

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 de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Filière : Géologie

Option : HYDROGEOLOGIE

Par : BETTAHAR Idir
et
HOSNI Tahar

Relation entre la pluviométrie et la piézométrie de la nappe alluviale du
Haut Sébaou (Tizi Ouzou).

Soutenu publiquement le 23/09/2023 devant le Jury composé de :

M. BRAHMI B.	M.A.C.A (UMMTO)	Président
M. KARDACHE R.	M.C.A (UMMTO)	Promoteur
M. BOUADJELA M'h.	Ingénieur (ANRH)	Co-Promoteur
M. DROUCHE A.	M.C.B (UMMTO)	Examineur

Promotion : 2022 / 2023

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu tout puissant qui nous a éclairé le chemin de la réussite et du savoir.

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué dans la réalisation et l'accomplissement de ce travail par leurs aides et encouragements.

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

Nos sincères remerciements à **M. DROUCHE A.** 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 exprimons toute notre gratitude, reconnaissance, et notre profond respect à notre promoteur **M. KARDACHE R.** qui nous a orientés et qui nous a fait bénéficier de sa longue expérience. Nous le remercions pour ces conseils avisés, sa disponibilité, et sa patience a notre égare durons toute la période qu'a durées ce travail.

Nous remercions **M. BOUADJELA M'h.** Pour sa totale collaboration et son accueil si particulier au sein de l'entreprise ou il travail, sans oublié l'intérêt qu'il a porté à ce projet, pour tous les encouragements qu'il nous apporté et pour la patience dont il a fait preuve pour nous faire part de ses connaissances.

Nous remercions aussi **Mlle KACI MOUSSA D.** pour la disponibilité et ses bons conseils.



DEDICACE

À mes chers parents, qui m'ont soutenu inlassablement tout au long de mon parcours académique, je vous dédie ce mémoire. Votre amour, votre encouragement et votre foi en moi ont été ma plus grande source d'inspiration.

À ma sœur et mon frère, pour leur soutien constant et leur compréhension, même lorsque mes études me demandaient beaucoup de temps et d'efforts. Votre patience et votre amour sont inestimables.

À mes amis fidèles, qui ont partagé les hauts et les bas de ce voyage académique avec moi. Votre amitié et votre présence ont rendu cette expérience encore plus précieuse.

Ce mémoire est le fruit de mes efforts, mais il est aussi le reflet de l'amour, du soutien et de l'amitié qui m'entourent. Merci d'avoir fait partie de ce chapitre de ma vie."





DEDICACE

Je dédie cet humble et modeste travail avec sincérité et amour :

A mes chers parents qui m'ont toujours motivé et accompagné dans mes études tout au long de mon parcours.

A mes sœurs, mon frère ainsi que mes neveux et nièces.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la positivité.

A tous mes amis qui m'ont toujours soutenu, à l'ensemble des étudiants de la promotion 2022-2023 et à qui je souhaite plein de succès.



RESUME

L'eau souterraine est souvent considérée comme la ressource la plus appropriée d'eau potable.

Ce travail a pour but de comprendre la potentialité en eau souterraine de la nappe du Haut Sébaou dont l'analyse des facteurs climatiques ont été étudiés afin d'établir le bilan hydrologique qui permettra d'estimer le ruissellement et l'infiltration, ensuite, pour étudier la recharge et la piézométrie au niveau du Haut Sébaou, et pour déterminer la relation pluviométrie et piézométrie.

Mots clés : Haut Sébaou, piézométrie, pluviométrie, bilan hydrologique, infiltration, nappe.

ABSTRACT

Groundwater is often considered to be the most appropriate source of drinking water.

This study aims to understand the potential of groundwater in the Haut Sébaou aquifer. The analysis of climatic factors was studied to establish the hydrological balance, which will allow the estimation of runoff and infiltration. Next, the study will investigate recharge and piezometry in Haut Sébaou, and will determine the relationship between rainfall and piezometry.

Keywords: Haut Sébaou, piezometry, rainfall, hydrological balance, infiltration, aquifer.

Sommaire

REMERCIEMENTS	2
RESUME.....	5
ABSTRACT	5
LISTES DES FIGURES.....	9
LISTE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES ACRONYMES.....	11
Introduction générale	13
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude.....	3
1 Introduction.....	4
2 Climat de la wilaya de Tizi-Ouzou	4
3 Les principales ressources	5
• Les Barrages.....	5
• Retenues collinaires	5
• Les ressources en eau souterraines.....	5
• Les forages et les puits.....	5
• Les sources.....	6
4 L'alimentation en eau potable de la ville de Tizi-Ouzou.....	6
5 Situation géographique.....	6
6 Le couvert végétal.....	7
7 Pédologie.....	7
8 Conclusion.....	7
Chapitre 2 : Cadre Géologique.....	8
Chapitre 2 : Cadre géologique.....	9
1 Introduction.....	9
2 La géologie régionale	9
2.1 Les zones internes	9
2.1.1 Le socle kabyle.....	9
2.1.2 La dorsale kabyle	10
2.1.3 Le domaine des flyschs.....	10
2.2 Les zones externes.....	11
2.2.1 Les séries ultra-telliennes.....	11
2.2.2 Les séries telliennes	12
2.2.3 Les séries péni-telliennes	12
2.3 La chaîne des Maghrébides.....	12

3	La géologie locale.....	13
3.1	Lithostratigraphie (les formations litho-stratigraphiques).....	13
3.1.1	Socle cristallin et cristallophyllien.....	13
3.1.1.1	Les schistes et micaschistes.....	15
3.1.1.2	Les gneiss	15
3.1.1.3	Les marbres/cipolins.....	15
3.1.1.4	Les amphibolites.....	15
3.1.1.5	Les granites et les pegmatites	15
3.1.2	La dorsale kabyle (chaîne calcaire).....	16
3.1.2.1	Carbonifère	16
3.1.2.2	Pérmo- Trias et Trias.....	17
3.1.2.3	Lias :.....	17
3.1.2.4	Crétacé.....	17
3.1.2.5	Lutétien.....	17
3.1.2.6	Oligocène	17
3.1.2.7	Quaternaire.....	17
3.1.3	L'oligo-miocène kabyle.....	17
3.1.4	L'unité numidienne	17
3.1.5	Les flysch	18
3.1.6	L'olistostrome ou (Argiles à blocs)	20
3.1.7	Formation post nappe.....	21
3.1.7.1	Le miocène	21
3.1.7.2	Les roches volcaniques	21
3.1.7.3	Le pliocène	21
3.1.8	Formation quaternaire.....	21
4	Cadre tectonique	22
4.1	Le socle cristallophyllien	22
4.1.1	Déformations cassantes	22
4.1.2	Tectonique de miocène post nappes	22
4.1.3	Déformation ductile (plissement)	24
5	Conclusion.....	25

Chapitre 3 : Bassin Versant du Haut Sébaou..... 26

Chapitre 3 :	Bassin versant du Haut Sébaou	27
1	Introduction :.....	27
2	Réseau hydrographique de Haut Sébaou.....	28
3	Caractéristiques morphométriques de Haut Sébaou.....	29
3.1	Paramètres géométrique	29
3.1.1	la surface A.....	29
3.1.2	Le périmètre P	29
3.2	Paramètre de relief :.....	29
3.2.1	Le coefficient de compacité de gravelius Kc.....	29
3.2.2	La longueur L du rectangle équivalent	30
3.2.3	La largeur l du rectangle équivalent.....	30
3.3	Caractéristique hypsométrique	30
3.3.1	Indice de pente globale.....	32
3.3.2	Dénivelé spécifique (Ds).....	32
4	Conclusion.....	33

Chapitre 4 : Hydro-Climatologie 34

Chapitre 4 : Hydro-climatologie	31
1 Introduction.....	31
2 Les facteurs climatiques	32
2.1 Analyse des précipitations	32
2.1.1 Evaluation des précipitations annuelles dans les stations étudiées sur la période 1990-2020 33	
2.1.2 Evaluation des précipitations moyennes mensuelles dans les stations (Aghrib, Ait Aicha, Azazga, Berber) sur la période 1990-2020.....	35
2.1.3 Calcul de la lame d'eau précipitée	36
2.2 Les températures.....	37
2.3 Calcul de l'indice d'aridité de DEMARTONE (1923)	38
2.4 Classement de l'indice d'aridité	39
2.5 Diagramme ombrothermique	40
3 Estimation des paramètres du bilan hydrologique	41
3.1 Notions d'évapotranspiration potentielle, réelle, évaporation et transpiration	41
• Evaporation.....	41
• Transpiration.....	41
• L' évapotranspiration potentielle:	41
• L' évapotranspiration réelle	41
3.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	41
• Calcul de l'ETP suivant la formule de C.W Thornthwaite	41
3.3 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de turc	43
3.4 Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite	43
3.5 Calcul du ruissellement.....	45
3.6 Calcul de l'infiltration.....	46
4 Conclusion	47
Chapitre 5 : Hydrogéologie.....	48
Chapitre 5 : Hydrogéologie.	49
1 Introduction.....	49
2 Rappels sur les eaux souterraines.....	49
• Aquifère	49
• Nappe	49
• Piézométrie	49
• La carte piézométrique	49
3 Identification des systèmes aquifères.....	52
4 Etude piézométrique	56
4.1 Inventaire des points d'eau :	56
4.2 Caractéristiques des points d'eaux :	56
4.3 Interprétation des cartes piézométriques :	56
5 La recharge de la nappe	68
6 Conclusion	68
CONCLUSION GENERALE	69
Conclusion générale	70
Bibliographie	71

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure 2 : situation de Bassin Versant de Sébaou	6
Figure 3: Différents domaines du Nord algérien (H. Haddoum)	9
Figure 4 : Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (M. Durand Delga, 1969)	10
Figure 5 : Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides	11
Figure 6 : formations géologiques de la vallée du Sébaou (ANRH TO)	13
Figure 7 : Carte géologique du socle cristallophyllien de BV Sébaou (G.Betier et autres,1952)	14
Figure 8 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la grande kabylie (J.P Gélard, 1979)	16
Figure 9 : Colonnes litho stratigraphiques de la dorsale kabyle (J.P. Gélard,1979)	Error! Bookmark not defined.
Figure 10 : Colonnes litho stratigraphiques des flyschs Massylien Et Mauritanien (J.P. Gélard,1979).	20
Figure 11 : Cartes des fracturations de la zone étudiée (Gani, 1988) et (Loumi, 1989)	23
Figure 12 : Carte schématique des dorsales du Djurdjura (J.P. Gélard, 1976) et vue des écaillés redressées.	24
Figure 13 : Carte du bassin versant de l'Oued Sébaou et sa subdivision (ANRH)	27
Figure 14 : Carte des sous bassins du Sébaou(ANRH)	28
Figure 15 : Réseau hydrographique de Haut Sébaou	29
Figure 16 : courbe hypsométrique	31
Figure 17 : Carte de répartition des stations pluviométriques dans le bassin versant du Sébaou (Source : ANRH)	32
Figure 18 : Evaluation des précipitations annuelles dans les stations (Aghrib, Ait Aicha, Ait Djemaa) sur la période 1990-2020	34
Figure 19 : Evaluation des précipitations annuelles dans les stations (Azazga, Beni Yenni, Berber) sur la période 1990-2020.	35
Figure 20 : Evaluation des précipitations moyennes mensuelles dans les stations (Aghrib, Ait Aicha, Azazga, Berber) sur la période 1990-2020	36
Figure 21 : Evolution des températures moyennes mensuelles station de Tizi Ouzou durant la période 1990-2014	38
Figure 22 : Diagramme de DEMARTONE	39
Figure 23 : Diagramme ombrothermique	40
Figure 24 : graphique illustrant les précipitations, températures et ETR de la station Tizi Ouzou (1990-2020)	44
Figure 25 : graphique illustrant le RFU de la station Tizi Ouzou(1990-2020)	45
Figure 26 : répartitions des paramètres de bilan hydrologique en pourcentage	47
Figure 27 : schéma explicatif de la relation entre l'infiltration et le sol	49
Figure 28 : carte de limite de la plaine de Haut Sébaou (ANRH)	52
Figure 29 : Type et disposition des terrasses rencontrées de la vallée de Sébaou (chadrine 1974)	53
Figure 30 : Carte schématique de localisation des terrasses dans le haut Sébaou	54

Figure 31 : logs stratigraphiques des sondages TM1 Tamda et FR3 Fréha	55
Figure 32 : Photo prise sur le site montre une terrasse alluviale sur un substratum marneux	56
Figure 33 : Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux 2004) (ANRH Tizi-Ouzou)	57
Figure 34 : Carte piézométrique des hautes eaux (Haut Sébaou ,2009)	58
Figure 35 : Carte piézométrique des basses eaux (haut Sébaou ,2009)	59
Figure 36 : Carte piézométrique du Haut Sébaou(basses eaux 2019)	60
Figure 38 : Evolution du niveau piézométrique du puits 7 pendant les hautes eaux et basses eaux durant la période 2008-2019	61
Figure 38 : localisation des points d'eau sur la zone d'étude	62
Figure 39 : photos prise sur terrain	63
Figure 40 : carte piézométrique des hautes eaux 2023.	65
Figure 41 : Carte des courbes isopiezés avec sa pente (réalisé avec logiciel de SIG surfer)	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristique hypsométrique du Haut Sébaou (Agrouche .S)	30
Tableau 2 : Les altitudes caractéristiques de Haut Sébaou	32
Tableau 3 : Paramètres morphologiques de Haut Sébaou	32
Tableau 4 : stations climatiques et leurs répartitions sur le Haut Sébaou	31
Tableau 5 : Les précipitations annuelles dans les stations étudiées sur la période 1990-2020 (ANRH)	33
Tableau 6 : Température moyenne mensuelle avec les maxima et les minima durant la période 1990-2014 (ONM)	37
Tableau 7 : Classement de l'indice d'aridité	39
Tableau 8 : Données des précipitations moyennes et température moyenne mensuelle	40
Tableau 9 : Valeurs de l'évapotranspiration potentielle (méthode de Thornthwaite)	42
Tableau 10 : résultat de l'ETR par la formule de turc	43
Tableau 11 : Bilan hydrologique simplifié selon Thornthwaite	43
Tableau 12 : valeur de ruissellement selon la moyenne de méthode Romantchouk et Sogreah	46
Tableau 13 : Récapitulation des différents paramètres du bilan hydrologique	46
Tableau 14 : Niveaux statique et piezometrique du Haut Sébaou, Hautes eaux 2023	63

LISTE DES ACRONYMES

A :	Surface.
a :	Exposant climatique.
AEP :	Alimentation en eau potable.
AEI :	Alimentation en eau d'irrigation.
a_i :	Surface partielle et tranche d'altitude (km^2).
ANRH :	Agence nationale des ressources hydrauliques.
DHWT :	Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tizi Ouzou.
Ds	Dénivelé spécifique.
ETP	Estimation de l'évapotranspiration potentielle.
ETR	Estimation de l'évapotranspiration réelle.
FR3 :	Freha 3.
H_i :	l'altitude moyenne entre les deux courbes de niveau (m).
I:	Indice thermique annuel.
I:	Infiltration (mm).
i:	Indice thermique mensuel.
Ia:	Indice d'aridité.
Ie :	Excédent – ruissellement.
Ig :	Indice de pente globale.
k :	Facteur de correction mensuel en fonction de la durée de la journée.

Kc :	Le coefficient de compacité de gravelius.
L :	La longueur du rectangle équivalent (km).
l :	La largeur du rectangle équivalent (km).
LNI :	Larbaa Nath Irathen.
O.M.K :	Oligo Miocène-Kabyle.
ONM :	Office national de la météo .
P :	Périmètre.
P:	Précipitation moyenne (mm).
P _i :	pluviométrie moyenne annuelle à la station i, en mm
R:	Ruissellement (mm)
RFU	Réserve en eau facilement utilisable.
T :	Température moyenne (°C).
TM1 :	Tamda 1.
Δs :	La variation des réserves que nous supposons nulles.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le mouvement de l'eau à travers le sol et le sous-sol représente une étape cruciale dans le cycle de l'eau global de notre planète. Ce processus commence par l'infiltration, où une partie de l'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol. La dynamique des eaux souterraines est profondément influencée par des facteurs tels que la nature lithologique du sol et les structures géologiques. En réalité, ces éléments géologiques déterminent la façon dont les eaux souterraines se comportent et circulent dans le sous-sol.

En outre, il est essentiel de prendre en compte les données climatiques. Les conditions météorologiques, telles que la pluviométrie, influencent directement le cycle de l'eau. Les paramètres hydroclimatiques, tels que le coefficient de ruissellement, jouent un rôle important dans l'équilibre hydrologique.

Les nappes souterraines, en particulier, sont caractérisées par leur hydrodynamisme, qui est souvent mesuré à l'aide du niveau piézométrique des points d'eau. L'interprétation de cartes piézométriques est un outil essentiel pour comprendre comment le niveau de la nappe varie en réponse aux précipitations.

Dans un contexte spécifique, notre mémoire explore la nappe alluviale du Haut Sébaou dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Nous cherchons à répondre à des questions clés telles que l'impact de la géologie de la région, le rôle des caractéristiques hydro-climatiques du bassin, et comment la nappe réagit aux précipitations et à l'infiltration.

Ce mémoire comporte en plus d'une introduction et d'une conclusion, quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré au rassemblement des informations générales concernant la zone d'étude.

Dans le deuxième chapitre, nous avons apporté un aperçu sur la géologie du Bassin Versant de Sébaou qui détermine la structure et la dimension du milieu aquifère ;

Introduction générale

Le troisième chapitre est consacré pour le Bassin Versant de Haut Sébaou, il s'agit des limites de bassin Versant et du réseau hydrographique et des propriétés géomorphologiques ; caractéristiques morphométriques et hypsométriques.

Le quatrième chapitre a présenté l'analyse des paramètres hydroclimatiques de la zone d'étude pour aboutir à l'établissement du bilan hydrique ;

Dans le cinquième, l'interprétation des cartes piézométriques et de la campagne piézométrique des hautes eaux 2023 afin de déterminer la variation de niveau d'eau dans la nappe, en rapport avec la précipitation.

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1 Introduction

La Wilaya de Tizi-Ouzou s'étend sur une superficie de 2 993 km², administrativement est découpée en 67 communes et 21 Dairas, le nombre d'habitants s'élève à 1 607 318 est-ce un recensement National (2019). Dominée par des ensembles montagneux fortement accidentés, elle présente un potentiel agricole faible (143,25 km²) et dispose de deux zones industrielles et un barrage en exploitation. Le présent travail effectué dans la vallée alluviale du Haut Sébaou contribue à répondre, en partie à ces différents problèmes, dont la connaissance de la région d'étude (figure 1). Ainsi que ses caractéristiques physique et géomorphologique constituent des éléments essentiels dans le déroulement d'une étude hydrologique.

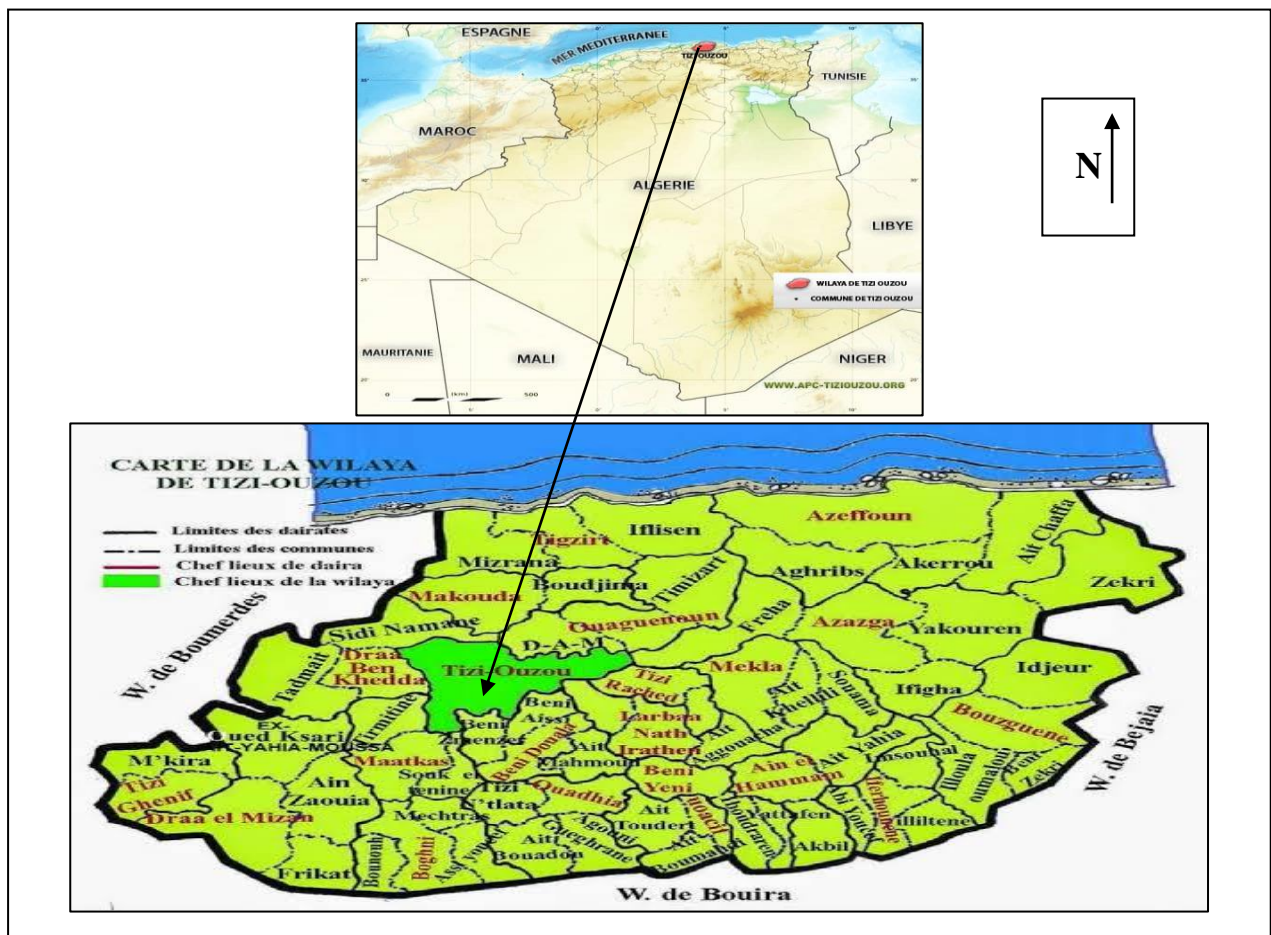


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

2 Climat de la wilaya de Tizi-Ouzou

La région de Tizi-Ouzou est dominée par un climat de type méditerranéen, qui se caractérise par un climat à deux saisons bien contrastées : un hiver humide et froid et un été sec et chaud. Le climat méditerranéen est un climat de transition entre la zone tempérée et la

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

zone tropicale avec un été très chaud et très sec. Tempéré seulement en bordure de la mer, l'hiver est très frais et plus humide. Ce climat est qualifié de xérothermique (Benabadji et Bouzza, 2000), le climat de la wilaya de Tizi-Ouzou, qui révèle de la région méditerranéenne est caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers humides et assez froids

Le climat n'est pas homogène à travers toute la wilaya du fait de l'hétérogénéité des régions et des micros climats qui sont propres à chacune d'elle.

La moyenne pluviométrique est de 800 mm par an. Le ruissellement est très intense 1 milliard de m³/ an, la neige représente un potentiel hydrique important notamment sur le Djurdjura et l'extrémité orientale du massif central de la wilaya (ANRH).

3 Les principales ressources

Les ressources en eau de surface de la wilaya de Tizi-Ouzou relèvent principalement des écoulements des oueds Sébaou et Bougdoura, qui drainent l'essentiel du territoire de la wilaya, ainsi que d'une multitude de petits oueds côtiers.

La wilaya recèle un potentiel important en eaux de surface ; dont seule une infime partie est mobilisée. Les principales ressources en eau de surface mobilisées se présentent comme suit :

- **Les Barrages** : Le volume des eaux superficielles de la wilaya est évalué à un Milliard de m³, dont seulement environ 192 millions de m³ sont déjà mobilisés, grâce aux barrages de Taksebt, Djebba, Draa-El-Mizan, Zaouia et Tizi-Gheniff (DHWT, 2012).

