



Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la vie et de la terre

Filière : Science écologiques

Spécialité : Protection des écosystèmes

Présenté par : Merghad Ghizlane

Rahal Fayrouz

Thème

**ANALYSE MORPHOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE D'UN BASSIN
VERSANT D'OUED EL-ARAB**

Devant le jury :

Présidente : Dr Lakhdari Somia	MAA	Université de Khenchela
Encadreur : Dr Dali Naouel	MCA	Université de Khenchela
Examinatrice : Dr Berkani Cherifa	MCB	Université de Khenchela

Promotion : 2021/2022

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance

Je dédie mon modeste travail Aux deux être le plus chers au monde, qui Ont souffert nuit et jour pour nous couvrir de Leur amour, mes parents.

Que le bon ALLAH vous garde en bonne santé.

*A la lumière de mes yeux mon cher frère « **NADIM** » et mes chères sœurs «**DOUNIA** » et ma petite «**MERIEM EL BATOUL**», Je vous souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.*

*A mes bébés d'amours **ISLEM** et **ASSINET MAYSSINE**.*

*A ma chère amie et ma sœur **DOUNYA BADI** et sa famille*

*Madame **Dali Naouel**, directrice de notre mémoire de fin d'études pour ses précieux conseils en tout temps.*

GHIZLANE

Dédicace

C'est avec l'aide de tout puissant que j'arrive de ce modeste travail que je dédie a toutes les personnes que j'aime et en particulier :

A toi ma chère mère qui a guidée mes pas d'enfances et veille sur moi et qui m'a toujours apporté amour et affection.

A mon chère père la guide affectueux et attentif en reconnaissances pour soutien moral et pour toutes les charges assurées au cours des ces longues années.

A toute ma famille.

A tout mes amis (es) et mes connaissances.

FAYROUZ

Remerciement

*Tout d'abord, nous tiennes à remercier **ALLAH** le tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.
C'est grâce a lui ce travail a été réalisé.*

*Nos reconnaissances, nos vives gratitudees et nos sincères remerciements vont à Madame **DALI Naouel**, pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance, son Encouragement ainsi que sa gentillesse qui nous a permis de mener à bien ce travail.*

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres de Jury : le présidente Mme Lakhdari Somia et l'examinatrice Mme Berkani Cherifa qui ont accepté de lire et juger ce travail.

Non sincères remerciements s'adressent également ou nous familles qui n'on pas hésiter de nous aider et nous encourager moralement et matériellement jusqu' ou la fin de cette mémoire.

Nous exprimons également notre profond remerciement à nos enseignants du département science de la nature et de la vie.

Merci

Résumé

Chaque bassin versant a un certain nombre de caractéristiques distinctes qui régissent la quantité de précipitations reçues et le ruissellement produit. L'analyse morphométrique d'un bassin versant joue un rôle important dans la détermination du comportement hydrologique tel que le ruissellement, l'érosion du sol, le taux d'apport de sédiments, etc d'un bassin versant. L'objectif de ce travail est l'analyse morphologique et hydrologique d'un bassin versant d'Oued El-Arab. Divers paramètres linéaires de la zone d'étude ont été déterminés à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) et le modèle numérique (MNT). Il a été observé que La zone d'étude est caractérisée par un climat semi - aride, avec un coefficient d'écoulement est très faible, aussi , nous avons résultant que e bassin versant d'Oued El-Arab a une forme allongée au regard de la valeur de Rapport d'allongement (Re) 0.03, Rapport de circularité (Rc) 0.19, Facteur de forme (Ff) 0.07 Rapport de compacité (Cc) 2.28.

Les mots clé

Oued El-Arab, Sig, MNT, Analyse morphométrique.

Abstract

Each watershed has a number of distinct features that govern the amount of precipitation received and the runoff product. The morphometric analysis of a watershed plays an important role in determining hydrological behavior such as runoff, soil erosion, sediment intake, etc. from a watershed. The objective of this work is the morphological and hydrological analysis of a watershed of Oued el-Arab. Divers linear parameters of the study area have been determined using a geographic information system (GIS) and the digital model (MNT). It has been observed that the study area is characterized by a semi - arid climate, with a flow coefficient is very low. also, we have resulting that the watershed of Oued El-Arab has an elongated shape with regard to the value of Elongation ratio (Re) 0.03, Circularity ratio (Rc) 0.19, Form factor (Ff) 0.07 Ratio of compactness (Cc) 2.28.

The key words

Oued El-Arab, GIS, DEM, Morphometric analysis.

المخلص

كل مستجمعات المياه عدد من الخصائص المميزة التي تحكم كمية هطول الأمطار المتلقاة والجريان السطحي الناتج. يلعب التحليل المورفومتري لمستجمعات المياه دورًا مهمًا في تحديد السلوك الهيدرولوجي مثل الجريان السطحي وتآكل التربة ومعدل إمداد الرواسب وما إلى ذلك لمستجمعات المياه. الهدف من هذا العمل هو التحليل المورفولوجي والهيدرولوجي لمستجمعات مياه وادي العرب ، وقد تم تحديد العديد من المتغيرات الخطية لمنطقة الدراسة باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) والنموذج الرقمي (DTM). لوحظ أن منطقة الدراسة تتميز بمناخ شبه جاف، مع معامل جريان منخفض للغاية، كما نتج عن ذلك أن مستجمعات المياه لوادي العرب لها شكل مستطيل فيما يتعلق بقيمة نسبة العرض إلى الارتفاع. (إعادة) 0.03، نسبة دائرية 0.19 (Rc) ، عامل الشكل 0.07 (Ff) نسبة الانضغاط (CC) 2.28.

الكلمات المفتاحية

وادي العرب ، نظام المعلومات الجغرافية، نموذج التضاريس الرقمي، التحليل المورفولوجي.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
METHODE DE TRAVAIL.....	3
1.1. Positionnement géographique	4
1.2. Découpage administratif	6
1.3. Aperçu géologique	6
1.4. Aperçu lithologique.....	6
1.5. Aperçu climatique.....	10
1.6. Méthode d'étude.....	10
1.7. Paramètres morphométriques linéaire.....	11
1.7.1. Méthode de l'extraction du réseau hydrographique et sa hiérarchisation sur Arc Gis...11	
1.7.2. Caractéristiques du réseau hydrographiques.....	11
1.7.2.1. Nombre de cours d'eau (Nu).....	11
1.7.2.2. Longueur du cours d'eau (Lu).....	12
1.7.2.3. Rapport du flux (RI).....	12
1.7.2.4. Densité de drainage (Dd).....	12
1.7.2.5. Le rapport de bifurcation (Rb).....	13
1.7.2.6. La fréquence du flux (Fs).....	13
1.7.2.7. Texture du drainage (Td).....	13
1.7.2.8. Durée de l'écoulement de surface (Lo).....	14
1.8. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant d'Oued El Arab.....	14
1.8.1. La surface du bassin versant.....	14
1.8.2. Le périmètre du bassin versant.....	14
1.8.3. Indice de compacité Kc.....	14
1.8.4. Rapport de circularité (Rcir).....	15
1.8.5. L'indice de compacité de Gravélius (1914), KG (dans Roche, 1963).....	15
1.8.6. Facteur de forme (Ff).....	16

