

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

جامعة مولود معمري

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Filière : Géologie

OPTION : HYDROGÉOLOGIE

Par : MEKKOUR AMINA

Et

TAKOURABT KENZA

Thème :

Le Bassin de l'Oued el Hachem : Caractérisation hydrologique et hydroclimatologique (W. Tipaza)

Soutenu publiquement le 01 /07/ 2024 Devant le Jury composé de :

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

Promotion 2023/2024

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** le Tout Puissant de nous avoir donné la volonté, la santé et le courage d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadrant **Dr. A. Drouiche**, et notre Co-encadrante **Mme M. DJEMA** pour leurs conseils et leurs aides durant la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarque et suggestions

Nous tenons à exprimer ici nos remerciements à M. A. Yahiaoui, Chef d'antenne de l'ANRH de Koléa, ainsi qu'à tout le personnel de l'ANRH pour toute leur aide et leur contribution en mettant à notre disposition toutes les informations nécessaires pour la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions tous les enseignants du Département des Sciences Géologiques pour leurs aides, leurs informations et les encouragements durant les cinq années d'étude.

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont soutenus et aidé à rédiger le manuscrit et qui ont contribués, de près ou de loin, au bon déroulement et à la réalisation de ce travail.

Amina & Kenza

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout le long de ma formation.

A ma chère sœur Hanane pour ses encouragements permanents et son soutien moral,

A mes chers frères Slimane et Youcef pour leurs appuis et leurs encouragements

A ma chère cousine Maroua pour son aide et son soutien

Sans vous je n'aurai jamais arriver à réussir.

Mekkour Amina

DEDICACES

Je dédie ce travail à toute ma famille

Mes très chers parents qui m'ont soutenue et encouragé durant mes études

Mes chères sœurs Lydia et Rania

Mon cher frère Salim

Ma grand-mère

A mes proches : Oncles, Tantes, Cousins et Cousines

A ma binôme Amina

Et à tous mes chers amis

A toute personne qui m'a encouragé et aidé de près ou de loin

Kenza

Résumé :

La présente étude consacrée de déterminer les caractéristiques hydrologiques du bassin versant de la plaine de l'Oued El Hachem situé dans la Wilaya de Tipaza, qui fait partie de la région nord de l'Algérie, et de suivre l'évolution des précipitations en vue d'établir un bilan hydrologique. Pour ce faire on s'est basé sur le nouveau moyen utilisé dans la gestion des ressources en eaux à savoir les SIG.

Cette plaine renferme un aquifère alluvionnaire profond avec terrasse alluviale et marine.

La vallée d'Oued EL Hachem est principalement alimentée par les eaux de pluie, ce qui entraîne un écoulement saisonnier. Depuis l'implantation du barrage de Boukourdane, cette recharge naturelle a été considérablement influencée.

Mots clés : Caractéristiques hydrologiques, Oued El Hachem, Précipitation, Bilan hydrologique, tests statistiques.

Abstract:

This study aims to determine the hydrological characteristics of the Oued El Hachem watershed located in the Wilaya of Tipaza, part of the northern region of Algeria, and to monitor the evolution of precipitation for the purpose of establishing a hydrological balance. The study relies on the new method used in water resources management, namely GIS (Geographic Information Systems).

The plain contains a deep alluvial aquifer with alluvial and marine terraces. The Oued El Hachem valley is primarily fed by rainwater, resulting in seasonal flow. Since the construction of the Boukourdane dam, this natural recharge has been significantly influenced.

Keywords: Hydrological characteristics, Oued El Hachem, Precipitation, Hydrological balance, statistical tests.

Liste des abréviations

SIG :	Systèmes d'Information Géographique
ANRH :	Agence Nationale des Ressources Hydriques
ONS :	Office National des Statistiques
PME :	Petites et moyennes entreprises
SAU :	Surface agricole utile
STEP :	Station d'épuration
SDEM :	Station de Dessalement d'Eau de Mer
DEM :	Modèle Numérique d'Elévation
Kc :	Indice de compacité de Gravelius
A :	Surface
P :	Périmètre
L :	Longueur du rectangle équivalent
L :	Largeur du rectangle équivalent
IG :	Indice de pente globale
D :	Dénivelé
Max :	Maximale
Min :	Minimale
Moy :	Moyenne
D _d :	Densité de drainage
F :	Densité hydrographique
T _c :	Temps de concentration
ETP :	Evapotranspiration potentielle
ETR :	Evapotranspiration réelle
P :	Précipitation
H :	Humidité
T :	Température
RFU :	Réserve facilement utilisable
R :	Ruissellement annuel
I :	Lame d'eau infiltrée

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

DEDICACES

Sommaire

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	3
1. Introduction :	3
2. Situation géographique	3
3. Découpage administratif	4
4. Géomorphologie de Tipaza (Aspect morpho-tectonique)	4
4.1. Le relief :	5
5. Développement socio-économique	6
5.1. Le potentiel humain	6
5.2. Le potentiel industriel	6
5.3. Le potentiel agricole	6
5.4. Le développement forestier	6
5.5. Le développement touristique	7
6. Ressources Hydriques de la région	7
6.1. Les ressources conventionnelles	7
6.2. Ressources en eau non conventionnelles	8
7. Environnement	10
8. Conclusion	10
CHAPITRE 2 : GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE	12
1. Introduction	12
2. Contexte géologique régional :	12
2.1. Domaine interne :	13
2.2. Domaine des flyschs	14
2.2.1. Les flyschs mauritaniens	14
2.2.2. Les flyschs massyliens	14
2.2.3. Les flyschs numidiens	14

2.3.	Le domaine externe	14
2.3.1.	Les séries telliennes	14
3.	Contexte géologique local	15
3.1.	Les terrains éruptifs	15
3.2.	Les terrains primaires	15
3.3.	Les terrains secondaires	15
3.3.1.	Le Trias	15
3.3.2.	Le Jurassique	15
3.3.3.	Le Crétacé	15
3.4.	Les terrains Tertiaires	16
3.4.1.	L'Eocène	16
3.4.2.	Le Miocène	16
3.4.3.	Le Pliocène	16
3.5.	Les Terrains quaternaires	17
4.	Contexte géologique de la plaine d'Oued El Hachem :	20
5.	Description lithostratigraphique de la plaine de l'Oued El Hachem	21
6.	Aperçu hydrogéologique :	24
7.	Conclusion :	25
	CHAPITRE3 : L'HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE	27
1.	Introduction :	27
2.	L'hydrographie de la zone d'étude :	27
3.	Caractéristiques du bassin versant d'Oued EL Hachem :	28
3.1.	Les caractéristiques morphométriques :	28
3.2.	La carte topographique	30
3.3.	Carte hypsométrique :	32
3.4.	La pente :	33
3.5.	Réseau hydrographique	35
3.6.	Densité de drainage	37
3.7.	Densité hydrographique	37
3.8.	Temps de concentration	38
4.	Conclusion	39
	CHAPITRE 04 : étude climatologique	41
1.	Introduction :	41

2. Aperçu sur le climat à l'échelle régionale et locale :	41
3. Les paramètres climatiques	42
3.1. Comblement des lacunes	42
3.2. Précipitations	42
3.2.1. Précipitations mensuelles	42
3.2.2. Précipitations annuelles	43
3.3. Température	44
3.4. Diagramme Ombrothermique	45
3.5. L'humidité	46
3.6. Indice d'aridité de De Martonne	47
3.7. Vitesse du vent	48
4. Le bilan hydrologique	49
4.1. Evapotranspiration	50
4.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).	50
4.1.2. L'Evapotranspiration Réelle (ETR)	51
4.2. Lamme d'eau ruisselée	55
4.3. Lamme d'eau infiltrée	56
4.4. Estimation du bilan hydrologique	56
5. Détection de ruptures dans les séries pluviométriques annuelles	57
5.1. Test de Pettitte	57
5.2. Test de Buishand	57
5.3. Application des tests	58
5.4. Interprétation des Tests d'Homogénéité	60
5.6 Conclusion	60

CONCLUSIN GENERALE

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Situation géographique de la zone d'étude	3
Figure 2	: Carte de relief du bassin versant d'oued El Hachem	5
Figure 3	: Carte du Nord de l'Algérie dans le cadre géodynamique de la Méditerranée occidentale. (Chelouan ,2008)	13
Figure 4	: Carte géologique de la wilaya de Tipaza (à partir de la carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000)	18
Figure 5	: Notice de la Carte géologique de la wilaya de Tipaza (à partir de la carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000)	18
Figure 6	: Carte géologique de la plaine de l'Oued el Hachem	20
Figure 7	: Log stratigraphique des formations de la vallée de l'oued El Hachem et ses caractéristiques hydrogéologiques (ANRH Blida, 2004).	21
Figure 8	: Coupes transversales de l'Oued EL Hachem (Extrait de la notice explicative de la carte hydrogéologique de la région d'Alger 1/200 000) (CGG, 1966)	22
Figure 9	: Carte hydrographique de la Wilaya de TIPAZA	25
Figure 10	: la carte topographique du bassin versant de l'oued El Hachem	29
Figure 11	: Carte hypsométrique du bassin versant d'oued el Hachem	30
Figure 12	: Courbe hypsométrique	31
Figure 13	: La carte de pente du bassin versant d'oued el Hachem	32
Figure 14	: Carte de réseau hydrographique pente du bassin versant d'oued el Hachem	34
Figure 15	: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station Boukourdane (1987-2020).	40
Figure 16	: Histogramme des précipitations moyennes annuelles en mm de la station Boukourdane (1987-2020)	45
Figure 17	: courbes des variations des Températures mensuelles de la Station de Boukourdane (1987- 2020)	42
Figure 18	: Diagramme Ombrothermique de la station de Boukourdane	43
Figure 19	: Variation de l'humidité relative mensuelle de la station de Boukourdane (1987- 2020)	44
Figure 20	: Courbe de variation de vitesse moyenne mensuelle du vent enregistré à la station de Boukourdane (1987-2020)	46
Figure 21	: Bilan simplifié de Thornthwaite, station de Boukourdane (1987-2020)	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Découpage administratif de la wilaya de Tipaza	4
Tableau 2	: Caractéristiques des différents barrages de la Wilaya de Tipaza (Ammari, 2012)	8
Tableau 3	: Capacité des retenues collinaires de la wilaya de Tipaza	8
Tableau 4	: Station de traitement des eaux usées de la wilaya de Tipaza	9
Tableau 5	: Station de Dessalement d'Eau de Mer de la wilaya de Tipaza	9
Tableau 6	: besoins en eau potable	9
Tableau 7	: Les bassins versants de la wilaya de Tipaza	26
Tableau 8	: Les altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued El Hachem	31
Tableau 9	: Classification de relief selon l'ORSTOM	33
Tableau 10	: Classification des cours d'eau selon l'ordre de STRAHLER	34
Tableau 11	: Caractéristiques de la station pluviométrique utilisée (ANRH)	39
Tableau 12	: Températures moyennes enregistrées à la station du Barrage Boukourdane (1987-2020).	42
Tableau 13	: Précipitations moyennes mensuelles et double des températures enregistrées à la station du Barrage Boukourdane (1987-2020)	43
Tableau 14	: Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative au niveau de la station de Boukourdane (1987-2020)	44
Tableau 15	: Classification du climat selon DE MARTONNE	45
Tableau 16	: Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent dans la station de Boukourdane (1987-2020).	46
Tableau 17	: Résultats de l'ETP selon la méthode de Thornthwait	48
Tableau 18	: Résultats de l'ETR selon la méthode de Thornthwait	51
Tableau 19	: Tableau récapitulatif des différents termes du bilan hydrologique, station de Boukourdane (1987-2020)	54
Tableau 20	: résultat des tests Pettitt et Buishand	58

Introduction Générale

Introduction générale

La pression croissante exercée par les activités humaines sur les nappes aquifères pose des défis importants pour la gestion durable. L'augmentation de la demande en eau due à la croissance démographique, à l'accroissement des activités agricoles et industrielles, ainsi que les effets du changement climatique, contribuent à la surexploitation et à la dégradation de ces ressources vitales. Il est donc impératif de mettre en place des stratégies de gestion intégrée, incluant la surveillance continue des niveaux d'eau, la promotion de pratiques agricoles et industrielles durables, et l'éducation des populations locales sur l'importance de la conservation de l'eau.

La plaine de l'Oued El Hachem, située dans la wilaya de Tipaza, au Nord de l'Algérie, bénéficie d'une nappe aquifère significative, jouant un rôle vital dans l'approvisionnement en eau pour divers usages domestiques, agricoles et industriels. Cette nappe est principalement alimentée par les eaux de pluie qui s'infiltrent à travers son impluvium de l'Oued El Hachem.

Tout comme les autres nappes d'Algérie, la nappe de l'Oued El Hachem fait face aux mêmes défis comme la sécheresse, la pollution...etc

La présente étude se concentre sur l'analyse des caractéristiques hydrologiques du bassin versant de l'Oued El Hachem en utilisant les technologies avancées des Systèmes d'Information Géographique (SIG). L'objectif principal est d'évaluer la disponibilité et la durabilité de la ressource en eau souterraine à travers une analyse approfondie des données pluviométriques, permettant ainsi d'établir un bilan hydrologique. Cette démarche permettra de mieux comprendre les processus d'infiltration, de recharge et de décharge de la nappe, ainsi que leur variabilité saisonnière et interannuelle.

Pour une présentation plus claire de ce mémoire, nous l'avons structuré de la manière suivante :

- Le premier chapitre est consacré pour une présentation des généralités sur la zone d'étude relative à la situation géographique, la géomorphologie et l'aspect socioéconomique.
- Le deuxième chapitre dans lequel on s'intéresse au contexte géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.
- Le troisième chapitre est réservé à l'étude des caractéristiques hydrologique de la zone d'étude.
- Le quatrième chapitre traite l'étude et l'estimation des paramètres hydroclimatologiques en particulier, les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

Notre zone d'étude, le bassin de l'Oued El Hachem est situé dans la Wilaya de Tipaza, qui fait partie de la région nord de l'Algérie. C'est une zone fortement urbanisée. Elle s'étend sur une superficie de 1707 km², située à 68 km à l'Ouest de la capitale Alger. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, à l'Est par la Wilaya d'Alger, au Sud-est par la wilaya de Blida, au Sud par la Wilaya de Ain-Defla et à l'Ouest par la Wilaya de Chlef.

La Wilaya de Tipaza est composée de 10 daïras et 28 communes ; Notre zone d'étude, plaine de L'Oued El Hachem, fait partie de la daïra de Sidi Amar, commune de Menacer.

Ce chapitre est consacré à une présentation de la zone d'étude axée sur les caractéristiques géographiques et administratives, les aspects hydrologiques et hydrographiques, ainsi que ses potentialités en termes de ressources hydriques et socio-économiques.

2. Situation géographique

La vallée de l'Oued El Hachem située dans le sous bassin Côtier Cherchell (0203), appartient au bassin versant Côtier Algérois (02a) selon la nomenclature de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Elle fait partie de l'Atlas tellien. L'Oued El Hachem se situe au Sud-est de la ville de Cherchell, au pied du versant Sud-ouest du massif de Chenoua. Elle est limitée au Sud par Djebel Boumâad, au Nord par la mer méditerranéenne et à l'Est par le massif de Gouraya (Fareh, 2006).

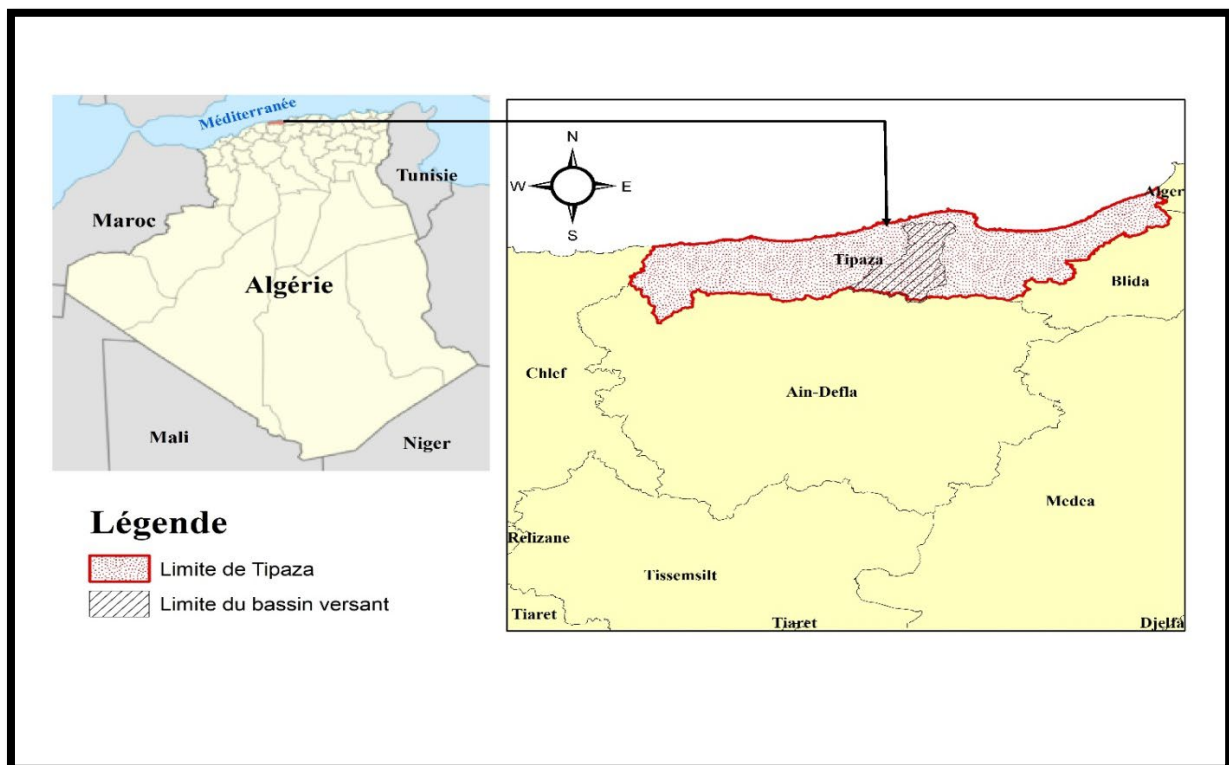


Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude

3. Découpage administratif

La wilaya de Tipaza compte 10 daïras et 28 communes. Sa superficie totale est de 1707 km² selon l'Office National des Statistiques (ONS 2008).

Tableau 01 : découpage administratif de la wilaya de Tipaza

Daïras	Superficie en km ²	COMMUNES
AHMEUR EL AIN	178,17	Ahmeur El Ain, Bourkika, Sidi Rached
DAMOUS	239,19	Damous, Larhat, Beni Malleuk
CHERCHELL	230,64	Cherchell, Sidi Ghiles, Hadjret Ennous, Sidi Semiane
BOU SMAÏL	58,39	Bou Ismail, Ain Tagourait, Bou Haroun, Khemisti
TIPASA	66,00	TIPASA
FOUKA	24,84	Fouka, Douaouda
GOURAYA	322,89	Gouraya, Messelmoune, Aghbal
HADJOUT	181,31	Hadjout, Mered
KOLEA	137,5	Koléa, Chiba, Attatba
SIDI AMAR	268,48	Sidi Amar, Nador, Menaceur

4. Géomorphologie de Tipaza (Aspect morpho-tectonique)

Le bilan hydrologique d'un bassin versant est le résultat de l'interaction complexe entre ses

caractéristiques géographiques, morphologiques et orographiques, qui influencent directement les processus de ruissellement, d'infiltration, de précipitations et d'évapotranspiration.

Ces interactions déterminent le comportement hydrologique global du bassin et sa réponse aux événements météorologiques et climatiques.

4.1. Le relief :

Le relief est un élément fondamental pour l'étude et la description des principaux ensembles topographiques d'une région. Il permet de comprendre non seulement la disposition des différents types de terrains, mais aussi les processus géologiques qui les ont formés et continus de les modeler. Sur ce, L'étude du relief est cruciale pour comprendre les dynamiques géologiques, climatiques et écologiques d'une région.

