

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
جامعة مولود معمري
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES



MEMOIRE

présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Filière : GEOLOGIE

Option : HYDROGEOLOGIE

Par : **BELLOUT Ramdane**

**Caractéristiques de l'évolution des précipitations
dans le bassin versant du Sébaou (Tizi-Ouzou)**

Soutenu publiquement le : 24/09/2024 devant le jury composé de :

M. Hocine ZEGHOUANE	M.C.B. à l'UMMTO.....	Président
M. Abdelmadjid DROUCHE	M.C.B à l'UMMTO.....	Encadrant
Mme Manal DJEMA	Ingénieur à DREW Boumerdès.....	Co-encadrante
M. Mohamed Said BENNABI	M.A.A à l'UMMTO.....	Examineur
M. Ramdane KARDACHE	MCA anciennement de l'UMMTO.....	Invité

Promotion 2023/2024

Remerciements

Au terme de ce travail, il nous tient à cœur d'adresser nos remerciements les plus chaleureux aux personnes qui ont veillé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste ce travail.

Nous tenons particulièrement à remercier notre promoteur M. Drouiche Abdelmadjid pour son aide précieuse et ses encouragements. Qu'il trouve ici nos sentiments de gratitude et de considération.

Nos vifs remerciements s'adressent à M. Zeghouane H., qui a bien voulu présider le jury.

On adresse aussi nos sincères remerciements à M. Kardache R. pour ses conseils précieux et tout le temps qu'il nous a accordé.

Nos chaleureux remerciement sont adressé à M. Bennabi M. S. qui a accepté d'examiner notre manuscrit et enrichir notre travail avec remarques et corrections

Nos remerciements vont également à tous les enseignants du département des sciences géologiques qui nous ont encadrés pendant notre cursus universitaire.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers à mon cœur qui se sont sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite, qui m'ont encouragé tout au long de mon parcours et qui ont cru en moi, Mes parents adorés Rabah et Ouardia.

Je dédie également ce travail à mon frère Hamid, à mon meilleur ami Ziyade et à toute ma grande famille à mes camarades avec qui j'ai partagé ce parcours et à toute la promotion 2023-2024.

Ramdane.

Résumé

L'Algérie comme tous les pays du monde est sous l'impact des changements climatiques. Notre travail consiste à déterminer les caractéristiques de l'évolution des précipitations atmosphériques dans le bassin de Sébaou. Ce dernier appartient au grand bassin côtier algérois et s'étale sur 2500 km². Il est caractérisé par un climat méditerranéen et reçoit une précipitation moyenne de 962,2 mm. 72,2 % de ces précipitations sont reprises par l'atmosphère, 22,6 % s'écoulent dans les cours d'eau, formant le réseau hydrographique de la zone d'étude, et 5,2 % s'infiltrent en profondeur pour assurer le renouvellement de la réserve en eau souterraine.

L'analyse de l'évolution des précipitations, basée sur une approche statistique, a montré qu'à l'échelle annuelle et saisonnière, les précipitations de la zone d'étude ont conservé leurs stationnarités et leurs propriétés aléatoires.

Mots clés : Sébaou, Précipitation, test statistique, eau souterraine.

Abstract

Algeria, like all countries in the world, is impacted by climate change. Our study aims to determine the characteristics of precipitation trends in the study area. The Sebaou basin is part of the greater Algiers coastal basin and spans 2,500 km². It is characterized by a Mediterranean climate and receives an average annual precipitation of 962.2 mm. Of this precipitation, 72.2% is returned to the atmosphere, 22.6% flows into rivers forming the hydrographic network of the study area, and 5.2% infiltrates deeply to replenish the groundwater reserves.

The analysis of precipitation trends based on a statistical approach has shown that, on both annual and seasonal scales, the precipitation in the study area has maintained its stationarity and random properties.

Keywords: Sébaou, Precipitation, statistical testing, groundwater

LISTE DES ACRONYMES

AEI	: Alimentation en Eau Industrielle
AEP	: Alimentation en Eau Potable
ANIREF	: Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncier
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques
DPSB	: Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires
ETP	: Evapotranspiration potentielle
ETP _C	: Evapotranspiration potentielle corrigée
ETR	: Evapotranspiration réelle
GWP	: Global Warming Potential
LNI	: Larbaa Nait Irathen
Q.med	: Test d'estimation de la pente de Sen
RFU	: Réserve Facilement Utilisable
SQMK	: Test séquentielle de Mann – Kendall
ZSQMK	: Test de Pettitt

SOMMAIRE

DEDICACES.....	i
Résumé	ii
Abstract.....	ii
LISTE DES ACRONYMES.....	iii
SOMMAIRE.....	iv
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	10
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
1. Introduction	2
2. Situation géographique du bassin versant de Sébaou	2
3. Géologie de la zone d'étude	3
3.1. La lithologie.....	4
3.2.1. Socle kabyle	5
3.2.2. Dorsale kabyle.....	5
3.2.3. Oligo-miocène kabyle	5
3.2.4. Unité numidienne	5
3.2.5. Flysch d'unité d'Afir.....	5
3.2.6. Unité tellienne de Dellys	6
3.2.7. Olistostrome (ou argiles à blocs).....	6
3.2.8. Formations post-nappes	6
3.2.9. Formations quaternaires	7
3.2. Tectonique.....	7
4. Aspect socio-économique.....	8
4.1. Industrie	8
Nombre d'huilerie	8
Quantité d'olive trituré en quintaux	8
Charge polluante	8
Oued Sébaou	8
4.2. Potentiels humains	8

4.3. Occupation de sol.....	8
4.4. Potentialités en eau	9
4.4.1. Ressources en eau de superficielles	9
4.4.2. Ressources en eaux souterraines	9
5. Conclusion	10
CHAPITRE 2 : LES PRECIPITATIONS	11
1. Introduction	11
2. Equipement de bassin versant.....	11
2.1. Comblement des lacunes.....	12
2.2. Analyse statistique des précipitations annuelle.....	15
3. Evolution temporelle des précipitations dans le bassin versant du Sébaou.....	16
3.1. Précipitations annuelles	16
3.2. Précipitations mensuelles.....	18
3.3. Relation pluviométrie –altitude.....	20
4. Conclusion	21
CHAPITRE 3 : BILAN HYDROLOGIQUE	22
1. Introduction	22
2. Calcul de la précipitation moyenne du Sébaou	22
2.1. Méthode arithmétique	22
2.2. Méthode des polygones de Thiessen.....	23
3. Bilan hydrologique	24
3.1. Evapotranspiration	24
3.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)	25
3.3. Evapotranspiration réelle (ETR)	26
3.3.1. Bilan simplifier de Thornthwaite	26
3.3.2. Formule de Turc	27
3.3.3. Formule de M. Coutagne.....	28
3.4. Lamme d'eau ruisselée.....	28
3.5. Infiltration et Bilan hydrologique	29
4. Conclusion	30
CHAPITRE 4 : ANALYSE SATIO-TEMPORALLE DES PRECIPITATION	31
1. Introduction	31

2. Totaux annuelle des précipitations	32
3. Totaux saisonniers des précipitations	33
3.1. Automne.....	33
3.2. Hiver	33
3.3. Printemps	34
3.4. Été	34
4. Conclusion.....	34
CONCLUSION GENERALE	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude(Google Earth) 3

Figure 2 : Situation géographique du bassin versant de sébaou (extrait de la carte du réseau hydroclimatique ANRH) 3

Figure 3:les grands ensembles structuraux (dessin de H. Hadoum, 2015)..... 4

Figure 4 : Localisation des stations pluviométriques retenues 11

Figure 5 : Hauteurs des précipitations moyennes annuelles de différentes stations (1990-2019)..... 15

Figure 6 : Précipitations moyennes annuelles à Aghrib (1990-2019) 16

Figure 7 : Précipitation moyennes annuelles à LNI (1990-2019) 17

Figure 8 : Précipitation moyennes annuelles à Tizi Ouzou (1990-2019) 17

Figure 9 : Précipitation moyennes annuelles à Ait Ouabane (1990-2019)..... 17

Figure 10 : Précipitation moyennes annuelles à BEN YENNI (1990-2019)..... 18

Figure 11 : Précipitation moyen annuel à AZAZGA (1990-2019) 18

Figure 12 : Précipitations moyennes mensuelles à Tizi Ouzou (1990-2019)..... 19

Figure 13 : Précipitations moyennes mensuelles à LNI (1990-2019) 19

Figure 14: Précipitations moyennes mensuelles à Azazga (1990-2019)..... 19

Figure 15 : Variation des précipitations moyennes mensuelles en fonction de l'altitude (ouest-est)..... 21

Figure 16 : Application de la méthode des polygones de Thiessen sur le bassin du Sébaou 24

Figure 17 : Bilan de Thornthwaite de la station de Tizi-Ouzou (1990-2019) 27

Figure 18 : Sens et année de la tendance des précipitations dans le Sébaou 33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques des sous bassin versants de Sébaou (ANRH)	2
Tableau 2 : Les Huileries polluantes de la wilaya de Tizi-Ouzou (ABH, 2021).....	8
Tableau 3 : Volume des eaux superficielles de wilaya de Tizi-Ouzou (ANIREF, 2021)	9
Tableau 4 : Caractéristiques des stations pluviométriques du Bassin Versant du Sébaou ..	11
<i>Tableau 5 : Précipitations annuelles dans le bassin versant du Sébaou (ANRH)* : lacune</i>	13
Tableau 6 : Précipitations annuelles comblées dans le bassin versant du Sébaou (** : Observation restituée)	14
Tableau 7: Caractéristiques statistiques des stations pluviométriques.	15
Tableau 8 : Précipitations mensuelles moyennes (1990-2019) (ANRH)	18
Tableau 9 : Répartition des précipitations mensuelles en fonction des périodes humide et sèche	20
Tableau 10 : Evaluation de la lame d'eau par la méthode de Thiessen	23
Tableau 11 : ETP calculées par la formule de Thornthwaite à Tizi Ouzou (1990 - 2019)..	25
Tableau 12 : Bilan simplifié de Thornthwaite de la station de Tizi-Ouzou (1990-2019) ...	27

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les ressources en eaux représentent un facteur très important dans le développement d'un pays ; cependant beaucoup de contraintes, liées à leur disponibilité, l'irrégularité de leur répartition dans le temps et dans l'espace et la détérioration de la qualité de l'eau peuvent constituer une entrave à toute action de développement, surtout pour notre pays où les ressources en eau, aussi bien superficielles que souterraines sont limitées.

Notre travail consiste à étudier les caractéristiques de l'évolution des précipitations dans le bassin versant du Sébaou, situé dans la région de Tizi-Ouzou. Le manuscrit est structuré en quatre chapitres.

Le premier chapitre est réservé à la présentations des caractéristiques générales de la zone d'étude. On s'intéresse à la situation géographique, la géologie et l'aspect socio-économique. A noter que la présentation du cadre géologique du Sébaou est basé sur des travaux antérieurs reconnus dans la région. Dans l'aspect socio-économique, on présente les potentiels humains du Sébaou, son occupation du sol ainsi que ses potentialités hydriques.

Dans le chapitre 2, une étude des précipitations est menée dans le but de mettre en évidence les principales caractéristiques de l'évolution pluviométrique du bassin du Sébaou. L'étude est basée sur les séries des mesures observées entre 1990 et 2019 dans 6 stations bien réparties sur l'ensemble de la zone d'étude.

Le chapitre 3 est consacré à deux éléments essentiels. Il s'agit de la détermination de la précipitation moyenne de la zone d'étude en s'appuyant sur différentes méthodes et du bilan hydrologique du bassin de Sébaou.

Le dernier chapitre est réservé à l'analyse de l'évolution spatiale et temporelle des précipitations du Sébaou basée sur une approche statistique (le test de Man Kendall, le test séquentiel de Mann-Kendall (SQMK) et le test de Pettitt) et graphique.

