

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة والحياة
المكتبة
رقم الجرد : 2564



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الأرض و الكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en
Géologie

Option : Eau Et Environnement
Thème

*Utilisation de la télédétection et du SIG pour la
modélisation hydrologique du bassin versant d'oued
Djendjen Nord Est de l'Algérie*

Membres de Jury

Président : KESSASRA Farès

Examineur: DEBIECHE Taha-Hocine

Encadrant : CHEDDAD Souhila

Présenté par:

Kamil Imane

Tafer Rafika



Année Universitaire 2017-2018

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Résumé

Dans tous les domaines s'intéressant à l'étude de phénomènes spatialisés, un besoin en automatisation émerge, notamment pour les structures géographiques de types « réseaux », vue leur organisation systémique de l'espace qui n'est pas explicitée dans les bases de données géographiques (Paget et al, 2008). Dans l'optique de satisfaire ce besoin d'automatisation, le recours à l'utilisation des Systèmes d'informations géographiques s'est avéré rentable (Hocine et al, 2007 ; Charleux et al, 2000). Le présent travail décrit une méthodologie d'exploitation des données MNT SRTM permettant une extraction du réseau hydrologique à l'aide de deux outils SIG d'ArcGis 10.2 (ArcHydro et Analyse spatiale) et les techniques de la télédétection pour une modélisation d'un phénomène hydrologique (érosion hydrique), en appliquant le modèle de RUSEL, sur le bassin versant d'oued Djendjen. Ceci, consiste à évaluer et protéger les ressources en eau face à un risque environnemental: l'érosion hydrique des sols qui menace le futur barrage de Tabellout.

À l'issue de ce travail, on a constaté que les résultats obtenus sont très satisfaisantes en matière de la détermination des caractéristiques du bassin versant. On a constaté aussi que la région, est en grande partie montagneuse, présente de potentialités en eaux, principalement constituées en eau de surface.

Les résultats obtenus lors de l'application de l'équation Universelle de Perte de Sol Révisée (RUSLE) montrent que le bassin étudié possède un potentiel érosif très élevé.

Les pratiques antiérosives proposées diminuent efficacement ce phénomène.

Mots clés : *SIG, Modélisation, Télédétection, MNT SRTM, Erosion hydrique, RUSEL, Bassin versant d'oued Djendjen.*

Abstract

In all domains interested in the study of spatial phenomena, a need for automation emerges, especially for the geographic structures of "network" types, given their systemic organization of space that is not explained in the databases of geographical data (Paget and al, 2008). In order to meet this need for automation, the use of Geographic Information Systems has proven profitable (Hocine and al, 2007, Charleux and al, 2000). The present work describes a methodology of exploitation of the digital elevation model (DEM SRTM data) allowing an extraction of the hydrological network by means of two tools GIS of ArcGis 10.2 (ArcHydro and spatial analyst tool) and the techniques of the remote sensing for a modelization of a hydrological phenomenon (soil erosion), applying the RUSEL model, on the Oued Djendjen watershed. This consists of evaluating and protecting water resources in the face of environmental risks: water erosion of the soil, which causes silting of the future Tabellout dam.

At the end of this work, it was found that the results obtained are very satisfactory in terms of the determination of the characteristics of the watershed. It has also been found that the region is largely mountainous and has water potential, mainly consisting of surface water.

The results obtained from the application of the Revised Universal Ground Loss Equation (RUSLE) show that the studied basin has a very high erosive potential. The proposed anti-erosive practices effectively reduce this phenomenon.

Key Words: *GIS, Modelization, Remote sensing, DEM SRTM, Soil erosion, RUSEL, Oued Djandjen watershed.*

ملخص

في جميع المناطق المعنية بدراسة الظواهر المكانية، تبرز حاجة التشغيل الآلي، وخاصة بالنسبة للهياكل الجغرافية من نوع "شبيكات" نظرا لمنظمتهم النظامية المساحية التي لم يتم شرحها في أساسيات البيانات الجغرافية (باجيت وآخرون ، 2008). من أجل تلبية هذه الحاجة للنمذجة ، أثبت استخدام نظم المعلومات الجغرافية أنه مربح (حسين و آخرون, 2007 , شارلو و آخرون, 2000).

يصف هذا العمل منهجية استغلال بيانات نموذج الارتفاعات التي تسمح باستخراج الشبكة الهيدرولوجية باستخدام اثنين من أدوات نظام المعلومات الجغرافية ارك جيس 10.2 (ارك هيدرو والتحليل المكاني) وتقنيات الاستشعار عن بعد من أجل نمذجة ظاهرة هيدرولوجية : الحت المائي على مستوى الحوض الهيدروغرافي لواد جنجن.

على ضوء هذا العمل، وجدنا أن النتائج المتحصل عليها مرضية للغاية من حيث تحديد خصائص الحوض الهيدروغرافي لواد جنجن. ووجد أيضا أن المنطقة جبلية إلى حد كبير ولديها إمكانات مائية، تتكون أساسا من المياه السطحية.

كما ان النتائج المتحصل عليها من استخدام المعادلة الأرضية المعدلة للتراجع الأرضي تظهر ان الحوض المدروس لديه إمكانات تأكل عالية جدا. تقلل الممارسات المقترحة للتأثيرات المضادة بشكل فعال.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية, استشعار عن بعد, نموذج الارتفاعات, الحت المائي, حوض هيدروغرافي واد جنجن.

Sommaire

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Abbreviations	

Introduction Générale 1

Partie I: Présentation Générale du Bassin Versant d'Oued Djendjen

Introduction	3
I.1. Situation géographique de la région de Jijel	3
I.1.1. Situation géographique de la plaine de l'oued Djendjen.....	3
I.2. Caractéristiques du bassin versant d'Oued Djendjen	5
I.5. Climat	6
I.4. Relief	8
I.2.1. Les zones des plaines	8
I.2.2. Les zones de montagne	8
I.3. Agriculture	9
I.4. Ressources hydriques	9
I.5. Ressources forestières	10
I.6. Géologie de la région de Jijel.....	10
a) Domaine interne	11
b) Domaines des flyschs	12
c) Domaine externe :	13
I.7. Stratigraphie du bassin versant.....	14
I.7.1. Les formations de l'Ere Primaire	14
I.7.2. Les formations de l'Ere Secondaire :	14
I.7.3. Les formations de l'Ere Tertiaire	15
I.7.4. Les formations d'ère Quaternaire.....	16
I.7.5. Le bassin Olistostromique de la région de Jijel.....	16
Conclusion	16

Partie II: Moyens et méthodes

Introduction	18
II.1. Les moyens	18
II.1.1. Le modèle numérique de terrain(MNT).....	18
a) Définition.....	18
b) Usages du MNT.....	19
c) Les erreurs des MNT	20
d) Élaboration du Modèle Numérique de Terrain (MNT)	20
e) La mission SRTM.....	21
II.1.2. Les images satellitaires Landsat.....	24
a) Les bandes spectrales de l'instrument OLI (Operational Land Imager)	25

b) Les bandes spectrales de l'instrument TIRS (Thermal Infrared Sensor)	25
II.1.3. Les données climatiques	26
II.1.4. Présentation du logiciel ArcGis	28
a) L'outil ArcHydro	29
b) Extension Analyse Spatial (Spatial Analyst).....	30
II.2. Méthode	30
II.2.1. Téléchargement des données de bases	30
II.2.2. La modélisation hydrologique sous ArcGis.....	32
II.2.3. Estimation de l'érosion hydrique	33
Conclusion.....	34
Partie III: Résultats et discussions	
Introduction	36
III.1. Caractéristiques du bassin versant d'Oued Djendjen	36
III.1.1. Génération du réseau hydrographique du bassin versant.....	36
a) Traitement des dépressions et les zones plates	36
b) Détermination de la direction de l'écoulement.....	37
c) Détermination de l'accumulation du flux (flow accumulation).....	39
d) Identification et segmentation du courant.....	41
III.1.2. Superposition des différents types du réseau hydrographique.....	41
III.1.3 Plans d'informations dérivés du MNT	43
III.1.3.1. Caractéristiques morpho métriques du réseau hydrographique.....	43
a) Hiérarchisation du réseau hydrographique	43
b) Rapport de bifurcation.....	44
c) La densité de drainage.....	46
III.1.3.2. Caractéristiques géométriques.....	47
a) La forme	48
b) Etude du relief	49
c) Indices de pente et relief.....	52
III.2. Estimation de l'érosion hydrique par le modèle RUSEL	54
III.2.1. Facteur d'agressivité climatique (R).....	54
III.2.2. Facteur d'érodabilité du sol (K).....	56
III.2.3. Facteur topographique (LS).....	60
a) Génération de la carte des pentes.....	60
b) Calcul de la longueur des pentes (L)	64
c) Calcul du facteur topographique (LS)	67
III.2.4. Facteur du couvert végétal (C)	69
a) Interprétation et analyse visuelle des images satellites	69
b) Analyse de la carte de l'indice de végétation normalisé (NDVI)	70
c) Analyse automatique de l'image satellite.....	71
• Classification non supervisée	71
• Classification supervisée	75
d) Intégration des valeurs du facteur culturelle «C»	77
III.2.5. Facteur des pratiques anti-érosifs (P)	78
III.2.6. Estimation de l'érosion hydrique.....	78
Conclusion.....	81

Conclusion générale et recommandations	83
Références bibliographiques.....	86

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau II.1 : Caractéristiques des données SRTM	24
Tableau II.2 : Bandes spectrales OLI de Landsat 8	25
Tableau II.3 : les bandes spectrales TIRS de Landsat 8	26
Tableau II.4 : Cordonnées des stations climatiques	26
Tableau II.5 : La variation moyenne mensuelle des précipitations	27
Tableau III.1 : Rapport de bifurcation du réseau hydrographique	45
Tableau III.2 : Estimation de la densité de drainage	46
Tableau III.3 : Comparaison entre les surfaces des bassins versants	47
Tableau III.4 : Caractéristiques géométriques du sous bassin versant d'oued Djendjen	48
Tableau III.5 : Répartition hypsométrique du BV2	49
Tableau III.6 : Répartition hypsométrique du BV3	50
Tableau III.7 : les caractéristiques d'altitude des bassins versants	52
Tableau III.8 : Valeurs de l'indice de pente globale	53
Tableau III.9 : Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM	53
Tableau III.10 : Classification du relief selon D_s par l'ORSTOM	54
Tableau III.11 : Valeurs du facteur d'érosivité des pluies (R moyen)	55
Tableau III.12 : Surfaces occupées par les classes des valeurs du facteur R	56
Tableau III.13 : Caractéristiques des sols occupant la zone d'étude	58
Tableau III.14 : Répartition des surfaces de valeurs K	60
Tableau III.15 : Classification des pentes d'après Young (1972)	61
Tableau III.16 : Classification des classes de pente selon Young avec la superficie occupée	61
Tableau III.17 : Catégories de l'occupation du sol issues de la classification non dirigée	73
Tableau III.18 : Distribution de la fréquence des valeurs du facteur C	78
Tableau III.19 : Distribution des fréquences du risque de l'érosion hydrique du sol obtenu par RUSLE	80

Listes des figures

Titre	Page
Fig.I.1 : Situation géographique de région de Jijel	04
Fig.I.2 : Le bassin versant côtier constantinois	05
Fig. I.3 : Le bassin versant d'Oued Djendjen	06
Fig. I.4 : Extrait de la carte des isohyètes (ANRH, 2005)	07
Fig. I.5 : Relief de la Wilaya de Jijel	09
Fig. I.6: Schéma structural simplifié des Maghrébides (Durand Delga, 1969)	11
Fig. I.7 : Carte lithologique du bassin versant d'oued Djendjen	15
Fig. II.1 : Le modèle numérique de terrain	18
Fig. II.2 : Organigramme du processus d'élaboration du MNT sous ArcMap	21
Fig. II.3 : Carte de localisation des stations pluviométriques	27
Fig. II.4 : Variations moyennes mensuelles des précipitations	28
Fig. II. 5 : La barre d'outils Arc Hydro	29
Fig. II.6 : Délimitation d'une région sur la carte sur le site	31
Fig. II.7 : Visualisation des données sur le site	32
Fig. II.8 : Les extensions offertes pour télécharger les données	32
Fig. II.9 : Diagramme de modélisation des informations hydrologiques	33
Fig. II.10 : Organigramme méthodologique de l'intégration de RUSLE dans le SIG	34
Fig. III.1 : Codage de la direction de flux	37
Fig. III.2 : Grille de la direction d'écoulement	38
Fig. III.3 : Logique suivie pour la génération de la grille d'accumulation d'écoulement	39
Fig. III.4: Grille d'accumulation d'écoulement	40
Fig. III.5 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen	41
Fig. III.6 : Comparaison entre les différents réseaux hydrographiques	42
Fig. III.7 : Distribution des ordres oueds virtuelles	43
Fig. III.8 : Hiérarchisation du réseau hydrographique	44
Fig. III.9 : Organigramme montrant la démarche utilisée pour la détermination des paramètres	48
Fig. III.10 : Courbe hypsométrique du BV2	50
Fig. III.11 : Courbe hypsométrique du BV3	51
Fig. III.12 : Carte d'érosivité de pluie (Facteur R)	55
Fig. III.13 : Carte pédologique téléchargée à l'aide du logiciel HWSO-Viewer	57
Fig. III.14 : Carte pédologique du sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen (BV2)	58
Fig. III.15: Histogramme de la portion des surfaces occupées par les classes de pentes	62
Fig. III.16 : Carte de pente exprimée en degré (classification admise par Young, 1972)	63
Fig. III.17 : Carte de pente exprimée en pourcentage	64
Fig. III.18 : Carte de longueur de pente (Flow Length)	65
Fig. III.19: Carte de longueur de pente reclassée	66
Fig. III.20 : Carte des valeurs du facteur topographique (LS)	67
Fig. III.21 : Carte du facteur LS reclassé	68
Fig. III.22 : Superposition des trois couches	68
Fig. III.23 : Répartition spatiale de l'indice de végétation (NDVI)	71
Fig. III.24 : Classification non supervisée de l'image Landsat 8	72
Fig. III.25 : Regroupement des classes de la classification non supervisée en 4 catégories	74
Fig. III.26 : Étapes de la classification supervisée d'après Caloz et Collet (2001)	76
Fig. III.27 : Carte d'occupation du sol	77
Fig. III.28 : Erosion hydrique obtenu par la méthode RUSLE	79
Fig. III.29: Carte de risque d'érosion hydrique reclassé obtenu par la méthode RUSLE	80

Abréviations

SIG : système d'information géographique

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

MNT : modèle numérique de terrain

NDVI : indice de végétation

Mj.mm/ha.h.an : méga Jule. Millimètre/ hectare.heure.Année

Km : kilomètre

SBV : sous bassin versant

Dd : densité de drainage

Rb : rapport debifurcation

ANRH : agence nationale des ressources hydriques

BV : bassin versant

RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation

Introduction Générale

La gestion et la préservation de la ressource en eau constitue une préoccupation mondiale majeure (Mutin, 2009; Louise, 2007), et tout spécialement dans les pays du Sud de la méditerranée qui sont mis à l'épreuve compte tenu de la croissance des besoins en eau (développement industriel, accroissement démographique...), aux risques de pollutions, aux changements climatiques,...

D'un point de vue méthodologique, la modélisation hydrologique semble offrir un grand potentiel d'analyse spatiale. Toutefois parmi les classes de modèles, seuls les modèles physiques considèrent la dimension spatiale comme variable. La topographie et la terre couverture sont les deux principaux composants spatiaux impliqués dans ce type de mode. La production d'un MNT pertinent nécessite l'utilisation de procédures d'interpolation itératives. La couverture terrestre et ses changements peuvent être surveillés et entrés dans la modélisation des images de télédétection à travers une végétation normalisée.

Les méthodes et les techniques cartographiques classiques appliquées dans les études hydrologiques à l'échelle du bassin versant sont fastidieuses et prennent beaucoup de temps. Ces dernières années sont marquées par un essor de l'information géographique et un fort développement des techniques et des outils de l'informatique et dans des modèles numériques de terrain. De ce fait, le recours à des méthodes numériques est devenu un passage obligé, afin de résoudre la problématique en matière d'exploitation des eaux superficielles. En outre, la cartographie numérique sous forme du modèle numérique de terrain (MNT), est utilisée depuis les années cinquante dans plusieurs domaines, en particulier les géosciences (Miller et Laflamme, 1958).

Objectif du mémoire :

Ce projet de fin étude a pour objectif principal d'élaborer un système d'information géographique (SIG) accompagné par une analyse multicritère comme un outil d'aide à la gestion des hydro systèmes dans le bassin versant d'oued Djendjen en matière de la modélisation du réseau hydrographique, de la génération automatique du bassin versant, de la détermination de ces caractéristiques et de la protection des ressources contre le risque d'érosion hydrique, en utilisant le modèle de terrain numérique et les techniques de la télédétection comme une source d'information.

On s'est intéressé à l'étude du réseau hydrologique, qui constitue un élément clef pour toutes opérations de planification (Le Pape, 1998 ; Paget *et al*, 2008). Nous proposons une

méthodologie permettant l'extraction et la délimitation des bassins versants à l'aide d'un système d'information géographique. Plus précisément, nous utiliserons un SIG pour traiter des données SRTM, à partir des modèles numériques de terrain, nous extrairons une représentation du réseau hydrologique. Cela permettra la délimitation et la caractérisation des différents bassins, qui constituent un élément clef pour toute gestion hydrologique (Bentekhici, 2006 ; Fossey, 2008). La modélisation hydrologique est faite sous ArcGis 10.2.

Le deuxième axe de notre recherche est l'estimation du risque de l'érosion hydrique sur la bassin versant d'Oued Djendjen en appliquant l'équation universelle révisée de perte de sol dite RUSEL.

De plus, nous avons utilisé les techniques de la télédétection comme un outil d'aide pour extraire toute sorte d'information contenues aux seins des images satellitaires. Il s'agit de la carte d'occupation du sol et la cartographie de l'indice de végétation normalisé (NDVI).

Ce SIG, devrait donc permettre aux gestionnaires de connaître, de gérer et d'analyser toutes les couches d'informations pour arriver à des solutions et des suggestions les plus favorables et réalisables sur tous les plans : techniques, financiers, politiques, environnementaux. Ce SIG, va permettre aux décideurs d'éviter d'être submergés par un excès d'information.

Présentation générale du mémoire :

Notre étude s'articulera en trois parties principales :

- La première partie : Présentation générale du bassin versant d'Oued Djendjen, dans laquelle nous donnons des informations générales sur ce bassin versant, de sa situation géographique, de ces caractéristiques, des ressources naturelles, de la géologie,...
- La deuxième partie : Moyens et méthodes, dans cette partie nous donnons des définitions des moyens exploités pour l'élaboration de ce travail. Il s'agit de la définition du MNT et de ces caractéristiques, de la définition des images satellitaires et de ces caractéristiques, des données climatiques et une explication de la méthodologie suivie pour l'élaboration de ce travail.
- La troisième partie : Résultats et discussion, cette partie consiste en la présentation des résultats obtenus et de leur interprétation.

Nous terminons notre travail par une conclusion et des recommandations.

*Partie I : Présentation Générale du
Bassin versant d'oued Djendjen*

Introduction

Dans cette partie nous donnons une présentation générale du bassin versant d'Oued Djendjen, elle consiste à une exposition de la situation géographique de la région d'étude et ses caractéristiques : le relief, les ressources hydriques, le climat et la géologie et de différentes activités exercées dans cette région.

I.1. Situation géographique de la région de Jijel

La wilaya de Jijel se situe sur la côte méditerranéenne au Nord - Est de l'Algérie, à 360 km l'Est d'Alger et à 144 km au Nord-Ouest de Constantine (Fig. I.1). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud - Est par la wilaya de Constantine et au Sud - Ouest par la wilaya de Sétif. La wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest.

I.1.1. Situation géographique de la plaine de l'oued Djendjen

La plaine de l'oued Djendjen est située dans la région de Jijel, au Nord Est de l'Algérie (Fig.I.2). Elle est distante de 360 Km à l'Est d'Alger et bordée au Nord par la mer Méditerranée. L'examen de la carte topographique montre que le bassin versant de l'oued Djendjen est entouré par des monts dont l'altitude varie de 226 mètres à 1992 mètres. A l'arrière du bassin versant, le massif des Babors, s'élève de façon abrupte, jusqu'à 2004 mètres d'altitude. Cette chaîne montagneuse présente un relief très accidenté, compartimenté par des gorges profondes, empruntées par les oueds.

Selon le découpage hydrographique de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), l'oued Djendjen appartient au bassin versant « côtiers constantinois » du Nord Est algérien. Son code est [03-04].

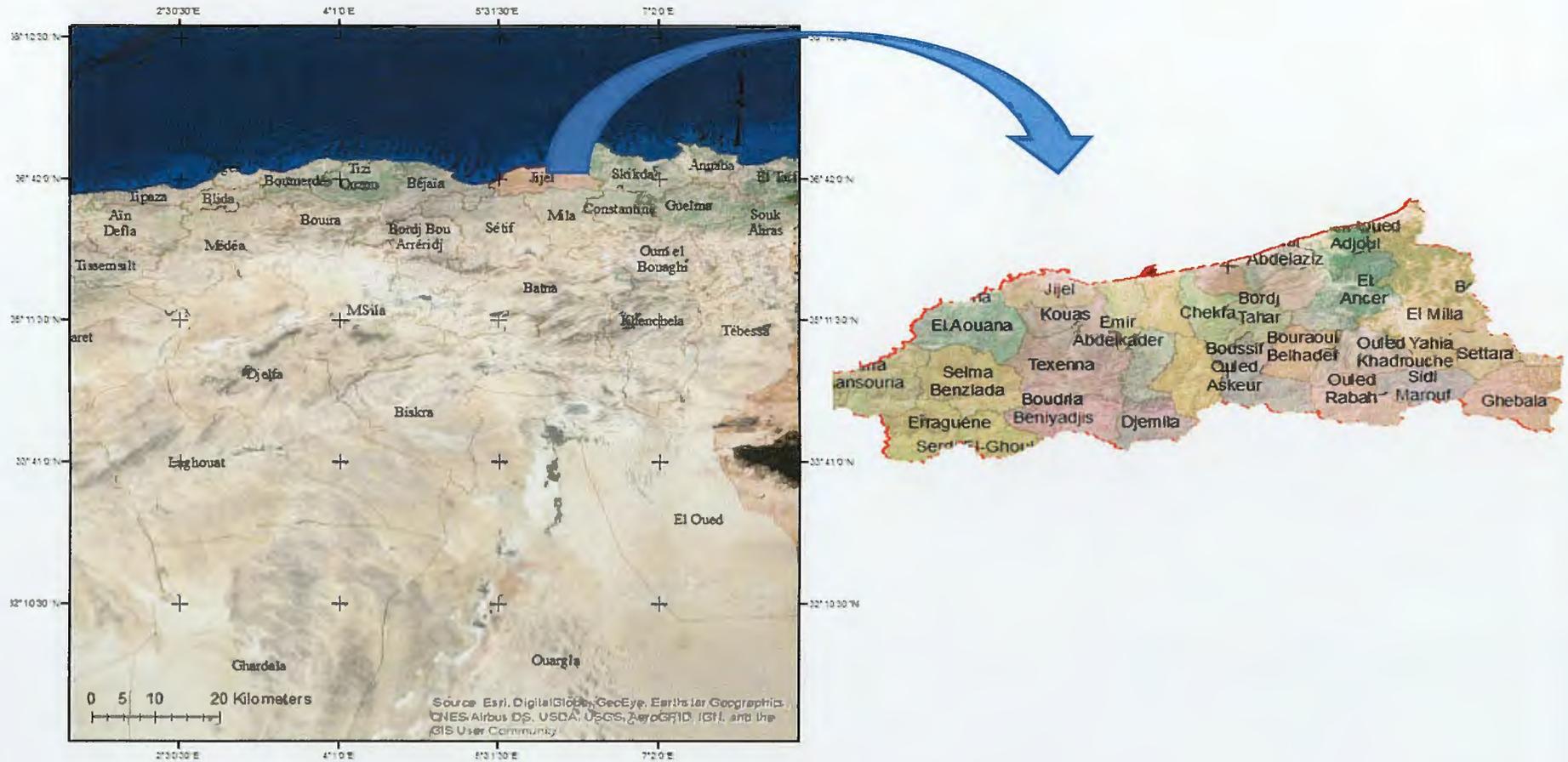


Fig.I.1 : Situation géographique de région de Jijel

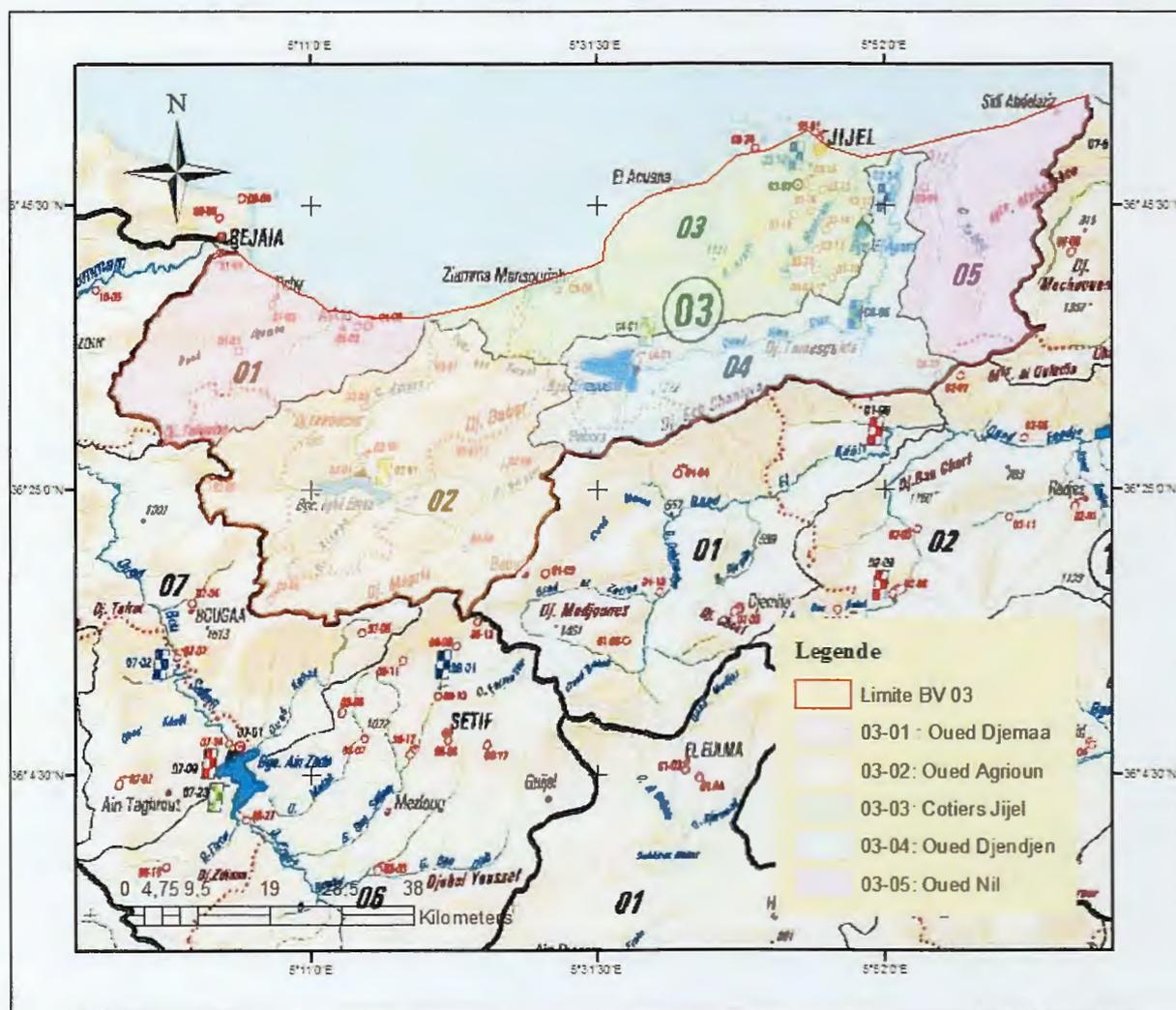


Fig.I.2 : Le bassin versant côtier constantinois

I.2. Caractéristiques du bassin versant d'Oued Djendjen

Le sous bassin versant de l'oued Djendjen couvre une superficie de 530 Km² (Fig. I.3). Il est situé entre la latitude 36°22' et 36°48' Nord et la longitude 5°30' et 5°58' Est.

