



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTÉ DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

Domaine : Sciences et technologie

Option : Ressources Hydrauliques

Mémoire de Master

Thème

Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : cas du bassin versant d'Oued M'Zab

Présenté par : Meharzi Salim

Jury de soutenance :

Nom et Prénom

Mr. Sekkoum Mohamed
Mr. Chettih Mohamed
Mr. Hamlat Abdelkader

Qualité

Président
Examineur
Promoteur

Promotion : 2022

Dédicace

Je dédie cette Mémoire à :

Mon père et ma mère pour leur amour inconditionnel, leurs conseils et leur soutien.

Mes frères et ma famille

Tous mes amis

Mon chéri

REMERCIEMENTS

Avant tout, je dois remercier Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la force et le courage pour finir ce modeste travail.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement mon enseignant et Promoteur Mr. HAMLAT Abdelkader, d'avoir accepté de m'encadrer sur ce thème, pour ses précieux conseils, encouragements et ses orientations tout le long l'élaboration de ce travail.

Je remercie les membres du jury, Mr. Sekkoum Mohamed et Mr. Chettih Mohamed, de m'avoir honoré de leur présence et de leur volonté d'évaluer ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont encouragé et soutenu de près ou de loin lors de l'exécution de ce travail.

Résumé

Ce travail a pour objectif l'analyse de la corrélation entre des paramètres morpho-métriques et leur influence sur l'hydrologie du bassin versant d'Oued M'Zab (Wilaya de Ghardaïa, Algérie). La méthodologie a consisté à un traitement des paramètres morpho-métriques pour les différents sous-bassins du bassin d'Oued M'Zab en utilisant des techniques de géo-traitement dans les SIG utilisant (Arc Gis) et l'analyse en composante principale (ACP) à l'aide du (XLSTAT). La méthode a été appliquée à 07 individus (sous-bassins versants) et 22 variables. L'analyse morpho-métrique des bassins permet d'explorer l'interrelation entre les paramètres hydrologiques et les caractéristiques géomorphologiques, et les variables statistiques explicatives qui servent de support à une classification du bassin versant en zones homogènes. Cette analyse a permis de mettre en évidence corrélation entre les différents paramètres physiographiques et l'individualisation des sous-bassins.

Cette étude peut être appliquée pour la gestion des sols et de l'eau, ainsi que pour la prévention des catastrophes à partir de bassins hydrographiques similaires

Mots-clés : morphométrie, analyse en composante principale (ACP), corrélation, bassin versant d'Oued M'zab

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحليل العلاقة بين المعايير الشكلية وتأثيرها على هيدرولوجيا حوض واد مزاب (ولاية غرداية ، الجزائر). تتكون المنهجية من معالجة المعايير الشكلية المترية للأحواض الفرعية المختلفة لحوض واد مزاب باستخدام تقنيات المعالجة الجغرافية في نظم المعلومات الجغرافية باستخدام (Arc Gis) و تحليل المكونات الرئيسية (ACP) باستخدام (XLSTAT). تم تطبيق الطريقة على 07 افراد (مستجمعات المياه الفرعية) و 22 متغيراً. يتيح التحليل المورفو-مترى للأحواض استكشاف العلاقة المتبادلة بين المعلمات الهيدرولوجية والخصائص الجيومورفولوجية والمتغيرات الإحصائية التفسيرية التي تعمل كدعم لتصنيف منطقة مستجمعات المياه إلى مناطق متجانسة. جعل هذا التحليل من الممكن تسليط الضوء على العلاقة المتبادلة بين المعايير الفيزيوجرافية المختلفة وإضافة الطابع الفردي على الأحواض الفرعية. يمكن تطبيق هذه الدراسة لإدارة التربة والمياه ، وكذلك الوقاية من الكوارث من مستجمعات المياه المماثلة

الكلمات المفتاحية: قياس الشكل ، تحليل المكونات الرئيسية (ACP) ، الارتباط ، حوض واد مزاب

Abstract

This paper aims to analyze the correlation between morphometric parameters and their influence on the hydrology of the watershed of Oued M'zab (Wilaya of Ghardaia, Algeria). The methodology consisted in processing the morpho-metric parameters for the various sub-basins of the Oued M'zab basin by using geo-processing techniques in GIS and component analysis (PCA) using the (XLSTAT). The method was applied to 07 individuals (sub-watersheds) and 22 variables. The morpho-metric analysis of the basins makes it possible to explore the interrelation between the hydrological parameters and the geomorphological characteristics, and the explanatory statistical variables which serve as support for a classification of the catchment area into homogeneous zones. This analysis made it possible to highlight the interrelation between the different physiographic parameters and the individualization of the sub-basins.

This study can be applied for soil and water management, as well as disaster prevention from similar watersheds

Keywords: Morphometry, principal component analysis (PCA), correlation, Oued M'zab watershed

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant	4
I.1 Introduction :.....	5
I.2 Caractéristiques physiographiques du bassin versant	5
I.2.1 La surface du bassin versant (A)	5
I.2.2 Le périmètre (P).....	5
I.2.3 La longueur d'un bassin versant (L).....	5
I.2.4 La largeur du bassin (B).....	5
I.2.5 Relief du bassin (Rh)	5
I.3 Paramètres de forme du bassin versant	6
I.3.1 Le rapport d'allongement (Re).....	6
I.3.2 Indice de forme de Horton, KH.....	6
I.3.3 Le Rapport circulatoire (Rc).....	6
I.3.4 Le Coefficient de compacité (KC).....	6
I.3.5 Le rectangle équivalent (Le).....	6
I.3.6 Valeur de Lemniscate (k)	7
I.4 Paramètres de relief	7
I.4.1 Rapport du relief (Rhl).....	7
I.4.2 Indice de robustesse (Rn).....	7
I.4.3 Altitude moyenne (Hmoy)	8
I.4.4 L'altitude médiane (H mid)	8
I.4.5 Relief relatif (Rre)	8
I.4.6 Dénivelée globale (DG)	8
I.5 Paramètres linéaires	8
I.5.1 Ordre de cours d'eau (U)	8
I.5.2 Numéro des cours d'eau (Nu)	8
I.5.3 Longueur du cours d'eau (Lu).....	8
I.5.4 La longueur du cours d'eau principal (Lup)	9
I.5.5 Longueur moyenne du cours d'eau (Lsm)	9
I.5.6 Fréquence de flux (Fs)	9
I.5.7 Bifurcation Ratio (Rb)	9
I.5.8 Longueur de l'écoulement terrestre (Lg).....	10
I.5.9 Densité de Drainage (Dd).....	10
I.5.10 Densité hydrographique (F).....	10
I.5.11 Intensité du Drainage (Di).....	10
I.5.12 Texture du drainage (Td) :.....	10
I.5.13 La Constante de maintenance des canaux (C)	11
I.5.14 Le temps de concentration (Tc)	11
I.5.15 Pente moyenne (Imoy %).....	11
I.5.16 La sinuosité (Sin).....	11
I.5.17 Indice de pente global (Ig).....	11
I.5.18 Dénivelée spécifique (DS).....	12
I.6 Courbe hypsométrique (Hi).....	14
Chapitre II : Présentation de la région d'étude.....	15
II.1 Introduction :.....	16

II.2	Présentation générale de la région d'étude.....	16
II.3	Le type de relief.....	18
II.4	Occupation des sols	20
II.5	Aperçu géologique et lithologique du bassin versant	21
II.5.1	Pliocène continental.....	22
II.5.2	Mio-pliocène	22
II.5.3	Sénonien supérieur	22
II.5.4	Sénonien inférieur.....	22
II.5.5	Turonien.....	22
II.5.6	Cénomanién.....	22
II.5.7	Albien	22
II.6	Synthèse climatique.....	24
II.6.1	Climat de la région	24
II.6.2	Climagramme d'Emberger :	24
II.7	Caractéristiques climatiques.....	25
II.7.1	Pluviométrie :	25
II.7.2	Les températures.....	26
II.7.3	Les vents	27
II.7.4	Humidité :	27
II.7.5	L'évaporation mesurée :	28
II.7.6	L'insolation :	29
	Chapitre III : Application de l'analyse morpho métrique au bassin versant de Oued M'Zab...	30
III.1	Introduction :	31
III.2	Méthodologie, Données et Matériels utilisés	31
III.3	Analyse la carte des Altitude.....	33
III.4	Analyse de la carte du réseau hydrographique	34
III.5	Analyse cartographique des sous-bassins	34
III.6	Calcul des caractéristiques des sous bassins de Oued Mzab.....	37
III.7	La régionalisation :	38
III.8	Méthodologie de l'ACP : Principe et définitions	38
III.9	Principe de la méthode.....	39
III.10	Méthodologie de l'ACP :	40
	Chapitre IV : Résultats et interprétation	41
IV.1	Introduction :	42
	Conclusion générale :	54

LIST DES TABLEAUX

Tableau I. 1: Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM	12
Tableau I. 2: Classification du relief selon la méthode de l'ORSTOM	12
Tableau I. 3: Caractéristiques physiographiques	13
Tableau I. 4: Paramètres de forme	13
Tableau I. 5: Paramètres de relief	13
Tableau I. 6: Paramètres linéaire	14
Tableau II. 1: Historiques des inondations de la vallée du M'Zab de : 1848 à 2008	19
Tableau II. 2: Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (1998- 2018).....	25
Tableau II. 3: Température mensuelle l'année 2018 [30][35].	26
Tableau II. 4: Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018).....	28
Tableau II. 5: l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018) [30] [35].	28
Tableau II. 6: Evaporation moyenne mensuelle (mm) [38][35].	28
Tableau II. 7: durée mensuelle de l'insolation totale (heures/mois) station ONM Ghardaïa (Période 1998/2018)	29
Tableau III: 1 Altitude max et min	33
Tableau III: 2: Caractéristiques physiographiques du bv d'Oued Mzab	35
Tableau III: 3: Paramètre de forme du bv d'Oued Mzab	35
Tableau III: 4: Paramètre de relief du bv d'Oued Mzab	35
Tableau III: 5: Paramètres linéaires du bv d'Oued Mzab	36
Tableau III: 6: Caractéristiques physiographiques des sous bassins de Oued Mzab	37
Tableau III: 7: Paramètres de forme des sous bassins d'Oued Mzab.....	37
Tableau III: 8: Paramètres de relief des sous bassins d'Oued Mzab.....	37
Tableau III: 9: Paramètres linéaires des sous bassins d'Oued Mzab	37
Tableau III: 10: Paramètres linéaires des sous bassins d'Oued Mzab (suite).....	38

Tableau IV. 1: Statistiques descriptives des paramètres morphométriques du bv d'Oued M' Zab	42
Tableau IV. 2: la matrice de corrélation entre les variables	43
Tableau IV. 3: Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho métriques du bv d'Oued M' Zab	44
Tableau IV. 4: Coordonnées des variables: Corrélations entre les variables et les facteurs.....	45
Tableau IV. 5: Contributions des variables (%)	47
Tableau IV. 6: Cosinus carrés des variables.....	48
Tableau IV. 7: Coordonnées des observations	48
Tableau IV. 8: Contributions des observations (%).....	50
Tableau IV. 9: Cosinus carrés des observations	51

LISTE DES FUGURES

Figure I. 1:Indices de développement de Saam (1998) et le « lemniscate ratio » de Chorley et al. (1957).....	7
Figure II. 1:Situation géographique du bassin versant de Oued M'zab.	16
Figure II. 2: Carte du réseau hydrographique de l'Oued M'Zab	17
Figure II. 3: L'oued M'Zab en crue (Octobre 2008).....	20
Figure II. 4: Carte d'occupation des sols du bassin versant d'Oued M' Zab	21
Figure II. 5: Coupe hydrogéologique Synthétique de la région.....	23
Figure II. 6: Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'Emberger.....	24
Figure II. 7: Précipitation mensuelle (station de Ghardaia).....	25
Figure II. 8: température de l'air mensuelle de 2013 à 2016.....	26
Figure II. 9: Vitesse des vents mensuelle de 2013 à 2016 (O.N.M, 2018).....	27
Figure II. 10: L'Humidité moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (1998/2008)[36] [35].....	28
Figure II. 11: L'insolation mensuelle de la région de Ghardaïa.	29
Figure III. 1: Organigramme de la méthodologie du travail.....	32
Figure III. 2: Carte des Altitude MNT de la vallée du M'Zab	33
Figure III. 3:rapport d'altitude	33
Figure III. 4:Carte des sous-bassins de la vallée du M'Zab.....	34
Figure III. 5:hypsométrie du bassin versant d'Oued M' zab	36
Figure IV. 1:Histogramme des valeurs propres. (Pourcentages de variance observée, pour les 6 axes principaux).	44
Figure IV. 2:Un schéma de principe des contributions des variables morpho métriques au niveau du bassin de la vallée du M'Zab	46
Figure IV. 3:Figure Projections des individus sur les plans factoriels (F1-F2).....	49
Figure IV. 4:Graphique des Biplot sur les plans factoriels (F1-F2) du bassin de la vallée du M'Zab ..	50

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
BV : Bassin Versant
MNT : Modèle Numérique de Terrain
SBV : Sous Bassin Versant
SIG : Systèmes d'Informations Géographiques
CNIG : Centre National d'Information Géographique
FICCDC : Comité Fédéral de coordination inter-agences pour la cartographie numérique
A : La surface
P : périmètre
Lb : La longueur
B : La largeur
Rh : Relief du bassin
Re : Rapport d'allongement
KH : Indice de forme de Horton,
RC : Rapport de circularité
KC : Rapport de compacité
Le : Le rectangle équivalent
Ieq : La rectangle équivalente largeur
Leq : La rectangle équivalente longueur
K : Lemniscate
Rhl : Rapport de relief
Rn : Indice de robustesse
Hmey : Altitude moyenne
Hmid : L'altitude médiane
Rre : Relief relatif
DG : dénivelée globale
U : Ordre de cours d'eau
Nu : Numéro des cours d'eau
Lu : Longueur du coure d'eau
Lup : Longueur principal du coure d'eau
Lsm : Longueur moyenne des cours
Fs : Fréquence de flux
Rb : Bifurcation ratio
Lg : longueur de l'écoulement terrestre
Dd : Densité de drainage
Di : Drainage Intensité
Td : Drainage texture
FN : Infiltration Numéro
C : Constant Channel Maintenance
Tc : Tempe de concentration Moyenne
Imoy % : Pente moyenne
Sin : Sinuosité
F : Densité hydrographique
Ig : Indice de pente global
DS : Dénivelée spécifique
Hi : Courbe hypsométrique
L'O.N.M : Office National de Météorologie
IDF : Intensité-Durée-Fréquence

Introduction Générale

Introduction Générale

Une bonne connaissance des caractéristiques des bassins versants à étudier en termes de pente, d'élévation, de topographie, de lithologie, de cartes géologiques, de géomorphologie, de système de drainage et de caractéristiques morphologiques permet une gestion durable des ressources en eau pour assurer la durabilité de l'équilibre de vie humaine.

Le bassin versant représente l'unité topographique de base pour toute étude en hydrologie. La connaissance des caractéristiques morphologiques de celui-ci, revêt une place de choix pour les gestionnaires des cours d'eau et des géorisques. En effet, les paramètres morphologiques sont ceux les plus déterminants pour l'écoulement des eaux dans un bassin versant et peuvent influencer dans une moindre mesure la gravité des crues. Dès lors, la caractérisation des variables de temps et d'espace qui gouvernent le cycle hydrologique sont indispensables pour la gestion efficace de l'eau dans un bassin versant. L'étude morphométrique d'un bassin versant peut donc contribuer à caractériser ces variables

L'analyse morphométrique est une démarche importante pour la hiérarchisation des bassins versants même sans tenir compte de la carte des sols [1]. Pour ce faire, on peut recourir à un ensemble de paramètres quantitatifs importants dans la compréhension du dynamisme d'une rivière: superficie, périmètre, longueur, largeur, indice de compacité de Gravelius, indice de pente, pente moyenne du cours d'eau, altitude maximale, altitude minimale [2] [3]

Le récent développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication, principalement de télédétection et les SIG dans les années 1980, a considérablement révolutionné l'analyse morphométrique des bassins versants avec l'usage du numérique. Les systèmes d'informations géographiques (SIG).

En effet, ces outils permettent d'apporter à chacun l'information dont il a besoin pour décider et agir au mieux. C'est un outil de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent, de simulation d'alternatives et de leurs effets [4].[5]

Deux questions sont alors soulevées. La première est de choisir des variables complémentaires pour synthétiser au mieux l'information portée par l'ensemble des variables devant une série de données. La deuxième est de trouver une représentation plane de l'ensemble des variables dans un espace réduit permettant une visualisation des liens numériques et de déceler des facteurs latents [6].[7]

La présente étude a pour but de faire ressortir les caractéristiques morphométriques du bassin versant d'Oued M' Zab à l'aide des données de télédétection et des SIG. En effet, ces

caractéristiques peuvent être utilisées pour une prévision des risques hydrologiques surtout dans le contexte actuel où, les changements climatiques engendrent par endroits d'importantes précipitations. Le présent travail est basé sur une analyse en composante principale (ACP) est des caractéristiques morphométriques générales du bassin versant de Oued M'Zab. Il s'agit ici d'analyser les corrélations entre les variables et d'identifier des sous bassins qui se différencient fortement des autres. L'objectif est d'arriver à regrouper des sous bassins semblables physiquement, utile pour toute éventuelle extrapolation de données hydrométéorologiques. Pour ce faire, trois points sont soulevées : les ressemblances entre sous bassins, les liaisons entre paramètres et les relations entre ces paramètres et l'écoulement.

**Chapitre I : Caractéristiques
morphométriques d'un bassin versant**

I.1 Introduction :

On appelle bassin versant d'une rivière considérée en un point donné de son cours, l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point de la rivière [8]. L'exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux.

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin versant déterminent son temps de réponse face aux événements pluvieux, sa vulnérabilité vis-à-vis du risque hydrologique ainsi qu'une meilleure gestion des ressources en eau. Elles permettent également de mieux comprendre le fonctionnement morpho-hydrologique de l'hydrosystème.

I.2 Caractéristiques physiographiques du bassin versant

I.2.1 La surface du bassin versant (A)

La surface du bassin versant (en km²) : c'est l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont donc être en partie reliés à sa surface. Elle est donc définie comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section[9]

I.2.2 Le périmètre (P)

Il représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas directement l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant.[9]

I.2.3 La longueur d'un bassin versant (L)

La longueur du bassin est la distance linéaire droite entre l'embouchure du bassin et le point le plus éloigné de la ligne de partage des eaux. Cette ligne coupe la projection de la direction de la ligne à partir de la source du courant principal [4].

I.2.4 La largeur du bassin (B)

Outre le périmètre et la superficie, la largeur moyenne B (km) du bassin versant constitue un autre paramètre géométrique. Elle peut être approximée par le rapport de la superficie (km²) à la longueur du thalweg principal (L_p en km) ou celle du rectangle équivalent (L_e en km) est définie comme la distance droite transversale entre les deux points les plus éloignés de la circonférence du bassin[10]

I.2.5 Relief du bassin (Rh)

Il est défini comme étant la différence d'altitude entre le point le plus bas (exutoire) et le point le plus élevé (ligne de partage des eaux) d'un bassin [11]. Il joue un rôle important dans le développement des formes de relief, le développement de drainage de surface et l'écoulement de l'eau souterraine [12]

I.3 Paramètres de forme du bassin versant

I.3.1 Le rapport d'allongement (Re)

Selon Schumm (1965), le "rapport d'allongement" est défini comme le rapport du diamètre d'un cercle de la même zone du bassin à la longueur maximale du bassin. Strahler (1952) déclare que le rapport d'allongement se situe entre 0,6 et 1,0 sur une grande variété de conditions climatiques et géologiques les types. Les différentes pentes du bassin versant peuvent être classées à l'aide de l'indice de rapport d'allongement, c'est-à-dire circulaire (0,9-0,10), ovale (0,8-0,9), moins allongée (0,7-0,8), allongée (0,5-0,7), et plus allongé ($<0,5$) pour les actifs tectoniquement élevés, actifs, légèrement actifs et paramètres inactifs, respectivement. Le rapport d'allongement a une importance conséquence hydrologique car, contrairement aux bassins versants plus circulaires, les précipitations délivrées lors d'une tempête dans un bassin versant très allongé doivent parcourir une plus grande distance pour atteindre l'exutoire du captage [13].