Au terme de la présente étude, une conclusion générale récapitulant les principaux résultats et caractéristiques de la zone d'étude est établie.

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

L'eau est une ressource indispensable pour la vie quotidienne de l'humanité dans tous domaines que ce soit économique industriel ou agricole. A l'heure actuelle, l'eau de bonne qualité est une denrée rare avec la diminution des précipitations notamment ces dernières années.

La gestion des ressources en eau est l'une des grandes problématiques du XXIème siècle, liée à l'évolution démographique, à l'urbanisation et au développement économique de la société tout en tenant compte des changements du climat mondial et de pollution.

Généralement, un bassin versant est déterminé par sa morphologie, et essentiellement par les lignes de crêtes topographiques et de partage des eaux. Au sein d'un même bassin versant, existent des bassins versants partiels ou cellules unitaires (ce sont des petits bassins versants dans la grande unité).

Le bassin versant est défini comme une superficie de terrain dont les eaux de surface s'écoulent et se rassemblent des endroits uniques qui est le point le plus bas, appelé exutoire.

2. Situation géographique du bassin versant de Sébaou

Le bassin versant de l'Oued Sébaou est situé au Nord d'Algérie à une centaine de kilomètres à l'Est de la capitale (figure 1 et 2). Il est limité :

- Au Nord par la chaîne côtière,
- Au Sud par la chaîne de Djurdjura,
- A l'Est par les massifs d'Akfadou et de Béni-Ghobri,
- A l'Ouest par le massif de Sidi Ali Bounab et Djebel Bouberak,

Il s'intègre dans le bassin versant côtier algérois codée (02) selon la nomenclature de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) (figure.1). Il se positionne entre les latitudes Nord 36°30 et 37°00 et les longitudes Est 03°30 et 04°30. Il se délimite par un périmètre de 250,4 km et s'étend sur une superficie de 2500 km² répartie comme entre le haut, le moyen et le bas Sébaou (tableau 1).

Tableau 1: caractéristiques des sous bassin versants de Sébaou (ANRH)

Sous bassin versant	Surface (km ²)	Périmètre (km)
Haut Sébaou	1432	313
Moyen Sébaou	848	176.2
Bas Sébaou	220	62.6



Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth)

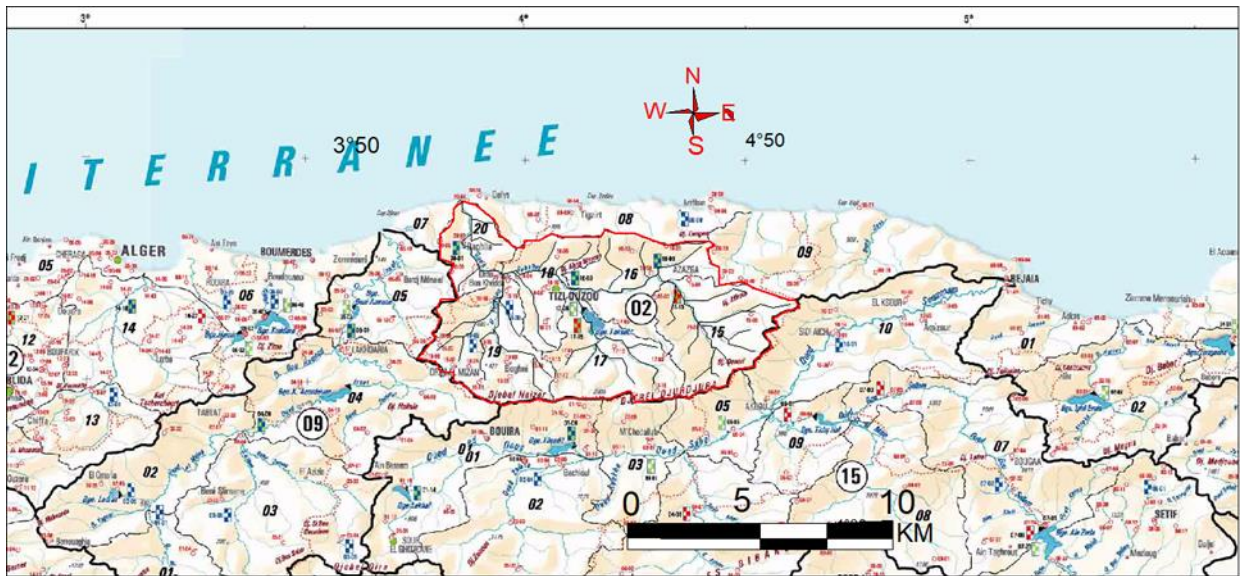


Figure 2 : Situation géographique du bassin versant de sébaou (extrait de la carte du réseau hydroclimatique ANRH)

3. Géologie de la zone d'étude

Le bassin versant du Sébaou a été étudié par plusieurs chercheurs afin d'établir une description géologique détaillée de la région, ainsi que des tracés de cartes et de coupes géologiques représentant toutes les formations qui affleurent à la surface du sol et identifiant tous les horizons aquifères.

Notre zone d'étude se situe dans la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin. On y distingue : les zones internes (Domaine kabyle), les zones externes (Telliennes) et les domaines des flyschs (figure 3). Les grands ensembles structuraux qu'on peut distinguer sont :

- **Le socle kabyle :** Ce sont des terrains cristallins et cristallophylliens d'âge paléozoïque (D. Delga, 1956) et proterozoïque qui constituent le substratum de la dorsale.
- **La chaîne de Djurdjura :** Elle culmine à Lala Khadija à 2308 m et Ras Timedouine à 2305 m. Cette chaîne se présente sous forme d'un arc étroit et peu étendu et s'achève par un élément isolé
- **Le synclinal marneux du Miocène :** C'est le seul matériel autochtone de la région, il est représenté essentiellement par les grès et les limons du miocène 'Post-nappe' (M. Ben Hassainne, 1980).
- **La chaîne littorale :** Cette unité morpho structurale est très complexe et sa formation est directement liée aux nappes de flyschs. Elle constitue le jalon unifiant le pourtour méditerranéen.

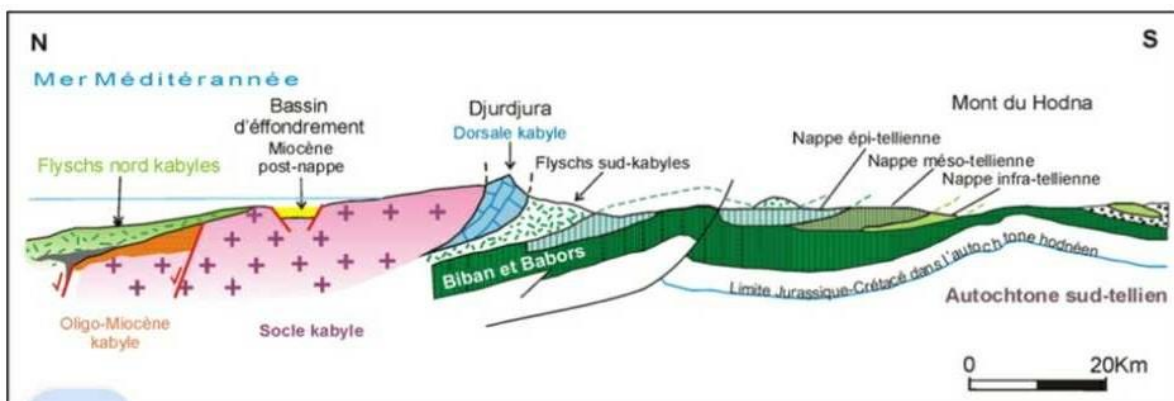


Figure 1: les grands ensembles structuraux (dessin de H. Hadoume, 2015)

3.1. La lithologie

La région d'étude est caractérisée par les formations litho-stratigraphiques suivantes :

- Le socle cristallophyllien (socle Kabyle) ;
- La chaîne calcaire (dorsal Kabyle) ;
- L'Oligo-miocène ;
- L'unité Numidienne ;
- Les flyschs ;
- L'unité Tellienne de Dellys ;
- L'Olistostrome ou « argiles à blocs » ;
- Les formations post-nappes ;

- Les formations quaternaires.

3.2.1. Socle kabyle

IL est divisé en trois ensembles. On y trouve :

- L'unité cristallophyllienne inférieure : ce sont des gneiss à intercalations de marbre et d'amphibolite.
- L'unité cristallophyllienne supérieure : il est formé par des schistes satinés ou phyllades à quartz d'exsudation alternant localement avec des grés, des porphyroïdes oeilés et des lentilles de calcaires métamorphiques.
- La couverture sédimentaire paléozoïque : elle est représentée par des formations pélitiques gréseuses et carbonatées peu ou pas métamorphiques

3.2.2. Dorsale kabyle

La dorsale kabyle qui représente la couverture du socle kabyle, limite le domaine interne au Nord du domaine des flysch au Sud. Elle est subdivisée, en trois dorsales : interne, médiane et externe. Cette unité appelée aussi chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) est formée de terrains carbonatés datés du Permo-trias à l'Oligocène.

3.2.3. Oligo-miocène kabyle

Le terme Oligo-Miocène Kabyle regroupe les ensembles de formations détritiques discordantes sur le socle Kabyle ; datées de l'Oligocène terminal au Miocène basal. Ces formations sont constituées de la base au sommet par des conglomérats surmontés par des argiles riches en débris de socle et parfois silicifiées, selon les lieux. L'Oligo-miocène Kabyle affleure à Ain El Bir au Nord-ouest du Djebel Belloua, à Kouanine, à Azib Bou Moussa, dans la région de Draa El Mizane, Oudhias et dans la région de Taboudamréira (D. Raymond, 1976 et J. P. Gélard, 1979)

3.2.4. Unité numidienne

Constitué par une série de type flysch d'âge oligo-miocène comportant une partie des trois termes de la série numidienne ; les argiles sous numidiennes à la base, les grés numidiens et les formations supra-numidienne constituées d'argiles et de marnes intercalées.

3.2.5. Flysch d'unité d'Afir

Il est composé de deux unités et affleure au Sud-est de Dellys, dans la région d'Afir et d'Azeffoun

- L'unité inférieure d'Afir : C'est un complexe comportant de bas en haut (M. Aigoun 2014) :
 - Un flysch pélito-quartzitique d'âge berriasien à l'albien
 - Un niveau de phtanites (Cénomaniens)
 - Un complexe de faible épaisseur comportant des argiles, des microconglomérats, et des calcaires.
- L'unité supérieure d'Afir : Ce complexe a pour base des phtanites cénomaniens, surmontées d'un flysch crétacé supérieur tendre avec une alternance d'argiles et microconglomérats à ciment argileux et de flysch à microbrèches (D. Raymond, 1976)

3.2.6. Unité tellienne de Dellys

Cette unité affleure essentiellement les régions de Baghlia et Ait Raouana. Elle est d'âge Crétacé Supérieur à Eocène. L'unité est formée d'une puissante série à sédimentation rythmique, composée de calcaires et de marnes, on distingue :

- Des marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien-Sénonien) ;
- Des calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Yprésien-Lutitien inférieur) ;
- Des marnes noires.

3.2.7. Olistostrome (ou argiles à blocs)

Cette formation affleure dans les régions de Kouanine et Draa Karrouche, et aussi le long de la route joignant El Kalaâ et Boudjima et sur la route d'Azazga – Ain El Hammam.

Cette formation est constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique) lités ou chaotique dans laquelle sont dispersés des débris qu'accompagnent des blocs (Olistolites) de taille variable d'âge Aquitanien Supérieur-Burdigalien inférieur (J. P. Bouillin, 1973).

3.2.8. Formations post-nappes

Les formations post-nappe regroupent les terrains d'âge Miocène et Pliocène déposées après la mise en place des nappes de glissement au Nord du socle Kabyle.

