1
J	0,85	25,90	0,3	0,01	A	
A	3,63	26,58	1,2	0,05	A	
A : aride		P : pluvieux		H:humide		S : sec

❖ Les types de mois indiqués par Moral sont :

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

❖ Chaque mois est affecté d'un certain poids en fonction de son type:

- Mois pluvieux : $P = 2$
- Mois humide : $h = 1$
- Mois sec : $s = 0$
- Mois aride : $a = -1$

b) Indice annuel de Moral IM

La somme des valeurs des indices pluviométriques mensuels Im, sur la fréquence des types de mois,

Si : $20 > \sum IM > 1 \rightarrow$ climat semi-aride.

$\sum IM = 11,06$ calculé pour la station de Dj. Chouachi tend vers un climat semi- aride.

III.3.1.4. Climagrammes

a) Climagramme d'Emberger

La méthode la plus efficace pour cerner la plus au moins grande humidité du bassin versant de l'Oued Boukiou est celle d'Emberger, car il l'a adapté à l'analyse du climat de type méditerranéen.

❖ Emberger a mis au point une formule pour le calcul du quotient pluviométrique basée sur la température et la pluviosité.

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

Q₂ : Quotient pluviométrique d’Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

M : Température moyenne maxima du mois le plus chaud (°K).

m : Température moyenne minima du mois le plus froid (°K).

$$T (^{\circ}K) = T (^{\circ}C) + 273$$

Tableau.III.14 : Calcule d’Indice d’Emberger

Station	P(mm)	T(°C) max	T(°C) min	T°(k)max	T°(k)min	Q ₂
Dj.Chouachi	290,5	33,4	5,5	306,4	278,5	35,50

Le report sur l’abaque d’Emberger (fig.III.12) de Q₂ sur l’axe des ordonnées et de la température minimale sur l’axe des abscisses, caractérise la région de Boukiou, par un climat semi-aride à hiver tempéré.

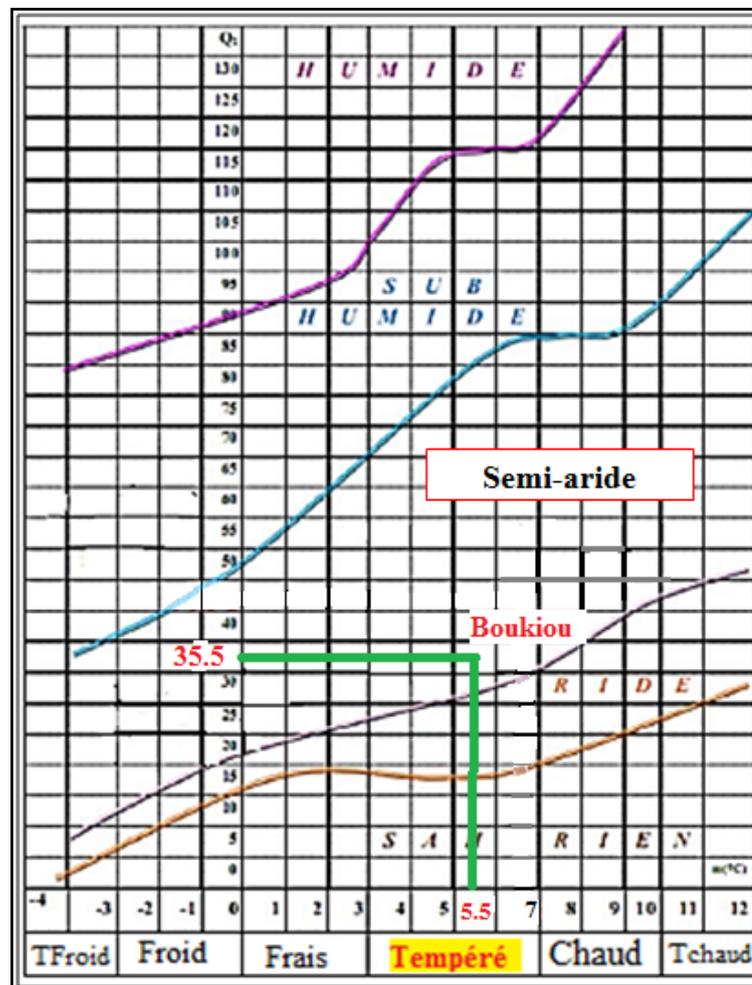


Figure. III. 11: Climagramme d’Emberger

III .4. Evapotranspiration potentielle (ETP) et déficit d'écoulement (ETR)

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique.

La précision avec laquelle elle est estimée est essentielle pour le calcul du bilan d'eau, du calcul de l'irrigation, de la gestion des ressources hydriques et également pour le dimensionnement des ouvrages d'aménagement.

III.4.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (notée ETP) est définie comme l'ensemble (maximum) des pertes en eaux par l'évaporation et la transpiration d'une surface.

a. Méthode de Thornthwaite

Thornthwaite a proposé une formule pour estimer l'ETP, en tenant compte seulement des températures mensuelles de l'air. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$ETP \text{ noncorrigée} = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{avec} \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} \times I + 0,49239$$

$$ETP \text{ corrigée} = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \times K$$

avec :

ETP : Evapotranspiration moyenne mensuelle (mm),

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

I : Somme des 12 indices thermiques mensuels,

K : Coefficient de correction lié à la latitude (durée maximale de l'ensoleillement) → (cf. abaque de calcul).

Les tables et l'abaque établis par Thornthwaite permettent de calculer les indices thermiques mensuels en fonction des températures, puis de passer à un indice annuel qui est reporté sur l'abaque de Thornthwaite (fig.III.12) qui permettra d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration potentielle pour les différents mois, en multipliant chaque valeur par un coefficient de correction mensuel.

Les résultats sont donnés dans le tableau III.15:

Tableau.III.15 : Calcul et correction des valeurs de l'ETP (Dj. Chouachi, (1974/1975-2017/2018))

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T°	23,63	19,65	15,20	12,19	10,86	11,82	13,63	15,48	18,52	22,50	25,90	26,58
P	10,2	21,2	45,5	32,0	38,5	47,2	37,2	27,5	23,1	3,7	0,9	3,6
I	10,5	7,9	5,4	3,8	3,2	3,6	4,5	5,5	7,2	9,7	12,0	12,5
ETP _{noncor} (mm)	107,82	76,04	46,74	30,76	24,73	29,03	38,04	48,41	67,96	98,26	128,33	134,77
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,88	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16
ETP _{cor} (mm)	111,05	73,75	40,19	26,14	21,76	24,68	39,19	52,76	82,23	118,90	157,85	156,34

L'évapotranspiration est évaluée à 905,25 mm

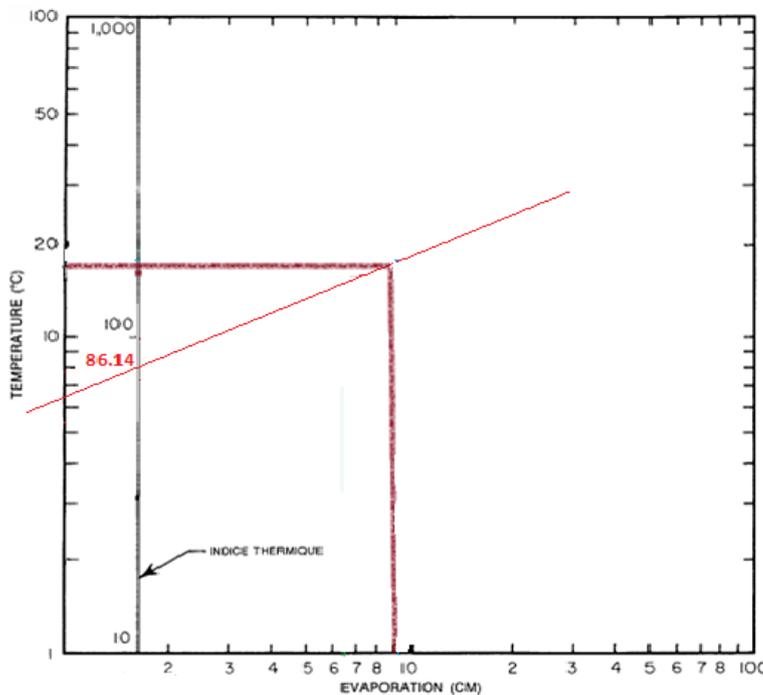


Figure.III.12 : Abaque de Thornthwaite

III.4.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'estimation de ce paramètre peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes :

a. **Formule de L. Turc (1954)** : qui s'écrit:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec: } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (mm/an),

P : Précipitations moyennes annuelles (mm),

T : Température moyenne annuelle de l'air (°C).

Les résultats sont illustrés dans le tableau III.16 ci-dessous :

Tableau. III. 16: Calcul d'ETR par la méthode de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Dj. Chouachi	290,50	18	1041,60	293,8

b. Formule de Coutagne

Le déficit d'écoulement qui est l'équivalent de l'évapotranspiration réelle est donné par :

$$ETR = D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec} \quad \lambda = 1/(0,8 + 0,14T)$$

D : Déficit d'écoulement (m/an).

P : Précipitations moyennes annuelles (m/an).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Remarque : Cette formule n'est applicable que pour P comprise entre $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$

Selon nos résultats, nous constatons que la formule est n'est pas applicable pour ce cas. (Tab.III.17)

Tableau III.17: Calcul du déficit d'écoulement par la méthode de Coutagne.

Station	P(m)	Λ	$1/8\lambda$	$1/2\lambda$	D(m)	P-D
Dj.Chouachi	0,29	0,30	0,41	1,65	0,26	0,03

c. Méthode de Wundt

Wundt a établi un abaque modifié par M. Coutagne, (fig.III. 13), pour l'estimation du déficit d'écoulement, On reporte la température moyenne annuelle en abscisse de l'abaque et les précipitations moyennes annuelles en mm sur l'axe des ordonnés.

Les résultats de calcul sont illustrés dans le tableau III.18:

Tableau.III.18 : Valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt)

Station	P (mm)	T(°C)	D (mm)	E (mm)
Dj. Chouachi	290,5	17,92	280	10,5

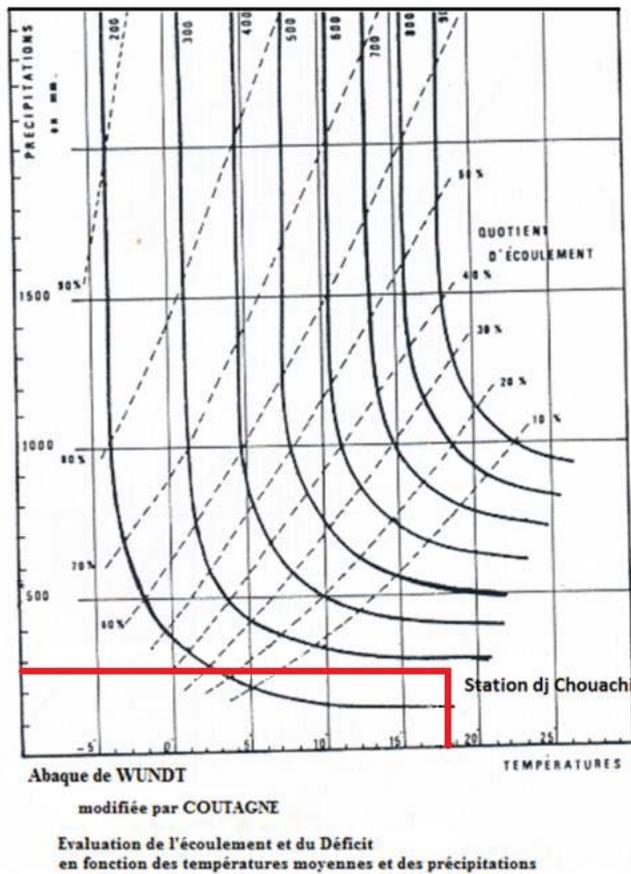


Figure.III.13: Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de Wundt).

d. Méthode de P. Verdeil (1988)

Afin d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement Verdeil (1988), a établi un abaque bi-logarithmique pour les régions semi-arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles.

Les résultats de cette méthode sont montrés dans le tableau III.20 et (fig.III.14).

Tableau.III.19 : Valeur du déficit d'écoulement (Verdeil, 1988)

Station	P (mm)	D (mm)	E (mm)
Dj.Chouachi	290,5	282	8,5

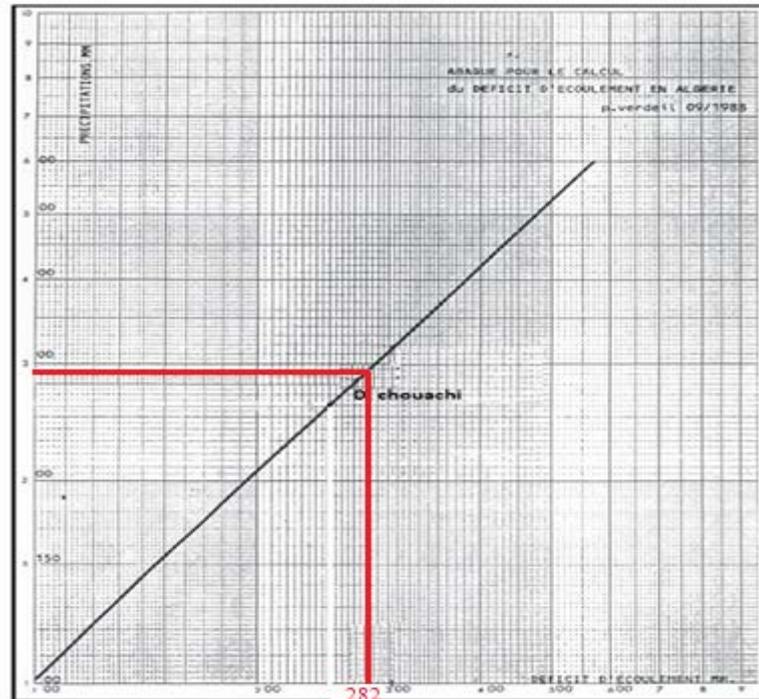


Figure. III. 14: Abaque pour le calcul du déficit d’écoulement en Algérie (P. Verdeil, 1988)

III.4.3. Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.)

La R.F.U est calculée par application de la formule de Hallaire (1960) qui peut s’écrire :

$$RU = \frac{C - f}{100} H . D + 30mm$$

- R : Réserve en eau du sol,
- C : Capacité au champ,
- f : Capacité au point de flétrissement,
- H : Profondeur du sol,
- D : Densité apparente,
- 30 mm : enracinement capillaire.

Les valeurs de (C - f) dépendent de la nature du sol (Tab.III.20) :

Tableau. III. 20: Valeurs de C-F (%) en fonction de la nature du sol.

Nature du sol C - f (%)
Sol sableux 5
Sol limoneux 10—15
Sol argilo-limoneux 20

En considérant un sol limoneux (C-f = 10%) et une profondeur du sol égale à 500 mm (d’après Miri & Kebir, 1992), nous obtenons une réserve utile égale à 90 mm.

- Evapotranspiration réelle est liée à la réserve en eau disponible, nous considérons deux possibilités :
- ❖ Si : P > ETP → ETR = ETP

❖ Si : $P < ETP$ on a deux conditions $\left\{ \begin{array}{l} ETP = ETR \rightarrow \text{la réserve existe} \\ ETR = P \rightarrow \text{pas de réserve} \end{array} \right\}$

Les différents paramètres du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj. Chouachi sont donnés par le tableau III.22 suivant :

Tableau.III.21: Eléments du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj Chouachi (1969/1970-2012/2013) (R.U = 90 mm)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T°	23,6	19,7	15,2	12,2	10,9	11,8	13,6	15,5	18,6	22,5	25,9	26,6	18,00
P(mm)	10,2	21,2	45,5	32,0	38,5	47,2	37,2	27,5	23,1	3,7	0,9	3,6	290,5
I	10,5	7,9	5,4	3,9	3,3	3,7	4,5	5,5	7,3	9,7	12,1	12,6	
A	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	85,80
ETP non cor (mm)	107,88	76,06	46,79	30,81	24,88	28,91	37,84	48,49	68,16	98,27	128,19	134,97	831,26
k	1,03	0,97	0,86	0,85	0,88	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP cor (mm)	111,12	73,78	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	82,47	118,91	157,67	156,57	905,25
ΔU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RU	100,88	-52,57	5,25	5,77	16,58	22,63	1,75	-25,36	59,42	115,25	156,82	152,93	
RU	0,00	0,00	5,25	11,02	27,59	50,22	48,47	23,11	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR	10,2	21,2	40,2	26,2	21,9	24,6	39,0	52,9	46,2	3,7	0,9	3,6	290,5
D.A	100,88	52,57	0	0	0,00	0	0	0	36,30	115,25	156,82	152,93	614,75
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

III.4.4. Calcul du ruissellement « R »

Le ruissellement de surface constitue la part de la pluie qui n'est pas retournée à l'atmosphère par évaporation ou qui n'a pas été absorbée par le sol, et qui ne s'accumule pas à la surface mais qui s'écoule sur la surface du sol par de petites rigoles jusqu'à atteindre le réseau naturel de drainage du bassin. La lame d'eau ruisselée dépend de l'intensité et de la hauteur des averses, de la succession des pluies, de l'état d'humidité et de la structure de l'horizon superficiel du sol avant l'averse, du couvert végétal, de la pente et de la rugosité de la surface du sol.

L'influence de tous ces facteurs fait que le ruissellement est très difficile à estimer avec précision. Il peut être estimé par la méthode de Tixeront – Berkaloff selon la formule

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

avec :

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations (m).

ETP : Evapotranspiration potentielle (m).

Le ruissellement calculé (Tab. III. 23) à partir de la méthode de Tixeront – Berkaloff est de 9,64mm à la station de dj Chouachi pour la période de (1974/1975-2017/2018).

Tableau. III. 22 : Valeur du ruissellement (Tixeront – Berkaloff)

Station	P(m)	T(° C)	ETP(m)	R(m)
Dj. Chouachi	0,29	18	0,904	0,00995 (soit 10mm)

III.4.5. Détermination de l'infiltration et calcul du bilan

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur de grandes périodes. La formule du bilan est la suivante:

$$P = ETR + R + I + \Delta W$$

avec :

P: Hauteur des précipitations moyennes annuelles (mm).

R: Ruissellement (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle (mm).

I: Infiltration annuelle (mm).

ΔW : Variation de réserve (mm), souvent négligeable.

$$E = R + I$$

R : Ruissellement (mm).

I : Infiltration (mm).

E : Ecoulement (mm).

Les différentes méthodes utilisées n'ont révélé aucune infiltration (Tab.III.24).

Tableau.III.23: Valeurs de l'infiltration selon les différents auteurs.