Les paramètres morphométriques (Indice de compacité de Gravillius $K=1.26$ et indice de pente global $I_g = 20\%$) définissent un bassin versant de forme allongée, caractérisé par un fort ruissellement. Son altitude moyenne est de 876 m.

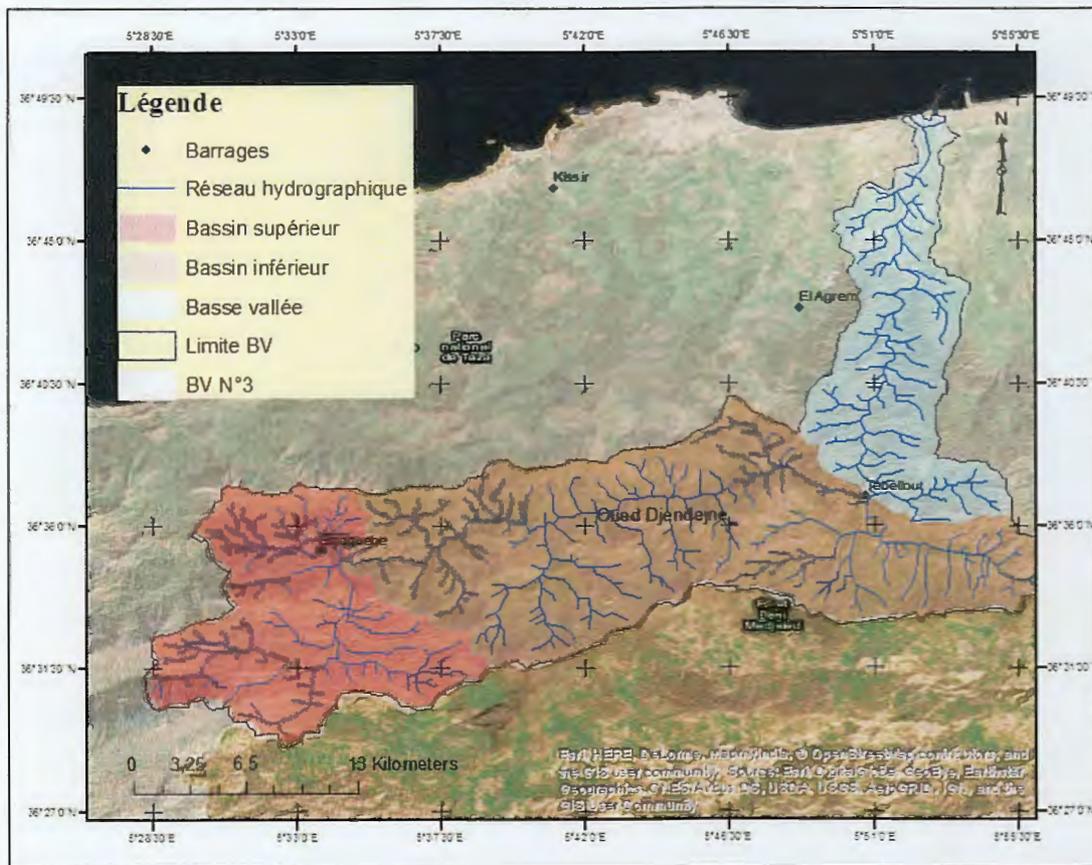
Le BV d'oued Djendjen est découpé en trois sous bassin : la basse vallée (d'une superficie 124,31 Km²), le bassin inférieur (d'une superficie de 271,85 Km²) et le bassin supérieur (131,68 Km²) (Fig. I.3).

La longueur de l'oued principal est de 29.2 km. Il a d'abord une direction Ouest Est, jusqu'à la station hydrométrique de Missa (Tablout), puis s'oriente Sud – Nord, jusqu'à la mer. Le réseau hydrographique est dense, traduisant un drainage élevé.

Avant de s'ouvrir sur les plaines littorales, l'oued Djendjen est très encaissé à l'amont, empruntant des ravins qui entaillent les reliefs de Texanna et Thar Oussaf. Parmi ses affluents Principaux, citons : les oueds Agoug, Reha et Zatout.

L'oued Djendjen prend naissance dans la chaîne Babor. La présence à l'amont de seuils rocheux particulièrement résistants à l'érosion ; les grès, les gneiss et les schistes, accroît la force du ruissellement et induit des débits de crues instantanées, élevés.

La pente de l'oued Djendjen s'adoucit et s'estompe d'avantage en pénétrant dans la plaine avale où elle devient plus faible. Ceci va provoquer, à ce niveau, un ralentissement de la vitesse d'écoulement qui aura une incidence sur les relations des eaux superficielles avec la nappe. (Boucenna, 2008)



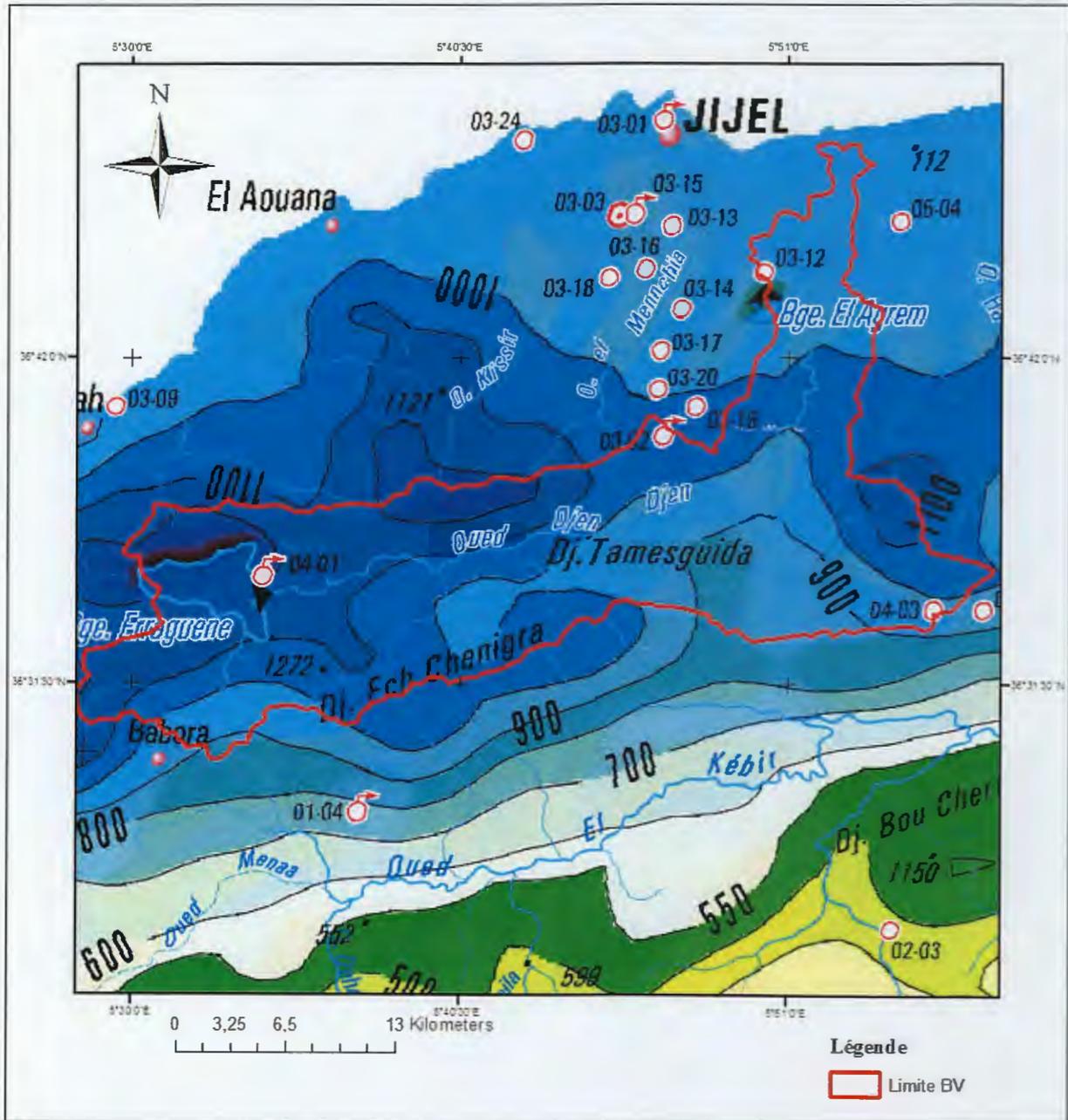
Source : ANRH

Fig. I.3 : Le bassin versant d'Oued Djendjen

I.5. Climat

La zone d'étude appartient au milieu méditerranéen subissant l'influence de la mer méditerranéenne dans la partie septentrionale de la wilaya. Elle est caractérisée par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide. Comme toutes les régions du littoral algérien, elle bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux et humide caractéristique des

zones méditerranéennes au niveau de la plaine littorale, et frais ou froid au sud, notamment sur les hautes altitudes où les gelées sont fréquentes (Kirat, 2006). Elle compte parmi les régions les plus arrosées d'Algérie, la pluviométrie étant de 1000 à 1200 mm/an (Fig. I.4). Les températures varient entre 26° en moyenne au mois d'août et 11° en moyenne au mois de janvier.



Source : ANRH

Fig. I.4 : Extrait de la carte des isohyètes (ANRH, 2005)

Ce climat est favorable au développement de la végétation forestière et à l'agriculture intensive telle que ; cultures primeurs, élevage bovin laitier dans les plaines, arboriculture, culture fruitières et élevage parcourant dans les zones de piémont et de moyenne montagne.

I.4. Relief

La wilaya de Jijel est caractérisée par un relief montagneux très accidenté (Fig. I.5), les montagnes occupent 82% de la superficie total elles montent jusqu'à 1800m on distingue principalement deux régions physiques (PMH, 2009).

I.2.1. La zone des plaines

Elles sont situées au nord, le long de la bande littorale de la méditerranée, couvrent les petites plaines de Jijel, les plaines d'El-Aouana, le bassin de Jijel, les vallées d'oued Kebir, oued Boussiaba et les petites plaines d'oued Zhor. Les plaines côtières sont entourées au sud par les reliefs de la petite Kabyle. La topographie est subplane au niveau de la plaine de l'oued Mencha et augmente en progressant vers le sud, le bassin versant culmine à 1589 m d'altitude.

I.2.2. La zone de montagnes

Elles comprennent deux parties différentes :

Les zones montagnes hautes, situées à la limite sud de la wilaya, comportent les plus hauts sommets de la zone, dont les principales cimes montagneuses : Tamezguida, Tababor, Bouaza et Seddat.

Les zones de moyennes montagnes, situées à la limite de la wilaya, se caractérisent par une couverture végétale abondante et un réseau hydrographique important. (Kirat, 2006)

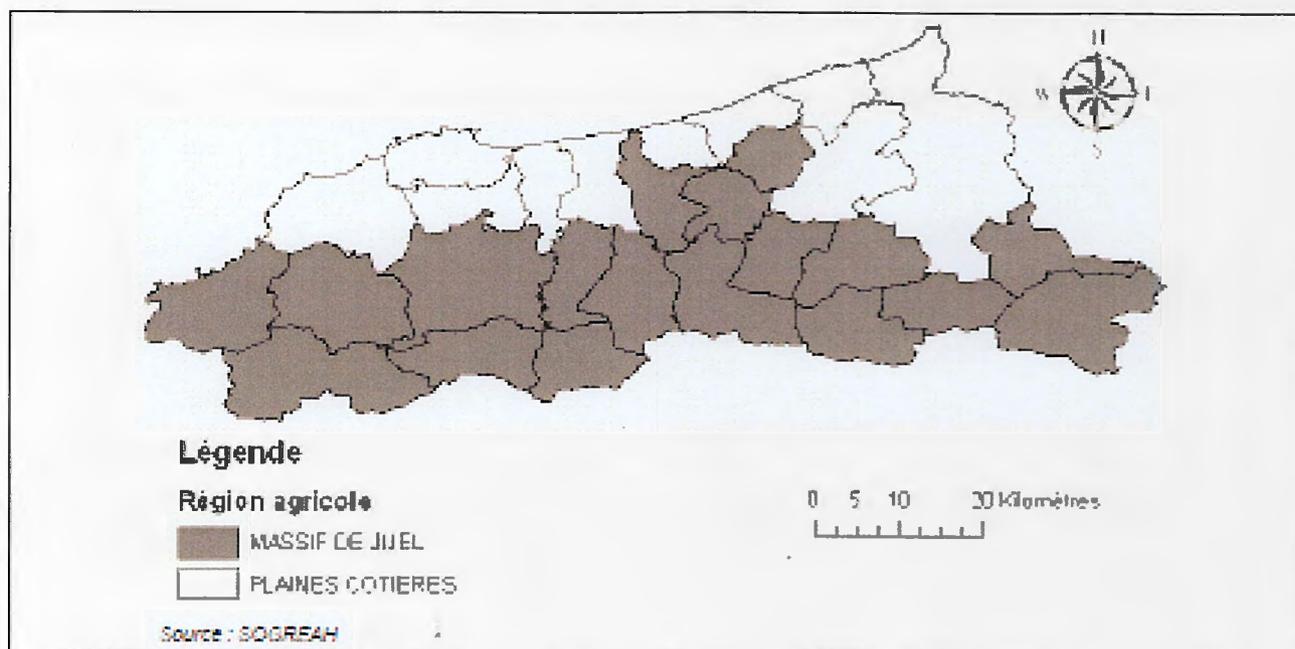


Fig. I.5 : Relief de la Wilaya de Jijel

I.3. Agriculture

Du point de vue agricole, l'agriculture constitue l'activité économique principale de la wilaya de Jijel malgré sa faiblesse en sols cultivables, notamment dans les espaces montagneux. Les terrains agricoles s'étalent sur une superficie totale de l'ordre de 99.022 ha soit 41,43 % de la superficie totale de la wilaya. Tandis que, les terres agricoles utiles couvrent une superficie de 43.745 ha correspondant à 18% de l'ensemble de la superficie de la wilaya dont 5612 ha irrigables (PMH, 2009).

I.4. Ressources hydriques

Si l'eau est un facteur limite dans beaucoup des régions. Jijel avec ses 10% des ressources naturelles détient un atout majeur, Elle bénéficie d'un potentiel hydrique impressionnant, estimé à 1474 millions de mètres cubes, provenant surtout des eaux de pluie et constitué essentiellement par des ressources en eau superficielles (à 95%). (DRE Jijel).

Les ressources en eau disponibles sur le bassin versant d'oued Djendjen sont comme suit :

✓ Les eaux superficielles

On compte deux barrages :

- Erreguene, d'une capacité de 100 millions m³/an, destiné à l'énergie électrique,

- Et Tabellot qui est destiné à transférer un volume de 189 hm³/an vers le barrage Draa Diss et l'alimentation en eau potable de 7 communes de Jijel

✓ **Les eaux souterraines**

Selon le plan national de l'eau (2010) la nappe aquifère est constituée par les alluvions du Quaternaire disposées en terrasses (anciennes ou récentes), ainsi que de dunes. On distingue :

- Les alluvions récentes constituées de graviers, galets, conglomérats et sables, souvent limoneuses, d'une épaisseur d'environ 30 m ;
- Les alluvions anciennes constituent les terrasses constituées de galets et de gros blocs. Leur épaisseur est comprise entre 20 et 30 m ;
- Les dépôts continentaux du Pontien constitués de galets, cailloux et poudingues peuvent renfermer également de l'eau. Leur épaisseur est de l'ordre de 30 m ;
- Les dunes anciennes sont constituées de sables fins limoneux. Leur épaisseur est comprise entre 10 et 30 m.

L'alimentation s'effectue par infiltration directe à travers les alluvions, mais aussi par l'oued Djendjen en période des hautes eaux. La nappe alluviale de l'Oued Djendjen étant une nappe côtière, l'exutoire est constitué par la mer. (Kirat, 2006)

I.5. Ressources forestières

De part, son taux de boisement qui est de l'ordre de 48 % (115.000 ha), la wilaya de Jijel est considéré comme forestier par rapport au taux moyen de boisement Nord du pays, qui est de l'ordre de 11%. Les formations forestières qui vêtent les régions montagneuses, estimées à 82 % de la superficie totale de la wilaya, jouent donc un rôle primordial dans la protection des sols contre les différents types d'érosion et les barrages contre le phénomène d'envasement.

Ces formations naturelles sont très variées et s'adaptent très bien aux conditions climatique et édaphiques de la région avec une capacité de régénération remarquable et constituent donc un immense domaine propice à la sylviculture et au développement des métiers de la forêt. (Kirat, 2006)

I.6. Géologie de la région de Jijel

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes côtières de l'Est algérien (Fig. I.6). Ces chaînes appartiennent à la chaîne alpine d'Afrique du Nord. La chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides fait partie de l'orogène alpin

péri-méditerranéen (Durand-Delga, 1969) d'âge Tertiaire qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km depuis l'Espagne du Sud à l'arc calabro-sicilien.

Dans ce domaine en forme d'anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées aujourd'hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie. Le domaine de la chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations mésocénozoïques aboutissant à la mise en place des nappes de charriages. C'est le domaine des nappes ou domaine allochtone. En Algérie, la chaîne des Maghrébides montre du nord au sud les domaines suivants : (Moustfaoui, 2014)

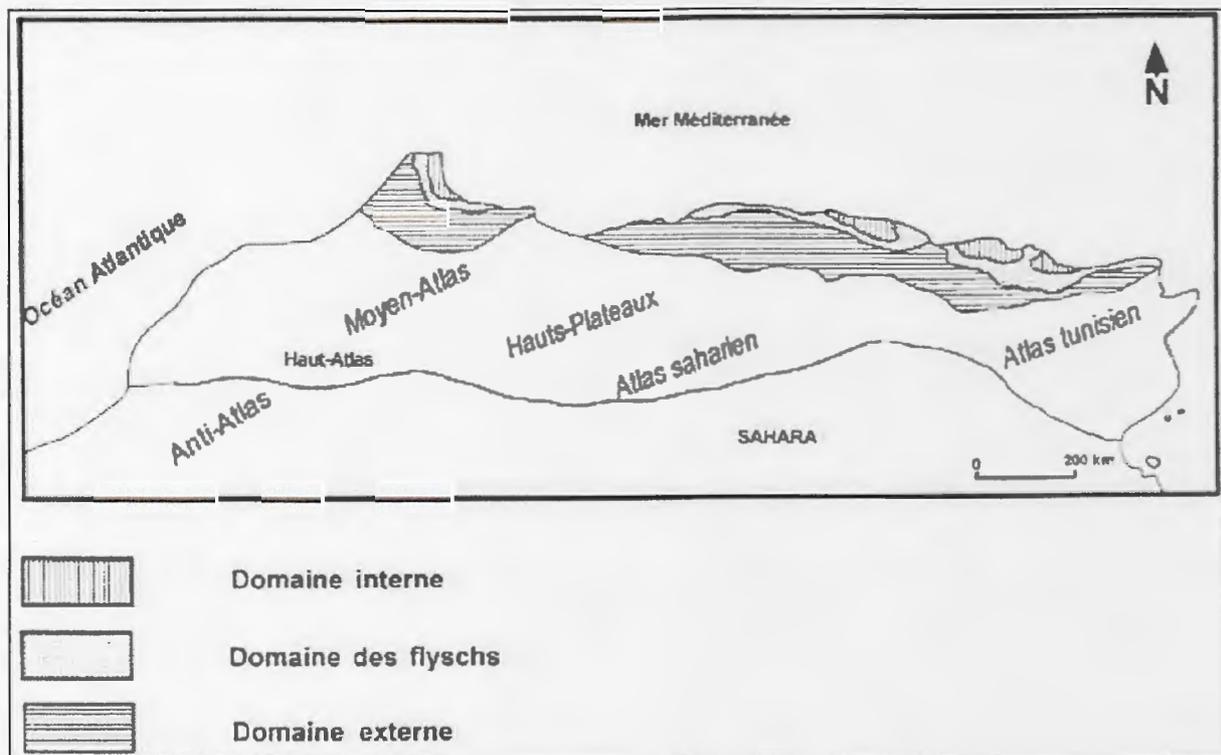


Fig. I.6: Schéma structural simplifié des Maghrébides (Durand Delga, 1969)

I.6.1. Domaine interne

Contient un socle continental cristallophyllien (Grande et petite Kabylie) avec leur couverture sédimentaire écaillée (Dorsale Kabyle ou chaîne calcaire).

✓ Socle Kabyle

On attribue au socle trois ensembles lithologiques (Benabbas C., 2006) :

- un ensemble cristallophyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbres et d'amphibolites.
- Un ensemble cristallophyllien supérieur, comportant « des schistes satinés ou phyllades, des grès et des porphyroïdes ocellés ».
- La couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin, peu ou pas métamorphique, dont les séries comprennent des termes de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien, ainsi que du Carbonifère inférieur.

✓ **Dorsale Kabyle (chaîne calcaire)**

La chaîne calcaire est située au sud du socle et subdivisée selon (Durand-Delga M., 1969 ; Raoult J.F., 1974 ; Vila J.M., 1980) en trois unités qui sont du nord au sud:

• **Unité interne:**

Une série conglomératique à sa base et se termine par des formations calcaires d'âge permotriasique à néocomien suivi par une lacune du crétacé inférieur au crétacé moyen (Vila J.M., 1980) et un Eocène inférieur à moyen formé de calcaire néritique massif.

• **Unité médiane:**

Sa base est semblable à celle de l'unité interne sauf que la lacune concerne l'Aptien et l'Albien. Du Crétacé supérieur à l'Eocène la série est marno-calcaire à microfaune pélagique (Vila J.M., 1980)

• **Unité externe :**

Caractérisée par une série crétacée à éocène détritique avec un faciès intermédiaire entre le domaine interne et médian du bassin maghrébin (Vila J.M.)

I.6.2. Domaines des flyschs

Le domaine des flyschs est constitué par des nappes de flyschs crétacés-paléogènes qui affleurent dans les zones littorales sur 800 km de long, entre Mostaganem et Bizerte (Tunisie). Il s'agit essentiellement de dépôts de mer profonde mis en place par des courants de turbidités. Ces flyschs se présentent de trois manières :

1. en position interne

Superposés aux massifs kabyles, c'est-à-dire rétro charriés sur les zones internes, et appelés flyschs nord-kabyles ;

2. en position relativement externe

À la bordure sud de la Dorsale kabyle (flyschs sud-kabyle) et enfin

3. en position très externe

Sous forme de masse isolées flottant sur le Tell charriées jusqu'à une centaine de kilomètres au sud.

On distingue du Nord au Sud deux grands groupes de flyschs, les flyschs mauritaniens et les flyschs massyliens auxquels s'ajoutent un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs numidiens d'âge Oligocène supérieur – Burdigalien inférieur

✓ **Flyschs mauritaniens :**

Les flyschs mauritaniens sont relativement épais et occupent une position interne dans le domaine des flyschs. Ils sont composés d'alternances de bancs argileux, calcaires et gréseux.

La série débute par des radiolarites rouges du Dogger-Malm et se termine par des niveaux conglomératiques du Paléocène.

✓ **Flyschs massyliens :**

Les flyschs massyliens occupent une position externe dans le domaine des flyschs et comportent une série pélito-quartzitique d'âge Crétacé inférieur surmontée par une série pélito-micro-bréchiqque d'âge Crétacé supérieur. (Moustfaoui, 2014)

I.6.3. Domaine externe :

Un domaine externe ou domaine tellien constitué par un ensemble de nappes allochtones pelliculaires constituées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène et qui ont été charriées sur une centaine de km vers le Sud. On distingue du Nord au Sud :

✓ **les nappes ultra-telliennes :**

Correspondent aux formations bathyales du Crétacé et de l'Éocène et une série plus détritique au Sénonien et à l'Éocène, ne sont connues que dans l'Est algérien et en Tunisie.

Elles présentent des caractères proches de ceux du flyschs massyliens.

✓ **les nappes telliennes :**

sensu-stricto formées de Lias de plate-forme surmonté de Jurassique plus marneux, puis par le Crétacé qui, détritique, devient marneux à argilo-calcaire et enfin, l'Éocène aux marnes épaisses et les

✓ **nappes péni-telliennes :**

Dont les séries néritiques du Crétacé à l'Oligocène sont carbonatées et marneuses. Les nappes péni-telliennes, définies dans l'Est algérien, présentent des caractères proches de ceux du néritique constantinois. (Moustfaoui, 2014)

I.7. Stratigraphie du bassin versant

La série stratigraphique reconnue dans le bassin versant montre la succession géologique suivante :

I.7.1. Les formations de l'Ere Primaire

Elles sont représentées par des terrains métamorphiques qui affleurent largement en aval du bassin versant.

Selon l'étude géologique effectuée par F. Ehrmann (1921) intitulé "Un important mouvement orogénique au début du Crétacé dans la Kabylie des Babors", cet auteur donne la description suivante :

- un complexe de schistophyllades,
- calcaires cristallins et pegmatites,
- des micaschistes granulites,
- des micaschistes à niveaux feldspathiques,
- des micaschistes à biotite, muscovite et séricite,
- un ensemble quartzo-phyllades chloriteux et gneissiques.

I.7.2. Les formations de l'Ere Secondaire :

Elles couvrent une grande partie du cours supérieur du bassin de l'oued Djendjen. L'étude complétée par (A. Lambert en 1949) en donne la description suivante :

- Le Trias représenté par une formation gypseuse salifère (diapir de gypse) occupe une aire importante dans la partie sud du bassin versant.

Il s'agit de Trias émergé dans sa couverture sédimentaire. Cet étage offre sous cette forme de vastes affleurements dans le bassin versant, cela tient très probablement à l'énorme épaisseur de ce terrain par rapport à celle de sa couverture. Situé à la limite sud (Djebel Tloudenne) et sud occidental (Djebel M'Sil) du bassin versant, il offre un intérêt stratigraphique exceptionnel.

Reposant sur un complexe triasique extrêmement broyé, comprenant des dolomies, des Schistes rouges et verdâtres, des grès quartzeux, des cargneules, des ophites, du gypse,

s'observe un lambeau constitué de calcaires et marno-calcaires offrant une centaine de mètres d'épaisseur sur 1 km de long.

I.7.3. Les formations de l'Ere Tertiaire

- ✓ Le Numidien (Eocène-Oligocène) : est de type flysch et comporte des alternances de grès et d'argiles, avec une prédominance des argiles, des marnes à la base et des grès au sommet. On distingue de bas en haut la séquence suivante :
 - des argiles de base à tubotomaculum et de marnes.
 - des grès de couleur blanche ou rouge par suite de l'oxydation des sels de fer.
- ✓ Le Miocène inférieur (Burdigalien) : est représenté par des marnes grises plastiques parfois sableuses ou jaunâtres par une oxydation marine. Ces marnes forment le substratum imperméable dans la région Est de Jijel. L'épaisseur de ces marnes est d'environ 200 à 300 mètres.
- ✓ Le Miocène supérieur (Pontien) : comprend des dépôts détritiques cailloutis, galets et argiles d'origine continentale.