La topographie de la région de Tipaza présente une diversité remarquable, comprenant des plaines côtières, des montagnes et des collines, avec des altitudes oscillantes entre 200 et 600 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le bassin versant de l'Oued EL Hachem s'étend à proximité de la côte méditerranéenne, entouré par les montagnes de l'Atlas Blidéen ; il se situe au Sud-est de la ville de Cherchell au pied du versant Sud-ouest du massif de Chenoua. Il est limité au Sud par Djbel Boumâad et à l'Est par le massif de Gouraya (Fareh, 2006).

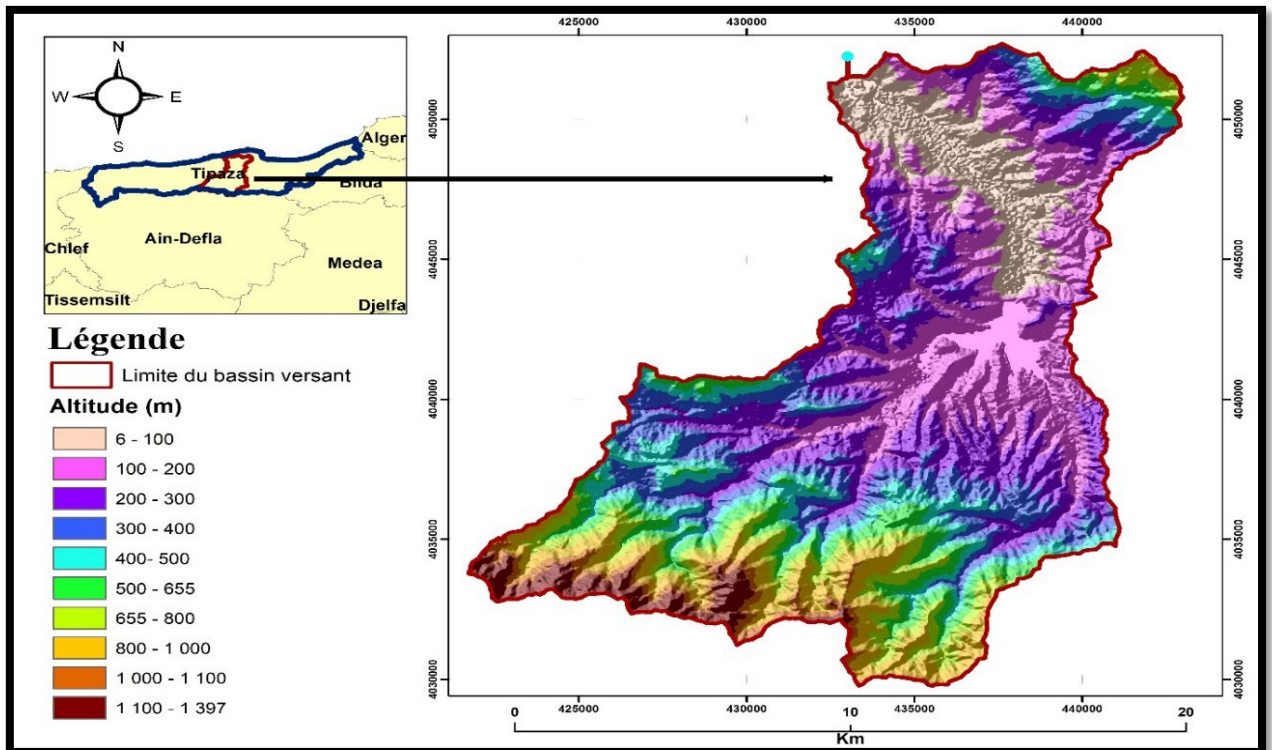


Figure 02 : Carte de relief du bassin versant d'oued El Hachem

Les plaines côtières (0-500 m), positionnées au Nord du bassin versant le long du littoral méditerranéen, sont souvent étroites et bordées par des montagnes abruptes et des falaises. Ces plaines sont principalement dédiées à l'agriculture, notamment la culture d'agrumes, d'oliviers et de céréales

Les collines, localisées principalement au centre du bassin versant, sont souvent couvertes de forêts de pins et de chênes verts, et servent à la production de bois, ainsi qu'à l'élevage de moutons et de chèvres.

Les montagnes, situées dans la partie sud du bassin versant, comprennent des sommets dépassent parfois les 1000 mètres d'altitude, et sont couverts de forêts de chênes-lièges et de pins. Elles sont exploitées pour l'élevage, l'exploitation forestière et également pour le tourisme.

5. Développement socio-économique

La région d'étude présente de nombreuses potentialités socio-économiques, notamment dans les domaines de l'agriculture, de l'industrie, du tourisme et des ressources humaines. Chacune de ces potentialités requiert une quantité d'eau considérable pour leur subsistance et leur développement.

5.1. Le potentiel humain

La population totale de la Wilaya de Tipaza est estimée à 591 010 habitants soit d'une densité de 346,22 habitants au kilomètre carré (km²) en 2008, calculé selon le taux d'accroissement annuel moyen de la période 1998-2008.

5.2. Le potentiel industriel

Le palier industriel de la Wilaya de Tipaza est composé essentiellement de petites et moyennes entreprises (PME).

Le type d'activités le plus répondeur et le plus abondant est celui lié à la production de matériaux de construction ensuite suivi de l'activité agroalimentaire.

5.3. Le potentiel agricole

La Wilaya de Tipasa est caractérisée par un potentiel en sol cultivable destiné à l'activité agricole d'environ de 72 929 ha, dont 64 772 ha de surface agricole utile (SAU). (ANDI, 2015)

La superficie irriguée est estimée à 12 215ha, soit un taux d'irrigation de 18,6% de la surface agricole utile. (ANDI, 2015).

Les terres dans cette région sont cultivées par plusieurs cultures ; dont, l'arboriculture fruitières, les agrumes, culture maraichère, les fourrages et les céréales.

5.4. Le développement forestier

La Wilaya de Tipasa possède un riche potentiel forestier avec une superficie d'environ de 40 375ha. On note que les forêts et les maquis occupent environ 23,61% du territoire de la Wilaya (soit 170 000 ha).

Les forêts sont réparties d'une façon inégale à travers la Wilaya, les statistiques relèvent environ 27 415 ha, soit 60% du total qui sont concentrés dans la région ouest (Damous, Cherchell, Gouraya et Sidi Amar), (Siouane. Z, 2018).

L'occupation du sol par essence donne une répartition où le pin d'Alep est le plus répandu (55,69%) suivi de chêne-vert (17,01%). Quant au chêne liège dont l'aire se situe beaucoup plus du côté ouest de la Wilaya, il occupe 6,98 % de la superficie forestière totale.

5.5. Le développement touristique

La Wilaya de Tipaza dispose d'un potentiel touristique et d'un patrimoine historique importants sur une longueur de côte qui s'étend sur 123km, avec l'existence de 51 plages dont 39 sont ouvertes à la baignade en plus de nombreuses criques, baies et autres falaises offrant d'indéniables possibilités touristiques.

Ce secteur permet à la Wilaya de Tipaza d'enregistrer chaque année une influence considérable qui dépasse les trois (03) millions de visiteurs et touristes durant la saison estivale. Ce qui rend ce secteur comme un atout appréciable pour le développement socio-économique de la Wilaya de Tipaza.

6. Ressources Hydriques de la région

6.1. Les ressources conventionnelles

Ces ressources se subdivisent en eaux de surface et en eaux souterraines

- **Les eaux de surface**

Elles sont exploitées au moyen de barrages et de retenues collinaires. La Wilaya de Tipaza dispose de trois (03) barrages (Barrage de Boukourdane, Barrage de Boudjebroune, Barrage de Keff Eddir) (Tableau 2) et de deux (02) retenues collinaires (Tableau 3)

Tableau 02 : Caractéristiques des différents barrages de la Wilaya de Tipaza (Ammari, 2012)

Nom de Barrage	Boukourdane	Boudjebroune	Keff Eddir
Localisation	Sidi Amar	Meurad	Damous
Oued	El Hachem	Sidi Bouyahia	Damous
Année de mise en service	1996	1862	En cours de remplissage
Capacité initiale	97 Hm3/an	1 Hm3	125 Hm3
Apport moyen annuel	21,10 Hm3/an	1,5 Hm3/an	
Volume régulatrice	49 Hm3/an	49 Hm3/an	60 Hm3/an

- **Les retenues collinaires**

Tableau 03 : capacité des retenues collinaires de la wilaya de Tipaza

Retenues collinaires	Capacité total
Attatba (Aïn Zouaoua)	0,120 Hm3
Hadjret Ennous (Mouloud Azizi)	0,160 Hm3

- **Les eaux souterraines**

Les nappes alluviales des oueds et des plaines constituent les principales nappes aquifères de la Wilaya, auxquelles s'ajoutent quelques formations géologiques perméables telles que les calcaires de Chenoua.

6.2. Ressources en eau non conventionnelles

Les ressources en eau non conventionnelles sont constituées des :

- Eaux de mer dessalées et les eaux saumâtres déminéralisées dans le but d'utilité publique (tableau 5),

-Eaux épurées dans les STEP (station d'épuration) et réutilisées dans le but d'utilité publique (tableau 4),

- **Les eaux des stations d'épuration**

Une station d'épuration est une installation conçue pour traiter les eaux usées, en éliminant les polluants avant leur rejet dans l'environnement, afin de protéger les écosystèmes et la santé humaine. Dans la wilaya de Tipaza, on compte trois stations d'épuration d'une capacité totale de 225 000 équivalent habitant (tableau 4).

Tableau 04 : Station de traitement des eaux usées de la wilaya de Tipaza

Station d'épuration	Capacité (équivalent habitant)	Débit
Koléa	75 000	11 000 m ³ /jour
Chenoua	75 000	11 200 m ³ /jour
Hadjout	75 000	11 000m ³ /jour

- **Les eaux de dessalement SDEM**

Les stations de dessalement transforment l'eau de mer en eau douce, souvent via l'osmose inverse, pour répondre aux besoins en eau. A travers le territoire de Tipaza, il existe quatre stations de dessalement de l'eau de mer qui produisent 230 000 m³/jour (tableau 5). C'est une quantité importante qui est utilisée pour satisfaire des besoins de la population locale.

Tableau 05 : Station de Dessalement d'Eau de Mer de la wilaya de Tipaza

Nom de la station	Débit d'eau potable
Douaouda	50 000 m ³ /jour
Fouka	70 000 m ³ /jour
Oued Sebt	100 000 m ³ /jour
Bousmaïl	10 000Jour

- **Besoins en eau potable de la région de Tipaza**

Tableau 06 : besoin en eau potable

Habitants	Dotation journalière	Besoin annuels
591 010 h	150 L/j	32,36hm ³

7. Environnement

La pollution des eaux est due à l'évacuation des eaux usées urbaines ou industrielles ainsi qu'à l'utilisation de produits chimiques en agriculture. Ce phénomène entraîne des effets directs sur les eaux de surface et les eaux souterraines, puis finit par contaminer les eaux marines. Dans la wilaya, 110 rejets à ciel ouvert ont été recensés, avec un volume total de 45 394 m³ par jour. Les communes du littoral au nombre de 14 comptent à elles seules 72 rejets avec un volume de 3 208 m³/j.

8. Conclusion

En conclusion, la Wilaya de Tipaza, et particulièrement la zone du bassin de l'Oued El Hachem, présente une diversité géographique et administrative riche, ainsi qu'un potentiel hydrologique et socio-économique significatif. Avec une superficie totale de 1707 km² et une population de 591 010 habitants, les ressources hydriques, telles que les barrages (avec une capacité allant jusqu'à 223 Hm³/an) et les stations de dessalement (produisant jusqu'à 230 000 m³/jour), sont essentielles au développement agricole, industriel, touristique et forestier de la région. Toutefois, la pollution des eaux, avec 110 rejets recensés, demeure un défi majeur, nécessitant des actions concertées pour préserver et gérer durablement ces ressources vitales.

Chapitre 2 : Géologie de la zone d'étude

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

La géologie nous apprend à pénétrer dans la profondeur des temps, nous aidant à expliquer les modifications de l'écorce terrestre à l'aide des phénomènes qui se déroulent constamment sous nos yeux (V. Obrouchev). La géologie joue un rôle crucial dans l'étude hydrogéologique ; la nature et la distribution des formations aquifères et aquitards dans un système géologique sont contrôlées par la lithologie, la stratigraphie et la structure des dépôts et des formations géologiques.

Dans ce chapitre, on tente de présenter les caractéristiques géologiques de la zone d'étude en se basant essentiellement sur les travaux de

2. Contexte géologique régional :

La région d'étude se trouve dans la zone plissée de l'Atlas tellien, qui fait partie des zones externes de la chaîne maghrébine. Cette chaîne est probablement le résultat de la convergence et de la collision entre un élément de la marge sud-européenne et la marge nord-africaine. Du Sud au Nord, la chaîne maghrébine est constituée de nappes et de structures provenant de trois domaines paléogéographiques distincts (figure 3)

- Domaine interne
- Domaine des flyschs
- Domaine externe

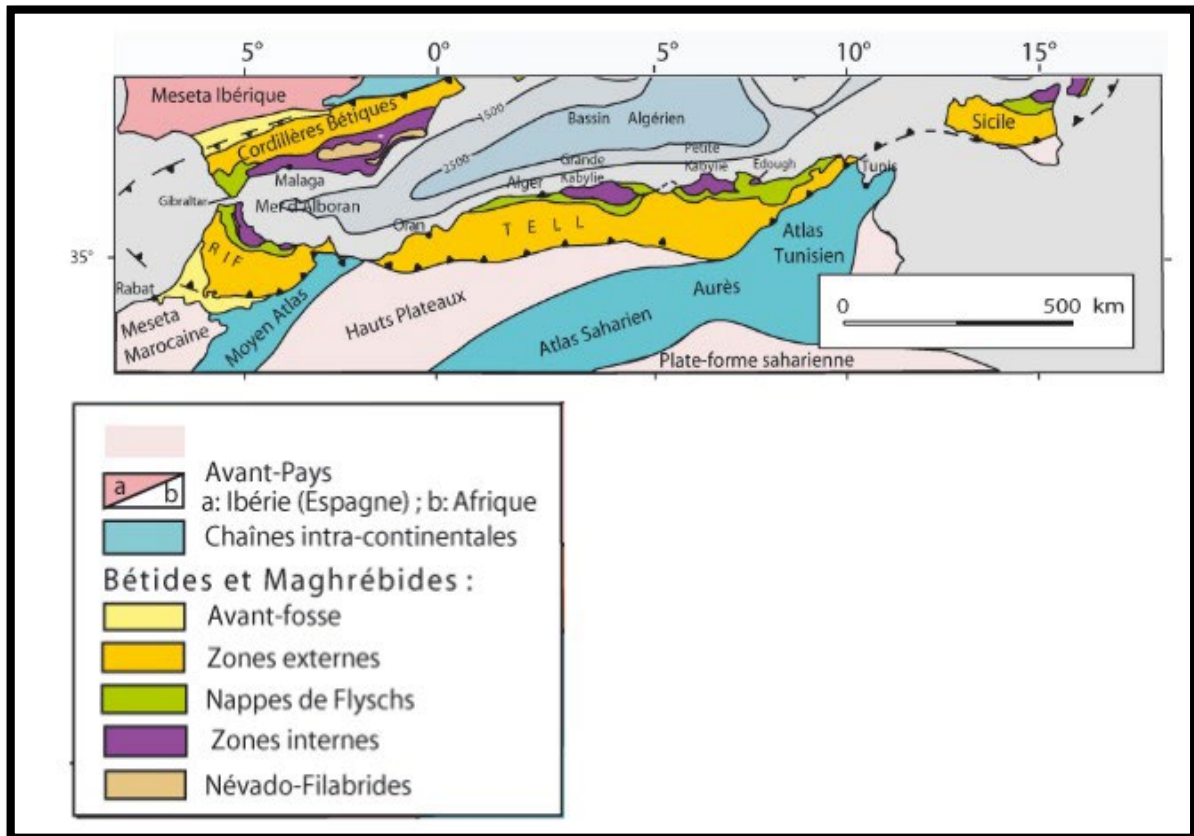


Figure 3 : Carte du Nord de l'Algérie dans le cadre géodynamique de la Méditerranée occidentale. (Chelouan ,2008)

2.1. Domaine interne :

En Algérie, il s'agit du socle kabyle limité par la dorsale kabyle au Sud. Le socle kabyle regroupe l'affleurement d'un socle métamorphique caractérisé par des formations cambriennes (granulite, phyllade, gneiss...) et une couverture sédimentaires secondaires et tertiaires.

➤ Le socle Kabyle

Il comprend trois ensembles lithologiques :

- Un ensemble cristallophyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissant, de marbre et d'amphibolites.
- Un ensemble cristallophyllien supérieur, comportant des schistes ou phyllades, des grés...etc).
- La couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin, peu ou pas métamorphique, dont les séries comprennent des termes de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien, ainsi du Carbonifère inférieur.

2.2. Domaine des flyschs

La complexité structurale de la zone des flysch ainsi que la pauvreté de celle-ci en fossiles ont été longtemps mal connus. J.F (1969) distingue :

- Les flyschs mauritaniens
- Les flyschs massyliens
- La nappe numidienne

2.2.1. Les flyschs mauritaniens

C'est une seule série qui contient de bas en haut :

- Des radiolarites rouges du Malm avec un flysch argilo-gréseux d'âge crétacé inférieur.
- Des calcaires conglomératiques ou microconglomératiques à bandes silicifiées blanches d'âge crétacé supérieur.
- Des formations conglomératiques et micro conglomératiques d'âge Yprésien.

2.2.2. Les flyschs massyliens

Ce sont des flyschs argilo-quartziques d'âge crétacé inférieur avec des phanites du Cénomaniens suivi par une alternance d'argiles et de micro-brèches du Crétacé supérieur.

2.2.3. Les flyschs numidiens

Ce sont des flyschs gréseux Oligo-aquitaniens, qui atteignent le Burdigalien inférieur et se déposent en discordance sur les premiers contacts tectoniques séparant les unités du domaine interne et la nappe du flysch mauritanien.

2.3. Le domaine externe

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain, on peut distinguer deux grands types de séries :

- Les séries telliennes
- Les séries de l'avant pays

2.3.1. Les séries telliennes

Il s'agit de séries très épaisses à dominance marneuse d'âge jurassique à éocène lui-même subdivisé en trois grandes unités (J.M VILA,1980) qui sont du Nord vers le Sud.

- Les unités ultras telliennes
- Les unités telliennes sensu stricto
- Les unités péni-telliennes

3. Contexte géologique local

Affectée par les mouvements orogéniques alpins et hercyniens, l'Algérie du Nord présente une importante complexité géologique, cependant elle a été l'objet de plusieurs études géologiques (Bouillin, 1986).

3.1. Les terrains éruptifs

Ils n'apparaissent qu'en époinement de faible superficie en bordure du littoral. Ils sont représentés par des granites et granodiorites au Sud de Hadjret Ennous et des syénites près de Cherchell, des liparites quartzifères et feldspathiques et dacites sur le flanc sud du Chenoua.

Les affleurements sont plus importants sur la bordure du bassin synclinal miocène de Menacer où la roche est surtout constituée d'angitendésites, où prospère la forêt de chêne-liège.

Toutes ces roches éruptives fournissent des sols non calcaires, siliceux très caillouteux et superficiels à vocation strictement forestière.

3.2. Les terrains primaires

Ils ne sont présents que sur la moitié du Nord du Mont de Chenoua. Le Dévonien y est représenté par une série de schistes noirs, micro brèches et grès et le Permien par des Conglomérats à éléments siliceux, grès variés et argiles rouges.