R(mm)	Turc		Wundt		Verdeil		Thorntwaite	
	ETR (mm)	I	ETR (mm)	I (mm)	ETR (mm)	I	ETR (mm)	I
9,95	293,8	-	280	1	282	-	290,5	-

La quantité d'eau ruisselée très faible par rapport aux précipitations moyennes annuelles tombées et les infiltrations sont nulles. Ces valeurs obtenues restent à vérifier, en tenant compte de la lithologie du terrain, la topographie, le climat et la végétation qui caractérisent la région

Tableau. III.24: Valeurs de l'ETR calculées à partir des précipitations et des lames d'eau écoulées mesurées.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P(mm)	10,2	21,2	45,5	32,0	38,5	47,2	37,2	27,5	23,1	3,7	0,9	3,6	290,5
ETP cor (mm)	111,12	73,78	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	82,47	118,91	157,67	156,57	905,25
Le mensuelle (mm)	0,2	0,6	2,3	2,7	3,5	4,2	7,6	2,8	1,4	0,6	0,1	0,0	25,9
ETR (mm)	10,01	20,66	43,16	29,29	34,95	42,98	29,67	24,73	21,63	3,09	0,79	3,61	264,57

III.5. Etude des débits

Introduction

L'écoulement des Oueds, dépend essentiellement du régime des précipitations qui dépendent du climat de la région, on notera une variation importante des régimes d'écoulement, mensuels, saisonniers, et interannuels.

L'évolution des débits de surface, sur le secteur étudié nous est connue par une station hydrométrique installée et surveillée par l'A.N.R.H.

Dans ce travail, nous prenons en considération la station de : Dj. Chouachi sur Oued Boukiou sur une période s'étendant de 1974/1975 à 2013/2014.

La variable étudiée est le débit calculé à partir des hauteurs d'eau enregistrées au niveau de la station de Dj. Chouachi .

III.5.1.Variation interannuelle des débits et des lames d'eau écoulées correspondantes

La variation interannuelle des débits enregistrés au niveau de la station de Dj .Chouachi, depuis l'année 1974/75 jusqu'à 2013/14, (fig.III.19), montre un module interannuel de $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant à une lame d'eau écoulée de $25,9\text{mm}$ (III.20), nous observons que sur cette série il y a une année exceptionnelle 1976/1977, ayant enregistré une valeur ($0,65\text{m}^3/\text{s}$) nettement supérieure à la moyenne qui pourra influencer le calcul de la moyenne interannuelle.

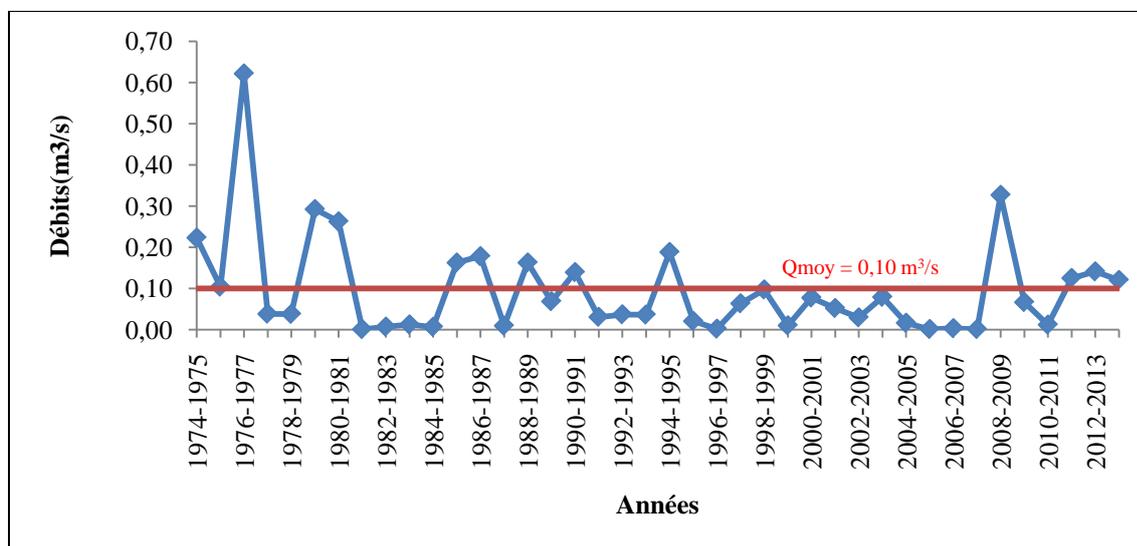


Figure.III.15: Variation interannuelle des débits à la station Dj. Chouachi (1974/75-2013/14)

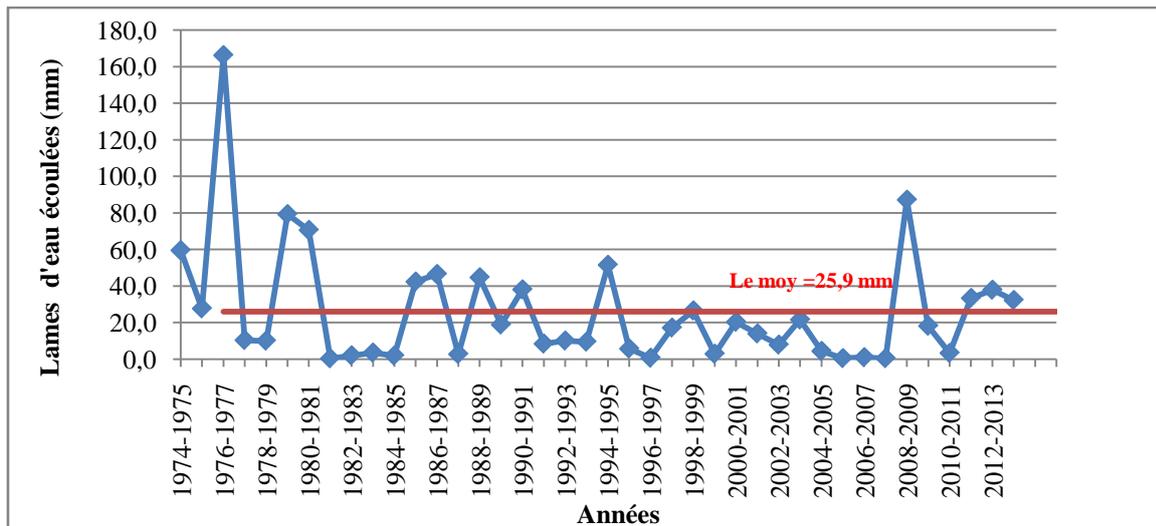


Figure.III.16 : Variation interannuelle des lames d’eaux écoulées (1974/1975-2013/2014)

III.5.2. Analyse statistique des débits

La distribution des débits moyens annuels en terme croissant de la station de Dj. Chouachi sur la période de 1974/75 à 2013/14, est donnée dans le tableau suivant:

Tableau.III.25. Distribution interannuelle des débits à la station D.j.Chouachi.

Rang(I)	années	Q m ³ /s	Ln Q	Fi = I/N+1
1	1981-1982	0,0013	-6,62	0,02
2	2007-2008	0,0015	-6,51	0,05
3	2005-2006	0,0016	-6,44	0,07
4	1996-1997	0,0024	-6,04	0,10
5	2006-2007	0,0036	-5,61	0,12
6	1984-1985	0,0100	-4,96	0,15
7	1982-1983	0,0100	-4,92	0,17
8	1987-1988	0,0100	-4,62	0,20
9	1999-2000	0,0100	-4,56	0,22
10	1983-1984	0,0100	-4,40	0,24
11	1983-1984	0,0100	-4,36	0,27
12	2004-2005	0,0200	-4,09	0,29
13	1995-1996	0,0200	-3,86	0,32
14	2002-2003	0,0300	-3,51	0,34
15	1991-1992	0,0300	-3,47	0,37
16	1993-1994	0,0400	-3,31	0,39
17	1992-1993	0,0400	-3,29	0,41
18	1978-1979	0,0400	-3,27	0,44
19	1977-1978	0,0400	-3,25	0,46
20	2001-2002	0,0500	-2,95	0,49
21	1997-1998	0,0600	-2,75	0,51
22	2009-2010	0,0700	-2,70	0,54
23	1989-1990	0,0700	-2,67	0,56
24	2000-2001	0,0800	-2,55	0,59
25	2003-2004	0,0800	-2,53	0,61
26	1998-1999	0,1000	-2,33	0,63
27	1975-1976	0,1000	-2,26	0,66
28	2013-2014	0,1200	-2,12	0,68
29	2011-2012	0,1300	-2,08	0,71
30	1990-1991	0,1400	-1,97	0,73
31	2012-2013	0,1400	-1,96	0,76
32	1985-1986	0,1600	-1,82	0,78
33	1988-1989	0,1600	-1,81	0,80
34	1986-1987	0,1800	-1,72	0,83
35	1994-1995	0,1900	-1,67	0,85
36	1980-1981	0,2200	-1,34	0,88
37	1979-1980	0,2600	-1,23	0,90
38	2008-2009	0,2900	-1,12	0,93
39	1973-1974	0,3300	-0,95	0,95
40	1976-1977	0,6200	-0,48	0,98

Les résultats de calcul des paramètres de position des débits sont consignés dans le tableau III.26:

Tableau.III.26 : Paramètres de position et dispersion des débits de la station de Dj. Chouachi (1974/75-2013/14)

	Paramètres	Formules	Valeurs	Unités
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\bar{Q} = 1/N \sum_{i=1}^n Q_i$	0,10	m ³ /s
Paramètres de dispersion	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_i^2 - \bar{Q}^2)$	0.014	
	Ecat-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	0.120	
	Coefficient de variation	$Cv = \sigma / \bar{Q}$	1.24	

- Le coefficient de variation des débits de la station étant supérieur à 0,5 ($Cv > 0,5$), on peut supposer qu'une adéquation à une loi log normale est possible, par contre on ne peut pas prétendre à un ajustement suivant une loi symétrique dont la loi normale.

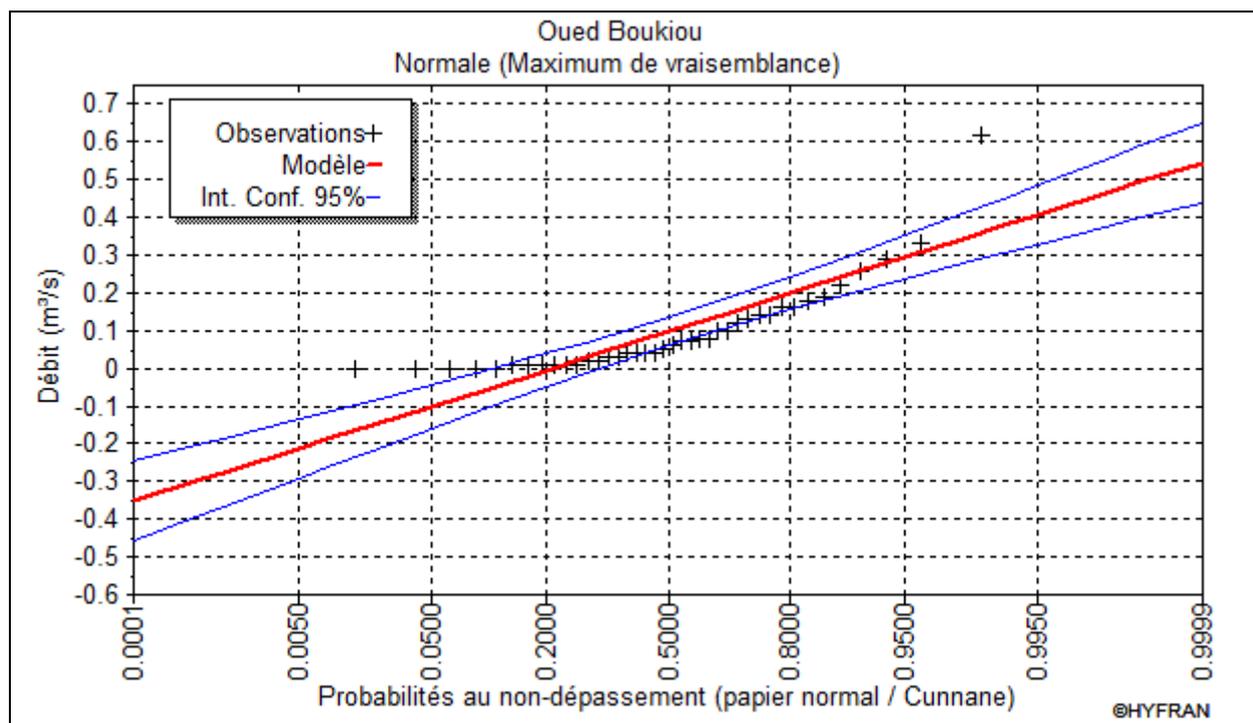


Figure.III.17: Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution normale pour un niveau de confiance de 95% (1974/1975-2013/2014).

Le calcul de χ^2 donne la valeur de 16.80 pour 8 classes donc pour un dll égale à 5 on aura un $\chi^2_{\text{tabulé}} = 11.47$.

a- Ajustement à la loi log normale

Les résultats de calcul sont illustrés dans le tableau III.27 suivant :

Tableau.III.27: Paramètres de position et dispersion pour la loi log normale.
(1974/75-2013/14)

	Paramètres	Formules	Valeurs	Unités
Paramètres de position	Moyenne (mm)	$\overline{\ln Q} = 1/N \sum_{i=1}^n \ln Q_i$	-3.22	m ³ /s
Paramètres de dispersion	Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\ln Q_i^2 - \overline{\ln Q}^2)$	2.57	
	Ecat-type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	1.60	
	Coefficient de variation	$Cv = \sigma / \overline{\ln Q}$	-0.80	

➤ **Test graphique**

On obtient un ajustement représenté par la droite de Henry, d'équation :

$$\ln Q = \overline{\ln Q} + \sigma u,$$

On reporte u : variable réduite de Gauss sur l'axe des x en échelle arithmétique.

On reporte Ln Q pour la loi log Normale sur l'axe des y en échelle arithmétique).

Le test graphique (fig. III. 18) montre que la distribution des débits s'ajuste bien à la loi log Normale

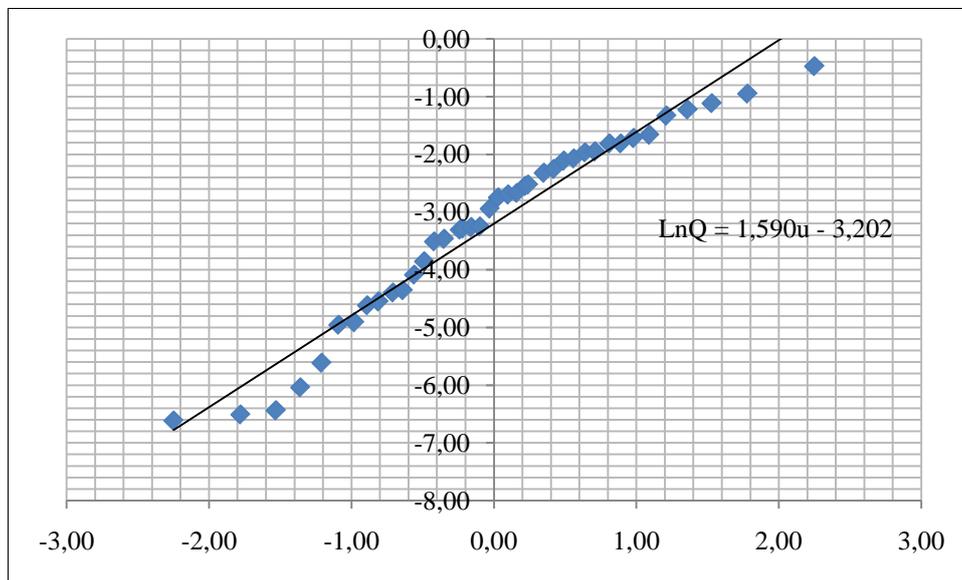


Figure. III.18: Ajustement à la loi Log normale des débits.

Test numérique (Test du χ^2 de PEARSON)

Le calcul de χ^2 donne la valeur de 10.00 pour 8 classes donc pour un dll égale à 5 on aura un χ^2 tabulé = 11.47, l'ajustement est donc acceptable.

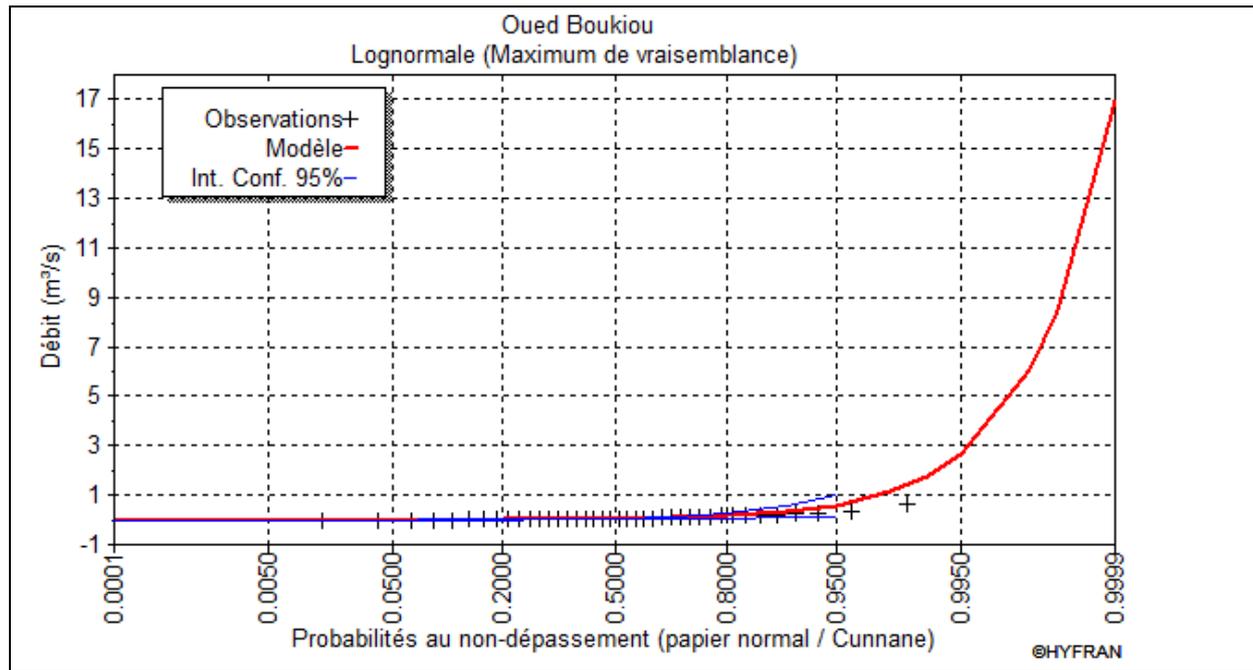


Figure.III.19: Ajustement graphique des débits annuels à la loi de distribution log-normale pour un niveau de confiance de 95% (1974/1975-2013/2014).

b- Résultats de l'ajustement

-Partant de l'équation de la loi log Normale : $Ln Q = -3,202 + 1.59 * u$

Le tableau III.28 ci-dessous montre que l'ajustement des débits avec la loi log normale est meilleur.

Tableau.III.28: Comparaison entre χ^2 calculé et χ^2 tabulé (loi normale et log normale)

Station	χ^2 (calculé)	χ^2 (tabulé)	Comparaison	Résultat
Dj, Chouachi				
Loi normale	16.80	11.47	$\chi^2_{ca} > \chi^2_{tab}$	Ajustement refusé
Loi log normale	10.00	11.47	$\chi^2_{cal} < \chi^2_{tab}$	Ajustement acceptable

III.5.3. Variation moyenne mensuelle des débits et des lames d'eau écoulées correspondantes

Les débits moyens mensuels enregistrés durant la période étudiée sont enregistrés dans le tableau III 30 et présentés par la figure III.24. La moyenne mensuelle des débits est de 0,10 m³/s. Les mois à faible débits tels que Juin, Juillet et Août accusent des valeurs nulles. Par contre le mois de Mars enregistre la valeur maximale qui est de l'ordre de 0,33m³/s.