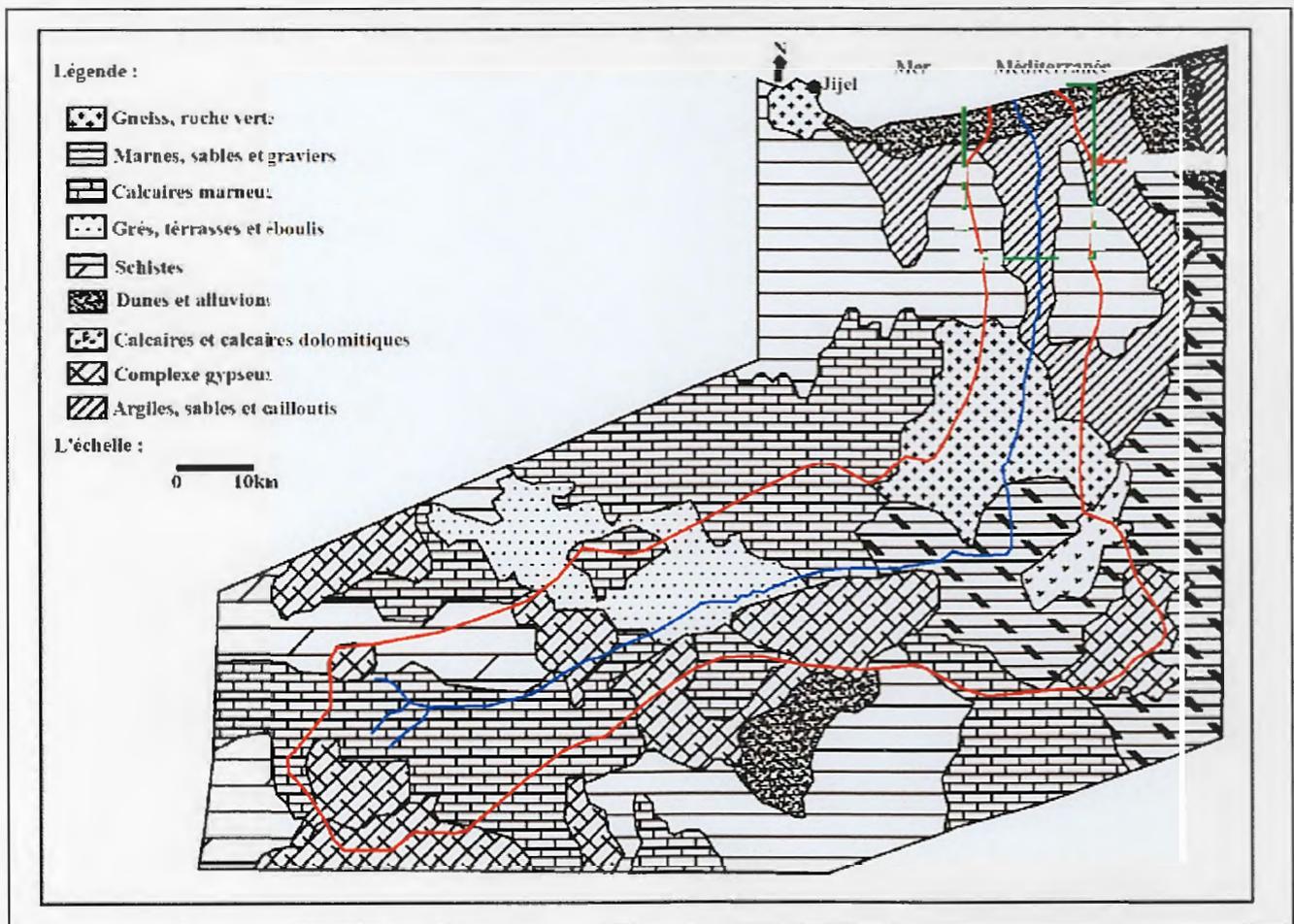


Fig. I.7 : Carte lithologique du bassin versant d'oued Djendjen (Boucenna, 2008)

I.7.4. Les formations d'ère Quaternaire

Sont représentées par :

- les Terrasses anciennes formées de cailloutis, de graviers et de galets,
- les dunes anciennes constituées de sables jaunes,
- les dunes actuelles constituées de sables grossiers,
- et les alluvions de sables, graviers, conglomérats et galets.

I.7.5. Le bassin Olistostromique de la région de Jijel

Le bassin situé entre Texanna et la ville de Jijel est composé principalement de dépôts à caractères marins d'âge Néogène (H. Djellit, 1987). La nature de ces dépôts est essentiellement Olistostromique dont la série burdigalienne est de loin la plus représentée :

Ainsi la série de cet âge est représentée par deux faciès,

- Un premier de nature marneuse à lentilles de gypse (renfermant des foraminifères du Miocène inférieur),
- Un deuxième surtout à caractère détritique riche en lamellibranches (partie supérieure du Miocène inférieur).

Au-dessus, vient reposer un Miocène supérieur, lagunaire à marno-gréseux. La base de ces formations néogènes serait composée de marnes à galets de grès numidiens au Nord ou de molasses gréseuses au Sud.

A la limite Langhien – Seravallien (14-15 Ma), cette série est "intrudée" par un magmatisme

Les formations olistostromique miocènes du bassin de Taher sont d'une épaisseur allant de 400 à 500 m. (Boucenna, 2008)

Conclusion

Le bassin versant d'Oued Djendjen s'étale en totalité sur la wilaya de Jijel qui est située au Nord-est du pays. Cette Wilaya est adossée au massif montagneux de la petite Kabylie et au domaine Nord atlasique connu localement sous le nom de la chaîne des Babors. D'une superficie totale de 530 km², le bassin versant d'oued Djendjen est caractérisée par un relief montagneux. Il est divisé en trois sous bassin versant : la basse vallée, le sous bassin versant inférieur et le sous bassin versant supérieur. L'activité principale exercée sur cette région est l'agriculture. La superficie agricole utile, à l'échelle de la Wilaya, est de 41 925 Ha, les forêts

et les maquis sont d'une superficie de 115 000 ; Le potentiel hydrique de la wilaya est très important, il est estimé à environ 1474 millions de m³ dominé à 94,9 % par les ressources en eaux superficielles

La région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été.

Du point de vue géologique, Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes côtières de l'Est algérien. Ces chaînes appartiennent à la chaîne alpine d'Afrique du Nord chaîne des Maghrébides.

Partie II : Moyens et Méthodes

Introduction

Nous présentons par la suite les moyens exploités et la méthode suivie pour l'élaboration de ce travail. Nous donnons une présentation de tous les moyens : le MNT, les images satellitaires Landsat 8, des données climatiques et du logiciel Arc Gis 10.2. Pour chaque outil nous donnons sa définition et ces caractéristiques.

En outre, nous expliquons la méthode suivie pour l'élaboration de ce travail.

II.1. Les moyens

II.1.1. Le modèle numérique de terrain(MNT)

a) Définition

Le modèle numérique de terrain (en abréviation : MNT) est un ensemble de points en trois dimension (3D) comprenant uniquement les éléments du terrain naturel (Fig. II.1). Ce fichier numérique contient les données d'altitude d'un territoire, sous forme de semis de points irrégulier, de grille de points à maille carrée ou triangulée.

Le MNT ne prend pas en compte les éléments situés au-dessus de la surface contrairement à un modèle numérique d'altitude (MNA). Le MNA est un ensemble de points 3D comprenant les éléments du terrain naturel mais aussi le sursol, c'est-à-dire la végétation et le bâti. [W1]

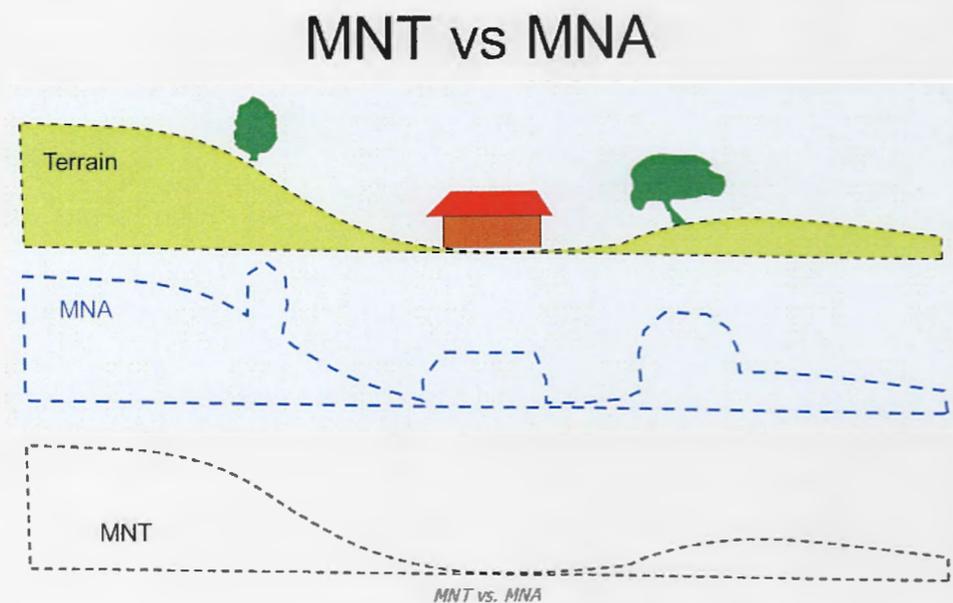


Fig. II.1 : Le modèle numérique de terrain

Les MNT contiennent des règles et des classes d'entités participantes, semblables à des topologies. Vous trouverez, ci-dessous, quelques classes d'entités faisant fréquemment office de sources de données pour les MNT :

- ✓ Classes d'entités multipoints de points cotés 3D créés à partir d'une source de données telle que lidar ou sonar.
- ✓ Classes d'entités linéaires et ponctuelles 3D créées sur des stations de travail à l'aide de l'imagerie stéréoscopique.
- ✓ Limites de zone d'étude utilisées pour délimiter le jeu de données de MNT.

Les règles du jeu de données de MNT contrôlent la manière dont les entités sont utilisées pour définir une surface. Ainsi, une classe d'entités qui contient des contours de trottoirs pour des routes peut participer à la règle selon laquelle ses entités peuvent être utilisées comme lignes de fracture rigides. Cela produira l'effet escompté, à savoir la création de discontinuités linéaires sur la surface.

b) Usages du MNT

Les modèles numériques de terrains ont plusieurs utilisations, parmi lesquelles nous citons :

- ✓ **Topographie** : le MNT sert principalement à représenter les formes topographiques d'un site. La schématisation 3D de la surface du sol, sans construction ni végétation, aboutit à la création d'un référentiel topographique très précis.
- ✓ **Hydrologie** : le MNT est un outil fiable permettant la compréhension des formes et mouvements hydrologiques. Il permet le repérage des cours d'eau, des zones humides, talwegs, fossés...etc. De plus, ce modèle est utile pour l'élaboration de Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRI), il permet de détecter les bassins versants et la direction des écoulements, de réaliser une modélisation hydraulique et de créer une simulation des inondations.
- ✓ **Géologie** : le MNT sert également à la caractérisation des zones géologiques à ciel ouvert telles que les carrières, les zones minières et aurifères...etc. L'analyse des données topographiques permet aux exploitants de calculer les volumes d'extraction (Évaluation précise des cubatures) et de prévoir l'aménagement futur de ces zones (définition diable des bassins versants et réhabilitation des sites après exploitation).
- ✓ **Archéologie** : Le MNT permet de mettre en évidence les microreliefs liés aux activités humaines anciennes (anciens chemins, murets, restes de bâtiments...).

c) Les erreurs des MNT

Les sources d'erreurs du MNT sont variées et incluent principalement l'exactitude des points de contrôle, la densité et la distribution des données sources, la situation géographique de la zone d'étude, les méthodes utilisées pour générer le MNT et la microtopographie de la zone d'étude (Li, 1991 ; Heritage et al. 2009b). Pike (2002) identifie trois types d'erreurs (différence entre la valeur altimétrique d'une maille et la valeur réelle observable sur le terrain) dans les MNT : les erreurs systématiques, les erreurs aléatoires et les fautes.

- Les erreurs systématiques résulteraient du processus de génération du MNT et peuvent être éliminées ou réduites si leurs sources sont identifiées.
- Les fautes résulteraient des erreurs commises lors de la collecte des données. Elles sont identifiables et éliminées normalement pendant les phases de traitement des données avant leur utilisation.
- Les erreurs aléatoires du MNT sont cependant inévitables. Selon Aguilar et al. (2010), en condition de zones dégagées, l'erreur sur un MNT peut se calculer via la variance donnée par l'équation : $\sigma_{total}^2 = \sigma_{SDE}^2 + \sigma_{gridding}^2 + \sigma_{filtering}^2$

Où,

- σ^2 , exprime l'erreur verticale dans le MNT,
- σ_{SDE}^2 , exprime l'erreur aléatoire due à l'acquisition des données,
- $\sigma_{gridding}^2$, exprime l'erreur due à l'interpolation,
- $\sigma_{filtering}^2$, exprime l'erreur due au processus de traitement des données. Cependant, sur une zone dégagée.

$\sigma_{gridding}^2$ et $\sigma_{filtering}^2$ Peut être négligée, en raison de l'absence d'objets endogènes. Peut également être négligée si la densité des points acquis est suffisamment élevée, ce qui est le cas si l'on utilise le Lidar ou un VNP. Dans ce cas, la variance totale est calculée en utilisant un nombre suffisant de points de contrôle levés sur le terrain avec une précision meilleure que celle des données utilisées pour générer le MNT. [W2]

d) Élaboration du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Il existe plusieurs méthodes de construction des MNT car elles dépendent des données de base, la technique de saisie des données de référence, la méthode d'interpolation et le format final du MNT (Charleux-Demargne, 2001). Ceci peut se faire par stéréoscope, par interférométrie et à partir des courbes de niveau (Dupont, 1997).

Aoulmit F. (2016) dans ces recherches de doctorat intitulé : Apport de la télédétection et SIG dans la gestion des hydro-systèmes du sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen, a retenu la troisième méthode, celle qui s'appuie sur l'interpolation des courbes de niveau et les points cotés. Les principales étapes suivies pour élaborer le MNT du sous bassin versant d'oued Djendjen sont résumées ci-après (Fig. II.2):

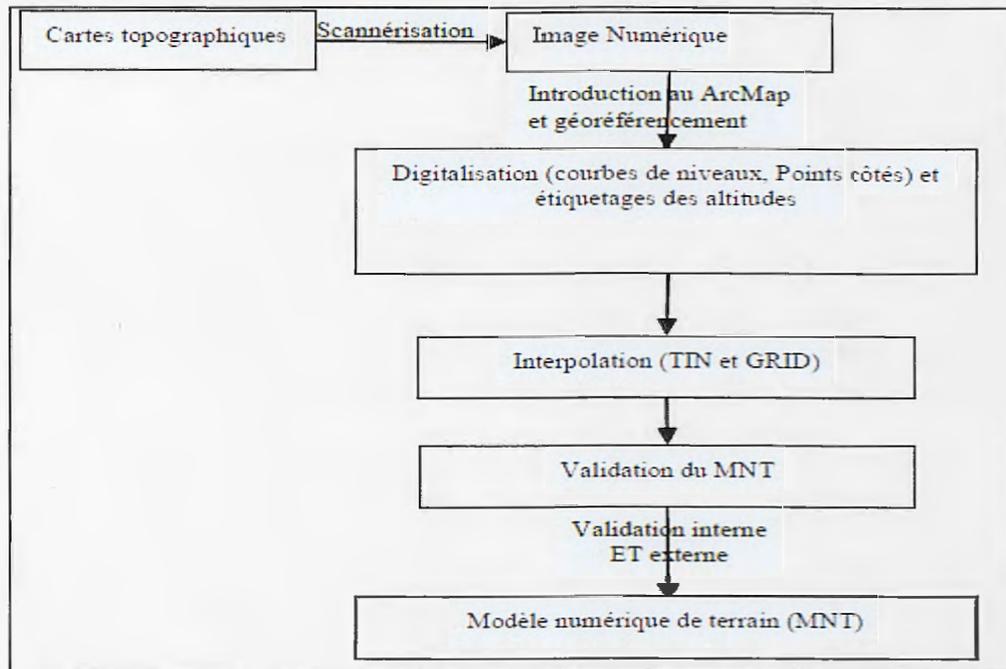


Fig. II.2 : Organigramme du processus d'élaboration du MNT sous Arcmap

Comme il existe plusieurs sources disponibles sur internet et téléchargeables tel que Aster Global DEM, CoNED TBDEM, EDNA, GMTED2010 et SRTM. Ces données et d'autres sont disponibles sur le site américain Earth Explorer. Nous avons choisi pour notre travail de recherche l'utilisation des données SRTM et nous présentons dans la suite la définition de la mission SRTM et les caractéristiques de ces données.

e) La mission SRTM

SRTM est l'abréviation du Shuttle Radar Topography Mission, et est un modèle numérique de terrain (MNT) disponible sur le monde entier (sauf pour des latitudes extrêmes) produit par une mission de la NASA. Il est disponible pour un pas (taille de pixel) de 90 m, une précision altimétrique d'environ 16 m et planimétrique 60 m.

La SRTM a permis d'établir un modèle altimétrique numérique (MAN) quasi à l'échelle du globe à l'aide d'une méthode de mesure appelée interférométrie. En février 2000, la navette spatiale Endeavor a décollé avec à son bord l'équipement de la mission SRTM. Pendant onze

jours le véhicule spatial a survolé la Terre pour cartographier l'ensemble du globe entre le 60e degré de latitude nord et le 56e degré de latitude sud, ce qui comprend près de 80 % de la masse terrestre de la planète

Les données SRTM ont été traitées sous forme de « segments » géographiques d'un degré de latitude par un degré de longitude. Le continent africain compte 3256 segments, soit presque le quart des données SRTM. Il s'agit là des premières données haute résolution du modèle altimétrique numérique du globe. La résolution des données accessibles au public est de trois secondes d'arc (1/1200 d'un degré de latitude et de longitude), ce qui représente environ 90 M (295 pieds).

La conception de l'instrument était essentiellement une version modifiée des premiers instruments de radar d'imagerie de navette avec une deuxième antenne ajoutée pour permettre la cartographie topographique en utilisant une technique semblable à la photographie stéréo. [W3]

Il existe trois types de produits ou jeu de données dont le niveau traitement et la résolution des données varient en fonction du jeu de données SRTM.

- **SRTM Non-Void Filled (Non-rempli)**

Les données d'altitude remplies ont été traitées à partir de signaux radar bruts en bande C espacés d'une seconde d'arc (environ 30 mètres) au Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Cette version a ensuite été éditée ou finie par la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) pour délimiter et aplatir les plans d'eau, mieux définir les lignes de côte, enlever les pointes et les puits, et remplir les petits vides. Les données pour les régions à l'extérieur des États-Unis ont été échantillonnées à 3 secondes d'arc (environ 90 mètres) en utilisant une technique de ré-échantillonnage par convolution cubique pour la distribution ouverte.

- **SRTM Void Filled (vide rempli)**

Les données d'altitude remplies sont le résultat d'un traitement supplémentaire pour traiter les zones de données manquantes ou vides dans la collection Remplissage non annulé du SRTM. Les vides se produisent dans les zones où le traitement initial n'a pas répondu aux spécifications de qualité. Puisque les données SRTM sont l'une des sources de données d'altitude les plus utilisées, le NGA a rempli les vides en utilisant des algorithmes d'interpolation en conjonction avec d'autres sources de données d'altitude. La résolution pour

les données SRTM Void Filled est de 1 seconde d'arc pour les États-Unis et de 3 secondes d'arc pour la couverture globale.

- **SRTM 1 Arc-Second global**

Les données d'élévation globales offrent une couverture mondiale des données remplies de vides à une résolution de 1 seconde d'arc (30 mètres) et fournissent une distribution ouverte de cet ensemble de données global à haute résolution. Certaines tuiles peuvent encore contenir des vides. Les utilisateurs doivent vérifier la carte de couverture dans Earth Explorer pour vérifier si leur zone d'intérêt est disponible. Veuillez noter que les dalles au-dessus de 50 ° nord et de 50 ° sud sont échantillonnées à une résolution de 2 secondes d'arc par 1 seconde d'arc.

Il existe aussi plusieurs formats des fichiers SRTM sur Earth Explorer. Ce dernier présente régulièrement les données SRTM avec un réseau de points d'élévation réguliers dans trois formats de fichiers :

- * **Digital Elevation Terrain (DTED)** : Est un format de cartographie standard conçu par NGA. Chaque fichier ou cellule contient une matrice de valeurs verticales de hauteur espacées à des intervalles horizontaux réguliers mesurés en latitude et en longitude. La taille du fichier est d'environ 25 Mo pour les fichiers de données 1-arc-seconde et environ 3 Mo pour les fichiers de données de 3-arc-seconde.

- * **The BIN (font-bound range) range** : La plage BIN (font-bound range) est un format binaire-pointé avec un fichier d'en-tête compagnon qui décrit la disposition et la mise en forme du fichier. La taille du fichier est d'environ 7 Mo pour les fichiers de données à 1 seconde d'arc et environ 1 Mo pour les fichiers de données - le deuxième arc.

- * **GeoTIFF** : Est un fichier TIFF avec des informations géographiques intégrées. Ceci est un format d'image standard pour les applications SIG. La taille du fichier est d'environ 25 Mo pour les fichiers de données 1-arc-seconde et environ 30 m pour les fichiers de données de 3-arc-seconde. [W7]

Les données d'altitude SRTM sont destinées à un usage scientifique avec un système d'information géographique (SIG) ou un autre logiciel d'application spécial, leurs caractéristiques sont consignées dans le tableau ci-après (tableau II.1) :

Tableau II.1 : Caractéristiques des données SRTM

Projection	Géographique
Datum horizontal	WGS84
Vertical Datum	EGM96 (Modèle gravitationnel de la Terre 1996)
Unités verticales	Metres
Résolution spatiale	1 seconde d'arc pour une couverture mondiale (~ 30 m) 3 secondes d'arc pour une couverture globale (~ 90 m)
Taille raster	1 degré carreaux
Longueur d'onde de la bande	5,6cm

II.1.2. Les images satellitaires Landsat

Le programme des satellites américains landsat remonte à 1972, et au lancement de Landsat-1, alors appelé ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite).

L'évolution de la technologie du capteur ainsi que la collecte quasi constante des données ont fait de Landsat la plus grande réussite dans les programmes publics créés à ce jour pour l'observation de la Terre. Portant sur 30 ans, les imposantes archives à l'échelle globale sont formées d'images recueillies initialement par un balayeur multi-spectral, et, par la suite, par les capteurs de l'appareil de cartographie thématique amélioré. Ces derniers se sont, notamment révélés d'excellents outils en cartographie des ressources naturelles. On en trouve des exemples dans les cartes dressées aux échelles de 1:100 000 à 1:1 million et portant sur l'agriculture, la foresterie, la géologie et l'analyse de l'utilisation des sols.

Le point fort du système d'acquisition d'images Landsat est sa constance. Le circuit orbital ainsi que les dimensions et la localisation générales des images d'une région donnée du globe sont demeurées les mêmes tout au long du programme. Outre cette vertu, Landsat doit aussi sa popularité au rapport intéressant coût-qualité de grandes scènes (185 x 185 km) fournies à un prix raisonnable. Les scènes individuelles sont toujours acquises au milieu de la matinée (heure locale) et couvrent 34 225 km². Les ensembles de données archivés et l'imagerie récente landsat se prêtent bien aux recherches environnementales à long terme et aux activités de détection du changement. [W4]

Les images des satellites Landsat sont libres de droit et diffusées par le service géologique américain (US Geological Survey (USGS)). Plusieurs moyens d'accès aux pages de téléchargement de ces données sont disponibles sur le site web de l'USGS consacré à Landsat. [W5]

Landsat 8 mesure différentes gammes de fréquences le long du spectre électromagnétique - une couleur, mais pas nécessairement une couleur visible à l'œil humain. Chaque gamme est appelée un groupe, et Landsat 8 a 11 bandes. Landsat numérote ses capteurs rouge, vert et bleu comme 4, 3 et 2, donc quand nous les combinons nous obtenons une image en vraies couleurs. [W6]

Lorsque l'on télécharge les images correspondant à la zone choisie, les fichiers obtenus sont au nombre de 12, correspondant aux 11 bandes spectrales acquises par les capteurs du satellite et à une bande dénommée "QA" destinée à synthétiser la qualité des données. Les bandes spectrales disponibles sont décrites ci-après.

a) Les bandes spectrales de l'instrument OLI (Operational Land Imager)

Ce radiomètre multi spectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Sept (07) de ces bandes spectrales étaient déjà présentes sur l'instrument ETM+ de Landsat-7. Deux canaux supplémentaires ont été ajoutés, destinés principalement à la correction atmosphérique (canal bleu à 440 nm) et à la détection des nuages (1380 nm). Les caractéristiques de ces bandes sont consignées dans le tableau II.2:

Tableau II. 2 : Bandes spectrales OLI de Landsat 8

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1-aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 -bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3- vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4-rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5-infrarouge	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6-infrarouge moyen1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7-infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8-panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9-cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

b) Les bandes spectrales de l'instrument TIRS (Thermal Infrared Sensor)

L'instrument TIRS est un radiomètre multi spectral infrarouge à deux canaux qui fournit des données dans des longueurs d'ondes utilisées par les anciens satellites Landsat mais non repris dans l'instrument OLI. L'objectif est d'assurer la continuité des mesures effectuées par le passé. Ces bandes sont également appelées "Infrarouge thermique". Les caractéristiques de ces deux bandes sont consignées dans le tableau II.3 ci-après: [W8]

Tableau II.3 : les bandes spectrales TIRS de Landsat 8

Les bandes	Longueur d'onde	Résolution
Bande 10-Infrarouge moyen	10,30 - 11,30 μm	100 m
Bande 11- infrarouge moyen	11,50 - 12,50 μm	100 m

II.1.3. Les données climatiques

À la suite de nos recherches au sein de l'ANRH de Jijel, nous avons retenu six (06) stations pluviométriques qui sont le plus proche à la zone d'étude et qui possèdent une longue durée d'observation. Les coordonnées de ces stations sont consignées dans le tableau II.4 ci-après :

Tableau II.4 : Cordonnées des stations climatiques

Nom	Coordonnées UTM		Altitude (m)	Durée d'observation
	X (m)	Y(m)		
Achouat	749444,08	4076827,13	56	2005 - 2015
El Chaddia	752527,13	4069314,35	100	2005 - 2015
Erraguene	730466,40	4051460,98	680	2005 - 2015
Ouled Ghecha	748458,72	4063220,71	529	2005 - 2015
Texanna	749302,65	4060666,80	700	2005 - 2015
Jijel	747248,08	4078983,99	5	2005 - 2015

La localisation des stations est représentée sur la figure (Fig. II.3) suivante :

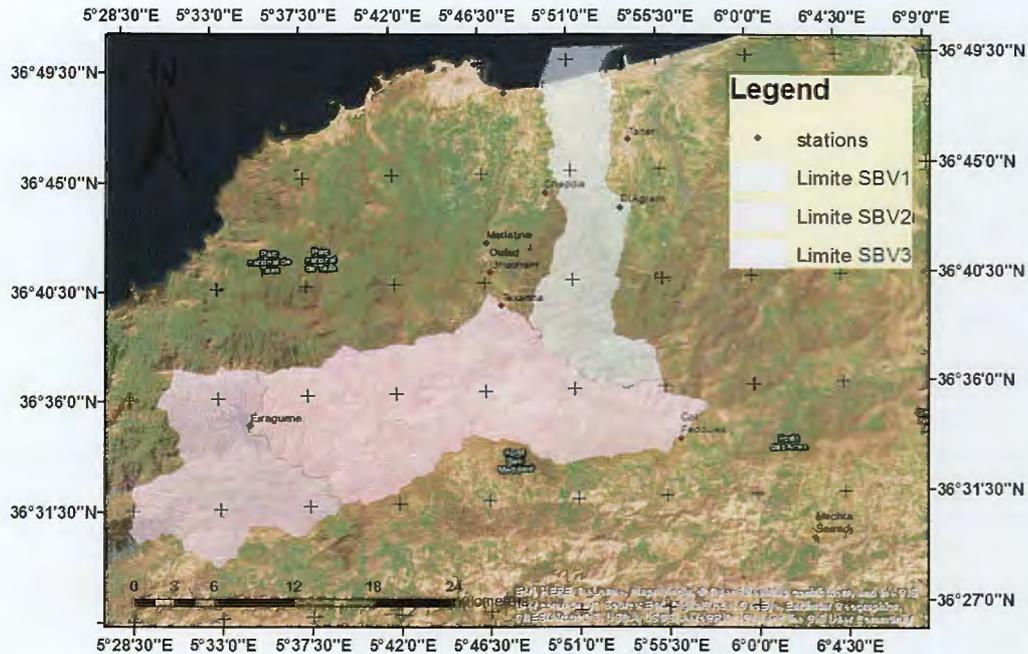


Fig. II.3 : Carte de localisation des stations pluviométriques

La variation moyenne mensuelle des précipitations est présentée sur le tableau II.5 suivant :

Tableau II.5. La variation moyenne mensuelle des précipitations

Station	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jllt	Ao.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Achouat	157	116	56	80	50	15	3	15	76	76	173	182	999
El Chaddia	206	149	71	94	54	12	8	17	48	67	184	196	1107
Erraguene	232	135	76	137	48	18	4	10	59	89	202	273	1285
Ouled Ghecha	216	168	80	100	54	11	2	15	59	91	169	187	1152
Texanna	158	116	56	80	50	15	3	15	67	72	165	182	979
Jijel	154	111	54	78	40	11	2	12	51	63	189	171	936

Les données de trois stations, Achouat, Erraguene et Jijel, sont transformées en histogramme (Fig. II.4) montrant la variation mensuelle des précipitations.