I.3.2 Indice de forme de Horton, KH

L'indice de forme KH d'un bassin versant est défini comme le ratio ou rapport de la superficie du bassin au carré de la longueur du bassin. Il est inférieur à 1 pour un bassin versant de forme allongée et supérieur à 1 pour un bassin de forme ramassée. Il est utilisé pour prédire l'intensité de l'écoulement à l'exutoire d'un bassin versant. Le facteur de forme montre une relation inverse avec la longueur du cours d'eau principale et possède une relation directe avec le débit de pointe à l'exutoire du bassin versant [14].

I.3.3 Le Rapport circulatoire (Rc)

Est le rapport de la surface d'un bassin à l'aire d'un cercle ayant la même circonférence que le périmètre du bassin [15]. Il est contrôlé par plusieurs facteurs : la longueur, la fréquence des cours d'eau, la tectonique, la lithologie, le climat, la pente et le couvert végétal du bassin. Les valeurs de Rc sont corrélées stades du cycle de vie du bassin [16].

I.3.4 Le Coefficient de compacité (KC)

Est défini comme le périmètre du bassin divisé par la circonférence d'un cercle à la même zone du bassin. Il est proportionnel à l'évaluation du risque d'érosion, ce qui nécessite la mise en œuvre des mesures de protection et de conservation. Le coefficient de compacité est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Il est classé en 3 classes de formes différentes: ramassée (1 à 1,15), intermédiaire (1,15 à 1,5) et allongée (1,5 et plus) [17].

I.3.5 Le rectangle équivalent (Le)

Le rectangle équivalent : encore appelé rectangle de Gravelius, il correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les dimensions du rectangle équivalent sont la longueur et la largeur [14].

I.3.6 Valeur de Lemniscate (k)

La pente du bassin peut être exprimée à l'aide de la valeur de Lemniscate [39]. Les bassins ont généralement une forme ovoïde qui ressemble « vaguement à une poire » [18]. Partant de cette observation, R.J. Chorley et al. (1972) comparent le périmètre du bassin étudié à celui de la lemniscate dont la forme a été définie par Bernoulli. La lemniscate ratio compare la surface du bassin à la lemniscate de même longueur l et de même facteur de correction k_e (Fig. I.1). Ils considèrent alors que la surface limitée par la lemniscate correspond à la « forme idéale du bassin » [19].

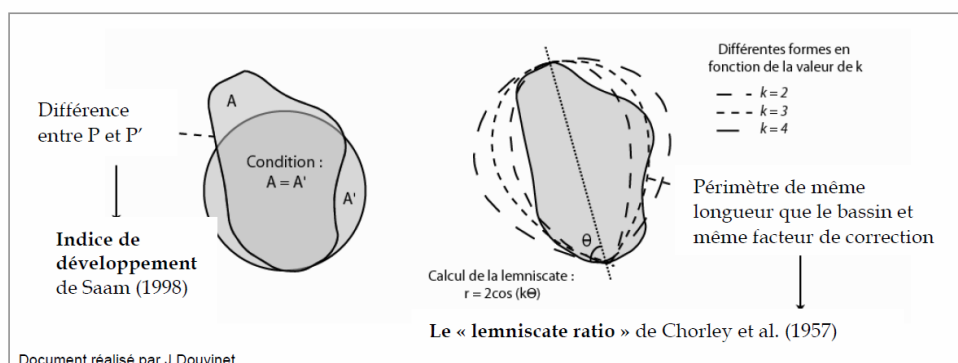


Figure I. 1: Indices de développement de Saam (1998) et le « lemniscate ratio » de Chorley et al. (1957)

I.4 Paramètres de relief

I.4.1 Rapport du relief (Rhl)

Le relief ratio mesure la pente globale d'un bassin de drainage. C'est un indicateur de l'intensité du processus d'érosion se produisant dans un bassin versant [34]. L'un représente l'horizontale et l'autre passe par le point le plus élevé du bassin. Le relief ratio mesure la pente globale d'un bassin de drainage. C'est un indicateur de l'intensité du processus d'érosion se produisant dans un bassin versant. Il indique l'intensité du processus d'érosion qui s'opère sur la pente de ce bassin particulier [34]. Le relief ratio est classé en 6 classes de pente: pente nulle (0 à 0,01), faible (0,01 à 0,09), moyenne (0,09 à 0,25), assez forte (0,25 à 0,49), forte (0,49 à 1), très forte (plus de 1) [13].

I.4.2 Indice de robustesse (Rn)

Le nombre de robustesse (Rn) est le produit de la densité de drainage (Dd) et celui du relief du bassin (Rh) [20][16]. dans la même unité. Dans certains cas, les deux variables sont significatives, et la pente est aussi bien raide que longue, cet indice de robustesse temporelle se produit dans des valeurs énormément élevées [17].

I.4.3 Altitude moyenne (Hmoy)

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques. Elle se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique [14].

I.4.4 L'altitude médiane (H mid)

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière [21].

I.4.5 Relief relatif (Rre)

L'indice Relief relatif est une variable morpho métrique importante utilisée pour l'estimation des caractéristiques morphologiques générales du terrain [40]. Les sous bassins versants ayant un relief relatif plus élevé ont un potentiel de ruissellement plus élevé que les autres sous bassins [17].

I.4.6 Dénivelée globale (DG)

Exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles. Ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique [14].

I.5 Paramètres linéaires

I.5.1 Ordre de cours d'eau (U)

L'ordonnancement des cours d'eau est la première étape de l'analyse quantitative des bassins versants. Elle exprime la relation hiérarchique entre les segments de cours d'eau, leur connectivité et le débit provenant des bassins versants qui y contribuent. Par la suite, ce concept a été adapté par STRAHLER. Selon STRAHLER [20] les cours d'eau de premier ordre sont ceux qui n'ont pas d'affluents. Les cours d'eau de second ordre sont les affluents des canaux de premier ordre uniquement. Les canaux de second ordre se joignent aux segments des cours d'eau de troisième ordre. De même, deux canaux de troisième ordre déversent de l'eau dans des canaux de quatrième ordre, etc. [17].

I.5.2 Numéro des cours d'eau (Nu)

Le nombre de segments de flux dans chaque commande est appelé numéro de flux. [22] indique que le nombre de segments de flux de chaque ordre crée une séquence géométrique inverse avec numéro de commande. La plus grande quantité de flux de premier ordre indique l'intensité de la perméabilité et infiltration [13].

I.5.3 Longueur du cours d'eau (Lu)

La longueur du cours d'eau révèle les caractéristiques de l'écoulement de surface du bassin. Le cours d'eau d'une longueur relativement plus faible est caractéristique des zones ayant des pentes plus importantes et une surface exquise. En général, "la longueur totale des segments de cours d'eau est maximale dans les cours d'eau de premier ordre" et diminue avec

l'augmentation de l'ordre des cours d'eau. La loi de Horton sur la longueur des cours d'eau suggère une relation géométrique entre le nombre de segments de cours d'eau dans les ordres successifs des cours d'eau et les formes de terrain [17].

La longueur totale des flux de 1er ordre est la plus élevée, c'est-à-dire est, respectivement. Généralement, plus l'ordre est élevé, plus la longueur du ruisseau est remarquable dans la nature. Une plus grande longueur de flux est avantageuse par rapport à la plus courte longueur, en ce que le premier recueille l'eau d'une zone plus large et une plus grande option pour la construction d'une digue le long de la longueur. Les longueurs de cours d'eau inférieures sont susceptibles d'avoir du ruissellement. De plus grandes longueurs de cours d'eau sont généralement indicatives d'un gradient plus plat [23].

I.5.4 La longueur du cours d'eau principal (Lup)

Est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface [4].

I.5.5 Longueur moyenne du cours d'eau (Lsm)

La longueur moyenne des cours d'eau est une propriété sans dimension qui montre la taille du réseau de drainage et les surfaces des bassins. La longueur moyenne d'un cours d'eau (Lsm) est le rapport entre la longueur totale du cours d'eau et le nombre de cours d'eau (par ordre). La longueur moyenne des cours d'eau augmente avec l'augmentation du nombre de cours d'eau [17].

I.5.6 Fréquence de flux (Fs)

La fréquence des cours d'eau est définie comme le nombre total des talwegs de tous les ordres par unité de surface [8]. Une faible valeur de ce paramètre (1 à 3,5) indique que les cours d'eau sont contrôlés par des fractures alors qu'une fréquence élevée (4 à 10), indique une pente plus élevée par rapport au ruissellement de surface [24].

L'expression du nombre total de segments de cours d'eau appartenant à tous les ordres par unité de surface est identifiée comme la fréquence de flux ou densité hydrographique. Généralement une faible fréquence de flux est liée à un matériau perméable. La faible variation de la fréquence du flux s'expliquerait par la dominance des alluvions, des sables graveleux et des grès du bassin sédimentaire du Continental Terminal [17].

I.5.7 Bifurcation Ratio (Rb)

Le rapport du nombre de segments de flux d'ordre donné 'Nu' au nombre de flux dans l'ordre supérieur suivant (Nu + 1) est terme comme rapport de bifurcation. Horton (1945) considère le rapport de bifurcation comme indice de relief et de dissections. Strahler (1957) a confirmé que le rapport de bifurcation affiche une petite plage de variation pour différentes régions ou différents environnements sauf là où domine le puissant contrôle géologique. Il a été identifié que le Rb n'est pas le même d'une commande à sa prochaine commande de flux et ces anomalies sont dépendantes sur l'évolution géologique et lithologique du bassin versant

Le rapport de bifurcation (R_b) est une propriété sans dimension et elle varie normalement de 3,0 à 5,0. Les valeurs inférieures de R_b sont des caractéristiques des bassins versants qui ont subi le moins de perturbations structurelles et leur schéma de drainage n'a pas été déformé car du contrôle géologique ou structural. Les valeurs plus élevées de R_b indiquent une forte contrôle structurel sur le schéma de drainage, tandis que valeurs inférieures indicatives du bassin versant qui ne sont pas affectées par des perturbations structurelles [13].

I.5.8 Longueur de l'écoulement terrestre (L_g)

HORTON (1945) identifie la longueur du cours d'eau sur la surface du sol avant de se concentrer dans un canal de ruisseau. Il s'agit d'une variable indépendante qui affecte le développement du bassin de drainage. Elle peut être assimilée à la moitié de la valeur réciproque de la densité de drainage [13].

I.5.9 Densité de Drainage (D_d)

Le rapport entre la "longueur totale des cours d'eau de tous ordres" et la "superficie" du bassin est défini comme la densité de drainage et est exprimé en km/km². La proximité dans l'espacement des canaux peut être identifiée par l'utilisation de la densité de drainage. Cela est utile pour les mesures quantitatives de la longueur moyenne d'un cours d'eau par rapport à l'ensemble du bassin. Des valeurs plus élevées indiquent une perméabilité plus faible, une végétation clairsemée et un relief accidenté, et des valeurs plus faibles indiquent une perméabilité plus élevée [13].

I.5.10 Densité hydrographique (F)

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface. En somme, les régions à haute densité de drainage et à haute densité hydrographique (deux facteurs allant souvent de pair) présentent en général une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux. L'opposé, c'est-à-dire faible densité de drainage et faible densité hydrographique, se rencontre en région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué [4].

I.5.11 Intensité du Drainage (D_i)

Faniran (1968) définit l'intensité du drainage comme le rapport de la fréquence du cours d'eau à la densité de drainage. Faible valeur de l'intensité de drainage qui impliquait le drainage et le cours d'eau fréquence ont un petit effet (le cas échéant) sur la mesure dans laquelle la surface a été abaissée par agents de dénudation. Avec ces faibles valeurs de densité de drainage, de fréquence des cours d'eau et l'intensité du drainage, le ruissellement de surface n'est pas facilement éliminé du bassin versant ou du sous bassin versant, ce qui le rend très sensible aux inondations, au ravinement et à l'incidence des glissements de terrain [13].

I.5.12 Texture du drainage (T_d) :

La texture du drainage (ou coefficient de torrentialité) détermine l'espacement relatif entre les biefs dans un terrain disséqué par l'érosion. Cela dépend de plusieurs facteurs naturels, tels que le climat, les précipitations, la couverture végétale, le type de sol, la capacité d'infiltration et le terrain. La texture de drainage du cours d'eau évalue l'adaptabilité d'un bassin de drainage

à l'écoulement de surface ou à l'infiltration. Il est donné selon l'ordre I de flux et se subdivise en cinq catégories de drainage différentes, à savoir drainage grossier (<4), intermédiaire (4 à 10), fin (10 à 15) et ultra fin (> 15) [16].

I.5.13 La Constante de maintenance des canaux (C)

SCHUMM (1956) a utilisé l'inverse de la densité de drainage comme une propriété appelé Maintien constant du canal [34]. Le Maintien constant du canal ou Coefficient de la stabilité du flux est le rapport entre la superficie d'un bassin de drainage et la longueur totale de tous les canaux transmis en km². Le Maintien constant du canal dépend du type de roche, de la durée de l'érosion, du relief, de la perméabilité, de la couverture végétale et des conditions climatiques. SCHUMM (1956) [34] a classé le Maintien constant du canal (km²/km) en cinq catégories différentes, à savoir plus érodables (<0,2), modérément érodables (0,2 à 0,3), modérément peu érodables (0,3 à 0,4), peu érodables (0,4 à 0,5), et moins érodables (>0,5) [17].

I.5.14 Le temps de concentration (Tc)

Est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe dans le point le plus éloigné du bassin versant, pour atteindre l'exutoire.[25] Le temps de concentration est affecté par le relief ratio, et le résultat de ce facteur est utile pour établir des stations d'alerte précoce et la classification des sous-bassins de décharge en fonction de leur degré de danger [26].

I.5.15 Pente moyenne (Imoy %)

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration tc, et influence directement le débit de pointe lors d'une averse. Elle gouverne la vitesse du ruissellement, qui à son tour détermine le pouvoir érosif et la capacité de transport de celui-ci (Young et al. 1996). Cette pente, qui dépend étroitement des conditions morpho-structurales dans le bassin hydrographique, détermine aussi le type dominant du style fluvial le long des lits fluviaux des cours d'eau actuels. Chaque style fluvial s'exprime, du point de vue morpho-sédimentaire, par des morphologies et des géométries bien définies des dépôts sédimentaires qui se mettent en place pendant les crues [14].

I.5.16 La sinuosité (Sin)

La sinuosité d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau s'évalue en rapportant la longueur réelle à la distance en ligne droite entre le point amont (A) et le point aval (B). La sinuosité traite du modèle de canal d'un bassin versant. La sinuosité a été définie comme le rapport de la longueur du canal à la distance en aval de la vallée. En général, sa valeur varie de 1 à 4 ou plus. La nature de la rivière comme si droite ayant SI < 1,05, petit SI sinueux = 1,05-1,3, SI sinueux modéré = 1,3-1,5 et SI sinueux > 1 [13].

I.5.17 Indice de pente global (Ig)

L'indice de pente global (Ig) est utilisé pour déterminer la dénivelée spécifique du bassin. Il permet de caractériser et de classer le relief du bassin versant. Dans une région de géomorphologie homogène, la pente diminue de l'amont vers l'aval, par conséquent, Ig décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente. Toutefois, la longueur du rectangle

équivalent étant généralement proche de celle du plus long cours d'eau, I_g reste voisin de la pente longitudinale [14].

Tableau I. 1: Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM

Type de relief	Indice de pente globale
Relief très faible	$I_g < 0.002 \text{ m/km}$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.010$
Relief modéré	$0.010 < I_g < 0.020$
Relief assez fort	$0.020 < I_g < 0.050$
Relief fort	$0.050 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5/\text{km} < I_g$

I.5.18 Dénivelée spécifique (DS)

La dénivelée spécifique (D_s) permet de se prononcer sur le relief suivant la classification de l'Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer (ORSTOM). Elle représente le produit de l'indice de pente global (I_g) par la racine carrée de la superficie du bassin (A). Elle s'exprime en mètres et est indépendante, en théorie, de l'aire du bassin. Plusieurs classes de relief en fonction de D_s sont distinguées [14]

Tableau I. 2: Classification du relief selon la méthode de l'ORSTOM

Classe	Type de relief	DS
R1	Relief très faible	$5 < D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$500 < D_s < 750 \text{ m}$

L'équation pour les variables dans les tableaux ci-dessous par chacun des HORTON [22]. MILLER [15]. SCHUMM [27]. et STRAHLER [20]. ROCHE [28]. Melton[29] et d'autres.

Tableau I. 3: Caractéristiques physiographiques

	Paramètres	Formules	Références
1.	La surface (A)		[30]
2.	Le périmètre (P)		[30]
3.	La longueur (Lb)		[30]
4.	La largeur (B)	$B = A / L$	[31]
5.	Relief du bassin (Rh)	$Rh = H - h$	[32]

Tableau I. 4: Paramètres de forme

	Paramètres	Formules	Références
1.	Rapport d'allongement (Re)	$Re = 2/Lb \cdot (A/\pi)^{0.5}$	[30]
2.	Indice de forme de Horton, KH	$KH = A / L^2$	[33]
3.	Rapport de circularité (Rc)	$Rc = 4\pi A / P^2$	[20]
4.	Rapport de compacité (Kc)	$Kc = 0,2821P/A^{0,5}$	[32]
5.	Le rectangle équivalent (Le)	$Leq = \frac{1}{2} \cdot KG \cdot \sqrt{\pi \cdot A} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi \cdot KG}}\right)^2}\right)$	[34]
6.	Le rectangle équivalent (Le)	$leq = \frac{1}{2} \cdot KG \cdot \sqrt{\pi \cdot A} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi \cdot KG}}\right)^2}\right)$	
7.	Valeur de Lemniscate (K)	$K = Lb^2 \cdot \pi / 4 \cdot A$	[35]

Tableau I. 5: Paramètres de relief

N	Paramètres	Formules	Références
1.	Rapport de relief (Rhl)	$Rhl = Rh / Lb$	[34]
2.	Indice de robustesse (Rn)	$Rn = Rre \times Dd$	[34]
3.	Altitude moyenne (Hmoy)	$H = \frac{\sum_{i=1}^k (H_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^k A_i} = \frac{V}{A}$	
4.	L'altitude médiane (Hmid)	$H_{mid} = H50\%$	
5.	Relief relatif (Rre)	$Rre = H \times 100/P$	[34]
6.	dénivelée globale (DG)	$DG = H5\% - H95\%$	[35]

Tableau I. 6: Paramètres linéaire

N	Paramètres	Formules	Références
1.	Ordre de cours d'eau (U)	Logiciel SIG /hierarchical ranck	[36]
2.	Numéro des cours d'eau (Nu)	$Nu = N1 + N2 + \dots + N$	[33]
3.	Longueur du coure d'eau (Lu)	Logiciel SIG	[36]
4.	Longueur principal du coure d'eau (Lup)	Logiciel SIG	[36]
5.	Longueur moyenne des cours (Lsm)	$Lsm = L u / N u$	[36]
6.	Fréquence de flux (Fs)	$Fs = Nu / A$	[33]
7.	Bifurcation ratio (Rb)	$Rb = Nu / Nu + 1$	[30]
8.	longueur de l'écoulement terrestre (Lg)	$Lg=1/d*2$	[37]
9.	Densité de drainage (Dd)	$Dd = L u / A$	[33]
10.	Intensité de drainage (Di)	$Di = Fs/Dd$	[37]
11.	Texture de drainage (Tj)	$Tj=Nu / p$	[38]
12.	Constant Channel Maintenance (C)	$C = 1/Dd$	[30]
13.	Tempe de concentration Moyenne (Tc)	$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}}$	
14.	Pente moyenne (Imoy %)	$Imoy=Rb/ Leq$	
15.	Indice de Sinuosité (Sin)	$Sin=Lup / Lbp$	
16.	Densité hydrographique (F)	$F = Ni^{0.5}/A$	
17.	Indice de pente global (Ig)	$Ig=DG/Leq$	[35]
18.	Dénivelée spécifique (DS)	$DS = Ig* \sqrt{A}$	[29]

I.6 Courbe hypsométrique (Hi)

Courbe hypsométrique : elle représente la distribution spatiale des classes d'altitude dans le bassin-versant. Plusieurs paramètres peuvent être déduit de cette courbe : altitude moyenne, altitude la plus fréquente, altitude de fréquence 50 %, etc. [19]

La courbe hypsométrique a une forme fixe et nous permet d'effectuer plus facilement certains calculs, tels que la détermination de la hauteur moyenne

La courbe hypsométrique peut être calculée et dessinée directement depuis le programme Arc GIS ou à l'aide du programme Excel après en avoir déduit quelques calculs comme les hauteurs

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

II.1 Introduction :

Dans ce qui suit nous tentons de présenter la région d'étude, sa situation géographique, nous donnerons un aperçu géologique et lithologique et une synthèse climatique du bassin versant étudié.