3.3. Les terrains secondaires

3.3.1. Le Trias

Il est formé par des époinements isolés assez nombreux dans la partie est du Zaccar dans le mont de Chenoua. Il est formé de calcaire jaunâtres, d'argiles rouges ou bariolées et de dolomie.

3.3.2. Le Jurassique

Il est formé de calcaire dur comportant quelque fois le silex et constitue les lignes de crêtes, les pics et les falaises abruptes. On rencontre cette formation sur le versant est du Chenoua dépourvu de sols et de couverture végétale.

3.3.3. Le Crétacé

Très largement dominant dans la zone d'étude, il se décompose en trois étages distincts.

3.3.3.1. Le Crétacé inférieur

Il constitue les massifs centraux et les lignes de crêtes de Zaccar (Djebel Boumâad). Il est composé de schistes, de grès, de quartzites et de calcaires.

L'Albien, formé d'argiles brunes gréseuses et de grès quartzites, se rencontre surtout dans la forêt de Tizi Franco et de Bou Harb.

Cette formation apparaît également au Sud de Menacer où le chêne-liège prolifère sur des grès.

3.3.3.2. Le Crétacé moyen

Il est représenté par le Cénomaniens et le Turonien observé dans le versant nord et sur Djebel Nador. Le Cénomaniens dominant est caractérisé par une alternance de marne argileuses ou de marno-calcaires tendres et roches calcaires dures.

L'érosion à créer un relief accusé par enlèvement des marnes qui forment les bas-fonds et les vallées. Les calcaires durs forment les crêtes rocheuses. Ces formations donnent rarement naissance à des sols cultivables. C'est un substrat géologique à vocation essentiellement forestière.

3.3.3.3. Le Crétacé supérieur

Il est représenté par le Sénonien et le Danien. Il est formé par des marnes schisteuses présentant des lentilles de calcaires. Les marnes Cénomaniennes donnent naissance à des sols agricoles du moins dans les zones à topographie favorables ; sur les fortes pentes, elles sont couvertes de forêts de pins.

Ces formations géologiques sont à vocation agricole lorsque la topographie et l'épaisseur du sol sont favorables et à vocation forestière sur les hauts piémonts.

3.4. Les terrains Tertiaires

3.4.1. L'Eocène

Il apparaît sous forme de petits affleurements très dispersés au Sud-est du massif du Chenoua. Il est formé de marnes, de grès, de calcaires et de calcaires gréseux de l'Eocène inférieur.

3.4.2. Le Miocène

On le retrouve principalement dans la plaine de l'oued Messelmoune et de Sidi Ghiles. Il est représenté par plusieurs assises à la base des grès grossiers. Lorsqu'elle affleure, cette assise donne des pentes rocheuses souvent ravinées. Des couches argilo-gréseuses viennent s'étagérer au-dessus, puis des marnes parfois gréseuses de Burdigalien. Seules les argiles rouges donnent des terres agricoles. Les grès et poudingues sont recouverts par des broussailles.

3.4.3. Le Pliocène

Il occupe essentiellement la plaine de la Mitidja ouest où il affleure largement. Il forme un affleurement de couches gréseuses jaune qui se plongent par des sables à l'Ouest. Par ailleurs, les couches pliocènes sont constituées par les molasses astiennes du Sahel à l'Est de Sid Amar.

Le Pliocène affleure aussi au Sud de Cherchell sous forme de mollasse très grossière.

A l'Est du bassin de Menacer, les éventails des cônes de déjection d'âge Pliocène supérieur,

sont découpés par des petites vallées.

3.4.3.1. Le Plaisancien

Il est composé principalement d'une série épaisse et uniforme de marnes grises et blanches qui présentent localement des bancs gréseux faiblement glauconieux à la base, avec des intercalations de lentilles gréseuses vers le sommet.

3.4.3.2. L'Astien

Il est bien développé sur les bordures de la plaine littorale et limité à sa base par un niveau à glauconie souvent fossilifère et surmonté d'une molasse astienne. Le niveau à glauconie, presque toujours présent dans le Sahel d'Alger, a une épaisseur qui varie de 10 cm à 10 m.

Au-dessus du niveau à glauconie, on rencontre à la base de l'Astien les marnes gréseuses fossilifères d'une quinzaine de mètres d'épaisseurs, ensuite des bancs gréseux où apparaissent des lits de conglomérats à galets provenant de l'Atlas. Ces bancs sont accompagnés d'intercalations de grès coquilliers à ciment calcaires. Vers le haut de la série, on trouve des grès sableux et calcaires coquilliers d'une quarantaine de mètres d'épaisseurs.

3.5. Les Terrains quaternaires

Les formations quaternaires, généralement meubles, donnent des sols alluviaux profonds à vocation agricole par excellence, elles couvrent les plaines littorales, et les terrasses alluviales des principaux oueds (Nador, Mazafran, El Hachem, Messelmoune et Damous).

Les plaines littorales sont formées par les alluvions actuelles des plages, les dunes actuelles et anciennes (dunes consolidées), des alluvions anciennes ou récentes donnant généralement des sols sableux convenant parfaitement aux cultures maraichères.

Les terres des terrasses alluviales des oueds sont de texture variable selon les endroits, leur âge et selon leurs positions géomorphologiques. Ces terrasses sont le plus souvent formées d'excellentes terres agricoles localement noyées dans des cônes de déjection et des dépôts torrentiels. Ces formations sont visibles au Nord et au Centre de la plaine et pourraient se placer soit à la fin du cycle pliocène (Astien supérieur), soit dans le Quaternaire ancien (Calabrien). Ces dépôts marins d'une trentaine de mètres d'épaisseurs reposent en discordance sur l'Astien grésocalcaire et sont formés de sable mêlé de galets, de conglomérats et de microconglomérats à ciment calcaires. Ils sont parfois surmontés par des dépôts alluvionnaires d'âge probablement villafranchien. Ce dernier est connu sous le nom de formations de marnes d'El Hachem. C'est une séquence relativement uniforme d'argiles jaunâtres ou grise par endroits avec quelques cailloutis et lentilles de graviers. Son épaisseur varie entre 2 et 6 mètres.

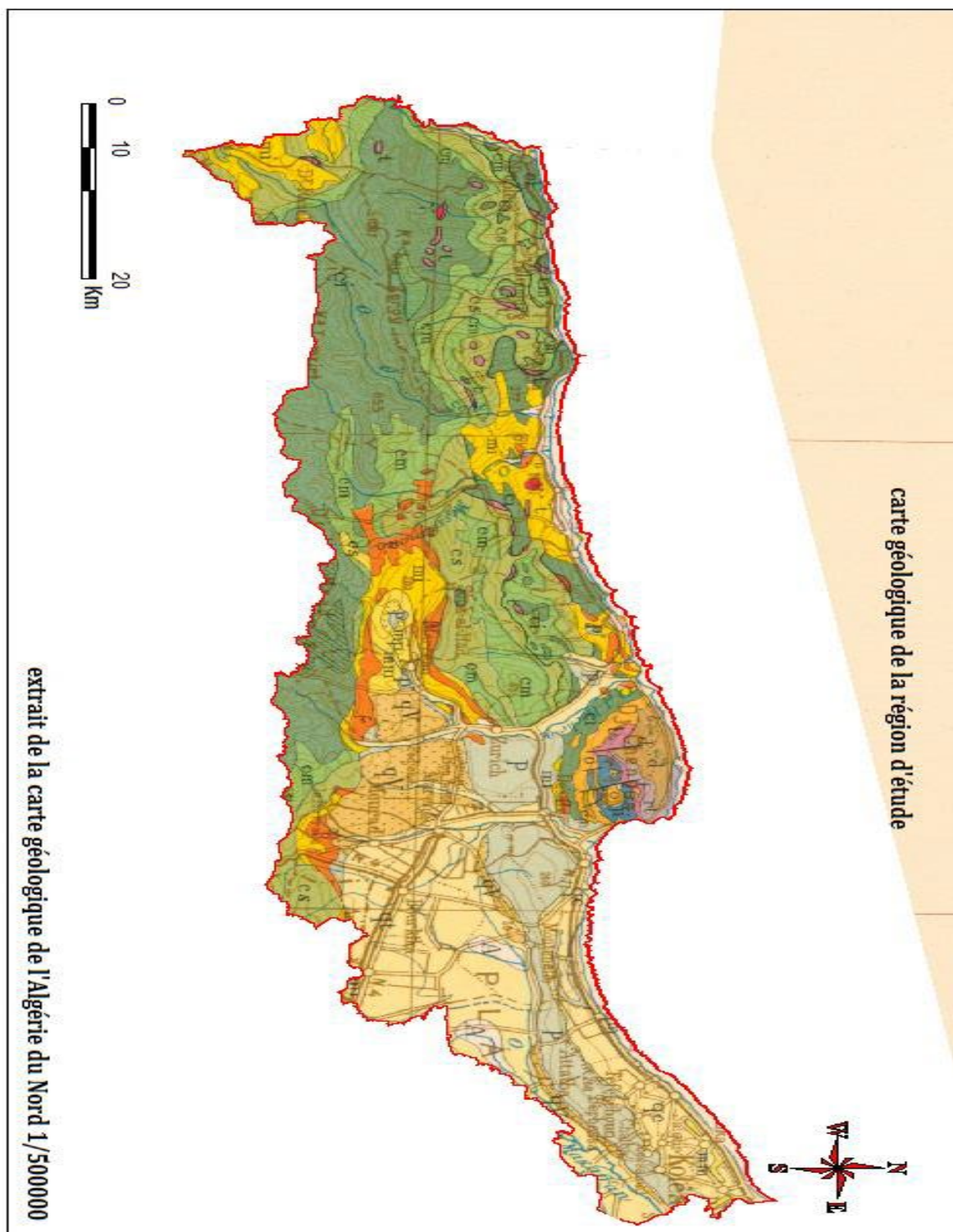


Figure 04 : Carte géologique de la wilaya de Tipaza (à partir de la carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000)

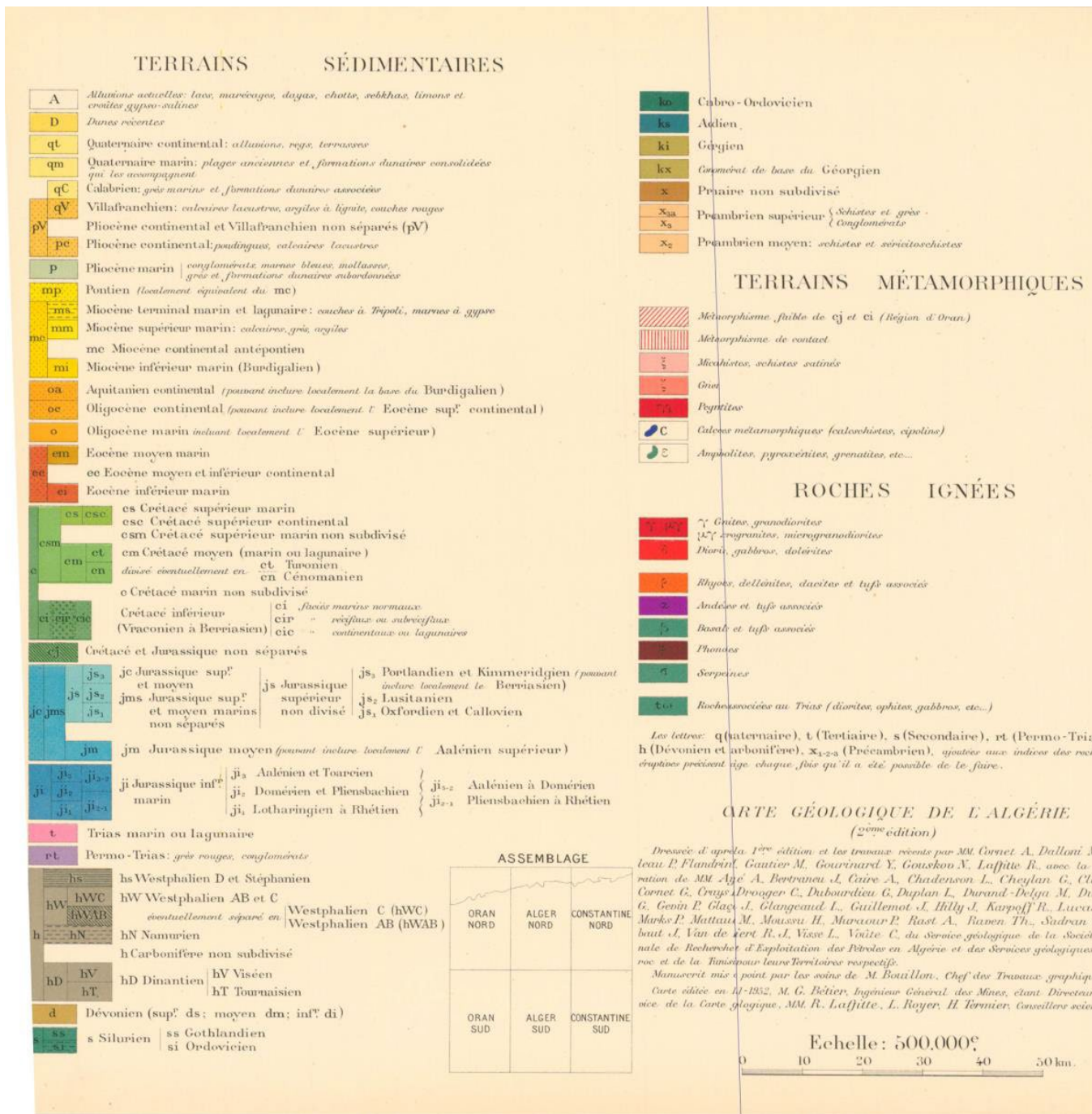


Figure 05 : Notice de la Carte géologique de la wilaya de Tipaza (à partir de la carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000)

4. Contexte géologique de la plaine d'Oued El Hachem :

La zone d'étude se caractérise par une grande complexité géologique en raison de la présence de plusieurs zones stratigraphiques et tectoniques distinctes, résultant des plissements nummulitiques. En allant du nord au sud, on observe :

- La zone des massifs de Kabylie, illustrée par le Chenoua, est composée au Nord de roches métamorphiques, de schistes, de poudingues et de grès primaires, surmontés de grès rouges et de cargneules du Permo-Trias. Au sud, cette zone est délimitée par des calcaires liasiques et des couches éocènes transgressives sur le Lias.
- La zone des flyschs datant de l'albo-aptien constitue une séparation géologique distincte entre la région des massifs crétacés. Elle s'étend le long de la côte, apparaissant spécifiquement sur les cartes géologiques des feuilles de Cherchell et de Gouraya.
- Le pays crétacé
- Le Néogène, en tant que période de transgression marine, recouvre les zones nummulitiques et se préserve dans les zones les plus basses, telles que les synclinaux néogènes le long de la côte, notamment dans le prolongement du Sahel d'Alger à l'Ouest de la région de Cherchell.
- Les terrasses de 15 à 20 m.
- Les dépôts alluvionnaires récents se trouvent dans les vallées larges et à fonds plats.

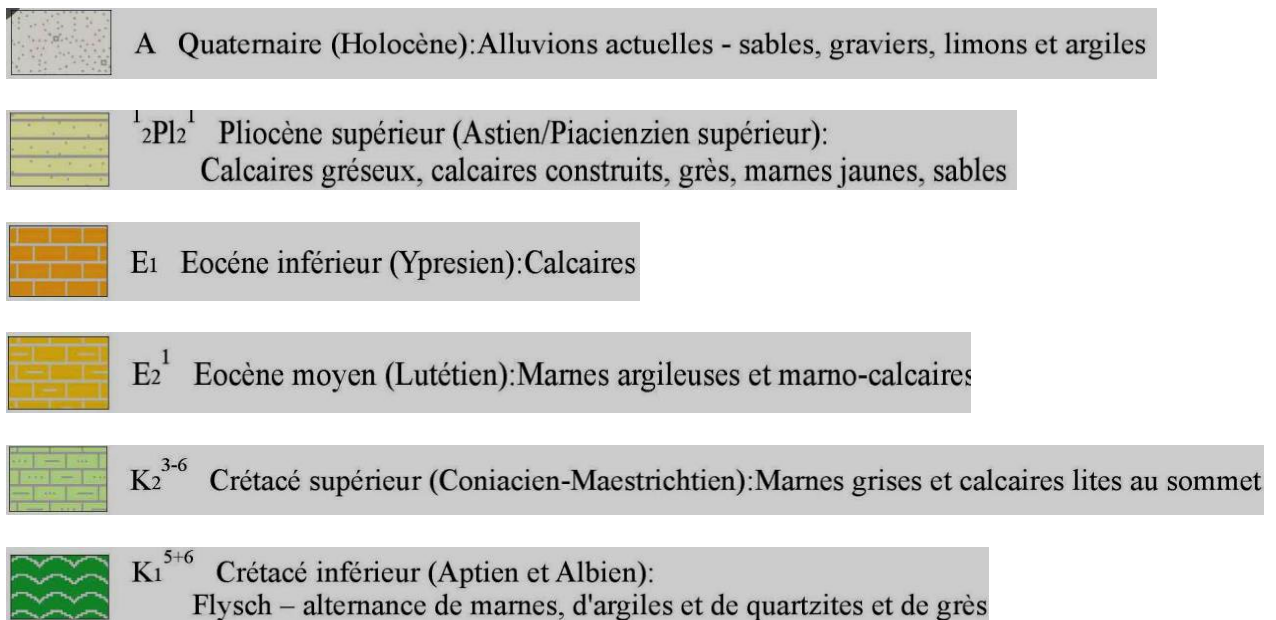
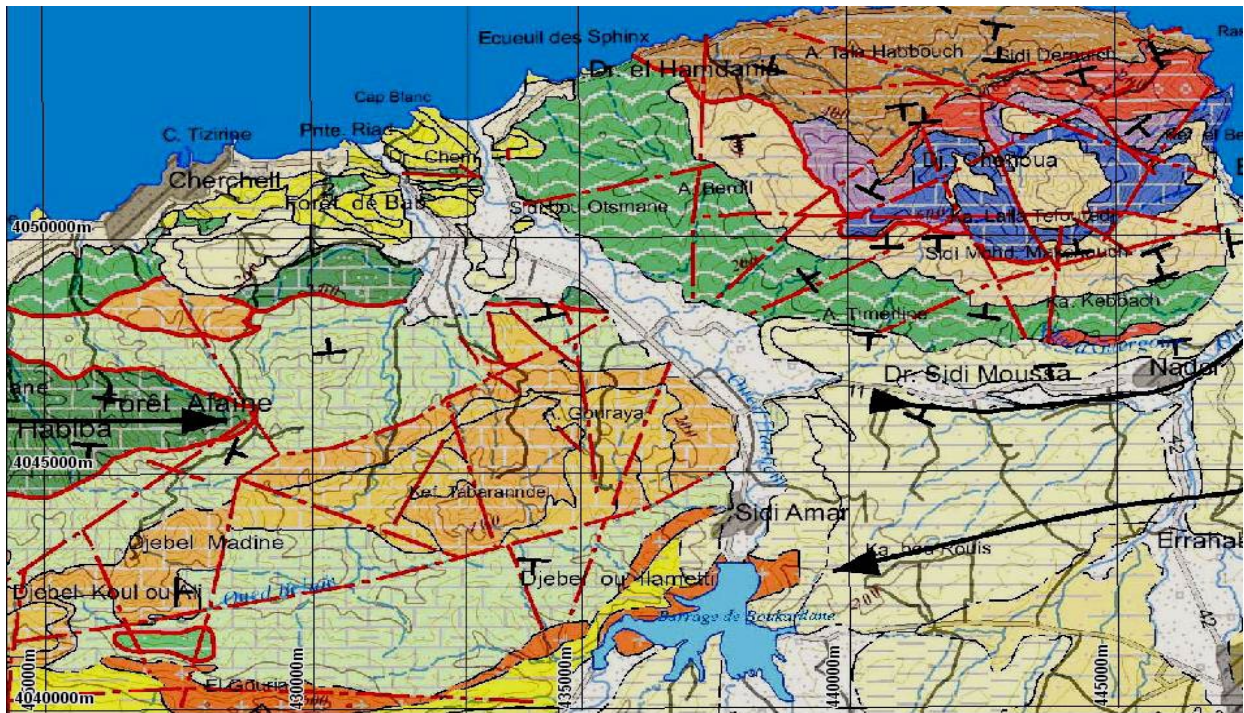


Figure 06 : Carte géologique de la plaine d'Oued El Hachem

5. Description lithostratigraphique de la plaine de l'Oued El Hachem

La lithostratigraphie du bassin versant de l'Oued El Hachem révèle des formations primaires, telles que les roches cristallophylliennes, composées de grès micacés, de marnes et de poudingues. Ces formations sont attribuées au Permien par Fischer (1968). Parmi les

formations secondaires, le Trias se distingue par des brèches dolomitiques et gypseuses. Ce complexe triasique présente deux faciès distincts :

Les cargneules et les dolomies jaunes, formant un ensemble de faible épaisseur dans la région de Chenoua, et une combinaison de gypses, cargneules, dolomies moins fétides, argiles arrisées, et brèches mylonitiques gypseuses avec des roches exogènes. Dans le bassin de Menacer, le Trias se compose de gypse, de marnes bariolées et fragments de roches éruptives. Les formations jurassiques sont représentées par des calcaires massifs du Lias, qui couronnent le Chenoua. Dans leur partie supérieure, ces calcaires comportent quelques gros bancs bien stratifiés, tandis qu'à leur base se trouvent des brèches plus ou moins dolomitiques.


