

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 : Géologie

Option : Hydrogéologie

Par : BOUTELDJIA Samia

et

TAIBI Mahmoud

Thème :

**Evolution hydroclimatique et son impact sur les eaux souterraines
du bassin versant de Sébaou (Tizi Ouzou)**

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

M. Ahmed HAMIS	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.....	Examinateur
M. Ramdane KARDACHE	MCA anciennement de l'UMMTO.....	Invité

Promotion 2023-2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu tout Puissant Miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail et a permis que nous soyons ce que nous sommes aujourd'hui.

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur "**DROUCHE Abdelmadjid**", pour ses précieuses orientations, son aide et ses conseils tout au long de ce projet.*

*Nous tenons notamment à adresser un grand merci à notre Co-encadrante Madame **DJEMA M.**, ingénieure à DREW Boumerdes pour son aide.*

Nous tenons particulièrement à remercier vivement les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer et juger notre travail.

*Tout d'abord nous remercions **M. ZAGHOUANE H.** pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance de ce mémoire.*

*Nos sincères remerciements à **M. BENNABI M.** Pour avoir accepté d'être présent à la présentation de ce travail et pour avoir trouvé le temps d'examiner son contenu, et enfin pour ces remarques objectives.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et nos remerciements les plus sincères à **M. KARDACHE R.** pour son aide, disponibilité permanente, son encouragement et sa patience.*

*Nous remercions **M. BOUADJELA M.** pour sa totale collaboration et son accueil si particulier au sein de l'ANRH, sans oublier l'intérêt qu'il a porté à ce projet.*

Nos remerciements s'adressent à tous nos enseignants du département des Sciences géologiques qui nous ont suivi durant notre cycle d'étude.

*Nous remercions aussi **M. BETTAHAR I.** et **Mlle MEKKOUR A.** pour leurs disponibilités et leurs bons conseils.*

*Nos remerciements les plus chaleureux vont à nos chères **FAMILLES** pour leurs encouragements, leur patience et leur grand soutien durant toutes ces années d'études.*

Enfin, un remerciement à toutes personnes qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, sans oublier bien sûr nos camarades de la promotion de master.

DEDICACES

*Grace à Dieu le tout Puissant, nous avons achevé la réalisation de ce travail
que je tiens à dédier :*

*Ma mère et mon père qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes
études et pour leur patience, que Dieu les protège et les garde pour moi.*

A mes précieuses sœurs Sarah et Fatiha

A mes frères Hakim et Farid

A mes neveux et nièces Wiam, Iyad et Ania

*A mes chers amis qui m'ont toujours soutenu et à tous mes proches qui me
donnent de l'amour et la positivité.*

Merci d'avoir fait partie de ce chapitre de ma vie.

BOUTELDJA SAMIA

DEDICACES

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'études à ceux qui m'ont tout donné sans rien demander et à qui je dois énormément et que je ne pourrais jamais remercier autant.

A mes chers parents qui ont sacrifié leurs vies pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour, dont ils ne cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie. Je dédie aussi ce travail à toute ma famille et mon unique et cher frère que j'aime profondément

Je dédie ce travail à mes amis (es) et à tout mon entourage qui m'ont soutenu de près ou de loin.

TAIBI Mahmoud

Résumé

Les conditions hydroclimatiques dans le Nord de l'Algérie ont connu une évolution marquée au cours des dernières décennies. Plusieurs études ont souligné la variabilité de ces régimes. Ce travail se concentre sur le bassin versant du Sébaou, l'analyse porte sur l'évolution des paramètres hydroclimatiques de cette région et l'évaluation de leur impact sur les eaux souterraines. Pour ce faire, nous avons examiné les tendances, en mettant particulièrement l'accent sur les précipitations. Nous avons adopté une approche statistique utilisant le test de Pettitt, la statistique de Buishand et le test de Mann-Kendall pour détecter d'éventuelles ruptures dans le régime pluviométrique et déterminer leur effet sur la nappe phréatique du Sébaou. Les résultats ont révélé que seule la station de Baghlia, située dans le bas du Sébaou, présente une rupture significative en 2001, signalant une augmentation des précipitations de 29 %. Cette hausse pourrait favoriser la recharge de la nappe d'eau, bien qu'elle ne puisse pas être généralisée à l'ensemble du bassin du Sébaou.

Mots clés : évolution hydroclimatique, impact, eaux souterraines, oued Sébaou, Pettitt, Buishand, Mann-Kendall

Abstract:

The hydroclimatic conditions in northern Algeria have undergone significant changes over the past few decades. Several studies have highlighted the variability of these regimes. This work focuses on the Sébaou watershed, analyzing the evolution of hydroclimatic parameters in this region and assessing their impact on groundwater. To achieve this, we examined trends, with particular emphasis on precipitation. We employed a statistical approach using the Pettitt test, Buishand statistic, and Mann-Kendall test to detect potential shifts in the rainfall regime and determine their effect on the groundwater table of the Sébaou. The results revealed that only the Baghlia station, located in the lower Sébaou, showed a significant shift in 2001, indicating a 29% increase in precipitation. This increase could enhance groundwater recharge, although it cannot be generalized to the entire Sébaou basin.

Keywords: hydroclimatic evolution, impact, groundwater, Oued Sébaou, Pettitt, Buishand, Mann-Kendall.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES.....	iii
DEDICACES.....	iv
Résumé	v
Sommaire.....	vi
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	3
1. Introduction	3
1. Cadre géographique du site	3
3. Caractéristiques du bassin	3
3.1. Paramètres géométriques.....	5
3.1.1. Surface	5
3.1.2. Périmètre.....	6
3.2. Paramètres climatiques	6
3.2.1. Température.....	6
3.2.2. Pluviosité	6
3.2.3. Vents.....	7
3.3. Végétation.....	7
4. Géomorphologie	7
4.1. Relief	7
4.2. Pente	7
5. La nappe alluviale de l’oued Sébaou	8
6. Le barrage de Taksebt.....	9
7. Alimentation en eau potable dans le bassin versant de Sébaou.....	10
8. Aspect socio-économique.....	10
8.1. Potentiels humains.....	10
8.2. Potentiel agricole	10

8.3. Potentiel industriel.....	11
9. Les ressources souterraines	11
10. Conclusion.....	11
CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED SEBAOU	12
1. Introduction	12
2. Géologie régionale.....	12
1.1. Le domaine de l'atlas tellien.....	13
1.1.1. Le tell septentrional ou les zones internes	13
1.1.2. Le Tell méridional ou zones externes.....	15
3. Géologie locale	16
3.1. Lithostratigraphie.....	16
3.1. Le socle cristallin kabyle	16
3.2. La dorsale kabyle (chaîne calcaire)	17
3.3. L'Oligo miocène kabyle	18
3.3.1. Unité numidienne	18
3.3.2. Olistostrome (ou argiles à blocs).....	19
3.4. Les formations post-nappe.....	19
3.5. Les flysch.....	19
3.5. Les formations quaternaires.....	19
4. Tectonique	20
4.1. Tectonique du socle	20
4.2. Tectonique du miocène « post-nappe »	20
4.3. Fracturation.....	21
4.4. Plissements	21
4.5. La structure de la chaîne calcaire	21
5. Aperçu hydrogéologique	22
5.1. Les formations aquifères	22
5.2. Les alluvions du Sébaou	24
5.2.1. Caractéristiques hydrodynamiques.....	24
6. Conclusion.....	26
CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE	28

1. Introduction	28
2. Réseau hydrographique du Sébaou.....	28
3. Stations hydroclimatiques du bassin.....	30
4. Climatologie	31
4.1. La pluviométrie.....	31
4.2. La température	31
4.3. L'humidité	32
4.4. Humidité relative	33
4.5. Vent	33
4.6. Evaporation.....	34
5. Conclusion	35
CHAPITRE 4 : EVOLUTION DES PRECIPITATIONS ET SON EVOLUTION SUR LES	
EAUX SOUTERRAINES	36
1. Introduction	36
2. Analyses des précipitations	36
2.1. Pluviométrie moyenne annuelle	36
2.2. Le régime pluviométrique interannuelle.....	37
3. Détection des ruptures des séries pluviométriques.....	39
3.1. Tendance linéaire.....	39
3.2. Rupture des séries pluviométriques	40
3.2.1. Test de Pettitt (1979)	40
3.2.2. Test de Buishand	45
3.3. Test de Men Kendall.....	51
4. Conclusion	54
CONCLUSION GENERALE	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Situation géographique du bassin versant de l'oued Sébaou	4
Figure 2	: Carte des sous bassins du Sébaou	5
Figure 3	: Carte des pentes du bassin de Sébaou à l'aide du logiciel arc Gis (S. Charifi-Bellabas, 2020)	8
Figure 4	: Photos satellite du barrage de Taksebt (Google earth)	9
Figure 5	: l'orogène alpin périméditerranéen (Durand Delga, 1969)	12
Figure 6	: Carte structurale de la chaîne des Maghrébides. (Durand-Delga, 1969)	13
Figure 7	: La position des nappes de flysch par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides	15
Figure 8	: Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la Grande Kabylie (Raymond, 1976)	16
Figure 9	: Formations géologiques de la vallée du Sébaou	17
Figure 10	: Carte schématique interprétative de la dorsale de la grande Kabylie (J.P Galard, 1979)	18
Figure 11	: Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin à hauteur du Sébaou (Durand Delga et al., 1969)	20
Figure 12	: Carte schématique simplifiée des principaux accidents tectoniques (D. Raymond, 1976)	21
Figure 13	: Carte schématique des dorsales du Djurdjura (J.P. Gélard, 1976) et vue des écaillés redressées	22
Figure 14	: Carte thématique de la variation spatiale du type de l'aquifère de la nappe alluviale du Sébaou	23
Figure 15	: Réseau hydrographique de l'oued Sébaou	29
Figure 16	: Stations pluviométriques du bassin versant de Sébaou (I. Bendahmane, 2010)	31
Figure 17	: Températures mensuelles de la station de Tizi Ouzou (ANRH, 2002)	32
Figure 18	: Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Tizi Ouzou (1998-1999)	34
Figure 19	: Evolution des précipitations moyennes annuelles dans le Sébaou (1980-2008)	37
Figure 20	: Evolution interannuelle des précipitations annuelles dans le bassin de Sébaou (1980-2008)	38
Figure 21 a	: Tendances des précipitations annuelles dans le Sébaou (1980-2008)	39
Figure 21 b	: Tendances pluviométriques dans le bassin du Sébaou (1980-2008)	40
Figure 22	: Résultat du test de Pettitt, station de Beni Yenni	42
Figure 23	: Résultat du test de Pettitt, station d'Azazga	42
Figure 24	: Résultat du test de Pettitt, station de LNI	43
Figure 25	: Résultat du test de Pettitt, station de DEM	44
Figure 26	: Résultat du test de Pettitt, station de DBK	45

Figure 27	: Résultat du test de Pettitt, station de Baghlia	45
Figure 28	: Résultat du test de Pettitt, station de Nezlioua	45
Figure 29	: Résultat de la statistique de Buishand, station de Beni Yenni	46
Figure 30	: Résultat de la statistique de Buishand, station d'Azazga	47
Figure 31	: Résultat de la statistique de Buishand, station de LNI	48
Figure 32	: Résultat de la statistique de Buishand, station de Draa El Mizan	48
Figure 33	: Résultat de la statistique de Buishand, station de Baghlia	50
Figure 34	: Résultat de la statistique de Buishand, station de Nezlioua	50
Figure 35	Résultats du test de Mann Kendall	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Répartition des superficies par sous bassins (source : ANRH)	6
Tableau 2	: Répartition spatiale des alluvions du Sébaou (ANRH Blida, 2010)	24
Tableau 3	: Valeurs d'emmagasinements de la vallée du Sébaou	26
Tableau 4	: Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH)	30
Tableau 5	: Température mensuelles maximales, minimales et moyennes Tizi Ouzou (ANRH, 2002)	32
Tableau 6	: Humidité relative mensuelles en %, station de tizi Ouzou (ANRH, 2002)	33
Tableau 7	: Vitesses moyennes mensuelle des vents en m/s (ANRH, 2000)	34
Tableau 8	: Evaporation mensuelle moyenne (ANRH, 2002)	34
Tableau 9	: Précipitations annuelles du Sébaou (1980-2008)	36
Tableau 10	: Statistiques descriptives séries pluviométriques (1980-2008)	41
Tableau 11	: Résultats du test de Pettitt, station de Beni Yenni	41
Tableau 12	: Résultats du test de Pettitt, station d'Azazga	42
Tableau 13	: Résultats du test de Pettitt, station LNI	43
Tableau 14	: Résultats du test de Pettitt, station de Draa El Mizan annuelles	43
Tableau 15	: Résultats du test de Pettitt, station de DBK	44
Tableau 16	: Résultats du test de Pettitt, station de Baghlia	44
Tableau 17	: Résultats du test de Pettitt, station de Neqlioua	45
Tableau 18	: Résultats de la statistique de Buishand, station de Beni Yenni	46
Tableau 19	: Résultats de la statistique de Buishand, station d'Azazga	47
Tableau 20	: Résultats de la statistique de Buishand, station de LNI	47
Tableau 21	: Résultats de la statistique de Buishand, station de Draa El Mizan	48
Tableau 22	: Résultats de la statistique de Buishand, station de DBK	49
Tableau 23	: Résultats de la statistique de Buishand, station de Baghlia	49
Tableau 24	: Résultats de la statistique de Buishand, station de Neqlioua	50
Tableau 25	: Résultats du test de Mann Kendal	51

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les conditions climatiques ont un impact primordial sur les eaux souterraines, en influençant leur recharge, leur qualité et leur disponibilité. Le changement climatique actuel provoque des variations extrêmes dans les précipitations, la température et l'évapotranspiration. Les différences de perception des changements climatiques ont induit une variabilité dans les formes d'adaptation.

Les modèles climatiques prévoient des variations dans les régimes de précipitations, des événements météorologiques extrêmes et une augmentation des températures. Ces changements peuvent entraîner des fluctuations dans la recharge des nappes phréatiques et une diminution de la qualité de l'eau.

Au fil des années, le bassin versant de l'oued Sébaou a connu des variations importantes au niveau de la qualité et la quantité des eaux souterraines. Les précipitations sont un facteur essentiel dans le cycle de l'eau, car elles alimentent les rivières et nappes phréatiques. Cependant, dans le bassin versant de Sébaou, elles sont souvent irrégulières en quantités. Au cours des dernières décennies, on observe une diminution des précipitations et une augmentation des épisodes de sécheresse, ce qui entraîne une réduction de la recharge des nappes et une nette augmentation de la demande sur les ressources en eau.

Parallèlement, les températures ont également augmenté, ce qui accentue l'évaporation des sols et eaux de surface. Cette évaporation peut réduire la disponibilité en eau dans les nappes et aggraver le stress hydrique. De plus, les températures les plus élevées peuvent également influencer les régimes hydrologiques en modifiant les débits des rivières et en augmentant les risques d'inondation et de sécheresses en perturbant les équilibres hydriques naturels.

Il est donc crucial de comprendre l'impact de l'évolution hydroclimatique et mener des études approfondies pour évaluer les tendances.

A travers ce modeste travail, nous avons choisi pour notre thème de faire une étude pour mettre en évidence les caractéristiques de l'évolution des conditions hydroclimatiques en général et des précipitations en particulier afin d'évaluer l'impact de cette évolution sur la ressource en eau souterraine dans la zone d'étude.

Le contenu de cette étude s'articule sur quatre chapitres :

Le premier chapitre montre une présentation de la zone d'étude, ainsi que les paramètres climatiques et géométriques du bassin.

Dans **le deuxième chapitre**, nous avons apporté un aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie du bassin versant de Sébaou pour déterminer la structure et les caractéristiques de l'aquifère.

Le troisième chapitre est consacré pour le bassin versant Sébaou. Il s'agit de l'hydroclimatologie par la présentation de réseau hydrographique et ses limites, déterminer la climatologie et hydrologie de bassin.

Le quatrième chapitre comporte l'interprétation et la discussion des résultats de quelques paramètres obtenus dans cette étude.

Et enfin, on terminera notre étude par une conclusion générale.

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

En Algérie, la vallée de l'oued Sébaou est située dans la région nord du Tell et constitue une source importante des eaux souterraine et de surface en raison de son contexte géographique. Les ressources en eau de la zone d'étude sont importantes à la fois pour la population locale. Dans le présent chapitre, nous avons présenté les caractéristiques générales de la zone d'étude.

1. Cadre géographique du site

Le bassin versant de l'oued Sébaou est situé au Nord de l'Algérie dans la willaya de Tizi Ouzou. C'est un sous bassin versant du côtier Algérois, fait partie des Monts de Djurdjura.

Il s'étend sur une superficie de 2500 km^2 dont 80 % environ correspondent à la surface issue du nouveau découpage administratif de la willaya de Tizi Ouzou.

Le bassin versant drainé par l'oued Sébaou et ses affluents est limité entre les latitudes $36^{\circ}27'$ et $36^{\circ}55'$ Nord et les longitudes $3^{\circ}55'$ et $4^{\circ}53'$ Est.

Le bassin versant de l'oued Sébaou est limité :

- Au Nord par la chaîne côtière de la méditerrané ;
- Au Sud par la chaîne de Djurdjura (wilaya de Bouira) ;
- À l'Est par les massifs d'Akfadou et de Béni Ghobri (wilaya de Bejaia) ;
- À l'Ouest par le massif de sidi Ali Bounab et djebel Bouberek (wilaya de Boumerdes).

3. Caractéristiques du bassin

Le bassin est caractérisé par :

- Une topographie particulière qui participe à une évacuation rapide des eaux de surface vers l'embouchure.
- Sous-sol essentiellement imperméable qui explique l'inexistence de nappes d'eaux souterraines (mis à part les alluvions de l'oued Sébaou).
- L'absence d'un couvert végétal continu et le manque d'aménagements pour la protection des berges participent amplement à l'érosion des sols et à une importante déperdition des eaux de surface.
- Le paysage végétal du bassin de Sébaou a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies et par une petite agriculture extensive et un surpâturage endémique.
- La végétation de la région d'étude est de type méditerranéen, sa répartition est dominée par les cultures annuelles.