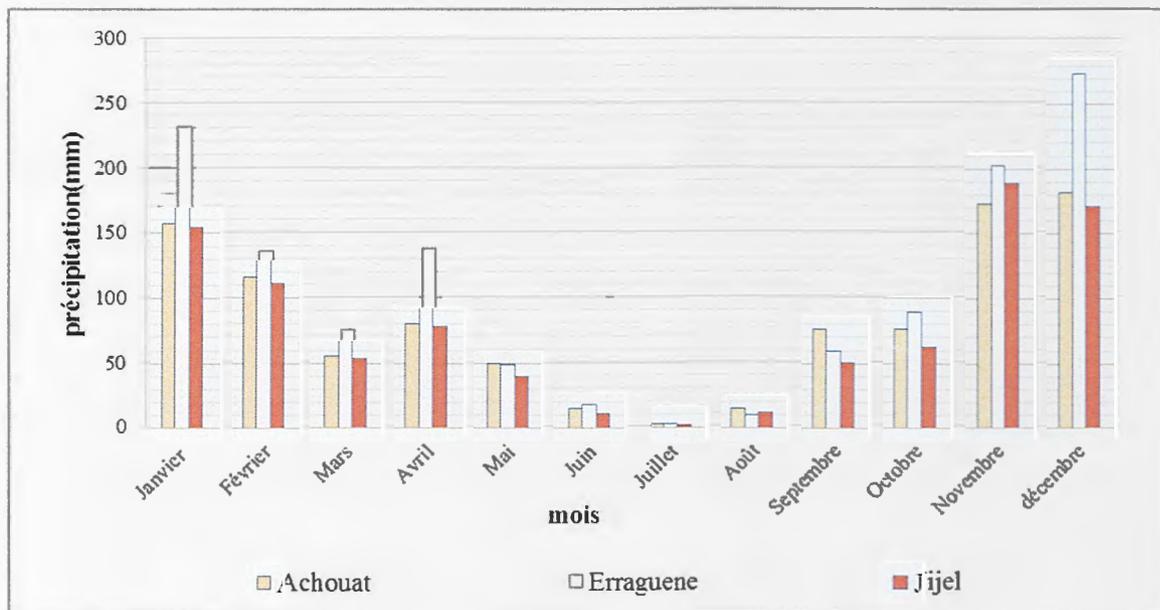


Fig. II.4 : Variations moyennes mensuelles des précipitations

Commentaire :

L'histogramme de répartition des moyennes mensuelles montre que :

- Dans la station d'Achouat La pluviométrie maximale est de l'ordre de 182 mm pendant le mois de décembre, et le minimum est de l'ordre de 3 mm observée pendant le mois de juillet, la moyenne annuelle est 999 mm.
- Dans la station d'Erraguene ; La pluviométrie maximale est de l'ordre de 273 mm pendant le mois de décembre, et le minimum est de l'ordre de 3,75 mm observée pendant le mois de juillet, la moyenne annuelle est 1285 mm.
- Dans la station de Jijel La pluviométrie maximale est de l'ordre de 189 mm pendant le mois de décembre, et le minimum est de l'ordre de 2 mm observée pendant le mois de juillet, la moyenne annuelle est 936 mm.

II.1.4. Présentation du logiciel Arc Gis :

Arc GIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, Arc GIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. Arc GIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au

moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des Smartphones et d'ordinateurs de bureau.

Pour la modélisation hydrologique, Esri a développé deux outils sur arcmap, il s'agit de l'outil ArcHydro et l'outil Analyse Spatiale (Spatial Analyst Tool).

a) L'outil ArcHydro

Arc Hydro est un ensemble de modèles de données et d'outils qui fonctionnent sous ArcGIS pour prendre en charge les analyses de données sur les ressources hydriques superficielles. On peut utiliser Arc Hydro pour délimiter et caractériser les lignes de partage des eaux, définir et analyser le réseau hydrographique, gérer les données chronologiques et exporter les données vers des modèles numériques. Arc Hydro se compose de deux éléments clés :

- le modèle de données Arc Hydro,
- Les outils Arc Hydro.

Ces deux composants structurent une base de données et un ensemble d'outils qui facilitent les analyses effectuées dans le domaine des ressources hydrologiques. Arc Hydro est destiné à fournir les fonctionnalités initiales qui peuvent ensuite être étendues par l'ajout de structures de base de données et de fonctions requises par une tâche ou une application spécifique.

Les outils Arc Hydro fonctionnent dans l'environnement ArcGIS. Certaines des fonctions nécessitent l'extension Spatial Analyst. La majorité des outils sont accessibles via la barre d'outils Arc Hydro (Fig. II.5), où ils sont regroupés par fonctionnalité en six menus et neuf outils. D'autres outils ont été développés dans l'environnement de géotraitement et sont disponibles dans la boîte à outils Arc Hydro utilisables à la fois dans ArcMap et dans ArcCatalog.

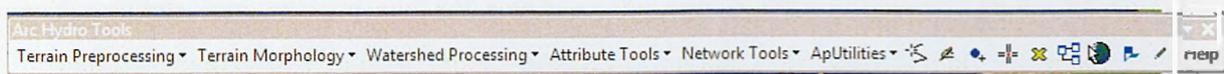


Fig. II. 5 : La barre d'outils ArcHydro

Les outils Arc Hydro ont deux objectifs principaux. Le premier est de manipuler (attribuer) des attributs clés dans le modèle de données Arc Hydro. Ces attributs constituent la base des analyses ultérieures. Ils comprennent les identifiants clés (tels que HydroID, DrainID, NextDownID, etc.) et les attributs de mesure (tels que LengthDown). Le second est de fournir certaines fonctionnalités de base souvent utilisées dans les applications de ressources hydrologiques. Cela inclut la délimitation des bassins versants basés sur le MNT, la génération de réseaux et le traçage basé sur les attributs.

b) Extension Analyse Spatial (Spatial Analyst)

L'extension Spatial Analyst d'ArcGIS propose une gamme de fonctions de modélisation spatiale et d'analyse puissantes. Vous pouvez créer, interroger, représenter sur carte et analyser des données raster (cellule), effectuer des analyses raster/vecteur intégrées, générer de nouvelles informations à partir de données existantes, interroger les informations à travers plusieurs couches de données et intégrer entièrement des données raster (cellule) à des sources de données vectorielles classiques.

Plus de 180 outils de géo-traitement de l'extension Spatial Analyst d'ArcGIS sont disponibles, regroupés en jeux d'outils de fonctionnalités associées pour une plus grande facilité d'accès. [W9]

II.2. Méthode

II.2.1. Téléchargement des données de bases

Les données de bases utilisées dans ce travail de recherche sont le MNT (données SRTM d'une résolution de 1 arc, équivalent de 30m, et d'une extension geotiff) et des images satellitaires Landsat. Ces données sont disponibles gratuitement sur le site américain earth explorer <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Ce site fournit des services de recherche en ligne, d'affichage de navigation, d'exportation de métadonnées et de téléchargement de données pour les sciences de la Terre à partir des archives du service géologique des Etats Unies (US Geological Survey, en abrégation USGS). Earth Explorer fournit une interface utilisateur améliorée utilisant des bibliothèques JavaScript de pointe, le préprocesseur hypertexte (PHP) et le moteur spatial Oracle avancé.

Les étapes de téléchargement de ces données sont les suivantes :

- L'inscription sur le site Earth Explorer, vous pouvez consulter le catalogue, mais si vous souhaitez télécharger des images il vous faudra vous connecter (Login). Commencez donc par vous enregistrer sur le site en cliquant « Register ». C'est gratuit, simple et ça prend deux minutes.
- L'enregistrement, pour vous enregistrer, sélectionnez l'élément de menu "Enregistrer" dans le menu Earth Explorer. Le processus d'enregistrement exige que les utilisateurs créent un nom d'utilisateur et un mot de passe. Une fois enregistré avec EarthExplorer, seul le processus de connexion est requis.

- La confirmation, la page Confirmation s'affiche après l'enregistrement réussi. Un email de confirmation sera envoyé à votre boîte mail,
- Login, la page de connexion permet aux utilisateurs de se connecter à Earthexplorer. Un utilisateur enregistré peut utiliser toutes les fonctionnalités d'Earthexplorer, y compris l'enregistrement des critères de recherche, le téléchargement de données et l'accès aux services d'abonnement.

La première interface permet de naviguer sur une carte du monde afin de trouver sa zone d'étude. Il faut chercher votre terrain sur Google earth, cartes,...ou il faut que vous connaissez bien la zone que vous voulez télécharger ; le site offre plusieurs moyens de recherche sur la carte (Fig. II.6). Les méthodes possibles de recherche sur la carte:

- ✓ soit avec l'adresse (nom), il suffit d'écrire le nom du lieu,
- ✓ soit par ligne/chemin du capteur,
- ✓ soit avec des coordonnées degré-minute-seconde ou degré décimal (D-M-S ou DD).
- ✓ soit si vous voulez définir la zone avec un polygone,

Nous avons utilisé cette dernière méthode pour la localisation de nos données.

Vous pouvez rechercher sur la carte directement et zoomer pour Choisir la zone sur laquelle vous travaillez ; Les points sélectionnés apparaissent sur le côté (Fig. II.6), vous pouvez supprimer ou ajouter un point, si vous voulez supprimer tous les points cliquez sur « clear coordinates».

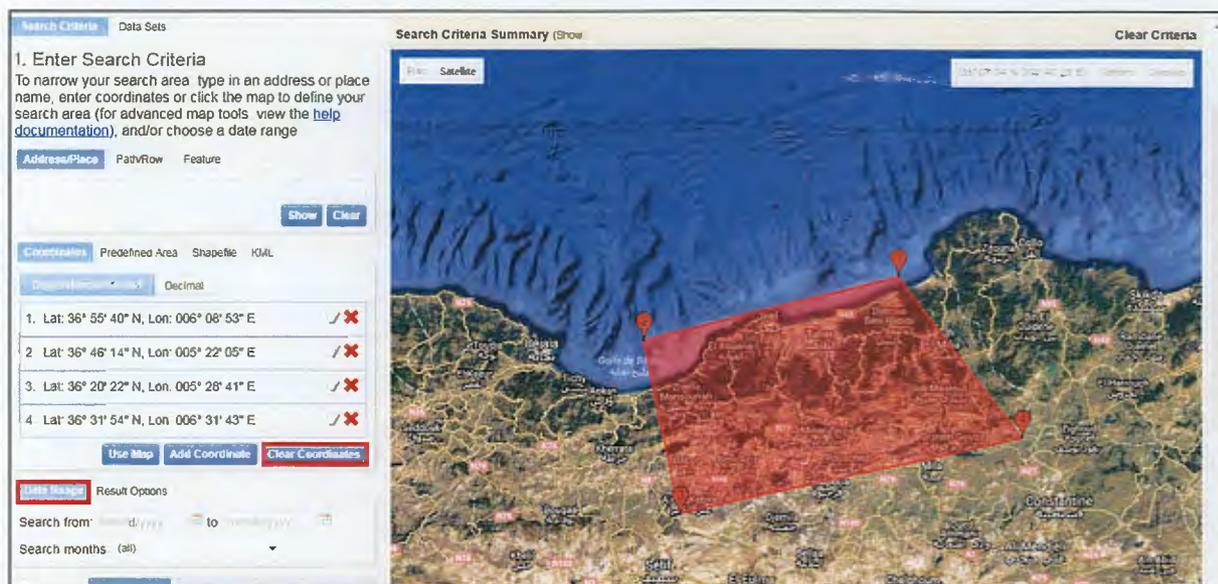


Fig. II.6 : Délimitation d'une région sur la carte sur le site

Partie III : Résultats et discussions

b) Détermination de la direction de l'écoulement

Nous avons appliqué la commande *FlowDirection* pour générer la grille de la direction de l'écoulement.

L'outil Direction de flux prend en charge trois algorithmes de modélisation de flux. Il s'agit des méthodes D8, MFD (Multi Flow Direction) et DINF (D-Infinity).

La méthode de flux D8 modélise la direction de flux à partir de chaque cellule vers son voisin de plus grande pente descendante.

La sortie de l'outil Direction de flux exécutée avec le type de direction de flux D8 type est un raster d'entier dont les valeurs sont comprises entre 1 et 128. Les valeurs de chaque direction à partir du centre sont présentées sur la figure III.1.

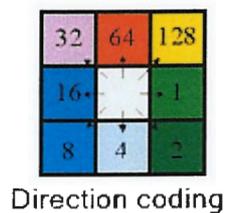


Fig. III.1 : Codage de la direction de flux

Les valeurs 1,2,4,8,16,32,64 et 128 sont mises automatiquement par ArcMap pour représenter le sens de l'écoulement vers l' Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest, Nord et Nord-Est respectivement (Fig. III.1).

- Lorsqu'une cellule est inférieure à ses huit voisins, elle prend la valeur du voisin le plus faible. Le flux est alors régi par cette cellule. Si plusieurs voisins ont la valeur la plus basse, cette valeur est toujours attribuée à la cellule, mais le flux est défini avec l'une des deux méthodes présentées ci-après. Cela permet de filtrer et d'éliminer les cuvettes d'une cellule, car elles font partie du bruitage.
- Lorsque vous modifiez la valeur d'une cellule (valeur z) dans un sens ou dans l'autre et que cette cellule est rattachée à une cuvette, la direction du flux est indéterminée. Dans ce cas, la valeur de la cellule dans le raster de direction de flux en sortie est la somme de ces directions. Par exemple, si la modification de la valeur Z est la même vers la droite (direction du flux = 1) et vers le bas (direction du flux = 4), la direction du flux de cette cellule est $1 + 4 = 5$.

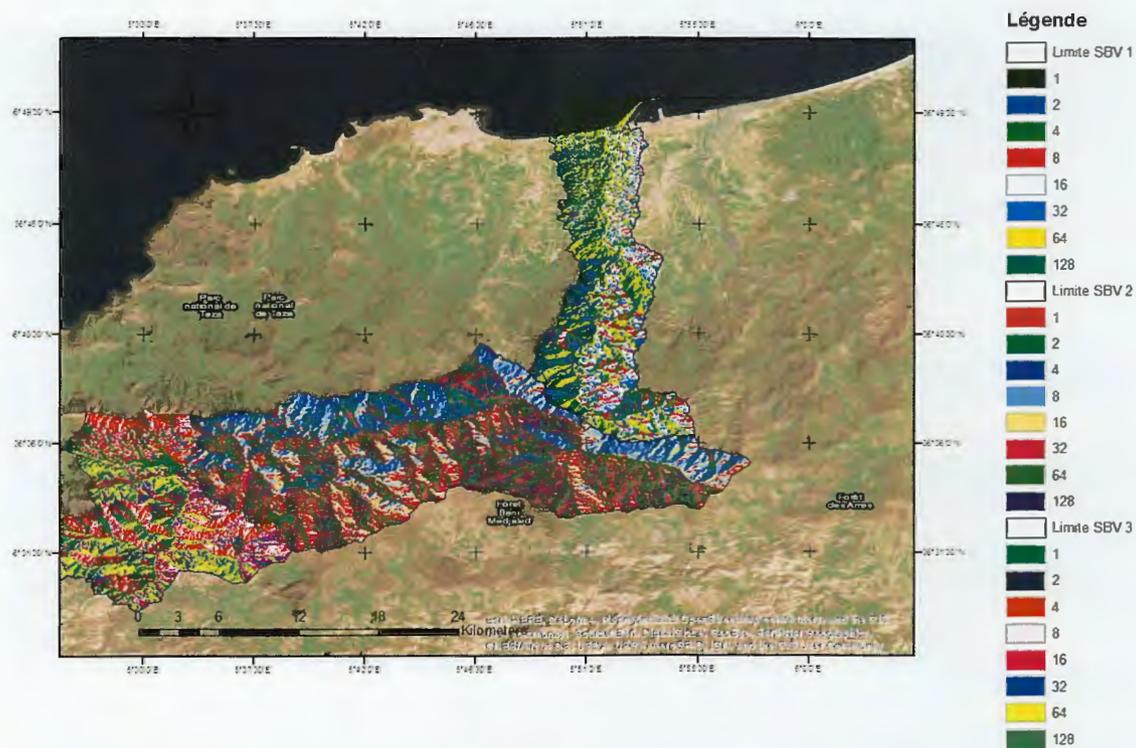


Fig. III.2 : Grille de la direction d'écoulement

Commentaire :

L'interprétation de la figure III.2 montrant la grille de la direction d'écoulement monte que :

✓ Pour le SBV1 :

L'écoulement Nord est très marqué occupant toute la superficie du bassin versant. Les codes 16 et 32 indiquent les directions Ouest et Nord-ouest, respectivement, et marquent leur présence avec une grande portion. Tandis que, les autres directions sont largement réparties sur le bassin versant avec des proportions plus ou moins égales.

✓ Pour le SBV2 :

L'écoulement vers l'Est est largement marqué, occupant le versant sud du sous bassin versant. Ce dernier possède une vaste surface avec une pente modérée ce qui lui offre un drainage très important (code 32). De plus, Les codes 2 et 8 indiquent les directions Sud-Est et Sud-Ouest, respectivement, et marquent leur présence par une faible proportion. Tandis que, les autres directions sont largement réparties sur le bassin versant avec des proportions plus ou moins égales.

✓ Pour le SBV3 :

Les deux directions d'écoulement Sud et Nord sont largement marquée, toute la surface du bassin versant. Le code 16 indiquant une direction Sud-est est aussi très marqué, et occupant le versant Ouest du bassin versant. Ce dernier possède une vaste surface avec une pente modérée ce qui lui offre un drainage très important. Les autres directions sont moyennement réparties sur le bassin versant avec des portions plus ou moins égales.

c) Détermination de l'accumulation du flux (flow accumulation)

Le résultat de cette opération est une grille représentant le nombre cumulé de cellules amont (au sens de l'écoulement gravitaire) se déversant dans une cellule donnée. Le calcul nécessite la détermination d'un seuil correspondant à l'aire minimale de drainage et un nombre cumulé bien déterminé de cellules (Fig. III.3).

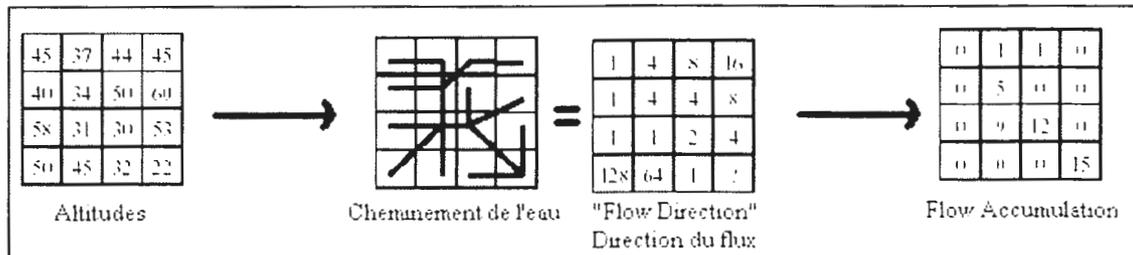
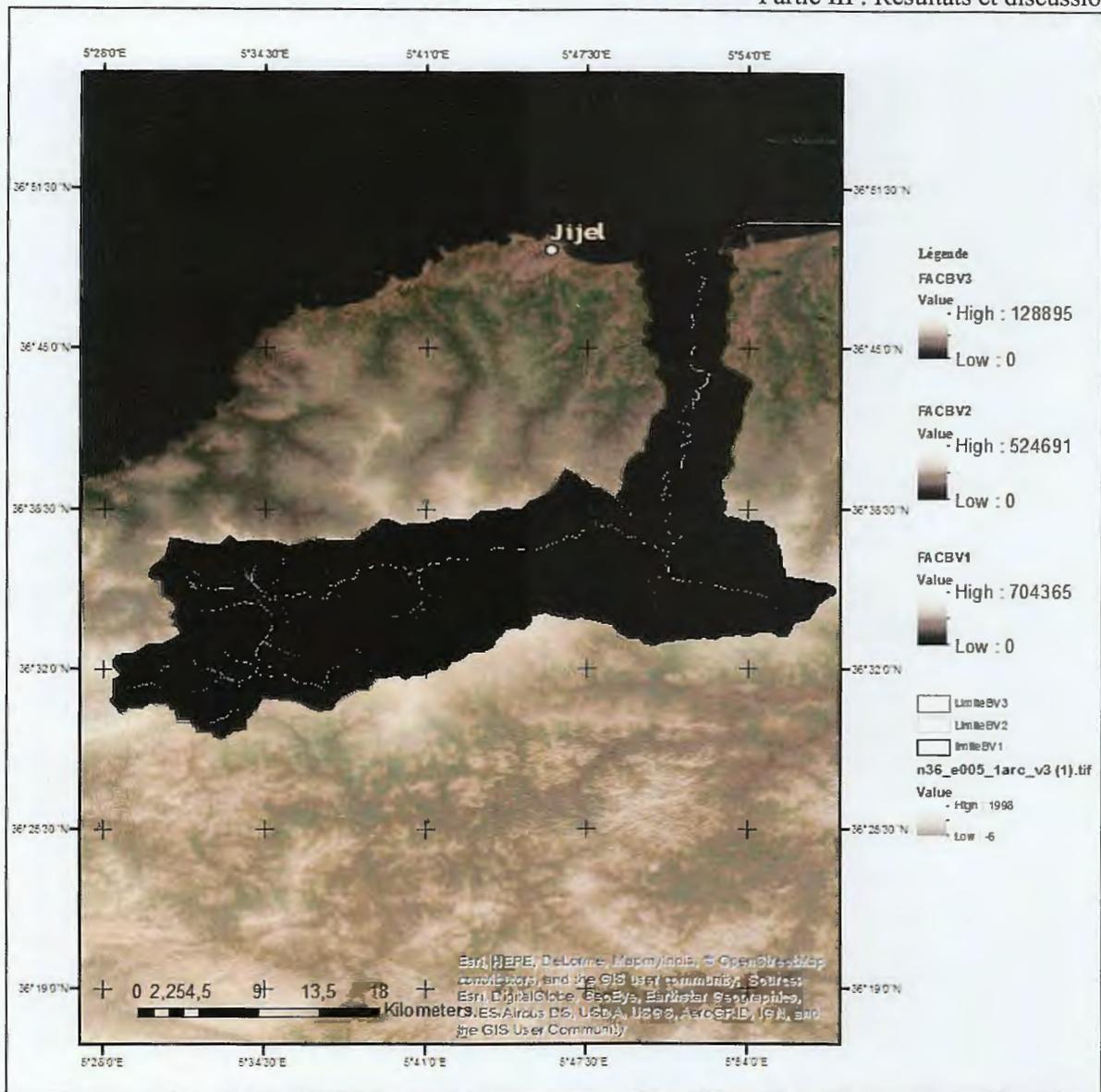


Fig. III.3 : Logique suivie pour la génération de la grille d'accumulation d'écoulement

En conséquence, la carte résultante peut être utilisée pour trouver le modèle de drainage du terrain de la zone d'étude.



Commentaire :

La figure III.4 présente une carte contenant les valeurs hydrologiques cumulatives d'écoulement qui représentent le nombre de pixel d'entrée contribuant n'importe quelle eau aux exutoires. Les cellules ayant une accumulation élevée d'écoulement sont des domaines d'écoulement concentré et peuvent être utilisées pour identifier des canaux de ruissellement. Tandis que, les cellules ayant une accumulation d'écoulement de zéro représentent des zones hautes et peuvent être utilisées pour identifier des crêtes

d) Identification et segmentation du courant

L'application de la commande Stream Definition sur la grille de l'accumulation des flux a donné une autre grille qui a offert la valeur 0 pour les cellules dont l'accumulation des écoulements est inférieure au seuil et la valeur 1 pour le cas inverse. Ensuite, cette grille est traitée en appliquant la commande Stream Segmentation pour différencier les sections du réseau hydrographique. Le résultat final donne le réseau hydrographique (Fig. III.5).

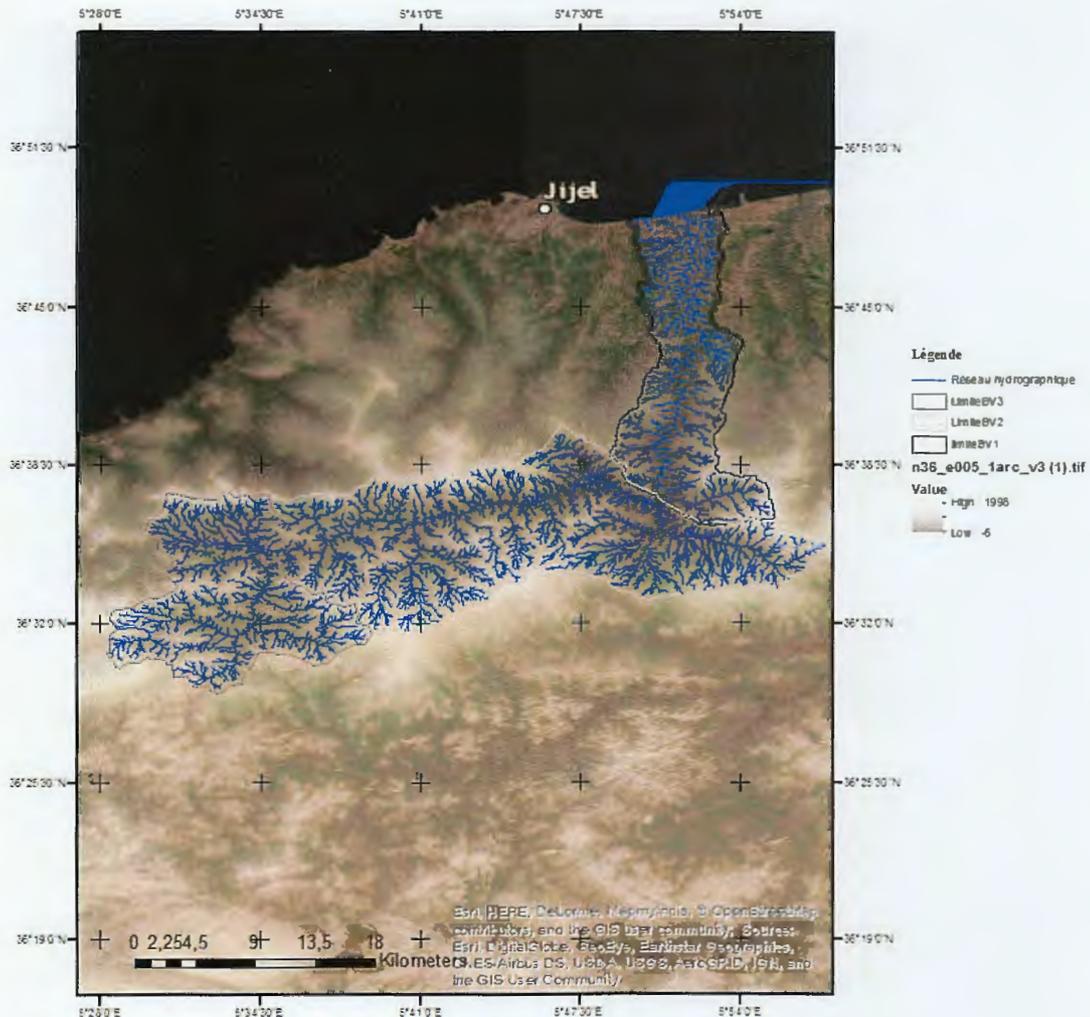


Fig. III.5 : Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen

III.1.2. Superposition des différents types du réseau hydrographique

Afin de vérifier la fiabilité des résultats (réseau hydrographique et limite du BV) générés automatiquement sur arc Gis 10.2, nous avons superposé nos cartes avec celles de l'ANRH (Fig. III.6)

L'analyse de la figure III.5, montre que l'ensemble du réseau hydrographique converge vers une seule rivière et possède un exutoire bien défini. Ceci, prouve que le réseau de drainage virtuel est hydrologiquement correct.