1.8.7. Rapport d'allongement (Ra).....	16
1.8.8. Coefficient de Compacité (Cc).....	16
1.9. Hypsométrie.....	17
1.10. Pente.....	17
1.10.1. Indices de pente et relief.....	17
1.10.2. Indice de pente et roche.....	18
1.10.3. Dénivelée spécifique (Ds).....	18
RESULTATS ET DISCUSSION.....	19
2.1. Les paramètres morphométriques linéaire.....	20
2.1.1. L'extraction du réseau hydrographique et sont hiérarchisation sur Arc Gis.....	20
2.2. Les réseaux hydrographiques.....	23
2.2.1. Ordre de cours d'eau (U).....	23
2.2.2. Nombre de cours d'eau (Nu).....	24
2.2.3. Longueur du cours d'eau (Lu).....	24
2.2.4. Densité de drainage (Dd).....	24
2.2.5. Fréquence de flux (Fs).....	25
2.2.6. Ratio de bifurcation (Rb).....	25
2.2.7. Durée de l'écoulement de surface (Lo).....	25
2.2.8. Texture de drainage (km ² /km) (T).....	25
2.3. Les paramètres morphométriques de forme.....	26
2.3.1. Superficie totale du bassin (A).....	26
2.3.2. Périmètre du bassin (P).....	26
2.3.3. Coefficient de compacité de Gravelius (KG).....	26
2.3.4. Le rectangle équivalent.....	27
2.3.5. Ratio d'allongement (Re).....	27
2.3.6. Rapport de circularité (Rc).....	27
2.3.7. Facteur de forme (Ff).....	28
2.3.8. Rapport de compacité (Cc).....	28

CONCLUSION GENERALE.....	29
Références Bibliographiques.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1. Les formations lithologiques du bassin versant d'Oued El-Arab (Gaagai, 2009).....	7
Tableau 2. Caractéristiques du MNT utilisé dans la modalisation.....	10
Tableau 3. La surface et le périmètre d'Oued el-Arab.....	14
Tableau 4. Liste des paramètres morphométriques de forme utilisés dans cette étude (Benzougagh, 2016).....	17
Tableau 5. Classification de L'ORSTOM.....	18
Tableau 6. Classification, nombre de cours d'eau et leur longueur.....	23
Tableau 7. Les caractéristiques morphométriques linéaires du bassin versant d'Oued El Arab.....	23
Tableau 8. Bifurcation ratio (Rb) du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El Arab.....	26
Tableau 9. Les caractéristiques morphométriques de forme du bassin versant d'Oued El Arab.....	28

Liste des figures

Figure 1. Situation géographique du bassin versant d'oued El Arab.....	5
Figure 2. Carte représente la géologie du bassin versant d'Oued El-Arab (Aouachria, 2008).....	8
Figure 3. Carte lithographique du bassin versant d'Oued El-Arab (Aouachria, 2008).....	9
Figure 4. Indice de compacité de Graveluis et forme des bassins (Musy et al, 2004).....	16
Figure 5. Carte du modèle numérique du terrain du bassin de l'Oued El-Arab corrigée avec comblement des vides.....	20
Figure 6. Carte d'accumulation de l'écoulement des eaux superficielles.....	21
Figure 7. Carte du modèle numérique du terrain du bassin versant d'Oued El-Arab corrigé avec comblement des vides.....	22

Liste des abréviations

BV : Bassin versant

MNT : Modèle numérique de terrain

O.S.T.R.O.M : Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer

SIG : Systèmes d'Informations Géographiques

Introduction Générale

Introduction:

L'eau étant le vecteur privilégié de la vie, constitue l'élément indispensable pour l'alimentation, la santé et le bien-être de l'humanité, habitat d'une partie de la faune et de la flore, vecteur de matières érodant et modifiant les paysages. Le Saint Coran dans lequel rien n'a été négligé évoque dans de nombreux versets l'importance de l'eau. Le savant grec Thalès de Milet disait déjà au V le siècle av. J-C " l'eau est à l'origine et à la base de toutes choses". Abondante ou rare, l'eau disait Léonard de Vinci au XVI ème siècle, est la force conductrice de la nature **(Guidoum, 2017)**.

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. L'utilisation de l'eau est liée aux activités économiques. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de ladite gestion **(Kadi, 1997)**.

L'hydrologie est la science qui étudie les eaux terrestres, leur origine, leur mouvement et leur répartition sur notre planète, leurs propriétés physiques et chimiques, leurs interactions avec l'environnement physique et biologique, et leur influence sur les activités humaines. Au sens plus strict, c'est la science qui étudie le cycle de l'eau dans la nature. Elle examine la distribution géographique et temporelle de l'eau dans l'atmosphère, en surface et dans le sol et le-sous-sol **(François et al, 2012)**.

Le bassin d'Oued EI -Arab couvre la partie orientale des Aurès, il sépare le massif des Aurès de celui de Némemcha. Oued El-Arab prend son origine dans le Djebel Aidel vers 2100 m d'altitude et se jette dans la zone dépressionnaire du chott Melghir. Sa longueur est d'environ 150km **(Guehiliz, 2016)**.

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 **(Kouedjou et al, 2021)**.

L'influence de la morphologie du réseau hydrographique, assurant la fonction de transfert des volumes d'eau jusqu'à l'exutoire d'un bassin, a été relevée sur les hydrogrammes par de nombreux auteurs depuis la moitié du XXe siècle (**Denis et al, 2013**).

Le présent travail pour objectif à contribuer à mieux cerner les aspects morphologiques du bassin versant l'Oued el-Arab et l'analyse spatiale du bassin versant ainsi que les caractéristiques hydrologiques.

Le logiciel utilisé est Arc Gis car c'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

Ce travail est organisé comme suit :

- Une introduction générale.
- Méthode de travail.
- Résultats et discussion.
- Conclusion.

Méthode de travail

1.1. Positionnement géographique

Le bassin versant d'Oued El-Arab appartient au grand bassin fermé du chott Melghir et draine le versant Sud-Est du massif des Aures qui constitue l'extrémité Est de l'Atlas Saharien. Il se situe entre les latitudes $35^{\circ} 09'22''$ Nord, longitudes : $07^{\circ}00'50''$ Est et altitude : 952m (Fig. 1). Oued El-Arab qui est le résultat de la confluence des oueds Mellagou et El Abiod. Cet Oued qui se jette dans le chott Melghir traverse les communes de Khirane et El Ouldja où il creuse de véritables canyons. L'Oued El-Arab prend sa source à quelques kilomètres de Khenchela au Sud ouest, au djebel tafrent par 2 bras ayant 25 à 30 km de longueur et qui encerrent en l'isolant complètement du massif de l'Aurès, la montagne connue sous le nom de djebel Djahfa. Cette hauteur (1,719m) se termine par une table entourée de précipices ruines d'une guelaa qu'on dit avoir été construite par la fille de la Kahena (LT, 1904).

Oued El-Arab est un réseau dendritique, celui-ci résulte de la confluence de l'Oued Mellagou et de l'Oued El Abiod qui prennent leurs sources respectivement au Djebel Chélia et au Djebel Aidel. Son tracé à l'Est, est la limite exacte du massif qui le délimite des monts des Nememchat. Il draine pratiquement tout le flanc est du massif. La superficie de son bassin qui touche l'Aurès est d'environ 2500 Km. Cet Oued à écoulement permanent qui a justifié d'ailleurs la construction du barrage de Babar, irrigue une série d'Oasis notamment après la sortie du massif. Nous pouvons citer entre autres Kheirane, Khenguët Sidi Nadji, Zéribet El-Oued. Plus au Sud à 150 Km environs de ses sources. Comme tous les Oueds qui se dirigent vers le Sud, son débit diminue au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers le Sud (Meharzi, 2010).