II.2 Présentation générale de la région d'étude

Le bassin versant de Oued M'Zab est situé dans la wilaya de Ghardaïa Avec une superficie estimée 1684.64 km² de la superficie totale de wilaya, qui est estimée à 19 729 km² au milieu de la partie nord du Sahara algérien. A environ 600 Km au sud de la capitale du pays, Alger.

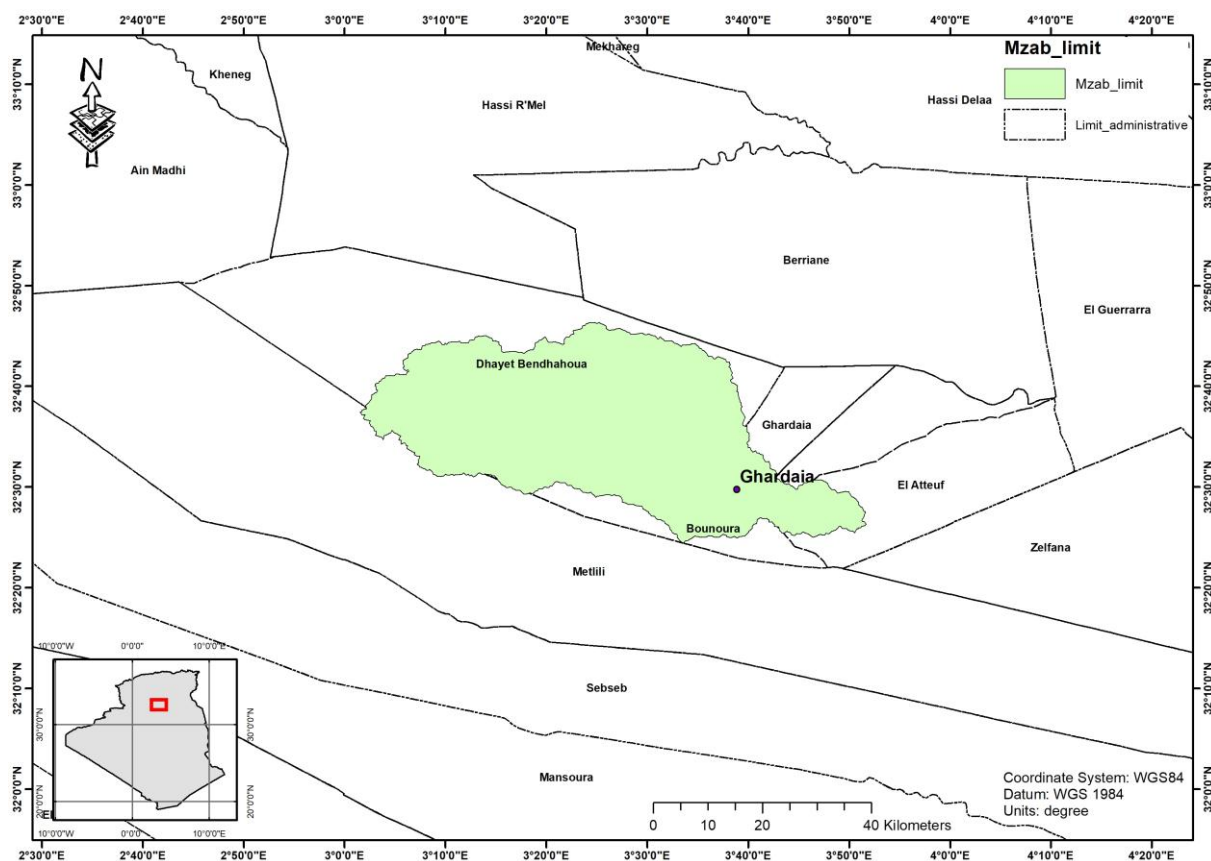


Figure II. 1: Situation géographique du bassin versant de Oued M'zab.

La carte nous montre les détails de la vallée du M'zab, ses détails de la vallée, les villes qui la contiennent et les barrages qui s'y trouvent avec sa situation géographique dans la wilaya et l'Algérie.

L'oued M'Zab est limité par deux grands oueds: Oued N'Sa au Nord et Oued Metlili au Sud. la superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km² [39]. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. L'oued M'Zab coule sensiblement d'Ouest en Est sur 320 km de la région de Botma-Rouila, à 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom d'Oued El-Abiod), à

la Sebkhet Safioune qui est à la cote 107 m avec une pente assez forte entre Ghardaïa et Bounoura. Les principaux affluents du M'Zab sont : En amont de Ghardaïa sur la rive gauche, Oued El-Haimeur (dans la Daïa Ben Dahoua), sur la rive droite: Oued Touzouz qui rejoint le M'Zab immédiatement en amont de la palmeraie de Ghardaïa ; En aval de Ghardaïa, nous rencontrons au Sud de Béni-Isguen, l'Oued N'Tissa qui traverse la palmeraie de cette dernière. A quelques centaines de mètres en aval de Béni-Isguen, nous rencontrons l'Oued Azouil dont le lit est occupé par les Jardins de Bounoura. Tout à fait en aval de la pentapole mozabite nous rencontrons sur la rive droite du oued Noumérate, sur celle de la gauche légèrement en amont de Zelfana, l'Oued Nessaimou [40].

Les ressources en eaux de surface proviennent généralement des crues importantes de l'Oued M'Zab inondant la région de Ghardaïa. Ces crues sont générées par les averses sur la région de Laghouat – Ghardaïa.

L'alimentation du réseau hydrographique du bassin versant de M'Zab se fait à partir du piedmont de l'Atlas Saharien à plus de 750m d'altitude et déverse à son exutoire après 320 km à Sebkha Safioune au nord de la ville de Ouargla à une altitude de 107mètres [41].

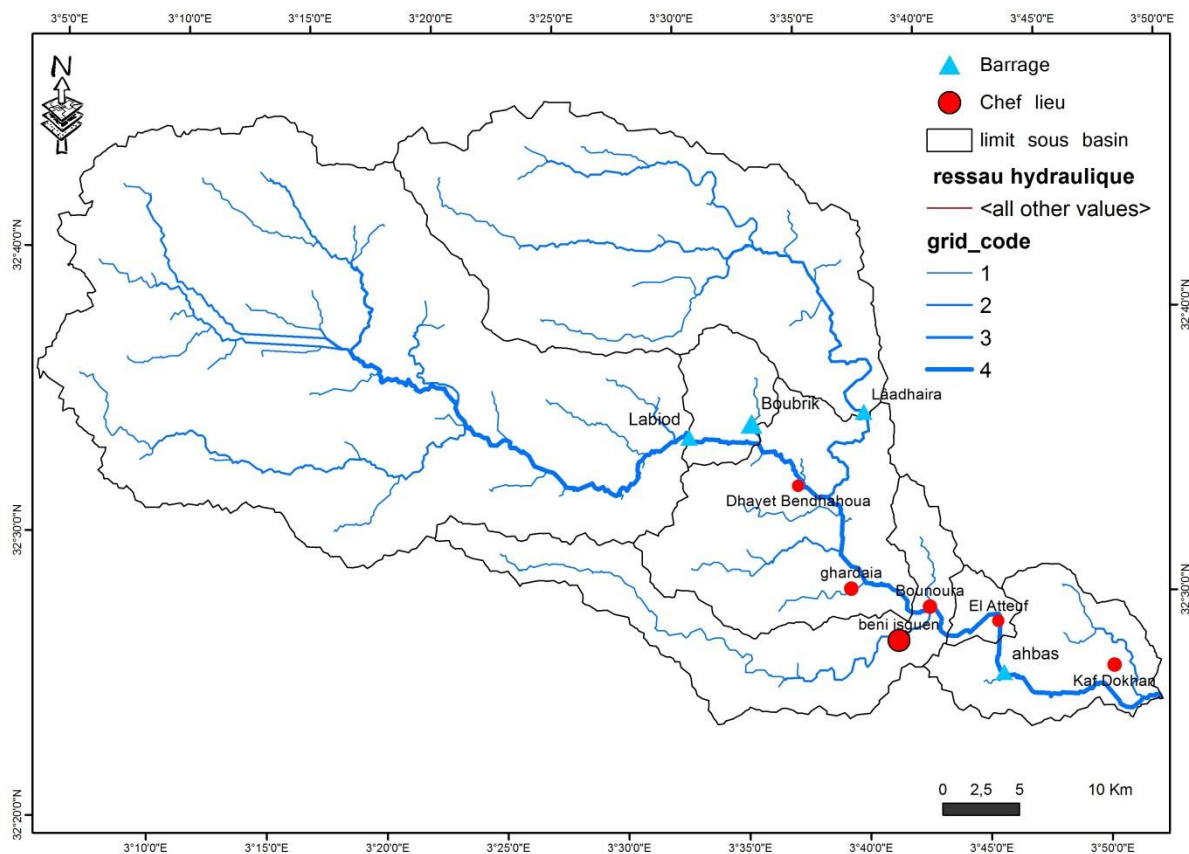


Figure II. 2: Carte du réseau hydrographique de l'Oued M'Zab

II.3 Le type de relief.

Le plateau du M'Zab est caractérisé par un relief monoclinal orienté NNE et plongeant légèrement vers ESE. Ce plateau est composé de deux terrasses carbonatées superposées couronnant deux séries d'escarpements marneux, ces deux terrasses montrent : une falaise par endroit des hauteurs de 200 et 250m. inférieure et son plateau à l'est et une deuxième falaise supérieure et son plateau à l'ouest [42].

La dorsale du Mzab est composée d'un ensemble de plateaux rocheux quasi-horizontaux orientés N-S et plongeant légèrement vers l'Est. En résumé, on compte deux plateaux carbonatés couronnant deux séries d'escarpements marneux argileux gypseux versicolores (FIGURE 06). L'ensemble est d'âge Crétacé supérieur. La vallée du Mzab, tout comme les villes Berriane et Metili, se situe au sein du plateau inférieur [43].

Le bassin versant est situé dans une zone climatique désertique extrêmement sèche. Il y a 4 barrages qui contrôlent l'inondation de la zone du bassin versant, qui sont le barrage de Oued Labiud, le barrage de Oued Boubrik et le barrage de Oued Himor (Ladera). Avec un auteur régulateur de crue et même tempe chargement des nappes de la zone al Atteuf Selon Scarwell et Laganier (2004). L'oued du M'Zab se draine à un point éloigné de l'État appelé Sabkhat Safwan.

Le risque d'inondation peut être défini comme « un élément d'une infrastructure régionale dans la mesure où il influence le développement et l'organisation des territoires en tant que facteur limitant par les impacts passés, actuels ou potentiels des manifestations hydrologiques mais également en tant que porteur de développement en raison des effets Bénéfiques que constituent les zones inondables.

Enfin, au-delà de sa matérialité, L'inondation est également un élément du vécu quotidien qui peut être appréhendé comme un Objet perçu, interprété, médiatisé».

La vallée du M'Zab est considérée comme une zone inondable, sa ville a été construite au milieu d'un cours d'eau et de 1848 à 2008 elle a subi plusieurs inondations dévastatrices. Elle occasionna de nombreuses pertes humaines et matérielles qui laissèrent des traces dans l'âme des habitants de la commune, et ses effets sont encore présents à ce jour. Le cours d'eau est toujours en construction et en préparation pour contrôler ces inondations et réduire ses effets destructeurs, et plusieurs barrages ont été achevés pour cela.

Ces crues ont la caractéristique d'être soudaines. De fortes précipitations pendant trois jours ou plus peuvent produire une crue massive. Nous notons d'après le tableau historique des crues de la vallée du M'zab que la plupart des crues tombent au mois d'octobre ou de septembre à la fin de la saison estivale et le début de la saison automnale.

Les habitants de la vallée du M'zab se sont adaptés depuis l'Antiquité aux inondations, ils ont construit des barrages pour retenir les eaux de crue et les ont exploités pour irriguer les forêts et les aménager, et construire des puits pour remplir les nappes phréatiques et drainer le reste et la surplus dans le ruisseau de la vallée pour se diriger vers une zone reculée située dans la Wilayat de Ouargla pour se déverser dans une zone appelée Sebkhath Safwan

Cependant, faire face aux grandes crues reste difficile et est quasiment impossible à réaliser si ce n'est par la réalisation de grands barrages et d'ouvrages à grande capacité d'absorption. Sensibiliser les gens à ne pas construire de bâtiments au milieu du cours d'eau en raison de la gravité de la situation. Et une organisation systématique intégrée par les habitants de la ville

Tableau II. 1: Historiques des inondations de la vallée du M'Zab de : 1848 à 2008

Date	les pertes	degré de dangerosité	réf
1848	300 maisons démolies	Fort	[44]
30/09/1901	Pertes de récoltes agricoles	très fort	[45]
17.18/09/1903	Pertes partielles des oasis d'Atteuf et Beni Isqen	Fort	[44]
18.19/02/1906	Pertes partielles des oasis d'Atteuf et Beni Isqen	fort	[44]
04/1909	Des pertes inimaginables	faible	[44]
08/02/1914	Des pertes inimaginables	faible	[44]
20/07/1915	Des pertes inimaginables	faible	[44]
1920	Des pertes inimaginables	faible	[44]
23/05/1923	Inondations dans les oasis de la vallée du M'Zab	fort	[44]
03/11/1933	Tous les barrages sont pleins	très fort	[44]
02/1939	Tous les barrages sont pleins	très fort	[44]
05/03/1946			[45]
24/04/1950	Pertes très importantes dans les bâtiments avec la présence de Des personnes se sont noyées et environ 1 200 têtes de bétail ont péri	très fort (de 500 à 1000 m ³ /s)	[44]
24/04/1951	Pertes très importantes	très fort	[45]
23/09/1952	Pertes très importantes	fort	[46]
17/11/1980	Le barrage en amont de la palmeraie de Ghardaïa a été comblé.	4 j de pluie98.8mm	[45]
02/06/1991	avec des pertes matérielles et humaines (+100 personnes) un violent orage ayant détruit partiellement la digue d'Al Atteuf	très fort Crue avec 1120m ³ /s	[45]
29.30/09/1994	Des pertes très importantes	très fort (de 151 à 873 m ³ /s)	[45]
10/1995	D'importants dégâts	fort	[46]
10/1997	Pertes importantes	faible	[46]
15/06/2004	Pertes très importantes	Violente crue en 15 mn	[45]
01/10/2008	-43 morts.-04 disparus.-3 000 maisons effondrées-09Municipalités sinistrées.	très fort débit estimé à 1250 m ³ selon d'autres sources (3200 m ³ /s	[45]



Figure II. 3: L'oued M'Zab en crue (Octobre 2008)

II.4 Occupation des sols

Le sable ne domine pas dans le Sahara, les sols désertiques sont surtout pierreux. Les sols Argileux couvrent une grande partie des déserts. La surface d'un sol argileux se dessèche très Rapidement après une pluie. Cependant la dessiccation pénétrant de plus en plus profondément, l'évaporation devient de plus en plus profonde et la zone d'évaporation de plus En plus basse.

La majeure partie de la vallée du M'zab est constituée de terres et de montagnes vides, et une petite partie se compose de villes de gouttières, de forêts et de petites oasis entrecoupées de voies navigables de la vallée.

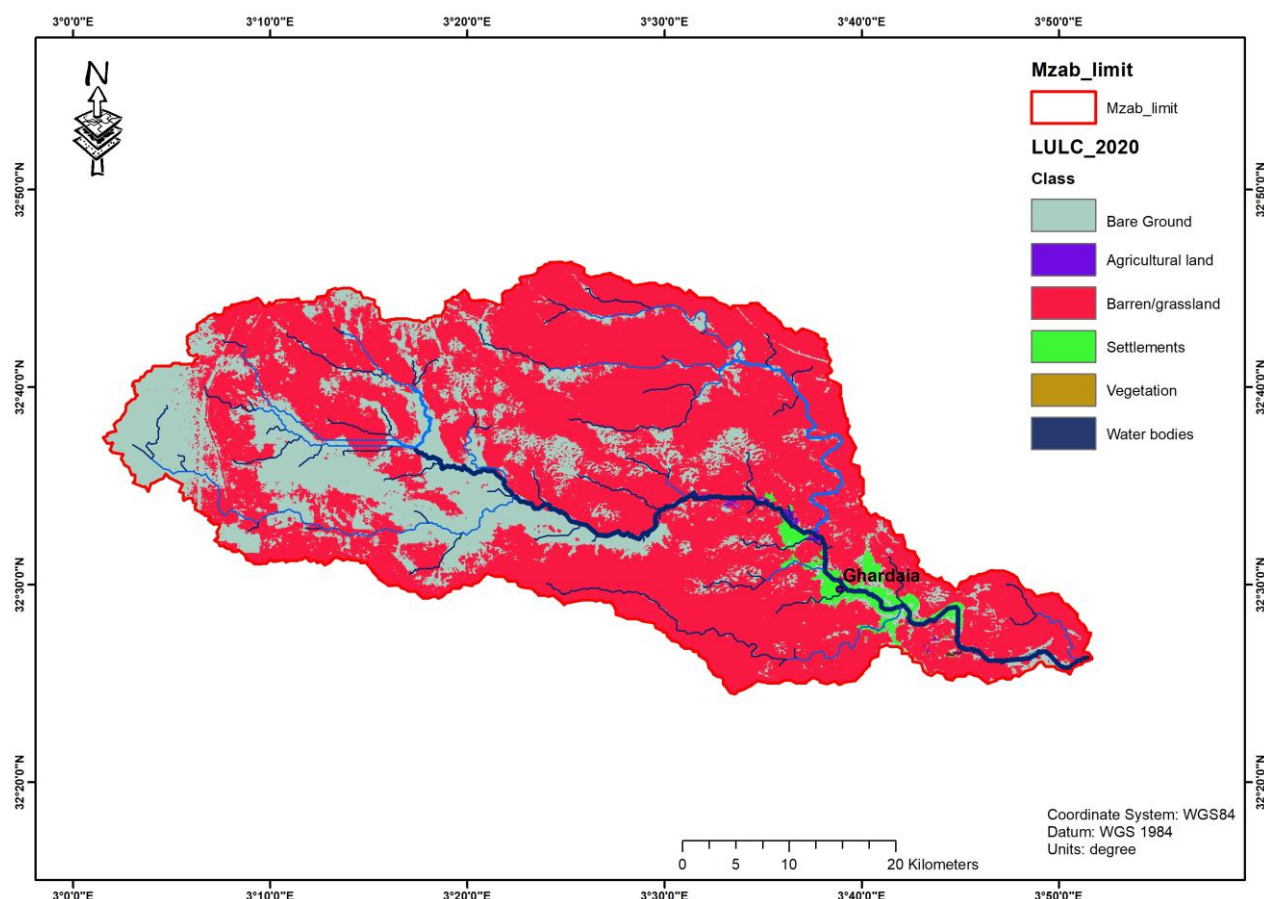


Figure II. 4: Carte d'occupation des sols du bassin versant d'Oued M' Zab

II.5 Aperçu géologique et lithologique du bassin versant

La zone d'étude est répartie sur deux domaines géologiquement et géomorphologiquement différents, l'Atlas saharien au nord et la Dorsale du Mzab au sud. L'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs à structures plissées orientée NE-SO, s'étendant depuis l'ouest de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne. Il résulte de la tectonique compressive de l'orogénèse alpine qui a soulevé une puissante série sédimentaire d'âge secondaire donnant naissance ainsi aux synclinaux perchés et anticlinaux caractéristiques du domaine atlasique. L'Accident sud-atlasique est une suite de failles en échelon subverticales qui marquent la limite entre l'Atlas saharien au nord et la plateforme saharienne au sud.