Tableau III.29: Valeurs moyennes mensuelles des débits.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	AN
Q (m³/s)	0,01	0,02	0,11	0,12	0,15	0,20	0,33	0,13	0,06	0,03	0,00	0,00	0,10
Le (mm)	0,2	0,6	2,3	2,7	3,5	4,2	7,6	2,8	1,4	0,6	0,1	0,0	25,9

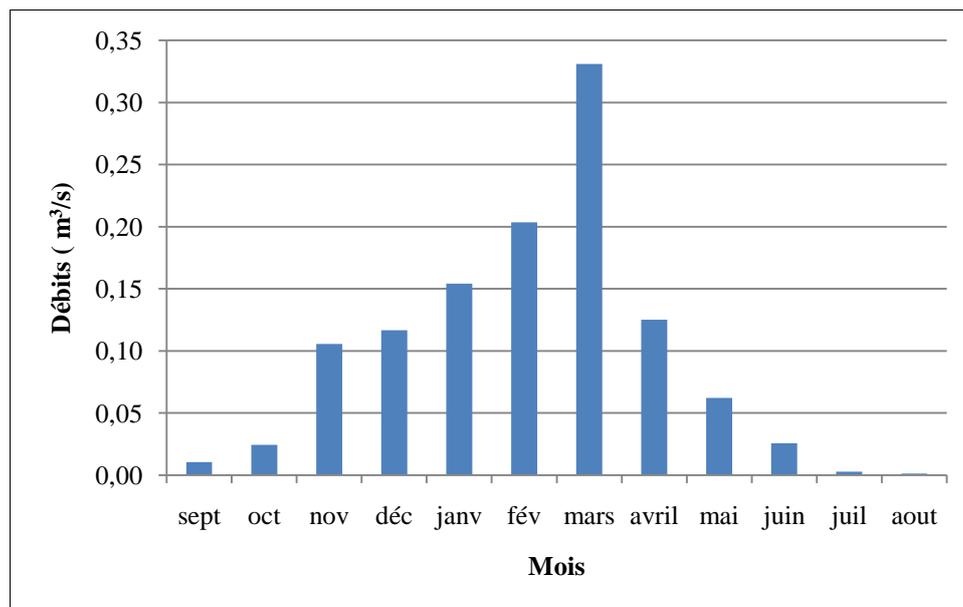


Figure III.20 : Variation mensuelle des débits de l'oued Boukiou (1974/75-2013/14).

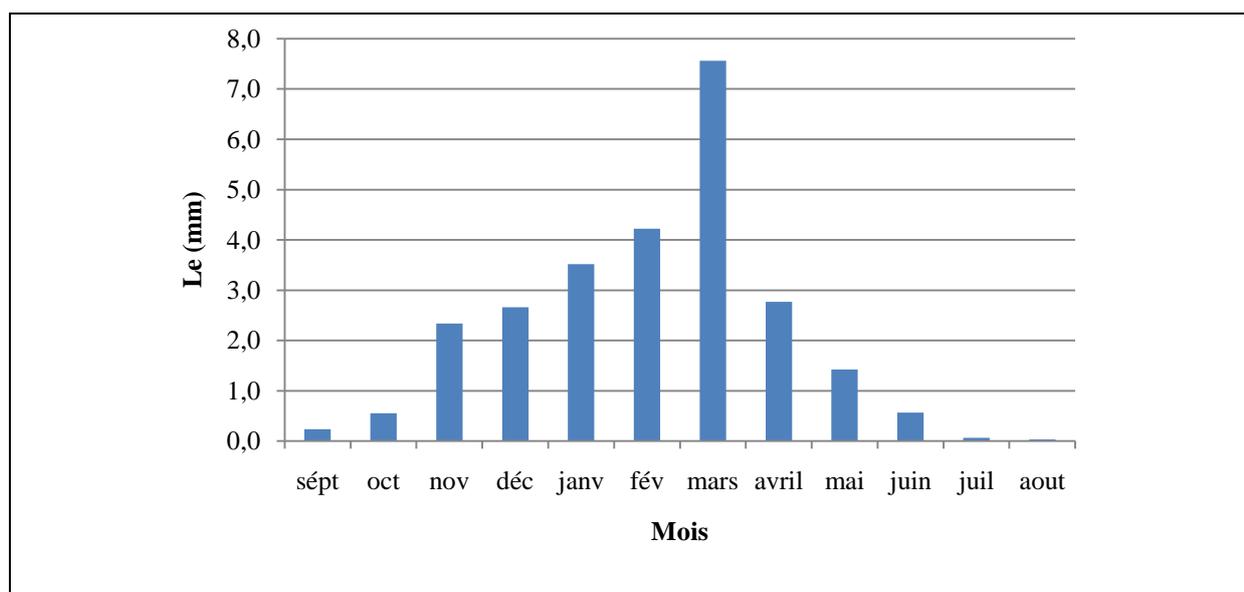


Figure III.21 : Variation mensuelle des lames d'eau écoulées de l'oued Boukiou (1974/75-2013/14)

III.5.4. Variation saisonnière des débits et des lame d'eau correspondes

La distribution saisonnière des débits montre que c'est au Printemps et en Hiver que s'effectue l'essentiel des écoulements, (fig.III.22 et III.23). Cela explique la présence de fortes pluies durant ces deux saisons. (Tab.III. 30).

Tableau III. 30 : Répartition saisonnière des débits et des lames d'eau écoulées.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Moy	0,01	0,02	0,11	0,12	0,15	0,20	0,33	0,13	0,06	0,03	0,00	0,00
Q (m ³ /s)	0,05			0,16			0,17			0,01		
Le(mm)	3,1			10,4			11,7			0,7		
Q %	12,01			40,54			44,52			2,54		
Le (%)	12,04			40,11			45,30			2,54		
	saison sèche			saison Humide						saison sèche		

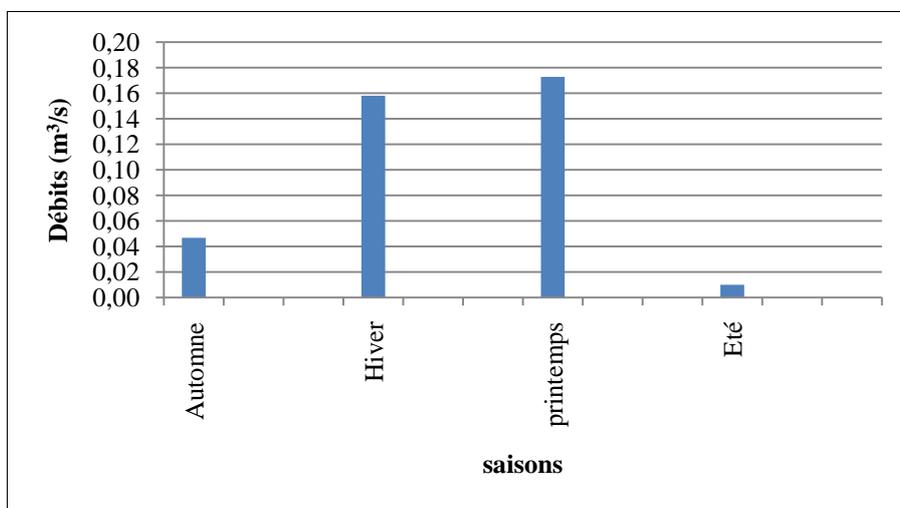


Figure. III. 22 : Variation saisonnière des débits de la station Dj. Chouachi (1974/75-2013/14)

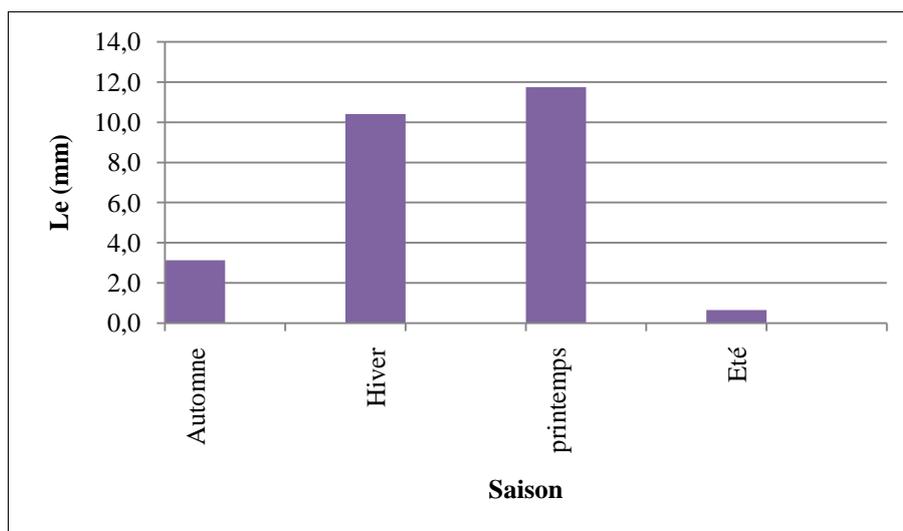


Figure. III.23: Variation saisonnière des lames d'eau écoulées (1974/75-2013/14)

III.5.5. Variation d'une année moyenne journalière des débits

La figure III.24, met en évidence l'irrégularité des débits au cours d'une année moyenne. En effet, les mois d'Hiver et de Printemps témoignent d'un apport relativement plus important en eau au niveau de l'oued.

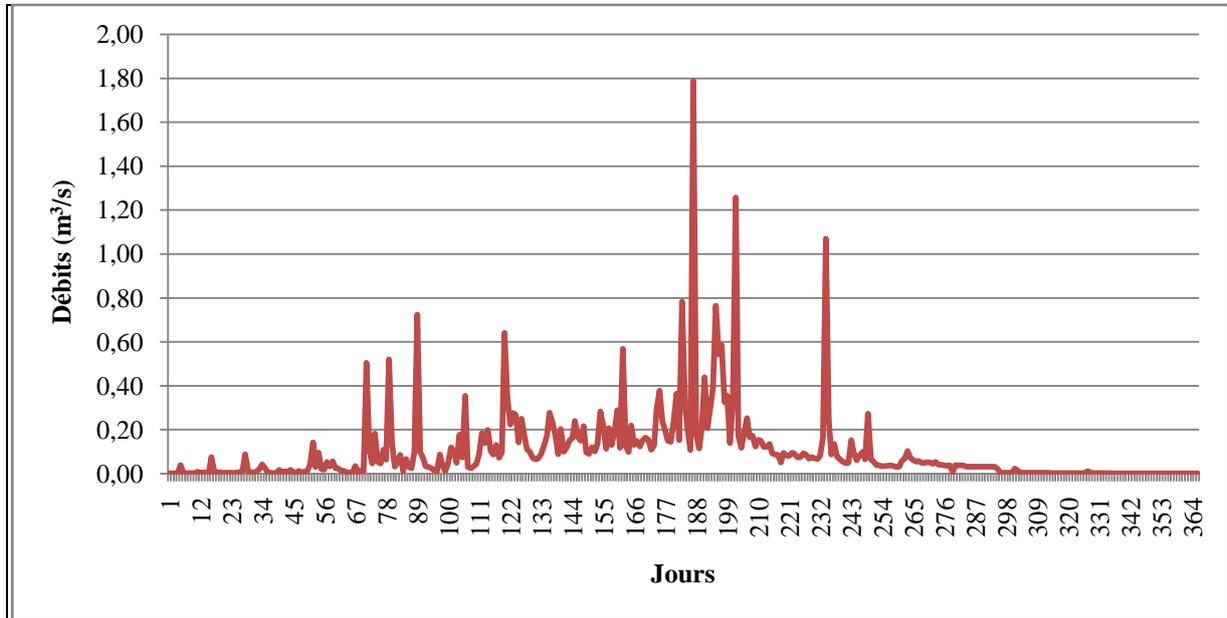


Figure.III.24 : Variation moyenne journalière des débits (1974/75-2013/14)

L'année moyenne des débits journaliers nous permet d'établir à son tour la courbe des débits classés aidant à dégager les débits caractéristiques de 10j, 3mois, 9mois et 355j (fig. III.25 et tab.III.32).

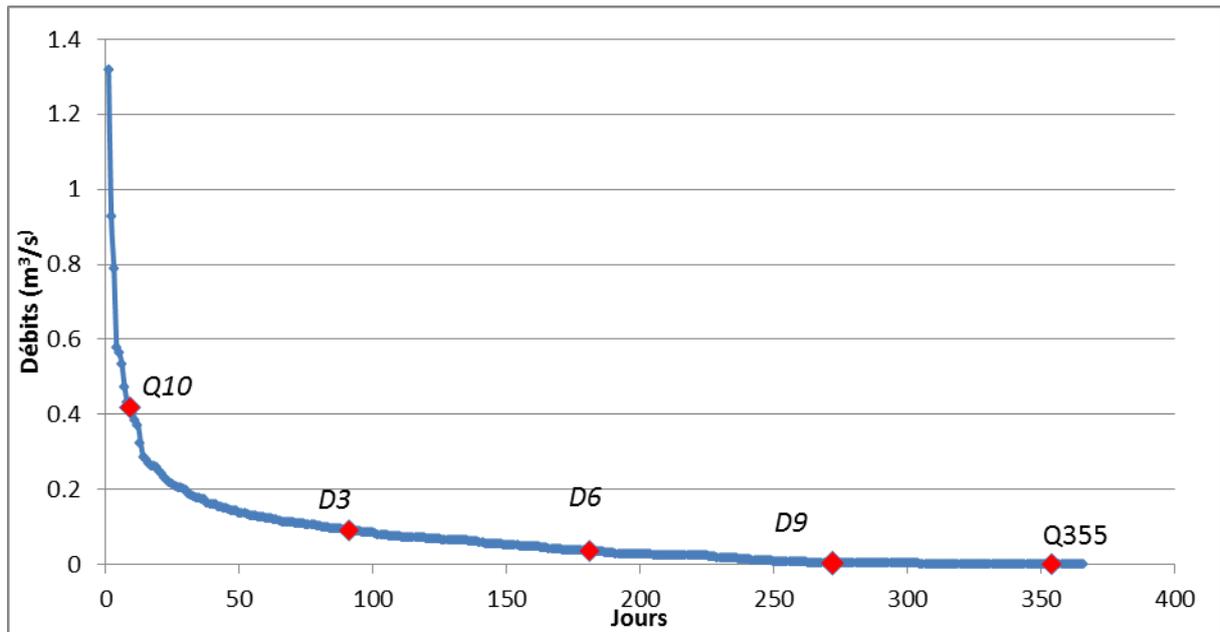


Figure.III.25. courbe des débits classés.

Tableau III.31 : Valeurs des débits caractéristiques

Temps	Débits caractéristiques (m ³ /s)
Q10j	0,41
D3 mois	0,09
D6 mois	0,033
D9 mois	0,0035
Q355j	0,0009

III.6. Etude de l'étiage et le tarissement de l'oued

III.6.1. Définition

- L'étiage est le niveau le plus bas observé des eaux d'un cours d'eau pendant une période.
- Tarissement d'un oued est défini comme la diminution ou la décroissance des débits en absence de la pluie ou fonte de la neige ce qui exprime la vidange de la nappe ou c'est la relation entre les nappes et l'oued.

Pour exprimer la décroissance du débit en fonction du temps, et déterminer le coefficient de tarissement. Maillet a établi en 1905 une formule exponentielle décroissante:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Q_t : Débit à l'instant t ,

Q_0 : Débit à l'instant t_0 ,

T : Temps en jours.

Le coefficient de tarissement α correspond à la pente que forme la courbe de tarissement avec l'horizontale

III.6.2. Calcul du coefficient de tarissement

A partir de la formule $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ on peut écrire :

$$\log Q_t = \log Q_0 - \alpha t \log e \quad \log Q_t = \log Q_0 - 0,4343 \alpha t$$

$$\alpha = \frac{\log Q_t - \log Q_0}{0,4343 t}$$

Ou par la méthode graphique :

$$Q = 0,004 e^{-0,026 t}$$

donc $\alpha = 0,026$

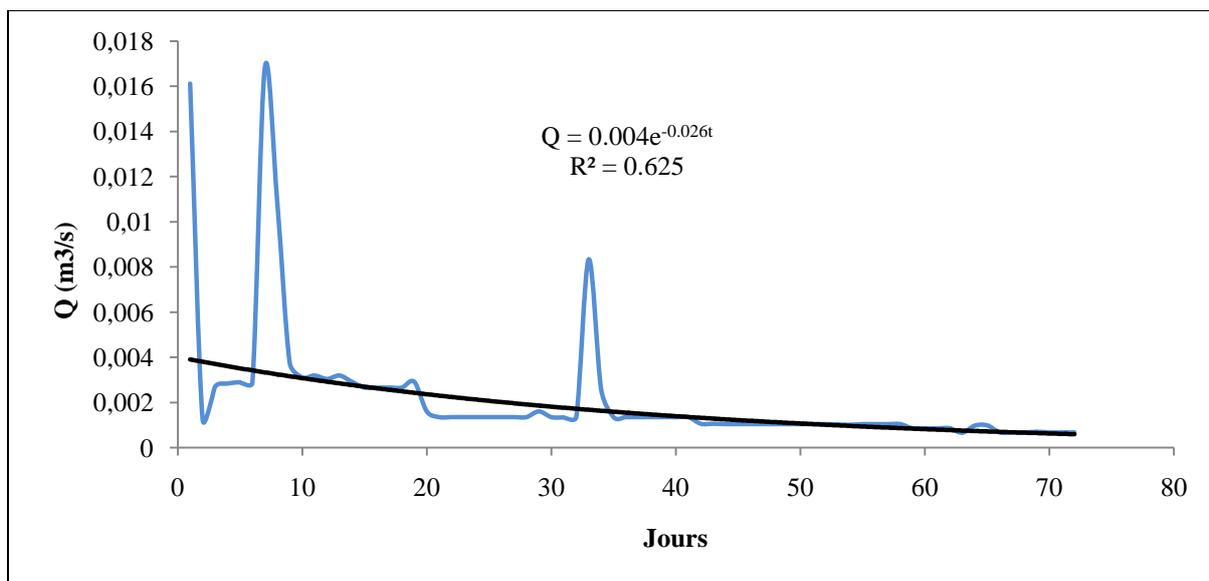


Figure.III.26 : Courbe de tarissement de l'oued

III.6.3. volume de la réserve hydrogéologique

Le volume des eaux souterraines échangées avec l'oued est l'intégrale de cette équation :

$$Q_t = Q = 0,004 e^{-0,026 t}$$

$$V = \int_0^{72} 0,004 e^{-0,026 t} dt$$

Ou par l'équation suivante :

$$V = \frac{Q_0 \times t}{\alpha}$$

$$Q_0 = 0,004 \text{ m}^3/\text{s} = 4 \text{ L/s}$$

$t = 72$ jours correspondant à l'étiage de l'oued

$$\alpha = 0,026$$

$$V = 957\,046 \text{ m}^3$$

On peut également connaître le temps avant le tarissement absolu du cours d'eau :

Si ce tarissement est assimilé aux débits inférieurs à 0,1 L/s

$\text{Log } Q_t = \text{log } Q_0 - 0,4343 \alpha t$

si $Q_t = 0,1 \text{ L/s}$ soit $\ln Q_t = -1$

$$t = \frac{\log Q_t + \log Q_0}{0,4343 \alpha}$$

$$t = \frac{\log Q_0 + 1}{0,4343 \alpha}$$

Si $Q_0 = 4 \text{ L/s}$ et $\alpha = 0,026$ on aura $t = 90$ jours.