En outre, la superposition de ce réseau sur celui figuré sur la carte du réseau hydrographique généré à partir de la carte topographique montre une superposition presque parfaite pour le SBV 2 et le SBV3 (Fig. III.6). Cependant, il faut signaler le faible décalage entre ces deux réseaux, qui peut être causé par les différentes échelles du MNT et la carte topographique (le MNT possède une résolution spatiale plus haute que celle de la carte topographique ; échelle 1 :25000 et au seuil qu'on a choisi pour générer le réseau hydrographique (le seuil est 70).

Il faut signaler aussi, qu'il y a une parfaite superposition entre les limites des sous bassins versants 2 et 3, par contre pour le SBV1, il y a une erreur sur le réseau hydrographique généré et donc la limite du bassin versant. Cette erreur est lié au MNT de base, qui peut être ayant pris en considération le port de Djendajn.

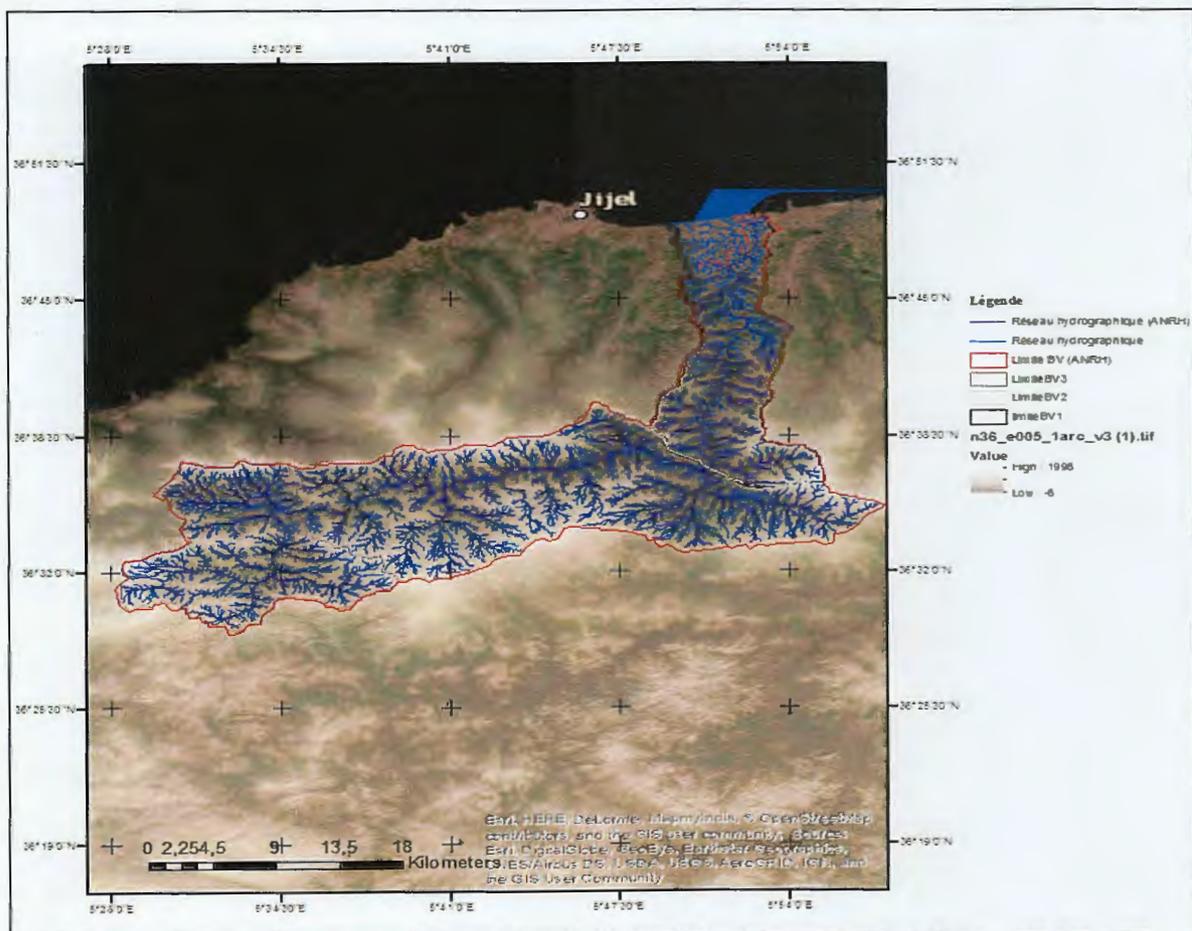


Fig. III.6 : Comparaison entre les différents réseaux hydrographiques

III.1.3 Plans d'informations dérivés du MNT

III.1.3.1. Caractéristiques morpho métriques du réseau hydrographique

Généralement, la structure globale du réseau hydrographique avec ses caractéristiques morpho métriques reflètent les interactions entre les conditions climatiques et les caractéristiques lithologiques, structurales et morphologiques d'un bassin versant (Dubreuil, 1974). Il s'avère que l'étude du réseau hydrographique donne un plan d'information essentiel pour mieux diagnostiquer les phénomènes hydrologiques (inondation, érosion hydrique,...).

a) Hiérarchisation du réseau hydrographique

Grâce au module Streamorder, nous avons hiérarchisé le réseau hydrographique virtuel en choisissant la méthode de Strahler à cause de sa signification géomorphologique et de sa simplification (Fig III.7) et (Fig. III.8).

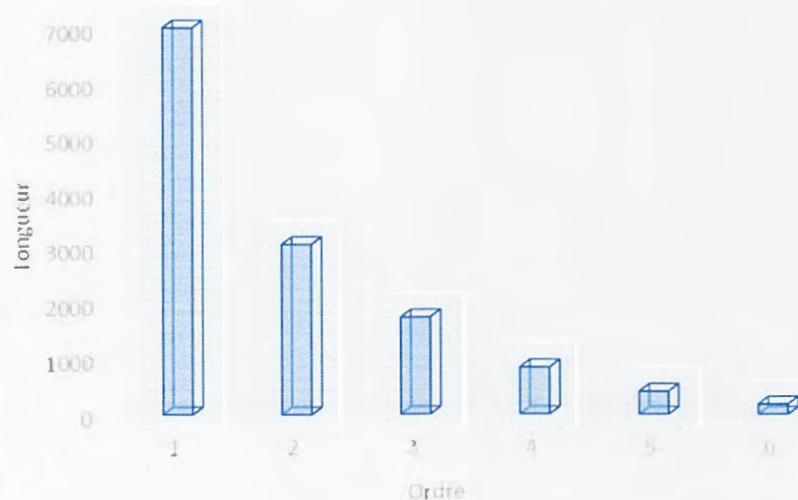


Fig. III.7 : Distribution des ordres oueds

Commentaire :

Les résultats obtenus (Fig. III.7), montrent que la moitié des cours d'eau des trois sous bassins versants (51,81%) sont classés dans le premier ordre. La classe du deuxième ordre présente un pourcentage remarquable de l'ordre de 25% pour les deux sous bassins versants 2 et 3. Le reste des cours d'eau sont répartis sur les autres classes avec une faible proportion.

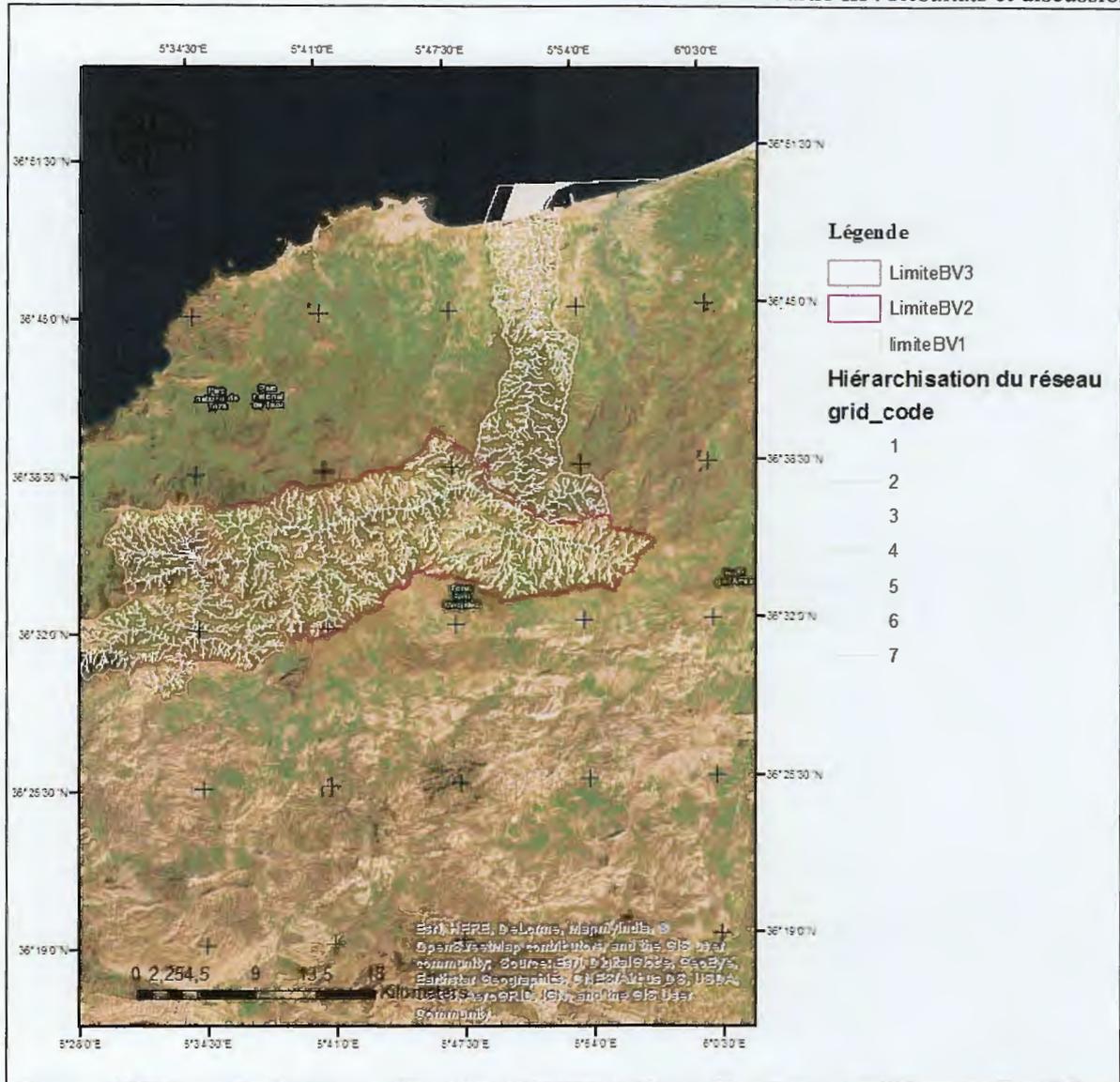


Fig. III.8 : Hiérarchisation du réseau hydrographique

b) Rapport de bifurcation

On constate que pour un bassin versant homogène, le "rapport de bifurcation ou de confluence" R_b , rapport du nombre N_i de cours d'eau d'ordre (i) au nombre N_{i+1} de cours d'eau d'ordre $(i+1)$, est sensiblement constant.

Une valeur élevée de ce rapport exprime une réponse hydrologique lente et une faible valeur exprime le cas inverse. Autrement dit, ce rapport indique la relation entre la proportion de la bifurcation du réseau de drainage et leur capacité d'évacuation des eaux vers un exutoire. De ce fait, le rapport de bifurcation est considéré comme un excellent révélateur pour la prévision des

inondations, de façon que si sa valeur est plus faible, l'évacuation des eaux vers l'extérieur du bassin sera faible, ce qui va augmenter le risque d'inondation.

Ce paramètre s'obtient par la relation exprimée dans l'équation suivante (tableau III. 1)

$$R_b = \frac{R_n}{R_{n+1}}$$

Avec,

- R_b , désigne le rapport de bifurcation,
- R_n , désigne le nombre des cours d'eau d'un ordre donnée,
- R_{n+1} , désigne le nombre des cours d'eau d'ordre qui suit la classe précédente.

Tableau III. 1 : Rapport de bifurcation du réseau hydrographique

BV	Ordre	Nombre	Rb
BV1	1	15798	4,67
	2	3381	4,67
	3	1503	2,25
	4	858	1,75
	5	1201	--
BV2	1	15643	2,11
	2	7406	2,36
	3	3138	1,64
	4	1917	2,50
	5	768	2,50
	6	692	1,11
	7	12	--
BV3	1	6986	2,28
	2	3059	1,76
	3	1737	2,07
	4	841	2,04
	5	413	2,23
	6	185	--

Commentaire :

La valeur globale du rapport de bifurcation, pour le SBV2 et SBV3, est respectivement de l'ordre de 2,04 et 2,08, ce qui provoque un ruissellement important et par conséquent, il y a accélération de l'érosion hydrique.

c) La densité de drainage

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \left(\frac{\text{Km}}{\text{Km}^2} \right)$$

Avec :

- D_d , désigne la densité de drainage exprimée en km/km^2 ;
- L_i n désigne la longueur de cours d'eau, exprimée en Km;
- A : surface du bassin versant, exprimée en km^2 .

La densité de drainage dépend des caractéristiques géologiques, topographiques, climatologiques et anthropiques (Musy et Higy, 1998).

D'après Chorley (1957), Leopold et al (1964), les valeurs élevées de la densité de drainage renseignent que la majorité du ruissellement est évacué vers l'extérieur du bassin en déclenchant les risques d'inondation et d'érosion hydrique. En outre, les faibles valeurs de la densité de drainage révèlent que le terrain est très perméable, tandis que les valeurs très élevées de cette densité montrent que les terrains sont imperméables.

Les valeurs de densité de drainage calculé sont consignées dans le tableau III.2 ci-après :

Tableau III.2 : Estimation de la densité de drainage

BV	Ordre	Longueur (Km)	BV	Ordre	Longueur (Km)
BV1	1	713,35	BV2	1	500,04
	2	107,62		2	249,03
	3	47,12		3	105,52
	4	26,88		4	63,40
	5	39,11		5	24,45
	Somme (Km)	934,07		6	21,70
	Surface (Km ²)	137,91		7	0,50
BV3	1	216,52	Somme (Km)	964,63	
	2	99,46	Surface (Km ²)	272,73	
	3	53,99			
	4	27,24			
	5	13,05			
	6	7,10			
	Somme (Km)	417,36			
	Surface (Km ²)	129,91			

Commentaire :

La densité du drainage des sous-bassins versants d'oued Djendjen est de l'ordre de 3,53 Km/Km² pour le SBV2 et 3,21 km/Km² pour le SBV3. Dans notre cas d'étude ce bassin versant est caractérisé, en grande partie, par un substratum marneux imperméable, ceci favorise l'érosion du terrain.

III.1.3.2. Caractéristiques géométriques

En premier nous avons calculé le paramètre surface de chaque sous bassin versant et comparé la valeur obtenue avec les surfaces des trois bassins versants. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau III.3 ci-après :

Tableau III. 3 : Comparaison entre les surfaces des bassins versants

Bassin versant	Surface de la limite générée automatiquement sur ArcGis (Km ²)	Surface du BV selon ANRH (Km ²)	Erreur
BV1	137,91	124,31	11%
BV2	272,73	171,85	0,32%
BV3	129,91	131,68	1,34%

Commentaire :

Les surfaces des bassins versants SBV2 et SBV3 calculée à partir de la limite générée automatiquement sont très proches aux celles données par les services de l'ANRH. La marge d'erreur pour ces deux bassins ne dépasse pas 1,5%, elle est de l'ordre de 0,34% pour le SBV2 et 1,34% pour le SBV3.

La marge d'erreur pour le SBV1 est assez élevée, de l'ordre de 10%. Nous avons déjà constaté cette différence visuellement (Fig. III.6)

Par la suite nous avons calculé les autres paramètres morpho métriques des deux bassins versants (SBV2 et SBV3), il s'agit du périmètre du bassin, sa forme, son relief, pour pouvoir diagnostiquer son comportement hydrologique en utilisant les potentialités offertes par ArcMap (Fig. III.9).

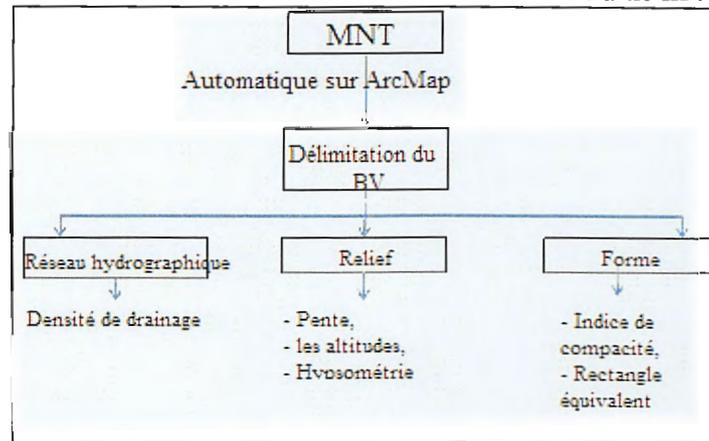


Fig. III.9 : Organigramme montrant la démarche utilisée pour la détermination des paramètres

a) La forme

Le comportement hydrologique est contrôlé par la forme du bassin versant, de façon qu'une forme quasi circulaire donne une réponse hydrologique plus rapide qu'à la même averse d'un bassin allongé, ce qui augmente par conséquent le risque de crue (Musy et Laglaine, 1992). Le calcul de ce paramètre est fait en appliquant la formulation suivante ;

$$K_g = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

- K_g , désigne l'indice de compacité de Gravelius,
- A , la surface du bassin versant (km^2),
- P , désigne le périmètre du bassin versant (km).

Si la valeur de $K_g = 1$, la forme du bassin est parfaitement circulaire. Tandis que, si elle est proche de 1,12, la forme du bassin est arrondie. Par contre, si elle est loin de 1,12, la forme du bassin est allongée.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau III.4 ci-après :

Tableau III.4 : Caractéristiques géométriques des sous bassins versants d'oued Djendjen

Paramètre	BV2	BV3
Superficie (Km^2)	272,73	129,91
Périmètre (Km)	92,65	63,00
Indice de compacité	1,58	1,55
Longueur du rectangle équivalent (Km)	39,73	26,68
Largeur de rectangle équivalent (Km)	6,86	4,87

Commentaire :

Les résultats obtenus montrent que les bassins versants étudiés ont une forme allongée, ce qui est normal pour des oueds ayant un long trajet. Cette forme favorise des faibles débits de pointe de crue avec un temps important d'acheminement vers l'exutoire. Ceci, peut augmenter l'érosion hydrique du sol.

b) Etude du relief

Ce paramètre peut être exprimé au moyen des indices suivants : la courbe hypsométrique, les altitudes et les indices de pente.

- La courbe hypsométrique

Elle s'obtient en représentant en abscisse le pourcentage de la surface totale du bassin qui se trouve au-dessus d'une tranche d'altitude portée en ordonnée. Pour ce faire, nous avons reclassé les altitudes mentionnées sur le MNT en utilisant le module reclassify d'ArcMap puis nous avons construit cette courbe (tableau III.5, tableau III.6, Fig. III.10 et Fig. III.11).

✓ Courbe hypsométrique du SBV2

Tableau III.5: Répartition hypsométrique du BV2

Tranche d'altitude	Surface partielle (Km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulée (Km ²)	Surface cumulée (%)
223-400	16,3	6,0	16,3	6
400-600	43,2	15,8	59,4	22
600-800	76,3	28,0	135,7	50
800-1000	69,2	25,4	205,0	75
1000-1200	38,4	14,1	243,3	89
1200-1400	22,9	8,4	266,2	98
1400-1683	6,5	2,4	272,7	100

Commentaire

Le résultat obtenu, montre que 53% de la zone d'étude est occupée par des altitudes oscillant entre 800m et 1000m et 22% est occupée par les altitudes moins de 600m. Tandis que, les altitudes qui dépassent 1000m occupent 25% de cette superficie, ce qui reflète la nature montagneuse de la région d'étude. En outre, l'aspect général de la courbe hypsométrique (III.9) présente une concavité vers le bas. Cette forme est caractéristique d'un bassin à l'état de jeunesse allant vers l'équilibre, d'où un potentiel érosif assez important.

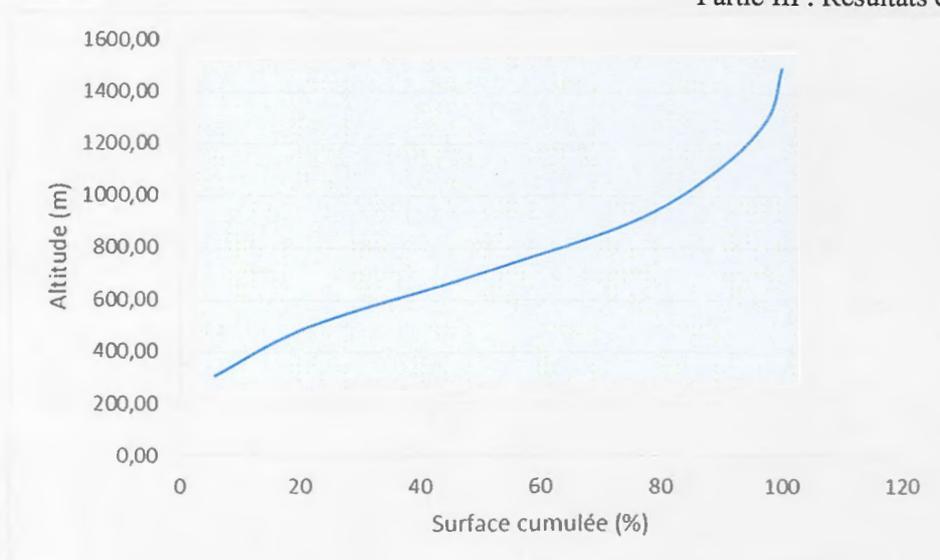


Fig. III. 10 : Courbe hypsométrique du SBV2

✓ Courbe hypsométrique du SBV3

Tableau III.6: Répartition hypsométrique du SBV3

Tranche d'altitude	Surface partielle (Km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulée (Km ²)	Surface cumulée (%)
683-700	17,10	13,17	17,10	13
700-800	25,92	19,95	43,02	33
800-900	24,67	18,99	67,68	52
900-1000	22,94	17,66	90,62	70
1000-1100	16,81	12,94	107,43	83
1100-1200	10,64	8,19	118,07	91
1200-1300	4,94	3,81	123,02	95
1300-1400	2,79	2,15	125,80	97
1400-1500	1,43	1,10	127,24	98
1500-1600	0,74	0,57	127,97	99
1600-1700	0,63	0,49	128,61	99
1700-1800	0,59	0,46	129,20	99
1800-1991	0,69	0,53	129,89	100

Commentaire :

Le résultat obtenu, montre que la plus grande surface (environ 83%) du SBV3 est occupée par des altitudes oscillant entre 683 et 1100, le reste est occupée par des altitudes élevées, de 1100 jusqu'à l'altitude maximale (1991m).

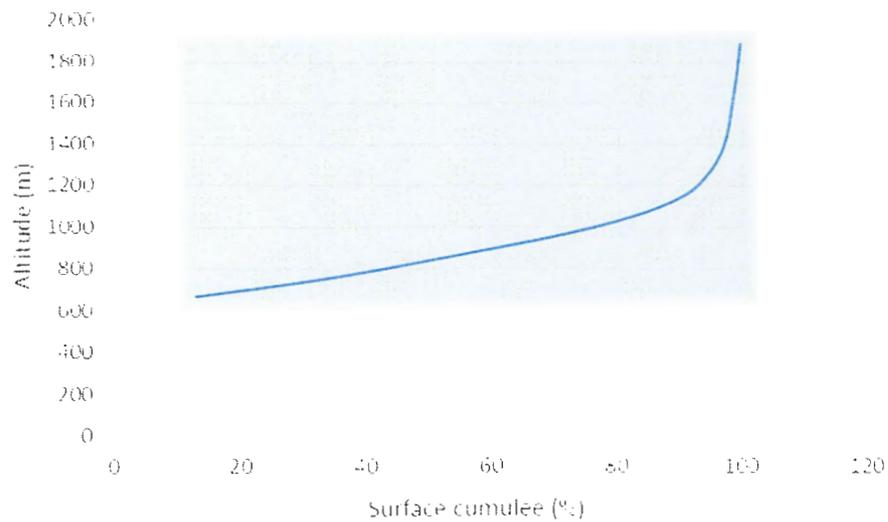


Fig. III.11 : Courbe hypsométrique du SBV3

- Les altitudes

Les altitudes maximales et minimales sont estimées automatiquement à l'aide d'ArcMap. Tandis que, les autres sont déduites par une lecture sur la courbe hypsométrique.

- ✓ Altitude médiane : elle correspond au point d'abscisse 50 % sur la courbe hypsométrique H50%.
- ✓ Altitude moyenne ; elle permet d'analyser les lois réglant les précipitations et le ruissellement superficiel. On peut la calculer à partir de la relation suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i A_i}{A_{total}}$$

Avec ;

- H_{moy} , désigne l'altitude moyenne (m),
- A_i , désigne l'aire comprise entre deux courbes de niveau (km^2),
- H_i , désigne l'altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m),
- A : superficie totale du bassin versant (km^2).

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau III.7 ci-après :

Tableau III.7 : Les caractéristiques d'altitude des bassins versants SBV2 et SBV3

Désignation	Valeur (m)	
	SBV2	SBV3
Altitude minimale	223	683
Altitude maximale	1683	1991
Altitude médiane	700	850
Altitude moyenne	822	924
H95%	1200	1200
H5%	300	600

Il apparaît que les deux bassins possèdent une topographie très accentuée. Cette caractéristique, les rend exposé à un drainage important, et une faible infiltration, ce qui favorise l'érosion du sol.

c) Indices de pente et relief

- Indice de pente globale

Le rôle du relief est très important car il contrôle d'une façon pertinente l'aptitude du terrain au ruissellement des eaux. Son rôle peut être extrapolé à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Où,

- I_g , désigne l'indice global de pente (m/Km),
- D , désigne la dénivelée utile (m),
- L , désigne la longueur du rectangle équivalent (Km).

Sur la courbe hypsométrique, on peut déduire les valeurs nécessaires au calcul du dénivelé utile (D). Elle se définit comme étant la différence entre la côté H5% et H95% sur la courbe.

L'équation suivante va simplifier le calcul de (D) :

$$D := H5\% - H95\%$$

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau III.8 :

Tableau III.8 : Valeurs de l'indice de pente globale

Désignation	Valeurs	
	SBV2	SBV3
H 5% (m)	300	600
H95% (m)	1200	1200
D (m)	900	600
L (Km)	39,73	26,68
Ig	0,022	0,022

D'après la classification d'ORSTOM. La valeur d'Ig de notre bassin versant est comprise entre 0,02 et 0,05 (tableau III.9), ce qui signifie que le sous bassin versant d'oued Djendjen a un relief assez fort.

