



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

DÉPARTEMENT de GENIE CIVIL

### MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par : SEMAHI KHADIDJA

MASNA HALIMA

DOMAINE : Sciences et Technologie

FILIERE : Hydraulique

OPTION : Ressources Hydrauliques

### Thème :

**Caractéristique d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morpho-métriques : cas bassin versant d'Oued M'Zi (laghouat)**

### Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Djehiche Abdelkader	Pr	Président
Guidoum Azzeddine	MCB	Examineur
Hamlat Abdelkader	MCA	Rapporteur

Promotion : 2020

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous tenons de remercier le bon dieu pour m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour réussir et de m'avoir éclairci le chemin tout au long de ma vie.

À la mémoire de mes chers professeurs, aucun remerciement n'exprimera l'estime, tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense respect que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui grâce à votre patience et vos innombrables sacrifices.

Tous mes respects et ma reconnaissance vont à mes familles, source de ma motivation et de mes espoirs, je leur dédie mon travail.

Je remercie infiniment mon encadreur Dr HAMLAT ABDELKADER qui m'a beaucoup aidé tout au long de mes études, Je remercie évidemment le Président DJEHECHE ABDELKADER et L'examinateur GUIDOUM AZZEDDINE pour avoir accepté d'évaluer mon travail,

Mes sincères remerciements vont également à et Monsieur SAKOUM MOHAMED le chef département de Génie civil et Hydraulique et tous mes autres professeurs.

Je n'oublie pas non plus mes amis ou plutôt mes sœurs qui m'ont toujours encouragé et aider dans cette étude. A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont encadré, à tous ceux qui m'ont encouragé, merci.



**Dédicace**

*Au nom du Allah le clément le miséricordieux*

*Je dédie ce modeste travail à mes parents:*

*À mes très chers parents ma Mère et mon Père  
pour leur Patience, leur Amour, et leur Soutien  
et leurs Encouragements.*

*À mes frères*

*À ma collègue Khadidja Semahi, avec qui vous  
avez partagé les efforts de ce travail*

*Sans oublier tout ma famille Masna et Laameche  
et à ma sœur Fairouz.*

*À mes Amies et Mes Camarades*

*Et, à Tous ceux qui m'ont Aidé et Encouragé  
Tout au Long de mes Études.*



**DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la  
hauteur de*

*L'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu  
leur procure Bonne santé et longue vie.*

*À celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au  
long de*

*Ce projet : ma sœur SEMAHI HALIMA,*

*Et bien sûr sans oublier mon frère et mes sœurs et mes  
amis que j'aime.*

*Et À mon binôme MASNA HALIMA.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour  
que ce Projet soit possible, je vous dis merci.*

## RESUME :

L'abondance ou la pénurie des ressources en eau superficielle, à certains moments, dans un bassin versant, sont étroitement liées à des caractéristiques comme sa superficie, sa morphologie, les conditions climatiques dont il bénéficie (Evapotranspiration (ETP), pluie), l'importance des aquifères. Le bassin versant d'Oued M'zi est un hydro-système du domaine semi-aride dans sa partie nord et aride dans sa partie sud dont les altitudes varient de 750 m (au niveau de l'exutoire) à 1593 m (le massif de Djebel Amour-Aflou-).

Cet article 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'zi. La méthodologie a consisté à un traitement des paramètres morpho-métriques pour les différents sous-bassins d'Oued M'zi par une analyse en composantes principales, afin de déterminer les affinités entre ces sous bassins et déduire les paramètres les plus caractéristiques.

Le bassin hydrographique a été caractérisé en utilisant des techniques de géo-traitement dans les SIG à l'aide du (ArcGis) et l'analyse en composante principale (ACP) à l'aide du (XLSTAT) ; 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.

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. La méthode a été appliquée à 03 individus (sous-bassins versants) et 19 variables. Cette analyse a permis de mettre en évidence l'interrelation entre les différents paramètres physiographiques et l'individualisation des sous-bassins. Le premier composé d'Oued M'zi amont et d'Oued M'zi aval occupant tous les deux des une superficie largement supérieure à celle des autres bassins. Le second groupe est formé par sous bassin versant d'Oued Messaad : bassins de rive gauche.

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'zi

## Abstract

Scarcity and abundance of surface water resources in a watershed at certain times, are closely linked to basin characteristics such as its surface area, its morphology, the climatic conditions from which it benefits (evapotranspiration (ETP), rainfall), importance of aquifers. The Oued M'zi basin is a hydro-system, semi-arid domain in its northern part and arid in its southern part whose altitudes vary from 750 m (at the outlet) to 1593 m (the massif of Djebel Amour-Aflou-).

This thesis aims to analyze the correlation between morphometric parameters and their influence on the hydrology of the Oued M 'zi basin. The methodology consisted of processing the morphometric parameters for the different sub-basins of Oued M'zi using a principal component analysis (PCA), and GIS in order to determine the affinities between these sub-basins and to deduce the most characteristic parameters.

Morphometric analysis of Mzi wadi basin makes it possible to explore the interrelation between the hydrological parameters and the geomorphological characteristics, and the explanatory variables which serve as support for a classification of the watershed into homogeneous zones.

Principal component analysis, or PCA, it is a method of reducing the number of variables allowing the geometric representation of observations and variables. This reduction is only possible if the initial variables are not independent and have non-zero correlation coefficients. The method was applied to 03 individuals (sub-basins) and 19 variables. This analysis made it possible to highlight the interrelation between the various physiographic parameters and the individualization of the sub-basins. The first composed of upstream of M'zi wadi bain and downstream of M'zi wadi basin, both occupying a much larger area than the other basins. The second group is formed by the sub-basin of Messaad wadi in the left bank of the whole basin. This study can be applied for soil and water management, as well as disaster prevention from similar river basins

**Keywords:** morphometry, principal component analysis (PCA), correlation, M'zi wadi basin

## ملخص

إن وفرة أو ندرة موارد المياه السطحية في بعض الاحيان في حوض التغذية ترتبط ارتباطا وثيقا بخصائص مثل مساحة السطح والظروف المناخية (التبخرن-تح و الامطار) واهمية طبقات المياه الجوفية. إن نقطة تحول وادي مزي هي عبارة عن نظام هيدرومائي للمجال شبه الجاف الرطب في جزئه الشمالي وجاف في جزئه الجنوبي وتتراوح الارتفاعات فيه بين 750 م (على مستوى المصب) و1593 م (كتلة جبل عمور - افلو).

الهدف من هذا العمل هو تحليل العلاقة بين الخصائص المورفولوجية وتأثيرها على الهيدرولوجيا لحوض التغذية وادي مزي، بغية تحديد الاحواض الفرعية و ايجاد اوجه الترابط بين هذه الأحواض واستنتاج أكثر الاعدادات الأكثر خصوصية باستخدام تقنيات المعالجة الجغرافية في نظام المعلومات الجغرافية (ArcGis) وبواسطة تحليل العناصر الرئيسية (ACP) باستخدام (XLSTAT).

نظام تحليل المكونات الرئيسية (ACP) المتسلسل هو طريقة لتقليل عدد المتغيرات التي تسمح بالتمثيل الهندسي للملاحظات و المتغيرات ولا يمكن هذا التخفيض إلا إذا لم تكن المتغيرات الأولية مستقلة وكانت معاملات الارتباط غير صفرية.

ويمكن تطبيق هذه الدراسة لتسيير الأراضي والمياه، فضلاً عن منع الكوارث في أحواض التغذية المماثلة.

**الكلمات المفتاحية :** نظام تحليل المكونات الرئيسية ، حوض التغذية واد مزي ، خصائص مرفومترية

## Liste des abréviations

ETP : Evapotranspiration.

SIG : Système d'Information Géographique.

ACP : Analyse en Composant Principale.

ANRH : Agence Nationale des Ressource Hydraulique.

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission.

SBV: Sous Bassin Versant.

## LISTE DES TABLEAU

Tableau I.1	Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles...	9
Tableau I.2	Evaporation moyenne mensuelle .....	9
Tableau I.3	Durée d'enseuillements moyens mensuels .....	10
Tableau I.4	Vitesse du vent moyenne mensuelle.....	10
Tableau I.5	Fréquences des vents selon les directions principales et secondaires.....	11
Tableau I.6	Moyenne mensuelle et annuelle de la force du vent au sol.....	12
Tableau I.7	Humidité moyenne mensuelle.....	13
Tableau I.8	Nombre moyen de jours de grêle.....	13
Tableau I.9	Nombre moyen de jours de sirocco.....	14
Tableau I.10	Nombre moyen de jours de gelée blanche.....	14
Tableau I.11	Nombre moyen de jours d'orage.....	15
Tableau II.1	Liste des paramètres morpho-métriques utilisés.....	21
Tableau II.2	Paramètres morpho-métriques.....	28
Tableau III.1	Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho-métriques des SBV de Oued M'zi.....	34
Tableau III.2	Matrice de corrélation entre les variables morphométriques.	36
Tableau III.3	Corrélations entre les variables et les facteurs.....	37

## LISTE DES FIGURES

Figure I .1	Situation du bassin versant d'Oued M'Zi.....	4
Figure I .2	Modèle numérique du terrain de la zone d'étude.....	6
Figure I .3	Chronique des précipitations mensuelles (station de Laghouat).....	8
Figure I .4	La rose des vents.....	12
Figure I .5	Carte d'occupation du sol (FAO).....	16
Figure II .1	Organigramme de la méthodologie du travail.....	19
Figure II .2	Bassin versant d'Oued M'Zi.....	20
Figure II .3	Réseau hydrographique du bassin versant d'Oued M'zi.....	23
Figure II .4	La densité de drainage du bassin versant d' Oued M'zi.....	24
Figure III .1	Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho-métriques des SBV Oued M'zi.....	35
Figure III .2	Projection des individus du bassin versant Oued M'zi sur les plans factoriels 1et 2.	40
Figure III .3	Diagramme des contributions des paramètres morpho- métrique au niveau du bassin Oued M'zi sur les plans factoriels 1et2.....	40
Figure III .4	Projection des individus du bassin versant Oued M'zi sur les plans factoriels 1et 3.	41
Figure III .5	Diagramme des contributions des paramètres morpho- métrique au niveau du bassin Oued M'zi sur les plans factoriels 1et3.....	41

## SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Présentation de la région d'étude</b>	
Introduction .....	3
I.1 Contexte et cadre générale .....	4
I.2. Caractéristique Physico-géomorphologiques .....	5
I.2.1. Relief .....	5
I.2.2. Géologie de la zone d'étude.....	6
I.2.3. Climatologie.....	8
I.2.3.1. Pluviométrie .....	8
I.2.3.2.Température .....	9
I.2.3.3.Evaporation .....	9
I.2.3.4.Ensoleillement .....	10
I.2.3.5.Le vent et sirocco .....	10
I.2.3.6.Humidité relative de l'aire .....	13
I.2.3.7.La grêle .....	13
I.2.3.8.Le sirocco .....	14
I.2.3.9.La gelée blanche .....	14
I.2.3.10. Les orages .....	15
I.4. Sol et occupation de sol .....	15
Conclusion.....	17
<b>Chapitre II : Morpho-métrie du bassin versant de Oued M'Zi</b>	
Introduction.....	18
II.1 Méthode d'étude.....	19
II.2.Les paramètres linéaires.....	21

II.2.1.Le nombre du flux et l'ordre (Nu) et Longueur du flux (Lu).....	21
II.2.2.Rapport du flux (RI).....	22
II.2.3.Fréquence de flux (Fu).....	22
II.2.4.Densité du drainage (Dd).....	22
II.2.5.Texture du drainage (Td).....	24
II.2.6.Rapport de bifurcation (Rb).....	25
II.2.7.La longueur de l'écoulement de surface (Lo).....	25
II.3.Paramètres de forme.....	25
II.3.1.Facteur de forme (Ff).....	25
II.3.2.Rapport d'allongement (Ra).....	26
II.3.3.Rapport circulatoire (Rc).....	26
II.3.4.Coefficient de Compacité (Cc).....	26
II.4.Aspects du relief du bassin versant.....	26
II.4.1.Relief du bassin.....	26
II.4.1.Rapport du relief.....	27
II.4.2.Relief relatif.....	27
II.4.3.périmètre du bassin.....	27
II.4.4.Nombre de robustesse (Rn).....	27
Conclusion.....	29

### **Chapitre III : Analyse statistique des paramètres morphométriques.**

Introduction.....	30
III.1. Analyse des Composantes Principales (ACP) : Principe et définition	31
III.1.1.Définition.....	31
III.1.2.Principe de l'A.C.P.....	31
III.2. Interprétation des résultats.....	33

III.2.1. Analyse statistique des données physiographiques.....	<b>33</b>
A) Les valeurs propres .....	<b>33</b>
B) La matrice de corrélation.....	<b>34</b>
Conclusion.....	<b>41</b>
Conclusion générale.....	<b>43</b>

## INTRODUCTION GENERALE

---

Dans les bassins versants arides et semi-arides, la gestion durable des ressources naturelles (sol, eau et ressources écologiques) et la gestion des bassins versants nécessitent une bonne connaissance des paramètres morpho-métriques en termes de pente, système de drainage, topographie, géomorphologie et la lithologie à partir des cartes géologiques et leurs interrelations pour assurer une vie équilibrée pour les êtres humains dans n'importe quelle région.