La dorsale du Mzab fait partie du domaine de la plateforme Saharienne qui constitue l'ensemble du domaine situé au sud de l'Algérie. Cette dernière comprend un socle précambrien et une puissante couverture phanérozoïque. Le domaine situé juste au sud de l'Accident sud-atlasique a subi une subsidence lors de l'orogénèse alpine et de ce fait a reçu d'importants sédiments d'âge tertiaire (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur dépasse les 200m [40]

Dans la région du M'Zab le Quaternaire formé d'alluvions et de sables plus ou moins grossiers, argileux, remplissant les bas-fonds des vallées des oueds. De l'amont en aval, les

épaisseurs variant entre 20 à 30 mètres. Les alluvions quaternaires, jouent d'important rôle hydrogéologique en abritant les inféro-flux de la plus part des oueds de la Chebkat M'Zab [47].

II.5.1 Pliocène continental

Formé d'éléments rocheux de calcaires lacustres et poudingues au sein d'un ciment carbonaté, il compose la fameuse croute saharienne. Il entoure les formations marines carbonatées de la dorsale du M'Zab. L'épaisseur moyenne de la croute dans la région est de 5 mètres [47].

II.5.2 Mio-pliocène

Formé de dépôt de sables rouge plus moins consolidés. Grès dur à tendre rose, à lits argileux [47].

II.5.3 Sénonien supérieur

Il affleure seulement dans la partie orientale de la dorsale du M'Zab et coiffe l'ensemble des buttes témoins de celle-ci. Il est formé de calcaire marneux à argiles. Le Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur sont pratiquement in-distinguables dans la région de M'Zab, ils présentent une épaisseur de 36 mètres [47].

II.5.4 Sénonien inférieur

Affleure sur la versant oriental de la dorsale et correspond à des argiles marneuses jaunâtres et rouges, à intercalations de bancs importants de gypses et d'anhydrites [47].

II.5.5 Turonien

Constitue le plateau rocheux de la dorsale du M'zab parsemé par de nombreux oueds. Il est composé d'assises calcaires et calcaires dolomitiques massifs à patine ocre, souvent fossilifères ; avec de nombreux nodules de silex [47].

II.5.6 Cénomanién

Cet étage présente un faciès argileux, formé essentiellement par des argiles vertes, grises et noirâtres, plus ou moins plastique à couches lenticulaires. Des minces intercalations de couches calcaires et des intercalations plus importantes de gypses massifs fibreux blancs et de l'anhydrite. Des argiles bariolées (marron, verte et rouge) prédominent dans la partie basale du Cénomanién, elles sont attribuées par certains géologues (M. J. Savornin) au sous- étage Vraconien[47].

II.5.7 Albien

Recoupé par les sondages, il représente une grande importance hydraulique pour la région. Il est composé de sables fins à moyens jaunâtres parfois rougeâtres à rose. Des intercalations d'argiles verdâtres à vertes sont fréquentés [47].

La société chinoise Shaolin a creusé un puits pour atteindre l'eau de l'Abyan dans le site d'Ain Lobo dans l'Etat de Ghardaïa en extrayant différents échantillons géologiques à une profondeur de chaque mètre.[48]

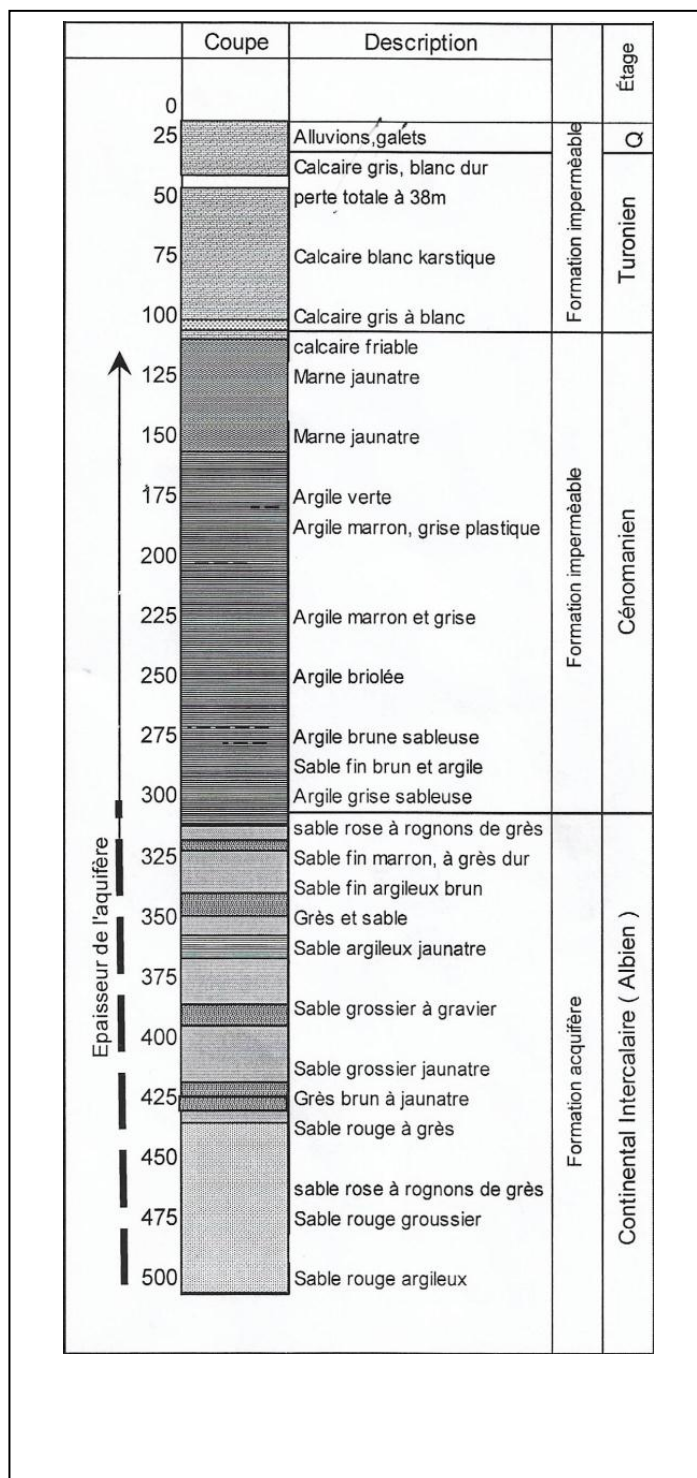


Figure II. 5: Coupe hydrogéologique Synthétique de la région

II.6 Synthèse climatique

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère : l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe à l'exception de cas particuliers. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols. [2].

L'intérêt de l'étude des conditions hydro climatiques réside principalement, à l'estimation du bilan hydrique d'un système hydraulique, où la pluviométrie demeure le paramètre le plus important, car elle conditionne l'écoulement superficiel des cours d'eau, l'infiltration dans le sous-sol et par-delà l'alimentation des nappes d'eau souterraines [47].

II.6.1 Climat de la région

La région de Ghardaïa est caractérisée par un climat aride saharien, mais la présence d'une végétation abondante peut modifier localement les conditions climatiques.

II.6.2 Climagramme d'Emberger :

Le climagramme d'Emberger permet la classification des différents types de climats Méditerranéens (Dajoz, 1971). Le quotient pluviothermique d'Emberger permet de distinguer les différentes nuances du climat méditerranéen et caractériser l'étage bioclimatique d'une région donnée [49].

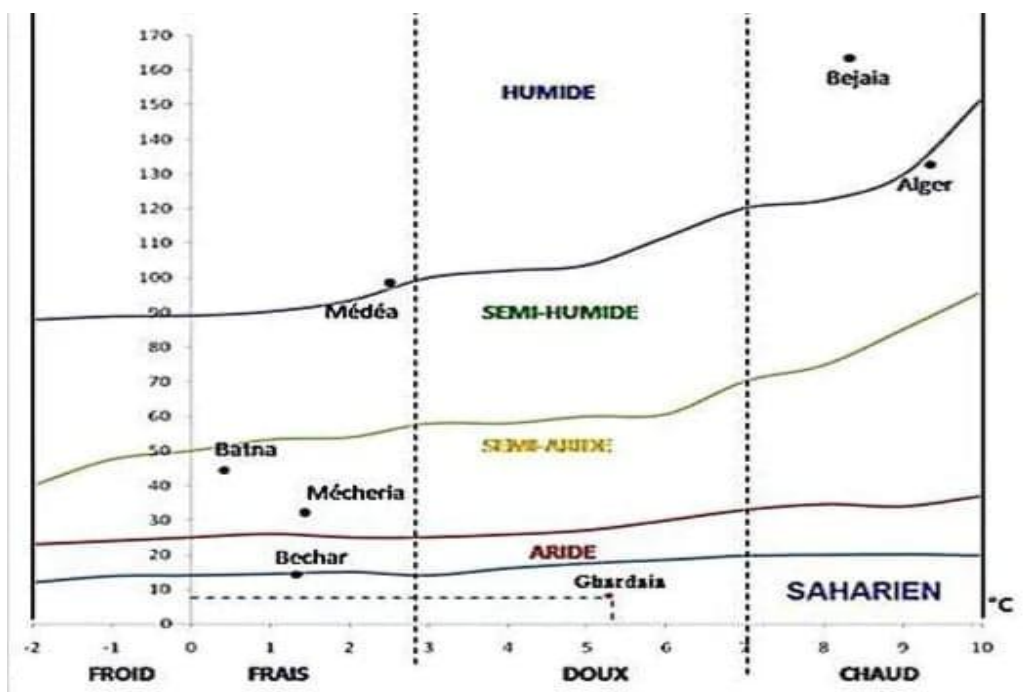


Figure II. 6: Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'Emberger

Le climat de la vallée du Mzab est typiquement le climat de toutes les régions du Sahara. Froid et sec en hiver, chaud et sec en été. Les pluies sont très rares pendant l'année entière, et souvent pendant plusieurs années, les périodes de sécheresse durent des fois 7 ans. Les vents d'hiver du Nord-Ouest sont froids et relativement humides, les vents d'Eté du Nord-Est sont forts et chaud. [50].

II.7 Caractéristiques climatiques

II.7.1 Pluviométrie :

La station météorologique la plus proche de la vallée du M'Zab c'est celle de l'O.N.M (Office National de Météorologie) à Ghardaïa. Elle est repérée par les coordonnées géographiques suivantes : Latitude : Nord : 32.40°/ Longitude : Est : 3.81°/ Altitude : Z = 450 m [51].

Tableau II. 2: Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (1998- 2018).

mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
p (mm)	9,6	6,1	7,3	8,6	2,7	2,5	2,1	5,7	7,4	16,6	5,5	6

Les précipitations sont en générale faibles et caractérisant les climats arides. Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de Septembre (16,6 mm) et Janvier (9.6 mm), et la valeur le plus moins a été enregistrées au mois de juillet (2.1mm). Ce qui explique la sécheresse de la région étudiée

Les précipitations sont très faibles et irrégulières à Ghardaïa, elles varient entre 13 et 68mm sur une durée moyenne de quinze (15) jours par an.

Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf cas exceptionnel

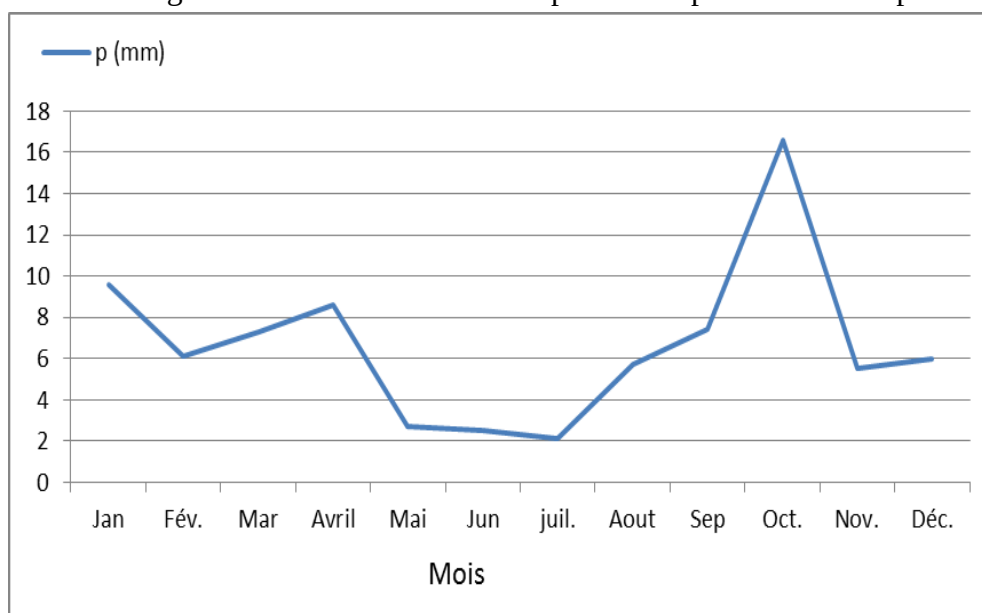


Figure II. 7: Précipitation mensuelle (station de Ghardaia)

II.7.2 Les températures

La température représente un facteur de toute première importance du fait qu'elle peut contrôler l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère[49]. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre.

La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 35°C, le maximum absolu de cette période a atteint 41 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 12°C, le minimum absolu de cette période a atteint 2.5°C

En hiver les températures d'air minimales sont enregistrées en Décembre avec 12° C et en Janvier avec 11.01° C, elles peuvent aussi chuter jusqu'à 0°C.

En Été la température moyenne est de 36° C peut être atteinte en Juillet. En valeur absolue, à l'Été nous pouvons enregistrer des températures d'air moyennes maximales de 40°C et 42°C, avec des pics occasionnels de 46°C.

Tableau II. 3: Température mensuelle l'année 2018 [30] [35].

mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan
Température maximale	11,2	19,9	24,28	26,5	30,3	40,3	41,4	40,78	36	31,36	24,02	18,78	31,18
Température minimale	2,34	7.64	12,67	14,42	20,14	25,04	28,18	27,16	24,3	17,58	11,1	7,5	16,75
Température moyenne	6,77	13,7	18,41	20,47	25,15	32,75	36,61	33,91	30,1	24,47	14,56	13,14	22,5

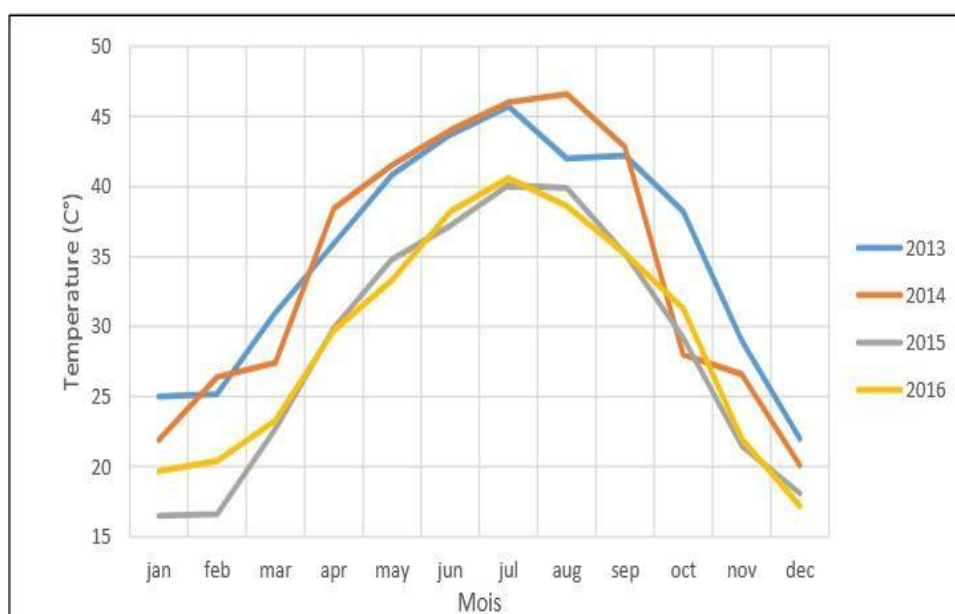


Figure II. 8: température de l'air mensuelle de 2013 à 2016

II.7.3 Les vents

Le vent est un des facteurs caractéristiques du climat. Il se caractérise par sa vitesse et sa direction. La région de Ghardaïa est régie d'une part, par les circulations des masses d'air propres à la méditerranée occidentale amenant l'humidité de l'Atlantique nord, et D'autre part, à l'ouverture des vents sahariens chauds (Sirocco).

C'est la représentation de la vitesse moyenne du vent Mensuel observé au niveau de la station de Ghardaïa, montrent une répartition assez régulière comprise entre 25 et 27 m/s sur toute l'année, ce qui les classe dans la catégorie des vents modérés. Les vitesses les plus élevées s'observent en printemps avec des pics en mois. En période sèche le sirocco prédomine, il s'agit d'un vent sec et chaud qui souffle du continent vers la méditerranée desséchant ainsi l'atmosphère.

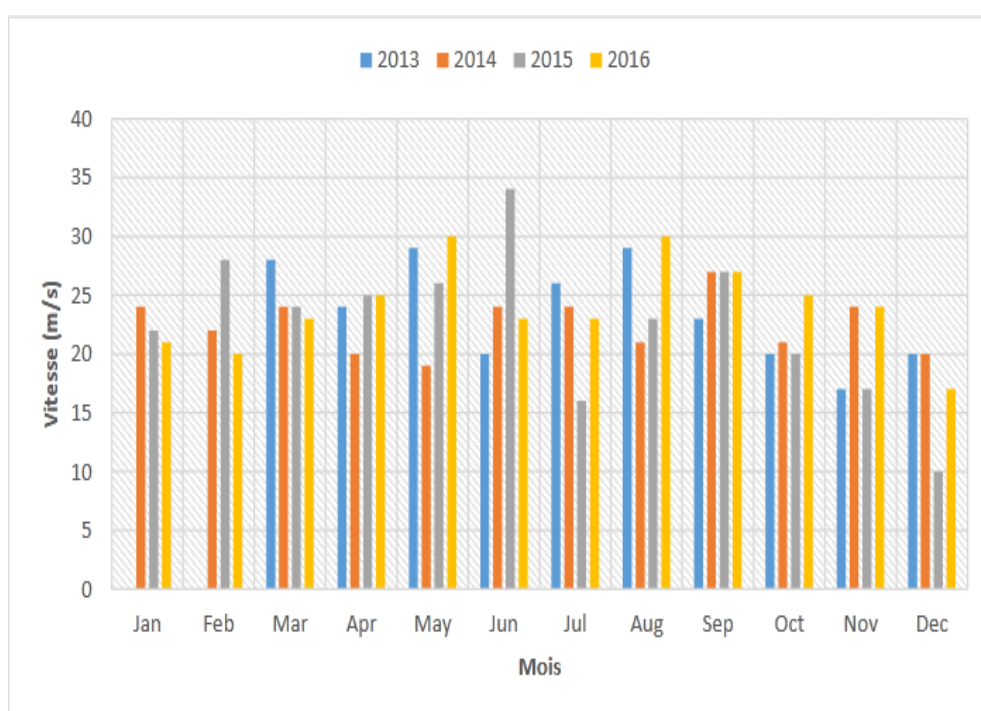


Figure II. 9: Vitesse des vents mensuelle de 2013 à 2016 (O.N.M, 2018)

L'humidité est définie comme étant le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et la pression de saturation à la même température. Elle est exprimée en pourcentage. [49] [52].

II.7.4 Humidité :

L'humidité moyenne de la région est minimum pendant le mois de Mai avec une valeur de l'ordre de **21.5%** et maximum pendant le mois d'Aout avec une valeur de **58.1%**. D'après le (Tableau II. 4) et la (Fig. II. 10), on constate que l'humidité relative est très faible avec une moyenne annuelle de 35.38%. Pour le mois d'Aout et Septembre, elle dépasse 50% [53].

