



Populaire et Démocratique Algérienne République
Ministère de l'Enseignement Supérieure de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des sciences de la terre
Département de Géologie



Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme Master

Option : système de l'eau

Synthèse hydrologique du bassin versant de l'Oued Sikkak.

Soutenu le : 12 / 10 / 2023

Présenté Par :

M^{lle}. OSAMNI Youssra

Devant les membres du Jury :

BELKHEIR. K	Maitre assistante	Président	Univ Oran 2
BAKHTI. A	Maitre de conférences B	Encadreur	Univ Oran 2
BOUZID. R	Maitre de conférences B	Examineur	Univ Oran 2

2022/2023

Remerciements

Nous tenons à remercier ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail en particulier :

Nous exprimons nos vifs remerciements à Melle BENKRITLI, Encadreur à l'université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, et Monsieur SAFFA, à qui ont bien voulu diriger ce travail et qui nous ont fait bénéficier de leurs conseils et critiques.

Dédicaces

OSMANI Youssra ce mémoire

A mes très chers parents qui m'ont soutenu dans mes longues années d'études et qui m'ont donnée du courage que dieu les bénisse.

A mon frère et mes sœurs qui m'ont donné beaucoup de conseils que dieu les protège.

A tous ceux qui m'ont soutenu pendant ces cinq années d'étude.

A tous mes chers amis 2022-2023

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicaces.....	
SOMMAIRE	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Étude de bassin versant d'Oued Sikkak

I.1. Situation géographique.....	3
I.2. LA morphologie de bassin versant de l'oued Sikkak.....	4
I.2.1. Caractéristique de forme	4
I.3. Climatologique de bassin versant de l'oued Sikkak.....	5
I.3.1. Etude des précipitations	5
I.3.1.1. Variation interannuelle de la pluviométrie.....	5
I.3.1.2. Variation spatiale.....	5
I.4. Géologie de bassin versant de Oued Sikkak –Tlemcen	7
I.4.1. La série lithostratigraphique.....	8

Chapitre II

Bilan hydrologique de bassin versant

Introduction	10
II.1. Précipitations mensuelles.....	11
II.1.1. Températures :	11
II.1.2. Les températures annuelles	11
II.1.3. Les températures mensuelles	12
II.1.4. Diagrammes pluvio-thermiques.....	12
II.1.5. Débits moyens annuels	13
II.1.6. Débits moyens mensuels :.....	14
II.2. Synthèse hydrographie.....	15
II.2.1. Introduction :	15
II.2.2. étude e du bassin hydrographique :.....	16
II.2.3. Altitudes caractéristiques	17
II.3. DEBITS MOYENS ANNUELS	19
II.3.1. Variations des débits annuels moyens bruts (m^3/s) :.....	19
II.3.2. Variations des débits annuels moyens spécifiques ($l/s/km^2$) :.....	21
II.3.3. Etude statistique des modules	23
II.3.4. Ressources mensuelles en eau de surface disponibles	24
II.4. DEBITS MOYENS JOURNALIERS	24
II.4.1. Variation journalière de débit	24

II.5. ETUDE DES DEBITS EXTRÊMES	26
II.5.1. Les crues	26
II.5.1.1- Genèse des crues.....	27
II.5.1.2. Puissance des crues	30
II.6. Apports de crues	35
II.6.1. Les étiages.....	35
II.6.1.1- Genèse des étiages	36
II.6.1.2 Ressources en eaux en période d'étiage	38
Conclusion.....	41

Liste des figures

Figure 1: localisation de bassin versant de l'oued Sikkak.....	3
Figure 2: Répartition mensuelle des coefficients de variation aux différentes stations (1974 -2010).....	5
Figure 3: Carte Hypsométrique dans bassin versant de l'oued Sikkak	6
Figure 4: La carte lithologie de bassin versant l'oued Sikkak.....	7
Figure 5: Colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest M., Bensalah M.1999)	8
Figure 6: Diagrammespluvio-thermiques	13
Figure 7: variation interannuelle des débits moyens annuels (m ³ /s) au niveau d'oued Sikkak (1999/2000 - 2009/2010).....	13
Figure 8: Variation annuelle des températures moyennes, maximales et minimale au niveau de la station de Zenata (1980-2010)	14
Figure 9: Réseaux Hydrographique du Bassin Versant d'Oued Sikkak.....	16
Figure 10: Réseaux hydrographique du bassin versant de l'oued Sikkak	17
Figure 11: Variations interannuelles des modules de oued et Sikkak à Aïn Youcef. (Tafna-Algérie).....	20
Figure 12: Principales étapes de l'analyse fréquentielle (P. Meylan et A. Musy, EPFL, 1999)	31
Figure 13: Ajustement graphique des séries des débits maximums instantanés des bassins versants de Mouilah et Sikkak.....	33
Figure 14: Courbes de tarissement des débits d'oued Sikkak à Aïn Youcf Les équations des courbes de tarissement sont représentées au tableau.	37

Liste des tableaux

Tableau 1: Paramètres de position des précipitations	11
Tableau 2: Températures moyennes, maximale et minimale annuelles a la station de Tlemcen (1981-2010)	12
Tableau 3: Caractéristique ds station hydrométrique	18
Tableau 4: Débit moyen annuel de oued Sikkak à Aïn Youcef. (Tafna-Algérie)	19
Tableau 5: valeurs caractéristiques des modules au niveau des bassins versants	20
Tableau 6: Débit spécifique et lame d'eau écoulée	21
Tableau 7: Hydraulicité de Sikkak. (Tafna-Algérie).....	21
Tableau 8: Ajustement à une loi Log-normale des modules annuels de oued Sikkak	23
Tableau 9: Répartition des débits mensuels de oued Sikkak à Aïn Youcef (Tafna-Algérie).....	23
Tableau 10: Répartition en (%) du nombre des crues de la Haute Tafna (1988/98), du Sikkak (1973/90)	27
Tableau 11: Crues de la Haute Tafna à Béni Bahdel (1988 – 1998).....	28
Tableau 12: Crues du Sikkak à Aïn youcef (1973 – 1990)	29
Tableau 13: Ajustement des séries des débits maximums instantanés correspondant aux différents bassins étudiés.....	34
Tableau 14: Estimation des Quantiles de crue des différents oueds	34
Tableau 15: volumes totaux écoulés à l'oued Sikkak (1973/90).....	35
Tableau 16: débit moyen mensuel d'étéage.....	37
Tableau 17: équations de tarissement d'oued Sikkak.....	38
Tableau 18: Présentation synthétique : étiages et facteurs géographiques.....	38
Tableau 19: volume total écoulé en période d'étéage (.106 m3)	38



Introduction générale

Introduction générale

L'importance de l'eau tant que support de la vie de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue aussi est nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi repoussement que possible.

Si les ressources en eau de surface doivent être mobilisées pour les différents besoins en revanche et en raison des méthodes inadéquates actuellement utilisées elles posent un problème majeur lorsque s'agit de quantifier rigoureusement les éléments du bilan hydrique et cerner les problèmes de recherche des aquifères.

Plus les trois décennies de développement intense des matrices de fractures hydrauliques ont permis de comprendre que le développement durable du pays devait passer inévitablement par une prise en charge multiple factrice.

Cette étude de bassin versant de la Tafna coïncide avec une étape très importante dans le développement de l'Algérie qui accorde une importance particulière à la valorisation du potentiel hydraulique. Cette vision a été rendue nécessaire pour s'adapter à tous les défis

En effet, les exigences accrues en eau d'un pays méditerranéen en pleine phase de construction et disposant de plus

Chapitre I

*Étude de bassin versant
d'Oued Sikkak*

Bassin versant de L'oued Sikkak

I.1. Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Sikkak se situe sur les cartes topographiques au 1/500000 DE TERNY ; Tlemcen Bensemkrene et d'oued Mimoun publiées par l'I G. N EN1949 ; selon les latitudes et longitude suivantes :

Latitude : $34^{\circ} 45'$ A $34^{\circ} 64'$ nord

Longitude : $1^{\circ} 07'$ a $1^{\circ} 25'$ ouest

Ce bassin ; d'un superficie de 463K m^2 :est limite :

Au sud ; par les djebels Nador et Boulaadour

A l'est ; par les djebels er remeyliya : ouakrif et tabeldaout.

A l'ouest ; par le djebels tafiatassent et le plateau des Zenta

Au nord ; par le djebels fout hait

Administrativement ; larégionétudiées fait partie de la wilaya de Tlemcen

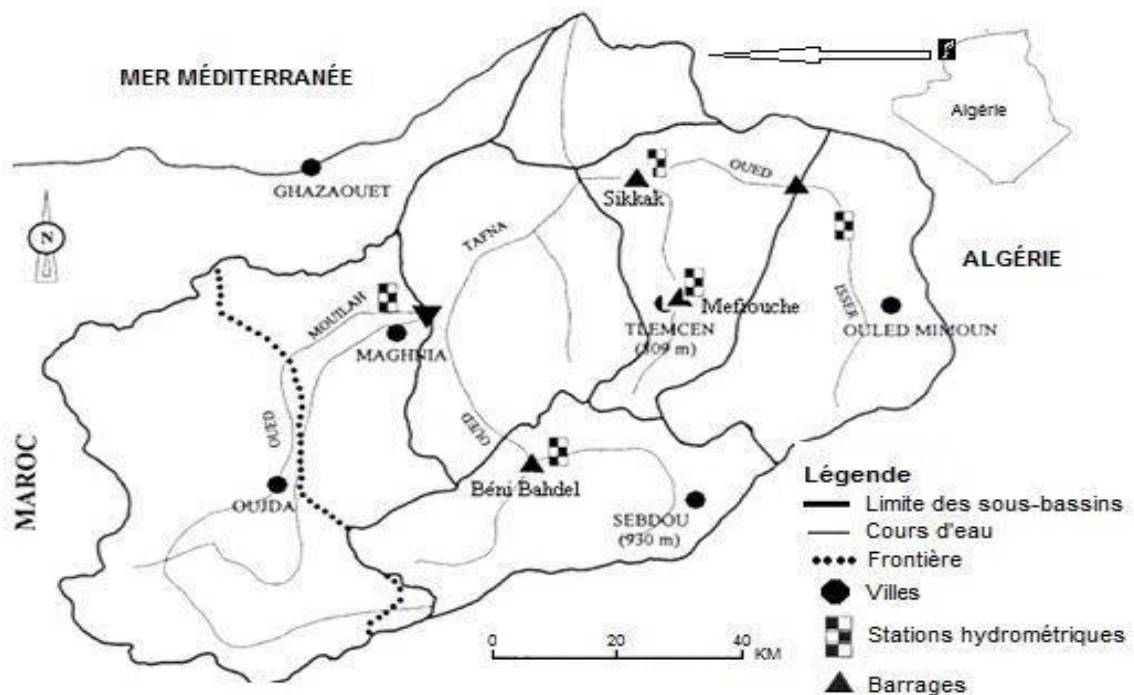


Figure 1: localisation de bassin versant de l'oued Sikkak

I.2. LA morphologie de bassin versant de l'oued Sikkak

La réponse d'un bassin versant à des précipitations dépend d'un nombre important de paramètres. Parmi lesquels certains sont difficilement quantifiables comme ceux se rapportant à la couverture végétale ; etc exemple d'autres paramètres ont l'avantage de se prêter à une analyse quantitative. Ce sont les paramètres morphométriques (forme altitude pente du relief) qui influencent fortement la réponse hydrologique d'un bassin versant et notamment le régime des écoulements en période de crue ou de d'étiage. Il est donc intéressant de quantifier ces paramètres par des termes simples qui permettent la schématisation du bassin versant. Dans ce qui suit ; on expose sommairement les principaux paramètres d'ordre morphométrique ; de relief et hydrographique qui permettent de caractériser le bassin versant de la Tafna. Rappelons que ce dernier se situe dans la wilaya de Tlemcen en se prolongeant vers le royaume du Maroc.

I.2.1. Caractéristique de forme

Climatologie ; hydrologie de surface et souterraine sont sous l'étroite contrainte donc de préciser les plus importants de ces paramètres dès le début de notre étude.