Pour évaluer la façon dont un sous bassin réagit par rapport à l'écoulement et sa contribution à l'hydrologie du bassin, les paramètres morphologiques sont privilégiés du fait que 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 (altitudes moyennes) et le cours inférieur aux régions de plaines (faibles altitudes) (**Faye, 2014**). L'analyse morphométrique est une démarche importante pour la hiérarchisation des bassins versants même sans tenir compte de la carte des sols (**Biswas et al., 1999**). 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 (**Veltri et al., 1996**).

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 (**Baba-Hamed et Bouanan, 2016**).

Les paramètres morphologiques ont été obtenus à partir des travaux de (**Sow 2007**). Pour faire une étude statistique prenant en compte 19 variables sur 3 sous bassins, 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 (**Faye, 2014**).

Dans le cadre de cette étude intitulée « caractéristique d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morpho métrique : cas bassin versant de oued M'zi » on

## INTRODUCTION GENERALE

---

visent plusieurs objectifs qui sont :

Dans ce premier travail, nous nous limiterons à la caractérisation des aspects morphologiques (et morpho métriques) du bassin versant de oued M'zi, car nous considérons qu'ils jouent un rôle déterminant dans l'écoulement des bassins versants

Le présent travail est basé sur une ACP est une analyse statistique des caractéristiques morpho-métriques générales du bassin, un des facteurs stables de l'écoulement et donc de l'état actuel de l'environnement physique du bassin et leurs impacts sur l'écoulement. 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 soulevés : les ressemblances entre sous bassins, les liaisons entre paramètres et les relations entre ces paramètres et l'écoulement.

# **Chapitre I :**

# **Présentation de la**

# **région d'étude**

## Introduction :

L'eau est, indispensable pour notre existence ; pour cela et vue au développement rapide que connaît notre secteur d'étude surtout la ville Laghouat les eaux souterraines et superficiels est nécessaire. Contrairement aux études faites précédemment tenant en compte seulement la vallée de l'Oued M'zi, dans ce modeste travail on a essayé d'étudier tout le bassin versant d'Oued M'zi de l'amont (Atlas Saharien Central,) jusqu'à la plateforme saharienne (Laghouat). Dans le cadre de cette étude intitulée " Caractéristique d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morpho-métriques : cas bassin versant de Oued M'Zi".

La région d'étude concernent la partie E-W de l'Algérie .Une synthèse des caractéristiques géographiques, hydrographiques ; climatiques, géologique et hydrogéologiques sera donnée dans le présent chapitre.

## I.1 Contexte et cadre générale :

Le bassin versant de L'Oued M'Zi d'orientation E-W appartenant à la wilaya de Laghouat, chevauche deux domaines géologiques assez différents avec au Nord les reliefs escarpés de l'Atlas saharien central ou Djebel Amour et au Sud la plate- forme saharienne, il est limité (**Icosium Forage et Engineering Services 1997 ; Aissaoui 2016**)

- À l'Est et à l'Ouest respectivement par les longitudes 3°1' Est et, 1°56Est.
- Au Nord et au Sud par les latitudes Nord 34°16' et 33°24'.

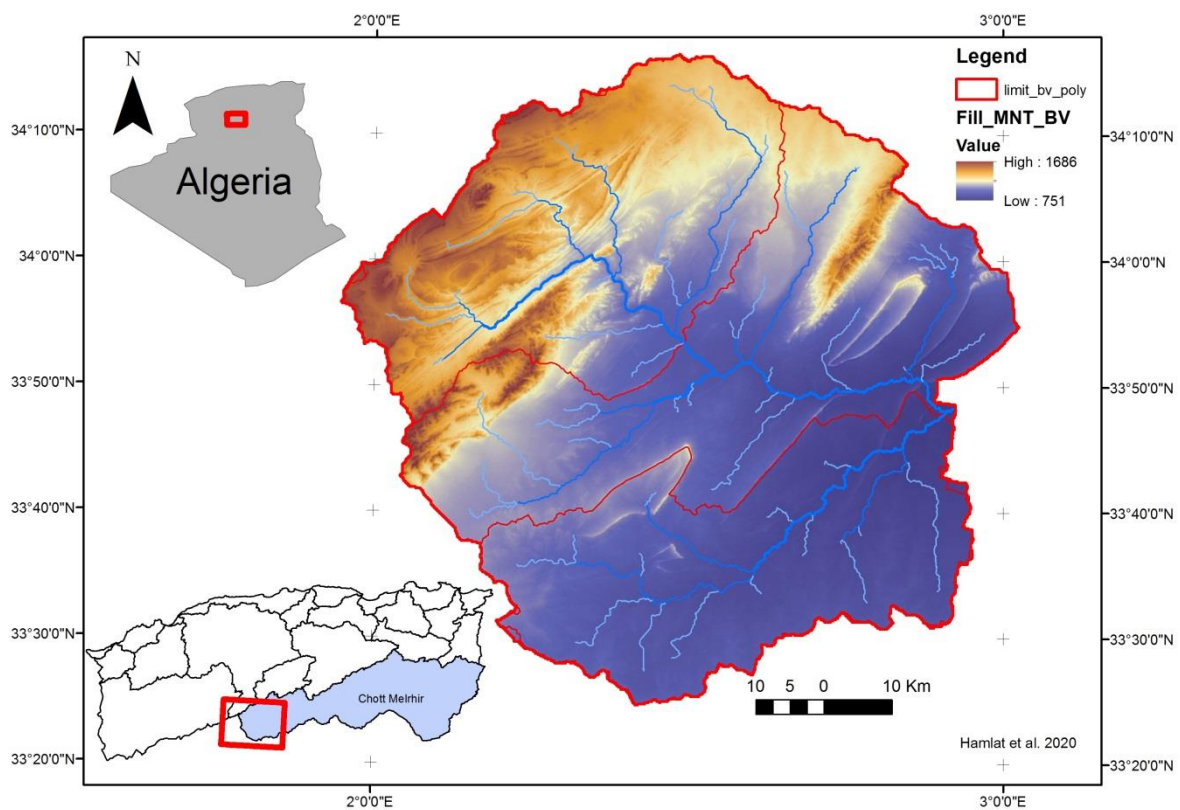


Figure I.1 : Situation du bassin versant de Oued M'Zi

## I.2. Caractéristiques Physico-géomorphologiques :

### I.2.1. Relief :

Le relief de la région du groupement de la wilaya de Laghouat est en général plat à pente moyenne variable, constituée d'unités morphologique suivantes (**HPO 2012**):

- La chaine montagneuse « Dakhla et Djebel Lahmar » au Nord ;
- Le plateau saharien au Sud et Sud-Est ;
- Le Djebel kheneg au Sud-Ouest.

Les altitudes caractéristiques montrent que le bassin de l'oued M'zi est constitué par deux unités orographiques bien distinctes, il s'agit (**Aissaoui 2016**):

- Des reliefs escarpés de l'Atlas saharien central où l'altitude de fréquence  $\frac{1}{2}$ (50) des sous-bassins (Mellah, Morra, Meska , Oued M'zi amont) est supérieure à 1222 mètres.
- De la plate-forme saharienne où l'altitude moyenne est inférieure à 920 mètres (Messaad, M'zi aval)

Pour l'ensemble des sous – bassin versants de l'Oued M'zi l'altitude de fréquence  $\frac{1}{2}$  (50%) est supérieure à l'altitude moyenne. On note donc une dissymétrie vers les fortes altitudes qui pourrait se traduire par une influence du relief sur les paramètres climatiques (précipitations, Températures),

Les constatations ci-dessus montrent que les variations de pente globale entre le M'zi amont et le M'zi aval localises entre deux unités assez différentes, au point de vue orographique (atlas saharien et plate-forme saharienne) sont à l'origine des inondations à l'aval de la ville de Laghouat lors des crues de l'Oued M'zi.

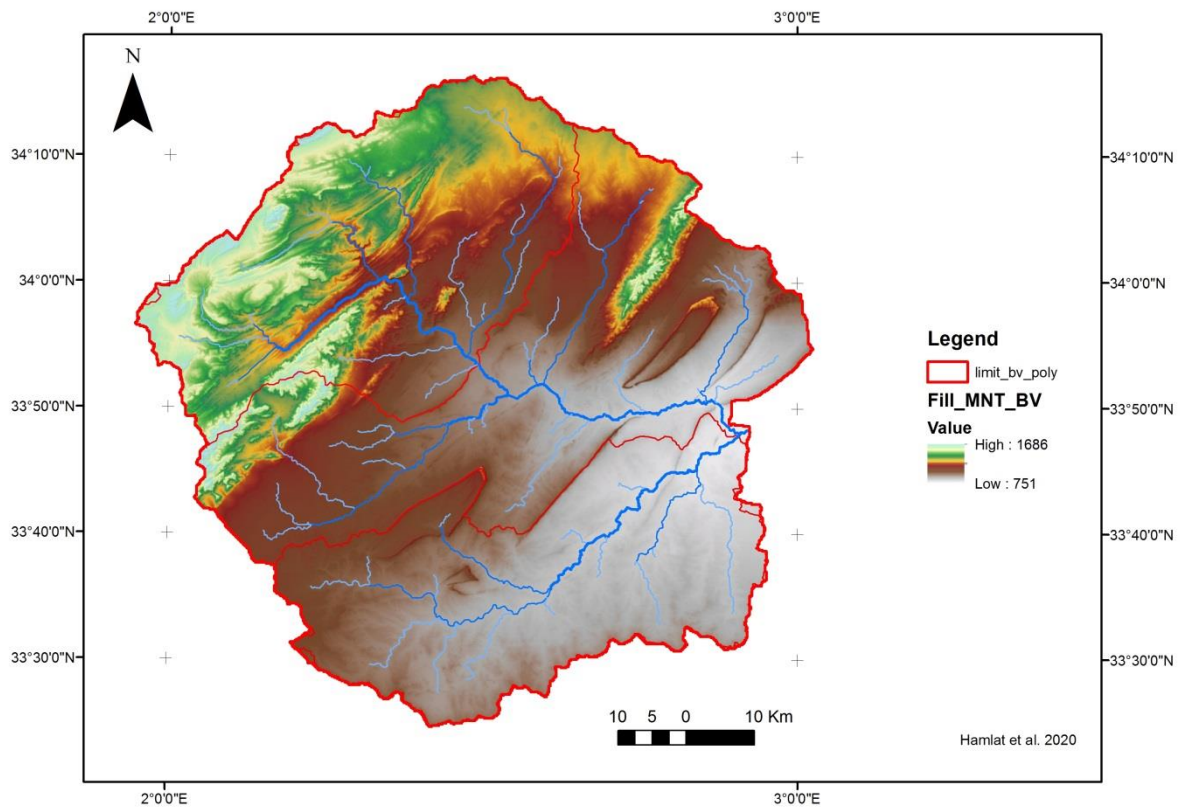


Figure I.2: Modèle numérique du terrain de la zone d'étude

### I.2.2. Géologie de la zone d'étude :

Le territoire de la wilaya de Laghouat s'étend sur deux domaines géologiques nettement différents, notamment sur le plan de la structure et de l'évolution (**Perron, 1883; Ritter, 1902; Emberger, 1960; IAP, 1972 ; Hannachi, 1981; Houyou 2015**), ces domaines sont :

- L'Atlas Saharien au nord, formé par les monts des Ammours et les monts des Ouled Nails ;
  - La plateforme Saharienne au Sud, formée par un ensemble de plateaux subtabulaires diversifiés selon leurs structures, leurs positions et la nature de la roche qui les constituent.
- Ces plateaux sont communément désignés par les noms arabes (Hmada et Erg).

La description géologique de la wilaya de Laghouat effectuée par ces auteurs a permis d'attribuer les formations de la région au Mésozoïque et au Tertiaire Quaternaire, on distingue:

Le trias : n'apparait qu'à la faveur de quelques accidents locaux, observables dans la région Nord-Ouest de la wilaya.

Le Secondaire : est représentée par le Jurassique qui n'est observable que dans sa partie supérieure au cœur d'anticlinaux (Djebels et Kefs) à allongement Sud-Ouest Nord- Est dans la région Nord de la wilaya, tels que le Djebel Lazreg, le Djebel Zerga, le Djebel Zlarh, et la partie orientale du Djebel Mimouna.

Le Tertiaire : est surtout formé par le Crétacé qui couvre la majeure partie de la wilaya. Le crétacé inférieur surtout gréseux occupe de vastes dépressions entre les anticlinaux. Le crétacé supérieur évaporitique et carbonaté constitue l'essentiel des synclinaux perchés en « Tabula », dans le Djebel Milok, le Dakhla, le Djebel Gourou, le Sidi Okba au nord-ouest de la wilaya.

Le Quaternaire : représenté par la Haute Surface et par un système de glacis (Moulouyens). Constitué de terrains qui comprennent des dépôts d'origines très diverses. Il en est de formation marine, d'autres de formation lacustre, de formation fluviale ou de formation continentale (**Perron ,1883 ; IAP, 1972**). Ces dépôts se montrent à des altitudes très variées, et il paraît en avoir été formé à de nombreuses époques successives, ou plutôt ils se sont formés à peu près sans discontinuité, et leur formation continue même de nos jours (**Soleilhavoup, 2011**) .

La vallée de l'Oued M'zi est occupée par un remplissage des alluvions fluviale. On y distingue deux séries :

- Le Quaternaire ancien: formé d'éléments grossiers, mal arrondis avec encroutement calcaires, leurs altitudes au-dessus des talwegs est de 3 m.
- Le quaternaire récent : formé par des alluvions calcaires limono-sableuses, situées à 1m au-dessus des talwegs.