- **Retenues collinaires** : La wilaya de Tizi-Ouzou compte 83 retenues collinaires réalisées en majorité durant les années 80, dans le cadre d'un programme de petite et moyenne hydraulique, totalisant ainsi une capacité de 5.59 hm³ (DHWT, 2012).

- **Les ressources en eau souterraines** : Les ressources en eau souterraines de la wilaya de Tizi-Ouzou se concentrent essentiellement dans la nappe alluviale de l'oued Sébaou, alimentée par l'infiltration directe à partir des eaux de pluies dont la moyenne est de l'ordre de 1000mm/an et des crues de l'Oued Sébaou et de ses affluents (DHWT, 2012).

- **Les forages et les puits** : L'inventaire des forages existants à travers la wilaya de Tizi-Ouzou fait état de 435 forages, dont 209 réellement exploitées. Le volume mobilisé par les forages et les puits de la wilaya est de 27hm³ ; destinées à l'AEP, l'AEI et à l'irrigation (DHWT, 2012).

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

- **Les sources** : La wilaya de Tizi-Ouzou, dispose d'un nombre important de sources ; située en majeure partie sur le flanc Nord de Djurdjura, généralement utilisés pour l'alimentation en eau potable des zones montagneuses isolées. On dénombre pour l'ensemble de la wilaya, 203 sources dont 121 sources importantes d'un débit total estimé à 701.7 l/s, soit plus de 22 millions de m³ par an (DHWT, 2012).

4 L'alimentation en eau potable de la ville de Tizi-Ouzou

La ville est alimentée par des eaux souterraines captées par des forages situés dans la nappe de l'Oued Sébaou ainsi que par le barrage de Taksebt doté de deux stations de traitement.

Actuellement une bonne partie de la ville de Tizi-Ouzou est alimentée à partir du barrage de Taksebt avec un volume mobilisé très important

5 Situation géographique

Le bassin versant de Sébaou se positionne entre les latitudes Nord 40G 50 (36°30) et 41G 00 (37°00) et les longitudes Est 01G 50 (03°30) et 2G50 (04°30). Il s'intègre dans les bassins versants côtiers Algérois de code (02), selon la nomenclature de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Il est limité au : Nord par la chaîne côtière, Sud par la chaîne du Djurdjura, L'Est par les massifs d'Akfadou et de Béni-Ghobri, L'Ouest par le massif de Sidi Ali Bounab et Djebel Bouberak, Il s'étend sur un périmètre de 250,4 km et une superficie de 2500 km²

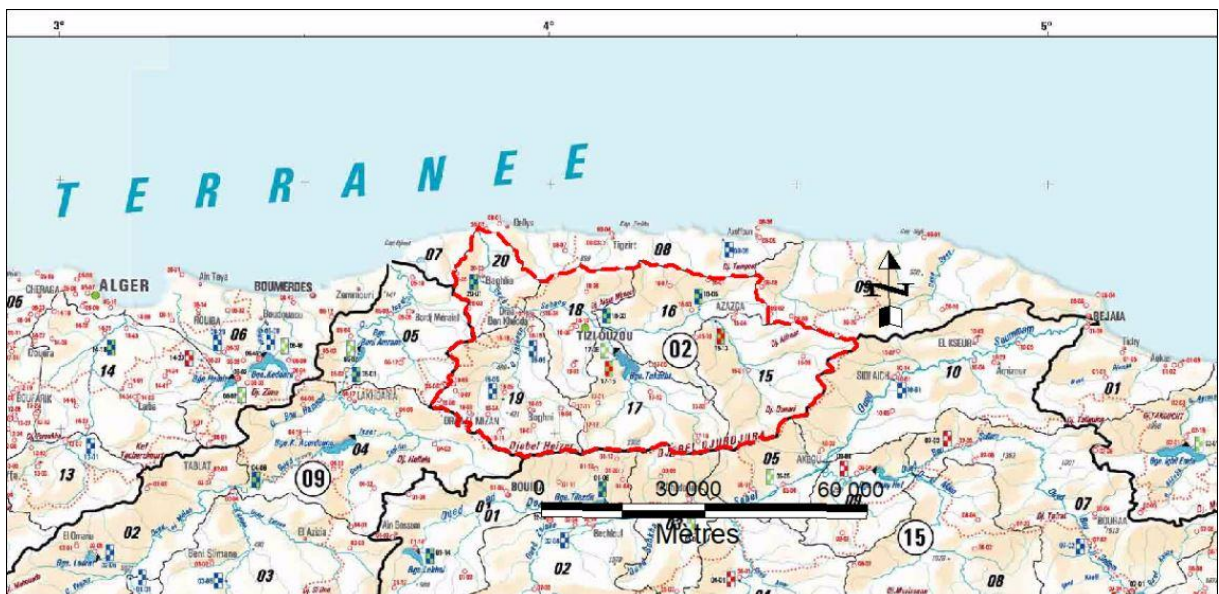


Figure 2 : situation du Bassin Versant de Sébaou

6 Le couvert végétal

Les principaux massifs forestiers du bassin versant du Sébaou et de la Wilaya de Tizi-Ouzou localisés en altitude sont ceux du Djurdjura, l'Akfadou et la chaîne littorale.

Au niveau du de la chaîne calcaire, la couverture végétale est dominée par le cèdre et le chêne vert. Dans l'Akfadou et en altitude (1 100 à 1600 mètres), on rencontre le chêne zeen et le chêne afares. Dans la chaîne littorale l'espèce forestière rencontrée correspond au chêne liège, dont l'expansion va du bord de la mer jusqu'à des altitudes de près de 1000 mètres, en basses altitudes, le maquis et l'olivier sont les espèces les plus répandues. (Yakoub, 2005)

Le couvert végétal n'est pas continu, de nombreux travaux réalisés dans ce domaine ont relevé que l'une des contraintes essentielles dans la dégradation de cette couverture végétale est la fréquence des incendies qui ont affecté cette région.

7 Pédologie

Parmi les éléments essentiels de l'environnement, le sol joue un rôle important pour la répartition de la végétation, son développement se fait en fonction de la nature de la roche-mère, la topographie et les caractéristiques de climat, selon BENCHETRIT en 1972, précise que « quand le climat devient plus sec et les conditions de semi-aridité règnent, la pluviosité n'est pas assez forte pour modifier le complexe absorbant des profils des sols ».

Cette stabilité n'est que potentielle due en partie aux facteurs bioclimatiques ; l'intervention anthropique modifie les sols et les rend instables à cause de l'érosion qui suit la dénudation.

8 Conclusion

Notre zone d'étude qui se situe dans la wilaya de Tizi Ouzou, dominée par des ensembles montagneux fortement accidentés, dispose de deux zones industrielles et un barrage en exploitation.

Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen à deux saisons bien contrastées un hiver humide et froid et un été sec et chaud.

Le bassin versant du Sébaou est limité au Nord par la chaîne côtière, au Sud par la chaîne du Djurdjura, à l'Est par les massifs d'Akfadou et de Béni-Ghobri et à l'Ouest par le massif de Sidi Ali Bounab et Djebel Bouberak. Les principaux massifs forestiers du bassin versant du Sébaou et de la Wilaya de Tizi-Ouzou se localise en altitude, Djurdjura, l'Akfadou et la chaîne littorale.

Chapitre 2 : Cadre Géologique

Chapitre 2 : Cadre géologique.

1 Introduction

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. Cette analyse permet d'identifier les matériaux et les structures des formations susceptibles de conduire et d'emmagasiner l'eau des précipitations en profondeur, tout en permettant la détermination du type d'aquifère.

La région de la Kabylie, qui est située dans les zones internes de la chaîne des Maghrébides (figure 3), est connue pour sa diversité géologique ; elle est limitée au Sud par les formations métamorphiques de la Grande Kabylie qui forment trois grands ensembles : le massif de Belloua et Aissa Mimoun, le massif de Sidi Ali Bounab et le massif de grande Kabylie. Au Nord par les terrains sédimentaires.

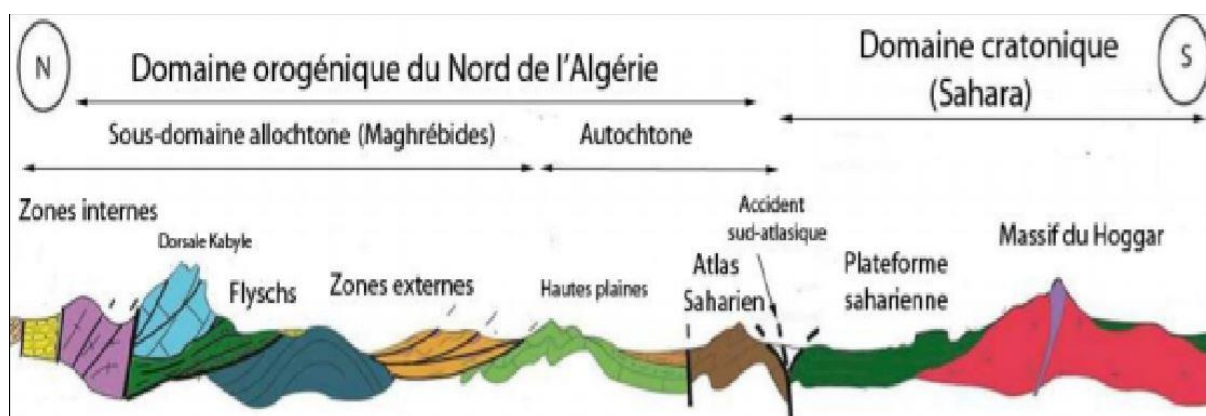


Figure 3: Différents domaines du Nord algérien (H. Haddoum modifié par S. Agrouche, 2021)

2 La géologie régionale

2.1 Les zones internes

Les zones internes appelées aussi Kabyliques, comportent d'Est en Ouest les massifs du Chêneau, d'Alger, de Grande Kabylie et de petite Kabylie. Ces massifs cristallophylliens sont bordés au Sud par une couverture sédimentaire qu'est la dorsale kabyle ou "chaîne calcaire".

2.1.1 Le socle kabyle

Le socle de Grande Kabylie est composé de formations cristallophylliennes métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire paléozoïque (ordovicien à carbonifère) très peu métamorphique. Ce socle affleure d'ouest en est dans les massifs de Chenoua (à l'ouest d'Alger), d'Alger, de Grande Kabylie et de petite Kabylie (entre Jijel et Skikda). Ce dernier, avec 120 km de long et 30 km

Chapitre 2 : Cadre Géologique

de large, constitue le plus large affleurement du socle Kabyle en Algérie. Le socle est par endroits recouverts en discordance par des dépôts détritiques (principalement des molasses conglomératiques) d'âge Oligocène supérieur-Miocène inférieur, appelés (O.M.K), OligoMiocène-Kabyle.

2.1.2 La dorsale kabyle

La dorsale kabyle appelée aussi « chaîne calcaire » à cause de l'importance du jurassique inférieur calcaire. Elle se situe au Sud du socle kabyle formant leur couverture. Elle est caractérisée par des formations surtout carbonatées dont l'âge allant du Permo-trias au Lutétien (Bouillin, 1977) et recouvert par des terrains grés-micacés d'âge Priabonien à Oligocène supérieur.

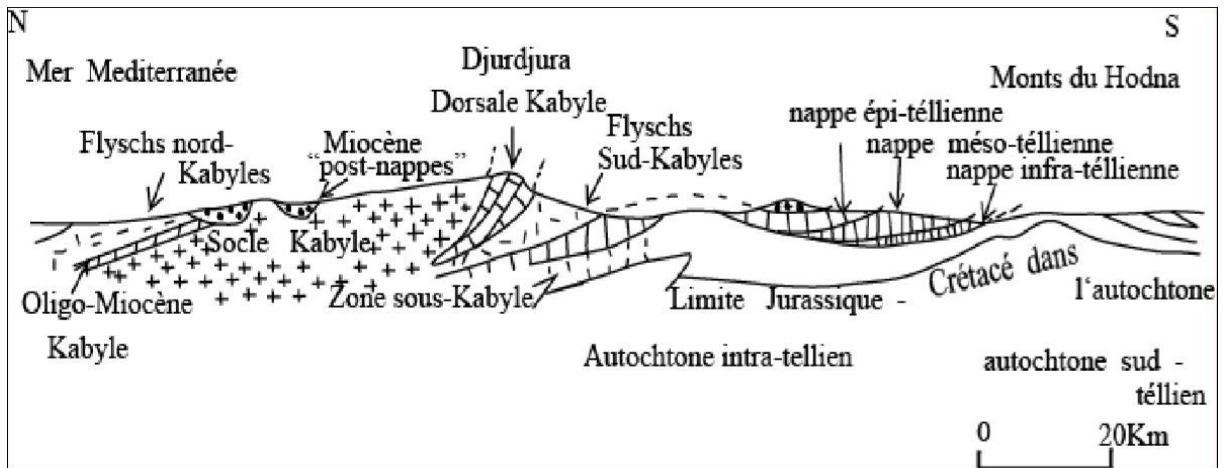


Figure 4 : Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (M. Durand Delga, 1969)

Ce domaine est exceptionnellement étroit et ne dépasse jamais quelques km de largeur. Le premier affleurement de la dorsale kabyle en Algérie est situé au Cap Ténès. On la retrouve ensuite dans le massif de Chenoua puis au Sud-Est d'Alger où elle constitue d'importants reliefs sur plus de 125 km de long (massifs de Larbaa, du Bou Zegza et du Djurdjura). Elle apparaît ensuite au Nord de Constantine (Dj. Sidi Dris) et on la suit sur 90 km jusqu'au Sud d'Annaba.

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.

2.1.3 Le domaine des flyschs

Le domaine des flyschs est constitué par des nappes de flyschs crétacé-paléogènes qui affleurent dans les zones littorales sur 800 km de long, entre Mostaganem et Bizerte (Tunisie),

Chapitre 2 : Cadre Géologique

il s'agit essentiellement de dépôts de mer profonde mis en place par des courants de turbidités. Ces flyschs se présentent de trois manières (Figure 5)

- En position interne, superposés aux massifs kabyles c'est à dire rétrochariés sur les zones internes, et appelés flyschs nord-kabyles ;
- En position relativement externe a la bordure Sud de la dorsale kabyle (flyschs-Sud kabyle)
- Et enfin en position très externe sous forme de masse isolées flottant sur le Tell charriés jusqu'à une centaine de kilomètre au Sud.

On distingue du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs, les flyschs mauritaniens et les flyschs massyliens auxquels s'ajoutent un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs Numidiens d'âge Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur.

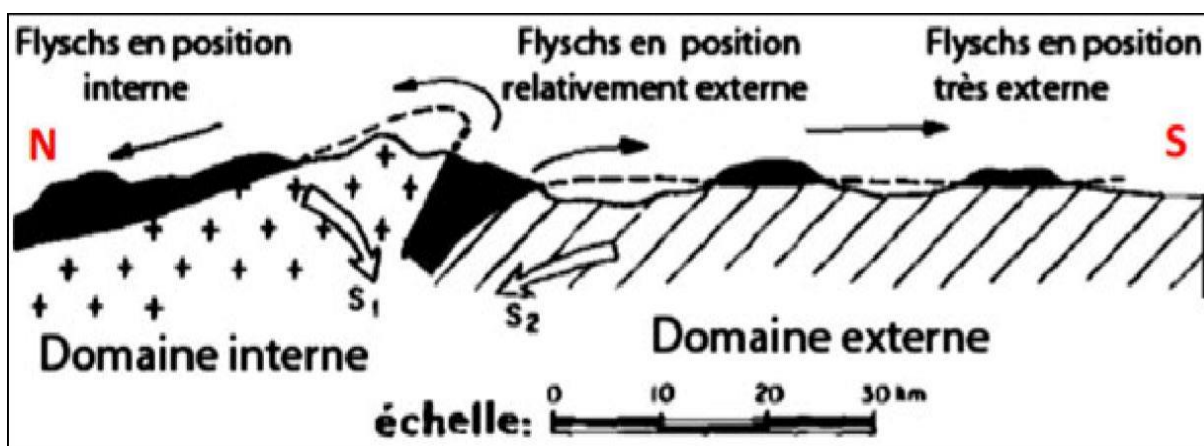


Figure 5 : Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides

2.2 Les zones externes

Les zones externes se sont les formations définies par Vila (1980) comme étant des séries épaisses à dominante marneuse issues du sillon tellien.

2.2.1 Les séries ultra-telliennes

Les séries ultra-telliennes comportent un créacé marneux et micritique clair, sur lesquels se dépose l'éocène à trois termes : marnes sombres à boules jaunes, calcaires à silex noirs et des marnes sombres

Chapitre 2 : Cadre Géologique

2.2.2 Les séries telliennes

Les séries telliennes comportent globalement, un jurassique essentiellement carbonaté, suivi par des marnes pélitiques gréseuses d'âge crétacé inférieur, qui, deviennent exclusivement marneuses et marno-calcaires jusqu'à l'éocène supérieur.

2.2.3 Les séries péni-telliennes

Les séries du lias au Sénonien supérieur, présentent des alternances de facies telliens typiques et des facies rappelant ceux des domaines néritiques Sétifiens ou Constantinois (Wildi, 1983).

2.3 La chaîne des Maghrébides

La chaîne des Maghrébides constitue un tronçon de la chaîne alpine d'Afrique du nord elle s'est différenciée par plusieurs domaines paléogéographiques qui sont actuellement en partie superposés.

Du Nord vers le Sud, se situe

- Au Nord, se trouvent **les zones internes**, composées de terrains cristallophylliens qui forment le socle kabyle, le segment le plus ancien de la chaîne. On y observe également des terrains principalement constitués de roches carbonatées, se manifestant sous forme d'affleurements linéaires discontinus, connus comme la chaîne calcaire ou dorsale kabyle. Cette dernière représente la couverture sédimentaire du socle.

- Juste en dessous, se trouve **le domaine des flyschs**, constitué de divers types de flyschs. Ces formations occupent une position déplacée et reposent de différentes manières sur les zones externes.

- Plus au Sud, on rencontre **les zones externes**, caractérisées par des séries de roches épaisses majoritairement marneuses, issues du sillon tellien.

3 La géologie locale

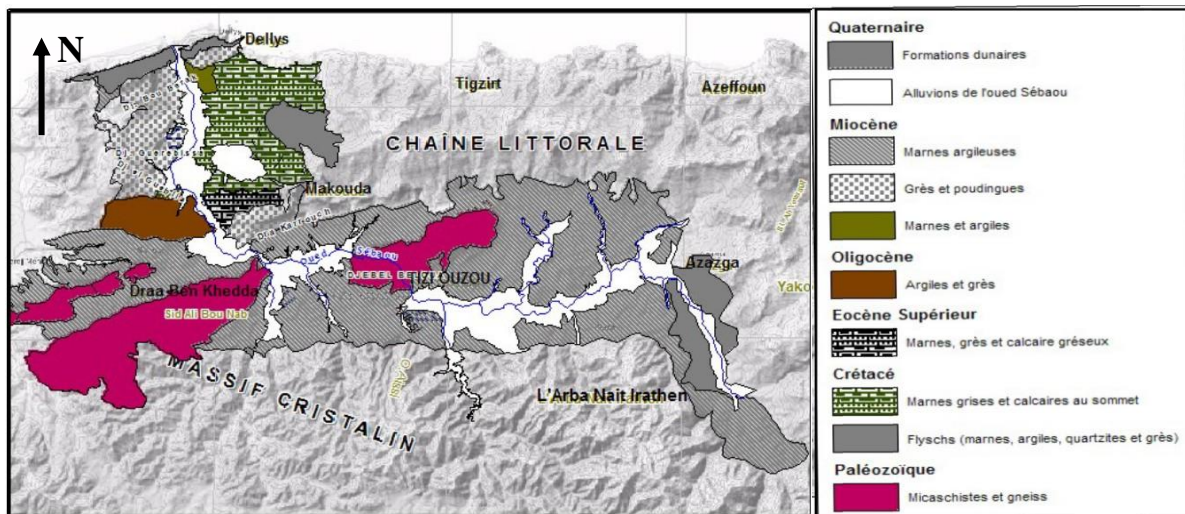


Figure 6 : Formations géologiques de la vallée du Sébaou (ANRH TO)

La vallée du haut Sébaou correspond à un bassin dans lequel sont accumulés des sédiments Mio-plio-quaternaires

3.1 Lithostratigraphie (les formations litho-stratigraphiques)

Notre région d'étude est caractérisée par les formations lithostratigraphiques suivantes :

3.1.1 Socle cristallin et cristallophyllien

Il est formé de terrains constitués par la superposition de roches cristallophylliennes d'âge protérozoïque et paléozoïque inférieur, c'est le substratum de la dorsale kabyle (Raoult, 1974), il est composé de trois ensembles :

-Le cristallophyllien inférieur, formé essentiellement de gneiss avec des intercalations de marbres et d'amphibolites, recoupés par des filons de quartz et de tourmalinites

-Le cristallophyllien supérieur, formé par des schistes satinés ou phyllades à quartz d'exsudation alternant localement avec des grès, des porphyroïdes œilées et des lentilles de calcaire métamorphiques

-La couverture sédimentaire paléozoïque, est représentée par des formations pélitiques, gréseuses et carbonatées peu ou pas métamorphiques, cette série du cambrien supérieur (Baudelot, 1979) au carbonifère moyen (Baudelot, 1976) est en discordance sur les phyllades.

Chapitre 2 : Cadre Géologique

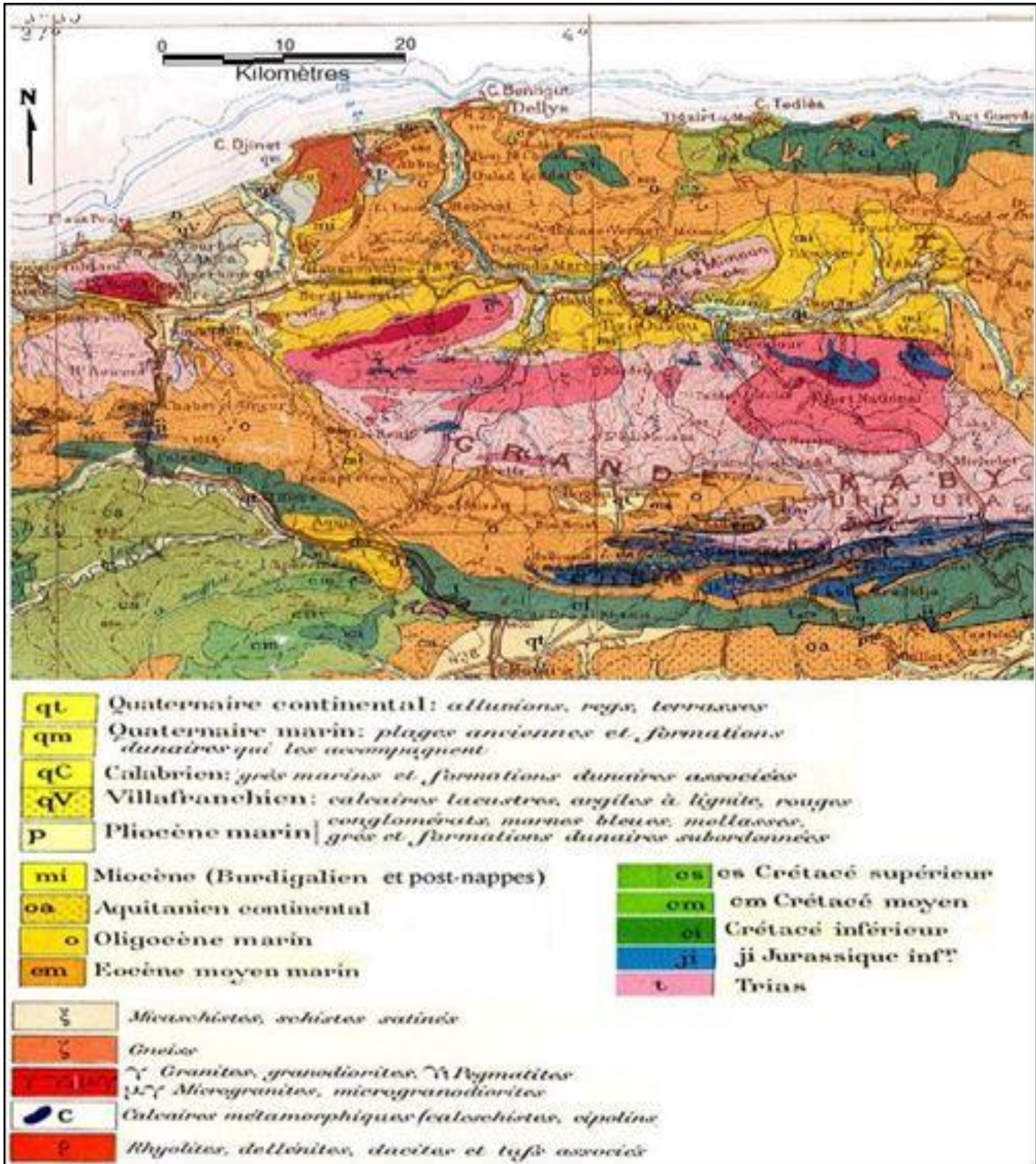


Figure 7 : Carte géologique du socle cristalloyllien de BV Sébaou (G.Betier et autres,1952)

Chapitre 2 : Cadre Géologique

Il forme l'essentiel des massifs des Ath Irathen en rive droite et des Ath Douala en rive gauche. Il est constitué de socle kabyle et comporte diverses variétés de roches cristallophylliennes métamorphisées (schistes, micaschistes, gneiss, marbres, pegmatites).