Le Miocène : il occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys. Au Burdigalien terminal, il est représenté de bas en haut par des marnes puis des conglomérats surmontés par une molasse et se termine par des marnes.

Les roches volcaniques : au sein des molasses miocènes, apparaissent des roches volcaniques (basaltes, rhyolites et tufs) qui affleurent au Djebel Takdempt, à l'Est du Djebel Bouberak dans la région de Guennana et au versant nord du massif de Naciria.

Le Pliocène : il repose en discordance sur le Burdigalien supérieur ; il est représenté par des marnes gris-clairs dans la région de Dellys (vallée de l'Oued l'Arbaa et à Djerabet).

3.2.9. Formations quaternaires

Elles sont représentées dans l'oued Sébaou par des dépôts alluvionnaires anciens et récents ; ce sont des dépôts de galets, sables grossiers et fins, graviers, limons et argiles qui se présentent sous forme de terrasses emboîtées ou étagées au niveau du Bas Sébaou.

3.2. Tectonique

Le bassin néogène de Tizi-Ouzou appartient aux zones internes de l'orogène alpin des Maghrébides. Il est représenté par un vaste synclinal d'orientation NE-SW, son flanc nord est matérialisé par le Djebel Aissa Mimoun et Djebel Baloua, son flanc sud, quant à lui, est représenté par les chaînons de Larbaa Nath Irathen - Mekla et de Ain El Hammam. Dans cette région l'activité tectonique est l'expression de la convergence actuelle de la plaque africaine et Eurasienne, qui se traduit par la fermeture progressive des bassins néogènes et par la poursuite de l'édification de la chaîne tellienne, comme, elle se traduit aussi par une activité sismique générant des accidents qui sont localisées généralement le long des bordures des bassins du Mio-Plio-Quaternaire.

L'analyse des linéaments observés dans notre région d'étude démontre l'importance de la fracturation. Elle révèle une prédominance de deux familles de direction préférentielles orientées : ENE-WSW ; NE-SW.

Les différentes observations de terrain ont permis de mettre en évidence des accidents affectant les formations récentes qui peuvent être sismogène. Cette sismicité se traduit par les différentes structures observées dont les seismites d'Ighezer n'bouimer et de l'oued Sébaou et les déformations affectant le Quaternaire. Les différents escarpements et les séismes historiques du bassin de Tizi-Ouzou témoignent sur les mouvements brutaux qui ont marqués l'histoire tectonique de la région, ce qui constitue une preuve irréfutable sur l'existence d'une relation étroite entre la sismicité actuelle et la tectonique du bassin (C. R. Géos 2002)

4. Aspect socio-économique

4.1. Industrie

L'activité industrielle au niveau du bassin versant du Sébaou est très variée et regroupée principalement au niveau de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Elle ne demeure pas sans conséquences sur le milieu naturel. La plus grande majorité des industries rejettent leurs déchets sans traitement directement dans l'Oued Sébaou ou ses affluents., on peut distinguer :

➤ Les unités industrielles

Les différentes industries présentes dans la région sont l'agro-alimentaire, le tabac, la production chimique des plastiques, les matériaux de construction, la construction mécanique, la métallurgie et le textile.

➤ Les huileries

D'après l'agence des bassins hydrographiques (2021), le nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou est de 704 dont les rejets polluants aboutissent dans l'Oued Sébaou et ses affluents (tableau2)

Tableau 2 : les Huileries polluantes de la wilaya de Tizi-Ouzou (ABH, 2021)

Nombre d'huilerie	Quantité d'olive trituré en quintaux	Charge polluante Eq/hab	Lieu de rejet
704	886 120	44 306 000	Oued Sébaou

➤ Abattoirs

Le bassin versant de l'Oued Sébaou compte 19 abattoirs avec une quantité abattue estimée à 29 344 T/an.

4.2. Potentiels humains

La région d'étude est caractérisée par une population assez dense localisée au niveau des nombreux villages de la wilaya de Tizi Ouzou. Suite aux derniers travaux du recensement Général de la Population et de l'Habitat (R.G.P.H) effectué en (2009), la population totale de la wilaya de Tizi Ouzou fut estimée à 1 350 100 habitants.

4.3. Occupation de sol

Répartition de la population résidente par strates urbaine et rurale :

- Zone rurale : taux de 56 % soit, 756056 habitants ;
- Zone urbaine : taux 44 % soit, 594044 habitants.

Administrativement, la wilaya de Tizi-Ouzou compte 21 daïras et 67 communes.

4.4. Potentialités en eau

4.4.1. Ressources en eau superficielles

Les ressources en eau de surface de la wilaya de Tizi-Ouzou proviennent principalement des écoulements de l'oued Sébaou qui draine l'essentiel du territoire de la wilaya, ainsi que d'une multitude de petits oueds côtiers. La wilaya recèle un potentiel important en eaux de surface dont seulement une infime partie est mobilisée.

Les principales ressources en eau de surface mobilisées se présentent comme suit :

➤ Les barrages

Le volume des eaux superficielles de la wilaya est évalué à 192.520.000 m³ dont environ 243,93 hm³/an sont mobilisés, grâce aux barrages de Taksebt, Djebbla, Draa El Mizane, Zaouia et Tizi Ghennif (tableau 3).

Tableau 3 : volume des eaux superficielles de wilaya de Tizi-Ouzou (ANIREF, 2021)

Barrages	Localisation	Capacité hm ³
Taksebt	irjen	181
Djebbla	ouagenoune	3
Draa el mizane	Draa el mizane	1 ,50
Aine zaouia	Aine zaouia	1,40
Tizi ghennif	Tizi ghennif	0,53

➤ Retenues collinaires

La wilaya de Tizi Ouzou compte 75 retenues collinaires totalisant ainsi une capacité de 5,090 Hm³.

4.4.2. Ressources en eaux souterraines

Les ressources en eaux souterraines de la wilaya de Tizi-Ouzou se concentrent essentiellement dans la nappe alluviale de l'oued Sébaou, alimentée par l'infiltration directe à

partir des eaux de pluie dont la moyenne est de l'ordre de 61 hm³/an (DREW TO, 2021) de ses crues ainsi que des affluents.

La wilaya compte 168 forages en exploitation (DREW TO, 2021). Le volume d'eau mobilisé par les forages et les puits de la wilaya est de 45 hm³/An, destiné à l'AEP, l'AEI et l'irrigation.

La wilaya de Tizi-Ouzou dispose d'un nombre important de sources situées en majeure partie sur le flanc nord du Djurdjura. Elles sont généralement utilisées pour l'alimentation en eau potable des populations montagnardes isolées. On dénombre pour l'ensemble de la wilaya 131 sources dont 90 sources importantes, le débit global estimé à 6,41 hm³/an.

5. Conclusion

La géologie de la zone d'étude présente divers facies lithologiques allant du plus ancien, le Protérozoïque et Cambro-ordovicien représentant le socle kabyle, au plus récent qui est le Quaternaire (Alluvionnaire). La connaissance de la formation perméable et imperméable au sein du bassin versant influe sur les coefficients de vidange des nappes et d'écoulement de crue. Ces derniers ont une relation directe avec le coefficient de tarissement. Les calcaires du Djurdjura et les dépôts alluvionnaires de l'Oued Sébaou et ses affluents sont les réservoirs connus et exploités. L'âge du réseau hydrographique est postérieur à la phase fin miocène ayant donnée des plis longitudinaux.

Chapitre 2

Les précipitations

CHAPITRE 2 : LES PRECIPITATIONS

1. Introduction

Dans ce chapitre nous essaierons de mettre en évidence les caractéristiques des précipitations dans le bassin du Sébaou. Aussi, nous allons tenter de déterminer la relation entre la variabilité des précipitations en fonction de l'espace et de l'altitude.

2. Equipement de bassin versant

Le bassin versant de l'oued Sébaou de 2500 km² est équipé de plusieurs stations pluviométriques, qui fournissent des données à différents pas de temps d'une façon plus ou moins continue. Pour l'étude hydrologique de ce bassin versant, nous avons retenu (6) postes d'observation selon leur situation géographique et leur période d'observation (figure 4).

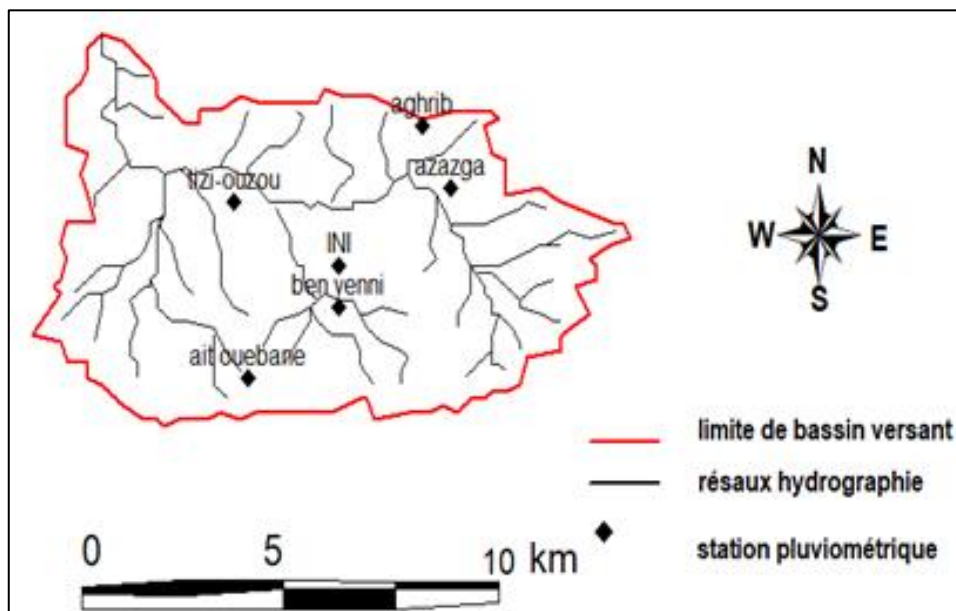


Figure 2 : Localisation des stations pluviométriques retenues

Les caractéristiques de ces stations sont présentées dans le tableau 4. Des différents outils de mesure sont installés sur le bassin versant. Leurs données discontinues sont peu fiables. Certaines stations sont plus anciennes et ont des données plus fiables

Ces stations présentent des données complètes au sein du bassin versant du Sébaou. Elles ont fourni des données plus ou moins nombreuses. Leurs relevés pluviométriques sont assurés quotidiennement par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) de sorte qu'à la fin de chaque mois on dispose d'un total pluviométrique mensuel pour chaque poste. Les données de ces stations couvrent des périodes variables entre 1990 et 2019.

Tableau 4 : Caractéristiques des stations pluviométriques du Bassin Versant du Sébaou (ANRH)

Stations	Code ANRH	X Lambert (km)	Y Lambert (km)	Z (m)
Tizi-Ouzou	021810	620,36	379,75	379,75
Azazga	021504	649,25	383,9	430
Beni yenni	021712	635	365,25	760
Aghrib	021601	645,1	391,25	680
Ait ouebane	021716	643,3	354,7	960
Larbaa Nath Irathen (LNI)	021705	634,9	370,8	940

2.1. Comblement des lacunes

Les données qui sont représentées dans le tableau 5 sont entachées de valeurs manquantes (lacunes). La méthode qu'on a adopté pour la restitution des valeurs manquantes est la méthode d'extension des données. Cette méthode consiste à avoir une station sans lacune ou avec très peu de lacunes que l'on considère comme station de référence. Dans le cas de la présente étude, c'est la station de Tizi-Ouzou, sur laquelle on s'est appuyée pour estimer les moyennes des pluies inconnues de certaines années dans les stations lacunaires. Pour cela, il faut mettre en évidence la relation qui existe entre les couples de valeurs des deux séries (station de référence et la station lacunaire). On décèle une corrélation linéaire entre elles, prise en couple, et on obtient une fonction de type linéaire : $y = (ax) + b$ pour laquelle on détermine ses paramètres a et b en utilisant la méthode des moindres carrés. Cette méthode a permis d'avoir les résultats récapitulés dans le tableau 6.