Les dépôts de la vallée de l'Oued M'zi sont grossiers (graviers, galets et sables), de faible épaisseur, surtout aux cluses du pont de Laghouat et du Kef Seridja, Rocher des chiens et au Ksar Kabeg ou le substratum remonte pour former un seuil (**Hannachi 1981**).

Dans le domaine atlasique saharien le Quaternaire surmonte directement les terrains secondaires, contrairement au domaine saharien. les alluvions quaternaires reposent sur les dépôts détritiques tertiaires.

### I.2.3. Climatologie :

La région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, notamment, le passage du régime climatique méditerranéen au climat saharien caractérisé par des influences desséchantes qui règnent, pendant une partie de l'année, sur le Sahara Septentrional (**Aissaoui 2016**).

Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas Saharien et formant une barrière aux influences méditerranéennes accentue les contrastes climatiques.

#### I.2.3.1. Pluviométrie :

La région a connu une grande période de sécheresse durant la décennie écoulée. La pluviométrie est irrégulière et insuffisante d'une année à une autre. Il est à signaler que la saison automnale est relativement la plus pluvieuse avec 31% du cumul annuel (**HPO 2012**).

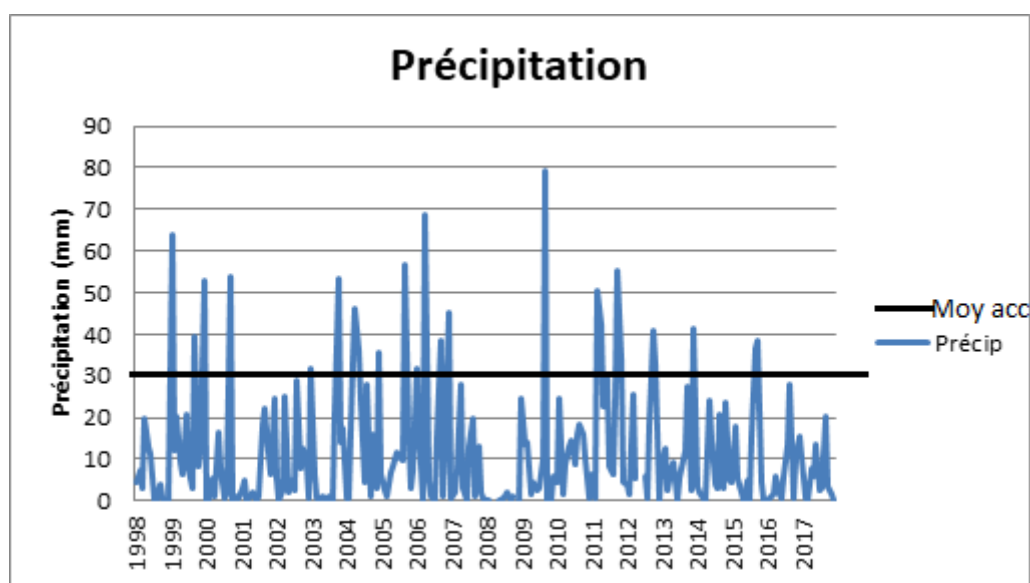


Figure I.3 : Chronique des précipitations mensuelles (station de Laghouat)

### I.2.3.2. Température :

**Tableau I.1 : Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles  
(°C) (BET SOTHYR 2007)**

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	année
<b>T°moy<sub>max</sub></b>	12,5	15,1	18,4	22,8	26,2	31,8	36,0	35,2	30,0	24,0	16,9	13,0	23,5
<b>T°moy<sub>min</sub></b>	2,3	3,6	6,5	9,4	13,2	18,1	21,2	20,4	16,8	11,6	5,9	3,1	11,0
<b>T° max abs</b>	21,7	26,3	29,9	33,0	35,9	39,6	42,2	42,9	38,1	33,8	27,0	22,0	42,9
<b>T° min abs</b>	-3,6	-3,6	-0,2	1,3	3,0	10,0	15,0	13,0	6,7	1,1	-2,3	-5,0	-5,0
<b>T°moy</b>	11,8	11,8	13,3	15,0	18,3	21,6	24,6	26,2	24,1	20,7	16,2	13,0	18,0

Il est à noter, que pour les minima absolus entre le mois d'octobre et avril, les températures moyennes sont inférieures à zéro°C. Pour les autres mois, elles ne dépassent pas 13°C. Alors que les maxima absolus sont supérieurs à 30°C, entre les mois de Mai et octobre (06mois) et pour le reste, les températures sont comprises entre 21,7°C (Janvier) et 29,9°C (Mars).

### I.2.3.3. Evaporation :

L'estimation de ce paramètre a été faite en utilisant les données disponibles par l'ANRH concernant cette région. La valeur moyenne annuelle de l'évaporation estimée à **1523**.

**Tableau I.2 : EVAPORATION moyenne mensuelle (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Jan	Fév	Ma r	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
<b>Evaporation (mm)</b>	9.11	12.07	25.4 3	35.1	62	85.6	108.5	95.2	65.0 8	40.11	19.52	11.73	569.5

#### I.2.3.4.Ensoleillement :

Le tableau I.3 donne la durée d'ensoleillement durant les mois de l'année avec la valeur annuelle qui est de l'ordre de 2723heures.

**Tableau I.3 : DUREE d'ensoleillements moyens mensuels (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Ja n	Fé v	Ma r	Av r	Ma i	Jui n	Jui l	Ao û	Se p	Oc t	No v	De c	An
<b>Durée d'ensoleillement (heure)</b>	370	201	76	60	44	65	120	158	299	376	512	446	2723

#### I.2.3.5.Le vent et sirocco :

Les vents de la région de LAGHOUAT sont en général modérés, puisque la moyenne de la vitesse des vents est de 4 m/s.

**Tableau I.4 : Vitesse du vent moyenne mensuelle (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Jan	Fév	Ma r	Avr	Mai	Jui n	Juil	Aoû	Se p	Oct	Nov	Dec	An
<b>Vent (m/s)</b>	2,3	2,7	7,3	8,0	4,9	4,9	5,9	4,7	2,7	1,1	1,3	2,0	4,0

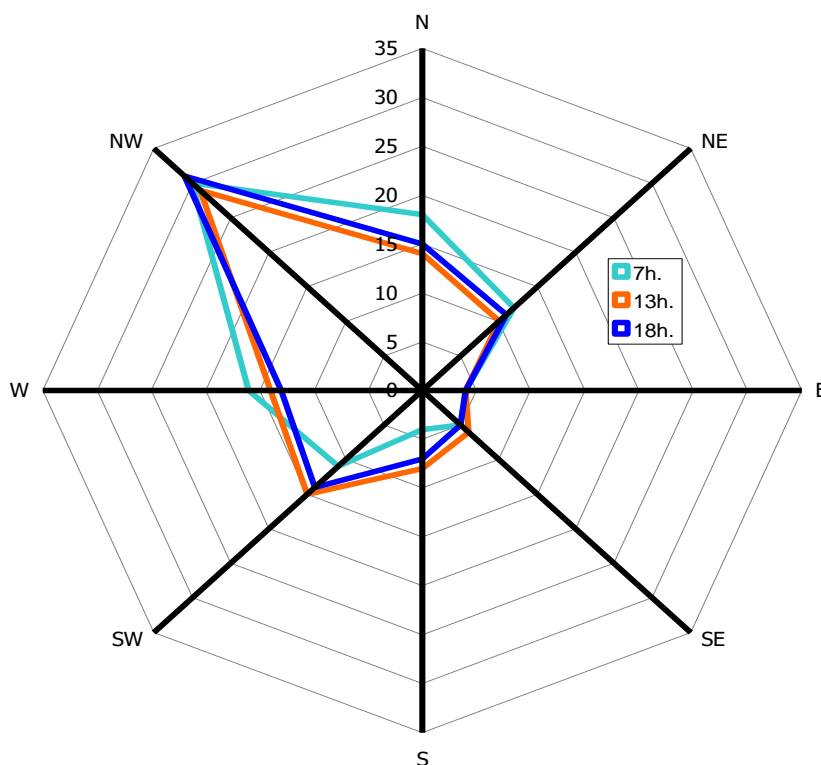
**Tableau I.5 : FREQUENCES des vents selon les directions principales et secondaires (BET SOTHYR 2007)**

Heu re	7h.								13h.								18h.							
	N	N E	E	S E	S	S W	W	N W	N	N E	E	SE	S	S W	W	N W	N	N E	E	S E	S	S W	W	NW
<b>Jan</b>	15	8	3	4	4	9	16	41	16	10	2	3	3	12	14	40	16	9	2	3	3	11	14	<b>42</b>
<b>Fév</b>	15	8	4	4	2	12	18	37	14	10	4	5	3	9	17	38	13	11	3	4	4	9	14	<b>42</b>
<b>Mar</b>	17	14	3	3	4	13	14	32	14	13	3	4	4	9	14	29	15	13	2	4	3	18	12	<b>33</b>
<b>Avri</b>	17	8	4	4	3	11	16	37	12	6	4	4	8	18	15	33	12	7	3	4	6	18	14	<b>36</b>
<b>Mai</b>	21	18	7	6	4	9	9	26	15	15	7	7	7	12	11	26	17	15	5	6	7	13	11	<b>26</b>
<b>Juin</b>	24	18	7	7	3	8	12	21	14	19	6	7	7	15	10	22	16	16	6	6	7	15	10	<b>24</b>
<b>Juill</b>	18	16	6	8	6	12	14	20	14	11	3	8	14	20	10	20	16	12	5	7	9	19	11	<b>21</b>
<b>Août</b>	18	14	5	8	4	11	18	22	13	8	4	9	13	17	16	20	14	9	4	8	13	16	15	<b>21</b>
<b>Sept</b>	16	14	4	5	7	12	22	20	12	14	5	10	13	18	14	14	12	17	5	7	13	17	14	<b>15</b>
<b>Octo</b>	19	12	4	3	5	9	20	28	16	10	4	5	11	14	14	26	16	10	4	6	9	13	17	<b>25</b>
<b>Nov</b>	15	10	3	3	4	12	18	35	12	8	3	5	7	14	14	37	14	9	4	4	4	15	12	<b>38</b>
<b>Déce</b>	16	4	1	2	4	10	19	44	15	5	2	3	5	10	17	43	14	4	3	2	3	9	18	<b>47</b>
<b>Ann</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>29</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>31</b>

Caractéristique d'un bassin versant par l'analyse stastique des parametres  
morphometriques : cas bassin versant de Oued M'Zi

---

Durant la période allant de septembre à février, les vents sont faibles variant entre 1,1 et 2,7 m/s. De mars à août, les vents sont soit assez forts à forts, avec un pic de 8 m/s en avril.



**Figure I.4 : La rose des vents**

**Tableau I.6 : Moyenne mensuelle et annuelle de la force du vent au sol  
(BET SOTHYR 2007)**

Mois	Jan	Fév	Mar	A vr	Mai	Jui n	Juil	Ao û	Sep	Oct	Nov	Dec	A n
Force du vent	2,1	2,1	2,0	1,8	1,7	1,7	1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	2,0	1,7

### I.2.3.6. Humidité relative de l'aire :

Il s'agit de l'humidité de l'air, mesurée par l'hygromètre placé dans un abri. Le tableau N°09 donne l'humidité relative aux différentes heures de la journée, elles ont été mesurées dans la station de LAGHOUAT.

**Tableau I.7 : Humidité moyenne mensuelle (BET SOTHYR 2007)**

	Heure	Mois												Année
		Jan	Fév	Ma r	Avr	Mai	Jui n	Jui l	Ao û	Sep	Oct	No v	Dec	
Humidité (%)	7h	80	72	70	57	55	48	43	43	60	66	75	80	62
	13 h	52	43	39	32	32	28	24	23	35	39	46	52	37
	18 h	60	46	41	35	34	28	26	24	37	42	49	59	40

Les mois les plus humides sont ceux de décembre, janvier, février et mars, alors que les mois de juin, juillet et août sont les moins humides.

### I.2.3.7. La grêle :

La grêle tombe presque exclusivement durant les mois de décembre à mars. On en constate très peu dans le mois de novembre et avril qui peuvent être considérés comme mois de transition entre les deux semestres chaud et froid et presque nulle pendant les mois d'été.

**Tableau I.8 : Nombre moyen de jours de grêle (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Jan	Fév	Ma rs	Avr	Mai	Jui n	Ju il.	Aoû t	Se p.	Oct	Nov	Déc	A n
Nombre de jours	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	1,1

### I.2.3.8. Le sirocco :

Le tableau I.9 donne le nombre moyen de jours de sirocco pour chaque mois et pour l'année. Le maximum de fréquence a lieu généralement en juin ou juillet.

**Tableau I.9 : Nombre moyen de jours de sirocco (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Jan	Fév	Mars	Av ril	Ma i	Jui n	Jui l	Ao ût	Se p	Oc t	No v	Dé c	An
Nombre de jours	0,0	0,1	0,4	0,6	0,6	1,3	1,8	1,2	0,2	0,1	0,0	0,0	6,3

### I.2.3.9. La gelée blanche :

On remarque que le maximum de fréquence de gelée blanche se produit un peu avant le minimum annuel de température.