Indice de compacité

Le coefficient de compacité permet de comparer la forme du bassin versant.

K_c

P ; périmètre

A ; surface du bassin versant

Plus le coefficient se rapproche de la valeur 1 ; plus la forme de bassin devient circulaire. La forte valeur de l'indice indique un bassin allongé.

La valeur de l'indice de compacité permet de montrer que le bassin de l'oued Sikkak est moyennement allongé.

Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique de bassin ayant la même périmètre de même surface.

I.3. Climatologique de bassin versant de l'oued Sikkak

I.3.1. Etude des précipitations

Pour mieux cerner l'étude de la pluviométrie ; nous avons retenu des séries pluies moyennes mensuelles pour les stations pluviométrique du bassin de l'oued Sikkak. Ces stations se répartit dans ce bassin comme l'indique de figure les caractéristique géologie avec leurs période d'observations sont donnees tableau ;

I.3.1.1. Variation interannuelle de la pluviométrie.

Pour déminer la variation interannuelle de pluviométrie pour chaque stations du bassin versant l'oued Sikkak nous avons utilisé des paramètres statistique tels la moyenne annuelle ; vu que les station sont bien repartir et les valeur de la pluies annuelle aux statons étudiées.

Cette dernière se base sur le le calcul de la moyenne des pluies annuelles de ces stations.

I.3.1.2. Variation spatiale

La carte de la répartition spatiale de la pluviométrie moyenne du bassin versant de l'oued Sikkak représente un échantillon caractéristique de l'oued algérien. EN effet la pluie d'imine successivement lorsqu'on s'éloigne des chaine

Montagneuse c'est le cas de la station de benskranalttu 260 m que station de mefrouche une altit 1120m.

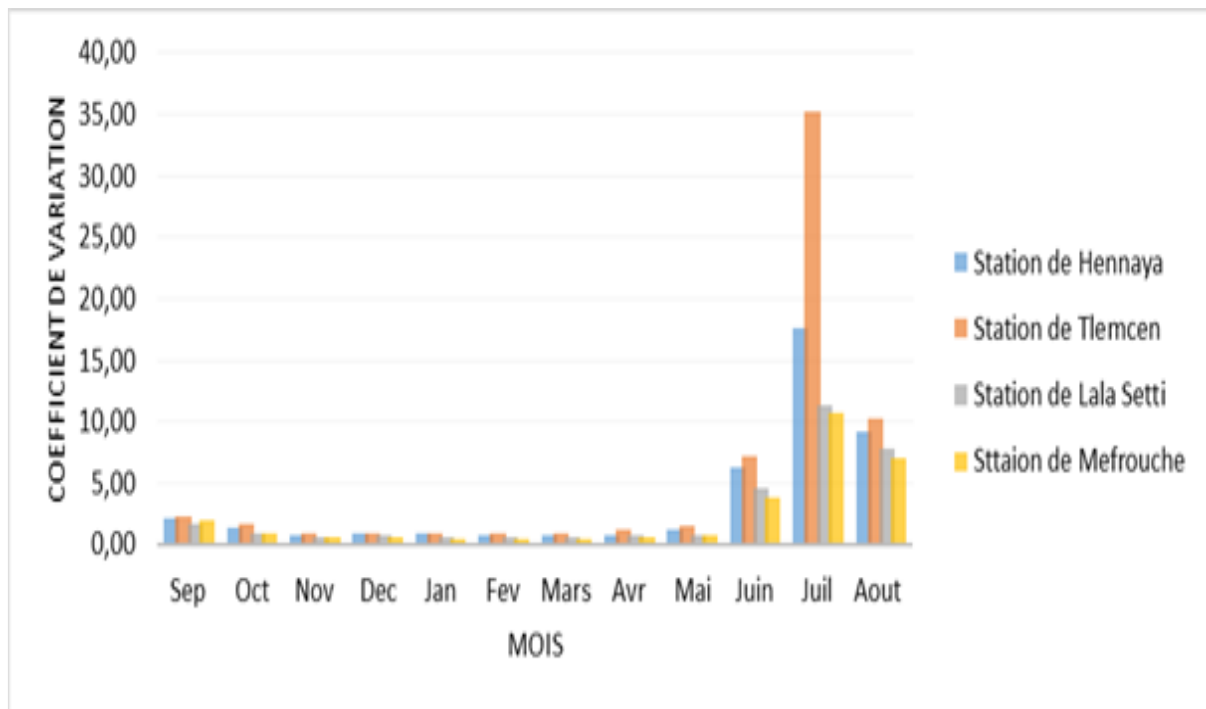


Figure 2: Répartition mensuelle des coefficients de variation aux différentes stations (1974 -2010)

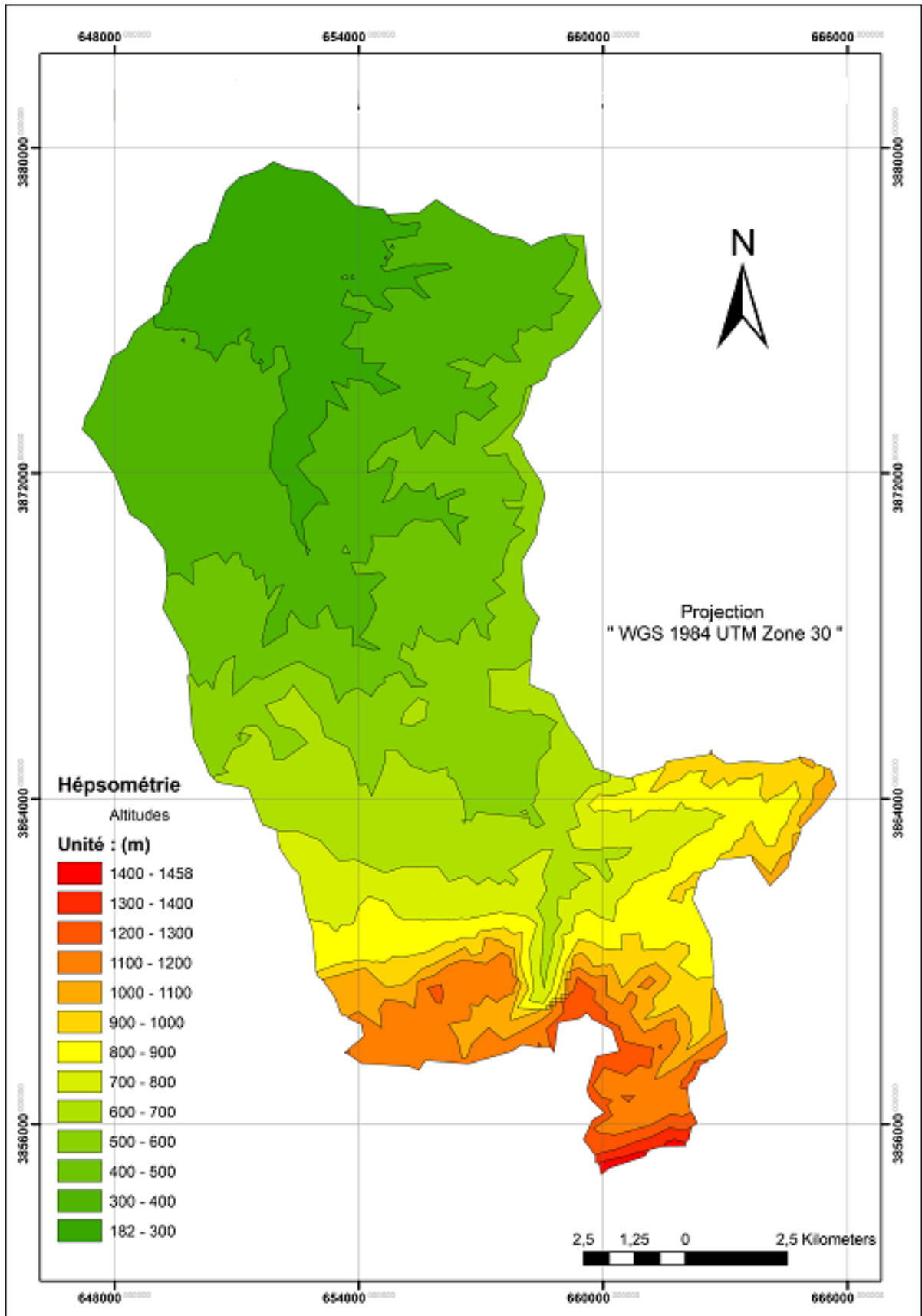


Figure 3: Carte Hypsométrie dans bassin versant de l'oued Sikkak

I.4. Géologie de bassin versant de Oued Sikkak –Tlemcen

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement ; l’infiltration l’érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formation meuble (sable argile marnes) ou en formations consolidées (grès calcaire dolomies...)

La nature des affleurements a une influence sur l’hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire.

Dans cette partie ; nous allons présenter brièvement quelques caractères généraux sur la géologie de Sikkak qui font l’Object en essayant de mettre en relief leur impact sur l’hydrologie.

La zone étude s’insère l’ensemble limite :

1. Au nord ; par le tell
2. au sud ; par plaines oranaises
3. à l’est ; les monts de daïa

0440500.4_a l’ouest ; par le horst de gharroubane



Figure 4: La carte lithologie de bassin versant l’oued Sikkak

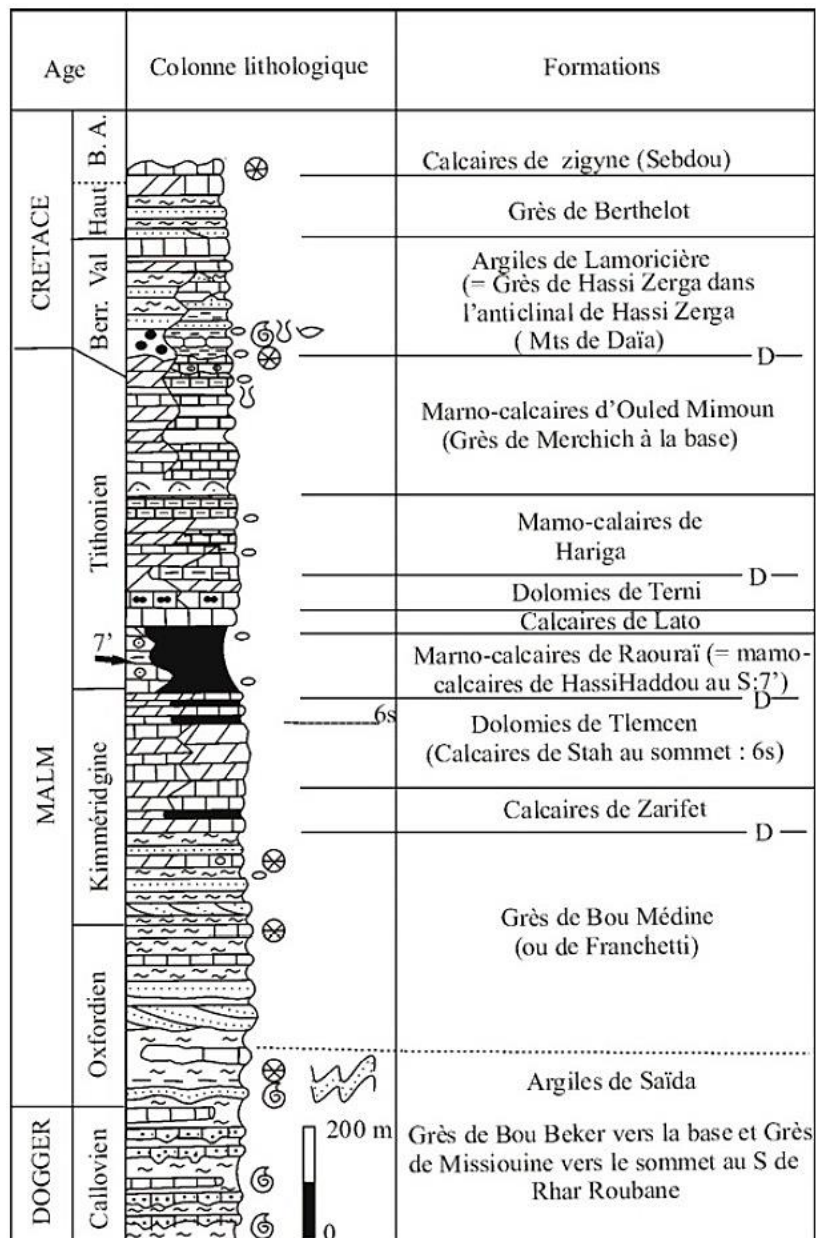


Figure 5: Colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest M., Bensalah M.1999)

I.4.1. La série lithostratigraphique

Dans le secteur étude nous pouvons reconnaître deux grands ensembles :

- Au nord une dépression ou le principal élément ayant contribué remplissage est représenté par le miocène et le quaternaire.
- Au sud et à l'est les massifs montagneux où affleurent principalement des terrains jurassiques.