Tableau II. 5: Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité	28,6	25,4	21,5	21,1	36,6	43,6	50,2	58,1	53,3	45,1	38,3	34,2

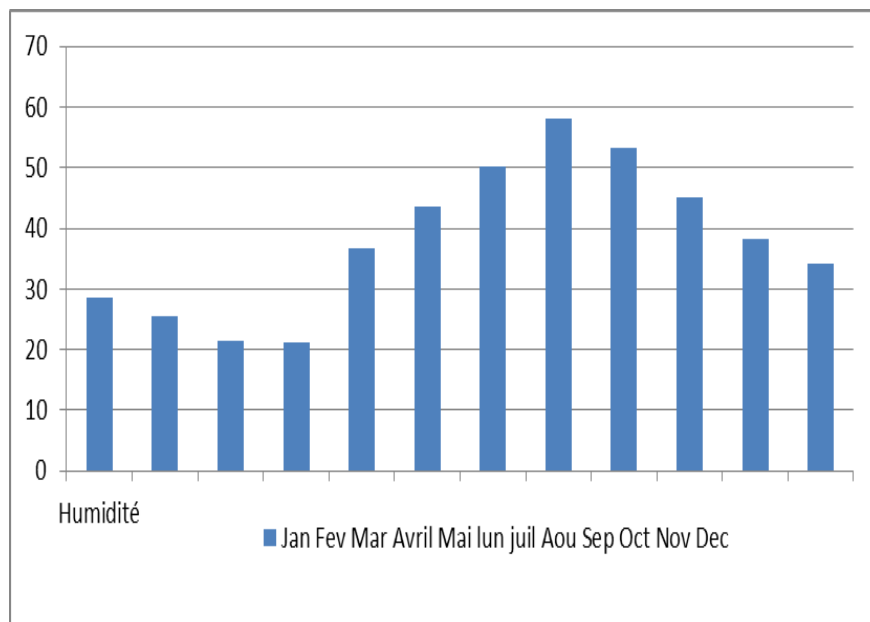


Figure II. 11: L'Humidité moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (1998/2008)[36] [35]

II.7.5 L'évaporation mesurée :

L'évaporation est la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère et dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement [54].

L'évaporation mesurée sous l'abri par l'évaporomètre de Piché est de l'ordre de 3110 mm/an à savoir 35 fois plus grande que la pluviométrie. Avec un maximum au mois de Juillet de l'ordre de 418 mm et un minimum de 105 mm obtenue au mois de Janvier. Ces valeurs élevées sont reliées à la forte température et aux vents violents.

Tableau II. 6: l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018) [30] [35].

mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Eva (mm)	105	128	183	263	313	370	418	376	281	188	127	130

Les données de l'évaporation et l'insolation de la période 2014 sont mentionnées sur le tableau suivant :

Tableau II. 7: Evaporation moyenne mensuelle (mm) [38] [35].

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Evap (mm)	80	112	172	232	308	323	417	361	296	232	131	87

II.7.6 L'insolation :

Le tableau ci-dessous montre les données de l'insolation.

Tableau II. 8: durée mensuelle de l'insolation totale (heures/mois) station ONM Ghardaïa (Période 1998/2018)

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Jun	juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
insole (h/m)	262	256	293	310	338	355	361	342	282	281	262	253

En Eté : les valeurs moyennes maximales sont enregistrées au mois de Juillet, avec une valeur de 361 (H/mois). En hiver: les valeurs moyennes minimales sont enregistrées pendant le mois de Décembre avec une valeur de 253(h/mois). La moyenne annuelle de l'insolation est 308 (h/mois).

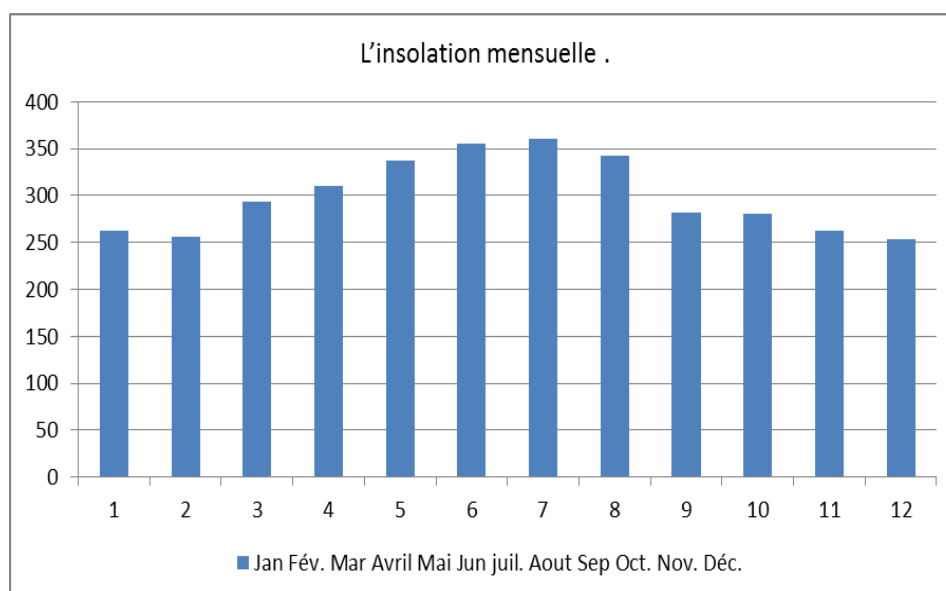


Figure II. 12: L'insolation mensuelle de la région de Ghardaïa.

Nous remarquons sur la courbe que les valeurs sont relativement élevées, et elles sont plus élevées aux mois de mai, juin et juillet, [53] [52].

**Chapitre III : Application de l'analyse
morpho métrique au bassin versant de Oued
M'Zab**

III.1 Introduction :

La gestion d'un bassin versant exige une bonne compréhension hydrologique, géologique, géomorphologique, écologique et climatique pour déterminer les facteurs qui agissent sur la naissance des risques naturels (le couvert végétal, la pente, l'occupation du sol et le réseau hydrographique). Ces indices sont nécessaires pour identifier les bassins versants similaires, la détermination de ces indices est basée essentiellement sur l'utilisation des techniques des (SIG) et les (MNT), pour une meilleure évaluation de la zone d'étude en termes de pente, système de drainage, topographie, géomorphologie et la lithologie à partir des cartes géologiques [4].

L'analyse morpho métrique est une démarche importante pour la hiérarchisation des bassins versants même sans tenir compte de la carte des sols [14].

Dans ce chapitre, nous avons calculé toutes les caractéristiques hydrologiques et morphologiques possibles de la vallée du M'Zab, ce qui nous permet d'avoir une vision précise du bassin versant et de son comportement hydrologique.

III.2 Méthodologie, Données et Matériels utilisés

Pour appliquer l'analyse des paramètres morpho-métrique nous avons utilisé un MNT, l'intérêt d'un MNT est de limiter le bassin d'étude et l'extraction automatique des paramètres caractérisant le relief. En effet, l'utilisation de logiciel (Arc GIS) est très nécessaire pour développer cette démarche.

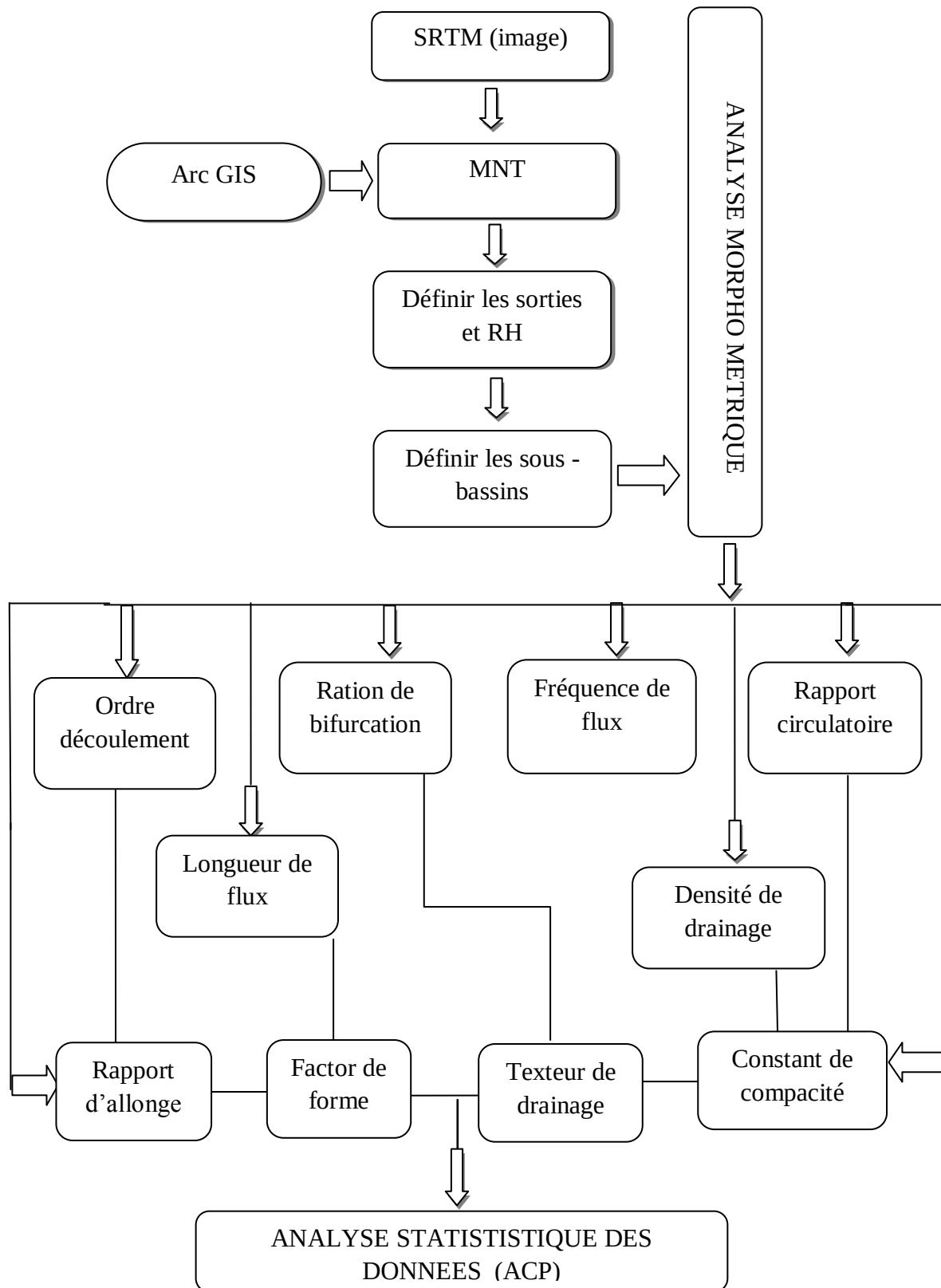


Figure III. 1: Organigramme de la méthodologie du travail

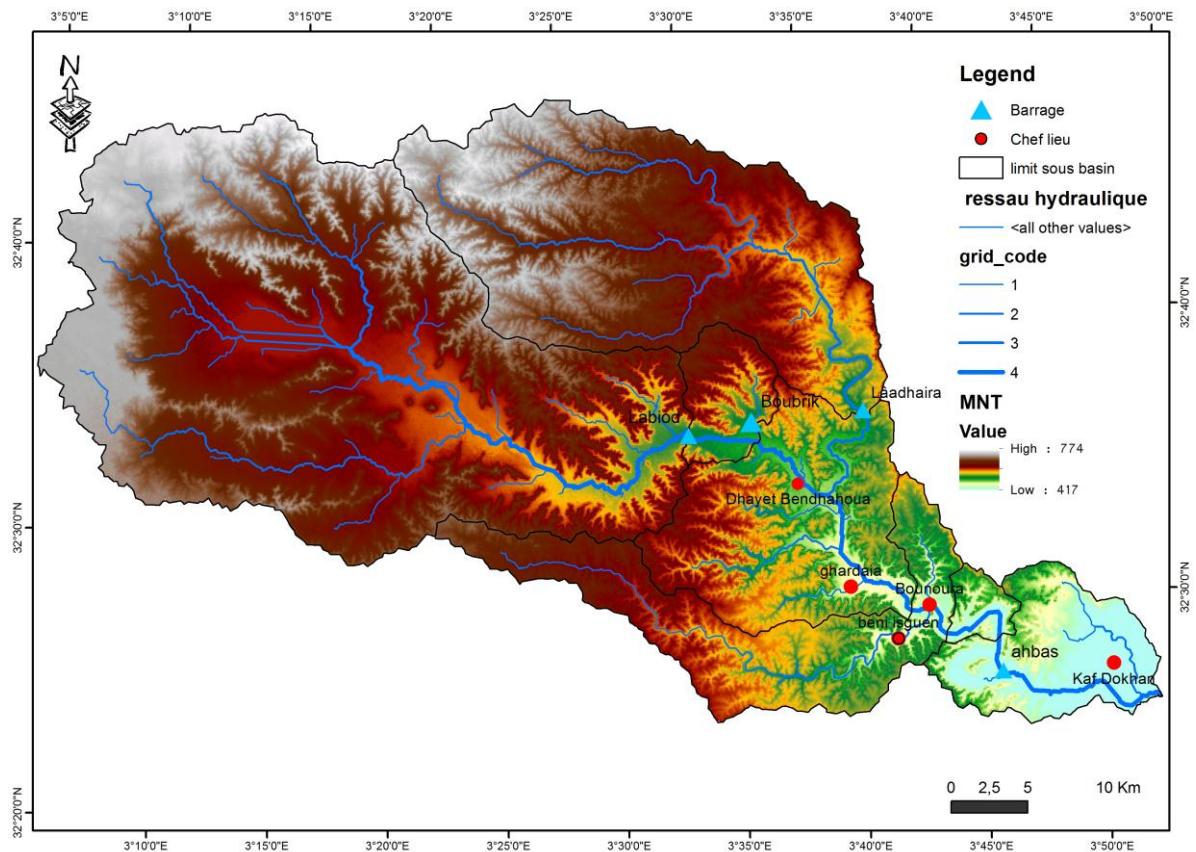


Figure III. 2: Carte des Altitude MNT de la vallée du M'Zab

III.3 Analyse la carte des Altitude

Nous notons sur la carte, que les grandes élévations sont situées au sommet de la vallée du M'Zab à la fois dans les sous bassins de Labiod et Lâadhaira, et diminuent progressivement vers Boubrik, puis Ghardaïa, Bounoura, puis l'élévation la plus basse au point aval. Cela permet à la pluie de descendre et de s'accumuler dans le courant principal de la vallée pour traverser les municipalités jusqu'au point le plus bas de Kaf Dukhan.

Nº ORDEN	Altitude minimal	Altitude maximal
1	425	465
2	466	506
3	506	547
4	547	587
5	588	628
6	628	669
7	669	709
8	709	750

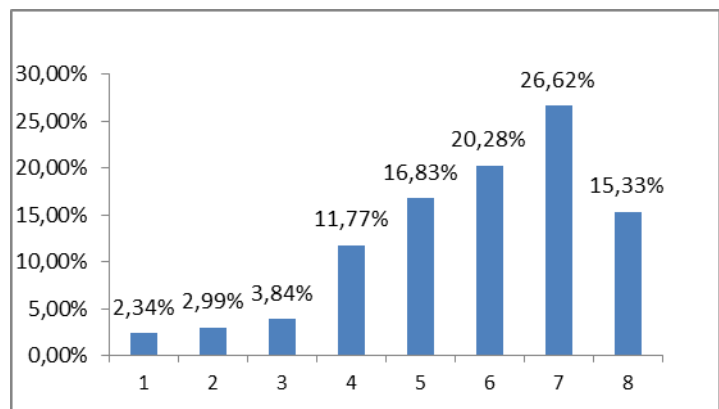


Figure III. 3 : rapport d'altitude

III.4 Analyse de la carte du réseau hydrographique

Nous notons sur la carte, que la forme des cours d'eau de la vallée du M'Zab, où elle était divisée en quatre sections selon la taille et la largeur du cours d'eau, où nous notons que les zones hautes du bassin de Lâadhaira et Labiod contiennent des petits cours d'eau d'ordre n°1, qui draine le réseau hydrographique d'ordre n°2, puis n°3 puis n°4, qui représente le cours principal de la vallée, et l'on constate qu'il parcourt toutes les communes jusqu'à atteindre le point aval. Ainsi, les communes sont situées dans une zone menacée par les inondations. Le tableau ci-dessous représente les valeurs du réseau hydrographique à l'aide des programmes Arc GIS.

III.5 Analyse cartographique des sous-bassins

Le bassin de la vallée du M'zab peut être divisé en plusieurs sous bassins jusqu'à ce qu'on le divise en sept sous bassins, selon les barrages importants du bassin et selon les communes existantes comme la montre la figure. Le plus grand bassin est celui du sous bassin de Labiod avec une superficie de 785,43km², Suivi d'un bassin Lâadhaira avec une superficie de 383,93 km², Puis suivi d'un bassin Ghardaia a superficiel de 189,56 km, Puis suivi d'un bassin Bounoura avec une superficie de 169,49km². Le bassin de Kaf Dokhan a une superficie de 95,83 km². Ce bassin est considéré comme important car toutes les eaux de la vallée passent par ce bassin, suivi d'un bassin de Boubrik avec une superficie de 44,02 km² qui a un régulateur de crue, puis suivi d'un bassin El-Atteuf avec une superficie de 16,38km².

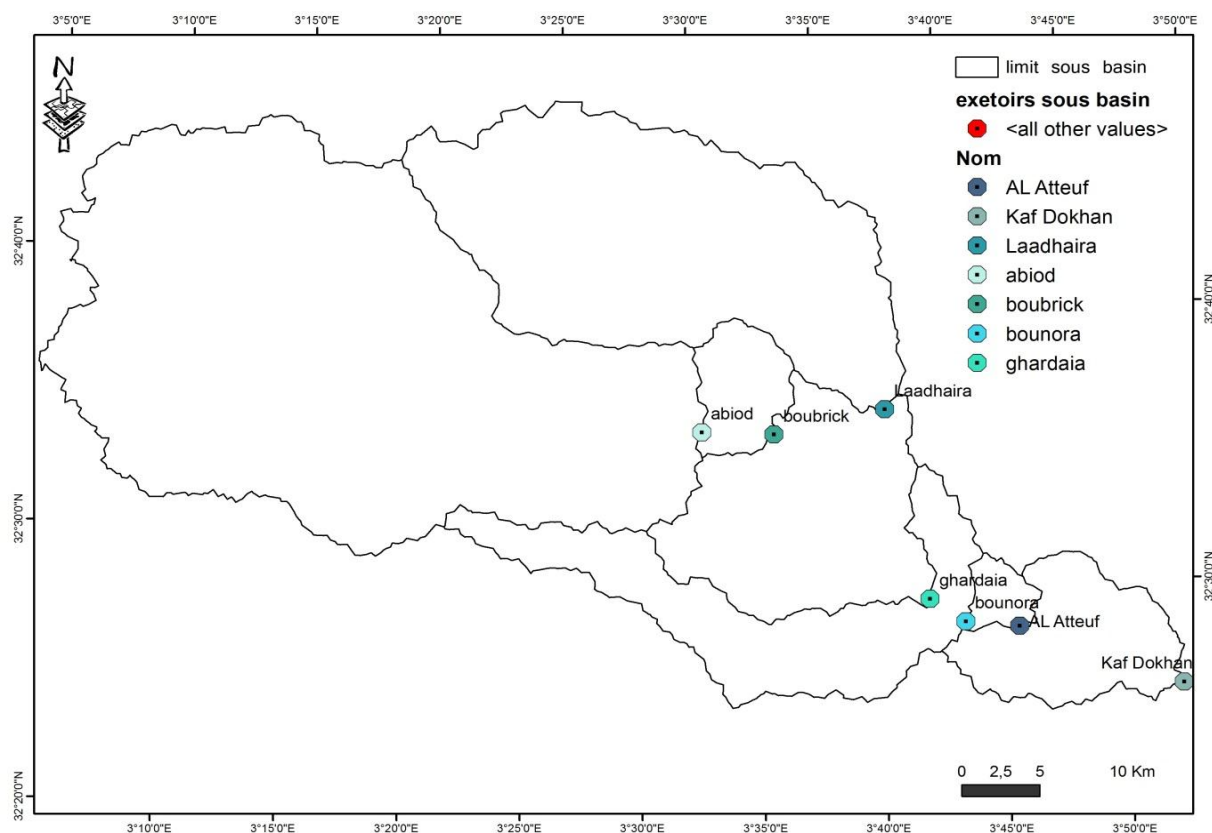


Figure III. 4: Carte des sous-bassins de la vallée du M'Zab

Tableau III: 2: Caractéristiques physiographiques du bv d'Oued Mzab

N	V a r i a b l e		V a l e u r
1.	La surface	A	1684.64 KM2
2.	Le périmètre	P	239.83 KM
3.	La longueur	Lb	78.43 KM
4.	La largeur	B	21.48 KM
5.	Relief du bassin	Rh	325 M