**Tableau I.10 : Nombre moyen de jours de gelée blanche (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Jan	Fév	Mar s	Avr il	Mai	Juin	Jui l	Aoû t	Sep	Oct	No v	Dé c	An
Nombre de jours	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,2	3,2

On enregistre des fréquences de gelée blanche entre septembre et avril avec un nombre moyen de jours de gelée blanche par année égal à 3,2 jours.

### I.2.3.10. Les orages :

Le tableau I.11 donne le nombre moyen de jours d'orage du semestre chaud (mai à octobre) à ceux du semestre froid (novembre à avril). Le fait de grouper les par semestre froid et semestre chaud trouvera sa justification dans la variation annuelle du nombre des orages.

**Tableau I.11 : Nombre moyen de jours d'orage (BET SOTHYR 2007)**

Mois	Ja n.	Fé v.	Ma rs	Av ril	Ma i	Jui n	Jui l.	Ao ût	Se p.	Oc t.	No v.	Dé c.	Année	F/C
Nombre de jours	0,1	0,0	0,2	0,1	1,2	1,2	1,4	1,3	1,5	0,7	0,2	0,0	7,9	12,9

### I.4. Sol et occupation de sol :

Dans la partie qui couvre la wilaya de Laghouat, cinq classes de sols sont dispersées (sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, et sols des dayas), et dans lesquelles treize types de sols sont identifiés (**Houyou 2015**).

Les précipitations et l'altitude conditionnent en grande partie l'importance et la variété de la végétation ; on distingue sur les hautes plaines, parcours et alfa et une dégradation très poussée du couvert végétal. Par ailleurs, la zone montagneuse de l'atlas saharien demeure une région de l'arboriculture (foret et Maquis).

Par contre, dans la zone semi-aride (plateau saharien), et compte tenu de la qualité saline de ses sols, la flore est généralement inexistante.

Les domaines bioclimatiques et édaphiques confèrent à la wilaya de Laghouat trois types de végétation. La zone semi-aride supérieure et moyenne à 300 mm de pluie est caractérisée par une végétation forestière et matorral présente surtout sur les reliefs de l'Atlas Saharien. La végétation de type steppique est rencontrée sur les formations du Quaternaire dans les zones semi arides et arides. La limite inférieure de la zone aride correspondait à un brusque accroissement du taux des espèces saharo-arabiques dans la composition de la flore ; le taux des espèces sahariennes passe soudainement de 20 à 40 %, inversement le taux des espèces méditerranéo-steppiques diminue de 76 à 59 % par rapport à la partie méridionale de la zone aride. La limite sud de 100 mm correspond à l'apparition d'un couvert végétal diffus sur les regs et les glacis d'érosion ou les sols sont squelettiques. Sur substrat sableux, la végétation

peut conserver le mode diffus jusqu'à sous 50 mm de pluviosité moyenne annuelle ou même moins (**Houyou 2015**).

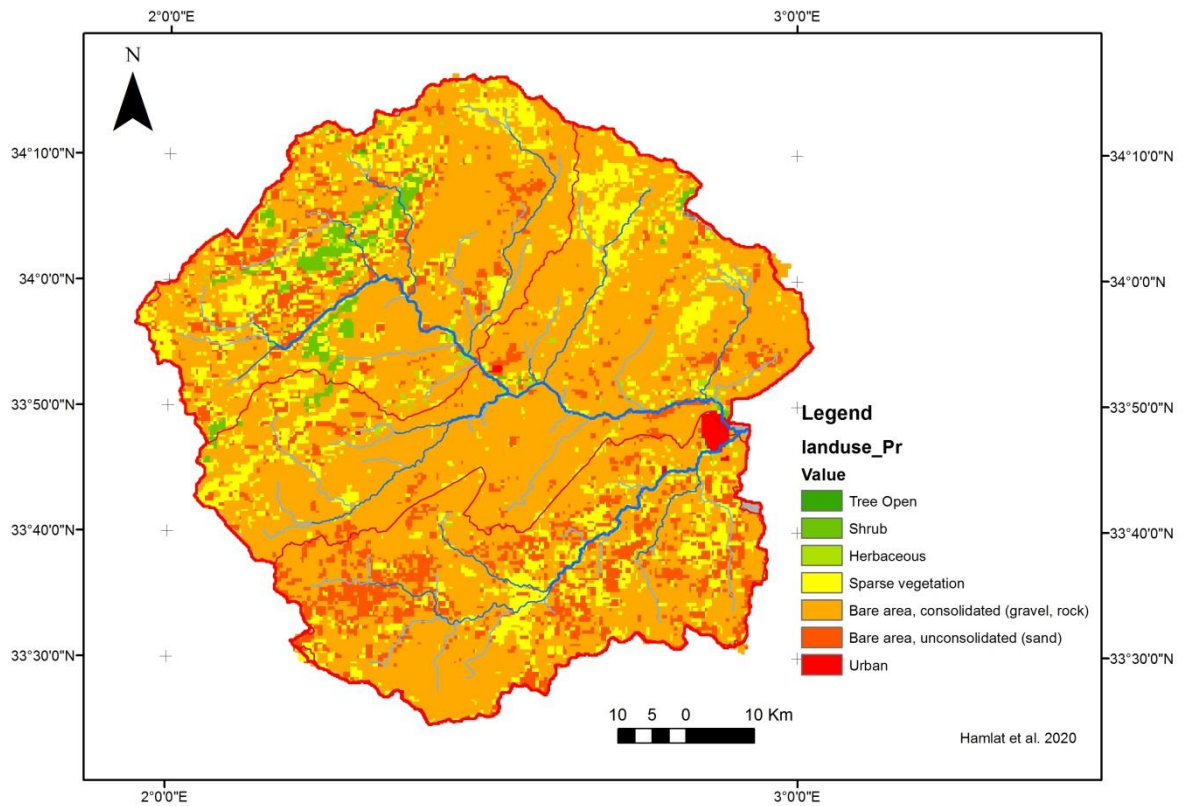


Figure I.5 : Carte d'occupation du sol ( FAO )

**Conclusion:**

Dans ce présent chapitre on a présenté la région d'étude dans son contexte général. On a donné un aperçu sur les différentes caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques.

On a constaté que le climat est très varié dans le sud-ouest de l'Algérie, les disparités des formations géographiques sont classées selon leurs intérêts hydrographiques, le relief est très contrasté et diversifié d'une région à l'autre.

**Chapitre II :**  
**Morpho-métrique du**  
**bassin versant de**  
**Oued M'Zi**

## Introduction :

Le bassin hydrologique ou bassin de drainage d'une rivière considérée en un point donné de son cours, représente l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée sur chacun de ses points se dirige vers un point commun appelé exutoire. Il comprend trois parties essentielles qui sont le bassin de réception, le canal d'écoulement et l'exutoire.

Cette étude s'est basée sur une série de paramètres morpho-métriques (descripteurs) obtenus sur un ensemble de sous bassins pour indiquer des paramètres résumant le mieux l'information portée par ces descripteurs, un bilan de liaison entre les paramètres, une représentation plane optimale des sous bassins, une classification des sous bassins selon les variables. L'analyse multidimensionnelle de l'analyse en composantes principales (ACP) des sous bassins versants étudiés a montré que les distinctions et les regroupements entre eux sont liés à leur appartenance à des contextes différents et à des caractéristiques physiques assez distinctes

Cette étude a comme objectifs spécifiques :

- Arriver à bien cerner les aspects morpho-métriques du bassin versant, ce qui permettrait sa meilleure gestion ou protection vis - à - vis de la dégradation spécifique du fait que le bassin versant est de soubassement sablonneux ;
- Circonscrire l'évolution de principales variables climatologiques, en l'occurrence la pluie et l'évaporation avec comme point de chute la dynamique hydrométrique, à savoir l'évolution de la limnimétrie de la rivière.

## II.1 Méthode d'étude :

Le nombre et la longueur des cours d'eau de chaque ordre, le périmètre, la longueur et la largeur du bassin, ont été calculées à partir d'un MNT de type SRTM en utilisant le logiciel ArcGIS 10.4. Ces paramètres sont utilisés pour calculer la densité de drainage, la fréquence de drainage, la forme, le facteur de forme, le rapport circulatoire, et le ratio d'allongement.

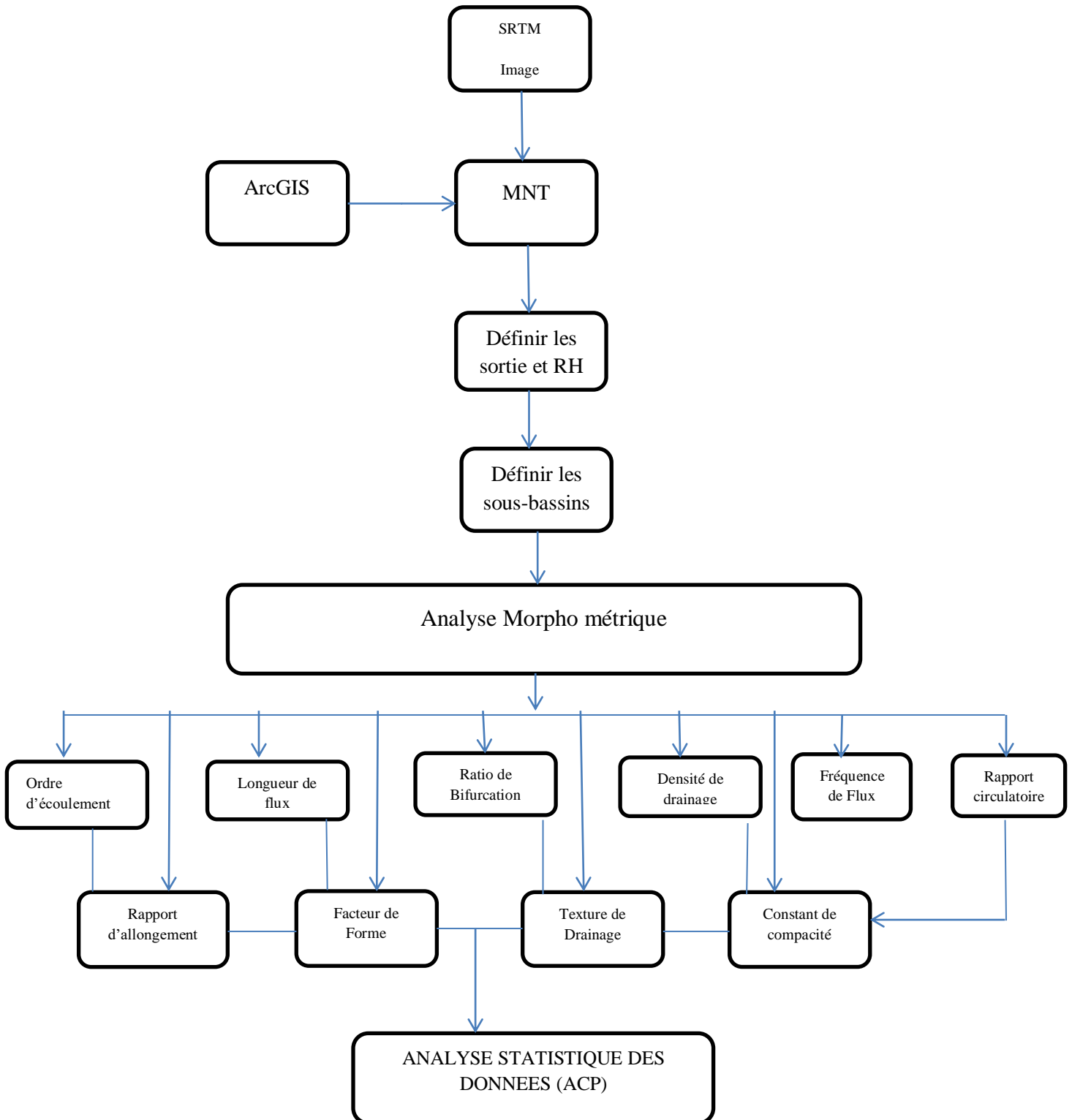
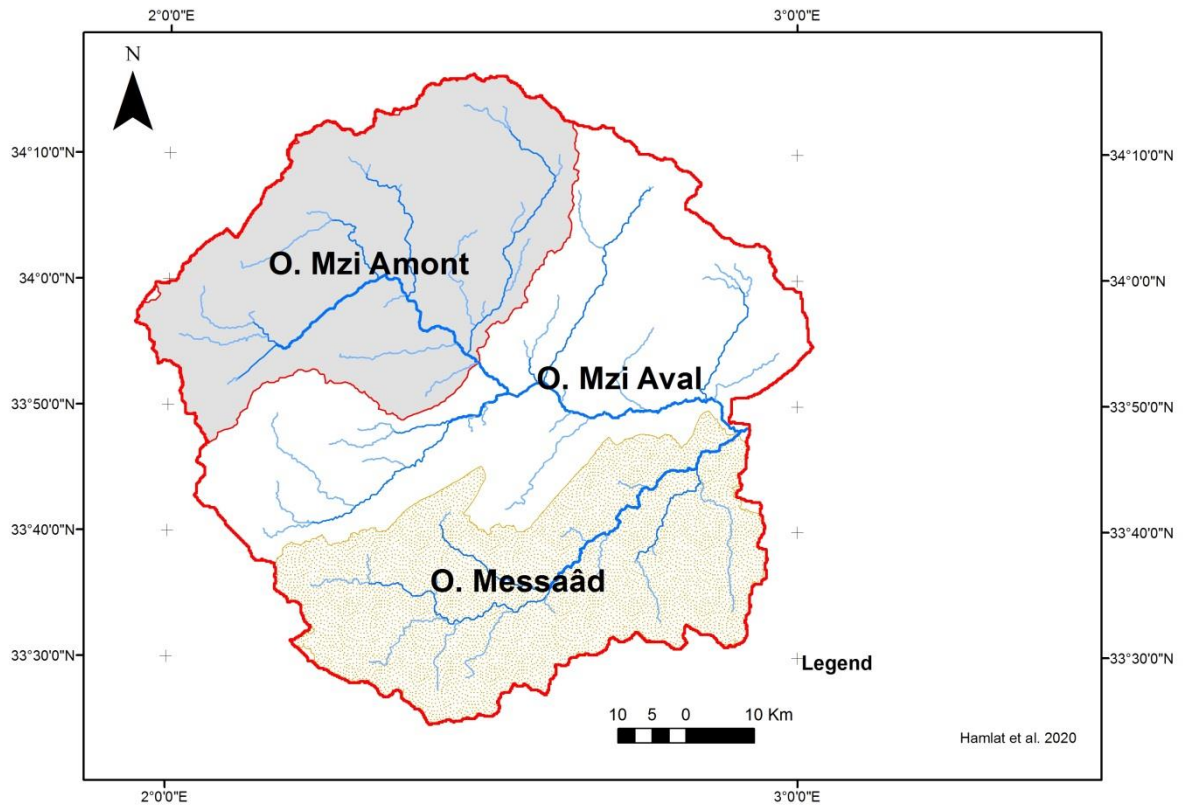


Figure II.1 : Organigramme de la méthodologie du travail.