Tableau III. 9 : Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM

Class	Description	Valeur
R1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
R7	Relief très fort	$I_g > 0,1$

- Indice de pente spécifique

En effet, Ig s'applique mieux à des bassins de petite taille ce qui nous amène à dire que l'indice de pente globale ne reflète pas l'aspect exact du relief. De ce fait, et dans l'ordre de pallier cet inconvénient, Ig est corrigé de l'effet de surface par utilisation du dénivelé spécifique :

$$D_s = I_g \sqrt{l}/L$$

Avec :

- D_s, désigne la dénivelée spécifique, exprimée en m;
- I_g, désigne l'indice de pente global, exprimé en m/Km ;
- l, désigne la largeur du rectangle équivalent exprimé en Km ; et
- L, désigne la longueur du rectangle équivalent, exprimé en Km.

Le dénivelé spécifique apparaît donc comme une correction du dénivelé simple par l'application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin.

Les valeurs de D_s sont respectivement, pour le BV2 et BV3, de l'ordre de 374 et 265.

Ces deux valeurs sont comprises entre 250 m et 500 m, ce qui caractérise les deux sous bassins versant par un relief fort, d'après la classification d'ORSTOM (tableau III.10).

L'onglet « date range » est très importante dans laquelle on définit la date qu'on cherche (de...à...), en sélectionne les mois 6 ou 7 ou 8 dont la présence du nuage est faible.

On peut ensuite aller dans l'onglet « DataSet » qui permet de choisir les données à télécharger, un MNT, une image satellitaire,....

L'onglet résultats, visualise les données sélectionnées à télécharger.

Pour afficher les images vous cliquez sur l'image, et pour les télécharger, il suffit de cliquer sur l'icône de téléchargement (Fig. II.7).

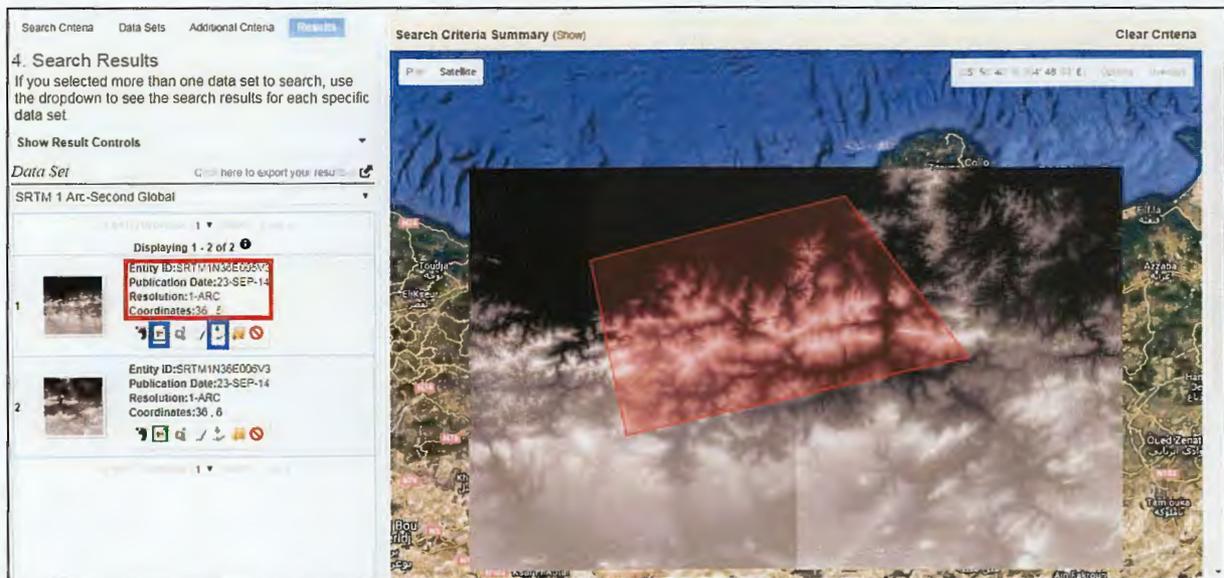


Fig. II.7 : Visualisation des données sur le site

En fin pour télécharger les données, différentes extensions sont proposées (Fig. II.8). Pour le téléchargement nous avons choisi geotiff 1 arc-second. Cette extension offre des images avec un fichier géo-référencé directement utilisé sur ArcGis.

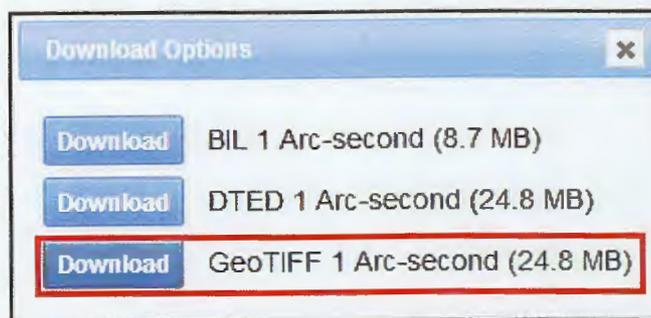


Fig. II.8 : Les extensions offertes pour télécharger les données

II.2.2. La modélisation hydrologique sous ArcGis

Les outils Hydrologie permettent de modéliser la circulation d'eau à travers une surface.

La compréhension de la forme de la surface de la Terre est utile dans de nombreux domaines, tels que la planification régionale, l'agriculture et la forêt. Ces domaines requièrent une compréhension de l'écoulement de l'eau dans une zone et de la façon dont des changements dans cette zone peuvent influencer sur cet écoulement. Lorsque vous modélisez un flux d'eau, vous pouvez savoir d'où l'eau provient et où elle se dirige.

Les étapes de la modélisation hydrologique sous ArcGis sont présentées sur l'organigramme de la figure suivante (Fig. II.9) :

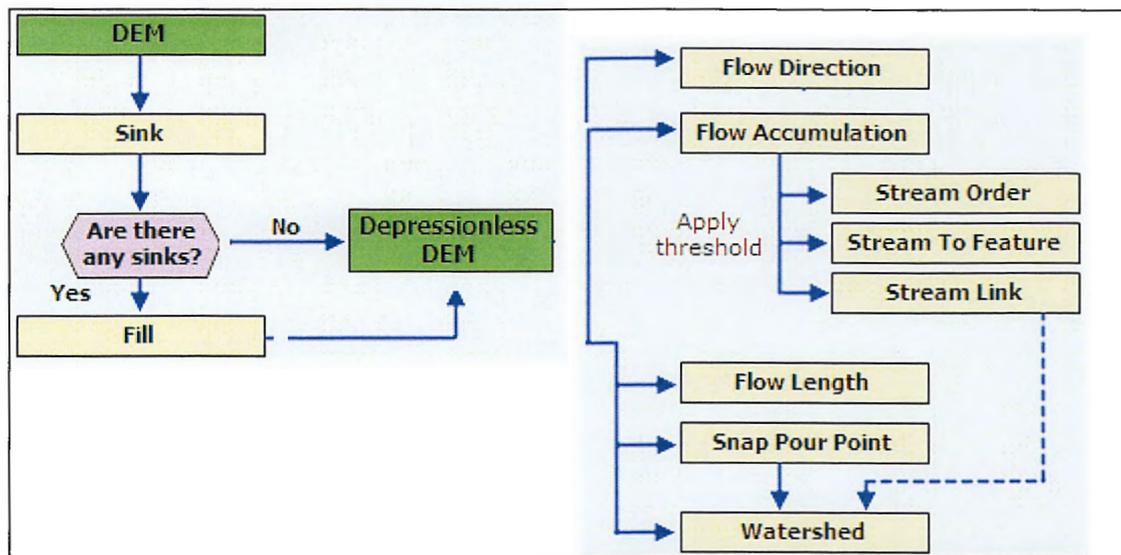


Fig. II.9 : Diagramme de modélisation des informations hydrologiques

Tous les outils utilisés dans ce travail sont présentés sur la troisième partie, résultats et discussions.

II.2.3. Estimation de l'érosion hydrique

Selon Girard et al (2005), l'érosion du sol peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement par la gravité. En effet, l'érosion hydrique est un problème ancien et naturel, mais aujourd'hui, son importance s'agrandit et s'accélère avec le développement démographique et socio-économique, rendant sa cause plus anthropique (Wall et al, 2002). En Algérie, plus de 45% de la surface est affectée par ce phénomène conduisant à des sérieux problèmes au niveau de la dégradation des ressources en sol et également sur les hydrosystèmes (Combeau, 1977).

Pour cartographier ce phénomène dans la zone d'étude, nous avons appliqué la méthode la plus utilisée et la plus admise pour estimer l'érosion hydrique en nappe et en rigole (Fossey,

2007). Cette méthode consiste à appliquer le modèle empirique de l'équation universelle révisée de perte de sol (RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier et Smith (1978) qui a été modifié par Renard et al (1991). Cette équation est formulée comme suit : $A = R \times K \times Ls \times C \times P$

Avec,

- A, désigne le taux d'érosion potentielle (T/ha/an) ;
- R, désigne le facteur d'érosivité climatique (MJ * mm / ha * h) ;
- K, désigne le facteur d'érodibilité du sol (T * h / ha * MJ * mm) ;
- L, désigne le facteur de longueur de pente (m) ;
- S, désigne le facteur d'inclinaison de pente (%) ;
- C, désigne le facteur adimensionnel de la couverture végétale et de gestion de sol ;
- P, désigne le facteur adimensionnel relié à des pratiques de conservation du sol.

Ces facteurs sont mis en interaction dans le SIG pour modéliser le phénomène d'érosion hydrique du sol. La méthode d'approche est présentée dans la figure II.10.

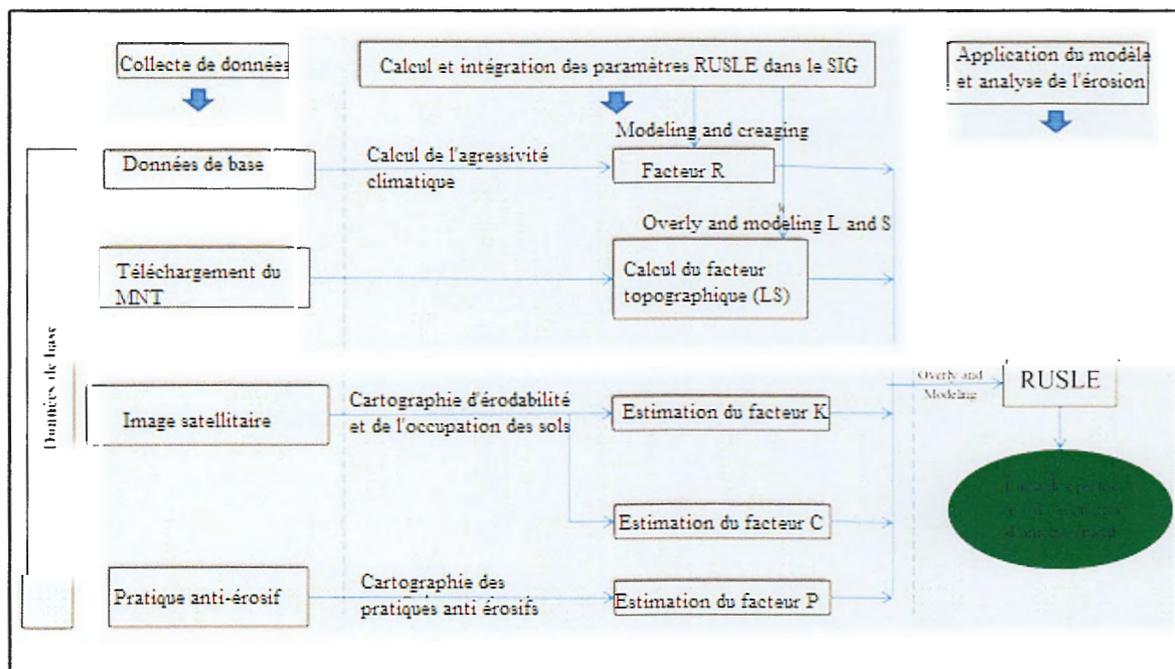


Fig. II.10 : Organigramme méthodologique de l'intégration de RUSLE dans le SIG.

Conclusion

La méthodologie adoptée consiste à exploiter et à interpréter des données altimétriques SRTM, sous l'interface du logiciel ArcGis 10.2, dans le but de cartographier le réseau hydrologique qui permettra une description des différents paramètres topographiques (pente, crête, longueur du cours d'eau...) et par la suite une délimitation des bassins versants.

Les données MNT sont disponibles sur le site earth explorer.

En outre, nous exploitons ces données et des outils de la télédétection pour la modélisation d'un phénomène hydrologique. Il s'agit du phénomène de l'érosion hydrique, qui peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement par la gravité.

Tableau III.10 : Classification du relief selon Ds par l'ORSTOM

Class	Description	Valeur
R1	Relief très faible	Ds<10m
R2	Relief faible	10m<Ds<25m
R3	Relief assez faible	25m<Ds<50m
R4	Relief modéré	50m<Ds<100m
R5	Relief assez fort	100<Ds<250m
R6	Relief fort	250m<Ds<500m
R7	Relief très fort	Ds>500m

III.2. Estimation de l'érosion hydrique par le modèle RUSLE

III.2.1. Facteur d'agressivité climatique (R)

La précipitation sous forme de goutte de pluie est d'une influence essentielle sur l'érosion car elle détache et ruisselle les particules du sol vers les endroits de dépôt (Marcey et Berville, 2003). En outre, la hauteur de la pluie tombée et l'ampleur d'écoulement qu'elle engendre sont des facteurs clefs de l'érosion hydrique des sols (White, 1986). D'autre part, l'érosivité de la pluie dépend surtout de son intensité ou de son énergie cinétique (Stengel et Gelin, 1998).

Wischmeier & Smith ont développé une formule empirique pour calculer ce facteur dont laquelle il faut connaître l'énergie cinétique (E_c) et l'intensité moyenne sur 30 minutes (I_{30}) des gouttes de pluie. Malheureusement, les données récoltées ne contiennent pas les paramètres d' E_c et I_{30} . En outre, nous avons trouvé que certains auteurs comme Kalman (1967), Arnoldus (1980) et Rango & Arnoldus (1987) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur R (Sadiki et al, 2004). À ce propos, pour calculer ce facteur nous avons appliqué l'équation qui a été développée par Rango et Arnoldus en 1987 :

$$\log(R) := 1,74 \times \text{Log} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i}{P} \right) + 1,29$$

Avec ;

- R, désigne l'érosivité des pluies en MJ.mm/ha.h.an,
- P_i , désigne la précipitation mensuelle en mm,
- P, désigne la précipitation annuelle en mm.

Tout d'abord, il faut signaler que nous avons calculé ce facteur pendant une période de dix ans (de 2005 jusqu'à 2015). Les résultats obtenus sont affichés sur le tableau et la figure suivants (tableau III.11 et Fig. II.12).

Tableau III.11 : Valeurs du facteur d'érosivité des pluies (R moyen)

Station	Achouat	El Chaddia	Erraguene	Ouled Ghecha	Texanna
R (MJ.mm/ha.h.an)	134,28	156,02	179,46	157,59	138,37

La valeur moyenne de l'érosivité des pluies sur la période 2005/2015 a été obtenue en calculant la moyenne des indices d'érosivité de pluie pour chaque année. Ensuite, nous avons spatialisé les données ponctuelles de l'érosivité des pluies des différentes périodes, par interpolation, à l'échelle du territoire, en utilisant la méthode de Krigeage intégrée dans l'outil Spatial Analyst de l'ArcMap (Fig. III.12).

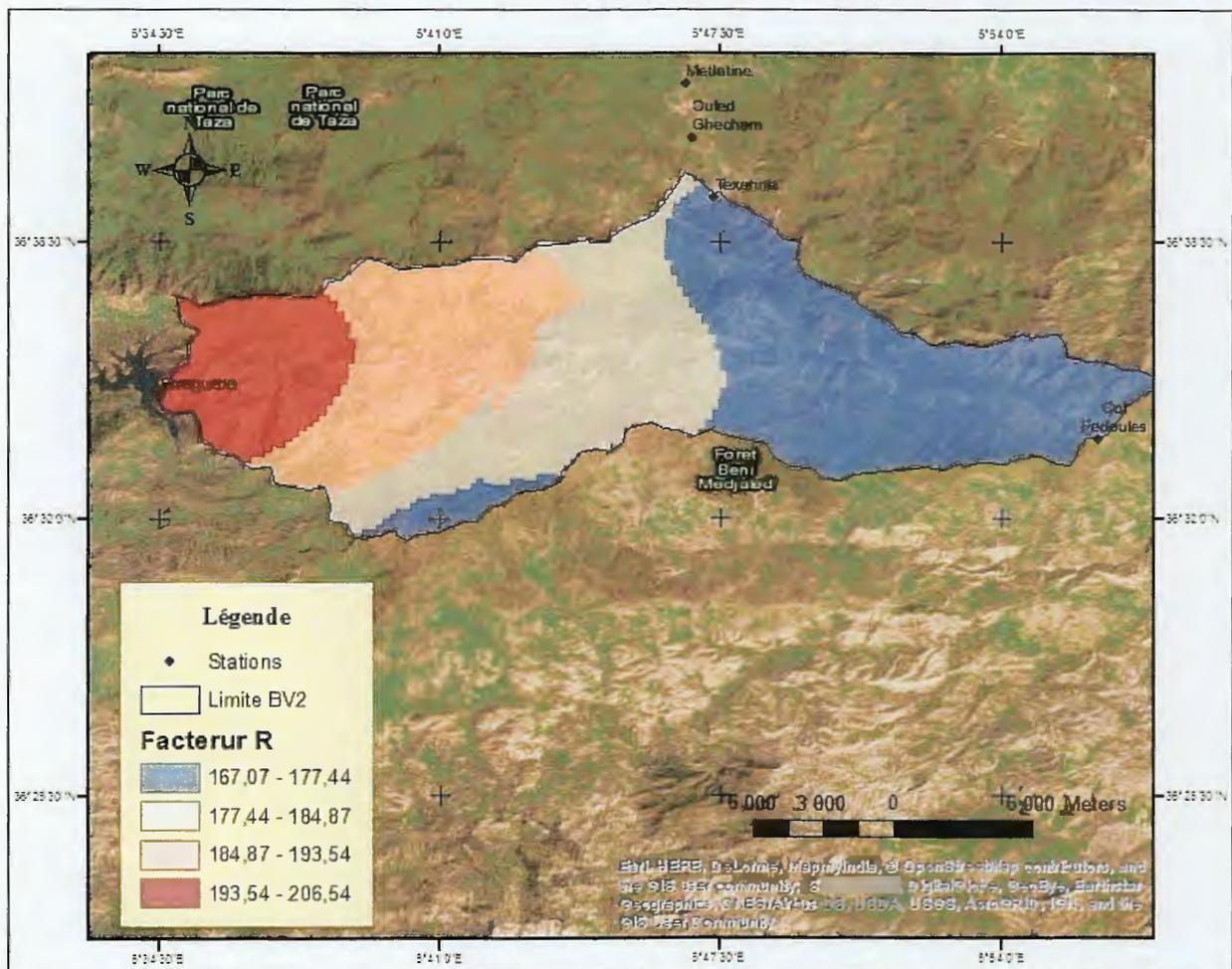


Fig. III.12 : Carte d'érosivité de pluie (Facteur R)

Commentaires :

Les résultats obtenus, montrent que le sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen (BV2) est soumis à une agressivité de pluie importante allant de 167 Mj.mm/hectar.heure.an jusqu'à 206

Mj.mm/hectar.heure.an. Ainsi, les valeurs moyennes de R mesurées au niveau de chaque station pluviométrique présentent un gradient croissant de l'exutoire vers l'amont.

Presque la moitié du territoire du bassin versant (40%) est soumis à une agressivité climatique comprise entre 167 et 177 MJ.mm/ha.h (tableau III.11). Ceci, est marqué sur les régions de Texenna, Benyadjis et Djimla.

Les valeurs maximales de R varient entre 194 et 207 Mj.mm/ha.h sont marquées sur le côté ouest du bassin dans les régions d'Erreguene avec un pourcentage de 13%.

Les valeurs de R présentées par la classe (177 à 185 MJ.mm/ha.h) et la classe (185 à 194 MJ.mm/ha.h.an) se focalisent dans la région de Selma Benziada.

Tableau III.12 : Surfaces occupées par les classes des valeurs du facteur R

Classes de R	[167,07 – 177,44]	[177,44 – 184,87]	[184,87 – 193,54]	[193,54 – 206,54]
Superficie en Km ²	108,43	68,89	59,96	35,42
Pourcentage (%)	40	25	22	13

III.2.2. Facteur d'érodibilité du sol (K)

L'érodibilité des sols représente leur résistance à la dégradation par l'énergie cinétique des gouttes de pluie ou du ruissellement. De plus, dans le modèle de Wischmeier adopté aux conditions américaines, la sensibilité des sols à l'érosion hydrique en nappe et rigole est en fonction de plusieurs paramètres, parmi eux, les propriétés intrinsèques comme la texture, la structure, la perméabilité et la présence de la matière organique.

La cartographie du facteur K nécessite une carte pédologique et certaines caractéristiques des sols existés. Dans ce présent travail, nous avons utilisé la base harmonisée de données des sols du monde, qui est une base de données avec une trame de 30 arc-seconde et plus de 15 000 différentes unités cartographiques de sols qui combine les mises à jour régionales et nationales d'informations existantes sur les sols du monde entier les informations contenues dans la Carte des sols du monde FAO-UNESCO à l'échelle 1:5 000 000 (FAO, 1971-1981).

Dans la première phase, nous avons utilisé le logiciel HWSD-Viewer pour télécharger la carte pédologique du monde en format GéoTiff (Fig. III. 13).

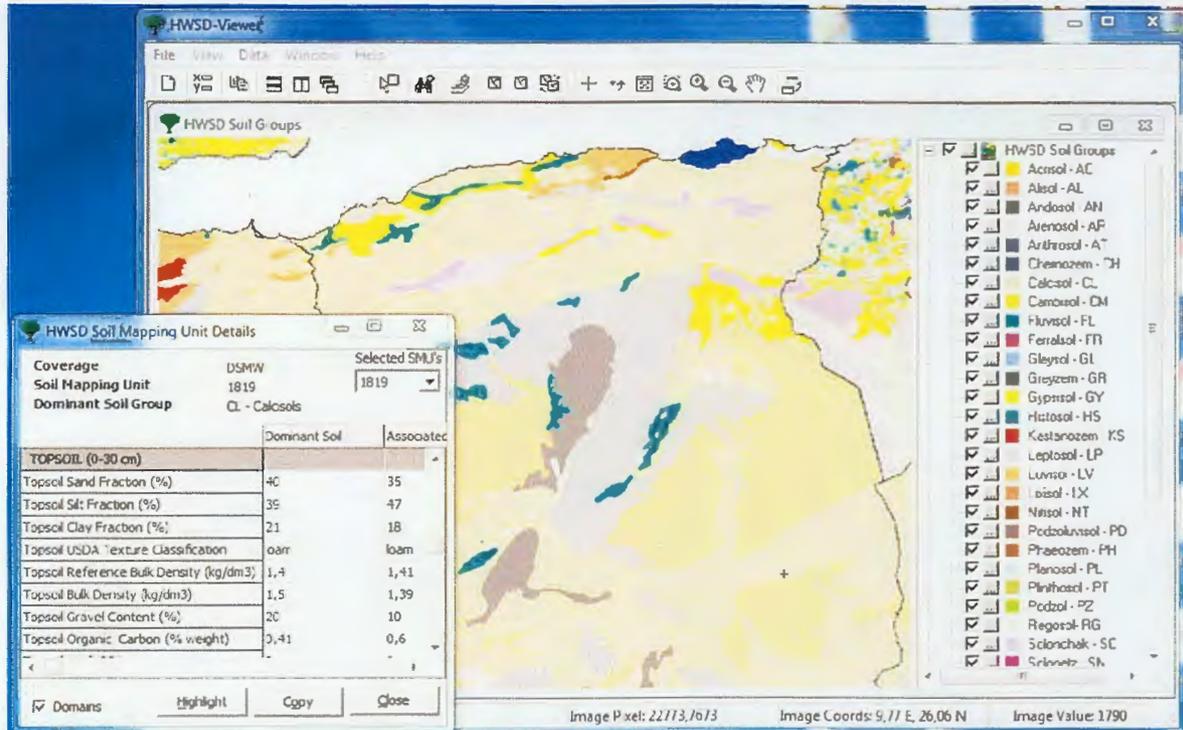


Fig. III. 13 : Carte pédologique téléchargée à l'aide du logiciel HWSD-Viewer

Ensuite, nous n'avons dérivé que la carte pédologique du bassin d'étude en utilisant la fonction *Clip* de l'ArcMap (Fig. III.14). Analysant cette dernière figure, montre clairement que la zone d'étude est voilée par deux types de sol. Le premier, dite Luvi-sol et le deuxième dite Calci-sol.

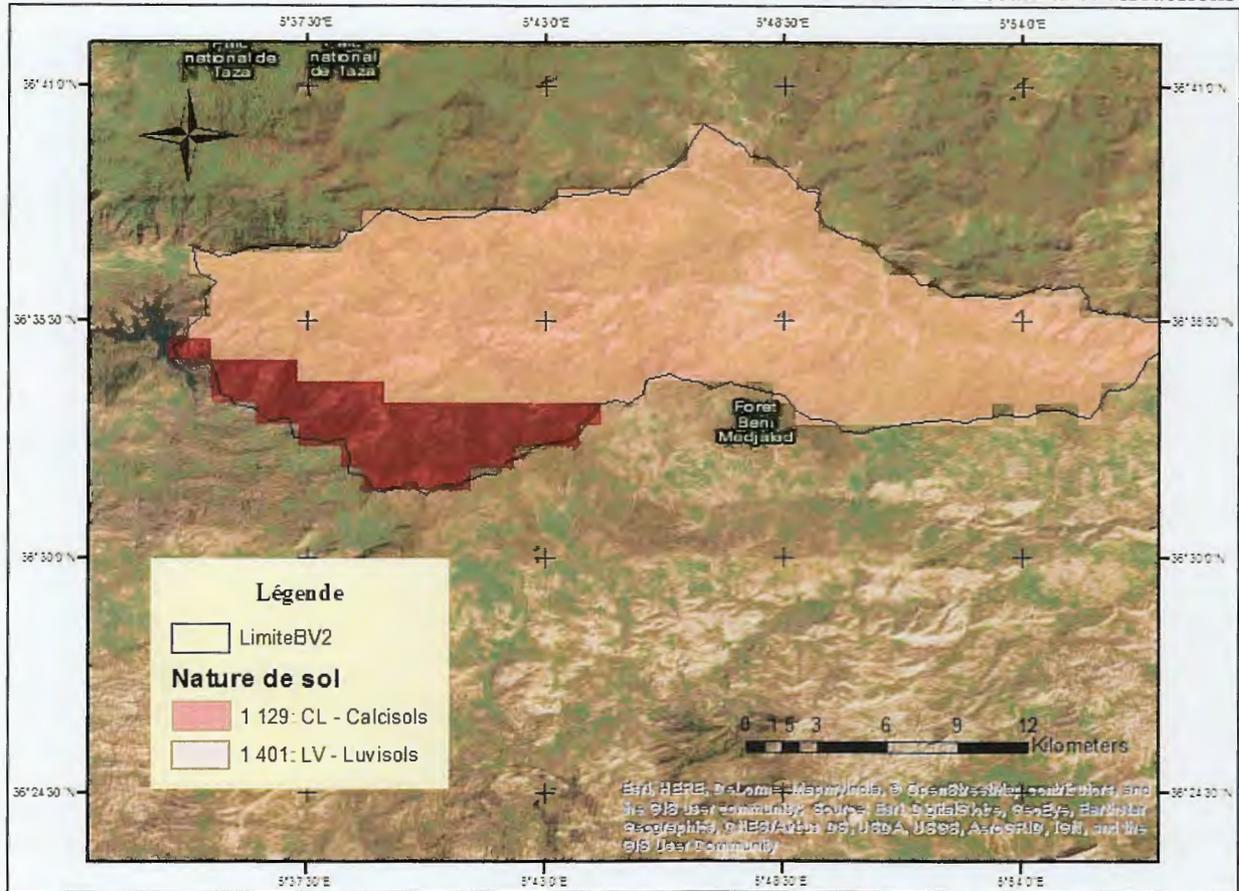


Fig. III. 14 : Carte pédologique du sous bassin versant inférieur d’oued Djendjen (BV2)

La deuxième phase, consiste à déterminer l’ensemble des caractéristiques des différents types de sol représentés dans cette carte, tableau III.13, et suivant des étapes bien déterminées (FAO/UNESCO, 1995).