Chapitre II

Bilan hydrologique de bassin versant

Introduction

Le comportement hydrologique d'un cours d'eau est lié à la diversité des facteurs physico-géographiques analysés dans les chapitres précédents, et dont la dominance a trait, comme on l'a vu aux facteurs climatiques,

Une évaluation précise des ressources en eau et de leur variabilité passe donc par la prise en compte des :

- Débits moyens annuels et bilans hydrologiques,
- Régimes fluviaux et variations saisonnières des débits,
- Débits moyens journaliers,
- Intensités des débits extrêmes des crues et des étiages ainsi que leur fréquence,
- L'originalité pluviale méditerranéenne du régime sera dégagée à travers les variations saisonnières moyennes des débits.

II.1. Précipitations mensuelles

La variation mensuelle de pluviométrie influencé sur régime des cours d'eau tels que l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension.

II.1.1. Températures :

Tableau 1: Paramètres de position des précipitations

Paramètres	Formules
Moyenne	$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$
Variance	$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum (P_i - \bar{P})^2$
Ecart type	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$
Coefficient de variation	$Cv = \frac{\sigma}{\bar{P}}$

La température est un facteur important qui détermine le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Elle permet avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et des indices climatiques. Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement

II.1.2. Les températures annuelles

Au niveau de notre zone d'étude, la mesure thermométrique est pratiquement disponible à une seule station celle de Zenata, pour cela nous avons utilisé les données

Tableau 2: Températures moyennes, maximale et minimale annuelles a la station de Tlemcen (1981-2010)

Années	T° (C) Moy	T° (C) Min	T° (C) Max
1980-1981	16,1	10,03	22,17
1981-1982	18,07	11,52	24,63
1982-1983	16,1	10,57	23,21
1983-1984	16,89	11,36	23,66
1984-1985	17,51	11,58	23,85
1985-1986	17,71	11,81	23,87
1986-1987	17,84	11,72	23,93
1987-1988	17,82	12,65	24,55
1988-1989	18,6	11,86	24,58
1989-1990	18,22	13,07	24,87
1990-1991	18,97	11,99	23,83
1991-1992	17,91	11,39	23,55
1992-1993	17,47	11,25	23,76
1993-1994	17,5	11,78	24,26
1994-1995	18,02	12,27	24,47
1995-1996	18,37	12,61	24,28
1996-1997	18,45	12,16	24,09
1997-1998	18,13	12,69	24,58
1998-1999	18,63	11,94	24,14
1999-2000	18,04	12,01	24,44
2000-2001	18,22	12,33	24,97
2001-2002	18,65	12,09	24,53
2002-2003	18,31	12,72	24,59
2003-2004	18,65	12,22	24,3
2004-2005	18,26	11,44	24,14
2005-2006	17,79	12,23	24,49
2006-2007	18,36	12,32	24,61

II.1.3. Les températures mensuelles

La température moyenne mensuelle à la station de Zenâta pendant la période (1981-2010) montre que les mois d'Août est le mois le plus chaud 25,96°C et Janvier le plus froid 10,42°C. Contrairement aux précipitations, les saisons thermiques semblent bien tranchées (). La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, mois pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide correspond à Novembre-Avril.

Le maximum de température est atteint en juillet et Août avec une moyenne de 25,96°C, alors que le minimum d'environ 5,12°C se situe en janvier. Cette division de l'année en deux saisons thermiques, n'est pas sans conséquence sur le comportement hydrologique et hydrogéologique du bassin.

II.1.4. Diagrammes pluvio-thermiques

Ces diagrammes représentent, sur un même système d'axes, la variation des températures et celle des précipitations moyennes mensuelles. Nous avons porté les valeurs des températures

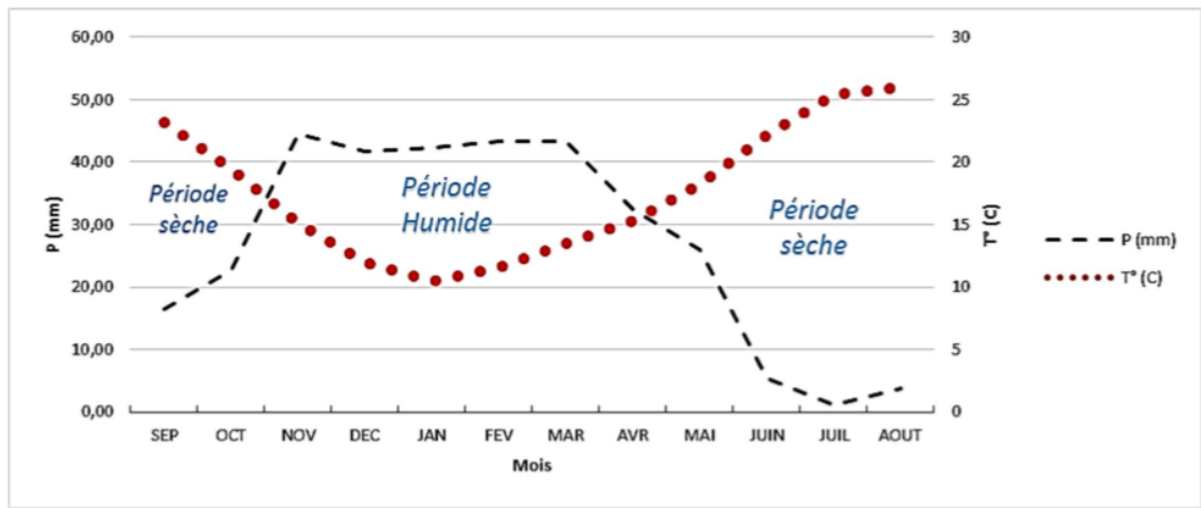


Figure 6: Diagrammes pluvio-thermiques

La réponse aux précipitations, posées à l'échelle d'un bassin versant, passe nécessairement par l'étude du bilan hydrologique menée sur une période d'observation pour analyser le régime hydrologique de l'oued Sikkak et évaluer sa sensibilité aux variations du climat. Cette analyse hydrologique concerne la quantification et la variabilité des apports liquides moyens annuels et mensuels.

II.1.5. Débits moyens annuels

L'analyse des courbes des variations des débits moyens annuels montre la forte irrégularité des débits de l'oued Sikkak.

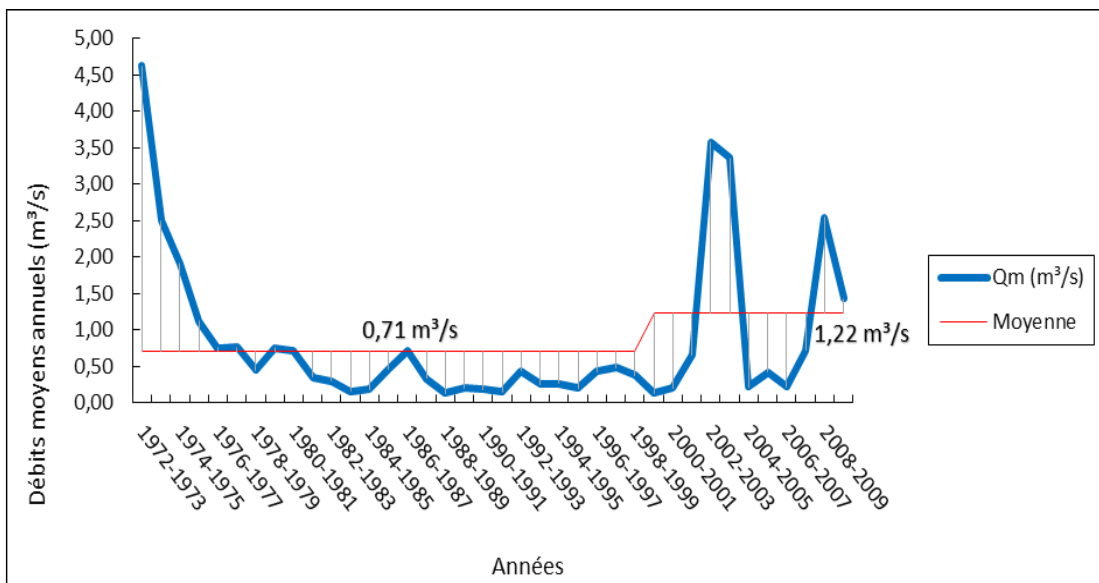


Figure 7: variation interannuelle des débits moyens annuels (m^3/s) au niveau d'oued Sikkak (1999/2000 - 2009/2010).

II.1.6. Débits moyens mensuels :

Comparativement à l'analyse annuelle qui étudie la variation sur une longue durée, l'étude de l'écoulement à l'échelle mensuelle peut donner une meilleure explication, notamment sur le régime fluvial et ses fluctuations.

Pour ce faire, nous avons utilisé quelques paramètres intéressants tels que le coefficient de variation et le coefficient mensuel des débits. La valeur du débit la plus élevée correspond au mois de Février avec une valeur de 1,91 m³/s à la station de Sidi Moussa jusqu'à 4,55 m³/s à la station de Ain Youssef de cette station pour les périodes allant.