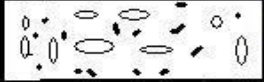
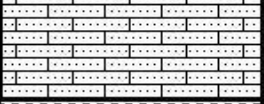

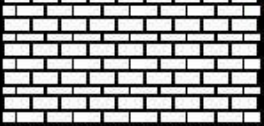



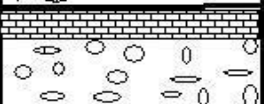

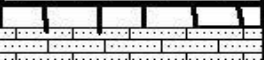
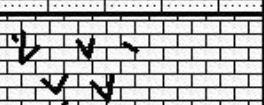
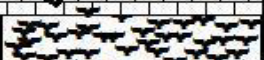
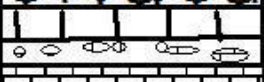



Ere	Système	Etage et sous etage	Log lithostratigraphique	Lithologie	Caractéristique hydrogéologique
Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire (q,m,qm)		plage actuelle Terrasses marines Terrasses Alluviales	permeable
		Cénozoïque	Pliocène	pliocène-sup (villafanchien) pa	
pliocène-inf (pa);(pb)				marnes sableuses molasses sable : grès ; argiles sableuses et molasses	impermeables à perméables
Miocène	vindobonien			couches à lignites marnes grises	impermeables
	burdigalien			marnes poudingues et calcaires grès marnes poudingues rouges	impermeables à perméables
Oligocènes	Oligocènes			grès micacés marnes à plantes	impermeables à perméables
Eocènes	Lutériens			poudingues rouges calcaires bechiques	perméables
Mésozoïque	Crétacé-sup	Sénoniens c c		marnes et calcaires calcaires et brèches marnes micro-brèches et poudingues lentilles de calcaires	impermeables
		Crétacé-moyen	Cénomaniens C		calcaires marnes schisteuses noires
	Albien			quartzites à inter lits de marnes calcaires et schistes schistes et quartzites	impermeables à peu perméables
	Aptien			calcaires marnes et calcaires en banc	impermeables
	Barrémien			schistes et calcaires avec lames de quartzites	perméables à peu perméables
	Crétacé-inf	Néocomien		schistes siliceux et bancs de quartzites	peu perméables
	Jurassique	Lias I		calcaires à gros bancs brèches dolomitiques calcaires compacts	perméables en grand
	Trias	Trias		brèches dolomitiques et gypseuses calcaires compacts	perméables en grand
Paléozoïque	Primaire			schistes avec quartzites	peu perméables
		Permien		grès micacés marnes et poudingues rouges	perméables à impermeables

Figure 07 : Log stratigraphique des formations de la vallée de l'oued El Hachem et ses caractéristiques hydrogéologiques (ANRH Blida, 2004).

6. Aperçu hydrogéologique :

La plaine de l'Oued EL Hachem est constituée d'alluvions qui forme un aquifère hétérogène dont lequel une nappe libre circule en amont, de Sidi Amar à Bouaroua, tandis qu'elle devient captive en aval. La vallée de l'Oued EL Hachem couvre une superficie de 13,1 km².

Les dépôts sont formés principalement de sables, de graviers, d'argiles et de galets calcaires. L'épaisseur des alluvions est très variable, de quelques mètres à une trentaine de mètres formées de la base au sommet par :

- Les argiles rouges.
- Galets et graviers de 5 à 20 m, constituant le réservoir aquifère.
- Argile et sable, avec intercalation de quelques lits de graviers.
- Le substratum est formé en majorité par des marnes du Crétacé et de calcaire eocène.

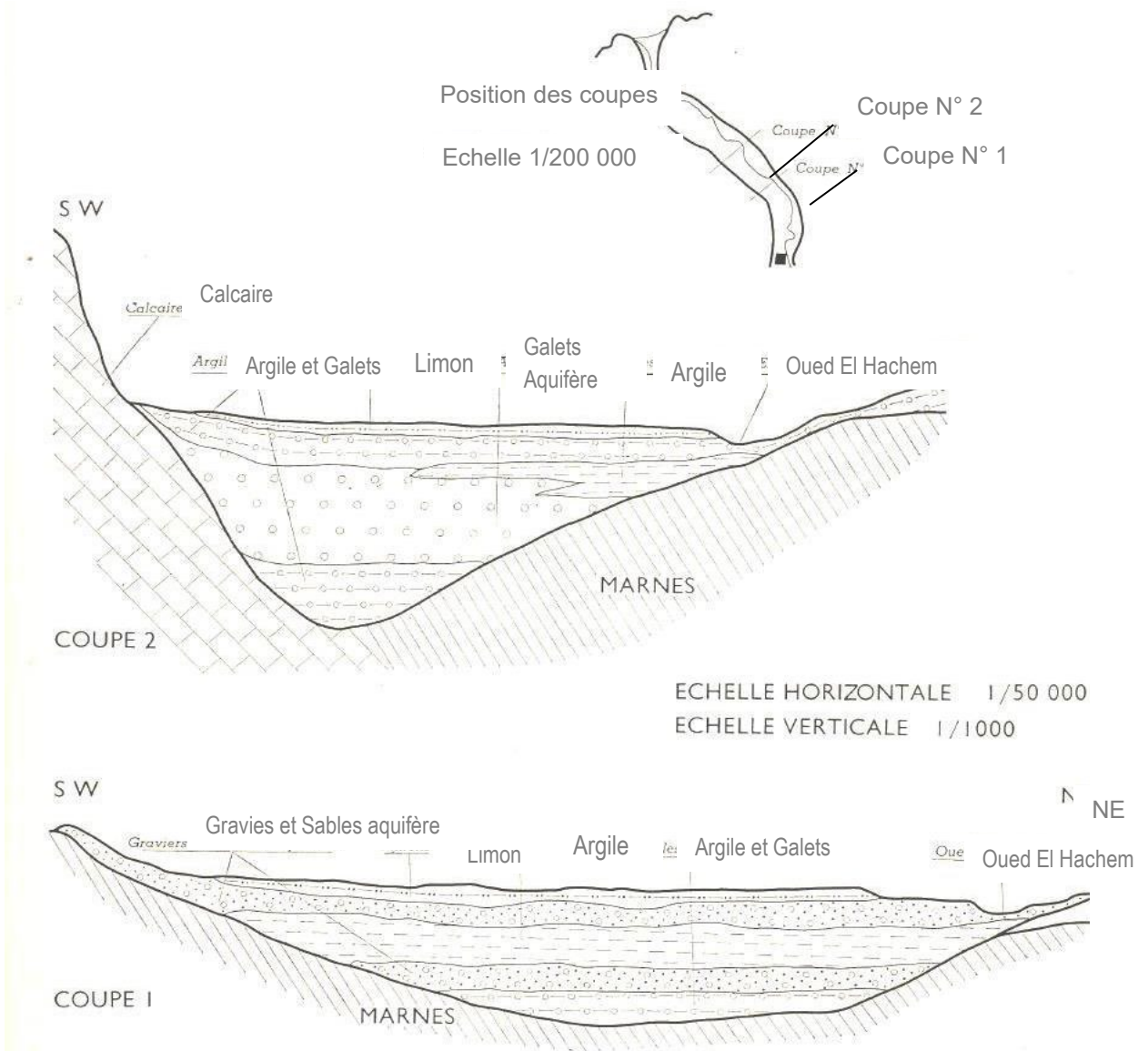


Figure 08 : Coupes transversales de l'Oued EL Hachem (Extrait de la notice

explicative de la carte hydrogéologique de la région d'Alger 1/200000) (CGG,1966)

7. Conclusion :

L'étude géologique a révélé que la région de Tipaza se trouve dans une zone montagneuse caractérisée par une géologie complexe comprenant des formations anciennes de schistes noirs, de micro-brèches, de grès, de conglomérats siliceux, ainsi que des formations plus récentes de calcaires jaunâtres, d'argile rouge et de dolomie. On y trouve également des formations tertiaires constitués de marnes, de grès et de calcaires, ainsi que des terrains quaternaires généralement constitués de sols meubles, produisent des alluvions et des sols sableux.

La zone d'étude se trouve dans la zone plissée de l'Atlas tellien, qui fait partie des zones externes de la chaîne maghrébine, elle est située sur un terrain quaternaire.

La nappe alluvionnaire est composée, de bas en haut, d'argiles rouges, d'argile, de gravier formant le réservoir aquifère, ainsi que de couches d'argile, de sable avec quelques intercalations de gravier.

Chapitre 3 : Hydrologie de la zone d'étude

CHAPITRE3 : L'HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction :

L'hydrologie est l'étude de la distribution et de la circulation de l'eau dans la nature, selon le Glossaire International d'Hydrologie (2001). Elle est donc la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol. L'hydrologie s'intéresse aux précipitations (pluie et neige), à la transpiration des végétaux et à l'évaporation directe de la couche terrestre superficielle. Ce chapitre présente les différentes caractéristiques hydrographiques et géométriques, afin de donner un aperçu sur l'hydrologie de la zone étudiée.

2. L'hydrographie de la zone d'étude :

En raison de sa situation géographique, la wilaya de Tipaza bénéficie d'un réseau hydrographique plutôt étendu (figure 5). En parcourant la région d'Est en Ouest, on trouve successivement : Oued Mazafran, Oued Nador, Oued El-Hachem, Oued Masselmoun, Oued Sebt et Oued Damous.

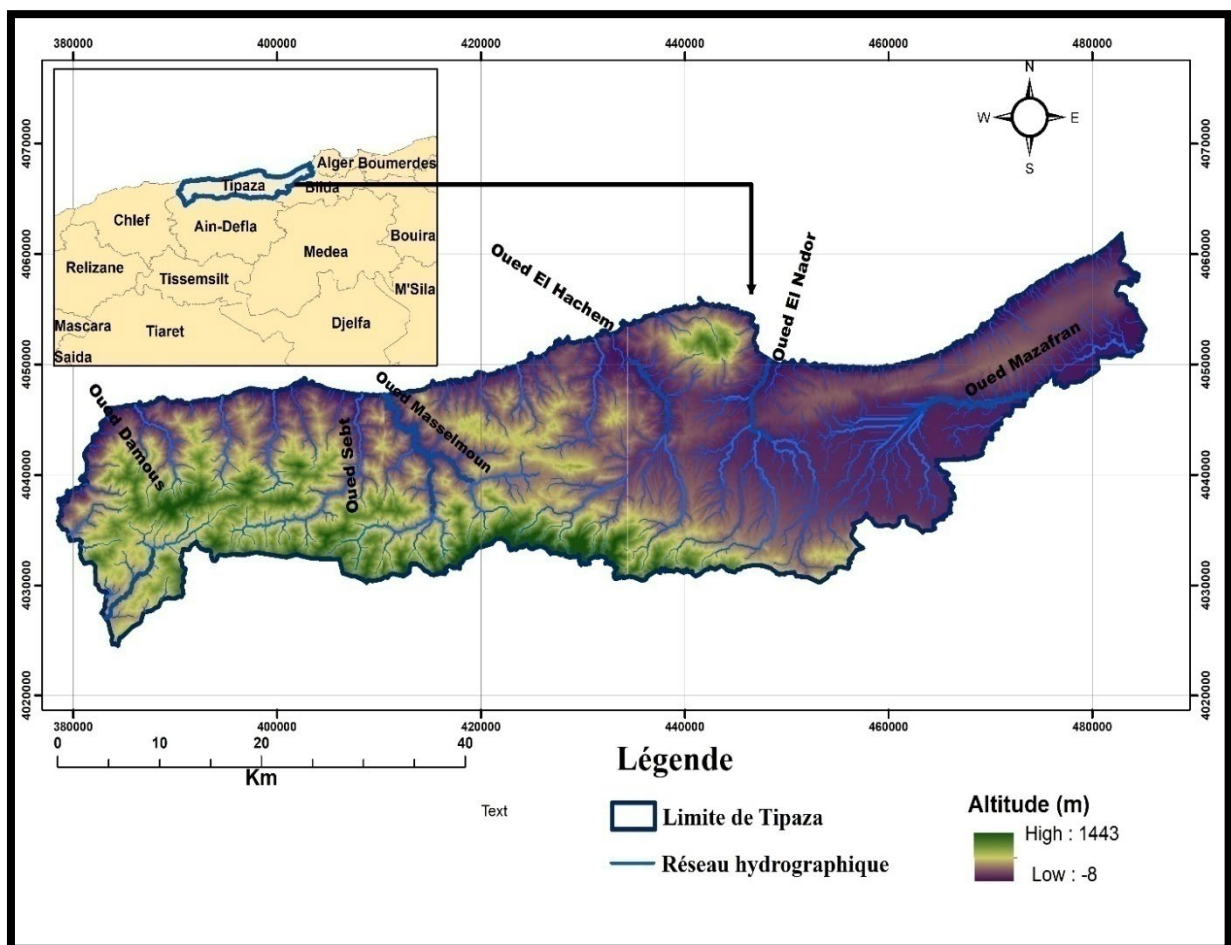


Figure 09 : Carte hydrographique de la Wilaya de Tipaza

Pendant l'écoulement, ces cours d'eau drainent quatre (04) sous bassins versants appartenant au grand bassin appelé côtier algérois selon le répertoire de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques). Le tableau ci-après, présente ces bassins et leurs codes respectifs :

Tableau 07 : les bassins versants de la wilaya de Tipaza

Code	Bassin versant
0212	Oued Mazafran
0210	Oued Djer-Bouroumi
0204	Sahel
0203	Oued El Hachem-Nador

3. Caractéristiques du bassin versant d'Oued EL Hachem :

La vallée de l'Oued EL Hachem se trouve dans la région montagneuse du littoral algérois, et appartient au sous bassin versant 0203. L'Oued EL Hachem est alimenté par de petits cours d'eau et ruisseaux issus de la résurgence de sources dans la vallée.

Le débit de ces sources varie car elles dépendent directement des précipitations. En effet, l'écoulement des petits affluents de l'Oued EL Hachem est saisonnier, avec un débit fluctuant en fonction des précipitations reçues sur le bassin versant de l'Oued EL Hachem. Dans cette étude, la détermination des caractéristiques du sous-bassin versant de l'Oued EL Hachem a conduit à la création d'une base de données interactive, exploitée grâce aux fonctionnalités des systèmes d'information géographique sous ArcGIS.

Diverses formules ont été combinées avec cette base de données afin de mieux comprendre et analyser les modalités d'écoulement de l'eau de surface.

3.1. Les caractéristiques morphométriques :

a) La superficie « A » et Périmètre « P »

Ces paramètres ont été établis grâce à l'utilisation du Modèle Numérique d'élévation (DEM) et du planimètre des limites du sous bassin, traités sous forme de vecteurs dans le système d'information géographique ArcGIS.

Les résultats montrent que le sous bassin versant a une superficie de 232 km² et un périmètre de 92 km.

b) Indice de compacité de Gravelius (Kc)

L'indice de compacité de Gravelius se calcule en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle ayant la même superficie. Cette comparaison est formulée par l'équation ci-dessous, qui met en relation la superficie et le périmètre du bassin versant.

Cet indice permet d'avoir une idée sur le temps et la vitesse de concentration des eaux de ruissellement à l'exutoire.

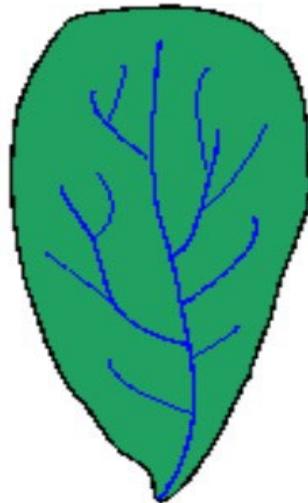
$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

K_c: indice de compacité de Gravelius,

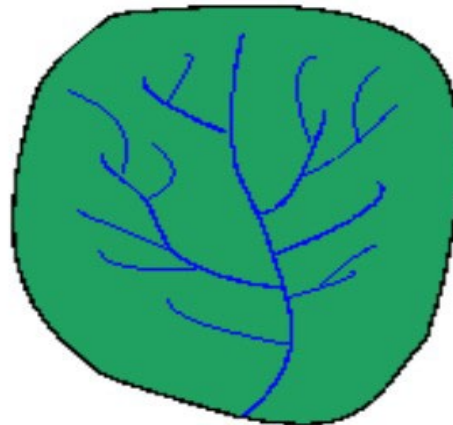
A : surface du sous bassin versant (km²),

P : périmètre du sous bassin versant (km).

La valeur de l'indice K_c permet d'interpréter la forme du bassin versant. Un indice K_c proche de l'unité indique une forme de bassin versant ramassée, tandis qu'une valeur de K_c autour de 1,4 ou plus est indicative d'un bassin versant allongé. Contrairement au premier cas, un bassin versant allongé aurait un temps de concentration plus important.



K_c > 1,4



K_c ≈ 1

Forme allongée

L'application numérique donne :

$$K_c = \frac{92}{2 \times \sqrt{3.14 \times 232}} = \underline{1,7}$$

Les résultats montrent que le sous bassin versant de l'oued El Hachem à une forme allongée.

c) Dimensions du rectangle équivalent

Cette transformation géométrique convertit le bassin versant en un rectangle.

Les dimensions de ce rectangle sont « L » pour la longueur et « l » pour la largeur du rectangle équivalent.

Pour calculer L et l, on utilise les formules suivantes :

La longueur L :

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

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

Avec :

A= Surface du bassin versant en Km².

Kc= Indice de compacité de Gravelius.

L= Longueur du rectangle en Km.

l = Largeur du rectangle en Km.

L'application numérique donne les résultats suivants :

$$\mathbf{L = 40,1 Km}$$

$$\mathbf{l = 5,7 Km}$$

On observe que la longueur L est presque sept fois supérieure à la largeur l. Les dimensions du rectangle équivalent obtenues renforcent les conclusions déduites de l'indice de Gravelius Kc, confirmant ainsi la forme allongée du bassin versant de l'Oued El Hachem

3.2. La carte topographique

La carte topographique du bassin de l'oued El Hachem a été réalisée en utilisant un modèle numérique d'élévation (DEM) avec une résolution de 30m, obtenu grâce à la mission Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Ce modèle est ensuite traité sous le logiciel ArcGIS pour produire cette carte.