3.1.1.1 Les schistes et micaschistes

Les schistes sont d'aspect satiné et formés de séricite et de quartz, de couleur violacée ou bleutée, affleurant en contact avec les gneiss œillés dans le massif de LNI (Gani, 1988).

Les micaschistes sont de couleur marron sombre. La schistosité est soulignée par la biotite très abondante, ainsi que de veines de quartz qui sont injectées dans la roche.

Des cornéennes schisteuses micacées sont observées au contact des granites de Tighzert en rive gauche (Loumi, 1989).

3.1.1.2 Les gneiss

Ces roches métamorphiques (ortho-gneiss/ para-gneiss) en bandes à grains grossiers, gneiss œillés micacés ou à grenat, affleurent dans les massifs de LNI et Ath Aissi.

3.1.1.3 Les marbres/cipolins

Ils sont de couleur blanche à bleutée, affleurent le long des lignes de crêtes en barres rigides. Ils se présentent également en méga-lentilles orientées d'aspect sombre à minéraux avec des inclusions des pyrites (Loumi 1989, Gani, 1988)

3.1.1.4 Les amphibolites

Elles affleurent en banc de quelques mètres d'épaisseur dans les gorges d'Oued Aissi ou de trainées dans les calcaires métamorphiques colorant la roche en vert (Loumi, 1989).

3.1.1.5 Les granites et les pegmatites

Les granites sont représentés par une roche bien cristallisée de teinte gris à beige, d'âge anté-Silurien (Durand-Delga.1955). Sa mise en place est postérieure au métamorphisme régional (enclave de para-gneiss d'ortho-gneiss et d'Amphibolites).

Les pegmatites forment des roches très cristallisées de teinte très claire, observées près du granite de Tighzert, dans les gorges d'Oued Aissi, la route de Beni Douala et dans le massif de Larbaa Nath Irathen recoupant l'encaissant qui peut être du calcaire métamorphique ou des gneiss (Loumi, 1989). Les éléments sont constitués de quartz, muscovites, feldspaths et tourmalines en gros cristaux.

Chapitre 2 : Cadre Géologique

3.1.2 La dorsale kabyle (chaîne calcaire)

Le Djurdjura est une chaîne calcaire étroite discontinue elle est constituée essentiellement de terrains carbonatés allant du Trias à l'Eo-Oligocène, qui correspond à un empilement d'écaillés liées à l'orogénèse (alpin de l'éocène moyen. Encadrée par les roches cristallophylliennes du socle au Nord et par les flyschs crétacés au Sud. Cette chaîne est formée d'une série de plis aigus, dont les axes sont dirigés sensiblement de l'Ouest à l'Est. Elle laisse apparaître des bandes discontinues de grès rouges triasique, surmontées de calcaires liasiques. 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.

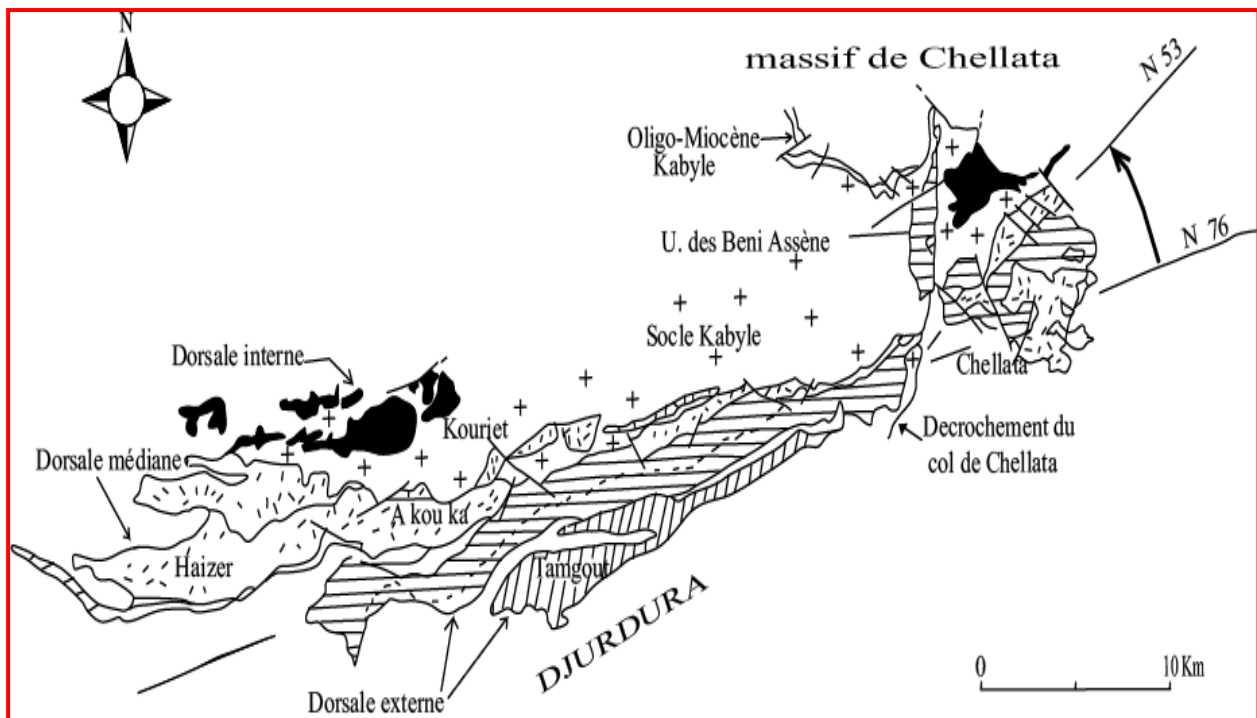


Figure 8 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la grande kabylie (J.P Gélard, 1979)

Les terrains qui constituent cette unité structurale sont d'âges divers (J. Flandrin)

D'après la lithostratigraphie, les auteurs définissent une dorsale interne, médiane et externe

3.1.2.1 Carbonifère

Les formations qui constituent la chaîne du Djurdjura débutent par des dépôts carbonifères qui surmontent les schistes cristallins. Le Carbonifère est représenté par une puissante série (environ 500 m) de dépôts.

Chapitre 2 : Cadre Géologique

3.1.2.2 Périmo- Trias et Trias

Ils sont représentés par des formations continentales formées essentiellement par des grès siliceux rouges, des calcaires en gros bancs ou lits, parfois en plaquettes, où dominent les calcaires dolomitiques.

3.1.2.3 Lias :

Représenté par des dépôts des calcaires dolomitiques et des calcaires en dalles

3.1.2.4 Crétacé

Les dépôts de cette période présentent de nombreuses lacunes sédimentaires, ces derniers n'affleurent pas dans notre zone d'étude.

3.1.2.5 Lutétien

Les dépôts de ces étages sont représentés essentiellement par de petits bancs de calcaires jaunes, surmontés par des calcaires massifs à nummulites. Au sommet, ces calcaires montrent progressivement des grains de quartz

3.1.2.6 Oligocène

Les dépôts de cet étage (Eo-Oligocène) sont de nature essentiellement détritique, allant des conglomérats les plus grossiers à des argiles schisteuses de teinte sombre.

3.1.2.7 Quaternaire

Les grandes falaises calcaires du Djurdjura sont généralement bordées par d'importantes masses d'éboulis, fréquemment cimentées et se transforment en brèches

3.1.3 L'oligo-miocène kabyle

Cet ensemble géologique est défini comme étant des faciès détritiques datés de l'oligocène terminal au miocène basal (Burdigalien inférieur), il est en discordance avec le socle kabyle. (D. RAYMOND ; 1976)

Il est formé par des conglomérats, suivi d'argiles à rares petits bancs microbréchiques riches en débris de socle et se termine au sommet par des calcaires silicifiés

3.1.4 L'unité numidienne

La série numidienne comprend de bas en haut la succession stratigraphique suivante :

-Les argiles sous numidienne : ce sont des argiles versicolores à fréquents tubotomaculum d'âge oligocène (J.P. Gélard, 1979)

Chapitre 2 : Cadre Géologique

-Les grès numidiennes : ces grès sont quartzeux avec des intercalations de granulométrie grossière et petites d'âge aquitanien, (J.P. Gélard, 1979)

-Les argiles supra numidiennes : ce sont des argiles et marnes avec des intercalations de silicites d'âge Aquitanien supérieur-Burdigalien inférieur.

-Le Numidien couvre de façon plus ou moins continue une grande partie de la grande Kabylie et affleure principalement dans les massifs d'Akfadou, à l'Est d'Azazga et dans la forêt de Mizrana, (J. P. Gélard ,1979)

3.1.5 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 que nous vrons plus loin. Ces flysch se subdivisent en deux séries : la série mauritanienne et la série massyenne.

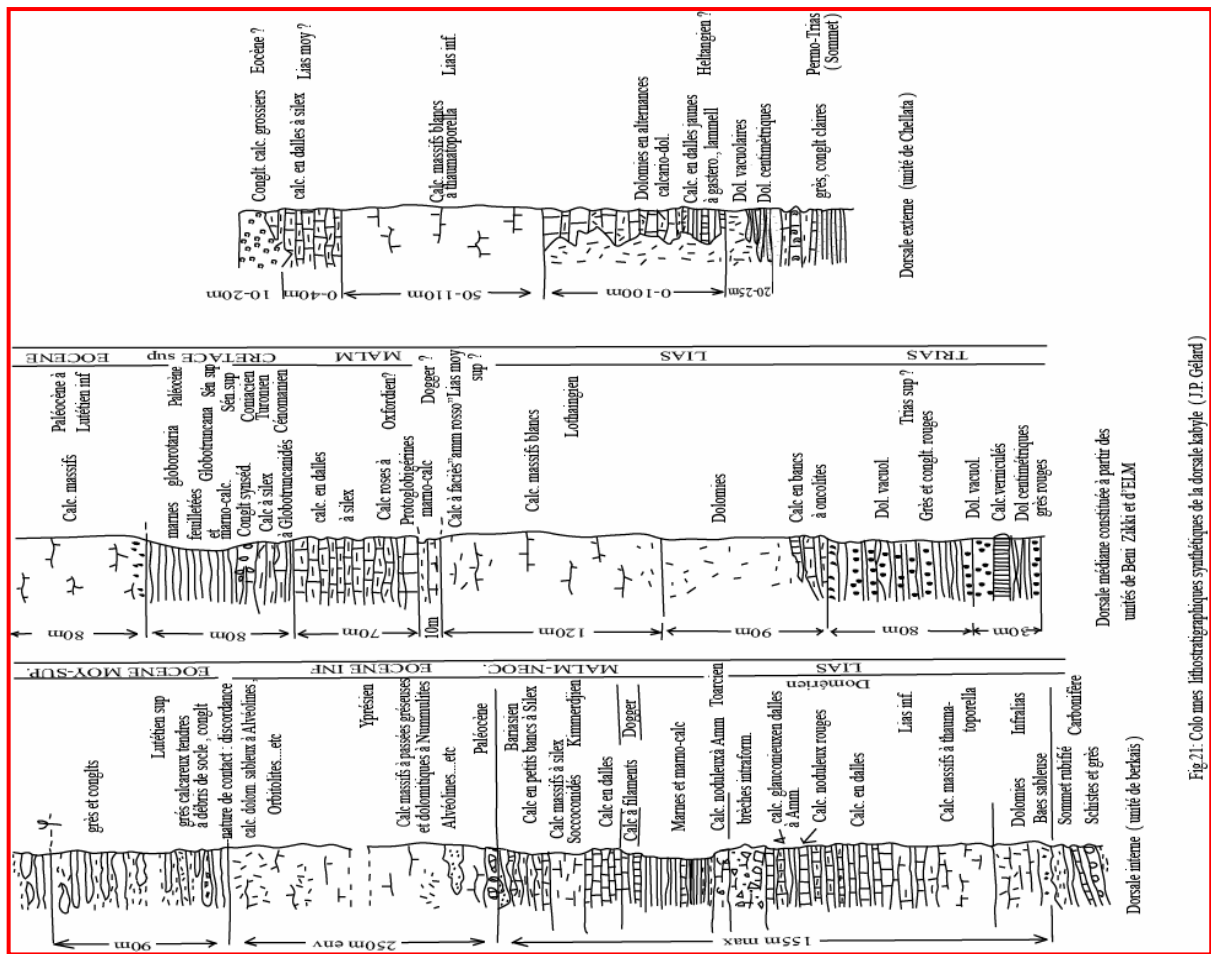


Figure 9: Colonnes litho stratigraphiques de la dorsale kabyle (J.P. Gélard, 1979).

Chapitre 2 : Cadre Géologique

Le flysch du haut Sébaou-Azazaga : Ce flysch présente des affinités à la fois avec le Massylien et le Mauritanien. Il s'agit généralement d'un flysch où le faciès argileux est dominant. Sur les calcaires fins, datés du berriasien moyen-supérieur, on distingue :

→ Un ensemble essentiellement argileux formé par :

Une puissante série argileuse accompagnée de bancs de grés ou de grés quartzitiques.

- Des grés en bancs réguliers séparés par des pélites sombres (Aptien supérieur Albien).
- Des marnes et argiles bleutées à passées rouges d'âges Aptien-Albien.

→ Des calcaires fins interstratifiés par fois avec des phanites peu épaisses et souvent argileuses.

→ Des argiles et marnes grises ou bleutées présentant des passés rougeâtres. Elles sont datées du Maestrichtien.

→ Des marnes roses ou rouges et des bancs de calcaires organoclastiques datées du Sénonien terminal-Paléocène supérieur.

Chapitre 2 : Cadre Géologique

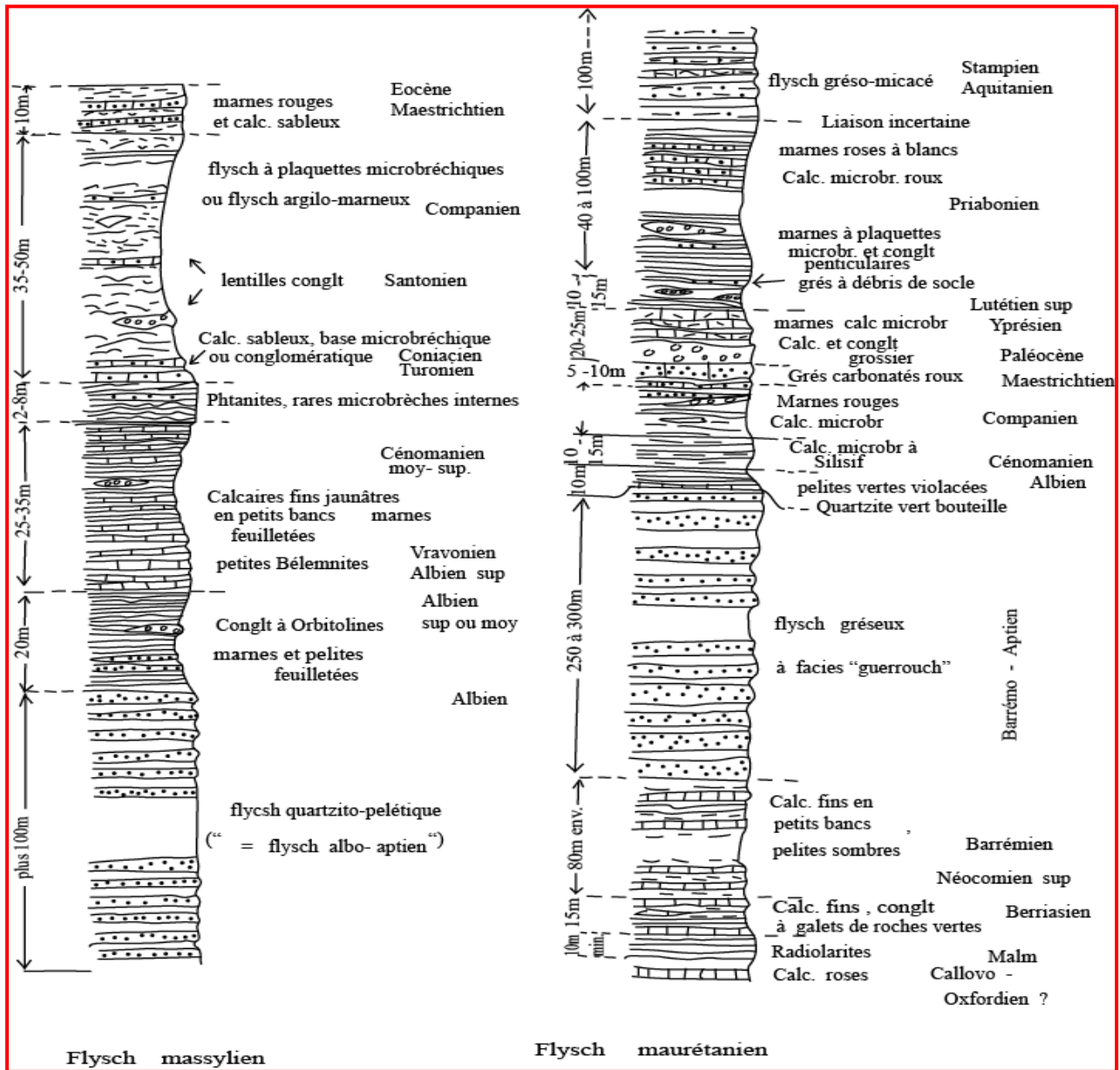


Figure 10 : Colonnes litho stratigraphiques des flyschs Massylien Et Mauritanien (J.P. Gélard, 1979).

3.1.6 L'olistostrome ou (Argiles à blocs)

C'est une formation à matrice tendre (argileuse, marneuse, ou pélitiques) lités ou chaotique dans laquelle sont dispersés de menus débris qu'accompagnent des blocs ou panneaux (olistolites) de tailles variables d'âge Aquitainien supérieur-Burdigalien inférieur (J.P. Bouillin, 1973).

Les olistostromes se présentent suivant 2 cas :

Chapitre 2 : Cadre Géologique

L'olistostrome I : avec une stratigraphie faisant suite à l'Oligo-miocène kabyle, il est surmonté tectoniquement par le flysch du haut Sébaou. Cet olistostrome est en position haute et affleure à Kouanine et Draa Karrouch

L'Olistostrome II : est en position basse et s'intercale entre le flysch du haut Sébaou et la série numidienne, Il affleure sur la route d'Azazga-Ain El Hammam (D. Raymond, 1976 ; J.P. Gélard 1979)

3.1.7 Formation post nappe

3.1.7.1 Le miocène

Lemiocène occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys. Au Burdigalien terminal, LeMiocèneprésenteà sa base des marnes puis des conglomérats surmontés par la molasse et se termine par des marnes

Au langhien-serravalien, le Miocène est représenté par des grès surmontés de marnes. Les grès sont discordants sur le socle et les marnes tapissent l'ensemble du synclinale de Tizi-Ouzou, Ces derniers constituent l'ensemble le substratum des formations alluviales aquifères

3.1.7.2 Les roches volcaniques

Ces roches n'apparaissent pas dans notre région d'étude

3.1.7.3 Le pliocène

Le pliocène est constitué par une sédimentation marine, Ce sont des marnes grises avec des intercalations locales de lumachelles à huitres et pectinidés.

Le pliocène repose en discordance sur le Burdigalien supérieur dans la vallée de l'oued El Arbaa et à Djerabet.

3.1.8 Formation quaternaire

Il est représenté dans le synclinal miocène par des dépôts alluvionnaires, anciens, récents et actuels, dont les âges pour les termes anciens et récents sont indéterminés.

Ces dépôts s'agissent de dépôts de galets, sables grossiers et fins, graviers, limons et argiles qui se présentent sous formes de terrasses étagées.

Reflétant les différentes phases dues à notre avis a une tectonique post-miocène et a des variations de niveau de base en relation avec celle de niveau de la mer (Glaciation, Déglaciation, épigénie)

4 Cadre tectonique

Dans cette étude on va essayer de décrire les grands évènements tectoniques ayant marqué l'histoire géologique de la région d'étude

4.1 Le socle cristallophyllien

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

4.1.1 Déformations cassantes

Elles affectent toutes les unités tecto-métamorphiques ainsi que le granite de Taboudrist et le Miocène discordant (LOUMI, 1989). Dans les deux régions de Beni Douala et du massif de Larbaa Nath Irathen les familles d'accidents subverticaux sont de directions moyennes

Failles de direction N090 : qui jouent en failles normales affectant les terrains d'âge Miocène.

Failles de direction N180 : qui sont des failles normales et d'autres décrochantes.

Failles de direction N140 : qui sont des accidents profonds telles que celui de Mekla, massif de Chellata (suite d'accidents discontinus)

Les orthogénies de l'Oued Aissi sont affectés par un mouvement dextre orienté à N140 et un jeu de faille inverse orienter à N140-70°SW

Failles de direction N005- N035- N065- N135, elles représentent des failles normales et/ou décrochantes.

Les failles de direction N135 sont largement reconnues qui se représentent en couloire d'accident probablement décrochant, dont le jeu est essentiellement dextre. (Gani, 1988).

4.1.2 Tectonique de miocène post nappes

Dans la région de Tizi-Ouzou, le Miocène « Post nappe » participe aux déformations de socle, c'est ainsi que sont réalisées des structures de directions N70. Tous les plis sont à plan axial verticale, excepté l'anticlinal de Dra-Karrouch, Déversé vers le sud.