C'est à dire qu'il reste une réserve hydrogéologique qui permet un débit supérieur à 0.1 litre/s pendant 90 jours.

Conclusion

- ❖ La région du bassin versant d'oued Boukiou est caractérisée par un climat semi-aride à hiver tempéré.
- ❖ La moyenne pluviométrique enregistrée sur une période de 44 ans est de 290.5 mm/an.
- ❖ Sur le plan mensuel, le mois de Février est généralement le plus humide, Juillet étant le plus sec.
- ❖ La température moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station Dj. Chouachi (1974/75-2017/18) est de 18°C.
- ❖ Le mois de Janvier est le plus froid de 10.80°C, Août est le mois le plus chaud.
- ❖ L'évapotranspiration réelle est de 290,5mm/an, et l'évapotranspiration potentielle importante égale à 905,25mm/an
- ❖ Le ruissellement calculé par la méthode de Tixeront-Berkaloff est de 9,95 mm/an.
- ❖ L'étude hydrologique de l'Oued Boukiou, nous montre que les modules annuels de la série (1974/75-2017/18) suivent une loi log normale.
- ❖ La lame d'eau écoulée moyenne annuelle est de 25,9mm/an.
- ❖ volume de la réserve hydrogéologique est de 957 046 m³

Chapitre IV

Etude socio-économique

Introduction

L'étude socio-économique vise à intégrer les outils des sciences économiques avec ceux de la sociologie afin d'examiner l'évolution économique des sociétés. L'étude socio-économique constitue la base de n'importe quel projet pour connaître les différents secteurs soit administratif, social ou économie.

La zone d'étude d'Oued Boukiou est caractérisée par de grandes surfaces agricoles qui ont un rendement relativement important. Ainsi l'agriculture constitue le secteur économique par excellence dans le bassin d'Oued Boukiou,

La nappe alluviale d'Oued Boukiou avec son inférox est destinée à l'irrigation de la vallée. Les retenues collinaires sont présentes dans toute la région, seulement compte tenu de la sécheresse et de l'envasement, le volume actuel en eau est pratiquement nul. On y dénote trois retenues (Oued Dienne, Oued Zailou et d'Oued Taddaght).

IV.1. Etude socio-économique de la vallée de Boukiou

La vallée de Boukiou rassemble 3 communes: Fellaoucene, Ain Fetah et Ain Kebira.

IV.1.1. Zone de Boukiou

Boukiou est un village situé sur les rives d'Oued Boukiou abritant 600 habitants (2008), un centre agricole important par sa production des légumes et aussi la production de paille et matières de construction ainsi que l'élevage.

Boukiou est alimenté en eau potable à partir de la station de dessalement de Honaine et deux forages, le premier de Zenaygha géré par l'ADE et le second de Sidi Laghrib destiné à l'irrigation des terrains agricoles de la région.

- Nombre d'habitants pour l'horizon 2030 ans :

$$P_F = P_0(1 + \alpha)^{(P_F - P_0)}$$

$$P_{2028} = 600(1 + 0,17)^{(2030 - 2008)}$$

α : Taux d'accroissement (%)

P_F : Population future.

P_0 : Population actuelle.

$$P_{2030} = 630 \text{ hab}$$

Tableau. IV.1. Installations publiques de la zone de Boukiou.

Installation publiques	Nombre
Ecole	02
Mosquée	02
Salle de soin	01

IV.1.2. Zone d'Ain Fetah

Ain Fetah est une commune de la daïra de Fillaoucene situé au Nord de la wilaya de Tlemcen. Son chef-lieu, Boutrak, est situé à environ 30 km. Le nombre d'habitants de la commune est 5640 hab en 2012.

Ain Fetah est alimentée en eau potable à partir de deux forages de Sidi Houari gérés par l'ADE, dont le premier débite à 20 L/s et le second à 27 L/s et à partir de la station de traitement de Bouhrara.

- Nombre d'habitants à l'horizon 2030:

$$P_F = P_0(1 + \alpha)^{(P_F - P_0)}$$

$$P_{2030} = 5640(1 + 0,4)^{(2030 - 2012)}$$

α : Taux d'accroissement (%) = 0,4%

P_F : Population future.

P_0 : Population actuelle.

$$P_{2030} = 6066 \text{ hab}$$

Tableau. IV.2. Installations publiques et administratives de la commune d'Ain Fetah.

Installations publique et administrative	Nombre
Ecole	02
Mosquée	04
Salle de soin	02
CEM	01
Siège APC	01
Gendarmerie	01
Maison de jeunes avec stade	01
Bibliothèque	01

IV.1.3. Zone de Fillaoucene

IV.1.3.1. Perspectives démographiques

La commune de Fillaoucene est située au Nord de la wilaya de Tlemcen. Son chef-lieu, Mehrez, est situé à environ 31 km au Nord-ouest de Tlemcen. L'évolution de la population est liée à la vocation agricole et agropastorale de la commune

Tableau .IV. 3: Perspectives démographiques.

Commune	Dispersion	2018	2028
Fillaoucene	ACL	8740	9910
	AS Meftahia	804	933
	AS Abdelkrim	517	600
	Zone éparse	297	346
	Total	10358	11789

IV.1.3 .2. Enseignement scolaire

Tableau IV.4 : Structures de l'enseignement.

Structures de l'enseignement	Nombre	Enseignants
Ecoles	05	35
CEM	01	31
Lycée	01	22

IV.1.3.3. Installation publiques

La carte en page suivante représente toute les installations publiques et administratives à travers la commune.

IV.1.3.4. Ressources et mobilisation des eaux

L'alimentation en eau potable de la commune s'effectue à partir du Forage (Ain Kébira) et principalement de la station de dessalement de Honaine d'une capacité de production 200 000 m³/j. La capacité globale de stockage de la commune s'élève à 2400 m³.

IV.1.3.5. Facteurs économiques

IV.1.3.5.1. Agriculture

Sur une superficie totale de 6870 ha de la commune : La superficie agricole totale représente 6035 ha, soit 87,20 % de la superficie totale de la commune (subdivision Filloucene).

Les forêts représentent 1000 ha soit 14,55 % de la superficie agricole totale, les terres en jachère 638 ha soit 10,57 % de la superficie agricole totale quant aux terrains en sec, ils représentent 5286 ha soit 72,42 % de la superficie totale de la commune. Les terres improductives représentent 276 ha soit 4,5 % de la superficie agricole totale.

Tableau IV.5 : Répartition des terres agricoles de la commune (Subdivision de l'agriculture, 2010).

Répartition des terres agricoles	Superficie	%
Superficie agricole totale (SAT)	6035	87,84
Superficie agricole utile (SAU)	5759	83,82
Terre en jachère	638	10,57
Terre en sec	5286	72,42
Terre improductive	276	4,5
Forêts et maquis	1000	14,55

IV.1.3.5.2. Type de spéculation

La répartition des terres agricoles par type de spéculation fait apparaître la prédominance des grandes cultures avec 2150 ha soit 35,62 % de la superficie agricole totale (SAT). Les plantations 635 ha soit 10,52% et les légumes secs 600 ha soit 10 % de la superficie agricole totale.

Tableau IV.6. Type de spéculation.

Type de spéculation	Superficie (ha)
Céréales	2150
Légumes secs	600
Plantations	635
Agrumes	60
Vigne	50

IV.1.4. Zone d'Ain Kébira

La commune d'Aïn Kebira est située au Nord-ouest de la wilaya de Tlemcen, à environ 36 km au Nord-ouest de Tlemcen c'est une zone rurale. Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la population de la commune a été évaluée à 4000 habitants.

Nombre d'habitants à l'horizon 2030.

$$P_F = P_0(1 + \alpha)^{(P_F - P_0)}$$

$$P_{2030} = 4000(1 + 0,4)^{(2030 - 2008)}$$

α : Taux d'accroissement (%) = 0,4%

P_F : Population future.

P_0 : Population actuelle.

$$P_{2030} = 4370 \text{ hab}$$

Les établissements scolaires sont au nombre de quatre (04) écoles et un (01) CEM.

IV.1.4.1. Installation publiques

Tableau .IV.7.installations publique et administrative de la zone de Ain kbira

Installation publique et administrative	Nombre
Siège de la municipalité	01 (Ain Kebira)
Annexe administrative (Molhaka)	01 (Hamri Ben Amer)
Salles multi-services	02 (Ain Kebira, Hamri Ben Amer)
Bibliothèque	01 (Hamri Ben Amer)
Maison de jeunes	01 (Ain Kebira).
Bureau de poste	01 (Ain Kebira).
Salles de soins	04
Stade municipal	01
Bureau des assurances	01

IV.1.4. 2. Activités

Les activités économiques de la région de Boukiou sont principalement agro-pastorales, on y distingue:

- Elevage, élevage de volaille au niveau de Hamri Ben Amer.
- Agriculture régulière: (Hashas, Hamri ben Amer).
- Agriculture améliorée: (Oulad Bouzbib).
- Pâturage.

IV.1. 4.3. Besoins en eau potable

Cette région est alimentée par une seule importante source nommée Ain Kebira qui assure l'alimentation en eau durant toute l'année.

IV.2. Activités agricoles de la vallée de l'oued Boukiou

IV.2.1. Cultures existantes dans la zone

IV.2.1. 1. Cultures maraichères

Les quelques cultures maraichères recensées à travers l'échantillon d'enquêtes apparaissent essentiellement dans les périmètres de oued Boukiou, Fillaoucene et Ain Fettah qui, pour la plupart des exploitations déclarant pratiquer le maraichage, il s'agit d'une ou plusieurs spéculations appartenant au groupe suivant: Pomme de terre, Poivron, Tomate.

IV.2.1. 2 Pomme de terre

Les exploitants enquêtés utilisent la pomme de terre saison et arrière-saison (fig. IV.1).



Figure IV.1 : Pomme de terre.

IV.2.1. 3. Tomates et Poivrons

Ce sont deux solanées de saison qui sont cultivées dans le bassin de Boukiou



Figure IV.2 Tomate de la région de Boukiou.



Figure .IV.3. Poivron

IV.2.1. 4. Oliviers



Figure .IV.4. Oliviers de la commune

Tableau.VI.8 Statistiques culturelles de la région de Fillaoucene

<i>Commune</i>	<i>années</i>	<i>Oliviers cultivés Surface (ha)</i>	<i>Orangers Surface (ha)</i>	<i>Mandariniers Surface (ha)</i>	<i>Clémentiniers Surface (ha)</i>	<i>Citronniers Surface (ha)</i>	<i>Blé dur Surface (ha)</i>	<i>Blé tendre Surface (ha)</i>	<i>Orge Surface (ha)</i>	<i>Avoine Surface (ha)</i>	<i>Pomme de terre Surface (ha)</i>
FILLAOUCENE	1999/20 00	100	48	0	19	3	35	20	5	5	10
	2000/2001	110	48	0	13	3	1400	530	400	70	10
	2001/2002	110	39	0	13	3	1000	450	250	35	5
	2002/2003	134	39	0	13	3	713	320	200	20	5
	2003/2004	134	7	0	13	3	800	400	250	20	5
	2004/2005	165	43	0	13	3					5
	2005 /2006	156	42	0	13	3	700	350	300	0	10
	2006 /2007	165	42	0	13	3	600	400	300	50	10
	2007/2008	180	42	0	13	3	600	700	300	50	3
	2008/2009	180	44	0	13	3	500	600	200	50	3
	2009/2010	182	44	0	13	3	700	900	500	50	5
	2010/2011	219	49	0	14	3	800	1100	500	50	10
	2011/2012	279	10	46	14	3	900	1000	700	50	10
	2012/2013	282	57	0	14	3	1000	1100	600	50	10
	2013/2014	282	64	0	10	3	1500	790	570	50	30
	2014/2015	362	59	0	14	3	950	1010	500	50	15
	2015/2016	385					950	600	500	50	15
2016 /2017	433	59	0	14	3	950	1000	510	50	15	
2017/2018	433					1050	780	730	50	25	

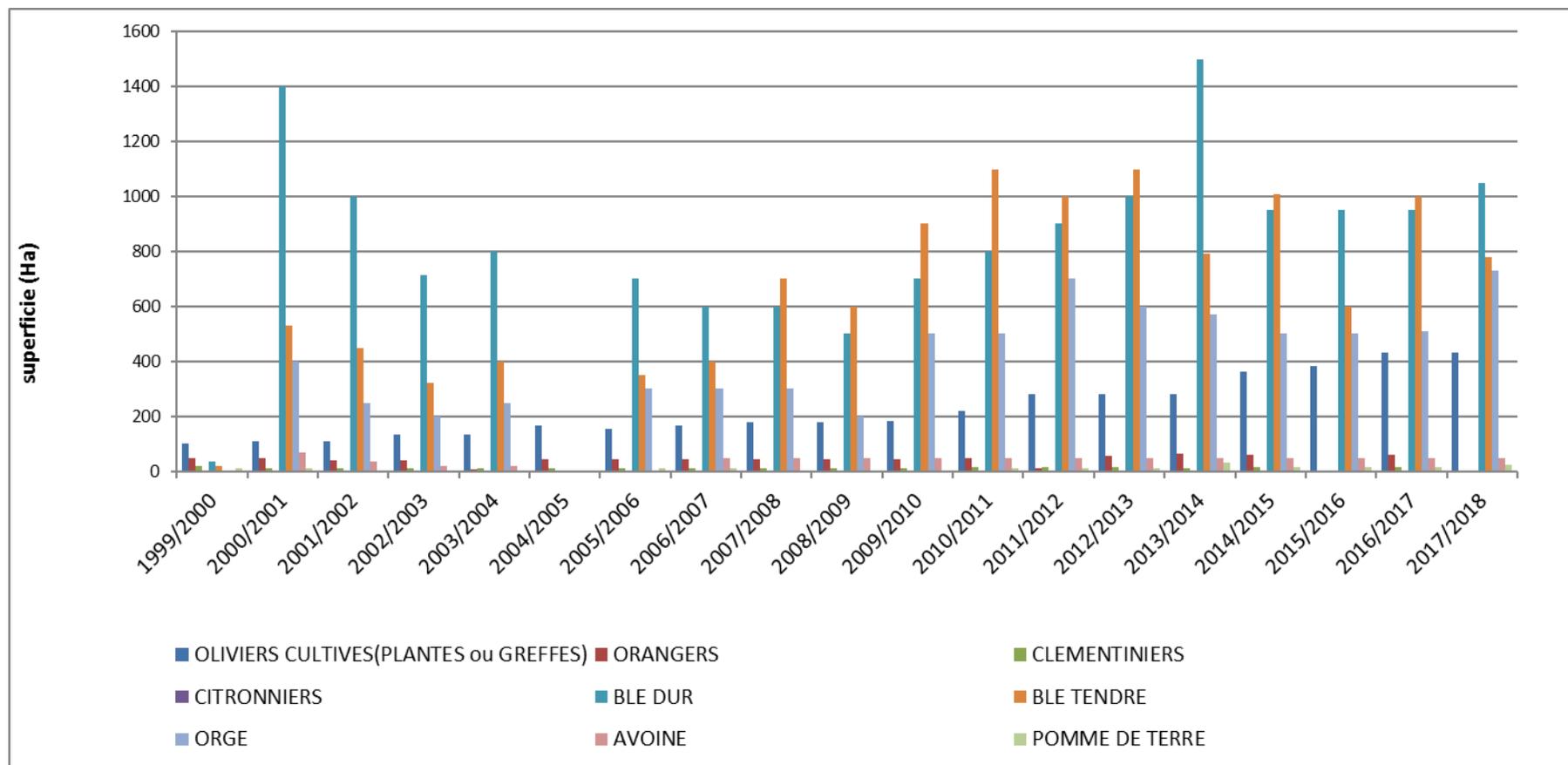


Figure .IV.5 : Histogramme des cultures existantes au niveau de la commune de Fillaoucène

Tableau. VI.9. Statistiques culturelles de la région d'Ain Kébira

<i>Communs</i>	<i>années</i>	<i>Oliviers cultivés Surface (ha)</i>	<i>Blé dur Superficie (ha)</i>	<i>Blé tendre Superficie (ha)</i>	<i>Orge Superficie (ha)</i>	<i>Avoine Superficie (ha)</i>	<i>Pomme de terre Superficie (ha)</i>
Ain Kébira	1999/2000	9	25	5	15	0	5
	2000/2001	9	300	30	200	10	5
	2001/2002	9	250	50	100	5	5
	2002/2003	16	150	100	90	10	5
	2003/2004	16	190	90	90	10	5
	2004/2005	18	170	80	80	10	5
	2005 /2006	20	200	100	100	0	10
	2006 /2007	18	200	150	100	20	5
	2007/2008	24	150	200	100	50	1
	2008/2009	30	150	150	100	50	1
	2009/2010	33	100	150	100	50	5
	2010/2011	45	140	150	100	50	5
	2011/2012	50	150	140	100	40	5
	2012/2013	50	150	140	100	40	5
	2013/2014	50	150	130	100	40	10
	2014/2015	50	140	120	100	50	5
	2015/2016	85	140	100	150	50	5
2016 /2017	85	140	100	120	50	5	
2017/2018	85	150	80	140	50	5	

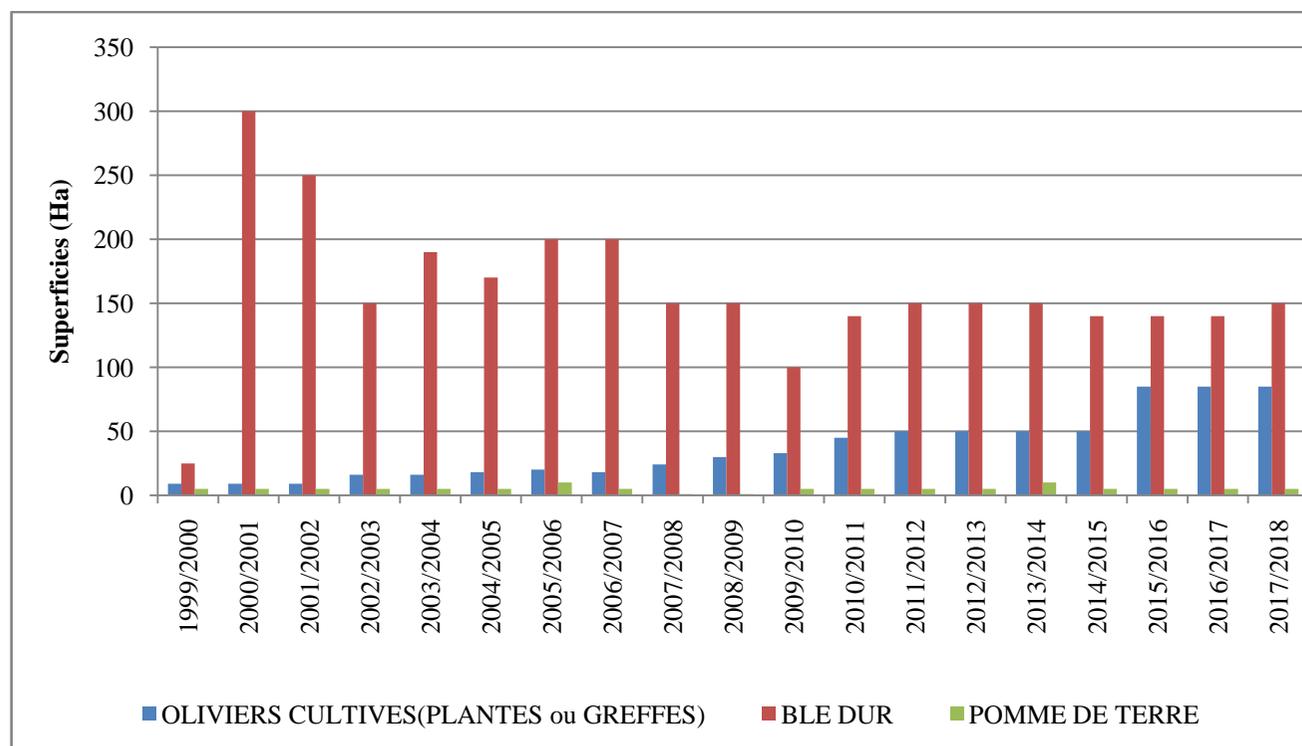


Figure .IV.6: Histogramme des cultures existant dans la commune d'Ain Kebira

Tableau.VI.10 Statistiques culturels de la région d' Ain Fettah.

