

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



Université de Ghardaïa

N°d'ordre :

N° de série:

Faculté des Sciences et Technologie
Département d'hydraulique et génie civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrique

PAR:

M^r: Youcef Guerbouz

M^r : Ben messaoud Hadj Mohammed

THEME:

**APPORT DU SIG ET DE L'MNT-ASTER A L'ETUDE
MORPHOMETRIQUE D'UN BASSIN VERSANT EN
ZONE ARIDE : CAS DE L'OUED ZEGRIR (GUERRARA)**

Soutenu publiquement le:

Jury:

M^r MECHRI BACHIR	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
M^r: BOULMAIZ TAYEB	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
M^r: Achour Mansour	DOCTORANT	ANRH	Promoteur

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2019/ 2020



Dédicace

A ma très chère mère

Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A la mémoire de mon père

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mes frères et sœurs.

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter. En reconnaissances

de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

Je vous remercie de votre patience vous m'avez toujours aidé à avancer vous êtes tous des grands amis si gentils, merci d'être toujours près de moi, amis avec lesquels je souris.

Youcef



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes parents, pour leurs amours,
soutiens, encouragements, et sacrifices, sans qui je n'aurai pas
pu arriver à ce stade, à mes frères.*

A toute la famille « Ben Massaoude »

*A mes amis et à toute la
promotion Hydraulique 2020*

A ceux qui étaient toujours là pour moi.

Mohammed



Remercîments

Avant tout je remercie Dieu tout puissant, de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens tout particulièrement à témoigner ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Monsieur Manssour Achour, d'avoir accepté de m'encadrer sur le thème, de m'avoir conseillé judicieusement, orienté, et de m'apporter une attention tout au long de ce travail.

Je remercie tous mes amis pour leur aide et leur assistance.

Je tiens à remercier tous les enseignants de mon cursus universitaire, qui ont contribué à ma formation.

A tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.



RESUME

Résumé :

Ce travail a été réalisé dans le but d'établir des cartes des zones hydrologie de bassin versant (zegrir) et zones d'eau superficielles, en utilisant la cartographie informatique qui nous a permis un gain de temps de travail considérable.

Ce travail consiste à traiter des données MNT de type (aster de 30*30) par le logiciel Arc Gis version 10.4. Ce qui permet de déterminer le bassin versant de zegrir qui s'étend de la région de lagout (amont) jusqu'à la région de Ouargla en passant par la région de Guerrara.

Mots clés :

hydrologie , Zegrir , Arcgis , MNT ,Bassin versant.

Summary:

This work is done in order to produce maps of the watershed hydrology zones (zegrir) and areas grand hydrological and cognition the latest technology in mapping and abstract work time. This work involves dealing with aster data software Arc Gis 10.4 were established watershed hydrology maps (zegrir) and cognition of the surface water in the region from the use of mapping and hydrological data of the areas. Which help determine the watershed (zegrir) the upstream watershed from laghwat though the Guerrara to downstream in ourgla

Key words:

hydrology , Oued Zegrir , arcgis , Watershed , DEM

المخلص:

هذا العمل أنجز بهدف إنجاز خرائط المناطق الهيدرولوجية لحوض الساوره ومعرفة المناطق التي بها أكبر كم من المياه السطحية حيث قمنا

بإنجاز خرائط هيدرولوجية لحوض زغرير وتحديد المياه السطحية في المنطقة وذلك باستعمال 20 مرئية للمنطقة وهذا الذي سمح لنا بتحديد الشبكة

الميدر وجرافية ومساهمتها في العملية الهيدرولوجية للأحواض وبيدأ تكون الحوض من الأغواط مرورا بالقرارة ونهاية الحوض تكون في ورقلة

المفتاحية الكلمات: الشبكة الهيدروجرافية , حوض مائي , واد زغرير , هيدرولوجي.



SOMMAIRE

SOMMAIRE

TITRE	PAGE
DIDICACE	
REMERCIEMENTS	
RESUME	
SOMMAIRE	
INRTODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	
I.1. Cadre géographique	3
I.1.1. Aspect topographique	3
I.1.2. Aspect géomorphologique	4
I.1.3. Le Réseau Hydrographique	5
I.2. Cadre géologique	8
I.3. Climatologie	9
I.3.1. Les éléments de climat	10
II.4. Conclusion	21
CHAPITRE II : METHODES ET MATERIELS	
II.1. Introduction	23
II.2. Exploitation d'un SIG	23
II.3. Définition des SIG	23
II.4. Rappel historique du SIG	23
II.5. Définition des données géo spatiales	24
II.6. Les images satellites	24
II.7. Définition du MNT	24
II.8. Type	25
II.9. SIG en hydrologie	25
II.10. Le SIG et Analyses physiographiques	26
II.11. Programmes et logiciels exploités	28
II.12. Processus d'extraction du réseau hydrographique sous ArcGIS	29
II.13. Conclusion	30

SOMMAIRE

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSION	
III.1. Caractéristiques morphométriques	33
III.1.1. Surface et périmètre du bassin versant de l'oued	33
III.1.2. Hypsométrie	34
III.1.3. Indices de pentes I_m	35
III.1.4. Coefficient de Gravelius	36
III.1.5. Le rectangle équivalent	36
III.1.6. Caractéristiques du réseau hydrographique	38
III.1.6.1. Classification du réseau hydrographiques	38
III.1.6.2 La densité de drainage D_d	41
III.1.6.3. Densité des thalwegs élémentaires $F1$	41
III.1.6.4 Rapport de confluence RC	42
III.1.6.5. Coefficient de torrentialité C_t	42
III.1.7. Etude de la fréquence altimétrique	43
III.1.8. Etude de la répartition des surfaces en fonction de l'altitude	43
III.1.9. Altitude moyenne du bassin H_{moy}	45
III.1.10. Dénivelée spécifique D_s	46
III.1.11. Etude des pentes	47
III.1.12. Temps de concentration	50
III.1.13. Vitesse d'écoulement de l'eau V_c	51
III.1.14. Lamme d'eau ruisselée	55
III.1.15 .Calcul du débit de pointe d'une crue	55
CONCLUSION GENERALE	58
BIBLIOGRAPHIE	60

SOMMAIRE

Liste de tableaux:

Tableau	Page
Données météorologique de la région de Guerrara (2007 - 2016).	10
La température Max et Min de mois pendant 2007-2016	11
La moyenne de température de mois pendant 2007-2016	12
La moyenne de précipitation de mois pendant 2007-2016	13
La moyenne d` Evaporation de mois pendant 2007-2016	15
La moyenne d` Humidité de mois pendant 2007-2016	17
La moyenne d` Insolation de mois pendant 2007-2016	19
Répartition de la superficie selon l` élévation des courbe des niveaux	35
Calcul des largueurs des intervalles	37
Rapport de confluence RC	42
Nombre de valeurs d`altitude par classe d`altitude du bassin versant du Zegrir	46
Classifications des reliefs selon la dénivelée spécifique (O.R.S.T.O.M.)	47
les paramètres morphométriques et Géométriques obtenus du bassin versant de l`oued Zegrir	52

Liste de figures:

Figure	Page
La localisation géographique de la région dans l`Algérie	3
La localisation géographique de la région dans Ghardaïa (région de Guerrara)	4
Schéma du profil en long de l`oued Zegrir a l`entrée de la retenue d`Ahbas Foussa (Schéma Remini, 2019)	5
Bassins versants et hydrographie de oued zegrir dans la région du M`Zab (ANRH, 2011)	6
Classification du réseau hydraugrafique selon le système de sthraler (1957)	7
Carte géologique du bassin septentrional du Sahara (OSS, 2003)	8
courbe de moyenne de temperature pendant 2007-2016	12

SOMMAIRE

courbe de moyenne de précipitations pendant 2007-2016	13
courbe de moyenne vents pendant 2007-2016	14
courbe de moyenne d` Evaporation pendant 2007-2016	15
courbe de moyenne d` Humidité pendant 2007-2016	18
courbe de moyenne d` Insolation pendant 2007-2016	19
courbe ombro-thermique pendant 2007-2016	20
Une structure conceptuelle pour les applications SIG en hydrologie	27
Modélisation et gestion d`actifs en tant que structures fonctionnelles parallèles	28
Organigramme général du processus d`extraction du réseau hydrologique	29
Organigramme des étapes adoptées pour l`étude physiographique sous ArcGIS	31
carte de surface de bassin versant de oued Zegrir	34
Rectangle équivalent du bassin versant de l`oued Zegrir	37
Chevelu hydrographique du bassin versant de l`oued Zegrir	39
MNT en mode du bassin versant de l`oued Zegrir	40
Courbe nombre de thalweg par apport l`order	42
fréquence altimétrique du bassin versant de l`oued zegrir	43
Carte de la répartition des surfaces en fonction de l`altitude du bassin versant de l`oued Zegrir	44
Carte des pentes (°) d`oued Zegrir	48
Carte des pentes (%) d`oued Zegrir	49
Carte de contour d`oued Zegrir	53
Carte d`aspect d`oued Zegrir	54
Profil en travers de la section mouillée dans l`oued zegrir	56
La section ou on a calculé le débit	56
Le pont d` oued Zegrir dans un cas de crue	57
Une vague de crue de Oued Zegrir	57



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERAL

Le bassin versant (BV) ou bassin hydrologique est le territoire qui recueille les eaux de ruissellement et d'infiltration alimentant soit un fleuve, une rivière ou une ravine. Il les concentre vers le point de sortie appelé exutoire. Le bassin versant est défini par le relief et délimité par les lignes de partage des eaux (lignes de plus hautes altitudes qui déterminent la direction d'écoulement des eaux de pluie). Le sous-bassin (SB) représente le bassin versant d'un affluent. L'exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux. Cette ligne ainsi définie, limite les bassins versants topographiques adjacents. Les techniques classiques utilisées dans l'étude du complexe physique d'un bassin versant sont basées essentiellement sur des méthodes manuelles, dont les résultats obtenus généralement sont incorrects. Avec l'apparition des nouveaux outils tels que les SIG et la télédétection, il est devenu facile de déterminer les paramètres de forme et de relief d'un bassin versant. L'utilisation de ces nouvelles techniques permettra ainsi de répondre aux exigences d'exploitation des eaux superficielles et de la prévention contre les risques d'inondation.

L'objectif de ce travail se limite à la caractérisation des aspects morphométriques et du relief du bassin versant de l'Oued Zegrir moyen situé en amont du barrage El Kansera, du fait que ces paramètres jouent un rôle déterminant dans l'écoulement des bassins versants et dans les risques d'érosion. 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, un ensemble de paramètres quantitatifs importants sont utilisés dans la compréhension du dynamisme d'une rivière et de son bassin versant comme la superficie, le périmètre, la longueur, la largeur, l'indice de compacité de Gravelius, l'indice de pente, la pente moyenne, l'altitude maximale et l'altitude minimale, etc. (**Veltri et al., 1996**). Ceux-ci ont été obtenus à partir du MNT de la zone d'étude.

CHAPITRE I

Présentation de la région d'étude

I.1. Cadre géographique

I.1.1. Aspect topographique :

Commune Guerrara:

El Guerrara, une belle oasis située sur l'oued Zegrir à plus de 600 km au sud-ouest d'Alger et à 110 km à l'Est de Ghardaïa (fig. 1). Entre la latitude 32°30' - 33°30' Nord et la longitude 4°25' - 4°35' Est. Elle s'étend sur une superficie de 2600 Km² . [5] ;

Elle est limitée:

- Au Nord : Daïra de Hassi Dalaa, wilaya de Djelfa.
- A L'Est : Daïra d El allia, la wilaya d'Ouargla.
- A l'Ouest : Daïra de Berriane, wilaya de Ghardaïa.
- Au Sud : Daïra de Zelfana, wilaya de Ghardaïa.
- Au Sud West : Daïra d'El Atteuf, wilaya de Ghardaïa

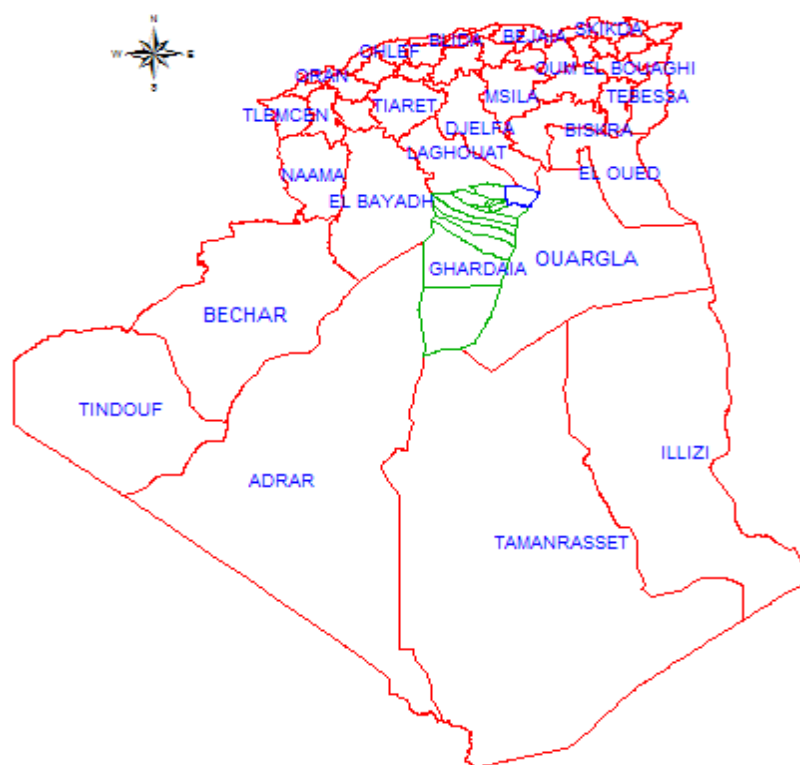


Figure 01 : La localisation géographique de la région dans l'Algérie

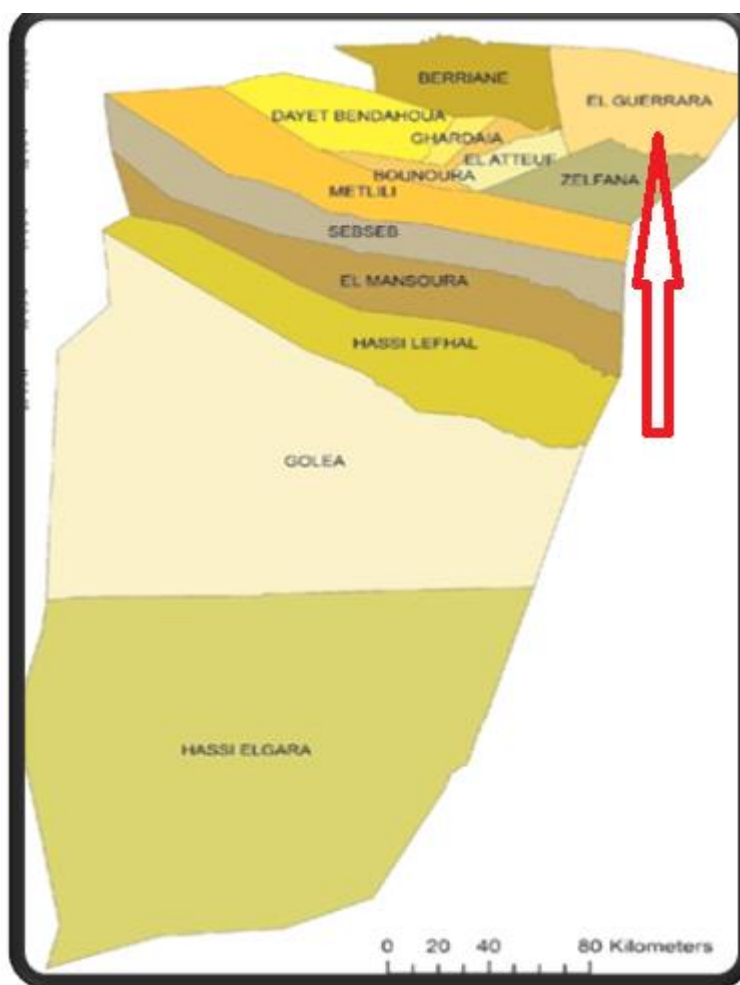


Figure 02 : La localisation géographique de la région dans Ghardaïa (région de Guerrara)

I.1.2. Aspect géomorphologique :

Les terrains autour de la région de Guerrerra sont fortement dénudés.

Ils résultent d'une forte érosion fluviale qui a entaillée les plateaux du Pliocène continentale et remodelé par la suite par l'érosion éolienne. De ce fait, nous constatons la présence de plusieurs unités géomorphologiques à savoir :

2.1. Le Plateau

C'est le plateau du Pliocène de 380 à 450 m d'altitude, il occupe quelques parties au Nord et au Sud de la région de Guerrerra. Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est.

2.3. Les Dayas

Les daya sont le point bas d'un bassin fermé. Le terme est plus spécifiquement appliqué aux dépressions de faibles dimensions pouvant varier de un à quelques dizaines d'hectares, que l'on trouve un peu partout en milieu aride ou sub-aride.