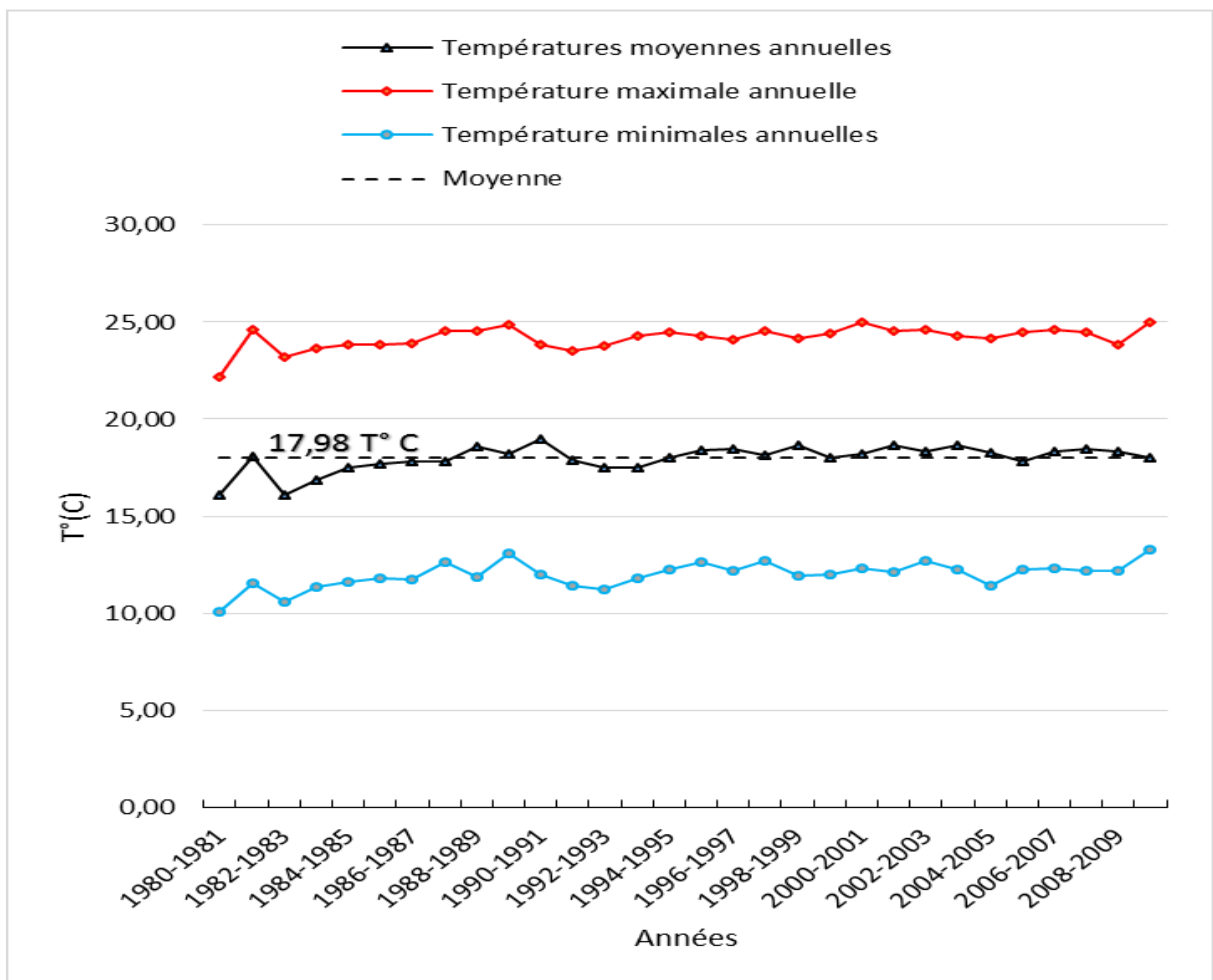


Figure 8: Variation annuelle des températures moyennes, maximales et minimale au niveau de la station de Zenata (1980-2010)

II.2. Synthèse hydrographie

II.2.1. Introduction :

Le bassin versant de la Tafna se situe a l'oued territoire algérien le cours de cet oued peut se subdiviser en trois parties : la haute Tafna ; la moyenne Tafna et la basse Tafna.

1. La haute Tafna : l'oued prend naissance dans les oued ouriach et se dessine après la jonction d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains jurassique et descendant de crêtes atteignant 1500 mètres ces ramifications se réunissent aux environs d'e sebdou a une altitude d'environ 900 mètres. A partir de cet endroit et jusqu' sidimedjhed ; l'oued suit un cours dans un vallées encaissées creuse l'oued Tafna.

2. le moyenne Tafna ; A partir de sidi medjhed ; l'oued pénètre dans le bassin tertiaire et coule dans vallées peu profonde dans des terrain plus ou moins argileux.

Dans cette région ; la Tafna suit une direction N_S jusqu' bled chaaba ; puis se dirige affluents ; parmi lesquels partie du bassin terrine est sillonnées par de nombre affluents ; parmi lequel une sont importants.

3. sur le rive gauche ; les affluents sont moins importants que sur le rive droite seul l'oued Mouillah qui prend naissance au Maroc est remarquable par son parcours et son débit entre bled chaaba et les gorges de tabouret ; la Tafna reçoit de nombreux affluents prend naissance Dans traïras

4. sur le rive droite ; le Tafna reçoit les oueds ksoub ; soufnirouf Romana ; malahzitoun et enfin l'oued issir ; affluent le plus important tant par son long parcours que par son fort débit.

5. la basse Tafna : le cours inférieur de Tafna s'étend depuis les gorges peu importants : de direction E_W oued lemta et Fed el atouch sur la rive droite et oued ben djelloul sur la rive gauche.

6. l'oued Sikkak prend naissance sur la plateau de terny a source d'un Rhannous et prend des aplations diverses de la source au barrage ; oued En Nchef

_ du barrage aux cascades d'EORIT ; oued effaroucha

Des cascades a chétouane ; ouedsafsaf

De chétouane a l'exutoire ; oued Sikkak.

II.2.2. étude e du bassin hydrographique :

Nous avons utilisé la méthode mise au points par horton 1945 et modifiée par A/N strahler et S. A schumm1954.

B1_ classification par ordres et étude du chevelu hydrographique : tout cours d'eau sans X est tout tronçon de rivière ; forme par la réunion de cours d'eau d'ordre X est ;

Ordre	NOBRE	LONGUEUR cumulées	L0NGUEUR MOYNNNE	Airekm ²
1	608	365	0.60	243.2
2	128	171	1.33	108.8
3	24	84	3.50	48.9
4	6	25	4.16	34.2
5	2	50	25	23.7
6	1	6	6	3

Classification par ordres du réseau hydrographique

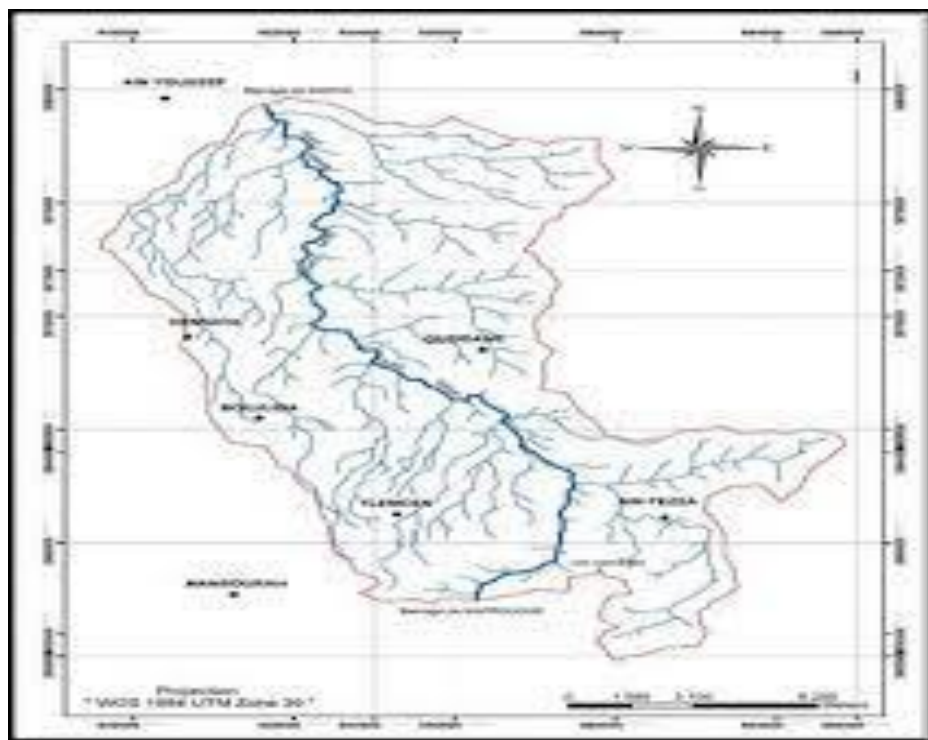


Figure 9: Réseaux Hydrographique du Bassin Versant d'Oued Sikkak

II.2.3. Altitudes caractéristiques

Certaines altitudes sont notées pour caractériser les bassins versants. Elles nous donnent des indications supplémentaires sur le potentiel érosif du bassin.

Ces altitudes sont :

- Altitude la plus fréquente : le maximum de la courbe des fréquences altimétriques,
- Altitude correspondant à 5% : au-dessus de laquelle se trouve 5% de la superficie totale du bassin versant,
- Altitude de fréquence à 95% : c'est l'altitude dépassée par 95% de la surface totale du bassin versant,
- Altitude moyenne : l'altitude qui correspond à la moyenne de la courbe hypsométrique.

$$H \text{ moy} = \Sigma (A_i H_i) / A \text{ (9)}$$

Donc : $H \text{ moy} = 611.6 \text{ m}$

Avec : $H \text{ moy}$: 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]

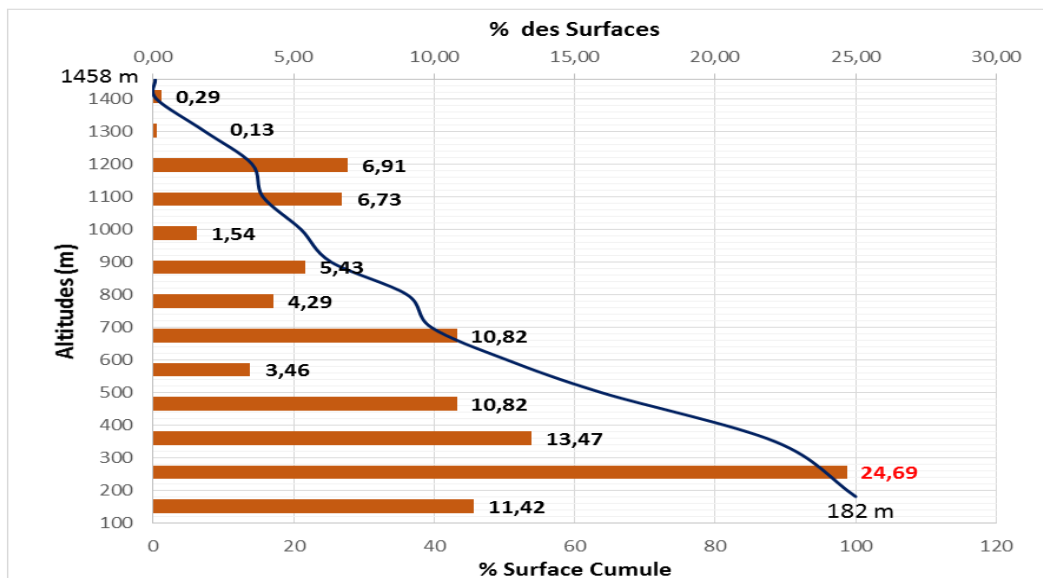


Figure 10: Réseaux hydrographique du bassin versant de l'oued Sikkak

Tableau 3: Caractéristique ds station hydrométrique

Bassin	Station	CodE	X	Y	Z	Période
Sikkak	A. Youcef	16-07-04	131.70	201.70	200,0	1972/1990

Choix de l'année hydrologique : l'abondance moyenne de l'écoulement a pour unité chronologique de référence" l'année moyenne", mais, nous savons que pour des variables considérées comme aléatoire telles que les débits, cette notion d'année moyenne est sujette à caution du fait qu'elle conduit à une "régularisation artificielle" du régime hydrologique par compensation des années humides et sèches (G. Rémenieras, 1980).

C'est pourquoi, elle est généralement substituée par la détermination des fréquences traduisant la distribution effective des modules dans le temps et leurs durées de récurrence. Cependant, pour établir un bilan moyen de l'écoulement conforme à un cycle hydrologique complet, on est tenu de se fonder sur une année hydrologique de référence comprise entre deux étages annuels successifs. Le choix des limites de ce cadre temporel de base est délicat, car il faut tenir compte de la combinaison des principaux termes du cycle annuel de l'eau : les précipitations, l'évapotranspiration et l'écoulement (superficiel et souterrain). Ce choix est à justifier par des critères aussi bien physiques que statistiques.

Toutefois, en Algérie, l'année hydrologique adoptée par les services de l'Hydraulique correspond à l'année climatique définie précédemment (septembre - août). Aussi, afin de pouvoir utiliser aisément la documentation hydrologique établie par ces services, nous retiendrons cette année de référence en émettant toutefois une réserve quant au découpage de l'année hydrologique adoptée qui ne tient pas compte des nuances dues à l'existence de secteurs géographiques différenciés. Une année hydrologique comptée de novembre à octobre semble plus convenable au niveau de nos sous bassins.

Cette année hydrologique est assez bien adaptée au régime thermique qui se traduit par une saison froide de novembre à avril et par une saison chaude de mai à octobre. C'est plutôt ce découpage annuel car, de façon globale, les réserves en eaux souterraines épuisées en saison estivale ne sont en voie de reconstitution qu'en novembre. Il en est de même pour l'écoulement de surface, car les précipitations de septembre et octobre ne provoquent pas efficacement le ruissellement, non seulement en raison de l'évapotranspiration encore élevée en cette période

mais aussi de la dessiccation profonde des sols se traduisant par une forte capacité de rétention capillaire.