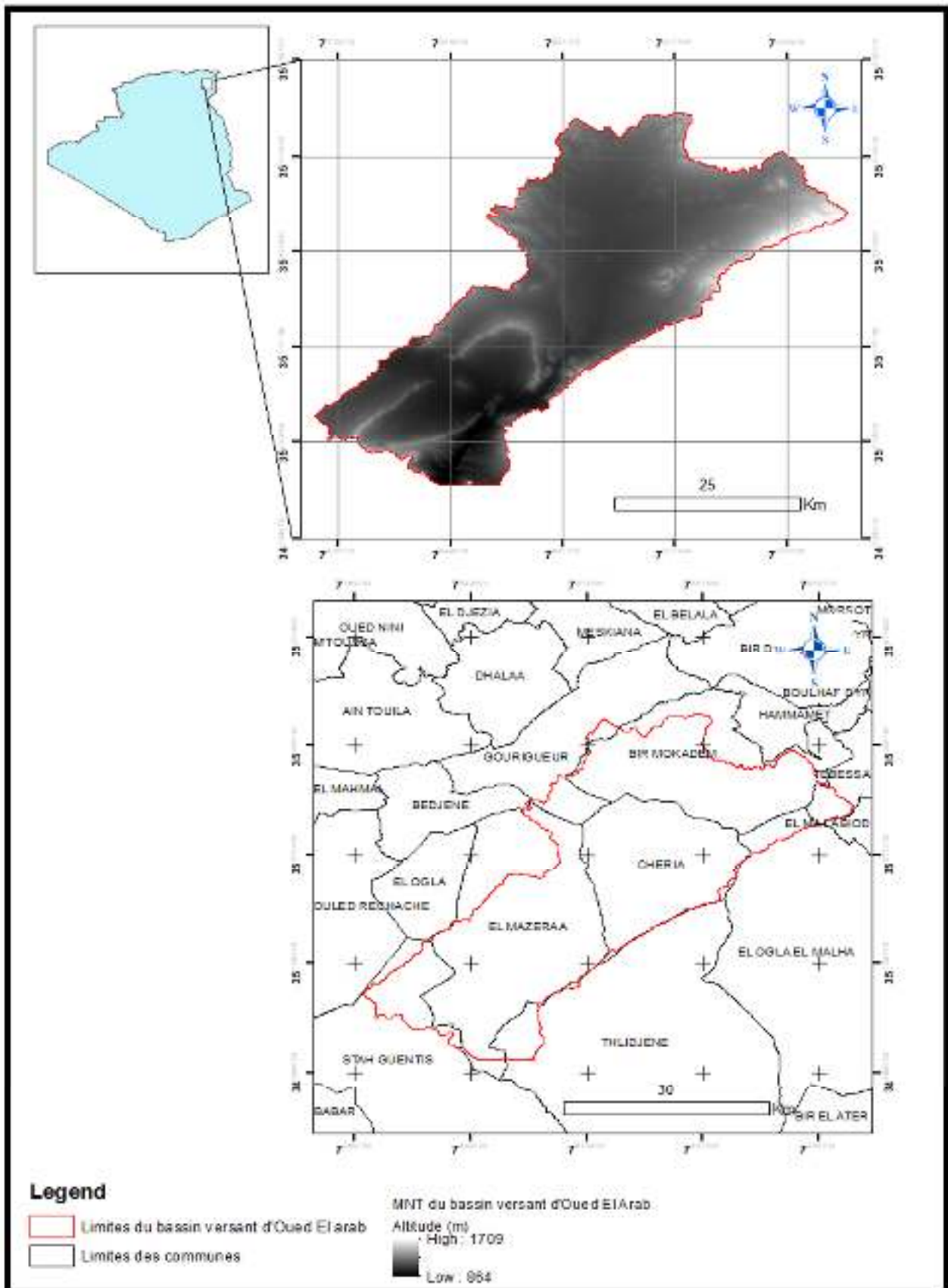


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant d'oued El Arab.

1.2. Découpage administratif

Le site fait partie administrativement à la commune de khirane aux confins des trois communes : khirane, Tamza et Babar, limité au Nord et à l'Ouest par la commune de Tamza à l'Est par la commune de Babar et au Sud par la commune de Khirane.

1.3. Aperçu géologique

Les formations géologiques de la région d'étude sont composées par une série stratigraphique simple (d'âge crétacé et quaternaire): les formations du crétacé et le quaternaire (Fig. 2).

1.4. Aperçu lithologique

Du point de vue de lithologie est compte tenu de l'absence d'une étude géologique détaillée sur le périmètre d'étude et selon l'utilisation de la carte de la Fitte et le terrain, on peut réaliser un croquis géologique représenté par la carte de (fig. 2) de la zone d'étude. A la base de ces résultats, on est arrivé à extraire le croquis lithologique, illustré dans la carte de (Fig. 3). Elle nous a permis de délimiter la zone perméable de celle qui est imperméable et cela suivant la nature des roches et degré de fissuration (**Aouachria, 2008**).

Aussi, on peut classer les formations en quatre catégories (tab 1).

- * Les marnes qui prédominent avec une stratification moyenne à forte. Ces marnes évoluent du vert clair au vert foncé et grise avec des teneurs variables de calcaire. Les marnes faiblement déformées s'alternent avec des couches calcaires à épaisseur variable ce qui leur donne le caractère de flysch.
- * Les grès se présentent sous forme de petites taches qui affleurent surtout au Nord- Ouest de bassin et au Sud.
- * Les calcaires fissurés se manifestent au Sud-Est, et au Nord-Ouest sous forme de bande qui s'étend de l'extrémité Sud vers l'extrémité Est.
- * Les formations du Quaternaire occupent une surface très vaste, elles se développent entre les deux chaînes de montagne qui limitent le bassin. Elles sont constituées essentiellement de marnes, de graviers, d'argiles, de sables et de limons.

Tableau 1 : Les formations lithologiques du bassin versant d'Oued El-Arab (Gaagai, 2009).

Formation	Perméabilité	Surface (km²)	Surface (%)
Marnes	Imperméable	75	13
Grés	perméable	15	03
Calcaires fissurés	perméable	56	10
Marno-calcaire	perméable	40	07
Alluvions	perméable	381	67

LA GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT
(Iaffite 1939)

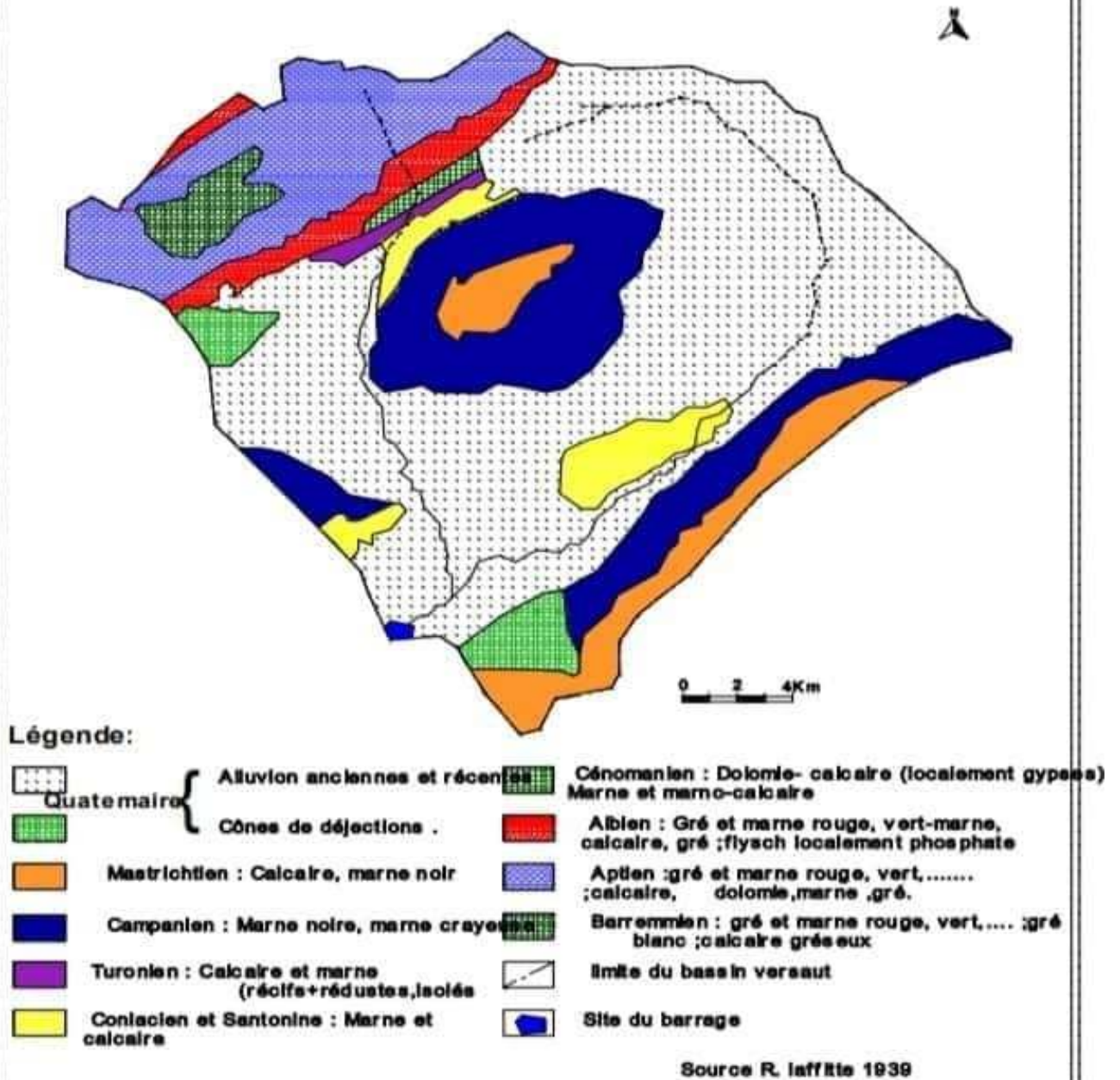


Figure 2 : Carte représente la géologie du bassin versant d'Oued El-Arab (Aouachria, 2008).