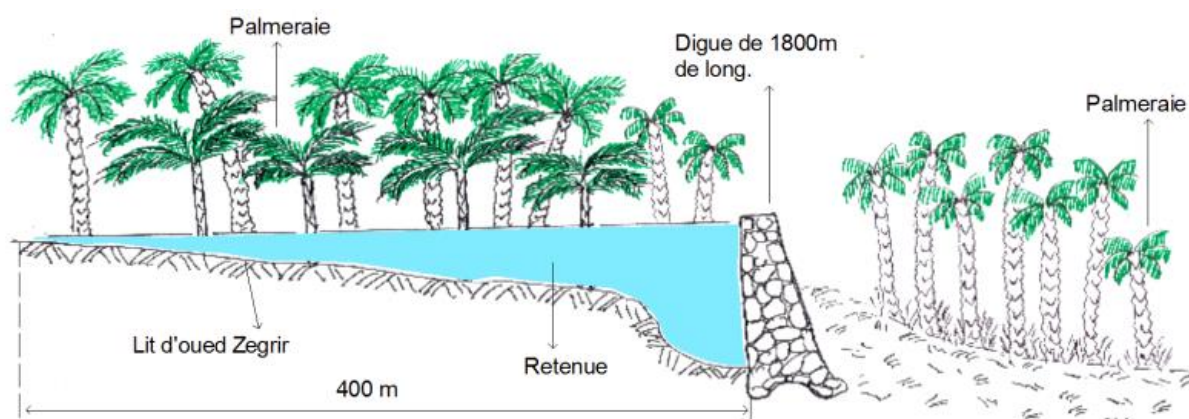


Figure 03 : Schéma du profil en long de l'oued Zegrir a l'entrée de la retenue d'Ahbas Foussa (Schéma Remini, 2019)

I.1.3. Le Réseau Hydrographique :

Le réseau hydrographique est une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux qui sont :

- **La géologie** : par sa grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence sur la forme du réseau hydrographique.
- **Le climat**: le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- **La pente du terrain** : détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones de pente plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.
- **La présence humaine** : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est souvent utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate. L'utilisation de l'imagerie spatiale est utile à cette identification. Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

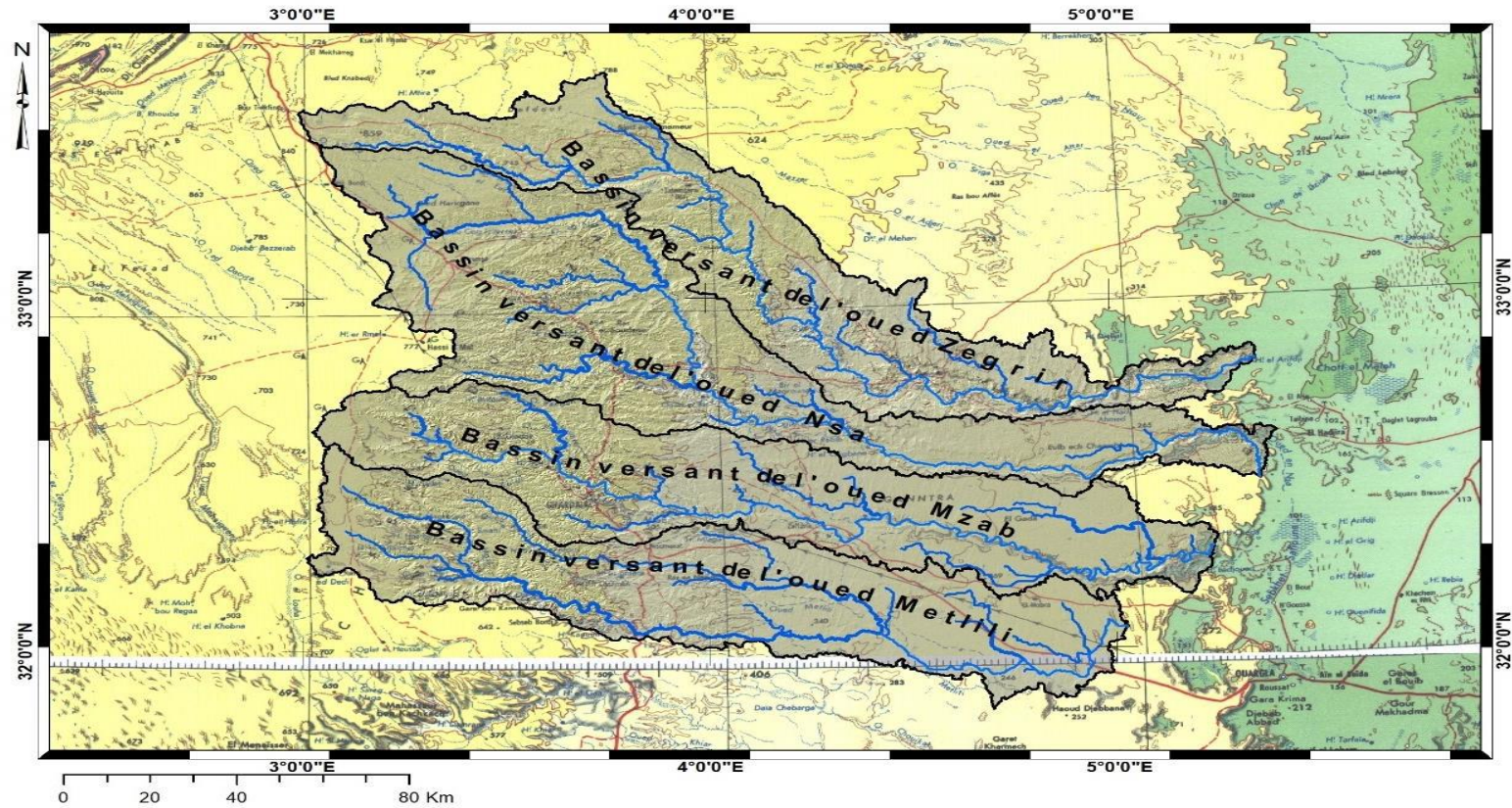


Figure 04 : Bassins versants et hydrographie de oued zegrir dans la région du M'Zab (ANRH, 2011)

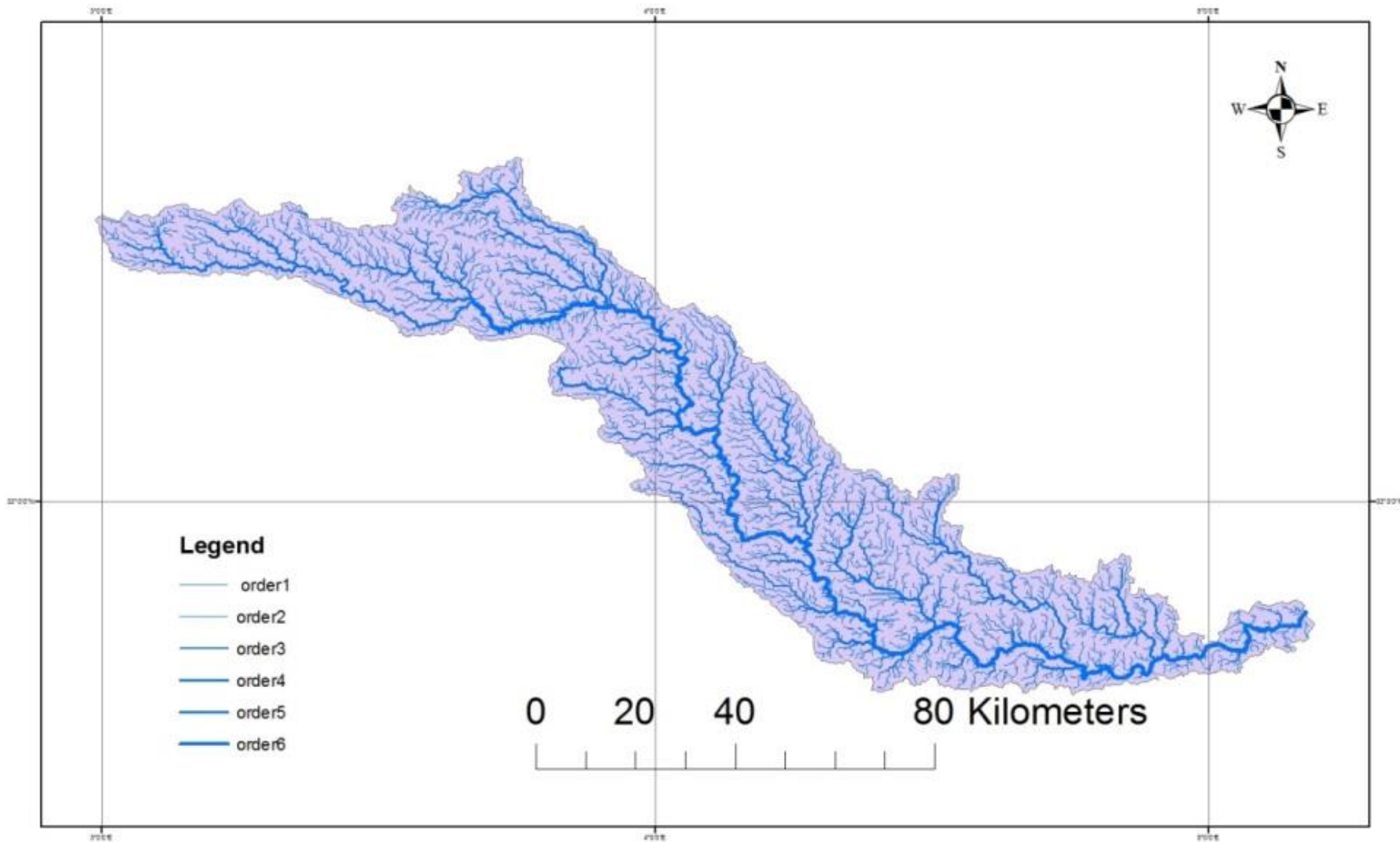
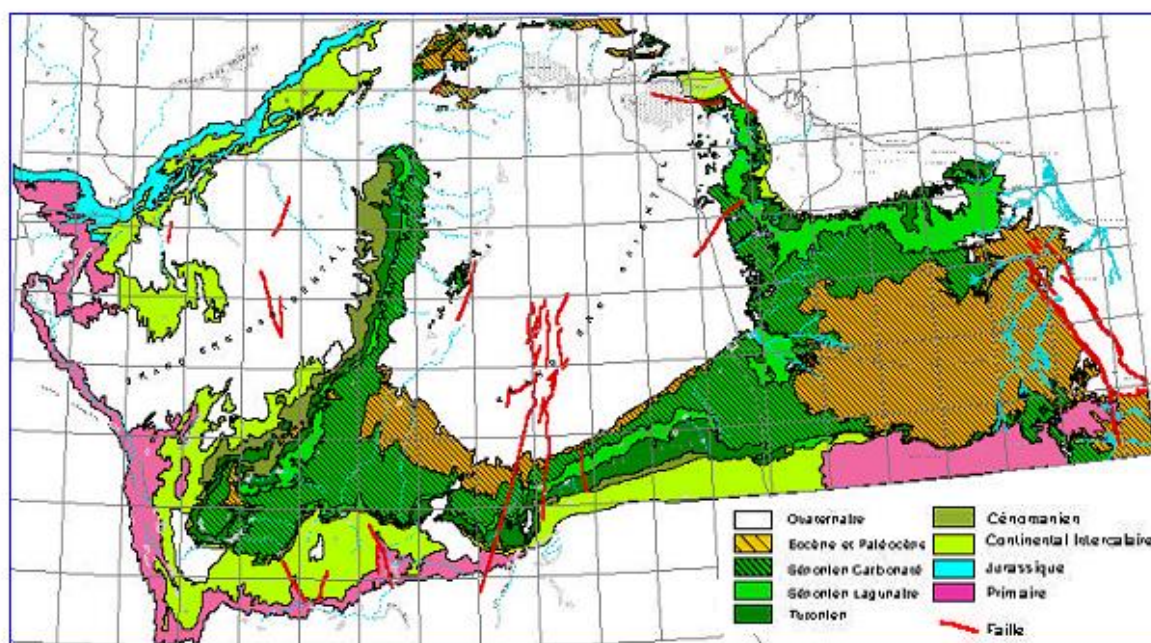


Figure 05 : Classification du réseau hydrographique de Strahler

I.2. Cadre géologique :

L'étude géologique est une étape très importante pour la détermination de la nature lithologique du sous-sol et en particulier celle du réservoir. L'examen des différents logs stratigraphiques de forages implantés dans la région ainsi que la coupe établie ont permis de conclure que le sous-sol est composé de bas en haut de formations détritiques : sables, grès, argile sableuses d'âge Albien rencontrées à partir de 630m surmontées par le Cénomanién argileux sur lequel repose des formations carbonatées d'âge Turonien, Sénonien et Eocène et enfin des formations mio-pliocène composées dans l'ensemble de sables et grès et par endroit de calcaires conglomératiques et d'alluvions.

Du point de vue hydrogéologique, l'aquifère du sénonien est en liaison hydraulique avec ceux du Mio-pliocène et de l'Eocène. Son épaisseur moyenne est de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m.



**Figure 06 : - Carte géologique du bassin septentrional
du Sahara**

I.3. Climatologie

Introduction :

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère : l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe à l'exception de cas particuliers. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols. Ces principales composantes ont une influence importante sur l'érosion (Jacques Gréco, 1966). Sur le territoire national, on distingue quatre grandes zones climatiques entre ses deux limites extrêmes (La mer et le désert):

- La zone littorale : à climat chaud et humide. Elle s'étend sur la zone côtière.
- La zone des montagnes telliennes : Elle est tempérée sur ses versants Nord et froide et fraîche sur les versants Sud et en altitude.
- La zone des hauts plateaux et des hautes plaines : Elle est sèche et aride, caractérisée par des extrêmes, et marquée par des froids rigoureux et des chaleurs excessives.
- La zone saharienne : Elle se distingue par des pluies rares et irrégulières (Kadik, 1986).

La région de Guerrara est une région située dans le Sahara septentrional caractérisé par un climat chaud et sec en été et froid en hiver. L'étude climatique est très importante, elle nous permet de déterminer les caractéristiques du climat de notre région et mettre en évidence la contribution des différents facteurs à la variation des ressources en eau souterraines (température, humidité, précipitation, le vent, l'évaporation et l'évapotranspiration).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans entre 2007-2016 ; à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (Tableau 01).

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

Tableau01 : Données météorologique de la région de Guerrara (2007 - 2016)

Paramètre	T (°C)	P(mm)	H(%)	I(h)	E (mm)	V.V(m/s)
mois						
Janvier	12.16	9.84	46.5	254.4	96.5	3.19
Février	13.26	3.5	40.5	241.8	116.7	3.42
Mars	16.8	7.8	35.3	279.6	168	3.66
Avril	21.63	5.73	31.3	298.7	231.1	4.05
Mai	26.15	2.83	26.3	338.1	548.6	4.19
Juin	31.09	3.58	22	344.6	346.3	3.78
Juillet	33.92	1.49	20.1	350.4	374.3	3.22
Aout	29.28	4.38	25.1	324	346.7	2.96
Septembre	29.5	19.55	35.7	261.5	253.55	3.16
Octobre	23.71	6.63	42	275	171.55	2.76
Novembre	15.48	3.86	48.2	260	115.2	2.93
Décembre	12.36	5.11	54.8	242	151	3.38
Moyenne	22.11	74.3*	35.65	5511*	2919.51*	3.39

H : Humidité relative **T** : Température **P** : Pluviométrie

I : Insolation **V.V** : Vitesse de vent **E** : Evaporation

* : Cumule annule.

I.3.1. Les éléments de climat :

El Guerrara a un climat désertique chaud, avec des étés très chauds et des hivers doux, et très peu de précipitation.

1. Température :

D'après le tableau, la température maximums les moyennes du mois le plus chaud sont enregistrées pendant le mois de Juillet par 33.92°C pour la région Ghardaïa.

Pour les températures minimums les moyennes de mois le plus froid sont enregistrées pendant le mois de janvier 12.16°C pour Ghardaïa.

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

Tableau 02:- La température Max et Min de mois pendent 2007-2016

années mois	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax
JAN	6.6	22.3	2.5	17.4	3	20.7	3	26.8	2.8	23.1	1.3	21.1	2.6	25	2.8	21.9	5.4	16.5	8	19.7
FEV	9.7	27.7	2.6	23.3	3.6	22.5	5.5	35.2	2.7	24.1	-0.5	16.1	2.7	25.2	4.4	26.4	6.5	16.6	9	20.4
MARS	10.1	29.3	2.6	32	5.5	31	5	35	3.4	29	5.6	27	4.8	31	7	27.6	11	22.7	10.7	23.3
AVRIL	13.6	34.1	9	36.6	9	34	11.7	34.4	12.6	34	7.7	34.8	7.9	35.9	9.6	38.4	16	29.9	15.8	29.7
MAI	19.3	39.5	12.6	38.9	11.8	40.5	12.2	34.3	14.5	40	15	40.8	13.6	40.8	14.8	41.5	20.9	34.8	20.3	33.3
JUIN	24.7	44.5	18	43.9	21.2	41.1	20.8	43.6	16.2	41	23.2	43.7	22.2	43.7	15.8	44	24.1	37.2	24.4	38.2
JUIL	26.5	44	23	45.8	26.2	45.1	23.7	45.9	24.6	44.6	23.3	47	22.2	25.7	24.4	46	26.8	40.1	27.8	40.6
AOUT	27	44.1	23.6	45.2	24.3	45	25	44.1	24.5	45	23.1	44.6	22.2	42	25.3	46.6	27.6	39.9	27.1	38.9
SEPT	23.8	40.5	16.6	40.7	17.2	41.7	16.1	41.2	18	43.1	18.3	40.5	19.5	42.2	19.7	42.8	23.4	35.2	23.4	35.2
OCT	18.6	39.8	9.8	30.7	13.6	31.7	8.6	37.7	12.3	30.7	13.9	37.3	14.6	38.2	14	38	18.1	29.2	19.1	31.3
NOV	9.7	26.8	6	24.7	8.3	28.3	6.5	28.1	8	28.8	5.5	33	4	29	8.5	28.6	11.4	21.5	11.1	22
DEC	6	23.5	2.3	20.8	3.9	26.5	0.04	29.7	3.5	21	2.2	24.9	3	22	3.3	20.1	6.8	18.1	8	17.2

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

Tableau 03 :- La moyenne de température de mois pendant 2007-2016

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
mois										
JAN	12	11.7	11.1	13.6	12.6	10.8	12.7	12.3	11	13.8
FEV	15.2	13.2	12.4	16.5	12.4	9.7	12.6	14.4	11.5	14.7
MARS	16	17.6	16.7	18.5	15.2	16.1	18.7	15.8	16.4	17
AVRIL	19.8	22.6	18.7	22.5	21.8	21	21.5	22.7	23	22.7
MAI	26.4	26.1	25.2	24.3	24.6	27.8	25.6	26.8	27.9	26.8
JUIN	32.5	30	31.6	31.4	29.4	34	30	30.1	30.6	31.3
JUIL	33.3	36	35.6	35.1	35.1	26.4	34.6	35.5	33.4	34.2
AOUT	33.4	34.7	34.3	34.7	23.6	27.4	32.1	35.6	33.7	3.3
SEPT	30.2	29.5	26.7	28.8	31.2	29.1	29.5	31.4	29.3	29.3
OCT	24.2	22	22.7	22.4	20.9	24.7	26.9	24.4	23.7	25.2
NOV	15.8	14.2	17.4	17	16.3	17.1	16.5	7.5	16.4	16.6
DEC	11.2	10.8	15.4	14.1	12.6	12.6	10.5	11.4	12.4	12.6

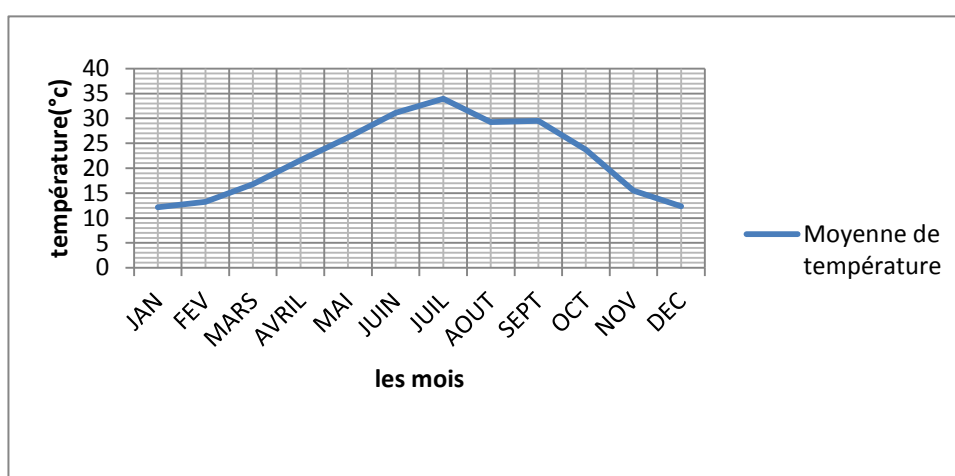


Figure 07: courbe de moyenne de temperature pendant 2007-2016

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

2. Précipitations :

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares.