Tableau 4 : Précipitation annuelles dans le bassin versant du Sébaou (ANRH)* : lacune

Station	Aghrib	Ait Ouabane	Azazga	Beni Yenni	Tizi Ouzou	LNI
Code	21601	21716	21504	21712	21810	21705
1990	1063	1377,7	890	842,8	755,6	831,02
1991	1044,1	1113,2	828,2	725,7	766,6	821,4
1992	1030	898,6	867,7	702	689,3	786,8
1993	781,6	955,4	679	618,9	551,3	667,7
1994	1132,9	1259,9	1001,2	922,5	865	899,9
1995	*	1287,8	1098,1	890,8	822,8	1100,9
1996	738,6	809,5	591,8	505,5	500	664,1
1997	1656,5	1711,8	1317,9	1192,3	1113,2	1319,6
1998	1140,4	1168,3	855,3	768,4	689,5	859,7
1999	884	880,7	780,6	624,2	556,4	604,9
2000	992	1100	826,6	785,3	606,9	706
2001	761,5	798,2	521	479,6	461,8	522,7
2002	1630,6	*	1535,8	1366,5	1217,5	1255
2003	*	*	999,6	903,6	832,6	968,9
2004	*	1124,6	1178,2	879,5	696,3	815,3
2005	*	1393,6	896,9	754,2	732,6	814,6
2006	*	1265,6	1055,7	698,2	793,1	868,6
2007	1250,5	1110,3	1250,3	955,5	931,6	994
2008	*	*	1348,2	1185,8	1010,8	1166,9
2009	*	1435,2	1075,8	925,8	963,8	957,1
2010	1247,2	1831,7	941,4	1113,2	1016,6	1209
2011	1359,5	*	*	1023,9	1033,9	*
2012	*	*	*	980,9	936,8	*
2013	*	*	*	922,2	835,2	*
2014	*	1465,5	*	1068,1	969,4	*
2015	*	1211,7	*	811,2	772,1	*
2016	*	*	*	680,7	618,7	*
2017	*	*	*	968,9	947,8	*
2018	*	*	*	*	634,3	*
2019	*	*	*	688,1	639,8	*

Tableau 5 : Précipitation annuelles comblées dans le bassin versant du Sébaou (** : Observation restituée)

Station	Aghrib	Ait Ouabane	Azazga	Beni Yenni	Tizi Ouzou	LNI
Code	21601	21716	21504	21712	21810	21705
1990	1063	1377,7	890	842,8	755,6	831,02
1991	1044,1	1113,2	828,2	725,7	766,6	821,4
1992	1030	898,6	867,7	702	689,3	786,8
1993	781,6	955,4	679	618,9	551,3	667,7
1994	1132,9	1259,9	1001,2	922,5	865	899,9
1995	**825,7	1287,8	1098,1	890,8	822,8	1100,9
1996	738,6	809,5	591,8	505,5	500	664,1
1997	1656,5	1711,8	1317,9	1192,3	1113,2	1319,6
1998	1140,4	1168,3	855,3	768,4	689,5	859,7
1999	884	880,7	780,6	624,2	556,4	604,9
2000	992	1100	826,6	785,3	606,9	706
2001	761,5	798,2	521	479,6	461,8	522,7
2002	1630,6	**760	1535,8	1366,5	1217,5	1255
2003	**470	**561,6	999,6	903,6	832,6	968,9
2004	**530	1124,6	1178,2	879,5	696,3	815,3
2005	**530	1393,6	896,9	754,2	732,6	814,6
2006	**660,5	1265,6	1055,7	698,2	793,1	868,6
2007	1250,5	1110,3	1250,3	955,5	931,6	994
2008	**700	1267,6	1348,2	1185,8	1010,8	1166,9
2009	**664,7	1435,2	1075,8	925,8	963,8	957,1
2010	1247,2	1831,7	941,4	1113,2	1016,6	1209
2011	1359,5	**1104,2	**830,3	1023,9	1033,9	**1144,3
2012	**642,8	**612,5	**756,3	980,9	936,8	**1055
2013	**600	**554,2	**689,3	922,2	835,2	**940,2
2014	**670	1465,5	**784,6	1068,1	969,4	**1080,5
2015	**504	1211,7	**642	811,2	772,1	**884,3
2016	**386,7	**428,5	**530,7	680,7	618,7	**726,6
2017	**649	**615,8	**770,1	968,9	947,8	**1057,3
2018	**400	**443,3	**545,8	**612,9	634,3	**743,6
2019	**401,9	**442,2	**550,1	688,1	639,8	**742,2
MOYEN ANUELLE	1119,16	1198,32	974,29	867,25	805,54	918,41

2.2. Analyse statistique des précipitations annuelles

Ce traitement nous donne la précipitation moyenne (\bar{P}), l'écart type (σ) et le coefficient de variation (C_v). Ces paramètres s'obtiennent par les formules suivantes :

$$\text{Moyenne arithmétique : } P_{moyen} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

$$\text{Ecart type : } \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}$$

$$\text{Coefficient de variation : } C_v = \frac{\sigma}{\bar{P}}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 7

Tableau 6: Caractéristiques statistiques des stations pluviométriques.

Station	\bar{P} (mm)	σ	C_v
Aghrib	1119,16	292,41	0,26
Ait Ouabane	1224,10	288,37	0,23
Azazga	991,75	263,03	0,26
Beni Yenni	867,25	213,16	0,24
Tizi Ouzou	805,54	197,60	0,24
LNI	910,82	197,60	0,21

Les valeurs des coefficients de variation sont inférieures ou égale à 0,26. Elles témoignent de l'homogénéité des précipitations annuelles. La moyenne des précipitations annuelles varie entre 1119,2 mm et 805,5 mm enregistrées respectivement à la station d'Aghrib et la station de Tizi Ouzou (figure 5). Cette variation est due à la différence d'altitude entre les deux stations et l'éloignement de la mer.

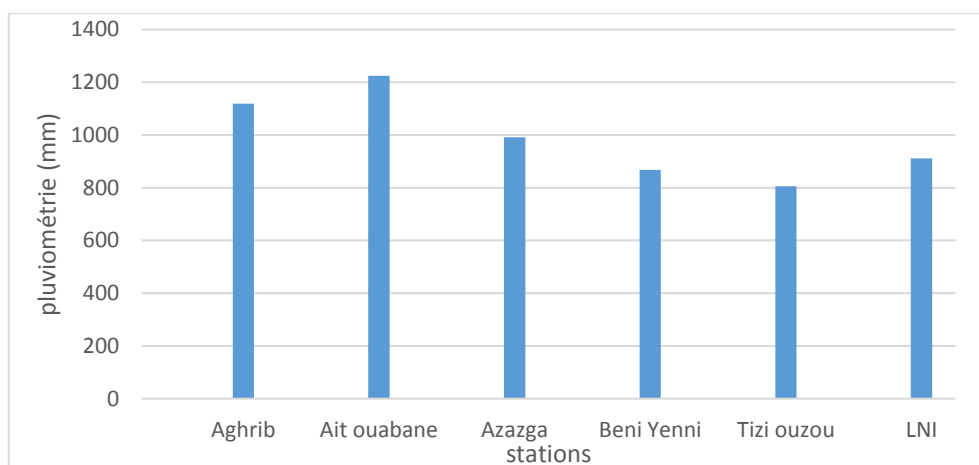


Figure 3 : Hauteurs des précipitations moyennes annuelles de différentes stations (1990-2019)

3. Evolution temporelle des précipitations dans le bassin versant du Sébaou

3.1. Précipitations annuelles

Afin de caractériser l'évolution dans le temps des précipitations annuelles dans le Sébaou, les graphes ci-après sont établis.

En effet dans la majorité des stations, la décennie 2000-2010 est marquée une pluviosité relativement plus importante que les autres décennies à l'exception de la station de Aghrib (Figure 6,7,8,9,10 et 11)

A l'échelle annuelle, l'observation des histogrammes a révélé des valeurs maximales enregistrées en 1997 (Aghrib, LNI) ou en 2002 (Tizi-Ouzou, Beni yenni, Azazga). Le maximum varie entre 1656 mm (station de Aghrib) et 117.5mm (station de Tizi Ouzou). Exceptionnellement la station d'Ait Ouabane un maximum a été enregistré en 2010 (1831,7 mm).

Quant aux observations les plus basses dans le Sébaou, l'année 2001 est considérée comme année la moins pluvieuse dans plusieurs stations avec des valeurs qui varient entre 461,8 mm enregistrée à la station de Tizi Ouzou et 522,7 mm mesurée à Larbâa Nath Irathen. A Ait Ouabane, la pluviométrie la plus faible a été enregistré en 2016 (428 mm).

Par ailleurs, sur les trente années d'observations, les précipitations du Sébaou présentent une tendance haussière entre 2000 et 2009, par contre une tendance à la baisse a été relevée à partir de 2010. Cette tendance est clairement décelable au niveau des stations de Beni Yenni (figure 10) et Azazga (figure 11).

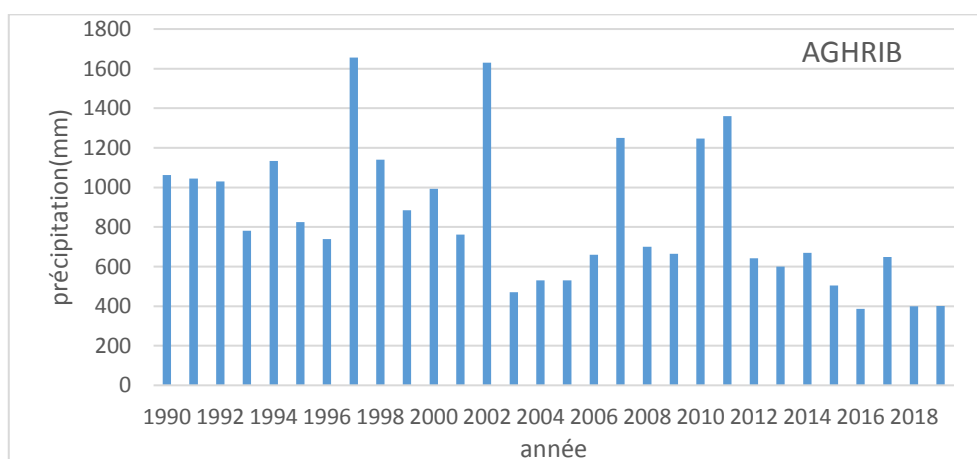


Figure 4 : précipitations moyennes annuelles à Aghrib (1990-2019)

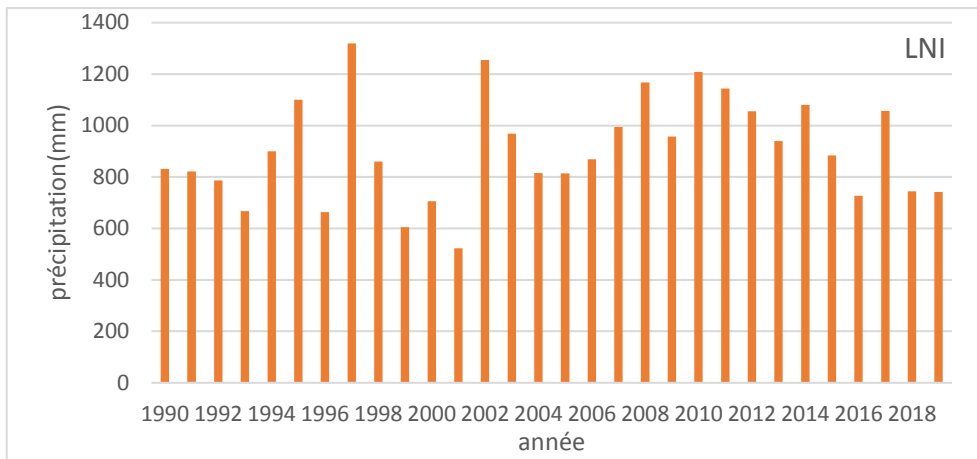


Figure 5 : précipitation moyennes annuelles à LNI (1990-2019)