**Figure II.2 : Bassin versant de Oued M'Zi**

Pour déterminer l'ordre de priorisation des sous-bassins versants de la zone d'étude on subdivise les paramètres morpho-métriques en trois classes (Tableau II.1) : **les paramètres linéaires**, **les paramètres de forme** et **les paramètres traitant l'aspect du relief** des sous-bassins versants.

**Tableau II.1 : Liste des paramètres morpho-métriques utilisés**

N°	Paramètres	Formules	Références
<b>Paramètres Linéaires</b>	Longueur du flux (Lu)	Longueur du flux	Horton, 1945
	Longueur moyenne de flux (Lsm)	$L_{sm} = L_u / N_u$	Strahler, 1964
	Flux rapport de longueur (RL)	$R_L = L_u / (L_u + 1)$	Horton, 1945
	Bifurcation ratio (Rb)	$(R_b) = N_u / N_{u+1}$	Schumm, 1956
	Rapport de bifurcation moyenne (RBM)	Rbm = moyenne des ratios de tout ordre de bifurcation	Strahler, 1964
	Densité de drainage (Dd)	$D_d = L_u / A$	Horton, 1945
	Drainage texture (T)	$T = D_d \times F_s$	Smith, 1950
	Fréquence de flux (Fs)	$F_s = N_u / A$	Horton, 1945
	Durée de l'écoulement de surface (Lo)	$L_o = \frac{1}{2} D_d$	Horton, 1945
<b>Paramètres de forme</b>	Rapport d'allongement (Ra)	$R_a = D / L$	Schumm, 1956
	Rapport de circularité (Rc)	$R_c = 4 \pi A / P^2$	Strahler, 1964
	Facteur de forme (Ff)	$F_f = A / L^2$	Horton, 1945
	Rapport de compacité (Cc)	$C_c = 0,2821P/A^{0,5}$	Horton, 1945
<b>Paramètres du relief</b>	Relief du bassin (Rb)	$R_b = H - h$	Hadley et Schumm, 1961
	Rapport du relief (Rr)	$R_r = R / L$	Schumm, 1963
	Relief relative (Rre)	$R_{re} = H \times 100/P$	Schumm, 1963
	Numéro de Robustesse (Rn)	$R_n = R_{re} \times D_d$	Schumm, 1963

## II.2. Les paramètres linéaires :

Les paramètres linéaires comprennent : nombre du flux, ordre du flux, longueur du flux, rapport du flux, fréquence de flux, densité de drainage, texture du drainage, rapport de bifurcation et durée de l'écoulement de surface (Tableau II.1).

### II.2.1. Le nombre du flux et l'ordre (Nu) et Longueur du flux (Lu) :

La hiérarchisation faite à l'aide du logiciel est basée sur la méthode de (Strahler 1957). Les cours d'eau ayant pour extrémité amont une source sont d'ordre (1), la confluence de deux cours d'eau d'ordre (n) en donne un ordre (n+1) et la confluence d'un cours d'eau d'ordre n avec un ordre (n+1) donne un cours d'eau d'ordre (n+1). L'ordre du tronçon

arrivant à l'exutoire

### II.2.2. Rapport du flux (RL) :

Il correspond au rapport de la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n+ 1) sur la longueur moyenne des talwegs d'ordre (n) : **RL = Ln+1 / Ln Avec :**

-**RL** : rapport de longueur ;

-**Ln+1** : longueur totale des drains d'ordre (n+1) exprimé en km;

-**Ln** : longueur totale des drains d'ordre (n), exprimé en km

On note des variations du rapport de longueur au niveau d'un même sous-bassin versant et d'un bassin à l'autre (Tableau II.2). Ceci est dû à des variations dans la pente et la topographie des terrains drainés (**M.L.Waikar et Aditya P. Nilawar, 2014**) .

### II.2.3. Fréquence de flux (Fu) :

La fréquence du flux est exprimée par le nombre total de segments de courant de tous les ordres par unité de surface (**Horton, 1932**). Généralement une haute fréquence de flux est liée à un matériau imperméable. La faible variation de la fréquence du flux s'expliquerait par la dominance des marnes dans la zone d'étude.

### II.2.4. Densité du drainage (Dd):

La densité du drainage (Dd), introduite par (**Horton 1932**) , est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface d'un bassin versant. Elle s'exprime en  $\text{km}/\text{km}^2$  . Elle est contrôlée par plusieurs facteurs notamment la nature géologique des terrains, la capacité d'infiltration du sol et sous-sol, les conditions climatiques et le couvert végétal du bassin (**Humbert, 1990**) .

Le bassin versant d'Oued M'zi d'une superficie globale de  $6267 \text{ km}^2$  chevauche deux domaines totalement différents (Atlas saharien et plateforme saharienne), il est drainé par l'Oued M'Zi, né de la confluence avec les oueds (O. Morra, O. Mellah. O. Messad. O. Meska) ; Oued M'zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central, il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour, vers le Sud-Est de Laghouat il rejoint l'Oued Messaad d'où il prend le nom de l'Oued Djedi qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 km formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-aride (**F SolielHavoup 1974**). En période de

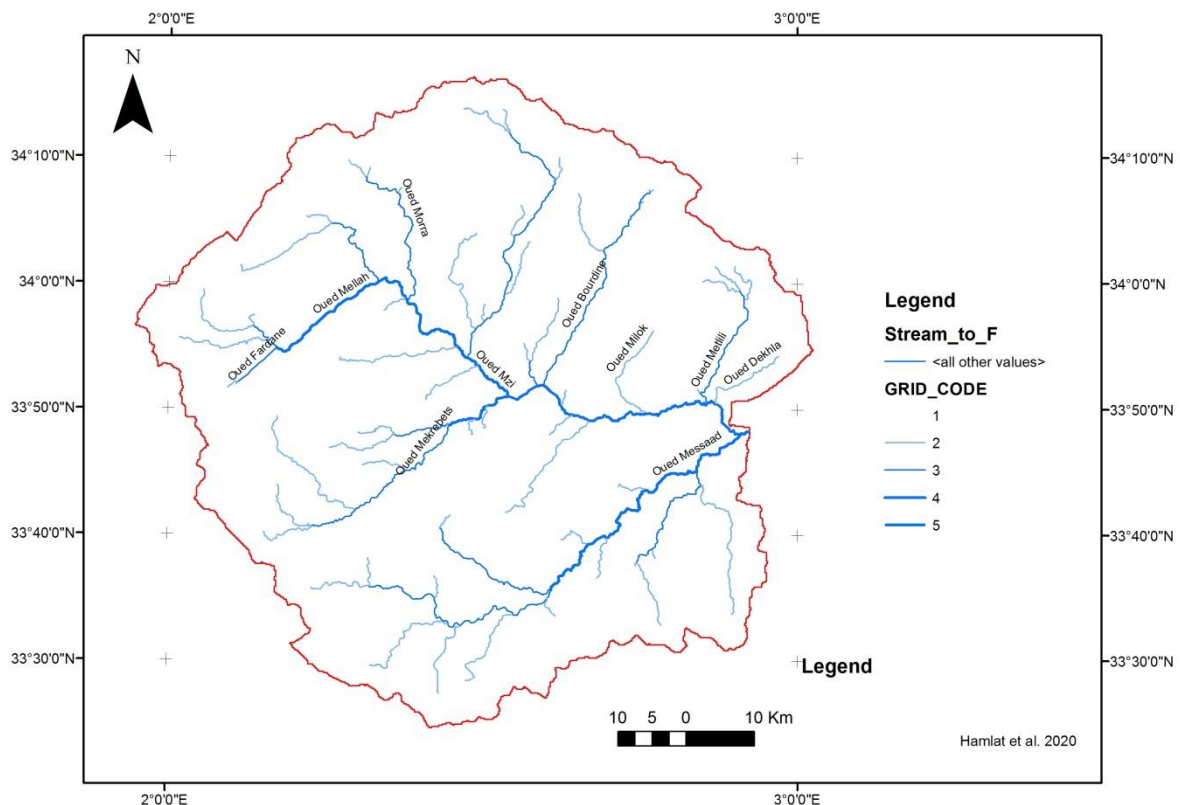
## Caractéristique d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : cas bassin versant de Oued M'Zi

sécheresse Oued M'zi présente en plusieurs endroits de son cours un écoulement permanent (écoulement de base).

La variation brutale de pentes entre le M'Zi amont (Atlas saharien) et le M'Zi aval (plate-forme saharienne) a pour effet de favoriser le dépôt des transports solides et les inondations (crues) au niveau de ce dernier.

Deux hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer la formation de la vallée de l'Oued Djedi et ses affluant Oued M'zi et Messaad (**Ait Ouali et al, 1972, Aissaoui 2016**) :

- Hypothèse de l'érosion régressive : la vallée du Djedi a été créée par le mécanisme de l'érosion régressive à partir des niveaux de base des chotts sud-maurassien (Melrir).
- Hypothèse de la déformation tectonique : vue à l'énorme dimension de la vallée d'Oued Djedi 400 km.20 km, l'hypothèse de l'érosion régressive a été exclu au détriment de l'intervention de la tectonique subsidence pour explique la formation de la vallée, c'est-à dire que Oued M'zi a pour origine le prolongement de la fosse subsidente sud-aurasienne



**Figure II.3: Réseau hydrographique du bassin versant de Oued M'zi**

Les valeurs de la densité de drainage total montrent :

- Une infiltration importante au niveau de l'Oued M'zi aval ou ( $Dd = 0.47 \text{ KM/ Km}^2$ ) ce qui pourrait être expliqué d'une part par la lithologie perméable des formations alluviales et les faibles pentes ( $I_p = 2.06 \%$ ) et par le réseau hydrographique épars, non hiérarchisé et endoréique.
- Une infiltration moyenne au niveau des autres sous-bassins à ce niveau les pentes deviennent plus importantes. ( $I_p = 9.3 \%$  (sous-bassin Oued Mellah)) et les formations crétacées perméables, peuvent montrer des intercalations marneuses.

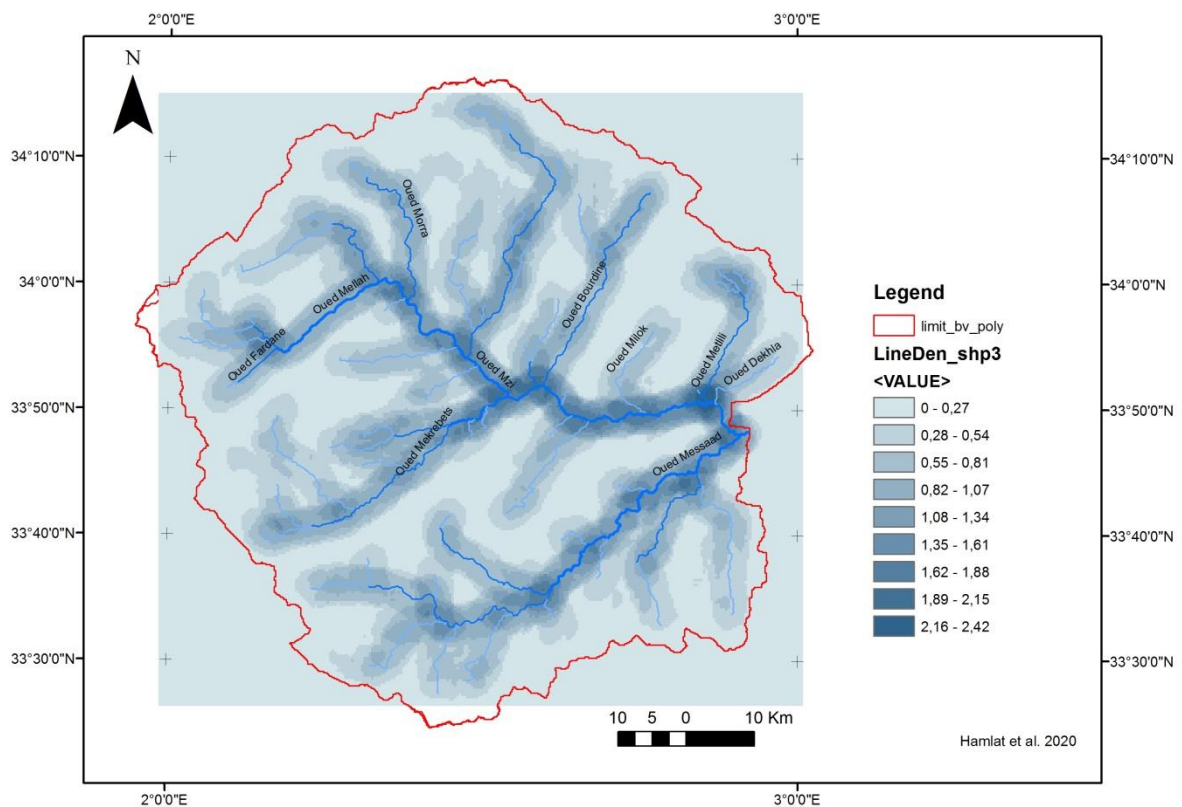


Figure II.4 : La densité de drainage du bassin versant d'Oued M'zi

### II.2.5. Texture du drainage (Td) :

La texture du drainage est définie comme le nombre total de segments de courant de tous les ordres par périmètre de la zone (Horton, 1945). La texture du drainage dépend de certains facteurs naturels (le climat, les précipitations, la végétation, la lithologie des roches et le type de sol, capacité d'infiltration, le relief).