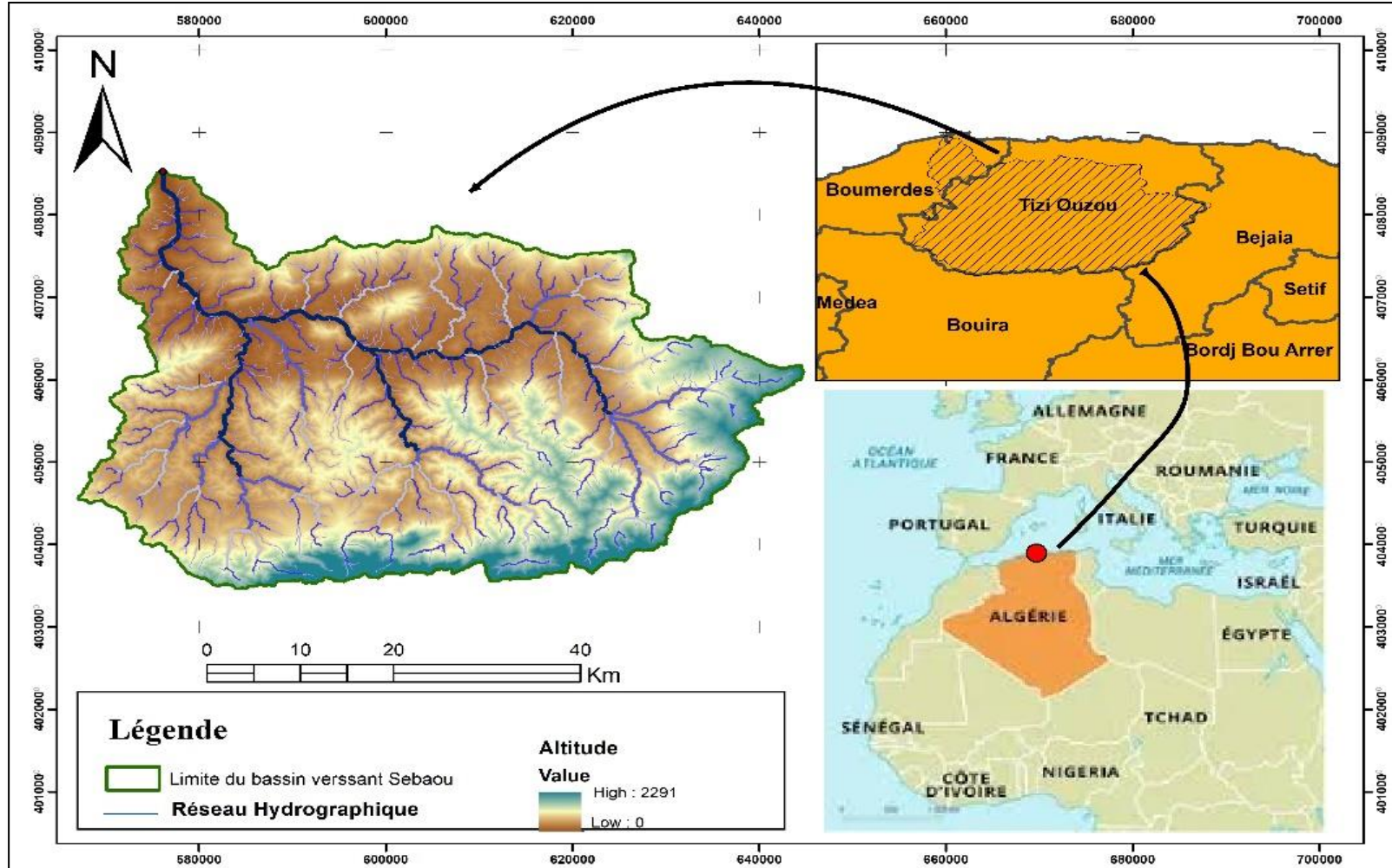


Figure 1 : situation géographique du bassin versant de l'oued Sébaou

- Depuis sa source au Djurdjura orientale jusqu'à l'embouchure en mer méditerranée, l'oued Sébaou change trois fois de direction :
 - **Haut Sébaou** : S'étend de la source Actif de Boubehir jusqu'à la cluse de Belloua l'oued prend la direction NNW-SSE.
 - **Moyen Sébaou** : Au niveau de la cluse de Belloua, l'oued Sébaou forme son premier coude avec le haut Sébaou et prend une direction NE-SW.
 - **Bas Sébaou** : L'oued marque son deuxième coude au niveau de Tadmaït et empreinte la direction NNW-SSE.

3.1. Paramètres géométriques

Le bassin versant de Sébaou (code 02 dans le répertoire de l'ANRH) est divisé en six sous bassins (figure 2), avec une répartition inégale sur les zones du haut, du moyen et du bas Sébaou. Cette répartition est représentée dans le *tableau 1*.

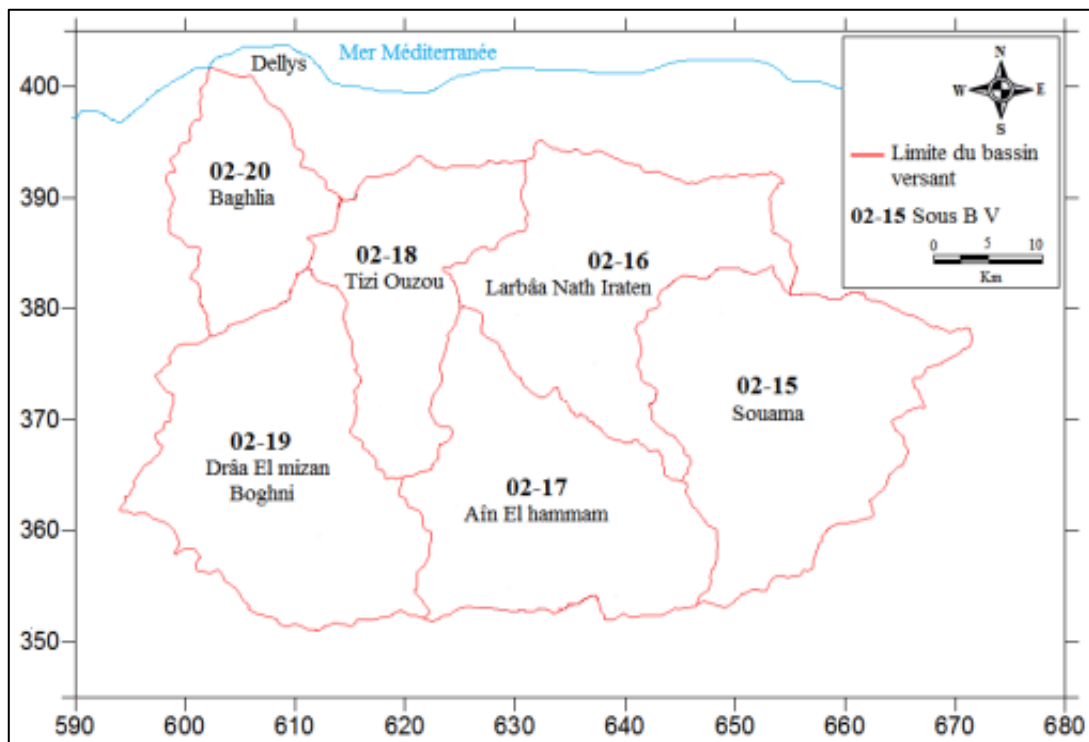


Figure 2 : Carte des sous bassins du Sébaou (Hamad S. 2013)

3.1.1. Surface

Le bassin s'étend sur une superficie de 2500 km^2 et est délimité par une ligne de crêtes. Ce contour guide le cheminement des eaux précipités à travers un réseau hydrographique jusqu'à l'exutoire. La taille de cette surface a un impact significatif sur le processus de formation de l'écoulement des eaux de surface.

3.1.2. Périmètre

Le périmètre du bassin versant de Sébaou est défini par la ligne de crêtes qui forme son contour. L'objectif principal de déterminer ce périmètre est de pouvoir calculer l'indice de compacité Gravelius (Kc).

La ligne de crêtes entourant la zone, mesure $P = 240 \text{ km}$.

Tableau 1 : Répartition des superficies par sous bassins (source : ANRH)

Sous bassins versants	Code	Surface (km^2)	Périmètre (km)
Haut Sébaou	02-15	532	102,4
	02-16	432	112
	02-17	468	98,6
Moyen Sébaou	02-18	304	82
	02-19	544	94,2
Bas Sébaou	02-20	220	62,6

3.2. Paramètres climatiques

La région de l'oued Sébaou est influencée par le climat méditerranéen du type continental, caractérisé par hiver pluvieux et frais et un été sec et chaud.

3.2.1. Température

Le bassin versant de l'oued Sébaou est caractérisé par une température relativement humide d'octobre à avril et sèche de mai à septembre.

La température annuelle moyenne est généralement d'environ $16,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.2.2. Pluviosité

La pluviosité varie en fonction de latitude, ce que nous montrons que les pluies sont d'origine orographique. Elles sont soumises à l'influence de l'effet de continental et l'altitude en allant en direction de la mer.

Le réseau pluviométrique du bassin versant de l'oued Sébaou est très dense et caractérisé par :

- Des précipitations d'origine cyclonique apportées par les vents nord-ouest du mois de décembre à février
- Des pluies orageuses en automne et au printemps (D. Izitounene, 2021)

- Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 1100 mm dans la chaîne montagneuse du Djurdjura et de 700 à 800 mm dans la vallée à Tizi-Ouzou.
- Le recours à l'irrigation, à partir des eaux de surface ou souterraines.

3.2.3. Vents

Le déséquilibre momentané entre les zones de haute pression et les zones de basse pression donnent naissance aux vents. Ils se caractérisent par leurs vitesses et leurs directions. Il est généralement modéré, avec une vitesse moyenne comprise entre 10 et 20 km/h dans le bassin de Sébaou.

3.3. Végétation

Le couvert végétal joue un rôle extrêmement important, dans la protection des sols contre l'érosion par son action atténuante des crues et des averses particulières, en réduisant et en ralentissant le ruissellement superficiel. La végétation de Sébaou est de type méditerranéen, elle est caractérisée par des cultures et des forêts sur les zones de montagne. L'absence d'une couverture végétale arbustive dense augmente le phénomène d'érosion et contribue à des dommages tels que la perte de terres cultivables et l'envasement des structures hydrauliques existantes dans le bassin fluvial. (S. Charifi-Bellabas, 2020).

4. Géomorphologie

Le bassin versant de l'oued Sébaou présente une diversité des paysages liée au facteurs lithologiques, morpho-structuraux et bioclimatiques, on distingue :

4.1. Relief

La vallée du Sébaou se distingue par un relief accidenté à 90 % de sa superficie globale et des altitudes moyennes entre 180m et 1400 m avec un point culminant à 1425 m (le haut sébaou) dans les montagnes de Djurdjura.

L'incidence du relief sur les caractéristiques hydrologiques est considérable. La durée d'imprégnation du sol par les eaux et les possibilités d'infiltration étant d'autant moins élevée que la pente est plus forte. En outre la plupart des facteurs météorologiques sont liés à l'altitude telles les précipitations.

4.2. Pente

Le bassin est caractérisé par de fortes pentes. La pente du secteur d'étude présente une diminution importante du Sud vers le Nord (figure 3). Ceci favorise le ruissèlement et par conséquent a une influence directe sur la couverture pédologique par l'effet de l'érosion (M. HARIK,2021).

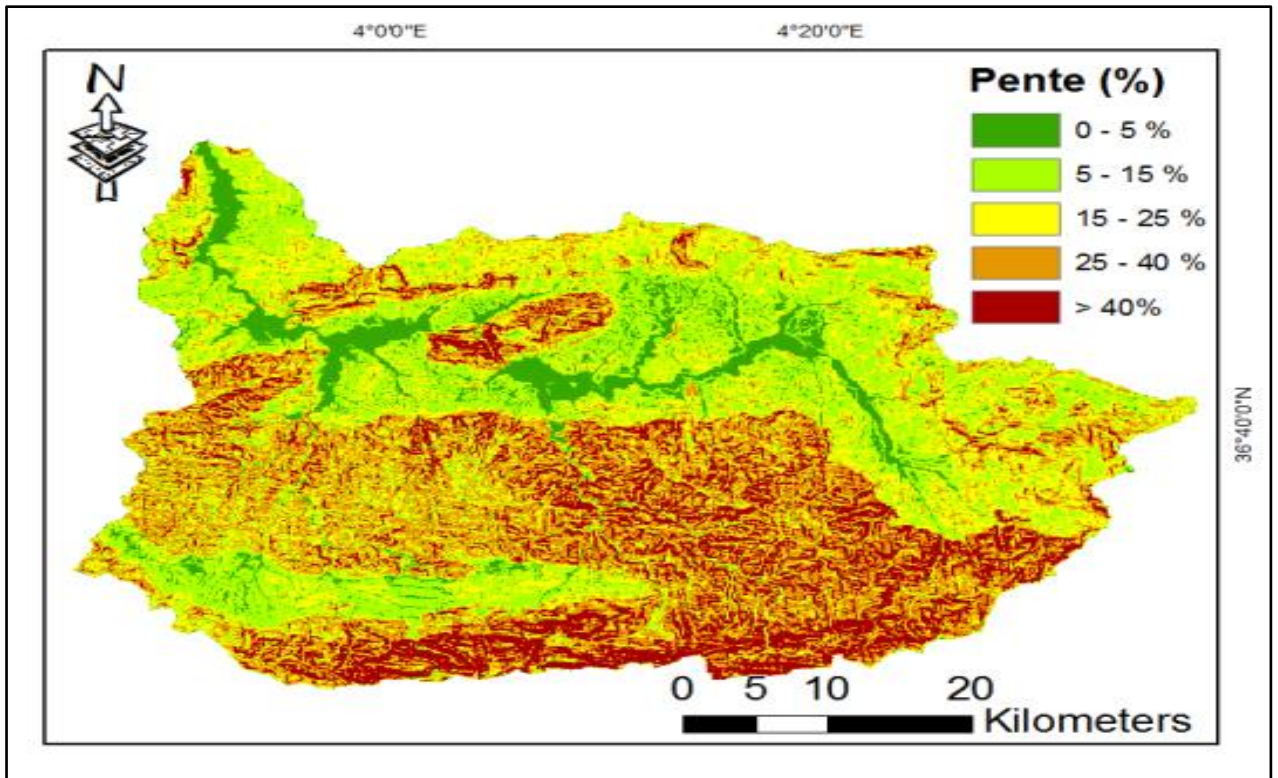


Figure 3 : Carte des pentes du bassin de Sébaou à l'aide du logiciel arc Gis (S. Charifi-Bellabas, 2020)

5. La nappe alluviale de l'oued Sébaou

La nappe alluviale du Sébaou est l'unique réservoir, jusqu'à présent exploité dans la région, mis à part les quelques sources alimentant le piedmont du Djurdjura qui prennent naissance de ce dernier.

Les études faites sur la région montrent, à travers les cartes piézométriques, que la nappe est en relation hydraulique avec les eaux de surface drainée par l'oued de Sébaou :

- **En basses eaux** : l'oued alimente la nappe.
- **En période de hautes eaux** : une remontée du niveau de la nappe qui alimente ainsi le cours d'eau superficielle.

La recharge est assurée essentiellement par l'infiltration des eaux des précipitations et par les eaux de ruissellements s'effectuant le long des cours d'eau dans les secteurs où la nappe est libre. (Chadrine 1975 ; Djemai 1980 et 1983).

6. Le barrage de Taksebt

Le barrage Taksebt se trouve dans la wilaya de Tizi-Ouzou, commune de Beni Aïssi, il collecte les eaux de l'Oued Aïssi qui est un affluent du Sébaou. Il est destiné principalement à l'alimentation en eau potable des villes de Tizi-Ouzou et d'Alger. La construction du barrage a débuté en 1994 pour s'achever en 2001, c'est un barrage en terre de 94 m de hauteur et de 515 m de long.

Les Principales caractéristiques du barrage se résume dans ce qui suit (source ANBT) :

- Capacité initiale : $180 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ régularisé.
- Capacité au levé de 2004 : $181,02 \text{ hm}^3$.
- Apport moyen annuel : 196 hm^3 .
- Envasement moyen annuel (les solides) : $0,27 \text{ hm}^3/\text{an}$
- Surface du bassin versant : 448 km^2 .
- Pluie moyenne annuelle : 960 mm.

La photo satellite suivante de Google Earth montre une cuvette assez allongée, situé dans une zone montagneuse accidentée (figure 4).



Figure 4 : Photos satellite du barrage de Taksebt (Google earth)

Il est à noter que Taksebt est le seul grand barrage du Sébaou. Sa capacité ne représente que près de 16 % des apports moyens du Sébaou (ABH,2009) ce qui est insuffisant.

7. Alimentation en eau potable dans le bassin versant de Sébaou

L'alimentation en eau potable dans le bassin versant du Sébaou et la wilaya de Tizi Ouzou est assurée en grande partie par les forages hydrauliques de la nappe alluviale, un aquifère très étiré qui épouse le profil actuel de l'oued.

La majeure partie de la région du Sébaou et de la wilaya de Tizi Ouzou est peu ou pas concernée par l'exploitation de ces deux gisements.

Les nombreux secteurs éloignés de ces deux lieux privilégiés connaissent un large déficit dans l'approvisionnement en eau potable à cause de l'insuffisance des transferts par adduction et de diverses contraintes liées au relief accidenté, au type de répartition très éparse des populations, à un sous-sol constitué de terrains peu ou pas perméables et enfin aux conditions climatiques particulières.

L'exploitation actuelle des eaux ne peut pas répondre à la demande des utilisateurs et les populations villageoises qui comptent beaucoup sur un éventuel apport des eaux souterraines à la faveur des fractures géologiques et autres discontinuités que l'on rencontre habituellement dans ce type de terrains. (B. Yacoub, 2004)

8. Aspect socio-économique

8.1. Potentiels humains

Dans la région d'étude le potentiel pourrait inclure une population assez dense localisée au niveau des nombreux villages de la wilaya de Tizi Ouzou, la population totale dans la wilaya de Tizi Ouzou suite au dernier recensement générale de la population et l'habitat (R.G.P.H) effectué en 2008 est estimé à 1 127 607 habitants répartis sur l'ensemble du territoire avec un taux de 77,7 % soit 876 150 habitants dans les zones rurales et 22,3 % soit 251457 habitants dans les zones urbaines.

8.2. Potentiel agricole

L'agriculture dans son statut vital ne représente pas une activité dynamique, néanmoins la région dispose d'un appréciable potentiel agricole. La surface agricole total est 203 227 ha, répartie de façon inégale dans la région. Cependant la majorité des terres fertiles et irriguées se localisent dans la plaine soit 5000 ha où se développent les cultures maraichères, qui nécessite une énorme quantité d'engrais chimiques et de fertilisant ainsi que des ressources en eau considérables. Quant au zones montagneuses les terres agricoles disponibles sont très morcelées et reposent sur des sols pauvres, dénudé et raviné ce qui limitent principalement à l'arboriculture (oliviers figuier, etc).

8.3. Potentiel industriel

L'industrie existe dans la région d'étude et est située sur l'axe Draa Ben Khedda _Azazzga, où enregistre plusieurs unités agro-industrielles et agro-alimentaires telle que l'ORLAC, ENIEM, des limonadières ainsi que 528 huileries qui parsèment toute la région.

9. Les ressources souterraines

La région est alimentée par la nappe alluviale, renfermé dans les formations alluvionnaires de l'oued Sébaou, ayant pour origine l'infiltration des eaux ruisselées à partir des versants et des cours d'eau, qui débouchent vers l'exutoire du bassin.

Le potentiel hydrique en eaux souterraines, dans le bassin versant de Sébaou, est non négligeable.

Les sources souterraines de l'oued Sébaou sont des émergences naturelles d'eau souterraine à la surface. Ces ressources sont essentielles pour l'approvisionnement en eau potable de la région et pour l'irrigation des terres agricole environnantes.

10. Conclusion

L'oued Sébaou prend sa source dans la chaîne des montagnes de Djurdjura et se jette en méditerranée après un parcours de 97 km. Il draine un bassin versant de 2500 km^2 .

Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide et un été sec et chaud.

La recharge de la nappe est principalement alimentée par l'infiltration des eaux de pluie qui assure la mobilisation des eaux qui repose essentiellement sur la nappe alluviale et le barrage hydraulique de Taksebt.

Chapitre 2

Géologie et hydrogéologie du bassin versant de l'oued Sébaou

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED SEBAOU

1. Introduction

La vallée de l'oued Sébaou se situe au Nord de la Kabylie. Elle est constituée d'un remplissage du synclinal qui s'étend principalement d'Azazga à Dellys à cœur miocène.

La vallée est constituée par des formations d'âge paléozoïques à quaternaire affecté d'une tectonique souple et cassante. L'orogénèse alpine est la plus caractéristique de la région et fait partie de la chaîne maghrébines (Durand-Delga, 1969) d'âge tertiaire résultant des cycles orogéniques (mécanisme de formation des montagnes) (figure 5).