Chapitre 2 : Cadre Géologique

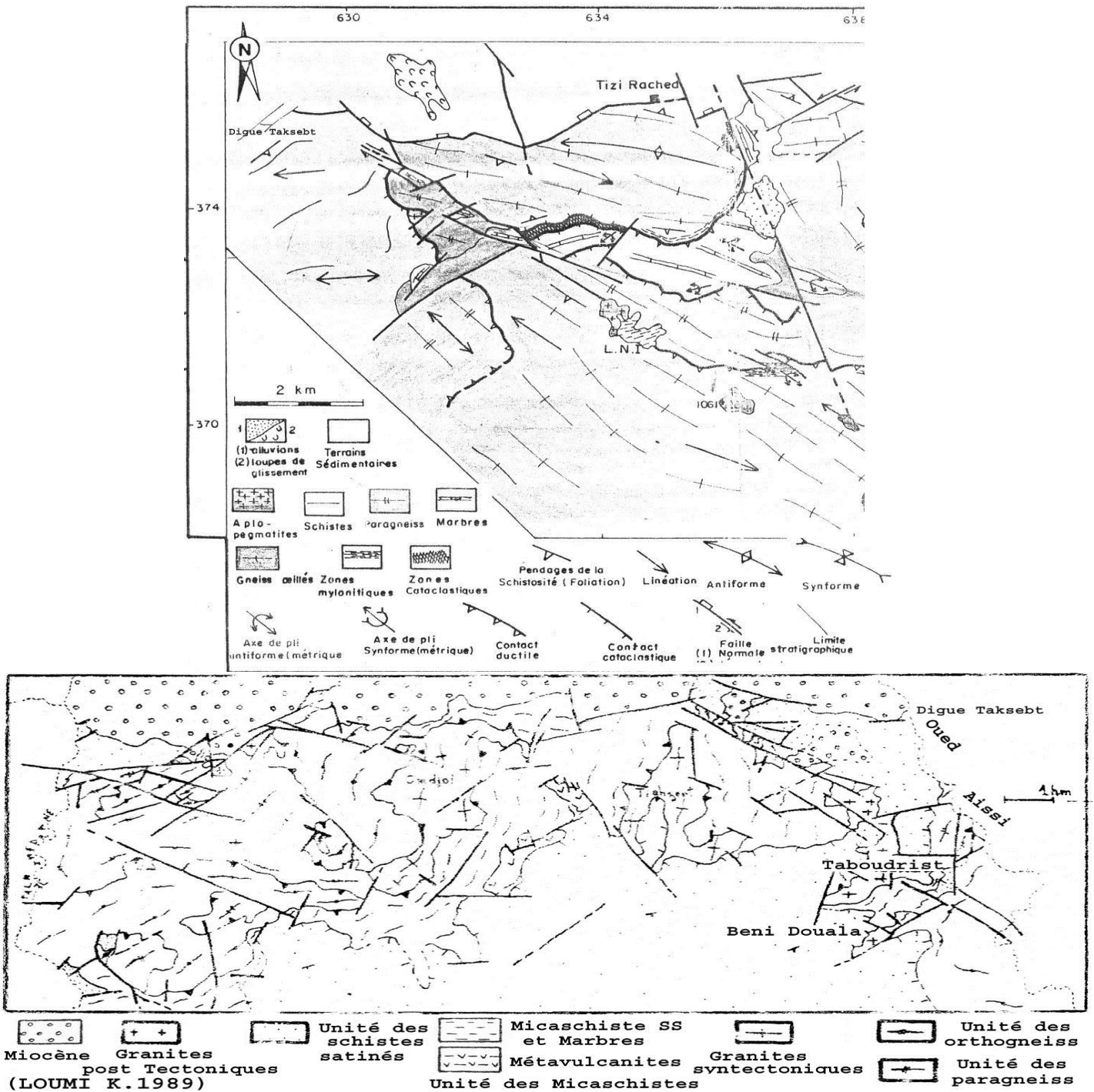


Figure 11 : Cartes des fracturations de la zone étudiée (Gani, 1988) et (Loumi, 1989)

Chapitre 2 : Cadre Géologique

4.1.3 Déformation ductile (plissement)

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 oeilée) (Gani.1988 ; loumi. 1989).

La chaîne de Djurdjura

La structure générale du Djurdjura correspond à un empilement d'écailles de direction N070 qui forment des plis anticlinaux de direction Est-Ouest, à plans axiaux redressés et déversés vers le Sud. Elles sont dominées par les puissantes masses calcaires du Lias inf qui sont fissurées et fracturées particulièrement karstifiées. Des accidents transversaux les délimitent et les découpent longitudinalement en Dorsales (interne, médiane et externe). Latéralement les directions N140 individualisent des ensembles tectoniques.

Cet ensemble est soulevé et décomprimé. Il disparaît progressivement vers l'Ouest sous la couverture mollassique Eo-Oligocène par plongement d'axe dans cette direction. Cette décompression favorise l'ouverture d'accidents longitudinaux.

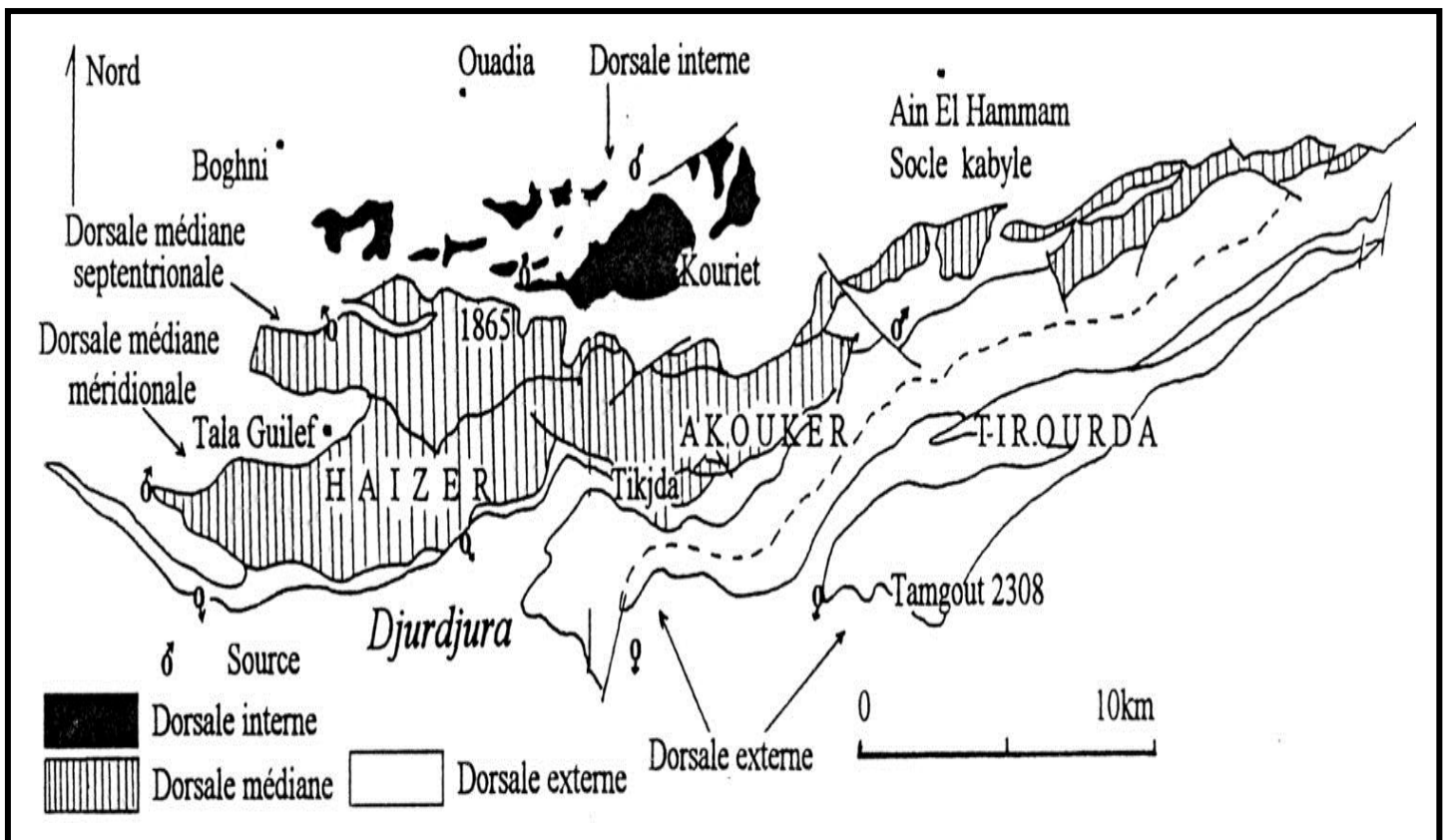


Figure 12 : Carte schématique des dorsales du Djurdjura (J.P. Gélard, 1976) et vue des écailles redressées.

5 Conclusion

Le bassin versant constitue par des formations d'âge paléozoïque à quaternaire affectées d'une tectonique souple et cassante.

L'orogénèse alpine est la plus caractéristique de la région

Du point de vue intérêt hydrogéologique seuls les formations alluvionnaires du quaternaire et les formations jurassiques et crétacées de Djurdjura (la chaîne calcaire) jouent le rôle d'un réservoir, quant au miocène marneux son rôle de substratum imperméable pour la nappe de quaternaire n'est pas négligeable.

Chapitre 3 : Bassin Versant du Haut Sébaou

Chapitre 3 : Bassin versant du Haut Sébaou

Chapitre 3 : Bassin versant du Haut Sébaou

1 Introduction :

Chaque cours d'eau draine une certaine surface de terrain appelée bassin versant. Le bassin versant fonctionne donc comme un collecteur chargé de recueillir les précipitations et de les transporter par écoulement vers le point le plus bas appelé exutoire. Cette transformation est plus ou moins rapide suivant les caractéristiques physiques du bassin.

La morphométrie du bassin fait partie des facteurs permanents, leur variation influe sur les modalités des écoulements superficiels et leur analyse permettra une meilleure compréhension des causes de variation des régimes hydrogéologiques.

Le bassin versant de la vallée de Sébaou (codé 02 au répertoire de l'ANRH) subdivisé en 06 sous bassins répartis de façon inégale sur le Haut, Moyen et le Bas Sébaou

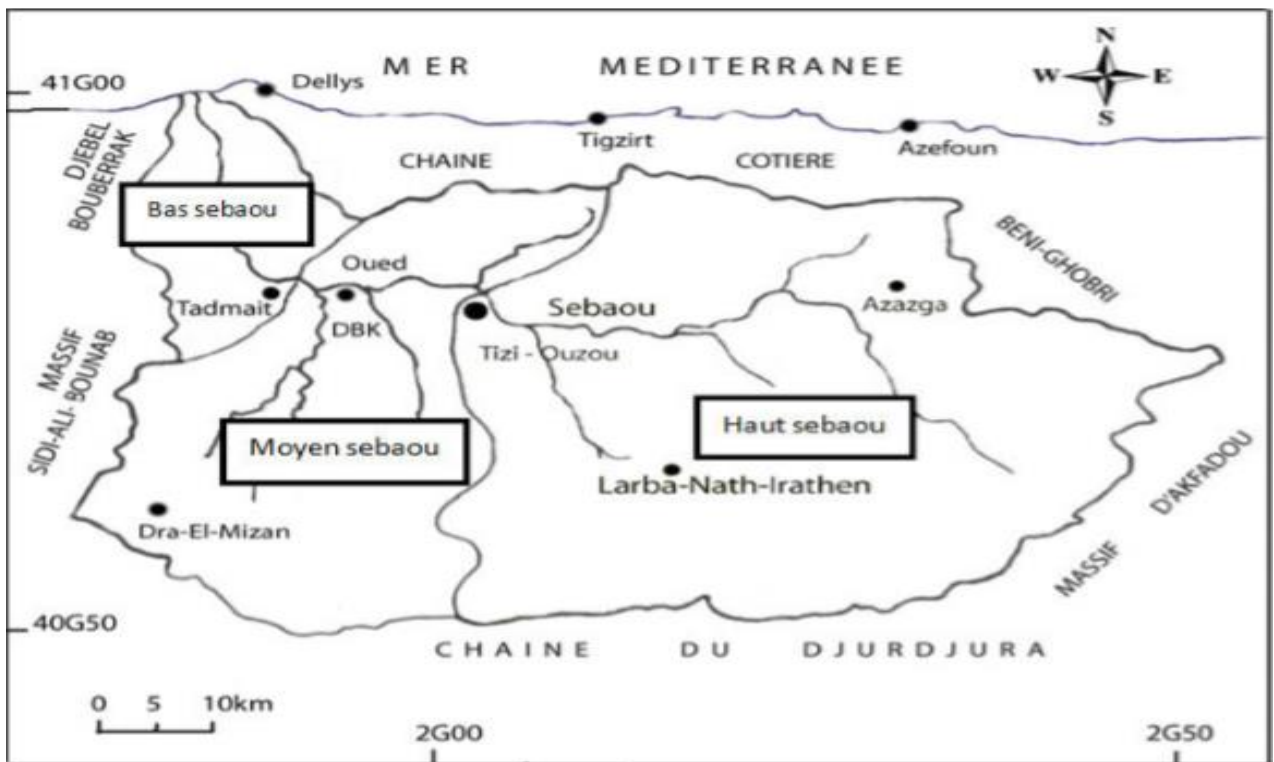


Figure 13 : Carte du bassin versant de l'Oued Sébaou et sa subdivision (ANRH)

Notre étude est basée sur le Haut Sébaou dont la subdivision de ce dernier est reparti sur 3 sous bassin (02/15, 02/16 ,02/17) (figure 14).

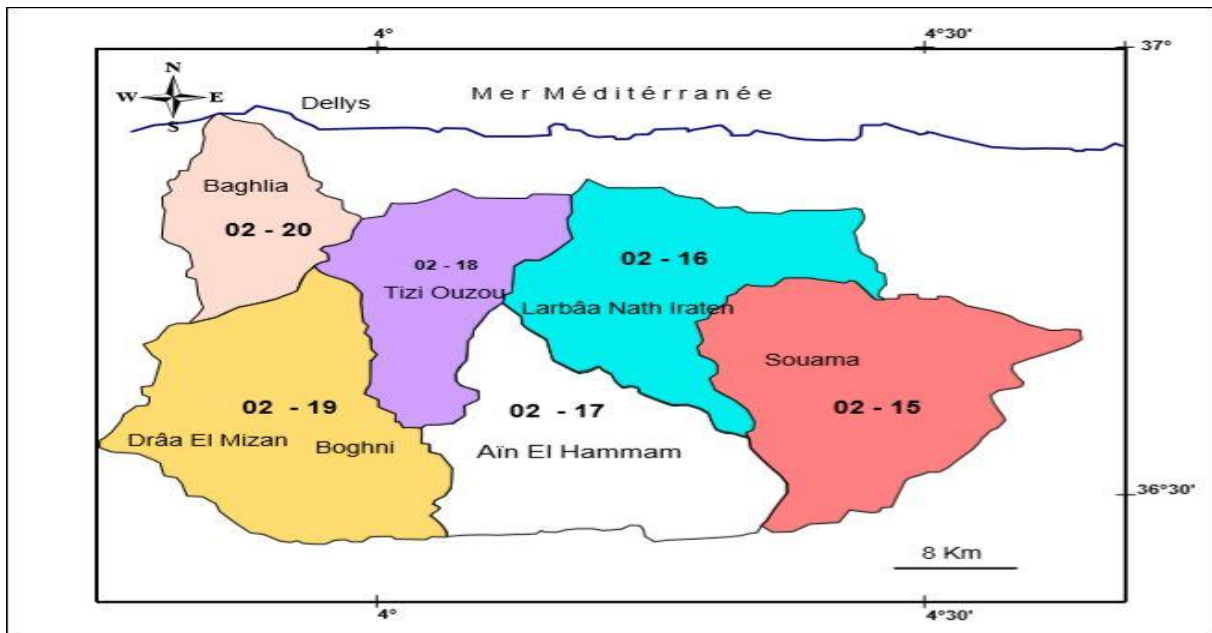


Figure 14 : Carte des sous bassins du Sébaou (F.Hadjou,2008)

Limite géographique et géomorphologique

Le bassin versant de Haut Sébaou est limité :

- **Au nord:** par la chaîne littorale et la mer Méditerranée.
- **Au sud:** par la chaîne de Djurdjura (chaîne calcaire)
- **à l'ouest:** la cluse de Beloua
- **à l'est:** le bassin versant de la Soummam.

2 Réseau hydrographique de Haut Sébaou

Le réseau hydrographique est défini comme l'ensemble de cours d'eau naturels (rivières) ou artificiels (réseaux) drainant un bassin versant.

Chapitre 3 : Bassin versant du Haut Sébaou

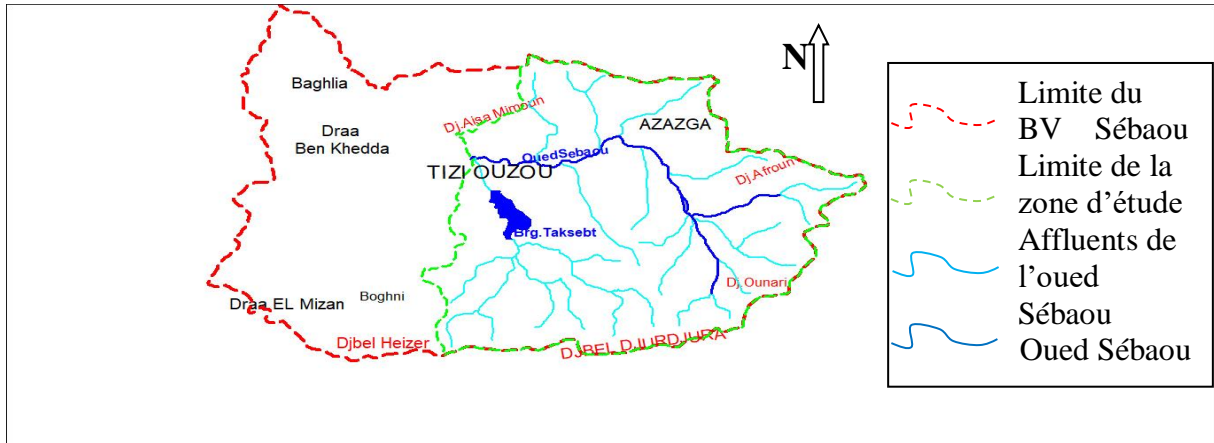


Figure 15 : Réseau hydrographique de Haut Sébaou

Selon la répartition du réseau hydrographique du bassin versant de haut Sébaou, On distingue une rivière principale à écoulement permanent, appelée l'oued Sébaou et de ces affluents, qui se répartissent comme suit :

Oued Boubhir : dans le sous bassin 02/15

Oued Dis : dans le sous bassin 02/16

Oued Aissi : dans le sous bassin 02/17

Ces principaux affluents sont caractérisés par un écoulement intermittent.

3 Caractéristiques morphométriques de Haut Sébaou

Le bassin versant de Haut Sébaou s'appuie sur divers paramètres qui jouent un rôle très important dans l'aspect hydrologique tels que la forme, l'altitude, la pente, le relief...etc.

3.1 Paramètres géométrique

3.1.1 La surface A

La surface est la plus importante des caractéristiques, ce s'exprime en km^2

$$A = 1460 \text{ km}^2$$

3.1.2 Le périmètre P

$$P = 188.4 \text{ km}$$

3.2 Paramètre de relief :

3.2.1 Le coefficient de compacité de gravelius Kc

C'est la caractéristique de forme $kc = 0.28 * P / \sqrt{A}$

$$Kc = 1.38$$

Chapitre 3 : Bassin versant du Haut Sébaou

3.2.2 La longueur L du rectangle équivalent

$$L = Kc * \frac{\sqrt{A}}{1.128} * (1 + \sqrt{1} - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2)$$

$$L = 62.259 \text{ km}$$

3.2.3 La largeur l du rectangle équivalent

$$l = Kc * \frac{\sqrt{A}}{1.128} * (1 - \sqrt{1} - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2)$$

$$l = 15,51 \text{ km}$$

3.3 Caractéristique hypsométrique

C'est la dispersion des altitudes ; l'étude statistique de cette dernière permet de tracer la courbe hypsométrique

Tableau 1 : Caractéristique hypsométrique du Haut Sébaou (Agrouche .S,2021)

Altitude (m)	Surface a_i (km ²)	H_i (m)	$a_i h_i$	Surface a_i (%)	a_i cumule
1800-2000	4.208	1900	7995.2	0.32	0.32
1800-1600	18.679	1700	31754.3	1.43	1.75
1600-1400	35.107	1500	52660.5	2.69	4.44
1400-1200	65.017	1300	84522.1	4.99	9.43
1200-1000	112.53	1100	123783	8.63	18.06
1000-800	157.31	900	141579	12.08	30.14
800-600	268.2	700	187740	20.58	50.72
600-400	299.84	500	149920	23	73.72
400-200	315.78	300	94734	24.23	97.95
200-0	26.66	100	2666	2.05	100

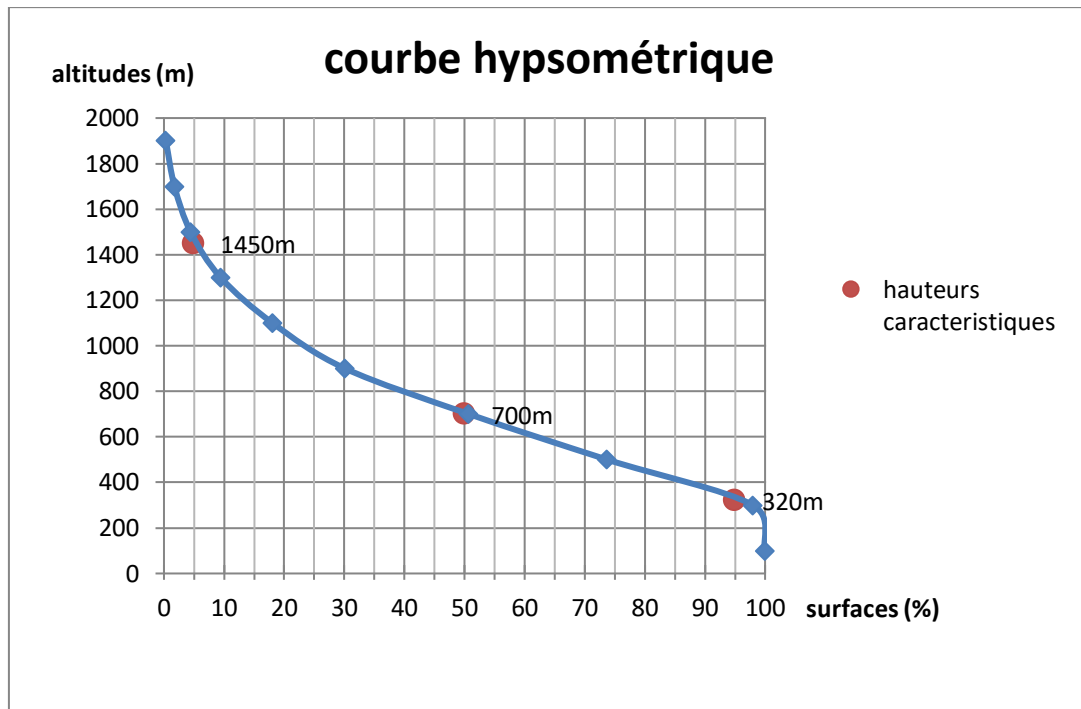


Figure 16 : Courbe hypsométrique

Altitude moyenne : elle est obtenue par la forme suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i a_i}{A}$$

H_i : l'altitude moyenne entre les deux courbes de niveau (m).

a_i : Surface partielle et tranche d'altitude (km^2)

A : la surface du bassin versant (km^2)

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i a_i}{A} \Rightarrow H_{\text{moy}} = \frac{877354.1}{1460} = \mathbf{600.9 \text{ m.}}$$

La courbe hypsométrique (figure16) montre la répartition de la surface de notre zone d'étude en fonction des altitudes ; les altitudes caractéristiques sont comme suit :

- Altitude de fréquence H5% :1450m
- Altitude de fréquence H95% :320m
- Altitude de fréquenceH50% :700m
- Altitude maximale : 1900m
- Altitude minimale : 100m

Chapitre 3 : Bassin versant du Haut Sébaou

➤ Altitude moyenne : 600.9m

Tableau 2 : Les altitudes caractéristiques de Haut Sébaou

Altitude de fréquence H5%	Altitude de fréquence H95%	Altitude de fréquence H50%	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)
1450	320	700	1900	100	600.9

3.3.1 Indice de pente globale

Sa formule est :

$$I_g = \frac{D}{L} \text{ Avec : } D = H5\% - H95\%$$

$$I_g = 18.15$$

3.3.2 Dénivelé spécifique (Ds)

L'indice de pente globale décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. Donc il est nécessaire d'introduire la notion de dénivelée spécifique afin de comparer des bassins de tailles différentes à l'aide de cette formule :

$$D_s = \frac{D}{L} \sqrt{A} \quad D_s = 693.47$$

Tableau 3 : Paramètres morphologiques de Haut Sébaou

Paramètres morphologiques	Valeurs
la surface A (km ²)	1460 km ²
Le périmètre P (km)	188.4
Le coefficient de compacité de gravelius Kc	1.38
La longueur L du rectangle équivalent (km)	62.259
La largeur l du rectangle équivalent (km)	15,51
Indice de pente globale (I _g)	18.149
Dénivelé spécifique D _s	693.47

4 Conclusion

Le bassin versant de la vallée de Sébaou, codé 02 au répertoire de l'ANRH, est subdivisé en 06 sous bassins répartis de façon inégale sur le Haut, Moyen, le Bas Sébaou.