II.3. DEBITS MOYENS ANNUELS

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en m^3/s et le module spécifique se traduit en $\text{L s}^{-1} \text{ km}^2$.

Nous disposons de séries de données hydrométriques représentant 17 à 28 ans d'observation (tableau 01).

Nous n'effectuerons pas une extension des données hydrométriques (maximisation intrinsèque de l'information au sens de P. Dubreuil, (1974), car il semble préférable de baser notre analyse sur des données réellement observées et non théoriquement extrapolées, d'autant plus que l'étendue des échantillons et la forte irrégularité du régime hydrologique des bassins ne justifient guère une telle opération.

II.3.1. Variations des débits annuels moyens bruts (m^3/s) :

La variation annuelle des modules au niveau des quatre stations est illustrée par les figures). Le tableau 02, montre que l'oued Mouilah à Sidi Belkheir débite $1,717 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une aire de réception de 2650 km^2 , Alors que le bassin du Sikkak (218 km^2) ne draine en moyenne que $0.648 \text{ m}^3/\text{s}$; débit relativement faible qui s'explique par la présence du barrage du Mefrouche en aval sur l'oued Nachef ainsi que le caractère karstique prépondérant des formations géologiques en amont.

Tableau 4: Débit moyen annuel de oued Sikkak à Aïn Youcef. (Tafna-Algérie)

Bassin	Sikkak	
Station	Aïn Youcef	
Année	Q (m^3/s)	q (l/s/km^2)
1970/71		
1971/72		
1972/73	1,081	4,96
1973/74	2,401	11,01
1974/75	1,766	8,1
1975/76	0,992	4,55
1976/77	0,677	3,11
1977/78	0,511	2,34
1978/79	0,432	1,98
1979/80	0,579	2,66
1980/81	0,676	3,1
1981/82	0,338	1,55
1982/83	0,253	1,16

1983/84	0,129	0,59
1984/85	0,163	0,75
1985/86	0,4	1,83
1986/87	0,619	2,94
1987/88	0,295	1,35
1988/89	0,158	0,73
1989/90	0,189	0,87
1990/91	-	-
1991/92	-	-
1992/93		
1993/94		
1994/95		
1995/96		
1996/97		
1997/98		
Moyenne	0,648	2,977
Ecart type	0,599	2,746
Cv	0,924	0,922

Tableau 5: valeurs caractéristiques des modules au niveau des bassins versants

Stations	Moyenne(m ³ /s)	Max (m ³ /s) (année)	Min (m ³ /s) (année)	Nbre d'années > moyenne	Coeff. Immodération R = Q _M /Q _m	Coefficient Variation
A.youcef	0,648	2,401(73-74)	0,158 (88-89)	04 sur 17	15,2	0,93

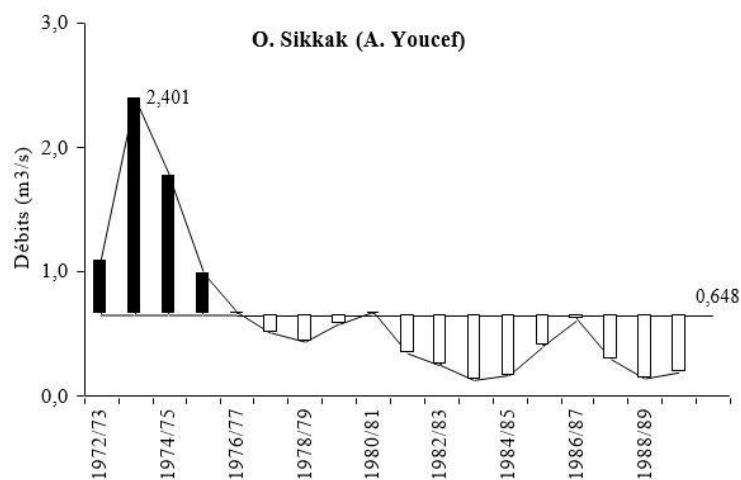


Figure 11: Variations interannuelles des modules de oued et Sikkak à Aïn Youcef. (Tafna-Algérie)

II.3.2. Variations des débits annuels moyens spécifiques (l/s/km²) :

Afin de mieux cerner la variation de l'écoulement dans les quatre bassins, nous utiliserons les modules spécifiques, car ces derniers permettent de les comparer entre eux en ramenant le débit à l'unité de surface. L'abondance spécifique des bassins (tableaux. 34) varie d'une part en fonction de la distribution des précipitations et d'autre part en fonction des caractéristiques physiographiques de chaque bassin, à savoir la lithologie, le couvert végétal. C'est donc un élément purement géographique.

Tableau 6: Débit spécifique et lame d'eau écoulée

Bassins	Cours d'eau	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	E (mm)
Sikkak	Sikkak	0.648	2.973	93.74

Q : module annuel (m³/s) ; *q* : débit spécifique (l/s/km²) ; *E* : lame d'eau écoulée (mm)

Le bassin versant de oued Sikkak, leurs débits spécifiques sont respectivement de 5,733 et 2,973 l/s/km² équivalents à une lame d'eau écoulée de 180,8 et 93,74 mm. Ces valeurs relativement importantes du débit spécifique au niveau de ces deux bassins, sont dues à la taille et la lithologie des bassins ; le karst très développé permet aux circulations d'eaux souterraines de soutenir l'écoulement en période d'étiage.

l'hydraulicité

Tableau 7: Hydraulicité de Sikkak. (Tafna-Algérie)

Bassin	Sikkak
Station	A. Youcef
Année	Qi/Qm
1970/71	
1971/72	
1972/73	1,67
1973/74	3,71
1974/75	2,73
1975/76	1,53
1976/77	1,04
1977/78	0,79

1978/79	0,67
1979/80	0,89
1980/81	1,04
1981/82	0,52
1982/83	0,39
1983/84	0,2
1984/85	0,25
1985/86	0,62
1986/87	0,96
1987/88	0,46
1988/89	0,24
1989/90	0,29
1990/91	
1991/92	
1992/93	
1993/94	
1994/95	
1995/96	
1996/97	
1997/98	
max	3,71
Min	0,2

II.3.3. Etude statistique des modules

L'étude statistique des modules présente un intérêt indéniable dans le cadre des projets d'aménagements hydrauliques et permet de compléter la connaissance du phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel. Le choix de la période de retour du débit dépend de la taille de l'échantillon.

La forte dispersion des débits annuels mise en évidence par les valeurs du coefficient de variation (C_v), laisse supposer une distribution dissymétrique des échantillons, cette dissymétrie

:

Tableau 8: Ajustement à une loi Log-normale des modules annuels de oued Sikkak

Bassin	Paramètres statistiques		Droite d'Henry
	Moy QLog	σ Qlog	
Sikkak	6.29 l/s	0.72	Qlog = 6.29 + 0.72u

Tableau 9: Répartition des débits mensuels de oued Sikkak à Aïn Youcef (Tafna-Algérie)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J ^t	A	An
Oued Sikkak (1972/1990)													
M	0.528	0.318	0.486	0.672	0.742	1.269	1.41	1.223	0.662	0.256	0.145	0.088	0.648
CMD	0.82	0.49	0.75	1.04	1.15	1.96	2.18	1.89	1.02	0.39	0.22	0.137	
Max	7.918	1.245	0.99	1.377	1.423	4.739	10.38	6.528	2.493	0.830	0.697	0.463	2.401
Min	0	0	0.006	0.022	0.063	0.116	0.156	0.052	0.028	0.005	0	0	0.129
σ	1.848	0.344	0.291	0.393	0.404	1.091	2.372	1.746	0.718	0.265	0.189	0.129	0.599
cv	3.5	1.08	0.6	0.58	0.55	0.86	1.68	1.43	1.09	1.04	1.3	1.45	0.93

M : débit moyen (m^3/s), *CMD* : coefficient mensuel de débit, *Max* : débit maximum du mois, *M* : débit minimum dumois, σ : écart type, *Cv* : coefficient de variation

A oued Sikkak le maximum mensuel de la série 1973-1990 se présente 6 fois en février, 5 fois en mars, 3 fois en janvier, 2 fois en mai et 1 fois en septembre et décembre. Quant au minimum mensuel il caractérise le moi d'août (78%) et parfois septembre et octobre.

Le minimum mensuel est plus instable que le maximum mensuel : sur tous les oueds, le maximum moyen s'observe en février, mars (période des hautes eaux mensuelles) caractérisant ainsi le régime pluvial méditerranéen. Ce régime, se calque sur les variations pluviométriques, qui elles même sont liées à la variabilité de la circulation atmosphérique d'où l'instabilité des maxima et des minima mensuels d'une année à l'autre.

Les dates du minimum mensuel connaissent aussi une dispersion dans le temps, mais le minimum moyen se localise en Août.

D'après cette analyse, il apparaît que nos bassins versants ont un régime pluvial méditerranéen caractérisé par une forte irrégularité.

II.3.4. Ressources mensuelles en eau de surface disponibles

Les disponibilités en eau sont plus importantes pendant les mois de hautes eaux par opposition au déficit marqué des mois de basses eaux (tableau 06)

II.4. DEBITS MOYENS JOURNALIERS

L'étude du régime fluvial, à l'échelle journalière, mérite une analyse car les oueds subissent des variations journalières importantes. Nous possédons une chronique des débits moyens journaliers s'étalant de :

- 1972/90 pour oued Sikkak à Aïn youcef

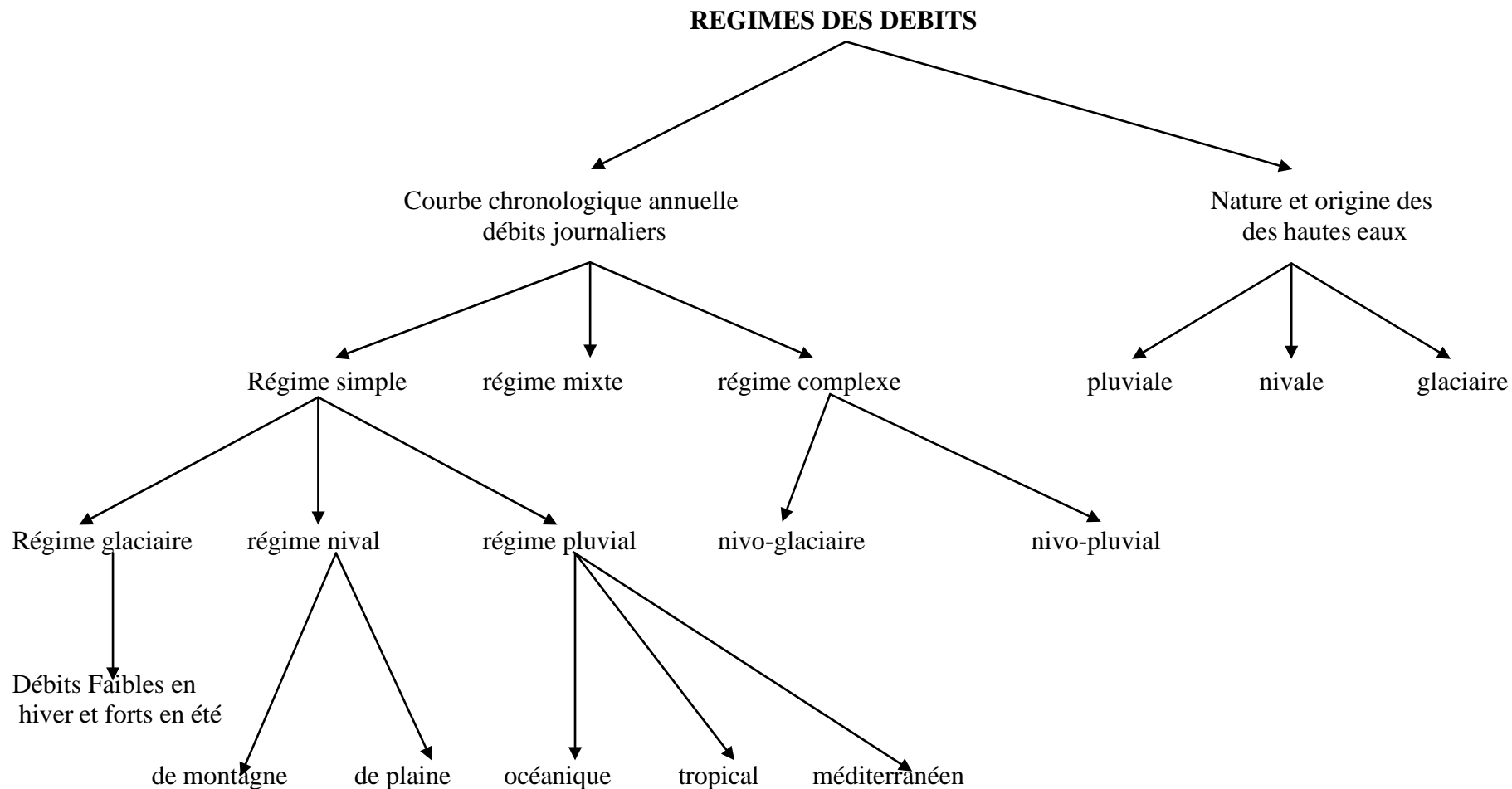
II.4.1. Variation journalière de débit

- Oued Sikkak à Aïn Youcef :

L'année humide 1973/74 (fig.33a) est marquée par une saison de haute eau correspondant pratiquement au printemps (février, mars et avril), où le débit a atteint 63 m³/s vers la fin de mars. Les autres mois sont caractérisés par des débits journaliers assez faible ne dépassant pas les 2 m³/s.