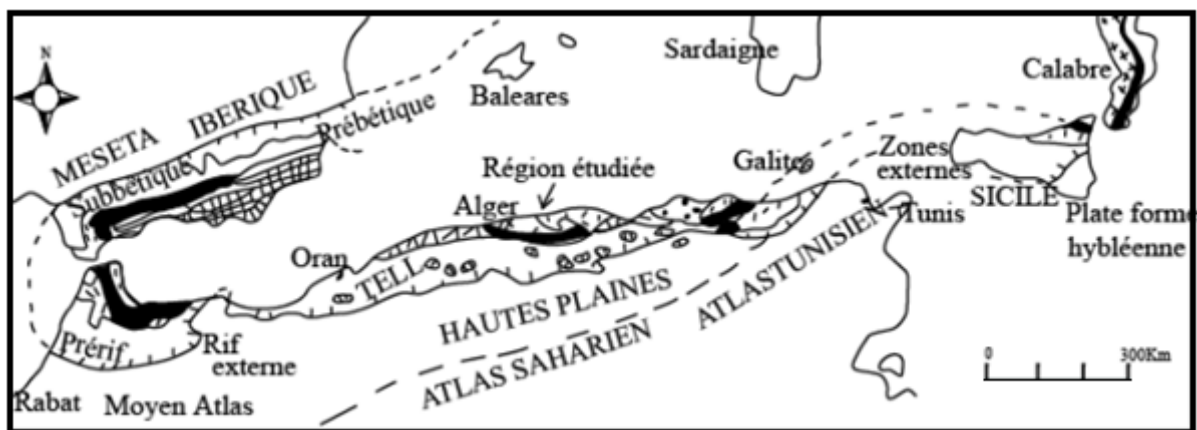


Figure 5 : l'orogène alpin périméditerranéen (Durand Delga, 1969)

2. Géologie régionale

On distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie (figure 6).

Le domaine de la chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso - cénozoïques aboutissant à la mise en place de nappes de charriages. C'est le domaine des nappes ou domaine allochtone.

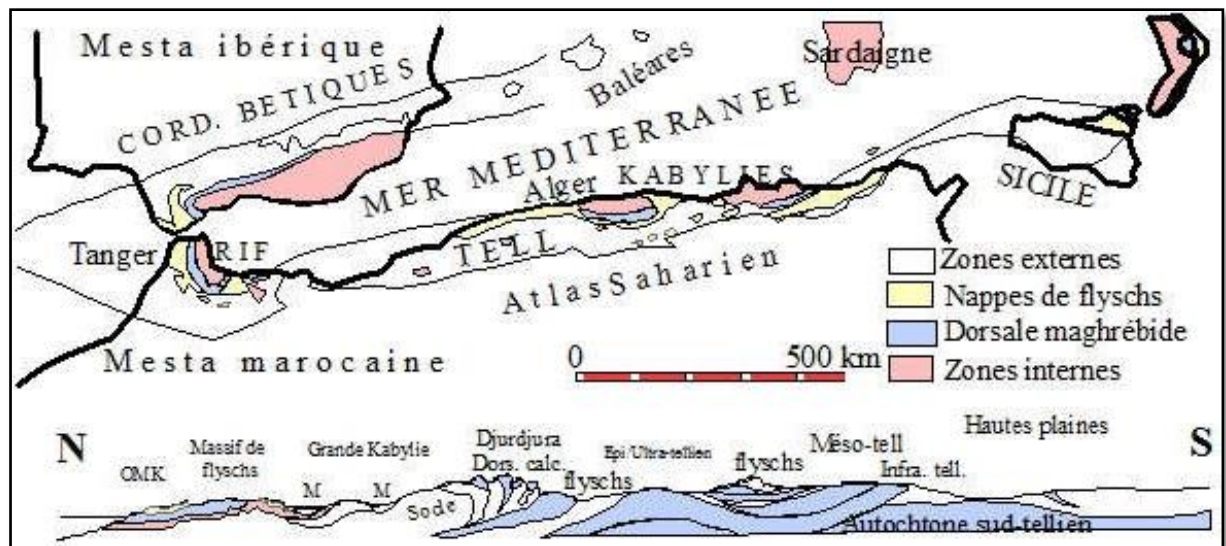


Figure 6 : Carte structurale de la chaîne des Maghrébides. (Durand-Delga, 1969)

1.1. Le domaine de l'atlas tellien

La dépression de l'oued Sébaou fait partie du « Tell septentrional » qui est constitué par plusieurs différents ensembles :

1.1.1. Le tell septentrional ou les zones internes

C'est un ensemble à structure complexe qui se localise au Nord de l'Atlas tellien comprenant les noyaux du socle primaire kabyle, la chaîne dorsale (calcaire) et les flysch nord et sud kabyle. On distingue :

1.1.1.1. Les massifs primaires kabyle

Ce sont composés de massifs cristallophylliens métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique. Ce socle affleure D'Ouest en Est dans les massifs du Chenoua (à l'Ouest d'Alger), d'Alger, de la Grande Kabylie et de la Petite Kabylie (entre Jijel et Skikda). Ce dernier, avec 120 km de long et 30 km de large, constitue le plus large affleurement du socle kabyle en Algérie. Le socle est par endroits recouvert en discordance par des dépôts détritiques (principalement des molasses conglomératiques) d'âge oligocène supérieur-miocène inférieur, appelés Oligo-Miocène Kabyles. Les massifs internes des Maghrébides ont donc constitué une zone haute de la fin du Paléozoïque à l'Oligocène supérieur.

1.1.1.2. La chaîne calcaire (dorsale kabyle)

La dorsale kabyle a été subdivisée du Nord au Sud en trois unités qui se différencient par le faciès et l'épaisseur des calcaires : dorsale interne, médiane et externe. (Durand-Delga, 1969 ; Raoult, 1974; Vila, 1980, Lahondhère, 1987).

En Petite Kabylie les formations de la chaîne calcaire dont l'âge s'étale du Permo-Trias à l'Eocène représentent la couverture sédimentaire mésozoïque et tertiaire du socle kabyle. Elle est représentée par des lambeaux écaillés, alignés suivant une direction Est-ouest et constituent les témoins les plus méridionaux du domaine interne (Raoult, 1974 et Mahdjoub, 1991).

- ***Dorsale interne*** : elle est caractérisée par une série sédimentaire conglomératique à la base et calcaire au sommet d'âge allant du Permo-Trias au Néocomien. Depuis, elle est restée émergée jusqu'au Paléocène puis, à partir de l'Eocène se sont déposés des calcaires néritiques massifs.
- ***Dorsale médiane*** : elle montre, à la base, la même série que la dorsale interne qui peut cependant atteindre le Barrémien. Le Crétacé supérieur, le Paléocène, l'Eocène (Jusqu'au Lutétien sont représentés par des marno-calcaires à microfaunes pélagiques. Au Lutétien supérieur apparaissent des faciès à microfaune benthique (Nummulites).
- ***Dorsale externe*** : elle est caractérisée par des formations détritiques du Crétacé et de l'Eocène.

1.1.1.3. L'Oligo –Miocène kabyle

C'est une formation d'âge oligocène à miocène inférieur discordante sur le socle kabyle. Elle est composée essentiellement de conglomérats, grés, et marnes. (M. Mesbah, 1981).

1.1.1.4. Les flysch

Les flysch peuvent se présenter en contact anormal, soit sur la dorsale, soit sur l'Oligocène ou encore en position comparable à ceux du tell méridional (figure 7).

Ces flysch se subdivisent en deux séries : la série maurétanienne et la série massylienne.

➤ **Les flysch maurétaniens**

Ce sont relativement épais et occupent une position interne dans le domaine des flysch. Ils sont composés d'alternance de bancs argileux, calcaires et gréseux.

➤ **Les flysch massyliens**

Ils occupent une position externe dans le domaine des flysch et comportent une série pélio-quartzitique d'âge crétaé inférieur.

➤ **Les flysch numidiens**

Ils sont constitués de niveaux gréseux d'âge oligocène terminal aquitainien épais de plusieurs centaines de mètres. Ces flysch reposent anormalement à la fois sur les zones internes et sur les zones externes

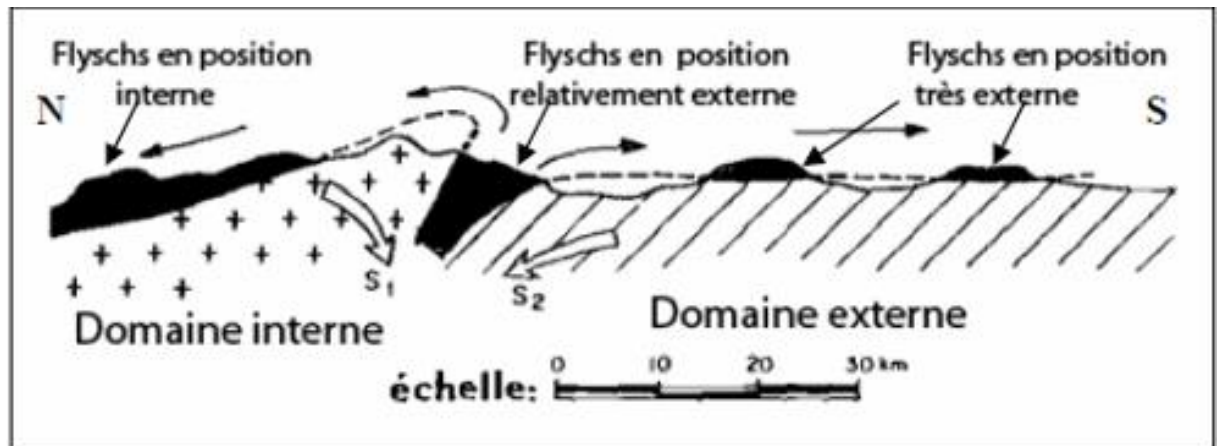


Figure 7 : La position des nappes de flysch par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides.

1.1.2. Le Tell méridional ou zones externes

Il comprend plusieurs zones ou unités qui sont souvent du même âge et sont (figure 8) :

1.1.2.1. Les unités autochtones (ou para-autochtones)

Ces unités apparaissent en différents endroits : littoral oranais, massif du Cheliff, de l'algérois, de l'Ouarsenis et des Bibans.

Ces unités d'extension réduite sont constituées de terrains mésozoïques et parfois paléozoïques.

1.1.2.2. Les masses allochtones (ou les nappes telliennes)

Ils sont constitués par un ensemble des nappes allochtones pelliculaires :

- **Les unités ultra-telliennes (EPI)** aux formations bathyales du Crétacé et de l'Eocène et une série plus détritico au Cénomanié et à l'Eocène, ne sont connues que dans l'Est algérien et en Tunisie. Elles présentent des caractères proches de ceux du flysch massylien.
- **Les unités sensu-stricto (mésos)** formées du Lias de plateforme surmonté du Jurassico plus marneux, puis par le Crétacé qui, détritico, devient marneux à argilo-calcaire et enfin l'Eocène aux marnes épaisses.

- **Les nappes péni-telliennes (Infra)** : elles sont représentées par des séries néritiques, carbonatées et marneuses d'âge crétacé à oligocène. Elles sont définies dans l'Est algérien et présentent des caractères proches de ceux du néritique constantinois.

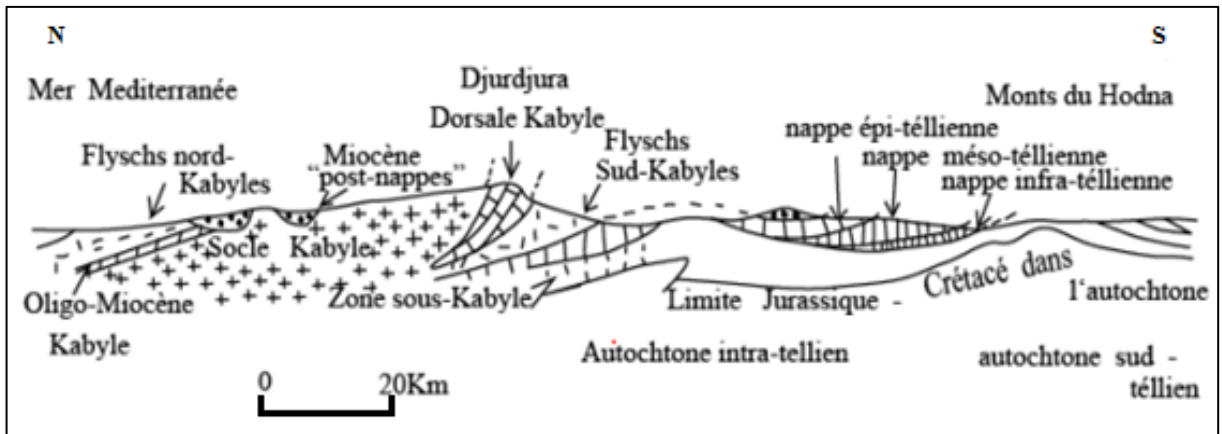


Figure 8 : Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la Grande Kabylie (Durand Delga, 1969)

3. Géologie locale

3.1. Lithostratigraphie

La figure 9 montre les différentes formations géologiques qui compose la vallée du Sébaou.

3.1. Le socle cristallin kabyle

Ce sont des terrains cristallins et cristallophyllien d'âge protérozoïque permettant de distinguer plusieurs unités rocheuses, dont les plus importants sont les gneiss, les micaschistes, les amphibolites et les granites. Ce sont les massifs du Belloua, de Aissa Mimoun et de Sidi Ali Bounab (Aite., 1994).

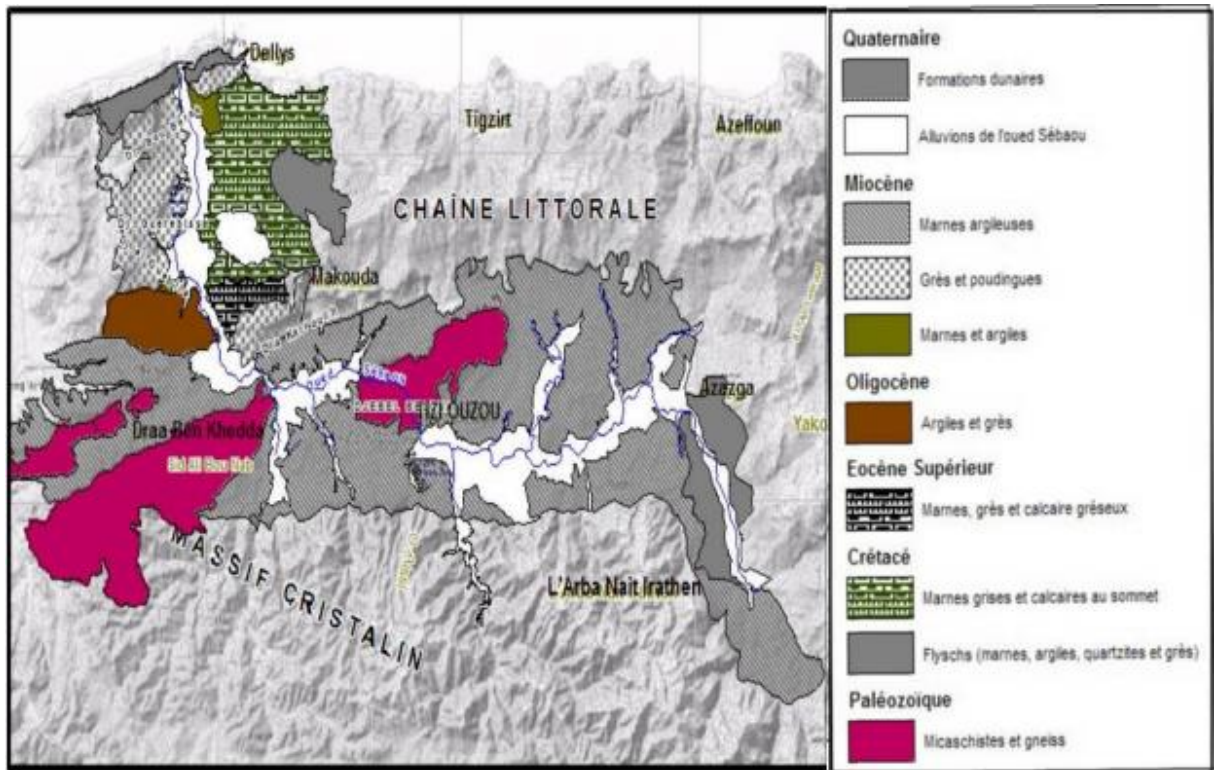


Figure 9 : Formations géologiques de la vallée du Sébaou (ANRH TO)

3.2. La dorsale kabyle (chaîne calcaire) :

Le Djurdjura est une chaîne calcaire étroite, elle est constituée essentiellement de terrains carbonatés orientée ENE-WSW qui correspond à un empilement d'écailles de calcaire massifs à nummulites, de dolomies (Lias) et marno-calcaire qui sont surmontés de grès et de pélites. A la base, on trouve également des grès et des pélites schisteux du Carbonifère coiffés par les grès rouges du Trias (Durand- Delga., 1969) (figure 10).

Les massifs calcaires sont le siège de nombreuses formes karstiques. L'infiltration des eaux à la faveur de la perméabilité et de la fissuration des roches a conduit à la formation de grottes et gouffres.

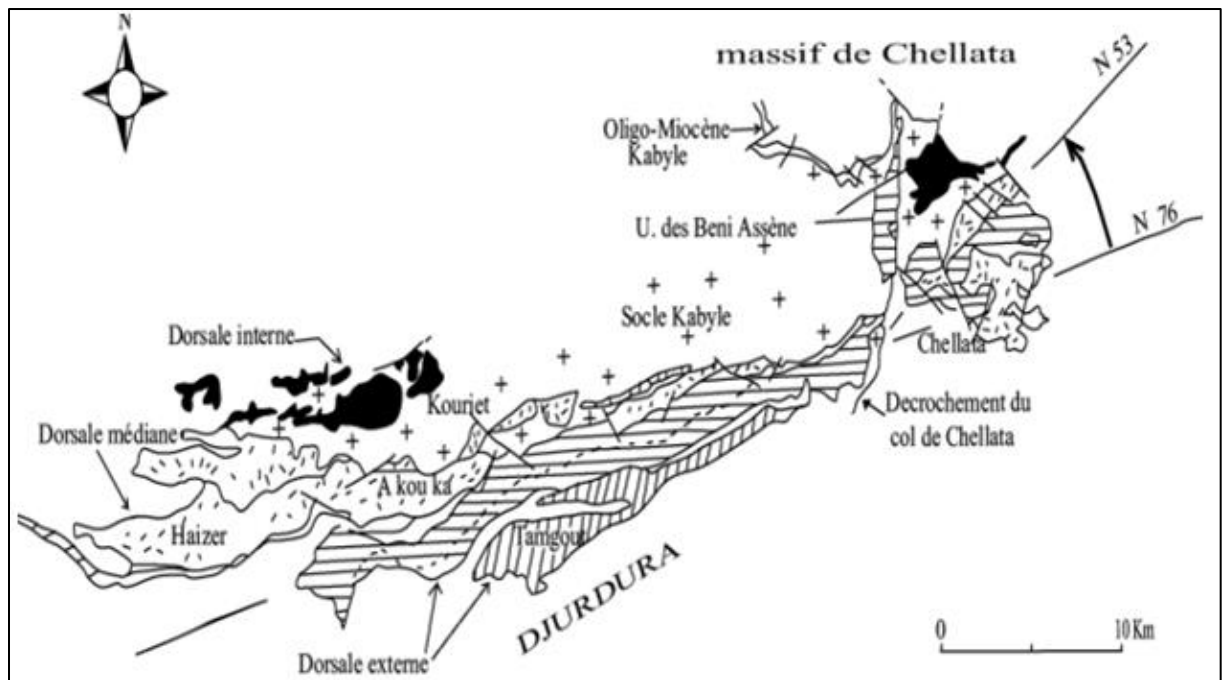


Figure10 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la grande Kabylie
(J.P Galard, 1979)

3.3. L'Oligo miocène kabyle

C'est un ensemble géologique regroupant toutes les formations d'âge Oligocène à Burdigalien inférieur discordantes sur le socle. Il est formé par des conglomérats, suivi d'argiles à rares petits bancs microbréchiqes riches en débris de socle et se termine au sommet par des calcaires silicatisés.

3.3.1. Unité numidienne

C'est une série de type flysch, d'âge oligo--miocène caractérisée par la succession de trois termes de la série Numidienne (Gélar., 1979) sont :

- **Les argiles sous numidienne** : ce sont des argiles versicolores à fréquents tubotomaculum d'âge oligocène (J.P. Gélar., 1979).
- **Les grès numidiennes** : ces grès sont quartzeux avec des intercalations de granulométrie grossière et petites d'âge aquitanien, (J.P. Gélar., 1979)
- **Les argiles supra numidiennes** : ce sont des argiles et marnes avec des intercalations de silexites d'âge aquitanien supérieur-burdigalien inférieur.
- Le Numidien couvre de façon plus ou moins continues une grande partie de la grande Kabylie et affleure principalement dans les massifs d'Akfadou, à, à l'Est d'Azazga et dans la forêt de Mizrana, (J. P. Gélar., 1979).