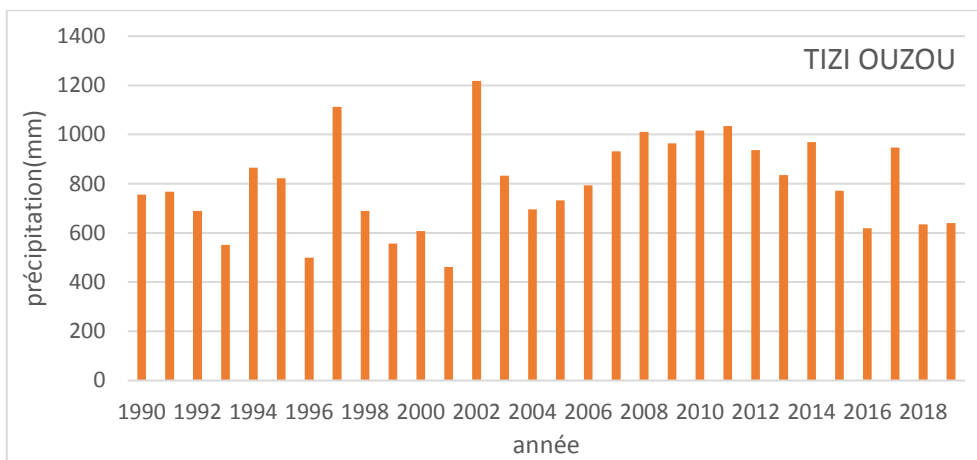


Figure 6 : précipitation moyennes annuelles à Tizi Ouzou (1990-2019)

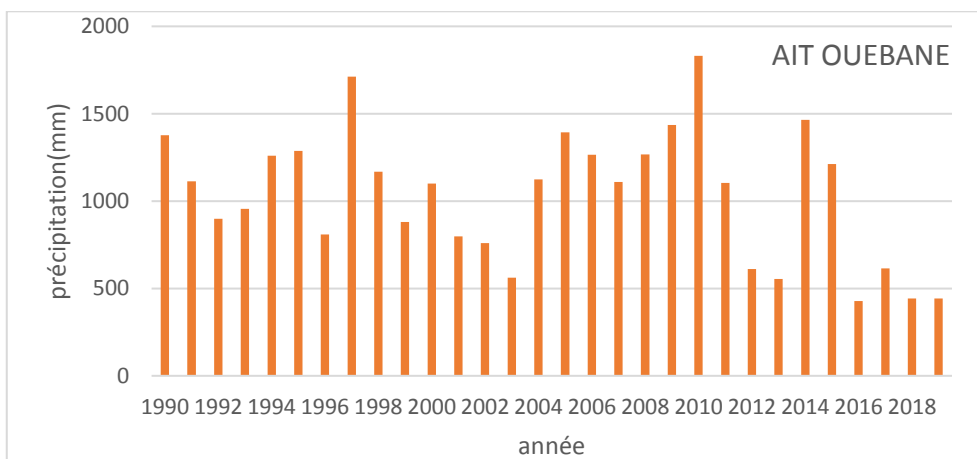


Figure 7 : précipitation moyennes annuelles à Ait Ouabane (1990-2019)

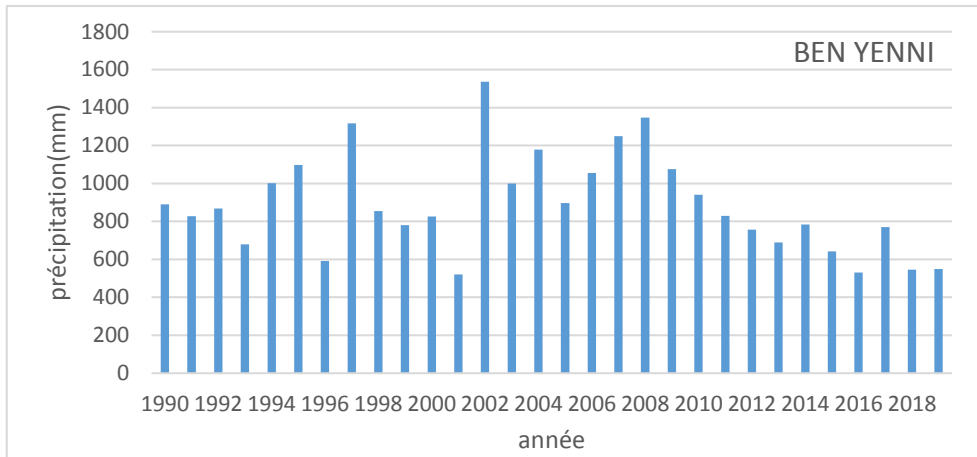


Figure 8 : précipitation moyennes annuelles à BEN YENNI (1990-2019)

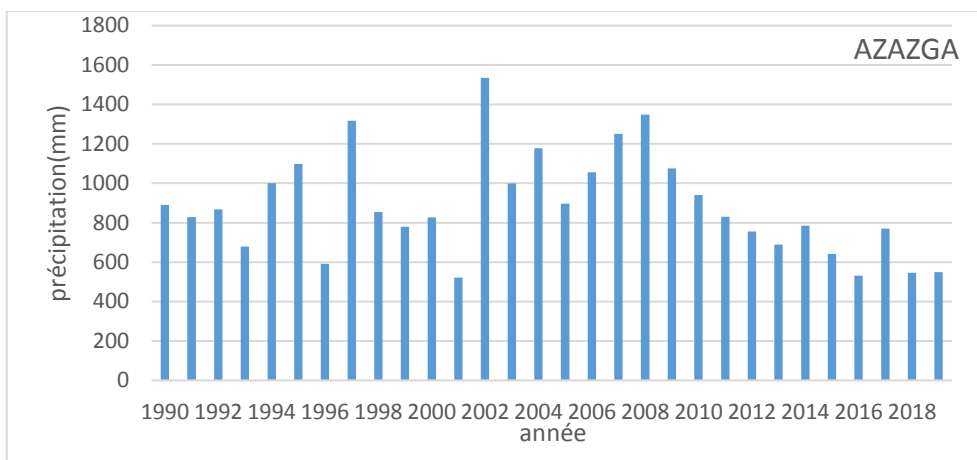


Figure 9 : précipitation moyen annuel à AZAZGA (1990-2019)

3.2. Précipitations mensuelles

Les données des précipitations mensuelles mises à notre disposition ne concernent que trois stations qui sont Tizi Ouzou, Larbaa Nath Irathen (LNI) et Azazga (tableau 8).

Tableau 7 : précipitations mensuelles moyennes (1990-2019) (ANRH)

P (mm)	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Tizi Ouzou	129,3	98,7	82,3	81,4	69,2	11	2,2	8,4	34,9	70,2	113,8	123,1
LNI	95,8	77,5	61,0	53,4	30,4	6,1	1,1	3,7	16,2	34,5	65,8	101,1
Azazga	106,3	78,7	72,0	61,1	33,5	4,4	1,5	2,9	17,7	38,7	73,3	127,8

La transformation de ces données en graphiques a permis de tracer les histogrammes montrés dans les figures 12, 13 et 14. L’observation de ces figures révèle une irrégularité des totaux pluviométriques mensuels. Ceci caractérise le régime climatique méditerranéen. Par ailleurs, le

mois le plus pluvieux est le mois de décembre pour les stations LNI et Azazga avec des mesures respectives de 101,1 mm et 127,8 mm et est le mois de janvier pour la station de Tizi Ouzou (128,3 mm). Par contre, le mois le plus sec est le mois de juillet pour l'ensemble des stations dont la pluviométrie ne dépasse guère les 2,2 mm sur la période d'observation.

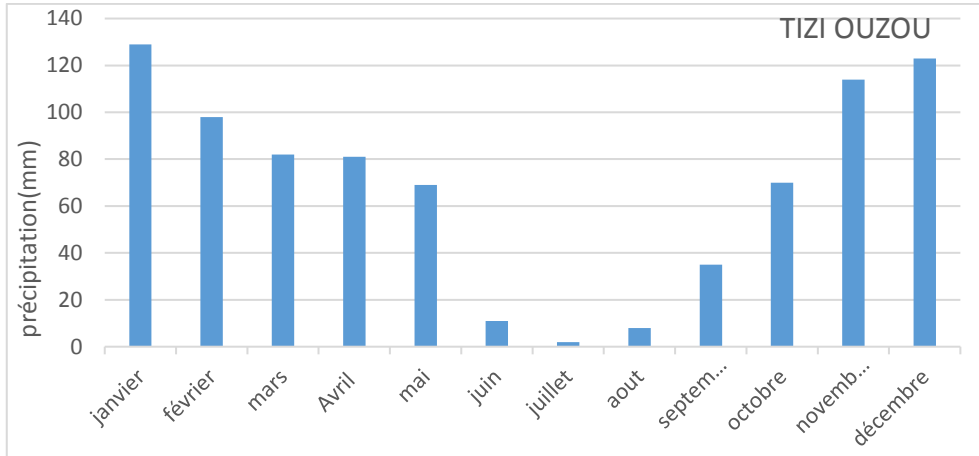


Figure 12 : précipitations moyennes mensuelles à Tizi Ouzou (1990-2019)

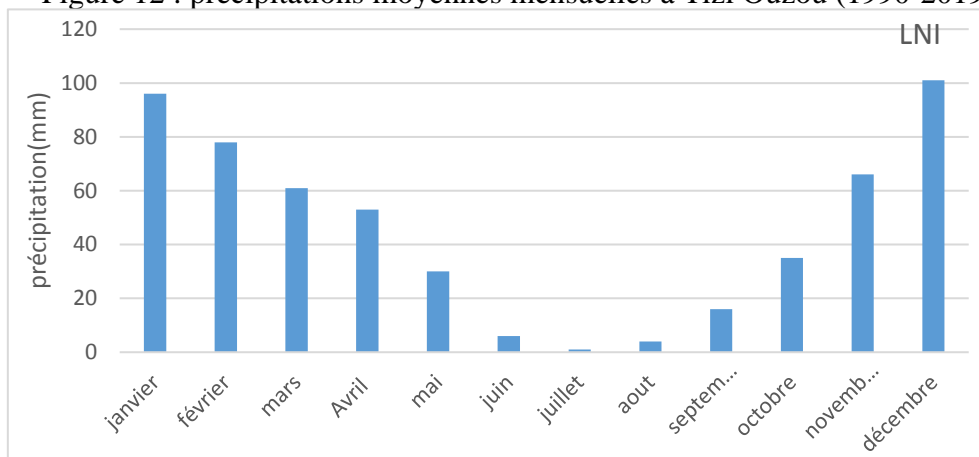


Figure 13 : précipitations moyennes mensuelles à LNI (1990-2019)

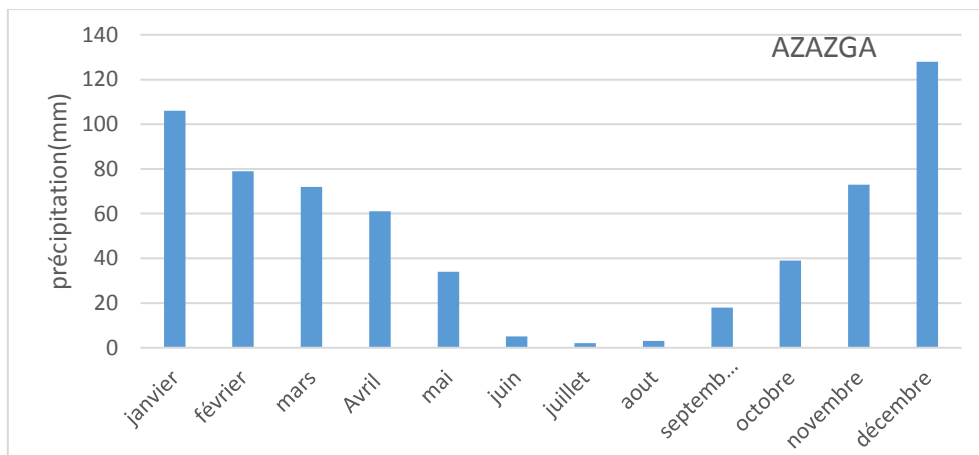


Figure 14: Précipitations moyennes mensuelles à Azazga (1990-2019)

En effet, les mois les plus humides vont de novembre à avril avec des valeurs qui varient entre 76 % et 80 % du total pluviométrique (tableau 9), par contre, les mois les plus secs vont du mois de juin à septembre où la pluviométrie diminue jusqu'à 6 % à 8 % du total pluviométrique. C'est la période du déficit pluviométrique. Les précipitations de la fin d'août au début de septembre ont un caractère orographique et sont orageuses, marquant aussi la fin de la période estivale.