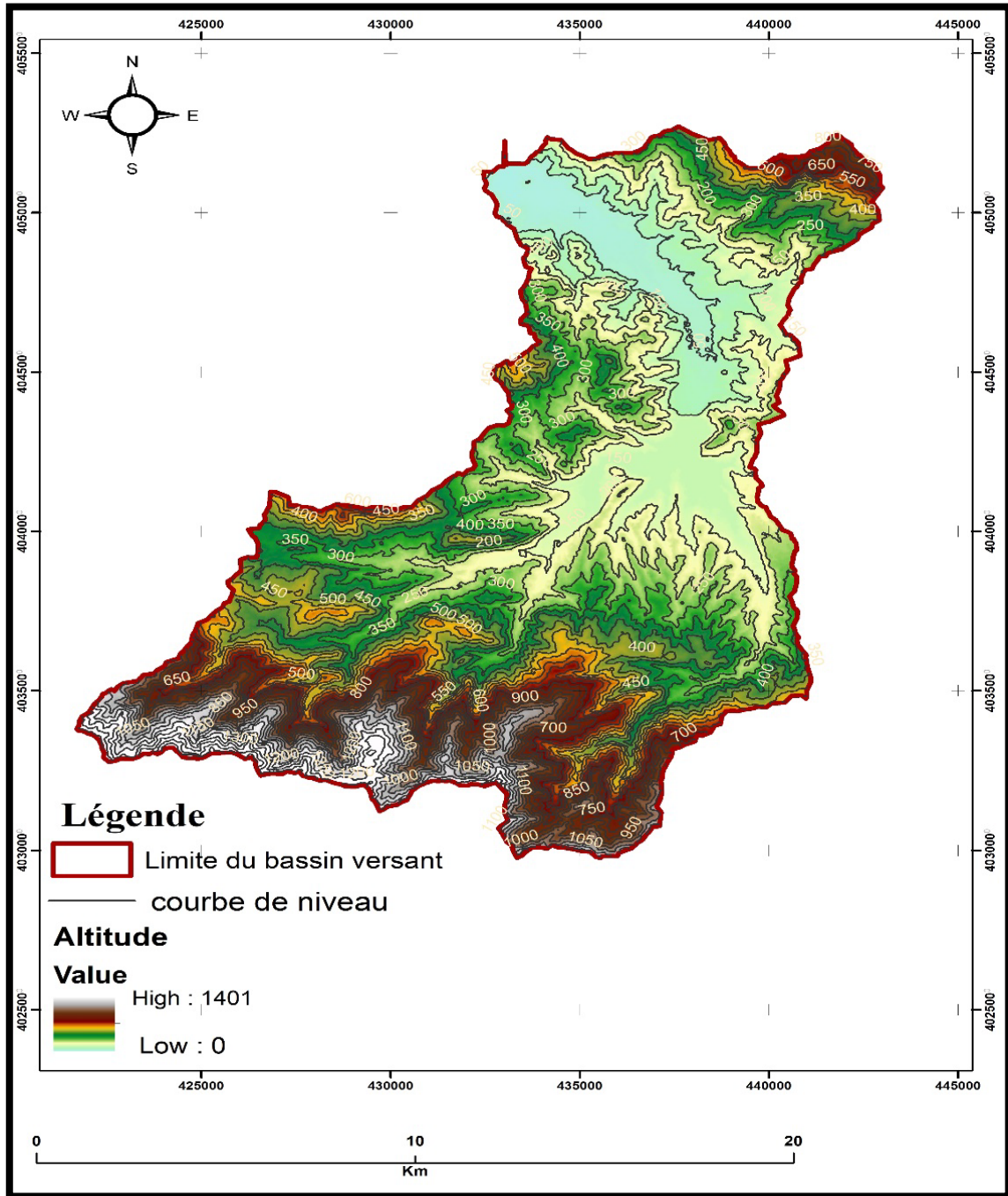


Figure 10 : la carte topographique du bassin versant de l'oued El Hachem

On observe que les courbes de niveau sont espacées au centre du bassin, ce qui confirme la faible pente de cette zone. En revanche, en se dirigeant vers le sud, les courbes se resserrent progressivement, indiquant ainsi un relief montagneux plus accentué. Ce sont les monts de Boumaad

3.3. Carte hypsométrique :

La carte hypsométrique présente la répartition altitudinale d'un bassin versant. Les couleurs vont du jaune clair pour les zones de basse altitude (0 à 200m) qui représente les plaines au bleu foncé, pour les zones de hautes altitudes ou les montagnes (1200 à 1400m) qui représentent une faible proportion dans la région (1,4%).

Les altitudes faibles à moyennes (0 à 600m) prédominent dans le bassin versant de l'Oued EL Hachem avec une proportion de 77,8%.

La carte hypsométrique du bassin de l'oued El Hachem a été réalisée en utilisant un modèle numérique d'élévation (DEM) avec une résolution de 30m, obtenu grâce à la mission Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Ce modèle est ensuite traité sous le logiciel ArcGIS pour produire cette carte.

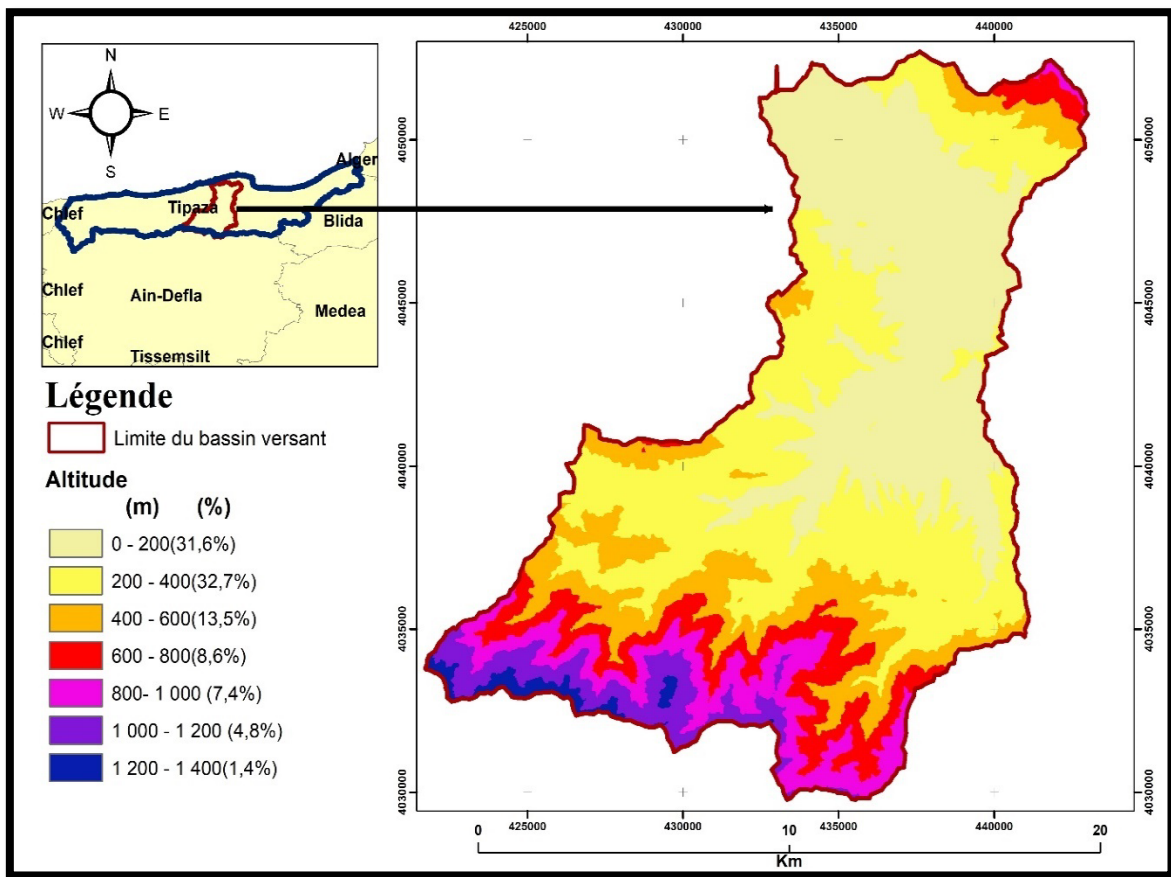


Figure 11 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued el Hachem

➤ Courbe hypsométrique :

Pour créer une courbe hypsométrique sur Excel, on a collecté les données sur les niveaux d'altitude et les pourcentages cumulés de la surface pour chaque intervalle d'altitude, puis on a organisé ces données en deux colonnes dans Excel. Ensuite, créer un graphique en choisissant l'option "Courbe" dans l'onglet "Insertion"

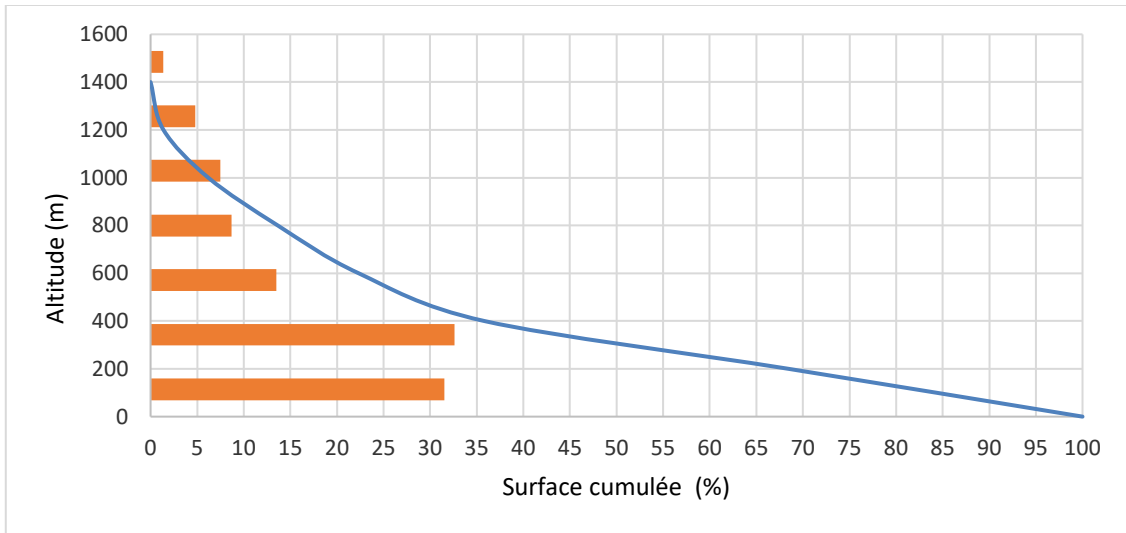


Figure 12 : Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique a été utilisée pour déterminer les altitudes caractéristiques, dont les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 08 : les altitudes caractéristiques du bassin versant d'oued El Hachem

Altitudes caractéristiques	Altitude (m)
Altitudes de fréquence H95%	30
Altitude médiane de fréquence H50%	300
Altitude de fréquence H5%	1040
Altitude moyenne (Hmoy)	396
Altitude maximale Hmax	1400
Altitude minimale Hmin	0

3.4. La pente :

La pente reflète l'inclinaison des reliefs et leurs intensités. Elle est un facteur déterminant qui influence directement le déclenchement de l'érosion. En effet, une forte pente favorise le phénomène de l'érosion et accélère la réponse hydrologique du bassin versant, par contre une faible pente favorise l'infiltration et ralentit l'écoulement de surface.

La carte de pente du bassin de l'oued El Hachem a été réalisée en utilisant un modèle numérique d'élévation (DEM) avec une résolution de 30m, obtenu grâce à la mission Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Ce modèle est ensuite traité sous le logiciel ArcGIS pour produire cette carte

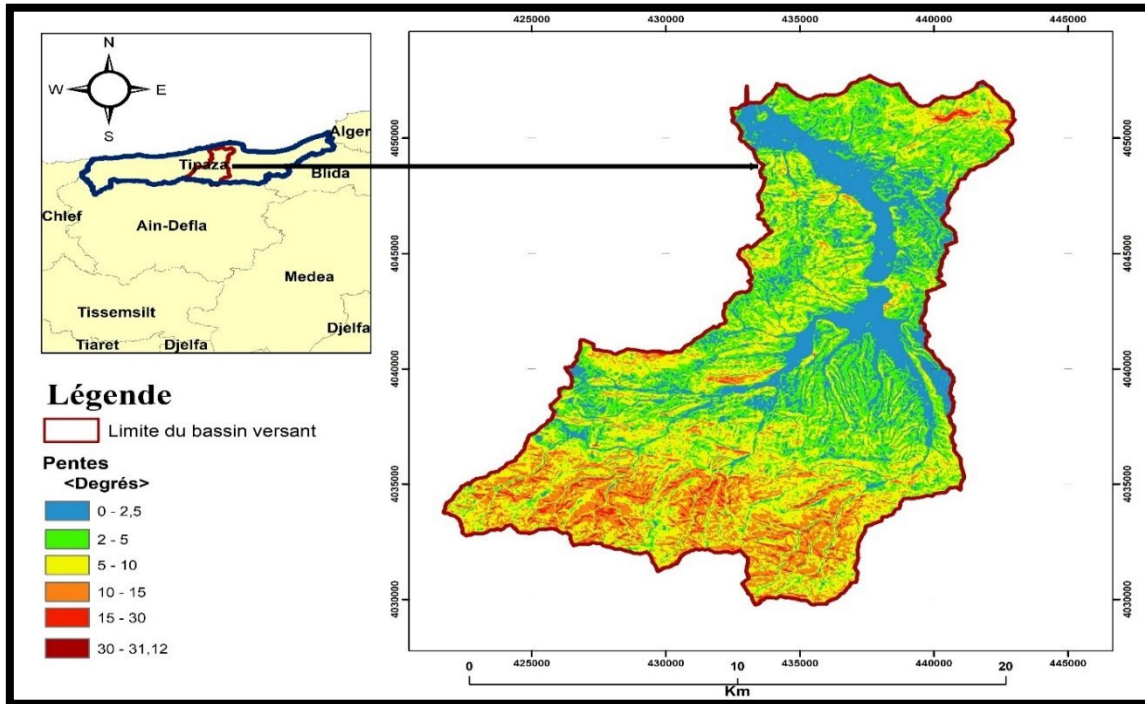


Figure 13 : La carte de pente du bassin versant d'oued el Hachem

Les pentes faibles regroupées dans la classe 0 à 2,5° se localisent principalement au Nord et au centre du bassin versant. Elle représente les plateaux.

Les pentes moyennes, allant de 2,5 à 5° forment des zones de transition entre les versants abrupts et les terrains relativement plats. Parfois, elles sont considérées comme des zones de piémont.

Les pentes de 5 à 15° constituent une zone mixte qui regroupe les hauts des piémonts et la montagne.

Les pentes supérieures à 15° ce sont des terrains qui composent la zone montagneuse.

a) Indice de pente :

$$IG = \frac{D}{L}$$

Avec

IG : Indice de pente globale (m/km)

D : dénivelé (m)

L : Longueur du rectangle équivalent (m)

D= H5%- H95%

L'application numérique :

D=1040 – 300

D=1010

IG=1010/40100

IG=0,025m/km

Classification du relief selon I_g , par l'ORSTOM.

Selon le tableau de classification de l'ORSTOM (tableau 9), les résultats obtenus révèlent un bassin qui présente un relief assez fort, notamment dans sa partie sud. En revanche, le centre et le Nord du bassin se caractérisent par un relief relativement faible.

Tableau 09 : classification de relief selon l'ORSTOM

<u>Première classification</u>	<u>Type de relief</u>
$I_g < 0.002$	Relief très faible (R1)
$0.002 < I_g \leq 0.005$	Relief faible (R2)
$0.005 < I_g \leq 0.01$	Relief assez faible (R3)
$0.01 < I_g \leq 0.02$	Relief Modéré (R4)
$0.02 < I_g \leq 0.05$	Relief assez Fort (R5)
$0.05 < I_g \leq 0.1$	Relief fort (R6)
$0.1 < I_g$	Relief très fort (R7)

3.5. Réseau hydrographique

La nature tendre des matériaux (marnes et argiles) et le régime hydrique irrégulier ont contribué à la formation d'un réseau hydrographique dense de type arborescent. Les oueds sont en crue durant la période des pluies intenses mais deviennent inactifs dès que s'annonce la saison sèche. (N. TADRIST,2004)

Les affluents des cours d'eau principaux descendent des hauteurs situées au sud du bassin.

Le bassin versant de l'Oued EL Hachem est drainé par ses deux principaux affluents, Oued Boukadir (12,5 Km de longueur) en provenance de l'Ouest et de l'Oued Fedjena (17.5 Km de longueur) venant de la direction Sud-Est en se jetant dans l'Oued EL Hachem. (figure 11)

La carte de pente du bassin de l'oued El Hachem a été réalisée en utilisant un modèle numérique d'élévation (DEM) avec une résolution de 30m, obtenu grâce à la mission Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Ce modèle est ensuite traité sous le logiciel ArcGIS pour produire cette carte

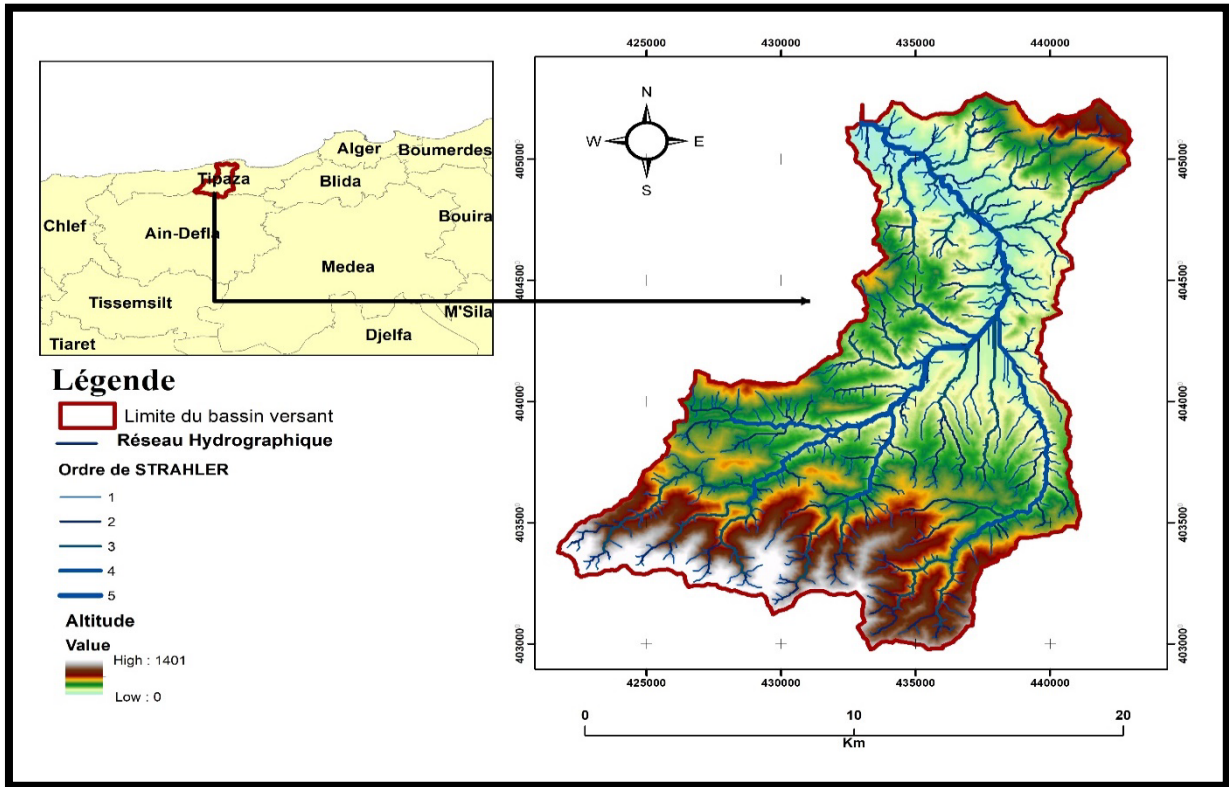


Figure 14 : Carte de réseau hydrographique pente du bassin versant d'oued el Hachem

➤ **Classification de STRAHLER**

Le tableau présente une classification des cours d'eau selon l'ordre de STRAHLER, qui est une méthode utilisée pour hiérarchiser les segments d'un réseau hydrographique en fonction du nombre de leurs affluents.