### II.2.6. Rapport de bifurcation (Rb) :

Le rapport de bifurcation (Rb) est un paramètre qui exprime le degré de ramification du réseau de drainage (**N. S. Magesh et N. Chandrasekar, 2012**). Il est défini comme le rapport entre le nombre de segments de flux d'ordre donné au nombre de segments du prochain ordre supérieur (**Schumm 1956**). Ce rapport est un indicateur du stade d'évolution des bassins versants (**Strahler, 1964**). La valeur élevée de Rb indique un fort contrôle structural sur le réseau de drainage alors que la valeur faible indique que le sous-bassin est moins affecté par les perturbations structurales. En règle générale la valeur moyenne de Rb varie entre 3,0 et 5,0 pour un bassin versant où l'influence des structures géologiques sur le réseau de drainage est négligeable (**Vestappen, 1983**).

### II.2.7. La longueur de l'écoulement de surface (Lo) :

La longueur de l'écoulement de surface est sensiblement égale à la moitié de l'inverse de la densité de drainage.  $Lo = 1/2Dd$

Ce facteur est inversement proportionnel à la pente moyenne du chenal (**Shiva et Dharanirajan., 2014**).

## II.3. Paramètres de forme :

Les paramètres de formes comme le taux d'allongement, le facteur de forme et le coefficient de compacité sont inversement proportionnels à la vigueur de l'érosion des sols. L'étude permet de conclure que le paramètre de forme est le plus déterminant, la plus faible sa valeur est un indicateur de risque d'probabilité. Les paramètres de forme comprennent le facteur de forme, le rapport d'allongement, le rapport de la compacité et le rapport circulatoire.

### II.3.1. Facteur de forme (Ff) :

Le facteur de forme est défini comme étant le rapport de la surface totale du bassin versant et de la longueur du bassin (**Horton, 1932**). Pour un bassin parfaitement circulaire, la valeur du facteur de forme sera supérieure à 0,78. Plus le bassin est allongé, plus la valeur du facteur de forme serait faible.

### II.3.2.Rapport d'allongement ( $R_a$ ) :

Selon (**Schumm, 1956**), le rapport d'allongement est défini comme étant le rapport entre le diamètre du cercle de même surface que le bassin de drainage et la longueur maximale du bassin. Les valeurs du rapport d'allongement ( $R_a$ ) varient généralement de 0,6 à 1 sur une large variété de facteurs climatiques et géologiques. Les valeurs proches de 1 sont typiques des régions de très faible relief, alors que les valeurs dans la gamme de 0,6 à 0,8 sont généralement associées à de haut relief et de forte pente du terrain (**Strahler, 1964**).

### II.3.3.Rapport circulatoire ( $R_c$ ) :

Le Rapport circulatoire ( $R_c$ ) est le rapport de la surface d'un bassin à l'aire d'un cercle ayant la même circonférence que le périmètre du bassin (**Miller 1953**). 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 ( $R_c$ ) sont corrélées stades du cycle de vie du bassin (**N. S. Magesh et N. Chandrasekar, 2012**).

### II.3.4.Coefficient de Compacité ( $C_c$ ) :

Le Coefficient de compacité est défini comme le périmètre du bassin divisé par la circonférence d'un cercle à la même zone du bassin. Le coefficient de compacité est proportionnel à l'évaluation du risque d'érosion ce qui nécessite la mise en œuvre des mesures de protection et de conservation.

## II.4.Aspects du relief du bassin versant :

L'aspect du relief du bassin comprend le relief du bassin ( $R_b$ ), le relief relatif ( $R_r$ ), le rapport du relief ou relief ratio ( $R_h$ ), le numéro de robustesse ( $R_n$ ) (**Umair Ali et Syed Ahmad Ali, 2014**) ou la pente du terrain (Tableau II.2).

### II.4.1.Relief du bassin :

Il est défini comme étant la différence d'altitude entre le point le plus bas (exutoire) et le point le plus élevé (linge de partage des eaux) d'un bassin versant (**Kartic B. et Jatisankar B. 2013**). 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 (**N. S. Magesh et**

**N. Chandrasekar, 2012).**

#### **II.4.1.Rapport du relief :**

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 (**Schumm, 1956**).

#### **II.4.2.Relief relatif :**

L'indice Relief relatif (Rr) est une variable morfo-métrique importante utilisée pour l'estimation des caractéristiques morphologiques générales du terrain (**Umair et Syed, 2014**). Il est calculé selon la formule suivante :  **$Rr = H*100/P$**  Avec : **H : relief du bassin et P :**

#### **II.4.3.périmètre du bassin :**

Les sous-bassins versants ayant un relief relatif plus élevé ont un potentiel de ruissellement plus élevé que les autres (**Umair et Syed, 2014**).

#### **II.4.4.Nombre de robustesse (Rn) :**

Le nombre de robustesse (Rn) est le produit de la densité de drainage (Dd) et celui du relief du bassin (H) (**Strahler, 1957 ; Melton, 1958**) dans la même unité.

**Tableau II.2 : Paramètres morpho-métriques**

Basin	BV Oued Mzi	BV Mzi Amont	Bv Mzi Aval	Bv O Messaad
Superficie (S)	6267,21	2053,14	2331,06	545,58
Périmètre (P)	478,096	218,42	302	174,04
largueur du rectangle	68,3297729	51,9913902	58,1790501	27,8459906
longueur du rectangle	91,72	39,49	40,067	65,97
Rapport de circularité (Rc)	0,34	0,54	0,32	0,23
Rapport de compacité (Cc)	0,97	1,30	1,36	0,40
Facteur de forme (Ff)	0,74	1,32	1,45	0,13
Integrating Factor	2,90	1,85	3,12	4,42
Rapport d'allongement (Ra)	0,34	0,19	0,17	1,99
Indice de sinuosité (Is)	36,47	23,24	39,13	55,52
Rapport du relief (Rr)	0,010	0,020	0,020	0,006
Relief relative (Rre)	0,00014	0,00039	0,00034	0,00073
Numéro de Robustesse (Rn)	0,00	0,65	0,62	0,19
Hypsometric integration	6,96	2,57	2,91	1,36
Densité de drainage (Dd)	0,00	0,81	0,77	0,47
Fréquence de flux (Fs)	0,03	0,08	0,07	0,29
Topographic Texture	0,33	0,72	0,52	0,90
penne	0,10	0,20	0,20	0,06
Temps de concentration (Tc)	18,92	10,62	11,19	16,89

Conclusion :

Le bassin versant et son fonctionnement géomorphologique ont guidé la rédaction de ce manuel : c'est en effet dans ce cadre que s'expriment le mieux les processus de surface qui animent le système géomorphologique, de la fourniture des débris à leur mobilisation et leur exportation vers les pièges sédimentaires, continentaux ou océaniques. Le bassin versant est le siège de relais de processus, donc de cascades sédimentaires, qui jouent aux différentes échelles spatiales et temporelles.

**Chapitre III :**  
**Analyse**  
**statistique des**  
**paramètres**  
**Morpho-métriques**

## Introduction :

L'Analyse en Composantes Principales utilise une matrice indiquant le degré de similarité entre les variables pour calculer des matrices permettant la projection des variables dans le nouvel espace

Il est possible d'exécuter l'analyse sur des données brutes ou sur des matrices et de rajouter des variables ou observations supplémentaires. XLSTAT permet également de filtrer des variables ou des observations selon différents critères pour optimiser la lisibilité des graphiques

XLSTAT est un add-on de statistiques et d'analyses de données pour Microsoft Excel. Il offre de nombreuses fonctionnalités et des utilitaires pour faciliter la manipulation de vos données sous Excel. Les différents outils sont accessibles par un menu ou des barres d'outils.

### III.1. Analyse des Composantes Principales (ACP) : Principe et définition :

#### III.1.1. Définition :

L'Analyse en Composantes Principales est un outil de statistique exploratoire. Elle nous permet d'explorer des données multi-variées, c'est-à-dire, des données avec plusieurs variables. De ce fait, elle est considérée comme une analyse statistique multi-variée ou une technique multi-variée, permettant de réduire un ensemble de variables initiales en quelques facteurs ou composantes principales qui sont de nouvelles variables.

Les variables d'origine sont ainsi réduites en petit nombre de nouvelles variables ou composantes principales, tout en conservant un maximum d'informations. Il y a donc un nombre restreint de facteurs qui permettent d'expliquer la plus grande partie de la variance contenue dans les variables d'origine.

Les informations contenues dans les variables d'origine sont ainsi extraites, visualisées et synthétisées en quelques nouvelles variables, à partir d'un croisement entre plusieurs variables numériques. Les dimensions d'une donnée multi-variée sont, de ce fait, réduites en quelques composantes principales qui peuvent être visualisées graphiquement.

L'ACP aboutit à une représentation graphique de données (nuage de point) par rapport à ces facteurs ou composantes principales sous formes d'axes. Ces axes ou composantes principales résument au mieux l'ensemble des variables initiales. Ils constituent des combinaisons linéaires des variables initiales, hiérarchisées et indépendantes les unes des autres.

#### III.1.2. Principe de l'A.C.P :

Le principe de l'Analyse de Composantes Principales consiste à remplacer des variables initiales par des composantes principales qui sont des nouvelles variables, en perdant le moins d'informations possibles. Ainsi, les données initiales sont comprimées pour extraire des informations sans perdre les plus essentielles et pour constituer de nouvelles variables qui des combinaisons linéaires des variables originelles. Il y a une réduction de la dimension des données initiales qui sont remplacées par des facteurs qui vont servir de base à un système de représentation de dimension réduite.

Ainsi, un grand nombre de variables souvent corrélées entre elles, est réduit à un petit nombre de composantes principales non corrélées, c'est-à-dire, indépendantes les unes des

autres. Cette réduction de dimension ou ce nombre restreint de variable résume au mieux les variables initiales. Le maximum d'informations est résumé en perdant le moins possible, puis représenté sous forme de graphique.

Ce faisant, nous pouvons facilement étudier les variables et les visualiser dans un espace d'une dimension plus petite, réduisant ainsi les tableaux de grandes tailles en un nombre restreint de variables pour faciliter l'interprétation des données initiales. La représentation des données, dans un espace plus réduit, permet de simplifier la réalité et de décrire un maximum de variabilité dans cet espace plus restreint. Le positionnement des variables va permettre d'évaluer la proximité relative de celles-ci, mais également la proximité qui les caractérise par rapport aux axes. Ainsi, les liaisons entre les variables et les ressemblances entre les individus sont explorées.

## III.2. Interprétation des résultats :

### III.2.1. Analyse statistique des données morphométrique:

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique largement utilisée (ESLAMIAN et al, 2010). Elle réduit le nombre de variables à celles qui sont les plus significatives parmi un ensemble de variables et est utilisée afin de trouver un lien entre les variables et les individus afin de les regrouper en régions homogènes. L'un des objectifs de l'ACP est d'obtenir des informations utiles à partir d'une matrice de données, et de fournir une représentation graphique des données pour faciliter l'analyse. La procédure mathématique de l'analyse en composantes principales est en fait une méthode statistique multi-variable qui sert de traitement des données.

Nous avons soumis tous les paramètres physiques calculés pour les différents sous-bassins de l'Oued M'zi 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.