Tableau III: 3: Paramètre de forme du bv d'Oued Mzab

N	V a r i a b l e		V a l e u r
1.	Rapport d'allongement	Re	0.59
2.	Indice de forme de Horton,	KH	0.26
3.	Rapport de circularité	RC	0.37
4.	Rapport de compacité	KC	1.65
5.	Le rectangle équivalent	Le	ieq=16.08
6.	Le rectangle équivalent		Leq=104.76
7.	Lemniscate	K	2.87

Tableau III: 4: Paramètre de relief du bv d'Oued Mzab

N	V a r i a b l e		V a l e u r
	Rapport de relief	Rhl	4.14
	Numéro de Robustesse	Rn	0.04
	Altitude moyenne	Hmey	641.03
	L'altitude médiane	Hmid	673
	Relief relatif	Rre	0.14
	dénivelée globale	DG	238

Tableau III: 5: Paramètres linéaires du bv d'Oued Mzab

N	V a r i a b l e		V a l e u r
1.	Ordre de cours d'eau	U	4
2.	numéro des cours d'eau	Nu	161
3.	longueur des cours d'eau	Lu	503.30
4.	longueur principal du coure d'eau	Lup	80.37
5.	Longueur moyenne des cours d'eau	Lsm	3.34
6.	fréquence de flux	Fs	0.10
7.	Bifurcation ratio	Rb	1.92
8.	longueur de l'écoulement terrestre	Lg	1.67
9.	Densité de Drainage	Dd	0.30
10.	Intensité de Drainage	Di	0.32
11.	Drainage texture	Td	0.67
12.	Constant Channel Maintenance	C	3.35
13.	Tc Moyenne	Tc	19.74
14.	Pente moyenne	Imoy%	3.10
15.	sinuosité	Sin	1.38
16.	Densité hydrographique	F	0.01
17.	Indics de pente globale	Ig	0.002
18.	Dénivelée spécifique	DS	93.24

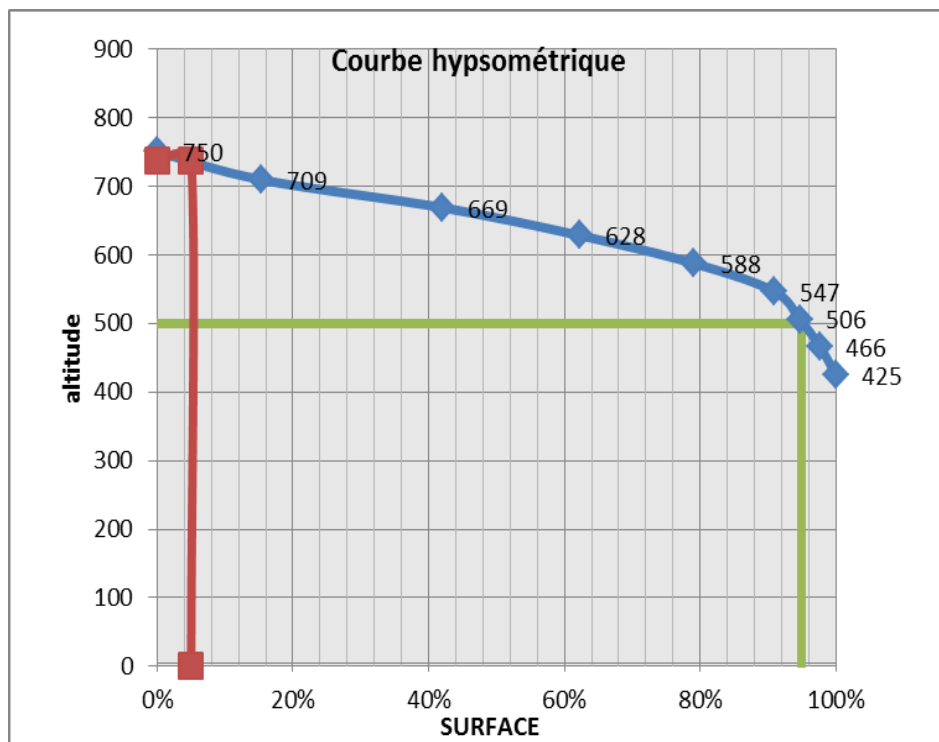


Figure III. 5:hypsométrique du bassin versant d'Oued M' zab

H5%=737, en ligne rouge

H95%=499, dans la ligne verte

III.6 Calcul des caractéristiques des sous bassins de Oued Mzab

Tableau III: 6: Caractéristiques physiographiques des sous bassins de Oued Mzab

Basin	A	P	Lb	B	Rh
Labiod	785,43	147,90	43,58	18,02	175,00
Lâadhaira	383,93	100,74	35,44	10,83	200,00
Ghardaïa	189,56	70,08	18,06	10,50	169,77
Bounoura	169,49	111,19	33,72	5,03	200,00
Kaf Dokhan	95,83	51,21	15,65	6,13	150,00
Boubrik	44,02	29,62	9,58	4,60	125,00
El-Atteuf	16,38	18,89	5,47	2,99	118,35

Tableau III: 7: Paramètres de forme des sous bassins d'Oued Mzab

Basin	Re	KH	Rc	Kc	Le	Le	K
Labiod	0,73	0,41	0,45	1,49	12,71	61,81	1,90
Lâadhaira	0,62	0,72	0,48	1,45	9,25	41,51	2,57
Ghardaïa	0,86	0,79	0,48	1,44	6,60	28,71	1,35
Bounoura	0,44	0,60	0,17	2,41	3,21	52,82	5,27
Kaf Dokhan	0,71	11,82	0,46	1,48	4,50	21,30	2,01
Boubrik	0,78	0,42	0,63	1,26	4,05	10,87	1,64
El-Atteuf	0,83	1,86	0,58	1,32	2,25	7,27	1,44

Tableau III: 8: Paramètres de relief des sous bassins d'Oued Mzab

Basin	Rhl	Rn	H mey	H mid	Rre	DG
Labiod	4,02	0,03	674,44	698	0,12	128
Lâadhaira	5,64	0,06	672,40	700	0,20	155
Ghardaïa	9,40	0,08	555,85	578	0,24	143
Bounoura	5,93	0,08	575,45	636	0,18	161
Kaf Dokhan	9,59	0,10	481,02	497	0,29	117
Boubrik	13,05	0,32	612,78	632	0,42	118
El-Atteuf	21,62	0,51	515,85	533	0,63	90

Tableau III: 9: Paramètres linéaires des sous bassins d'Oued Mzab

Basin	(U)	NU	LU	Lup	Lsm	FS	Rb	Lg	Dd	(Di)
Labiod	4	84,00	231,28	33,04	2,52	0,11	1,84	1,70	0,29	0,36
Lâadhara	3	26,00	111,13	22,04	4,82	0,07	1,50	1,73	0,29	0,23
Ghardaïa	4	17,00	60,83	17,85	5,39	0,09	2,71	1,56	0,32	0,28
Bounoura	3	22,00	52,59	3,79	2,77	0,13	3,17	1,06	0,47	0,28
Kaf Dokhan	3	9,00	31,63	15,17	4,50	0,09	1,60	1,52	0,33	0,28
Boubrik	2	8,00	10,18	4,87	1,27	0,18	1,00	0,65	0,77	0,24
El-Atteuf	1	1,00	5,66	5,66	5,66	0,06	0,00	0,62	0,81	0,08

Tableau III: 10: Paramètres linéaires des sous bassins d'Oued Mzab (suite)

Basin	Td	C	Tc	Imoy	sin	F	(Ig)	(Ds)
Labiod	0,57	3,40	15,28	2,83	1,50	0,01	0,002	58,03
Lâadhaira	0,26	3,45	9,85	4,82	1,59	0,01	0,004	73,16
Ghardaïa	0,24	3,12	7,85	5,91	1,20	0,02	0,005	68,58
Bounoura	0,20	2,13	5,10	3,79	1,40	0,03	0,003	39,68
Kaf Dokhan	0,18	3,03	6,32	7,04	1,36	0,03	0,005	53,76
Boubrik	0,27	1,30	3,78	11,49	1,05	0,06	0,011	72,00
El-Atteuf	0,05	1,23	2,84	16,29	1,67	0,06	0,012	50,14

III.7 La régionalisation :

La régionalisation sert l'outil de consolidation des observations obtenues en un certain bassin. Par la prise en compte des observations de bassins similaires voisins. Une région est considérée comme homogène du point de vue hydrologique si elle regroupe des sites (SBV) ayant des caractéristiques physico-graphiques, climatiques qui déterminent un comportement similaire au niveau hydrologique [4].

Nous avons soumis tous les paramètres physiques calculés pour les différents sous bassins de la Oued M'Zab a une analyse en composantes principales, afin de déterminer les affinités entre ces sous bassins et déduire les paramètres les plus caractéristiques. Pour ce faire, une matrice de corrélation a été utilisée et les composantes ont été déterminées selon le type de rotation des axes orthogonaux [55].

III.8 Méthodologie de l'ACP : Principe et définitions

L'analyse en composante principale « ACP » est une méthode basée sur des statistiques descriptives multidimensionnelles permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables quantitatives. Le cas de plusieurs individus (n individus) mesurés par rapport à un grand nombre de variables numériques. Ces variables sont la plupart du temps corrélées entre elles. Elle consiste à rechercher des facteurs en nombre restreint en résumant le mieux possible les données considérées. Elle aboutit à des représentations graphiques des données (des individus comme des variables) par rapport à ces facteurs représentés comme des axes. Ces représentations graphiques sont du type nuage de points. Proposée par Hotelling en 1933 mais elle n'est devenue une technique opérationnelle qu'à partir des années 60 avec le développement des outils informatiques. Cette méthode a été réinterprétée sous un formalisme probabiliste par Tipping et Bishop en 1999, elle a de nombreuses applications comprennent la compression de données, le traitement de l'image, la visualisation, l'analyse exploratoire des données, la reconnaissance des formes et la prévision des séries chronologiques [56].

L'analyse en composante principale ou ACP, est une méthode de réduction du nombre de variables permettant la représentation géométrique des observations et des variables. Cette

réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls [55].

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode très efficace pour l'analyse de données quantitatives (continues ou discrètes) se présentant sous la forme de tableaux à M observations / N variables. C'est une méthode descriptive qui permet d'effectuer une représentation simplifiée d'une série de variables inter corrélées. Cette technique utilise comme principe une transformation des variables initiales en de nouvelles variables non corrélées. Ces nouvelles variables sont appelées les Composantes Principales. Chaque composante principale est une combinaison linéaire des variables initiales. L'analyse en composantes principales est utilisée pour réduire la dimension (le nombre de variables) d'un problème. Cette diminution du nombre de variables doit s'effectuer en perdant un minimum d'informations. Le but de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est de condenser les données originelles en de nouveaux groupements, appelées nouvelles composantes. L'ACP permet d'explorer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus. Elle permet aussi de visualiser et analyser rapidement les corrélations entre les N variables,

De visualiser et analyser les M observations initialement décrites par N variables sur un graphique à deux ou trois dimensions, construit de manière à ce que la dispersion entre les données soit aussi bien préservée que possible, de construire un ensemble de P facteurs non corrélés, les limites de l'Analyse en Composantes Principales viennent du fait que c'est une méthode de projection, et que la perte d'information induite par la projection peut entraîner des interprétations erronées. Pour appliquer cette méthode à notre base de données, nous avons utilisé le logiciel XLSTAT.

III.9 Principe de la méthode

Le principe de l'ACP est de réduire la dimension des données initiales [57]. L'analyse en composantes principales ou fonctions orthogonales empiriques est une méthode Statistique multi-variée pour l'analyse de données qui vise à ré-exprimer une donnée Multidimensionnelle en un ensemble des composantes orthogonales (non corrélées) en projetant l'ensemble de données original à un nouvel axe (changement de base) visant à extraire les informations importantes de la base de données d'origine, ce raisonnement nous permet de définir l'objectif principal de l'ACP comme suit:

Transformer un ensemble de variables dépendantes en un ensemble de variables non corrélées, appelées composantes principales, qui sont l'ordre, de sorte que les premiers composants contiennent la plupart des informations dans le jeu de données d'origine. Étant donné qu'un changement de base est appliqué, l'ACP suppose clairement une relation linéaire entre les données originales [58].

III.10 Méthodologie de l'ACP :

Qui est (p) si l'on considère p variables quantitatives), en remplaçant les p variables initiales par (q) facteurs appropriés ($q < p$). Les q facteurs cherchés sont des moyennes pondérées des variables initiales. Leur choix se fait en maximisant la dispersion des individus selon ces facteurs (variance maximum). Des techniques mathématiques appropriées permettent de réaliser tout cela de façon automatique et optimale [56] [57].

Les logiciels boîtes à outils (XLSTAT, Statbox). Ils permettent de réaliser diverses analyses Factorielles (ACP, AFC, ACM), quelques techniques de classification (Classification Hiérarchique, K moyennes) ainsi que les techniques de prévision classiques. Les données sont gérées à partir du logiciel Microsoft Excel et les sorties s'effectuent dans des feuilles de calculs. Globalement, ils offrent un bon rapport qualité/prix [59].

La corrélation entre variables morphométriques et hydrologiques d'un bassin a été mise en place depuis 1932 par plusieurs chercheurs comme Horton (1945), Strahler (1952), Scheidegger (1966) et Shreve (1966), qui ont proposées différentes méthodes d'analyse de la relation entre la morphométrie d'un bassin et son écoulement. Ainsi Horton (1945) a montré une relation mathématique entre la morphométrie, l'hydrologie et le paysage sur les bassins de drainage [60].

La réponse hydrologique d'un bassin versant dépend de l'influence des facteurs de l'écoulement [60]: du climat et surtout des régimes pluviométriques (répartition spatiale et temporelle, intensité et durée) ; des facteurs stables liés à la forme du bassin et de ses divers paysages (géologie, sols, végétation, relief). Ces différents facteurs combinés confirment la subdivision du bassin en régions. Le relief est sans doute le facteur qui traduit le mieux la partition du bassin entre le cours supérieur aux hautes terres, le cours moyen au relief moyen et le cours inférieur aux régions de plaines. Il va de soi que les influences du relief sur l'écoulement varient d'une région à l'autre. Les différences d'altitudes et les fortes pentes qui en résultent et les différentes formes topographiques contribuent à accélérer la vitesse de l'eau dans les drains et modifier les profils en long du cours d'eau. Ces caractères confèrent au cours supérieur un écoulement intense. Les pentes et la pluviométrie conditionnent donc l'écoulement dans le bassin [9].

Chapitre IV : Résultats et interprétation

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous analyserons les différents tableaux que nous avons calculés dans le troisième chapitre et nous conclurons sur leur signification sur le terrain, nous permettant de comprendre la dynamique hydrologique et l'impact de la région sur le cycle hydrologique. Similitude entre les sous-bassins et les relations entre eux. D'analyser les corrélations entre les variables et d'identifier des sous bassins qui se différencient fortement des autres. L'objectif est d'arriver à regrouper des sous bassins semblables physiquement, utile pour toute éventuelle extrapolation de données hydrométéorologiques [9].

L'analyse de la matrice de corrélation Tableau (IV.2), montre que la surface (S) est bien corrélée positivement avec Le périmètre (P) et La longueur (Lb) et La largeur (B) et Le et Tempe de concentration Moyenne (Tc), est corrélée moyenne positivement avec Altitude moyenne (Hmey) et et Drainage Intensité (Di) , et est corrélée moyenne négativement avec Indice de robustesse (Rn) et Relief relatif (Rre) et Densité de drainage (Dd) et Pente moyenne (Imoy %) et Densité hydrographique (F) et Indice de pente global (Ig).

Tableau IV. 1: Statistiques descriptives des paramètres morphométriques du bv d'Oued M'Zab

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
A	16,38	785,43	240,66	269,23
P	18,89	147,90	75,66	46,69
Lb	5,47	43,58	23,07	14,49
B	2,99	18,02	8,30	5,21
Rh	118,35	200,00	162,59	33,00
Re	0,44	0,86	0,71	0,14
KH	0,42	11,82	2,39	4,19
Rc	0,17	0,63	0,46	0,15
Kc	1,26	2,41	1,55	0,39
Rn	0,03	0,51	0,17	0,18
H mey	481,02	674,44	583,97	74,09
Rre	0,12	0,63	0,30	0,17
Fs	0,06	0,18	0,10	0,04
Rb	0,00	3,17	1,69	1,05
Dd	0,29	0,81	0,47	0,23
Di	0,08	0,36	0,25	0,09
Tc	2,84	15,28	7,29	4,25
Imoy	2,83	16,29	7,45	4,81
F	0,01	0,06	0,03	0,02
Ig	0,00	0,01	0,01	0,00
Ds	39,68	73,16	59,34	12,52

Chapitre IV : Résultats et interprétation

Tableau IV. 2: la matrice de corrélation entre les variables

Variables	A	P	Lb	B	Rh	Re	kh	Rc	Kc	Rn	H mey	Rre	Fs	Rb	Dd	Di	Tc	Imoy	F	Ig	Ds
A	1,00																				
P	0,88	1,00																			
Lb	0,86	0,99	1,00																		
B	0,95	0,80	0,76	1,00																	
Rh	0,53	0,83	0,86	0,49	1,00																
Re	-0,14	-0,54	-0,60	0,05	-0,71	1,00															
EF	-0,19	-0,56	-0,63	0,01	-0,71	0,99	1,00														
Rc	-0,18	-0,62	-0,59	-0,07	-0,75	0,85	-0,84	1,00													
Kc	0,03	0,48	0,47	-0,12	0,64	-0,87	0,95	-0,97	1,00												
Rn	-0,61	-0,79	-0,78	-0,67	-0,84	0,46	-0,18	0,57	-0,39	1,00											
H mey	0,74	0,66	0,71	0,67	0,49	-0,22	0,00	-0,01	-0,02	-0,38	1,00										
Rre	-0,70	-0,89	-0,88	-0,72	-0,87	0,52	-0,28	0,61	-0,46	0,97	-0,53	1,00									
Fs	-0,13	-0,05	-0,07	-0,17	-0,17	-0,16	0,37	0,00	0,16	0,02	0,19	-0,08	1,00								
Rb	0,25	0,62	0,56	0,31	0,77	-0,54	0,60	-0,79	0,72	-0,79	0,13	-0,80	0,20	1,00							
Dd	-0,62	-0,72	-0,71	-0,72	-0,77	0,28	0,06	0,43	-0,21	0,94	-0,27	0,87	0,33	-0,64	1,00						
Di	0,65	0,74	0,69	0,71	0,56	-0,29	0,13	-0,40	0,27	-0,87	0,40	-0,90	0,33	0,70	-0,75	1,00					
Tc	0,97	0,84	0,82	0,99	0,54	-0,06	-0,25	-0,14	-0,06	-0,71	0,66	-0,75	-0,20	0,30	-0,75	0,72	1,00				
Imoy	-0,68	-0,89	-0,88	-0,69	-0,88	0,55	-0,31	0,65	-0,50	0,98	-0,48	1,00	-0,04	-0,82	0,88	-0,88	-0,73	1,00			
F	-0,74	-0,86	-0,85	-0,78	-0,87	0,37	-0,05	0,52	-0,31	0,92	-0,43	0,90	0,36	-0,65	0,96	-0,70	-0,82	0,91	1,00		
Ig	-0,70	-0,91	-0,89	-0,70	-0,90	0,56	-0,29	0,69	-0,52	0,96	-0,42	0,97	0,12	-0,78	0,91	-0,82	-0,75	0,98	0,95	1,00	
Ds	0,13	-0,12	-0,07	0,31	-0,07	0,49	-0,64	0,66	-0,70	-0,10	0,46	-0,06	0,09	-0,19	-0,13	0,09	0,24	0,00	-0,06	0,09	1,00



Bonne Corrélation Positif,



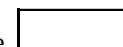
Bonne Corrélation Négative,



Corrélation Moyenne Positif,



Corrélation Moyenne Négative



Mauvaise Corrélation

Tableau IV. 3: Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho métriques du bv d'Oued M' Zab

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	12,45	4,57	1,62	1,31	0,77	0,27
Variabilité (%)	59,30	21,78	7,72	6,23	3,66	1,30
% cumulé	59,30	81,08	88,80	95,04	98,70	100,00

Le tableau représenté le rapport des corrélations entre les variables importantes du sous bassin versant d'Oued M' Zab représenté sur six axes

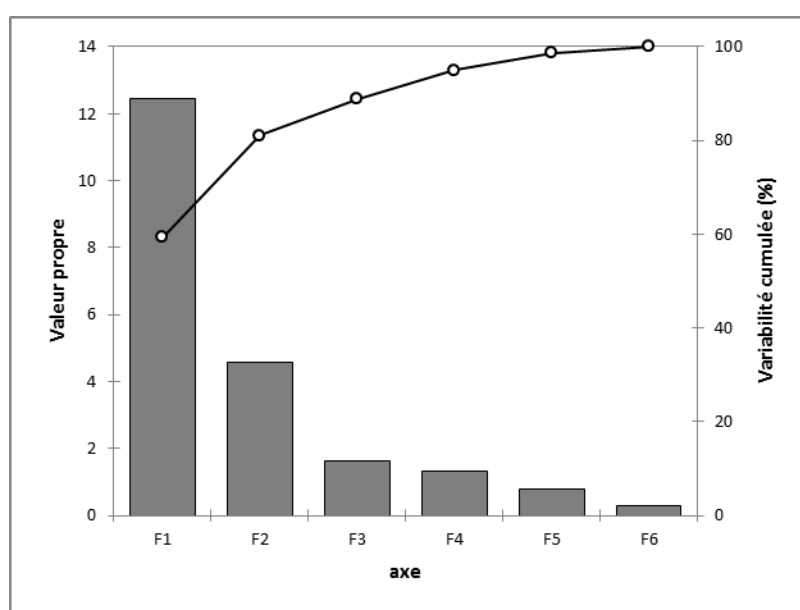


Figure IV. 1: Histogramme des valeurs propres. (Pourcentages de variance observée, pour les 6 axes principaux).