<i>Communs</i>	<i>années</i>	<i>Oliviers cultives Superficie (ha)</i>	<i>Orangers Superficie (ha)</i>	<i>Mandariniers Superficie (ha)</i>	<i>Blé dur Superficie (ha)</i>	<i>Blé tendre Superficie (ha)</i>	<i>Orge Superficie (ha)</i>	<i>Avoine Superficie (ha)</i>	<i>Pomme de terre Superficie (ha)</i>
Ain FETTAH	1999/2000	24	2	0	10	5	10	5	30
	2000/2001	24	4	0	1600	500	400	80	30
	2001/2002	24	2	0	1200	400	350	100	20
	2002/2003	26	2	0	787	430	300	30	30
	2003/2004	26	10	0	1000	500	400	50	30
	2004/2005	37	10	0	950	435	400	50	20
	2005 /2006	52	10	0	800	400	400	0	30
	2006 /2007	37	10	0	700	500	400	50	20
	2007/2008	75	10	0	700	700	400	50	2
	2008/2009	100	10	0	500	500	400	40	2
	2009/2010	102	10	0	700	700	400	50	3
	2010/2011	126	14	0	760	700	400	50	5
	2011/2012	182	5	9	830	750	400	60	5
	2012/2013	195	14	0	840	800	400	60	5
	2013/2014	195	14	0	1500	700	400	60	30
	2014/2015	274		0	805	800	400	80	10
	2015/2016	280	27	0	800	600	400	100	10
2016 /017	275		0	805	800	400	80	20	
2017/2018	275	27	0					32	

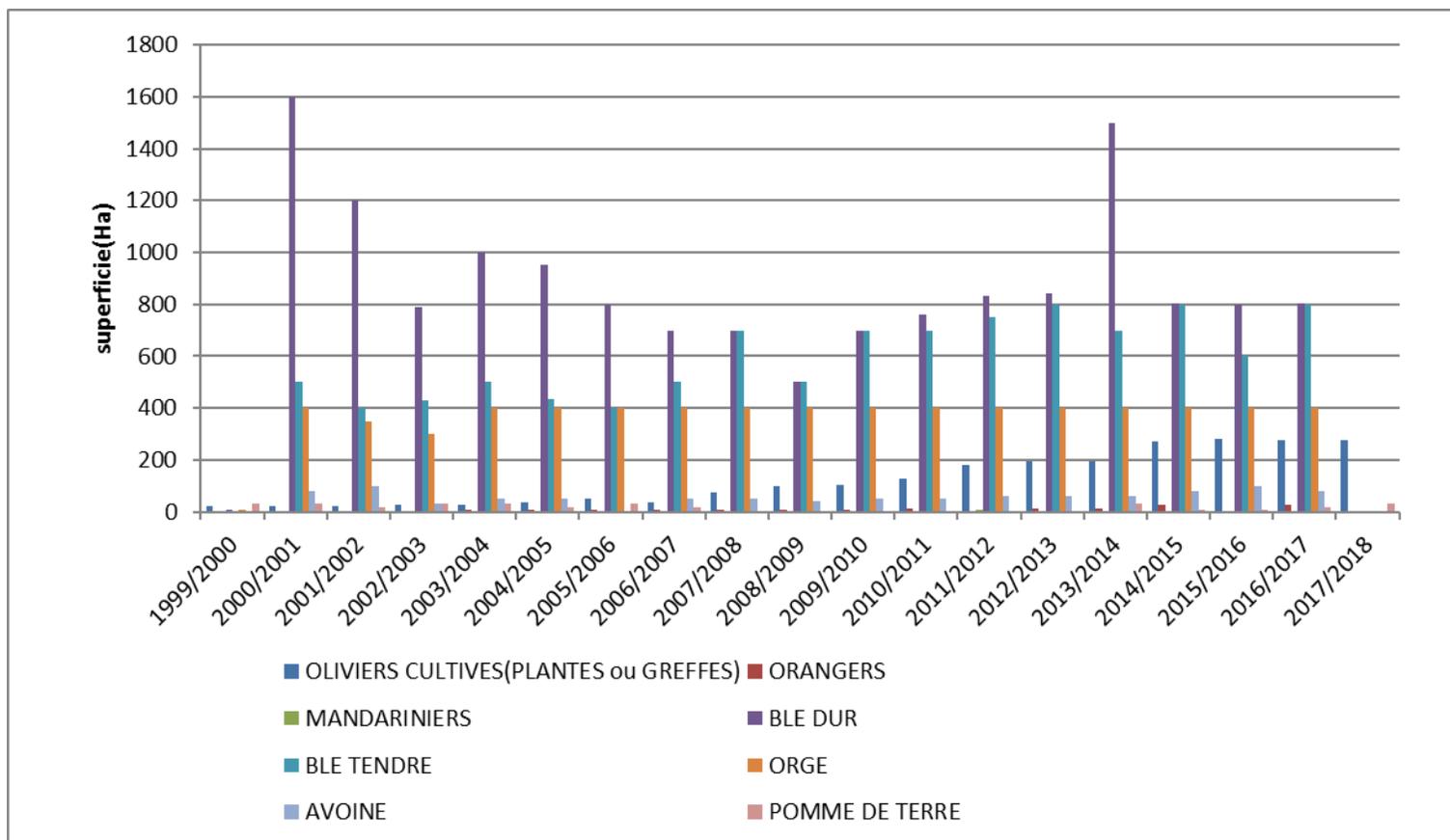


Figure .IV.7: Histogramme des cultures existant dans la commune d'Ain FETTAH

IV. 3. Calcul des besoins en eau d'irrigation

IV.3.1. Généralités sur les besoins en eau des cultures

L'état de la réserve en eau du sol peut être apprécié au moyen d'un bilan hydrique, qui fait intervenir les "entrées" en eau (pluie et irrigation) et les "sorties" (consommation par les plantes, drainage au-delà des racines). Cette approche simplifiée ne tient pas compte de remontées capillaires ni d'apports ou pertes par ruissellement, qui peuvent être significatifs dans certaines situations et qu'il est alors nécessaire d'intégrer au raisonnement.

Le bilan hydrique simplifié peut être exprimé comme suit :

Réserve actuelle = Réserve précédente + Pluie + Irrigation – consommation – drainage

Besoins nets = Prélèvement – fraction des précipitations stockées dans la zone racinaire - éventuelle réserve.

$$\text{Besoins} = \text{ETM} - \text{Pu} - \text{X RFU} \pm \Delta H$$

avec

ETM : Evapotranspiration de la culture (mm)

Pu : Précipitations efficaces (mm)

X RFU : Variation de la réserve en eau du sol (mm) , différence entre les quantités d'eau disponible dans la zone racinaire au début et à la fin de la saison végétative.

$\pm \Delta H$: Contribution de la nappe

- Les besoins en eau des cultures sont estimés en considérant que la consommation optimum est proportionnelle à l'évapotranspiration (ETP) :

$$\text{Consommation} = \text{KC} \times \text{ETP}$$

KC : Coefficient obtenu expérimentalement.

Les coefficients proposés correspondent à des cultures irriguées par aspersion. Ils intègrent les pertes d'efficacité dues aux pertes par évaporation. Pour les cultures irriguées par goutte à goutte, compte tenu de la meilleure efficacité du système, une légère réduction des apports d'eau peut être envisagée (-10%).

L'ETP retenue est l'ETP quotidienne calculée selon la formule de Penman Monteith (voir point 2. ci-après).

L'utilisation du bilan hydrique

Le bilan hydrique permet de suivre l'évolution de la réserve en eau du sol au cours du temps. L'utilisation d'un pas de temps hebdomadaire est en général convenable.

- Planification prévisionnelle : à partir des données météorologiques moyennes, le bilan hydrique permet de prévoir à priori les consommations des cultures et leur évolution au cours du temps.
- Conduite des irrigations : un bilan hydrique actualisé régulièrement constitue une base de raisonnement des irrigations et permet notamment de :
 - ✓ Situer le démarrage (ou la reprise) des irrigations,

- ✓ Déterminer la dose d'irrigation adaptée à une culture et une période donnée, des outils et des observations complémentaires permettent ensuite d'affiner les pratiques

Rappel : 1 mm = 1 litres par m² = 10 m³/ha

Pour appliquer correctement la consigne d'arrosage ainsi calculée, il est nécessaire de traduire cette dose en un temps d'irrigation ou en volume.

Tableau IV.11: Eléments du bilan hydrologique calculés (mm) pour la station de Dj Chouachi (1969/1970-2012/2013) (R.U= 90 mm) (Cf. Chapitre III)

	Sept	Oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	An
T°	23,63	19,65	15,21	12,2	10,9	11,8	13,6	15,5	18,55	22,50	25,90	26,6	18,00
P(mm)	10,2	21,2	45,5	32,0	38,5	47,2	37,2	27,5	23,1	3,7	0,9	3,6	290,5
I	10,5	7,9	5,4	3,9	3,2	3,7	4,6	5,5	7,3	9,7	12,1	12,5	
A	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	85,80
ETPnon cor(mm)	107,88	76,06	46,79	30,81	24,88	28,91	37,84	48,49	68,16	98,27	128,19	134,97	831,26
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,88	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETPcor(mm)	111,12	73,78	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	82,47	118,91	157,67	156,57	905,25
ΔU	-100,88	-52,57	5,25	5,77	16,58	22,63	-1,75	-25,36	-59,42	-115,25	-156,82	-152,93	
RU	0,00	0,00	5,25	11,02	27,59	50,22	48,47	23,11	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR	10,20	21,2	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	46,2	3,70	0,90	3,60	290,5
D.A	100,88	52,57	0	0	0,00	0	0	0	36,30	115,25	156,82	152,93	614,75
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pour une RU de 90 mm et une profondeur d'enracinement de 60 cm

IV. 3.2. Détermination des besoins en eau nets:

$$BNET \text{ (mm)} = (Kc.ETP) - Pu - (X.RFU) \text{ (mm)}$$

Kc : Coefficient cultural spécifique pour chaque culture en fonction de son stade végétatif,

ETP : Evapotranspiration (mm),

PU : Pluie utile qui est égale à 80% de la pluie moyenne mensuelle (mm).

X : Pourcentage de la réserve facilement utilisable du sol mobilisable qui dépend essentiellement du type de culture (dans notre cas égale à 0: cas le plus défavorable).

RFU : Réserve facilement utilisable (mm)

$$BNET(m^3) = BNET.ST.10 \quad (m^3)$$

ST : Surfaces totale en ha.

IV .3.3 Détermination des besoins eau bruts

On considère une efficience égale à 90% (irrigation par le système goutte à goutte qui est préconisé pour l'économie de l'eau)

$$BBRUTS \text{ (mm)} = BNET / 0.90$$

Tableau IV .12 : Calcul des besoins de la Pommes de terre (ST=60ha)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	TOTAL
Kc	0,20						0,25	0,40	0,70	1,00	0,80	0,40	
ETP(mm)	111,12	73,78	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	82,47	118,91	157,67	156,57	905,25
Pmoy(mm)	10,24	21,22	45,49	31,95	38,47	47,20	37,23	27,50	23,05	3,66	0,85	3,63	290,50
$P_U=0.8*P_{moy}(mm)$	8,19	16,98	36,39	25,56	30,78	37,76	29,78	22,00	18,44	2,93	0,68	2,91	232,40
BNET (mm)	14,03							00	39,29	115,98	125,46	59,72	353,62
BNET(m3)	8418,80							-	23573,66	69589,16	75274,39	35832,20	212172,74
BBRUT(m3)	9354,23							-	26192,96	77321,29	83638,21	39813,56	235747,49

Tableau IV .13 : Calcul des besoins des oliviers (ST=713ha).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	JUI	Aout	TOTAL
Kc	0,50						0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
ETP(mm)	111,12	73,78	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	82,47	118,91	157,67	156,57	905,25
Pmoy(mm)	10,24	21,22	45,49	31,95	38,47	47,20	37,23	27,50	23,05	3,66	0,85	3,63	290,50
$P_U=0.8*P_{moy}(mm)$	8,19	16,98	36,39	25,56	30,78	37,76	29,78	22,00	18,44	2,93	0,68	2,91	232,40
B _{NET} (mm)	47,37							4,43	22,80	56,53	78,16	75,38	284,65
B _{NET} (mm)	337730,62							31558,04	162530,57	403034,40	5080,09	537438,14	1477371,85
B _{BRUT} (mm)	375256,24							35064,49	180589,52	447816,00	5644,54	597153,48	1641524,28

Tableau IV .14 : Calcul des besoins pour la Tomate (ST=30ha) .

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	JUI	Aout	TOTAL
Kc	0,20						0,25	0,40	0,50	0,90	1,00	0,60	
ETP(mm)	111,12	73,78	40,24	26,19	21,89	24,58	38,98	52,85	82,47	118,91	157,67	156,57	905,25
Pmoy(mm)	10,24	21,22	45,49	31,95	38,47	47,20	37,23	27,50	23,05	3,66	0,85	3,63	290,50
$P_U=0.8*P_{moy}(mm)$	8,19	16,98	36,39	25,56	30,78	37,76	29,78	22,00	18,44	2,93	0,68	2,91	232,40
BNET(mm)	14,03							0,00	22,80	104,09	156,99	91,03	388,94
BNET(m3)	4209,40							0,00	6838,59	31227,00	47097,62	27310,11	116682,72
BBRUT(m3)	4677,11							0,00	7598,44	34696,67	52330,68	30344,57	129647,47

Tableau IV. 15 Besoin en eaux de la vallée de Boukiou

Culture	Surface agricole (ha)	Besoins en eau (m ³)
Olivier	713	1 641 524,28
tomate	30	129 647,47
Pomme de terre	60	235 747,49
Total	2808	2 006 919 ,24
Débit de source (1,5 L/S)	11 puits	473 040

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons calculé les besoins en eau de chaque culture existant dans la vallée de Boukiou avec un offre potentielle en trouve que :

- superficielle $L_e = 26$ mm et Volume = 3 Hm³/an .
- souterraine de 0,9 Hm³/an.
- Besoins d'irrigation 2 Hm³/an.
- Volume exploités par les agriculteurs 1 Hm³/an.
- Déficit d'irrigation 1 Hm³/an

Nous trouvons que le volume donné par les forages est inférieur au besoin en eau pour l'agriculture.

Les capacités souterrains presque dépasser par les pompages donc recours aux eaux superficielle ,en pense au conception d'une retenue collinaire .

Chapitre V

Etude de faisabilité de la retenue collinaire

Introduction

L'étude Socio-économique de la région du bassin d'oued Boukiou et la détermination des besoins en eau nécessaires aux activités économiques plus particulièrement l'agriculture a montré après confrontation avec la ressource disponible qu'il existe un déficit d'eau à mobiliser pour assurer la préservation de ces activités économiques et la stabilité sociale de la population de la région. En effet, l'irrigation est assurée principalement par les eaux de la nappe alluviale de la vallée de Boukiou qui occupe les alluvions du lit de l'oued en constituant un inféoflux et qui s'étend sur les berges immédiates de l'oued au niveau de la plaine dans les formations d'alluvions anciennes et de limons sableux du Plio-quadernaire. Les volumes pompés d'environ 957 046 m³/an n'arrivent pas à assurer les besoins des différentes cultures maraichères (pomme de terre, tomate, poivrons et autres) réputées dans la région par leur qualité. Aussi, la nappe de la vallée de Boukiou est en grande partie alimentée par les écoulements de l'oued lors des crues, cependant, une grande partie de ces eaux superficielles atteignent rapidement le cours de la Tafna même avant saturation complète des zones non saturées de l'aquifère alluviale et n'assure pas la recharge maximale de la nappe. Pour remédier à cette situation et essayer d'améliorer cette recharge, nous avons pensé à l'installation d'une digue ou retenue régulatrice qui pourra retarder momentanément l'écoulement à l'aval du bassin pour qu'après les décrues et au moment des étiages permettre une recharge de la nappe en effectuant des lâchées des eaux arrêtées par la digue de la retenue ou concevoir un système capable à la fois de retenir l'excès des écoulements lors des crues sans contrecarrer l'écoulement souterrain de l'inféoflux en amont de la vallée.

V.1. Choix du site de la retenue

Sur la base principalement de critères topographiques et géologiques, le site de la retenue a été choisi pour être le plus proche de la plaine de Boukiou au niveau d'un étranglement (vallée encaissée)(fig.V.1) possédant des rives assez élevées et formées par des roches cohérentes (formations schisteuses et granitiques du Paléozoïque) avec en amont une zone assez large pour permettre l'aménagement d'une cuvette. Sur la carte d'état major d'oued Boukiou (fig.V.2), l'emplacement choisi se situe près du lieu-dit « Dar Sfaïf » entre Djebel Nador à Gauche et El Krouane à droite. A partir de ce point choisi le sous bassin concerné par la digue ou l'aménagement envisagé aura de nouvelles caractéristiques que nous déterminerons dans ce qui suit.