Tableau III.13 : Caractéristiques des sols occupant la zone d’étude

Coverage	DSMW	
Soil Mapping Unit	1401	1129
Dominant Soil Group	LV - Luvisols	CL - Calcisols
Sequence	1	1
Share in Soil Mapping Unit (%)	70	70
Database ID	39065	38470
Soil Unit Symbol (FAO 74)	La	Bk
Soil Unit Name (FAO74)	Albic Luvisols	Calcic Cambisols
Topsoil Texture	Medium	Medium
Reference Soil Depth (cm)	100	100
Drainage class (0-0.5% slope)	Moderately Well	Moderately Well
AWC (mm)	150	150

Gelic Properties	No	No
Vertic Properties	No	No
Petric Properties	No	No
Topsoil Sand Fraction (%)	37	38
Topsoil Silt Fraction (%)	44	29
Topsoil Clay Fraction (%)	19	21
Topsoil USDA Texture Classification	loam	loam
Topsoil Reference Bulk Density (kg/dm ³)	1,41	1,4
Topsoil Bulk Density (kg/dm ³)	1,42	1,42
Topsoil Gravel Content (%)	10	10
Topsoil Organic Carbon (% weight)	0,82	0,63
Topsoil pH (H2O)	6	8
Topsoil CEC (clay) (cmol/kg)	53	56
Topsoil CEC (soil) (cmol/kg)	14	16
Topsoil Base Saturation (%)	83	100
Topsoil TEB (cmol/kg)	16,3	27,1
Topsoil Calcium Carbonate (% weight)	0	7
Topsoil Gypsum (% weight)	0	0,1
Topsoil Sodicity (ESP) (%)	1	1
Topsoil Salinity (ECe) (dS/m)	0,1	0,3

- Calcul du facteur K

Ce calcul est fait en introduisant les valeurs de la texture, la structure, la perméabilité et de la teneur en matière organique du sol dans le module ArcCalculator en appliquant l'équation de Torri et al (1997) ;

$$K = 0,0293 (0,65 - D_g + 0,24D_g^2) \exp \left\{ -0,0021 \frac{OM}{f_{clay}} - 0,00037 \left(\frac{OM}{f_{clay}} \right)^2 - 4,02f_{clay} + 1,72f_{clay} \right\}$$

$$D_g = -3,5f_{clay} - 2,0f_{silt} - 0,5f_{sand}$$

Avec ;

- K , désigne l'érodibilité du sol (t. h/ha.MJ.mm) ;
- OM, désigne la fraction de la matière organique ;
- f_{sand}, désigne la fraction du sable ;
- f_{silt} , désigne la fraction du limon ;
- f_{clay} , désigne la fraction des argiles ; et
- D_g, désigne la moyenne géométrique de la taille des particules.

Les valeurs obtenues du facteur K sont consignés dans le tableau III.14 ci-après :

Tableau III. 14 : Répartition des surfaces de valeurs K

Type de sol	Valeur de K	Superficie occupée (Km ²)	Superficie occupée (%)
Luvi- sol	0,34	234	86
Calci – sol	0,12	38	14

Commentaire :

Les valeurs de K oscillent entre 0,34 et 0,12 (tableau III.14). De façon que le sol du type Luvi-sol qui possède la valeur maximale de l'ordre de 0,34 occupe environ 86% de la superficie totale du bassin. Tandis que, le sol du type Calci-sol possède la valeur minimale de l'ordre de 0,12.

Ces valeurs, montrent clairement la fragilité des sols du bassin et leur susceptibilité à l'érosion hydrique. Cette condition peut provoquer le phénomène d'envasement du futur barrage de Tabellout.

III.2.3. Facteur topographique (LS)

Ce facteur, combine à la fois les conséquences du facteur de la longueur des pentes (L) et le facteur de l'inclination (S). La longueur d'une pente (L) est la distance comprise entre le point où commence le ruissellement et celui où commence le dépôt unité (Shahram Khosrowpanah et al, 2007). La longueur des pentes (L) peut être dérivée automatiquement d'Overland Flow Length (Esther, 2009), (Simms et al, 2003) et (Wordofa, 2011) tandis que l'angle des pentes en pourcentage est obtenu en appliquant la commande Slope d'ArcMap. Ces facteurs sont dérivés à partir du MNT qui a été élaboré auparavant et réunis avec eux en appliquant l'équation recommandée par (Morgan et Davidson, 1991) pour donner le facteur topographique (LS) ;

$$LS = \left(\frac{L}{22}\right) \times 1/2 \times (0,065 + 0,045 \times S + 0,0065 \times S^2)$$

Avec ;

- L, désigne la longueur des pentes exprimée en mètre,
- S, désigne l'angle de la pente exprimé en pourcentage.

a) Génération de la carte des pentes

Selon Cartier et Leclerc (1964), la pente donne une indication sur le temps de parcours du ruissellement direct et exerce une influence sur le débit de pointe lors d'une averse et par

Partie III : Résultats et discussions
 conséquent, il contrôle forcément le processus de l'érosion hydrique des sols. Grâce à la commande slope d'ArcMap, nous avons généré à partir du MNT la carte des pentes en pourcentage et celle en degré accompagnées par des histogrammes (Fig. III.15, Fig. III. 16 et Fig. III.17). Ensuite, la carte en degré est reclassée selon la classification admise par Young en 1972 (tableau III.15 et tableau III.16).

Tableau III.15 : Classification des pentes d'après Young (1972).

Classes de pente (°)	Description
0 - 2	Pente presque plat jusqu'une inclinaison très faible
2 - 5	Pente modérée
5 - 10	Pente moyenne
10 - 18	Pente dessus de la moyenne
18 - 30	Pente raide
30 - 45	Pente très raide
> 45	Pente de falaise

Tableau III.16 : Classification des classes de pente selon Young avec la superficie occupée.

Classes de pente	Superficie (km ²)	Proportion (%)
0 - 2	1,90	0,70
2 - 5	5,82	2,13
5 - 10	32,39	11,88
10 - 18	100,22	36,76
18 - 30	102,32	37,35
30 - 45	28,84	10,58
> 45	1,16	0,43
Totaux	272,69	100

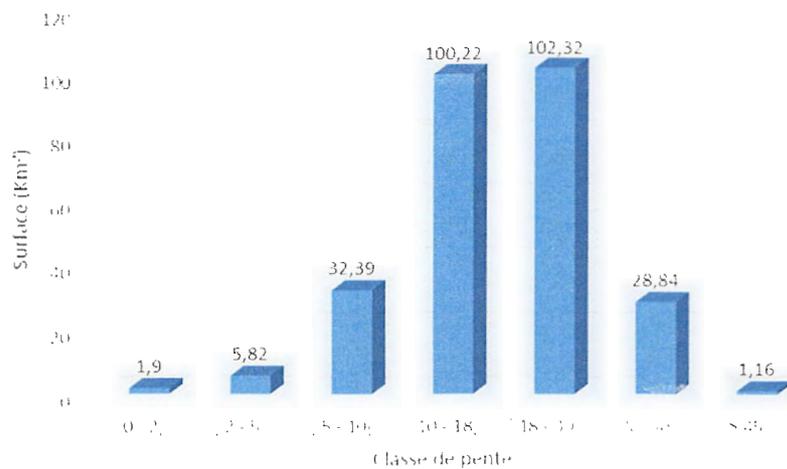


Fig. III.15 : Histogramme de la portion des surfaces occupées par les classes de pentes

Commentaires :

Les résultats obtenus, montrent la prédominance des pentes abruptes (de 10° à 30°) occupant une grande surface du bassin versant, environ 70% de la superficie.

Les zones plates ou faiblement inclinées (0° et 2°) sont moins marquées, moins de 1%. Les zones à inclinaison modérée (2° et 5°) sont réparties aux rives des oueds avec une proportion de l'ordre de 2%. Les inclinaisons moyennes (5° et 10°) représentent presque 12% de la totalité de la superficie du bassin, elle s'étale surtout sur l'espace Sud-Est et Nord-Ouest du bassin.

Les zones ayant des pentes plus raides (30° à plus 45°) occupent 12 % de la superficie totale du bassin versant. Ces résultats montrent que le futur barrage de Tabellout est menacé par le risque d'érosion hydrique du sol (envasement du barrage) et de crues.

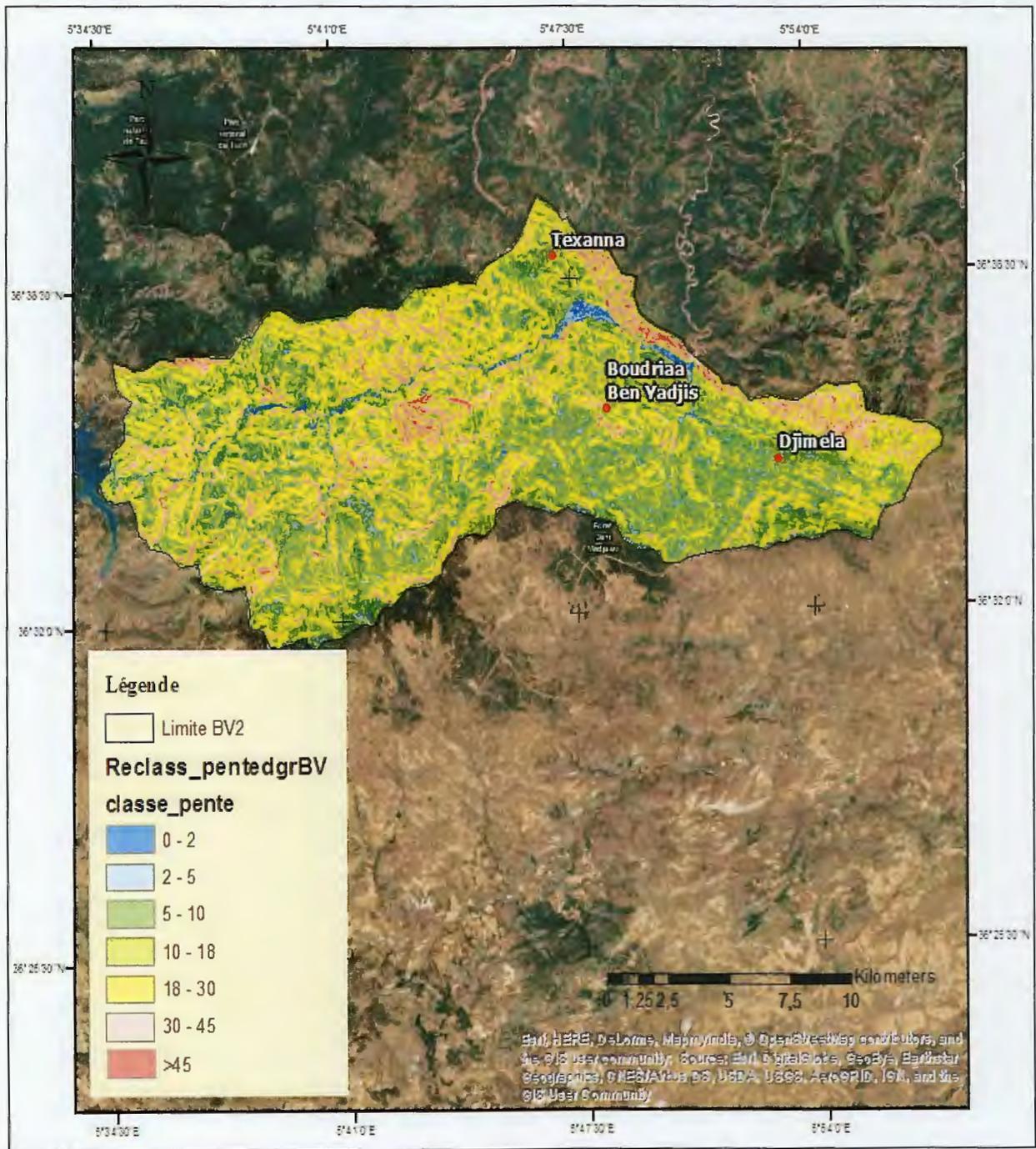


Fig. III. 16 : Carte de pente exprimée en degré (classification admise par Young, 1972)

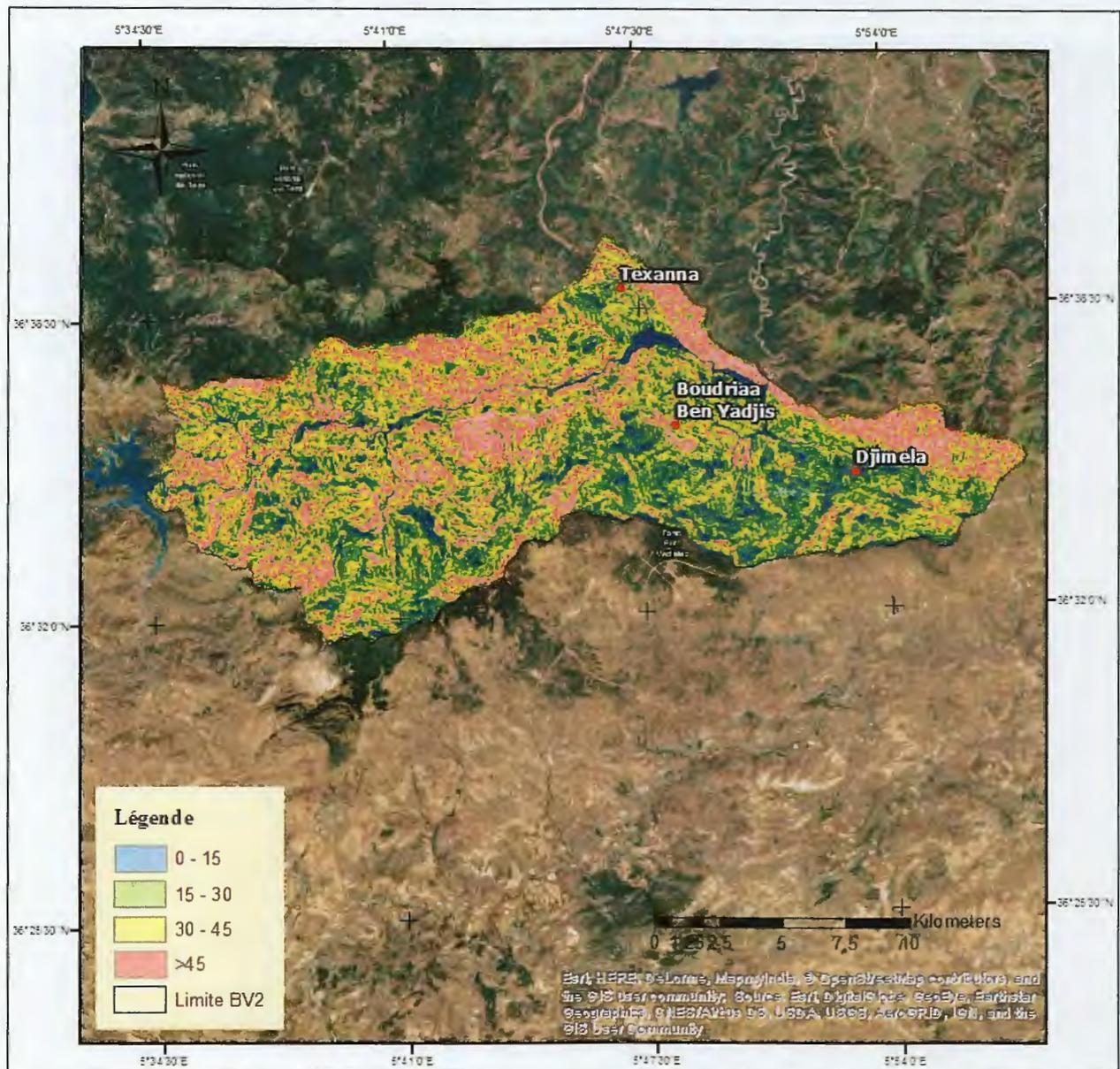


Fig. III.17 : Carte de pente exprimée en pourcentage

b) Calcul de la longueur des pentes (L)

Nous avons calculé la longueur des pentes (L) sur l'ensemble de la zone d'étude (Fig. III.18) on appliquant la commande Flow Length de Spatial Analyst d'ArcGis.

Plus la pente est forte et longue, plus que le risque d'érosion soit très important (Stone et Hilborn, 2000). Dans notre cas, le calcul de la longueur des pentes dans le sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen donne des valeurs très élevées, allant plus de 34000 m.

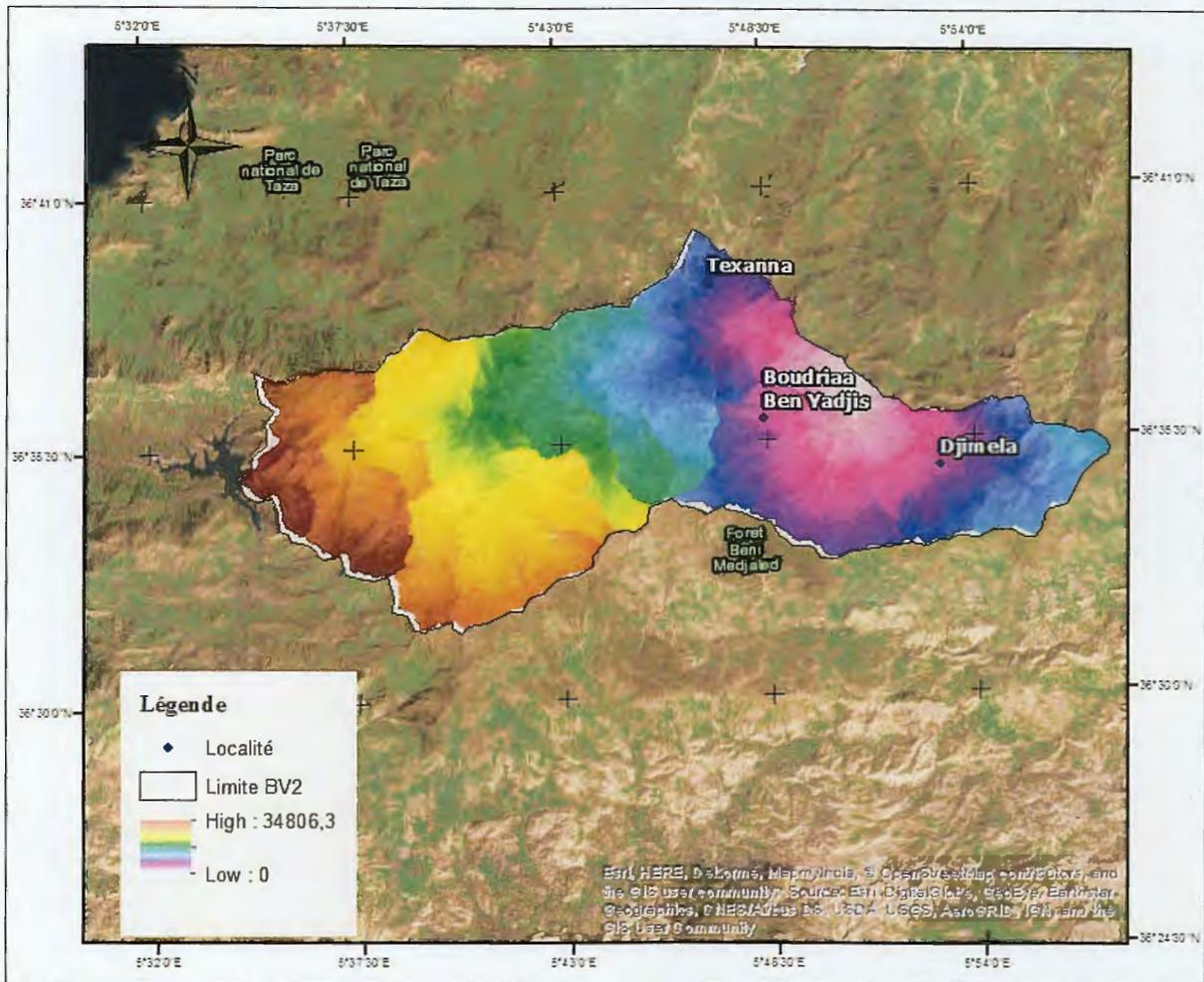


Fig. III.18 : Carte de longueur de pente (Flow Length)

Ensuite, les valeurs de L sont reclassées en six classes (Fig. III.19).

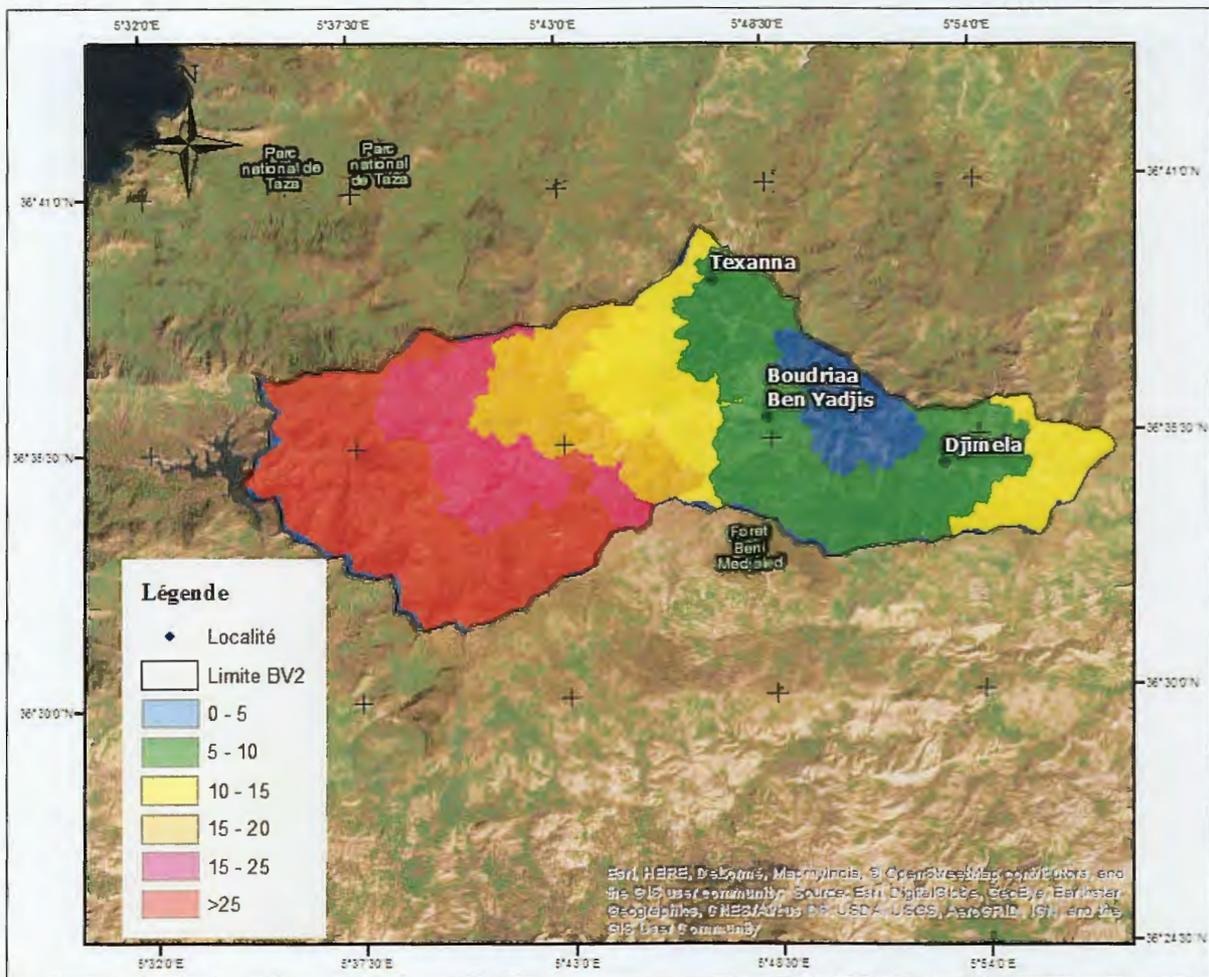


Fig. III.19: Carte de longueur de pente reclassée

Commentaire

Les longueurs des pentes maximales (20 Km à 25 Km et plus de 25 Km) occupent la partie Ouest de la zone d'étude, soit environ 13% et 27% de la superficie totale du sous bassin versant, respectivement. Ceci, est bien marqué dans la partie amont du sous bassin (les régions d'Erreguene et de Salma Benziada).

Cette partie, est caractérisée par une topographie très accidentée et des versants instables (existence de grands glissements de terrain et de coulées boueuses).

En revanche, la partie orientale du bassin est largement occupée par des longueurs des pentes considérées modérées avec des valeurs comprises entre 0-5 Km et 5-10 KM, respectivement ; soit environ 9 % et 26 % de la superficie totale du bassin versant.

La partie centrale de la zone d'étude est représentée par des valeurs considérées moyennes de la longueur des pentes comprise entre 10-15 et 15-20 avec une proportion de 16 %, et 10%, respectivement.

c) Calcul du facteur topographique (LS)

Nous avons croisé la carte de la pente (S) et celle de la longueur de pente (L) en appliquant l'équation décrite ci-dessous. Ceci, est fait en utilisant le module Raster Calculator de l'ArcMap (Fig. III.20).

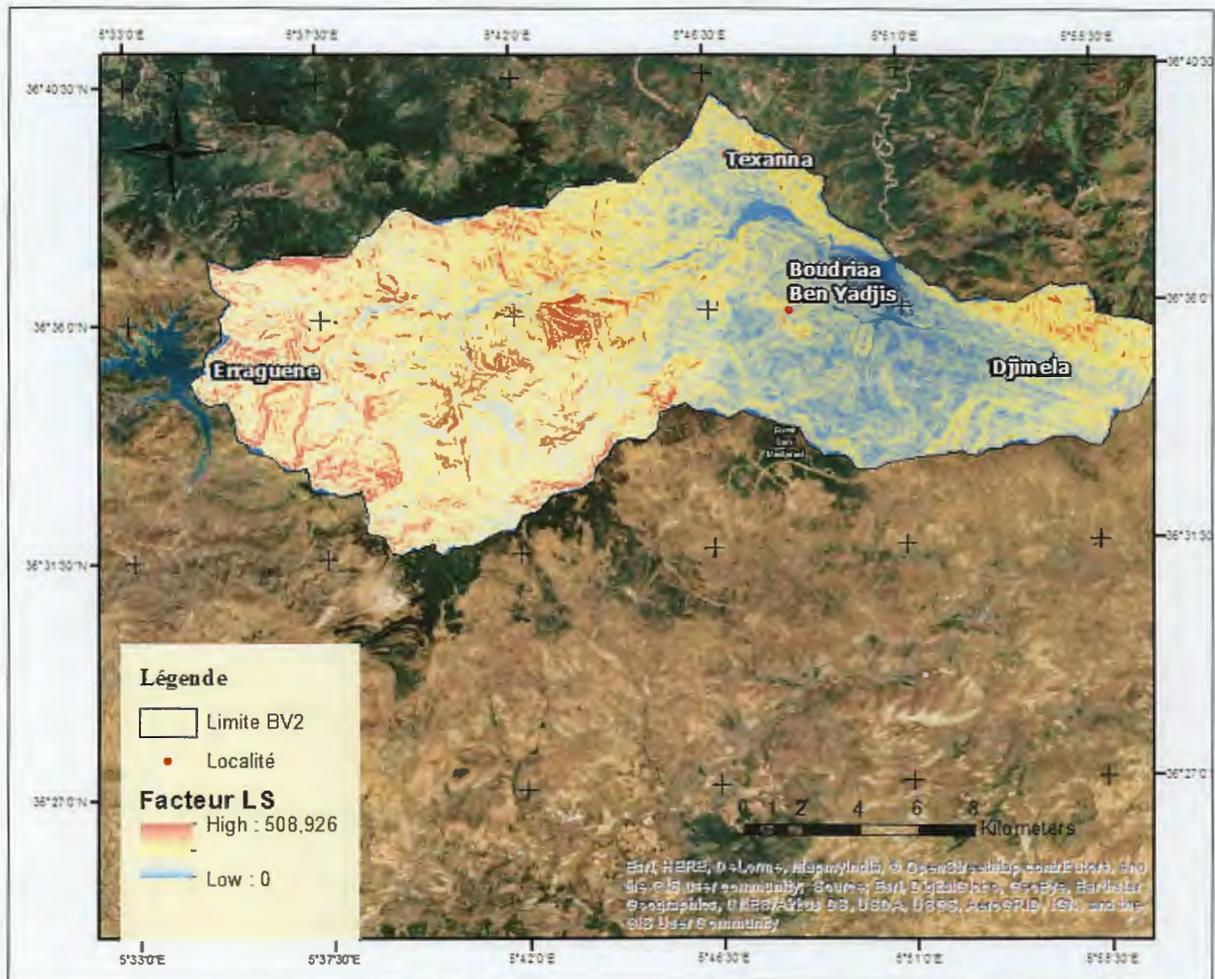


Fig. III. 20 : Carte des valeurs du facteur topographique (LS)

Commentaire

Le sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen est caractérisé par une topographie très accidentée ce qui donne une répartition des valeurs de LS allant jusqu'à 508.