La figure (IV.1) nous permet d'évaluer les valeurs propres de manière schématique, La première composante principale (F1) correspond à la plus grande valeur propre, ainsi la deuxième composante (F2) correspond à la deuxième plus grande valeur propre. Généralement, l'étude se restreint à ces deux premiers axes, du fait qu'ils contiennent la majorité de la variance, le pourcentage de variance absorbée par les axes principaux est indiqué sur la figure (IV.1) L'analyse du tableau (IV.3) et de la courbe des valeurs propres figure (IV.2) montre que les deux premiers axes facteurs représentent le maximum d'informations. On voit que la première valeur propre vaut 12,45 et représente 59,30% de la variance totale. La deuxième valeur vaut 4,57 et représente 21,78 % de la variance totale. A chaque valeur propre correspond un facteur. Chaque facteur est en fait une combinaison linéaire des variables de départ. Les facteurs ont la particularité de ne pas être corrélés entre eux. Les valeurs propres et les facteurs sont triés par ordre décroissant de variabilité représentée.

Remarquons ici que la variance expliquée par l'axe F3 est faible (7,72%) et F4 (6,23%) et F5 3,66% et F6 1,30%, remarquons aussi que l'essentiel de l'information est fourni par les 2 premiers axes, puisque la variance expliquée cumulée par est de 81,08%. Si les variables sont très corrélées entre elles, les premières valeurs propres sont importantes alors que si le lien linéaire entre les variables d'origines est faible, les pourcentages de variance expliquée par les axes seront faibles eux aussi.

Tableau IV. 4: Coordonnées des variables: Corrélations entre les variables et les facteurs

	F1	F2
A	-0,76	-0,48
P	-0,95	-0,05
Lb	-0,94	-0,05
B	-0,74	-0,62
Rh	-0,90	0,20
Re	0,57	-0,69
KH	-0,32	0,90
Rc	0,67	-0,72
KC	-0,51	0,85
Rn	0,94	0,06
H mey	-0,54	-0,41
Rre	0,98	0,03
FS	0,04	0,24
Rb	-0,77	0,40
Dd	0,86	0,23
Di	-0,83	-0,14
Tc	-0,79	-0,57
Imoy	0,98	-0,02
F	0,93	0,19
Ig	0,99	-0,03
Ds	0,05	-0,75

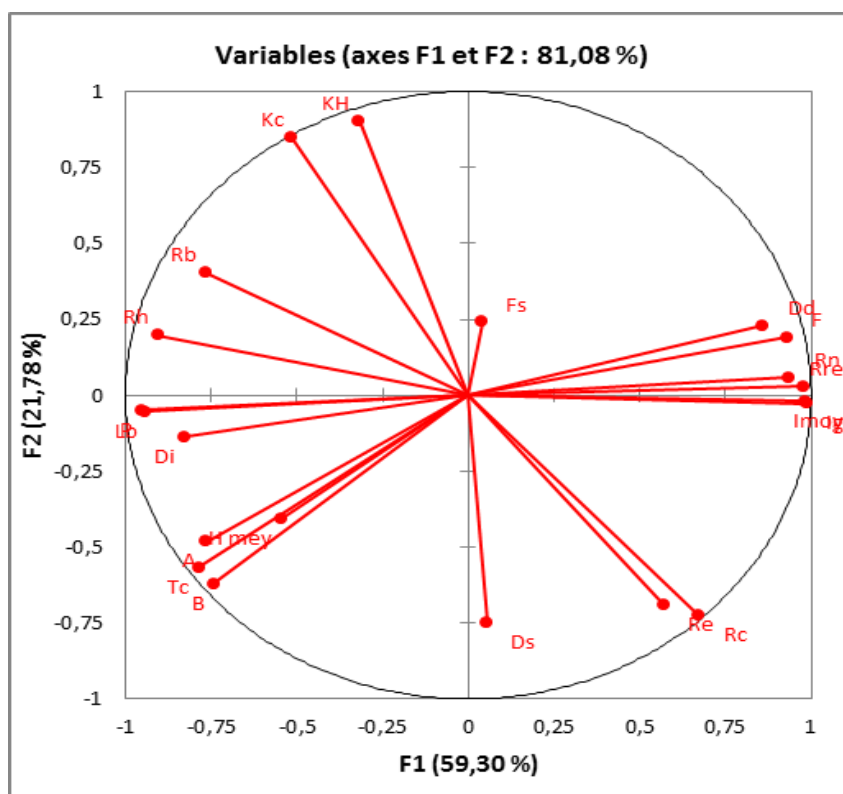


Figure IV. 2: Un schéma de principe des contributions des variables morpho métriques au niveau du bassin de la vallée du M'Zab

A chaque paramètre (variable), on associe un point dont la coordonnée sur un axe factoriel est une mesure de la corrélation entre ce paramètre et le facteur (axe 1 ou axe 2) [60] : exemple la coordonnée sur l'axe 1 du paramètre Rapport de circularité (RC) est 0,67 et celle sur l'axe 2 est -0,72 Tableau (IV.4). En fonction du même tableau, nous constatons que les paramètres appartiennent à la sphère de diamètre 2 (de -1 à +1). Donc par projection sur un plan factoriel, les paramètres morpho métriques s'inscrivent dans un plan de côté 2 -le carré des corrélations- Figure (IV.2). Elles sont d'autant plus proches du côté du plan que la variable est bien représentée par le plan factoriel, c'est-à-dire que la variable est bien corrélée avec les deux facteurs constituant ce plan.

La matrice de corrélation des variables et des facteurs du poids de variance Tableau (IV.4) et la figure (IV.2) montrent que l'axe 1 (principal axe d'inertie) qui représente (59.30% de l'inertie cumulée) est très bien corrélé positivement à Indice de robustesse (Rn) et Relief relatif (Rre) et Pente moyenne (Imoy) et Densité hydrographique (F) et indice de pente global (Ig)

Il est aussi assez bien corrélé mais négativement au périmètre (p) et la longueur (lb) et relief du bassin (Rh) et drainage intensité (Di),

Il est aussi assez corrélée moyenne positivement à Rapport de circularité (Rc) il est aussi assez corrélée moyenne négativement avec surface (A) et La largeur (B) et bifurcation ratio (Rb) et Tempe de concentration Moyenne (Tc),

Et montrent que l'axe 2 (principal axe d'inertie) qui représente (21.78% de l'inertie cumulée) est très bien corrélé positivement à Indice de forme de Horton (KH) et Rapport de compacité (KC)

Il est aussi assez corrélé négativement avec La largeur (B) et Rapport d'allongement (Re) et Rapport de circularité (RC) et Dénivelée spécifique (DS).

Ces différentes caractéristiques des paramètres morpho métriques et des sous bassins versants sont représentées respectivement dans des cercles et des plans (figure IV.2, IV.3, IV.4).

Le tableau (IV.5) représente les valeurs en pourcentage des variables pour chaque axe1 et 2, où l'on note que la valeur haute du premier axe Indice de pente global (Ig) est et la valeur haute du deuxième axe est Indice de forme de Horton (KH).

Où le pourcentage représente le pourcentage d'information par rapport à l'information totale de l'axe

Tableau IV. 5:Contributions des variables (%)

	F1	F2
A	4,68	5,05
P	7,30	0,05
Lb	7,11	0,06
B	4,42	8,40
Rh	6,58	0,86
Re	2,61	10,38
KH	0,81	17,84
Rc	3,60	11,45
Kc	2,12	15,71
Rn	7,03	0,08
H mey	2,37	3,60
Rre	7,70	0,02
Fs	0,01	1,27
Rb	4,70	3,56
Dd	5,93	1,15
Di	5,49	0,41
Tc	4,96	7,00
Imoy	7,77	0,01
F	6,93	0,80
Ig	7,83	0,02
Ds	0,02	12,28

La qualité de représentation des variables sur la carte de l'ACP s'appelle cos2 (cosinus carré, valeurs de cos2 sont utilisées pour estimer la qualité de la représentation.

D'après l'analyse de la matrice de cosinus carrés ($\cos^2$) des variables On a :

- Pour le facteur 1 (F1) on remarque la contribution des variables logarithme de Caractéristiques physiographiques et Paramètre de relief et Paramètre linéaire à l'exception Fréquence de flux (FS) et Dénivelée spécifique (DS).
- Pour le facteur 2 (F2) on remarque la contribution des variables logarithme de Rapport d'allongement (Re) et Indice de forme de Horton(KH). et Rapport de circularité (RC) et Rapport de compacité (KC) et Dénivelée spécifique (DS)

Notez que, Un $\cos^2$ élevé indique une bonne représentation de la variable sur les axes principaux en considération. Dans ce cas, la variable est positionnée à proximité de la circonférence du cercle de corrélation. Un faible $\cos^2$ indique que la variable n'est pas parfaitement représentée par les axes principaux. Dans ce cas, la variable est proche du centre du cercle.

Tableau IV. 6: Cosinus carrés des variables

	F1	F2
A	0,58	0,23
P	0,91	0,00
Lb	0,89	0,00
B	0,55	0,38
Rh	0,82	0,04
Re	0,32	0,47
KH	0,10	0,82
Rc	0,45	0,52
Kc	0,26	0,72
Rn	0,88	0,00
H mey	0,30	0,16
Rre	0,96	0,00
Fs	0,00	0,06
Rb	0,59	0,16
Dd	0,74	0,05
Di	0,68	0,02
Tc	0,62	0,32
Imoy	0,97	0,00
F	0,86	0,04
Ig	0,98	0,00
Ds	0,00	0,56

Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

Tableau IV. 7: Coordonnées des observations

Observation	F1	F2
Labiod	-4,41	-2,37
Lâadhaira	-2,37	-1,47
Ghardaïa	-0,70	-1,03
Bounoura	-3,00	4,78
Kaf Dukhan	0,51	0,33
Boubrik	3,86	-0,45
El-Atteuf	6,11	0,20

Le fuguer IV.3 et représenter les coordonnées des sept bassins de la vallée du M'Zab sur les deux axes.

Cette représentation a pour but de fournir des images planes approchées du nuage des sous bassins (individus) situés dans le plan. Ainsi, l'axe des abscisses représente la forme (taille) générale des sous bassins alors que celui des ordonnées représente leur profil. En effet, un sous bassin représenté sur la partie positive de l'axe 1 possède en général des paramètres de dimension importants. La projection des individus (bassins) sur le plan (1- 2), met en évidence trois groupes de bassins :

- Le premier formé par les bassins (Labiod, Lâadhaira, Ghardaïa)
- Le deuxième groupe est formé par le bassin (Kaf Dukhan, Boubrik, El-Atteuf)
- Le troisième groupe est formé par le bassin (Bounoura)

Dans notre exemple, on remarque que le sous bassin (Bounoura) a des caractéristiques particulières du faite qu'elles sortent du groupe alors que par exemple les sous bassins (Labiod, Lâadhaira, Ghardaïa) ont plus de caractères en commun puisque elles se regroupent.

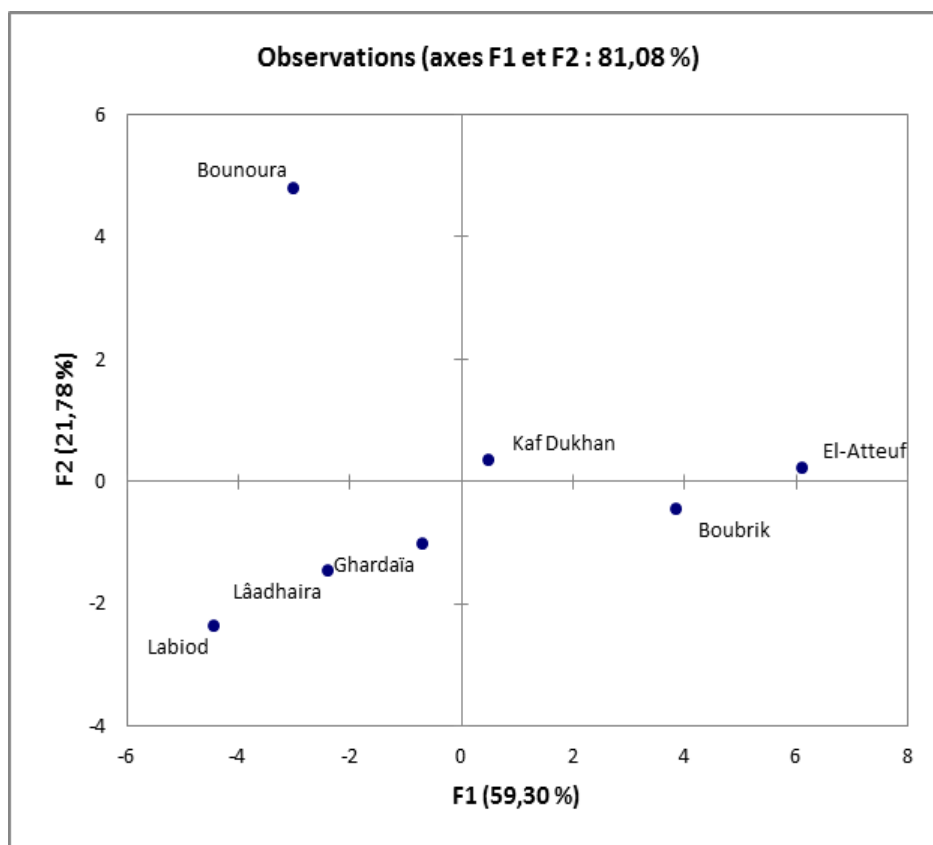


Figure IV. 3: Figure Projections des individus sur les plans factoriels (F1-F2)

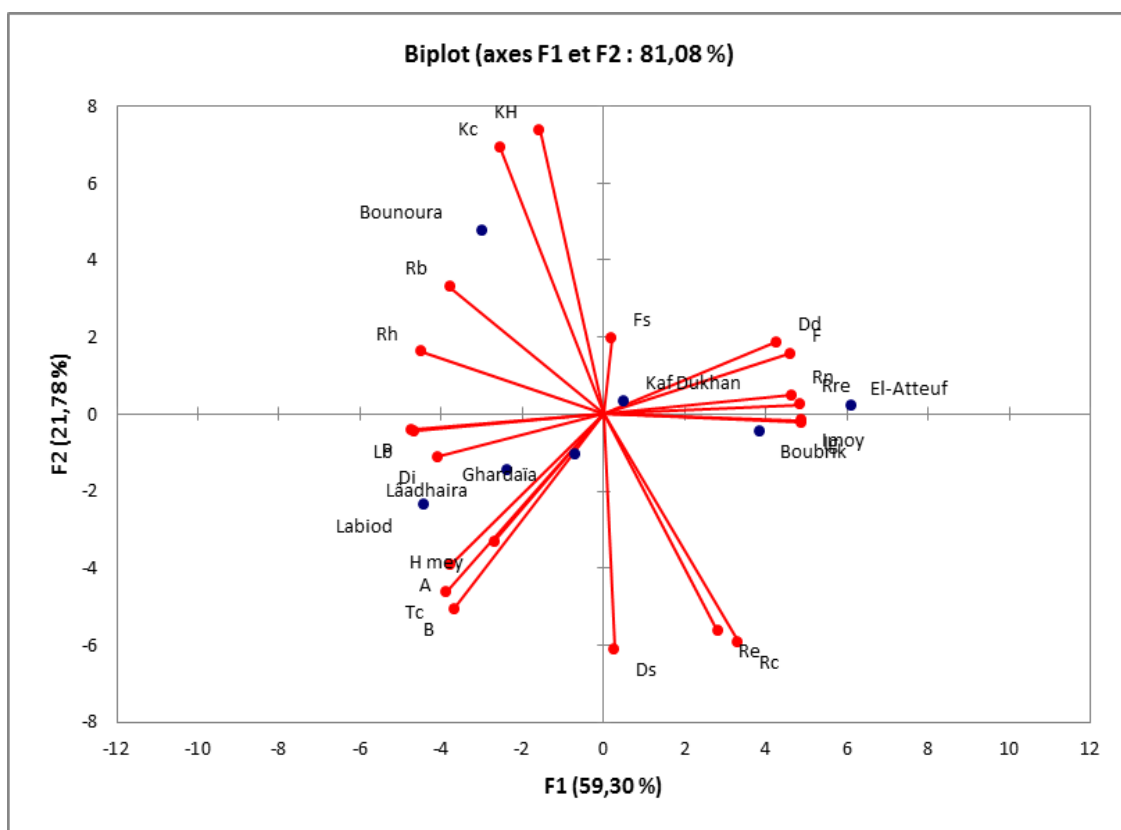


Figure IV. 4:Graphique des Biplot sur les plans factoriels (F1-F2) du bassin de la vallée du M'Zab

Tableau IV. 8:Contributions des observations (%)

	F1	F2
Labiod	22,35	17,51
Lâadhaira	6,46	6,74
Ghardaïa	0,56	3,32
Bounoura	10,33	71,34
Kaf Dukhan	0,30	0,34
Boubrik	17,12	0,62
El-Atteuf	42,88	0,13

Tableau IV. 9: Cosinus carrés des observations

	F1	F2
Labioud	0,69	0,20
Lâadhaira	0,48	0,18
Ghardaïa	0,08	0,19
Bounoura	0,28	0,71
Kaf Dukhan	0,05	0,02
Boubrik	0,66	0,01
El-Atteuf	0,90	0,00

Les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand.