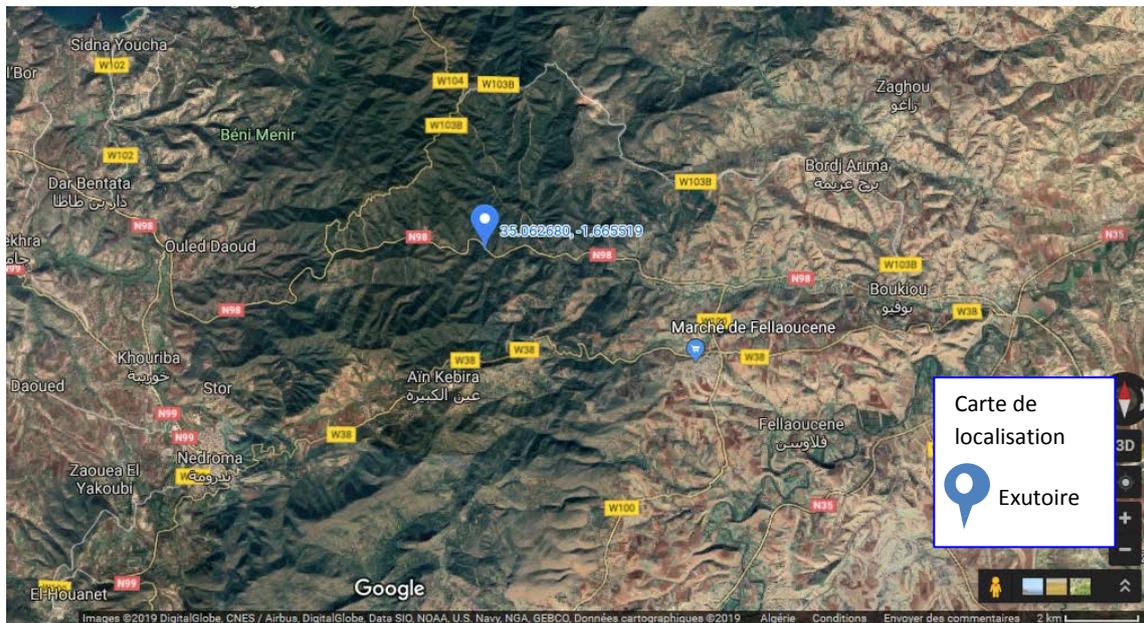


Figure V.1. Situation géographique de sous bassin de la retenue collinaire .

Carte d'état majeure de sous bassin versant d'oued Boukiou.



V.2. Morphométrie

V.2.1. Caractéristiques géométriques

V.2.1.1. Superficie et périmètre

La surface du sous bassin versant de la digue de l'oued Boukiou est de 41.98 km².
La sous bassin versant de la digue de Boukiou possède un périmètre de 31,41 km.

V.2.2. Caractéristiques de forme

V.2.2.1. Indice de compacité de Gravelius

$$KG = \frac{p}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

avec

KG : Indice de compacité de Gravelius,

A : Surface du sous bassin versant [km²] = 41.98 km²

P : Périmètre du sous bassin versant [km] = 31,41 km

Pour :

KG < 1 : la forme du bassin versant est quasiment circulaire,

KG > 1 : le bassin est de forme allongée.

Pour le sous bassin d'oued Boukiou, KG = 1.35, ce qui traduit un bassin moyennement allongé

V.2.2.2. Rectangle équivalent

$$P = 2(L + l) = \frac{KG \cdot \sqrt{A}}{0.28}$$

L : Longueur du rectangle équivalent [km]

l : Largeur du rectangle équivalent [km]

$$L = \frac{KG \cdot \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KG} \right)^2} \right] \quad \text{et} \quad l = \frac{KG \cdot \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KG} \right)^2} \right]$$

On obtient L = 12,20 km et l = 3,44 km

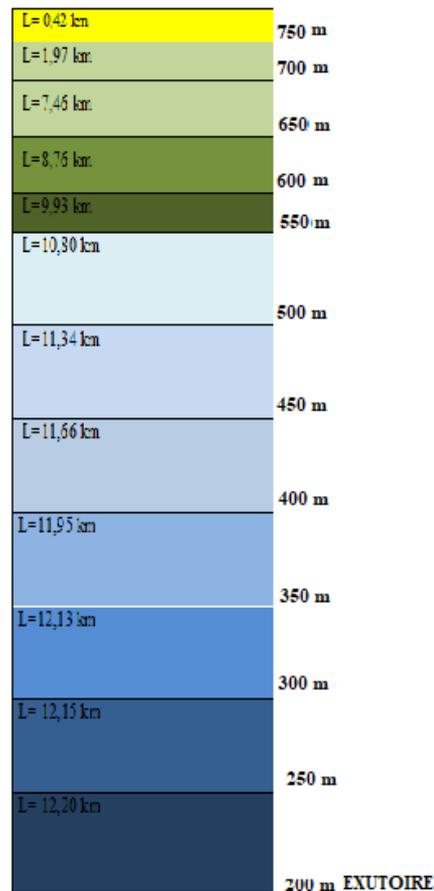


Figure V.3. Rectangle équivalent du sous bassin versant de la digue sur oued Boukiou

V.2.2.3. Facteur de forme

$$Rf = \frac{A}{L^2}$$

A : surface du bassin versant [km²]

L : Longueur du bassin versant entre l'embouchure et le point le plus éloigné [km] = 12,20 Km,

avec un **Rf = 0.28**, le bassin versant est plus long que large

V.2.2.4. Coefficient de circularité

$$Rci = \frac{4 A\pi}{P^2}$$

Rci = 0.53 exprime la jeunesse du bassin

V.2.3. Etude du relief

V.2.3.1. Hypsométrie

Tableau.V.1 : Répartition Hypsométrique du sous bassin versant d'Oued Boukiou

Tranche d'altitudes (m)	Surface partielle Ai ((Km2)	Surface partielle Ai (%)	Surface cumulée Ai (km2)	Surface cumulée (%)	Dénivelé (m)
780-750	0.15	0.36	0.15	0.36	30
750-700	0.08	0.19	0.23	0.55	50
700-650	0.63	1.51	0.86	2.06	50
650-600	0.99	2.36	1.85	4.42	50
600-550	1.12	2.67	2.97	7.09	50
550-500	1.84	4.38	4.81	11.47	50
500-450	2.99	7.12	7.8	18.59	50
450-400	4.02	9.58	11.82	28.17	50
400-350	4.49	10.7	16.31	38.87	50
350-300	18.87	44.94	35.18	83.81	50
300-250	5.36	12.76	40.54	96.57	50
250-200	1.44	3.43	41.98	100	50

La courbe hypsométrique (fig.V.4) a une allure qui semble assez régulière vers le bas, à partir de 400m d'altitude et présente une concavité vers le haut témoignant d'une érosion à une époque récente, indiquant ainsi l'état de « vieillesse » du sous bassin.

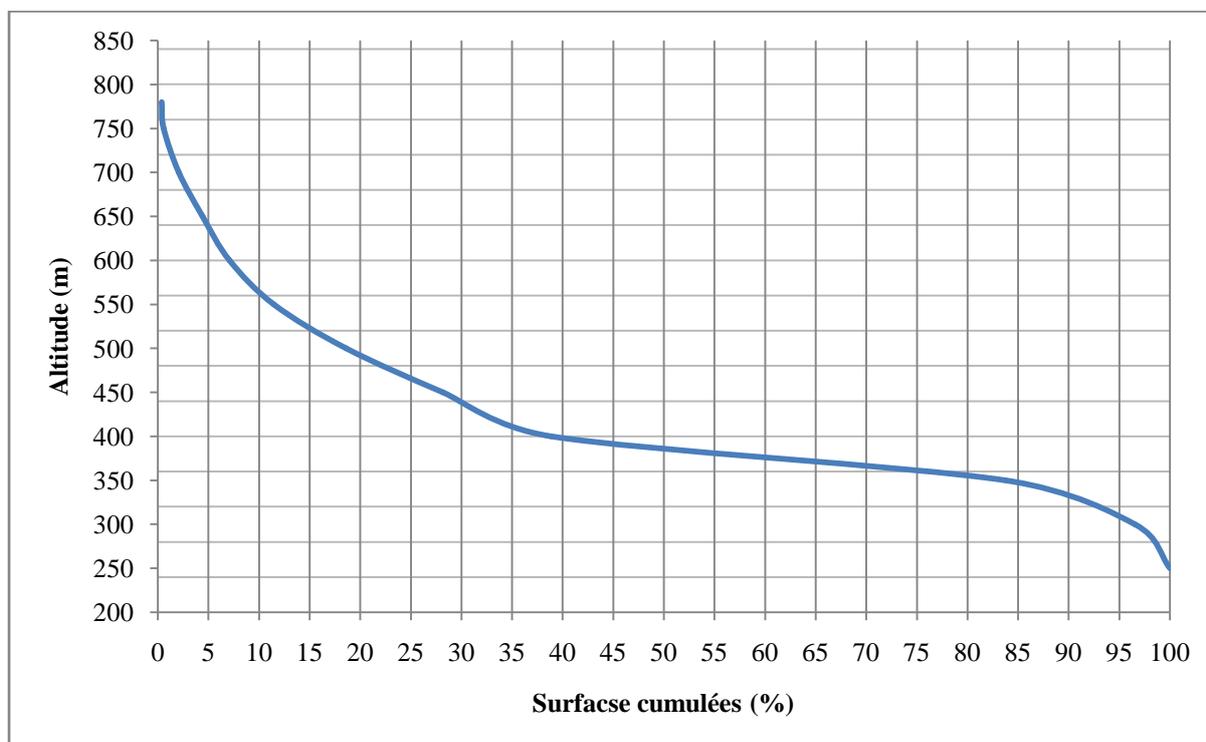


Figure .V.4 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant d'oued Boukiou

V.2.3.2. Altitudes Caractéristiques

$$H_{\text{moy}} = H_{\text{min}} + H_{\text{max}} / 2$$

$$H_{\text{min}} = 200 \text{ m}$$

$$H_{\text{max}} = 780 \text{ m}$$

$$H_{\text{moy}} = 490 \text{ m}$$

Tableau V.2: Altitudes caractéristiques du sous bassin d'oued Boukiou

Bassin Versant (m)	Altitude Maximale (m)	Altitude Minimale (m)	Altitude 50% (m)	Altitude Moyenne (m)	H5% (m)	H95% (m)	Observation
Boukiou	780	200	385	490	600	290	Vieux

V.2.3.3. Indices de pente

Indice de pente de Roche (Ip)

Ip est donné par la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n = 1 \sqrt{B_i [a_i - (a_i - 1)]}$$

avec :

Ip : indice de pente ([m/m]).

L : Longueur du rectangle équivalent (m).

Bi : Fraction de la longueur du rectangle équivalent (%)

ai : fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau

$$I_p = 0,6 \%$$

Indice de pente global Ig

$$D = H_5 - H_{95} = 350 \text{ m}$$

$$I_g = \frac{D}{L}, \quad I_g = 0,028 \text{ [m/m]} = 28,7 \text{ m/km}$$

avec :

Ig : Indice de pente global de Roche [m/m].

D : Dénivelée D = H5% - H95% [m]

L : Longueur du rectangle équivalent [m]

H : Altitude exprimé en [m]

V.2.3.4. Dénivelée spécifique (Ds)

$$D_s = I_g \times A^{1/2} = 28,7 \times 41,98^{1/2}$$

$$D_s = 185,9 \text{ m}$$

V.2.3.5. Classification du sous bassin versant d'oued Boukiou

On se réfère généralement à la classification dressée par l'O.R.S.T.O.M. (Tab. II.5), pour classer le bassin versant en fonction de son relief.

Tableau.V.3.classification de l'O.R.S.T.O.M

Relief	Valeur de I_g [m/km]		Valeur de D_s [m]
1	Relief très faible	$I_g < 0.002$	$D_s < 10$
2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$	$10 < D_s < 25$
3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$	$25 < D_s < 50$
4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$	$50 < D_s < 100$
5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$	$100 < D_s < 250$
6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$	$250 < D_s < 500$
7	Relief très fort	$I_g > 0.5$	$D_s > 500$

- $0,02 < I_g < 0,05$ classification de l'O.R.S.T.O.M. (Tab. II.4) que le bassin de l'Oued Boukiou présente un relief assez fort.
- La valeur élevée de D_s (Tab.II.4), traduit bien l'importance du volume montagneux et relief assez fort

Tableau V.4 : Valeurs des indices de pente et reliefs du sous bassin de Oued Boukiou

Bassin versant	I_p [m/m]	I_g [m/m]	Relief selon I_g	D_s [m]	Relief selon D_s
Oued boukiou	0,6	0,028	assez fort	185,9	Relief assez fort

Tableau V.5 : Classification des bassins versants selon leur superficie

Très petit bassin versant	Petit bassin versant	Grand bassin versant	Très grand bassin versant
$0 < A < 10 \text{ km}^2$	$10 < A < 200 \text{ km}^2$	$200 < A < 2000 \text{ km}^2$	$A > 2000 \text{ km}^2$

V.3. Détermination des Paramètres hydrologiques pour la conception d'une retenue

V.3. 1. Analyse fréquentielle des précipitations journalières maximales

Tableau .V.6.Variation des précipitations max journalières de station Dj.Chouachi
(1974-1975/2017-2018)

années	Pjmax(mm)	Années	Pj max(mm)
1974-1975	49,4	1996-1997	29,2
1975-1976	33,2	1997-1998	16,7
1976-1977	31,3	1998-1999	73,4
1977-1978	32,1	1999-2000	20,1
1978-1979	28,5	2000-2001	28,8
1979-1980	35,5	2001-2002	85,5
1980-1981	60,2	2002-2003	75,5
1981-1982	15,8	2003-2004	62,3
1982-1983	22,6	2004-2005	72,4
1983-1984	39,8	2005-2006	52,8
1984-1985	32,9	2006-2007	64,2
1985-1986	41	2007-2008	40
1986-1987	30,8	2008-2009	125
1987-1988	20,6	2009-2010	82
1988-1989	48,6	2010-2011	57
1989-1990	24,2	2011-2012	37,7
1990-1991	24,5	2012-2013	88
1991-1992	30,8	2013-2014	34,2
1992-1993	57,6	2014-2015	35,2
1993-1994	47,8	2015-2016	24,3
1994-1995	37	2016-2017	57
1995-1996	19,7	2017-2018	25,9
Moyenne	44,34		
Variance	538,27		
Ecart type	23,20		

V.3.1.1. Calcul des Ajustements de la série des Pj max de la station de Djebel Chouachi à la loi Log-Normale

La moyenne : $Pmoy = \frac{1}{n} \sum pi$

La variance est définie par : $V = \frac{1}{n-1} (xi - Pmoy)^2$

L'écart type sera : $\sigma = \sqrt{V^2}$

- classer les valeurs de la série par ordre croissant (fréquence au non dépassement),
- affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées ;
- calculer la fréquence expérimentale par une formule empirique ; pour les lois à 2 paramètres, cas de la loi log normale, la formule de Hazen est appliquée $F(x) = (m-5) / N$
- travailler avec la variable réduite u et tracer le graphe $\ln P_{jmax} = f(u)$;

Tableau V.7. Distribution des précipitations max journalières en terme croissant de la station de Dj. Chouachi sur la période de 1974-1975 à 2017-2018

Rang	Années	Pjmax	Ln Pjmax	F	u de Gauss	Rang	Années	Pjmax	Ln Pjmax	F	u de Gausse
1	1981-1982	15,8	2,8	0,01	-2,28	23	1994-1995	37	3,6	0,51	0,03
2	1997-1998	16,7	2,8	0,03	-1,82	24	2011-2012	37,7	3,6	0,53	0,08
3	1995-1996	19,7	3,0	0,06	-1,58	25	1983-1984	39,8	3,7	0,56	0,14
4	1999-2000	20,1	3,0	0,08	-1,41	26	2007-2008	40	3,7	0,58	0,2
5	1982-1983	20,6	3,0	0,10	-1,27	27	1985-1986	41	3,7	0,60	0,26
6	1982-1983	22,6	3,1	0,13	-1,15	28	1993-1994	47,8	3,9	0,63	0,32
7	1989-1990	24,2	3,2	0,15	-1,05	29	1988-1989	48,6	3,9	0,65	0,38
8	2015-2016	24,3	3,2	0,17	-0,95	30	1974-1975	49,4	3,9	0,67	0,44
9	1990-1991	24,5	3,2	0,19	-0,87	31	2005-2006	52,8	4,0	0,69	0,51
10	2017-2018	25,9	3,3	0,22	-0,79	32	2010-2011	57	4,0	0,72	0,57
11	1978-1979	28,5	3,3	0,24	-0,71	33	2016-2017	57	4,0	0,74	0,64
12	2000-2001	28,8	3,4	0,26	-0,64	34	1992-1993	57,6	4,1	0,76	0,71
13	1996-1997	29,2	3,4	0,28	-0,57	35	1980-1981	60,2	4,1	0,78	0,79
14	1986-1987	30,8	3,4	0,31	-0,51	36	2003-2004	62,3	4,1	0,81	0,87
15	1986-1987	30,8	3,4	0,33	-0,44	37	2006-2007	64,2	4,2	0,83	0,95
16	1976-1977	31,3	3,4	0,35	-0,38	38	2004-2005	72,4	4,3	0,85	1,05
17	1977-1978	32,1	3,5	0,38	-0,32	39	1998-1999	73,4	4,3	0,88	1,15
18	1984-1985	32,9	3,5	0,40	-0,26	40	2002-2003	75,5	4,3	0,90	1,27
19	1975-1976	33,2	3,5	0,42	-0,2	41	2009-2010	82	4,4	0,92	1,41
20	2013-2014	34,2	3,5	0,44	-0,14	42	2001-2002	85,5	4,4	0,94	1,58
21	2014-2015	35,2	3,6	0,47	-0,08	43	2012-2013	88	4,5	0,97	1,82
22	1977-1978	35,5	3,6	0,49	-0,03	44	2008-2009	125	4,8	0,99	2,28

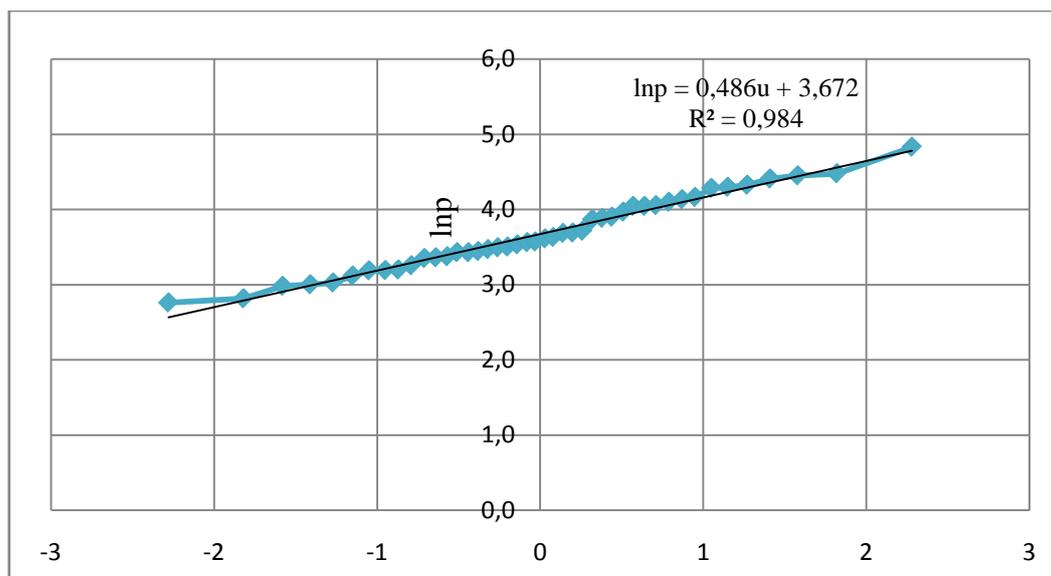


Figure .V.5. Ajustement graphique des précipitations journalières maximales à la loi log normale.

$$\ln P_{jmax}(\%) = 0,486u + 3,672$$

- **Calcul des quantiles**

Une fois l'adéquation vérifiée, il faut procéder au calcul des quantiles en appliquant l'équation de la droite.