3.3.2. Olistostrome (ou argiles à blocs)

Ils sont constitués d'argiles à blocs. Il s'agit d'une accumulation sédimentaire chaotique comportant des matériaux pétrographiquement homogènes (Benhassaine, 1980).

- Des plaquettes de microconglomérats calcaires n'excédant pas 10 cm d'épaisseur (Crétacé supérieur),
- Des bancs de calcaires fins à moins de 2 m d'épaisseur (Crétacé supérieur)
- Des bancs de grés pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur,
- Des éléments empruntés à l'unité tellienne de Dellys,
- Un ciment essentiellement pélitique.

Leur position structurale permet de distinguer deux unités :

- **Les Olistostrome I** remaniant des éléments du socle, de flyschs et de l'unité tellienne eux-mêmes recouverts par l'unité d'Afir.
- **Les olistostromes II** remaniant des éléments du socle, de flyschs et de l'unité tellienne, sont superposés sur l'unité tellienne de Dellys.
- **Les Olistostrome** affleurent largement à l'Est et au SW de Dellys, et de Baghlia ainsi que sur le flanc SW de la chaîne littorale (Raymond, 1976).

3.4. Les formations post-nappe

Des formations sédimentaires du Miocène supérieur-Quaternaire recouvrent en discordance les différentes unités précédentes et sont déposées postérieurement aux grands chevauchements des zones internes, des nappes de flysch et des nappes tellienne formant de grands bassins « post nappes » tels que le bassin de de la Tafna, de la Mitidja et les bassins de Constantine et de la Soummam. Au sein des bassins « post-nappes » littoraux, s'est mis en place un magmatisme d'âge miocène et quaternaire.

3.5. Les flysch

Les flysch se trouvent en contact anormal, que ce soit sur la dorsale ou l'Oligocène, ou dans une configuration semblable à celle des formations du tell méridional. Ils se distinguent en deux ensembles : la série maurétanienne et la série massyenne.

3.5. Les formations quaternaires

Ils sont représentés dans les terrasses alluviales par des alluvions anciennes, récentes et actuelles dont l'âge des deux derniers termes est indéterminé. Elles occupent la place la plus importante dans les formations géologiques de la basse vallée de l'oued Sébaou et ces affluents. Elles sont représentées par des dépôts alluvionnaires, constitués de niveaux de galets, graviers,

sables grossiers et fins, argiles et limons. Pour la basse plaine du Sébaou, deux niveaux stratigraphiques du Quaternaire récent peuvent être retenus, ce sont de bas en haut :

- Le Soltanien : il est constitué de sables, graviers, galets et argiles, et correspondant aux alluvions récentes et anciennes
- Le Rharbien qui est représenté par une accumulation de crues limono-argileuses, et qui correspond aux alluvions actuelles.

Dans la figure 11, on synthétise les terrains rencontrés dans la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin.

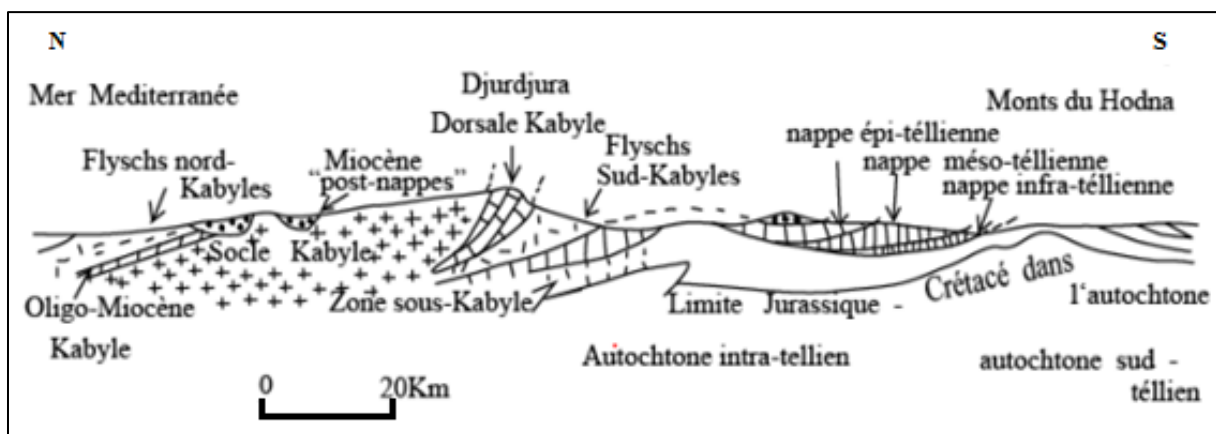


Figure 11 : Coupe synthétique et interprétative transversale de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin à hauteur du Sébaou (Durand Delga, 1969)

4. Tectonique

Le bassin versant de l'oued Sébaou est constitué par des formations d'âge paléozoïque à quaternaire affectées d'une tectonique souple et cassante.

4.1. Tectonique du socle

A un niveau de chaque massif du socle, la déformation miocène s'exprime par des réactions variables en fonction des caractéristiques mécaniques du matériel ancien (figure 12).

4.2. Tectonique du miocène « post-nappe »

Dans la région de Tizi Ouzou, les formations géologiques contribuent à la déformation du socle, cela se traduit par la formation de structures orientées dans la direction N70, avec des plans axiaux qui sont verticaux, sauf pour l'anticlinal de Draa kerouch qui est incliné vers le Sud.

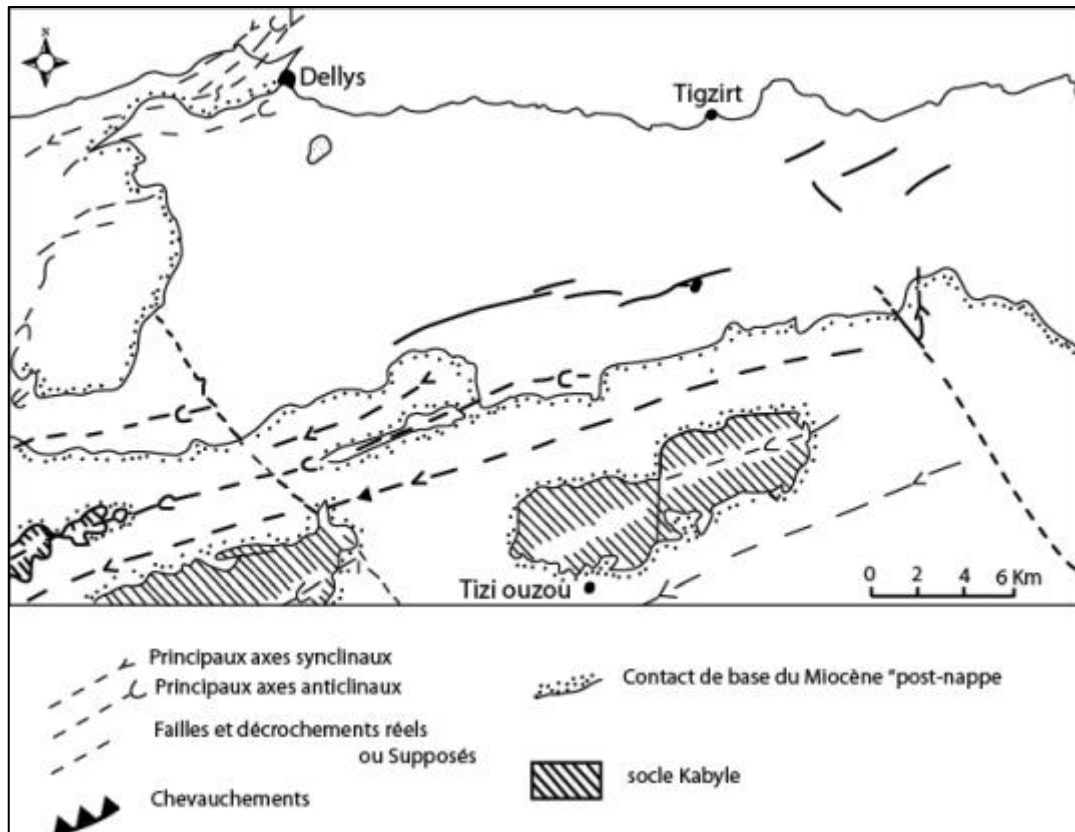


Figure 12 : Carte schématique simplifiée des principaux accidents tectoniques

(D. Raymond, 1976)

4.3. Fracturation

A partir de la carte des fracturations réalisée au niveau de l'oued Sébaou. On notera que les fracturations des terrains cristallophylliens sont mieux cernées que dans la chaîne calcaire par les travaux réalisés dans la région et que dans les terrains compétents (schistes du socle, l'unité tellienne, les flysch et le Néogène post-nappes), les accidents tectoniques sont moins soulignés. Il se dégage de la synthèse de ces travaux des zones très faiblement (ou pas) fracturées et d'autres à fracturation très intense.

4.4. Plissements

Des plissements, des plis couchés, des plis en genou et des plis d'écoulement (fourreau) apparaissent dans les schistes satinés ainsi que dans les marbres et les gneiss à structure ouillée) (Gani, 1988 et Loumi, 1989).

4.5. La structure de la chaîne calcaire

La Djurdjura est une structure géologique composée d'écaillés orientées selon la direction N70. Ces écaillés forment des plis anticlinaux orientés Est-ouest avec des plans axiaux

redressées et inclinées vers le Sud. Elles sont principalement constituées de calcaire du Lias inférieur, qui sont fissurées, fracturées et fortement karstifiées (figure 13).

Des accidents transversaux délimitent et découpent longitudinale la dorsale (interne, médiane, externe). Latéralement les directions N140 individualisent des ensembles tectoniques.

Le relief de Djurdjura est élevé et décomprimé, et il s'aplanit progressivement vers l'Ouest sous la couverture mollassique de l'Eocène et de l'Oligocène. Cette diminution de la pression favorise l'apparition d'accidents longitudinaux dans cette direction.

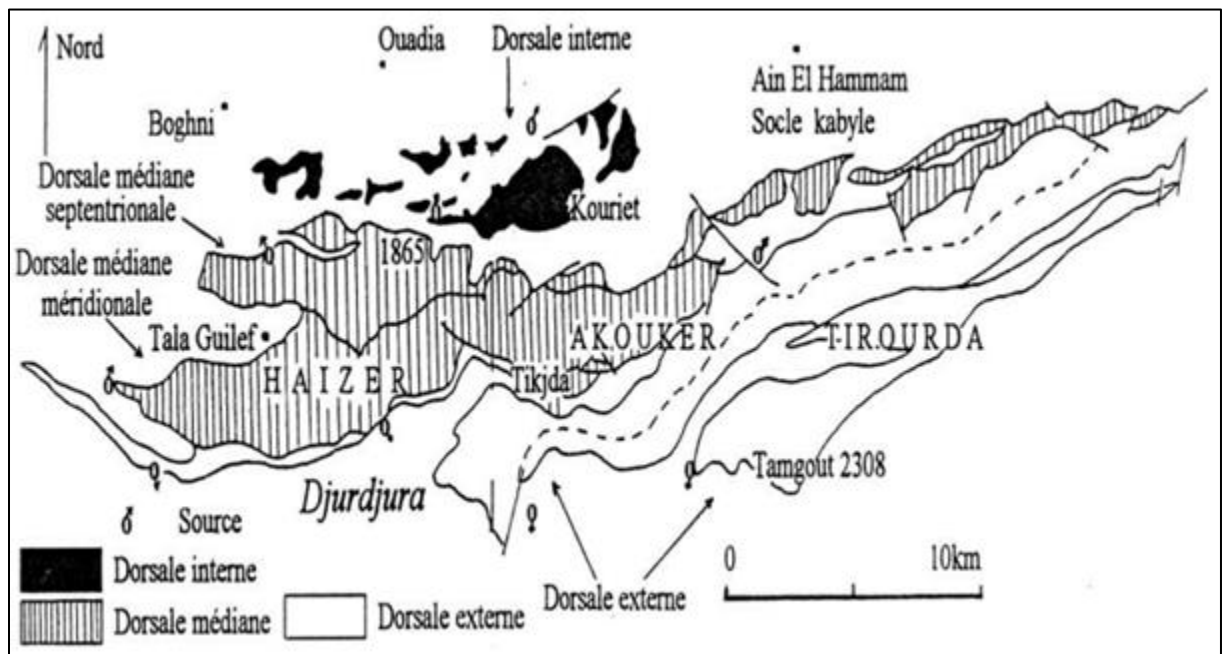


Figure 13 : Carte schématique de la dorsale de la chaîne calcaire de Djurdjura (J.P. Gélard, 1976) et vue des écailles redressées

5. Aperçu hydrogéologique

5.1. Les formations aquifères

Ce sont principalement composées de dépôts détritiques contenant des horizons argileux discontinus. Ces dépôts quaternaires remplissent un synclinal formé au cœur du Miocène. On y retrouve un mélange hétérogène de sables, de galets, de graviers et de limons.

- Les seules formations géologiques considérées comme des aquifères économiquement rentables sont : la nappe alluviale du Sébaou et les zones de confluence avec ses principaux affluents Bougdoura, oued Aissi.
- La dorsale calcaire de Djurdjura, favorable par sa nature géologique à une circulation d'eau souterraine comme en témoignent les nombreuses sources qui resurgissent en certains endroits.

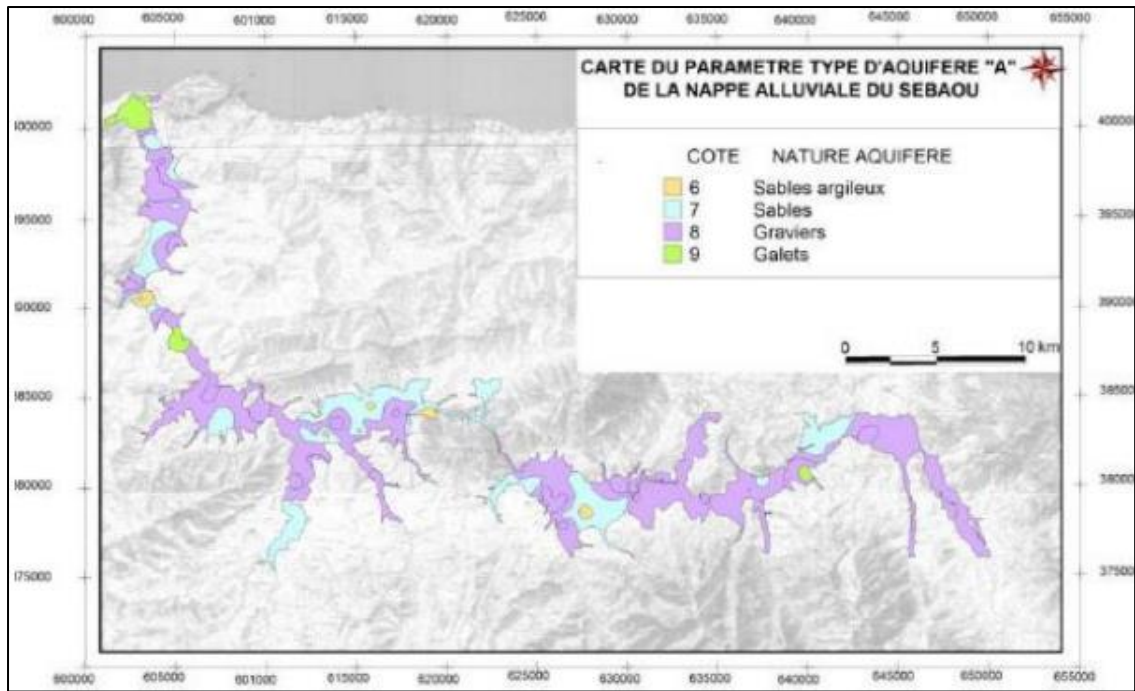


Figure 14 : Carte thématique de la variation spatiale du type de l'aquifère de la nappe alluviale du Sébaou (I. Chikhi,2016)

Les rares prospections spéléologiques effectuées révèlent la présence d'un réseau karstique assez bien développé.

Le reste de la région est occupé essentiellement par des terrains cristallophylliens, des flysch et une présence suffisamment remarquable des grès dans sa partie nord-est. Dans ces conditions, l'intérêt hydrogéologique ne peut se manifester que par l'apparition de sources. (Service géologique de l'Algérie,2004) L'existence et la répartition spatiale des alluvions, en section longitudinale et transversale sont déterminées par les études géophysiques (C.G.G.1964). Cette répartition est présentée dans le tableau 2.

- Le haut Sébaou : dans cette zone, la nappe est libre.
- Le moyen Sébaou : les coupes géo-électriques et hydrogéologiques montrent l'existence d'horizons argileux discontinus incorporés dans la masse détritique résistante.
- Le bas Sébaou : les coupes géo électriques et hydrogéologiques montrent l'existence de deux couches perméables de résistivités variant de 130 à 150 $\Omega \cdot m$, séparés par un niveau conducteur de résistivité variant de 10 à 20 $\Omega \cdot m$.

Dans cette zone la nappe est captive a semi captive (ANRH Blida, 2010)

Tableau 2 : Répartition spatiale des alluvions du Sébaou (ANRH Blida, 2010)

Sous bassin versant	Longueur	Largeur	Direction	Epaisseur des alluvions
Haut Sébaou	La nappe s'étale sur une longueur de 50 km	De 0,8 à 3 km	De l'amont vers l'aval	<ul style="list-style-type: none"> • De moyenne égale à 10 m • Varie de 8 m dans la partie amont et 15 m dans la partie avale.
Moyen Sébaou	La nappe s'étend sur 13 km de long	3 km	De l'amont vers l'aval.	De l'ordre de 30 m
Bas Sébaou		La largeur de la nappe dépasse par endroit 2000 m	De l'amont vers l'aval	La puissance de remplissage est égale en moyenne à 40 m

5.2. Les alluvions du Sébaou

Les dépôts alluviaux quaternaires de la plaine du bassin du Sébaou représentent le principal réservoir d'eau de la zone.

Les infrastructures hydrauliques implantées dans cette région assurent en grande partie l'approvisionnement en eau potable. La couverture quaternaire a été étudiée en détail, pour identifier la structure de remplissage alluviale et ses caractéristiques géométriques.

5.2.1. Caractéristiques hydrodynamiques

5.2.1.1. Etude hydrodynamique

La vallée de l'oued Sébaou est une dépression remplie de sédiments qui forment une série de terrasses.

Dans le haut Sébaou : ces terrasses sont stratifiées, ce qui effectue la recharge de la nappe alluviale, car certaines terrasses peuvent contenir des nappes souterraines distinctes et bien définies.

Ces terrasses ne sont pas directement alimentées par les eaux de l'oued Sébaou mais par l'infiltration des précipitations. Elles ne sont pas des aquifères de grande qualité en raison de leur faible extension des alluvions et la mauvaise perméabilité des terrains.

Dans le bas Sébaou : les terrasses sont interconnectées, ce qui crée des relations hydrauliques entre elles et favorise l'alimentation latérale de la nappe.

Les marnes imperméables où l'argiles de l'Oligocène au Pliocène du substratum forment les bords et le lit mineur du bassin. Cette disposition a un impact sur la recharge de la nappe d'eau souterraine.

Les principales réserves en eaux souterraines se situent dans les régions du bas et moyen Sébaou. Dans la zone de Draa Ben Khedda, on observe la présence de deux nappes aquifères qui sont en relation hydraulique, mais qui sont séparées par une couche argileuse à Tadmaït et Baghlia.

L'alimentation s'effectue essentiellement par les eaux superficielles de l'oued Sébaou, dans les secteurs à relation hydraulique.

5.2.1.2. Caractéristiques hydrodynamiques

Les caractéristiques hydrodynamiques la transmissivité (T), le coefficient d'emmagasinement (S) et la perméabilité (K) nous permettent d'établir un bilan hydrogéologique et d'estimer les réserves en eaux souterraines des différentes formations alluviales du Sébaou.