Avec un coefficient de compacité de gravelius de l'ordre de 1,38 ; le bassin versant est de forme allongée.

L'altitude moyenne du bassin versant est de 600,9 m, cependant, le dénivelé spécifique, de 693,47 m, indique un relief très fort.

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Chapitre 4 : Hydro-climatologie.

1 Introduction

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (Castany 1998).

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et de dégager l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre. Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisi six stations climatiques, réparties sur la surface du bassin versant du Haut Sébaou, couvrant une période de 30ans (1990-2020) (figure 17), les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau 4.

Tableau 4 : stations climatiques et leurs répartitions sur le Haut Sébaou

Nom de Station	Code (ANRH)	X Lambert (km)	Y Lambert (km)	Z (m)
AGHRIBS (Adrar)	021601	645,1	391,25	680
LARBAA MAKOUDA	021805	622,65	390,15	520
AIT DJEMAA	021717	621,45	356,85	840
LARBAA NATH IRATHEN	021705	634,9	370,8	980
BENI YENNI	021712	635	365,25	760
BERBER (ex S. EL HAD)	021607	639,35	391,8	490

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Malgré cet intérêt indéniable qu'apporte aux ressources en eau, la neige reste le facteur le moins étudié dans le bassin du Sébaou en l'absence de stations d'observation appropriées en hautes montagnes (pluviomètre totaliseur).

2.1.1 Evaluation des précipitations annuelles dans les stations étudiées sur la période 1990-2020

Tableau 5 : Les précipitations annuelles dans les stations étudiées sur la période 1990-2020 (ANRH)

Année	Aghrib	Ait Aicha	Ait Djemaa	Azazga	Beni Yenni	Berber
1990	1063	832	952	831	843	1092
1991	1044	853	782	821	726	1000
1992	1030	810	875	787	702	983
1993	782	529	609	668	619	698
1994	1133	944	948	900	923	996
1995		825	1026	1101	891	1032
1996	739	478	566	664	506	665
1997	1657	1021	1207	1320	1192	1421
1998	1140	745	785	860	768	985
1999	884	607	687	605	624	727
2000	992	665	708	706	785	816
2001	762	492	526	523	480	601
2002	1631	1266		1255	1367	1527
2003		802	972	969	904	1527
2004		731	776	815	880	1032
2005		810	955	815	754	1039
2006		835	948	869	698	
2007		878	742	994	956	1286
2008		933			1186	1376
2009			913			
2010		938			1113	1227
2011	1360				1024	1287
2012		959	909		981	1227
2013			953		922	
2014					1068	
2015			852			
2016			715		681	
2017		1070	1005		969	
2018		1059	1075		966	1159
2019		681	673		688	624
2020			784			687

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Les figures 18 et 19 montrent l'évolution des précipitations annuelles des stations étudiées durant la période de 1990 jusqu'à 2020, nous constatons une variation des apports en quantité de pluie annuelle dont le maximum est enregistré dans la station Aghrib en 2002 (1631mm) et la valeur minimale enregistrée, (492mm) à la station Ait Aicha en 2001.

L'analyse de la courbe moyenne des précipitations annuelles sur les figures 16 et 17 montrent un même régime pluviométrique qui s'enregistre sur les six stations avec une différence de lame d'eau qui est probablement due aux altitudes de localisation des stations.

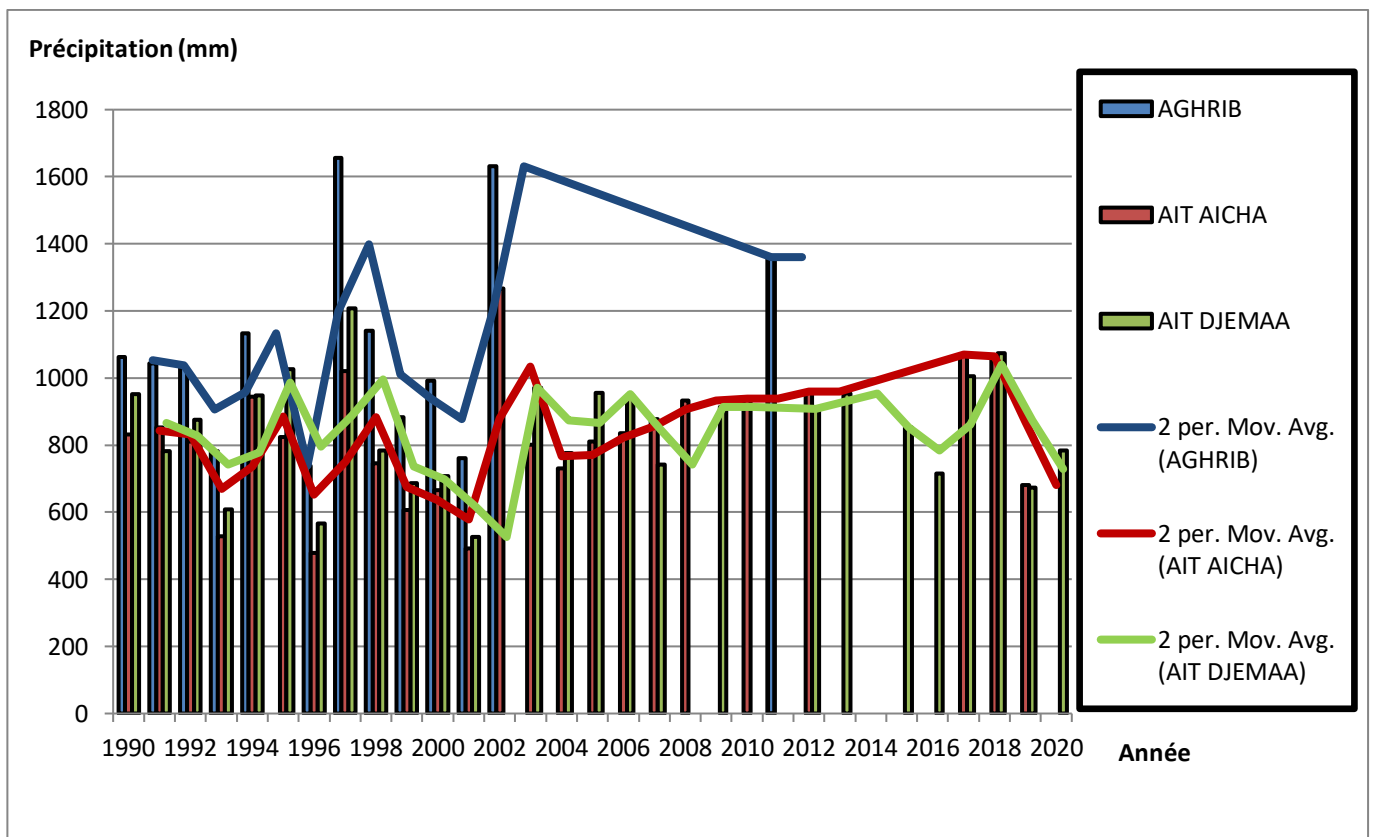


Figure 18 : Evaluation des précipitations annuelles dans les stations (Aghrib, Ait Aicha, Ait Djemaa) sur la période 1990-2020

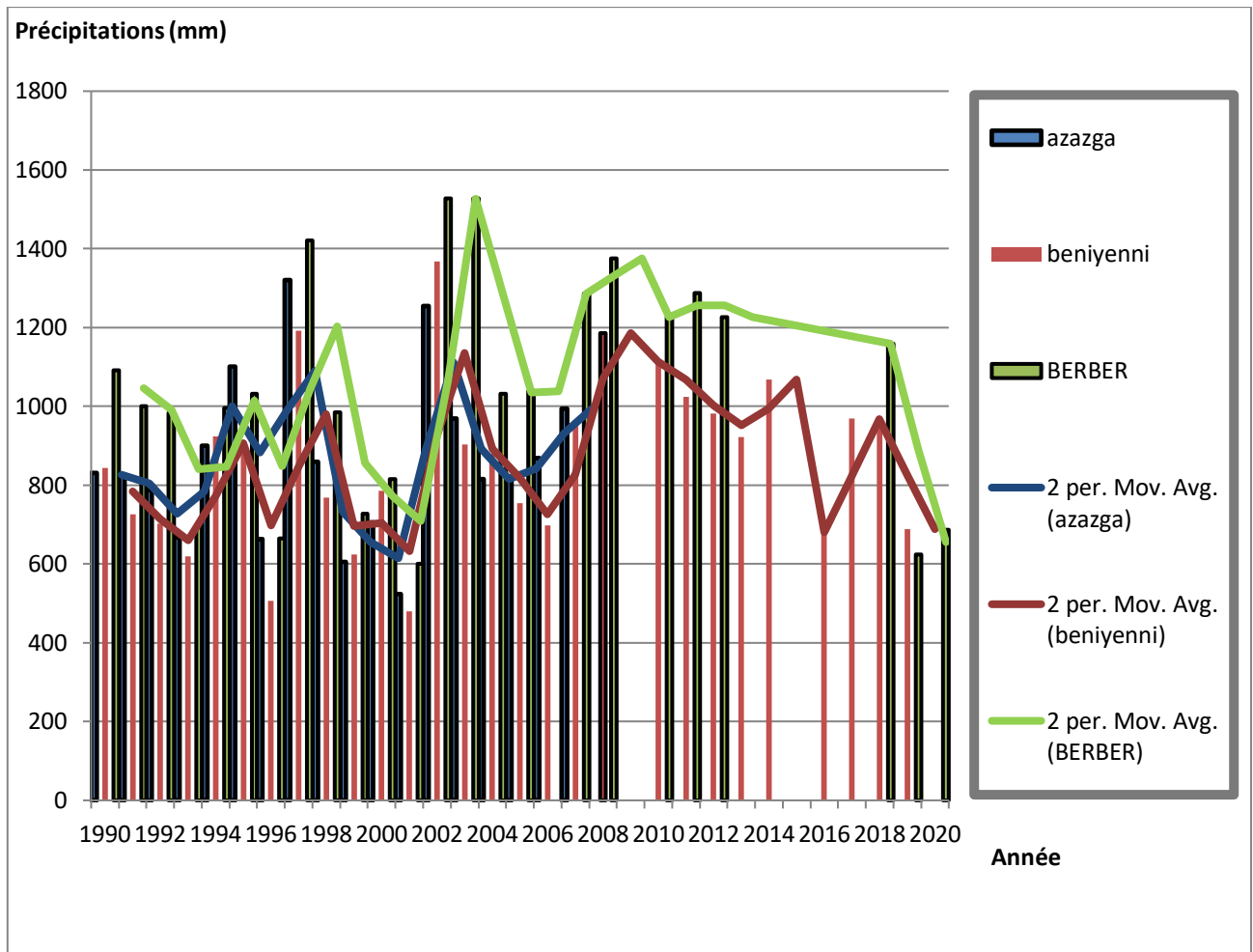


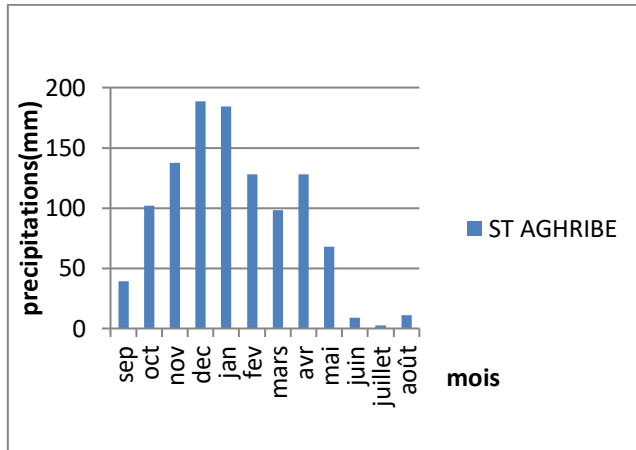
Figure 19 : Evaluation des précipitations annuelles dans les stations (Azazga, Beni Yenni, Berber) sur la période 1990-2020.

2.1.2 Evaluation des précipitations moyennes mensuelles dans les stations (Aghrib, Ait Aicha, Azazga, Berber) sur la période 1990-2020

Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées au niveau du Haut Sébaou sur la période 1990-2020, pour les stations d'observation citées dans le tableau 4, nous montrent que les précipitations sont réparties sur deux périodes qui traduisent les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle.

Une saison pluvieuse humide s'étalant du mois de septembre à avril avec un maximum enregistré au mois de décembre et janvier. Une saison sèche s'étale du mois de mai au mois d'aout.

Chapitre 4 : Hydro-climatologie



Fig(a) : station Aghrib

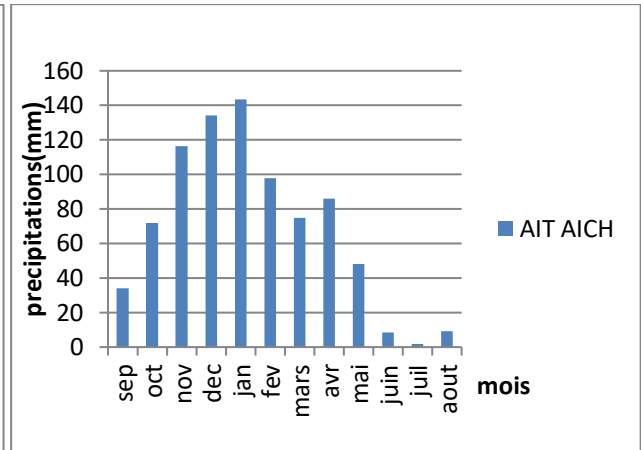
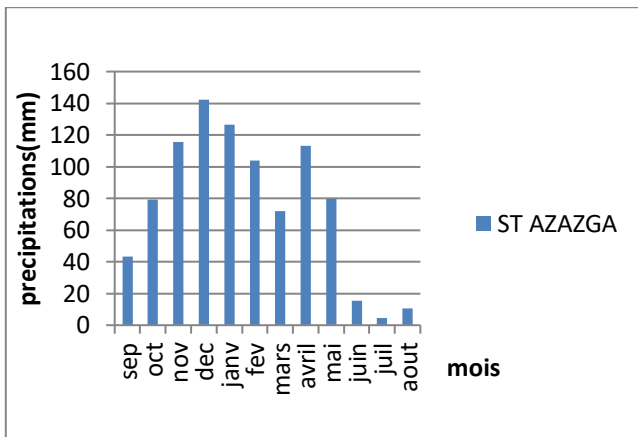
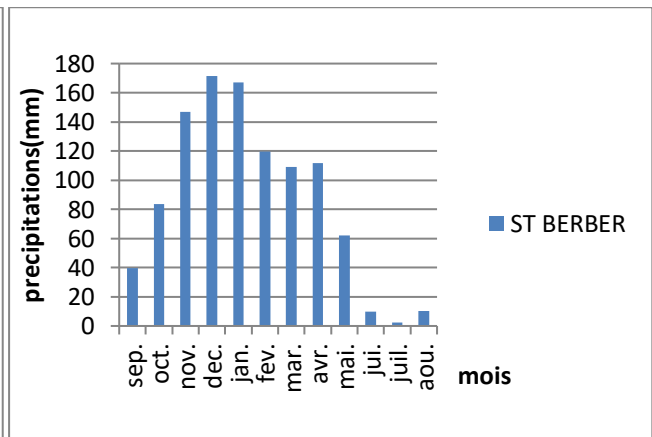


Fig (b) : station Ait Aicha



Fig(c) : station Azazga



Fig(d) : station Berber

Figure 20 : Evaluation des précipitations moyennes mensuelles dans les stations (Aghrib, Ait Aicha, Azazga, Berber) sur la période 1990-2020

2.1.3 Calcul de la lame d'eau précipitée

La connaissance du module pluviométrique moyen ou la pluviométrie moyenne annuelle, calculée sur une longue série d'années est capitale, car elle dépend de la puissance moyenne des cours d'eau, le débit moyen annuel ou module hydrométrique.

L'essentiel donc est de passer de la connaissance des totaux précipités en certains points du bassin versant à une estimation valable de la tranche d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant.

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

A cet effet nous allons appliquer la méthode arithmétique pour calculer cette lame d'eau précipitée sur le bassin versant de Haut Sebaou :

La moyenne arithmétique des précipitations annuelles est donnée par la formule suivante :

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

Tels que : P_i : pluviométrie moyenne annuelle à la station i , en mm

N : nombre de stations

Dans ce cas : $P = 908,6$ mm

2.2 Les températures

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau.

C'est pourquoi ses études s'avèrent nécessaires dans l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région.

Le tableau ci-dessous résume les données concernant ces paramètres mesurés uniquement à la station de Tizi-Ouzou pendant la période 1990-2014 :

Tableau 6 : Température moyenne mensuelle avec les maxima et les minima durant la période 1990-2014 (ONM)

MOIS	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI.	JUI.	JUIL.	AOU.
T° MOY DES MAXIMA	31,44	26,92	19,78	16,09	15,36	16,46	19,51	21,69	26,13	31,52	35,49	35,65
T° MOY DES MINIMA	18,84	15,38	11,03	7,44	6,3	6,56	8,53	10,38	13,95	18,01	21,09	21,78
T° MOY MENSEUELLE	24,39	20,51	14,72	11,34	10,22	10,76	13,42	15,53	19,45	24,46	27,71	27,92

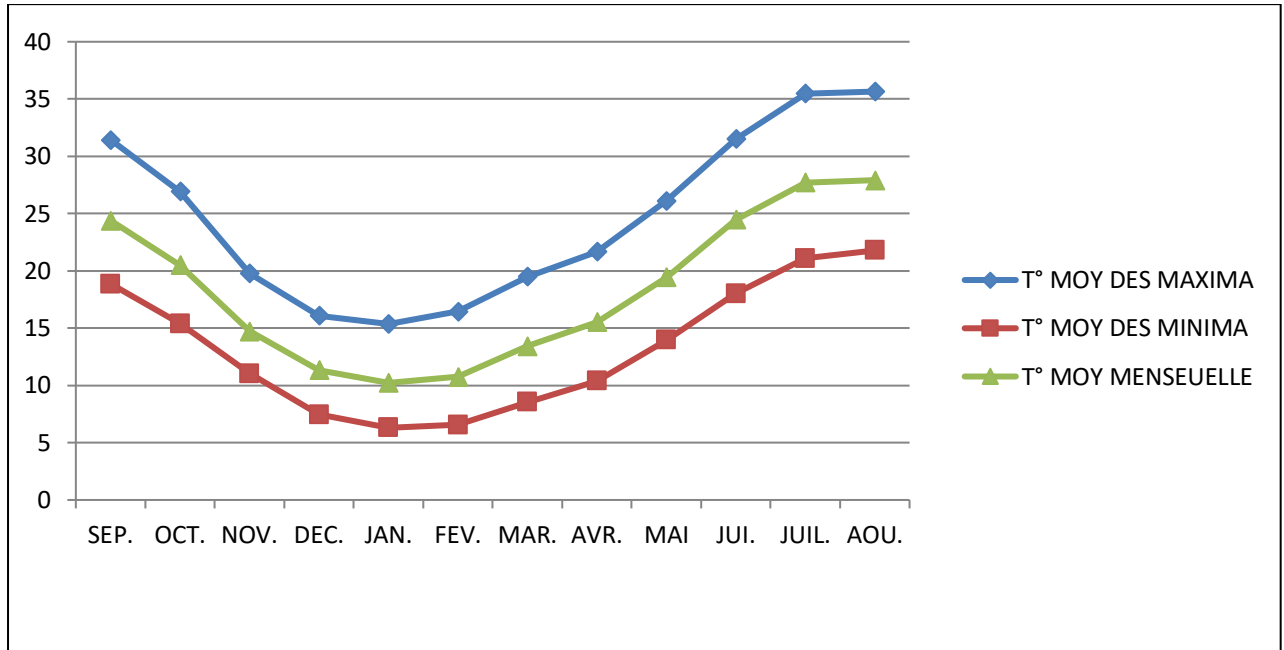


Figure 21 : Evolution des températures moyennes mensuelles station de Tizi Ouzou durant la période 1990-2014

Le graphique de la figure 21 construits à partir des données consignées dans le tableau 6 montre que le mois d’Août est le plus chaud (27.92 °C) et le mois de janvier est le plus froid à (10.22°C).

Les températures maximales sont enregistrées au mois d’Août (35,65 °C) et les minimales (6,3°C) en janvier.

2.3 Calcul de l’indice d’aridité de DEMARTONE (1923)

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

Avec :

Ia: indice d’aridité ;

P: Précipitation moyenne (mm)

T : Température moyenne (°C).

$$Ia = \frac{908,6}{18,4 + 10} = 31.9$$

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Type de climat :

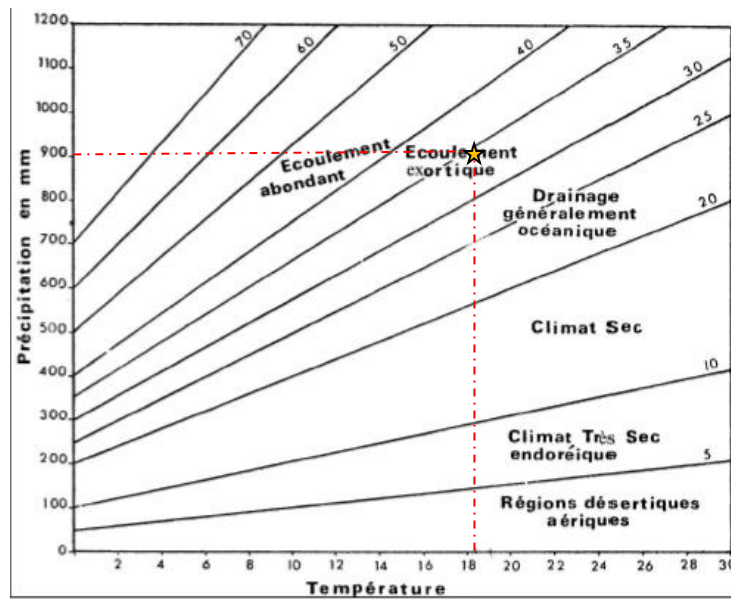


Figure 22 : Diagramme de DEMARTONE

2.4 Classement de l'indice d'aridité

Tableau 7 : Classement de l'indice d'aridité

$Ia < 5$	Climat hyperaride
$5 < Ia < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < Ia < 10$	Climat steppique
$10 < Ia < 20$	Climat semi-aride
$20 < Ia < 30$	Climat tempéré
$Ia \gg 30$	Climat humide

D'après le classement de l'indice d'aridité donné dans le tableau 7 et les résultats obtenus par la formule de DEMARTONE le climat du Haut Sébaou est un climat humide.

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

2.5 Diagramme ombrothérmique

Tableau 8 : Données des précipitations moyennes et température moyenne mensuelle

MOIS	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aou.
P_{MOY} Mensuelle	39,1	84,1	129,2	159,0	155,3	112,3	88,5	109,6	64,4	10,7	2,8	10,3
T°_{MOY} Mensuelle	24,39	20,51	14,72	11,34	10,22	10,76	13,42	15,53	19,45	24,46	27,71	27,92

Le Diagramme ombrothérmique c'est la combinaison de la courbe de précipitations et de température mensuelle dans un même graphe.