Pendant l'année sèche 1983/84, l'oued Sikkak (fig.33b) est resté sec pendant 04 mois et les débits journaliers n'ont guère dépassé 1.5 m³/s.

CLASSIFICATION DES REGIMES DES COURS D'EAU :



II.5. ETUDE DES DEBITS EXTRÊMES

Les débits extrêmes que sont les phénomènes de crues et d'étéiages ne peuvent être cernés que dans leur succession chronologique, allant de quelques heures à plusieurs jours.

L'étude des crues permet de mettre en évidence la réaction du bassin versant pendant un pas de temps réduit à une averse ou séquence pluvieuse donnée. Cette réaction ou réponse du bassin, fonction des caractères propres des précipitations (hauteur, intensité et durée) est déterminée par la combinaison complexe des divers éléments caractérisant l'organisation fluviale : état de saturation des sols, importance des pentes, densité de drainage, taux de la couverture végétale, forme du bassin etc...

On se limitera dans l'étude des crues, à leurs caractères généraux tels que leur genèse, leur puissance, leur fréquence en précisant par ailleurs, le potentiel hydrologique énorme qu'elles représentent.

L'étude des étiages, phénomènes moins brutaux dans leur apparition, permet de mettre en valeur la forte décroissance des débits en phase de tarissement et surtout de préciser les restitutions des nappes aquifères à l'écoulement fluvial. Ils seront envisagés du point de vue de leur genèse et de leur évolution dans le temps.

II.5.1. Les crues

L'étude des crues des oueds de l'Algérie reste un domaine inconnu, seules quelques indications très ponctuelles sont données dans les annuaires hydrologiques algériens. Les crues représentent un des traits fondamentaux du régime d'un cours d'eau, malheureusement nous ne possédons pas des longues séries de crues pour pouvoir tirer des conclusions globales. Nous nous contentons donc d'exploiter les données disponibles à savoir :

-Débits instantanés de crues de l'oued Sikkak à Aïn youcef (1972 -1990)

Cet état de fait, nous conduit à étudier brièvement ces phénomènes exceptionnels.

Selon R. Frécaut (1971), il convient de distinguer crues et hautes eaux ; les hautes eaux moyennes représentent une situation saisonnière durable. Les crues au contraire, constituent avec les étiages une situation extrême dans le comportement des cours d'eau. Il s'agit de gonflements fluviaux exceptionnels et irréguliers, tant en saison froide (période de hautes eaux), qu'en saison chaude (période de basses eaux). Pour certains auteurs les crues sont des débits égaux ou supérieurs à un certain multiple du module annuel (03 à 05 fois le module). D'après G. Remenieras, une crue annuelle est le débit le plus fort observé dans l'année.

II.5.1.1- Genèse des crues

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, par des paramètres morphométriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des longueurs etc...), par la pente des thalwegs, la forme du lit (Cosandey et Robinson, 2000).

De plus les diverses branches du chevelu hydrographique interviennent bien qu'à un degré moindre dans l'évolution ou la perturbation d'une crue. Dans la plus part des cas, ce sont les averses généralisées qui provoquent la plus grande crue.

L'étude fréquentielle des crues enregistrées montre que (tableaux.45) :

-L'oued Sikkak n'a connue sur une période de 18 ans que deux crues de débit supérieur à 100 m³/s. Plus de 75% des crues ont un débit inférieur à 25 m³/s dont 42% n'atteignent pas 10 m³/s.

Tableau 10: Répartition en (%) du nombre des crues de la Haute Tafna (1988/98), du Sikkak (1973/90)

Classes de débits (m ³ /s)	Sikkak
2000 – 1000	-
1000 – 500	-
500 – 200	-
300 – 100	8.33
100 – 50	-
50 - 25	16.66
25 -10	33.33
<10	41.66

Tableau 11: Crues de la Haute Tafna à Béni Bahdel (1988 – 1998)

a	B	c	d	e
20 / 03 / 1989	104.600	58.32	1.79	6.54
21 / 06 / 1989	33.250	14.49	2.29	2.08
04 / 01 / 1990	21.760	12.17	1.79	1.36
08 / 09 / 1990	72.400	54.89	1.32	4.53
17 / 09 / 1990	103.400	69.18	1.49	6.47
01 / 03 / 1991	70.200	20.225	3.47	4.39
14 / 03 / 1991	84.460	47.88	1.76	5.28
09 / 04 / 1992	48.690	34.0	1.43	3.05
04 / 05 / 1992	22.650	18.41	1.25	1.42
15 / 09 / 1992	13.00	6.18	2.10	0.81
06 / 05 / 1993	43.720	24.41	1.79	2.74
15 / 06 / 1996	<u>204.000</u>	100.61	2.03	12.76
17 / 09 / 1997	52.000	26.88	1.93	3.25

Les valeurs extrêmes des débits instantanés maxima ont une distribution annuelle variable (tableaux 45 à 49). En effet, les figures (Annexe II), montrent que durant la même période (1988/98), la réponse aux crues est différente d'un bassin à l'autre. L'évolution des crues est fonction de la répartition des précipitations et de la densité du réseau hydrographique. La vitesse de propagation des maxima, elle-même fonction de plusieurs facteurs (pente, étendue du lit et hiérarchisation du chevelu hydrographique) constitue un élément fondamental dans l'évolution spatiale des crues. Parmi les crues des quatre oueds nous citerons les plus importantes dans les tableaux ci-dessus.

Les hydrogrammes relatifs aux crues sont intéressants dans la mesure où certains laissent apparaître deux montées ou plus des niveaux d'eau, dues à des averses successives. Ces aspects mettent en évidence le caractère relativement durable des précipitations de saison froide.

Contrairement à la montée, la décrue s'est généralement faite de façon beaucoup plus lente ; cette phase s'étend sur plusieurs jours avant le rétablissement du débit de base. On remarque que les courbes de décrue des oueds aux diverses stations ont des allures semblables.

Tableau 12: Crues du Sikkak à Ain youcef (1973 – 1990)

a	b	c	d	e
29/03/73	176.3	176.3	1	11.94
22/02/74	23.28	18.3	1.27	1.58
23/03/74	25.48	13.79	1.85	1.73
30/03/74	116	62.77	1.85	7.86
20/04/74	21.58	14.79	1.46	1.46
21/04/75	44.9	34.57	1.3	3.04
01/05/76	38	17.31	2.2	2.57
01/03/79	13.58	4.92	2.76	0.92
29/10/79	5.43	1.53	3.55	0.37
05/03/80	29.88	11.74	2.55	2.02
29/12/80	17.34	8.87	1.95	1.17
10/11/84	5.86	1.15	5.1	0.39
12/12/85	5.43	1.92	2.83	0.37
09/02/86	14.52	8.83	1.64	0.98
09/03/86	6.4	4.74	1.35	0.43
18/11/86	5.62	2.68	2.1	0.38
13/02/87	15.18	8.11	1.87	1.03
22/02/87	18.09	7.27	2.49	1.23
01/01/88	3.55	1.93	1.84	0.24
21/11/88	2.59	2.59	1	0.17
20/03/89	13.2	7.32	1.80	0.89
26/04/89	3.32	1.55	2.14	0.22
04/01/90	8.05	6.38	1.26	0.54
14/01/90	9.77	6.45	1.51	0.66

a : date du débit de pointe ; b : débit instantané maximal (m^3/s) ; c : débit moyen journalier maximal (m^3/s) ; d : moyenne b/c ; e : coefficient de crue : $e = b / \sqrt{S}$; S : aire réceptrice du bassin (km^2)

II.5.1.2. Puissance des crues

Plusieurs critères peuvent caractériser la puissance d'une crue : sa cote maximale, son débit journalier maximal, son volume et son coefficient « e » de Meyer- Coutagne – Pardé, qui constitue un bon élément d'approche dans le cadre d'une analyse comparative de crues entre des bassins de tailles différentes.

$$e = Q / S^{1/2} \text{ avec :}$$

Q : débit maximal instantané (m³/s) S : surface réceptrice du bassin.

Ces fortes variations sont liées aux conditions d'alimentation et de ruissellement très différentes d'un secteur hydrologique à l'autre et d'une saison à l'autre. La puissance des crues de saison froide est dans l'ensemble plus élevée qu'en saison chaude.

Rapport débit de pointe / débit moyen journalier maximal

Un second facteur doit être pris en considération dans l'étude de la variabilité des crues c'est le coefficient « d » (tableaux 46 à 49) qui exprime le rapport du débit instantané maximal au débit moyen journalier maximal.

-1 et 5.1 à oued Sikkak

Ces données mettent en évidence la forte irrégularité de l'écoulement au cours d'une journée de crue et confirment ainsi, le caractère très aléatoire du régime méditerranéen du bassin de la Tafna.

Analyse fréquentielle des crues maximales annuelles

Si dans la plus part des études consacrées à l'hydrologie des bassins versants Sud Ouest méditerranéens, les séries des pluies annuelles sont distribuées généralement selon une loi normale de Gauss [S.M. Hayane 1983, A. Mebarki 1984, A. Ghachi 1986, A. Megnounif 1999 et All, k. Baba Hamed 2002], les modules à une loi dissymétrique log-normale de Type Galton, [A. Mebarki 1984, A. Ghachi 1986, R. Taïbi 2000, N. Khalil 2002] la distribution des débits maximums de crues reste mal déterminée, hormis quelques études fragmentaire où les auteurs ont utilisé soit la loi de Gumbel (S.M. Hayane 1983) soit celle de Frechet (A. Ghachi 1986).

On a souvent admis, à tort ou à raison, que les débits maximums annuels s'ajustent à une loi de type Galton ou à celle de Gumbel. En effet la distribution statistique d'un échantillon de maximums annuels n'est jamais normale. Il semblerait assez logique qu'elle suive une loi de Gumbel ou de Jenkinson [M. Roche, 1963]. D'autres lois ont été utilisées notamment en régime tropical, en particulier celles de Goodrich, de Gibrat-Gauss ou de la loi de Pearson III [Roche 1963]. En régime fluvial Nord méditerranéen, les débits maximums annuels suivent plutôt une loi

de Galton, Gumbel ou PearsonIII [Dubreuil 1974] [Laborde 1997].