Pour T = 10 ans, F(x) = 0,10 = 10%

D'où u (lue sur la table de Gauss) = 1,28

lnP_{jmax} 10% = 4,29408 mm, d'où P_{jmax} 10% = 73,3 mm

Pour T = 50ans F(x) = 0,02 = 2%

D'où u (lue sur la table de Gauss) = 2,05

lnP_{jmax} = 4,66mm d'où P_{jmax}2% = 106,5mm

Pour T = 100ans F(x) = 0,01 = 1%

d'où u (lue sur la table de Gauss) = 2,33

lnP_{jmax} = 4,80mm d'où Pan, 1% = 122,0 mm

Pour T = 1000ans F(x) = 0,001 = 0,1%

d'où u (lue sur la table de Gauss) = 3,29

lnP_{jmax} = 5,27 mm d'où P_{jmax} 0,1% = 194,6mm

Tableau V.8 : Calcul des précipitations pour différentes périodes de retour.

Période de retour T (ans)	10	50	100	1000
Variable réduite de Gauss	1,28	2,05	2,33	3,29
lnp _{jmax} pour une période de retour T (mm)	4,29	4,66	4,80	5,27
P _{jmax} (mm)	73,3	106,5	122,0	194,6

V.3.2. Estimation du temps de concentration

Le temps de concentration est la durée que met la phase maximale d'une crue pour couvrir une distance donnée dans un cours d'eau. L'estimation du temps de concentration est faite à partir des différentes formules suivantes:

- **Formule de Giandotti**

développée en Italie et est la plus utilisée, elle s'exprime comme suit :

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

avec :

- L : Longueur du cours d'eau principale = 4,23 km.
- S : Superficie du bassin versant = 41,98 km².
- Hmoy : Altitude moyenne = 490 m.
- Hmin: Altitude minimale, = 200 m.

$$tc = 2,37h$$

- **Formule de Kirppich**

Développé en Pennsylvanie, elle s'exprime par:

$$tc = 0,945 \frac{L^{1,115}}{(H_{max} - H_{min})^{0,385}}$$

- L : Longueur du cours d'eau principale, = 4,23km.
- Hmin: Altitude minimale, = 200 m
- Hmin: Altitude maximale , = 780 m

$$tc = 0,4 h$$

- Formule de Bourrier

$$tc = 4 \left(\frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}} \right)^{0,75}$$

- L : Longueur du cours d'eau principale = 4,23 km.
- S : Superficie du bassin versant = 41,98 km².
- P : Périmètre du bassin versant = 31,41km.

$$tc = 4h$$

- Formule de Passini

$$tc = \left(\frac{4\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}} \right)^{0,75}$$

- L : Longueur du cours d'eau principale = 4,23 km.

- S : Superficie du bassin versant = 41 ,98 km².
- I : pente de l'oued principale =28,9%

$$tc = 1,53h$$

- Formule de S.C.S :

$$Tc = (0,87 \frac{L^3}{H})^{0,385}$$

$$Tc = 0,46h$$

Tableau V.9. Valeurs du temps de concentration calculé par différentes méthodes

Formule utilisée	Temps de concentration
Giandotti	2,37h
Kirpich	0,4h
Bourrier	4h
Passini	1,53h
S. C. S	0,46h

$$tc_{moy} = 2 h$$

V.3.3. Pluie de durée égale au temps de concentration

Elle est donnée par la relation suivante et les résultats sont consignés dans le tableau V.11

$$Ptc = pjmax(\%) \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

Ptc : Pluie de durée égale au temps de concentration (mm).

Pjmax (%) : Pluie journalière d'une fréquence P%, (mm).

t : Temps (1,2,.....72) (heure).

b : Coefficient climatique.= 0,33

Tableau V.10.calcul de pluie égale au période de retour et les fréquences

Periode de retour	Pjmax%
10	73,3
50	106,5
100	122,0
1000	194,6

V.3.4. Pluie max journalière :

Ce paramètre est obtenu par la relation de Montana :

$$P_{tc} = p_{jmax}(\%) \left(\frac{tc}{24}\right)^b$$

Tableau V.11. Variation des pluies maximales journalières et des pluies de durée égale au temps de concentration en fonction des fréquences

Période de retour	P _{jmax} %	P _{tc} (mm)
10	73,3	31,12
50	106,5	45,2
100	122,0	51,80
1000	194,6	82,62

V.3 .5. Etude des apports liquides

L'étude de ces apports permet de déterminer le volume maximum utilisable de la retenue et vérifier que le volume trouvé est suffisant pour les besoins agricoles.

V.3 .5.1. Apport moyen annuel

L'apport moyen annuel est déterminé par les relations empiriques, faute de l'absence de données de jaugeage.

Formule de DERRI 1

$$A_0 = K \cdot M_0 \cdot S$$

$$M_0 = 11,8 \cdot P^{2,82} = 0,36 \text{ L/s/km}^2$$

$$\text{et } K = 31,54 \cdot 10^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles = 0,2905m.

S : Superficie du bassin versant en Km².

$$A_0 = 478\,473,88\text{m}^3$$

Formule SAMIE

La lame d'eau écoulée est donnée par la relation suivante :

$$Le = (293 - 2,2\sqrt{S}) \times P^2$$

P : Précipitations moyennes annuelles en m.

S : Superficie du bassin versant en km².

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = Le(m) \times S(m)$$

$$Le = 22,4mm$$

$$A_0 = 942\,031,2 \text{ m}^3/\text{an}$$

Formule de Coutagne

$$A_0 = Le \times S$$

$$Le = (0,164 - 0,00145\sqrt{S}) \times P$$

$$Le = 45mm$$

$$A_0 = 1889\,390,1 \text{ m}^3/\text{An}$$

Formule de Adjel-Smail

$$Le = 11,7e^{3,81P}$$

$$Le = 35,38 \text{ mm}$$

$$A_0 = 1\,485\,252,4 \text{ m}^3/\text{an}$$

Tableau V .12. Variation des Apports moyens annuels

Modèle	Samie	DERI	Coutagne	Adjel-Smail
Apports (m ³ /an)	942 031,2	478 473,88	1 889390,1	1 485 252,4
$A_0 = 710\,252,54 \text{ m}^3/\text{an}$				

V.3.4.2. Estimation de l'Apport fréquentiel

$$App_{80\%} = \frac{A_0}{\sqrt{cv^2 + 1}} e^{u \sqrt{\ln[(cv^2 + 1)']}}$$

U= -0,842 (pour une fréquence de 80%)

Cv : Coefficient de variation calculé à partir du module spécifique de l'apport moyen interne annuel.

$$Cv = \frac{0,7}{M0^{0,125}} = 0,79$$

PADOUN

$$CV = \frac{0,93}{M0^{0,23}} K = 1,17$$

Donc, on prend la moyenne de **cv=0,98**.

K=1 pour les cours d'eau temporaires.

$A_0 =$ Apport moyen annuel = 710 252.54m³/an

$$App_{80\%} = 254\,225,617 \text{ m}^3/\text{an}$$

V.3.6. Etude des crues

V.3.6.1. Débit maximal :

Model de sokolovsky

$$Q_{max} = \frac{0,28. Ptc. C. S}{T_c} f$$

- Coefficient de ruissellement C

Il dépend des facteurs topographiques, géologiques, pédologiques du bassin et de la végétation qui conditionnent.

La circulation superficielle ou souterraine de l'oued dépend aussi de la température de l'humidité, de l'évaporation et du régime pluviométrique.

L'eau ruisselle beaucoup plus lorsque le sol est saturé et lorsque l'intensité de l'averse est supérieure à la vitesse d'absorption.

Tableau .V.13. Valeurs du ruissellement du bassin versant

Formation géologique	Observation	Surface (%)	Coefficient de ruissellement
Granites et schistes paléozoïques	Semi perméable	70	0,5
Alluvions quaternaires	Imperméable	15	0,7
Grés, argile et marnes miocènes	Perméable	15	0,2

$$C=0,5 \times 0,7 + 0,15 \times 0,2 + 0,15 \times 0,7$$

$$C=0,48, \text{ nous prenons } C=0,5$$

Tableau. V.14 . Période de retour avec les débits de crues

T(an)	Ptc (mm)	Q (m ³ /s) (Sokolovsky)
10	31,12	25,40
50	45,2	36,9
100	51,80	42,28
1000	82,62	67,44

V.3.6.2. Volume de la crue

$$V_{max} = \frac{Q_{max} . tc}{f}$$

Tableau .V.15. Evaluation des volumes des crues en fonction des fréquences

T(an)	Q (m ³ /s)	Volume (m ³)
10	25,40	182 880
50	36,9	265 680
100	42,28	304 416
1000	67,44	485 568

V .3.6.3.Hydrogramme des crues

$$Qc = Qmax\left(\frac{t}{tc}\right)^2$$

$$Qd = Qmax\left(\frac{td - t}{td}\right)^3$$

$$Td = C * Tm$$

C= 3, petits cours d'eau et les vallons dans les BV boisés ou perméables

Tableau V .16. Paramètres pour tracer l'hydrogramme de crue de fréquence 0,1%

T(h)	Qc (m ³ /s)	Td-t	Qd (m3 /s)
0	0		
0,5	2,64		
1	10,57		
1,5	23,78		
2	42,28	4	
3		3	5,29
4		2	1,57
5		1	0,19
6		0	0

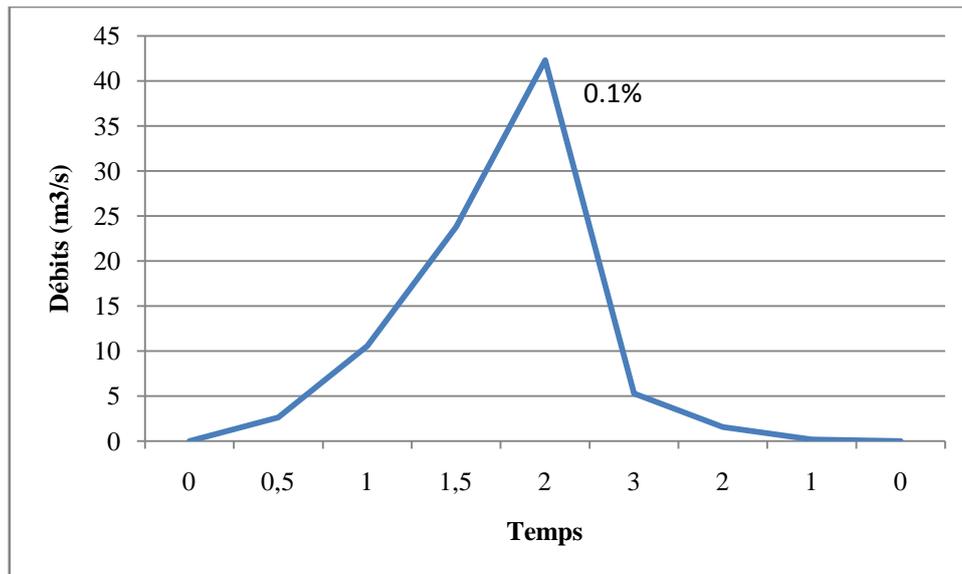


Figure .V.6. Hydrogramme de crue

V.3.7. Apport solide

L'apport solide est donné par (méthode de SOGREAH)

$$E_s = 75H^{0,15}$$

$$H = \frac{A_0}{S \cdot 10^3}$$

$$H = \frac{710 \cdot 252,54}{41,98 \times 1000}$$

$$H = 17 \text{ mm}$$

H: Lamme d'eau ruisselée en mm.

$$ES = 114,7 \text{ t/km}^2/\text{an}$$

Pour 1m^3 de vase correspondant 1,6 tonnes de matériaux,

Si on considère que 30% des matériaux transitent par la vidange :

$$V_s = \frac{ES \times S \times K}{D}$$

E_s = Envasement = $114,7 \text{ t/km}^2/\text{an}$.

K = Pourcentage de matériaux restant (75%)

D = Densité des matériaux = 1.6t/m^3

$$V_s = 2257,41 \text{ m}^3/\text{an}$$

Si on considère que la durée de vie de la retenue est de 30 ans, les dépôts solides seront de :

$$V_m = V_s \times 30 = 67 \, 722,6\text{m}^3$$

V.4. Détermination des tranches du déversoir

V.4.1. Topographie de la cuvette

En absence de levé topographique de la cuvette on considère ce qui suit :

- CFL : 200m
- Hauteur max des berges d'oued 220 m,
- Hauteur prévisible du barrage 20 m,

A l'aide de logiciel AUTOCAD et sur la carte d'état majeure de site a un échelle de 1/25 000 en trace les courbes de niveaux qui sont a l'intérieur de la courbe de niveaux 220 avec un équidistance entre eux de 5km ,les surface et les volume correspond sont représenté dans le tableau V.18

Tableau V.17. Topographie et capacité de la cuvette

Cote	Surface (m ²)	Volume cumulé (m ³)
200	0	0
205	2820,52	14 102,60
210	6275,09	31 375,45
215	19879,9	99 399,50
220	68645,26	343 226,30

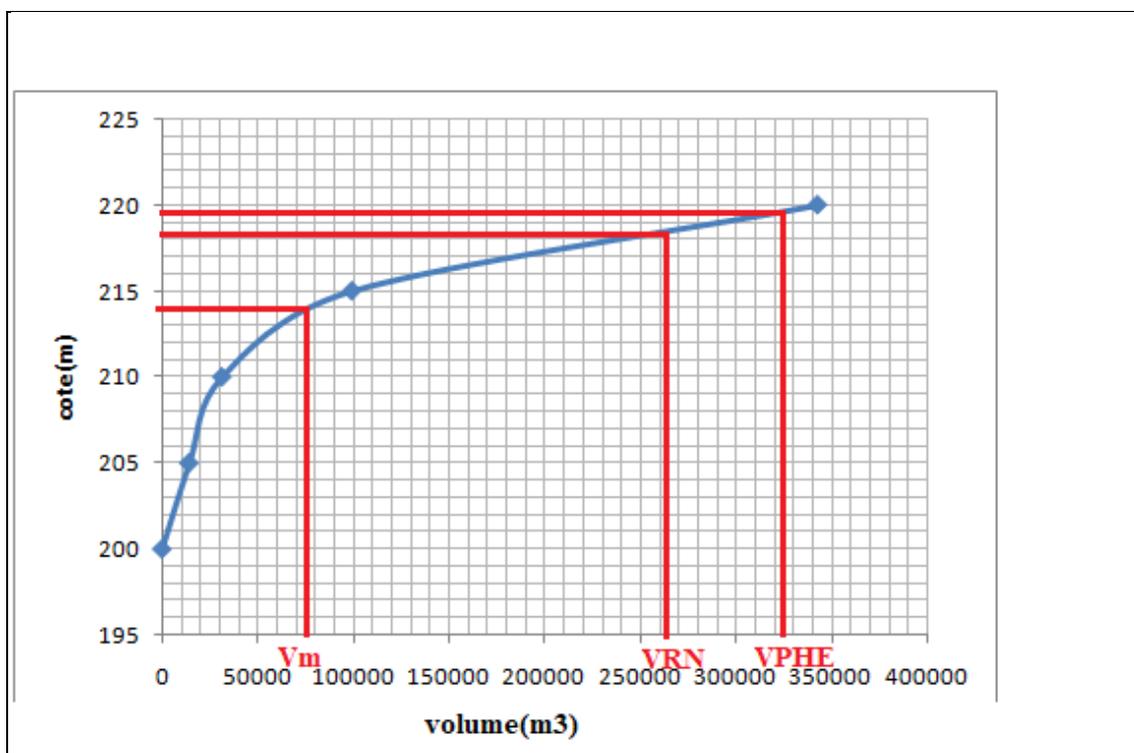


Figure V.7. Courbe de volume en fonction des hauteurs $V=F(H)$

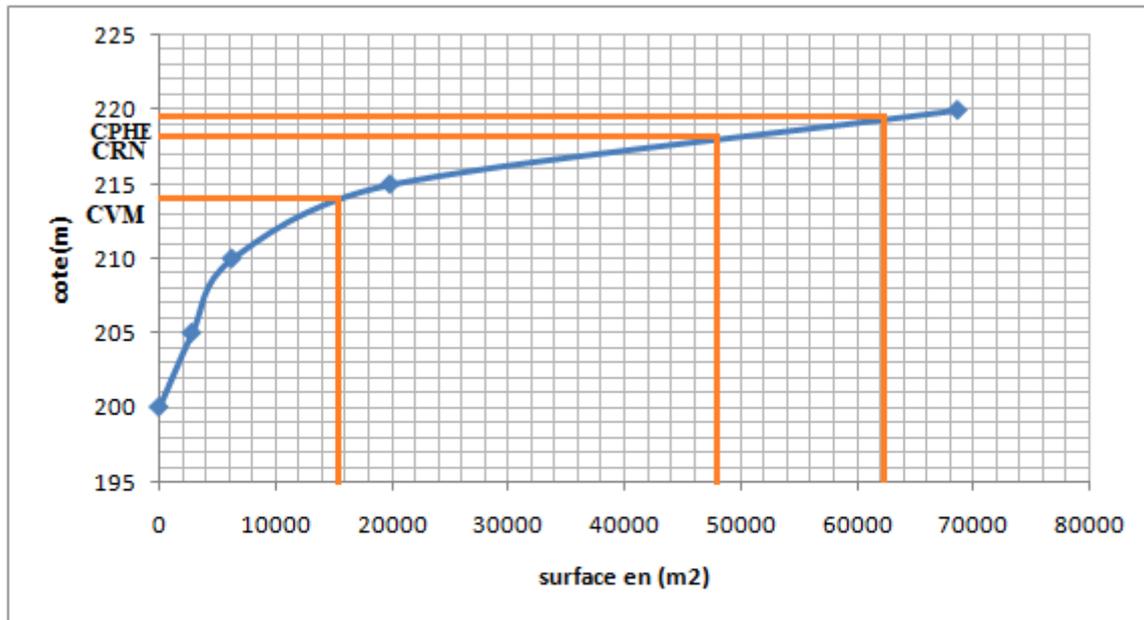


Figure V.8. Courbe de remplissage S=F(H)

V.4.2. Evaluation des pertes de volume

Dans le dimensionnement des ouvrages, on doit tenir compte de la hauteur de la digue qui sera suffisante pour retenir un volume totale:

$$V_t = A_{80\%} + V_m$$

$$V_t = 321\,948,24 \text{ m}^3$$

V.4.2.1. Pertes par infiltration

Il est difficile d'évaluer les pertes par infiltration aux études préliminaires, car elles dépendent directement de l'étanchéité de la cuvette et de la digue.

$$V_i = V_t \times 1\%$$

$$V_i = 7\,779,8 \text{ m}^3$$

V.4.2.2. Volume utile

C'est la quantité d'eau utilisable c'est le volume total auquel on soustrait toute les pertes.

$$V_u = A_{80\%} + V_E + V_{in}$$

$$V_u = 254\,225,61 + 7\,779,8$$

$$V_u = 262\,005,36 \text{ m}^3$$

V.5. Dimensionnement de l'ouvrage

V.5.1. Hauteur de la digue

De la courbe de remplissage, on déduit la cote de la retenue normale :

$$CRN = 218 \text{ m}$$

V.5.1.1. hauteur normale de la digue

$$V_t = V_M + V_{80\%}$$

$$V_t = 262\,005,36 \text{ m}^3$$

V.5.1.1.1. Revanche

C'est la tranche comprise entre la cote des plus hautes eaux et la crête du barrage elle protège le barrage contre la submersion et compense le tassement du barrage après réalisation dans ce cas, on applique la formule de GAILLARD :

$$R = 0,75H_v + \frac{v^2}{2g} + H_s$$

H_v = hauteur des vagues en m.