➤ La perméabilité (K)

La perméabilité « K » d'un milieu aquifère mesure sa capacité à se laisser traverser par l'eau, en fonction de la vitesse à laquelle l'eau peut s'écouler à travers ce milieu. Dans le cas de la vallée de l'oued Sébaou, la perméabilité varie entre $(3,2 \cdot 10^{-2})$ et $(3,3 \cdot 10^{-2})$ m/s en 2004. Cette perméabilité est influencée par la transmissivité (capacité du sol à transmettre l'eau) et l'épaisseur de l'aquifère. La perméabilité peut être déterminée en divisant la transmissivité par l'épaisseur de l'aquifère.

➤ Le coefficient d'emmagasinement (S)

Le coefficient d'emmagasinement « S » représente la capacité du réservoir à stocker de l'eau sous une charge hydraulique donnée.

Dans les zones du haut et moyen Sébaou, où la nappe est libre, le coefficient d'emmagasinement peut être assimilé à la porosité efficace, avec des valeurs comprises entre 0,1 et 0,8. Cependant, en raison de la nature des matériaux, il est possible que ces valeurs soient sous-estimées.

Nous retenons un coefficient d’emménagement moyen de 0,2 ce qui correspond à une porosité efficace de 20 %.

Dans le bas Sébaou où la nappe est captive, les valeurs de S sont les plus faibles et ne peuvent pas être assimilées à la porosité efficace.

Il est important de noter que la surexploitation de cet aquifère peut entraîner la disparition de la charge hydraulique, ce qui conduit à un comportement similaire à celui d’une nappe libre.

➤ **La recharge de la nappe**

La recharge peut se faire par :

- a) Infiltration efficace des précipitations, notamment dans les secteurs où la nappe est libre comme le haut Sébaou.
- b) De la chaîne de Djurdjura située plus au Sud.

Ces apports se font par les écoulements latéraux et les drains naturels formés par les accidents géologiques, qui peuvent être importants s’ils ne sont pas colmatés.

➤ **La Transmissivité (T)**

Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité par l’épaisseur de l’horizon aquifère et s’exprime en m^2/s .

Dans le tableau 3, nous avons présenté les caractéristiques hydrodynamique (T, S et débit spécifique) des aquifères de Sébaou.

Tableau 3 : Valeurs d’emmagements de la vallée du Sébaou en 2004

Point d’eau (piézomètre)	T (m^2/s)	S	Débit spécifique Q.s. (L/s/m)
F1R-VAS	$9,15.10^{-2}$	0,4	6,30
BA5	$10,76.10^2$	0,1	32
TM1	$1,9.10^{-1}$	2,8	47

6. Conclusion

Le bassin versant de Sébaou est constitué de formations géologiques allant du paléozoïque au quaternaire, qui ont subi des processus de déformation souples et cassants, caractéristiques de l’orogénèse alpine dans la région.

Sur le plan hydrogéologique, l'oued est caractérisé par des formations géologiques calcaires et alluvionnaires, qui permettent la recharge des aquifères et la circulation de l'eau.

Les formations alluvionnaires du quaternaire et les formations jurassiques et crétacés de Djurdjura (la chaîne calcaire) constituent de bons réservoirs.

Chapitre 3

Hydroclimatologie

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE

1. Introduction

Les conditions climatiques dans la région du Sébaou sont de type méditerranéen avec des précipitations importantes à caractère torrentiel et des gradients de température relativement marquées. L'objectif de cette étude est d'analyser les principaux paramètres climatiques ayant une influence directe ou indirecte sur les eaux souterraines dans notre zone d'étude.

2. Réseau hydrographique du Sébaou

Le bassin présente un réseau hydrographique développé en forme de patte d'oie, avec de nombreux méandres ramifiés. Le réseau hydrographique est hiérarchisé et comprend des talwegs de quatrième ordre (selon la classification d'Horton). Cela signifie que le drainage dans cette région est très dense et s'effectue par une multitude d'oueds plus ou moins longs, dont les principaux sont :

- **Sur la rive droite** : l'oued dis est le torrent qui a le plus fort débit, il provient de la chaîne littorale, s'étend sur une quinzaine de kilomètres et prend sa source au djebel Tamgout qui culmine à 1278 m et se jette dans l'oued Sébaou juste après le premier coude majeur de celui-ci au niveau de Fréha.
- **Sur la rive gauche** : l'oued Bougdoura et l'oued Aissi sont les deux principaux affluents de l'oued Sébaou, qui prennent leur source dans la chaîne du Djurdjura au Sud du bassin versant, à des altitudes respectives de 1900 et 2000 m. La confluence de ces affluents qui s'écoulent de part et d'autre de la montagne, forme l'oued Sébaou qui traverse une plaine étroite mais très allongée sur une longueur de 110 km. Depuis sa naissance à l'Est (Djurdjura) jusqu'à son embouchure à la mer méditerranée, l'oued Sébaou s'allonge sous trois directions (figure 15) :
 - Dans la partie amont : l'oued suit une direction SSE- NNW jusqu'à un coude majeur, situé entre Azazga et Fréha.
 - Dans la partie médiane : l'oued prend une direction E-W dans le bassin miocène de Tizi-Ouzou.
 - Dans la partie avale : l'écoulement de l'oued Sébaou s'allonge à nouveau selon une direction SSE-NNW.

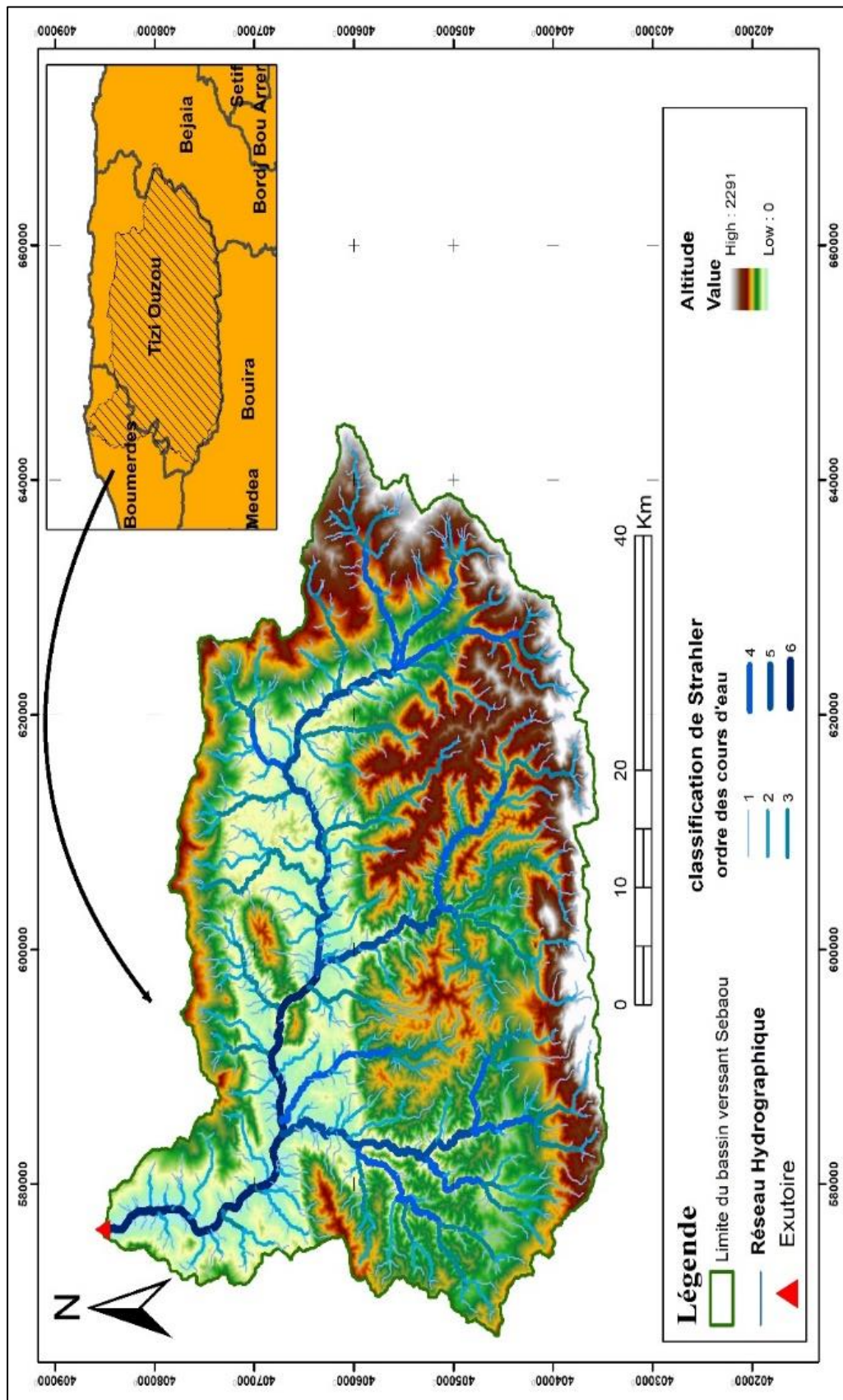


Figure 15 : Réseau hydrographique de l'oued Sébaou

3. Stations hydroclimatiques du bassin

Le bassin du Sébaou est doté d'un réseau pluviométrique dense composé de (26) stations, bien que certaines données anciennes puissent parfois manquer. Les caractéristiques de ces stations sont récapitulées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH)

Station	Code	X Lambert (km)	Y Lambert (km)	Z (m)
Baghlia	022002	603,65	390	30
Ouled Aïssa	022005	599,2	389,33	410
Draa el Mizan	021902	600,95	359,2	530
Boghni	021309	612,55	361,15	250
Bouassem	021801	620	371,5	600
Draa Ben khedda	021804	615,2	382,45	90
Makouda	021805	622,65	390,15	520
Benni yeni	021712	635	365,25	760
L.N.I	021705	634,5	370,8	980
Aghrib	021601	645,1	391,25	680
Freha	021603	641,9	383,5	140
Djemaa Saharidj	021503	641,7	377,75	370
Ait Aicha	021509	661,8	373,9	1000

La figure 16 présente la répartition spatiale des stations hydroclimatiques du bassin versant de Sébaou.

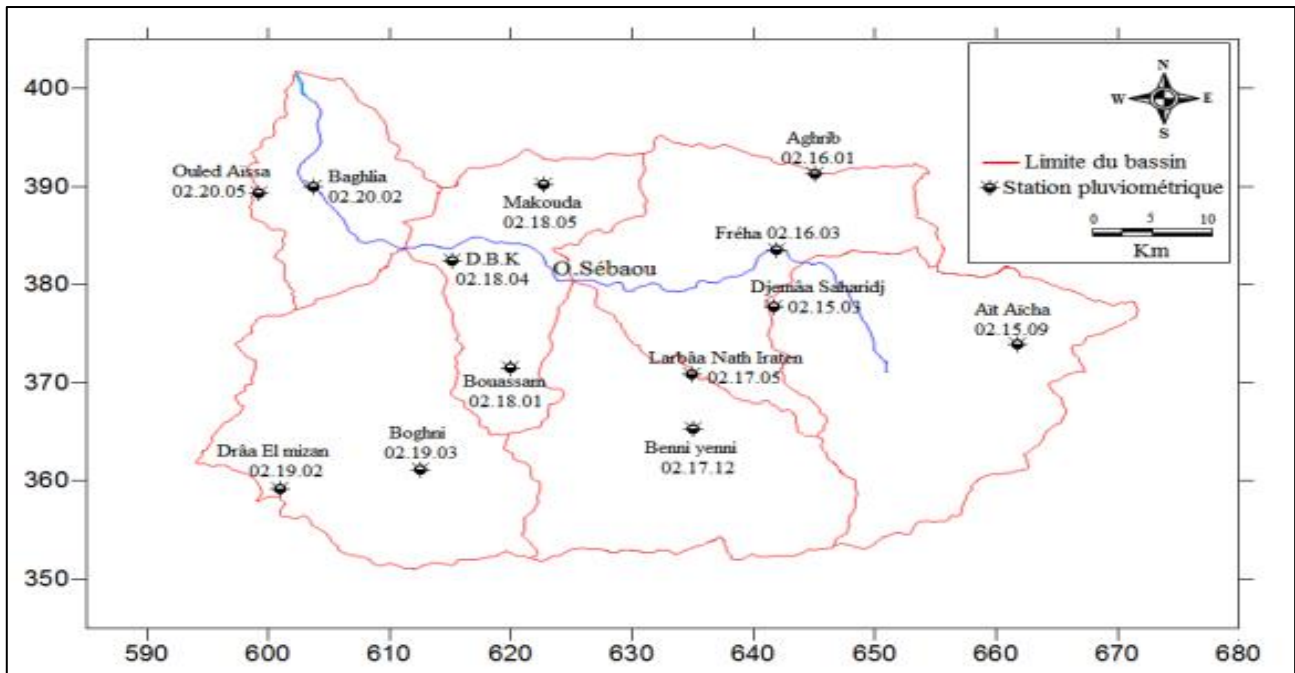


Figure 16 : Stations pluviométriques du bassin versant de Sébaou (I. Bendahmane, 2010)

4. Climatologie

4.1. La pluviométrie

La pluviométrie moyenne annuelle de la région est d'environ 900 mm. Les pluies sont mal réparties dans l'année, les mois de mai à septembre reçoivent 15 % seulement des volumes annuels moyens.

Il se caractérise par deux saisons distinctes : une saison sèche de juin à septembre et une période humide d'octobre à avril.

Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisi 07 stations pluviométriques bien réparties sur la surface du bassin versant, couvrant une période de 29 ans (1980-2008).

4.2. La température

La variation dans la température dans la vallée du Sébaou sont relativement faibles, avec une moyenne de 16,5 °C. Cependant cette moyenne peut varier en fonction de l'altitude, de la saison et des conditions météorologiques locales.

- Les températures les plus élevées sont enregistrées en Août et les plus basses en janvier en hauteur des villes d'Ain El Hammam et de l'Arbaa Nath Iraten. Par ailleurs, les zones côtières comme Dellys et Cap Benguet sont influencé par la mer, ce qui les amène à avoir des températures les plus douces, variant entre 11 °C et 15° C en hiver et entre 21°C et 25 °C en été.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs mensuelles maximales, minimales et moyennes des températures pour la région de Tizi Ouzou (ANRH, 2002).

Tableau 5 : Température mensuelles maximales, minimales et moyennes Tizi Ouzou (ANRH, 2002)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
T min	13,5	9,8	4,3	2,7	1,9	9,2	2,7	4,1	8,2	12,9	16	18	/
T max	38,3	34	27	21,7	20	22,3	26,1	28,1	34	38,6	42	43	/
T moy.	24	19	15	11,3	10,1	10,9	13	14,9	19,6	23,8	27	28	18

Les mois les plus chauds (juillet et août) affichent des températures moyennes maximales de 27 à 28 °C, tandis que les mois les plus froids, décembre et janvier, enregistrent des températures minimales respectives de 2,7 et 1,9 °C (figure 17).

Plus haut sur les versants du massif de Djurdjura, la température y est basse et l'hiver dure quelques mois.

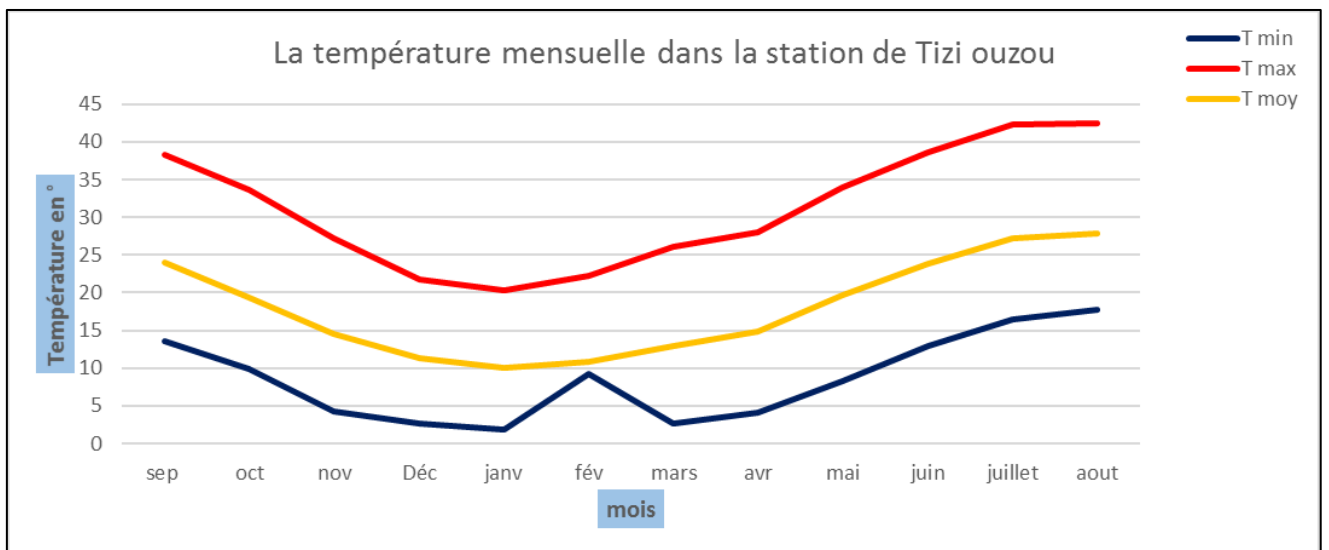


Figure 17 : Températures mensuelles de la station de Tizi Ouzou (ANRH, 2002)

4.3. L'humidité

La grande Kabylie, l'une des régions les plus humides d'Algérie, a été confirmé avec les résultats des observations menées sur pendant plusieurs années dans 37 stations (tableau 6) pluviométriques.

En été : l'humidité de l'air varie entre 40 % et 50 % dans la région tandis qu'elle atteint 75 % à 80 % en hiver.

L'humidité de Sébaou varie en fonction des saisons :

- *Pendant la saison sèche (mai à septembre) : l'humidité le long de l'oued peut être plus faible en raison de la faible évaporation de l'eau et les températures élevées.*
- *Pendant la saison des pluies (novembre à mars) : l'humidité peut être plus élevée en raison des précipitations abondantes.*

4.4. Humidité relative

L'humidité relative est à l'origine de toutes les précipitations. En outre, elle régit l'évaporation de l'eau sur la végétation, le sol et les nappes d'eau.

La répartition moyenne mensuelle de l'humidité relative, mesurée avec un psychromètre sur la période 1989-1999, est donnée dans le tableau.

Tableau 6 : Humidité relative mensuelles en %, station de tizi Ouzou (ANRH, 2002)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Annuel
Min	55,4	50,4	44,2	42,1	41,8	33,8	27,4	28,3	33,9	41,7	51,8	58,5	/
Max	92,6	93,5	90,9	90,5	89	83	77,2	80,3	82,9	88,4	91,9	93,2	/
Moy	77,9	76,7	71,5	69,6	67,7	59,7	51,9	53,9	60,7	69,3	76,3	79,1	67,8

L'humidité moyenne mensuelle dépasse les 50 % tout au long de l'année, avec des variations allant de 79,1 % en décembre à 51,9 % en juillet.

4.5. Vent

Le climat dans le bassin versant de l'oued Sébaou est caractérisé par un vent modéré, principalement influencé par la topographie de la région. Le vent joue un rôle important dans la formation du relief, l'évapotranspiration et le développement de la végétation. Il contribue également à la dispersion des grains.

A la station de Tizi-Ouzou, seule la vitesse (m/s) est enregistrée sur la période de 1989-1999 (tableau 7).

Tableau 7 : Vitesses moyennes mensuelle des vents en m/s (ANRH, 2000)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
V(m/s)	1,3	1,4	1,6	1,6	1,8	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,6

Le graphique de la figure 18 montre une vitesse relativement faible et homogène durant toute l'année. La moyenne annuelle est de 1,6 m/s.