Partant de ces considérations et sachant que le régime des cours d'eau Sud méditerranéens est très irrégulier à écoulements généralement torrentiels, nous avons étudié la distribution statistique des débits maximums annuels observés au niveau des oueds Sebdou, Mouilah, Isser et Sikkak.

L'objectif de cette étude est de préciser s'il existe des lois préférentielles auxquelles s'ajustent les débits maximums annuels de ces cours d'eau.

a)- Données et Méthode

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Bobée et Ashkar, 1991).

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Ses diverses étapes peuvent être schématisées très simplement selon le diagramme suivant (fig.02) :

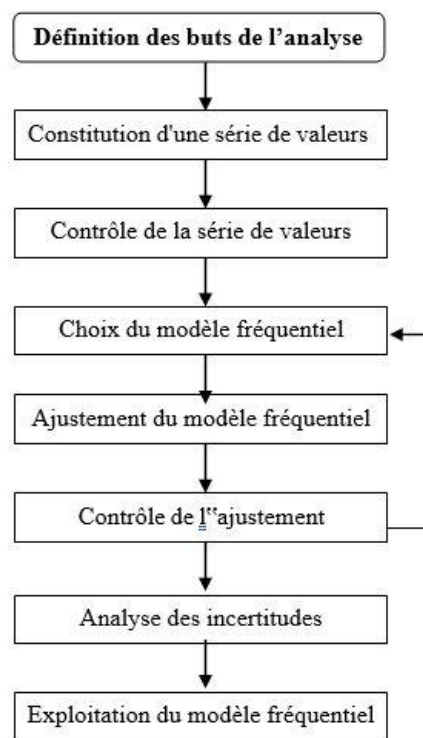


Figure 12: Principales étapes de l'analyse fréquentielle (P. Meylan et A. Musy, EPFL, 1999)

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Diverses lois peuvent contribuer à faciliter ce choix, mais il n'existe malheureusement pas de méthode universelle et infaillible. Il est en effet peu probable que les crues suivent une loi particulière, comme le rappelle notamment **Bobée (1999)**, les hypothèses à la base de la théorie des valeurs extrêmes ne sont pas entièrement respectées en hydrologie.

Le choix d'un type de modèle probabiliste est souvent basé sur des habitudes locales, qui, à la longue, deviennent de véritables coutumes. Un tel choix résulte fréquemment de l'expérience d'un ou de plusieurs auteurs, constituant peu à peu des écoles. L'attitude du praticien, suivant telle ou telle école, est légitime dès lors qu'elle le fait bénéficier d'une grande somme d'expérience, mais elle a aussi ses dangers. En effet elle peut conduire à perpétuer un choix, parfois mal fondé, dans des situations, où il peut se révéler inadéquat.

Dans certains pays, ou dans certaines administrations, il existe en effet des règles ou normes qui fixent la méthodologie d'une analyse fréquentielle. Pour l'étude des débits maximums, par exemple, la loi log-Pearson III est recommandée aux Etats-Unis.

La loi normale s'applique généralement bien à l'étude des modules annuels des variables hydro-météorologiques en climat tempérée. La loi log-normale est préconisée par certains hydrologues dont **V.- T. Chow (1987)**, qui la justifient en argumentant que l'apparition d'un événement hydrologique résulte de l'action d'un grand nombre de facteurs qui se multiplient. E.-

J. Gumbel postule que la loi double exponentielle, ou loi de Gumbel, est la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de n valeurs.

Aussi et pour plus de détails théoriques sur les lois utilisées dans l'analyse fréquentielle des débits extrêmes, on se référera particulièrement à la thèse (**R. Naulet 2002**).

Les séries étudiées représentent des débits instantanés maximums annuels mesurés au niveau des différents cours d'eau. Elles ne sont pas forcément de même étendue et ne se rapportent pas par conséquent toujours aux mêmes périodes. Nous avons soumis ces données à une analyse fréquentielle moyennant le logiciel « Hydrology Frequency Analysis » (HYFRAN) conçu spécialement pour le traitement des données hydrologiques extrêmes.

HYFRAN est un logiciel d'ajustement de lois statistiques comprenant un ensemble d'outils mathématiques puissants, conviviaux et flexibles permettant en particulier l'analyse statistique d'événements extrêmes et de manière plus générale l'analyse statistique de séries de données.

HYFRAN a été développé par l'équipe du Dr. B. Bobée et son groupe de recherche à l'Institut National de la Recherche Scientifique - Eau Terre et Environnement (INRS-ETE) de l'Université du

Québec avec le parrainage d'Hydro-Québec.

L'échantillon est soumis à un ajustement selon un ensemble de lois statistiques et à partir d'une analyse comparative des résultats, nous choisirons la meilleure adéquation.

b) Résultats et interprétations

Les séries des débits maximums annuels ont été utilisées pour l'analyse fréquentielle, par ajustement à des lois statistiques caractéristiques pour l'étude des événements extrêmes. Seules les lois qui étaient réellement représentatives de l'échantillon, ont été retenues pour chaque station donnée, aux intervalles de confiance à 95%. Le traitement statistique aboutit aux résultats suivants (Figure 03 et Tableau 09).

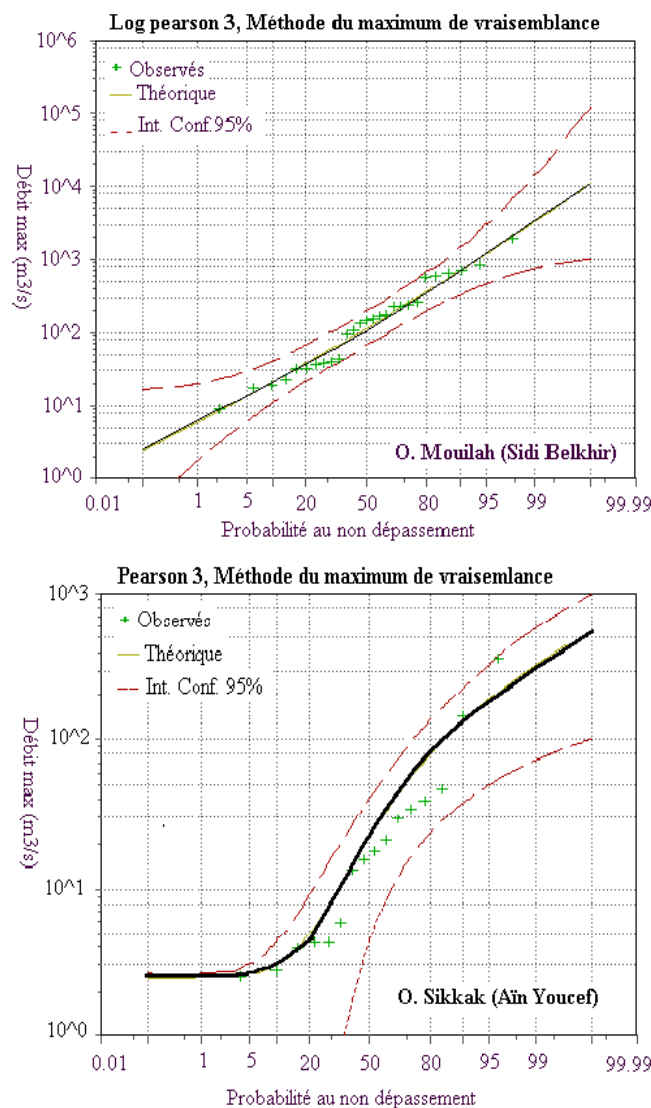


Figure 13: Ajustement graphique des séries des débits maximums instantanés des bassins versants de Mouilah et Sikkak

Tableau 13: Ajustement des séries des débits maximums instantanés correspondant aux différents bassins étudiés

Bassins	Lois d'ajustement		Statistiques			
	Log Pearson 3	Pearson 3	Moyenne	Ecart type	Coef. de variation	N
Sikkak		+	37.9	48.9	1.28	18

Il ressort de ces résultats que contrairement à ce qu'il était souvent admis et pris comme postulat, les débits maximums annuels des bassins sud ouest méditerranéen s'ajustent mieux à des lois dissymétriques basées sur les méthodes des moments et de maximum de vraisemblance en l'occurrence les lois Log Pearson III, Pearson III et Gamma. (Riad et all. 2004).

L'application de ces lois pour le calcul des débits extrêmes à des récurrences données donne pour nos différents bassins (Tableau.10).

Tableau 14: Estimation des Quantiles de crue des différents oueds

Période de retour (an)	2		10		50		100		200		1000	
	Q	σ	Q	σ	Q	σ	Q	σ	Q	σ	Q	σ
Sikkak	22.5	9.27	132	48.4	268	104	330	131	393	159	542	225

L'analyse que nous venons d'exposer, bien qu'elle ne soit pas exhaustive, nous a permis de poser le problème quant à l'utilisation de lois d'ajustement pour l'étude des débits extrêmes de bassins situés dans une région à régime semi aride contrasté. En effet, nous avons montré qu'en dépit de la proximité des bassins les uns des autres et un même environnement climatique, la distribution des débits extrême peut varier et elle n'est pas régie par une loi prédéterminée : les caractéristique physico-géologique des bassins peuvent influencer le régime des écoulements.

Cependant, nous pouvons remarquer que cette distribution est caractérisée par une certaine tendance locale ou régionale, qu'il serait intéressant de préciser en multipliant le nombre de bassins et de séries étudiés.

L'augmentation des débits de crue en fréquence est controversée. En effet, l'accroissement relatif entre la crue biennale et centennale par exemple est énorme (>6), cette différence apparaît nettement même si l'on tient compte seulement des rapports respectifs des crues de fréquence biennale et de fréquence décennale (>3).

Ceci serait lié, à priori, à l'irrégularité des précipitations (cf. chapitre. Climatologie) qui malgré leur faiblesse quantitative moyenne peuvent avoir une très forte intensité en fréquence rare. Cette intensité croissante est susceptible de provoquer des crues d'une grande ampleur.

II.6. Apports de crues

Les tableaux (52 à 55) donnent les volumes totaux écoulés pendant les crues, ainsi que les volumes écoulés en année moyenne.

Tableau 15: volumes totaux écoulés à l'oued Sikkak (1973/90)

Date de la crue	Débit maximal instantané		Volume total écoulé pendant la crue .10 ⁶ m ³	Volume total écoulé en année moyenne .10 ⁶ m ³	%
	Brut m ³ /s	Spécifique l/s/km ²			
29/03/73	176.3	808.72	19.65	28.02	70.13
22/02/74	23.28	106.79	10.34	74.69	13.84
23/03/74	25.48	116.88	3.99	74.69	5.34
30/03/74	116	532.11	20.69	74.69	27.70
20/04/74	21.58	98.99	1.1	74.69	1.47
25/09/74	20.35	93.35	18.99	74.69	25.43
21/04/75	44.9	205.96	13.13	54.93	23.90
01/05/76	38	174.31	2.18	30.86	7.06
01/03/79	13.58	62.29	0.93	13.42	6.93
29/10/79	5.43	24.91	0.069	18.02	0.38
05/03/80	29.88	137.06	1.6	18.02	8.87
29/12/80	17.34	79.54	2.24	21.03	10.65
10/11/84	5.86	26.88	0.486	5.07	9.59
12/12/85	5.43	24.91	0.2	12.44	1.61
09/02/86	14.52	66.61	1.02	12.44	8.19
09/03/86	6.4	29.36	1.2	12.44	9.64
18/11/86	5.62	25.78	0.306	19.24	1.59
13/02/87	15.18	69.63	1.28	19.24	6.65
22/02/87	18.09	82.98	0.82	19.24	4.26
01/01/88	3.55	16.28	0.24	9.16	2.62
21/11/88	2.59	11.88		4.52	
20/03/89	13.2	60.55	0.91	4.52	20.13
26/04/89	3.32	15.23	0.19	4.52	4.20
04/01/90	8.05	36.93	0.785	5.87	13.37
14/01/90	9.77	44.82	0.543	5.87	9.25

II.6.1. Les étiages

Les étiages représentent un problème délicat à analyser en raison des perturbations du régime naturel des cours d'eau (prélèvements, rejets) très conséquentes en été et des difficultés de mesures inhérentes au phénomène lui-même : les jaugeages en période d'étiage nécessitent une

grande précision et les résultats sont souvent entachés d'erreurs.