1.5. Aperçu climatique

Le bassin versant d'Oued El Arab appartient au grand bassin versant de Chott Melghir, il possède un climat semi-aride peu pluvieux en hiver et très chaud et sec en été avec des vents parfois violents. L'étude des données climatiques permettant d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous renseignera sur le type du climat et le comportement hydroclimatologique du bassin versant (Gaagai, 2017).

1.6. Méthode d'étude

Afin de délimiter notre bassin versant nous avons effectués le traçage grâce au logiciel Arc Gis à partir modèle numérique de terrain (MNT) fournit par le "United States géologique Survey " issu de la mission Shuttle Radar Topography (SRTM) (United states géologique Survey 2018 les caractéristiques de ce Modèle sont récapitulés dans le (tab 2).

Tableau 2 : Les Caractéristiques du MNT utilisé dans la modalisation.

Caractéristiques	Description
Capteur satellite	Aster Global STRM
Dimensions de la scène	1 degré par 1 degré
Résolution	1 arc-second (30m)
Projection	Géographique latitude et longitude
Géoiide de référence	WGS 84 UTM zone 31N
Numéro de la scène utilisée	ASTGTM2_N34E005.N34E006_N35E006.N35E005
Date d'acquisition des données	08 Décembre 2015

L'outil utilisé pour cette analyse est Arc Gis, c'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. Il est considéré comme étant la principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde.

L'étude des caractéristiques morphologiques associée à une analyse hydrologique d'un bassin versant constitue une plate-forme très importante pour la compréhension du comportement hydrologique.

1.7. Paramètres morphométriques linéaire

1.7.1. Méthode de l'extraction du réseau hydrographique et sa hiérarchisation sur Arc Gis

Les réseaux hydrographiques ont été extraits selon une suite d'étapes sur Arc Gis, comme suit :

- a. Correction des cuvettes, des artefacts dus à la résolution du MNT.
- b. Calcul de la direction de flux c'est-à-dire la direction d'écoulement en chaque pixel, qui correspond à la direction de plus grande pente.
- c. Détermination du flux accumulé dans chaque pixel, sous la forme d'une somme cumulée de tous les pixels s'écoulant dans les pixels en pente descendante.
- d. Choix d'un seuil hydrologique.

Le seuil demandé est la surface minimale en nombre de cellule en dessous de laquelle on ne délimitera pas de BV. La définition du seuil ne répond à aucune règle absolue. Il dépend de l'objectif de l'étude, de la taille de votre zone d'étude, du type de terrain.

$$\text{Seuilsu face} = \text{Seuilpizel} \cdot \text{Résolution}$$

Avec Seuilsurface le seuil hydrographique exprimé en surface amont drainée (m), Seuilpirel

Le seuil hydrographique exprimé en nombre de pixels amont drainés, et la résolution du MNT en m².

Le choix du seuil, lors de l'extraction du réseau conditionnent la qualité du réseau, pour la même résolution du MNT.

- e. Attribution d'un ordre d'écoulement aux liaisons d'écoulement.
- f. Conversion du réseau linéaire en réseau.

Le réseau hydrographique extrait, permet d'analyser avec précision les ses caractéristiques.

1.7.2. Caractéristiques du réseau hydrographiques

1.7.2.1. Nombre de cours d'eau (Nu)

Les nombres de segments de cours d'eau de chaque ordre forment une séquence géométrique inverse avec un numéro d'ordre (**Horton, 1945**) :

$$Nu = N_1 + N_2 + \dots N_n$$

Avec:

Lu : Longueur du cours d'eau ;

L1 : Longueur du cours d'eau du premier ordre;

L2 : Longueur du cours d'eau du second ordre;

Ln : Nombre 'n ' de la longueur du cours d'eau.

1.7.2.2. Longueur du cours d'eau (Lu)

La longueur du cours d'eau révèle les caractéristiques de l'écoulement de surface du bassin. Elle a été mesurée à l'aide d'un rotamètre. 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 (**Horton, 1945**):

$$L_u = L_1 + L_2 \dots\dots$$

Avec:

N1: Cours d'eau de premier ordre ;

N2: Cours d'eau de second ordre ;

Nn : Nombre de cours d'eau.

1.7.2.3. Rapport du flux (RI)

Il correspond au rapport de la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (n+ 1) sur la longueur moyenne des thalwegs d'ordre (**Horton, 1945**).

$$RI = L_{n+1} / L_n$$

Avec :

RL : rapport de longueur ;

L_{n+1} : longueur totale des drains d'ordre (n+1) exprimé en km ;

L_n : longueur totale des drains d'ordre (n), exprimé en km.

1.7.2.4. Densité de drainage (Dd)

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre (L_x) sur la surface du bassin versant (S). La longueur des thalwegs est mesurée à l'aide du curvimètre pour chaque ordre séparément (**Gaagai, 2009**). La densité de drainage est donnée par l'équation suivante :

$$Dd = \sum L_x / S$$

Avec :

D_a : densité de drainage en (km / km²) ;

Lx : longueur totale. Cumulée de l'ensemble des talwegs ;

S : superficie du bassin versant.

1.7.2.5. Le rapport de bifurcation (Rb)

C'est le rapport de confluence ou bifurcation ratio désigne le rapport du nombre de talweg d'un ordre donné sur ceux de l'ordre suivant (**Schumm, 1956**). Ce rapport est fonction de la pente, de la physionomie et du climat. Il renseigne sur le degré de ramification du réseau de drainage et d'évolution des bassins versants (**Strahle, 1964**).

Le rapport de bifurcation est donné par l'équation suivante :

$$Rb = Nu/Nu+1$$

Avec :

Nu : Nombre total de segments de flux ;

Nu+1 : Nombre de segment d'ordre supérieur suivant.

1.7.2.6. La fréquence du flux (Fs)

La fréquence des cours d'eau est définie comme le nombre total des talwegs de tous les ordres par unité de surface (**Horton, 1932**). 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 (**Melton, 1958**).

La fréquence du flux est donnée par l'équation suivante (**Horton, 1945**) :

$$Fs = N/A$$

Avec :

N : Nombre de flux ;

A : zone du bassin versant.

1.7.2.7. 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).

La texture de drainage est donnée par l'équation suivante (**Smith, 1950**) :

$$Td = Dd \times Fs$$

Avec :

Dd : Densité de drainage ;

Fs : Fréquence de flux.

1.7.2.8. Durée 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 (Horton, 1945).

La durée de l'écoulement est donnée par l'équation suivante :

$$L_o = 1/2 Dd.$$

1.8. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant d'Oued El Arab

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant d'Oued El Arab ont été déterminés à partir de la carte topographique (1/200000) de Khenchela.

1.8.1. La surface du bassin versant

La superficie a été mesurée par un Planimètre, elle est égale à 1780km² environ. (Tableau 03).