Tableau 10 : classification des cours d'eau selon l'ordre de STRAHLER

Ordre de cour d'eau	Nombre	Longueur (km)
1	1090	241
2	512	122
3	280	69
4	212	37
5	111	21

Selon le tableau la majorité des cours d'eau sont de premier ordre, indiquant un réseau hydrographique dense avec de nombreux petits cours d'eau. À mesure que l'ordre augmente, le nombre de cours d'eau diminue, mais la longueur moyenne par segment tend à augmenter, Cela

indique que les affluents se dirigent vers des cours d'eau de plus en plus importants.

3.6. Densité de drainage

Elle exprime la longueur moyenne du réseau hydrographique sur une superficie de 1 Km² du bassin versant, comme elle permet de quantifier la densité du chevelu hydrographique. Son calcul se fait à l'aide de la formule :

$$D_d = \frac{L_i}{A}$$

Avec

D_d : Densité de drainage (km/km²)

L_i : longueur totale des oueds de tous les ordres

L'application numérique donne :

$$D_d = \frac{490}{232}$$

$$D_d = 2,11 \text{ km/km}^2$$

On constate qu'il y a 2,11 kilomètres de réseau hydrographique pour chaque kilomètre carré, ce qui indique un réseau hydrographique développé et dense dans notre zone d'étude.

3.7. Densité hydrographique

La densité hydrographique représente la densité du réseau hydrographique et correspond au nombre de cours d'eau dans une zone donnée par unité de surface.

Une densité hydrographique élevée indique qu'il y a de nombreux cours d'eau dans une région donnée, tandis qu'une densité plus faible suggère moins de cours d'eau.

Il est important de noter que cette mesure peut être influencée par divers facteurs tels que le relief, la géologie, la climatologie et l'utilisation des terres dans une région donnée.

La densité hydrographique se calcule par :

$$F = \frac{\sum_1^n N_i}{A}$$

Avec

F : densité hydrographique ;

N_i : nombre de cours d'eau d'ordre i ;

n : ordre le plus élevé des cours d'eau dans le bassin versant ;

A : surface du bassin versant (km²).

Un bassin versant avec une densité de drainage élevée et une forte densité hydrographique indique souvent la présence de conditions telle qu'une roche mère imperméable, une couverture végétale limitée et un relief montagneux (A. Musy, 2005).

L'application numérique donne :

$$F = 2205/232$$

$$F = 9.5$$

Selon les résultats obtenus on constate qu'il y a environ 10 cours d'eau pour chaque kilomètre carré, ce qui indique une importante présence d'eau dans notre zone d'étude.

3.8. Temps de concentration

Le temps de concentration (T_c) est la durée nécessaire pour que l'eau de pluie tombée sur le point hydrologiquement le plus éloigné de l'exutoire parvienne à ce dernier.

Il existe plusieurs formules empiriques pour déterminer le temps de concentration (T_c).

Dans notre étude, nous avons employé la formule de GIANDOTTI pour cette Estimation.

Elle est de la forme suivante :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

T_c : temps de concentration (Heures)

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

L : longueur de Talweg principal (km)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

L'application numérique donne :

$$T_c = \frac{4\sqrt{232} + 1.5 \cdot 34}{0.8\sqrt{396}}$$

$$T_c = 7.71 \text{ heures}$$

Selon le résultat on constat que le temps nécessaire pour que la goutte d'eau qui tombe sur le point le plus éloigné arrive à l'exutoire est 7,71 heures, ce qui indique un temps de concentration modéré donc l'écoulement n'est pas très rapide ni très lent.

➤ Effet du barrage Boukourdane sur la nappe de l'oued El Hachem :

L'implantation du barrage de Boukourdane en 1988 a modifié considérablement l'hydrologie de la zone d'étude. La recherche qui s'effectuait naturellement par les apports d'Oued EL Hachem n'existe plus. Les conséquences ont été un abattement important de la nappe et une pénurie d'eau au niveau du champ captant, situé en aval du barrage. Des lâchers de barrages ont ensuite été effectués pour tenter de compenser la recharge naturelle qui existait avant l'implantation du barrage.

4. Conclusion

Cette étude hydrologique a permis de mettre en évidence les caractéristiques géométriques et hydrologiques du bassin versant de l'Oued EL Hachem. Le bassin, d'une superficie de 232 km² et d'un périmètre de 92 km, présente une forme allongée, confirmée par un indice de Gravelius calculé à 1,7.

Les altitudes variant de 0 à 1400 mètres du Nord au Sud. Avec une domination des plaines au Nord et au centre qui représente plus de 70% de la surface totale du bassin versant, tandis que les pentes sont fortes au Sud, où se trouvent les altitudes les plus élevées.

Le réseau hydrographique est particulièrement dense en amont, avec une densité de drainage de 2,11 km/km² et une densité hydrographique de 9,5.

Le temps de concentration du bassin est évalué à 7,71 heures, indiquant une réponse hydrologique modérée.

La vallée d'Oued EL Hachem est principalement alimentée par les eaux de pluie, ce qui entraîne un écoulement saisonnier. Cet écoulement est drainé par deux principaux affluents provenant des hauteurs du Sud. Par ailleurs, depuis l'implantation du barrage de Boukourdane sur l'oued El Hachem, cette recharge naturelle a été considérablement influencée de manière négative

Chapitre 04 : étude hydroclimatologique

CHAPITRE 04 : Etude hydroclimatologique

1. Introduction :

La situation géographique de la wilaya de Tipaza, au Nord de l'Algérie, lui confère un climat méditerranéen caractérisé par des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et secs.

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés aux principaux facteurs indispensables à l'établissement du bilan hydrologique, tels que les précipitations, la température et l'évapotranspiration, qui permettent d'expliquer les variations des composantes du régime hydrologique et de déterminer le type de climat qui caractérise la région d'étude. Pour mieux caractériser le régime climatique dans le bassin d'Oued El Hachem nous avons retenues une station Boukourdane qui dispose des observations de plusieurs paramètres (P, T, H et Vent) durant la période 1987-2020.

Les caractéristiques de cette station sont représentées dans le tableau 10. La station de Boukourdane est représentative de la zone d'étude.

Tableau 11 : Caractéristiques de la station de Boukourdane (ANRH)

Station	Code	X (m)	Y (m)	Z(m)	Période d'observation
Boukourdane	020329	464 300	359 900	110	1987-2020

2. Aperçu sur le climat à l'échelle régionale et locale :

En termes de zones bioclimatiques, l'Algérie est divisée du Nord au Sud en cinq catégories principales en fonction du relief et des précipitations, selon Cote (1998) :

- **Le domaine humide** : il se limite principalement à la côte de la région est de l'Algérie ;
- **Le domaine subhumide** : dans certaines régions de l'Algérie, ce domaine s'étend parfois jusqu'à la côte, à l'exception du centre.
- **Le domaine semi-aride** : prédomine dans les bassins intérieurs du Tell algérien, tels que Mila et Guelma, et s'étend notablement dans les Hautes Plaines vers le Sud.
- **Le domaine subaride** : ce domaine se limite au flanc sud de l'Atlas saharien.
- **Le domaine aride** : il occupe pratiquement tout le Sahara.

Le climat en Algérie est principalement influencé par l'intensité des courants froids du front polaire, qui perdent en vigueur en avançant vers le Sud. L'Atlas tellien agit comme une barrière, favorisant la condensation de la vapeur d'eau transportée par les vents venant de la mer. Le climat de l'Atlas tellien présente une gamme complète de conditions, allant d'un climat

montagnard pluvieux et froid avec des variations thermiques modérées et des chutes de neige, à un climat de plaines plus sec, relativement chaud avec de forts écarts thermiques.

3. Les paramètres climatiques

3.1. Comblement des lacunes

Notre base de données est constituée de mesures des précipitations, sur une période de 33 ans (1987-2019). La lecture de la mesure a révélé un pourcentage de lacune qui varie de 6,1% pour la température à 6,3% pour les précipitations. Pour la reconstitution des données manquantes, on a opté pour XLSTAT (version Open source) sous Microsoft Excel en utilisant la méthode MCMC (Monte-Carlo par chaînes de Markov).

3.2. Précipitations

L'analyse des précipitations est un aspect fondamental de la climatologie et de l'hydrologie. Elle consiste à mesurer et analyser la quantité de précipitations tombées dans une région sur une période donnée. Cette discipline permet de comprendre les régimes de pluie, d'identifier les variations saisonnières, et de détecter les anomalies climatiques.

3.2.1. Précipitations mensuelles

Pour analyser l'évolution des précipitations moyennes mensuelles, nous avons généré un histogramme relatif à la station Boukourdane dans la région Ouest. Les données sont récapitulées dans l'annexe 1.

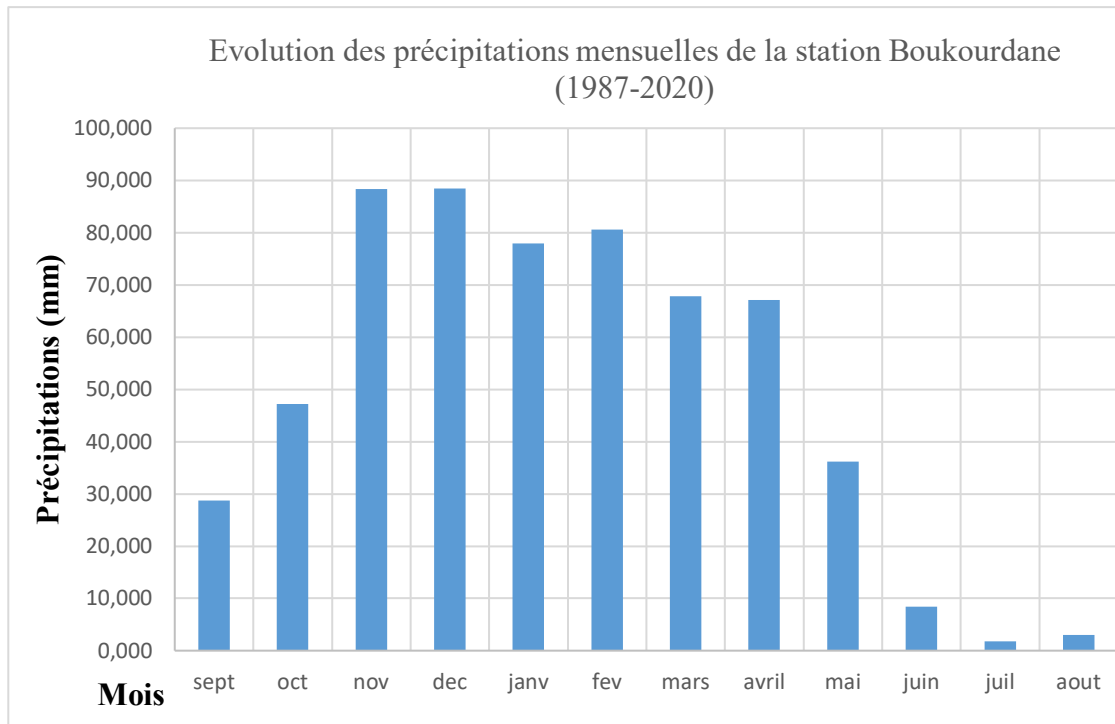


Figure 15 : Précipitations moyennes mensuelles à la station Boukourdane (1987-2019)

D'après l'histogramme des précipitations mensuelles de la figure 15, on constate une variabilité temporelle similaire dans cette station observée. Les données révèlent une répartition irrégulière des précipitations durant l'année.

Le mois de décembre est le mois le plus pluvieux, avec un maximum de 88,4 mm de précipitations. Par contre le mois de juillet est le mois le plus sec, avec une précipitation de 1,8 mm.

Ces observations mettent en lumière une saisonnalité marquée des précipitations dans notre zone d'étude, avec des variations significatives d'un mois à l'autre.

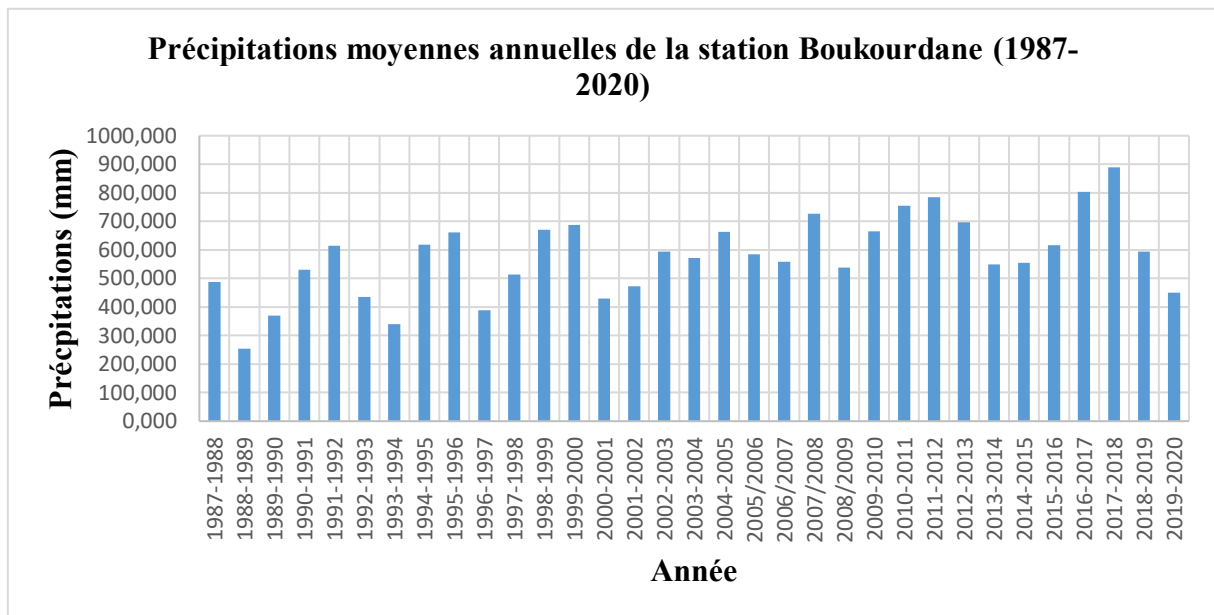


Figure 16 : Précipitations moyennes annuelles à la station Boukourdane (1987-2019)

3.2.2. Précipitations annuelles

Les histogrammes de la figure 16 illustrent la variation des précipitations moyennes annuelles enregistrés dans la station de Boukourdane (1987-2019). La précipitation moyenne sur la période d'observation est de 577,70 mm/an

La station de Boukourdane montre une période pluvieuse qui s'étale de 2010-2018 avec un maximum de 889,8 mm enregistré en 2017-2018 et la période la plus sèche enregistrée en 1988-1989 avec une précipitation minimale de 253,5mm.

3.3. Température

La température est un facteur déterminant dans l'établissement d'un bilan hydrologique, car elle influence directement les processus de condensation et d'évaporation. Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé les données de la station de Boukourdane. Les températures mensuelles (en °C) enregistrées à cette station sur la période allant de 1987 à 2019 sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau12 : Températures moyennes mensuelles à la station de Boukourdane (1987-2019).

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juill.	Août
Tmin (°C)	15,900	11,984	8,557	6,285	4,758	5,569	6,948	8,403	11,329	15,373	19,179	19,014
moy Tmax(°C)	31,909	29,337	23,603	18,417	18,515	19,148	21,793	22,996	27,084	31,485	34,404	34,399
moy Tmoy(°C)	23,295	19,634	15,444	12,012	11,286	11,844	13,756	15,474	18,809	22,369	26,340	26,567

T min (C°) : Température Moyenne minimale.

T moy (C°) : Moyenne de la Température Moyenne.

T max (C°) : Température Moyenne maximale.

L'année hydrologique et subdivisée en deux périodes :

- Une période froide s'étale du mois de novembre jusqu'au mois mai
- Une période chaude débute au mois juin et de termine au mois d'octobre

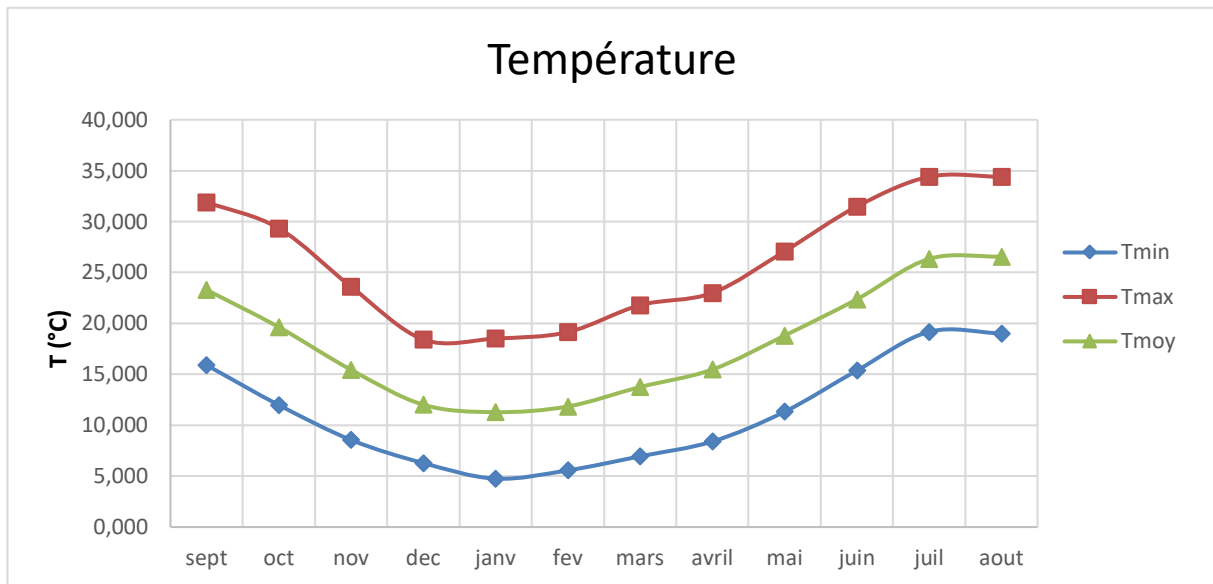


Figure 17 : Variations des températures mensuelles de la Station de Boukourdane (1987-2019). T min : 4,75° C ; T max : 34,40°C et T moy : 18,06°C

La variation de la température moyenne mensuelle sur la période 1987-2020 révèle des valeurs les plus élevées observées en été (juillet-août), atteignant 34,3°C en En revanche, les valeurs les plus basses, comprises entre 4,7°C et 5,6°C, sont enregistrées en hiver (janvier-février).