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse.

Tableau 04 : - La moyenne de précipitation de mois pendant 2007-2016

Années										
Mois	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
JAN	0	1.4	67	7.3	3.2	9.7	4	1.8	4	0
FEV	1.2	7.4	1.7	0.1	0	1	0	12.4	11	0.2
MARS	0.8	0.3	9.7	1.4	57	3.3	5.3	0.2	0	0
AVRIL	14.9	0	5.5	0	19.8	7.2	2.9	0	0	7
MAI	4.8	0.3	0	4.6	1.4	0.2	0.4	14.6	0	2
JUIN	0	2	3.8	7.5	13.3	1.9	0	7.3	0	0
JUIL	0	0	2.7	9.8	1.2	0.2	0	1	0	0
AOUT	21.5	1.4	1.2	0	0.1	0.6	2.7	0.3	15	1
SEPT	9.8	54.4	42.9	2.2	45.1	7.5	4.7	2.9	13	13
OCT	0	29.4	0	8.9	13.2	0.3	2.4	7.1	5	0
NOV	0	6.4	0	0	0	4	14.9	4.3	5	4
DEC	8.3	7.4	0.1	0	0.1	0	30.3	1.9	0	3
la moyenne annuelle	61.3	110.4	134.6	41.8	154.4	35.9	67.6	53.8	53	30.02

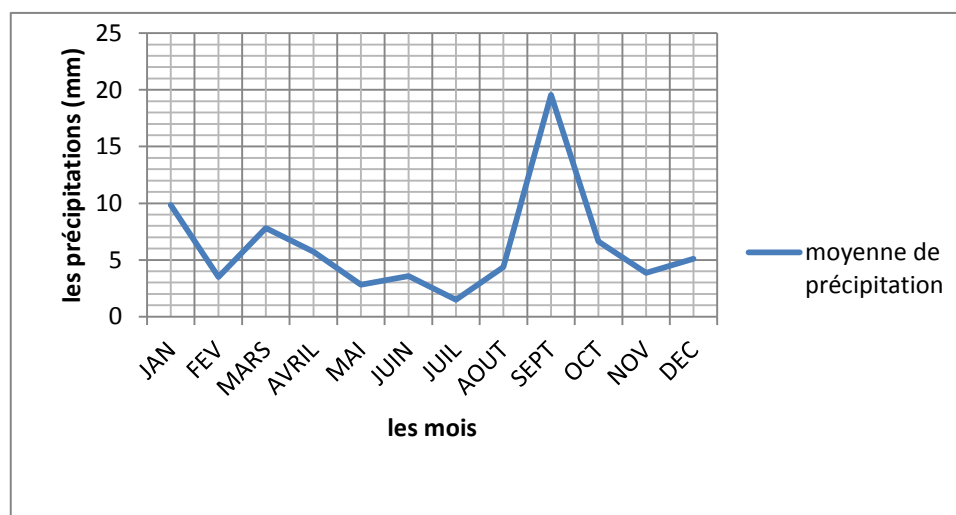


Figure 08 : courbe de moyenne de précipitations pendant 2007-2016

3. Vents:

D'après le tableau de la région de Ghardaïa, les vents sont fréquents durant toute l'année. La vitesse moyenne du vent est de l'ordre de 3,39 m/s, avec un maximum de 4,19 m/s au mois de Mai. Les vents chauds (Sirocco) dominent dans la région en été. Ils peuvent causer des dégâts surtout en l'absence du couvert végétale.

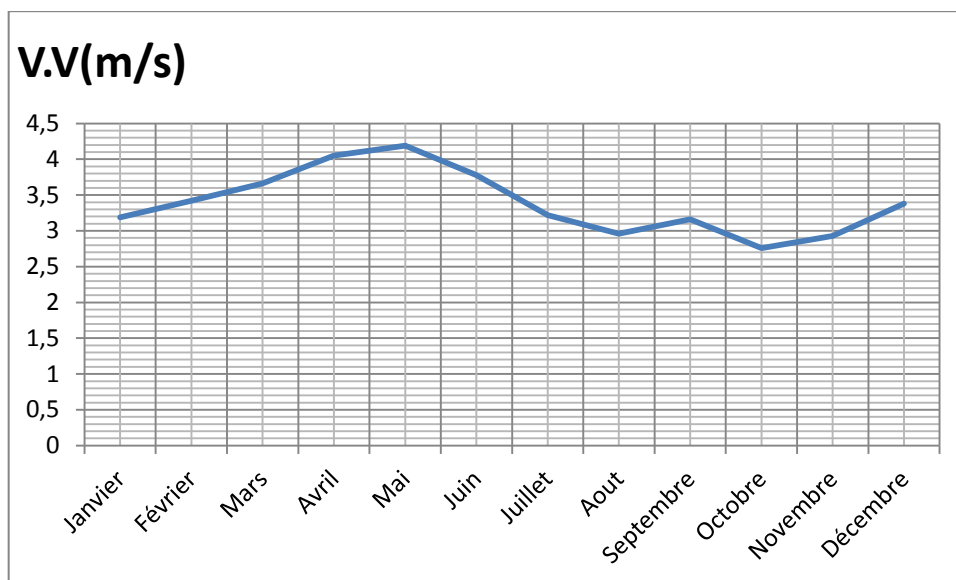


Figure 09 : courbe de moyenne vents pendant 2007-2016

4. Evaporation :

L'évaporation est l'un des facteurs caractérisant l'aridité d'une région. Dans la région de Ghardaïa Le maximum d'évaporation est enregistré 368,1mm durant le mois de Juillet, le minimum est enregistré 89,5 mm durant le mois de Janvier. Le cumul annuel est 2532,9 mm.

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

Tableau 05 : - La moyenne d` Evaporation de mois pendant 2007-2016

Années	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mois										
JAN	71	90	77	116	100	101	122	80	88	120
FEV	112	90	95	147	121	104	146	112	110	130
MARS	175	176	149	185	133	136	202	172	161	191
AVRIL	180	301	179	231	201	226	208	232	332	221
MAI	273	301	269	263	239	296	211	3008	312	314
JUIN	382	335	318	374	380	372	340	323	322	317
JUIL	373	405	352	346	377	421	397	417	316	339
AOUT	357	366	357	350	341	378	308	361	304	345
SEPT	244	266	189	218	290	260	365	296	210	210
OCT	197	122	162	191	114	69	214	232	164	201
NOV	118	103	124	126	116	103	131	131	85	115
DEC	98	702	134	130	88	95	48	87	62	66

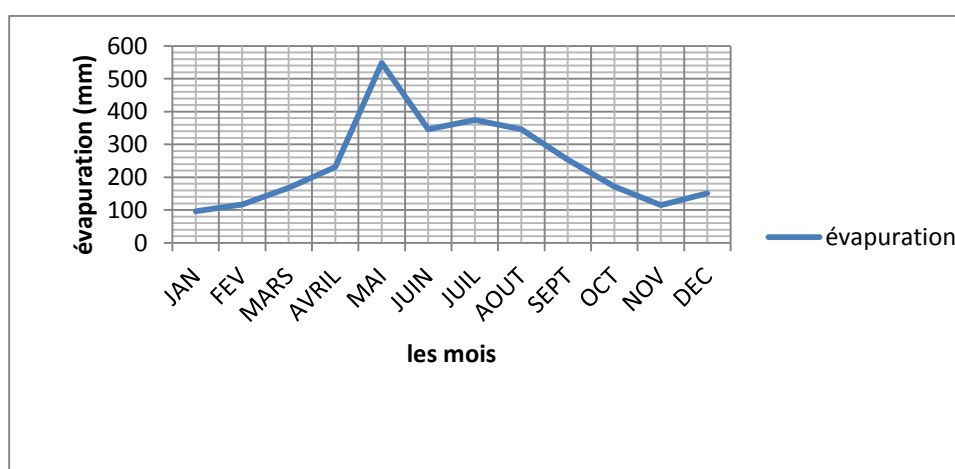


Figure 10: courbe de moyenne d` Evaporation pendant 2007-2016

5. Humidité Relative:

D'après les tableaux, dans la région de Ghardaïa la moyenne d'humidité est de l'ordre 38,96 %, alors que la région de Laghouat la moyenne d'humidité est de 48,55 %. Le mois le plus humide à l'ordre de 54,8 % pour la région de Ghardaïa.

CH I : PRESENTATION DE LA REGION

Tableau 06 : La moyenne d` Humidité de mois pendent 2007-2016

Années	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mois	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
JAN	54	51	66	48	48	34	32	49	43	40
FEV	43	44	48	40	44	31	39	38	42	36
MARS	36	33	44	32	53	28	36	33	31	27
AVRIL	45	22	36	36	43	20	35	22	24	30
MAI	27	27	28	30	36	18	31	24	20	22
JUIN	21	27	24	4	35	16	28	22	22	21
JUIL	22	19	21	24	24	14	25	13	19	20
AOUT	27	23	23	27	26	24	31	17	28	25
SEPT	33	35	49	38	33	33	40	26	35	35
OCT	37	60	42	41	59	39	36	28	40	38
NOV	41	56	41	45	55	59	46	43	51	45
DEC	49	62	45	41	60	55	66	51	54	65

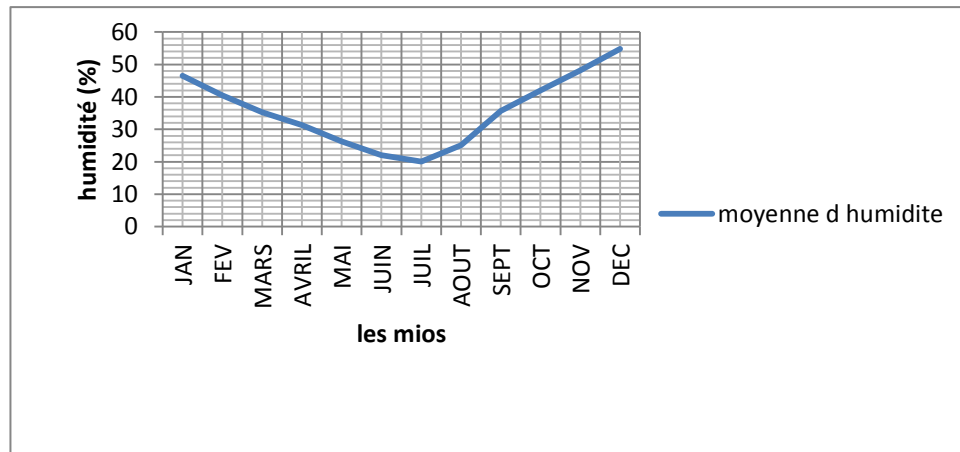


Figure 11 : courbe de moyenne d` Humidité pendant 2007-2016

6. Insolation:

En raison du peu de nébulosité de l'atmosphère, les déserts reçoivent une quantité de lumière solaire très forte. On estime la nébulosité visuellement en évaluant la fraction du ciel couverte par les nuages en dixième de la superficie visible du firmament. Ainsi, 00 indique un ciel clair, c'est-à-dire un ciel absolument sans nuages, et 10 un ciel complètement couvert. De la même façon, 05 traduit un ciel à moitié couvert. Dans cette région la nébulosité est de l'ordre de 1.8. On observe qu'au Sahara le nombre d'heures annuelles d'ensoleillement est de 3 000 à 3 500. Cette forte luminosité est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne (palmeraies), mais elle a en revanche un effet desséchant, car elle augmente la température (Toutain, 1979).

L'ensoleillement est considérable à Guerrara, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année, avec 138 jours en moyenne de l'année où le ciel est totalement clair. La durée moyenne de l'insolation est de 250.85 heures/mois (O.N.M ghardaia 2016), avec un maximum de 350.46 heures en juillet et un minimum de 242 heures en février. La durée d'insolation moyenne annuelle entre 2007 et 2016 est de 5511 heures/an, soit environ 15 heures/jour.

Pour la région de Ghardaïa, La durée d'insolation minimum est de 234,6 heures au mois de Décembre, la durée d'insolation maximum est de 338,7 heures au mois de juillet.

Tableau 07 : - La moyenne d` Insolation de mois pendant 2007-2016

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mois										
JAN	270	284	195	258	250	251	268	250	247	271
FEV	228	243	268	201	252	266	261	245	216	238
MARS	302	280	275	254	252	267	273	266	316	311
AVRIL	275	300	336	283	301	289	290	329	288	296
MAI	347	289	362	325	341	352	345	339	358	323
JUIN	352	371	323	332	351	329	354	340	344	350
JUIL	374	334	349	348	357	352	329	306	387	368
AOUT	315	310	340	326	345	330	335	321	275	343
SEPT	258	245	261	284	265	280	287	247	244	244
OCT	255	217	326	267	292	258	290	292	274	279
NOV	291	280	273	251	265	236	250	223	272	259
DEC	247	226	255	240	259	275	196	246	263	213

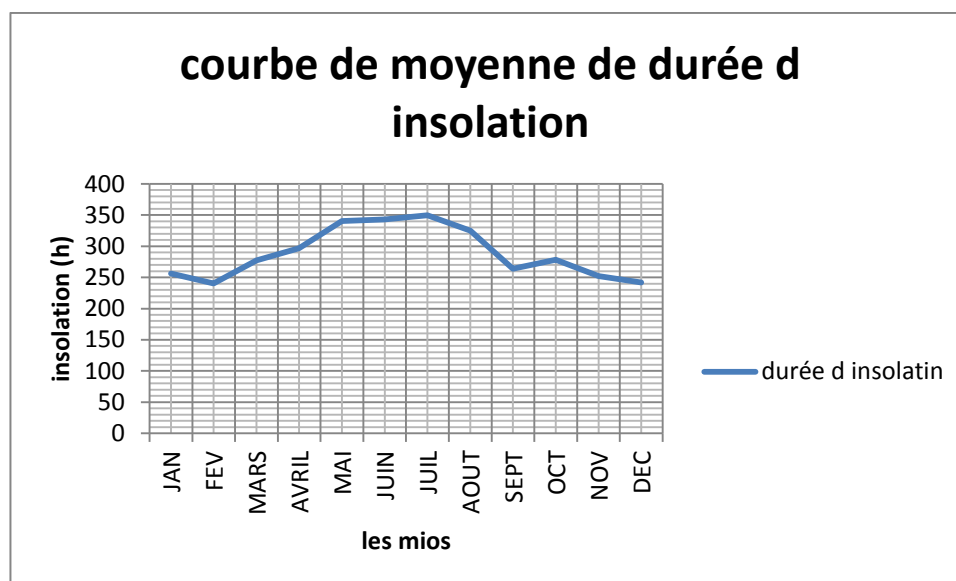


Figure 12 : courbe de moyenne d` Insolation pendant 2007-2016

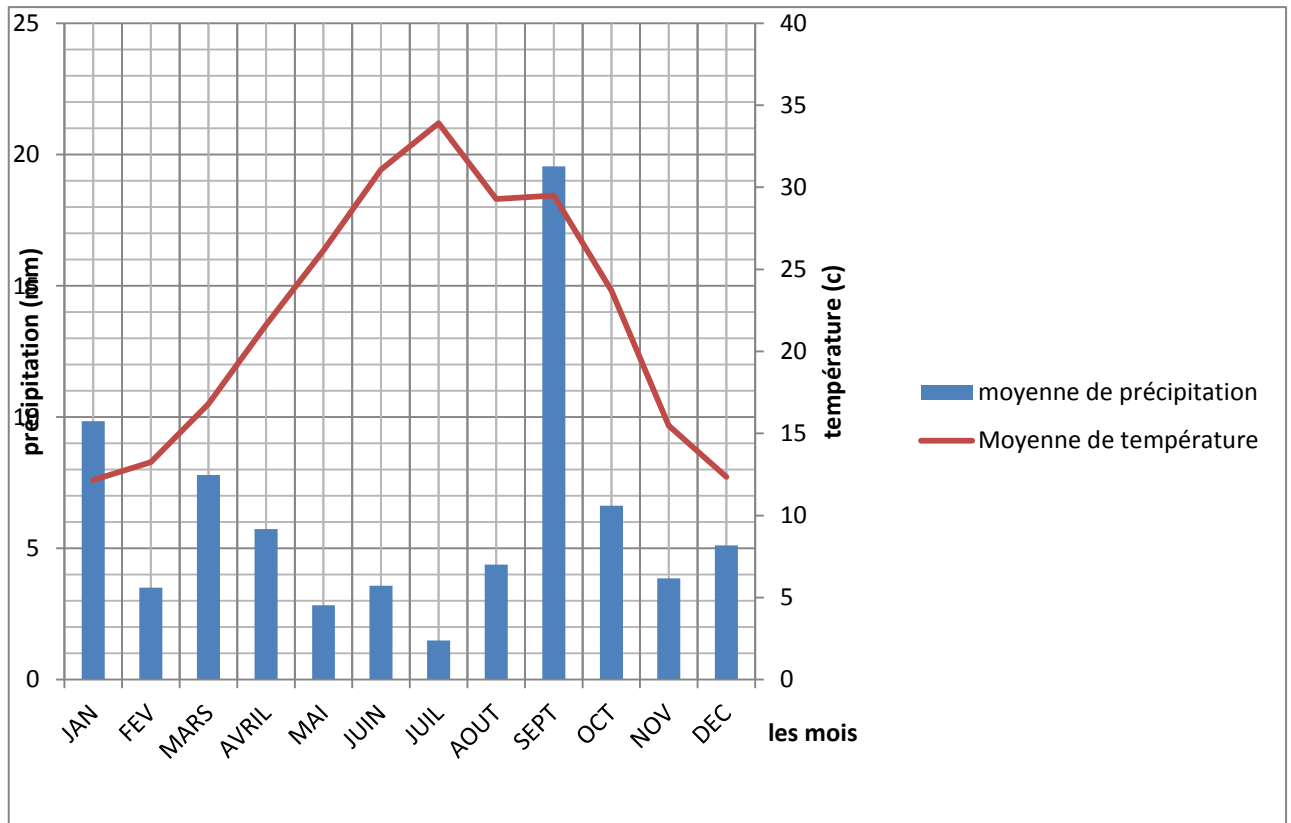


Figure 13 : courbe ombro-thermique pendant 2007-2016

Par ce diagramme nous voyons que pendant l'été ce milieu connaît une période de sécheresse. Les températures sont assez élevées, surtout l'été où elles sont à plus de 25°C. De plus les précipitations sont les plus importantes en septembre et janvier par contre la précipitation est faible durant le mois de juillet.

II.4. Conclusion

Le bassin versant de oued Zegrir est situé entre 2.999130° et 5.032234° Est de longitude et entre 32.610308° et 33.632625° Nord de latitude.

L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été, par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

La pluviométrie est très faible et irrégulière et les pluies torrentielles sont rares. Ces conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique du bassin versant représentée essentiellement par les steppes et les dattiers.



CH II : Matériels et méthodes

II.1. Introduction:

Au fil des années, le SIG est devenu un outil indispensable pour la gestion des gisements. Il permet de faciliter la planification, la prise de décision et le suivi des problèmes liés à la gestion du gisement. L'élaboration d'une base de données incluant les principaux paramètres de la région et le recours à un Système d'Informations Géographiques (SIG) nous a permis d'établir une carte de qualité de la région oued zegrir avec toutes les informations géologiques relatives à ce dernier. L'intégration des S.I.G nous a permis aussi l'obtention de différentes cartes thématiques résumant les caractéristiques du site. Celles ci faciliteront la visualisation immédiate des zones d'intérêt économique en vue d'une exploitation optimum

II.2. Exploitation d'un SIG:

Pour réaliser l'étude physiographique de bassin versant d'oued Zegrir, on a exploité la technique du SIG (système d'information géographique). C'est une méthode très développée de cartographie, permettant la manipulation et le traitement informatisé de données géographiques. Le SIG permet ainsi de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise et en fonction de l'échelle désirée.

Et comme programme informatique (logiciel), on a utilisé l'ArcGIS version 10.4.1 édité par ESRI (Environmental System Research Institute), ce logiciel à langage de développement évolué, est doté d'outils simples et très puissants pour analyser les bases de données spatiales (Géodatabase), géométriques et attributaires

II.3. Définition des SIG:

Un Système d'Information Géographique "SIG" se définit comme un système de base de données numérique dont la référence correspond en premier lieu à un système de coordonnées spatiales des objets. Il est constitué d'un ensemble complexe de données géo-référencées, numérisées, apparentées entre elles et relatives à une zone déterminée. Certains auteurs (**Callet 1992, Denegre & Salge, 1996, Rouet, 1991**) décrivent un SIG comme un ensemble de données, repérées dans l'espace et structurées de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision attirant ainsi l'attention davantage vers les besoins des décideurs.

II.4. Rappel historique du SIG:

Le concept de système d'information géographique (SIG) s'est développé depuis les années 70, principalement sur les gros systèmes informatiques, dû au volume de mémoire que prennent les images et les données traitées. Aujourd'hui, les systèmes sont moins coûteux, plus intégrés et ouverts. Ils offrent les possibilités des logiciels de gestion de bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation synthétique et

au travers d'analyses géographiques propres aux cartes. Le SIG ne constitue pas uniquement un outil précieux pour la gestion des données mais aussi un outil puissant pour l'examen visuel efficace des solutions possibles. Une carte vaut mieux qu'un long discours. La carte est en effet un formidable outil de synthèse et de présentation de l'information.

II.5. Définition des données géospatiales:

« Données et informations qui renvoient à un emplacement sur la surface de la Terre, au moyen de coordonnées scientifiques précises. » Quand il est question de données dites "géoréférencées", cela signifie qu'elles sont associées à des coordonnées géographiques permettant de les situer dans l'espace. Par exemple, en attribuant les coordonnées appropriées au centre d'une photographie aérienne, un logiciel approprié pourra la positionner au bon endroit sur une carte géographique.

Exemples de données géospatiales:

- Réseau routier régional.
- Configuration des lacs et cours d'eau.
- Représentation de l'altitude et du relief terrestre.
- Répartition des quartiers d'une ville selon l'âge moyen des citoyens.
- Emplacement des hôpitaux dans une région.

II.6. Les images satellites :

Les images satellites sont de puissants outils de découverte et d'analyse, et permettent également d'illustrer de manière très précise une enquête.

II.7. Définition du MNT :

Un MNT (Modèle Numérique de Terrain) est une représentation topographique de la surface du sol adaptée à une utilisation informatisée. En cartographie les altitudes sont habituellement représentées par des courbes de niveaux et des points cotés. Suivant la taille de la zone couverte la plupart des MNT utilisent, pour les petites zones, un maillage régulier carré ou, pour les grandes zones, un maillage pseudo carré dont les côtés sont des méridiens et des parallèles. Il permet ainsi de :

- Reconstituer une vue en images de synthèse du terrain.
- Déterminer une trajectoire de survol du terrain.
- Calculer des surfaces ou des volumes.
- Tracer des profils topographiques.

II.8. Type

En cartographie, les altitudes sont habituellement représentées par des courbes de niveaux et des points cotés. Suivant la taille de la zone couverte, la plupart des MNT utilisent pour les petites zones, un maillage régulier carré ou pour les grandes zones, un maillage pseudo carré dont les côtés sont des méridiens et des parallèles.

On peut distinguer les MNT selon le type de maillage utilisé :

- maillage carré/rectangulaire ;
- maillage hexagonal ;
- maillage triangulaire régulier ;
- maillage triangulaire quelconque.

En fonction du type de maillage, la représentation informatique du MNT varie. Dans le cas de maillages rectangulaires, on peut utiliser des tableaux, mais dans les autres cas, les structures de données sont plus complexes.

II.9. SIG en hydrologie

Introduction:

L'utilisation du SIG (systèmes d'information géographique) dans l'hydrologie et la gestion de l'eau trouve ses racines dans les idées sur la relation entre le climat, le bassin versant, le canal et la société qui ont émergé il y a plus de cent ans. Depuis ces débuts, le SIG hydrologique s'est défini principalement par la modélisation dans le domaine scientifique et par la gestion des actifs (notamment l'infrastructure) dans le domaine de la gestion de l'eau et des rivières. Dans les deux contextes, il peut être démontré que la qualité des données représente la contrainte ultime, mais que la recherche d'une résolution plus élevée peut entraîner des problèmes importants. Ces contraintes sont développées par un examen de l'utilisation potentielle de données spatiales à haute résolution dans les applications d'assurance contre les inondations du SIG. Bien que les questions soulevées aient des implications techniques évidentes, elles ont également d'importantes ramifications professionnelles et éthiques qui méritent d'être examinées comme toile de fond de l'état actuel et futur du SIG en hydrologie et en gestion de l'eau. © 1998 John Wiley et Sons, Ltd.

II.10. Le SIG et Analyses physiographiques

Le sig participe a l analyses physiographiques par :

1. La résolution spatiale et temporelle comporte une surcharge de volume de données croissant, avec des augmentations concomitantes dans la vitesse de stockage et de traitement. Cependant, en principe, et dans une mesure croissante dans la pratique, les progrès technologiques ont tendance à annuler cette difficulté.
2. La communauté de télédétection travaillant avec un modèle de données de raster pixellisé de la surface de la Terre a longtemps reconnu que la résolution plus élevée augmente le bruit de scène par lequel les pixels adjacents portent différentes valeurs en réponse à des changements mineurs et locaux dans les propriétés de surface du sol, donnant un effet moucheté. La gestion de ces données dans des applications telles que les modèles nécessite souvent qu'elles soient lissées, ce qui perd l'avantage de la haute résolution. Les implications sont explorées par Woodcock and Strahler (1987)
3. Bon nombre des caractéristiques représentées dans le modèle SIG du monde réel sont par nature floues et des transitions limitées dans le temps qui sont simplifiées à une représentation spatiale rigide et statique de plus en plus irréaliste à mesure que la résolution diminue. Milton et coll. (1995) citent l'exemple d'une barre de milieu de canal, qui demeure floue quelle que soit la résolution de l'objet représenté.
4. Dans quelques demandes très médiatisées - notamment celles associées au marché de l'assurance - la haute résolution implique une spécificité qui diminue les inconnues ou les erreurs dans l'estimation des probabilités de risque. Cet attribut a des implications professionnelles importantes qui peuvent, ironiquement, le rendre en fait préjudiciable.

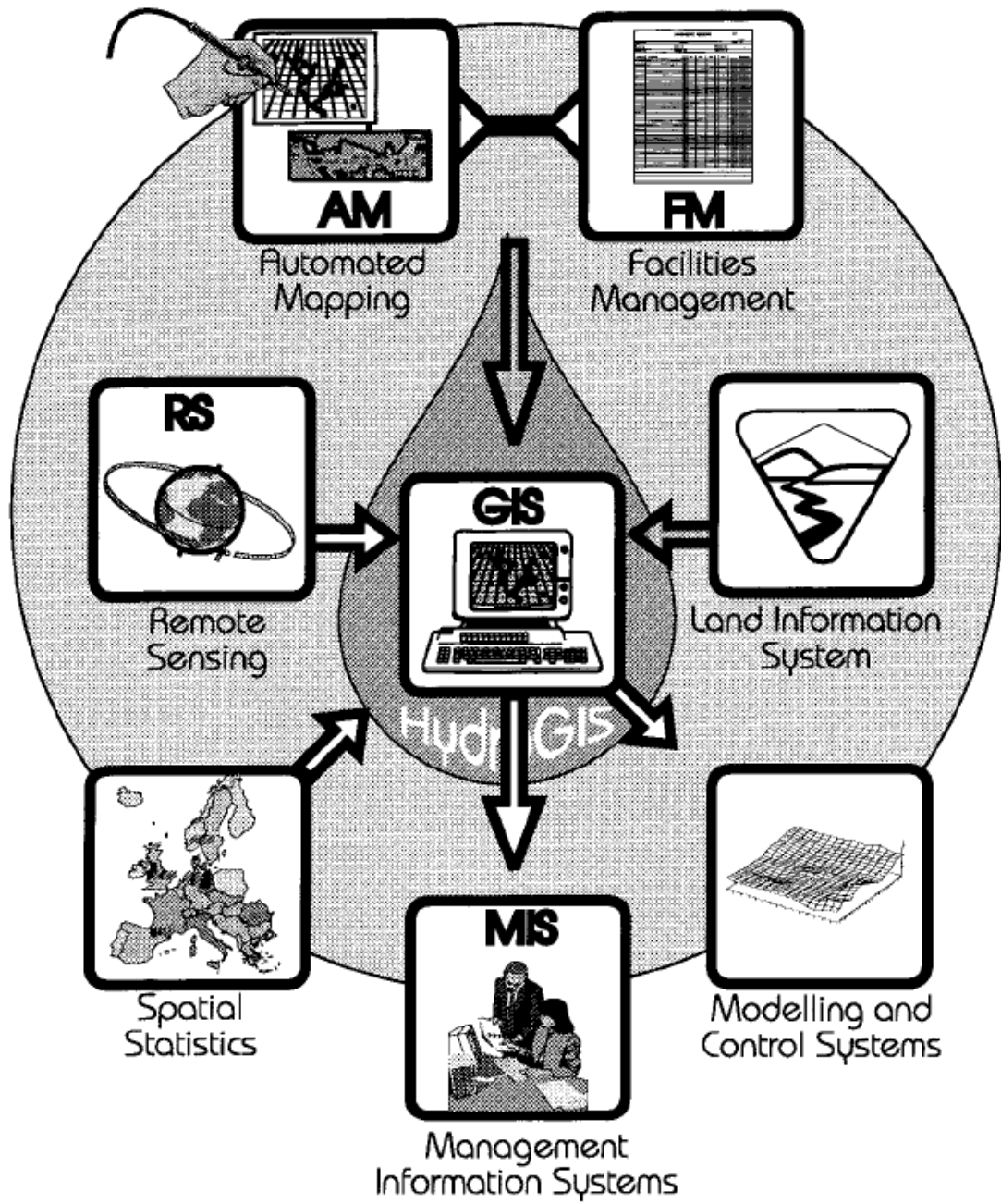


Figure 14. Une structure conceptuelle pour les applications SIG en hydrologie

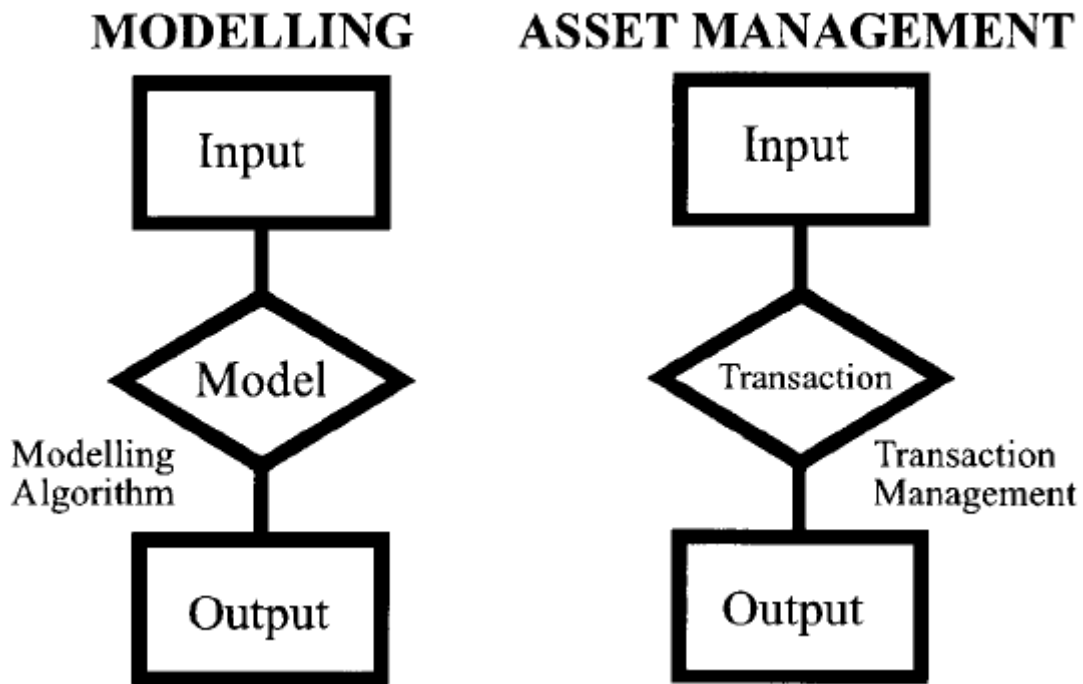


Figure 15 : Modélisation et gestion d'actifs en tant que structures fonctionnelles parallèles

II.11. Programmes et logiciels exploités

II.11.1. ArcGIS 10.4.1: ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement. ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments.

II.11.2. Google Earth Pro : Est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Ainsi un habitant d'une métropole peut localiser son restaurant préféré, obtenir une vue en 3D des immeubles de la métropole, alors que la résolution des photos d'une bonne partie de la Terre est très faible. La couverture, d'après Google, devrait s'améliorer rapidement.

II.12. Processus d'extraction du réseau hydrographique sous ArcGIS

Les techniques d'extraction de réseau à partir d'un MNT raster se décomposent, essentiellement en deux approches : celles qui reposent sur une analyse géomorphologique par caractérisation locale des variations altimétriques et celles à inspiration hydrologique en se basant sur le suivi du ruissellement de l'eau.

Dans cette approche, les méthodes d'extraction retiennent le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente.

Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit.

Pour cette raison nous avons utilisé un processus d'extraction du réseau hydrologique basé sur une analyse hydrologique qui utilise le MNT. Les étapes de traitement que nous proposons sont schématisées par l'organigramme fonctionnel donné par la figure 16.

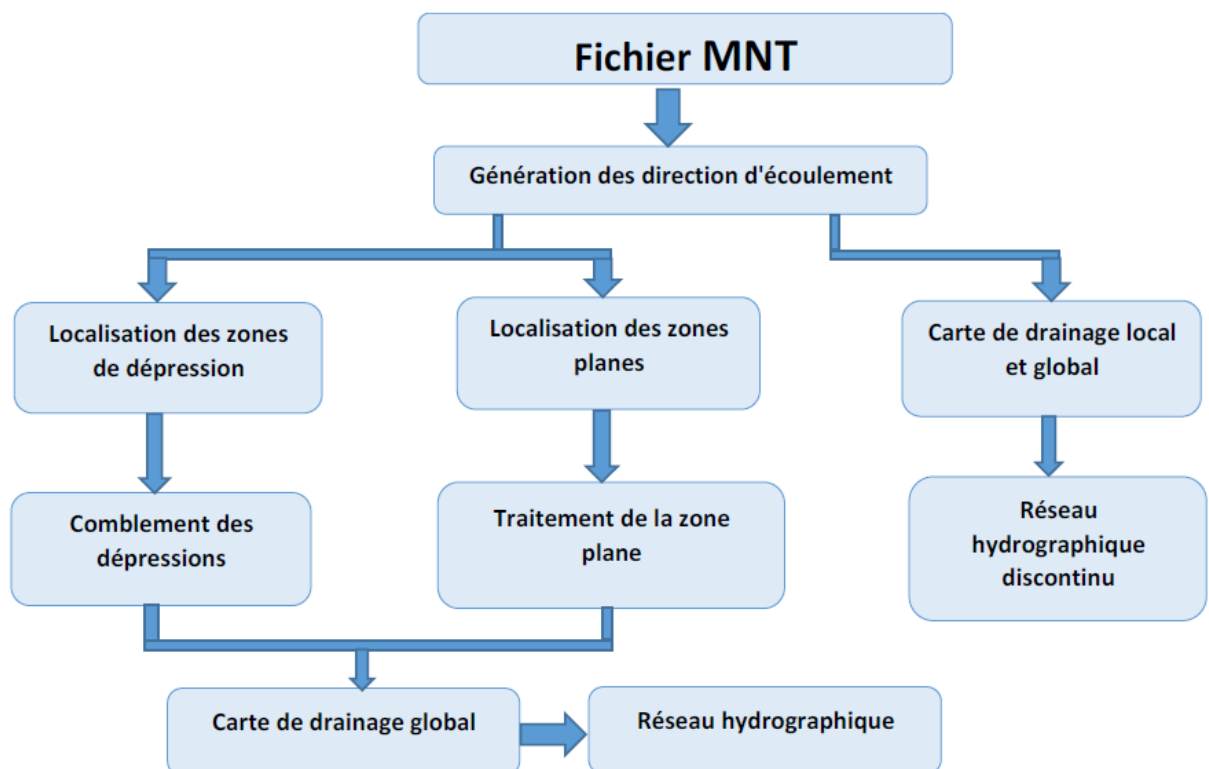


Figure 16: Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique

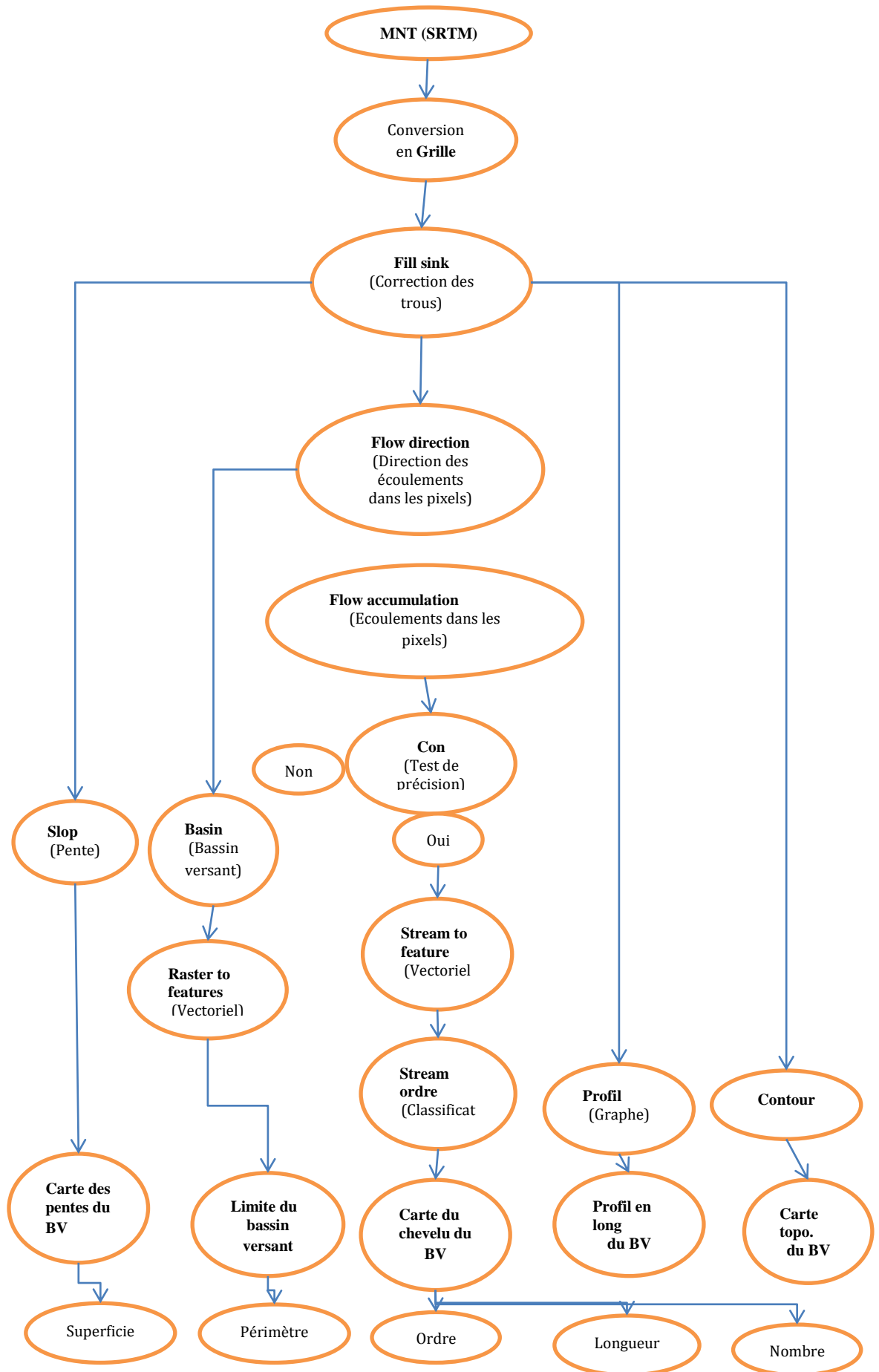
II.13. Conclusion:

Un SIG permet d'intégrer et d'analyser des données dans le but de générer de l'information et des connaissances.

Les SIG servent à tous les spécialistes qui ont besoin d'analyser des volumes importants de données géographiques pour solution des problèmes.

Ils servent souvent de base au développement d'outils d'aide à la décision.

Figure 17 - Organigramme des étapes adoptées pour l'étude physiographique sous ArcGIS



A decorative orange border with rounded corners and a scroll-like effect on the left and right sides, framing the central text.

CH III : Résultats et discussion

Introduction :

L'utilisation de ces différents paramètres et des indices morphométriques d'un bassin versant présente un résultat très indispensable, et ce afin de caractériser l'environnement physique et leur influence sur l'écoulement superficiel.

Nous avons utilisé, dans le cadre de cette étude, des techniques automatiques qui facilitent l'extraction de ces indices.

III.1. Caractéristiques morphométriques**III.1.1. Surface et périmètre du bassin versant de l'oued**

Extraites du modèle numérique de terrain (MNT) à l'aide du programme ArcGIS, on a obtenu La Surface du bassin versant est de 6121,73 km² avec un Périmètre de 744,70km. La plus grande longueur égale à 221,5km et le plus grand largeur est de 26,51km.

Concernant la distance "Exutoire-Centre de gravité" $D_g = 230.16$ km .Ainsi,La longueur du plus long thalweg $L_t = 329$ km .En fin ,Le centre de gravité du bassin versant est de (602089.6436 3667690.488 meters).

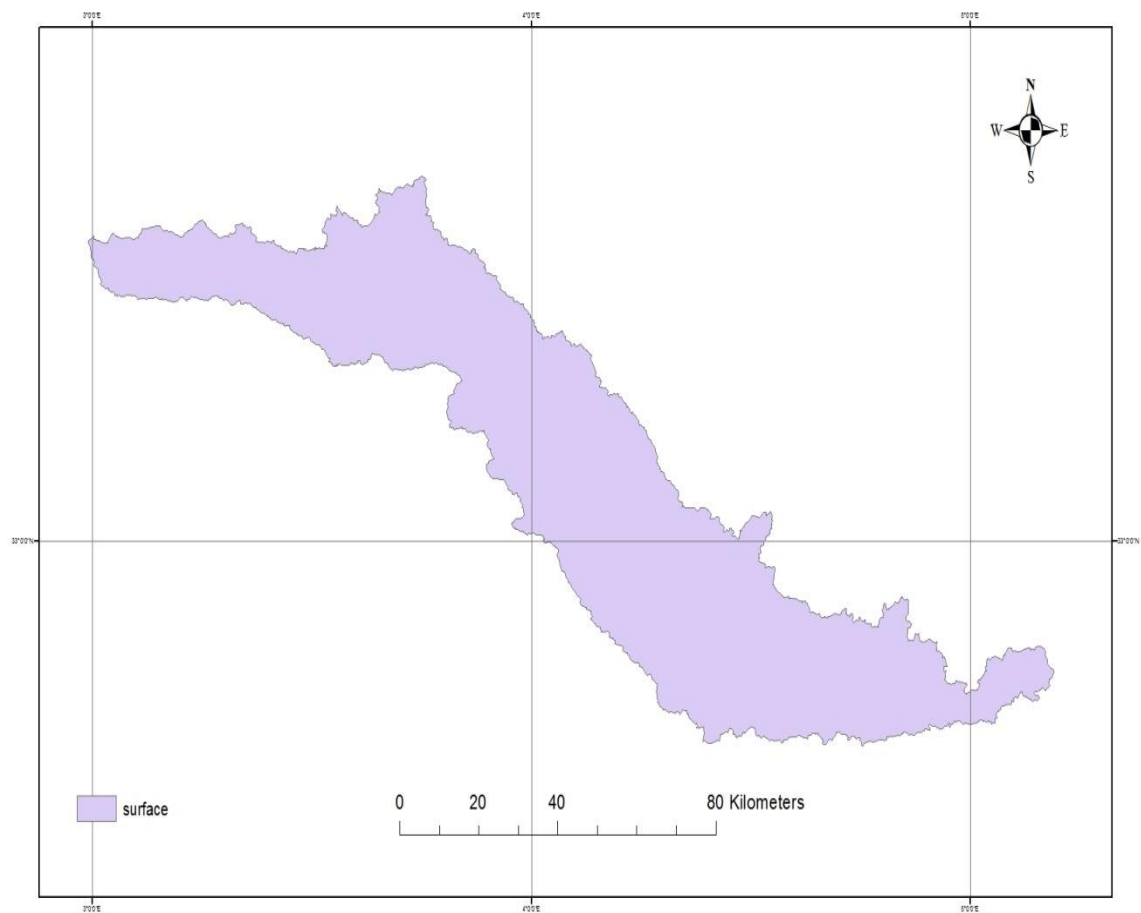


Figure 18: carte de surface de bassin versant de oued Zegrir

III.1.2. Hypsométrie

L'étude hypsométrique nous permet d'analyser la dispersion des altitudes en fonction des surfaces comprises entre les courbes niveaux.

Le mode opératoire consiste à déterminer par planimétrie la superficie de toutes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante, et cela pour les différentes altitudes du bassin versant.

Dans un contexte géomorphologique, la courbe renseigne sur la pente, le relief du bassin versant, ainsi que le niveau de maturité du cours d'eau.

Le traitement numérique du MNT du bassin versant de l'oued Zegrir avec l'ArcGIS 10 d'ESRI, nous a permis de générer automatiquement les intervalles d'altitudes et les surfaces correspondantes. Les résultats sont figurés dans le tableau ci-dessous (Tableau 08).

Tableau 08.-Répartition de la superficie selon l'élévation des courbe des niveau

<i>Altitude de l'intervalle (m)</i>	<i>Surface de l'intervalle (km2)</i>	Pourcentage de la surface (%)	% au dessus de limite inferieure
176-200	74,88	1.22	100
200-400	1852,53	30.26	98.77
400-600	1630,83	26.64	68.51
600-800	1911,86	31.23	41.87
800-968	651,62	10.64	10.64
total	6121,73	100	0

III.1.3. Indices de pentes I_m

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration t_c , et influence directement le débit de pointe lors d'une averse (Musy, 2005). Elle gouverne la vitesse du ruissellement, qui à son tour détermine le pouvoir érosif et la capacité de transport de celui-ci (Young et al., 1996). Cette pente, qui dépend étroitement des conditions morfo-structurales dans le bassin hydrographique, détermine aussi le type dominant du style fluvial le long des lits fluviaux des cours d'eau actuels. Chaque style fluvial s'exprime, du point de vue morfo-sédimentaire, par des morphologies et des géométries bien définies des dépôts sédimentaires qui se mettent en place pendant les crues. A titre d'exemple, en cas ou cette pente est moyenne à faible, le style dominant est le style méandrique avec des méandres libres. Ce style est caractérisé par des dépôts qui se mettent en place essentiellement dans des barres, dites de méandres, des plaines d'inondations bien développées et surtout par des méandres abandonnées (Leopold et Wolman, 1960 ; Bravard et Petit , 1997) qui se comportent comme des lacs plus au moins permanents selon les conditions climatiques. L'Indice de pente classique I_c (ou Indice de pente moyenne I_m du bassin versant) consiste à rapporter l'altitude entre les deux points extrêmes (Dénivelée totale du bassin versant en mètre $DT = H_{max} - H_{min}$) à la longueur du bassin définie par la longueur du rectangle équivalent :

$$\text{soit : } I_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r}$$

Avec :

I_m : indice de pente moyenne (m/km)

H_{max} : altitude maximale du bassin versant (m)

H_{min} : altitude minimale du bassin versant (m)

L_r : longueur du rectangle équivalent (km)

Pour notre bassin versant du Zegrir, le calcul qu'on a effectué à donner un indice $H_{max} = 968$ et $H_{min} = 176$

de pente moyenne $I_m = 3,57$ m/km.

III.1.4. Coefficient de Gravelius

Caractérisant la morphologie d'un bassin versant, ce coefficient est défini comme le rapport du périmètre du bassin réel (P) au périmètre d'un bassin circulaire ayant la même surface. Il s'obtient en appliquant la formule :

$$K_g = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Pour le bassin versant du M'zab, le coefficient de compacité de Gravelius

$K_G = 2,66$.

Cette valeur indique bien que notre bassin a une forme allongée, ce qui induit un temps important d'acheminement de l'eau vers l'exutoire, et les débits de pointe des crues sont dans ce cas faibles.

III.1.5. Le rectangle équivalent

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même surface et le même périmètre du bassin versant. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles à la largeur du rectangle (fig. 12). Si L_r et l_r représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, on a $S = L_r \cdot l_r$ et $P_r = 2 \cdot (L_r + l_r)$; il se réduit à un carré pour un coefficient de compacité $K_G = 0,84$.

On calcule la longueur L_r et la largeur l_r du rectangle équivalent en appliquant :

$$L_r = K_g \frac{\sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

$$l_r = K_g \frac{\sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Les résultats du calcul pour le bassin versant du Zegrir nous donnent :

$L_r = 354,92$ km et $l_r = 16.72$ km.

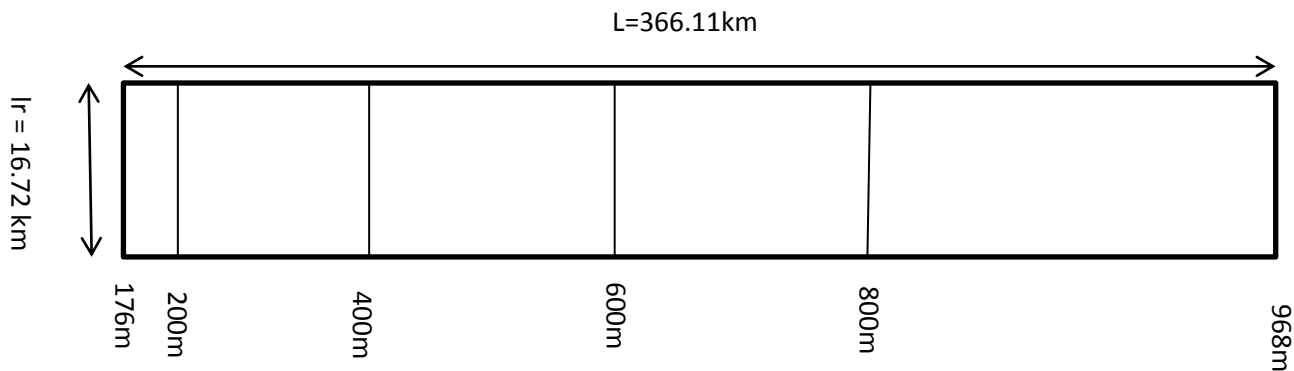


Figure 19 - Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Zegrir

Tableau 09. – Calcul des largeurs des intervalles

Altitude de l'intervalle (m)	Largeur de l'intervalle (km)
176-200	4,47
200-400	110,8
400-600	97,53
600-800	114,34
800-968	38,97
total	366,11

III.1.6. caractéristiques du réseau hydrographique

III.1.6.1. Classification du réseau hydrographique

Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont la classification de Strahler (1957) qui est la plus utilisée.

Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes : Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un. Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.

Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de un. chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance appelé ordre du cours d'eau. Parmi les méthodes de numérotation élaborées, on a adopté celle de Shumm-Strahler (1952) basée sur trois règles;

- tout thalweg sans affluent est dit d'ordre 1
- au confluent de deux thalwegs d'ordre n, le résultant est d'ordre n+1
- un thalweg recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre.

L'exploitation des outils d'analyses (Toolbox-Spatial Analyst-Hydrology) du logiciel ArcGIS 10 d'ESRI, nous a permis de traiter numériquement les données du MNT (fig. 13, 14, 15), d'établir la classification et de dresser la carte du chevelu hydrographique du bassin versant (Fig20).

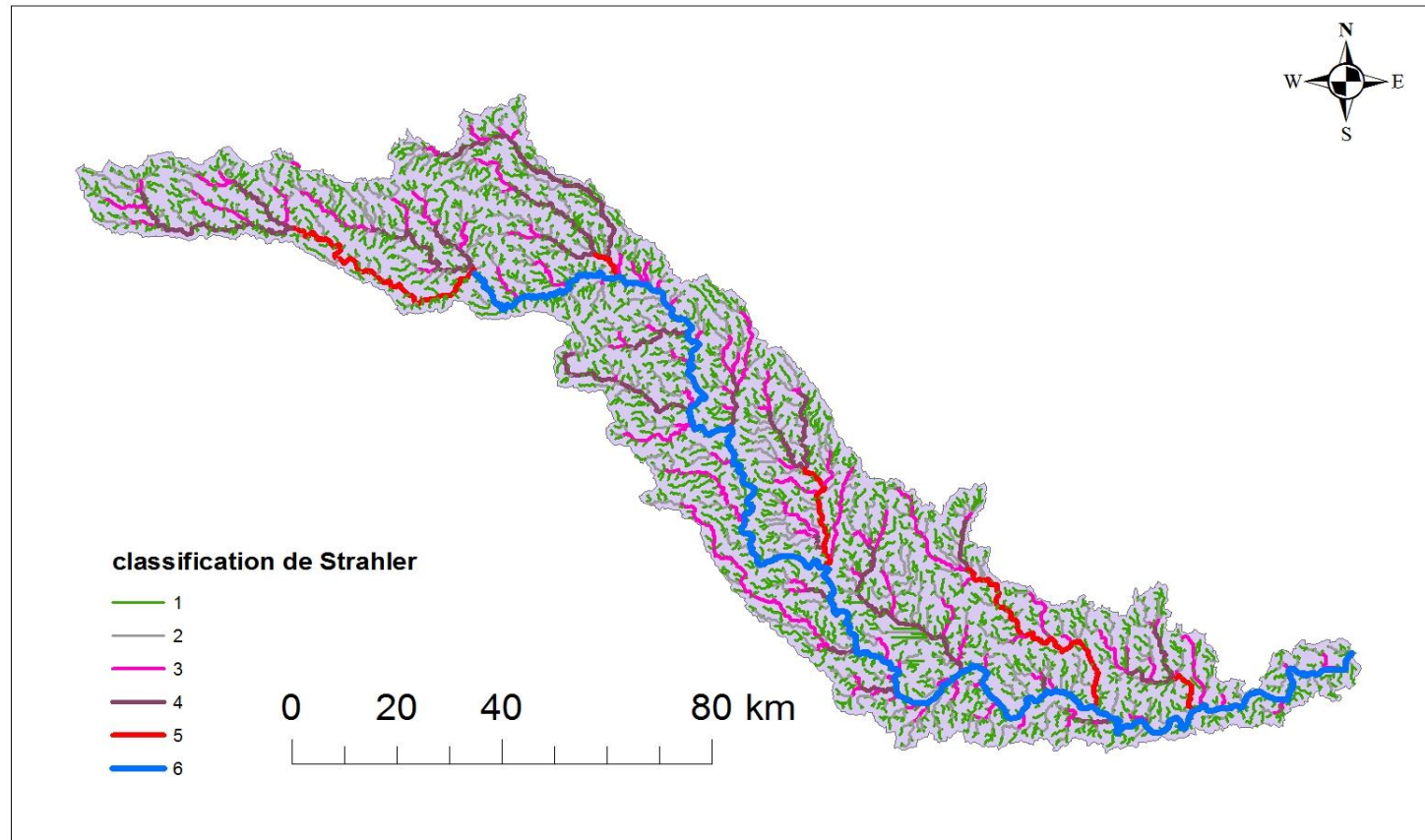


Figure 20 : - Chevelu hydrographique du bassin versant de l'oued Zegrir

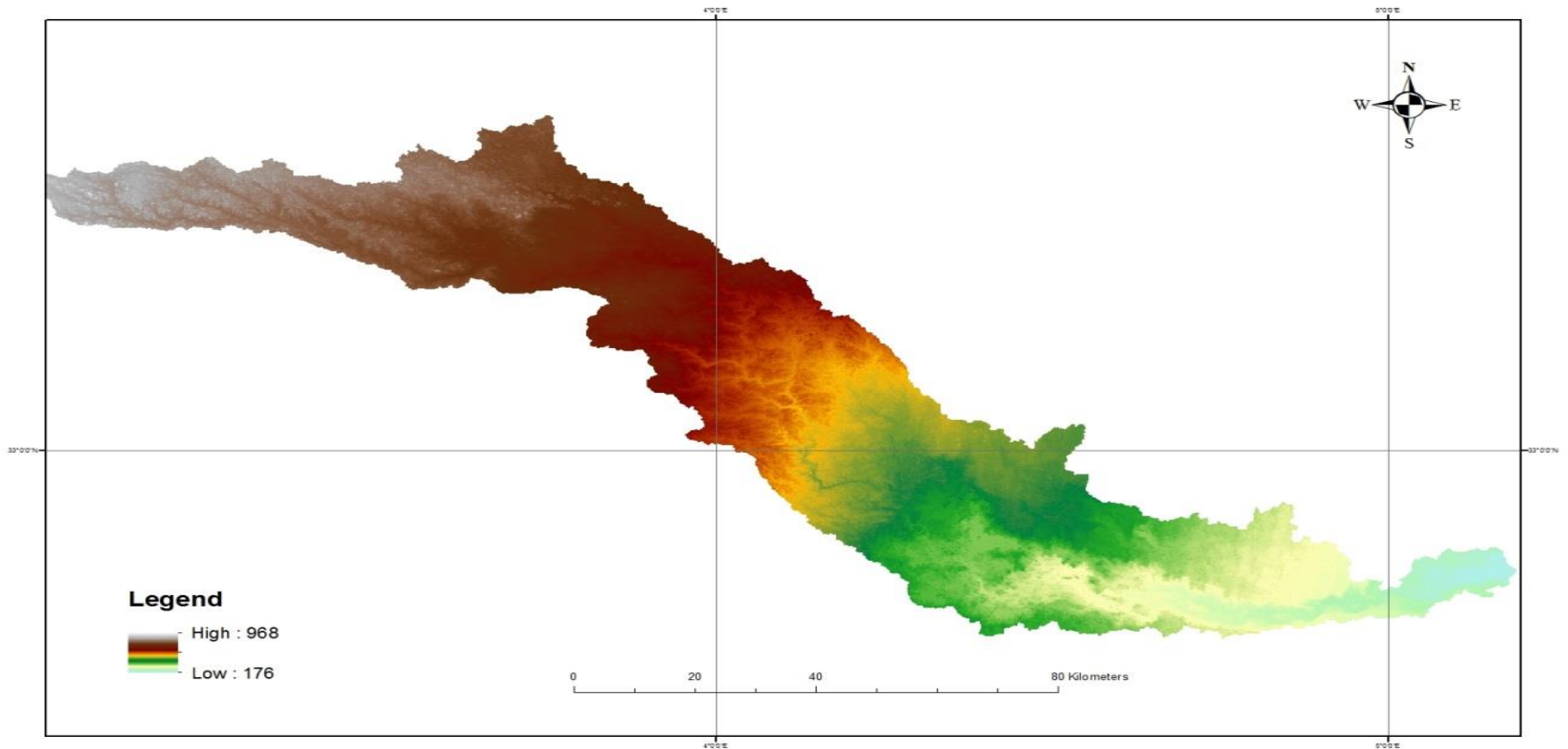


Figure 21 : MNT de bassin versant de l'oued Zegrir

III.1.6.2 La densité de drainage D_d

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant .

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau (L_x) à la superficie(s) du bassin versant.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_n}{S}$$

Pour une longueur totale des thalwegs du bassin versant du Zegrir $L_x = 6488,08$ km et une superficie de $6121,73$ km², on obtient une densité de drainage $D_d = 1,05$ km/km²

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

En pratique, les valeurs de la densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration. Selon Schumm, la valeur inverse de la densité de drainage, $C = 1/D_d$, s'appelle « constante de stabilité du cours d'eau ».

Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire (section du réseau)

A partir du se rusalem constaté que la densité de drainage est élevé

III.1.6.3. Densité des thalwegs élémentaires F_1

Elle se définit par le rapport du nombre des thalwegs d'ordre 1 (N_1) à la surface totale (S) du bassin versant.

$$F_1 = \frac{N_1}{S}$$

La densité des thalwegs élémentaires calculée pour le bassin versant du Zegrir nous donne $F_1 = 0.12$ thalwegs/km²

III.1.6.4 Rapport de confluence RC

Tableau 10 : Rapport de confluence RC

Order x	Nombre Nx	Nx/Nx+1
1	790	
2	410	1.92
3	120	3.41
4	23	5.21
5	6	3.83
6	1	6

Moyenne=4.074

D'après le tableau ci-dessus, le rapport de confluence pour le bassin versant du Zegrir **RC = 4.074**. Valeur relativement faible indique que, le bassin présente une bonne hiérarchisation des ces thalwegs ; caractérisant les réseaux hydrographiques de type dendritique, pour lesquels **RC** est faible.

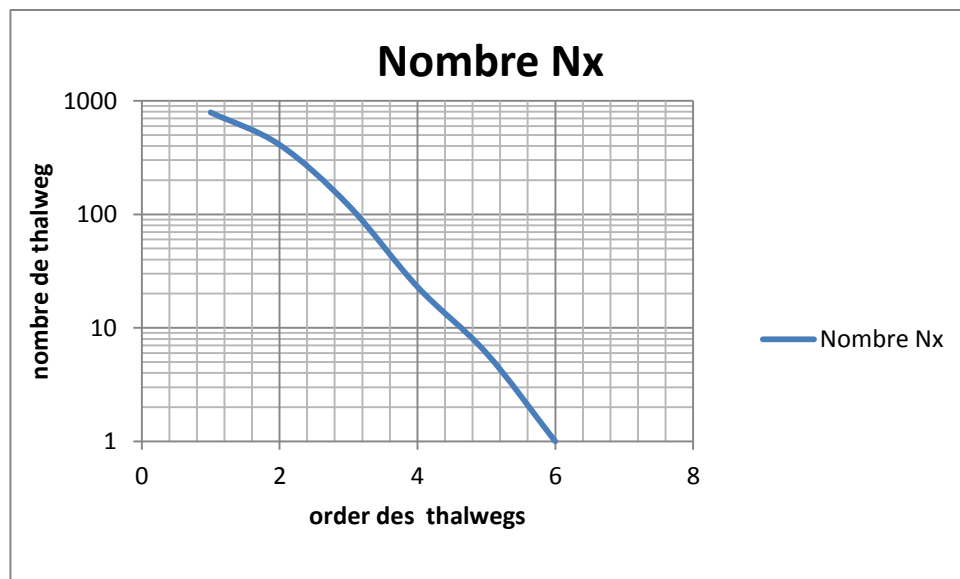


Figure 22 : Courbe nombre de thalweg par apport l'ordre

III.1.6.5. Coefficient de torrentialité Ct

Il se définit comme le produit de la densité des thalwegs élémentaires (F1) d'un bassin versant par sa densité de drainage (Dd)

$$C_t = F_1 \cdot D_d$$

Le résultat du calcul nous donne pour notre bassin versant du Zegrir un coefficient de torrencialité $Ct = 0.126$

III.1.7. Etude de la fréquence altimétrique

Cette étude nous permet de mettre en évidence l'influence de l'altitude sur les facteurs climatiques, notamment la température et les précipitations qui régissent les écoulements de surface.

En utilisant le logiciel ArcGIS 10 d'ESRI, on a pu traiter numériquement les données du modèle numérique de terrain (MNT) générés par les techniques d'interférométrie et couvrant l'ensemble de notre bassin versant du Zegrir.

Le traitement nous a permis de dégager onze classes d'altitude, leur report sur un graphe sous forme des histogrammes de fréquence (Fig.19) nous fournit une vue synthétique du relief et de la pente du bassin.

Sur l'axe des ordonnées, ont été reportés les nombres des pixels de l'MNT raster ayant les mêmes valeurs d'altitude.

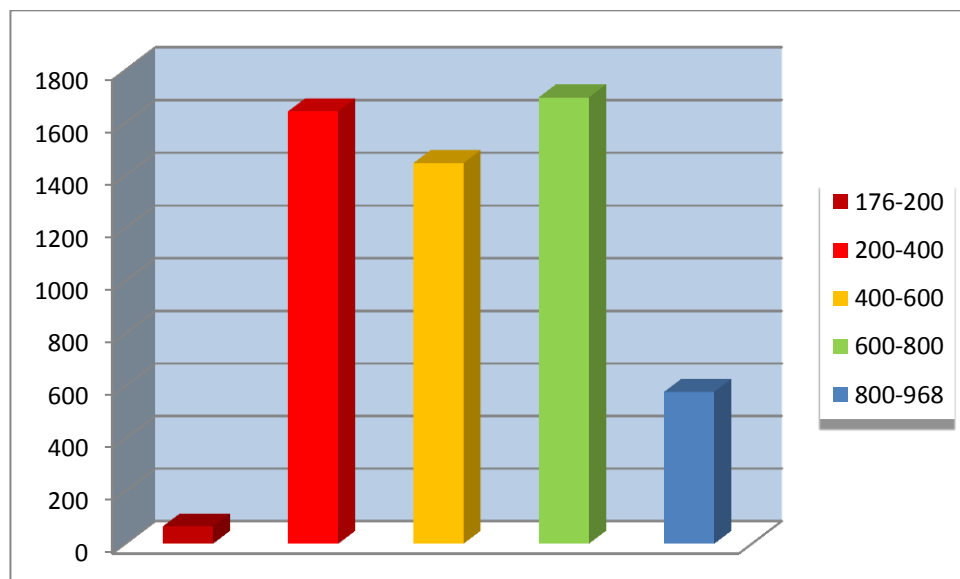


Figure 23 - fréquence altimétrique du bassin versant de l'oued zegrir

III.1.8. Etude de la répartition des surfaces en fonction de l'altitude

La carte de la répartition des surfaces en fonction de l'altitude (Fig.19), a été élaborée par le logiciel ArcGis 10 d'ESRI à partir du traitement de la grille de l'MNT.

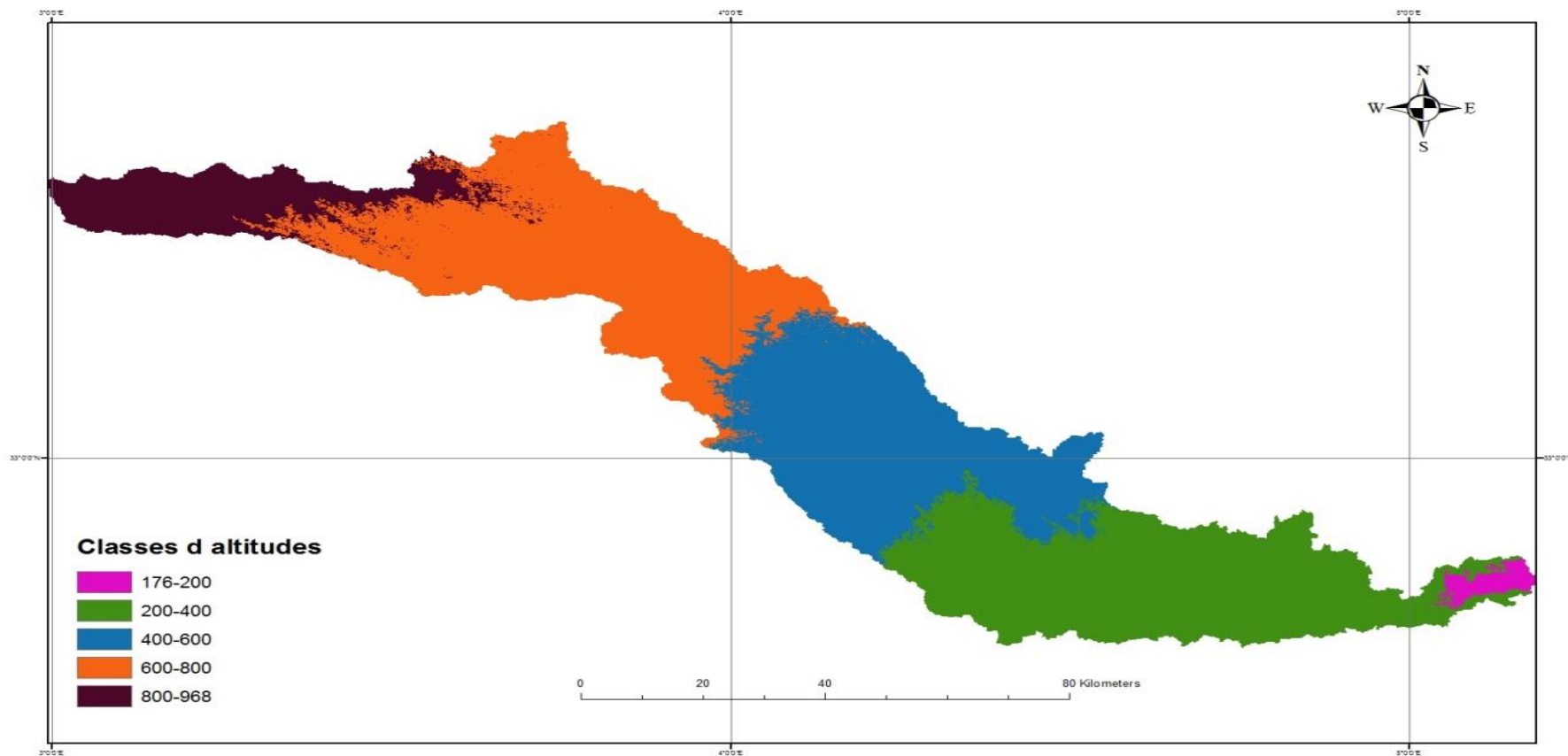


Figure 24 - Carte de la répartition des surfaces en fonction de l'altitude du bassin versant de l'oued Zegrir

La carte montre que les surfaces les plus dominantes sont comprises entre l'altitude 200m et l'altitude 800m, elles occupent la partie orientale du bassin versant sur une surface totale de 5395.22 km².

En deuxième lieu, le bassin qui se trouve en amont avec des altitudes comprises entre 800 et 968mètres avec une surface de 651,62 km²

Des faibles altitudes (176-200m) sont situées en aval du bassin, occupant une petite superficie de 74,88 km². Cette zone constitue l'exutoire des eaux du bassin versant du Zegrir, lequel coïncide avec la dépression de la sebkha Sefioune.

III.1.9. Altitude moyenne du bassin **H_{moy}**

III.1.9.1. Calculée par formule

$$H_{moy} = \frac{\sum_1^i H_i S_i}{S}$$

Avec ;

S_i : Surface entre deux courbes (km²)

H_i : Elévation moyenne entre deux courbes (m)

S : Surface totale du bassin (km²)

Pour notre bassin versant de l'oued Zegrir , les calculs ont donné une altitude moyenne **H_{moy}** = 538.99 mètres.

III.1.9.2. Par MNT

En traitant la grille de l'MNT de la région du M'zab par l'ArcGIS version 10 d'ESRI, on a construit l'histogramme de fréquence et calculé les nombres de valeurs d'altitude par classe (Tableau 06); qui nous permet de calculer l'altitude moyenne.

L'Altitude maximale du bassin versant du M'zab **H_{max}** = 968 mètres

L'Altitude minimale du bassin versant du M'zab **H_{min}** = 176 mètres

L'altitude moyenne du bassin est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum N_i H_i}{\sum N_i}$$

Tableau 11. – Nombre de valeurs d'altitude par classe d'altitude du bassin versant du Zegrir

Altitude		Nombre de N_i
class	H_i	
176-200	188	83202
200-400	300	2058367
400-600	500	1812042
600-800	700	2124289
800-968	884	724029
		6801929

L'application de la formule nous donne une altitude moyenne du bassin versant du Zegrir=**538,9 mètres**.

Nous retenons la valeur de **538,9 mètres** comme altitude moyenne du bassin versant de l'oued Zegrir. Cette valeur est la plus précise, car elle est calculée directement du modèle numérique de terrain (MNT) de la zone. On constate que l'altitude moyenne est supérieure à l'altitude de fréquence 1/2, ce qui montre une légère asymétrie des altitudes à l'échelle du bassin versant.

III.1.10. Dénivelée spécifique D_s

La dénivelée spécifique dérive de la pente globale (I_G) en la corrigeant de l'effet de superficie. Sa détermination permet de définir les différents types de reliefs des bassins versants indépendamment de leurs superficies.

La dénivelée spécifique s'obtient en appliquant la formule :

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

La classification d'O.R.S.T.O.M. en fonction de la dénivelée spécifique, a défini sept classes (Tableau 8).

Tableau 12. – Classifications des reliefs selon la dénivelée spécifique (O.R.S.T.O.M.)

<i>Classe</i>	<i>Relief</i>	<i>Ds</i>
R1	Relief très faible	$D_s < 10$
R2	Relief faible	$10 < D_s < 25$
R3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50$
R4	Relief modéré	$50 < D_s < 100$
R5	Relief assez modéré	$100 < D_s < 250$
R6	Relief fort	$250 < D_s < 500$
R7	Relief très fort	$500 < D_s$

La dénivelée spécifique calculé pour le bassin versant du Zegrir **Ds = 208,12m**

D'après les classifications de l'O.R.S.T.O.M. , notre bassin versant appartient à la classe R5 ($100 < D_s < 250$) à relief assez modéré.

III.1.11. Etude des pentes :

La pente est un facteur capital régissant le régime des écoulements superficiels, ainsi que la dynamique de l'érosion au sien du bassin versant.

A partir du modèle numérique de terrain de la région d'étude et en exploitant les outils puissants de l'ArcGIS 10 d'ESRI (Toolbox-Spatial Analyst-Surface), nous avons réaliser une carte des pentes du bassin versant de l'oued Zegrir (Fig. 23),sur laquelle cinq classes de pentes ont été mises en évidence(fig. 22) ;

- Classe A, de pentes variant entre 0° et $2,59^\circ$
- Classe B, de pentes variant entre $2,6^\circ$ et $6,25^\circ$
- Classe C, de pentes variant entre $6,26^\circ$ et $10,57^\circ$
- Classe D, de pentes variant entre $10,58^\circ$ et $16,82^\circ$
- Classe E, de pentes variant entre $16,83^\circ$ et 55° .

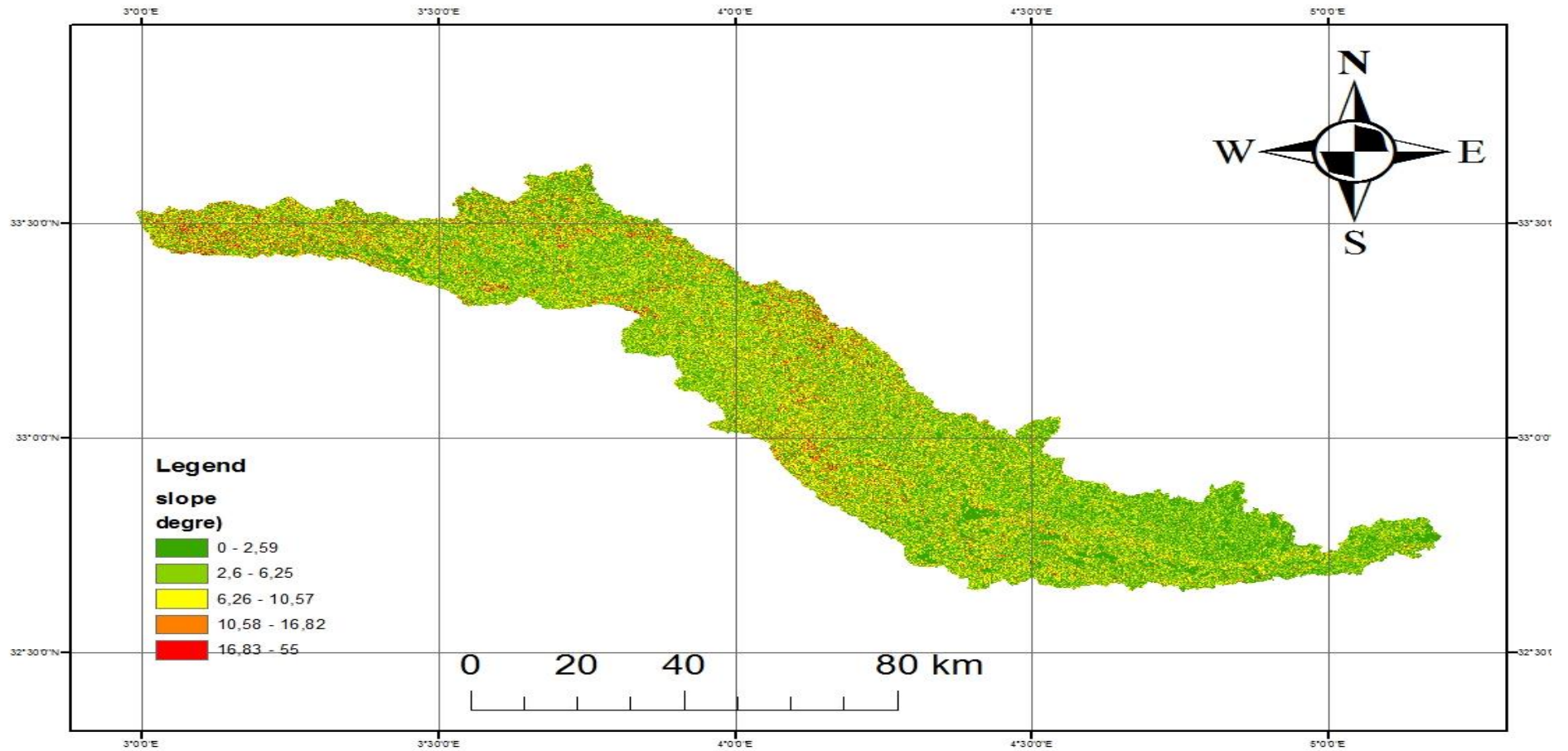


Figure 25 : carte des pentes (degre) d' oued Zegrir

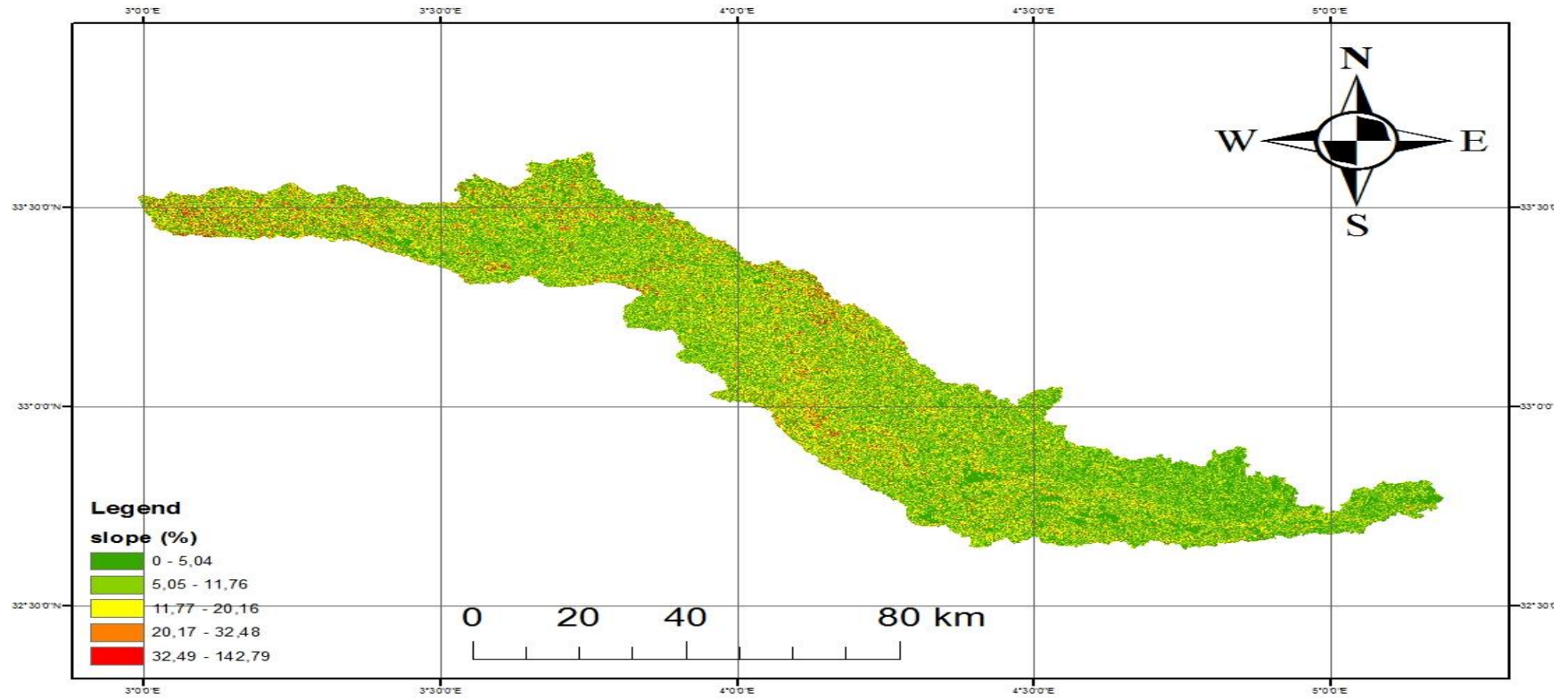


Figure 26 : carte des pentes (%) d'oued Zegrir

La carte des pentes du bassin versant du Zegrir montre que les valeurs les plus élevées sont localisées de la partie occidentale vers le milieu de [16.83 à 55]° avec un pourcentage de [32.49 à 142.79] %

Les valeurs les plus basses sont situées le long du bassin de [0 à 2.59]° avec un pourcentage de [0 à 5.4] %

Nous constatons que le bassin a des pentes très variées de 0 jusqu'à 55 ce qui nous donne un bassin très accidenté.

III.1.12. Temps de concentration

Le temps de concentration T_c est considéré comme un temps caractéristique de l'écoulement sur un bassin versant donné. Il est défini comme le temps que met l'eau tombée au point le plus éloigné en amont du bassin versant pour atteindre l'exutoire.

Le temps de concentration est composé de :

Temps d'humectation (T_h) :

Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne ruisselle.

- Temps de ruissellement et d'écoulement (T_r) :

Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'au système de collecte d'eau naturel (thalwegs).

- Temps d'acheminement T_a :

Temps de cheminement de l'eau du système de collecte (thalwegs) jusqu'à l'exutoire.

On considère, théoriquement, que le temps de concentration représente la durée comprise entre la fin de la pluie nette tombée sur le bassin et la fin du ruissellement. Il est déduit par des mesures *in situ* sur le bassin, comme il peut être estimé par des formules empiriques.

Pour estimer le temps de concentration de notre bassin, et face aux nombreuses formules empiriques existantes, on a décidé d'utiliser les trois formules suivantes ;

III.1.12.1. Formule algérienne

Cette formule a été élaborée à partir de l'analyse des événements averse-crues, relevés sur plus de 15 bassins versants du pays.

$$T_C = 0,0055.S + 0,1657.L_t + 0,0078.D_H + 0,821$$

Avec :

T_C : temps de concentration (h)

S : surface du bassin (km^2)

L_t : Longueur du cours d'eau principal (km)

DH : différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale du Bassin

Versant (m).

L'application numérique, nous donne pour le bassin versant du Zegrir un temps de concentration $T_C=92,09$ heures, soit 3 jours et 20 heures. Cette valeur du temps est relativement élevée, se prouve par la forme très allongée du bassin versant.

III.1.12.2. Formule de Giantotti

$$T_C = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L_t}{0,8 \cdot \sqrt{D_H}}$$

Avec :

S : Superficie du bassin (km²)

L_t : Longueur du thalweg principal (km)

D_H : différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale du BV (m)

Après l'application numérique nous obtenons $T_C = 50,68$ heures, soit 2 jours et 2.5 heures

III.1.12.3. Formule SCS

$$T_C = \left[\frac{0,87 \cdot L_t^3}{H} \right]^{0,385}$$

Avec ;

L_t : longueur du thalweg principal (km)

H : différence de cote entre les points extrêmes du thalweg principal (m).

Après l'application numérique nous obtenons $T_C = 82,21$ heures, soit 3 jours et 10h.

Comme temps de concentration du bassin versant de l'oued Zegrir, on va prendre en considération la valeur moyenne, donc $T_C = 74,99$ heures, soit 3 jours et 7 heures.

III.1.13. Vitesse d'écoulement de l'eau V_c

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_C = \frac{L_t}{T_C}$$

Après l'application, nous obtenons une vitesse d'écoulement de l'eau dans le bassin versant du Zegrir $V_C = 1,2$ m/s.

Le tableau 13 : ci-dessous récapitule les paramètres morphométriques et Géométriques obtenus du bassin versant de l'oued Zegrir.