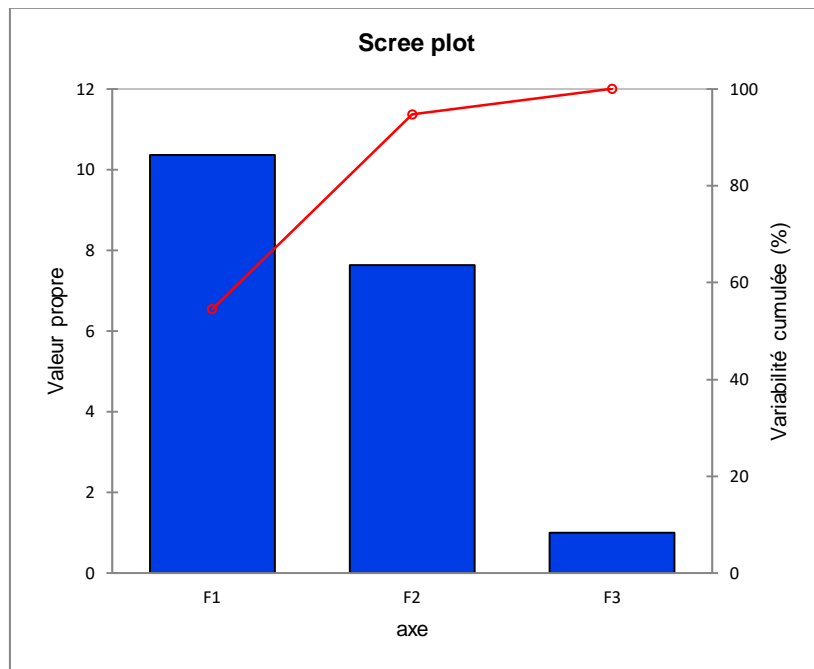
L'analyse en composante principale ou ACP, est une méthode de réduction du nombre de variables permettant la représentation géométrique des observations et des variables. Cette réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls (BOUROCHE et SAPORTA, 1980). La méthode a été appliquée à 4 individus (sous-bassins versants) et 19 variables (paramètres physiographiques) qui sont : la superficie (S), le périmètre (P), la longueur (L) et la largeur (l) du rectangle équivalent, la densité de drainage Dd, et des longueurs (Rl), et le temps de concentration (Tc) et Numéro de Robustesse (Rn) et Relief relative (Rre) et le Rapport du relief (Rr) et Indice de sinuosité (Is) et Rapport d'allongement (Ra) et Facteur de forme (Ff) et Rapport de compacité (Cc) et Rapport de circularité (Rc) et Relief du bassin (Rb), pente, et drainage texture et Fréquence de flux (Fs) .

#### A) Les valeurs propres :

L'analyse du tableau (II.2) et la courbe des valeurs propres (figure III.2), montre que les trois premiers facteurs représentent le maximum d'informations. Ainsi les trois premiers axes factoriels expriment 100% de la variance totale, avec 54.54% pour le premier facteur (F1) , 40% pour le second (F2) et 5.27 % pour le troisième facteur (F3).

**Tableau III.1 : Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morphométriques des SBV de Oued M'zi**

	F1	F2	F3
<b>Valeur propre</b>	10,364	7,634	1,002
<b>Variabilité (%)</b>	54,546	40,179	5,275
<b>% cumulé</b>	54,546	94,725	100,000



**Figure.III.1 : Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morphométriques des SBV Oued M'zi**

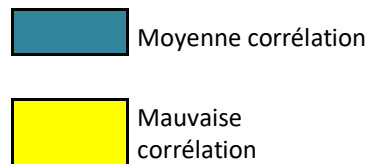
### B.1) La matrice de corrélation :

L'analyse de la matrice de corrélation (Tableau III.3), montre que la surface (S) et la longueur (L) est bien corrélée positivement avec le temps de concentration (Tc) et l'est moins négativement avec la densité de drainage(Dd) et le facteur de forme (Ff).

Les dimensions du rectangle équivalent sont bien corrélées positivement avec le temps de concentration (Tc), la longueur (L) est assez bien corrélée négativement avec Integrating Factor et est assez corrélée avec le rapport d'allongement (Ra) et le rapport du relief (Rr), la largeur (l) du rectangle est moyennement bien corrélée avec la densité de drainage (Dd).

L'indice de pente ( $I_p$ ) est moyennement corrélé avec la densité de drainage, il est assez bien corrélé négativement avec le temps de concentration des eaux ( $T_c$ ). Le rapport de circularité ( $R_c$ ) moyennement corrélé la pente et le surface ( $S$ ).

**Tableau III.2: Matrice de corrélation entre les variables morpho-métriques**



Caractéristique d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : cas bassin versant de Oued M'Zi

Variables	S	P	L	L	Re	Cc	Ff	Integrating Factor	Ra	Is	Rr	Rre	Rn	Hypsometric integration	Dd	Fs	Drainage texture	Pente	Tc
S	<b>1</b>																		
P	<b>0,978</b>	<b>1</b>																	
L	0,859	0,859	<b>1</b>																
L	0,665	0,65	0,194	<b>1</b>															
RC	0,113	-0,038	0,38	-0,442	<b>1</b>														
CC	0,266	0,264	0,715	-0,543	0,686	<b>1</b>													
Ff	0,138	0,146	0,622	-0,647	0,662	<b>0,991</b>	<b>1</b>												
Integrating Factor	-0,355	-0,237	-0,644	0,339	<b>-0,95</b>	-0,828	-0,782	<b>1</b>											
Ra	-0,546	-0,526	-0,887	0,262	-0,669	<b>-0,95</b>	-0,901	0,86	<b>1</b>										
Is	-0,353	-0,235	-0,643	0,341	<b>-0,95</b>	-0,829	-0,784	<b>1</b>	0,86	<b>1</b>									
Rr	-0,06	-0,064	0,449	-0,785	0,702	0,946	<b>0,977</b>	-0,76	-0,803	-0,763	<b>1</b>								
Rre	-0,897	-0,883	<b>-1</b>	-0,266	-0,386	-0,664	-0,562	0,64	0,858	0,642	-0,386	<b>1</b>							
Rn	-0,511	-0,507	-0,01	<b>-0,98</b>	0,564	0,691	0,777	-0,5	-0,441	-0,503	0,888	0,08	<b>1</b>						
Hypsometric integration	<b>0,999</b>	<b>0,979</b>	0,832	0,703	0,068	0,215	0,086	-0,31	-0,501	-0,306	-0,112	-0,873	-0,556	<b>1</b>					
Dd	-0,739	-0,729	-0,298	<b>-0,99</b>	0,403	0,452	0,562	-0,27	-0,16	-0,273	0,717	0,367	<b>0,957</b>	-0,774	<b>1</b>				
Fs	-0,749	-0,729	<b>-0,98</b>	-0,003	-0,556	-0,837	-0,757	0,79	<b>0,964</b>	0,786	-0,616	<b>0,964</b>	-0,187	-0,713	0,108	<b>1</b>			
DRAINAGE TEXTURE	-0,921	<b>-0,96</b>	<b>-0,95</b>	-0,412	-0,089	-0,508	-0,407	0,39	0,716	0,384	-0,205	<b>0,953</b>	0,252	-0,91	0,509	0,863	<b>1</b>		
Pente	-0,06	-0,064	0,449	-0,785	0,702	0,946	<b>0,977</b>	-0,76	-0,803	-0,763	<b>1</b>	-0,386	0,888	-0,112	0,717	-0,616	-0,205	<b>1</b>	
Tc	0,475	0,477	-0,029	<b>0,97</b>	-0,596	-0,719	-0,8	0,54	0,477	0,541	-0,906	-0,041	<b>-0,999</b>	0,521	-0,944	0,226	-0,219	-0,906	<b>1</b>

Tableau III.3 : Corrélations entre les variables et les facteurs

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<b>Superficie (S)</b>	<b>-0,392</b>	-0,919	0,047
<b>Périmètre (P)</b>	<b>-0,358</b>	-0,920	-0,161
<b>langueur du rectangle(l)</b>	<b>-0,785</b>	<b>-0,606</b>	-0,129
<b>longueur du rectangle(L)</b>	0,420	-0,896	0,146
<b>Rapport de circularité (Rc)</b>	-0,763	0,234	0,603
<b>Rapport de compacité (Cc)</b>	-0,981	0,122	-0,151
<b>Facteur de forme (Ff)</b>	-0,949	0,245	-0,198
<b>Intégration Factor</b>	<b>0,906</b>	-0,022	-0,422
<b>Rapport d'allongement (Ra)</b>	<b>0,982</b>	0,178	0,063
<b>Indice de sinuosité (Is)</b>	<b>0,907</b>	-0,024	-0,420
<b>Rapport du relief (Rr)</b>	-0,889	0,438	-0,130
<b>Relief Relative (Rre)</b>	0,751	<b>0,658</b>	0,055
<b>Numéro de Robustesse (Rn)</b>	-0,587	0,801	-0,117
<b>Hypsométrique intégration</b>	-0,343	-0,939	0,043
<b>Densité de drainage (Dd)</b>	-0,327	0,939	-0,109
<b>Fréquence de flux (Fs)</b>	0,900	0,434	0,048
<b>Drainage Texture</b>	0,571	0,773	0,276
<b>Pente</b>	-0,889	0,438	-0,130
<b>Temps de concentration (Tc)</b>	0,621	-0,778	0,098

La matrice de corrélation des variables et des facteurs du poids de variance (Tableau III.4) et la (figure III.2) montrent que l'axe 1 (principal axe d'inertie) qui représente plus de 54.55% de variance est très bien corrélé positivement avec « Integrating Factor », au Rapport d'allongement (Ra), du bassin et au temps de concentration (Tc). Il est aussi assez bien corrélé mais négativement au Superficie (S) et Superficie (S) , longueur du rectangle(L)

L'axe 2 avec 40,17% de variance, est bien lié négativement avec longueur du rectangle(L) et positivement avec Relief Relative (Rre), il en est moins avec de pente et la densité de drainage (Dd).

Numéro de Robustesse (Rn) ainsi que Drainage Texture sont mieux corrélés avec l'Axe III qui représente presque 5% de la variance.

Ces résultats sont synthétisés sur la figure 5, qui illustre la projection des variables sur les plans factoriels 1 et 2.

La projection des individus (bassins) sur le plan (1-2) (fig.III.1), met en évidence trois groupes de bassins :

Le premier formé par le bassin versant d'Oued M'zi occupe tous la superficie largement supérieures à celles des autres bassins.

Le second groupe, est formé par les bassins versant d'oued M'zi amont , et Oued M'zi aval , cesont des bassins occupant le bassin de la Laghouat .

Le troisième groupe par le bassin versant d'Oued Messaad, qui font partie de la moyenne descendent tous vers la plaine d'Oued M'zi

Le plan (1-3) (fig.III.3), Le premier C'est le bassin versant de l'oued M'zi aval occupe la superficie .

Le second groupe formé par les deux bassins versant Oued M'zi et Oued M'zi amont, Le troisième groupe toujours par le bassin versant Oued Messaad

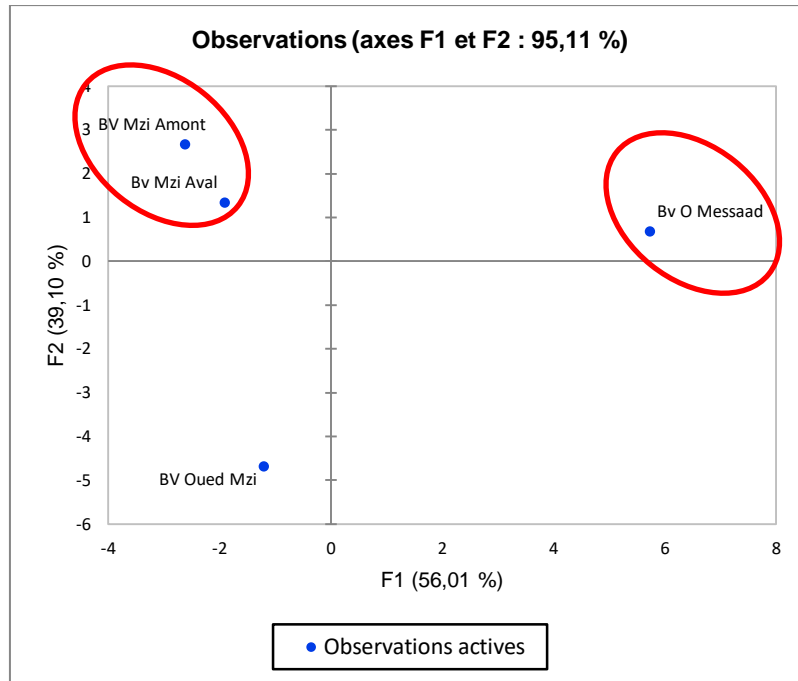


Figure III.2: projection des individus du bassin versant Oued M'zi sur les plans factoriels 1et 2