1.8.2. Le périmètre du bassin versant

Le périmètre du bassin versant peut être mesuré directement sur la carte topographique au moyen d'un Curvimètre. Elle a été estimée à 344,16km². (Tab 3).

Tableau 03 : La surface et le périmètre d'Oued el-Arab.

Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)
1780	344,16

1.8.3. Indice de compacité Kc

Cet indice est obtenu à l'aide de la formule suivante :

Avec : **P**: Périmètre du B.V, P=344,16km²

S: surface du bassin versant.

A.N :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * S}} = 2.28$$

Si: $K_c \leq 1$ Bassin versant de forme circulaire ;

$K_c = 1,12$ Bassin versant de forme carrée ;

$K_c > 1,12$ Bassin versant allongé.

Dans notre cas $K_c = 2.28$ donc le bassin versant de Oued El Arab à une forme allongé.

1.8.4. Rapport de circularité (Rcir)

Toujours en se référant à un bassin circulaire, a défini un indice de circularité, c'est le rapport entre la superficie du bassin étudié et celle du cercle dont la circonférence est égale au périmètre du bassin (ABDEDDAIM, 2018). Soit:

$$R_{cir} = 4\pi \frac{S}{P^2}$$

1.8.5. L'indice de compacité de Gravélius (1914), KG (dans Roche, 1963)

Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface.

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec:

KG : indice de compacité de Gravélius ;

A: surface du bassin versant (Km²) ;

P: périmètre du bassin (Km). KG est proche de 1 pour un bassin presque circulaire et supérieur à 1 pour un bassin allongé (Fig. 4) (Belazreg, 2019).

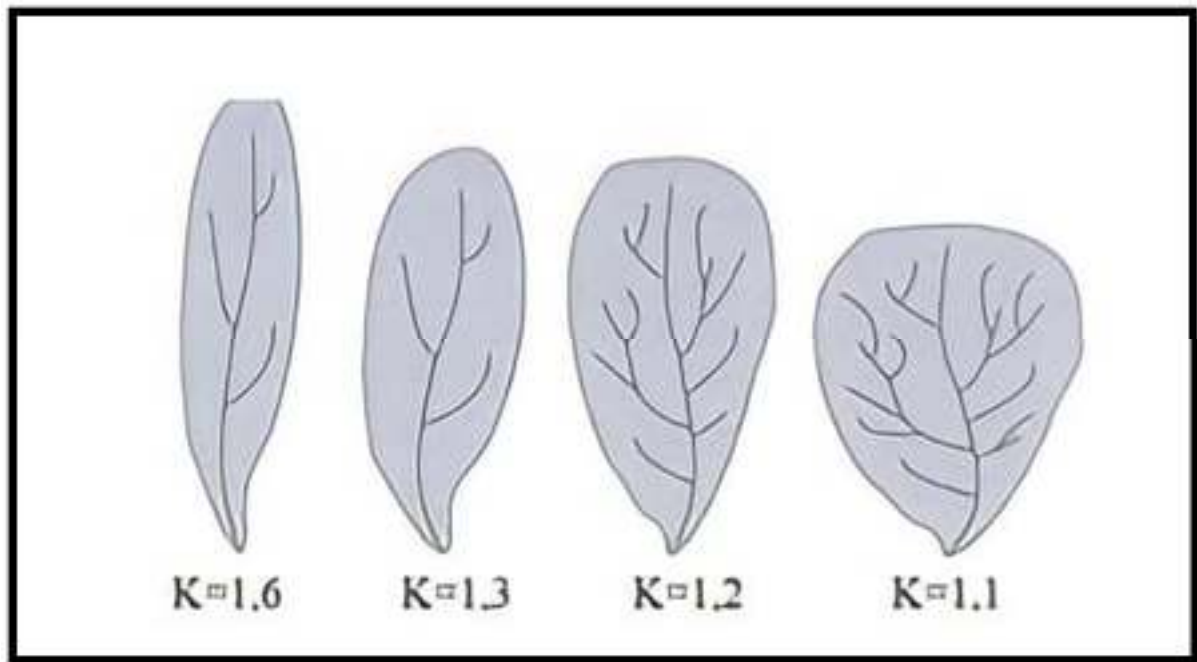


Figure 4: Indice de compacité de Graveluis et forme des bassins (Musy et al, 2004).

1.8.6. 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 (2016).

1.8.7. Rapport d'allongement (Ra)

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 (Ra) 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).

1.8.8. Coefficient de Compacité (Cc)

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 (Horton, 1945).

Tableau 4: Liste des paramètres morphométriques de forme utilisés dans cette étude (Benzougagh ,2016).

	Paramètre	Formule	Références
Paramètre de forme	Rapport d'allongement (Re)	$Re = \sqrt{(4 * \frac{A}{P})} / L$	Schumm, 1956
	Rapport de circularité	$Rc = 4\pi A / P^2$	Strahler, 1964
	Facteur de forme (Ff)	$Ff = A / L^2$	Horton, 1945
	Rapport de compacité (Cc)	$Cc = 0.2821P / A^{0.5}$	Horton, 1945

1.9. Hypsométrie

Vu que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude. Il est intéressant d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude en construisant un hypsogramme ou histogramme de fréquence des altitudes, sur lequel la courbe hypsométrique est construite (tracée). Cette courbe fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Elle représente la répartition de la surface du bassin en fonction de son altitude. La courbe hypsométrique reste le meilleur outil graphique qui exprime l'aire planimétrique des tranches d'altitude en fonction de la surface relative du bassin. Elle permet ainsi de révéler l'évolution structurale d'un bassin, et elle donne un bon résumé des distributions altimétriques et topographiques. L'allure des courbes hypsométriques permet de déterminer le degré de maturité ou d'évolution cyclique du relief. De forme concave, la courbe indique que le bassin est en état de maturité. Au contraire, les bassins versants sont immatures, jeunes, ou en cours de soulèvement si la courbe est convexe (Abdeddaim, 2018).

1.10. Pente

1.10.1. Indices de pente et relief

L'appréhension du relief peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation :

$$I_g = D/L$$

D: dénivelée H5 % - H95 %, définie sur la courbe hypsométrique (m) ;

L: longueur du rectangle équivalent (m).

1.10.2. Indice de pente et roche

I_p : également défini par Roche à partir du rectangle équivalent est égal à :

$$I_p = 1/L \cdot \sum x_i \cdot \beta_i \cdot [a_i - a_{i-1}]$$

Avec :

β_i : fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a ;

a_i : Fonction donnée par le tableau hypsométrique ;

x_i : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent ;

L: longueur du rectangle équivalent. (Baba hamed et al, 2016).

1.10.3. Dénivelée spécifique (Ds)

Elle est définie comme étant le produit de l'indice de pente globale (I_g) par la racine carrée de la surface du bassin versant (Gaagai, 2009):

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelée spécifique du bassin de Oued Al Arab se trouve dans la classe R7 (Tab 5), donc on a un relief très fort (Gaagai, 2009).

Tableau 5: Classification de L'ORSTOM.

Classe	Type de relief	Interval de Ds
R1	Relief très faible	05 à 10m
R2	Relief faible	010 à 25m
R3	Relief assez faible	025 à 50m
R4	Relief modéré	050 à 100m
R5	Relief assez fort	100 à 250m
R6	Relief fort	250 à 500m
R7	Relief très fort	500 à 750m

Résultats et discussion

2.1. Les paramètres morphométriques linéaire

2.1.1. L'extraction du réseau hydrographique et sont hiérarchisation sur Arc Gis

Les étapes à suivre sont comme suit : - La correction de MNT : Pour extraire le réseau hydrographique à partir du modèle numérique du terrain du bassin versant d'Oued El Arab, il faut procéder avant tout à la correction de ce dernier pour combler les lacunes qui peuvent exister.