V : vitesse de propagation des vagues km/h

$$H_v = 0,76 + 0,032\sqrt{VvF} - 0,26\sqrt[4]{F}$$

Vv : la vitesse du vent = 7,9 km/h (Tutiumpo)

F = fetch en km = 6,54 km

$$H_v = 0,57 \text{ m}$$

La vitesse de propagation des vagues peut être estimée par la formule de Gaillard :

$$v = 1,5 + 2H_v$$

$$v = 2,64 \text{ m/s}$$

La revanche sera augmentée d'une hauteur de sécurité de H_s de 0,5 m donc :

$$R = 1,2 \text{ m}$$

V.5.1.1.2. Hauteur des plus hautes eaux :

$$CPHE = CRN + 1$$

$$CPHE = 219 \text{ m}$$

La projection de CPHE sur la courbe caractéristique $S=f(H)$ donne :

H_1 (volume mort) = 14 m

H_2 (volume utile) = 4 m

$H=1$ (compte tenu de l'importance du débit maximal de crue déterminé par l'étude hydrologique en se fixant à une charge maximale admissible au dessus de déversoir pour notre cas en prend $h=1$)

$$H_b = H_1 + H_2 + H + 1 = 14 + 4 + 1 + 1,2$$

$$H_b = 20,2 \text{ m}$$

Nous avons adopté une hauteur de barrage qui est égale à 20,2 m

V.5.1.1.3. Largeur en crête

- **Formule de KNAPEN**

$$B_c = 1,65(H_b)^{1/2} = 7,4\text{m}$$

- **Formule Française**

$$B_c = 2,6(H_b)^{1/3} = 7,08\text{m}$$

- **Formule classique**

$$B_c = 1/3 H_b = 6,7\text{m}$$

On prend une largeur de **7 m**

V.5.1.1.4. Pente des talus

La fondation de l'ouvrage doit également être stable du point de vue mécanique. On ne doit donc pas considérer seulement du massif du barrage mais l'ensemble du massif et de la fondation lorsque les fondations sont de mauvaise qualité

Tableau .V.18. Choix du type de barrage et calcul de pentes des talus par la hauteur d'eau

Hauteur du barrage en (m)	Type du barrage	Pente des talus	
		Talus amont	Talus aval
Inferieur a 5 m	Homogènes zone	1/2,5	1/2
5 à 10 m	Homogène, granularité étendue	1/2	1/2
	Homogène à fort pourcentage d'argile	1/2,5	1/2,5
	A zones	1/2	1/2,5
10 à 20 m	Homogène, granularité étendue	1/2,5	1/2,5
	Homogène a fort pourcentage d'argile	1/3	1/2,5
	A zones	1/2	1/3
>20m	A zones	1/2	1/3

Dans notre cas, nous considérons comme un barrage homogène

Pente du talus amont est 1/2.5

Pente du talus avale est 1/2.5

Longueur de 110 m (mesuré sur la carte d'état majeure de sous bassin versant de la retenue)

Largeur de la base du barrage : $B=L+m_1H+m_2H$

B=108m**V.5.1.1.5 .les drains**

- **Drain horizontal**

Il est formé d'un tapis, de matériaux drain d'une épaisseur constante. Ce tapis s'étend en sens transversal sur une largeur (à partir de pied aval). De l'ordre de 1/3 à 1/4 de la largeur de la digue de façon à maintenir la ligne de saturation à au moins 2 m du parement avale

La longueur = $0,25.B = 27\text{m}$

La hauteur 1 m

- **Drain prismatique**

Il est formé de matériaux rocheux

Les talus : $m_1 = m_2 = 1$

La hauteur $h = 1/4 H_b = 5\text{ m}$

La crête : $b = 1,65(h)^{0,5} = 4\text{ m}$

La base : $B = 3,7 + 5 \times 2 = 14\text{ m}$

Le schéma qui suit représente la digue et les différents niveaux d'eau.

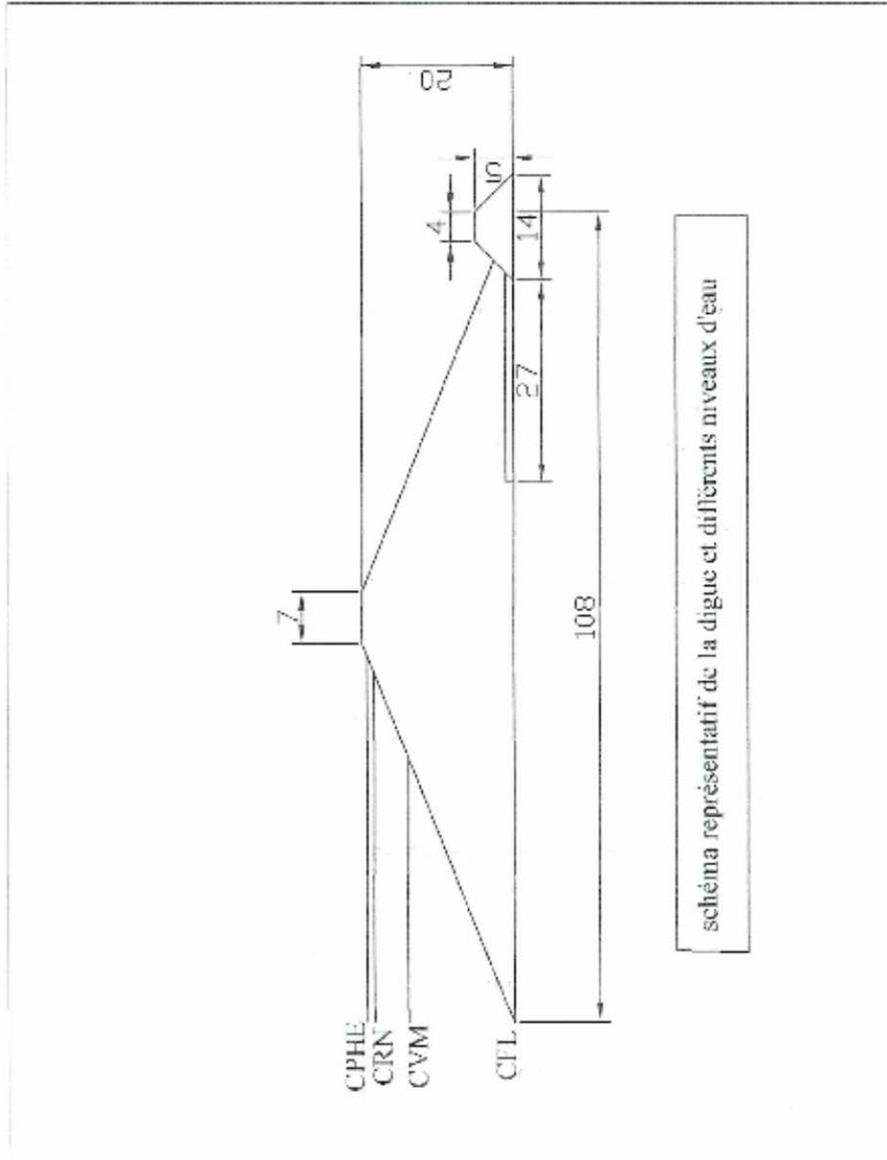


schéma représentatif de la digue et différents niveaux d'eau

Conclusion générale

Cette étude a été effectuée dans l'objectif de concevoir une retenue collinaire dans le bassin de l'oued Boukiou (sous bassin de la Tafna situé au Nord ouest algérien s'étalant sur une étendue de 117,3 km²).

Pour ce faire, nous avons d'abord essayé d'identifier les principaux facteurs physico-géographiques qui influent sur l'écoulement.

L'étude géologique et structurale de la région étudiée a mis en évidence que l'évolution verticale des terrains rencontrés s'étend du Primaire au Quaternaire en distinguant :

- **Formations du Primaire** : essentiellement schisteuse et granitique.
- **Formation du Secondaire** : Carbonatée (Calcaréo-dolomitique) occupant les reliefs.
- **Formation Mio- Plio Quaternaire** : Essentiellement marneuse et alluvionnaire

L'étude morphométrique : nous a permis de caractériser la forme, les altitudes moyennes et les altitudes les plus fréquentes de notre bassin. La superficie et le périmètre stylisé, a permis de quantifier des paramètres tels que : le coefficient de compacité, la densité de drainage etc...

Le bassin d'Oued Boukiou présente une forme allongée favorisant un temps de concentration réduit (6 heures), avec un relief assez fort.

l'étude hydro-climatologique : les données climatiques de la station météorologique Dj Chouachi a permis de caractériser notre bassin par un climat semi aride méditerranéen.

Il ressort de cette étude que le bassin est caractérisé par une saison pluvieuse et une autre chaude et sec avec une moyenne de 290.5mm.

Deux saisons sont à distinguer :

- ❖ Saison humide, qui s'étend d'Octobre à Avril avec des pluies irrégulières,
- ❖ Saison sèche, de Mai à Septembre, où la pluviométrie est relativement faible.

La moyenne des températures est de 18 °C, le régime thermique est caractérisé par des amplitudes annuelles assez fortes qui permettent d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration.

La détermination de l'évapotranspiration moyenne annuelle ETR par la méthode de Turc et l'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite sont respectivement : 293.8mm et 905.25mm

L'analyse hydrologique sur la période (1974/1975- 2013/2014) donne un débit moyen de 0,10 m³/s correspondant à une lame d'eau écoulée de 25.9mm.

Conclusion générale

La région du bassin versant d'oued Boukiou est caractérisée par un climat semi-aride à hiver tempéré.

Les populations n'utilisent aujourd'hui qu'une très faible part des eaux pour l'irrigation et l'agriculture est loin de disposer des volumes qui lui seraient nécessaires.

Le volume donné par les forages est inférieur aux besoins en eau pour l'agriculture. Par conséquent un apport supplémentaire d'une autre ressource est vital.

Le sous bassin versant de la retenue occupe une surface de $41,98 \text{ km}^2$, L'apport annuel transitant dans le sous bassin est de l'ordre de $710252,54 \text{ m}^3$.

Comparaissent entre le grand et le petit bassin

Caractéristiques	Symbole	Unités	Grand bassin	Petit bassin
Superficie	A	Km2	117.3	41,98
Périmètre	P	Km	58	31,41
Altitudes caractéristiques	Hmin	M	100	200
	Hmoy	M	326.37	490
	Hmax	M	1338	780
Indice de compacité	KG	-	1,49	1,35
Indice de pente globale	Ig	m/m	0.023	0,028
Temps de concentration des eaux	Tc	Heure	6	2

La réalisation d'une retenue collinaire sur l'Oued Boukiou au niveau du Miocène imperméable, devait contribuer à l'amélioration et développement des cultures dans la région, entraînant aussi l'amélioration des conditions de vies de ses habitants.

Cependant, l'absence des levés topographique de la cuvette rend l'étude difficile et pose quelques problèmes quant à la continuation de dimensionnement de la retenue collinaire et ses ouvrages annexes.

BIBLIOGRAPHIE

- **ABAZA M. (2009).** Régionalisation des paramètres hydrologiques d'un modèle de prévision des crues. Mem. Master. Université de Montpellier II. pp25-34 .
- **ABDELHAFID F. (2014).** Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Mem. Magister *Univ Constantine I*. 109p
- **AHOUSI K., KOFFI Y., KOUASSI A M., SORO G., SORO N., BIÉMI J. (2013).** Étude de la variabilité hydroclimatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : Cas de la région d'Abidjan Agboville. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*.1(6) pp30-50.
- **AIT BENNOUR H., BENSIDHOUM.Z. (2017).** Impact de changement climatique sur la production des agrumes dans la wilaya de Bejaia (1983 à 2016). *Mem. Master en Sciences Economiques Univ Bejaia*.84 p.
- **AMEUR M. (1988).** Histoire d'une plate-forme carbonatée de marge Sud-Téthysienne : L'autochtone des Traras (Algérie occidentale) du Trias supérieur Jusqu'au Bathonien moyen .*Thèse Doctorat d'Etat. Lab. Géol. Lyon. T. 1-2 .551 p .188 fig. 24 Pl.*
- **AMIAR S. (2014).** Modélisation pluie- débit : Outil de prévision des crues le Mieux adapté par le modèle hydrologique GR. *Mém. Magister en Hydraulique. Univ Tlemcen.* 159p.
- **AMOUR A. (2010).** Caractérisation des crues pluviales des sous bassins versants de la Soummam. *Mem de Magister en Hydraulique .Univ Bejaia.* 150p
- **ARODOIN S. (2004).** Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne.*Thèse de Doctorat. Univ Montpellier II .437P*
- **BENHADJ M.(2015).** Étude de faisabilité d'une retenue collinaire sur Oued N'tamghaouth El-Kseur willaya de Bejaia .Mém .d'Ing .Univ de Bejaia . pp61-78/
- **BELARBI F. (2010).** Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna. *Mem. Magister en Hydraulique. Univ Tlemcen.*113p
- **BENHAMOU M. (1983).**Stratigraphie et milieux de dépôts du Jurassique inférieur et moyen des Beni-Ouarsous et Béni-Khaled (Massif des Traras, Oranie).*Thèse Doctorat 3^{ème} cycle Univ Oran.* 168 p., 56 fig., 9 pl.
- **BENSAFI H. (2016).** Contribution à l'amélioration de la qualité des eaux de la Tafna destinées à la consommation humaine, par l'utilisation du sulfate d'alumine. *Mem de Master en Géologie. Univ Tlemcen.*50p

- **BERREZOUG N. (2016).** Hydrologie et modélisation Pluie-Débit de l'oued Boukiou. (NW algérien). *Mem de Master en Hydrogéologie. Univ Tlemcen.* 198p
- **BOUANANI A. (2004).** Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérien). *Thèse de Doctorat d'état, Univ Tlemcen,* 250 p., 81 fig.
- **BOUGUERRA S. (2018).** Quantification et modélisation du transport solide en climat semi-aride, cartographie du Risque d'érosion hydrique au moyen d'un sig (Cas Des Deux Bassins Versants Oued Boukiou et Oued Boumessaoud (N-W de L'Algérie)). *Thèse de Doctorat. Univ Tlemcen.*165p
- **BOULEGHLEM Z. (2015).** Etude hydrogéologique et évaluation des ressources en eau dans la région Azzaba-guerbes. *Mem d'Ingenieur. Uni .Annaba.*120p
- **BENSALEMI. & BOUHENNA N. (2005).** Etude de faisabilité de l'extension du périmètre irrigué Maghnia . Mém de Master .Univ .Tlemcen . p30 .
- **BNEDER (1992).** Etude des potentialités de mise en valeur en sec phase I. Etude des milieux naturels et socio –économiques» Rapport willaya de Tlemcen direction des services agricoles .pp161.183.
- **BENMANSOUR M. (1997)** .Petit barrage de Oued Bou-Messaoud, Projet d'exécution. Rapport willaya de Tlemcen.p 15
- **BEMMOUSSAT A. (2011).** Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. *Mém. Magister. Univ Tlemcen.*156 p.
- **CARLUER N. (2013).** Synthèse des connaissances et données existantes sur les retenues collinaires. Rapport de stage Irstea Lyon-Villeurbanne. 111p..
- **CHIBANET F.& DERKAOUI H.(2009).** Irrigation et environnement. Cadre théorique Mém licence en Hydraulique . Univ. Tlemcen ,p 56
- **CHAKIB N. (1994).** Mise au point d'un modèle hydrologique conceptuel intégrant l'état hydrique du sol dans la modélisation pluie-debit. Mém de doctorat. Univ .Paris .p 88
- **CHEIKH F., AMADOU., BAPTISTE J. (2015) (2015).** Etude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Article dans la revue, physio-géo. Vol 9.Pp17-35.
- **COUTAGNE A. (1948).** Etude générale des débits et des facteurs qui les conditionnent. La houille blanche .pp 228-242.

- **DUFOUR B.(2017).** Étude de méthodes de régionalisation des paramètres des modèles hydrologiques et application à un bassin versant non jaugé au Mexique. Mém génie de la construction. Univ. Québec. p 44.
- **DUPONT A . (1977).** Hydrologie –captage et traitement des eaux » Tome 1. Edition Eyrolles.Saint-Germain.Paris.
- **HAMMOU M. (2016)** .Révision du plan Directeur D'aménagement et d'urbanisme commune de Fillaoucene phase III , Aménagement définitif et règlement. Rapport wilaya de Tlemcen. p 20-40
- **GHACHI A. (1986).** Le bassin de la Seybouse. Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Edition office des publications universitaires. Ben Aknoun. Alger. pp 36-45.
- **GROUPE(2006).** Recherche de Rhone. Alpes sur les infrastructures et l'eau Domaine scientifique de la Doua. Les retenues collinaires. Quel fonctionnement et quels impacts ?. articles :Syndicat de Rivières Brévenne -Turdine (SYRIBT) L'arbresle (Rhône) . p 33.
- **KRETEL F . (2008).** Les retenues collinaires : évaluation et analyse des facteurs biophysiques et socioéconomiques pour le choix de site d'implantation. Mém de Mag .Univ.Tlemcen.p 67.
- **LAROCHE A., WISSI M., DIRAMBA G. & DUMONT N. Y. (2016).** Cartographie des zones inondables des terres intérieures de bassin versants non jaugé Mém de mast .Uni de Moncton Edmundston.p 27
- **ROUISSET B.(2018).** cours les barrages mastère 2
- **TOUABIA B., AIT-KACI M., CASSARD M.et MEZIANIE M. (2009).**
- Aménagements Collinaires- Général cités. Méthodologie d'étude .p 77
- **TOUMI A. (2014).** Etude de faisabilité de la correction torrentielle (seuils en terre), impact :Touiyaa à Boukiou ,commune de beni Ouersous, Daira de Remchi phase I , phase II, phase III : Etude préliminaire et de faisabilité, Rapport wilaya de Tlemcen..
- **TARDIF S. (2005).** Régionalisation et facteurs de variabilité spatiale des débits saisonniers et extrêmes journaliers au Québec méridional. Mém de doctorat . Univ .Paris, ,p 22.
- **TILOUT A. (1991).** Mise en place d'une retenue collinaire dans la région de MAGOURA. Mém. Ingénieur. Univ. Tlemcen.,p 33
- **ZAHZOUH H. (2012)** . Etude de faisabilité d'un petit barrage dans le bassin versant d'Oued Boumesoud (Tafna –NW Algérie). Mém de master. Univ Tlemcen pp 58-82.