Il y a encore une période de transition, marquée par une grande variabilité, elle comprend les mois de : Mai, septembre et octobre. Leurs apports sont aléatoires.

Les valeurs moyennes sont atteintes au cours des mois pluvieux, les faibles valeurs sont enregistrées pendant les mois de juin, juillet et août.

Cette rupture traduit la nature d'un régime très irrégulier qui caractérise un régime climatique méditerranéen.

Tableau 8 : répartition des précipitations mensuelles en fonction des périodes humide et sèche

Station	Tizi-Ouzou	LNI	Azazga
Période humide	76,09%	76,44%	78,47%
Période sèche	6,79%	8,05%	6,65%

3.3. Relation pluviométrie –altitude

Le graphique de la figure 15 représente un gradient de 29,7 mm/100 m en allant de l'Ouest vers l'Est du bassin versant de l'oued Sébaou. On constate que les précipitations augmentent d'Ouest en Est, diminuent du Nord vers le Sud et sont proportionnelles à l'altitude.

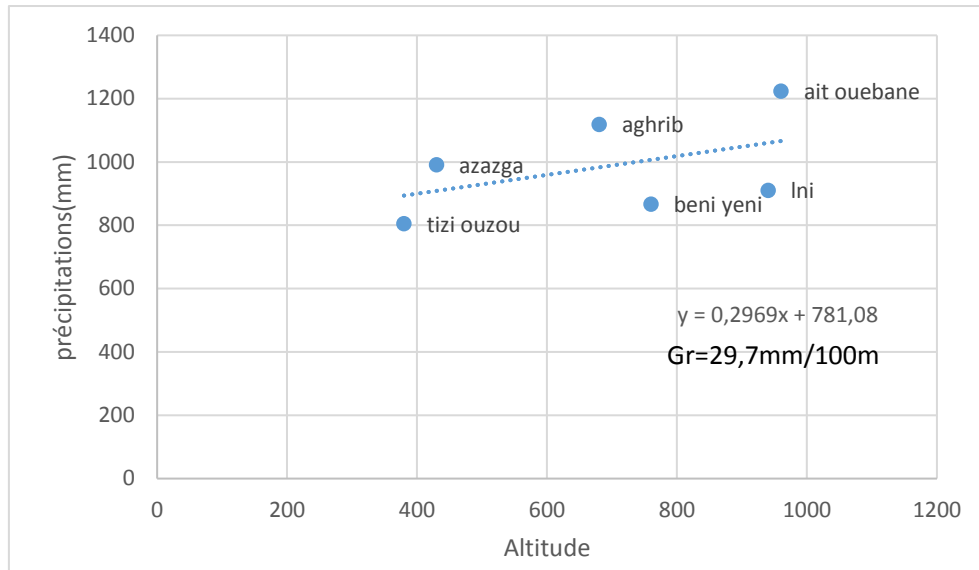


Figure 10 : variation des précipitations moyennes mensuelles en fonction de l'altitude (ouest-est)

4. Conclusion

Les données des stations sélectionnées nous ont permis de déterminer une pluviométrie moyenne de 979,5 mm. La pluviométrie varie en fonction de l'altitude. Le maximum 1711,8 mm a été enregistré à Ait Ouebane à une altitude de 960 m, alors que le minimum de 386 mm est observé à Aghrib d'altitude de 680 m.

L'analyse des données annuelles a mis en évidence une homogénéité des données annuelles marquée par des coefficients de variation inférieur à 0,5.

L'analyse des données mensuelles a montré trois périodes distinctes, les mois les plus humides vont de novembre à avril avec des cumuls qui représentent 76 % et 80 % du total pluviométrique. Les mois les plus secs vont du mois de juin à septembre où la pluviométrie diminue et représente 6 % à 8 % du total pluviométrique et une période de transition, marquée par une grande variabilité et comprend les mois de : mai, septembre et octobre.

D'après l'étude présentée dans ce chapitre, on déduit que la pluviométrie a augmenté et elle est proportionnelle en fonction de l'altitude et qu'elle est plus importante au Nord qu'au Sud du bassin.

Chapitre 3

Bilan hydrologique

CHAPITRE 3 : BILAN HYDROLOGIQUE

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés dans la première étape à l'estimation de la précipitation moyenne du Sébaou en utilisant trois méthodes, à savoir : la méthode arithmétique, méthode des polygones de Thiessen et la méthode des Isohyètes.

Dans la deuxième étape, nous avons comme objectif l'établissement du bilan hydrologique de la zone d'étude. Les précipitations reçues sur les bassins versant de Sébaou sont réparties entre le retour à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration réelle, ruissellement dans le réseau hydrographique et infiltration vers les couches profondes du sous-sol. En effet, l'estimation des différents flux du bilan a été effectuée en se basant sur des formules empiriques utilisées couramment dans le contexte de la zone d'étude.

L'évaluation de l'évapotranspiration réelle a été réalisée par les formules de Coutagne et de Turc et par le bilan simplifié de Thornthwaite. Pour ces approches les données sur la température étaient nécessaire et on a exploité les observations disponibles de la station de Tizi-Ouzou. Le manque de données de température dans les autres stations d'observation nous a conduit à établir un bilan hydrologique basé sur les chroniques de la station de Tizi Ouzou (précipitation et température)

2. Calcul de la précipitation moyenne du Sébaou

La précipitation moyenne représentative d'un bassin versant peut-être déterminée par des méthodes différentes. Pour le bassin versant du Sébaou, on applique la méthode numérique, la méthode des polygones de Thiessen et la méthode des isohyètes pour calculer une moyenne pluviométrique qui sera introduite dans l'établissement du bilan hydrologique de la zone d'étude.

2.1. Méthode arithmétique

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations relevées dans le même intervalle de temps aux diverses stations du bassin versant. Elle s'obtient par la formule :

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

P_i : précipitation moyenne annuelle à la station i (mm)

N : nombre de stations utilisées sélectionnées dans l'étude. Dans notre cas, N est égale à 6.

L'application numérique permis d'avoir une précipitation moyenne annuelle de 986,5 (mm)

2.2. Méthode des polygones de Thiessen

C'est une méthode fiable, rapides réaliser et couramment utilisées. Elle consiste à diviser la surface du bassin versant en polygones, pour lesquels on affecte à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence. Un point situé dans cette zone soit le plus près en distance horizontale du pluviomètre correspondant que tout autre pluviomètre (figure 16). C'est une méthode qui tient compte de la répartition spatiale des stations, de ce fait, elle est plus précise que la méthode de la moyenne arithmétique.

La lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin versant est donnée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n P_i S_i$$

S : surface totale du bassin versant.

P_i : précipitations moyennes annuelles de la station à l'intérieur du Polygone.

S_i : surface du polygone considéré.

Les résultats sont donnés dans le tableau 10.

Tableau 9 : Evaluation de la lame d'eau par la méthode de Thiessen

Station	P _i (mm)	S _i (km ²)	P _i S _i
Tizi Ouzou	805,54	400,6	322699,324
LNI	910,82	375,4	341921,828
Aghrib	1119,16	173,3	193950,428
Ait ouebane	1224,10	300,1	367352,410
Azazga	991,75	285,5	283144,625
Beni yenni	867,25	980	849905,000
Somme		2514.9	2358973,615
P moy. (mm)			938

La lame d'eau résultante avec cette méthode est la suivante : 938 mm.

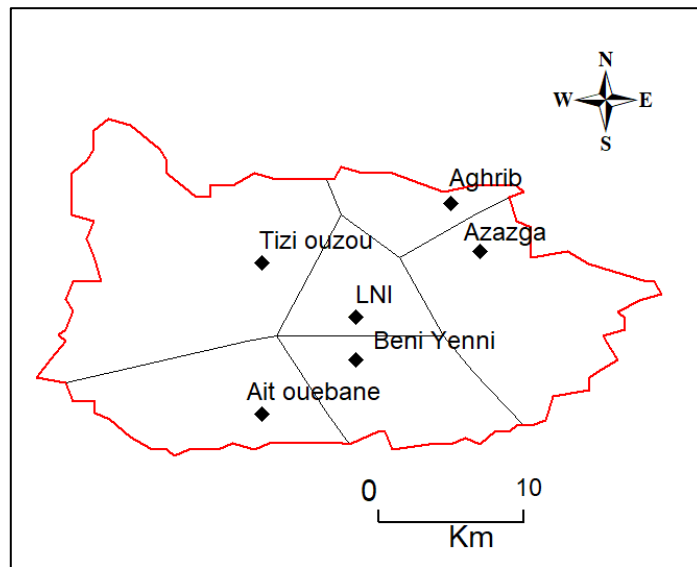


Figure 11 : Application de la méthode des polygones de Thiessen sur le bassin du Sébaou

On remarque que les moyennes calculées ne présentent pas une grande différence toutefois nous retiendrons la valeur moyenne des résultats des deux méthodes soit 962,2 mm.

3. Bilan hydrologique

L'étude du bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des volumes d'eau entre les différents composants du cycle de l'eau dans un bassin versant (écoulement, infiltration et évaporation), sur une période d'observation, suffisamment longue. La formule classique du bilan hydrologique s'écrit comme suit : $P = ETR + R + I \pm \Delta S$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm ;

R : Ruissellement moyen annuel en mm ;

I : Infiltration moyenne annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle en mm ;

ΔS : Variation de la réserve.

A noter que le bilan hydrologique est établi sur la base des données mensuelles de précipitations et de température de la station de Tizi Ouzou.

3.1. Evapotranspiration

C'est l'une des plus importantes composantes du bilan hydrologique. Elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation directe par retour dans l'atmosphère, à partir des

réservoirs de surface (lacs, mers...etc.), souterrains (nappes aquifères) et de transpiration des plantes. Ce paramètre climatique conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation (elle représente la somme de toutes les pertes par transformation de l'eau en vapeur et résulte de la combinaison de deux phénomènes, l'un physique : l'évaporation et l'autre biologique : la transpiration).

Les principaux paramètres qui conditionnent l'évapotranspiration sont : La température, les précipitations, l'état du sol et la végétation. Il est très important de quantifier les précipitations et l'évapotranspiration sur un bassin versant, ceci aide à reproduire son bilan hydrologique, et aussi d'estimer les réserves du sol. Ces informations sont très utiles pour les futurs projets à impacts socio-économiques.