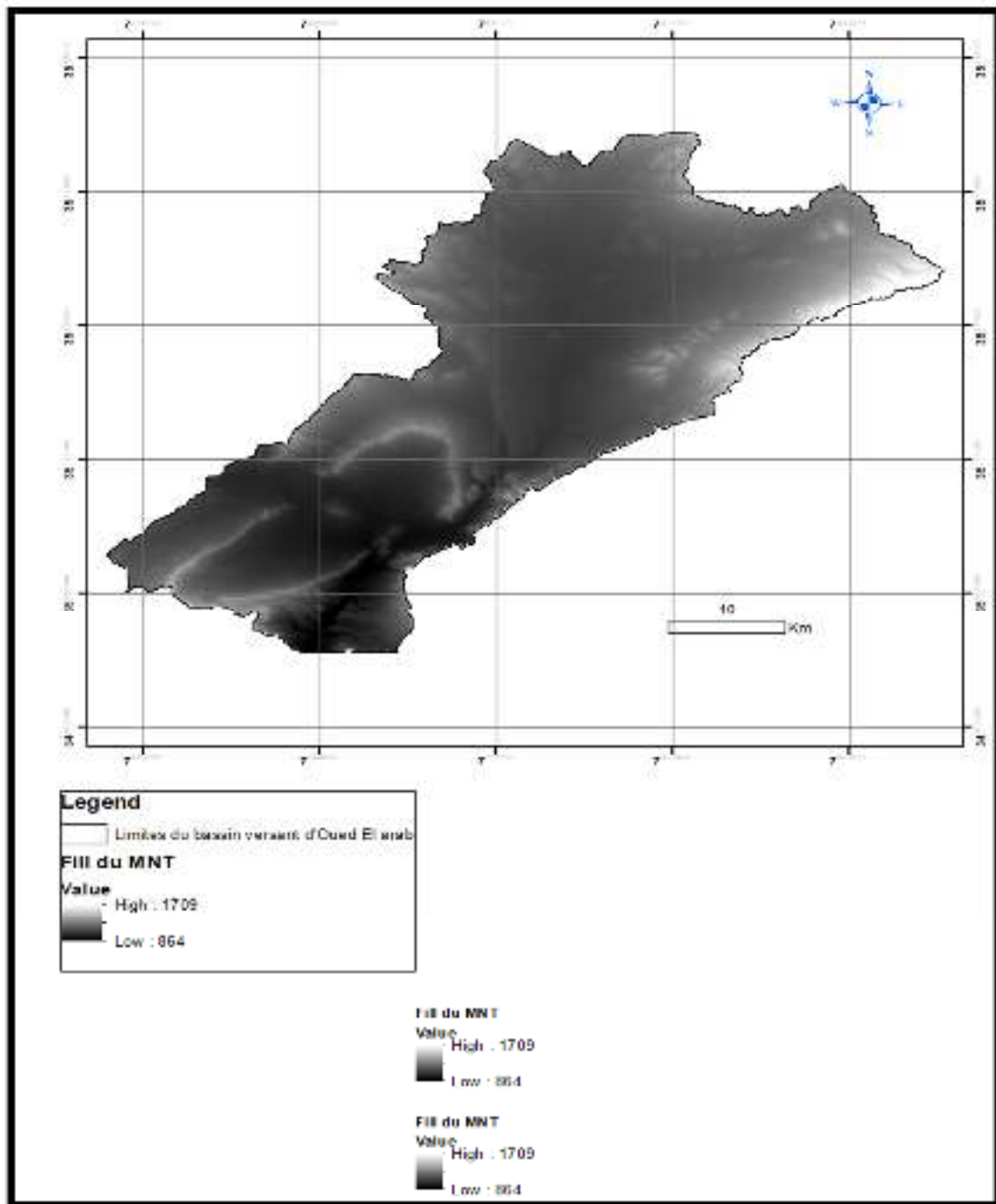


Figure 5 : Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de l'Oued El Arab, pour un seuil hydrographique de 2000 pixels.

Accumulation de l'écoulement des eaux superficielles (Fig.6).

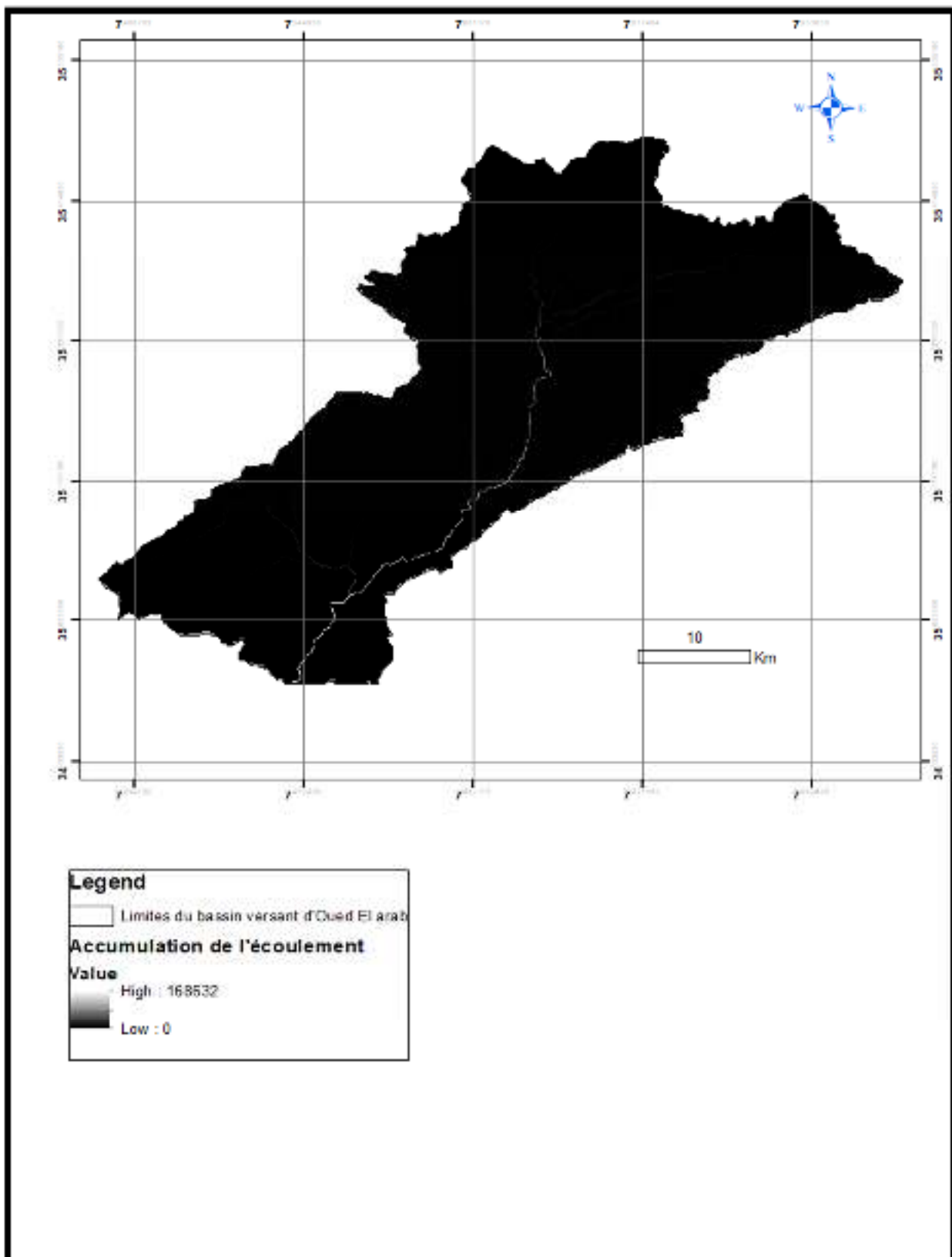


Figure 6 : Carte d'accumulation de l'écoulement des eaux superficielles.

Le réseau hydrographique extrait (Fig.7, permet d'analyser avec précision les caractéristiques hydrologiques du bassin versant d'Oued El Arab.