Le cercle sur les axes F1 et F2. Il correspond à une projection des variables initiales sur un plan à deux dimensions constitué par les deux premiers facteurs. Lorsque deux variables sont loin du centre du graphique, alors si elles sont : proches les unes par rapport aux autres, alors elles sont significativement positivement corrélées (r proche de 1), orthogonales les unes par rapport aux autres, alors elles sont significativement non-corrélées (r proche de 0), symétriquement opposées par rapport au centre, alors elles sont significativement négativement corrélées (r proche de -1), [56]. d'une manière plus simple, l'axe horizontale est la première dimension de l'ACP (f1) et l'axe verticale est la deuxième dimension (f2) , chaque ligne rouge représente une variable, chaque deux variables séparées par un angle aigu par rapport à un axe sont corrélés positivement par exemple rapport de compacité (kC) et Indice de forme de Horton(KH) sont positivement liées, les angles droites reflète l'indépendance, on peut dire par exemple que Bifurcation ratio (Rb) n'est pas lié à Densité de drainage (Dd) et rapport de compacité (kC) , les grandes angles reflètent la corrélation négative par exemple rapport de circularité (kC) est corrélée négativement à Rapport d'allongement (Re).

Brièvement, Les variables positivement corrélées sont regroupées. Les variables négativement corrélées sont positionnées sur les côtés opposés de l'origine du graphique (quadrants opposés). La distance entre les variables et l'origine mesure la qualité de représentation des variables. Les variables qui sont loin de l'origine sont bien représentées par l'ACP [61].

Plus une variable est proche du cercle de corrélation, meilleure est sa représentation sur la carte de l'ACP (et elle est plus importante pour interpréter les composantes principales en considération), Les variables qui sont proche du centre du graphique sont moins importantes pour les premières composantes [61].

La construction du regroupement des sous bassins, a permis la définition des axes factoriels (vecteurs), responsables liés à la distribution spatiale et donc de mettre en évidence les affinités et les différences entre les groupes et en déduire les variables qui caractérisent au mieux chaque groupe. Pour les 7 sous bassins étudiés de la vallée du M'Zab [9].

Si on fait la superposition du cercle de corrélation figure IV.2 et le graphique des observations figure IV.3, on peut extraire plus d'informations à savoir les caractéristiques de chaque groupe d'individu, [9]

Le premier groupe est caractérisé par les plus fortes valeurs de forme (La surface (A), La longueur (Lb), Drainage Intensité (Di), Altitude moyenne (Hmey), Tempe de concentration Moyenne (Tc), La largeur (B)).

Le deuxième groupe est caractérisé par les plus fortes valeurs de forme (Fréquence de flux (Fs), Densité de drainage (Dd), Numéro de Robustesse (Rn), Pente moyenne (Imoy %), Dénivelée spécifique (DS), Rapport de circularité (Rc), Rapport d'allongement (Re).

Le troisième groupe est caractérisé par les plus fortes valeurs de forme (Rapport de compacité (Kc), Lemniscate (Kh), Bifurcation ratio (Rb), Relief du bassin (Rh).

En conclusion, nous remarquons que l'ACP a l'avantage d'une part de résumer l'ensemble des paramètres initiaux corrélés en un nombre réduit de facteurs non corrélés. D'autre part, elle nous a permis de mettre en évidence des similarités ou oppositions entre paramètres et sous bassins [60].

Ces caractéristiques morpho métriques utilisées dans cette étude sont sans doute des facteurs qui traduisent le mieux la partition du bassin entre le cours supérieur aux hautes terres et les cours moyen et inférieur aux régions de bas plateaux et plaines. Il va de soi que les influences du relief varient d'une région à l'autre, d'un bassin à l'autre. Par la valeur de sa pente, le relief joue un rôle prépondérant sur l'écoulement. Quant à la forme du bassin traduite par la compacité, son rôle est capital lors de la formation des crues. Sur la base des regroupements que nous a donnés l'analyse, l'ACP a montré que les distinctions et les regroupements entre eux sont liés à leur appartenance à des contextes différents et à des caractéristiques morphométriques assez distinctes. Les bassins versants ayant les plus grandes valeurs de forme pour le bassin du M'Zab se mettent, suivant les d'eaux axes [60].

Il peut exister une distinction entre sous bassins regroupés dans un même groupe. Malgré les résultats probants obtenus, certaines données utilisées doivent être remises en cause. Même si les groupes de bassins sont bien distincts, il n'y a pas une forte correspondance apparente entre les méthodes de groupement suivant les différents axes : les groupes ont différentes consistances numériques et des sous bassins particuliers appartiennent à différentes régions pour différentes méthodes. La méthode indique, par ailleurs, que la consistance numérique de certains sous bassin ne suffit pas pour confirmer sa capacité à faire une excellente typologie par bassin. [9]

Il faut, cependant, noter que la morphométrie des bassins qui entretient des liens directs avec les crues, est, dans cette étude. Cela s'explique par l'existence de liens entre certaines caractéristiques morphométriques comme la surface, l'altitude maximale et l'écoulement [60].

Quant aux facteurs qui influencent la variabilité spatiale des régimes hydrologiques, il est apparu que les caractéristiques physiques des bassins sont de loin le principal facteur qui influence plus ou moins fortement la variabilité spatiale. En effet, l'examen des caractéristiques physiques de ces bassins versants a montré que ce sont surtout les caractéristiques de forme (Superficie, Périmètre, Indice de compacité de Gravelius, Longueur, Largeur) qui ont régi le classement statistique des différents sous bassins versants en groupes distincts. Ainsi, les bassins versants qui ont des dimensions plus grandes se démarquent toujours des autres [9].

L'avantage incontestable de notre classification est le fait qu'elle repose sur des critères précis et faciles à utiliser pour classifier et caractériser n'importe quel bassin versant. Il faut ajouter aussi que l'analyse des paramètres morpho métriques est intéressante, mais reste insuffisante pour connaître les réponses hydrologiques d'un grand bassin versant comme le bassin du M'Zab dans des études futures, seront analysés des facteurs qui manquent sur cette étude tels que la lithologie, les sols et les formations superficielles, es formes d'occupation humaine de l'espace [9].

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le diagnostic physico-géographique, première étape de la connaissance des bassins versants, permet de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans les processus de l'écoulement superficiel : facteurs orographiques, morphologiques, lithologiques, climatiques et biogéographiques. Leur interaction est déterminante dans le comportement hydrologique des bassins. La priorisation des bassins versants est l'une des approches les plus pertinentes dans la planification, la gestion des risques naturels et la mise en oeuvre des programmes de développement durable.

L'objectif principal de ce travail s'appuie sur la méthode de régionalisation au bassin Vallée du M'Zab. La méthodologie est basée essentiellement sur la construction du regroupement des sous bassins versants homogènes de point de vue morpho-métrique à partir du découpage du bassin.

Les résultats de l'étude des paramètres morphométriques, des différents sous-bassins versants d'Oued M'zab, montrent leurs caractéristiques relatives et ainsi leur réponse hydrologique. Elles ont permis une hiérarchisation des sous-bassins versants en terme de priorisation ce qui peut induire le déclenchement de plusieurs risques naturels.

Cette étude scientifique précise nous a permis de recueillir les différentes caractéristiques et variables qui nous permettent une grande quantité d'informations qui pourront ensuite être utilisées et lues et sur lesquelles s'appuyer dans d'autres études. Et de trouver des bassins similaires au bassin de la vallée M'Zab et de faire une comparaison entre eux. Par conséquent une attention immédiate et particulière des responsables et les décideurs pour prendre des mesures de protection de ces bassins versants, afin de réduire les risques naturels.

Références Bibliographiques

- [1] S. . S. S. . and D. V. R. Biswas, “, Priorisation des sous-bassins versants basée sur l’analyse morphométrique du bassin versant, district de Midnapore, Bengale occidentale,” J. la société indienne télédétection, 1999.
- [2] Youcef Guerbouz. Ben messaoud Hadj Mohammed, “APPORT DU SIG ET DE L’MNT-ASTER A L’ETUDE MORPHOMETRIQUE D’UN BASSIN VERSANT EN ZONE ARIDE : CAS DE L’OUED ZEGRIR (GUERRARA), mémoire de master,” Ghardaïa, 2020.
- [3] Veltri P, “Développement de systèmes avancés pour la protection côtière et la gestion de la bande côtière, Rapport final, Programme opérationnel Plurifondo ,” - Région Calabr. Département défense des sols, Univ. Calabr. Montalto Uffugo, 1996.
- [4] BOUDJEFNA Chahrazad, “APPLICATION DE L’ANALYSE MORPHOMETRIQUE ADES SOUS BASSINS VERSANTS -CAS DU BASSIN CHELIFF, mémoire de master,” blida, 2018.
- [5] A. CHEGGOUR, “Mesures de l’érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des techniques SIG: Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc. Haut Atlas, Maroc, Cady Ayyad, Marrakesh,” 2008.
- [6] C. FAYE, “ MÉTHODE D’ANALYSE STATISTIQUE DE DONNÉES MORPHOMÉTRIQUES : CORRÉLATION DE PARAMÈTRES MORPHOMÉTRIQUES ET INFLUENCE SUR L’ÉCOULEMENT DES SOUS BASSINS DU FLEUVE SÉNÉGAL. Laboratoire d’Hydrologie Et De Morphologie Dakar (Sénégal) ,” 2014.
- [7] C. . Faye, “Méthode d’analyse statistique de données morphométriques : corrélation de paramètres morphométriques et influence sur l’écoulement des sous-bassins du fleuve Sénégal. Cinq Continents,” no. 4 (10): 80-108., 2014.
- [8] marc morel, ACQUISITION CO Lien Signet Pièce Annotation Audio d’image et vidéo jointe ET CONSTITUTION D’UNE INFORMATION HYDROLOGIQUE DE BASE, vol. 205p. OFFICE FEDERAL DE L’EDUCATION ET DE LA SCIENCE SUISSE (No 96.01) CHIGIA, 1999.
- [9] FAYE Cheikh, “Caractérisation d’un bassin versant par l’analyse statistique des paramètres morphométriques : cas du bassin versant de la Gambie. (bassin continental Guineo-Sénégalais).,” Rev. Marocaine Géomorphologie. N°2. PP 110- 127. ISSN 2508-9382 ISSN 2508-9382 . 127-110, 2018.
- [10] HAIED Nadjib, “Eau et développement,” Université Ziane Achour Djelfa, 2022.
- [11] J. B. Kartic Bera, “Cartographie du potentiel des eaux souterraines dans le bassin versant de Dulung à l’aide de la télédétection et Techniques SIG, Bengale occidentale, Inde,” J. Int. la Rech. Sci., 2013.
- [12] N. S. . C. N. and S. Magesh, “Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, GIS and MIF Techniques. Geoscience Frontiers,” pp. 189–196, 2012.
- [13] P. K. Rai, P. Singh, V. N. Mishra, A. Singh, B. Sajan, and A. P. Shahi, “Geospatial approach for quantitative drainage morphometric analysis of varuna river basin, India,” J. Landsc. Ecol. Republic), vol. 12, no. 2, pp. 1–25, 2020, doi: 10.2478/jlecol-2019-0007.
- [14] A. Laabidi, A. El Hmaidi, L. Gourari, and M. El ABASSI, “Apports Du Modele Numerique De Terrain Mnt A La Modelisation Du Relief Et Des Caracteristiques Physiques Du Bassin Versant Du Moyen Beht En Amont Du Barrage El Kansera (Sillon Sud Rifain, Maroc),” Eur. Sci. Journal, ESJ, vol. 12, no. 29, p. 258, Oct. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n29p258.
- [15] Miller, . Miller, V. C. A Quantitative Geomorphic Study Of Drainage Basin Characteristic In The Clinch,Mountain Area, Verdinia And Tennessee. 1953.
- [16] B. Brahim, B. Larbi, D. Abdallah, and S. Driss, “Utilisation Du Sig Dans L’analyse Morphometrique Et La Prioritisation Des Sous-Bassins Versants De Oued Inaouene (Nord-Est Du Maroc),” Eur. Sci. Journal, ESJ, vol. 12, no. 6, p. 266, Feb. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n6p266.
- [17] F. Cheikh, D. Sidy, and F. Guilgane, “ANALYSE MORPHOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE DU SOUS-BASSIN VERSANT DU NIAOULE (BASSIN DE LA

- GAMBIE) A L' AIDE DE TECHNIQUES SIG,” Alger. J. Arid Environ., vol. 54, pp. 54–75, 2021.
- [18] D. . M. G. A. & W. J. . Gray, “Energie, evaporation et évapotranspiration. In: Manuel des Principees d'Hydrologie,” Cons. Natl. Rech. du Canada, Ottawa., 1972.
 - [19] Wahiba Menad, “Risques de crue et de ruissellement superficiel enm'etropole m'editerran'eenne : cas de la partie ouest duGrand Alger,Thèse de doctorat,” Universit'é Paris-Diderot, Paris, 2013. [Online]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00787142>
 - [20] Strahler, “A. Quantitative Analyses Of Water Shed Geometry.Transactions Of American Geophysical Union,” pp. 913. – 920, 1957.
 - [21] DJELLOULI Fayçal, Cours UEF 2.2.1 Intitulé :HYDROLOGIE. ELBAYDH, 2020.
 - [22] Horton R, “Hydro Physical Approach To Quantitative Morphology.Bulletin Of The Geological Society Of America,” vol. 257_370, 1945.
 - [23] K. Moharir, C. Pande, A. M. Varade, and R. Pande, “Morphometric analysis in Koldari watershed of Buldhana district (MS), India using geoinformatics techniques,” 2017. [Online]. Available: www.nrsc.gov.in
 - [24] Kouedjou Idriss.Anaba Banimb Robert, “ANALYSE MORPHOMETRIQUE DU BASIN VERSANT DE LA MENOUA POURUNE MEILLEURE GESTION DES RISQUES MORPHOHYDROLOGIQUES.MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE MENOUA WATERSHED FOR A BETTERMANAGEMENT OF MORPHOHYDROLOGICAL RISKS,” Am. J. Innov. Res. Appl. Sci., 2021.
 - [25] BOULARES SALMA et ZAOUI SARRA, “ETUDE HYDROCHIMIQUE ET L'IMPACT DELA SALINITE SUR LES EAUX SOUTERRAINESDE LA ZONE NORD-EST DE BOUSSAADA-WILAYA DE M'SILA, mémoire de master,” UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, M'SILA, 2021.
 - [26] Mahmoud M Talal, “analyse morphométrique du bassin Vallée de Qena . ,” Univ. d'Helwan - Fac. des arts, géographie SIG, étudiant diplômé, 2018.
 - [27] Schumm, “S. A. Evolution Of Drainage System And Slope In Badlands Of Perth Amboy. New Jersey Geophysical Union,” pp. 913–920, 1956.
 - [28] M. ROCHE, “Hydrologie De Surface. Paris, Gauthier - Villars,” p. 430, 1963.
 - [29] A.Melton M, “The Geomorphic And Paleoclimatic Significance Of Alluvial Deposits In Southern Arizona. Journal Of Geology,” pp. 1–38, 1965.
 - [30] S. . Schumm, “Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey,” Bull. Geol. Soc. Am. 67, 597-646. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597EODSAS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597EODSAS]2.0.CO;2), 1956.
 - [31] R. . Horton, “Drainage-Basin Characteristics. Transactions American Geophysical Union, 13, 348-352.,” 1932.
 - [32] R. F. and S. S. . Hadley, “Sediment Sources and Drainage Basin Characteristics in Upper Cheyenne River Basin. US Geological Survey Water-Supply Paper 1531-B, 198,” 1961.
 - [33] R. Horton, “Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology.,” 1945.
 - [34] S. Schumm, “Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains,” Geol. Soc. Am. Bull, 1963.
 - [35] Roche Marcel, “Hydrologie de surface,” Paris Gauthier-Villars ; ORSTOM, 430 p, 1963.
 - [36] A. Strahler, “Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. In: Chow, V., Ed,” Handb. Appl. Hydrol. McGraw Hill, New York, 439-476.etin, 74, 10891100., 1964.
 - [37] A. [55] Faniran, “The Index of Drainage Intensity—A Provisional New Drainage Factor.,” Aust. J. Sci. , no. 31, 328–330, 1968.
 - [38] K. Smith, “Standards for Grading Textures of Erosional Topography.,” Am. J. Sci. , no. 248, 655-668., 1950.
 - [39] DUBIEF J, “ Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara,” Thèse Dr. d'État, Univ. d'Alger, 1953.
 - [40] B. M. Hichem and M. Bachir, “Apport du SIG et l'MNT-SRTM à l'étude physiographique d'oued M'zab (Ghardaïa), mémoire de master,” 2019.
 - [41] BOUKHETTA Abdessalam. SAMMOUNE Mohammed., “Support de décision spatiale pour la gestion desressources en eau de la Value de Ghardaïa, mémoire de master,” Ghardaïa,. 2020.

- [42] OULED SIDI AMOR Tayeb, "Vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappesuperficielle de la vallée du M'zab ,mémoire de master," OUARGLA, May 2016.
- [43] Youcef HAKIMI, "Préservation des ressources hydriques dans la valléedu M'Zab – Cas de l'Oasis de Beni-Isguen _ Programme d'actions concertées des oasis (PACO 4)," GHARDAIA, 2021.
- [44] "tableau des dangers.Direction De La Protection. Ghardaïa," 2019.
- [45] Rostom SIOUSSIOU, "Le bassin versant du M'zab, région méditerranéenne hyperaride (Algérie) : ressources en eau, risques et gestio," Ingénieur Hydraul. Ghardaïa.
- [46] 2 • Abdelkrim Hazzab3 Toumi Slimane1.Mohamed Sekkoum1.Kheira Yamani1, "Mapping of vulnerability of flooded area in arid region. Case study: area of Ghardai'a-Algeria," Springer Int. Publ. Switz. , no. DOI 10.1007/s40808-016-0183-x, 2016.
- [47] Mansour ACHOUR, "VULNÉRABILITÉ ET PROTECTION DES EAUXSOUTERRAINES EN ZONE ARIDE :CAS DE LA VALLÉE DU M'ZAB(GHARDAIA – ALGÉRIE) , mémoire Magister," FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE, DE GÉOGRAPHIE ET D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, ORAN, 2014.
- [48] A.N.R.H, "GHARDAIA," 2022.
- [49] M elle DAHOU Fadila, "Etude des sols alluvionnaires de Oued Metlili, mémoire de master," FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE, OUARGLA, 2014.
- [50] benferhat, CHAPITRE V : PRESENTATION DU CONTEXTE D'ETUDE: LE MZAB. 2010.
- [51] Bouhoun Ali Mohammed Houache Bakir, "Contribution des Système D'InformationGéographique (SIG) à la modélisation d'un réseaud'assainissement : Application sur la ville de Ghardaïa, mémoire de master," Faculté des Sciences et Technologies , Ghardaïa, 2019.
- [52] O.N.M GARDAIA, "La station météorologique la plus proche de la vallée du M'Zab c'est celle de l'O.N.M (Office National de Météorologie)," 2020.
- [53] Ahmed Hamel.Said Hanichi, "Etude Hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de larégion de METLILI (Wilaya de Ghardaia), mémoire de master," 2020.
- [54] MOHAMED ABDALLH BEKAH AHMED, "Contribution a l'analyse des eaux albiennes de la région de Ghardaia et classification de ces eaux suivant les diagrammes de potabilité," 2018.
- [55] semahi khadija, "Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométries : cas du bassin versant d'Oued M'Zi MEMOIRE master," Univ. Amar Thelidji-Laghouat , 2020.
- [56] H. Zaki, M. Benlyas, Y. F. Zegzouti, and M. Bouachrine, "Méthodologie générale d'une étude ACP : Généralités, concepts et exemples Revue Interdisciplinaire Vol1, n°1," 2016. [Online]. Available: <https://help.xlstat.com/>.
- [57] T. W. Anderson, "Asymptotic theory for principal component analysis. Annals of Mathematical Statistics ," vol. 34, 122–148, 1963.
- [58] Mr ROUIDJALI Mohammed Amine- Mr CHAIMI Abdelkrim, "Détection des défauts basés sur l'Analyseen Composantes PrincipalesApplication à un Four électrique, à unGroupe électrogène et à une Chaudière, mémoire de master," BOUMERDES, 2017.
- [59] "L'analyse en composantes principales en pratique," in Module 4 : L'ACP en pratique, Accessed: Jul. 25, 2022. [Online]. Available: <https://datascientest.com/acp>
- [60] Faye, "Pages de 4_10_Faye , Cinq Continents Volume 4, Numéro 10, 2014, p. 80-108," 2014.
- [61] Alboukadel Kassambara, "Méthodes des Composantes Principales dans R: Guide Pratique," Stat. Tools High-Throughput Data Anal., 2017.