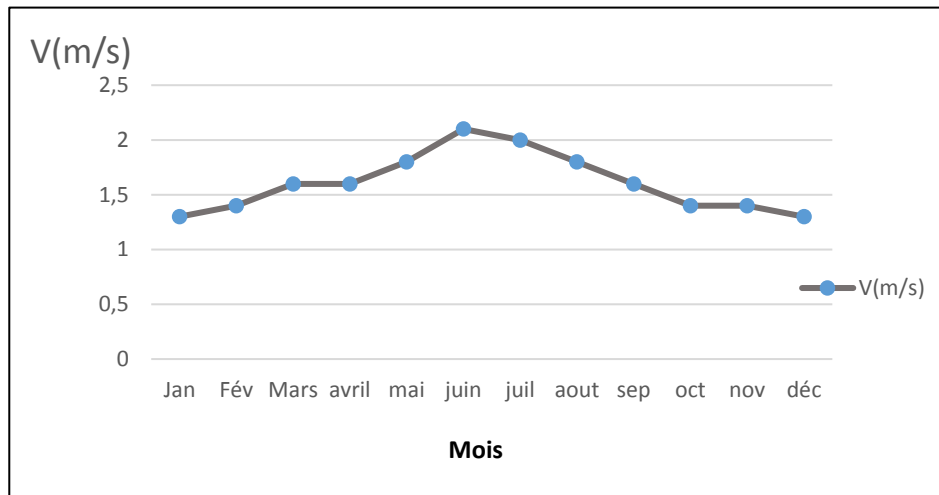


Figure 18 : Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Tizi Ouzou (1998-1999)

4.6. Evaporation

L'évaporation est l'une des caractéristiques climatiques la plus importante dans le cycle hydrologique. Ce phénomène permet l'alimentation en vapeur d'eau de l'atmosphère par les cours d'eau, des lacs ainsi que les végétaux (évapotranspiration) provoqué par le déficit d'humidité dans l'air ambiant.

Des mesures d'évaporations « E » (en mm) sont effectuées régulièrement à la station météorologique de Tizi Ouzou pour la période 1989 à 1999 (tableau 8).

Tableau 8 : Evaporation mensuelle moyenne (ANRH, 2002)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
E	41,5	52,9	65,5	71,5	92,9	133	189	184	128	86,2	55,7	43,9	1144,1
E %	3,63	4,62	5,72	6,25	8,12	11,6	16,5	16,1	11,2	7,53	4,87	3,84	00

Le tableau 8 montre l'intensité de l'évaporation marquée par des moyennes mensuelles supérieures à 100 mm durant les mois d'été soit de juin à septembre. Le maximum est atteint en Juillet et Août, respectivement 184 mm et 189mm.

L'évaporation est relativement faible en hiver dont le minimum est de 41,5 mm, relevé en janvier.

5. Conclusion

Le bassin du Sébaou présente un réseau hydrographique bien développé avec de nombreux méandres ramifiés.

La pluviométrie moyenne annuelle de la région est d'environ 900 mm et la température moyenne est de l'ordre 16,5 °C. En effet, les faibles mesures de la température sont enregistrées en mois de janvier tandis que celle les plus élevées sont observés en été.

L'humidité moyenne mensuelle dépasse 50 % et présente une variant significative entre l'hiver et l'été dont les observations relèvent des valeurs qui s'échelonnent entre 79,1 % (décembre) et 51,9 % (juillet.).

Quant aux vents, la vitesse moyenne est de 1,6 m/s. les série de mesures ont montré une vitesse relativement faible et homogène durant toute l'année.

Chapitre 4

Evolution des précipitations et son impact sur les eaux souterraines

CHAPITRE 4 : EVOLUTION DES PRECIPITATIONS ET SON EVOLUTION SUR LES EAUX SOUTERRAINES

1. Introduction

L'intérêt de ce chapitre est de réaliser une étude hydro-pluviométrique dans le but de mettre en évidence les caractéristiques de l'évolution des conditions hydroclimatiques en général et les précipitations en particulier en analysant les données mises à notre disposition par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).

2. Analyses des précipitations

Les précipitations constituent la source d'alimentation des nappes, ce qui rend leur étude très importante pour estimer le stock dans le réservoir.

2.1. Pluviométrie moyenne annuelle

Les données de ces stations couvrent des tranches variables sur la période 1980-2008. Une étape de comblement était nécessaire afin de restituer les mesures manquantes. Les séries pluviométriques comblées sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 9 : Précipitations annuelles du Sébaou (1980-2008)

Année	Beni yenni	Azazga	LNI	DEM	Dbk	Baghlia	Nezlioua
1980	1037	818,3	1077,2	751,2	751,8	763,5	736,1
1981	914,3	939,6	849,1	672,6*	675,6	597,2	632,9
1982	777,1	894,9	863,4	657,3*	780,1	688,9	698,2
1983	892,6	865,5	881,8	683,8	616*	550,3	693,2
1984	1050,1	924,1	1153	964,6	842,7	809,1	1064,3
1985	868,5	1236,1	894,8	667,9	629,1	750,1	714,8
1986	1030	930,7	988,2	860,4*	799,3	769,1	928,2
1987	691,2	1106	638,9	538,1	541,7	596,3	570
1988	760,7	676,3	641,6	667,3*	637,9	658,6	661,2
1989	521,5	819,2	607,8	494,9	421,2	523,8	454,4
1990	841,8	569	831,2	628,9*	636,8	725,1	715,3
1991	725,6	890	821,4	699,2	684,7	766,4	734,3
1992	710,8	828,2	786,8	628,4	581,8	669,6	632,1
1993	618,9	867,7	667,7	506,9	497,8	516	545,6
1994	922,5	679	899,9	697,8	787,3	734,7	783,8
1995	883,3	1001	1100,9	630,6	796,4	767,1	721,2
1996	505,5	1098,1	664,3	395,1	432,4	499,6	423,6
1997	1192,3	591,8	1287,3	860,8	1057,2	1031,2	1063,3
1998	768,4	1317,9	858,5	590,9	637,6	737,7	675
1999	624,2	855,3	605,8	412,9	520,7	567,7	416,4
2000	785,3	780,6	706	592,3	610,8	620,1	765,8
2001	449,6	826,6	522,7	415,7	356,1	456,9	389,6
2002	1417,2	521	1399,2	1008,7	1068,9	1099,8	1106,2

2003	903,6	1535	717,9	681,9	803,6	845,8	760,7
2004	855,6	999,6	983	656,3	660,0*	716,6	787
2005	754,2	1000,5	824,2	687	644,5	729,1	680,8
2006	698,2	896,9	765,7	766,6	813,1	882,7	893,6
2007	955	1028,7	844,7	725,9	800	870,9	830,1
2008	1197,9	1348,2	753,2	835,2	966,9	933,2	944
Moyenne	840,4	936,3	849,87	673,3*	695,7*	723,9	727

LNI : Larbaa Nath Irathen ; DEM : Draa El Mizan ; DBK : Draa Ben Khadda

;(*): valeur comblée

L'analyse de l'évolution des précipitations moyennes annuelles sur la période 1980-2008 montre des valeurs qui varient entre 673,3 mm enregistrée à Draa el mizan et 963,3 mm mesurée à Azazza (figure 19).

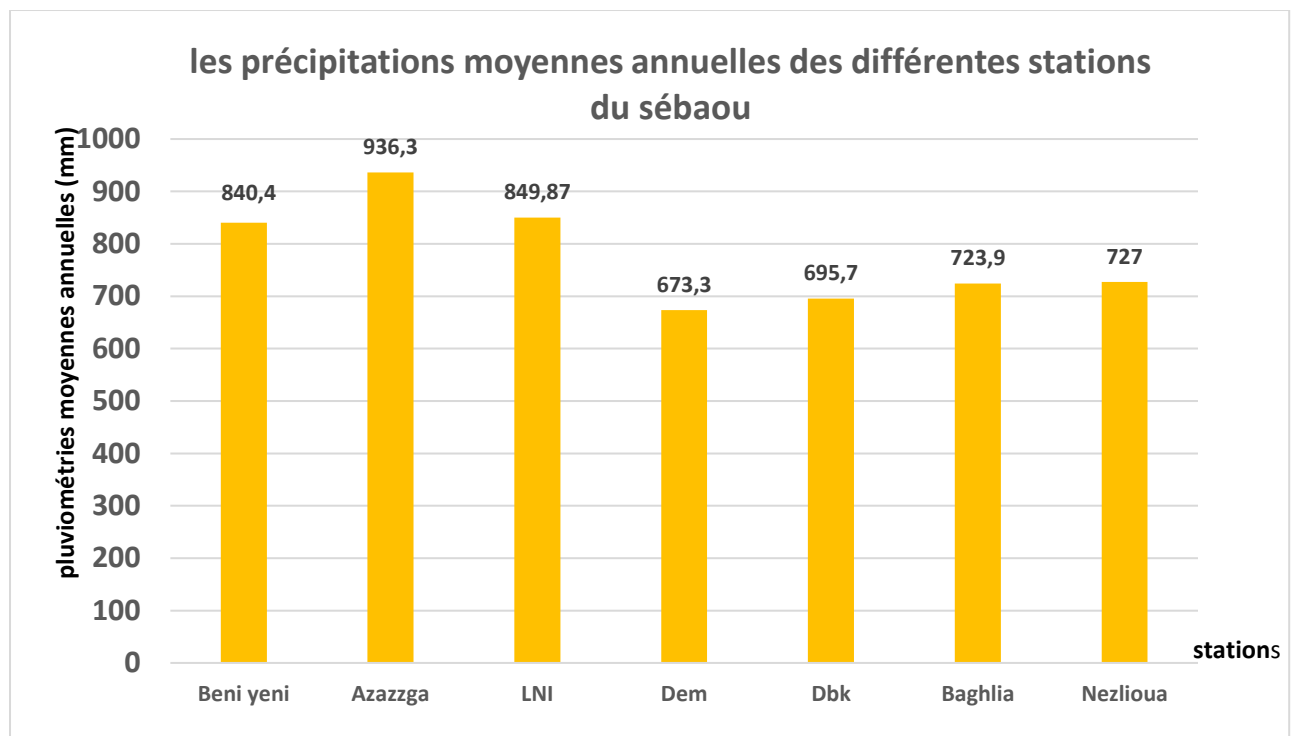


Figure 19 : Evolution des précipitations moyennes annuelles dans le Sébaou (1980-2008)

2.2. Le régime pluviométrique interannuelle

L'analyse de l'évolution interannuelles des précipitations révèle une période de faible pluviosité située entre 1987 et 2001 dans la majorité des stations adoptées. A partir de 2002, on constate une tendance haussière dans le Sébaou (figure 20).

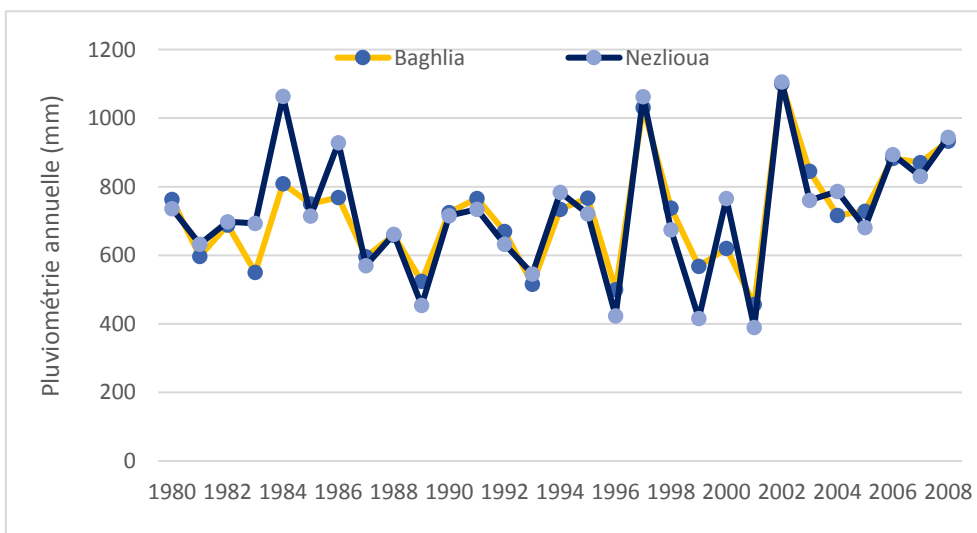
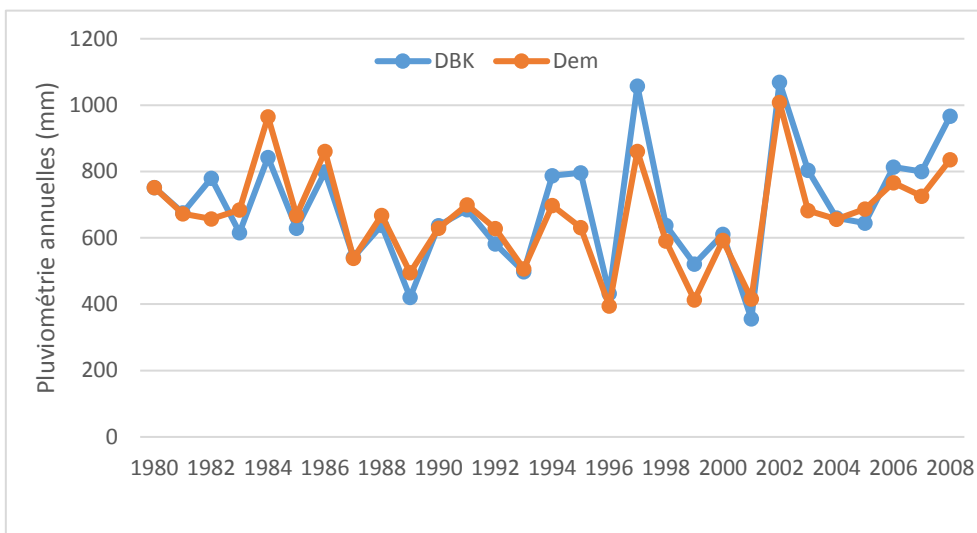
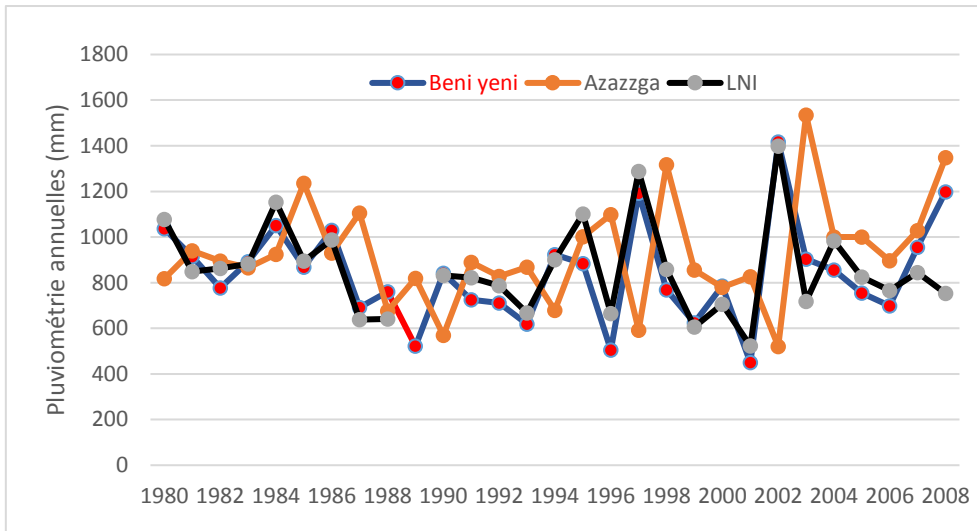


Figure 20 : Evolution interannuelle des précipitations annuelles dans le bassin de Sébaou (1980-2008)

3. Détection des ruptures des séries pluviométriques

La mise en évidence d'une période de faible précipitation situé entre deux périodes de précipitation normale à l'échelle annuelle, nous a conduit à tenter de déterminer le début et la fin de période avec une approche statistique. Pour cela, on s'est appuyé sur une étude des tendances linéaire des précipitations annuelles et sur des tests statistiques qui permettent de déceler d'éventuelle rupture significative dans le régime des précipitations annuelles dans le bassin du Sébaou. Les tests statistiques sont réalisés sous Xlstat (open sources)

3.1. Tendance linéaire

La tendance linéaire est utilisée pour mettre en évidence les variations constantes et régulières dans un ensemble de données.

Cette approche consiste à tracer la droite de la régression linéaire des précipitations annuelles afin de mettre en évidence une tendance de croissance ou de décroissance sur une période d'observation (1980-2008). Les résultats sont montrés dans la figure 21 a et b.



Figure 21 a : Tendence des précipitations annuelles dans le Sébaou (1980-2008)

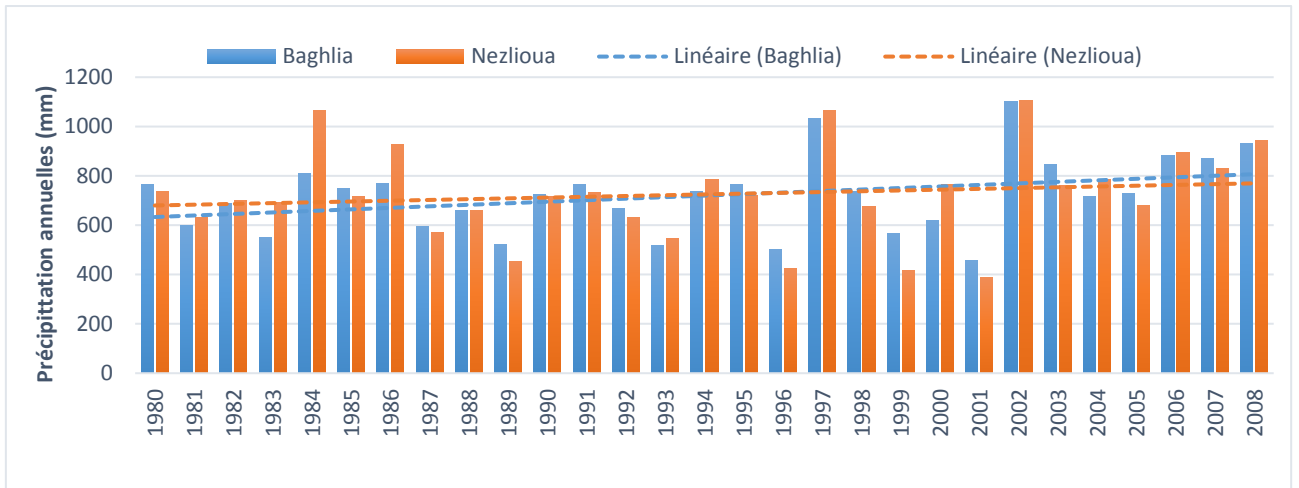


Figure 21 b : Tendances des précipitations dans le bassin du Sébaou (1980-2008)

L'observation des graphiques permet de constater une variation des précipitations annuelles avec une tendance à la hausse dans toutes les stations à l'exception de la station d'Azazga où on enregistre une légère baisse des précipitations sur la période 1980-2008. Par ailleurs, l'observation des histogrammes révèle une période sèche durant les années 80 et 90.

Sur la période 2000-2008, l'augmentation de la pluviométrie constatée peut être due à des phénomènes météorologique extrêmes caractérisés par une pluie intense.

3.2. Rupture des séries pluviométriques

L'analyse statistique de séries chronologiques de données hydrométéorologiques est l'un des outils d'identification de variations climatiques. Cette analyse consiste le plus souvent à la mise en œuvre et à l'interprétation de tests statistiques d'homogénéité des séries.

3.2.1. Test de Pettitt (1979)

Le test de Pettitt a été utilisé pour mettre en évidence les éventuelles ruptures au sein des séries chronologiques des précipitations. Il s'agit d'un test non paramétrique (qui nécessite peu d'hypothèses) qui permet d'identifier le temps auquel se produit un changement. Sa mise en œuvre suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques $(X_i)_{i=1}$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population (Pettitt, 1979). La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Avec $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ et sachant que :

$$\begin{aligned} \text{sgn}(X) &= 1 \text{ si } X > 0 ; \\ \text{sgn}(X) &= 0 \text{ si } X = 0 ; \\ \text{sgn}(X) &= -1 \text{ si } X < 0 \end{aligned}$$

3.2.1.1. Description statistique

Le test de Pettitt est appliqué sur 7 chroniques pluviométriques. Leurs caractéristiques statistiques descriptives sont présentées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Statistiques descriptives séries pluviométriques (1980-2008)

Variable	Observations (Obs.)	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Min	Max	Moy	Ecart-type
Beni yenni	29	0	29	449,6	1417,20	839,755	215,362
Azazga	29	0	29	521,0	1535,0	925,717	230,955
LNI	29	0	29	522,7	1399,2	849,524	205,585
DEM	29	0	29	395,1	1008,7	668,248	148,960
DBK	29	0	29	356,1	1068,9	691,448	173,155
Baghlia	29	0	29	456,9	1099,8	719,900	154,379
Nezlioua	29	0	29	389,6	1106,2	724,886	186,091

Dans l'application du test de Pettitt, on a calculé la p-value pour un intervalle de confiance de 95 %. L'interprétation du résultat de ce test est basée sur deux hypothèses :

H0 : Les données sont homogènes

Ha : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

Si la p-value calculé est supérieure au seuil de confiance 0,05, l'hypothèse nulle H0 sear retenue et inversement.

3.2.1.2. Résultats du test de Pettitt

➤ Station de Beni Yenni

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au seuil de signification $\alpha = 0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0 (tableau 11). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 22).

Tableau 11 : Résultats du test de Pettitt, station de Beni Yenni

T	1986
p-value (bilatérale)	0,568
Alpha	0,05

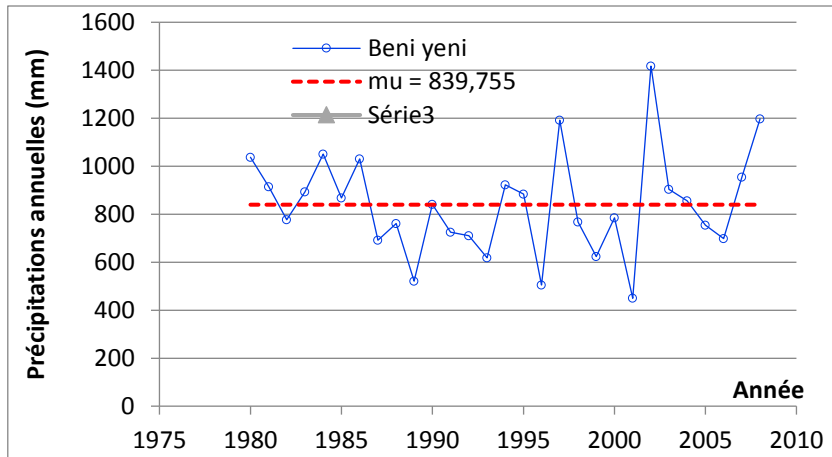


Figure 22 : Résultat du test de Pettitt, station de Beni Yenni

➤ **Station d’Azazga**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au seuil de signification $\alpha = 0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 12). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 23).

Tableau 12 : Résultats du test de Pettitt, station d’Azazga

T	2002
p-value (bilatérale)	0,291
Alpha	0,05

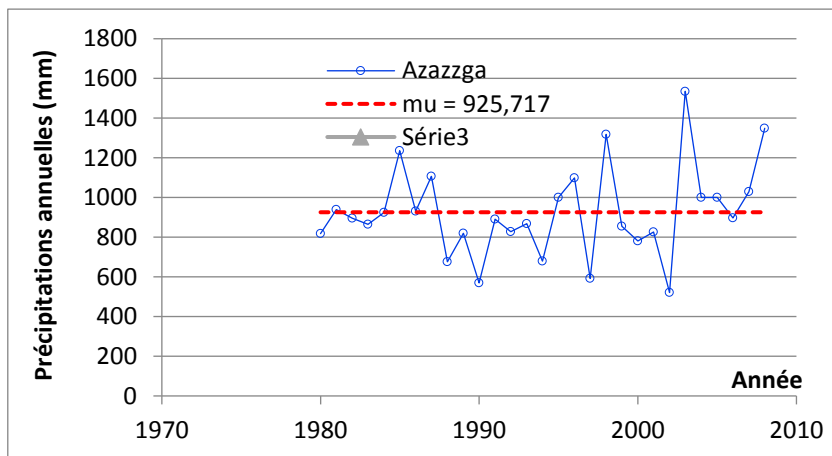


Figure 23 : Résultat du test de Pettitt, station d’Azazga

➤ **Station LNI**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 13). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 24).

Tableau 13 : Résultats du test de Pettitt, station LNI

T	1986
p-value (bilatérale)	0,250
Alpha	0,05

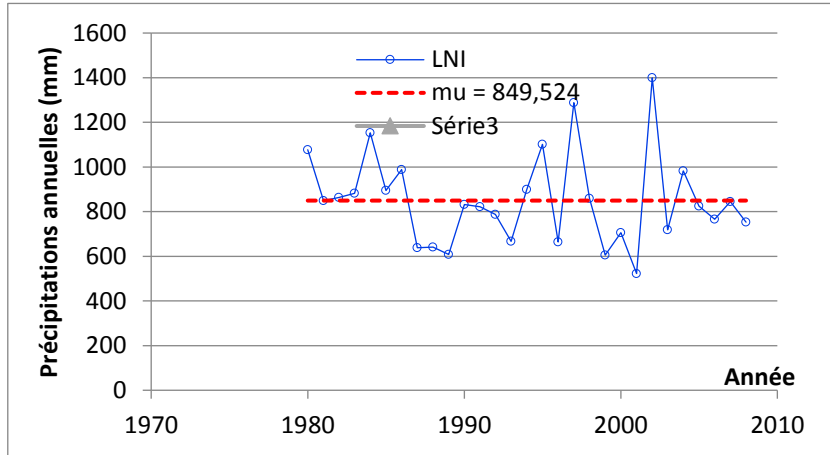


Figure 24 : Résultat du test de Pettitt, station de LNI

➤ **Station de Draa El Mizan**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 14). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 25).

Tableau 14 : Résultats du test de Pettitt, station de Draa El Mizan

T	2001
p-value (bilatérale)	0,424
Alpha	0,05

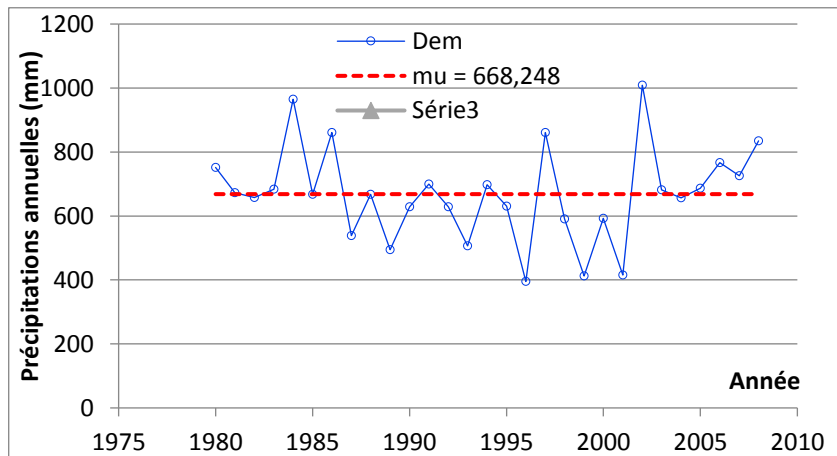


Figure 25 : résultat du test de Pettitt, station de Draa El Mizan

➤ **Station de DBK**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 15). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 26).

Tableau 15 : Résultats du test de Pettitt, station de DBK

T	2001
p-value (bilatérale)	0,157
Alpha	0,05

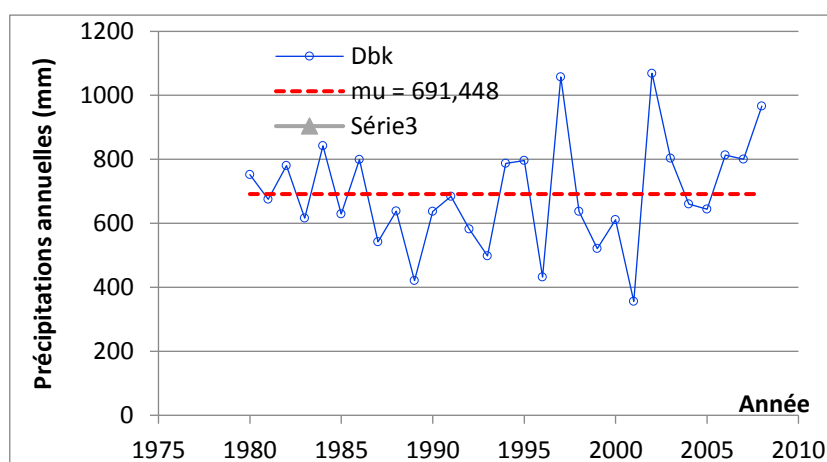


Figure 26 : Résultat du test de Pettitt, station de DBK

➤ **Station de Baghlia**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 16). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 27).

Tableau 16 : Résultats du test de Pettitt, station de Baghlia

T	2001
p-value (bilatérale)	0,125
Alpha	0,05

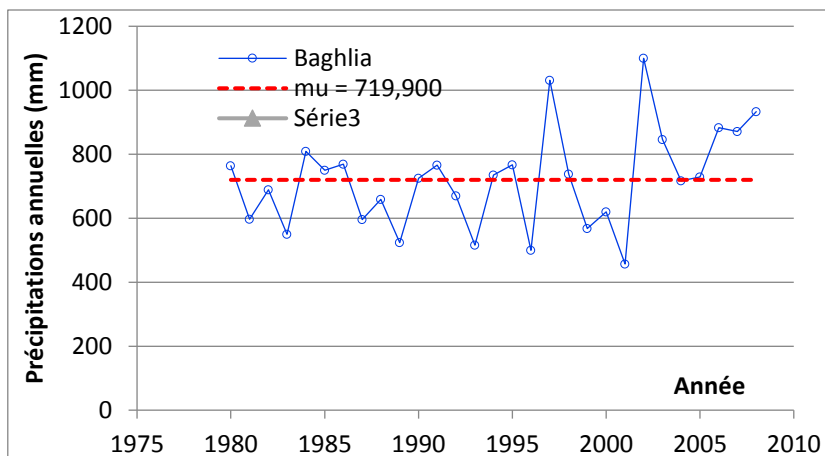


Figure 27 : Résultat du test de Pettitt, station de Baghlia

➤ **Station de Neqlioua**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 17). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 28).

Tableau 17 : Résultats du test de Pettitt, station de Neqlioua

T	2001
p-value (bilatérale)	0,223
Alpha	0,05

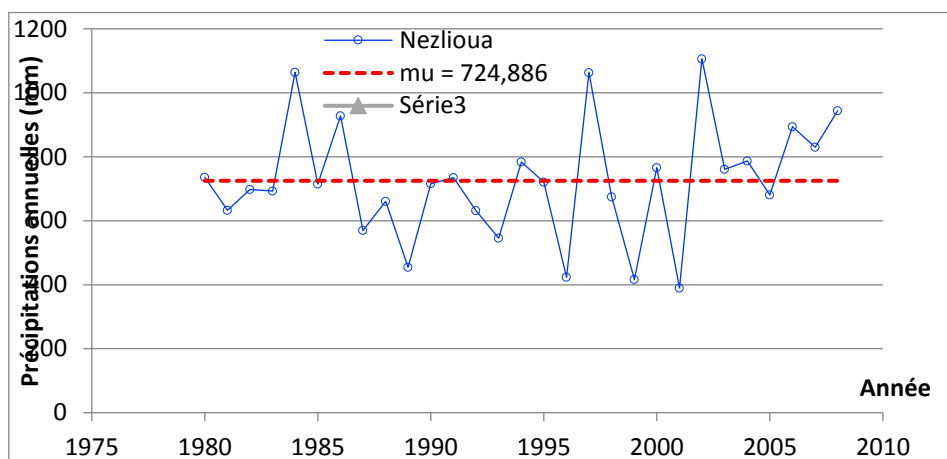


Figure 28 : résultat du test de Pettitt, station de Neqlioua

3.2.2. Test de Buishand

La statistique de Buishand est dérivée d'une formulation originale donnée par Gardner (1969). La statistique de Gardner utilisée pour un test bilatéral de rupture en moyenne à un instant inconnu s'écrit :

$$U = [N(N+1)]^{-1} \cdot \sum_{k=1}^{N-1} (S_k^* / D_X)^2$$

Elle s'avère performante pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série, cependant, le test de Buishand est un test paramétrique faisant l'hypothèse d'une distribution normale des variables de la série.

Dans le test de la statistique de Buishand, on a calculé la p-value pour un intervalle de confiance de 95 %. L'interprétation du résultat de ce test est basée sur deux hypothèses :

H0 : Les données sont homogènes

Ha : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

Si la p-value calculé est supérieure au seuil de confiance 0,05, l'hypothèse nulle H0 sera retenue et inversement.

Test de Buishand (Beni yeni) :



Etant donné que la p-value calculée est supérieure au seuil de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0 (tableau 18). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 29).

Tableau 18 : Résultats de la statistique de Buishand, station de Beni Yenni

T	2001
p-value (bilatérale)	0,421
Alpha	0,05

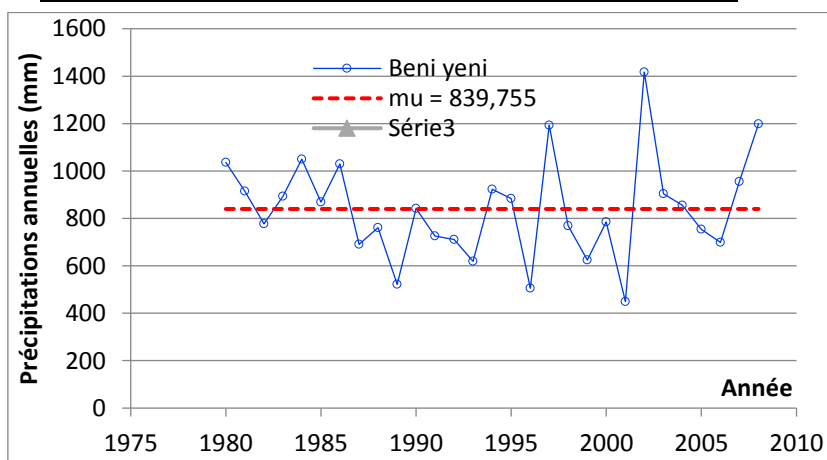


Figure 29 : Résultat de la statistique de Buishand, station de Beni Yenni

➤ **Station d'Azazga**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 19). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 30).

Tableau 19 : Résultats de la statistique de Buishand, station d'Azazga

T	2002
p-value (bilatérale)	0,150
Alpha	0,05

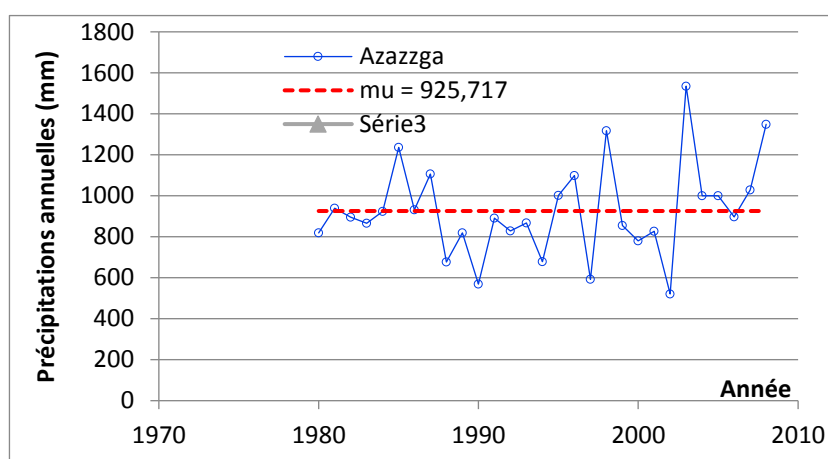


Figure 30 : Résultat de la statistique de Buishand, station d'Azazga

➤ **Station de LNI**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 20). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 31).

Tableau 20 : Résultats de la statistique de Buishand, station de LNI

T	1986
p-value (bilatérale)	0,575
Alpha	0,05

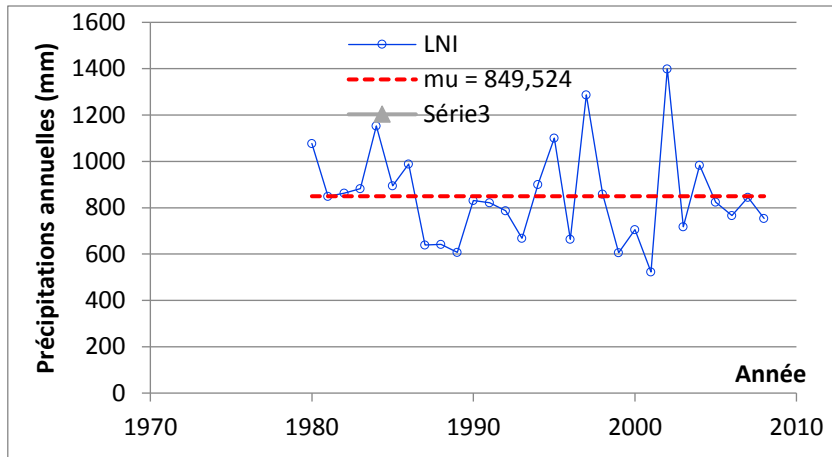


Figure 31 : Résultat de la statistique de Buishand, station de LNI

➤ **Station de Draa El Mizan**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 21). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 32).

Tableau 21 : Résultats de la statistique de Buishand, station de Draa El Mizan

T	2001
p-value (bilatérale)	0,313
Alpha	0,05

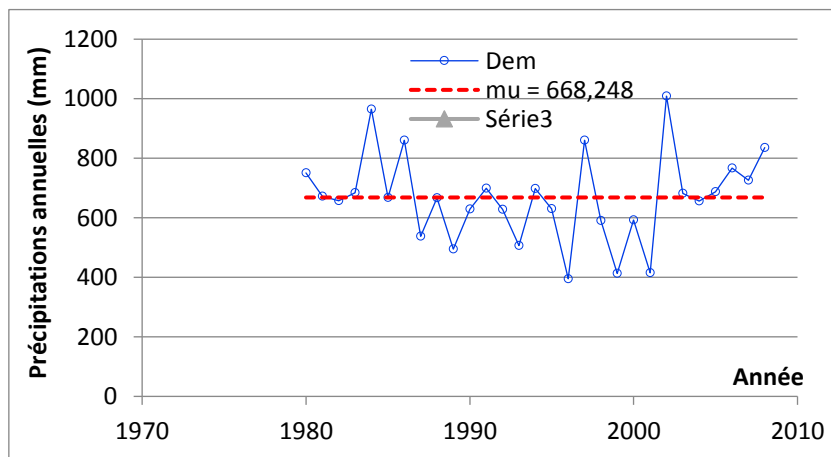


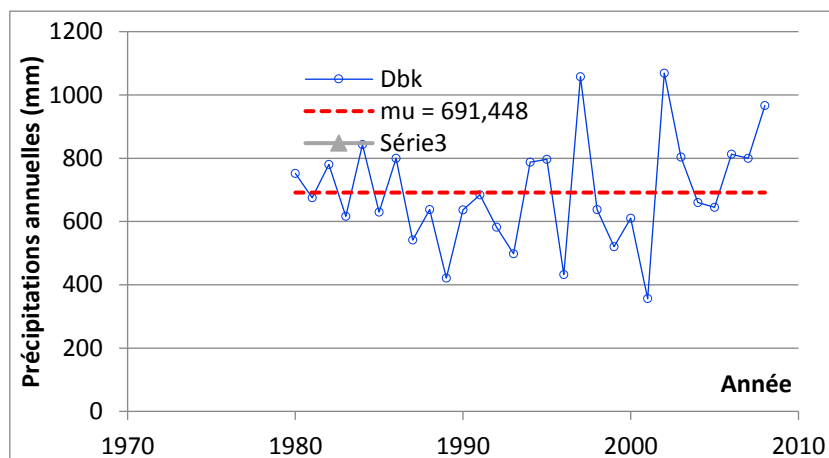
Figure 32 : Résultat de la statistique de Buishand, station de Draa El Mizan

➤ **Station de DBK**

Test de Buishand (Dbk) :

Tableau 22 : Résultats de la statistique de Buishand, station de DBK

T	2001
p-value (bilatérale)	0,184
Alpha	0,05



R	6,884
p-value (bilatérale)	0,186
alpha	0,05

Figure 32 : résultat de la statistique de Buishand, station de DBK

➤ **Station de Baghlia**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse alternative H_a (tableau 23). Une rupture significative est détectée dans la série pluviométrique de Baghlia. Cette rupture indique une augmentation des précipitations de 29,1 % à partir de 2001 (figure 33).

Tableau 23 : Résultats de la statistique de Buishand, station de Baghlia

T	2001
p-value (bilatérale)	0,041
Alpha	0,05

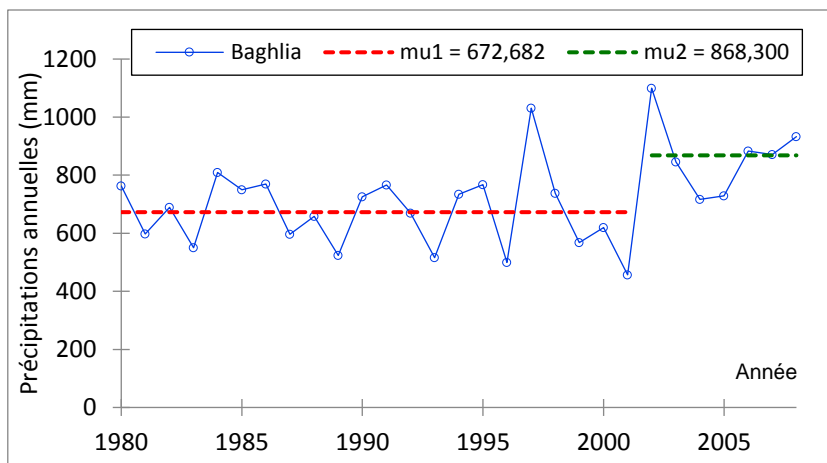


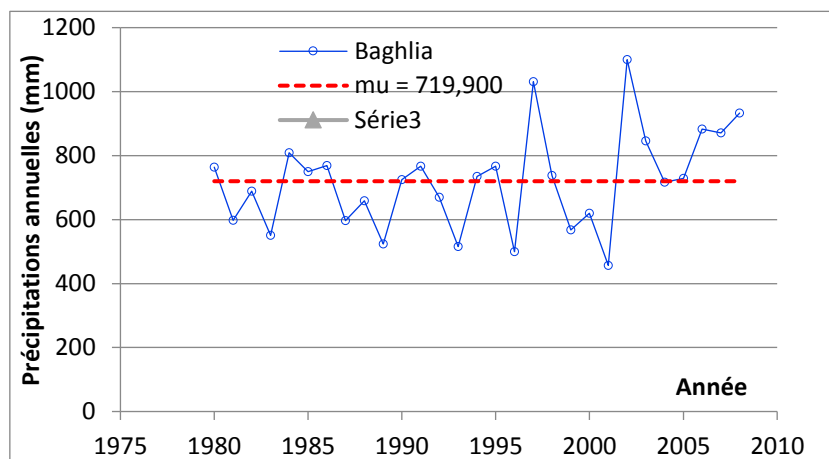
Figure 33 : Résultat de la statistique de Buishand, station de Baghlia

➤ **Station de Nezlioua**

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 (tableau 24). La série est considérée homogène sans changement significatif dans la moyenne des précipitations annuelles (figure 34).

Tableau 24 : Résultats de la statistique de Buishand, station de Nezlioua

T	2001
p-value (bilatérale)	0,227
alpha	0,05



R	7,228
p-value (bilatérale)	0,123
alpha	0,05

Figure 34 : Résultat de la statistique de Buishand, station de Nezlioua

3.3. Test de Men Kendall

Le test de Mann-Kendall sert à déterminer avec un test non paramétrique si une tendance est identifiable dans une série temporelle qui comprend éventuellement à une composante saisonnière.

L'hypothèse H0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative au seuil choisi, basée sur la statistique de corrélation de rang t de Kendall et utilisée pour montrer le degré de signification de la tendance formulé par la relation suivante :

$$t = \sum_{i=1}^t n_i$$

Le test, qui sous l'hypothèse nulle du caractère aléatoire, est pratiquement une distribution normale dont la moyenne et la variance sont données par les expressions suivantes :

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \text{ et var } t = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$

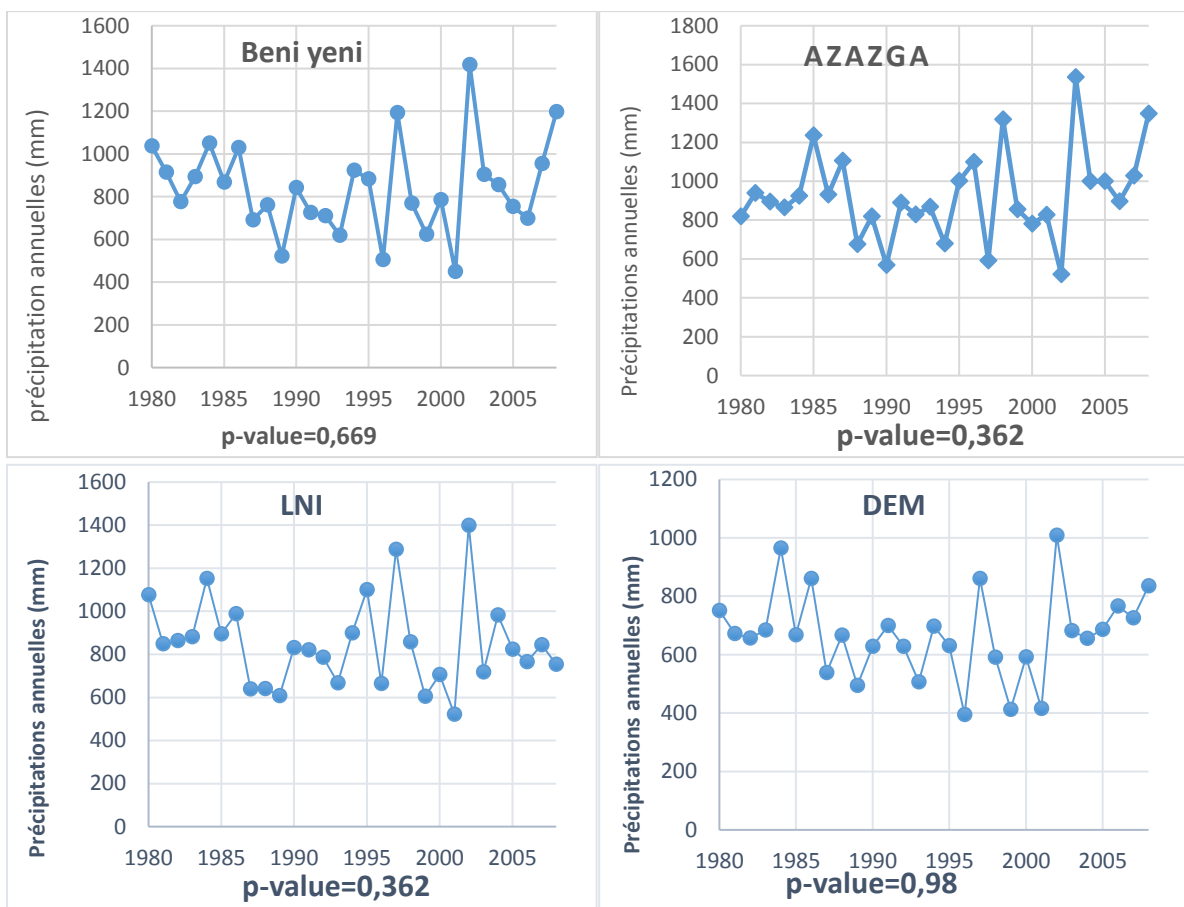
Le test de Mann Kendall a été appliqué pour un seuil de signification de 0,05. Les résultats sont récapitulés dans le tableau 25.

Tableau 25 : Résultats du test de Mann Kendall

Station	Tau de kendall	p-value
Beni yenni	-0,059	0,669
Azazga	0,123	0,362
LNI	-0,123	0,362
DEM	0,005	0,985
DBK	0,123	0,362
Baghlia	0,187	0,161
Nezlioua	0,148	0,272

Dans l'ensemble, le test de Mann Kendall atteste une absence de tendance significative dans la série pluviométrique annuelle (figure 35). La p-value calculée, sur 28 observations et pour chaque station, est largement au-dessus au seuil de signification (0,05).

Les précipitations annuelles à **Beni yenni**, présentent une évolution assez constante avec une tendance non significative. Ici la p-value calculée (0,66) est supérieure au seuil alpha (0,05), ce qui fait que l'hypothèse d'absence de tendance dans la série (l'hypothèse est nulle) est acceptée.



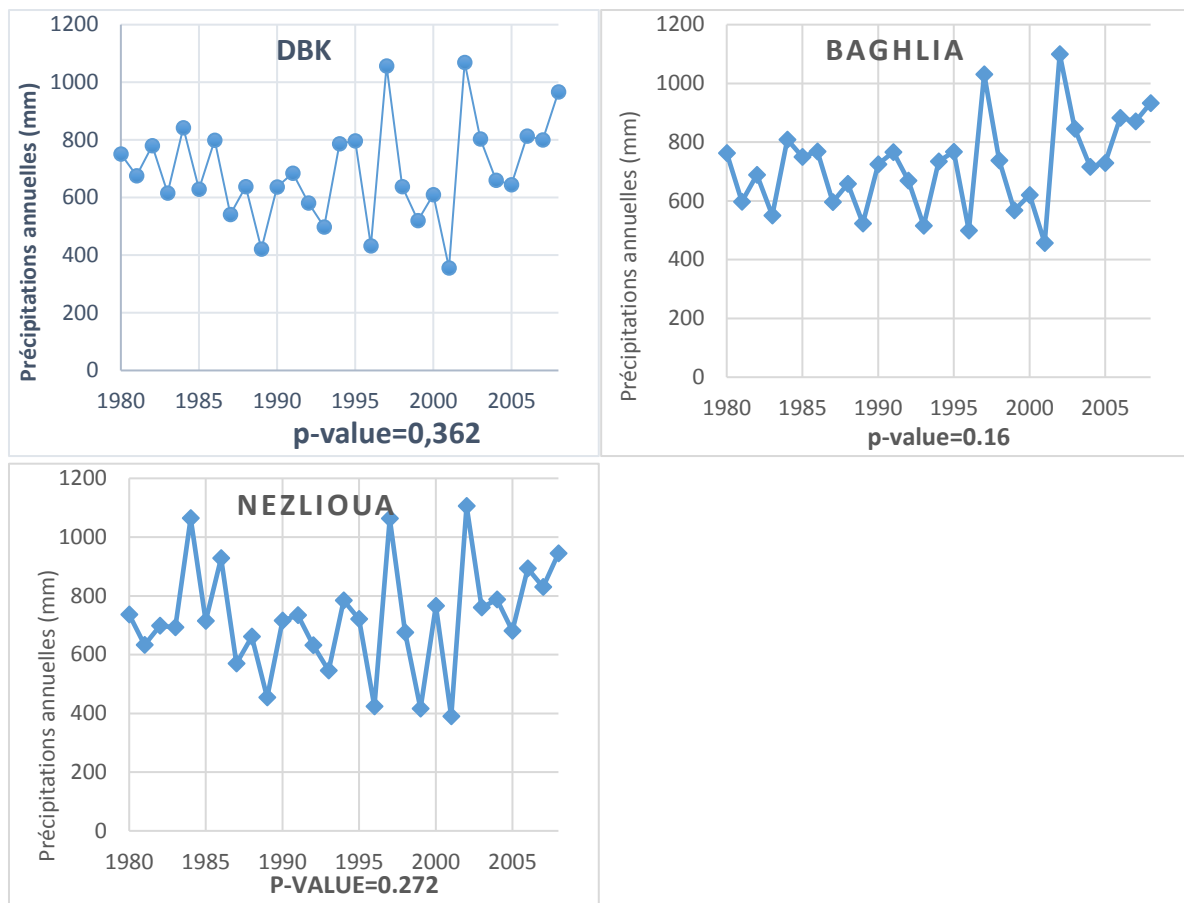


Figure 35 : Résultats du test de Mann Kendall

A **Azazga** et **Larbaa nath Irathen**, on note une absence de tendance significative dans l'évolution des précipitations annuelles. La p-value (0,36) est supérieure au seuil alpha et nous permet de retenir l'hypothèse nulle (l'absence de tendance dans la série). Toutefois, la tendance linéaire est à la baisse.

Au niveau de la station de **Draa el Mizan**, nous avons constaté une absence de tendance significative selon le test de Mann Kendall. Ici la p-value (0,98) est supérieure au seuil alpha et la tendance montre une évolution nettement constante.

A **Draa ben khedda** la p-value calculée (0,36) est supérieure au seuil alpha et nous permet de retenir l'hypothèse nulle. On note une absence de tendance significative dans l'évolution des précipitations.

Au niveau de **Baghlia** et de **Nezlioua**, on observe une absence de tendance significative dans l'évolution. A Baghlia la p-value (0,16) et à Nezlioua (0,27) sont supérieures au seuil alpha et nous permet de retenir l'hypothèse nulle.

4. Conclusion

L'analyse éventuelle de tendance et de rupture des précipitations dans le bassin versant du Sébaou est un premier pas vers la compréhension du rythme pluviométrique au niveau de notre zone d'étude.

L'étude des précipitations observés dans 7 stations a montré une irrégularité sur la période 1980-2008. Les valeurs de la précipitation annuelle varient dans le bassin du Sébaou entre 673.3 mm (station Draa El Mizan) et 963.3 mm (station d'Azazga).

Sur la période d'observation, l'ensemble des séries se caractérise par une tendance haussière à l'exception de la station de Larbaa Nath Irathen où la pluviosité baisse légèrement entre 1980 et 2008.

L'étude de l'homogénéité des chroniques pluviométrique appuyée sur les tests statistiques (Pettitt et Buishand) a révélé que le régime des précipitations ne présente pas de rupture significative entre 1980 et 2008. Seule la station de Baghlia qui a montré une rupture en 2001 déterminée par la statistique de Buishand indiquant une hausse de 29 % à partir de 2002.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le bassin de Sébaou est situé au nord de l'Algérie. C'est un bassin à géomorphologie variée. Il s'étale sur 2500 km². Son cours d'eau principal qui a donné son nom au bassin se jette dans la mer méditerranée après 97 km de longueur.

Sur le plan géologique, le Sébaou présente des terrains allant du Paléozoïque au quaternaire. Par ailleurs les alluvions quaternaires constituent l'aquifère le plus exploité dans la région. Les alluvions du Sébaou reposent dans un synclinal miocène imperméable constituant un aquifère de bonne perméabilité (de $3,2 \cdot 10^{-2}$ à $3,3 \cdot 10^{-2}$ m/s).

L'hydroclimatologie de l'oued a mis en lumière l'importance des variables climatiques, en particulier les précipitations qui jouent un rôle primordial dans l'alimentation des nappes souterraines et leur recharge.

Les chroniques pluviométriques analysées ont révélé des tendances positives sur la période 1980-2008. Par ailleurs, l'approche statistique basée sur les tests de rupture a montré que les séries étudiées sont homogènes. Seule la station de Baghlia a montré une rupture significative dans le régime des précipitations en 2001. Selon le test de Buishand, le passage de la période 1980-2001 vers la période 2002-2008 s'est exprimé par une hausse des précipitations de l'ordre de 29 %. Cette variabilité significative aurait un impact sur l'alimentation de la nappe d'eau souterraine de Sébaou mais ce constat ne peut être extrapolé sur l'ensemble du bassin du Sébaou.

Au terme du présent travail, il est fortement recommandé de mener une analyse plus approfondie de la variabilité des précipitations et de son impact sur les eaux souterraines du Sébaou. Cela pourrait être réalisé en utilisant des méthodes plus détaillées et en adoptant des séries chronologiques qui couvrent l'ensemble du bassin sur la période d'observation la plus étendue possible.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aigoun C. (2014) : *potentialité hydrique de l'aquifère du bas Sébaou (w.Boumerdes), Mémoire de Magister ,USTHB.*

Agrouche S. (2021) : *Etude hydrogéologique et évaluation des ressources du haut Sébaou (Wilaya de Tizi Ouzou nord d'Algérie). Mémoire master, UMMTO.*

Aissat I. (2023) : *sédimentologie et l'équifaction des sables du bas Sébaou (bassin de Tizi Ouzou. Mémoire de master, UMMTO.*

Aouicha A. et Laib R. (2019) : *Tests de ruptures des séries chronologiques (application sue des données météorologiques « Température à Soumaa w.Blida ,Mémoire Master, université de Blida.*

Bouhafs A. (2013) : *Simulation de lu pollution dans un milieu poreux : Application pour la nappe alluviale du Sébaou-Tizi Ouzou. Mémoire de master, université Mohamed Boudiaf Msila.*

Bettahar I. et Hosni T. (2023) : *Relation entre la pluviométrie de la nappe alluviale du haut Sébaou. Mémoire master, UMMTO.*

Belmerdek S. (2001) : *Granulométrie et minéraux lourd des sables dunaires et de plage des secteurs d'oued zhour de Beni Belaid (Jijel, Algérie nord oriental), Mémoire magister, Univeersité Mentouri Constantine.*

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 magister, université Abderrahmane Mira de Bejaïa.*

Chariffi-Bellabas S. (2021) : *Etude des impacts des changements climatiques sur les ruissellements dans le nord de l'Algérie, Thèse de doctorat, ENP.*

Chikhi M I. (2016) : *Etude qualitative des eaux souterraines dans la vallée alluviale de l'oued Sébaou, Mémoire d'ingénieur, ENP.*

Djemai M. (1985) : *Hydrologie de bassin versant de haut Sébaou « hydrologie des formations alluviales (Algérie), Mémoire d'ingénieur, Université scientifique et médicale de Grenoble.*

Ghaislain T. et Gaston S. (2022) : *Tendance et rupture des précipitations sur la partie congolaise du bassin de Congo, université Marien Ngouali.*

Hamad S. (2013) : *Etude du projet de transfert des eaux de l'oued Sébaou vers le barrage de Taksebt de Tizi Ouzou, Mémoire master, université Abderrahmane Mira de Bejaia.*

Hamad K. (2013) : *Bilan hydrologique du bassin versant de l'oued Sébaou, Mémoire de master, UMMTO.*

Hadjou F. (2008) : *Etude hydrogéologique par modélisation mathématique en vue d'une approche rationnelle et optimale de la gestion des eaux souterraines de la vallée de l'oued Sébaou, Mémoire du grade de magister, USTHB.*

Kadir O. (2006) : *Délimitation des zones inondables cas de l'oued Sébaou. Mémoire de magister, ENP.*

Louda I. (2016) : *Etude de la vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine alluviale de haut Sébaou par la méthode PRASTCHIM, Mémoire de master, ENSH.*

Mekkar M. (2022) : *Etude hydrologique de l'oued Sébaou-wilaya Tizi Ouzou, Licence professionnelle, université de Bouira.*

Miloudi B. (2023) : *caractérisation et évaluation des eaux de quelques hydro systèmes dans le nord est Algérien, ENP.*

Ourabah A. (1995) : *Etude préliminaire du pouvoir Auto-épurateur de l'oued Sébaou, projet de fin d'étude, ENP.*

Tababouchet S. (2017) : *étude de la pollution des eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Sébaou, Ecole Nationale Supérieure*

d'Hydraulique-Arbaoui Abdallah- Département aménagement et génie hydraulique.

Zerouali et Al. (2015) : Analyse et cartographie des tendances pluviométriques dans le bassin versant de l'oued Sébaou (nord centre de l'Algérie), conférence internationale.