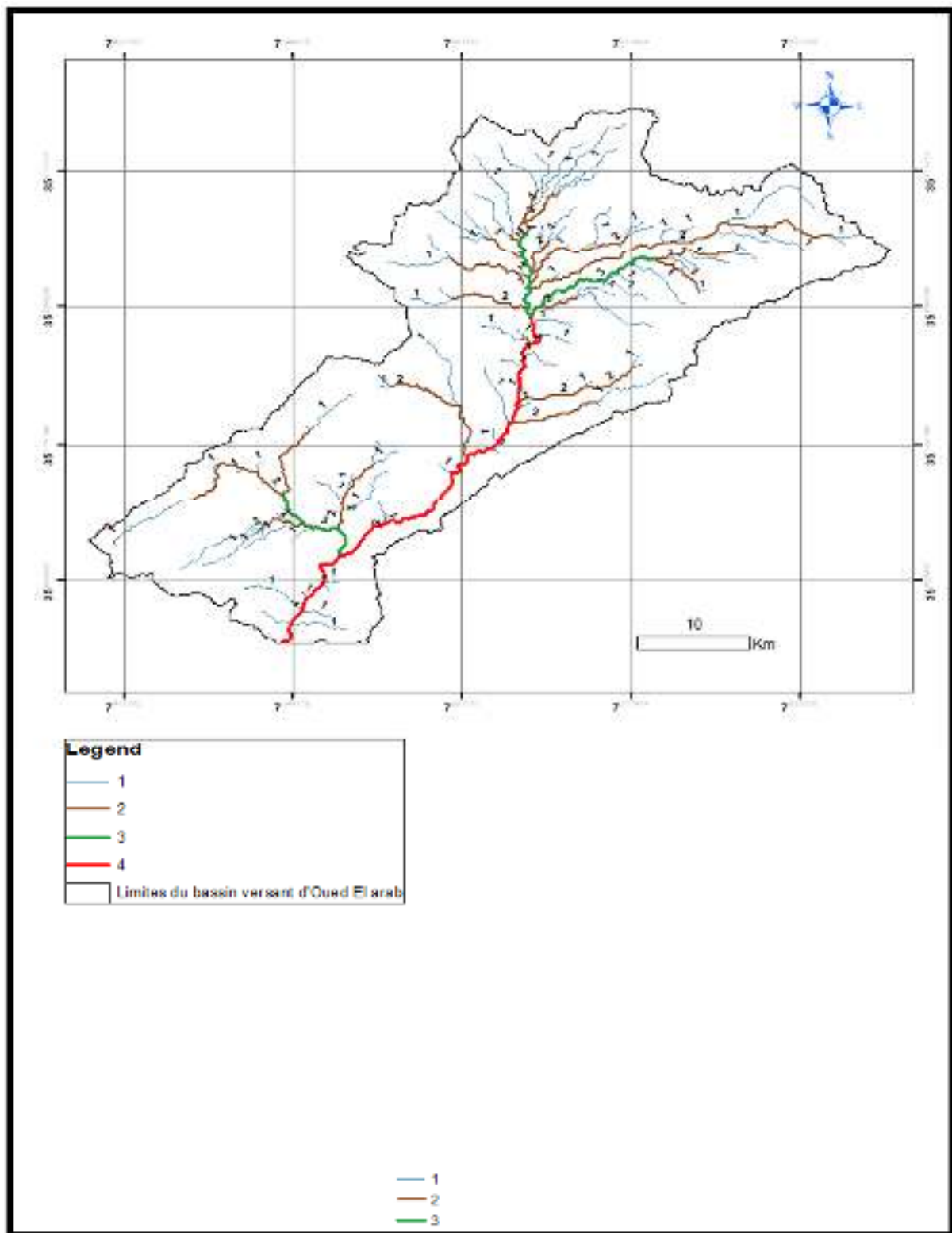


Figure 7 : Carte du modèle numérique du terrain du bassin versant d'Oued El-Arab corrigé avec comblement des vides.

2.2. Les réseaux hydrographiques

À partir de cette donnée, nous avons déterminé la longueur totale et moyenne de chaque ordre. Les résultats sont synthétisés dans (tab 6).

Tableau 6 : Classification, nombre de cours d'eau et leur longueur.

Ordre	Nombre de cours d'eau	Longueur (m)	Longueur moyenne de flux (m)
1	166	918,72	1.92
2	73	124,33	1.70
3	29	26,65	0.91
4	37	69,43	1.87

Les paramètres linéaires comprennent : 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 7 : Les caractéristiques morphométriques linéaires du bassin versant d'Oued El Arab.

Paramètre	Valeur
Longueur de flux (Lu)	539,13
Flux rapport de longueur (RL)	1,06
Rapport de bifurcation moyenne (RBM)	6,65
Densité de drainage (Dd)	0,30 km/km ²
Fréquence texture (T)	0 ,17
Fréquence de flux (Fs)	0,051
Durée de l'écoulement de surface (Lo)	0,15 h

2.2.1. 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 (1957)**. Selon **STRAHLER (1957)**, 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. Le cours d'eau principal, par lequel passe la totalité de l'eau et des sédiments, est le segment de cours d'eau de premier ordre. Ainsi, dans la présente étude, le classement des cours d'eau est basé sur la méthode proposée par **STRAHLER (1957)** et constitue un réseau de cours d'eau de 4 ordre.

2.2.2. Nombre de cours d'eau (Nu)

Les "nombres de segments de cours d'eau de chaque ordre forment une séquence géométrique inverse avec un numéro d'ordre". Environ 305 cours d'eau observés dans le bassin versant du Oued El arab. La fréquence maximale était dans le cas des cours d'eau de premier ordre et diminue à mesure que l'ordre des cours d'eau augmente.

2.2.3. Longueur du cours d'eau (Lu)

La longueur du cours d'eau révèle les caractéristiques de l'écoulement de surface du bassin. Elle a été mesurée à l'aide d'un rotamètre. 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. Dans le bassin versant de l'Oued El arab, la longueur des cours d'eau a été calculée en utilisant les cartes topographiques qui découlent du MNT. Les cours d'eau de premier ordre ont une longueur de 918,72 km, les cours d'eau de deuxième ordre de 124,33 km, les cours d'eau de troisième ordre de 26,65 km, les cours d'eau de quatrième ordre de 69,43 km.

2.2.4. Densité de drainage (Dd)

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. Elle est classée en 5 classes différentes: très grossière (<1,2), faible (1,2

à 2,4), modérée (2,4 à 3,6), élevée (3,6 à 4,8) et très élevée (4,6 à 6). 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. La densité de drainage dans le bassin versant du Oued El arab est d'environ 0,30 km/km², ce qui est très grossière (c'est à dire de type limité) et indique un sous-sol perméable, une couverture végétale moins dense et un relief moins accidenté.

2.2.5. Fréquence de flux (Fs)

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. La fréquence de flux tend à être en corrélation positive avec la densité de drainage. La fréquence de flux du bassin versant de l'Oued El arab est de 0,17. Cette faible valeur de la fréquence de flux indique un ruissellement et une inondation plus lents dans le bassin versant.

2.2.6. Ratio de bifurcation (Rb)

Le ratio de bifurcation est le rapport entre le nombre total de cours d'eau de l'ordre sélectionné et le nombre total de cours d'eau de l'ordre immédiatement supérieur dans le bassin versant. Dans la plupart des études, le rapport de bifurcation varie typiquement entre 3 et 5 pour le bassin versant dans lequel la géologie est raisonnablement homogène sans perturbations structurelles du bassin de drainage, ce qui est le cas du sous-bassin versant du Niaoulé. Les rapports de bifurcation sont classés en 3 classes différentes: bassin circulaire (≤ 2.25), bassin de type chêne (2.25 et 5) et bassin allongé (>5). Le ratio de bifurcation moyen du bassin versant de l'Oued El arab est 6,65, le bassin allongé.

2.2.7. Durée de l'écoulement de surface (Lo)

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. La durée de l'écoulement terrestre dans le bassin versant de l'Oued El arab est de 0,15.

2.2.8. Texture de drainage (km² /km) (T)

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). La texture du drainage moyenne du bassin versant du Oued El arab est 0,17 ce qui indique que ce sous-bassin versant a un drainage de type grossier.