Quand les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, donc la période est dite sèche et quand la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est humide

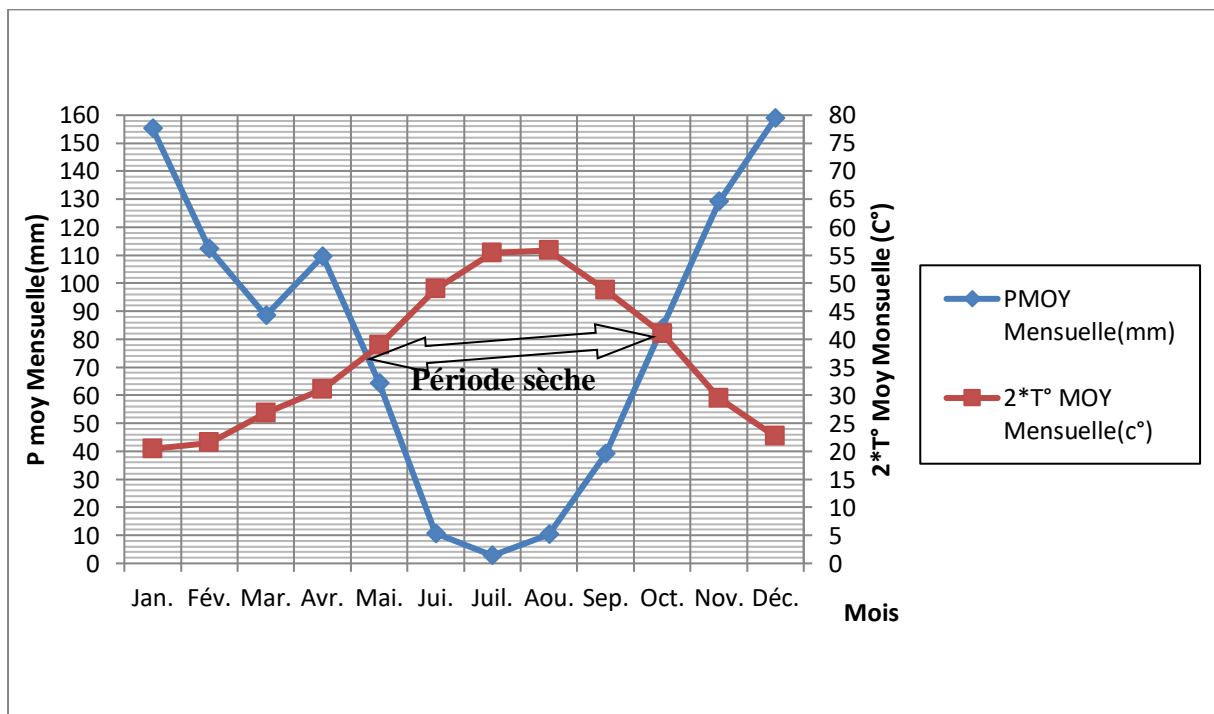


Figure 23 : Diagramme ombrothérmique

La saison sèche de Haut Sébaou comporte 6 mois, elle s'étale de mai jusqu'à octobre. En revanche, la saison humide compte les mois suivants : janvier, février, mars, novembre, avril, novembre, Décembre.

3 Estimation des paramètres du bilan hydrologique

3.1 Notions d'évapotranspiration potentielle, réelle, évaporation et transpiration

- **Evaporation:**

C'est un phénomène physique qui se fait par la transformation de l'eau de l'état liquide à l'état gazeuse ou vapeur. Ce phénomène est conditionné par plusieurs facteurs parmi : la radiation solaire, la température et l'humidité de l'air, la pression atmosphérique la vitesse du vent, la qualité de l'eau.

- **Transpiration:**

Est dite aussi l'évaporation physiologique, elle est définie par l'évaporation une partie de l'eau nécessaire à vie et au développement des êtres vivants dans l'aire, son but est de maintenir la température du métabolisme. Parmi les facteurs qui contrôlent ce phénomène : la densité végétale, la profondeur des racines, la température, le climat.

- **L'évapotranspiration potentielle:**

Est définie comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration de surface de gazon d'hauteur uniforme couvrant totalement le terrain en pleine période de croissance recouvrant complètement le sol pourvue abondamment d'eau.

- **L'évapotranspiration réelle:**

Est la somme de quantités de vapeurs d'eau évaporés par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes au stade de développement végétatif réel.

3.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Ce paramètre est mesuré directement sur le terrain par des appareils ou par des formules empiriques comme : La formule de Turc, Coutagne et Thornthwaite

- **Calcul de l'ETP suivant la formule de C.W Thornthwaite**

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Elle s'exprime comme suit :

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

$$I = \sum_{n=1}^{12} i \quad \text{ou} \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

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

$$ETP_c = ETP * K$$

D'où : ETP_c : évapotranspiration corrigé

ETP: évapotranspiration

T: La température moyenne mensuelle exprimée en °C

I: Indice thermique annuel

i: Indice thermique mensuel

a : exposant climatique

k : Facteur de correction mensuel en fonction de la durée de la journée.(annexe 1)

Les résultats de calculs sont résumés dans le tableau 9

Tableau 9 : Valeurs de l'évapotranspiration potentielle (méthode de Thornthwaite)

MOIS	SEP.	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI.	JUIL.	AOU.	total
T° MEN	24,39	20,51	14,72	11,34	10,22	10,76	13,42	15,53	19,45	24,46	27,71	27,92	
i	11,02	8,47	5,13	3,45	2,95	3,19	4,46	5,56	7,82	11,06	13,36	13,52	90,00
I	90,00												
a	1,970955												
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,86	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP	114,15	81,13	42,19	25,23	20,56	22,75	35,16	46,89	73,07	114,80	146,8	149	871,73
ETP _c	117,57	78,69	36,28	21,19	17,88	19,33	36,21	51,58	88,41	140,05	182,03	172,84	962,06

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Cette formule dépend seulement de la température comme facteur climatique. L'évapotranspiration potentielle Corrigée est de 962,06 mm.

3.3 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Tels que :

P : Hauteur annuelle moyenne des précipitations en mm

L : $300 + 25T + 0.05 T^3$: Pouvoir évaporant de l'atmosphère

T : Température moyenne mensuelle en °C.

Tableau 10 : résultat de l'ETR par la formule de turc

P	T	L	ETR	ETR %
908,6	18,4	1071,47	714,06	78,59 %

Cette méthode montre que les pertes par évaporation réelle sont très importantes (78,59 % de la valeur de précipitation). Sa valeur atteint 714,06 mm.

3.4 Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite

Pour but de déterminer le taux d'infiltration et le renouvellement de l'aquifère. Nous allons calculer la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique (RFU) par la méthode du bilan hydrique de Thornthwaite.

Tableau 11 : Bilan hydrologique simplifié selon Thornthwaite

MOIS	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI.	JUI.	JUIL.	AOU.	Total
PMOY MENSEUELLE	39,1	84,1	129,2	159	155,3	112,3	88,5	109,6	64,4	10,7	2,8	10,3	
ETP _c	117,57	78,69	36,28	21,19	17,88	19,33	36,21	51,58	88,41	140,05	182,03	172,84	962,06
P- ETP _c	-78,47	5,41	92,92	137,81	137,42	92,97	52,29	58,02	-24,01	-129,35	-179,23	-162,54	
RFU	0	5,41	98,33	100	100	100	100	100	75,99	0	0	0	
ETR	39,1	79,1	33,6	23,5	19,5	20,4	35,8	48,4	80,6	94,5	2,8	10,3	487,6

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

Excédent	-	5	95,6	135,5	135,8	91,9	52,7	61,2	-	-	-	-	577.7
----------	---	---	------	-------	-------	------	------	------	---	---	---	---	-------

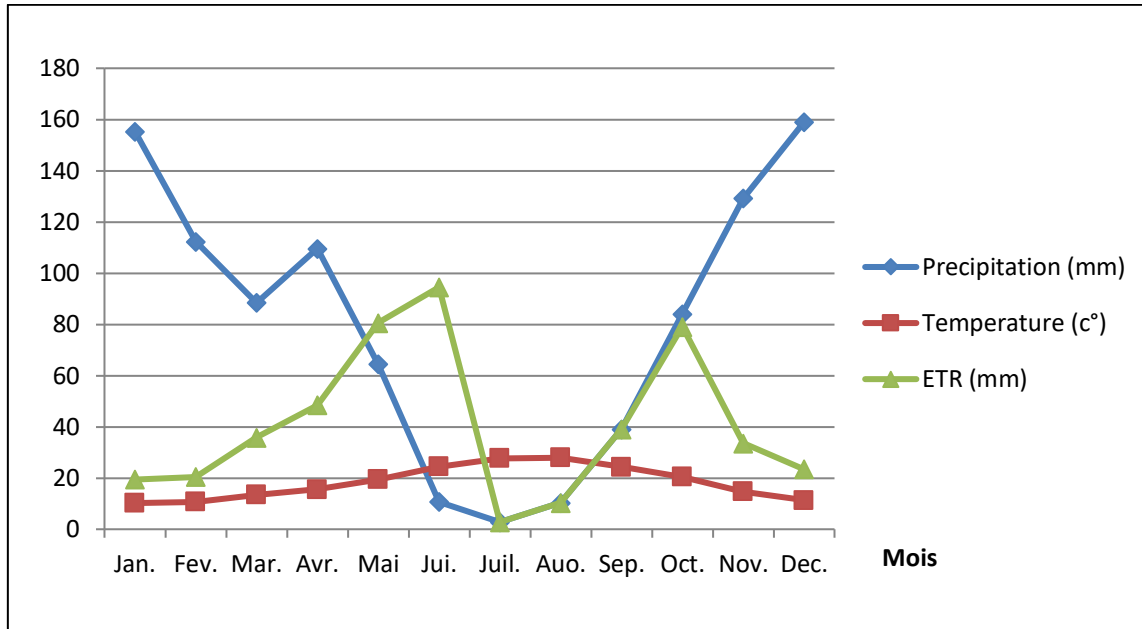


Figure 24 : graphique illustrant l'évolution des précipitations, températures et l'ETR de la station de Tizi Ouzou (1990-2020)

La figure 24 montre l'évolution de l'ETR par rapport à la température et les précipitations mensuelles. On remarque que l'augmentation de l'ETR a une relation directe avec l'augmentation de la température dont la valeur maximale de l'ETR est enregistrée en mois de juin et la minimale en mois de juillet.

Janvier - avril : les précipitations varient entre 88,5 et 155,3 mm et sont supérieures à l'ETR (19,5 à 48,4 mm), la RFU est égale à 100 (le sol est saturé)

Mai – juin : les précipitations variantes entre 10,7 et 64,4 mm sont inférieures à l'ETR (80,6 à 94,5 mm).

Juillet – octobre : les précipitations sont égales à l'ETR, car la réserve d'humidité dans le sol est épuisée complètement.

Novembre – décembre : les précipitations (129,2 à 159 mm) sont largement supérieures à l'ETR (23,5 à 33,6 mm) avec une RFU qui augmente jusqu'à 100.

Entre novembre et avril, un excédent en eau est relevé. Ce volume d'eau alimente le ruissellement de surface et participe indirectement dans le recharge de la nappe du haut Sébaou.

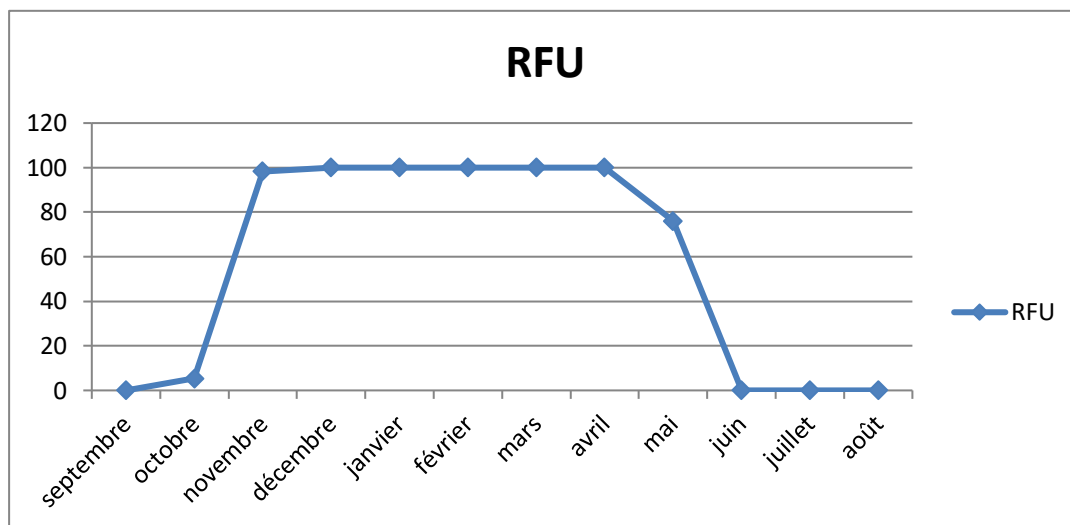


Figure 25 : graphique illustrant le RFU de la station Tizi Ouzou(1990-2020)

Durant les mois de Novembre jusqu'à Mai, on remarque saturation de la couche pédologique, quand l'eau de recharge dépasse la RFU, le surplus va partir vers le ruissellement superficiel et l'infiltration vers la nappe. Ce qui génère le renouvellement de l'aquifère.

3.5 Calcul du ruissellement

$P > 600\text{mm}$ on prend la formule de Romantchouk (1974)

Méthode de Romantchouk :

$$R = \frac{(0.01P)^3}{3}$$

Avec :

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

R: Ruissellement (mm) ;

P: Précipitation moyenne annuelle en mm.

Dans ce cas $R_1 = 250\text{mm}$.

Méthode de Sogreah :

$$R = 720 \left(\frac{P - 250}{1000} \right)^{1.85}$$

Dans ce cas, $R_2 = 332,5\text{mm}$.

- Donc $R_{\text{moy}} = 291,25\text{mm}$.

Tableau 12 : valeur de ruissellement selon la moyenne de méthode Romantchouk et Sogreah

P	ETP	R _{moy}	R%
908,6	915,6	291,25	32,05%

3.6 Calcul de l'infiltration

L'infiltration est la quantité qui entre dans le sous-sol et alimente les aquifères souterraines. Elle est estimée par la formule suivante

$$P = ETR + R + I + S \pm \Delta s \qquad P = ETR + R + I \text{ (pour une période supérieure ou égale à 30 ans)}$$

Alors, $I = P - (ETR + R)$

Avec : P : Précipitation (mm) ;

ETR : évapotranspiration réelle en (mm) ;

R : Ruissellement (mm) ;

I : Infiltration (mm).

Δs : La variation des réserves que nous supposons nulles

$$I = 908,6 - (600,83 + 291,25) \longrightarrow I = 16,52\text{mm}$$

Tableau 13 : Récapitulation des différents paramètres du bilan hydrologique

Chapitre 4 : Hydro-climatologie

	P	ETR	R	I
(mm)	908,60	600,83	291,25	16,52
(%)	100%	66,12%	32%	1,81%

L'infiltration calculer sur le haut Sébaou est de l'ordre de 16,52 mm soit 1,81% de lame d'eau précipite.

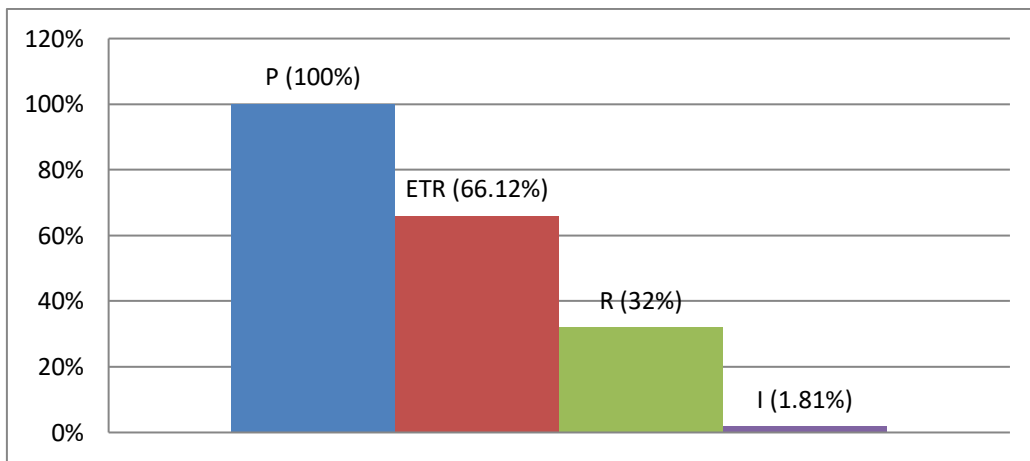


Figure 26 : répartitions des paramètres de bilan hydrologique en pourcentage

La lame d'eau précipité dans le Bassin Versant de Haut Sébaou se repartie en plusieurs tranches dont 66,12 % va partir en ETR, 32 % en ruissellement et 1,81 % s'infiltre (figure 26).

4 Conclusion

Les données climatiques permettent d'attribuer à la région un climat tempéré méditerranéen Caractérisé par deux saisons distinctes : celle humide qui s'étale de Janvier jusqu'à mars et novembre jusqu'à décembre et le reste des mois sont incluse dans la période sèche et chaude.

L'établissement du bilan hydrologique a montré que 66,12 % retourne à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration et 32 % ruissellent dans le réseau hydrographique. Par ailleurs, la nappe du haut Sébaou bénéficie d'une recharge estimée à 16,52 mm, soit 1,81% des précipitations.

Chapitre 5 : Hydrogéologie

Chapitre 5 : Hydrogéologie

Chapitre 5 : Hydrogéologie.

1 Introduction

L'étude hydrogéologique permet de compléter et de confirmer ce qui a été précédemment énoncé par la géologie. Donc cette étude s'avère nécessaire pour arriver à une bonne connaissance des horizons aquifères, ainsi que leurs caractéristiques hydrodynamiques.

2 Rappels sur les eaux souterraines

- **Aquifère** : formation géologique ou roche, fissurée (fracturée) ou suffisamment poreuse pour stocker de l'eau, et perméable pour laisser l'eau circuler.
- **Nappe** : eau contenue et circulant dans les pores ou les fissures d'un aquifère. La nappe peut être exploitée pour approvisionner les réseaux d'eau potable, pour l'agriculture etc....
- **Piézométrie** : mesure de la profondeur de la surface de l'eau souterraine.

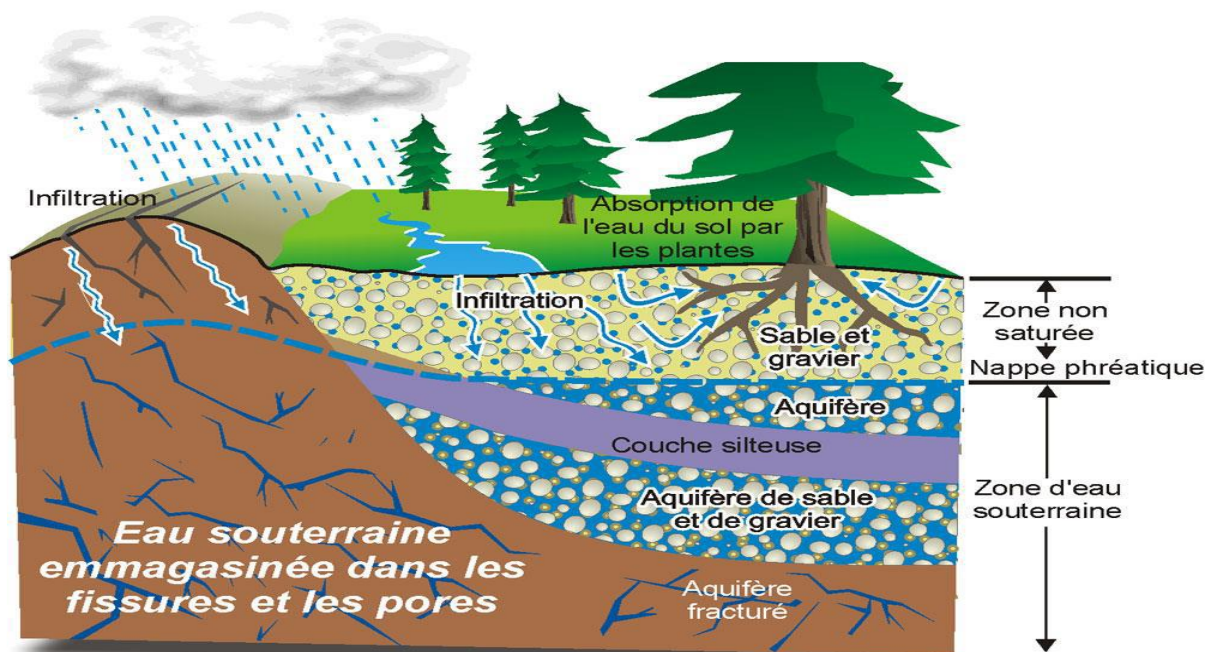


Figure 27 : schéma explicatif de la relation entre l'infiltration et le sol

- **La carte piézométrique** : traduit la forme de la surface piézométrique de la nappe étudiée à une époque déterminée, à des périodes différentes, on peut suivre l'évolution des aquifères souterrains et calculer les fluctuations de leurs réserves.

Les cartes, en courbes isopièzes permettent de :

Calculer la profondeur de la surface piézométrique :

Les courbes isopièzes sont portées sur des cartes topographiques, en courbes de Niveau. Il est facile donc, de calculer, en un point quelconque, la différence de cote entre la Surface du sol et la surface piézométrique.

Chapitre 5 : Hydrogéologie

_ Tracer les lignes de courant et déterminer la direction de l'écoulement:

La direction de l'écoulement, matérialisée par les lignes de courant.

Déterminer le gradient hydraulique :

$$i = (H_2 - H_1) / L$$

H₂ et H₁ sont déterminées par les courbes isopièzes.

L : Distance entre H₂ et H₁, par l'échelle de la carte.

Construire le profil de dépression (rapport : alimentation/drainage) :

La surface piézométrique des couches aquifères est fixée par les niveaux d'alimentation et de drainage, lesquelles imposent les points hauts et bas du profil de dépression. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs :

*Type de la nappe

*Perméabilité de l'aquifère

*Débit d'écoulement

*Surface topographique et le niveau de base

*La structure du milieu aquifère (forme du substratum par rapport à la section).

Morphologie de la surface piézométrique :

La forme et la densité des courbes isopièzes donnent des indications sur la morphologie de la surface piézométrique des eaux souterraines.

Courbature des isopièzes :

Les courbes isopièzes dessinent des arcs de cercles plus ou moins ouverts, elles sont caractérisées par l'orientation de leur concavité, par rapport à la direction de l'écoulement, soit vers l'aval ou vers l'amont.

Concavité orientée vers l'amont : Traduit un bombement général de la surface libre, donc, un haut niveau piézométrique et une forte courbature du profil de dépression : soit il y a un débit important, soit une faible perméabilité ou les deux.

Concavité orientée vers l'aval : Marque une zone déprimée, donc de faible débit ou de forte perméabilité ou des deux. C'est en général, la zone de drainage intense.

Espacement des courbes isopièzes :

Chapitre 5 : Hydrogéologie

Il exprime directement le gradient hydraulique et traduit la forme du profil de dépression.

Lorsque les courbes sont serrées, elles indiquent un fort gradient hydraulique, donc, un débit important ou une faible perméabilité. Dans le cas contraire, la pente est faible, le débit est réduit, et la perméabilité est forte.

Courbes fermées :

Souvent, les courbes fermées apparaissent sur les cartes, en courbes isopièzes. Elles traduisent soit des protubérances, soit des dépressions.

Protubérances, dans la surface piézométrique :

Une protubérance est constituée par des courbes isopièzes fermées, elliptiques ou circulaires, plus ou moins régulières. Elle traduit une anomalie de la surface libre, avec un relèvement du niveau piézométrique. Cette structure est provoquée par des causes qui agissent isolément ou simultanément :

- *Alimentation locale

- *Forte perméabilité

- *Irrégularité du substratum imperméable.

Alimentation locale : à partir de la surface du sol, par exemple : l'irrigation provoque une remontée du niveau piézométrique.

A partir d'une zone à perméabilité plus grande : comme la présence d'une lentille de terrain très perméable, qui relève la surface libre.

A partir des zones surélevées dans le substratum imperméable : provoquant une diminution de la section d'écoulement et surélève le niveau piézométrique, à partir d'une alimentation profonde, par des venues d'eau.

De toutes ces causes, la protubérance est due à l'excès d'alimentation, localisé en surface.

Dépressions, dans la surface piézométrique :

Ces dépressions peuvent être dues, plus fréquemment à l'action d'un pompage important (cône de dépression), ou à :

- *Des pertes profondes.

- *Des diminutions locales de la perméabilité.

Chapitre 5 : Hydrogéologie

*Dépression du substratum imperméable.

Généralement, les courbes de ces anomalies sont elliptiques.

Les seuils hydrauliques :

Apparaissent sur les cartes, par des courbes isopièzes brusquement rapprochées, très serrées, marquant une chute rapide de la pente de la surface libre de la nappe, et par l'alignement des sources artésiennes. Les aquifères sont dues à des conditions géologiques particulières, à d'importantes fractures profondes, intéressant le substratum et le complexe aquifère.

3 Identification des systèmes aquifères

Pour une meilleure évaluation de la ressource en eau souterraine dans l'espace étudié, il est nécessaire d'identifier les différents systèmes aquifères rencontrés dans la plaine de Haut Sébaou.



Figure 28 : carte de limite de la plaine de Haut Sébaou (ANRH)

Les formations aquifères de la plaine de Sébaou sont constituées de dépôts détritiques où sont incorporés des horizons argileux discontinus.

Chapitre 5 : Hydrogéologie

Ces formations détritiques d'âge quaternaire représentent l'aquifère de la vallée, qui constitue le remplissage d'un synclinal à cœur miocène, on retrouve dans cette dernière un matériau hétérogène, formé de sables, galets, graviers et limons.

La puissance de l'aquifère alluvial varie d'amont en aval, s'étale sur une longueur de 50 Km et sur une largeur moyenne égale à 10 m. elle varie de 8 m dans la partie amont (Boubroune) et à 15 m dans la partie aval (Belloua) dans cette zone la nappe est libre

Selon la bibliographie et les études effectuées antérieurement dans la zone d'étude et la carte hydrogéologique de la région on distingue six terrasses alluviales(fig.29).

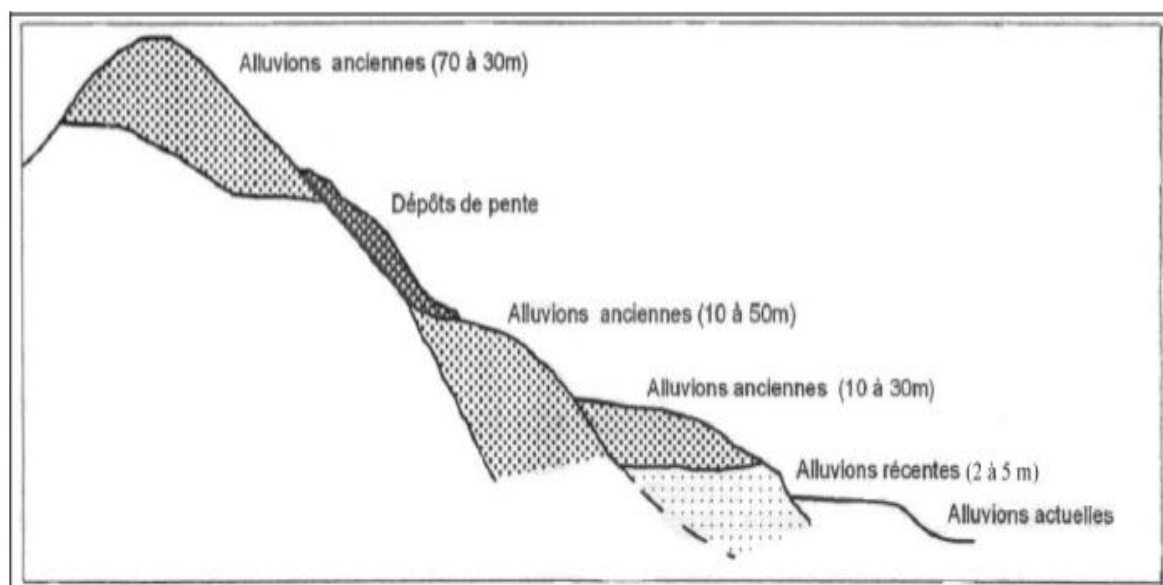


Figure 29 : Type et disposition des terrasses rencontrées de la vallée de Sébaou (chadrine 1974)

Le niveau alluvial N°01

Très peu présente est datée du mouloyen et se localise en amont des gorges de Belloua et aïssa mimoun.

Le niveau alluvial N°02

C'est le niveau le plus répandu dans la vallée ces terrasses sont datées du saletien

Le niveau alluvial N°03

Date de l'amirrien avec des épaisseurs allant de 4 à 8m

Le niveau alluvial N°04

Chapitre 5 : Hydrogéologie

Représente sur le long de l'Oued Sébaou ces terrasses sont datées du tertiaire

Le niveau alluvial N°05

Cette terrasse est datée du soltanien, elle est présente sur toute la vallée

Le niveau alluvial N°06

Avec une épaisseur qui approche les 40m, elle est présente sur toute la plaine alluviale datée du rharbien et s'emboîte dans le soltanien tout le long de la vallée.

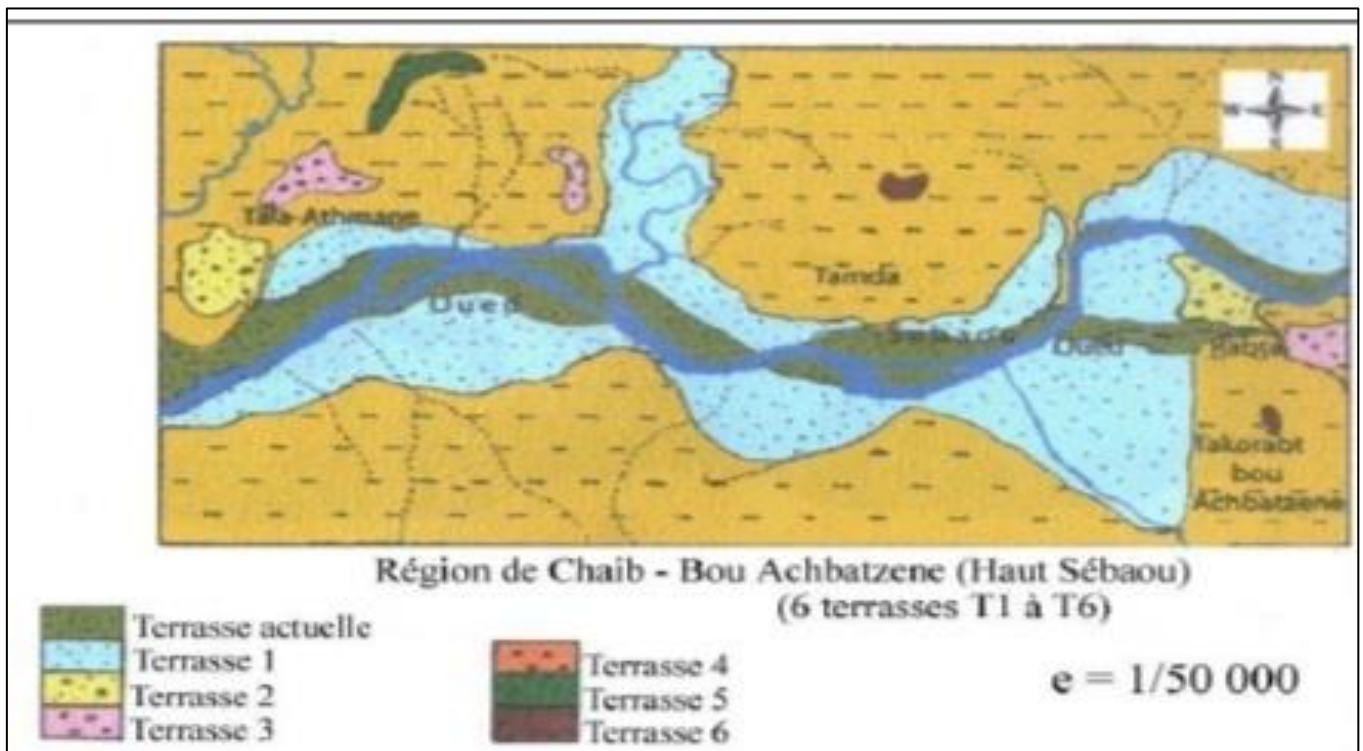


Figure 30 : Carte schématique de localisation des terrasses dans le haut Sébaou (Benhassaine, 1980)

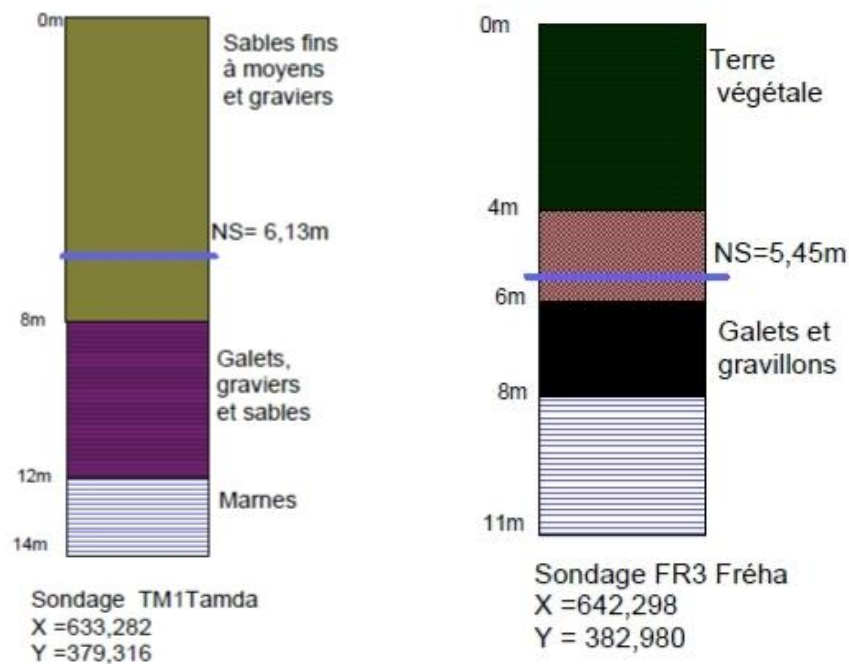


Figure 31 : Logs stratigraphiques des sondages TM1 Tamda et FR3 Fréha (F.Hadjou,2008)

L'interprétation des logs de sondage TM1 Tamda et FR3 Fréha (figure 31), nous montre la structure lithologique dans notre aquifère qui se dépose sur un substratum marneux.

Ces formations aquifères constituées essentiellement de galets, gravier, sable fin et moyen.

Selon les logs des sondages nous remarquons que le substratum s'approfondi de plus en plus on allant vers l'aval, en amont de notre zone d'étude sa profondeur est de 8 m, sur le sondage de TM1 Tamda la profondeur des marnes est à 12 m (figure 31).



Figure 32 : Photo prise sur le site montre une terrasse alluviale sur un substratum marneux

4 Etude piézométrique

4.1 Inventaire des points d'eau :

La synthèse des différents inventaires a été possible grâce aux travaux réalisés depuis plusieurs années. La première campagne piézométrique qui a couvert toute la vallée du Sébaou a été réalisée par Y.Chadrin, (septembre, octobre 1972 et mars, avril 1973).

4.2 Caractéristiques des points d'eaux :

Les points d'eaux choisis sont généralement des puits réalisés par la population locale qui sont pour la plupart des ouvrages artisanaux construits en briques ces puits servent pour la majorité à l'irrigation et très peu à l'alimentation en eau potable.

4.3 Interprétation des cartes piézométriques :

Cette interprétation va permettre de :

Définir l'écoulement souterrain des eaux de l'aquifère.

Définir les relations hydrauliques qui pourraient exister entre les différentes terrasses.

Calculer les gradients hydrauliques, importants dans la quantification des différents apports latéraux.

Chapitre 5 : Hydrogéologie

Les cartes piézométriques ont été établies par différents auteurs pour différentes périodes (CHADRINE 1975, DJEMAI 1980 et 1983, ANRH 2004)

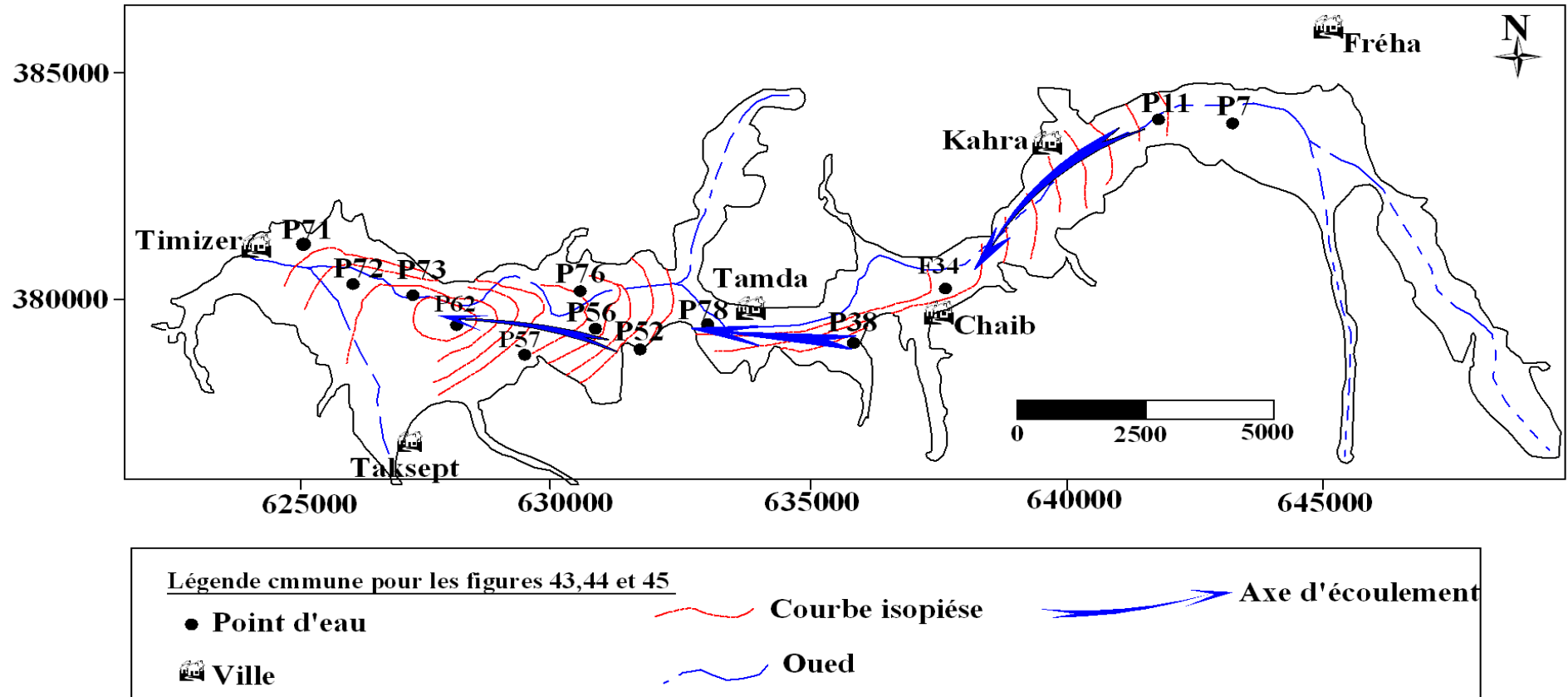


Figure 33 : Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux 2004) (ANRH Tizi-Ouzou)

Chapitre 5 : Hydrogéologie

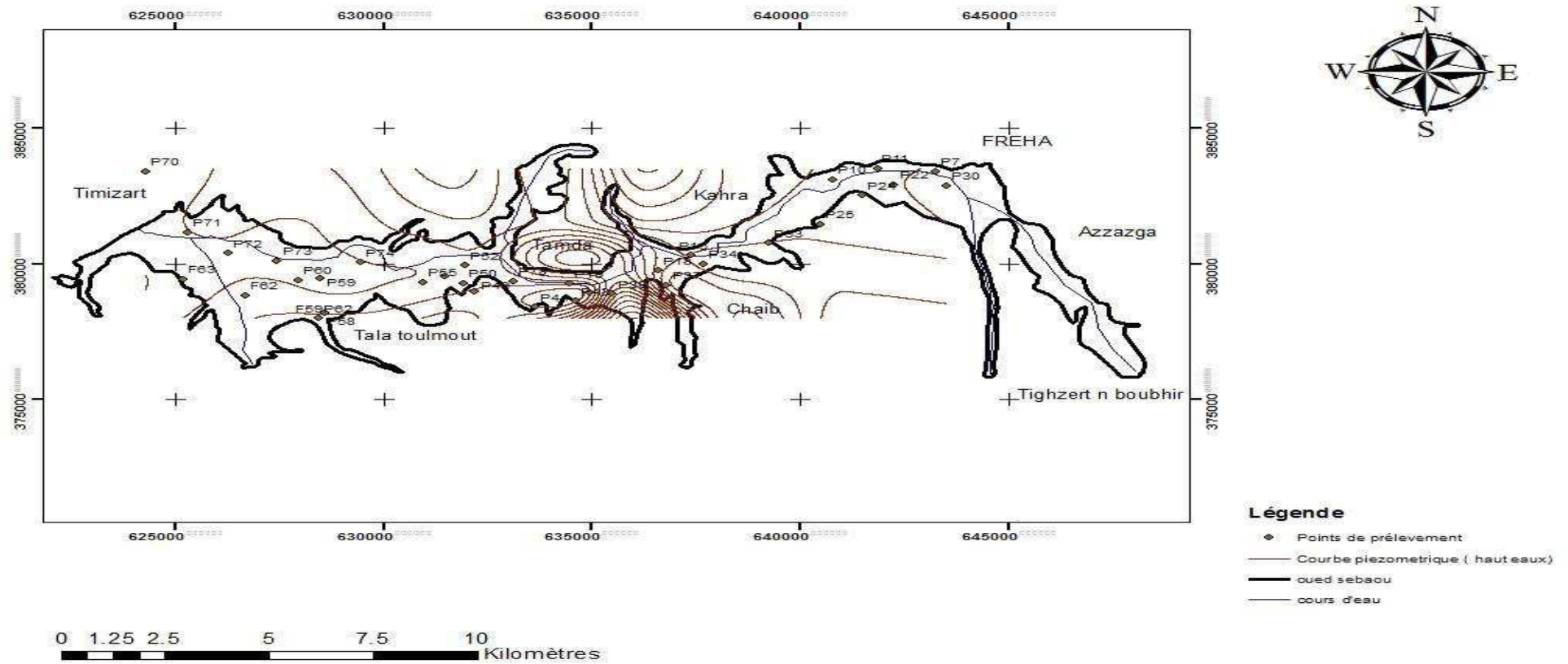


Figure 34 : Carte piézométrique des hautes eaux du Haut Sébaou (Louda.I,2009)

Chapitre 5 : Hydrogéologie

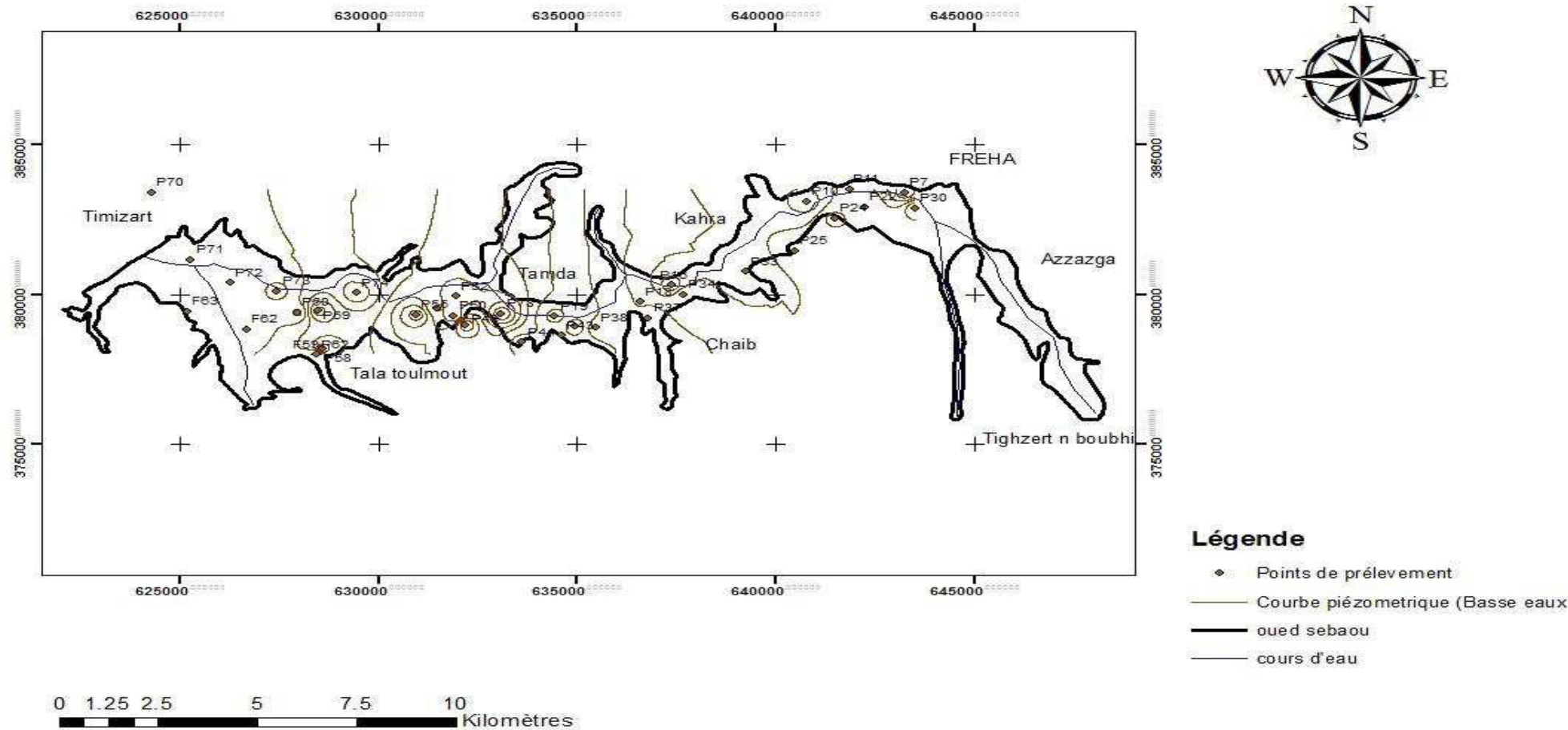


Figure 35 : Carte piézométrique des basses eaux du haut Sébaou (Louda.I, 2009)

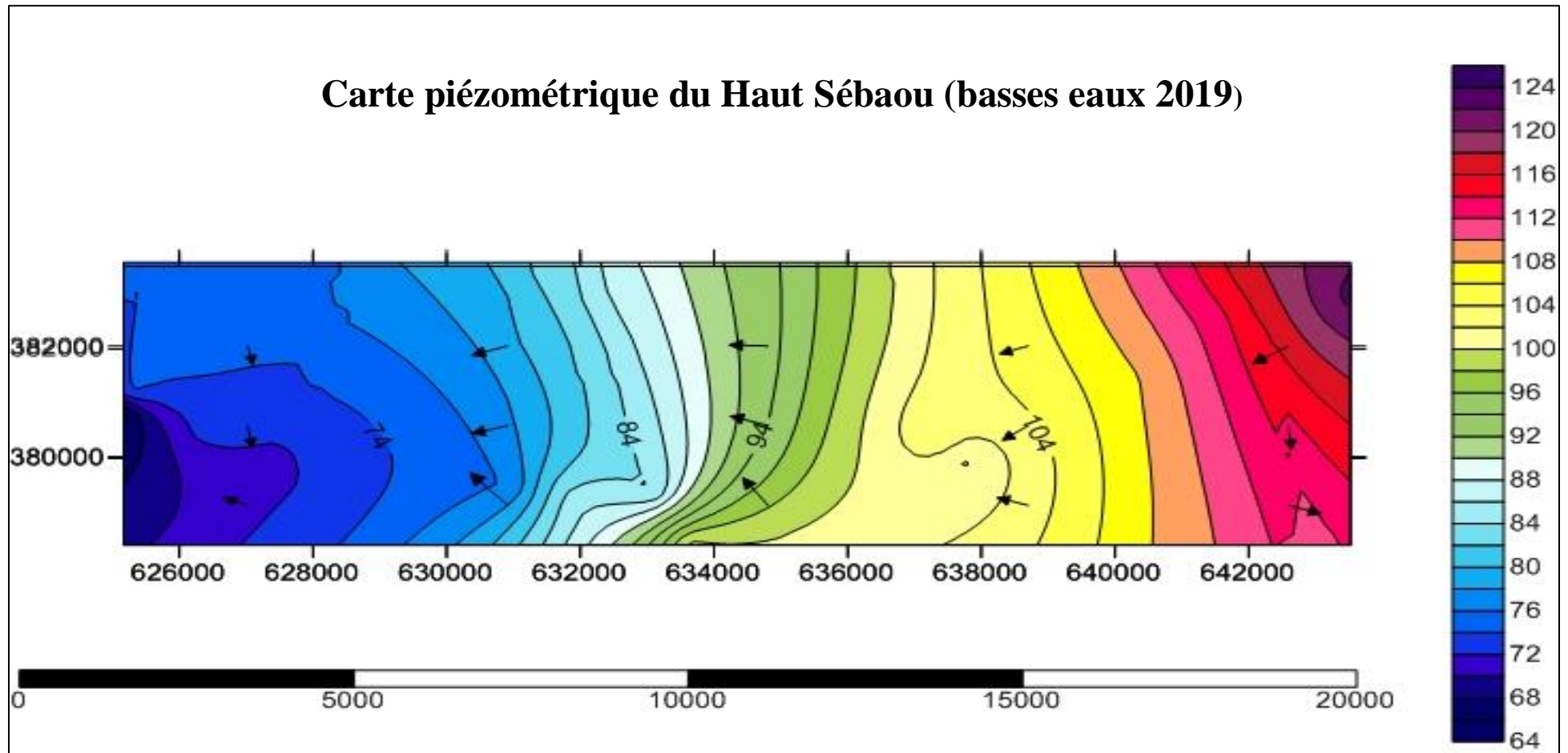


Figure 36 : Carte piézométrique du Haut Sébaou (basses eaux, 2019)

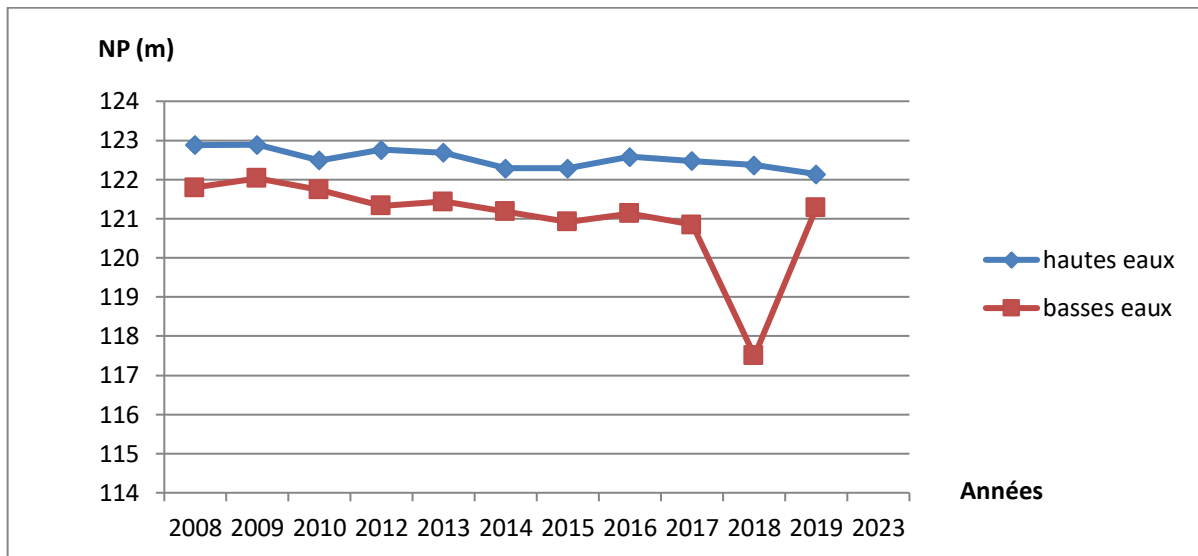


Figure 37 : Evolution du niveau piézométrique du puits 7 pendant les hautes eaux et basses eaux durant la période 2008-2019

Après les études réalisées par l'ANRH depuis 2008 à ce jour, on constate une baisse dans le niveau piézométrique. Comme exemple, nous avons fait une estimation pour le puits 7 qui présente des valeurs de niveau piézométrique entre 122,89 m et 122,14 m pour les hautes eaux et 122,03 m et 120,92 m pour les basses eaux. Cela est dû principalement à la surexploitation de la nappe et au régime des précipitations.

Une campagne piézométrique a été réalisée en hautes eaux (juin 2023), encadré par, l'ingénieur de l'ANRH de Tizi Ouzou pour mesurer le niveau statique sur les points d'eau: (P7, P10, P16, P22, P24, P25, P30, P33, P34, P44, P50, P54, P55, P59, P60, P63, P70, P71, P72, P73, P77) (figure 38).

Chapitre 5 : Hydrogéologie



Figure 38 : localisation des points d'eau sur la zone d'étude

Chapitre 5 : Hydrogéologie



Figure 39 : Photos prise sur le terrain

Tableau 14 : Niveaux statique et piézométrique du Haut Sébaou, Hautes eaux 2023

NOM	N°B.I.R.H	N° catalogue	Type d'ouvrage	Longitude	latitude	Z	NS/s (m)	N.P (m)
P7	W24-001	E009-2563	PUITS	643 278	383 400	126,62	4,02	122,6
P10	W24-002	E009-2580	PUITS	641 866	383 516	122,30	8,72	113,58
P16	W24-004	E009-2565	PUITS	637 386	380 322	109,75	5,03	104,72
P22	W24-007	E009-2568	PUITS	642 226	382 912	123,47	5,74	117,73
P24	W24-008	E009-2581	PUITS	641 490	382 535	119,83	6,41	113,42
P25	W24-009	E0092569	PUITS	640 484	381 460	116,12	7,25	108,87
P30	W24-010	E009-2570	PUITS	643 522	382 893	128,40	4,15	124,25
P33	W24-011	E009-2571	PUITS	639 249	380 770	109,60	6,71	102,89
P34	W24-012	E009-2572	PUITS	637 685	379 998	105,14	5,75	99,39
P43	W45-016	E009-2584	PUITS	634 619	378 635	109,30	fermé	/
P44	W45-017	E009-2585	PUITS	633 626	378 410	111,67	10,5	101,17
P50	W45-019	E009-2587	PUITS	631 907	379 228	91,18	5,6	85,58
P54	W45-021	E009-2588	PUITS	631 486	379 563	88,26	6,49	81,77
P55	W45-022	E009-2589	PUITS	630 961	379 455	83,99	7,43	76,56
P59	W45-025	E009-2592	PUITS	628 495	379 455	79,10	11,37	67,73
P60	W45-027	E009-2579	PUITS	627 962	379 405	77,78	5,19	72,59
P62	W45-029	E009-2558	PUITS	628 444	378 003	77,94	détruit	/
F63	W44-030	E009-2559	FORAGE	625 169	380 820	75,20	9,71	65,49
P70	W23-032	E009-2561	PUITS	624 283	380 820	73,5	8,72	64,78
P71	W23-033	E009-2562	PUITS	625 285	381 161	79,35	2,7	76,65
P72	W23-034	E009-2575	PUITS	626 283	380 396	78,52	3,91	74,61

Chapitre 5 : Hydrogéologie

P73	W23-035	E009-2576	PUITS	627 451	380 104	78,67	7,5	71,17
P78	W45-038	E009-4251	PUITS	633 103	379 363	92,92	8,84	84,08

Les résultats de cette campagne ont permis de tracer la carte piézométrique montrée dans la figure40.

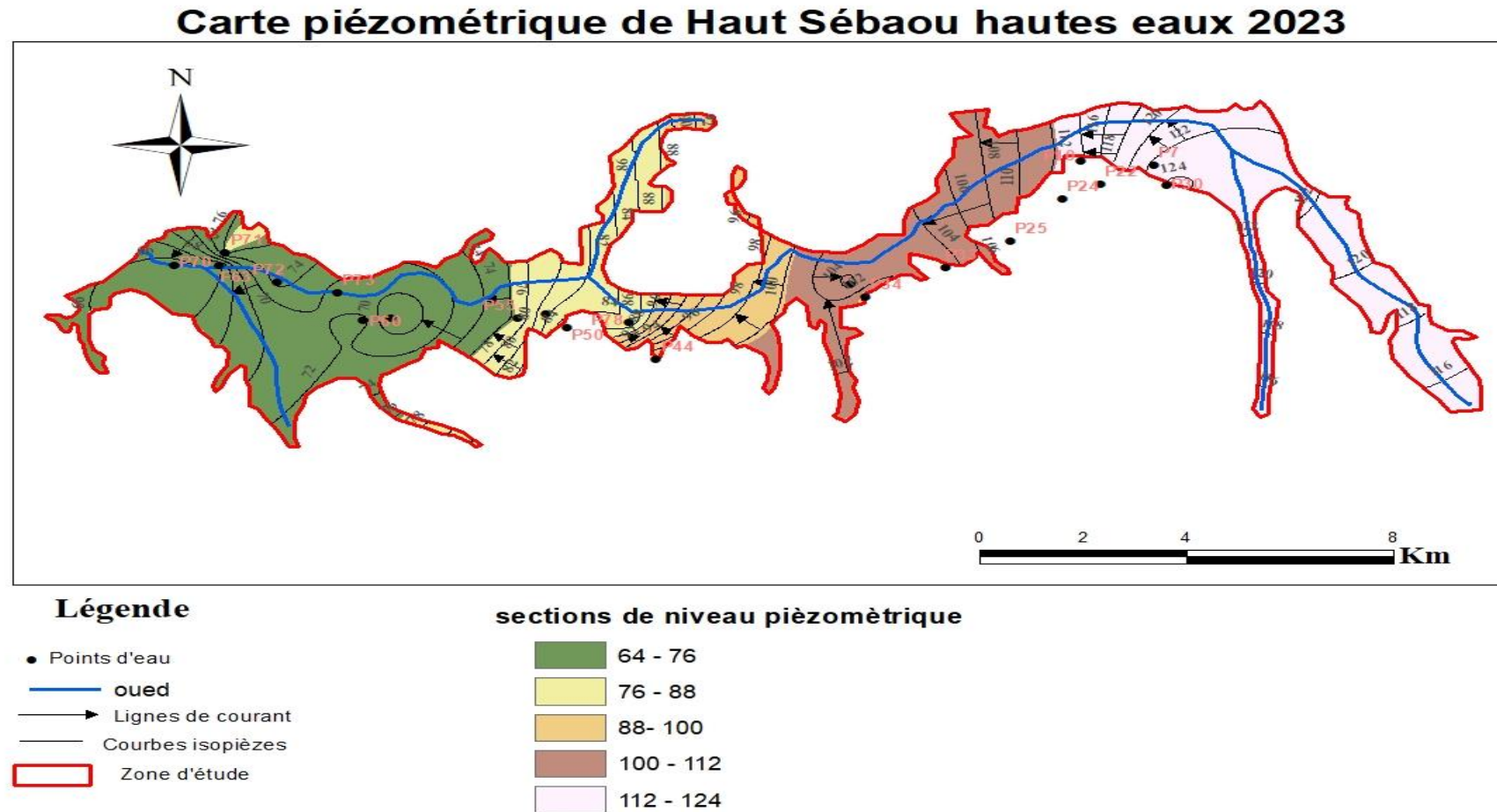


Figure 40 : carte piézométrique de la nappe du Haut Sébaou (hautes eaux 2023).

Chapitre 5 : Hydrogéologie

La carte piézométrique du Haut Sébaou établie pour la période des hautes eaux de l'année 2023 met en évidence le sens d'écoulement souterrain (figure 40 et 41).

On observe 2 cônes de dépressions qui résultent des champs de captage (p60 et p16)

Les courbes s'incurvent à l'Est et à l'Ouest où les eaux souterraines convergent vers les champs captant.

On distingue un écoulement souterrain d'une direction Est-Ouest suivant le sens d'écoulement de l'oued avec alternance d'alimentation entre l'oued et la nappe selon le positionnement des terrasses alluviales.

COURBE ISOPIESE AVEC SA PENTE

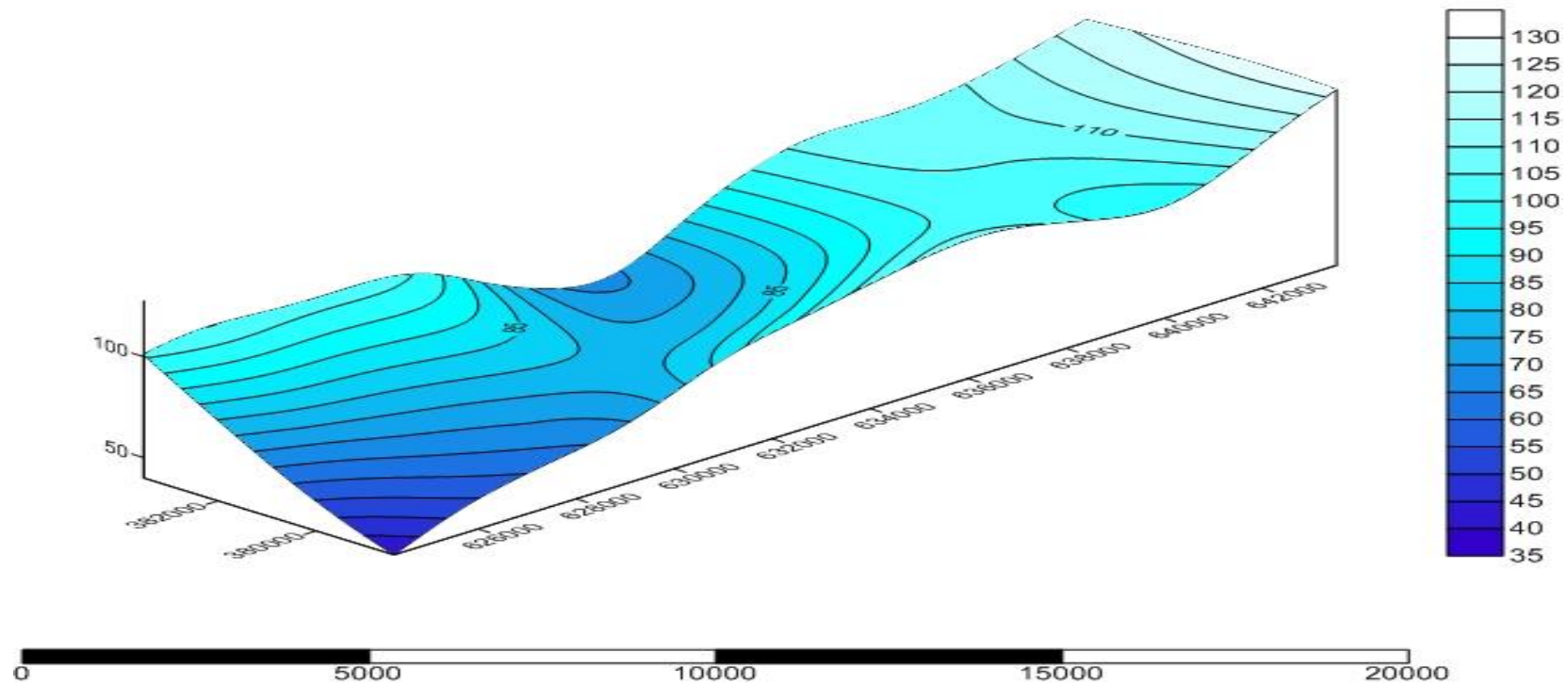


Figure 41 : Carte des courbes isopièzes avec sa pente (hautes eaux, 2023).

5 La recharge de la nappe

La recharge se fait par rapport au type de nappe et par les conditions aux limites, dans notre cas la nappe du haut Sébaou est libre donc la recharge peut être assurée par :

- La recharge directe par l'infiltration des précipitations.
- La recharge par les eaux de ruissèlement provenant du bassin versant limitrophe peu perméable. Cette recharge s'effectue sur les périphéries de l'aquifère.
- La recharge par drainage de l'oued pendant la période des basses eaux.

6 Conclusion

L'étude de la piézométrie nous a permis de mettre en évidence un axe de drainage principale des eaux souterraines qui coïncide avec l'écoulement superficielle actuelle de l'oued Sébaou. Les écoulements de bordures convergent vers cet axe à partir de la rive gauche au centre et en amont de la nappe et à partir de la rive droite en aval de la zone d'étude.

On remarque que les gradients hydrauliques sont relativement fort au centre et au aval du bassin ce qui engendre des écoulements lents.

Les rabattements de la nappe enregistrés entre les hautes et basses eaux de l'année 2023 ne sont pas négligeables (environ 1 m). Ils sont probablement dus à une exploitation intensive et au phénomène d'évaporation, surtout durant la période estivale.

La recharge de la nappe alluviale du Haut Sébaou se fait principalement par l'infiltration efficace des précipitations et par drainage de l'oued.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude est portée sur la piézométrie de nappe souterraine du haut Sébaou qui est une partie intégrante du bassin versant de l'oued Sébaou elle à une superficie de l'ordre 1460 km² et se caractérise par un réseau hydrographique développé.

Sur le plan géologique, la zone d'étude se situe au sein d'un ensemble géologique marqué non seulement par une tectonique extracontinentale, mais aussi par une tectonique intercontinentale, régionale relative à l'Algérie du Nord, et locale relative au tell septentrional. Le bassin versant de l'oued Sébaou est représenté par des faciès géologique stratigraphiquement variés allant des plus anciens aux plus récents. En effet, nous rencontrons : le socle paléozoïque (socle Kabyle) ; Mésozoïque : chaîne calcaire, flyschs d'Afir et du haut Sébaou ; cénozoïque : chaîne calcaire, flyschs d'Afir et marnes du Miocène « post-nappes » du bassin de Tizi Ouzou ; Quaternaire : alluvions anciennes, récentes et actuelles de l'Ouest Sébaou et ses affluents.

L'étude climatique nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

- La moyenne des précipitations annuelle est de l'ordre 908,6 mm.
- La température moyenne est de 18,4 °C.
- Le ruissèlement est de 291,25 mm
- L'infiltration est égale à 16,52 mm dans la région de Tizi Ouzou.

L'interprétations des cartes piézométriques anciennes et récentes et ainsi que l'évolution du niveau piézométrique a permis déterminer une relation avec la variation du régime des précipitations de la zone d'étude.

Au terme du présent travail, il est fortement recommandé de poursuivre nos efforts avec une étude sur l'aspect de l'hydrodynamique de nappe souterraines du haut Sébaou afin de mieux comprendre son fonctionnement.

Bibliographie

Abdeslam M. Mania J. Mudry J. J. P Gélard. Chauve P. Lami H. et Aigoun C (2000). Arguments hydrogéochimiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébides) .Article

Agrouche.s. (2021). Etude Hydrogeologique et evaluation des ressources du haut sebaou (wilaya de tizi ouzou Nord algerie), Mémoire master, UMMTO.

Bouadjla.M. Note hydrogeologique de la vallee alluviale de sebaou. document ANRH TIZI OUZOU.

BOUMAZA.N. (2002). Cartographie hydrogeologique de la vallee de sebaou wilaya de boumerdes et tizi ouzou, Mémoire de magiste, USTHB.

CHAOUCHE.N, B. .. (2016). Etude de la faune trichopteroologique de sous bassin versant de l'oued boubhir et de moyen Sébaou, Mémoire master, UMMTO.

Djemai.M. Hydrologie de bassin versant du haut sebaou hydrologie des formations alluviales (algerie), Mémoire d'ingenieur ,L'universite scientifique et medicale de grenoble.

Hadjou.F. (2008). Etude hydrogeologique par modelisation mathematique en vue d'une approche rationnelle et optimale de la gestion des eaux souterraines de vallee de l'oued Sébaou, Mémoire de magister, USTHB.

HAMAD.K. (2013). Bilan hydrologique de bassin versant de l'oued sebaou.Mémoire master, UMMTO.

Louda.I. (2016). Etude de la vulnerabilite des eaux souterraines de la nappe alluviale du haut sebaou par la methode de PRASTCHIM. ENST.

OUALI.K. (2016). Teneurs en elements traces metalliques des sols agricoles de la wilaya de tizi ouzou. UMMTO.

Yacoub.B. (1996). Le probleme de l'eau en grande kabylie: le bassin versant de sebaou et la wilaya de tizi ouzou . universite de tizi ouzou.

ANNEXES

Annexe 1 : Coefficient de correction K de l'ETP dans la méthode de Thornthwaite.

Lat.Nord	janv	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sept	oct	nov	déc
20°	0,95	0,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	0,93	0,94
25°	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
26°	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
27°	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,90	0,90
28°	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,90	0,90
29°	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,90	0,89
30°	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
31°	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
32°	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	0,88	0,87
33°	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
34°	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86
35°	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36°	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37°	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38°	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39°	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40°	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41°	0,83	0,83	1,03	1,11	1,26	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
42°	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43°	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77
44°	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	0,95	0,80	0,76
45°	0,80	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
46°	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74
47°	0,77	0,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
48°	0,76	0,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
49°	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,71
50°	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,70

Annexe 2 : Précipitations annuelles dans les stations étudiées sur la période 1990-2020 (ANRH)

Année	Aghrib	Ait Aicha	Ait Djemaa	Azazga	Beni Yenni	Berber
1990	1063	832	952	831	843	1092
1991	1044	853	782	821	726	1000
1992	1030	810	875	787	702	983
1993	782	529	609	668	619	698
1994	1133	944	948	900	923	996
1995		825	1026	1101	891	1032
1996	739	478	566	664	506	665
1997	1657	1021	1207	1320	1192	1421
1998	1140	745	785	860	768	985
1999	884	607	687	605	624	727
2000	992	665	708	706	785	816
2001	762	492	526	523	480	601
2002	1631	1266		1255	1367	1527
2003		802	972	969	904	1527
2004		731	776	815	880	1032
2005		810	955	815	754	1039
2006		835	948	869	698	
2007		878	742	994	956	1286
2008		933			1186	1376
2009			913			
2010		938			1113	1227
2011	1360				1024	1287
2012		959	909		981	1227
2013			953		922	
2014					1068	
2015			852			
2016			715		681	
2017		1070	1005		969	
2018		1059	1075		966	1159
2019		681	673		688	624
2020			784			687

Annexe 3 : Campagne piézométrique, hautes eaux 2023

NOM	N°B.I.R.H	N° catalogue	Type d'ouvrage	COORDONNEES			JUIN/2023	
				Longitude	Latitude	Z	NS/s (m)	N.P (m)
P7	W24-001	E009-2563	PUITS	643 278	383 400	126,62	4,02	122,6
P10	W24-002	E009-2580	PUITS	641 866	383 516	122,30	8,72	113,58
P16	W24-004	E009-2565	PUITS	637 386	380 322	109,75	5,03	104,72
P22	W24-007	E009-2568	PUITS	642 226	382 912	123,47	5,74	117,73
P24	W24-008	E009-2581	PUITS	641 490	382 535	119,83	6,41	113,42
P25	W24-009	E0092569	PUITS	640 484	381 460	116,12	7,25	108,87
P30	W24-010	E009-2570	PUITS	643 522	382 893	128,40	4,15	124,25
P33	W24-011	E009-2571	PUITS	639 249	380 770	109,60	6,71	102,89
P34	W24-012	E009-2572	PUITS	637 685	379 998	105,14	5,75	99,39
P43	W45-016	E009-2584	PUITS	634 619	378 635	109,30	ferme	
P44	W45-017	E009-2585	PUITS	633 626	378 410	111,67	10,5	101,17
P50	W45-019	E009-2587	PUITS	631 907	379 228	91,18	5,6	85,58
P54	W45-021	E009-2588	PUITS	631 486	379 563	88,26	6,49	81,77
P55	W45-022	E009-2589	PUITS	630 961	379 455	83,99	7,43	76,56
P59	W45-025	E009-2592	PUITS	628 495	379 455	79,10	11,37	67,73
P60	W45-027	E009-2579	PUITS	627 962	379 405	77,78	5,19	72,59
P62	W45-029	E009-2558	PUITS	628 444	378 003	77,94	détruit	
F63	W44-030	E009-2559	FORAGE	625 169	380 820	75,20	9,71	65,49
P70	W23-032	E009-2561	PUITS	624 283	380 820	73,5	8,72	64,78
P71	W23-033	E009-2562	PUITS	625 285	381 161	79,35	2,7	76,65
P72	W23-034	E009-2575	PUITS	626 283	380 396	78,52	3,91	74,61
P73	W23-035	E009-2576	PUITS	627 451	380 104	78,67	7,5	71,17
P78	W45-038	E009-4251	PUITS	633 103	379 363	92,92	8,84	84,08