3.4. Diagramme Ombrothermique

Une courbe Ombrothermique est la combinaison entre les facteurs pluviométriques (P) et les facteurs thermiques (T). L'avantage de ces courbes est de mettre en évidence d'éventuelle périodicité durant l'année hydrologique (période sèche et période humide). Un mois sec est celui dont les précipitations totales exprimées en millimètres, sont égales ou inférieures au double de la température moyenne dont la règle est

$$P \leq 2T$$

Les valeurs des températures moyennes (en °C) et des précipitations (en mm) sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Précipitations moyennes mensuelles et double des températures enregistrées à la station du Barrage Boukourdane (1987-2019)

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Tmoy	23,29	19,63	15,44	12,01	11,28	11,84	13,75	15,47	18,80	22,36	26,34	26,56
P	28,77	47,21	88,38	88,45	77,94	80,57	67,80	67,16	36,23	8,42	1,80	2,98

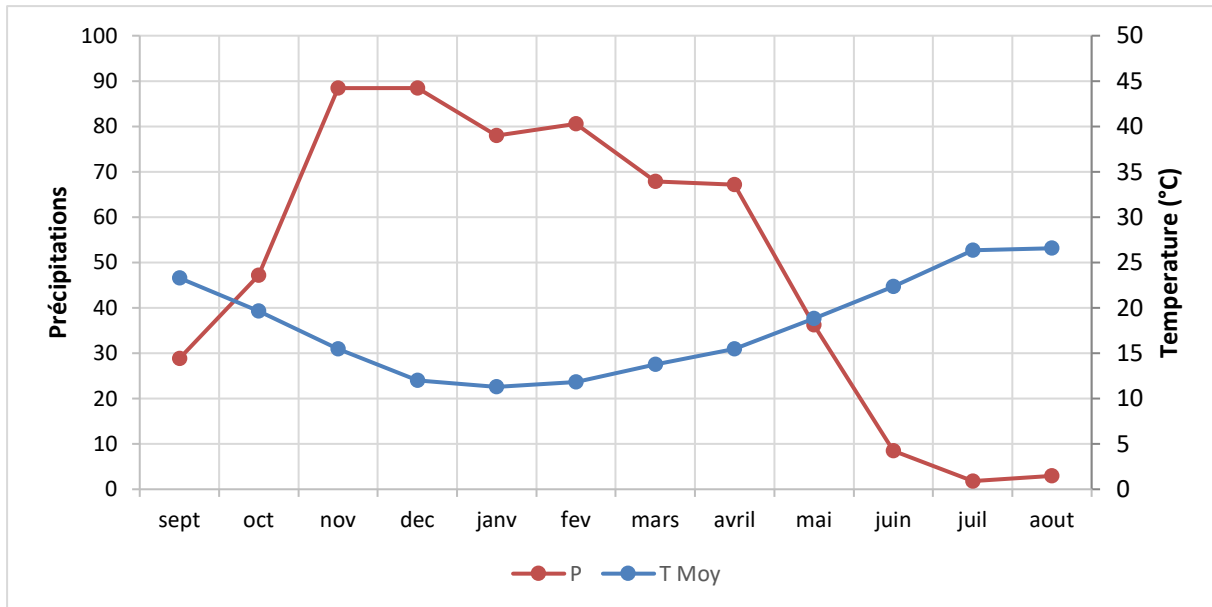


Figure 18 : Diagramme Ombrothermique de la station de Boukourdane (1987-2019)

Ce diagramme met en évidence deux périodes climatiques distinctes

- Une période **sèche et chaude** :

Elle s'étale du mois de mai au mois de septembre et se marque par des températures élevées entraînant une forte évaporation.

- Une période **humide et plus longue** :

Elle commence en mois d'octobre et se termine en avril et se caractérise par des précipitations importantes atteignant le maximum en mois de novembre et décembre.

3.5. L'humidité

L'humidité relative est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, comparée à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à une température donnée. Elle est exprimée en pourcentage (%).

Les données sur l'humidité relative enregistrées dans la zone d'étude couvrent la période de 1987 à 2019 et sont récapitulées dans le tableau ci-après

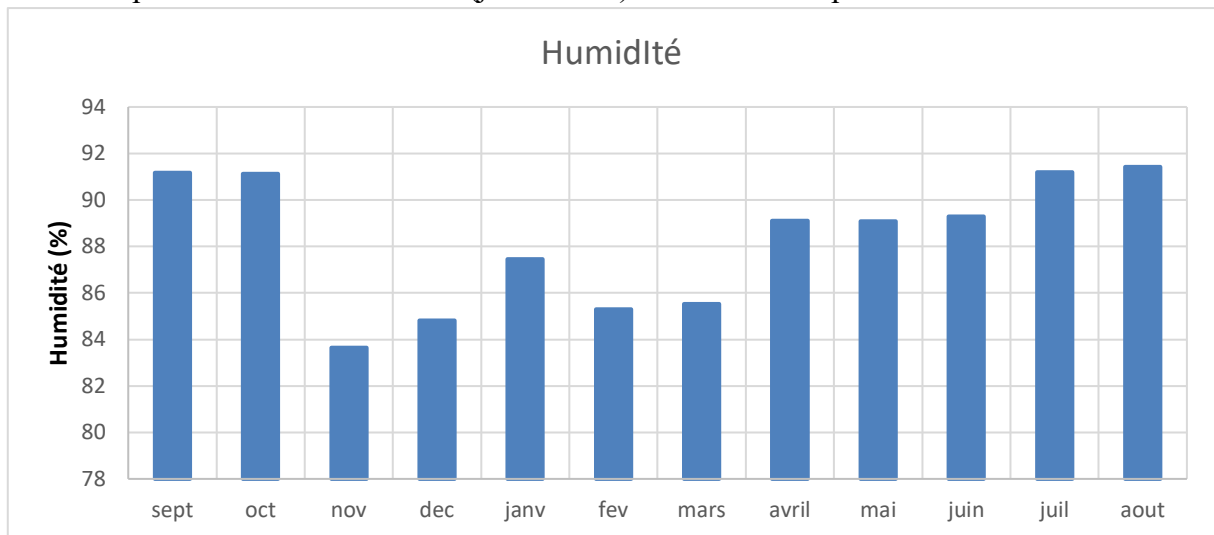
Tableau 14 : Humidité relative mensuelles de la station de Boukourdane (1987-2019)

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
H (%)	91,17	91,11	83,65	84,82	87,44	85,30	85,52	89,10	89,08	89,27	91,19	91,42

Figure 19 : Humidité relative moyenne mensuelle de la station de Boukourdane (1987-2019).

Dans un climat méditerranéen, on observe généralement une humidité relative élevée durant l'été et plus basse en hiver. Cela s'explique par les températures élevées en été et basses en hiver.

Ce phénomène est confirmé par les graphiques, où l'on observe que l'humidité relative est maximale pendant les mois d'été (juillet-août) et minimale pendant les mois humides



(novembre-février)

3.6. Indice d'aridité de De Martonne

Emmanuel DE. MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique, connue sous le nom d'indice d'aridité, qui est déterminée en fonction de la température (T °C) et des précipitations (P mm) :

$$A = P / (T + 10)$$

Avec :

- A : indice d'aridité annuelle (mm/°C).
- P : précipitations moyennes annuelles en mm
- T : températures moyennes annuelles en °C.

L'application numérique donne

$$A = 577,708 / (18 + 10)$$

$$A = 20,63 \text{ mm/°C}$$

Le tableau suivant présente la classification du climat Selon DE. MARTONNE :

Tableau 15 : Classification du climat selon DE MARTONNE

A	CLASSIFICATION
$A < 5$	Climat hyperaride
$5 < A < 10$	Climat très sec.
$10 < A < 20$	Climat sec
$20 < A < 30$	Climat tempéré, Subhumide
$A > 30$	Climat humide (l'écoulement est abondant).

Selon ce tableau , notre zone d'étude présente un climat tempéré à subhumide

3.7. Vitesse du vent

Le vent est un facteur clé dans les études hydroclimatiques car il influence directement les processus d'évaporation, de précipitation, de température, de transport des sédiments et de formation des systèmes météorologiques.

Le tableau ci-après présente les vitesses du vent enregistrées à la station de Boukourdane entre 1987 et 2019.

Tableau 16 : Vitesses moyennes mensuelles du vent, station de Boukourdane (1987-2019).

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Vent moy(km/h)	3,380	2,986	3,109	2,841	3,066	5,166	3,205	3,044	2,965	2,882	3,555	3,133

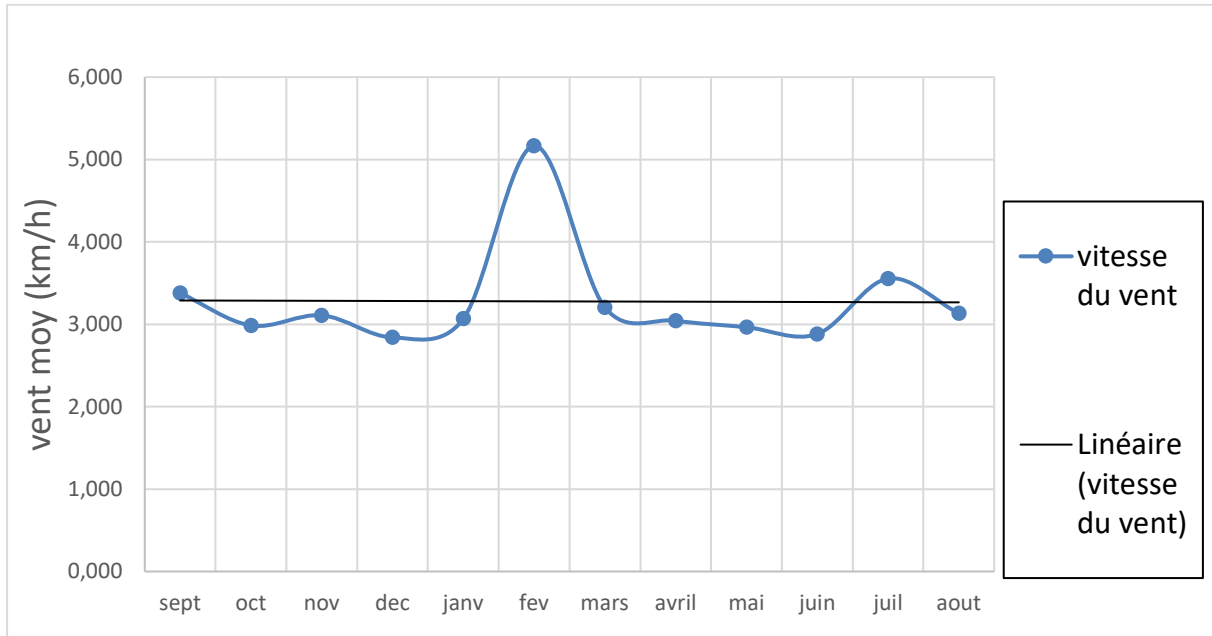


Figure 20 : Variation de vitesse moyenne mensuelle du vent, station de Boukourdane (1987-2019)

Selon les données du tableau et la courbe des vitesses moyennes mensuelles du vent (figure 17), les vitesses varient peu durant l'année. Les valeurs s'échelonnent entre 2,8 et 3,5 km/h, à l'exception notable du mois de février où elles connaissent une augmentation significative, atteignant 5,1 km/h.

4. Le bilan hydrologique

Un bilan hydrologique est une méthode de comptabilité de l'eau dans un bassin versant, sur une période de temps définie. Il permet de quantifier les entrées, les sorties et les variations de stockage d'eau dans ce système, en prenant en compte différents flux hydrologiques.

La relation entre ces flux peut être exprimée par l'équation du bilan hydrologique :

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

Avec:

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle en (mm).

ΔS : Variation de la réserve.

4.1. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un processus essentiel du cycle hydrologique, englobant l'évaporation directe de l'eau à partir des réservoirs de surface (comme les lacs et les mers) et des réservoirs souterrains (comme les nappes et les aquifères), ainsi que la transpiration des plantes, par lequel l'eau retourne dans l'atmosphère.

Elle est influencée par le climat et ses variations, lesquelles sont déterminées par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'air et de l'eau, le rayonnement solaire, et la pression atmosphérique.

On distingue deux types de l'évapotranspiration :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

4.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité maximale d'eau qui pourrait être évaporée et transpirée par les plantes dans une région donnée, si l'eau était disponible en quantité suffisante. Elle représente donc la demande atmosphérique en eau, indépendamment de la disponibilité réelle en eau du sol

Pour estimer l'évapotranspiration potentiel nous allons utiliser les formules suivantes :

4.1.1.1. Formule de Thornthwaite :

La formule de Thornthwaite est la suivante :

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

Avec :

ETP : Evapotranspiration Potentielle mensuel corrigé en (mm).

T : Température moyenne mensuelle en (°C).

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

I : Indice thermique annuel : somme des indices mensuels calculées à partir de températures moyennes mensuelles selon la formule :

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad , \quad I = \sum_1^{12} i_n$$

a = Coefficient calculé en fonction de l'indice thermique annuel I, donné par :

$$a = 0.49239 + (1.792 \times 10^{-2} \cdot I) - (7.71 \times 10^{-5} \cdot I^2) + (6.75 \times 10^{-7} \cdot I^3)$$

$$I = 86,781$$

$$a = 1,9$$

Tableau 17 : résultats de l'ETP selon la méthode Thornthwaite

Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
T moy(°C)	23,29	19,63	15,44	12,01	11,28	11,84	13,75	15,47	18,81	22,369	26,34	26,56
I	10,27	7,93	5,51	3,77	3,43	3,69	4,62	5,53	7,43	9,63	12,37	12,53
K	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,8
ETPc(mm)	90,87	6,16	49,27	32,35	31,9	35,25	47,61	55,69	71,65	93,8	113,44	107,26

4.1.2. L'Evapotranspiration Réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle (ETR) est la quantité totale d'eau qui s'évapore à la fois des surfaces terrestres (comme les sols et les plans d'eau) et qui est transpirée par les plantes.

Elle représente donc la perte d'eau réelle d'une zone donnée, résultant de l'évaporation directe et de la transpiration végétale combinée.

Pour estimer l'évapotranspiration réelle nous allons utiliser les formules suivantes :

4.1.2.1. Formule de Turc :

Turc a établi la relation suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (en mm)

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

t : Température moyenne annuelle (°C).

L : Pouvoir évaporant. C'est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

En prenant la température et les précipitations moyennes annuelles enregistrée à la station de Boukourdane, T = 18,06 °C et P = 577,70 mm, l'application numérique donne :

$$L = 1046,69$$

$$ETR = 526,35 \text{ mm}$$

4.1.2.2. Formule de Coutagne

Cette formule qui s'exprime par

$$ETR = P - \lambda P^2$$

À condition que :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

Avec

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,145T}$$

ETR : Evapotranspiration réelle en mm

T : Température moyenne annuelle

P : Précipitation moyenne annuelle en m

L'application numérique donne

$$\lambda = 0,29$$

$$\frac{1}{8\lambda} = 0,43$$

$$\frac{1}{2\lambda} = 1,72$$

$$P(m) = 0,577$$

Les résultats confirment que

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

Donc la condition de l'application de la méthode de Coutagne est vérifiée.

Par l'application numérique de la méthode de coutagne on obtient :

$$ETR = 483,02 \text{ mm}$$

4.1.2.3. Bilan De Thornthwaite :

Cette méthode consiste à calculer tout d'abord pour chaque mois une ETP que l'on peut assimiler au pouvoir évaporant de l'atmosphère sur le bassin considéré. On n'estime que le sol est saturé, lorsque sa réserve facilement utilisable atteint une valeur de 100 mm (il est souvent pris entre 50 mm et 200 mm). Le mois de Septembre a été pris comme référence de départ, il correspond à la période où la réserve en eau du sol est épuisée.

On distingue trois cas :

- -1er cas : Si $P \geq ETP$; on pose l'ETR = ETP et l'excédent des précipitations sur l'ETR est emmagasinés dans l'humidité du sol et dot il augmente les réserves jusqu'à ce que ce dernier soit saturé et le reste s'infiltré.
- 2eme cas : Si $P < ETP$; l'ETR mobilise alors l'ensemble des réserves du sol jusqu'à ce qu'elle devienne égale à l'ETP.
 - Si $P + RFU \leq ETP$, $ETR = P + RFU$.
 - Si $P + RFU > ETP$, $ETR = ETP$.
- 3eme cas : Si $P = ETR$, une fois la réserve d'humidité du sol épuisée, l'ETR devient égale aux précipitations, on obtient alors un déficit du bilan (Thornthwaite 1948).

L'estimation des réserves utiles est basée sur la structure du terrain et le couvert végétal. Les résultats du calcul de l'ETR sont résumés dans le tableau N.

Le bilan hydrologique, effectué par rapport au sol, des apports d'eau (pluie, remontées capillaires à partir de la nappe...), et des pertes d'eau (évapotranspiration, ruissellement, infiltration...). Il exprime que la différence entre les apports et les pertes d'eau dans le sol est égale à la variation de la réserve d'eau.

La formule classique du bilan hydrologique s'écrit comme suit :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P = précipitation moyenne annuelle en (mm).

Le tableau suivant présente le bilan hydrologique moyen par la méthode de Thornthwaite, au niveau de la station Boukourdane (1987-2020)

Tableau 18 : Bilan hydrologique moyen par la méthode de Thornthwaite

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
P (mm)	28,77	47,21	88,3	88,45	77,9	80,57	67,80	67,16	36,24	8,42	1,80	2,98	595,76
T °	23,29	19,63	15,44	12,01	11,28	11,84	13,75	15,47	18,81	22,36	26,34	26,57	18,07
ETPc (mm)	90,87	64,16	49,27	32,35	31,9	35,25	47,61	55,69	71,65	93,8	113,44	107,3	793,25
P-ETP (mm)	-62,1	-16,95	39,11	56,10	46,04	45,32	20,19	11,47	-35,4	-85,38	-111,6	-104	
RFU	0	0	39,11	95,219	100	100	100	100	64,59	0	0	0	
ETR	28,774	47,21	49,27	32,35	31,9	35,25	47,61	55,69	71,65	73,01	1,80	2,98	477,51
Déficit Agricole	62,096	16,95	0	0	0	0	0	0	0	20,79	111,63	104,3	315,74
Ecoulement	-	-	-	-	46,04	45,32	20,19	11,47	-	-	-	-	123,03

L'analyse du tableau du bilan hydrologique, nous permet de constater que l'ETP est élevé au mois de mai jusqu'à mois de septembre, avec une valeur maximale de 113,44 mm enregistrée au mois de juillet. À partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU. Cette dernière, atteint, son maximum entre les mois de Janvier à avril. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU à partir du mois de juin, traduisant un épuisement du stock.

Le graphique du bilan hydrologique (méthode de Thornthwaite) qui illustre les résultats du tableau pour la station de Boukourdane permet de souligner les observations suivantes :

On remarque que si la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y aura un surplus d'eau donnant naissance à un ruissellement. Quand la RFU commence à diminuer, il y a un épuisement du stock au point où la RFU = 0. Il y aura alors un déficit agricole du mois de juin jusqu'au mois d'Octobre.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) dans la région d'étude atteint son maximum au mois de juillet avec 113,44 mm et avec un minimum de 31,90mm au mois de janvier.

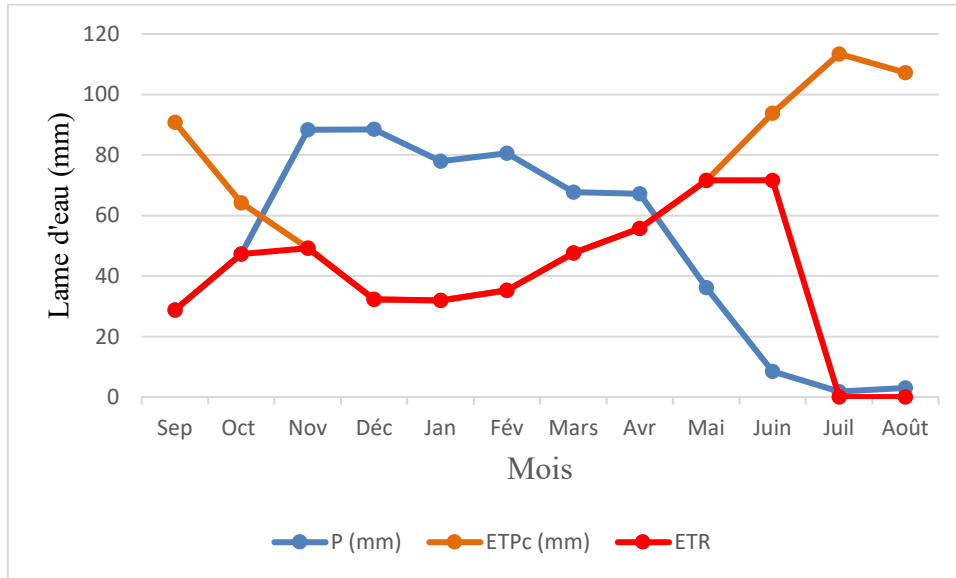


Figure 21 : Bilan simplifié de Thornthwaite, station de Boukourdane (1987-2020)

Nous constatons d’après le tableau ci-dessus que les valeurs de l’ETR obtenues par les méthodes de Turc, Coutagne et Thornthwaite sont pas proches. La valeur de l’ETR retenue pour l’établissement du bilan hydrologique est la moyenne entre les résultats obtenus par les formules de Coutagne et Thornthwaite (477,509 mm). La valeur obtenue par la formule de Turc est très élevée et a été éloignée.