Tableau 8 : Bifurcation ratio (Rb) du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El Arab.

Bifurcation ratio (Rb)	Valeur
N1/N2	2,27
N2/N3	2,51
N3/N4	1,87

2.3. Les paramètres morphométriques de forme

2.3.1. Superficie totale du bassin (A)

La superficie totale du bassin est un paramètre important dans l'analyse morphométrique. La forme d'un bassin a pour origine une poire et tend à s'allonger au fil du temps. La superficie du bassin versant de l'Oued El arab est de 1780 km².

2.3.2. Périmètre du bassin (P)

La limite extérieure du bassin versant englobe la totalité de la zone. La longueur de cette limite externe, qui est également mesurée le long de la ligne de partage des eaux, est le périmètre du bassin. Le périmètre est un indicateur de la taille et de la forme du bassin versant. Le périmètre du bassin versant de l'Oued El arab est de 344,16 km.

2.3.3. Coefficient de compacité de Gravelius (KG)

L'indice de compacité de **GRAVELIUS (1914)** KG est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface. Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Le Coefficient de compacité 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). Le coefficient de compacité du sous-bassin versant de l'Oued El arab est de 2,28 et indique un bassin dont la forme est allongée.

2.3.4. Le rectangle équivalent

La longueur et la largeur du rectangle équivalent du bassin versant d'Oued El Arab est comme suit : $L = 160,61$ km. $l = 11,16$ km.

2.3.5. Ratio d'allongement (Re)

La forme d'un bassin peut être identifiée par le rapport d'allongement. Il est calculé comme le rapport entre le diamètre d'un cercle ayant une surface similaire à celle du bassin et la longueur maximale du bassin. Des environnements climatiques et géophysiques variés sont évalués entre les valeurs du rapport de 0,60 à 1,00. Les valeurs proches de 1,00 indiquent un relief plus faible, tandis que celles comprises entre 0,60 et 0,80 peuvent être associées à des pentes de terrain abruptes et à un relief élevé. Les différentes formes d'un bassin versant, à savoir la forme circulaire (0,9-0,10), ovale (0,8-0,9) et moins allongée ($<0,7$). Le rapport d'allongement du bassin versant de l'Oued El arab est de 0,03 ce qui indique une forme moins allongée.

2.3.6. Rapport de circularité (Rc)

Le rapport de circularité défini par Miller est le rapport de la surface d'un bassin à l'aire d'un cercle ayant la même circonférence que le périmètre du bassin. Ce rapport est un indice sans dimension utilisé pour identifier la forme du contour du bassin. La valeur varie de zéro (une ligne) à un (un cercle). La valeur tend à être influencée par la longueur et la fréquence de flux dans leur ordre respectif, leur gradient, leur lithologie et leur mode de drainage. Le rapport de circularité du sous-bassin versant Oued El arab est de 0,19 , ce qui indique une forme modérée du bassin. Cela implique un stade de jeunesse tardif du développement géomorphologique du bassin de drainage.

2.3.7. Facteur de forme (Ff)

Le facteur de forme (Ff) est le rapport entre la surface du bassin et la source de la longueur du bassin. L'intensité du cours d'eau d'une unité de surface peut être identifiée grâce à ce facteur. Pour un bassin parfaitement circulaire, la valeur du facteur de forme sera supérieure à 0,78 (une valeur de 1 indiquerait une forme parfaitement circulaire). Plus le bassin est allongé, plus la valeur du facteur de forme serait faible (proche de 0). Le facteur de forme du sous-bassin versant de l'Oued El arab est de 0,07, et symbolise une forme circulaire.

2.3.8. Rapport de compacité (Cc)

Dans le bassin versant que nous étudions la valeur de rapport de compacité est 2,39 écarts type faible.

Tableau 9. Les caractéristiques morphométriques de forme du bassin versant d'Oued El Arab.

Paramètre	Valeurs
Surface	1780 km ²
Périmètre	344.16 km ²
Rapport d'allongement (Re)	0.03
Rapport de circularité (Rc)	0.19
Facteur de forme (Ff)	0.07
Rapport de compacité (Cc)	2.30

Conclusion Générale

Conclusion :

Le travail présenté dans ce mémoire est pour but une meilleure analyse morphologique et hydrologique d'un réseau dendritique, le bassin versant retenu dans l'étude est Oued Al Arab.

Au terme de cette étude nous rapportons les résultats suivants :

*D'après l'étude théorique de la région, le bassin versant d'Oued El-Arab couvre la partie orientale des Aurès, il sépare le massif des Aurès de celui de Némemcha . Oued El Arab prend son origine dans le Djebel Aidel vers 2100 m d'altitude et se jette dans la zone dépressionnaire du chott Melghir. Sa superficie est 1780Km²/Km.

*Le bassin versant d'Oued El-Arab a un climat semi aride avec des précipitations rares.

*Grâce à nos constatations dans le calcul d'indice de Gravelius (KG= 2.28) en conclure que ce réseau présente des ramifications nombreux.

*Le bassin versant d'Oued El-Arab est caractérisé par une forme allongée avec un facteur de forme de 0.07, un rapport d'allongement de 0,03, et un rapport de circularité de 0,19.

*d'après le calcul de la densité de drainage et la texture de drainage, se bassin caractérisé par un sous-sol perméable, une couverture végétale moins dense, un relief moins accidenté et un drainage de type grossier.

Références Bibliographiques

Abdeddaim, H. (2018). CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA STRUCTURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUR LE RISQUE HYDROLOGIQUE «Cas des bassins de l'Est de l'Algérie» (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).

Anctil, F., Rousselle, J., & Lauzon, N. (2012). Hydrologie: Cheminement de l'eau. Presses inter Polytechnique.

Aouachria, M. (2008). Analyses morphodynamique et hydropluviométrique de la vallée de Oued El Arab et leurs impacts sur la pérennité du barrage de Babar (Doctoral dissertation, Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des Sciences).

BELAZREG, N. E. H., & BENKHALED, P. A. Mémoire de Master.

Brahim, B., Boudad Larbi, P., Dridri Abdallah, P., & 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).

Gaagai, A. (2009). Étude Hydrologique et Hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued el ARAB région Est de l'Algérie (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

Gaagai, A. (2017). Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

Guehiliz, N. (2016). Contribution à l'étude des plantes spontanées dans l'Oued de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

Guidoum, A. (2017). Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est algérien. Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et Chott Melghir (Coupe Nord-sud) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

Hamed, K. B., & Bouanani, A. (2016). Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques: Cas du bassin versant de la Tafna.(Nord-ouest algérien). Geo-Eco-Trop, 40(4), 277-286.

Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. Transactions, American geophysical union, 13(1), 350-361.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull Geol Soc Am.

Kadi, A. (1997). La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological sciences journal*, 42(2), 191-197.

Khabtane, A. (2015). Contribution à l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre *Tamarix* dans différents écotopes de la zone steppique de KHENCHELA (EST ALGERIEN).

Kouedjou, I. L. and Anaba Banimb .R .C. (2021). Morphometric Analyse of the Menoua watershed for a better management of morphohydrological risks , University of Ngaoundere (Cameroun) .

Lt . Colonel delartigue (1904). Menographie de L'Aures documentant sur Batna et sa Region.

Maréchal, D., Ayrat, P. A., Bailly, J. S., Puech, C., & Sauvagnargues-Lesage, S. (2013). Sur l'origine morphologique des écoulements par l'analyse d'observations hydrologiques distribuées. Application à deux bassins versants cévenols (Gard, France). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 19(1), 47-62.

Meharzi, M. K. E. (2010). Forêts, géosystèmes et dynamique du milieu: le cas de l'Aurès. Thèse de doctorat d'État en Aménagement du Territoire, Option Géographie Physique, 258.

Melton M. A. (1958). Geometric properties of mature drainage system and their representation in an E4 phases Space.

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.

Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *American journal of Science*, 248(9), 655-668.

Strahler, A. N., & Chow, V. T. (1964). Handbook of applied hydrology. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks.