

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de la Technologie
Département des sciences et Techniques



N° Ref :.....

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Sciences Hydrauliques

**Caractéristiques morphométriques des bassins versants
par les Systèmes d'Information Géographique SIG :cas
bassin versant de Mila. Est Algérie**

Réalisé par :

- Layadi Nour elhouda
- Boulares Lilia

Soutenu devant le jury :

**M. Khelalfa
A.Kabour
M. Koussa**

**M.A.A
M.A.A
M.A.A**

**CUAB Mila
CUAB Mila
CUAB Mila**

**Président
Examineur
Promoteur**

Année universitaire : 2015/2016

Remerciements

Nous remercions le DIEU, le tout puissant de nous avoir accordé la santé et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Au terme de ce travail, Nous sommes reconnaissantes à notre encadreur Monsieur « KOUSSA MILOU » et nous lui offrons un grand respect et l'appréciation, et nous tenons à le remercier pour son aide, sa disponibilité de tous les instants pour ses orientations et ses précieux conseils qu'il nous a prodigués tout du long de notre travail de recherche.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes amis, mes parents et mes proches, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Très nombreux des gens qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail.

Tout en m'excusant aux prés de ne pas les citer.

DÉDICASE

*Avant tout, je remercie dieu Le toutes réussites. Tout puissant
d'avoir facilité le chemin de toutes mes réussites.*

Je dédie ce modeste travail à :

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon
bonheur ; qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au
long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger ;*

A Ma mère MALIKA

*" que j'adore : « Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon
chemin dans leur vie et leurs études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour
exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma
naissance. »*

A mon père BRAHIM

*A celle qui sont partagés avec moi les meilleurs et les pires, celle qui sont toujours été là
dans mes moments de détresse, mon inspiratrice depuis toujours, ma raison de vivre et les
meilleures au monde, à celle que j'aime plus que tout, mon frère **Farid**.*

A la source de ma fierté: Najla et son époux Adlen

A pupille d'œil Assil «MAMATI»

à la l'innocente enfant Salsabil «LOULI»

*A mon encadreur MR.KOUSSA MILOUD tout
respect tout estime.*

A celle qui a partagé cette tâche avec moi «LEILA»

*A tout mes amies «Ahlem,Aicha ,bouchra ,djauhara
,Yasmin,Wassila,Donia ,Mounira ,Kharoula ,Alima,Hannan, Zaineb , Amira
,Sonia,Ryan»*

DÉDICASE

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont été toujours présents pour moi :
À ma chère mère Fadhia qui m'a beaucoup soutenue par son amour et ses encouragements
pendant toute ma vie que Dieu la garde
À mon père Abdelkader qui m'a beaucoup aidé moralement et m'a soutenue financièrement.
À ma jumelle « Soumia »
À mes chères sœurs mariées : Sounia , Loubna , Nardjess, Farah et Moufida
et leurs enfants : Afaf, Mouatez, Lyad, Anis, Ahmed Kossay
à mes chères frères : Saber, Soufiane, Raouf
À tous mes oncles , mes tantes et cousins sans exception pour son encouragement et sa
présence.
À mon chère ami de travail Houada Layadi
À mes amis : Nouzaha, Soumia, et Houada Bentlia pour leurs aides et encouragements.
À toute personne qui a contribué à la réussite de ce travail

لؤلؤة

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N° :	Page:
Tableau 1: La série pluviométrique (2004 à 2014) station de Beni Haroun	10
Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles (2004 à 2014) station de Beni Haroun	11
Tableau 3 : Les précipitations saisonnières (2004 à 2014) station de Beni Haroun	11
Tableau 4: Température moyenne mensuelle en °C à la station de Beni-Haroun (2004-2014).	13
Tableau 5 : Températures et précipitations moyennes mensuelles (2004 à 2014) station de Beni Haroun	15
Tableau 6: Répartition de la superficie en fonction d'altitude	42
Tableau 7 : Calcul de l'altitude moyenne	44
Tableau 8 : Méthode classification de relief selon (ORSTOM) selon la dénivelée spécifique D_s	49
Tableau 9 : Rapport de confluence et longueur des cours d'eaux	50
Tableau 10 : Calcul de l'érosivité	55
Tableau 11: Coefficient K en fonction de type de sol.	58
Tableau 12 : Indice culturel C de quelques cultures.	59
Tableau 13 : Indice culturel P en fonction des classes de pentes.	60

Liste des figures

Figure N° :	Page
Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude	2
Figure 2: Localisation géographique du barrage de Beni Haroun.	4
Figure 3 : Profil géologique Nord-Sud de l'Est algérien	6
Figure 4 : Les unités géologiques de l'Est algérien	7
Figure 5 : Histogramme de Variation de précipitation annuelle (2004-2014)	10
Figure 6 : Histogramme de Variation de précipitations mensuelles (2004-2014)	11
Figure 7 : Histogramme de précipitation saisonnière	12
Figure 8 : Pourcentage de précipitations saisonnières	12
Figure 9: Histogramme de variation des températures mensuelles	14
Figure 10: Diagramme ombrothermique pour la période 2004-20014	15
Figure 11 : Abaque de Martonne	16
Figure 12 : Climagramme d'Emberger (Station de Mila)	17
Figure 13: Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG) .	20
Figure 14 : Composant de SIG	21
Figure 15: Exemple données Raster	24
Figure 16: Modèle vecteur et raster.	24
Figure 17: Les types de données vecteur.	25
Figure 18 : Les fonctions d'un SIG.	26
Figure19: Interface ArcCataloge de logiciel Arcgis	31
Figure 20 : Interface ArcMap de logiciel ArcGis	32
Figure 21: Interface Arctoolbox de logiciel ArcGis	32

Figure 22 : Interface du logiciel Global Mapper	33
Figure 23 : Organigramme de la procédure de travail	35
Figure 24 : La carte de délimitation de bassin versant de Beni Haroun	38
Figure 25 : Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue.	38
Figure 26 : La forme du bassin versant en fonction de l'indice de Gravilius	39
Figure 27 : La carte du cours d'eau principale de bassin versant du Beni Haroun	40
Figure 28 : Profil en long du cours d'eau principal de bassin versant de Beni Haroun	40
Figure 29 : La carte hypsométrique de bassin versant de Beni Haroun	41
Figure 30 : la courbe hypsométrique de bassin versant de Béni Haroun.	42
Figure 31 : Statistique de différentes altitudes caractéristiques de bassin versant de Beni Haroun	44
Figure 32 : la représentation de différente altitude	45
Figure 33 : La carte des pentes de bassin versant de Béni Haroun	47
Figure 34 : La carte de réseau hydrographique de bassin versant de Beni Haroun.	49
Figure 35 : Application de l'expression sous ArcGis 10.2.2	56
Figure 36 : Application de l'expression sous ArcGis 10.2.2	57
Figure 37 : Application de la formule RUSLE sous Arcgis10.2.2	61
Figure 38 : Procédure conduisant à la Carte de zones à risque d' d'érosion dans le bassin versant de Beni Haroun.	63
Figure 39 : Carte d'érosion dans le bassin versant de Beni Haroun	64

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADE : Algérienne des eaux

ANDI : Agence Nationale de Développement de l'Investissement

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

DEM : Digital Elevation Map

IDW : Inverse Distance Weight

NCGIA : Le Centre Nationale de l'Information Géographique

ORSTOM : Office de recherche scientifique et technique outre-mer

RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation

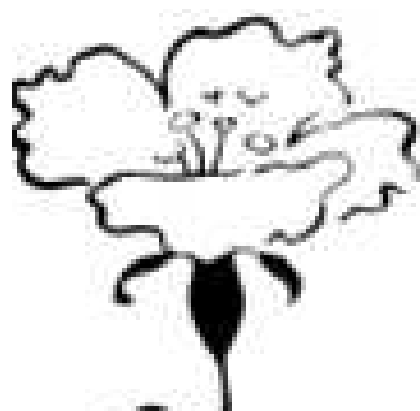
RGPH : Recensement général sur la population et l'habitat

SIG : Système d'Information Géographique

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

SGBD ; Système de Gestion de Base de Données

USLE : Universal Soil Loss Equation



Sommaire

Chapitre I: Présentation de La région d'étude

Introduction.....	1
I. Présentation de la région d'étude.....	1
I.1. Cadre géographique.....	1
I.1.1. Situation géographique régionale.....	1
I.1.2. Limites et contextes géographiques.....	1
I.1.3. Situation géographique du secteur d'étude	2
I.1.3.1. Réseaux hydrographique.....	3
I.2. Le contexte géologique.....	5
I.3. Végétations.....	8
I.4 .Agriculture	8

Chapitre II : Cadre Climatique

Introduction.....	9
II.1. Les précipitations	9
II.1.1 la précipitation annuelle	9
II.1.2 Précipitations moyennes mensuelles.....	11
II.1.3. Précipitation saisonnières	11
II.2. La température.....	13
II.2.1. Température moyenne mensuelle.....	13
II.3. Relation entre précipitation et temperature.....	14
II.4. Les indices climatiques.....	16
II.4.1 Indice de Martonne ou d'aridité.....	16
II.4.2. Indice d'EMBERGER.....	17
II.4.3. Indice de Paul Moral.....	18
Conclusion.....	18

Chapitre III: Les Systèmes d'information géographique

Introduction.....	19
III. Système d'information géographique(SIG).....	19
III.1. Définition.....	19
III.2. Concepts d'un SIG	21
III.3. Composantes d'un SIG	21
III.3.1. Matériels	22
III.3.2. Les logiciels.....	22
III.3.3. Les données	23
III.3.4. Les utilisateurs	23
III.3.5. Les méthodes.....	23
III.4. Les modes de Représentation de l'information Géographique dans un SIG.....	23
III.4.1. Le mode Raster.....	23
III.4.2. Le mode Vectorielle	24
III.4.2.1. Les points	25

III.4.2.2. Les lignes	25
III.4.2.3. Les polygones	25
III.5. Les fonctions d'un SIG.....	26
III.5.1. L'Abstraction ou modélisation.....	27
III.5.2. L'Acquisition de données	27
III.5.3. L'Analyse ou Géotraitement	27
III.5.4. L'Affichage ou Géovisualisation	28
III.5.5. Archivage.....	28
III.6. Domaine d'application des (SIG).....	28
III.6.1. Agriculture	28
III.6.2. l'équipement et l'aménagement du territoire.....	28
III.6.3. Environnement.....	28
III.6.4. Autres domaines d'application.....	29
III.7. Avantages et contraintes du SIG	29
III.7.1. Avantages	29
III.7.2. Contraintes.....	29
Conclusion.....	29

Chapitre IV : Matériels et méthodes du travail

Introduction.....	30
IV.1. Matériels et logiciels du travail	30
IV.1.1. Matériels.....	30
IV.1.1.1. Matériels utilisées dans le bureau.....	30
IV.1.2. Les logiciels.....	31
IV.1.2.1. Arc Gis 10.2.2:.....	31
IV.1.2.2. Global Mapper 15.1	33
IV.1.2.3. L'intérêt des logiciels SIG.....	34
IV.2. Méthodologie.....	34
IV.4. Organigramme de démarches et procédures du travail	35
Conclusion.....	36

Chapitre V : Résultat et discussion

Introduction.....	37
V.1. Délimitation du bassin versant	37
V.2. Détermination des caractéristiques du bassin versant	37
V.2.1. Caractéristiques de forme.....	37
V.2.1.1. La surface du bassin versant	37

V.2.1.2.Le périmètre.....	37
V.2.1.3. La forme du bassin versant.....	38
V.2.2.longueur de thalweg principale	40
V.3.Hypsométrie et pente moyenne	41
V.3.1.La carte hypsométrie	41
V.3.2.Courbe hypsométrie	41
V.3.4.Les altitudes caractéristiques	43
V.3.4.1.Les altitudes maximales et minimales	43
V.3.4.2.L'altitude moyenne	43
V.3.4.3.L'altitude médiane.....	45
V.3.4.4.Temps de concentration	45
V.4.4.5. Le rectangle équivalent	46
V.4.4.6. la pente	47
V.5. Le réseau hydrographique	49
V.5.1. La densité de drainage	51
V.5.2.La densité hydrographique	51
V.5.3.La fréquence des cours d'eau	52
V.5.4.Le coefficient de torrentialité C_t	52
Conclusion.....	52

Chapitre VI: Apport du SIG à la cartographie des zones à risque d'érosion

Introduction	53
VI.1.l'équation universelle de perte en terre	53
VI.2. Données utilisées et méthodologie appliquée.....	54
VI.2.1 Données utilisées	54
VI.2.2. La méthodologie.....	54
VI.2.2.1.L'érosivité des pluies « R »	54
VI.2.2.2. L'image SRTM et le facteur « LS »	55
VI.2.2.3.Erodibilité des sols « k »	57
VI.2.2.4. Le facteur occupation du sol « C »	59
VI.2.2.5.Le facteur pratiques antiérosives « P » ou de conservation	60
VI.3.Application du modèle de RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) sous le logiciel ArcGis 10.2.2	61
VI.4.Discussion de la carte d'érosion.....	65
Conclusion.....	65



Résumé

Résumé:

Dans ces dernières années Les systèmes d'information géographique (SIG) ont connus une expansion rapide, et couvrent de nombreux domaines incluant celui de la modélisation hydrologique des bassins versants et la cartographie de la qualité des ressources en eaux.

Dans ce sens, nous avons utilisé l'environnement des deux logiciels Arcgis et Global mapper ainsi un modèle numérique d'élévation du terrain (DEM) du secteur de Mila pour l'élaboration d'un certain nombre de cartes thématiques (pente, topographique, modèle numérique du terrain, carte du réseau hydrographique).

Le but de notre travail est de présenter un outil de prise de décision qui peut permettre d'établir des cartes numérisées utiles pour comprendre le comportement hydrologiques des bassins versants, cela économise du temps de travail par rapport aux méthodes qui utilisent également des cartes topographiques.

Mots clés: Bassin versant de Beni Haroun Mila. SIG, Arcgis, DEM, érosion

ملخص

عرف نظم المعلومات الجغرافية تطورا كبيرا وامتد استعماله إلى مجالات عدة وخاصة دراسة الأحواض الساكبة ودراسة توزيع نوعية المياه على طول مساحة هذه الأحواض.

في موضوعنا هذا و لدراسة الحوض الساكب لبني هارون الذي يتموقع على مستوى ولاية ميله اعتمدنا على برنامج ارك جي اس النسخة 10.2.2

وجلوبال مابنر النسخة 15 مع نموذج رقمي يغطي منطقة المشروع لإنشاء خرائط وصفية للحوض من ميل و طبوغرافيا و شبكة هيدروغرافية... الخ.

الهدف من هذه الدراسة هو إظهار سرعة ودقة نظم المعلومات الجغرافية و الوقت اللازم في الدراسة مقارنة بالطرق القديمة التي تعتمد على الخرائط فقط و الحسابات اليدوية

الكلمات المفتاحية : الحوض الساكب لبني هارون ولاية ميله , ارك جي اس , نظم المعلومات الجغرافية , نموذج التضرس الرقمي , ظاهرة الحت.

Abstract:

In recent years, Geographic Information Systems (GIS) have experienced a rapid expansion, and cover many areas including that of the hydrologic watershed modeling and mapping of the quality of water resources.

In this sense, we used the environment two Arcgis software and Global map and a digital elevation model (DEM) of Mila sector for the development of a number of thematic maps (slope, topographic, digital terrain model of river network card).

The aim of our work is to present a tool for decision making that can establish useful digital maps for understanding the hydrological behavior of watersheds, saving work time compared to methods that also use topographic maps.

Key words: Watershed Beni haroun Mila. GIS Arcgis, DEM, erosion



Introduction générale

Introduction générale :

Les systèmes d'information géographique (SIG) ont connus une expansion rapide, et couvrent de nombreux domaines incluant celui de la modélisation hydrologique des bassins versants et la cartographie de la qualité des ressources en eaux.

Les délimitations manuelles des bassins versants sur les cartes topographiques et les analyses morphométriques classiques ont été les toutes premières mesures quantitatives utilisées pour cerner la géomorphologie des bassins versants. Ces analyses sont le préambule à de nombreuses études hydrologiques.

Aujourd'hui l'outil informatique permet d'entreprendre aisément ces différentes manipulations permettant la délimitation des bassins versants, la mesure de la géométrie, de l'hypsométrie, des pentes ou de l'organisation du réseau hydrographique.

A cet effet, des logiciels des Systèmes d'Information Géographique, notamment ArcGis, fournissent des outils intéressants de calculs et de mesures hydromorphologiques à partir des cartes MNT ou (DEM).

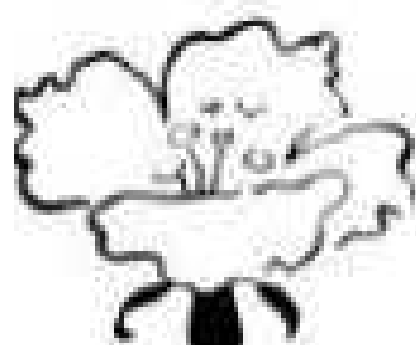
Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation en trois dimensions de la surface de la terre, créée à partir des données d'altitudes du terrain.

En 2009, un MNT a été mis gratuitement à disposition des internautes, offrant une résolution de 30 mètres, et couvrant 99 % de la surface du globe.

Dans ce contexte, nous présentons ce travail qui consiste à utiliser le système d'information géographique comme outil pour élaborer les différentes cartes caractéristiques du bassin versant du barrage Beni Haroun de Mila.

Ce mémoire intitulé « caractéristiques morphométrique des bassins versants par les systèmes d'information géographique SIG :cas bassin versant de Mila .Est de l'Algerie », comporte 6 chapitres détaillés comme suit :

- Le premier chapitre rapporte la présentation générale de la zone d'étude le deuxième présente la région dans le cadre climatique.
- Le troisième et le quatrième chapitre est un aperçu général sur le système d'information géographique, et la méthodologie du travail
- Le cinquième et le sixième chapitre montrent les résultats obtenus, les interprétations et discussions.



Chapitre I
Presentation de la
region d'étude

Introduction :

Nous avons choisi comme zone d'étude la wilaya de Mila, elle est représentant une partie du Nord-Est algérien qui renferme une richesse et une biodiversité exceptionnelle.

Prenant une grande partie du bassin versant, la région se caractérise par un espace géographique très diversifié avec un relief complexe et irrégulier et profondément disséqué par un réseau hydrographique dense.

I. Présentation de la région d'étude:**I.1. Cadre géographique****I.1.1. Situation géographique régionale**

La wilaya de Mila se situe au Nord-est de l'Algérie à 464 m d'altitude, et à 33 km de la mer Méditerranée. Elle fait partie de l'Est de l'Atlas tellien, par une chaîne de montagnes qui s'étend d'ouest en est sur l'ensemble du territoire nord du pays[1].

Elle occupe une superficie de 0,14% de la superficie totale du pays .

Une wilaya de 3481 km² où vivent aujourd'hui 775 300 habitants [2], c'est en découpage administratif de 1984, que Mila a été décomposé en 32 communes [3].

I.1.2. Limites et contextes géographiques :

La Wilaya de Mila est limitée par 6 wilayas :

- Au nord-ouest par la wilaya de Jijel.
- Au nord-est par la wilaya de Constantine et Skikda.
- Au sud-ouest par la wilaya de Sétif.
- Au sud-est par la wilaya D'Oum-El Bouaghi et Batna.

La wilaya de Mila est située entre deux grands pôles économiques, Constantine et Sétif, elle est traversée par une liaison routière d'importance nationale. Et elle fait partie des Bassins versants de l'Oued El Kébir et Oued Endja[4].

Ces derniers se localisent dans la chaîne Tellienne orientale, couvrent une superficie de 216.000 hectares et représentent alors une région intermédiaire entre le domaine Tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord et un domaine à très forte influence continentale au Sud[5].

La superficie agricole de cette wilaya utilisable est importante, elle a certes peu évolué au cours des dix dernières années, mais elle est restée assez appréciable, de l'ordre de 2370557ha.

Ce qui montre qu'on est dans une région essentiellement agricole [6].

1.1.3. Situation géographique du secteur d'étude :

Le bassin versant se définit plus précisément comme la totalité de la surface topographique drainée par un réseau hydrographique[8] dans laquelle se produisent des entrées d'eaux (sous forme de précipitation essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système des pentes et des drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur[9]. Cette unité hydrographique cohérente permet d'organiser la gestion ou la restauration de la qualité de l'eau de façon globale[8]

Le bassin de Beni Haroun est l'un des plus grands bassins hydrographiques importants en Algérie[10]. Il couvre une superficie de 6595 km² [11], Il est centré 36° de latitude Nord, de 7° de longitude Est[10] (figure 1).



Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude[7]

Il est subdivisé en 7 sous bassins[12], il est limité naturellement par :

- ✓ Au Nord Ouest et Est le bassin des côtiers Constantinois Est et Centre.
- ✓ Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois.
- ✓ A l'Ouest les bassins de l'Algérois- Hodna- Soummam.
- ✓ A l'Est le bassin de la Seybouse[10].

Administrativement, le bassin couvre quatre (04) wilayas : Constantine en sa quasi-totalité Mila, Sétif et Oum El Bouaghi partiellement.

Ces quatre wilayas constituant le bassin, contiennent quarante-trois(43) communes[11].

Dans ce bassin, la végétation est influencée par de nombreux facteurs tels que le climat, le Relief, la lithologie et l'activité humaine. Ces facteurs permettent en permanence un couvert Forestier plus ou moins dense. Le climat varie légèrement du Nord au Sud, passant d'un domaine sub-humide à un domaine semi-aride, mais d'une manière générale c'est le climat Méditerranéen qui y règne : humide et tempéré, caractérise par un hiver doux et un été chaud, Avec d'assez riches ressources hydriques d'origine différentes (pluie, grêle ,neige). Généralement la neige fait son apparition sur les massifs des hautes altitudes.

Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit. La précipitation moyenne interannuelle sur le bassin est estimée entre 500 à 630 mm[13].

I.1.3.1. Réseaux hydrographique :

En géographie physique, un réseau hydrographique est un organisme qui assure le drainage d'une aire délimitée par une ligne de partage des eaux. Il est composé de l'ensemble des cours d'eau et points d'eau irriguant un territoire. On lui associe généralement les cours d'eau artificiels que sont les canaux et autres rigoles qui viennent en superposition de la trame viaire. La densité et les plans des réseaux varient selon la quantité et la régularité des précipitations et selon les données de la structure géologique[14].

Le bassin versant de Beni Haroun est drainé par deux cours d'eau très importants : L'Oued Rhumel et l'Oued Endja. La confluence des deux Oueds à l'aval est l'Oued El Kébir. Figure 2

➤ Oued Rhumel

Est caractérisé par un réseau hydrographique très dense vu l'importante superficie qu'il draine d'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important[15]. Il prend naissance dans les hautes plaines Sétifiennes, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja autour de Sidi Merouane dans la ville de Mila. Le principal affluent de la rivière est Oued Boumerzoug qui draine les zones industrielles et urbaines.

➤ Oued Enndja

D'un linéaire de 15 Km, il naît à la confluence de l'Oued El Kébir et de L'Oued Redjas,[12] à l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction Sud-Ouest-Nord Est, mais cette fois à travers les reliefs montagneux du Tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord. il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah[16]. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage de Beni Haroun[12].

➤ Oued El Kébir

L'oued Kébir résultant de la jonction des deux grands cours d'eau précédents (Rhumel et Endja) [9], prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit vigoureusement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux en provenance de la Méditerranée. Puis en prenant une orientation Sud-Est-Nord-Ouest, il traverse les massifs très arrosés de la petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer [16].

Le bassin Beni Haroun présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. Quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km.

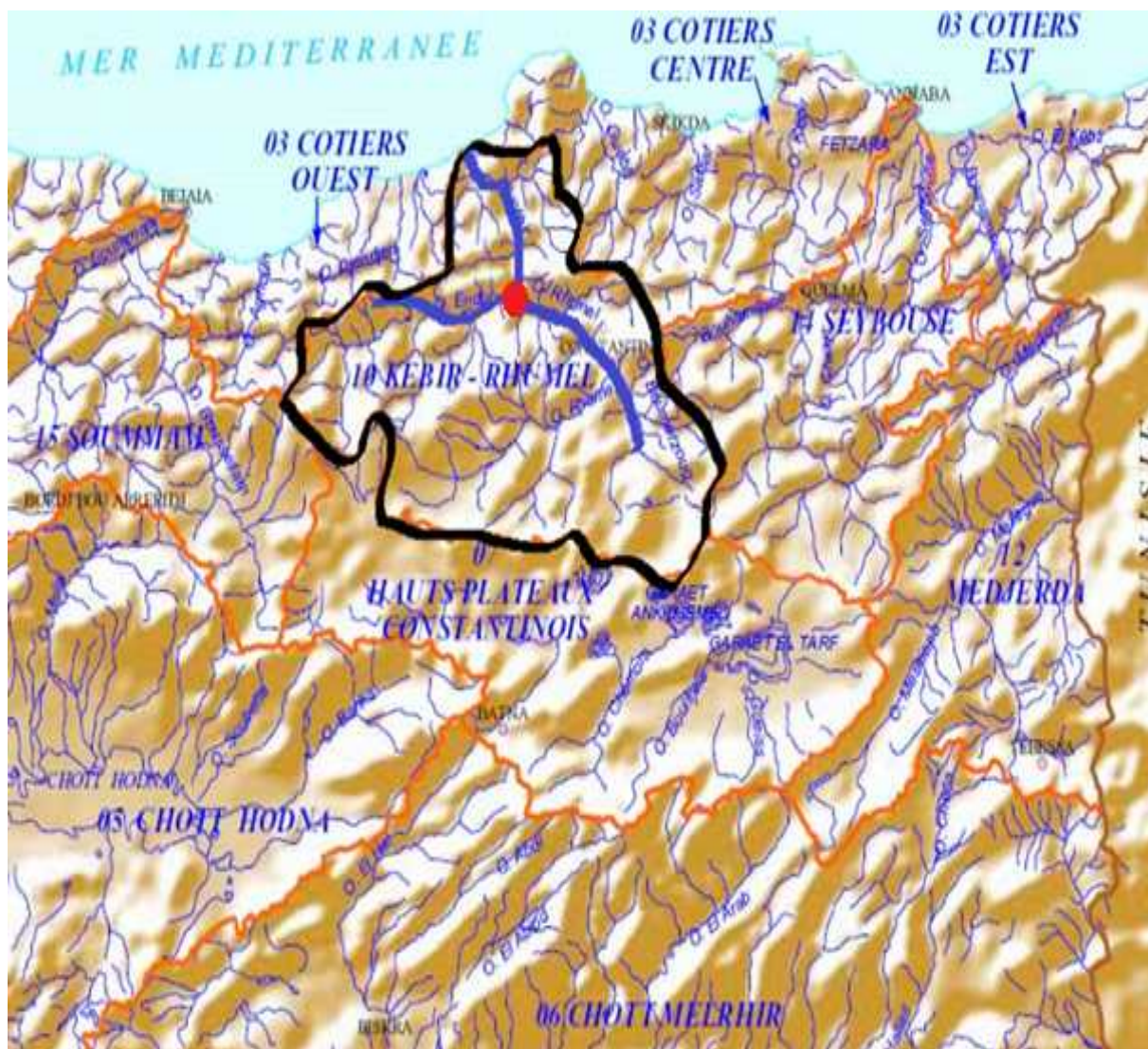


Figure 02: Localisation géographique du barrage de Beni Haroun [9].

I.2. Le contexte géologique :

L'origine de la diversité des milieux topographiques se trouve dans la constitution géologique et structurale. Le soulèvement des reliefs et l'affaissement des dépressions sont engendrés par les différents mouvements tectoniques, ce qui indique un changement dans la dynamique de l'écoulement.

La lithologie joue aussi un rôle très important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire. C'est pour cela, que nous allons présenter brièvement quelques caractéristiques de la géologie de la région d'étude.

L'Est algérien présente les faciès et les structures géologiques. Elle part du massif ancien de Collo aux formations marneuses oligocènes du Bas-Sahara Ceci en passant par la chaîne calcaire de Sidi Dris, le bassin d'argiles miocènes de Constantine-Mila, le djebel calcaire du Crétacé inférieur de Nif en Nser et la sebkha Djendli dans les Hautes Plaines sud-constantinoises, enfin l'alternance des massifs plissés (Djebel Mahmel, Dj. Zellatou, Dj. Ahmar Khaddou) et des vallées encaissées (Oued Abdi, Oued El Abiod) de l'Aurès.

Notre région d'étude est caractérisée par la présence de nappes de charriage. Ces nappes constituent de vastes ensembles de terrains d'âge Antécambrien à Miocène inférieur qui se sont déplacés (sous formes d'écaillés épaisses) à l'horizontale sur des distances de plusieurs kilomètres et déposées suivant des modalités variées et complexes[9]. Figure 3

Les formations post nappes qui n'ont pas subi de déplacements sont cependant déformées.

Les principaux traits structuraux et morpho-structuraux de la région résultent de mouvements polyphasés dans lesquels les jeux du socle (substratum) sous-jacent jouent un rôle Important et se traduisant par des plissements et des accidents.

Des variations importantes de direction et de pendage s'observent par endroits aux voisinages des accidents.

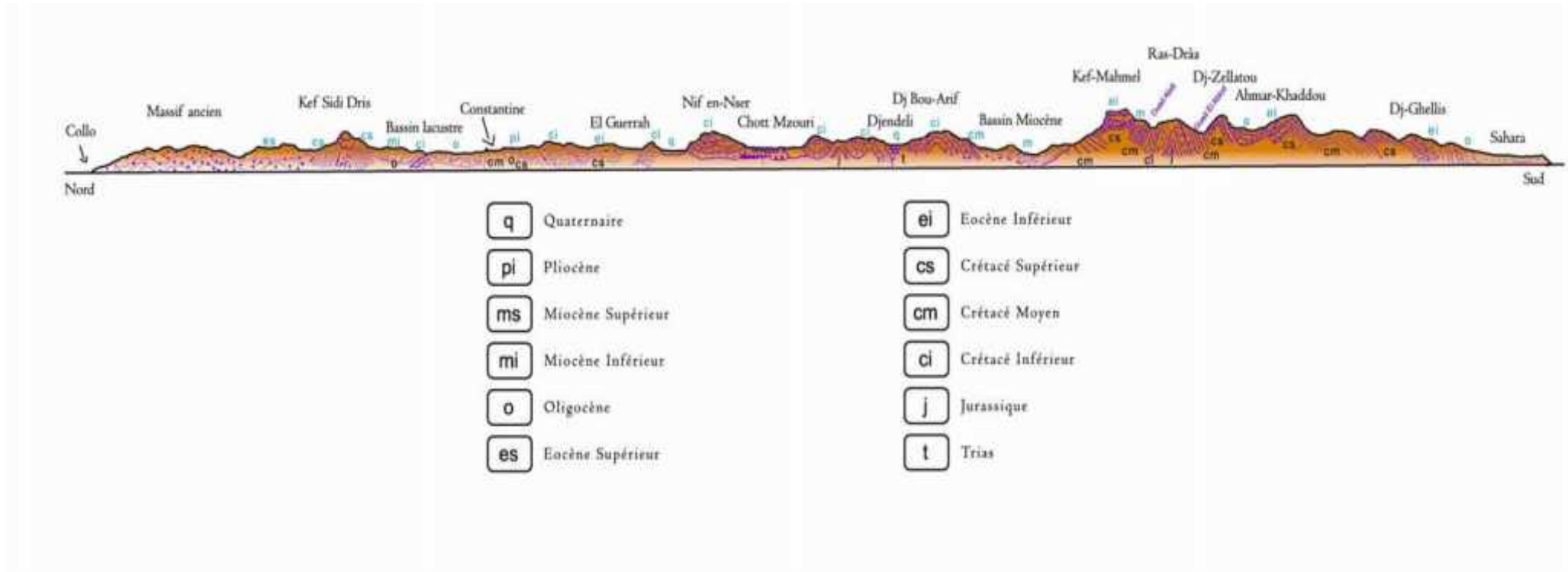


Figure 03 : Profil géologique Nord-Sud de l'Est algérien (d'après Atlas d'Algérie et de Tunisie, fasc. I, Carte géologique, 1925)[9]

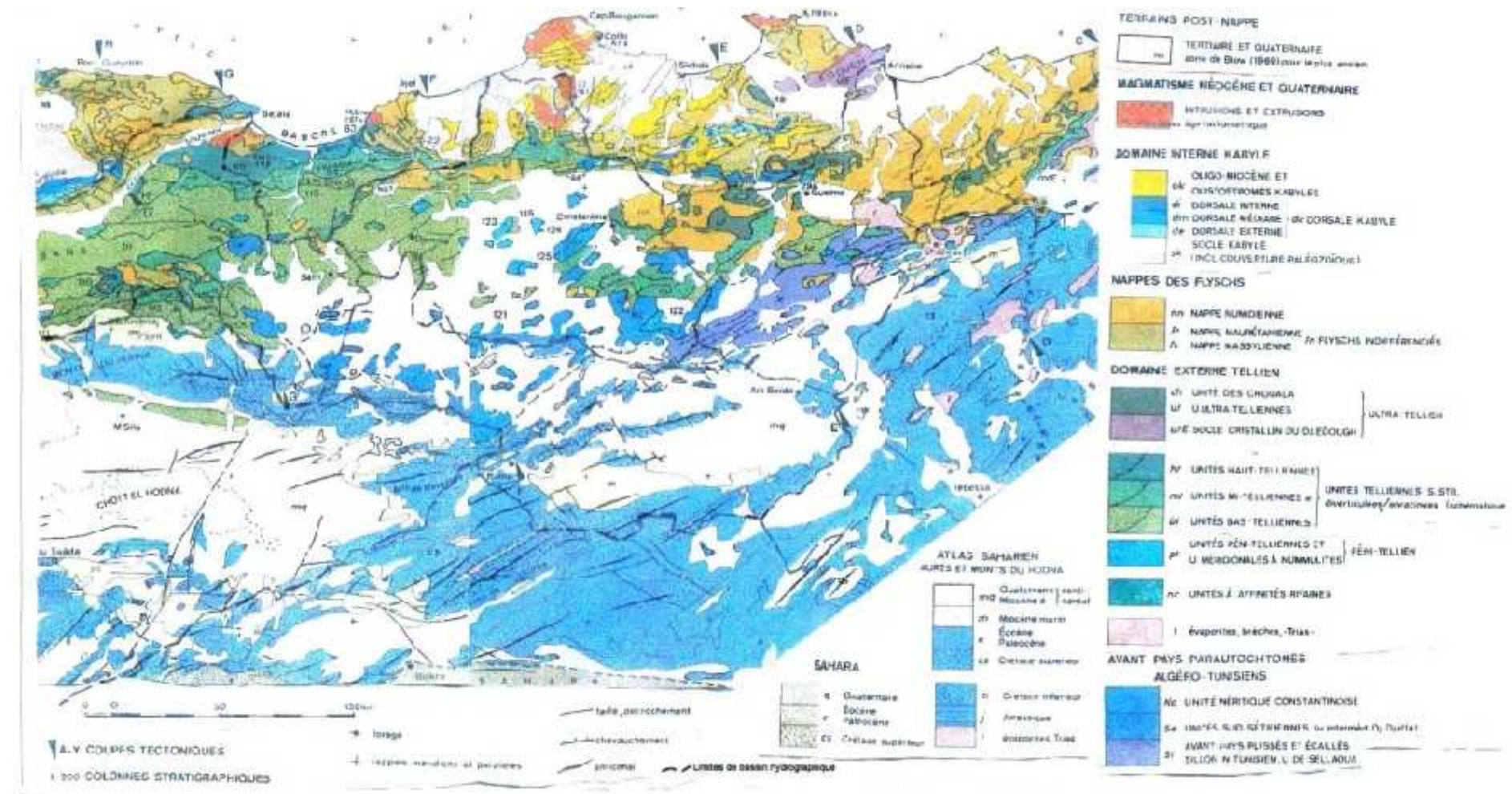


Figure 04 : Les unités géologiques de l'Est algérien (d'après Wildi W., 1983 et carte géologique de l'Algérie au 1/500 000)

I.3. Végétations

D'après les collectes des données par la direction des forêts de Wilaya de Mila (2014), Les groupements de végétation de barrage Beni Haroun sont caractérisés par des groupements de ripisylve, constitués d'un cortège forestier aux nord-ouest qui est dominée principalement par l'Oleaeuropaeasubsp, le Pinushalepensis, l'Oleaeuropaea et le Cupressus sp et à nord-est du barrage qui composée principalement par Capparis sp comme arbrisseau et le Cupressus sp comme arbre forestier. Alors au sud du barrage, le Pin d'Alep représente l'essence dominante de la forêt de madiou avec la présence du Calycotome Spinosa, Acacia Horrida, Fraxinus excelsior et l'Eucalyptus sp.

Autre essences forestières dans le barrage comme Pistachier, Opuntia et Roseau occupent des petites superficies[17].

I.4. Agriculture :

Le bassin du Beni Haroun se caractérise par une agriculture mixte, traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture. La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2 679 ha consommant un volume annuel de 27,65 hm³ d'eau. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraîchères et l'arboriculture. Les engrais les plus utilisés en agriculture sont les ammo-nitrates (NH₄-NO₃ 33%) et les superphosphates (45%)[13].

Les nouveaux périmètres agricoles à équiper dans les régions de Télaghema (8 000 ha), Chemord (15 000 ha) et Touffana (11 000 ha) [18].

Afin d'atteindre la production nécessaire, il était important de développer des techniques et des stratégies de culture et d'autoriser l'usage de certains produits chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides pour améliorer les rendements et lutter contre les parasites et les maladies[12].



Chapitre II

Cadre climatique

Introduction

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre.

Aussi, la bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, et de ses caractéristiques est importante pour la compréhension de l'évolution des éléments climatiques et du comportement hydrologique des cours d'eau.

La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes. Notre zone d'étude est soumise à des influences méditerranéennes [19].

Les caractéristiques les plus originales de toute la région sont réunies dans le bassin de Beni Haroun. Le nord s'avère être une zone humide et pluvieuse et le sud avec un climat semi-aride à aride [10].

Dans ce chapitre nous allons déterminer la caractéristique climatique à savoir :

1. **Etude de la précipitation :**

- La précipitation moyenne annuelle
- La précipitation moyenne mensuelle
- La précipitation saisonnière

2. **Etude de la température :**

- La température moyenne mensuelle

II.1. Les précipitations :

Toutes les précipitations se forment à partir du refroidissement de la vapeur d'eau et de sa condensation. Leur état, solide ou liquide, à leur contact avec le sol, dépend de la température intérieure et extérieure des nuages, de leur teneur en eau ainsi qu'à la vitesse des courants ascendants qui y règnent [20]. Les précipitations sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux, les Jours, les mois et aussi les années. Les précipitations s'évaluent en hauteur d'eau équivalente (mm) sur une période donnée (ex : mm par an, par mois).

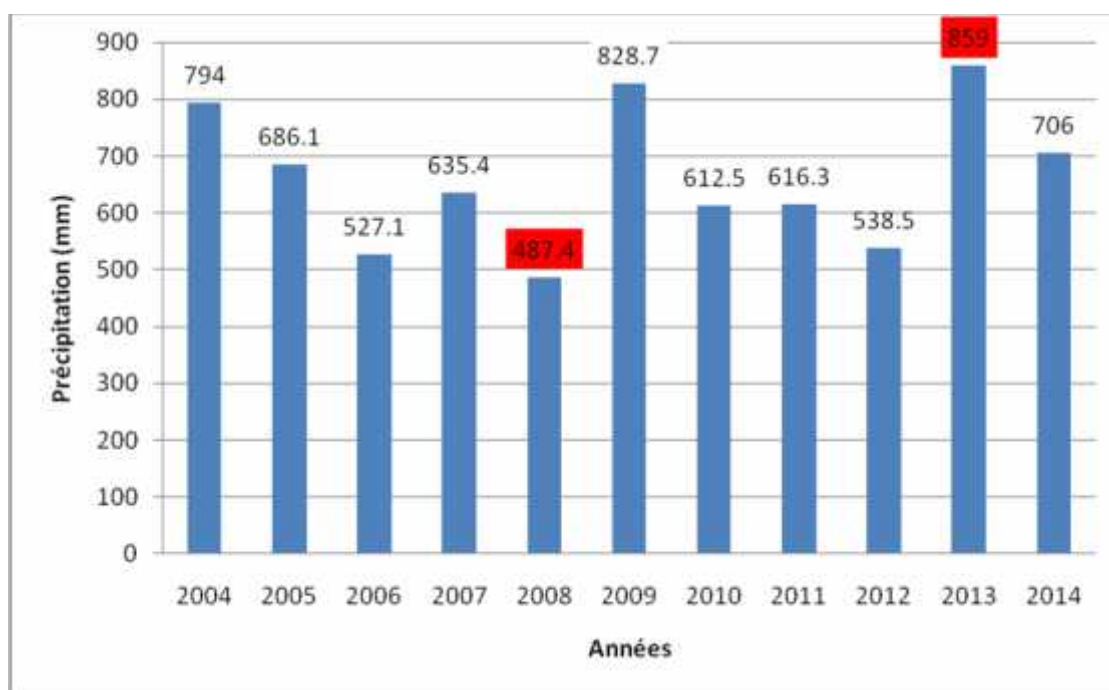
II.1.1 la précipitation annuelle :

Le tableau (1) représente la série pluviométrique durant 10 ans de (2004 à 2014). Station de Beni Haroun

Tableau 01: La série pluviométrique annuelle (2004 à 2014) Station de Beni Haroun

Année	Total (mm)
2004	794
2005	686.1
2006	527.1
2007	635.4
2008	487.4
2009	828.7
2010	612.5
2011	616.3
2012	538.5
2013	859
2014	706

Nous traduisons le tableau (1) dans un graphique, Figure 5

**Figure05 :** Histogramme de variation de précipitation annuelle (2004-2014) Station de Beni Haroun

L'historgramme de la variation de la précipitation (Figure 5) montre que la lame d'eau tombée varie entre 487.4 mm (2008) et 859 mm (2013). La valeur moyenne annuelle est 662.8mm.

II.1.2. Précipitations moyennes mensuelles :

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la période 2004-2014 (tableau 2) montrent que :

- Le mois le plus pluvieux est celui du mois de Décembre avec une valeur de **110.26 mm**.
- Le mois le plus sec est celui du mois de juillet, avec une valeur de **1.69 mm**.

Tableau02 : précipitations moyennes mensuelles. Station de Beni Haroun

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aout
$P_{moy}(mm)$	39.39	42.67	92.36	110.26	79.86	96.19	88.7	55.62	36.16	14.36	1.69	5.53

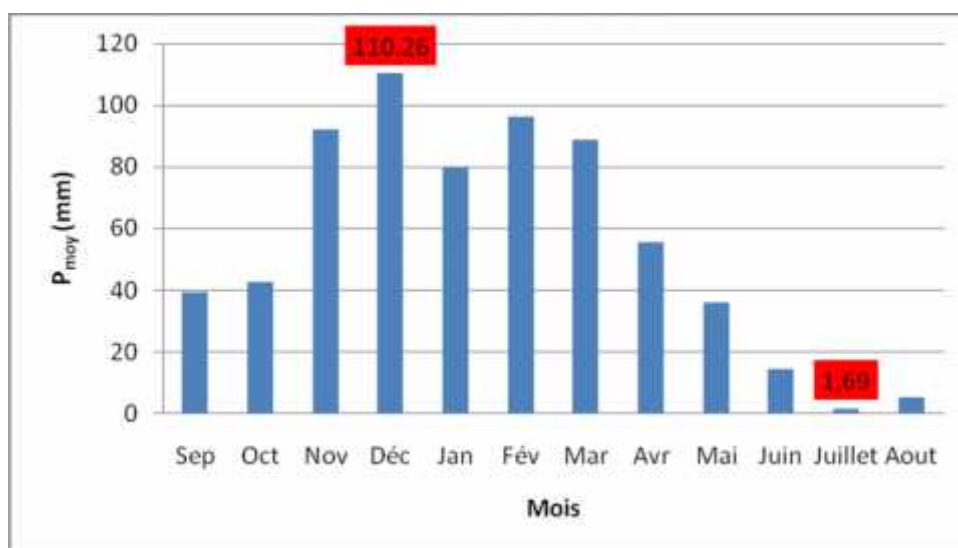


Figure06: Histogramme de Variation de précipitations mensuelles (2004-2014) station de Beni Haroun

II.1.3. Précipitation saisonnières :

Le traitement de précipitations saisonnières moyennes de notre région d'étude (tableau 3) montrent que il y a quatre saisons distinctes : Hiver avec une moyenne de 286.31 mm, Printemps 180.48 mm, Été 21.58 mm et automne 174.42 mm.

Tableau03 : Les précipitations saisonnières (2004-2014) Station de Beni Haroun

mois	Automne	Hiver	Printemps	Été	Total
Moyenne saisonnière	174.42	286.31	180.48	21.58	662.80
%	26.32	43.20	27.23	3.25	100

Nous traduisons le tableau (3) dans un graphique (Figure 7). Où on retrouve en abscisse les saisons et en ordonnée les moyennes saisonnières.

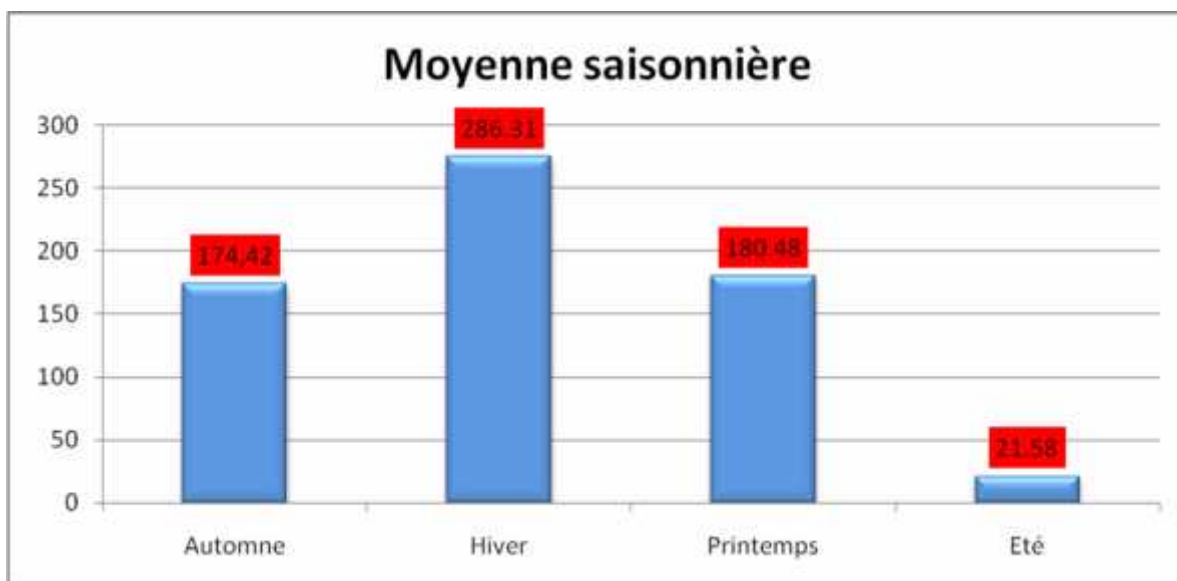


Figure07 : Histogramme de précipitation saisonnière station de Beni Haroun

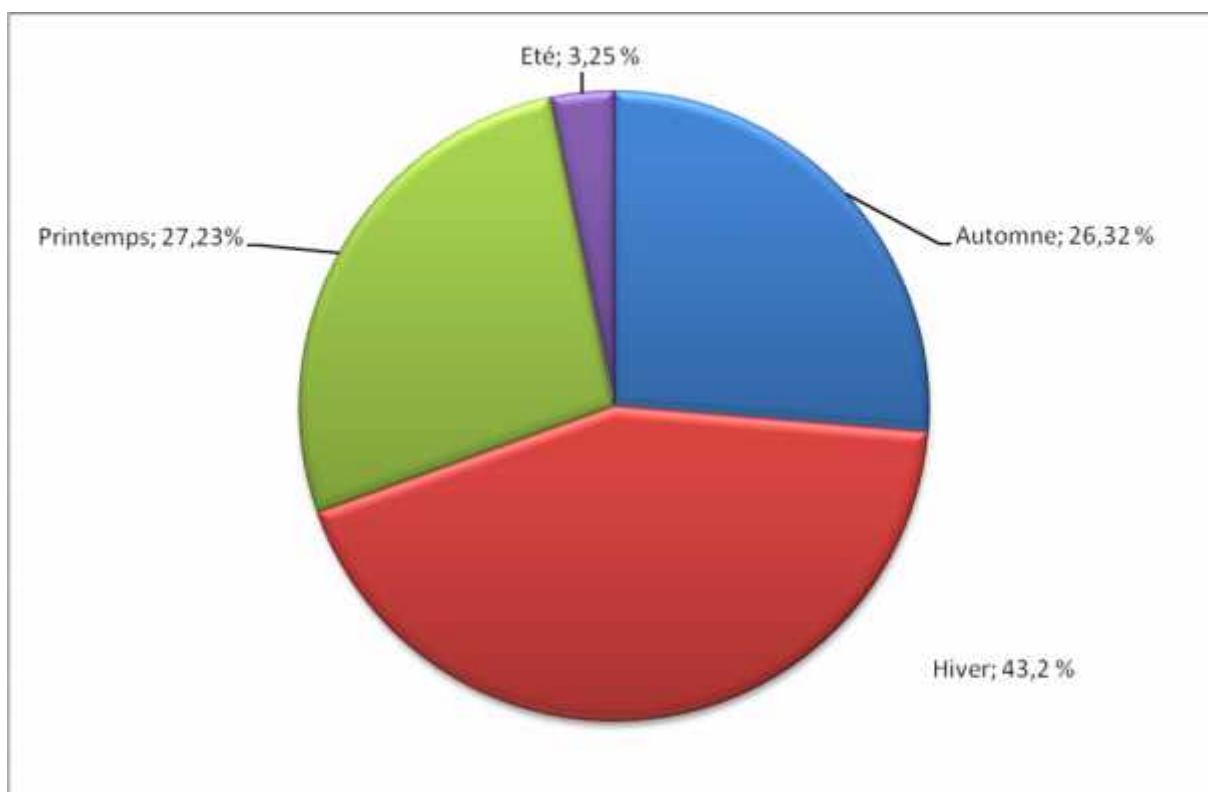


Figure 08 : Pourcentage de précipitation saisonnières. Station de Beni Haroun

II.2. La température :

La température de l'air est un facteur climatique très important qui contrôle le climat de la région. La variation spatiale et temporelle de la température dépend de l'altitude, le relief, la densité de la couverture végétale, la proximité de la mer, les masses d'air dominantes et le degré d'urbanisation et de pollution.

La température constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. La mesure de la température est très facile par des instruments comme le thermomètre (les plus courants sont les thermomètres à mercure, à alcool et à toluène).

La température de l'air suit un cycle quotidien appelé variation (ou cycle diurne) avec un minimum et maximum observable à la cour d'une journée ou année ou mois [21].

II.2.1. Température moyenne mensuelle :

Les températures moyennes mensuelles sont calculées par différentes méthodes.

Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode de la sommation des extrêmes et le calcul de leur moyenne arithmétique « $M+m/2$ » [22] .

Le tableau (4) représente les températures moyennes maximales et minimales ainsi que les températures moyennes mensuelles.

Tableau04: Température moyenne mensuelle en °C à la station de Beni-Haroun (2004-2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	moy
$T_{\min}(^{\circ}\text{C})$	23,7	21	15,9	11,8	9,8	8,9	11,2	13,7	16,7	19,6	22	23,8	16.51
$T_{\max}(^{\circ}\text{C})$	28,3	26	19,1	14,7	13,6	14,8	18	19,5	23,4	26,8	29,8	31,8	22.15
$T_{\text{moy}}(^{\circ}\text{C})$	26	23,5	17,5	13,3	11,7	11,9	14,6	16,6	20,1	23,2	25,9	27,8	19.33

Station Beni Haroun

T_m : Moyenne mensuelle des températures minimales.

T_M : Moyenne mensuelle des températures maximales.

T : Température moyenne mensuelle. $T = (T_m + T_M) / 2$

Le tableau (4), montre que les températures mensuelles de notre zone d'étude atteignent leur minima au mois de février, avec une valeur de 8.9°C. Les maxima sont observés au mois Aout, avec une valeur de 31.8°C. La moyenne des minima est de 16.51°C et celle des maxima est de 22,15°C. Pour la moyenne arithmétique « $M+m / 2$ » est de 19.33°C.

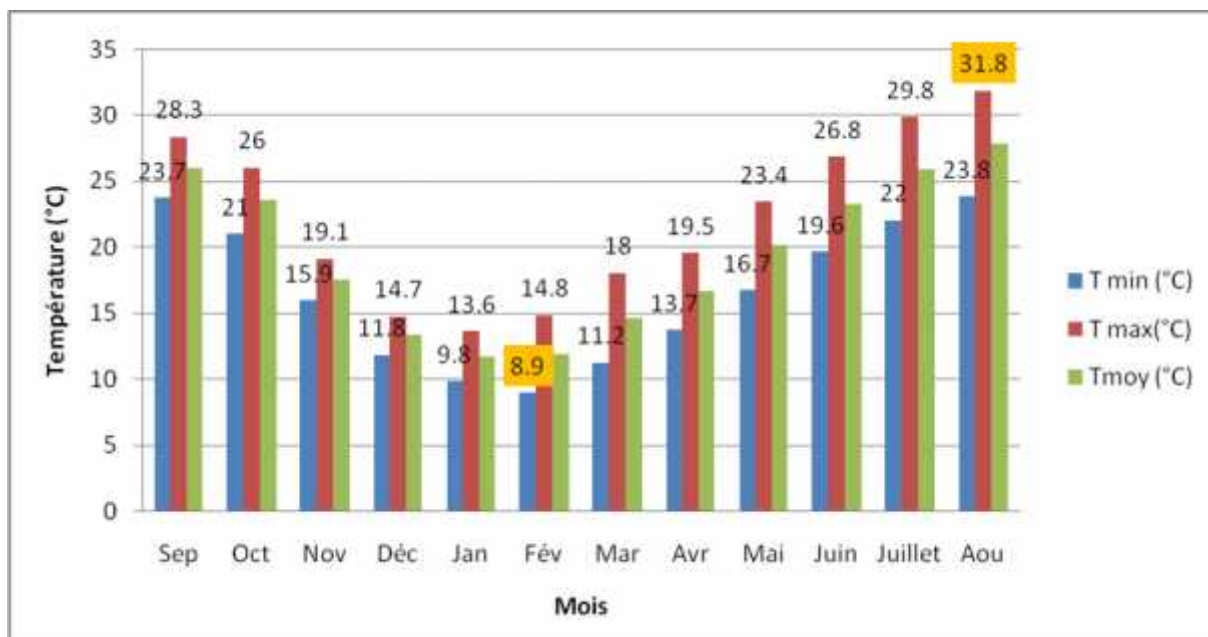


Figure 09: Histogramme de variation des températures moyennes mensuelles station Beni Haroun

II.3. Relation entre précipitation et température :

La combinaison des températures et des précipitations, est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs qui correspondent selon la définition basée sur le comportement de la végétation.

Selon GAUSSEN et BAGNOULS, un mois est dit sec si le total moyen des précipitations est inférieur ou égale au double de la température moyenne ($P \leq 2T$).

Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviométriques sur les quels la température est portée sur une double échelle de celle des précipitations.

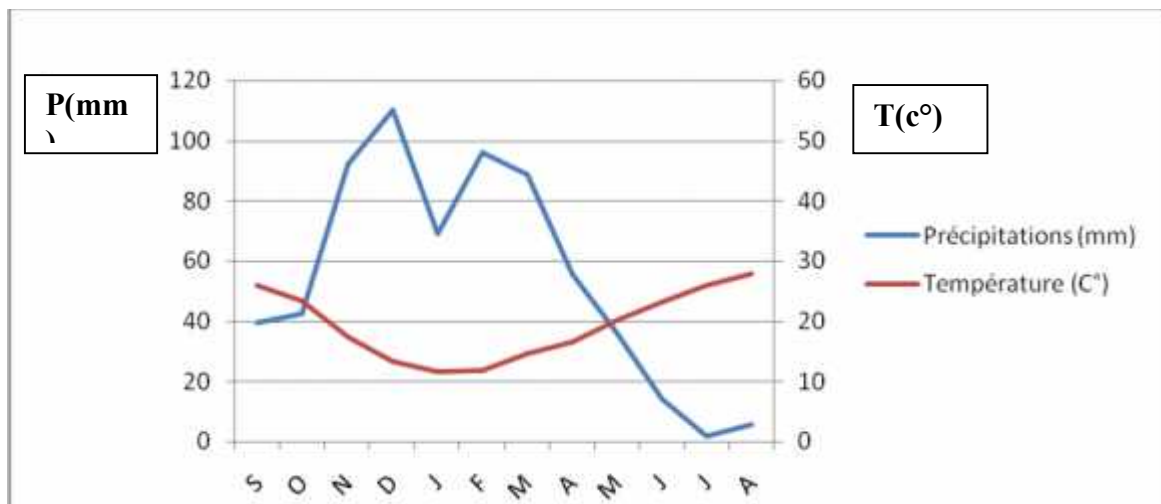
- Si la courbe des températures passe au dessus de la courbe des précipitations nous avons un mois sec.
- Si la courbe des températures passe au dessous de la courbe des Précipitations nous avons un mois humide.

Le tableau (5) et la figure (10) représentent les températures et précipitations moyennes mensuelles.

Tableau 05 : Températures et précipitations moyennes mensuelles (2004-2014) station de Beni Haroun.

Mois	Précipitations (mm)	Température (C°)
Sep	39.39	26
Oct	42.67	23,5
Nov	92.36	17,5
Dec	110.26	13,3
Jan	69	11,7
Fev	96.19	11,9
Mar	88.7	14,6
Avr	55.62	16,6
Mai	36.16	20,1
Jun	14.36	23,2
Jui	1.69	25,9
Aou	5.53	27,8

Le diagramme ombrothermique est représenté dans la figure suivante :

**Figure 10:**Diagramme ombrothermique pour la période 2004-2014 .Station de Beni haroun

On considèrera qu'un mois est sec si la courbe des températures est supérieure à l'histogramme des précipitations (et inversement).

Dans notre cas, les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril, sont les mois les plus humides.

II.4. Les indices climatiques :

II.4.1. Indice de Martonne ou d'aridité :

Pour avoir une idée sur le climat dominant la zone d'étude, quelques indices et diagramme ont été introduits.

En 1923, un indice d'aridité noté « I » a été défini par la géographe De Martonne, en se basant sur les données pluviométriques et celles des températures durant la même période :

$$I = \frac{P}{T+10} \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

I : Coefficient d'aridité

P : La précipitation moyenne annuelle en **mm**.

T : La température moyenne annuelle en **°C**.

Pour :

- $20 < I < 30$: Climat tempéré
- $10 < I < 20$: Climat semi-aride
- $7.5 < I < 10$: Climat steppique
- $5 < I < 7.5$: Climat désertique
- $I < 5$: Climat hyperaride

Pour le barrage de Beni Haroun:

$P = 662.8 \text{ mm}$, $T = 19.56^\circ \text{C}$

D'après la formule N°(1) ;

$$I = 22.4$$

L'indice d'aridité est entre **20** et **30** d'où cette intervalle est déterminé le climat des zones tempérées.

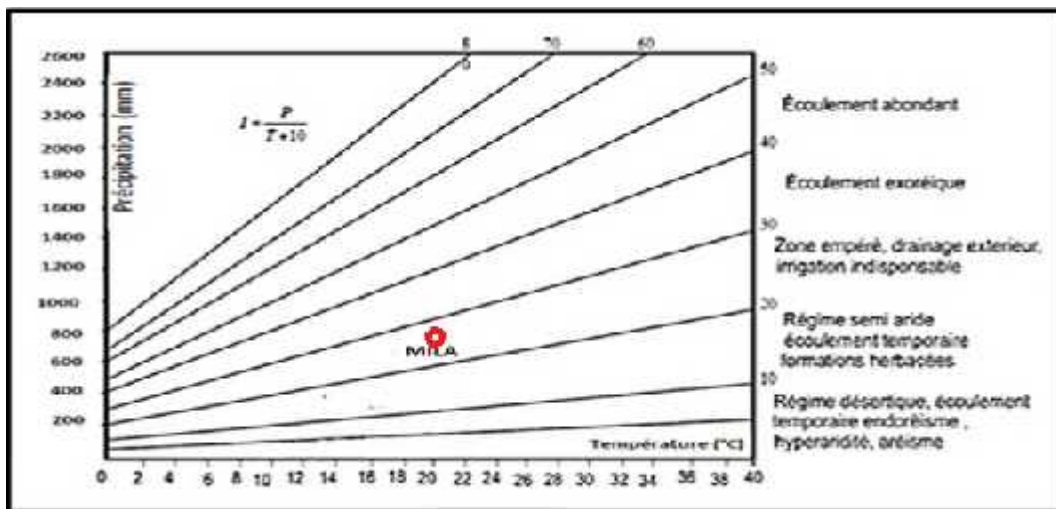


Figure 11 : Abaque de Martonne

II.4.2. Indice d'EMBERGER :

La classification la plus souvent utilisée a été élaborée par L. EMBERGER (1955) en utilisant un diagramme bidimensionnel dans lequel la valeur d'un « quotient pluviométrique » d'une localité déterminée est en ordonnée et la moyenne du mois le plus froid de l'année en abscisse. Q_2 est calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2} \dots \dots \dots (2)$$

D'où :

Q₂ : Le quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : La précipitation moyenne annuelle en **mm**.

M : La moyenne des maximales du mois le plus chaud en degré Kelvin (**K°**)

m : La moyenne des minimales du mois le plus froid en degré Kelvin (**K°**).

On a :

P = 662.8 mm

M = 31.8 + 273 = 304.80 K°.

m = 8.9 + 273 = 281.9 K°.

En Algérie DJEBAILI. S, (1984), a montré que la dernière formulation ou quotient Pluviométrique (Q₂) peut s'écrire :

$$Q_2 = 3,43 \times P / (M - m) \dots \dots \dots (3)$$

Le Q₂ de la zone d'étude est égal à **99.27** correspondant à l'étage sub-humide à variante thermique hiver chaud (Figure 12).

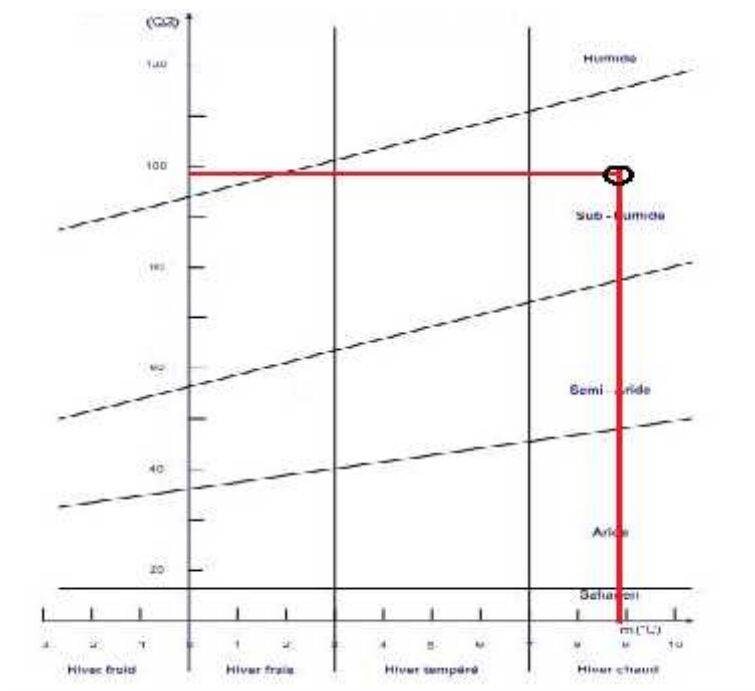


Figure 12: Climagramme d'EMBERGER (Station de Mila)

II.4.3. Indice de Paul Moral :

Les résultats précédents sont confirmés par l'indice pluviométrique de Moral (**I_M**) qui utilise aussi la hauteur annuelle des précipitations en (**mm**) et les températures moyennes annuelles en (**°C**). Cet indice permet de dire : Si **I_M** < 1 on a climat sec et si **I_M** > 1 on a climat humide.

$$I_M = \frac{P}{T^2 - 10 \times T + 200} \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

P = 662.8 mm

T = 19.56°C

Ce qui donne, On peut dire que le climat de Beni –Haroun est humide.

$I_M = 1.71 > 1$

Conclusion :

Les variations climatiques liées directement à la situation géographique de la zone, à partir l'analyse climatique de la région d'étude et sa position géographique on trouve

Le bassin versant de Beni -Haroun est caractérisée par :

- Des périodes humides occupent l'année complète d'après le diagramme de Paul Moral.
- Un climat sub-humide défini bien par l'indice de Martonne, ainsi que par le climagramme de L. EMBERGER.
- Des précipitations moyennes annuelles de 662.8 mm/an.
- Des températures moyennes annuelles de 19.56°C.



Chapitre III

Les Systèmes d'information géographique

Introduction

De nos jours, on assiste au développement de nombreux outils scientifiques et Technologiques permettant d'aborder et de comprendre notre globe terrestre dans sa Globalité. Parmi les technologies qui permettent de mieux étudier la terre et ses ressources Naturelles, telle que l'eau.

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) jouent un rôle prépondérant. En effet, des leur apparition au début des années 1970, les SIG sont devenus parmi les meilleurs outils utilisés pour l'inventaire, la planification et la gestion des ressources naturelles grâce à leurs capacités de cartographie numérique et de suivi des phénomènes naturels.

La combinaison et la superposition données climatiques, géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques sont devenues nécessaires pour faire le point de l'évolution des systèmes aquifères dans le temps et dans l'espace ainsi que l'analyse des répercussions de l'exploitation sur les ressources hydrogéologiques des nappes d'eau

III. Système d'information géographique (SIG) :**III.1. Définition :**

Tout comme le domaine de la géographie le terme SIG est difficile à définir, Il représente l'intégration de plusieurs domaines d'étude .On s'accorde souvent pour dire qu'il n'existe pas de définition qui fasse l'unanimité.

De nombreuses définitions ont été proposées par plusieurs auteurs, chacun selon son domaine d'activité.

Toutefois, l'idée générale est la même et un SIG peut être défini comme un système informatique de matériels, logicielles et procédures pour faciliter la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, la représentation et l'affichage de données spatialisées pour résoudre des problèmes complexes liées à la planification et la gestion des ressources [23].

En effet, les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) se présentent actuellement parmi les meilleures techniques d'aide à la décision par leurs grandes capacités cartographiques, d'analyse spatiale des phénomènes naturels et d'interprétation.

Le SIG est un terme général qui se réfère à un certain nombre de technologies, de processus et de méthodes. Celles-ci sont étroitement liées à l'aménagement du territoire, la gestion des infrastructures et réseaux, le transport et la logistique, l'assurance, les télécommunications,, la planification, l'éducation et la recherche, etc. C'est pour cette raison que les SIG sont à l'origine de nombreux services de géo localisation basés sur l'analyse des données et leur visualisation.

Un Système d'Informations Géographiques est :



Un ensemble de données numériques
Localisées géographiquement

Structurées à l'intérieur d'un système de
traitement informatique

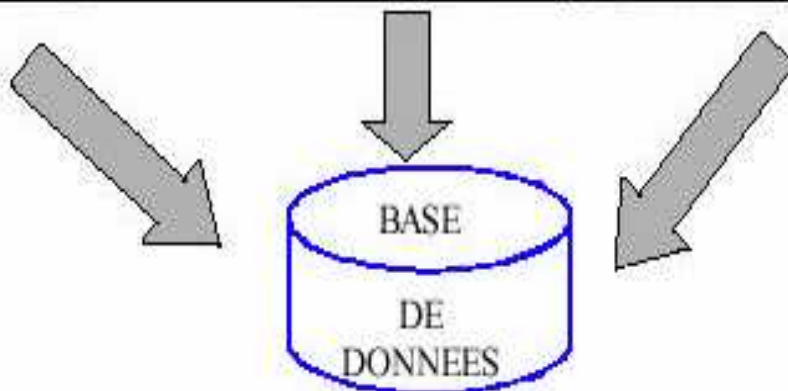
Comprenant des modules fonctionnels
Permettant de :



Créer et modifier

d'interroger

de représenter cartographiquement



Selon des critères
Sémantiques et
spatiaux



Figure 13: Définition d'un Système d'Information Géographique (SIG).[24]

III.2. Concepts d'un SIG :

La notion de SIG est apparue vers les années soixante. Elle résulte de l'extension du Système de bases de données à tous les types de données géographiques.

Au départ, il s'agissait d'un outil de stockage des données en vue de leur restitution cartographique. Ensuite, on a recherché à intégrer ces données dans le système général d'information. C'est cette dernière évolution qui est essentielle, et qui confère tout son intérêt au concept SIG. Il faut donc éviter une confusion courante : un logiciel SIG n'est pas un outil de cartographie assisté par ordinateur. C'est bien le plus, cela, c'est un ensemble d'outils intégrés qui permet de gérer des données qui peuvent être localisées.

Un SIG est un ensemble de matériels et de logiciels autorisant le recueil, la saisie, la codification, la correction, la manipulation et l'analyse, l'édition graphique des données géographiques spatiales : point, ligne, polygones, pixels de différentes valeurs. La gestion des données est l'un des aspects du système, qui prend toute son importance lorsque la base de données se doit impérativement être en phase avec l'actualité [25].

III.3. Composantes d'un SIG :

Les systèmes d'information géographique sont composés de cinq éléments :



Figure 14 : Composant de SIG [26]

III.3.1. Matériels :

Le matériel informatique nécessaire pour faire tourner un SIG inclue des unités communes à n'importe quel système de gestion automatisé de base de données, un ordinateur central, plusieurs unités de disques pour enregistrer des données et des programmes, un système de bandes magnétiques pour la sauvegarde de données, des unités de visualisation de graphique en couleur, et autres éléments périphériques communs aux ordinateurs.

Un SIG possède, en outre, plusieurs composantes spécifiques, incluant: un convertisseur analogique/numérique ou un scanner, qui est employé pour convertir l'information géographique des cartes sous forme numérique; un traceur, qui imprime les cartes et d'autres sorties graphiques du système, et pour finir, une table à digitaliser à option [27].

III.3.2. Les logiciels :

Les logiciels SIG représentent l'élément le plus important de l'outillage géomatique et il est important de choisir ces logiciels avec un grand soin. Les plus répandus de ces logiciels actuellement sont ceux fournis par la société ESRI tel que Arc GIS Desktop et ses modules (Arc View, Arc Edit et Arc Info). D'autres, plus modestes ou moins répandus, tels que IDRISI, Map Info, GRASS, CARIS, etc.

❖ L'environnement Arc-Gis :

ArcGIS Desktop est un outil de création et de gestion d'informations destiné aux professionnels SIG. Il comprend une suite d'applications intégrées : ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox et Model Builder [28]. En utilisant conjointement ces applications et ces interfaces, on peut effectuer les principales tâches SIG, de la plus simple à la plus complexe, y compris la cartographie, l'analyse géographique, la gestion des données, la visualisation et le géotraitement. ArcGIS peut se décomposer en trois modules à fonctionnalités croissantes : ArcView, ArcEditor et ArcInfo

▪ ArcView :

Offre des outils de cartographie, d'utilisation des données et d'analyse complète, accompagnés de fonctions de mise à jour et de géotraitement simples.

▪ ArcEditor :

Propose des fonctions de mise à jour avancée pour les fichiers de formes et les géodatabases, en plus de toutes les fonctions d'ArcView.

▪ ArcInfo :

C'est le fleuron d'ArcGIS Desktop qui regroupe l'ensemble des fonctions. Tout en reprenant les fonctionnalités d'ArcView et d'ArcEditor, il intègre le géotraitement avancé et reprend les anciennes applications d'ArcInfo Workstation.

III.3.3. Les données :

Les données sont peut-être la composante la plus importante d'un SIG. Un SIG peut intégrer stockées dans un SGBD. Intégration des données spatiales et des données attributaires est une fonctionnalité clé d'un SIG.

III.3.4. Les utilisateurs :

Comme tous les utilisateurs de systèmes d'information géographique ne sont pas forcément des spécialistes, un tel système propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet. N'importe qui peut, un jour ou l'autre, être amené à utiliser un SIG. Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques, est généralement celui de technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels. Enfin, des spécialistes sont parfois amenés à intervenir sur des aspects techniques précis [29].

III.3.5. Les méthodes :

La mise en œuvre et l'utilisation d'un SIG ne peut s'effectuer sans l'application de méthodes, de règles et de procédures. Ces méthodes permettent une utilisation rigoureuse et cohérente du matériel, des logiciels et des données du SIG par l'ensemble des utilisateurs et cela afin de répondre aux objectifs fixés au préalable dans tout projet [30].

III.4. Les modes de représentation de l'information géographique dans un SIG :**III.4.1. Le mode Raster**

La structure des données raster est une abstraction du monde réel où les données spatiales sont divisées de manière régulière en ligne et en colonne. Un raster est une grille régulière qui se compose de cellules ou, dans le cas de l'imagerie, de pixels, il y a un nombre déterminé de lignes et de colonnes, chaque cellule a une valeur numérique et une certaine taille géographique [31].

La discontinuité du modèle de données raster lui a valu pour certains types d'opérations spatiales telle que la superposition, le calcul de superficie, ou la modélisation de simulation

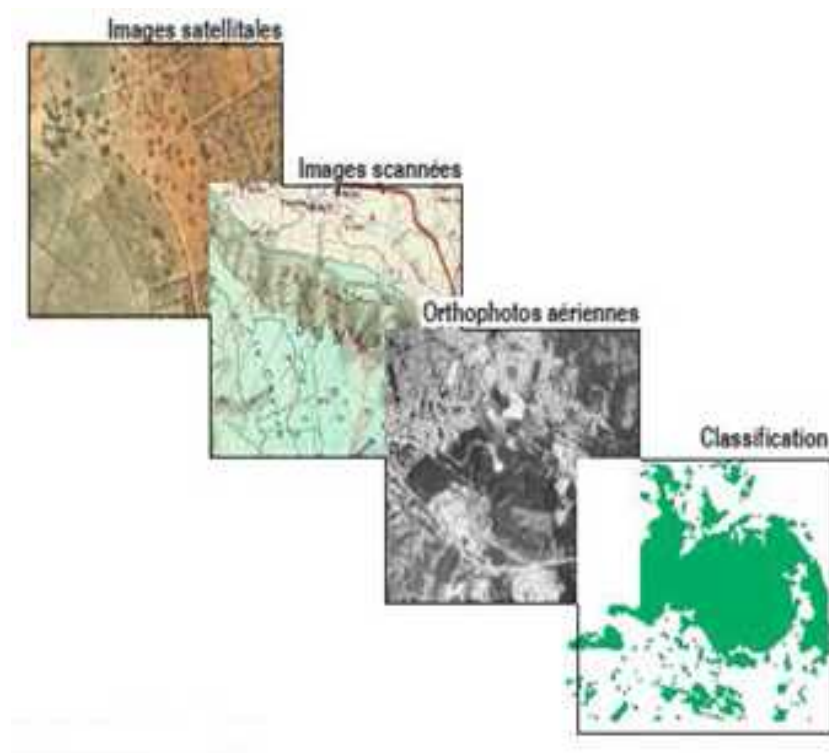


Figure 15: Exemple données raster. [32]

III.4.2. Le mode Vectorielle :

La structure de données vecteur est une abstraction du monde réel où les données de position sont représentées sous forme de coordonnées.

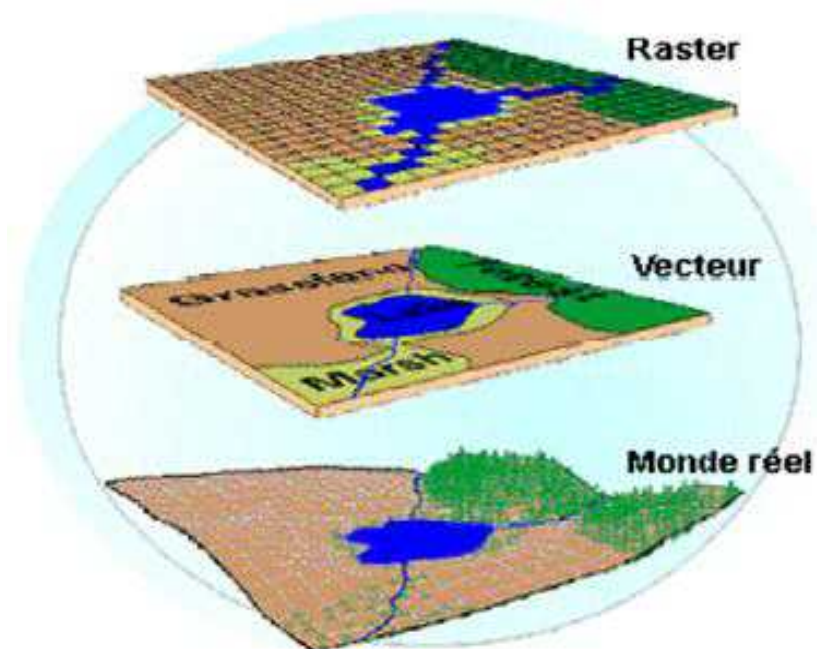


Figure 16: Modèle vecteur et raster [32].

Les SIG utilisent trois objets géométriques qui sont le point, la ligne et polygone :

III.4.2.1. Les points :

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés [33].

III.4.2.2. Les lignes :

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveaux.

III.4.2.3. Les polygones :

Les polygones se sont des espaces clos. Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols [34].

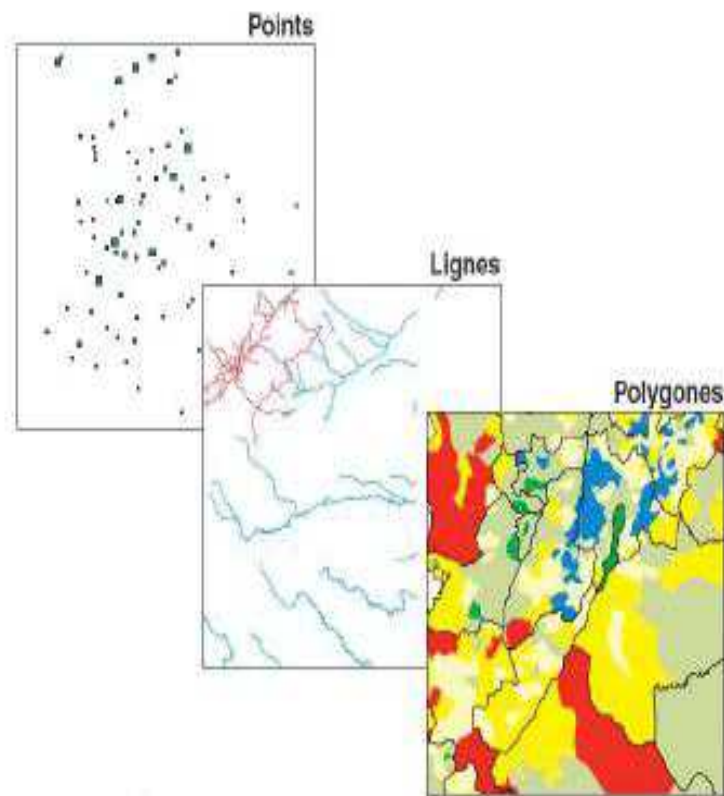
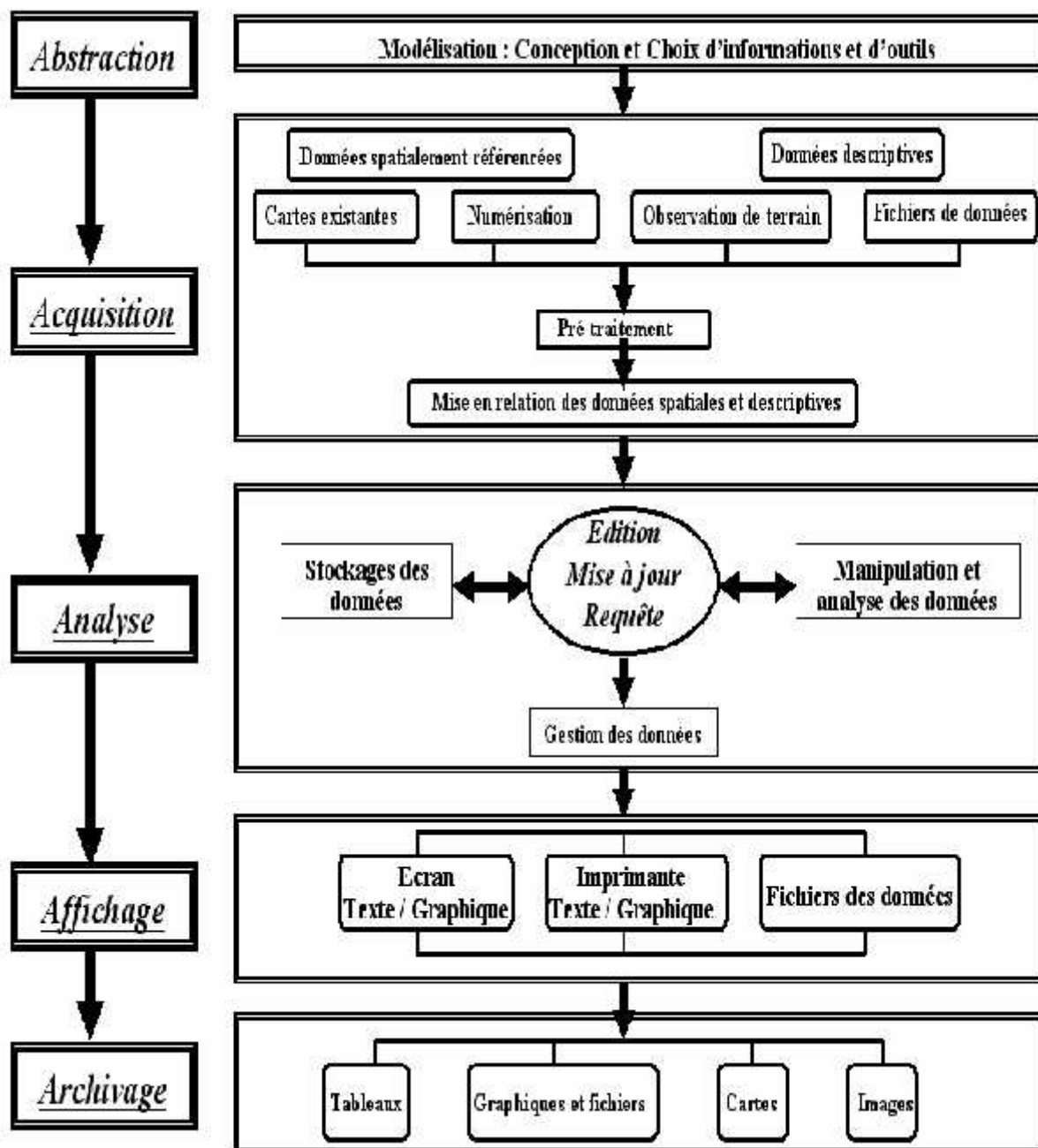


Figure 17: Les types de données vecteurs [35]

III.5. Les fonctions d'un SIG :

Les systèmes d'information géographique peuvent répondre à différents besoins. Comme le système universel n'existe pas, il faut les adapter selon les objectifs fixés. Toutefois ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système regroupées en 5 familles sous le terme des « 5A » : Abstraction, Acquisition, Archivage, Affichage et Analyse [36].

Ces termes résument les principales fonctionnalités pour chaque SIG : différents modèles mis en œuvre, nombreuses applications, présentations multiples des données, variété des informations et capacités de stockage (figure 18).



Figur 18 : Les fonctions d'un SIG [37]

III.5. 1. L'Abstraction ou modélisation :

Dans cette phase on cherche à reproduire la réalité du terrain d'une manière informatiquement compréhensible. Il est donc nécessaire de préciser les éléments et la nature d'informations à traiter. Les choix portent sur la nature de l'information, sur les éléments du territoire à identifier et sur la manière de les dessiner. Ces choix sont effectués en fonction des objectifs à atteindre et des problématiques à résoudre. Le monde réel est ainsi modélisé en fonction des besoins, ce qui permet de définir précisément le contenu du système. Les SIG gèrent plusieurs types d'informations (données géométriques); certaines sont dites « vectorielles » telles que les cartes digitalisées, d'autres sont dites « raster » telles les photographies aériennes. Cependant, ils peuvent accepter des éléments sans forme tels que des données textuelles ou numériques sans géométrie. La modélisation doit préciser l'information qui devra être accessible et rechercher la forme la plus adaptée [37].

III.5.2. L'Acquisition de données :

Il y a plusieurs sources d'acquisition de données, soit à partir des photos aériennes, de levés topographiques, de GPS, de cartes numériques. Si ces données sont incompatibles avec les logiciels de SIG, il faut les convertir et les rendre compatibles avec les autres ensembles de données. La superposition des couches d'informations ainsi que les autres fonctions de SIG ne sont possibles que lorsque toutes les couches des données spatiales sont référencées dans un même système de projection et de coordonnées. La façon la plus courante d'introduire des données dans un SIG est la numérisation des fonds des cartes imprimées avec une table à numérisation. Ces données peuvent être de quatre types différents: les données raster, les données vecteurs, les grilles ou MNT (Modèle Numérique de Terrain) et les données sans géométrie [37]

III.5.3. L'Analyse ou Géotraitement :

Cette étape est la plus importante et la plus fonctionnelle d'un projet SIG. Elle consiste à exploiter les données numériques stockées dans la base de données et comporte deux phases. La première, c'est l'interrogation des données et se présente sous forme de questions tels que : « qu'y a-t-il au lieu (x ; y). », « où est ... » ou « quelle est la distance entre les points A et B ». La deuxième phase porte sur l'intégration et le traitement des données. Elle consiste à créer des nouvelles informations spatiales.

Les jeux de données géographiques peuvent être constitués de mesures brutes, d'informations interprétées et compilées par des analyses ou d'informations provenant d'autres sources de données. Les possibilités offertes par la mise à disposition de renseignements géométriques et de renseignements sémantiques concernent la mise en relation mutuelle d'objets localisés ayant certaines propriétés. Les différentes relations que l'on peut mettre en œuvre concernent la proximité, la topologie ou la forme.

III.5.4. L'Affichage ou Géovisualisation :

Représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique avec la notion d'ergonomie et convivialité.

III.5.5. Archivage :

Structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique. Les données acquises, il faut être capable de les stocker et de les retrouver facilement. C'est des fonctions les moins visibles pour l'utilisateur. Elle dépend de l'architecture du logiciel avec la présence intégrée ou non d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) relationnel ou orienté [38].

III.6. Domaine d'application des (SIG):

Il est délicat de donner une classification des applications par thèmes. En effet, les thèmes ne correspondant pas forcément à des domaines équivalents. Certains regroupent une large gamme d'applications tandis que d'autres sont très spécialisés mais représentent un enjeu économique ou technique important pour la géomatique.

III.6.1. Agriculture :

Le domaine de l'agriculture utilise un grand nombre d'outils pour le traitement de l'information géographique. Les SIG sont souvent couplés avec des techniques d'acquisition de données qu'ils intègrent, gèrent et exploitent.

III.6.2. l'équipement et l'aménagement du territoire :

Les SIG permettent l'établissement de schéma directeur ou la gestion des plans d'occupation des sols. L'agriculture utilise de plus en plus cet outil de travail afin de modéliser précisément l'occupation des sols et leurs exploitations.

III.6.3. Environnement

Les éléments intervenant dans un phénomène environnement sont généralement localisés. Le recours à l'information géographique pour les modéliser et les étudier semble alors naturel. Pourtant, malgré son apport potentiel, l'utilisation de l'information géographique ne s'est développée dans ce domaine que tardivement. En effet la sensibilisation aux aspects de l'environnement que l'on connaît aujourd'hui est relativement récente. Ce ministère est encore «jeune». Faute de crédits suffisants, le coût global d'un projet de SIG a longtemps été un frein à leur exploitation. Toutefois, une certaine prise de conscience des enjeux de l'environnement et la recherche d'une plus grande protection de celui-ci ont entraîné la prise de mesure et la commande d'études spécifiques.

Les moyens octroyés pour leur réalisation et la baisse des coûts de constitution ont alors favorisé l'usage des SIG comme outils d'étude et de gestion. Ils servent aussi à réaliser des simulations et des analyses sur les nuisances ou les risques, la demande d'informations dans ces domaines étant devenue forte.

III.6.4. Autres domaines d'application :

- ◆ Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement)
- ◆ Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- ◆ Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- ◆ Hydrologie
- ◆ Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- ◆ Géologie (prospection minière)
- ◆ Biologie (études du déplacement des populations animales)

III.7. Avantages et contraintes du SIG**III.7.1. Avantages :**

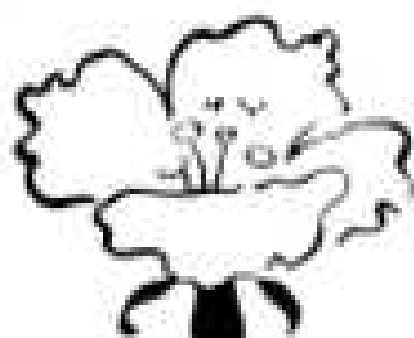
- Capacité de stockage, combinaison de données de sources différentes et rapidité de restitution des données ;
- Précision des processus cartographiques et facilité de mise à jour (outil de suivi) ;
- Analyse des relations spatiales (intégration, requête spatiale, combinaison et superposition de cartes) et production des cartes [32].

III.7.2. Contraintes :

- Coût élevé et problèmes techniques pour l'acquisition des données fiables ;
 - Non standardisation des formats de données
 - Nécessité d'une mobilisation continue des acteurs [32].

Conclusion

Les systèmes d'informations géographiques sont devenus très utiles, dans le domaine de gestion des ressources naturelles, grâce aux progrès effectués sur les logiciels et sur les matériels. Ils permettent de traiter rapidement et efficacement des volumes importants de données et souvent en temps réel. La mise à disposition de données à jour contribue à faciliter la mise en œuvre d'applications utilisant l'information géographique et permet d'assurer des résultats de qualité.



Chapitre IV
Matériels et méthodes du
travail

Introduction

Les SIG sont des systèmes d'informations(SI) dont l'objectif est de décrire un territoire de façon à améliorer sa connaissance et à permettre la description et l'analyse des phénomènes naturels ou humaines qui s'y produisent .Il est donc un outil décisionnel, permettant de stocker, d'extraire, de traiter et de présenter les données cartographiques et internes à un organisme.

Pour toute une étude ayant un lieu avec la gestion de la région, une description du milieu s'avère nécessaire : végétation, occupation du sol, climat, relief et exposition.

Certains facteurs devront apporter les éléments nécessaires pour répondre aux problèmes de gestion dans la zone d'étude.

IV.1. Matériels et logiciels du travail :

Le travail a été réalisé en utilisant un ensemble d'outils matériels et logiciels quison t :

IV.1.1.Matériels :

IV.1.1.1. Matériels utilisées dans le bureau :

Les outils mis à notre disposition sont :

❖ **Un micro-portable** dont les caractéristiques suivantes :

- ✓ Processeur: Intel (R) Core (TM) i34030U CPU @1.90 GHz 1.90 GHz
- ✓ RAM: 4.00 Go.
- ✓ Type de système : Système d'exploitation Windows 7 (64 bits).

❖ **Modèle numérique du terrainMNT ou (DEM) :**

De nos jours, on ne peut parler de caractérisation morphologique d'une région donnée sans faire intervenir la notion de modèles numériques du terrain (MNT).

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique d'une région donnée par un champ d'altitudes. Sa qualité va dépendre du nombre de points de saisie, de leur Distribution spatiale, de la continuité spatiale du phénomène dans la zone à traiter et du Mode d'interpolation des points [39]

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique simplifiée de la

Surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer) et planimétriques, calées dans un repère géographique [40]

Les ingénieurs utilisent les MNT pour différentes études. Ils peuvent étudier la pente du relief, l'exposition, les altitudes et déterminer le champ de visibilité du poste de vigie

Dans notre travail nous avons utilisé une image **ShuttleRadarTopographyMission** (SRTM) de résolution 90 m ; obtenue du site : <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.

❖ Des sites web :

Google Earth :

Google Earth est un site web de cartographie qui offre une représentation visuelle précise de la surface de la terre entière en utilisant les images satellites, photographies aériennes, et des données SIG. Il est disponible sur le Web en une version gratuite et une autre payante avec des fonctionnalités améliorées [41].

IV.1.2. Les logiciels :

Pour la réalisation de notre étude on a utilisé deux logiciels SIG l'ArcGis (10.2.2) et ses sous logiciels l'ArcMap, l'ArcCatalog et l'ArcToolbox. Ainsi que le Global Mapper(15.1)

IV.1.2.1. Arc Gis 10.2.2:

Un logiciel SIG contient de nombreuses nouvelles fonctions et de nombreux outils utilisé pour les traitements sur les données raster et vectorielles, l'un des aspects les plus importants est l'établissement des cartes du milieu physique de et les dérivés du modèle numérique de terrain de la zone d'étude [42].

Arc gis est un logiciel pour gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale.

Se décline en trois licences aux fonctionnalités et prix croissants :l'ArcMap, l'ArcCatalog et l'ArcToolbox.

➡ **ArCatalog :**

C'est l'explorateur de fichiers d'ArcView. C'est dans ce module que l'on va créer de nouveaux fichiers de forme. Pour se servir de données présentes sur l'ordinateur, il faut connecter les dossiers (appelés ici«« lecteurs »») dans lesquels elles se trouvent.

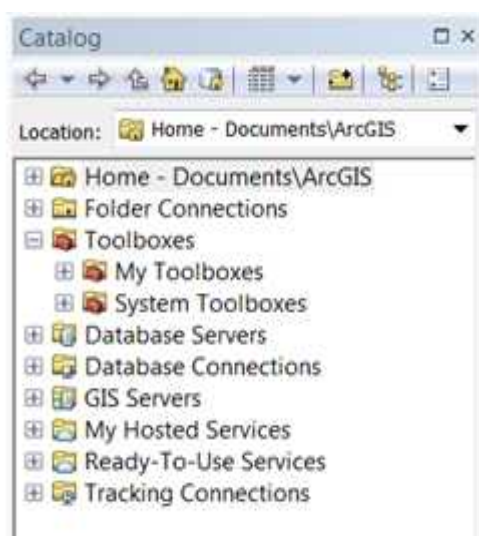


Figure19 : Interface ArcCataloge du logiciel Arcgis

➤ ArcMap :

C'est le logiciel dans lequel on édite les cartes. Il gère des « projets », on y insère des « couches » d'informations comme les photos aériennes plus des couches que l'on a créées comme le parcellaire.

Et on travaille en modifiant ces couches (on modifie le fichier de la couche), ou juste en leur apportant une mise en forme spéciale (ce qui ne modifie pas le fichier de la couche) qui sera sauvegardée uniquement dans le « projet » en cours.

L'interface est composée de trois zones principales :

- Les barres d'outils ;
- La liste des couches présentes dans le projet ;
- L'espace de travail (La carte) comme au figure suivante :

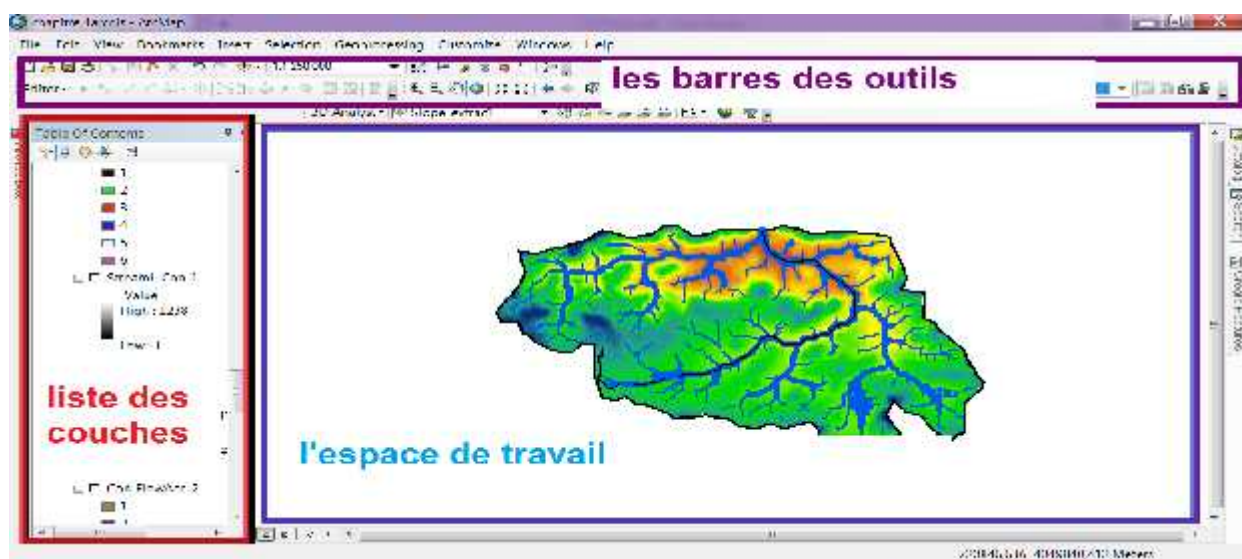


Figure20 : Interface ArcMap du logiciel Arcgis

➤ ArcToolbox

Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

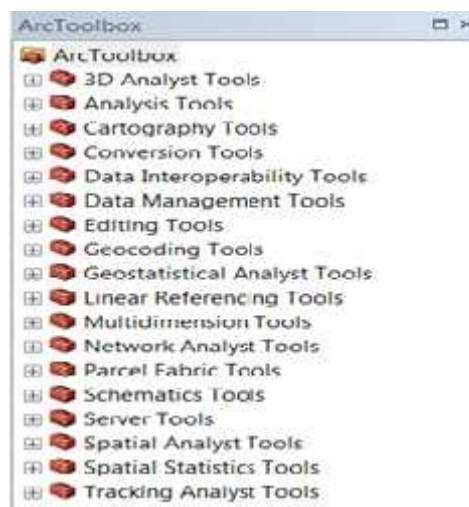


Figure 21: Interface ArcToolbox du logiciel Arcgis

IV.1.2.2. Global Mapper 15.1 :

Global Mapper est un logiciel commercial de SIG spécialisé en traitement de données et qui offre la possibilité d'accès à de nombreux formats. Edité par Blue Marble, Global Mapper peut être utilisé comme un SIG centrale ou intégrant un SIG global.

Il permet un accès direct à nombre de ressources satellites (Digital Globe, GlobeXplorer, Air Photo USA, Terra Server USA...). Il se lie avec un GPS pour une plus grande précision ou pour créer des cartes personnalisées

L'avantage de Global Mapper est notamment de pouvoir convertir de nombreux formats de données, d'accéder à de nombreuses données d'imagerie ou de pouvoir visualiser des données 3D (avec drapage de données vectorielles et raster)

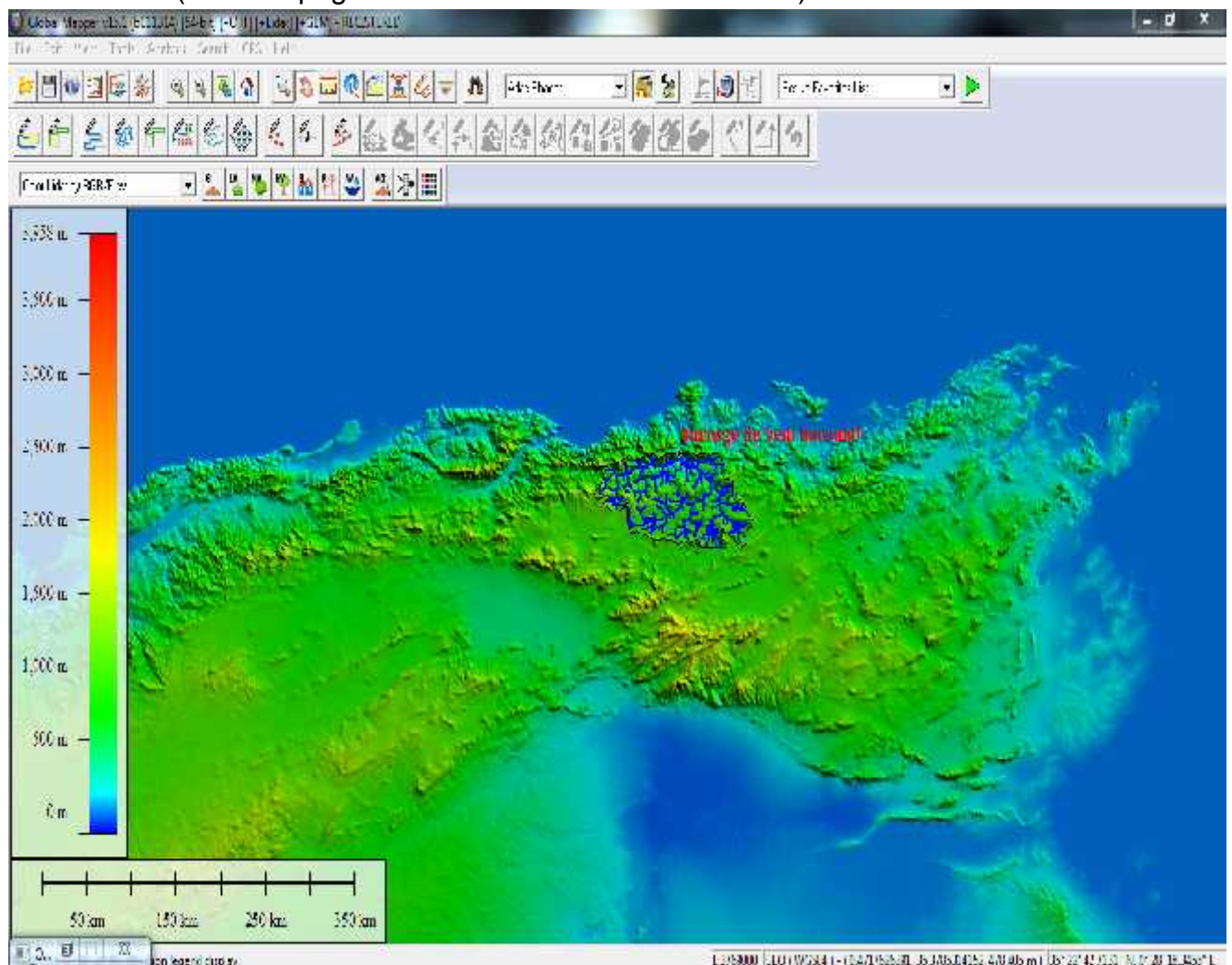


Figure 22 : Interface du logiciel Global Mapper

IV.1.2.3.L'intérêt des logiciels SIG :

L'intégration étroite des logiciels d'analyse des images numériques et des SIG a facilité l'utilisation des données SIG pour améliorer les procédures d'analyse des données de télédétection .les logiciels SIG ont des propriétés diverses :

- Capacité d'intégrer des sources très variées, dans leur contenu et dans leur forme (statistiques, cartes, images satellites...) ;
- Facilité d'accès de grandes quantités des données et possibilité de combines par le traitement et l'analyse de toutes ces informations ;
- Capacité de travailler à des échelles diverses et de passer rapidement de l'une à l'autre de cours d'un raisonnement : de la parcelle cadastre à la commune de la commune à la région.
- Possibilité de mise à jour de l'information par renouvellement des sources, par création de nouvelles informations à partir du SIG lui-même (l'issue des requêtes) ;
- Meilleur de communication des données géographiques.

IV.2. Méthodologie

A la réalisation de cette étude on a utilisé un fichier DEM (Digital Elévation Model) [w020n40]. Dem téléchargé du site :<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

Le logiciel Global Mapper a été utilisé pour géoréférencer et retrancher le DEM de la zone d'étude.

Le logiciel ArcGis a été pour l'extraction du bassin versant, désigner l'exutoire, attribuer la classification de Strehler au réseau hydrographique, pour mesurer la surface et le périmètre de bassin versant.

Enfin pour créer la carte hypsométrique du bassin versant, logiciel ECXEL de Microsoft office 2007 a été utilisé pour les calcules, l'insertion des tableaux et le traçage de différents graphes de cette étude.

IV.4. Organigramme de démarches et procédures du travail :

L'organigramme suivant montre les différentes démarches et procédures méthodologiques adoptées pour réaliser cette étude.

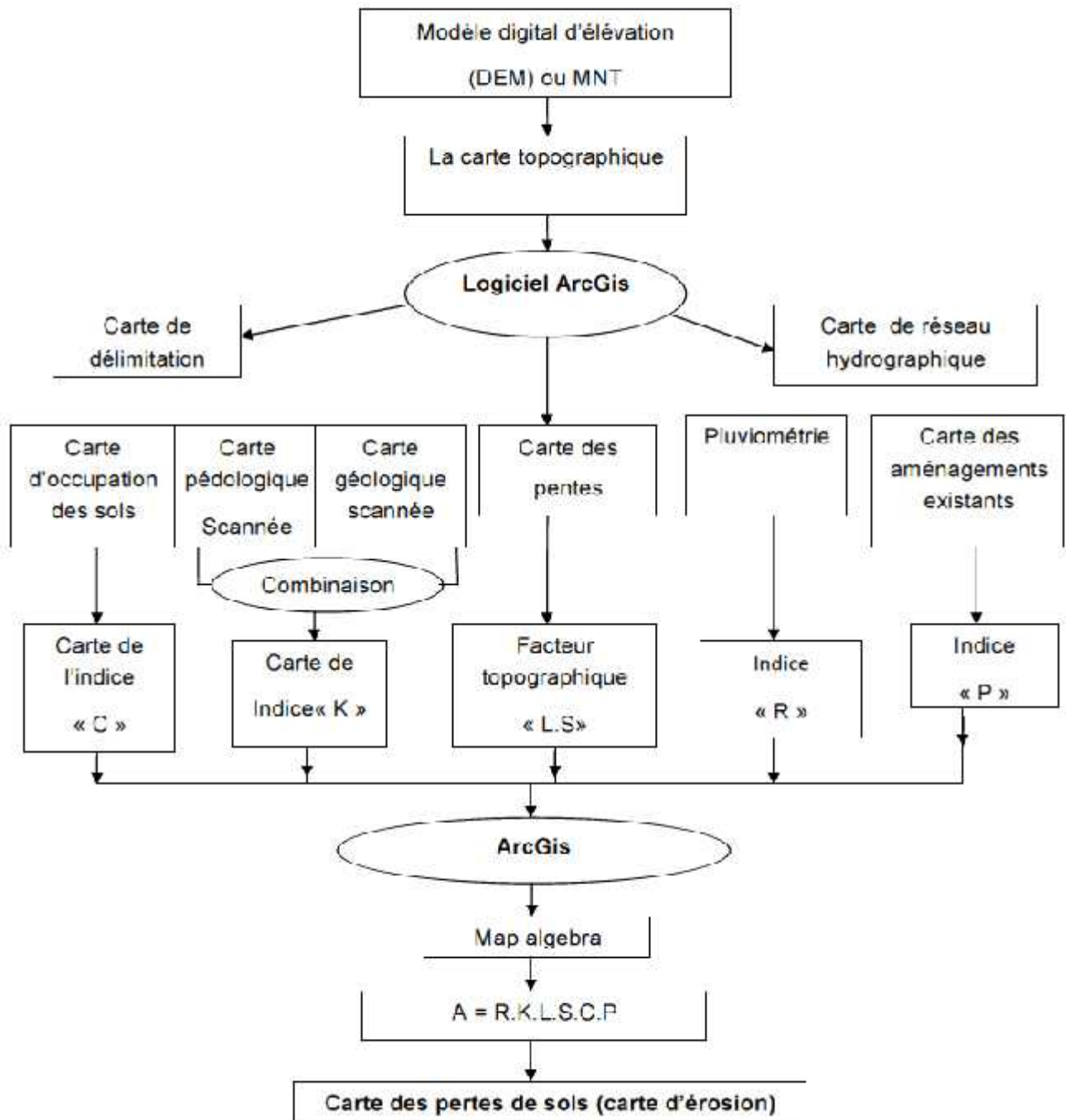
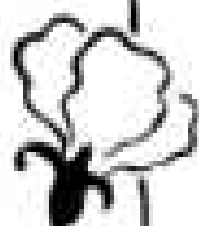
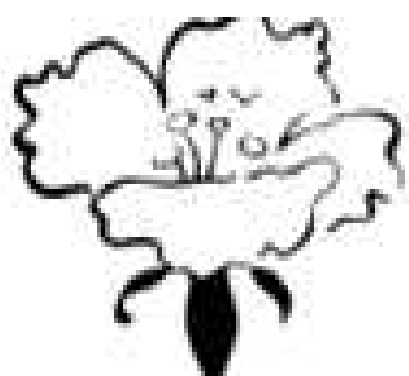


Figure 23 : Organigramme de la procédure de travail

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu que SIG à la capacité d'intégrer de nombreux types des données géographiques, un certain nombre de conditions doivent être satisfaites. les jeux des données doivent être encodées (géocodées ou géo référencées) dans la même système de coordonnées géographique .Nous avons donnée ainsi une explication générale comment utiliser les SIG pour obtenir les différentes cartes caractéristiques de la zone d'étude .



Chapitre V

Résultat et discussion

Introduction

L'utilisation de ces différents paramètres et des indices morpho métrique 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 cette étude, des techniques automatiques qui facilitent l'extraction de ces indices.

V.1.Délimitation du bassin versant de beni haroune :

La délimitation d'un bassin versant repose sur deux éléments essentiels :

- ❁ Les courbes de niveaux sur la carte topographie de la région ciblée.
- ❁ Le réseau de drainage de barrage qui doit être entouré par la ligne de partage des eaux (à l'intérieur de l'entité délimitée).

V.2.Détermination des caractéristiques du bassin versant beni haroune :

L'étude des propriétés géométriques du relief appelée aussi orométrie vise à donner une expression quantitative ou numérique du relief. Si l'orométrie se bornait par le passé à la description des altitudes maximales et moyennes ainsi qu'à l'établissement de courbes représentant la répartition de la surface d'un bassin en fonction de l'altitude, celle-ci et plus largement la morphométrie, bénéficient aujourd'hui de toute une série d'indices plus ou moins pertinents.

V.2.1. Caractéristiques de la forme du bassin versant de beni haroune :

V.2.1.1.La surface :

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface.

La surface du bassin versant peut être réalisé par des différents méthodes par l'Arc Gis il suffit d'utiliser l'option de calcule géométrique de logiciel ce qui nous donne :

$$S = 7372 \text{ km}^2$$

V.2.1.2.Le périmètre :

Il représente la longueur du parcours fermé du bassin, l'intérêt essentiel du périmètre est de pouvoir déterminer l'indice de Gravélius (K_c) et le rectangle équivalent. Il est estimé pour le bassin de Beni Haroun :

$$P = 417 \text{ km}$$

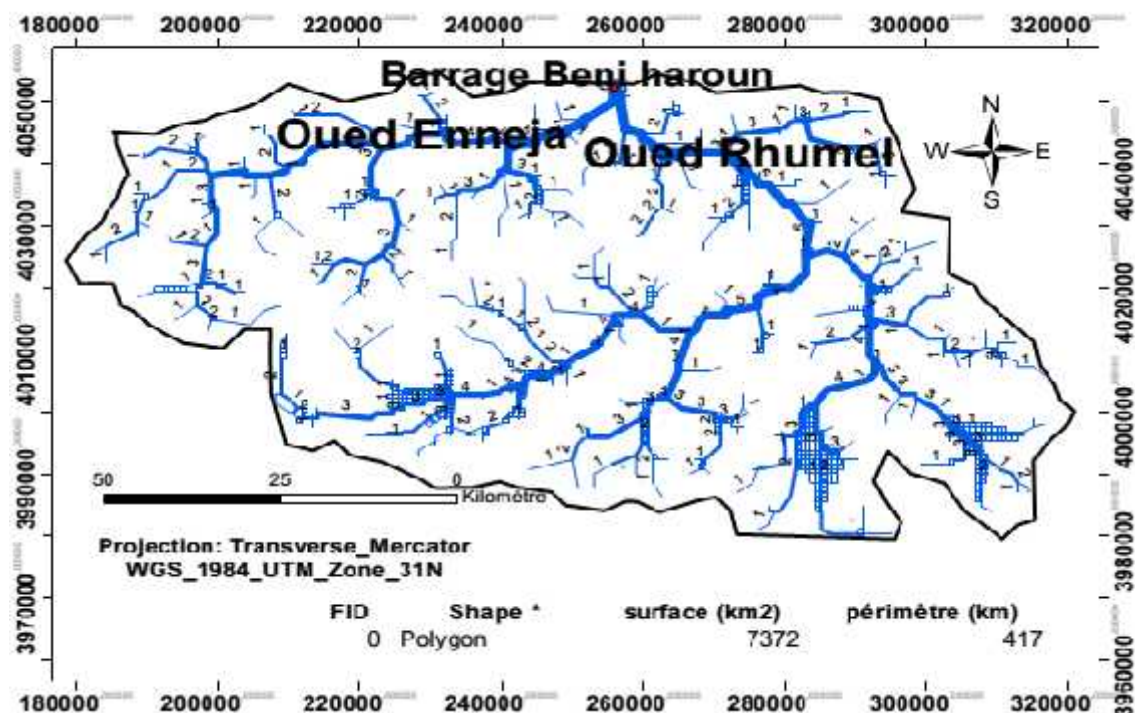


Figure 24: La carte de délimitation de bassin versant de Beni Haroun

V.2.1.3. La forme du bassin versant

Élément essentiel d'un bassin versant, la forme influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire de celui-ci. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. À l'inverse, les bassins en forme d'éventail présentant un temps de concentration plus court, auront des débits de pointe plus importants, toute chose étant égale par ailleurs.

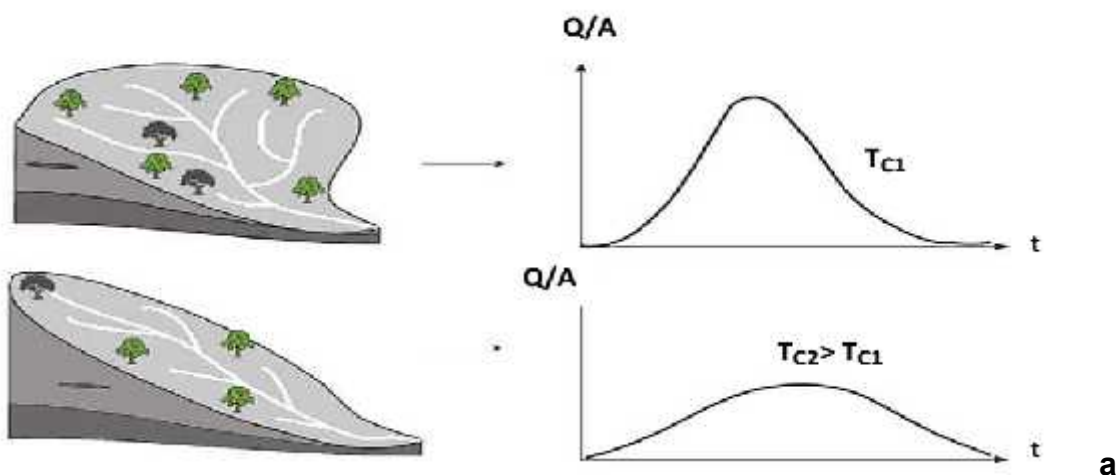


Figure 25 : Influence de la forme du bassin versant sur l'hydrogramme de crue. [43]

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser les écoulements, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface Si :

S est la surface du bassin en km² et **P** est le périmètre en km, le coefficient **K_C** est égal à :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi} S} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(5)$$

Avec :

K_C : L'indice de compacité ou Gravius.

S : La surface du bassin versant [km²]

P : Le périmètre du bassin [km]

Si **K_C** > 1 et d'autant plus voisin de cette valeur que le bassin versant est compacté

Si : **K_C** > 1.12 ; donc le bassin versant est allongé.

Si : **K_C** < 1.12 ; donc le bassin versant est carrée.

Si : **K_C** = 1.12 ; donc le bassin versant est compacté.

Pour le bassin versant de Beni Haroun :

$$K_c = 1.36 > 1.12$$

Le bassin est allongé et sa superficie s'étend étroitement autour de cours d'eau ce qui peut provoquer une réaction hydrologique rapide face à la sollicitation pluviométrique.

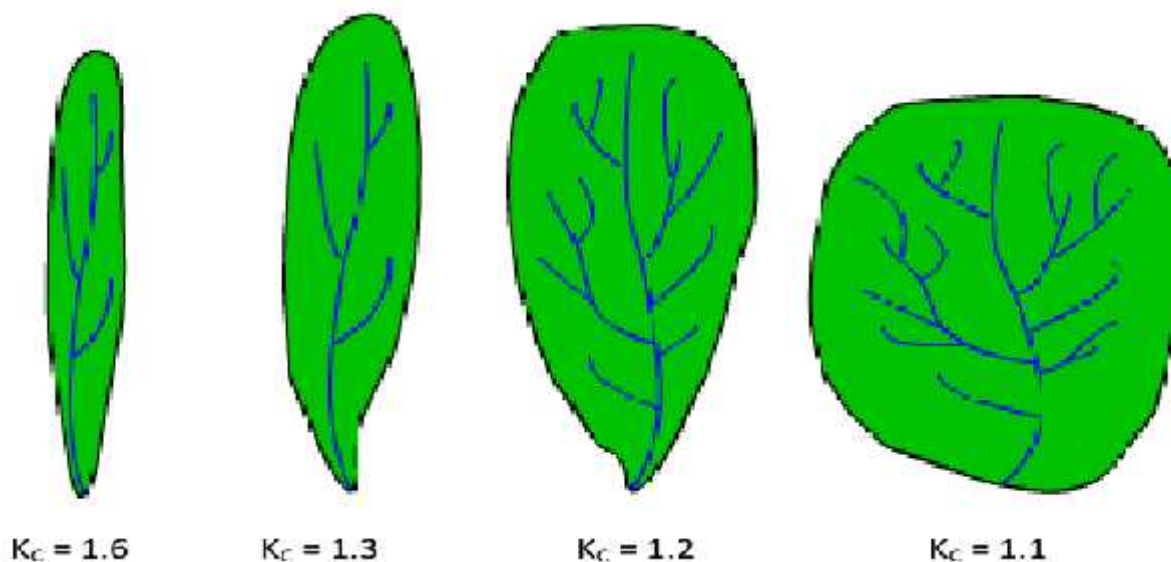


Figure 26: La forme du bassin versant en fonction de l'indice de Gravius

V.2.2. longueur de thalweg principal

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

D'après la figure 27 et 28 et à l'aide de l'outil de mesure de Arcgis 10.2.2 ; L est à l'environ de 141 km

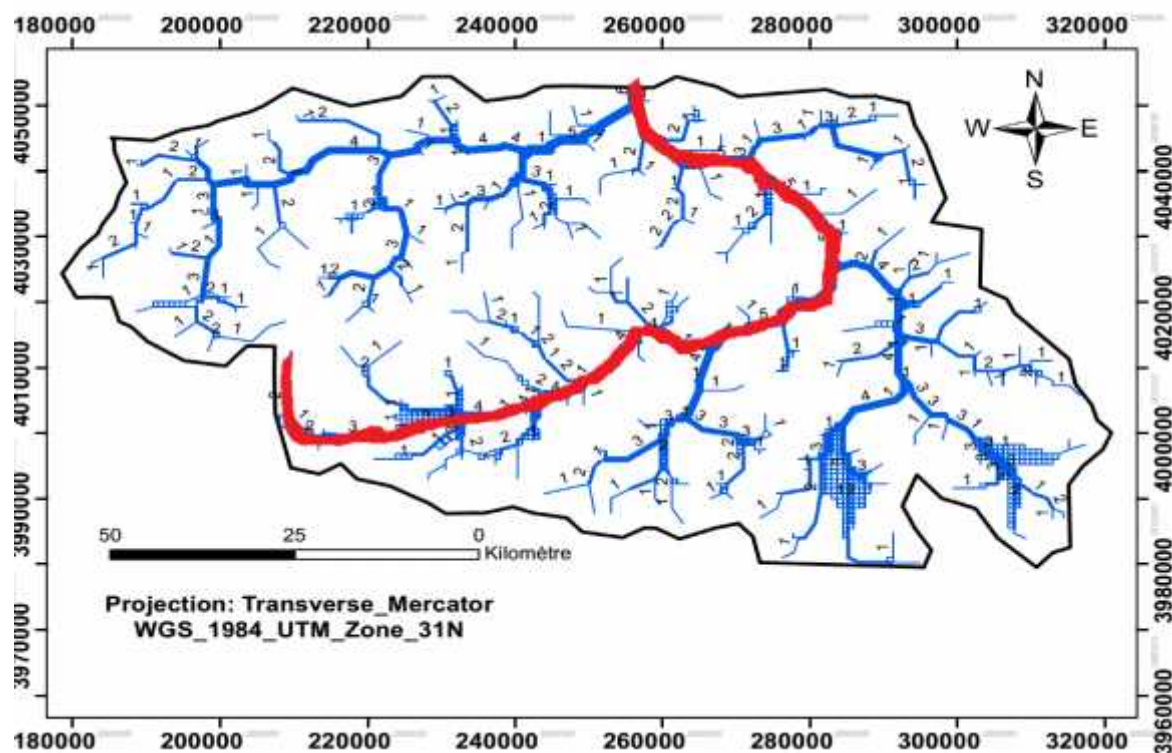


Figure 27: La carte du cours d'eau principal de bassin versant de Beni Haroun

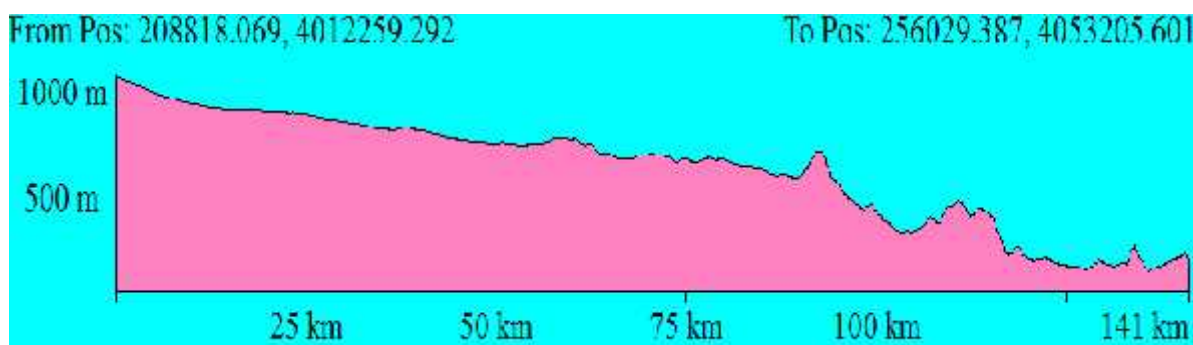


Figure 28: Profil en long du cours d'eau principal de bassin versant de Beni Haroun

V.3. Hypsométrie et pente moyenne :

V.3.1. La carte hypsométrique :

Les altitudes jouent un rôle essentiel quand il s'agit de la production ligneuse, dans une région donnée par exemple, par l'aptitude de mieux gérer les phénomènes et facteurs qui contrôlent cette production.

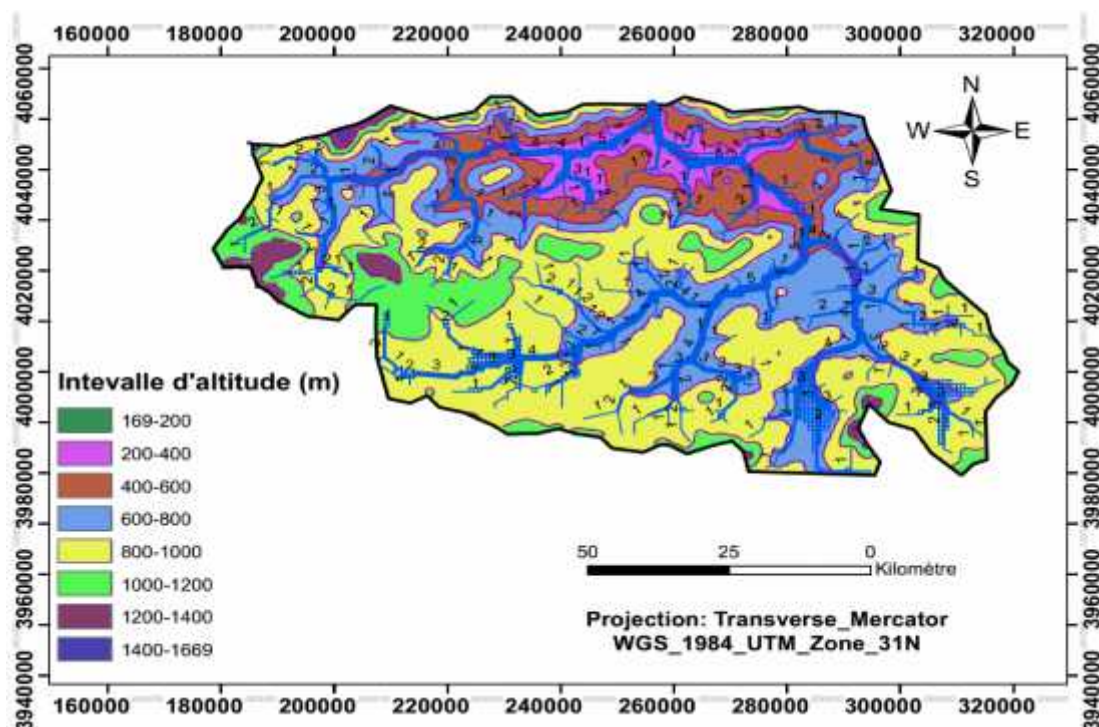


Figure 29: La carte hypsométrique de bassin versant de Beni Haroun

V.3.2. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

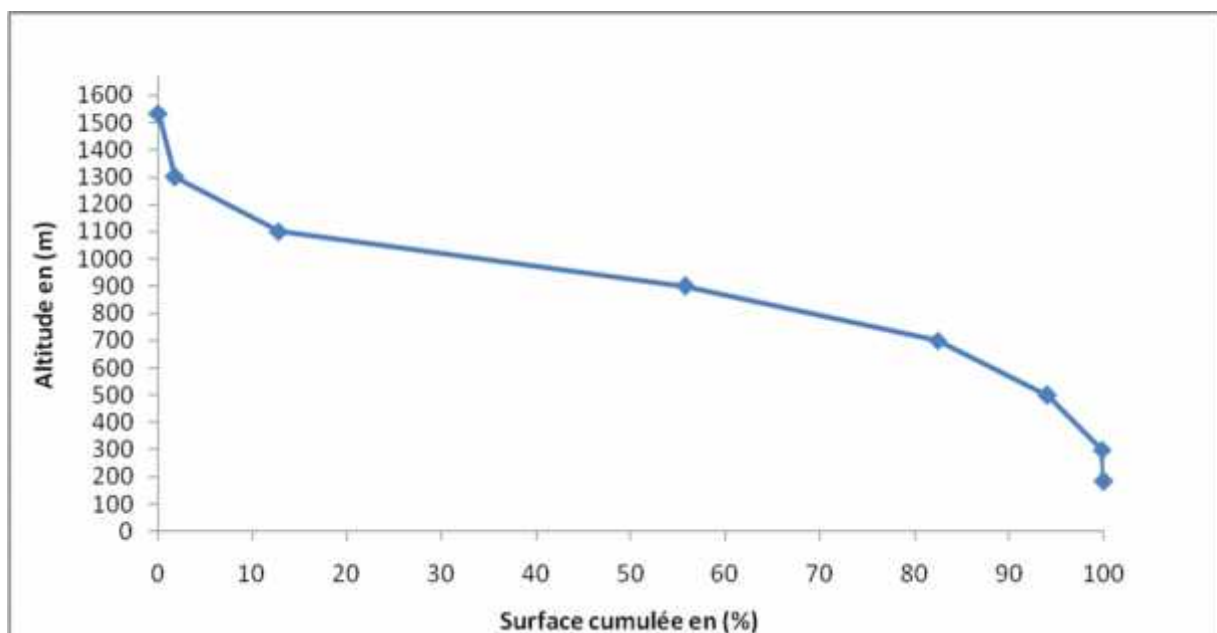
Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Tableau 06 : Répartition de la superficie partielle en fonction d'altitude

Altitude (m)	Superficie partielle (km ²)	Superficie partielle en %	Superficie cumulée en %
169-200	16	0,21703744	100
200-400	423	5,73792729	99.78296256
400-600	857	11,6250678	94.04503527
600-800	1969	26,7091698	82.41996747
800-1000	3160	42,8648942	55.71079767
1000-1200	814	11,0417797	12.84590347
1200-1400	127	1,72273467	1.80412377
1400-1669	6	0,08138904	0.0813891

La courbe hypsométrique du bassin versant est la représentation graphique des couples (superficie cumulée %, l'altitude) :

Cette courbe permet de relever des altitudes caractéristiques de relief

**Figure30** : La courbe hypsométrique de bassin versant de Beni Haroun

V.3.4.Les altitudes caractéristiques :

Dans l'optique de décrire le bassin versant mais aussi de comprendre son comportement hydrologique. L'altimétrie joue un rôle essentiel puisque la force motrice des écoulements de surface est gravitaire.

De fait, plusieurs processus dépendent directement des caractéristiques altimétriques telle que la pente moyenne par exemple. L'altitude du bassin versant joue aussi un rôle sur le contrôle des sollicitations (précipitations) de par sa relation avec les conditions climatiques du milieu [43].

V.3.4.1.Les altitudes maximales et minimales :

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, les précipitations et le couvert neigeux.

L'altitude maximale

$H_{\max} = 1669\text{m}$

L'altitude minimale

$H_{\min}=169\text{m}$

V.3.4.2.L'altitude moyenne :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{S} \dots\dots\dots(6)$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ;

h_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

S : Superficie totale du bassin versant [km^2].

Les différents résultats sont figurés dans la figure 31 et récapitulés dans le tableau 7

Tableau 07: Calcul de l'altitude moyenne

Altitude en (m)	Aire entre deux courbe de niveau A_i (km ²)	altitude moyenne entre deux courbes de niveau h_i [m]	$\frac{A_i * h_i}{S}$
169-200	16	184.5	0.4
200-400	423	300	17.21
400-600	857	500	58.12
600-800	1969	700	186.96
800-1000	3160	900	385.78
1000-1200	814	1100	121.45
1200-1400	127	1300	22.39
1400-1669	6	1534.5	1.24

$$H_{\text{moy}} = 793.55 \text{ m}$$

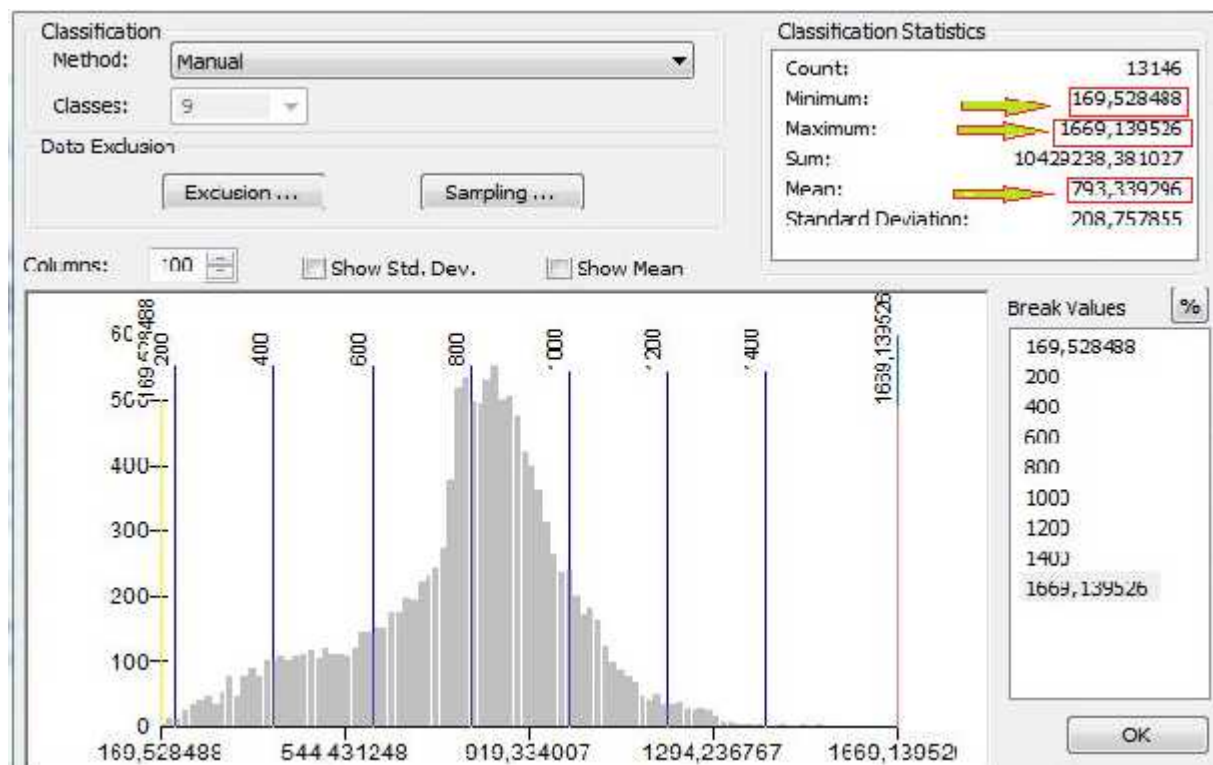


Figure 31 : Statistique des différentes altitudes caractéristiques de bassin versant de Beni Haroun

V.3.4.3. L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

La figure 32 montre que l'altitude médiane est de l'environ de **920 m**

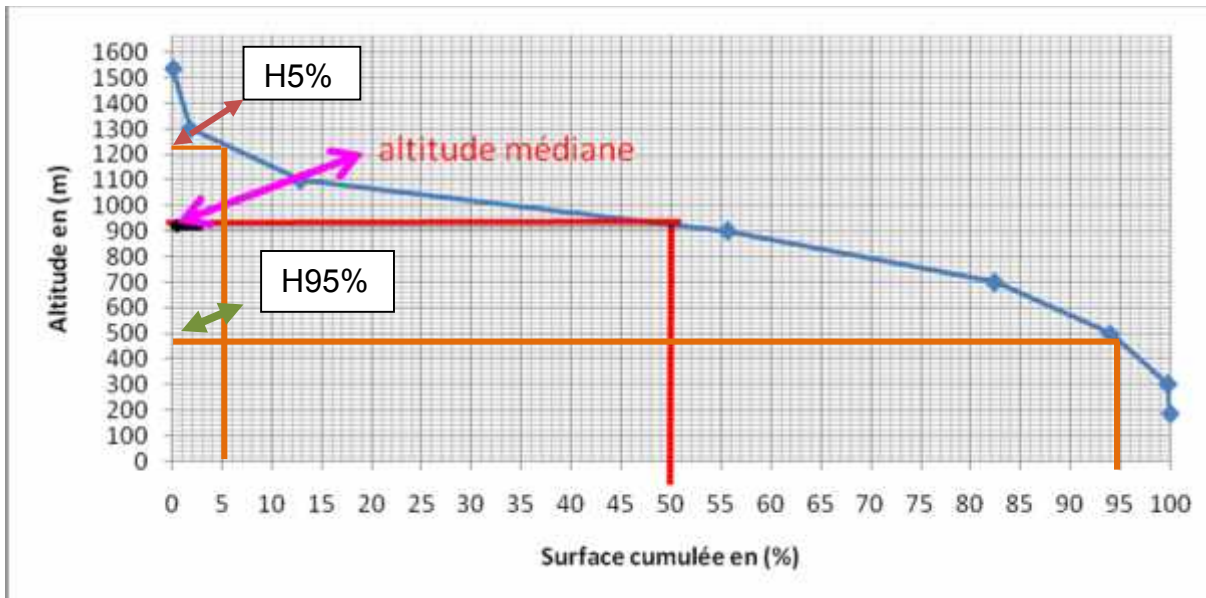


Figure 32 : La représentation de différentes altitudes

V.3.4.4. Temps de concentration

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant est considéré comme un temps caractéristique de l'écoulement sur un bassin versant, se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Il est déterminé par deux méthodes différentes : les formules empiriques et l'analyse des événements « averses-crues ». Il est utilisé dans le calcul des débits des crues.

Il faut savoir qu'il y a une multitude de formules, il revient en dernier ressort à l'hydrologue de faire son choix.

Dans notre cas nous avons choisi la formule suivante :

✓ La formule Algérienne

Elle est déterminée à partir de l'analyse des événements « averse-crues » relevés sur 15 bassins versants du Nord algérien :

$$T_c = 0.0055.S + 0.1657.L + 0.0078.D_H + 0.821 \dots \dots \dots (7)$$

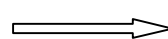
T_c : Temps de concentration en heures.

S : Superficie du bassin versant en km^2 .

L : Longueur du cours d'eau principal km.

D_H : Différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale du bassin versant en (m).

$S=7372\text{km}^2, L=140.83 \text{ km}, D_H=624.55 \text{ m}$



$T_c=69.57\text{heures}$

V.4.4.5. Le rectangle équivalent:

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique du contour du bassin Versant transformé en rectangle de même surface. Celui-ci est tracé à partir de La longueur et de la largeur du bassin. Les courbes de niveau y sont parallèles et sont Tracées en respectant les répartitions hypsométriques. ce rectangle est conçu pour Pouvoir comparer les bassins versants du point de vue morphologique. Les démentions de rectangle équivalent sont calculées à partir des relations suivantes (indices de GRAVELIUS et la superficie et le périmètre de BV) :

Pour le BV de Beni Haroun on à :

La longueur du rectangle équivalent est donnée par la formule suivante:

$$L_{eq} = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} * [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2}] \dots\dots\dots (8)$$

Avec : Kc: indice de compacité;

S: Superficie du bassin versant (km²);

L : Longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient :

$$L_{eq} = \frac{1.36\sqrt{7372}}{1.12} * [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.36})^2}]$$

$$L_{eq} = 163.40 \text{ km}$$

La largeur du rectangle équivalent est donnée par la formule suivante:

$$l_{eq} = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} * [1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2}] \dots\dots\dots (9)$$

avec :

l_{eq} : La largeur du rectangle équivalent en km

$$l_{eq} = \frac{1.36\sqrt{7372}}{1.12} * [1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.36})^2}]$$

$$l_{eq} = 45.12 \text{ km}$$

V.4.4.6. la pente :

La carte des pentes (Figure 33), constitue un des éléments de base pour l'analyse des caractéristiques physiques qui déterminent l'aptitude des diverses zones. En effet, la potentialité et les limites d'utilisation du territoire dépendent dans leur majeure partie de la pente puisque celle-ci contribue à la détermination des possibilités d'érosion en relation avec d'autres facteurs de mécanisation des cultures, des modalités d'irrigation, des possibilités de pâturage, de l'installation et le développement de la végétation de reforestation. Cette carte est établie sur la base du modèle numérique de terrain,

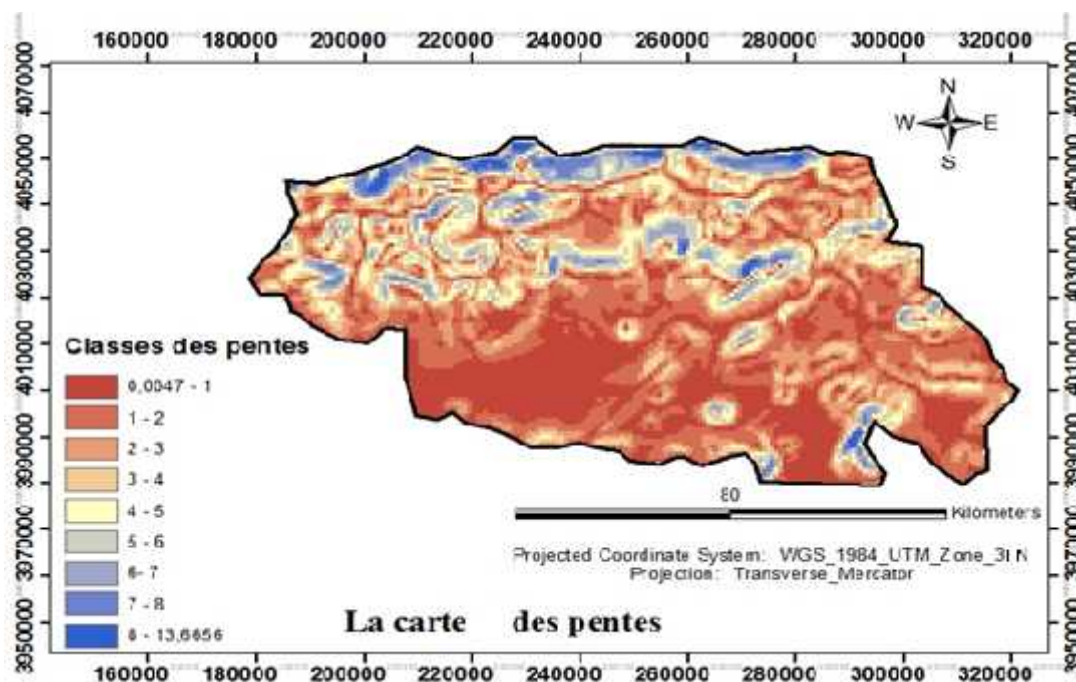


Figure 33 : La carte des pentes de bassin versant de Béni Haroun

➤ La pente moyenne :

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. La méthode proposée par Carlier et Leclerc dans les années 1960 consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données.

Une autre façon de procéder à la détermination de la pente moyenne est de recourir au rectangle équivalent. Dans ce cas :

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{L} \dots\dots\dots(10)$$

Avec ;

I_{moy} : La pente moyenne

ΔH : La différence d'altitude maximale sur le bassin (m)

L : La longueur du cours d'eau principale (Km).

$$I_{\text{moy}} = \frac{1669 - 169}{140.83 * 1000}$$

Donc :

$$I_{\text{moy}} = 0.01065$$

➤ Indice de pente globale I_g :

Un autre indice, toujours basé sur la fonction de répartition des altitudes du bassin versant (courbe hypsométrique), est l'indice global de pente défini par:

$$i_g = \frac{H5\% - H95\%}{L} \dots\dots\dots(11)$$

Où

H5% et H95% : représentent respectivement les altitudes correspondent à 5% et 95% de la surface cumulée.

L : La longueur du rectangle équivalent.

On a :

$$H5\% = 1240\text{m}$$

$$H95\% = 460\text{m}$$

$$L = 163.40\text{Km}$$

Donc :

$$I_g = 4.77 \text{ m/km}$$

➤ Dénivelée spécifique (D_s) :

La valeur de I_g diminue quand augmente (donc en général quand la surface du bassin versant augmente); il sera donc difficile de comparer deux bassins versants de taille différente, on définit donc une grandeur qui ne présente pas cet inconvénient :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \dots\dots\dots(12)$$

On a :

$$I_g = 0.00477$$

$$S = 7372\text{km}^2$$

Donc :

$$D_s = 409.55 \text{ m}$$

Tableau 08 : Méthode classification de relief selon ORSTOM selon la dénivelée spécifique D_s

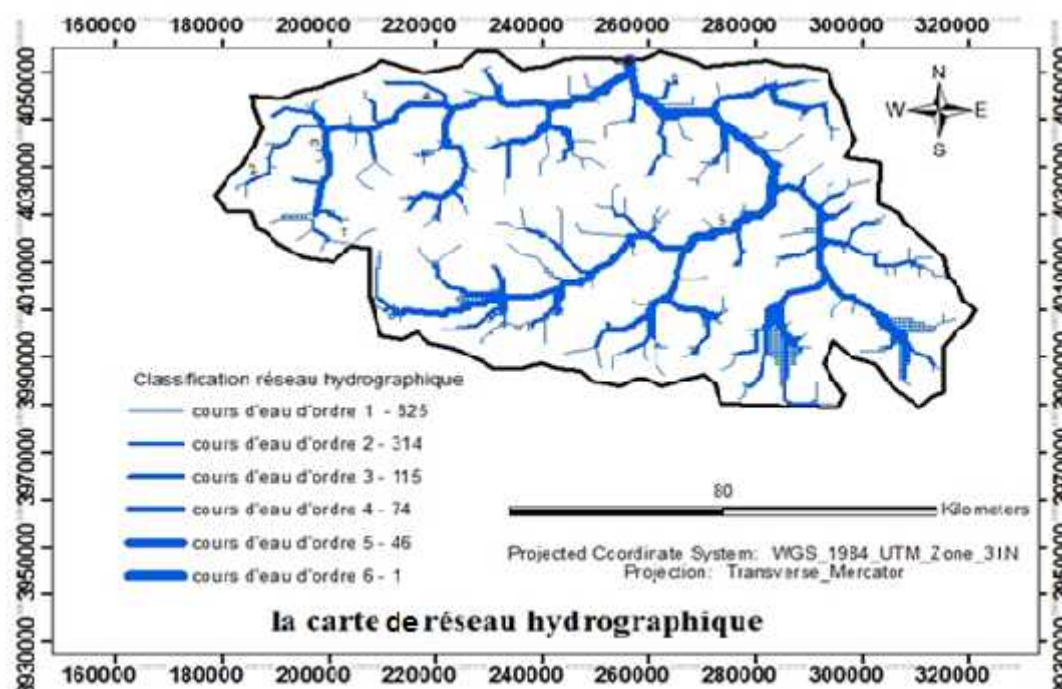
Classe	Type de relief	D_s
R1	Relief très faible	10
R2	Relief faible	10 - 25
R3	Relief assez faible	25 - 50
R4	Relief modéré	50 - 100
R5	Relief assez fort	100 - 250
R6	Relief fort	250 - 500
R7	Relief très fort	+ 500

On remarque bien que le bassin versant de Beni Haroun à des reliefs forts.

V. 5. Le réseau hydrographique :

Ensemble des milieux aquatiques (lacs, rivières, eaux souterraines, zones humides, etc.) présents sur un territoire donné, le terme de réseau évoquant explicitement les liens physiques et fonctionnels entre ces milieux.

Il est l'ensemble des cours d'eau qui recueillent les eaux des sources et ruissellement des versants. Il composé du cours principale est des affluents appelés aussi tributaires.

**Figure 34:** La carte de réseau hydrographique de bassin versant de Beni Haroun.

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 désertique.
- **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. Dans le tableau suivant en a résumé les différentes caractéristiques des cours d'eau (ordre, nombre, longueur...)

Basant sur la figure 34 on récapitule les résultats dans le tableau 9

Tableau 09 : Rapport de confluence et longueur des cours d'eaux.

Ordre du cours d'eau	Nombre du cours d'eau	Longueur de cour d'eau (km)
1	825	1034
2	314	467
3	115	188
4	74	146
5	46	90
6	1	1

V.5 .1. La densité de drainage :

La densité de drainage est définie pour un bassin donné de superficie S, comme la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur la surface drainée. Elle est liée par deux facteurs principaux, la lithologie et l'abondance des précipitations.

$$D_d = \sum L_i / S \dots\dots\dots(13)$$

Avec :

D_d : Densité de drainage [km/km^2] ;

L_i : Longueur des cours d'eau [km] ;

S : Surface du bassin versant [km^2] ;

On a

$$S = 7372 \text{ km}^2$$

$$\sum L = 1926 \text{ km}$$

Donc

$$D_d = 0.26 \text{ km}/\text{km}^2$$

V.5 .2. La densité hydrographique :

La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface.

$$F = \sum N_i / S \dots\dots\dots(14)$$

Où :

F : Densité hydrographique [km^{-2}] ;

N_i : Nombre des cours d'eau ; = 1375

S : Superficie du bassin [km^2]. = 7372 km^2

Donc

$$F = 0.19 \text{ km}^{-2}$$

Une faible densité hydrographique, donc le bassin d'étude présente une région à substratum perméable, à couvert végétal important et à relief peu accidenté.

V.5 .3. La fréquence des cours d'eau :

Elle représente le rapport du nombre des cours d'eau d'ordre 1 à la surface du bassin versant d'étude.

$$F = \frac{\text{Nombre de cours d'eau d'ordre 1}}{S} \dots\dots\dots(15)$$

S : Surface du bassin versant [km^2]

F : La fréquence des cours d'eau

D'après le tableau 9, le nombre de cours d'eau d'ordre 1 égal à 825

donc :

$$F = 0.11 \text{ km}^{-2}$$

D'après cette valeur on remarque que le bassin versant présente une fréquence plus ou moins faible, ce qui traduit que le réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne.

V.5 .4.Le coefficient de torrentialité C_t :

C'est le rapport entre la fréquence des cours d'eau d'ordre 1 avec la densité de drainage

$$C_t = D_d * F \dots\dots\dots(16)$$

C_t pour le bassin de Beni Haroun est égal à

0.029 Km/km⁴.

Cette valeur traduit que le bassin ne représente pas des caractéristiques morphométriques adapté à l'écoulement, ainsi qu'il est constitué par des formations perméables dont l'infiltration est importante

Conclusion

Les résultats obtenus à partir de cet exemple montrent les capacités des systèmes d'informations géographiques et les modèles numériques de terrain dans le calcul des paramètres qui influencent sur l'écoulement des eaux de surface. L'évaluation de ces paramètres qui intervenant dans le comportement hydrologique du bassin versant de barrage de Beni Haroun nous a permis d'obtenir les résultats suivants : Le bassin versant présente une forme allongée, un bassin en état de maturité, un relief fort, le réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne, une formation dans son ensemble perméable .



Chapitre VI

Apport du SIG à la cartographie des zones à risque d'érosion

Introduction :

L'érosion hydrique constitue la principale cause de la dégradation des terrains. Elle semble trouver sa cause essentielle dans l'érosion gravitaire dont la pente représente un paramètre prédominant. Les causes principales de cette dégradation trouvent aussi leurs origines dans les caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques du bassin versant.

En effet, les facteurs géo-climatiques comme la lithologie et la morpho-pédologie des bassins, l'agressivité des averses, l'intensité et l'irrégularité du ruissellement, ainsi que les amplitudes thermiques et la sévérité des étiages... constituent des facteurs dont l'appréciation a toujours constitué un élément fondamental pour la cartographie du risque à l'érosion ou toute modélisation du phénomène.

VI.1. l'équation universelle de perte en terre :

En appliquant l'équation USLE aux valeurs obtenues par croisement sous Arc Gis, et en utilisant le modèle numérique de terrain DEM (résolution 90 m) et le Système d'Information Géographique (SIG) pour identifier et cartographier les zones à risque d'érosion hydrique des sols.

Le modèle RUSLE (Revised Soil Loss Equation), avec lequel on peut estimer les risques d'érosion hydrique des sols, a été appliqué au bassin versant de Beni Haroun (équation 17)

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \dots\dots\dots(17)$$

Avec ;

A : (t/ha/an), est le taux annuel de perte en sol.

R : (MJ/mm / ha. H. an), est le facteur de l'érosivité des pluies ; il correspond à la moyenne annuelle des sommes des produits de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité en 30 mn consécutives.

K : (t. H / MJ. mm), est l'érodibilité des sols ; il est fonction de la texture du sol, du taux d'humus, de la structure de la couche superficielle du sol ainsi que de sa perméabilité.

LS : est un facteur sans dimension qui représente l'inclinaison (S) et la longueur de pente (L)

C : est un facteur sans dimension ; c'est l'occupation du sol ou l'indice de couverture végétale et de pratiques culturales.

P : facteur sans dimension, est un rapport qui tient compte des techniques culturales antiérosives telles que le labour en courbes de niveau.

VI.2. Données utilisées et méthodologie appliquée

VI.2.1 Données utilisées

- 1 Des données pluviométriques fournies par différents services et stations météorologiques réparties sur l'ensemble de la surface du bassin versant
- 2 Une image **Shuttle Radar Topography Mission** (SRTM) de résolution 90 m ; obtenue sur le site : <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- 3 Une carte d'occupation de sol de l'Est algérien réalisée en 2009 [44]
- 4 Carte de lithologie combinée avec la géologie de l'Est algérien [45]

VI.2.2. La méthodologie

La méthodologie a consisté aussi, à retenir et à étudier d'abord les paramètres des facteurs pertinents influençant le phénomène (l'érosivité de la pluie, l'indice topographique, le facteur de gestion de culture C et l'érodibilité des sols).

Ensuite après une codification individuelle (pondération) des paramètres des différents facteurs ceux-ci ont été croisés sous le logiciel ArcGIS selon un modèle d'érosion des sols de Wischmeier et al., 1978 [46], Universal Soil Loss Equation ou équation universelle de perte en terre (USLE).

VI.2.2.1. L'érosivité des pluies « R » :

La pluie est l'élément moteur de l'érosion. Sans précipitation il n'y a pas d'érosion hydrique, Cependant l'intensité est le facteur principal de l'érosion.

Plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé. Ce second paramètre étant rarement disponible, pour cela dans ce travail nous avons utilisé une méthode substituée est celle de l'équation de Renard et Freimund [47] qui donne directement R en fonction de la précipitation moyenne annuelle en (mm) :

$$R = 0.04830 P^{1.610} \text{ (t/ha/an).....(18)}$$

Spatialiser le coefficient R nécessite de connaître la répartition de précipitation sur toute la superficie du Bassin versant.

Dans notre cas l'absence des données pluviométriques nous a obligé de baser dans le calcul de R seulement sur les données disponibles fournies des 7 stations. Tableau 10

Les valeurs de R calculées tableau 10 ont été interpolées en utilisant une méthode d'interpolation simple, l'IDW (Inverse Distance Weight).

En effet, les données espacées de plusieurs kilomètres ne présentent pas de précision suffisante pour justifier une méthode d'interpolation spécifique.

Tableau10 : Calcul de l'érosivité R (mm)

Stations	X(m)	Y(m)	P annuelle (mm)	R (MJ/mm / ha. H. an)
Beni Haroun	261981.95	4050695.91	662.8	1684.12
Ain bey	293402.27	4016108.08	533,9	1188.93
Oued el atmania	256129.05	4015069.88	470	968.33
Ferdjioua	764160.77	4033336.11	463,8	947.85
BeniGuecha	768420.07	4031587.98	492	1042.34
Chelghoum-Laid	245155.1	4006266.67	250	350.45
Hamma Bouziane	284466.01	4032324.63	538	1203.67

VI.2.2.2. L'image SRTM et le facteur « LS »

La topographie du milieu est un facteur sensible pour l'érosion hydrique. La pente a une incidence importante sur le processus d'érosion hydrique ; le ruissellement est généralement fort et rapide sur des pentes raides causant ainsi une érosion hydrique très grave.

Le facteur topographique (LS) est calculé à partir de la longueur des pentes (L) et de leur inclinaison (S), déterminées à partir de l'image SRTM 90 m.

Les longueurs d'écoulement correspondent théoriquement au rapport de la longueur λ (m), calculée entre le sommet du versant et le début de la zone concave 16, à la longueur de la parcelle expérimentale de RUSLE (22,13 m) ; l'ensemble élevé à l'exposant m, sans dimension, intégrant l'inclinaison de la pente β .

Le facteur L, en fonction de la surface drainage, se calcule dans ArcMap selon la formule suivante [48] .

$$L = \frac{(\text{Power}(\text{"Flow_acc"} + 8100, ("m" + 1)) - \text{Power}(\text{"Flow_acc"}, ("m" + 1)))}{(\text{Power}(90, ("m" + 2)) * \text{Power}(22.13, "m"))} \dots \dots \dots (19)$$

Avec

$$F = (\sin \beta / 0.0896) / (3 * (\sin \beta)^{0.8} + 0.56) \text{ ou}$$

$$F = ((\sin(("Pente") * (3.14 / 180))) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\sin(("Pente") * (3.14 / 180)), 0.8) + 0.56) \dots \dots \dots (20)$$

$$\text{et } m = "F" / (1 + "F") \dots \dots \dots (21)$$

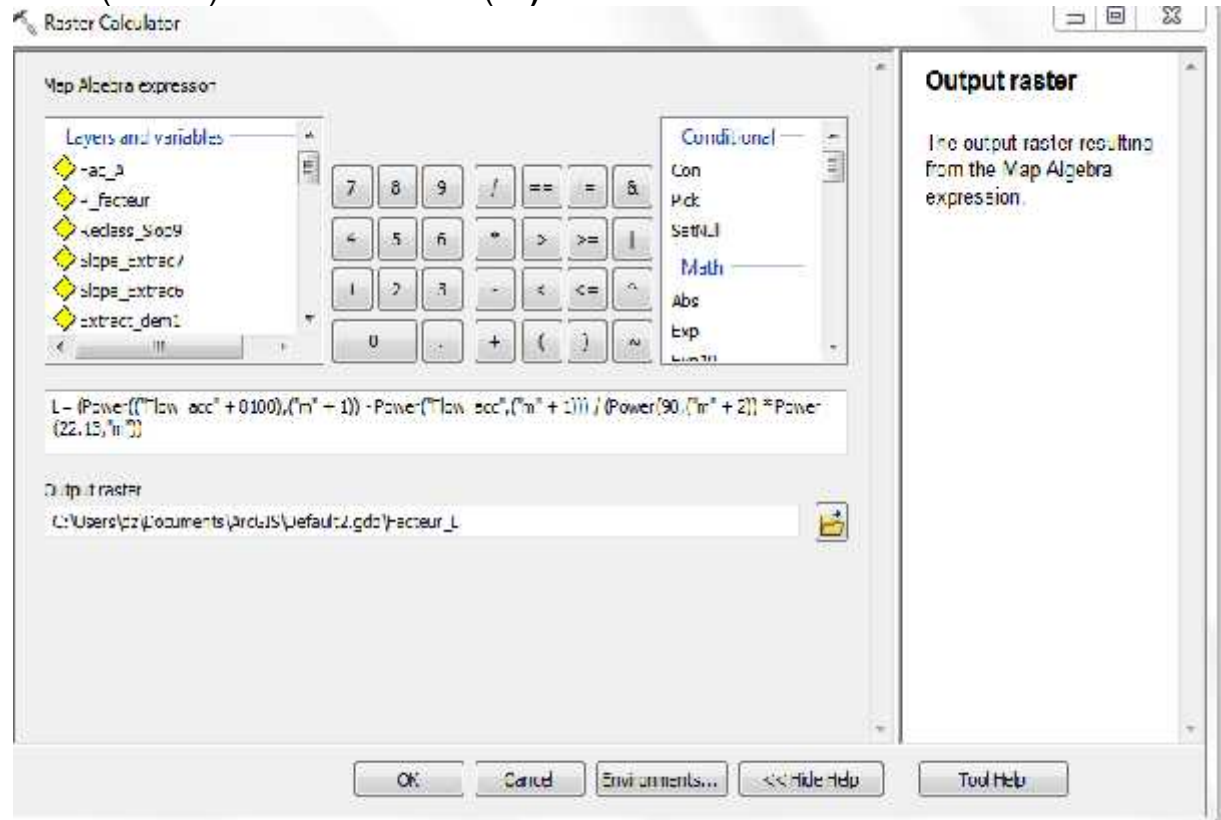


Figure 35 : Application de l'expression sous ArcGis 10.2.2

Ces deux paramètres calculés dans leur champ respectif dans la table attributaire de ce facteur, et les résultats intégrés dans l'équation finale.

Le facteur S, quant à lui est estimé grâce à deux régressions simples appliquées en fonction de l'angle d'inclinaison, avec la pente en degré.

Sous ArcMap, il est obtenu à partir de la commande CON, qui est la fonction conditionnelle.

Spatial Analyst Tools → Map algebra → Raster Calculator:

$$\text{Con}(\tan(("Pente") * (3.14 / 180)) < 0.09, (10.8 * \sin(("Pente") * (3.14 / 180)) + 0.03), (16.8 * \sin(("Pente") * (3.14 / 180)) + 0.5)) \dots \dots \dots (21)$$

La pente est convertie du radian au degré en multipliant par 3,14 et en divisant par 180.

Finalement le facteur LS est obtenu à partir du produit des facteurs L et S

$$\text{Appliqué dans Spatial Analyst Tools} \rightarrow \text{Map algebra} \rightarrow \text{Raster Calculator : "L" * "S" } \dots \dots (22)$$

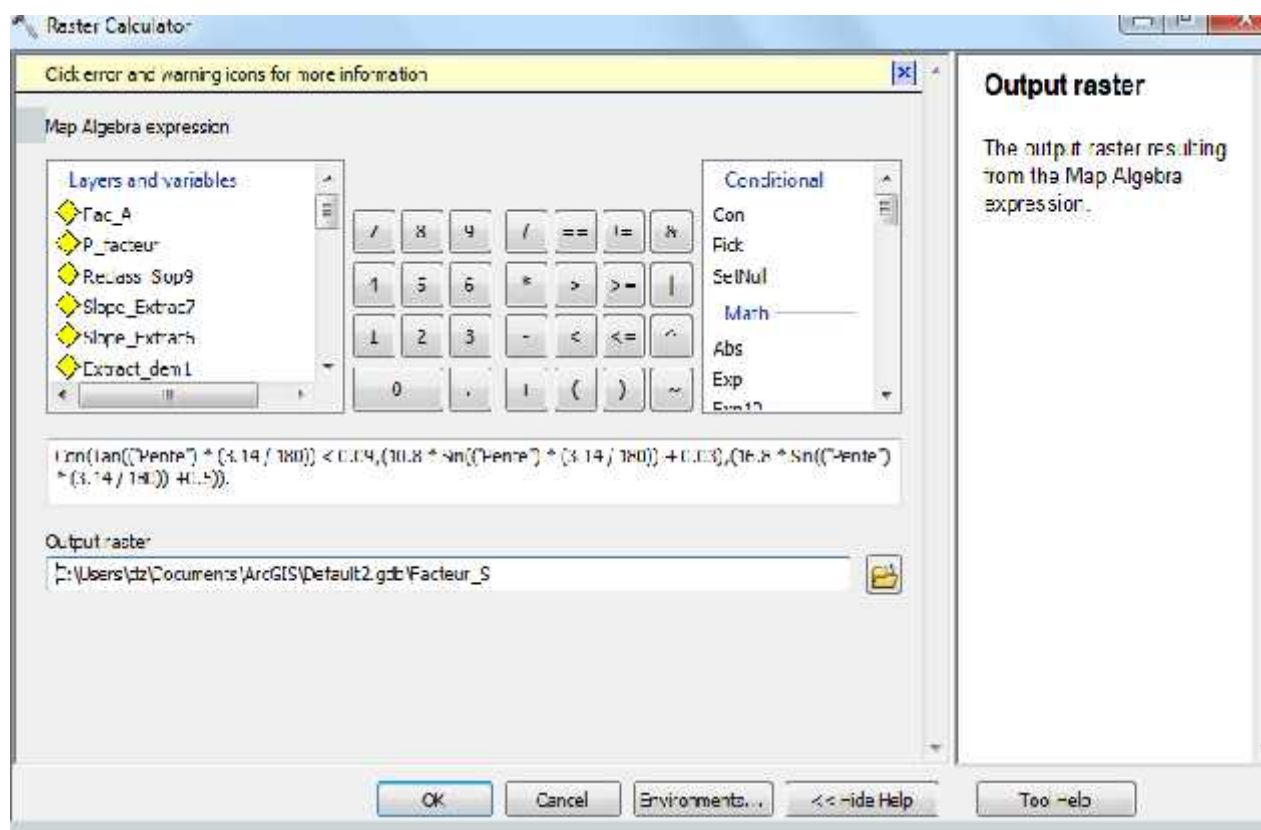


Figure 36 : Application de l'expression sous ArcGis 10.2.2

VI.2.2.3 Erodibilité des sols « k » :

L'érodibilité d'un sol est sa résistance à deux sources d'énergie, la battance des gouttes de la pluie à la surface du sol et l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les griffes ou les rigoles.

Certains auteurs (Wischmeier et al. 1971), ont trouvé une corrélation entre ce facteur et les paramètres liés à la structure des sols :

$$1000 K = 2,1 M^{1,4} \cdot 10^{-4} (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) \quad \text{.....(23)}$$

Où :

K : facteur d'érodibilité ; **a** : pourcentage de matière organique ; **b** : le code de structure ; **c** : la classe de perméabilité ; **M** : (% sable fin + % limon) (100 - % argile). La valeur de (K) est alors cataloguée sur des abaques en fonction de la structure des sols et du taux de matières organiques qu'ils contiennent [49].

La matière organique (MO) réduit l'érodibilité ou la susceptibilité du sol à éboulement et augmente l'infiltration, ce qui réduit l'écoulement et pour autant l'érosion.

L'accumulation de MO à travers d'engrais verts ou du compost est exprimé généralement dans le facteur C, plus que le facteur k

Dans notre cas nous avons choisi le tableau de (Schwab et al., 1981) pour la détermination de K

Tableau 11: Coefficient K en fonction de type de sol [50]

Classe textural	Teneur en matière organique(%)	
	0.5	2
Sable fin	0.16	0.14
sable très fin	0.42	0.36
sable limoneux	0.12	0.10
sable limoneux très fin	0.44	0.38
limoneux sableux	0.27	0.24
limoneux sableux très fin	0.47	0.41
Sols limoneux	0.48	0.42
Sols d'argile	0.28	0.25
limono-argileux	0.37	0.32
Argile limoneuse	0.25	0.23

Les sols rencontrés dans la zone étant, principalement, argile marne, Calcaires Grés numédiens, marnocalcine.

Les valeurs de K adoptées pour le bassin versant de notre région sont basées sur l'analyse du tableau (11) sont respectivement : 0.03, 0.035, 0.025, 0.032

VI.2.2.4. Le facteur occupation du sol « C » :

La couverture végétale est l'élément essentiel de la protection du sol contre l'érosion. Elle renseigne sur le degré de protection du sol.

En effet la couverture végétale permet la diminution de l'effet "splash sur les sols. De même les racines des arbres et des plantes fixent le sol et favorisent l'infiltration. Les feuilles des plantes en tombant se transforment en matière organique toute chose qui contribue à la cohésion du sol

Le tableau donne les valeurs de C de quelques cultures [51] selon des études adoptées en différentes région du monde :

Tableau 12 : Indice culturel C de quelques cultures

Type de végétation	C
Terre nue, jachère nue	1
Arboriculture fruitière	0,9
Blé d'hiver	0,7
Assolement céréalier	0,4
Fourrages	0,2
Assolement céréalier + fourrages	0,1 à 0,01
Pâturages améliorés	0,01

Les valeurs de C adoptées pour le bassin versant Beni Haroun proviennent à la fois du tableau 12 et la consultation de carte de lithologie de l'Est algérien

Terrain agricole : C = 0.5

Forêt : C = 0.03

Parcours C = 0.1

Zone urbaine C = 0.01

Zone humide C = 0

VI.2.2.5. Le facteur pratiques antiérosives « P » ou facteur de conservation :

Le facteur « P » exprime l'influence des méthodes de conservation sur l'érosion.

N.B : Il n'y a aucune étude de modélisation de ce paramètre.

Seules des observations de terrain pourraient permettre de le calculer par comparaison de la perte de sol avec les pratiques antiérosives et de la perte sur le même sol sans aucune pratique.

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols. Les valeurs de P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente.

Dans la majorité de la surface du bassin versant de Beni Haroun, il n'y a pas d'aménagements antiérosifs spectaculaires. Dans ce contexte, on a adopté la classification de Shin 1999 [52]

Tableau 13 : Indice culturel P en fonction des classes de pentes

Slope (%)	Contouring	Strip Cropping	Terracing
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1.00	0.50	0.20

VI.3. Application du modèle de RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) sous le logiciel ArcGis 10.2.2 :

Les résultats sont résumés dans la figure 37.

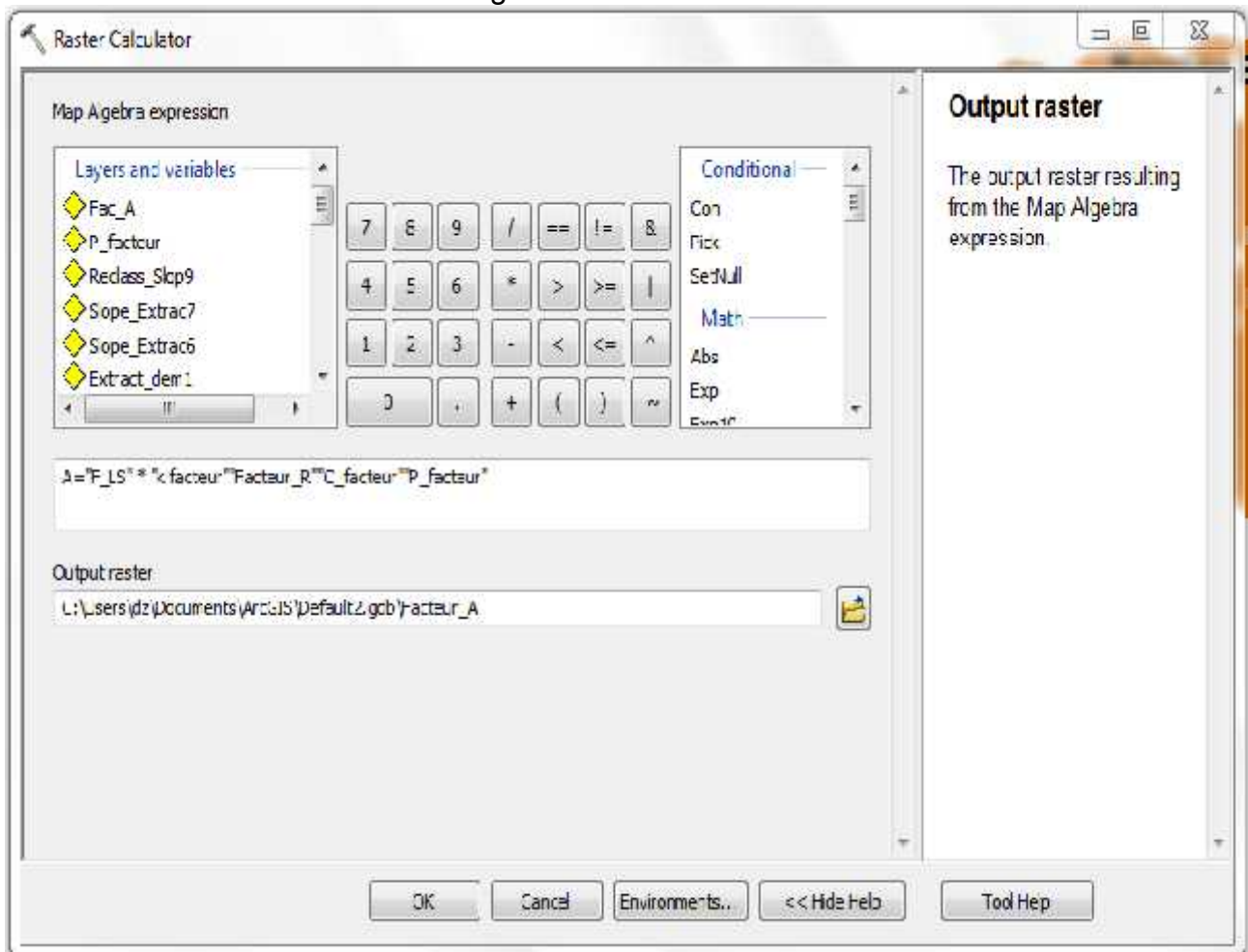
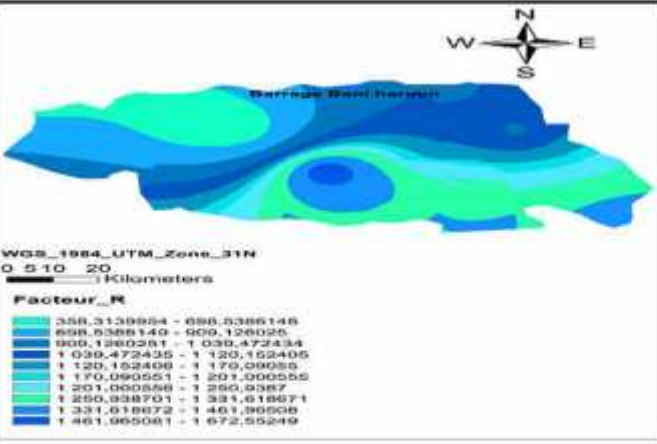
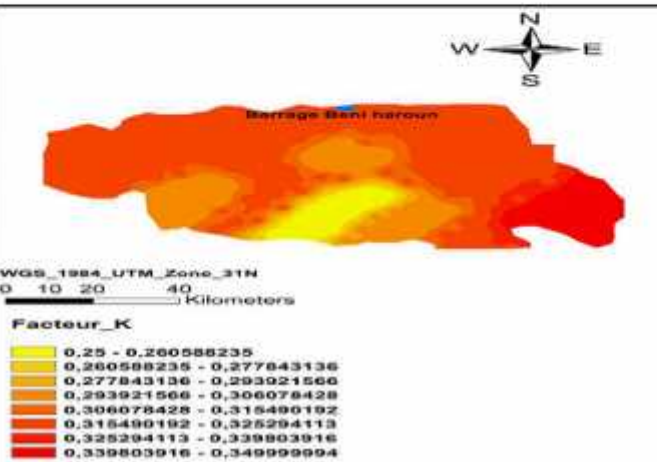


Figure 37 : Application de la formule RUSLE sous Arcgis10.2.2

RUSLE	A
	Egale =
 WGS_1984_UTM_Zone_31N 0 5 10 20 Kilometers Facteur_R 358.3139894 - 698.5388148 698.5388149 - 909.126026 909.1260261 - 1 039.472435 1 039.472435 - 1 120.152406 1 120.152406 - 1 170.09055 1 170.090551 - 1 201.000555 1 201.000556 - 1 260.5387 1 260.538701 - 1 331.616671 1 331.616672 - 1 461.96506 1 461.965061 - 1 672.55249	R = facteur d'érosivité des pluies en MJ/ha*mm/h
	multiplier
 WGS_1984_UTM_Zone_31N 0 10 20 40 Kilometers Facteur_LS 0.030457864 - 0.546149831 0.546149831 - 1.164960192 1.164960192 - 2.660486896 2.660486897 - 4.671686568 4.671686569 - 5.393654323 5.393654324 - 6.21876147 6.218761471 - 7.095437814 7.095437815 - 8.075252562 8.075252563 - 9.622328454 9.622328455 - 13.18060303	LS = facteur topographique (L = facteur de longueur de la pente et S = facteur d'inclinaison de la pente)
	multiplier
 WGS_1984_UTM_Zone_31N 0 10 20 40 Kilometers Facteur_K 0.25 - 0.260588235 0.260588235 - 0.277843136 0.277843136 - 0.293021566 0.293021566 - 0.306078428 0.306078428 - 0.315490192 0.315490192 - 0.325294113 0.325294113 - 0.339803916 0.339803916 - 0.349999994	K = facteur d'érodibilité du sol en t/ha.MJ*ha/mm*h

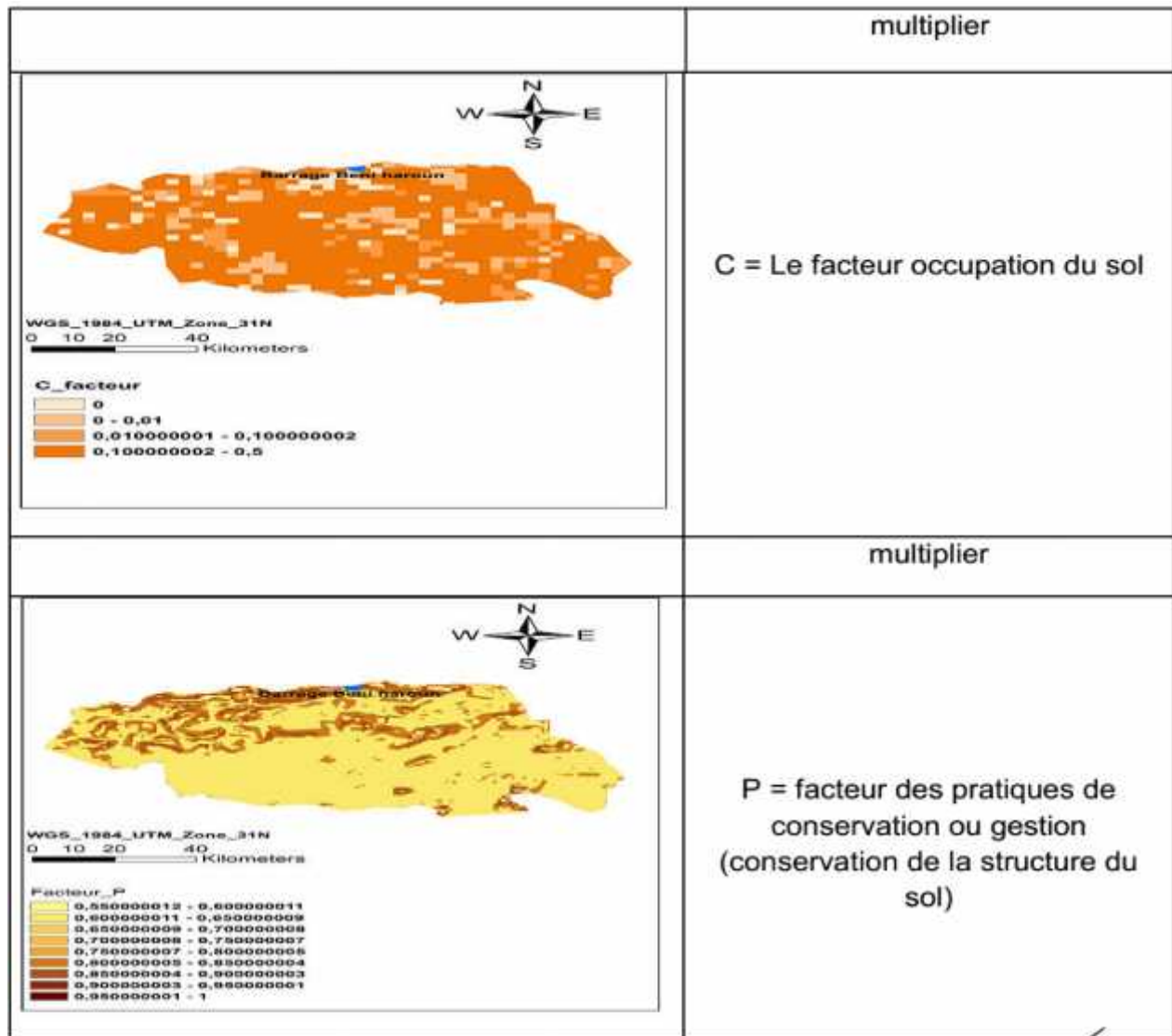


Figure 38 : Procédure conduisant à la Carte de zones à risque d' d'érosion dans le bassin versant de Beni haroun

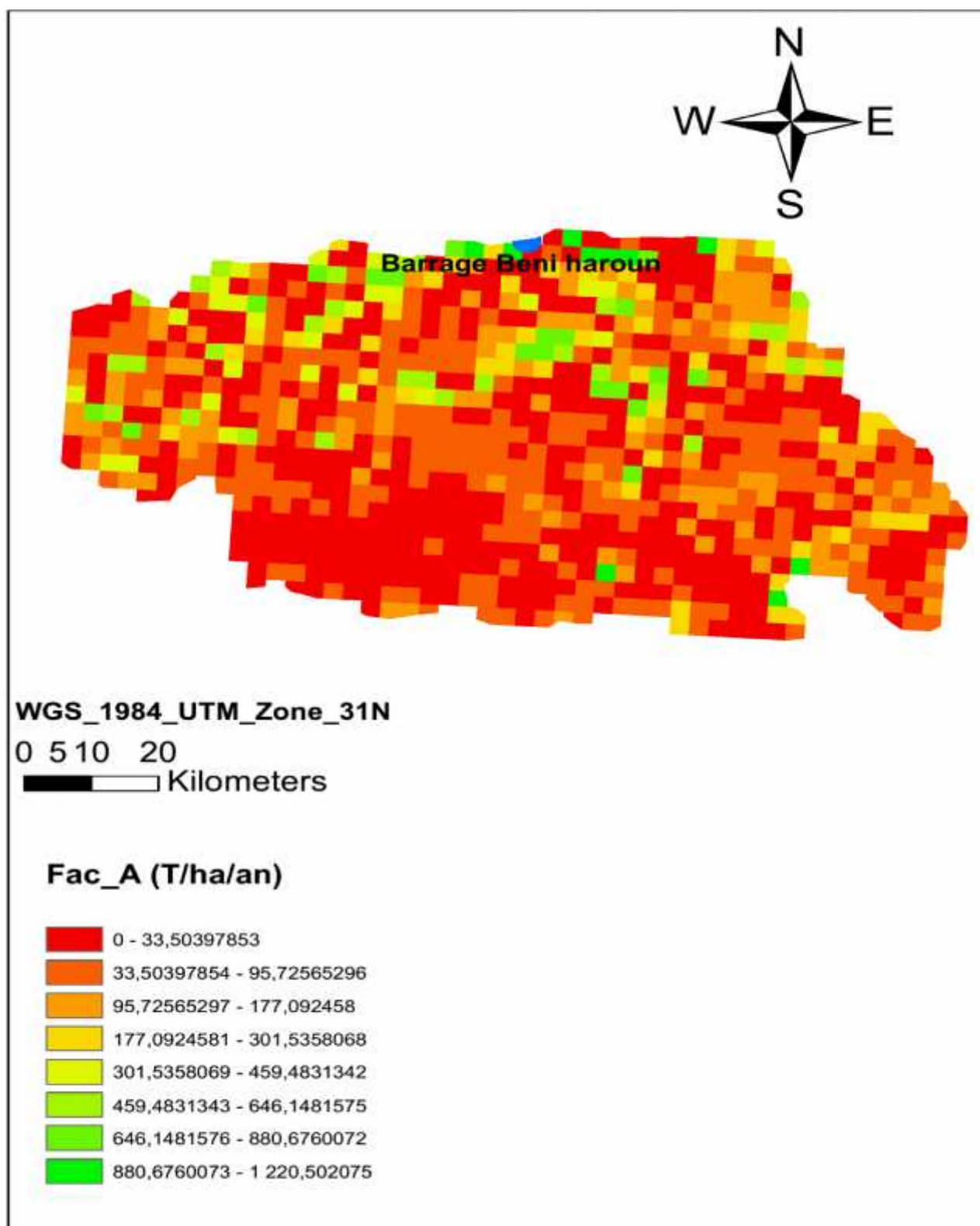


Figure 39 : Carte d'érosion dans le bassin versant de Beni Haroun

VI.4. Discussion de la carte d'érosion

La quantification des pertes en sol au niveau du bassin versant de Beni Haroun a été réalisée à l'aide de l'Equation Universelle des Pertes en Sol (USLE) intégrée dans un Système d'Information Géographique.

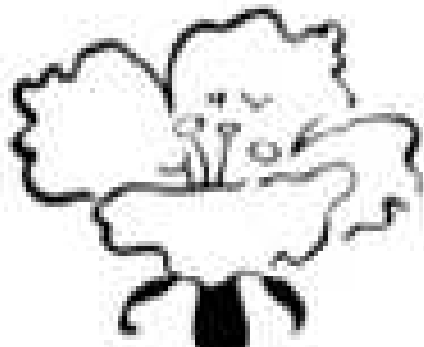
La méthode utilisée, malgré ses limites, apporte une aide importante aux décideurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion.

Les résultats obtenus montrent que les sols du bassin versant de Beni Haroun subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir l'importance des pentes, le faible couvert végétal et l'érodibilité des sols. Ils indiquent également que le bassin versant de Beni Haroun est soumis à une forte érosion avec des pertes variant de 33.5 à 1200.5 t/ha/an, résultats qui impose aux décideurs d'appliquer des méthodes actives et immédiats pour minimiser l'envasement du barrage.

Conclusion

L'érosion hydrique dans le sous bassin versant de Beni Haroun résulte de la conjonction de différents facteurs : crédibilité des sols, érosivité des pluies, raideur du relief et faiblesse du couvert végétal. Les facteurs analysés à l'aide du SIG montrent bien la sensibilité du sous bassin versant de Beni Haroun à l'érosion.

Cette érosion a des conséquences socioéconomiques et environnementales désastreuses. La prise de conscience de la nécessité d'une prise en charge de ce phénomène est ancienne.



Conclusion générale

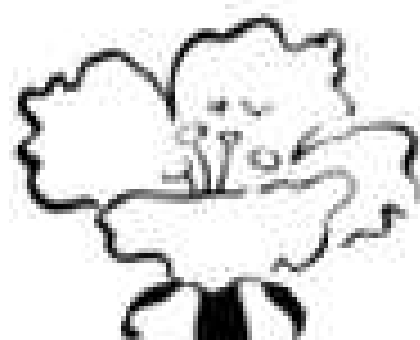
Conclusion générale

L'objectif principal dans cette étude d'une part d'établir les différentes cartes caractéristiques du bassin versant de Beni Haroun, en se basant sur un modèle numérique du terrain et l'utilisation un outil SIG, le logiciel arcGis et global mapper avec des données complémentaires traduites par carte occupation du sol et le logiciel google earth. Et d'autre part de présenter un outil de prise de décision qui peut permettre d'établir des cartes numérisées utiles pour comprendre le comportement hydrologiques des bassins versants, cela économise du temps de travail par rapport aux méthodes qui utilisent également des cartes topographiques.

Les résultats de cette étude montrent l'avantage d'utiliser la technologie des SIG ont permis à l'établissement des différentes cartes thématiques nécessaire dans les études de modélisation hydrologiques et l'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion en zone montagneuses.

Ces cartes pourraient constituer un document de base pour tout aménagement proposé, ainsi a permis d'identifier les zones à risque de l'érosion.

Il ressort ainsi de cette étude que le système SIG permet de gain de temps par rapport aux méthodes anciennes.



Référence bibliographie

Références bibliographiques

- [1] **ANDI.**, 2013 ; Agence Nationale de Développement de l'Investissement
- [2] **RGPH.** ,2008 ; Recensement général sur la population et l'habitat
- [3] **CHAALALM.**,2012 ; Mila la wilaya .Edition Albayazin, Alger. 209p
- [4] **ADE.**, 2013 ; Algérienne des eaux , rapport
- [5] **ZOUAIDIA H.**,2006 ; Bilan des incendies de forêts dans l'est algérien cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras, Mémoire de Magister e en Ecologie et Environnement. 6p
- [6] **METAAI S. BELDI H.**, 2011 ; Evaluation du degré de la contamination par les pesticides des eaux et des sédiments du barrage de béni Haroun (Mila), Mémoire de fin d'études, Université de Jijel. 23 p

- [7] **Google Earth.** Mise a jour (22-03-2016).

- [8] **Bioret F., Estève R., Sturbois A.**, 2010 ; Dictionnaire de la protection de la nature, Presses Universitaires de Rennes. 357p

- [9] **Mebarki A.**, 2005 ; Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Th.Doc., en Hydrologie. Université Mentouri– Constantine. 39, 45, 244p

- [10] **Kerdoud S.**, 2006 ; Basant versant Beni Haroun eau et pollution, Mémoire de Magistère en Aménagement du territoire. Université Mentouri– Constantine. 7, 22, 55, 57p

- [11] **ANBT.**, 2013 ; Agence Nationale des Barrages et Transferts

- [12] **Melghit M.**, 2009 ; Qualité physico-chimique pollution organique et Métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun, Magistère en Ecologie., Université Mentouri– Constantine. 6, 7, 17-20, 26p

- [13] **Bouchareb N.**, 2013 ; Transferts et géochimie de l'azote du phosphore et du silicium des bassins des oueds Kébir-Rhumel, Kébir ouest et Saf-Saf. Th.Doc., en science de la mer .Option : Environnement littoral. Université Badji Mokhtar-Annaba. 28, 30p

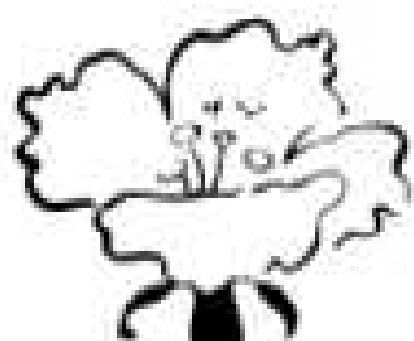
- [14] **Aidat A.**, 2008 ; Typologie de rapports entre la ville de Constantine et sou Rhumel-Boumerzoug, Mémoire de Magister option projet urbain., Université de Mentouri-Constantine. 14p

- [15] **Mebarki A.**, 1982 ; Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie), Hydrologie de surface Et Aménagement des ressources en eau, Th .Doc., Nancy II. 304p
- [16] **Sahli L.**, 2012 ; Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais, Th.Doc en Pollution et Écotoxicologie., Université Mentouri–Constantine. 23, 36, 46p

- [17] **RABIA y.**,2014;Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux du barrage Beni Haroun dans la région de Mila, Mémoire de Master en Biologie.,cente universitaire de Mila. 43p
- [18] **Remini B.**, 2007; La problématique de l'eau en Algérie, office des Publication Universitaires, 2éme Editions.162p.
- [19] **Aissaoui A.**, 2013;Evaluation du niveau de contamination des eaux de barragehammam Grouz de la région d'Oued Athmania (Wilaya de Mila) par les activités agricoles, Mémoire de Magistère en Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement., Université Mouloud Mammeri De TiziOuzou.3p
- [20] **AbdelouahabS,et al.**,2012 ; vulnérabilité des sols forestiers aux incendies , etude des caracteres physico-chimique des sols de la foret(djaafracheraga) commune d'Ain el hadjar de la wilaya de Saïda (Algérie), thèse d'ingéniorat en biologie .,université de Saida. 66p
- [21] **Tefaha S.**,2014;Contribution à la détermination de la méthode optimale pour l'estimation de l'evapotranspiration potentielle dans la region de Mila,Mémoire de licence en Hydraulique., centre universitaire de Mila. 20p
- [22] **Boukezzoula M.**,2014;Contribution à l'étude de l'impact des parameters physico-chimiques sur la biomasse algale dans les deux oued qui alimentent le barrage Beni haroun, Mémoire de Master en Biologie.,centre universitaire de Mila. 32p
- [23] **NCGIA .**, 1990; le Centre Nationale de l'Information Géographique
- [24] **BORDIN Patricia.** SIG concepts, outils et données. Lavoisier, 2002, 259 p
- [25] **TOUIRI.M.N.**, Utilisation des SIG pour l'aménagement de sous bassin versant élémentaire de Sidi M'hammed ben Aouda. Mémoire Magistère .2006.
- [26] **Gillot J-M.**, 2009; Introduction aux systèmes d'information géographique,Agro Paris Tech, Paris.19p
- [27] **Mekmouche I.**, 2014. Contribution d'un SIG à la gestion des ressources hydriques, Mémoire de licence en Hydraulique., centre universitaire de Mila. 5,6p
- [28] **ESRI France.**,2005;Qu'est-ce que Arc Gis 9.1, 124p
- [29] **Rahel M.**,2014; Apport des logiciels SIG dans la morphométrie des bassins versants - l'exemple d'ArcGIS,Mémoire de licence en Hydraulique., Centre universitaire de Mila. 22p
- [30] **Belghidoum S.**, 2014; Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physique d'un bassin versant deMILA est d'Algérie, Mémoire de licence en Hydraulique.,centre universitaire de Mila. 8p
- [31] **Athan T.**, 2010; Quantum GIS, Manuel Utilisation, Version 1,3.'Mimas' Quantum GIS Développement Team.10p
- [32] **Zerouali M.**, 2005; Création d'une base de données du réseau d'assainissement de Chetouane et réalisation des cartes numérisées à l'aide d'un SIG, mémoire pour obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Etat en Hydraulique, Université de Tlemcen.
- [33] **Bencharif I.**, 2014;Utilisation des données satellitaires et du système d'information géographique (SIG) pour la détection des changements du couvert forestier dans la wilaya de Mila « Cas de la Forêt de MOUIAS », Mémoire de Master en Biologie., Université de Mila. 3p

- [34] **Iaat.**, 2003; Cahier méthodologique sur la mise en oeuvre d'un SIG. Territoires numérique, 10p.
- [35] **Habert É.**, 2000; Qu'est-ce qu'un système d'information géographique. IRD. 9p
- [36] **Marmonier P.**, 2002 ; L'information géographique. Ecole nationale des sciences géographiques, Marne La vallée, France. 46p
- [37] **Habib S.**, 2008; Apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau des systèmes aquifères de la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale). Th, Doc Sciences Géologiques., Université de sfax. 11, 12p
- [38] **Ahrich A.**, 2014; Cartographie des caractéristiques physico chimiques des eaux souterraine par un système SIG cas de la wilaya Djelfa, Mémoire de licence en Hydraulique., centre universitaire de Mila. 12p
- [39] **Derouiche A.**, 1994; Tests et limites d'application d'un modèle numérique de terrain de type DEMIURGE à des fins hydrologiques, Mémoire de fin d'étude d'ingénieurs, ESIER / ORSTOM.
- [40] **Ramos F.**, 2003; Modélisation et validation d'un système d'information géographique 3D opérationnel, Th, Doc., Université Marne-La Vallée, France. 48p.
- [41] **Karen.**, 2008; Encyclopedia of geographic information science, SAGE Publications, Inc. 2455 Teller Road Thousand Oaks, California 91320. 98 P
- [42] **ESRI.**, 2009; An overview of linear referencing. Arc GIS 9.1 Web help topic. 40p
- [43] **Boudjemaa M.**, 2012; contribution a l'étude de l'impact de la pollution de l'oued de Saïda sur la qualité des eaux minérales, thèse de magister en hydraulique., université de Mascara. 164p
- [44] **D.G.F.**, Direction générale des forêts 2009
- [45] **Mebarki A., Benabbes C., Boulahbal S., et Bendjaballah H.**, 2001; Le barrage de Beni Haroun (Kébir-Rhumel, Constantinois) : contexte géologique, hydrologique et impacts de l'aménagement, Séminaire sur *La géologie du Grand Constantinois*, 6 et 7 novembre 2001., Université de Constantine, Faculté des Sc. de la Terre
- [46] **Wischmeier WH., Smith DD.**, 1978; Predicting rainfall erosion, Losses: a guide to conservation planning, Agriculture Handbook, vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC. 58p
- [47] **Renard KG., Freimund JR.**, 1994; Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, J Hydrol, 157:287-306. Sadeghi SHR, Singh JK, Das G. 2004. Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction: a case study, IntAgricEng J, 13:1-14.
- [48] **Desmet P., Govers G.**, 1996; "A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscapes units". Journal of Soil and Water Conservation 51. 427-433p

- [49] **Wischmeier WH., 1971**; A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites, Journal of Soil and Water Conservation, 26.189- 193p
- [50] **Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W., and Barnes, K.K., (1981)**; "Soil Water Conservation Engineering (3rd ed.), Wiley. New York.
- [51] **MASSON J M., 1971**; L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse., Université des Sciences et Techniques de Languedoc. 213 p
- [52] **Shin, G.J., 1999**; "The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS", Ph.D. Dissertation., Department of Civil Engineering, Gang-won National University.



Annex

Annexe :

Tableau 1: La série pluviométrique (2004 à 2014) station de Beni Haroun

Année	Total
2004	794
2005	686.1
2006	527.1
2007	635.4
2008	487.4
2009	828.7
2010	612.5
2011	616.3
2012	538.5
2013	859
2014	706

Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles (2004 à 2014) station de Beni Haroun

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
P _{moy} (mm)	39.39	42.67	92.36	110.26	79.86	96.19	88.7	55.62	36.16	14.36	1.69	5.53

Tableau 3 : Les précipitations saisonnières

Mois	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
Moyenne saisonnière	174.42	286.31	180.48	21.58	662.80
%	26.32	43.20	27.23	3.25	100

Tableau 4: Température moyenne mensuelle en °C à la station de Beni-Haroun (2004-2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T _{min} (°C)	23,7	21	15,9	11,8	9,8	8,9	11,2	13,7	16,7	19,6	22	23,8
T _{max} (°C)	28,3	26	19,1	14,7	13,6	14,8	18	19,5	23,4	26,8	29,8	31,8
T _{moy} (°C)	26	23,5	17,5	13,3	11,7	11,9	14,6	16,6	20,1	23,2	25,9	27,8

Station beni haroun

Tableau 5 : températures et précipitations moyennes mensuelles (2004 à 2014) station de Beni Haroun

Mois	Précipitations (mm)	Température (°C)
Septembre	39.39	26
Octobre	42.67	23,5
Novembre	92.36	17,5
Décembre	110.26	13,3
Janvier	69	11,7
Février	96.19	11,9
Mars	88.7	14,6
Avril	55.62	16,6
Mai	36.16	20,1
Juin	14.36	23,2
Juillet	1.69	25,9
Aout	5.53	27,8

Tableau 6 : Répartition de la superficie en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Superficie partielle (km²)	Superficie partielle en %	Superficie cumulée en %
169 - 200	16	0,21703744	100
200 - 400	423	5,73792729	99.78296256
400 - 600	857	11,6250678	94.04503527
600 - 800	1969	26,7091698	82.41996747
800 - 1000	3160	42,8648942	55.71079767
1000 - 1200	814	11,0417797	12.84590347
1200 - 1400	127	1,72273467	1.80412377
1400 - 1669	6	0,08138904	0.0813891

Tableau 7: Calcul de l'altitude moyenne

Elévation courbe de niveau(m)	Aire entre deux courbe de niveau (km ²)A _i	altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] h _i	$\frac{A_i * h_i}{S}$
169-200	16	184.5	0.4
200-400	423	300	17.21
400-600	857	500	58.12
600-800	1969	700	186.96
800-1000	3160	900	385.78
1000-1200	814	1100	121.45
1200-1400	127	1300	22.39
1400-1669	6	1534.5	1.24

Tableau 8 :classification de relief selon la méthode de ORSTOM selon la dénivelée spécifique D_s

Classe	Type de relief	Ds
R1	Relief très faible	10
R2	Relief faible	10 –25
R3	Relief assez faible	25 - 50
R4	Relief modéré	50 - 100
R5	Relief assez fort	100 - 250
R6	Relief fort	250 -500
R7	Relief très fort	+ 500

Tableau 9:Rapport de confluence et longueur des cours d'eaux.

Nom de bassin versant	Ordre	Nombre	Longueur de cours d'eau (km)
BENI HAROUN	1	825	1034
	2	314	467
	3	115	188
	4	74	146
	5	46	90
	6	1	1

Tableau10 : Calcul de l'érosivité R

Stations	X(m)	Y(m)	P annuelle (mm)	R (MJ/mm / ha. H. an)
Beni Haroun	261981.95	4050695.91	662.8	1684.12
Ain bey	293402.27	4016108.08	533,9	1188.93
Oued el atmania	256129.05	4015069.88	470	968.33
Ferdjioua	764160.77	4033336.11	463,8	947.85
BeniGuecha	768420.07	4031587.98	492	1042.34
Chelghoum-Laid	245155.1	4006266.67	250	350.45
Hamma Bouziane	284466.01	4032324.63	538	1203.67

Tableau 11: Coefficient K en fonction de type de sol

Classe textural	Teneur en matiere organique(%)	
	0.5	2
Sable fin	0.16	0.14
sable très fin	0.42	0.36
sable limoneux	0.12	0.10
sable limoneux très fin	0.44	0.38
limoneux sableux	0.27	0.24
limoneux sableux très fin	0.47	0.41
Sols limoneux	0.48	0.42
Sols d'argile	0.28	0.25
limono-argileux	0.37	0.32
Argile limoneuse	0.25	0.23

Tableau 12 : Indice culturel C de quelques cultures

Type de végétation	C
Terre nue, jachère nue	1
Arboriculture fruitière	0,9
Blé d'hiver	0,7
Assolement céréaliier	0,4
Fourrages	0,2
Assolement céréaliier + fourrages	0,1 à 0,01
Pâturages améliorés	0,01

Tableau 13 : Indice culturel P en fonction des classes de pentes

Slope (%)	Contouring	Strip Cropping	Terracing
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1.00	0.50	0.20