3.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La détermination de l'ETP se fait en utilisant une méthode simple, qui ne fait intervenir que la température. C'est la formule de Thornthwaite qui s'exprime par l'expression suivante :

$$ETP = 1,6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a * k$$

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle en mm ;

T : Température moyenne mensuelle en °C ;

I : indice thermique annuel avec : $I = \sum_1^{12} i$ et I : indice thermique mensuel : $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^{-3} - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

K : Coefficient de correction dépendant du mois et de la latitude de la station de mesure

Les valeurs obtenues par l'application de cette formule sont récapitulées dans le tableau 11.

Tableau 10 : ETP calculées par la formule de Thornthwaite à Tizi Ouzou (1990 - 2019)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
T _{moy}	24,6	20,9	15,1	11,8	10,6	10,5	13,4	16,3	19,4	24,4	28,2	28,3	18,6
a	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	
i	11,2	8,7	5,3	3,7	3,1	3,1	4,4	6	7,8	11	13,7	13,8	91,8
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP	119,3	81	37,4	22,3	18,6	17,8	35,2	55,7	87	139	189	178	980,3

3.3. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'ETR représente la quantité d'eau qui est réellement évapotranspirée. L'estimation de ce paramètre peut être effectué à l'aide du bilan simplifié de Thornthwaite et des formules empiriques de Turc et de Coutagne.

3.3.1. Bilan simplifié de Thornthwaite

Pour établir ce bilan, il faut d'abord calculer la (RFU) qui est la réserve nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes. La quantité d'eau nécessaire pour qu'un sol soit saturé est équivalente à une tranche d'eau de 100mm (c'est la réserve utile généralement adoptée).

A partir des valeurs des pluies mensuelles et de l'évapotranspiration potentielle ETP, le calcul du bilan se fait en suivant le raisonnement suivant :

Si : $ETP > P$ donc : $ETR = P$ et la réserve utile $RU = 0$ et l'excédent $(R+I) = 0$.

Si : $ETP < P$ donc : $ETR = ETP$ et $(R+I) = (P - ETP)$

Si : (RU) fixée est satisfaite, le surplus passe à l'excédent (R+I).

Si non satisfait d'abord l'ETP et l'excédent passe dans (R+I). Si en cours d'année, pour un mois donné, nous avons : $ETP > P$ et RU existe, alors l'ETR puise dans RU jusqu'à épuisement. Lorsque RU est épuisée, il n'y a plus d'excédent et $(R+I) = 0$. (Thornthwait1948)

L'estimation des réserves utiles est basée sur la structure du terrain et le couvert végétal. Le bilan hydrologique est effectué par rapport au sol, des apports d'eau (pluie, remontées capillaires à partir de la nappe...), et des pertes d'eau (évapotranspiration, ruissellement, infiltration...). Il exprime la différence entre les apports et les pertes d'eau dans le sol qui est égale à la variation de la réserve d'eau.

L'analyse du bilan hydrologique (tableau 12), nous a permis de constater que l'ETP est élevée du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, avec une valeur maximale 188,9 mm mois de juillet. À partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU. Cette dernière, atteint, son maximum entre les mois de décembre et avril. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU à partir du mois de juin, traduisant un épuisement progressif du stock d'eau dans le sol (figure 17).

Tableau 11 : Bilan simplifié de Thornthwaite de la station de Tizi-Ouzou (1990-2019)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
P(mm)	34,9	70,2	113,8	123,1	129,3	98,7	82,3	81,4	69,2	10,5	2,2	8,4	824
ETP	119,3	81	37,4	22,3	18,6	17,8	35,2	55,7	87	139	188,9	178	980,3
P-ETP	-84,4	-10,8	76,4	100,8	110,7	80,9	47,1	25,7	-17,8	-128,5	-186,7	-169,6	
ETR	34,9	70,2	37,4	22,3	18,6	17,8	35,2	55,7	87	92,7	2,2	8,4	482,4
RFU	0	0	76,4	100	100	100	100	100	82,2	0	0	0	
Déficit agricole (Da)	-84,8	-8,2	0	0	0	0	0	0	0	-46,3	-186,7	-169,6	495,6
Excédent (R+I)	0	0	0	77,2	110,7	80,9	47,1	25,7	0	0	0	0	341,6

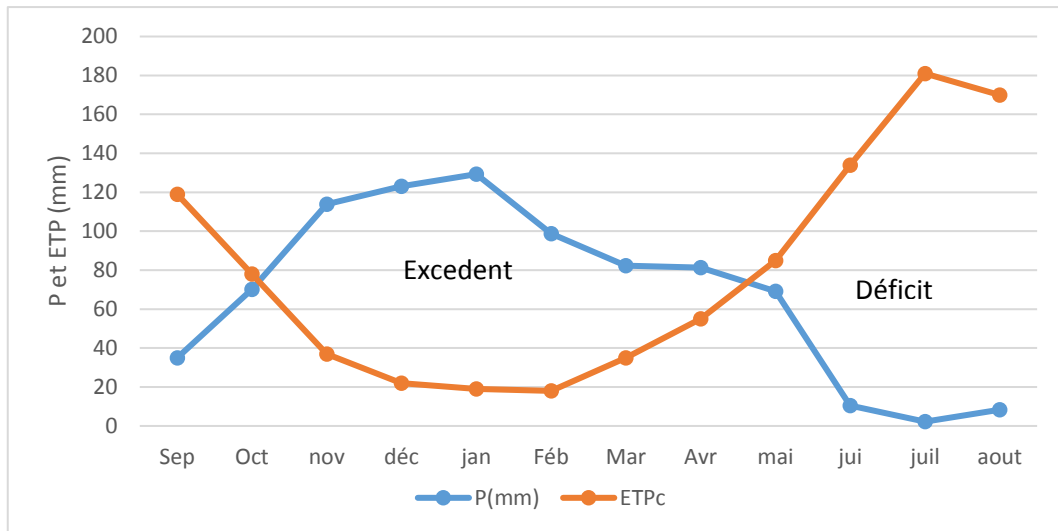


Figure 12 : Bilan de Thornthwaite de la station de Tizi-Ouzou (1990-2019)

3.3.2. Formule de Turc

Cette formule empirique qui dépend de la pluviométrie et de la température, s'exprime comme suit :

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

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : Température moyenne annuelle en (°C).

L : Pouvoir évaporant fonction de la température moyenne annuelle en °C avec

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

Le résultat de l'application numérique est donné dans le tableaux 13.

3.3.3. Formule de M. Coutagne

Cette formule est simple. Son expression est la suivante :

$$ETR = P - \lambda P^2 \text{ avec : } \lambda = \frac{1}{0,8+0,14T}$$

Cette formule n'est applicable que si la condition suivante soit vérifiée : $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$

Pour la station de Tizi Ouzou, la condition est vérifiée. Avec une température moyenne annuelle de 18,6 °C, la précipitations moyenne annuelle (0,824 m) est comprise entre $\frac{1}{8\lambda}$ (soit 0,426) et $\frac{1}{2\lambda}$ (soit 1,702).

Le résultat de l'application numérique est donné dans le tableau 13.

Tableau 13 : Résultats de l'ETR obtenues par les formules empiriques, station de Tizi Ouzou

Station	Méthode	P (mm)	T (°C)	ETR (mm)	ETRMoy
Tizi Ouzou	M. Coutagne	824	18,6	678,5	595,1
	L. Turc			624,5	
	Bilan de Thornthwaite			482,4	

3.4. Lame d'eau ruisselée

Le ruissèlement de surface est le volume d'eau, qui au cours d'une période de précipitation, échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration.

Cette lame d'eau ruisselée est calculée par la formule de Tixeron-Berkaloff qui s'écrit comme suit :

Si : $P > 600 \text{ mm}$:

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

Si : $P < 600$ mm

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

Avec :

R : ruissèlement annuel en m ;

P : pluviométrie annuelle moyenne en m ;

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle corrigé en mm.

L'application numérique donne $R = 186,5$ mm.

3.5. Infiltration et bilan hydrologique

Nous avons essayé d'estimer l'infiltration en sachant que ce paramètre est très difficile à déterminer quand on ne dispose pas de mesures directes (par exemple : mesure à l'aide d'un lysimètre). L'infiltration a été déterminée à partir de l'équation du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Pour une période d'observation assez longue, la variation de la réserve (ΔS) est négligeable, l'équation du bilan hydrologique s'écrit comme suit :

$$P = ETR + R + I \text{ d'où } I = P - (ETR + R)$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne (mm) ;

R : Ruissellement annuelle (mm) ;

I : Infiltration annuelle (mm).

L'application numérique donne une infiltration de 42,9 mm

L'estimation des différents flux du bilan hydrologique a permis de constater que 72,2 % des précipitations sont reprises par l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration, 22,6 % ruissellent dans les cours d'eau du Sébaou et 5,2 s'infiltrent pour alimenter la nappe d'eau souterraine (tableau 14).

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des différents termes du bilan hydrologique de la station de Tizi-Ouzou (1990-2019)

	P	ETR	R	I
mm	824	595,1	186,5	42,9
%	100	72,2	22,6	5,2

Il est à noter que réellement l'infiltration dans la zone d'étude est un peu plus importante que la valeur donnée dans le tableau ci-dessus, car on n'a pas tenu compte des infiltrations par excès d'irrigation et d'éventuelle alimentation de la nappe par l'Oued (relation Oued-Nappe)

4. Conclusion

Le bassin versant de Sébaou possède un réseau pluviométrique assez dense mais dont les données sont parfois manquantes. Il reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 962,2 mm obtenue par la moyenne des méthodes adoptées.

La valeur de l'ETP évaluée par la formule de Thornthwaite pour station de Tizi-Ouzou est de 980 mm. Quant à l'ETR, estimé par la moyenne des trois méthodes est égal à 595,1 mm.

Les années pluviométriques les plus arrosées correspondent à 1997 et 2002 avec un apport de 1711,8 mm et 1831,7 à la station d'Ait Ouabane.

Quant à l'année la plus sèche, elle a été identifiée à la station d'Aghrib dont la précipitation était de 386,7 mm en 2016.

L'estimation des différents termes du bilan hydrologique de la zone d'étude a révélé une forte évapotranspiration (72,2 % des précipitations) et une infiltration de 5,2 % des précipitations. Cette dernière proportion assure la pérennité de la nappe de Sébaou.

Par ailleurs, il est recommandé de reprendre les pluviomètres totalisateurs de la zone du Djurdjura pour inclure les précipitations sous forme de neige dans le bilan hydrologique et de compléter l'équipement de certaines stations représentatives dans le bassin versant par l'évaporomètre et le thermomètre.

Chapitre 4
Analyse spatio-temporelle
des précipitations

CHAPITRE 4 : ANALYSE DE L'EVOLUTION SATIO-TEMPORALE DES PRECIPITATION

1. Introduction

Les impacts du changement climatique se matérialisent majoritairement à travers l'eau. En effet, les inondations et les sécheresses sévissent de plus en plus dans un grand nombre de régions du monde. Ces catastrophes diminuent les rendements agricoles et réduisent la disponibilité alimentaire à tous les niveaux. Leurs impacts sur les autres secteurs peuvent se révéler tout aussi dévastateurs (GWP 2015). Ces dernières années, une progression significative des sujets de recherches en hydrologie et en climatologie a été constaté dans le monde. Ces travaux sont orientés vers l'étude, l'analyse et l'évaluation des tendances et des changements dans les variables hydrométéorologiques tels que les pluies, les débits, les températures..., et leurs impacts sur les ressources hydriques.