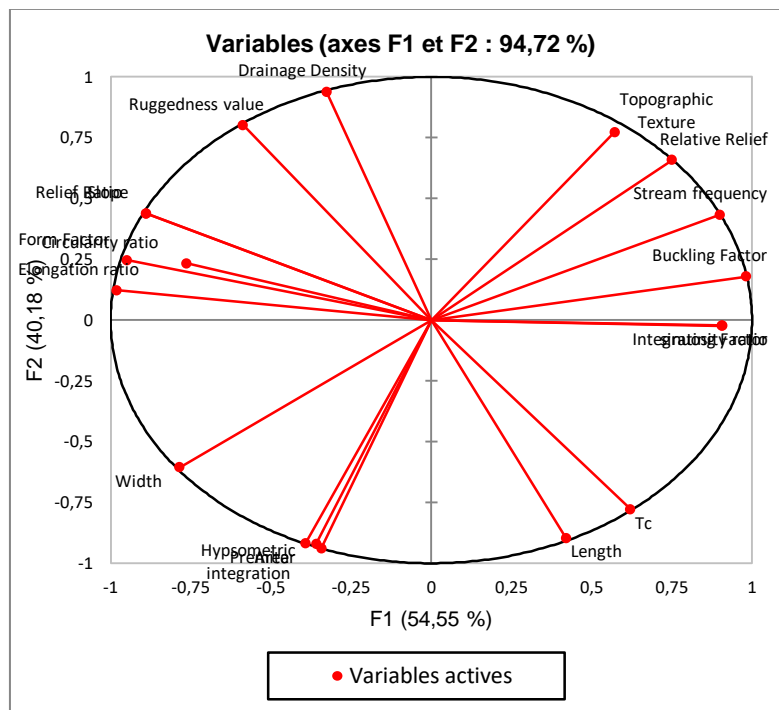


Figure III.3 : Diagramme des contributions des paramètres morpho- métrique au niveau du bassin Oued M'zi sur les plans factoriels 1et2

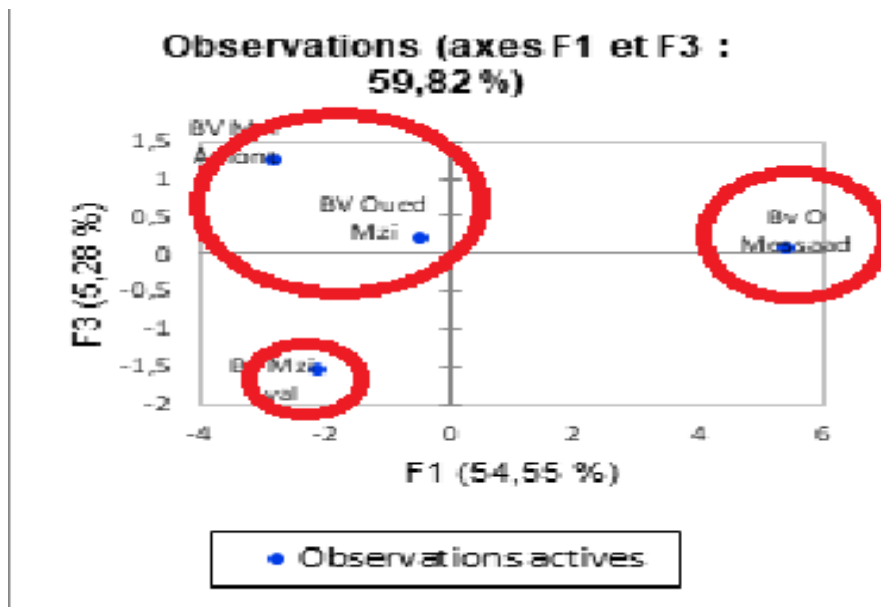


Figure III.4: projection des individus du bassin versant Oued M'zi sur les plans factoriels 1 et 3

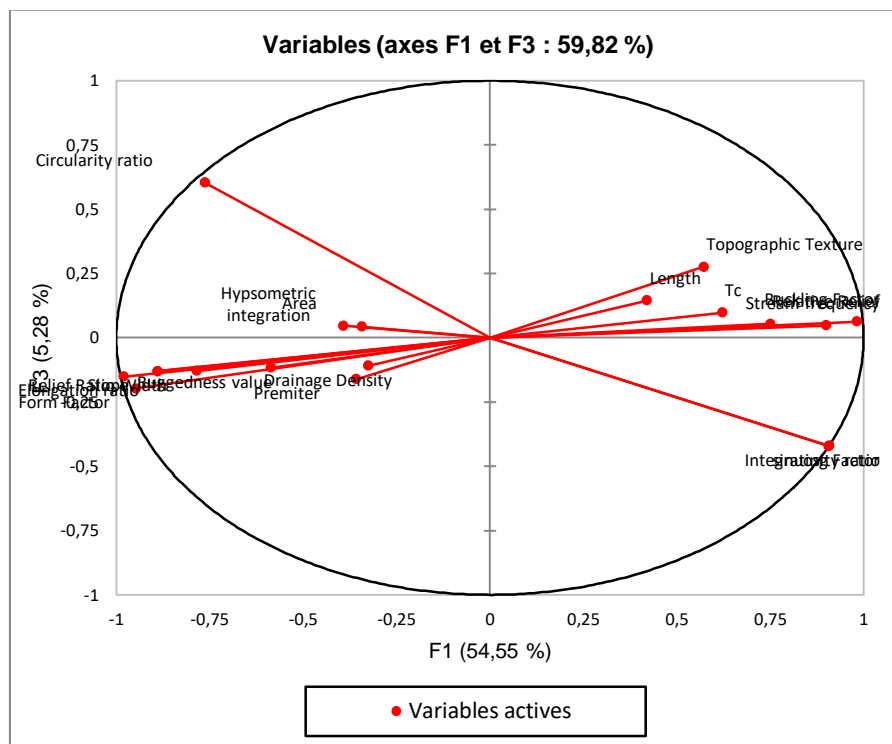


Figure III.5 : Diagramme des contributions des paramètres morphométriques au niveau du bassin Oued M'zi sur les plans factoriels 1 et 3

### Conclusion :

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 3 sous bassins étudiés d'Oued M'zi, la force des liaisons qui existent entre les variables explicatives a été définie par une matrice de corrélations simples entre les variables morpho-métriques. Au terme de ces corrélations, sont retenues comme variables explicatives du regroupement : La taille du bassin, le temps de concentration (Ct), pente (Ip) et la densité de drainage (Dd).

On a montré sur l'exemple d'Oued Mzi, comment l'utilisation de données physiographiques pouvait permettre (dans une certaine mesure) une régionalisation par l'utilisation de l'analyse en composantes principales.

En ce qui concerne la répartition spatiale de ces zones, la corrélation a montré que ces zones ne forment pas toujours des régions contiguës. Par conséquent, la proximité géographique n'influence pas de manière significative la zonalité. Toutefois, on peut observer certaines cohérences spatiales, telles que, Oued Messaad qui se rapprochent géographiquement et qui généralement apparaissent dans la même zone (répartition ACP).

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, 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.

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.

# Conclusion Générale

## CONCLUSION GENERALE

---

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 3 sous bassins étudiés de Oued M'zi, la force des liaisons qui existent entre les variables explicatives a été définie par une matrice de corrélations simples entre les variables morphométriques. Au terme de ces corrélations, sont retenues comme variables explicatives du regroupement : La taille du bassin, le coefficient de torrentialité (Ct), l'indice de pente (Ip) et la densité de drainage (Dd).

On a montré sur l'exemple de Oued M'zi, comment l'utilisation de données physiographiques pouvait permettre (dans une certaine mesure) une régionalisation par l'utilisation de l'analyse en composantes principales.

En ce qui concerne la répartition spatiale de ces zones, la corrélation a montré que ces zones ne forment pas toujours des régions contiguës. Par conséquent, la proximité géographique n'influence pas de manière significative la zonalité. Toutefois, on peut observer certaines cohérences spatiales, telles que, oued Mzi amont et Oued Mzi aval qui se rapprochent géographiquement et qui généralement apparaissent dans la même zone (répartition ACP).

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, Coefficient 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.

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.

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,

## CONCLUSION GENERALE

---

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.

Les paramètres morphométriques utilisés pour voir si la forme d'un bassin versant (allongement, compacité, circularité) influençait le régime des cours d'eau, déterminent en partie les modalités de l'écoulement dans le bassin de Oued Mzi. Cependant, la liaison entre le relief et l'écoulement souffre d'anomalies comme le caractère « séparés », « statiques » et « non synthétiques » des paramètres, leur forte dépendance de l'échelle de mesure, la perte de leur objectivité et de leur exhaustivité.

Il faut ajouter aussi que l'analyse des paramètres morphométriques est intéressante, mais reste insuffisante pour connaître les réponses hydrologiques d'un grand bassin versant comme Oued Mzi. Dans des études futures, seront analysés des facteurs qui manquent sur cette étude tels que la lithologie, les sols et les formations superficielles, les formes d'occupation humaine de l'espace.

## BIBLIOGRAPHIE

- ✓ Aissaoui 2016:Aissaoui Asma (2016) Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de l'Oued M'zi (Laghouat – Algérie). Thèse de de Magister Sciences de la Terre. Université d'Oran 2.
- ✓ Ait Oualibet al,1972.
- ✓ Baba-Hamed et Bouanan,2016 :Djellouli, F., Bouanani, A., et Baba-Hamed, K. (2016). Efficiency of some meteorological drought indices in different time scales, case study: wadi Louza basin (NW-Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 31(1), 33-41.
- ✓ BET SOTHYR (2007) Projet Etude De Protection Du Perimetre Benceur Ben Chohra. Phase Vii Projet D'execution . Direction De L'hydraulique De La Wilaya De Laghouat. DECEMBRE2007.
- ✓ BOUROCHE ET SAPORTA, 1980.
- ✓ Biswas et al,1999.
- ✓ Emberger, J. (1960). *Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Oulad Nails*. Service de la carte géologique de l'Algérie.
- ✓ Eslamianet al .2010.
- ✓ F soliehavoup 1974 :Soleilhavoup, F. (1975). Crues de l'Oued M'zi à Laghouat, d'octobre 1972 à février 1974: chronologie et description des principaux processus ayant affecté la surface du lit de l'oued. L'enseignement des sciences naturelles en Algérie, 13, 32, 97.
- ✓ Faye,2014.
- ✓ Hannachi 1981: Hannachi, A. (1981). *Relations entre aquifères profonds et superficiels: hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'est de Laghouat, Wilaya de Laghouat (Algérie)* (Doctoral dissertation).
- ✓ Helena et al .1999.
- ✓ HOUYOU 2015:HOUYOU, Zohra. (2015) *Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat)*. 2015. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL-Harrach-Alger.
- ✓ Horton 1932:Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos, transactions american geophysical union*, 13(1), 350-361.
- ✓ Horton 1945.
- ✓ Humbert 1990.
- ✓ HPO2012 :Hydro Projet Ouest HPO (2012) Etude d'avant-projet détaillé de l'alimentation en eau potable à partir du barrage de Seklafa. Wilaya de Laghouat. Rapport de Synthèse. Ministère des ressources en eau.
- ✓ Icosium forage et engineering services 1997:ICOSIUM FORAGE et ENGINEERING SERVICES. (1997) Etude hydroclimatologique du sous-bassin versant de l'Oued M'zi (bassin versant de l'Oued Melrhir). Ministère de l'Equipement, Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Laghouat.
- ✓ IPA 1972 .
- ✓ Kartic B, and jatisankar B.2013:Brahim, B., Boudad Larbi, P., Dridri Abdallah, P., et Driss, S. (2016). Utilisation Du Sig Dans L'analyse Morphométrique Et La

- Prioritisation Des Sous-Bassins Versants De Oued Inaouene (Nord-Est Du Maroc). *European Scientific Journal*, 12(6).
- ✓ Kouani et al 2007 :Kouani, A., El Jamali, S., et Talbi, M. (2007). Analyse en composantes principales. *Une méthode factorielle pour traiter factorielle pour traiter les données didactiques les données didactiques. Radisma*, (2).
  - ✓ Melton , 1958:Melton, M. A. (1958). Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *The Journal of Geology*, 66(4), 442-460.
  - ✓ Miller 1953:Miller, V. C. (1953). Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Technical report (Columbia University. Department of Geology); no. 3.
  - ✓ ML.Waikar and aditya p .nilawar,2014: Waikar, M. L., et Nilawar, A. P. (2014). Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study. *International journal of multidisciplinary and current research*, 2(2), 179-184.
  - ✓ N.S Magesh and N Chandrasekar ,2012:Magesh, N. S., Chandrasekar, N., et Soundranayagam, J. P. (2012). Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience frontiers*, 3(2), 189-196.
  - ✓ Perron, E., Diggavi, S, et Telatar, E. (2009, June). The interference-multiple-access channel. In 2009 IEEE International Conference on Communications (pp. 1-5). IEEE.
  - ✓ perron 1883.
  - ✓ pulido-bosch et al.1999.
  - ✓ Schumm 1952.
  - ✓ Schumm 1956:Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.
  - ✓ Shiva et Dharnirajan,2014.
  - ✓ SOLEIHAVOUP 2011:SOLEIHAVOUP 2011 In: HOUYOU, Zohra. (2015) *Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat)*. 2015. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL-Harrach-Alger.
  - ✓ Strahler, 1964:Chavare, S. (2011). Morphometric Analysis using GIS Techniques: a case study of Valheri River basin, tributary of Tapi River in Nandurbar District (MS). *International Referred Research Journal*, August.
  - ✓ Strahler ,1957:Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
  - ✓ Tijani et al.2006.
  - ✓ Umair Ali and Syed Ahmad Ali, 2014 : Ali, U., et Ali, S. A. (2014). Analysis of drainage morphometry and watershed prioritization of Romushi-Sasar catchment, Kashmir Valley, India using remote sensing and GIS technology. *International Journal of Advanced Research*, 2(12), 5-23.
  - ✓ Vestappen, 1983:Verstappen, H. T. (1983). Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development (No. 551.4 VER).
  - ✓ Veltiet al.1996.

- ✓ 14/ IAP 1972:I.A.P., 1972. Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 de Laghouat. In HOUYOU, Zohra. (2015) *Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat)*. 2015. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique EL-Harrach-Alger.