Dans un bassin méditerranéen, comme la Tafna, où l'écoulement connaît des formes extrêmes, l'étude des étiages mérite d'être abordée car, ces derniers constituent un frein de la croissance économique dans les différents secteurs d'utilisation. Leur intérêt est de permettre d'apprécier les réserves hydrologiques souterraines du bassin qui fournissent l'eau aux oueds par l'intermédiaire des sources, ils traduisent donc fidèlement la capacité de tel ou de tel bassin.

Les étiages qui se différencient des basses eaux par des faibles fréquences et des durées écourtées peuvent être appréhendés par plusieurs types d'expression numérique : débits moyens minimaux, débits journaliers minimaux, débits caractéristiques d'étiages (DCE) et le rapport entre les débits minimaux et module.

Nous signalons toutefois que ces débits n'apportent qu'un ordre de grandeur car l'écoulement naturel en période d'étiage est très influencé par les prélèvements.

II.6.1.1- Genèse des étiages

La cause essentielle des étiages est une sécheresse climatique exceptionnelle et prolongée, se traduisant par une grave pénurie des précipitations et par une intense évapotranspiration en saison chaude (Frecaut, 1971). Nous avons déjà montré dans la première partie chapitre III, la nette coïncidence typiquement méditerranéenne existant entre le maximum thermique et le minimum pluviométrique en été, ce qui se traduit par un fort déficit d'alimentation en eau de ruissellement et donc une apparition des étiages. Les réserves en eau du sol sont également affectées par l'évapotranspiration qui joue son plus grand rôle en saison sèche.

Il est aussi important de déterminer pour chaque station le débit mensuel d'étiage exprimé en (m^3/s) et en ($l/s/km^2$). D'après le tableau.56, le débit moyen mensuel d'étiage le plus faible est observé sur le Mouilah ($0.65 l/s/km^2$). Ce bassin correspondant à une zone de plus faible précipitation qui est constituée essentiellement d'alluvions plio-quadernaires perméables (50% de la surface du bassin) à forte capacité d'emmagasinement mais à faible transmissivité. Sur l'Isser, le débit moyen mensuel d'étiage est de $1.18 l/s/km^2$. Le bassin de l'oued Isser est caractérisé par un « équilibre lithologique » avec 40% de marnes et argiles et autant de calcaires et dolomies. Le comportement hydrologique est plus ou moins équilibré entre l'infiltration et le ruissellement, toutefois les 17% d'alluvions vont être en faveur de l'infiltration et donc augmenteront sensiblement les débits d'étiage. Le débit spécifique d'étiage est plus élevé au niveau des oueds Sebdou ($5.73 l/s/km^2$) et Sikkak ($2.97 l/s/km^2$) qu'au Mouilah et Isser. Les bassins de Sebdou et Sikkak sont de taille plus réduite et où dominant des formations perméables (>60%) dont la moitié est constituée par les calcaires et dolomies plus karstifiées permettant un destockage plus

rapide qui soutient l'écoulement superficiel.

Tableau 16: débit moyen mensuel d'étiage

Débit brut et spécifique	Sikkak à Aïn Youcef
Période	1973/90
$Q_{\text{étiage}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	Août 0.0835
$q_{\text{étiage}} \text{ (l/s/km}^2\text{)}$	0.383
$Moy_{\text{annuel}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	0.648
$Moy_{\text{annuel}} \text{ (l/s/km}^2\text{)}$	2.97

Ces valeurs seront prises avec beaucoup de discernement en raison des perturbations artificielles de l'écoulement liées aux activités humaines.

Afin de mieux saisir ces phénomènes d'étiage, nous avons tracé les courbes de tarissement à partir des relevés journaliers disponibles et nous avons montré l'évolution des modules journaliers pendant une période moyenne, humide et sèche.

Les courbes de décroissance $Q = f(t)$ sont obtenues en portant sur un graphique, en ordonnées les valeurs de Q , en abscisses les temps en jours (figures 41 à 44). Elles évoluent tantôt en paliers, tantôt en dents de scie.

Oued Sikkak :

Les coefficients de tarissement α sont proches de ceux d'oued Isser aussi bien pour l'année moyenne que Humide (figure 44 a et b). L'oued Sikkak étant un affluent de l'Isser, des comportements semblables peuvent avoir lieu.

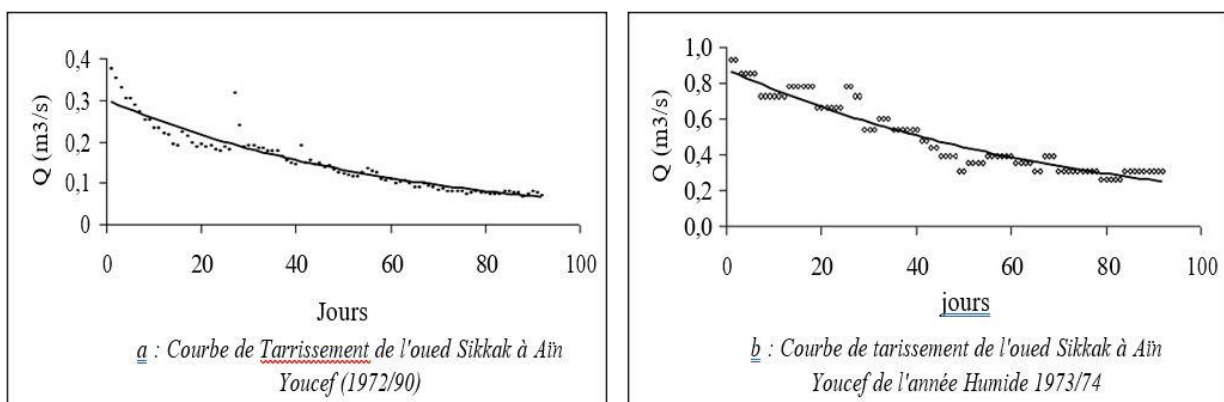


Figure 14: Courbes de tarissement des débits d'oued Sikkak à Aïn Youcef Les équations des courbes de tarissement sont représentées au tableau.

Tableau 17: équations de tarissement d'oued Sikkak

Bassin	Année moyenne	Année humide	Année sèche
Sikkak	$Q = 0.3003 e^{-0.0166t}$	$Q = 0.875 e^{-0.0138t}$	-

En résumé, le rôle des facteurs physico – géographiques et notamment hydrogéologiques est variable d'un bassin à un autre. En effet, les bassins de Sikkak et Sebdou, ont un rendement relativement élevé contrairement à celui de l'Isser et Mouilah. Ce dernier draine une nappe alluviale, certes assez étendue, mais à alimentation réduite et est soumise à d'importants prélèvements. On peut voir aussi l'influence de la superficie des bassins et celle des parties karstiques plus développées dans les bassins du Sikkak et du Sebdou. Le tableau 58, synthétise les relations existant entre les étiages et les facteurs physico – géographiques.

Tableau 18: Présentation synthétique : étiages et facteurs géographiques

Bassin	S (km ²)	PP (mm)	K	d.m.e.moy	%	emax/emin
Sikkak	218	483.3	Bonne	0.084	13	18.69

d.m.e.moy : débit mensuel moyen d'étiage (m³/s) *S* : surface du bassin (km²)

PP : précipitations moyennes annuelles (mm) *K* : perméabilité du bassin

$\% = (d.m.e.moy / moyenne\ du\ module\ annuel) \cdot 100$

II.6.1.2 Ressources en eaux en période d'étiage

L'apport en période d'étiage mérite d'être connu, car il témoigne des caractéristiques du régime d'un cours d'eau. Sur le plan économique, il est primordial de connaître le volume d'eau écoulée en période estivale où la demande en eau est grande. Par ailleurs, les durées d'étiage accroissent les risques de pollution (rejet des eaux usées de certaines unités industrielles telles que celles au niveau de l'oued Mouilah (Bouanani et al. 1998) et Sebdou (Baba Hamed et al 1991) et Sikkak (Bouanani et al. 2003)

Tableau 19: volume total écoulé en période d'étiage (.106 m3)

Bassin	Année moyenne	Année humide	Année sèche
Sikkak	1.56	5.48	00

D'après le tableau 59, l'apport total en année sèche est de $0,94 \cdot 10^6$ m³ à Sebdou (1996/97) soit 1.75% du volume total écoulé en année moyenne. Ce faible pourcentage est dû

probablement au temps de réponse très rapide de l'oued et aux pertes par infiltration. Cet apport est de $7,92 \cdot 10^6$ m³ à Mouilah (1985/86) soit 57.35% et est de $0,593 \cdot 10^6$ m³ à l'Isser

(1982/83) soit 2,8% du volume moyen de l'année.

L'oued Sikkak a connu pratiquement trois années de sécheresse presque total de 1981 à 1984 où l'oued était à sec pendant presque 6 mois par an. Les eaux des cascades de l'Ourit sont arrêtées par le barrage. Les sources aussi bien karstiques d'oued Saf saf en amont que celles de la plaine d'Hennaya à l'aval ont montré une forte diminution des débits (Hayane 1983, Coullignon, 1985, Bouanani et al ...). En plus, les plus importantes sources ont été captées pour l'alimentation en eau potable.

Les résultats présentés ci –dessus sont approchés et ne tiennent pas compte des perturbations artificielles du régime. Cependant, ils permettent de constater que l'apport annuel d'origine souterraine est non négligeable et peut toutefois chuter lors des années d'indigence pluviométrique marquée.

Le bassin de la Tafna connaît donc une abondance au moment où la demande en eau est faible et une indigence parfois prolongée en période estivale, où les besoins se font grandement sentir.



Conclusion

Conclusion

L'insuffisance de l'équipement hydrométrique et le manque de données précises ont été largement ressentis dans la compréhension de certains phénomènes hydrologiques, particulièrement liés aux formes de l'écoulement extrême. En dépit de données de débits parfois fragmentaires, nous avons pu néanmoins, dégager les grands traits du régime d'écoulement des sous bassins.

L'interprétation statistique et graphique des données nous a permis de saisir les variations spatiales de l'écoulement superficiel en liaison avec les données climatiques et physiographiques des sous bassins de même sa forte variabilité temporelle, annuelle et surtout saisonnières et journalières. Le calcul des bilans inter annuels ont fait ressortir la faiblesse du coefficient d'écoulement, notamment au niveau des bassins d'Isser (8.4%) et de Mouilah (6%) et au contraire, l'importance du coefficient d'écoulement au niveau du Sikkak (20%) et d'oued Sebdou (40%) serait due à sa taille plus réduite et à la karstification plus développée du système souterrain du bassin permettant un destockage plus rapide qui soutient l'écoulement superficiel.

L'analyse des variations saisonnières des débits a permis de dégager spécialement à partir des coefficients mensuels des débits, les nuances de régimes hydrologiques à alimentation essentiellement pluviale liés aux régimes climatiques mais plus ou moins modifiés par le rôle de la lithologie. Ils ont fait apparaître la forte opposition entre l'abondance hivernale et l'indigence estivale des cours d'eau.

L'étude des formes extrêmes de l'écoulement, axée tout d'abord sur les crues, a mis successivement en évidence : le caractère torrentiel des crues principalement à la forte intensité des précipitations, leur mécanisme de propagation et enfin leur répartition fréquentielle régie par la loi de Pearson III.

Par opposition, les étiages très influencés par les prélèvements et les rejets, ont fait apparaître des tarissements marqués des oueds en été. Ceux - ci étant parfois compensés par les apports en eaux souterraines pourtant non négligeables.

Nous verrons dans la prochaine partie de l'étude, la réponse des bassins aux précipitations avec comme exemple une année sèche et pendant laquelle la sécheresse estivale est plus marquée et les activités humaines plus importantes. Pour ce faire, nous avons pensé convenable d'utiliser l'analyse corrélatrice et spectrale afin de pouvoir dégager la dynamique de ces systèmes (conf. Chap. Modélisation).