Dans cette étude nous avons utilisé des données de 06 stations pluviométriques à l'échelle annuelle et saisonnière dans l'objectif de faire des analyses spatio-temporelles des changement pluviométriques en s'appuyant sur des tests statistiques robustes et fiables. Il s'agit des tests suivants :

➤ **Test de Man Kendall**

Le test non-paramétrique de Mann-Kendall (H. B. Mann 1945 et M. G. Kendall, 1988) permet d'étudier la présence ou l'absence de tendance dans une série chronologique donnée ;

➤ **Test séquentielle de Mann – Kendall (SQMK)**

C'est un test non paramétrique, qui utilise la série des rangs au lieu de la série d'observations qui permet de déterminer la date de début et de la fin d'une tendance graduelle pour un seuil de signification ;

➤ **Test de Pettitt (1979)**

Pettitt a proposé un test également non paramétrique basé sur la statistique des rangs de Mann-Whitney (1947) qui permet de déterminer la date d'une tendance brutale dans les séries chronologiques (Pettitt 1979) ;

➤ **Test d'estimation de la pente de Sen (Sen's slope estimator)**

Sen (1968) a développé une procédure non paramétrique pour estimer la pente de la tendance dans un échantillon de nombre n paires des données. La méthode de Sen utilise un modèle linéaire pour estimer la pente et la variance des résidus qui doivent être constants dans le temps.

2. Totaux annuels des précipitations

La pluviométrie dans la région de Tizi Ouzou est caractérisée par une forte irrégularité spatio-temporelle durant la période d'analyse (1990-2019). Elle est influencée par des facteurs géographiques telles que l'altitude, éloignement de la mer et géologiques. La moyenne annuelle totale de la pluie pour les 6 stations est comprise entre 800 mm et 1200 mm par an, pour toute la région il existe une variation dans les données annuelles tel qu'indiqué par le coefficient de variation qui n'est pas supérieur à 26 % pour la plupart des stations (tableau 7)

Les tests de Men Kendall (MK, SQMK) et Sen appliqués sur les séries des totaux annuels des précipitations montrent des tendances non significatives mixtes à la baisse et à la hausse. Ces tendances sont distribuées de nature hétérogène sur le bassin.

Cette tendance signifie que la pluviométrie dans le bassin conserve sa stationnarité et leur propriété aléatoire dans le temps.

Bien qu'il n'y ait pas de tendances significatives importantes observées sur la région d'étude, le test de Pettitt montre une augmentation dans les totaux des pluies annuelles de plus de 9 %. Par exemple à la station de Aghrib apparait une augmentation de 9,65 % (de 884 à 992 mm) en 2000.

Le test de Pettitt et l'accroissement des courbes progressives et rétrogrades de Mk ont montré que l'année de rupture ou du changement pour trois stations (50% des séries analysées) coïncide probablement avec l'année 1997, et trois stations (50% des séries d'observation analysées) montrent que l'année de rupture est 2001. Il est à constater qu'il y a deux tendances non significatives claires à l'échelle des pluies annuelles : la première à la baisse après l'année 1997 et la deuxième à la hausse après 2001 (figure 18), Cette réversibilité de tendance peut être due à l'existence cyclique, ou à la configuration des oscillations et la fluctuation des phénomènes pluviométriques et l'impact extérieur d'autres phénomènes de circulation atmosphérique. L'analyse de la tendance montre qu'il n'y pas des tendances à long terme persistantes sur les pluies annuelles.

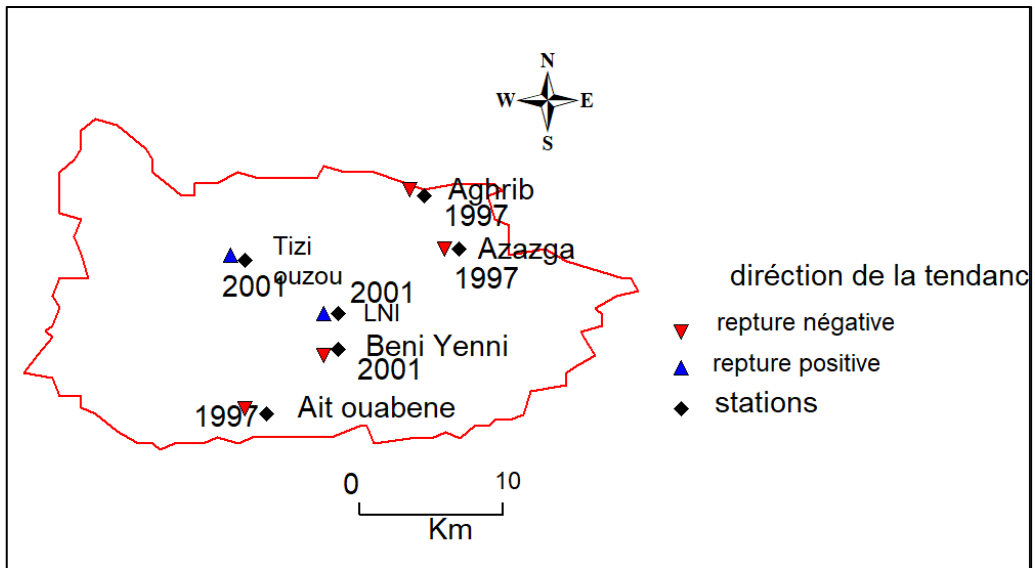


Figure 13 : Sens et année de la tendance des précipitations dans le Sébaou

3. Totaux saisonniers des précipitations

Nous avons remarqué dans la région de Tizi Ouzou que plus de 60 % de la pluie annuelle est concentrée sur les mois d'automne et d'hiver et plus près de 30 % des précipitations sont enregistrées au printemps. L'analyse des pluies saisonnières a été fait séparément (Automne, Hivers, printemps, été) pour une interprétation claire des résultats.

3.1. Automne

L'application des statistiques Man Kendall (ZS, ZSQMK) et la pente de Sen (Qmed) sur les séries des totaux des précipitations d'automne ne montrent pas une tendance significative à la hausse dans la pluviométrie des stations étudiées, avec une homogène tendance positive.

Le test de Pettitt révèle une augmentation très appréciable dans les totaux pluviométriques moyens de l'automne de plus de 39 % (Zerouali et al. 2015).

Il peut être conclu que la saison d'automne a connu une augmentation des précipitations sur plus de 29 ans (Zerouali et al. 2015).

3.2. Hiver

Sur l'ensemble du bassin, l'évolution des totaux des précipitations hivernales après l'application de la statistique ZS, ZSQMK et Qmed pour un niveau de signification de 95 %, ne révèle aucune modification statistiquement significative.

Les tests Man Kendall (ZS, ZSQMK) et la pente de Sen ont montré que 80 % des stations présentent des tendances non significatives à la baisse.

La distribution spatiale pour les magnitudes des tendances des précipitations révèle une légère pente positive à l'échelle du bassin, la pente de la tendance varie entre -2,38 et 3,34 mm/saison/année (Zerouali et al. 2015).

Le test de Pettitt monte une augmentation dans les totaux des pluies saisonniers hivernales de 5 % (Zerouali et al. 2015)

3.3. Printemps

Les résultats obtenus par l'élaboration des séries des précipitations du printemps sont similaires à celles des précipitations d'hivers et indiquent que toutes les stations ne montrent aucune tendance significative. En effet, les stations présentent une tendance non significative à la baisse. La distribution spatiale pour les magnitudes des tendances des précipitations montre une légère pente négative à l'échelle du bassin, la pente de la tendance varie entre -2,39 et 2,17 mm/saison/année (Zerouali et al. 2015).

Le test de Pettitt révèle une diminution non significative dans les totaux des pluies saisonnières du printemps (Zerouali et al. 2015).

3.4. Été

Les résultats des tests de Sen's Slope, MK et SQMK appliquées sur les séries des totaux d'été des précipitations ne montrent aucune tendance significative de la pluviométrie sur toute la région d'étude sauf une légère pente négative. A l'échelle du bassin pour toutes les stations d'étude, la pente de la tendance varie entre -0,05 et -0,361 mm/saison/année

La saison Estivale est exposée à une diminution pluviométrique contrairement aux tendances des pluies annuelles, automnales et hivernales. En général, on peut dire que la saison estivale a connu une légère tendance non significative à la baisse dans les précipitations durant les 29 années (Zerouali et al. 2015).

4. Conclusion

En général, les précipitations dans la région d'étude ont conservé leur stationnarité et leurs propriétés aléatoires à toutes les échelles et peut être décrites comme irrégulières ou suivant une distribution non uniforme, à la fois en termes spatiale que temporel.

A l'échelle annuelle, deux tendances temporelles non significatives sont mises en évidence, la première à la baisse après 1997 et la deuxième à la hausse au début des années 2000 observée dans la majorité des stations, avec une augmentation de 9 % dans la moyenne de la pluviométrie au niveau du bassin versant.

A l'échelle saisonnière, on a mis en évidence des tendances non significatives mixtes, à la hausse à partir de la fin des années 1990 pour l'automne et l'hiver et à la baisse pour le printemps et l'été. Le test de Pettitt a révélé une augmentation dans les moyennes pour 39 % en automne, de 5 % en hiver et une légère diminution au printemps, en revanche, une diminution de 26 % en été.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de l'oued Sébaou est situé au Nord de l'Algérie à une centaine de kilomètres à l'Est de la capitale Alger. La population totale de la wilaya de Tizi Ouzou est estimée à 1 350 100 habitants répartis sur l'ensemble du territoire avec un taux de 44 % dans les zones urbaine et 56 % soit dans les zones rurales (ANIRF).

La géologie de la région est présente sous divers facies lithologiques en allant du plus ancien, le Protérozoïque et le Cambro-ordovicien qui représente le Socle, au plus récent, le Quaternaire qui est représenté par des alluvions.

Le bassin du Sébaou se caractérise par un climat subhumide et la valeur de l'ETP évaluée par la méthode Thornthwaite est de 980,3 mm par an à la station de Tizi-Ouzou. Le bassin versant de Sébaou reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 962,2 mm.

Les stations de Tizi-Ouzou, Azazga et LNI sont caractérisées par une période sèche en été où les précipitations mensuelles varient de 2,2 mm, en juillet, à 11 mm en juin, et une période humide qui s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai dont la pluviométrie varie entre 16 mm (septembre) et 128 mm (décembre).

L'étude du bilan hydrologique a révélé que plus de 72,2 % des précipitations rejoignent l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, 22,6 % ruissellent dans le réseau hydrographique du Sébaou et 5,2 % assurent le renouvellement de la réserve en eau souterraines.

Les précipitations dans la région d'étude ont conservé leur stationnarité et leurs propriétés aléatoires à toutes les échelles (annuelle et saisonnière).

Dans l'optique d'établir des études approfondies sur l'évolution des précipitations de la zone d'étude, il est recommandé d'installer des stations de mesures pluviométriques afin de couvrir tout l'impluvium du Sébaou et densifier le réseau d'observation hydroclimatique.

**Références
Bibliographiques**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bendahmane I.** (2010) : Modélisation et simulation numérique de l'écoulement dans un milieu poreux : Application pour la nappe alluviale du Sébaou Tizi-Ouzou en vue de la prévision du niveau d'eau dans chaque période de l'année. Mémoire de Magister, université abdrahmane mira de béjaia.
- Bensaad S. & Boudrouaya A.** (2022) : Caractéristiques hydrologiques du bassin versant du Bas Sébaou (W. Boumerdès). Memoire de master, UMMTO.
- Chabane A.** (2014) : Potentialités hydriques de l'aquifère alluviale de Bas Sébaou (W, de Boumerdése). Mémoire de Magister, USTHB.
- Chergui Z., & Doucene M** (2023) : Etablissement de la carte pluviométrique récente du bassin Versant de oued Sébaou(Tizi-Ouzou). Mémoire de Master, UMMTO
- Djemai M** (1985) : Hydrologie de bassin versant du haut Sébaou hydrogéologie des formations alluviales (ALGERIE). Doctoat, Université de Grenoble (France).
- Kirkby M., & Beven k** (1979) : physically-based variable contribution area model of catchment hydrology. Hydrology Science Bulletin 24(1) : 43-69.
- Zerouali B., Mesbah M., Chettih M., Abda Z. & Djemai M.** (2015) : Analyse et cartographie des tendances pluviométriques dans le bassin versant de l'Oued Sébaou (Nord-Centre de l'Algérie).