Caractéristiques géométriques du bassin versant		
Surface du bassin	S	6121,73 km ²
Périmètre du bassin	P	744,70km
La plus grande longueur du bassin	Lmax	221,5km
La plus grande largeur	lmax	26,51km
Distance Exutoire-Centre de gravité	Dg	230.16 km
Longueur du plus long thalweg	Lt	329 km
Centre de gravité du bassin	Cg	(602089.6436 3667690.488 meters)
Coefficient de compacité de Gravelius	KG	2,66
Caractéristiques du chevelu hydrographique du bassin versant		
Nombre d'ordre des thalwegs		6
Nombre total des thalwegs		1350
Longueur totale des thalwegs	L	6386.84 km
Rapport de confluence	Rc	4.074
Densité des thalwegs élémentaires	F ₁	0.12 thalwegs/km ²
Densité de drainage	Dd	1,05 km/km ²
Coefficient de torrencialité	Ct	0.126
Temps de concentration Tc	Tc	
- Formule algérienne (1992)	Tc ₁	92,09 heures
- Formule de Giandotti	Tc ₂	50,68 heures
- Formule SCS	Tc ₃	74,99 heures
Vitesse d'écoulement de l'eau	Vc	1,2m/s
Lame d'eau ruisselée	L _R	92,57
Caractéristiques de relief du bassin versant		
Indice de pente moyenne	I _m	3,57 m/km
Dénivelée spécifique	Ds	208,12m
Altitude maximale du bassin	Hmax	968m
Altitude minimale du bassin	Hmin	176m
Altitude moyenne du bassin (formule)	Hmoy	538,9m
Altitude moyenne du bassin (MNT)	Hmoy	538,9

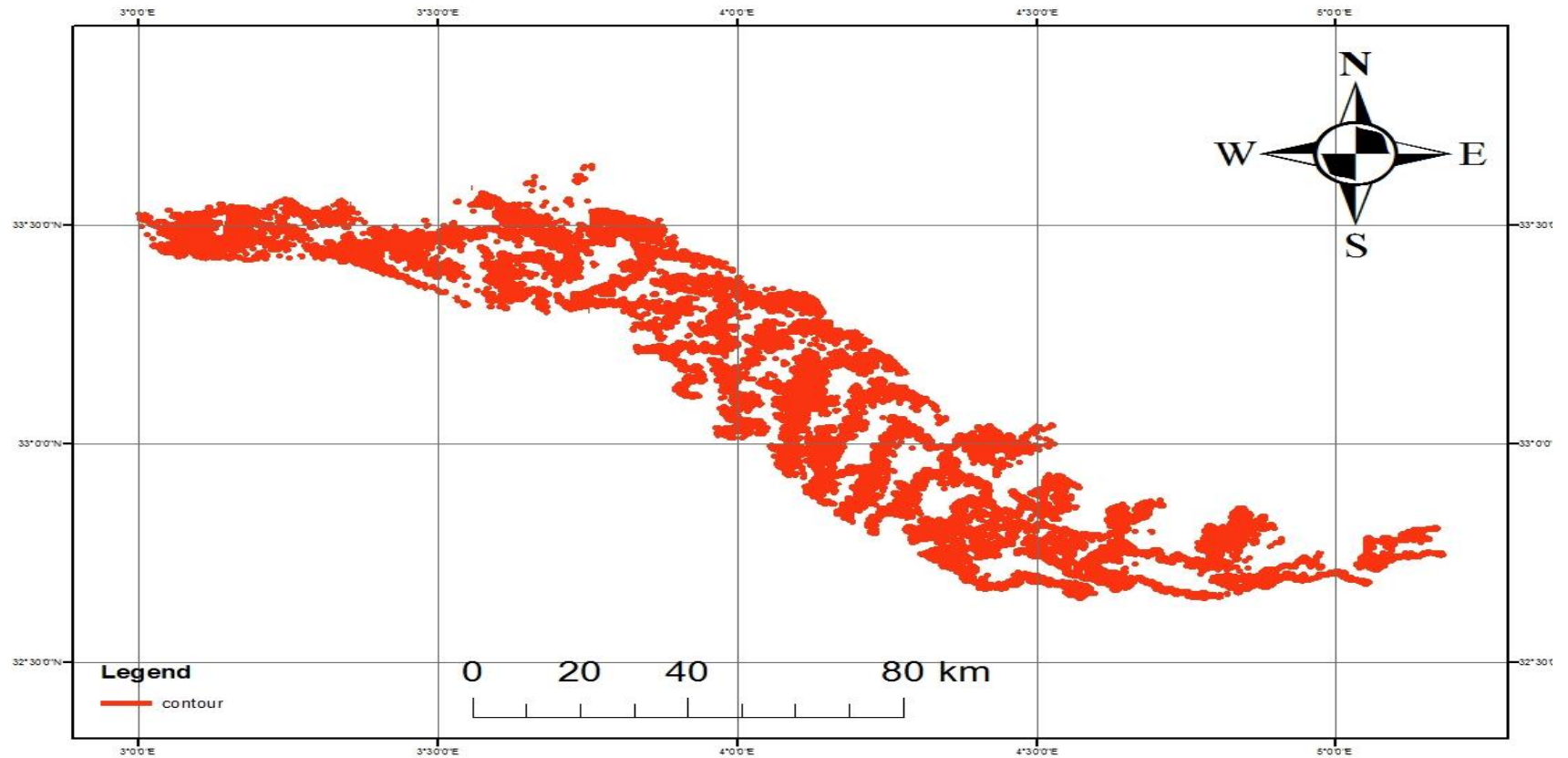


Figure 26 : - carte de contour d`oued Zegrir

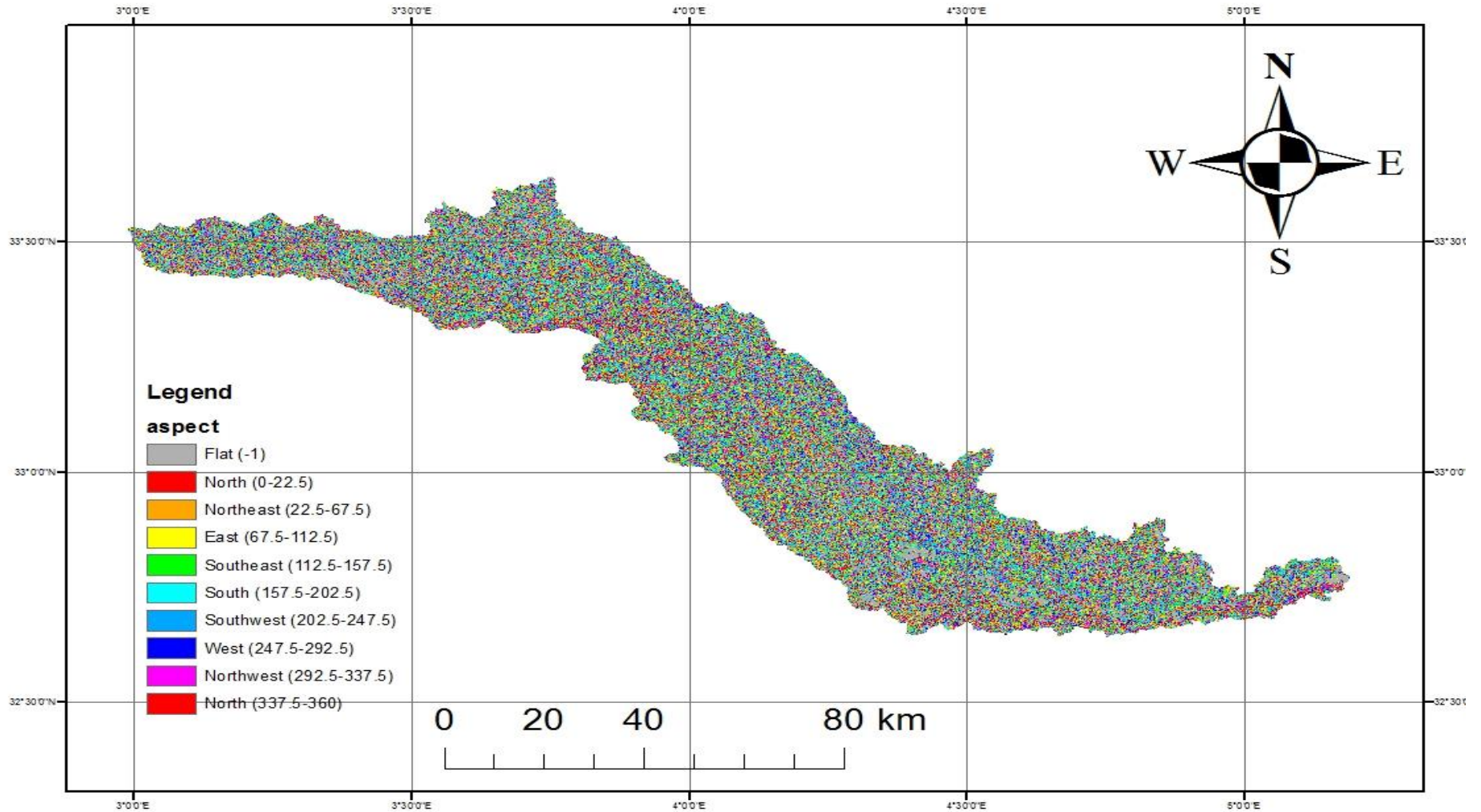


Figure 27 : - carte d'aspect d'oued Zegrir

III.1.14. Lame d'eau ruisselée (Formule de Fersi (1979b))

Dans le domaine du Sahara, à faible pluviosité, le ruissellement représente l'un des problèmes épineux en hydrologie. Selon Dubief (1953), les facteurs intervenant dans le ruissellement sont;

- 1) la quantité et l'intensité de la pluie tombée,
- 2) la perméabilité, le pendage du sol arrosé, et l'état de son couvert végétal.

En mettant à profit l'observation du ruissellement sur huit bassins versants de Tunisie centrale et méridionale, Fersi a établi une formule empirique valable en zone aride;

$$L_R = 0.017 \cdot P \cdot \sqrt{I}$$

Avec :

L_R : Lame d'eau ruisselée (mm)

P : pluie moyenne annuelle (mm)

I : pente globale du bassin (m/km)

IG : pente globale du bassin (m/km)

L'application numérique nous donne une lame d'eau ruisselée sur le bassin versant de l'ordre de 2.97 mm un volume d'eau

13,98 million m³/an ruisselé sur l'ensemble du bassin versant de l'oued Zegrir.

III.1.15. Calcul du débit de pointe d'une crue

A défaut de données hydrométriques, on a fait appel à des méthodes empiriques, en appliquant pour cela la formule de Manning-Strickler basée sur les traces de laisse de crue sur une section bien déterminée de l'oued Zegrir (figure 28)

La formule est de la forme :

$$Q_{\max} = k_s \cdot S \cdot \sqrt{I} \cdot R_h^{\frac{2}{3}}$$

Avec :

Q_{\max} : débit maximal de la crue (m³/s)

$H_{\text{mouillée}} = 2$ m

$L_{\text{mouillée}} = 150$ m

P_m = Périmètre mouillée

S_m : surface mouillée (m²)

i : pente de la ligne d'eau (m/m)

R_h : rayon hydraulique = rapport de la surface au périmètre mouillée (m)

K_s : coefficient de rugosité de Strickler, = 35 à 40 pour lit naturel sans végétation arbustive (m^{1/3}/s).

Pour notre cas, on a : $S_m = 300 \text{ m}^2$, $P_m = 154 \text{ m}$, $R_h = 1,9$; $K_s = 35$, $i = 0.003 \text{ m/m}$.

Le calcul nous donne un débit de l'ordre de 882,23 m³/s.

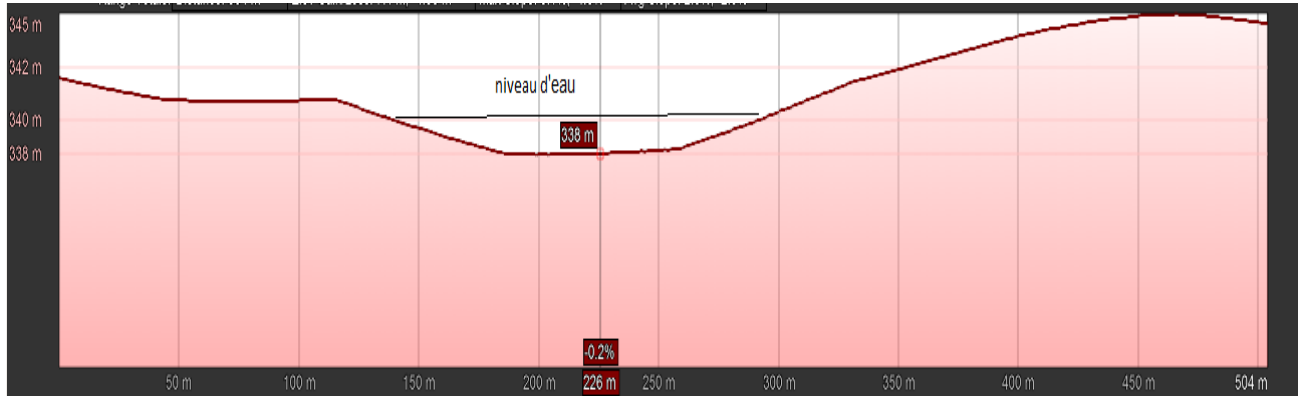


Figure 27 - Profil en travers de la section mouillée dans l'oued zegrir

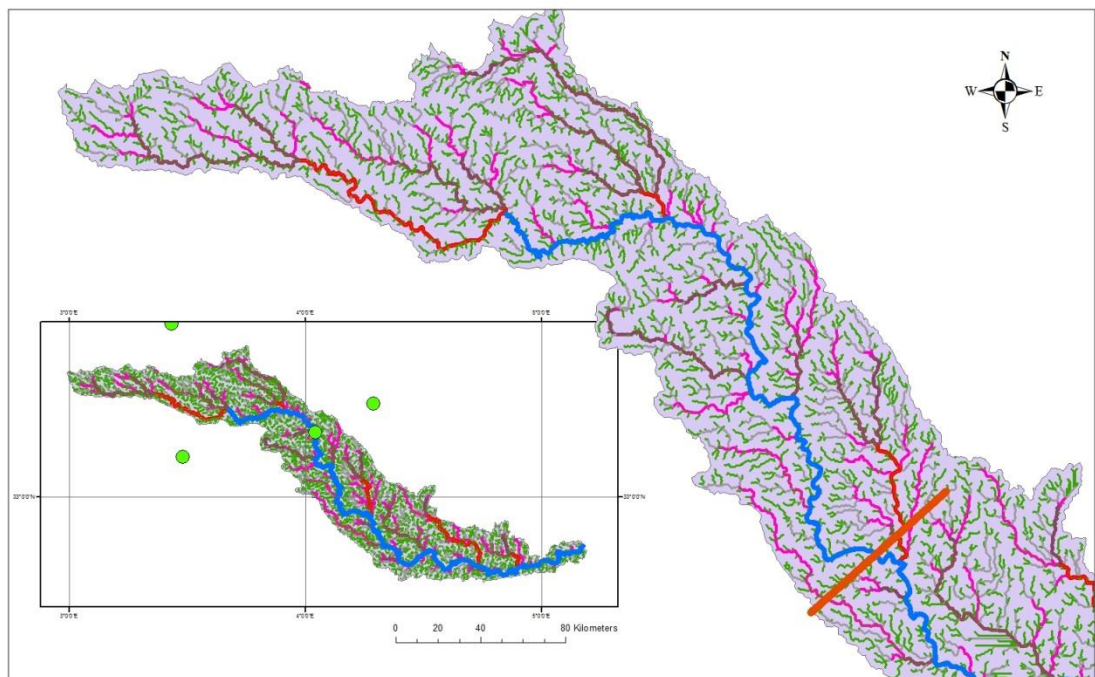


Figure 28 - la section ou on a calculé le débit



conclusion

Le bassin versant de l'Oued zegrir a été étudié à partir de son modèle numérique de terrain (MNT) pour l'extraction automatique, à l'aide des logiciels SIG, de ses caractéristiques géomorphologiques qui influencent l'écoulement de ses eaux de surface. L'évaluation de ces paramètres a permis la réalisation de nombreuses cartes thématiques et leur interprétation. Le bassin versant étudié s'étale sur une superficie d'environ 6121,73km² et présente un périmètre de 744,70km.

Il est caractérisé par un relief assez modéré et une forme allongée ($KG = 2,66$) au sens de l'écoulement général des eaux. Cette forme, liée aux conditions morfo-structurales, favorise une érosion linéaire et régressive et les faibles débits de pointes de crues en raison du temps élevé de concentration ou d'acheminement des eaux jusqu'à l'exutoire.

Enfin, il faut souligner que, malgré tous ses mérites et les remarquables contributions des modèles numériques de terrain, bien qu'ils constituent une donnée très puissante d'analyse, l'informatique ne peut suffire à elle seule à résoudre tous les problèmes géologiques, géomorphologiques, topographiques et d'aménagement. Il faudrait des démarches complémentaires s'appuyant sur la réalité du terrain.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. ANRH et ADE de Ghardaïa. «**Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la ville de Guerarra** ». 2007.
2. **ARCGIS 8.1 Fonctionnalités**, Ecole Nationale des Sciences Géographiques ENSG, 97 pages.
3. Cooke R.U., Warren A. & Goudie S.A., 1993 - Desert geomorphology. UCL ed., London.
4. CORNET A. (1961). Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoter aux officiers du cours préparation aux affaires sahariennes. Service des Etudes Scientifiques. Birmandries, Alger, fig., tabl. Croquis, cartes, diagrammes.
5. CORNET A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique Vol.VI. fascl.
6. Damnati, B. 2000. Holocene lake records in the Northern Hemisphere of Africa. J. of Afr. Ear. Sci., 31 (2), 253-262.
7. Direction de Planification et l'Aménagement de Territoire de la wilaya de Ghardaïa. « **ATTLAS DE GHARDAIA** » Ghardaïa. 2009.
8. Djili, B. 2004. Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro., Uni. De Ouargla.

BIBLIOGRAPHIE

9. Fifati Amria, **Typologie et caractérisation de la qualité des aquifères d'une zone aride - Cas de la région de Guerrara (Ghardaïa)**, mémoire magistère, Université de Tébessa, 2012.
10. L. Benaboura **C'est quoi un Système d'information géographique**. UHBC de Chlef Département d'Hydraulique Faculté de Génie Civil et d'Architecture, P3-4.
11. M^{elle}. BAHAZ.H « **La cartographie piézométrique et hydro chimique de la nappe phréatique de la Vallée de Metlili** ». Mémoire licence. Univ. Ghardaïa. 2013.
12. Mlle Soumia LYAZID, **Constitution d'une base de données du bassin versant de Kebir El Rhumel via SIG Et Application du modèle hydrologique HEC-HMS sur ce bassin**, mémoire ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique Département d'Hydraulique, juin 2007.
13. Office Nationale de Météorologie. Station de Ghardaïa (O.N.M.2016).
14. Premiers Pas avec MapInfo V6.5, **fonctionnalités de base**, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Département de la formation continue Formation à l'utilisation du –SIG-, 38 pages.



ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE



- le pont de oued Zegrir dans un cas de crue



- une vague de crue de Oued Zegrir



Crue faible d'oued Zegrir



Echelle limnométrique selon oued Zegrir



Crue forte dans Oued Zegrir