Méthode	Turc	Coutagne	Thornthwaite
ETR (mm)	526,357	483,02	477,509

4.2. Lame d’eau ruisselée

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

Cette lame d’eau ruisselée sera calculée par la formule de **Tixeront-Berkaloff** qui s’écrit comme suit :

$$R = P^3/3(ETPc^2) \text{ si: } P < 600 \text{ mm}$$

Avec :

R : Ruissellement annuel (mm),

P : Précipitation moyenne annuelle (mm),

ETP_c : Evapotranspiration potentielle annuelle corrigée (mm).

La formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk est la suivante :

$$R = P^3 / 3 \quad \text{si: } P > 600 \text{ mm}$$

Avec :

R : Ruissellement annuel (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

Comme on a dans la station de Boukourdane une précipitation de 595,761 mm ($P < 600$ mm), on applique la première formule, qui donne un ruissellement de 112,01mm.

4.3. **Lame d'eau infiltrée**

De la même manière que le ruissellement, nous avons essayé d'estimer l'infiltration en sachant que ce paramètre est très difficile à déterminer quand on ne dispose pas de mesures directes (par exemple : mesure à l'aide d'un lysimètre).

L'infiltration a été déterminée en tirant sa valeur de l'équation du bilan hydrologique :

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

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

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

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ; $P = 595,761$ mm

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne (mm) ; $ETR = 480,31$ mm

R : Lame d'eau ruisselle (mm) ; $R = 112,01$ mm

I : Lame d'eau infiltrée (mm).

Remarque : $ETR_{\text{Thornthwaite}} = 483,02$ et $ETR_{\text{Coutagne}} = 477,59$.

Puisque ce sont deux valeurs proches donc ; $ETR_{\text{moy}} = (483,02 + 477,59) / 2 = 480,31$

L'application numérique donne $I = 595,761 - (480,31 + 112,01) = 3,441$ mm

4.4. **Estimation du bilan hydrologique**

Le calcul du bilan hydrologique basé sur la série des données de la station de Boukourdane, nous a permis de tirer des informations sur les composantes de ce bilan (précipitations, infiltration, évapotranspiration réelle et le ruissellement).

Tableau 19 : Tableau récapitulatif des différents termes du bilan hydrologique, station de Boukourdane (1987-2020)

	Precipitations	ETR	Ruissellement	Infiltration
Terme en mm	595,761	477,509	112,01	3,44
Terme en %	100	80,151	18,80	1,05

Il est important de noter que ces valeurs ne reflètent pas totalement l'infiltration dans toute la zone d'étude, car elles ne prennent pas en considération les infiltrations résultant d'un excès d'irrigation ni la possibilité d'une alimentation de la nappe par l'Oued (relation Oued-Nappe).

5. Détection de ruptures dans les séries pluviométriques annuelles

Pour identifier les ruptures de stationnarité dans les données pluviométriques, nous avons appliqué la statistique U de Buishand ainsi que le test de Pettitt.

5.1. Test de Pettitt

Le test de Pettitt est un test non paramétrique. Il dérive du test de Man-Wihtney, il a été décrit par plusieurs auteurs (Pettitt, 1979 ; Lubes et al. 1994 ; Lubes-Niels et al. 1998). Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Il se propose de tester l'hypothèse H_0 « Absence de rupture dans la série (X_i) de taille N » face à l'hypothèse alternative H_a « Présence d'une rupture dans la séquence ». (El Ibrahimy, 2015)

5.2. Test de Buishand

Souvent simplement appelée U de Buishand, est un test statistique utilisé pour détecter les changements dans la moyenne d'une série chronologique.

Le test est de nature Bayésienne, en supposant une distribution à priori uniforme pour la position du point de rupture t , la statique U de Buishand est définie par :

L'hypothèse nulle (H_0) d'homogénéité des données ou d'absence de rupture dans la série chronologique de précipitations comblée a été testée par ces deux tests statistiques à un degré de signification fixé à 5 %. L'hypothèse H_0 est retenue, signifie qu'il n'y pas de cassure significative au sein de la série et que les données de cette série sont donc homogènes. Dans le cas contraire, H_0 est rejetée quand la valeur p est inférieure aux degrés de signification fixés. Ainsi, l'hypothèse d'hétérogénéité de la série de données est retenue, ce qui indique un changement significatif dans cette dernière et par conséquent l'estimation de la date de rupture est donc possible.

5.3. Application des tests

Cette analyse a été réalisée à l'aide de XLSTAT sur la série de données pluviométriques de la station du barrage de Boukourdane sur la période 1987-2019

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 20 : résultat des tests Pettitt et Buishand

Tests statistique	Observations	Boukourdane
Pettitt	T	2003-2004
	p-value	0,026
	Alpha	0,05
	Mu-avant	509,270
	Mu-après	651,809
Buishand	T	2001-2002
	p-value	0,012
	Alpha	0,05
	Mu-avant	498,738
	Mu-après	644,164

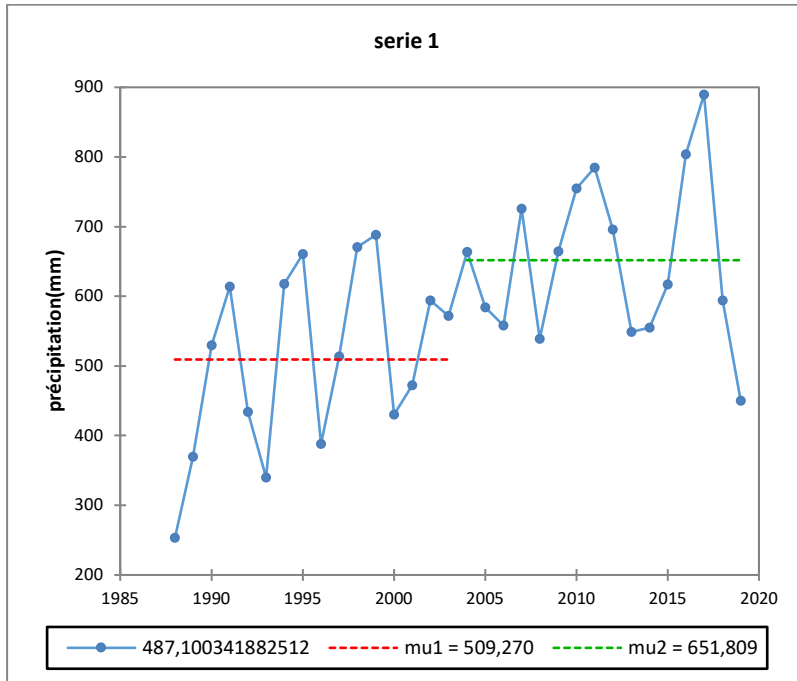


Figure 19 : Graphe obtenu par le test de Pettitt appliqués sur la série pluviométrique enregistré à la station boukourdane (1987-2019)

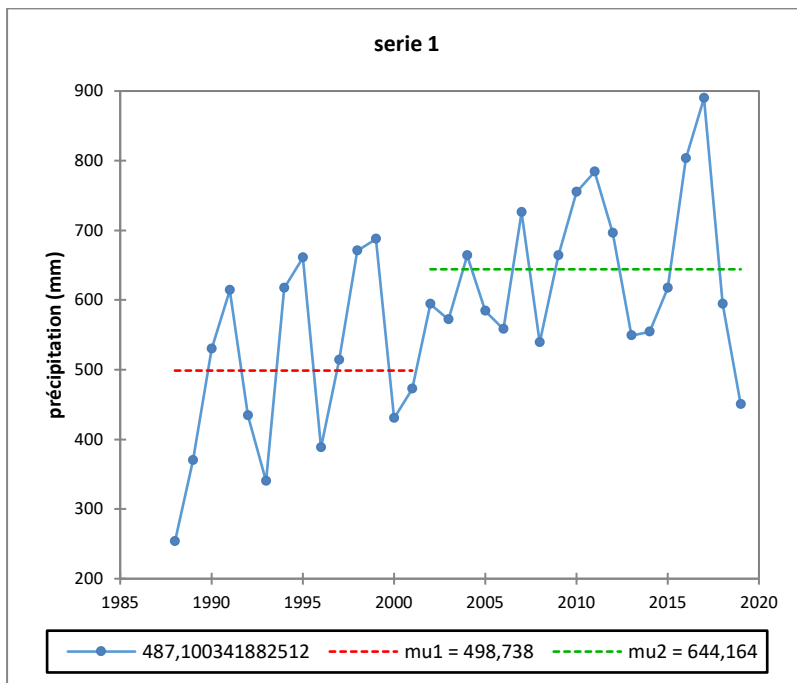


Figure 20 : Graphe obtenu par le test de Buishand appliqués sur la série pluviométrique enregistré à la station boukourdane (1987-2019)

5.4. Interprétation des Tests d'Homogénéité

➤ Test de Pettitt

Puisque la p-value calculée (0,026) est inférieure au niveau de signification ($\alpha=0,05$), on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 et accepter l'hypothèse alternative H_a .

Cela signifie qu'il y a une date (2003) où il y a un changement dans les données.

➤ Test de Buishand

Puisque la p-value calculée (0,012) est inférieure au niveau de signification ($\alpha=0,05$), on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 et accepter l'hypothèse alternative H_a .

Cela signifie qu'il y a une date (2001) où il y a un changement dans les données.

Les p-values calculés par les deux tests étant toutes inférieures au seuil de 0,05, cela renforce la conclusion que les données ne sont pas homogènes et qu'un changement significatif s'est produit à un certain moment dans la période d'étude.

6. Conclusion

La région étudiée se distingue par un climat tempéré humide, marqué par des hivers doux et pluvieux ainsi que des étés chauds et secs. La moyenne interannuelle des précipitations tombées dans la station est 595,761 mm.

La température moyenne annuelle est à 18,06 °C avec un maximum au mois d'août égal à 26,56 °C et un minimum au mois de janvier égal à 11,28 °C.

Le cycle pluviométrique le plus arrosé correspond aux années 2016-2018 avec un apport de 889,800 mm.

Cette zone a connu une période plus sèche qui correspond à 1988-1989 avec un apport de 253,300 mm.

L'humidité relative mensuelle varie entre 91,42% en été (août) et 83,65 % en hiver (Novembre).

Le suivi de la variation du vent à la station de Boukourdane dont la vitesse annuelle du vent est égale 3,27 Km/h a montré que la direction préférentielle du vent est Nord-est et Sud-ouest. Ce vent favorise la pluviosité de la région.

L'établissement du bilan hydrique de la zone d'étude selon la méthode de Thornthwaite a permis l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration réelle (ETR) (80 %). Ce qui reste des précipitations tombées dans la zone

d'étude 18,80 % s'écoule en surface dans le réseau hydrographique dont 1,05 % d'infiltration dans la nappe

Les tests révèlent la présence des ruptures dans la série pluviométrique. Les p-values calculés par les deux tests étant toutes inférieures au seuil de 0,05, cela renforce la conclusion que les données ne sont pas homogènes et qu'un changement significatif s'est produit à un certain moment dans la période d'étude (2001 et 2003)

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

A l'issu de ce travail, les résultats obtenus sont importants, il s'agit des caractéristiques hydrologiques du bassin versant de la plaine d'Oued El Hachem, disposant d'une nappe d'eau souterraine importante, à l'aide d'un SIG et de suivre l'évolution des précipitations en vue d'établir un bilan hydrologique.

Oued El Hachem se trouve dans la zone plissée de l'Atlas tellien, qui fait partie des zones externes de la chaîne maghrébine se trouve sur la côte nord de l'Algérie, faisant partie de la région côtière de la wilaya de Tipaza. Elle se caractérise par une grande complexité géologique en raison de la présence de plusieurs zones stratigraphiques et tectoniques distinctes, résultant des plissements nummulitiques. En allant du nord au sud. La plaine de l'Oued EL Hachem est constituée d'alluvions qui forment un aquifère hétérogène dont lequel une nappe libre circule en amont tandis qu'elle devient captive en aval.

Les dépôts sont formés principalement de sables, de graviers, d'argiles et de galets calcaires.

L'étude hydrologique du bassin versant de l'Oued EL Hachem met en lumière ses caractéristiques géométriques et hydrologiques. Le bassin, s'étendant sur 232 km² avec un périmètre de 92 km, présente une forme allongée, confirmée par un indice de Gravilius de 1,7. Les altitudes varient de 0 à 1400 mètres du Nord au Sud, avec des plaines dominant au Nord et au centre, couvrant plus de 70% de la surface totale, et des pentes abruptes au Sud, où les altitudes sont plus élevées.

Le réseau hydrographique est dense en amont, avec une densité de drainage de 2,11 km/km² et une densité hydrographique de 9,5. Le temps de concentration du bassin est évalué à 7,71 heures, indiquant une réponse hydrologique modérée. L'Oued EL Hachem est principalement alimenté par les eaux de pluie, entraînant un écoulement saisonnier, drainé par deux principaux affluents des hauteurs du Sud.

Depuis la construction du barrage de Boukourdane, la recharge naturelle du bassin a été considérablement influencée de manière négative

Notre zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen tempéré, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse et humide allant de mois d'octobre jusqu'au mois d'avril et l'autre sèche, allant du mois de mai au mois de septembre. Elle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 595,76 mm, sous une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,06 °C.

Le bilan hydrologique de la zone d'étude montre une évapotranspiration réelle représentant 80,15% des précipitations, une quantité de ruissellement estimé de 18,80 % et environ 1,05% d'infiltration.

Annexe

ANNEXE

Tableau : Précipitations totales annuelles de la station étudiée

Colonne1	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
1987-1988					36,6	26,1	34,8	43,3	36,3			0,0
1988-1989	59,5	19,5	66,8	161,1	28,0	22,9	96,1	89,1	10,9	11,1	0,0	6,3
1989-1990	16,5	6,0	68,5	21,7	96,9	0,0	57,1	55,9	44,2	0,0	2,6	0,3
1990-1991	2,3	17,2	48,5	102,2	131,3	68,4	102,9	21,5	22,4	6,9	2,2	3,8
1991-1992	5,5	135,9	23,1	10,5	170,2	38,0	74,8	76,7	52,2	22,3	5,1	0,0
1992-1993	0,0	73,2	74,6	87,6	5,5	85,9	32,0	65,0	8,3	2,2	0,0	0,0
1993-1994	20,0	21,1	54,1	35,2	97,4	31,9	2,8	70,3	7,2	0,0	0,0	0,0
1994-1995	107,1	70,7	55,1	52,7	140,9	31,9	116,4	11,6	7,4	19,8		
1995-1996	19,6	25,0	56,4	20,0		152,5	33,9	199,2	9,1	12,9	4,5	0,8
1996-1997	41,4	91,3	30,1	18,0	50,7	44,0	6,0	69,1	26,2	0,0	2,8	8,8
1997-1998	23,1	46,6	96,9	47,9	7,6	36,0	33,7	76,4	140,9	1,3	0,0	3,4
1998-1999	35,1	26,2	114,9	69,0	126,7	168,6	115,5	11,6	0,9	0,7	0,0	1,3
1999-2000	10,7	13,6	131,8	260,0	7,8	7,4	24,0	182,0	49,5	1,1	0,0	0,0
2000-2001	6,3	86,0	74,8	29,6	107,8	52,5	0,8	60,7	11,5	0,3	0,0	0,0
2001-2002	18,0	13,0	175,2	46,2	27,4	19,5	65,0		29,5	0,0	6,5	8,0
2002-2003	26,5	24,5	90,5	74,1	155,1	124,9	13,3	43,3	39,8	0,0	0,0	1,8
2003-2004	2,7	27,7	110,5	60,5	81,3	46,5	52,4	76,2	83,1	0,0	3,6	27,7
2004-2005	4,0	27,7	120,3	143,0	100,9	145,0	95,2	24,1	2,8	0,0	0,0	0,6
2005-2006	13,7	33,2	78,7	133,7	136,7							
2006-2007	71,0	2,0	19,1	210,8	12,4	44,8	103,0	90,0	2,8	0,0		0,0
2007-2008	60,2	120,2	196,4	123,0	15,6	20,5	88,5	9,5	41,5	35,0	15,5	0,0
2008-2009	34,5	59,5	103,0	93,0		8,5	73,0	86,5	14,5	0,0	0,0	17,5

Annexe

2009-2010	101,2	3,5	81,0	117,0	87,5	98,5	98,0	38,0	25,0	6,0	0,0	
2010-2011	19,5	116,5	99,0	59,5	108,0	108,6	36,4	95,6	93,5	18,0	0,0	
2011-2012	4,5	44,6	106,2	68,0	35,5	323,6	91,4	99,2	11,4	0,0	0,0	0,0
2012-2013	9,0	57,6	79,5	14,4	104,6	94,5	47,4	90,0	194,5	1,0	1,0	
2013-2014	16,1	44,9		67,2	46,6	49,7	158,5	6,2	38,7	53,8	0,0	0,5
2014-2015	6,0	59,0	66,0	117,0	89,1	131,8	77,6	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0
2015-2016	85,0	94,5		0,0	61,1	116,2	127,2	69,7	17,4	0,3	8,9	0,0
2016-2017	5,3	2,8	192,5	184,0	37,7	319,0	39,0	10,4	1,5	11,3		0,0
2017-2018	34,0	52,0	103,7	121,8	46,0	108,3	125,9	171,0	77,1	50,0	0,0	0,0
2018-2019	22,3	28,0	107,0	114,0	167,5	9,8	61,1	56,0	26,2	2,0	0,0	0,0
2019-2020	92,4	18,3	72,8	29,3	34,7	0,0	71,7	94,0	37,2	0,0	0,0	0,0

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Ammari A. (2012). Vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin hydrographique des côtiers algérois). Thèse de doctorat, université Mohamed Khider – Biskra
- Aouicha A. Laib R (2019). Test des ruptures des séries chronologiques : application sur les données Météorologique.
- Benmeddah K (2018). Etablissement de carte de ressources en eaux souterraines de la wilaya de Tipaza. Mémoire de Master. Université de Khemis mliyana.
- Bentarzi S. et Hamrani H. (2023). Modélisation cartographique de la vulnérabilité spécifique aux nitrates (NO_3^-) des eaux souterraines de la Mitidja orientale (w. D'Alger).
- Bouchala J. (2020). Fluctuation du niveau piézométrique du système aquifère de la plaine de l'oued Nador (Tipaza) dans un contexte de changement climatique.
- Boukerb S. (2021). Vulnérabilité à la pollution de la nappe aquifère du massif dunaire de Bouteldja (El-Taref). Mémoire master, UMMTO.
- Bouillin, J. (1986). Le bassin maghrébin ; une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique. L'Ouest des alpes. Bull. Soc. Géol. France.
- Durand delga, M. (1961). Esquisse structurale de l'Algérie en 1961. Lexique stratigraphique international.
- Durand-delga (1961) La recherche géologique française en Algérie du Nord après 1962.
- Fareh, M. (2006). Étude hydrologique et hydrogéologique de la plaine de l'Oued El Hachem.
- Tadrist N. (2004). Le transport solide dans l'oued el- Hachem et l'impact des lâchers du barrage Boukourdane sur l'hydraulique de l'oued et la nappe.
- Villa J. M. (1980). Évaluation par approche statistique de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau : application au périmètre du Gharb (Maroc)
<https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2019-v32-n3-rseau05117/1067310ar/>
- Villa J. M. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens " thèse doctorat en science, université de pierre et marie-crie –paris vi, France
- Yahiaoui A. (2018). Hydrogéologie et approche à la modélisation de la nappe alluviale de l'oued el Hachem (Tipaza).