La superposition des trois couches, la longueur de la pente, la pente en pourcentage et la couche des valeurs LS, montrent qu'il y a une concordance entre ces résultats. Plus la pente est forte et longue plus la valeur de LS est grand, et vice versa (Fig. III.21 et Fig. III.22).

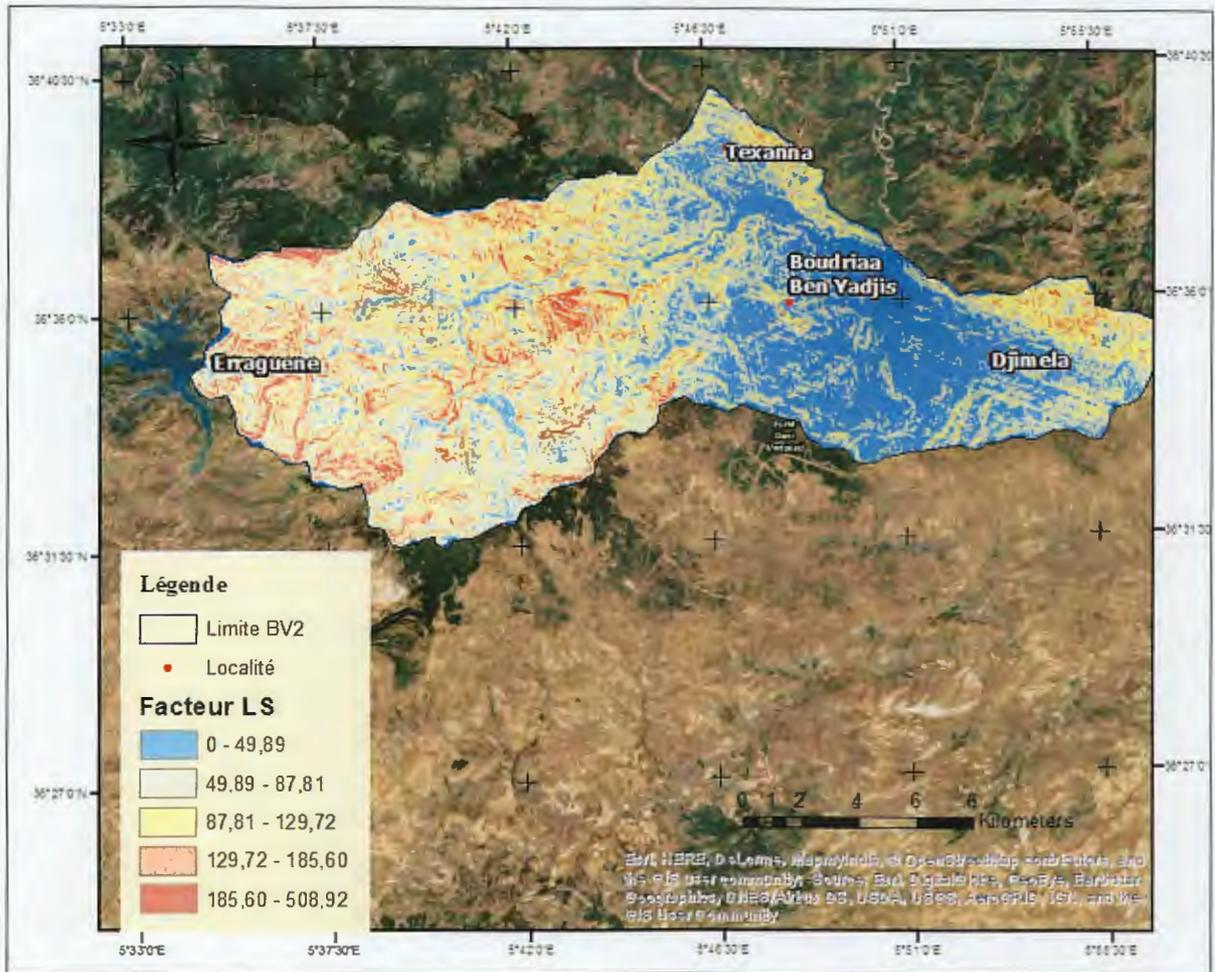


Fig. III.21 : Carte du facteur LS reclassé

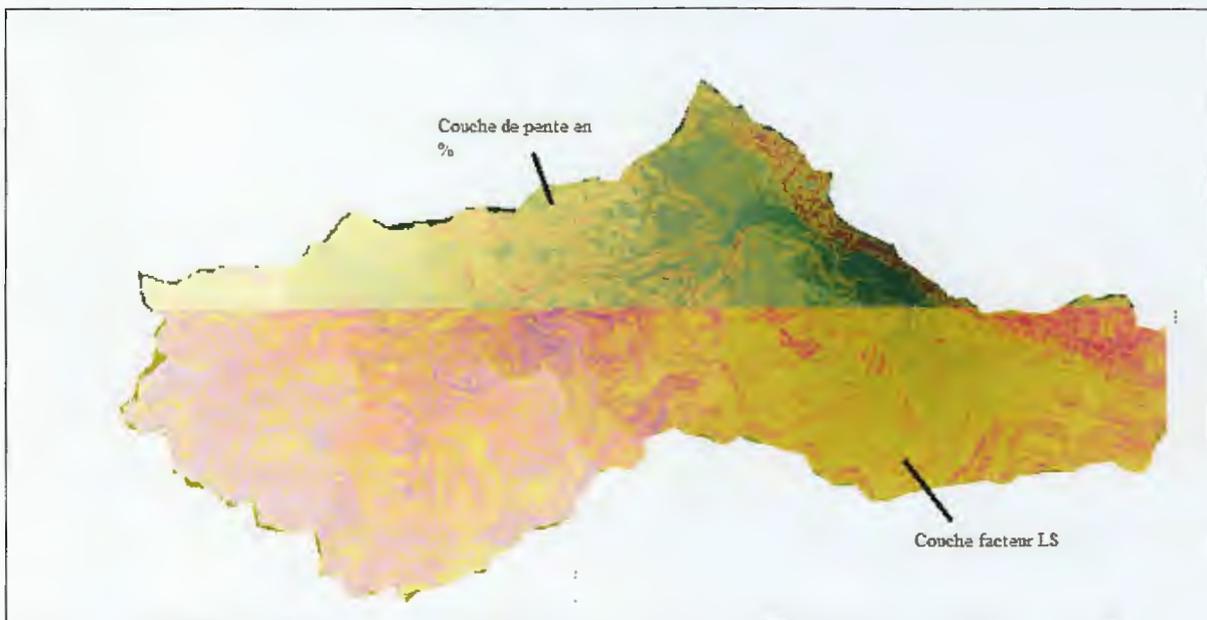


Fig. III.22 : Superposition des trois couches

III.2.4. Facteur du couvert végétal (C)

Ce sujet, est largement traité par la communauté scientifique pour éclaircir les conséquences engendrées par la gestion des sols et leur impact sur la variabilité spatiotemporelle de l'utilisation des sols (Podaire, 2003). En outre, il existe un conflit entre les deux termes : occupation du sol et l'utilisation des sols.

En général, l'occupation des sols désigne la couverture de la surface terrestre qui est composée par plusieurs catégories biophysiques (couvert végétal, sol nu, surfaces humides...etc. (Hubert Moy, 2004). Tandis que, l'utilisation des sols se rapporte à l'usage de celle-ci par l'homme.

D'ailleurs, Joly (1976) a défini le thème d'occupation des sols dans son ouvrage : la cartographie, comme suit : « *c'est la manière dont le territoire est couvert et organisé ; c'est la manière dont l'homme a pris possession de l'espace géographique et l'a façonné pour y vivre* ». Tandis que, l'utilisation du sol selon lui est : « *la manière dont le territoire est employé et exploité* ».

a) Interprétation et analyse visuelle des images satellites

L'analyse visuelle est basée sur l'identification des critères de base (définis par le contraste, la teinte, les formes...etc.) qui décrivent chaque objet terrestre dans une image (Provencher et Dubois, 2007). Dans cette présente recherche, nous avons utilisé une image satellitaire Landsat 8 extraites en Aout 2017. Cette image est fusionnée à chaque fois avec l'image panchromatique d'une résolution spatiale de 15m pour augmenter la résolution spatiale de l'image satellite.

Il a été effectué plusieurs compositions colorées suivant un ordre des canaux définies selon le type d'information à extraire. Ensuite, les images obtenues, ont subi un traitement de rehaussement et d'amélioration de contraste afin de parvenir à une meilleure distinction entre ses composantes. De plus, on a utilisé les photos aériennes et les images de Google Earth pour déterminer certains objets qui apparaissent flous. Car les images de Google Earth possèdent une précision spatiale de l'ordre de 1 m. Mais on n'a pas utilisé ces images pour la délimitation spatiale de ces objets.

b) Analyse de la carte de l'indice de végétation normalisé (NDVI)

En général, les valeurs de ces indices donnent la proportion de la végétation (recouvrement végétal) présentée dans chaque pixel (Verstraete et Pinty, 1991). Parmi ces nombreux indices, nous avons utilisé, dans ce présent travail, l'indice de végétation normalisé (NDVI) (Van Der Knijff et al, 2000).

Théoriquement, le couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande de rouge et réfléchit, au contraire beaucoup d'énergie dans la bande du proche infrarouge. Ceci est le concept général du NDVI (Robin, 2002). De ce fait, l'estimation de la proportion de végétation est basée surtout, sur le degré du contraste offert par ces bandes spectrales. Celles-ci, fournissent un contraste très élevé au niveau des propriétés optiques entre la roche et la végétation (Baret et al, 1995).

En outre, les valeurs du NDVI varient entre -1 et +1 : pour la végétation, ces valeurs tendent vers +1 tandis que celles des zones non végétales tendent vers -1. Ainsi, plus la proportion de végétation décroît, plus les valeurs de réflectance du rouge tendent à décroître linéairement (Beek et al, 2006). Le NDVI, dans ce cas, s'est avéré efficace pour démontrer une sensibilité intéressante aux couverts peu denses et faire l'analyse du couvert végétal de manière quasi indépendante du relief (Calloz et Collet, 2001).

Nous avons élaboré la carte de l'indice de végétation en utilisant l'image satellite Landsat 8 en fausse couleur.

La classification de la végétation est réalisée suivant les conditions de seuillage suivantes:

$NDVI < -0.1$: Eau ;

$-0.1 < NDVI < 0.15$: Sol nu ;

$0.15 < NDVI < 0.25$: Végétation clairsemée ;

$0.25 < NDVI < 0.4$: Végétation moyennement dense ;

$NDVI > 0.4$: Végétation dense.

La carte (Fig. III.23) obtenue fait apparaître le sol nu et le couvert végétal divisé en trois catégories selon sa densité à savoir : végétation dense, végétation modérée et végétation dispersée (Fig. III.23). Cette carte montre que le sous bassin versant d'oued Djendjen est largement voilé par la couverture végétale.

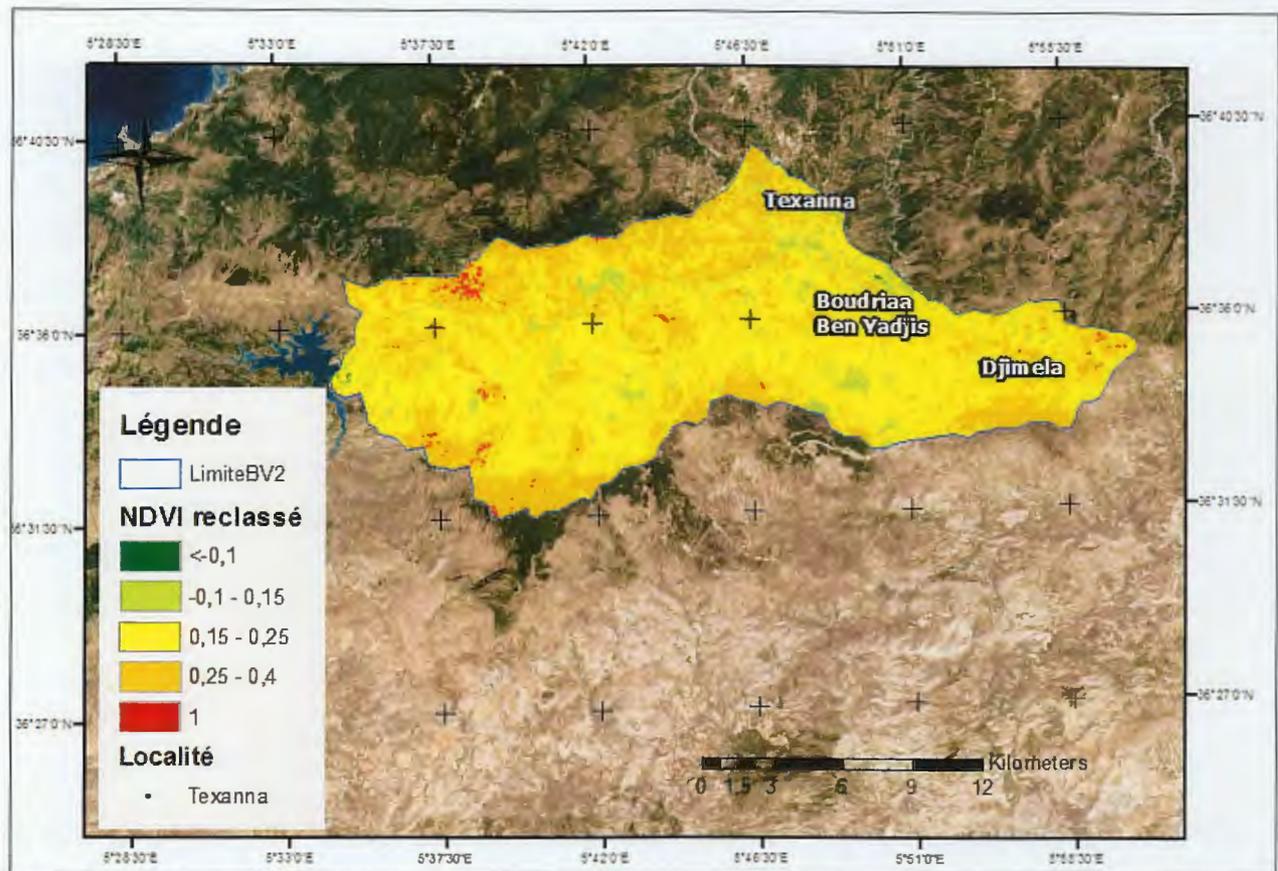


Fig. III.23 : Répartition spatiale de l'indice de végétation (NDVI)

c) Analyse automatique de l'image satellite

La classification des images satellites est une des activités majeures en télédétection. Elle permet de regrouper les ressemblances spectrales des divers objets du sol constituant l'image satellite dans des catégories bien définies. Le résultat d'une classification est une nouvelle image dont chaque pixel est identifié par une catégorie particulière d'objets (Defourny, 1990). La classification d'image satellitaire peut s'effectuer suivant deux approches distinctes : l'une dite non supervisée (non dirigée), elle s'utilise dans le cas où l'information qu'on dispose est faible sur la zone étudiée et l'autre approche dite supervisée (dirigée), elle exige la disposition d'une bonne connaissance de la région d'étude.

- **Classification non supervisée**

Elle examine les pixels et les classes dans des groupes spectraux les plus dominants, sans aucune information a priori sur la nature des objets à classer. Elle utilise ainsi des algorithmes d'analyse spécifiques pour une détermination et classification automatique des signatures (Bonn et Rochon, 1992). D'ailleurs, une fois que l'attribution des pixels de l'image complétée, la signification réelle de chaque classe reste alors à établir. D'autre part, l'intervention humaine sera obligatoire, par la suite, pour relier et regrouper ces groupes à des classes

d'information utile à l'aide des données de terrain et d'autres données. Nous avons suivi le processus décrit ci-dessous pour classer l'image satellite en fausse couleur :

- Création d'une composite colorée des canaux spectraux 4, 5 et 3 suivant l'ordre des bandes vertes, rouge et proche infrarouge avec un type de contrastage linéaire de 2.5% de saturation.
- Application de l'algorithme *Isodata* en fixant le nombre de classes (de 5 à 15 classes), le nombre maximum d'itérations est fixé à 15 et le seuil ou critère d'arrêt est déterminé par défaut de 5%.
- Amélioration de l'aspect visuel de l'image classifiée par l'application d'un filtre passebas. Ensuite, nous avons réduit les catégories spatialement isolées correspondant à des pixels mal classés en passant un filtre du type modal sur une fenêtre mobile de taille 3*3 pixels.
- Évaluation et interprétation des classes : l'intégration de la nomenclature de chacune des classes spectrales en appuyant sur l'interprétation visuelle. Cette interprétation est basée essentiellement sur les visites de terrain et d'autres données issues des plans d'informations (Fig. III.24 et tableau III.17).

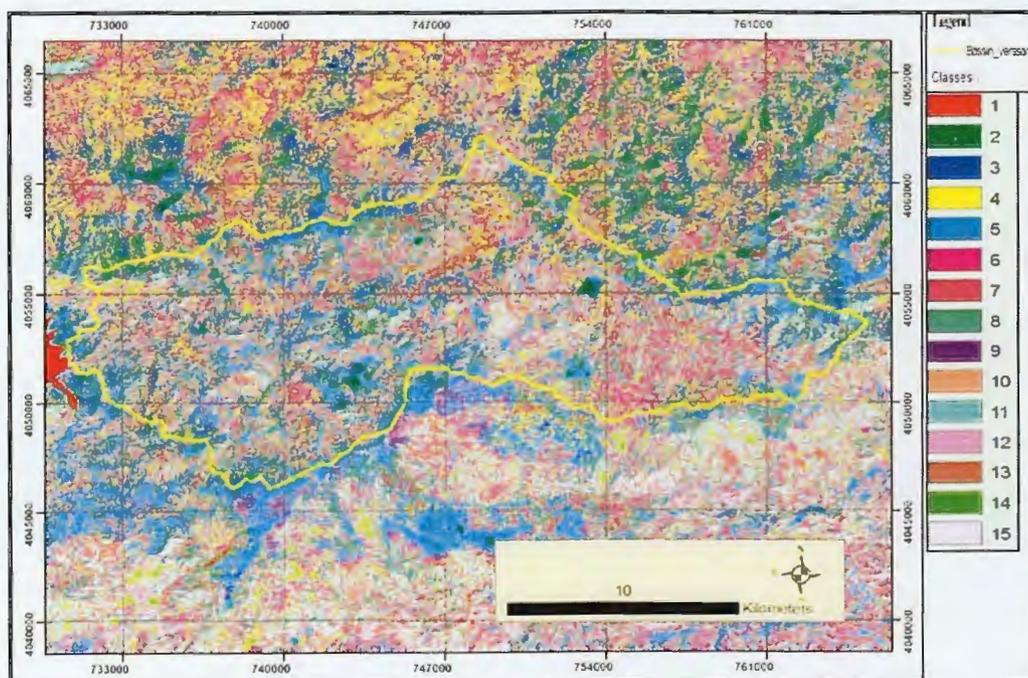


Fig. III.24 : Classification non supervisée de l'image Landsat 8

Tableau III.17 : Catégories de l'occupation du sol issues de la classification non dirigée.

Avant le regroupement		Après le regroupement	
Classes	Catégories d'occupation du sol	Classes	Catégories d'occupation du sol
1	Eau	1	Eau
11	Végétation naturelle a couverture faible	2	Zone agricole
14	Agriculture		
6	Terrain labouré	3	Sol Nu
15	Routes + Sol nu1		
5	Sol nu2		
10	Sol nu3 + Urbain		
9	Sol nu4		
13	Sol nu5 + Urbain		
8	Sol nu6		
12	Serre		
7	Forêts Claires	4	Forêts
2	Forêts ombrée1		
3	Forêts ombrée 2		
4	Forêts de bois		

Selon l'objectif principal de l'étude, nous avons regroupé ces classes en 4 catégories de couverture du sol (Fig. III.25). L'existence d'une confusion de certaines catégories d'occupation des sols est généralement causée par la présence de l'ombre, l'inclinaison, l'humidité et la présence de certains objets avec des signatures spectrales proche de celle d'un autre objet. De ce fait, et pour corriger ces erreurs, nous nous sommes servis de photos aériennes, image Google Earth et de vérifications sur le terrain.

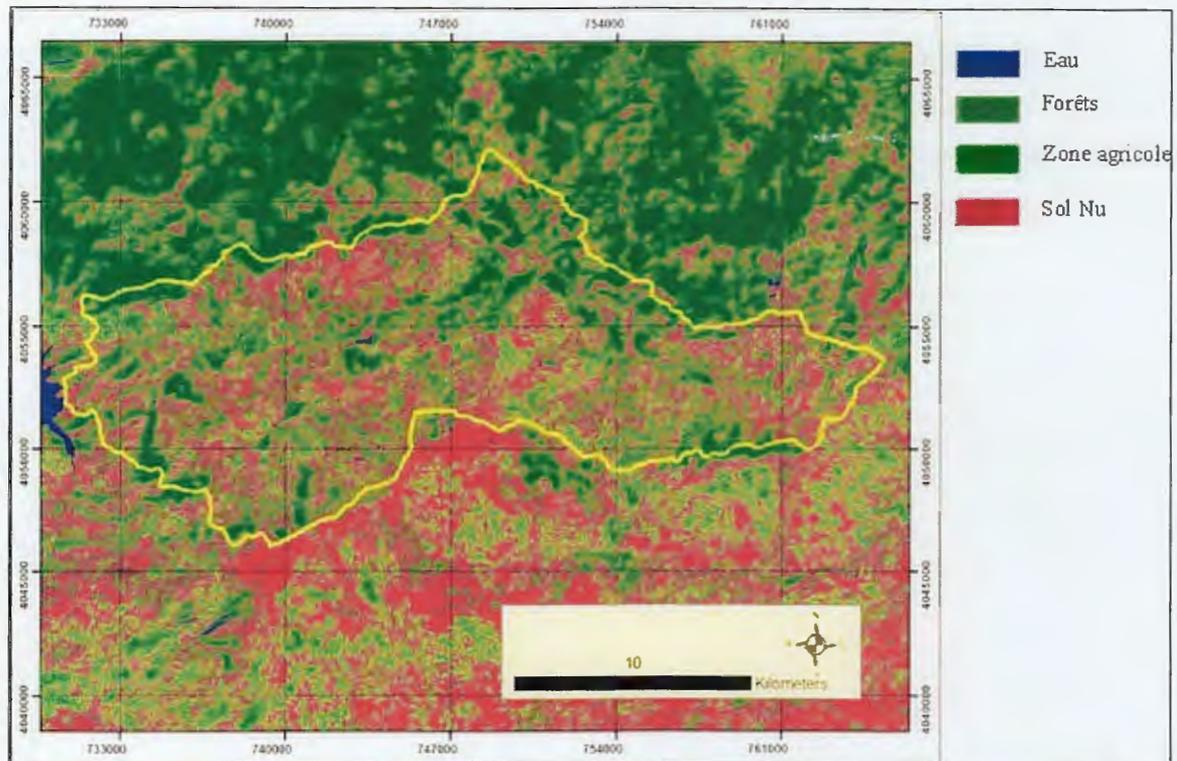


Fig. III.25 : Regroupement des classes de la classification non supervisée en 4 catégories.

Commentaire

La figure III.25 montre la répartition générale de plusieurs types d'objet terrestre occupant la zone d'étude. Le couvert végétal est subdivisé en classes distinctes : les forêts, les zones agricoles et les végétations naturelles à faible couverture...etc. En revanche, cette classification n'a pas pu ressortir clairement le réseau hydrographique, plusieurs fois, on signale l'existence de trois classes au minimum le long de l'allure générale des oueds. Il en ressort donc, une confusion entre l'eau des oueds et certains types du sol (surtout les alluvions) et d'autre type de végétation (occupant les berges de ces oueds).

En général, la classification non supervisée s'avère très intéressante pour la cartographie de la couverture du sol, mais elle n'est pas suffisante pour élaborer une carte d'occupation des sols finale. Elle sert beaucoup plus à donner une vue générale et pas précise de l'occupation des sols. Donc, la confrontation des résultats issus de cette classification avec des données auxiliaires est inévitable. Malgré toutes ces imperfections, la classification non supervisée présente un excellent moyen pour faire une première sélection des données de terrain, surtout dans les zones inaccessibles dont on ne dispose d'aucune information.

- **Classification supervisée**

Comme son nom l'indique, est contrôlée par l'utilisateur, car c'est l'opérateur qui est chargé de définir les différentes classes dans lesquelles les pixels de l'image seront répartis. Cette classification représente le complément indispensable de la classification non supervisée. Elle s'appuie fortement sur l'interprétation visuelle de l'image satellite. De ce fait, l'application de ce type de classification exige une bonne connaissance préalable du terrain par l'opérateur. En effet, ce dernier va déterminer les différents objets occupant l'image (zones d'entraînement) pour déduire leurs signatures spectrales. D'ailleurs, l'algorithme qui est responsable de la classification supervisée prend ces signatures spectrales pour classer la totalité de l'image en attribuant l'ensemble des pixels identiques de l'image à l'une des classes d'occupation de sol définies auparavant à l'aide des zones d'entraînement.

Nous avons appliqué la méthode du maximum de vraisemblance sur l'image en vrai couleur. En effet, cette méthode possède des performances et des recommandations dont elle a fait preuve lors de nombreux travaux de recherche, ainsi elle est considérée comme une technique de classification très puissante (Bensaid, 2006). À ce propos, nous avons adopté les étapes suivantes (Fig. III.26):

- Tout d'abord, nous avons déterminé l'ensemble des catégories de l'occupation des sols suivant les objectifs visés par cette présente recherche en croisant plusieurs plans d'informations,
- Prise en compte d'un échantillonnage représentatif et précis pour chaque catégorie par la digitalisation des polygones sur l'ensemble de l'image. Cette étape est très fastidieuse et prend beaucoup de temps et de précaution, car la qualité de la carte d'occupation des sols se rapporte directement et proportionnellement avec la qualité d'échantillonnage qui a été fait à priori. Ensuite, ces échantillons doivent être reclassés en deux groupes : le premier, sert à l'établissement des signatures spectrales (zones d'entraînement), tandis que le deuxième est utilisé pour les tests de vérification (zones de tests).
- L'application des commandes sur les signatures spectrales dans le but de juger l'homogénéité des pixels caractérisant chaque site d'entraînement.
- L'application d'algorithme choisi pour faire la classification sur l'ensemble de l'image (maximum de vraisemblance dans notre cas) et l'évaluation des résultats en traitant des graphes (histogrammes et courbes des signatures).
- Validation de la carte finale.

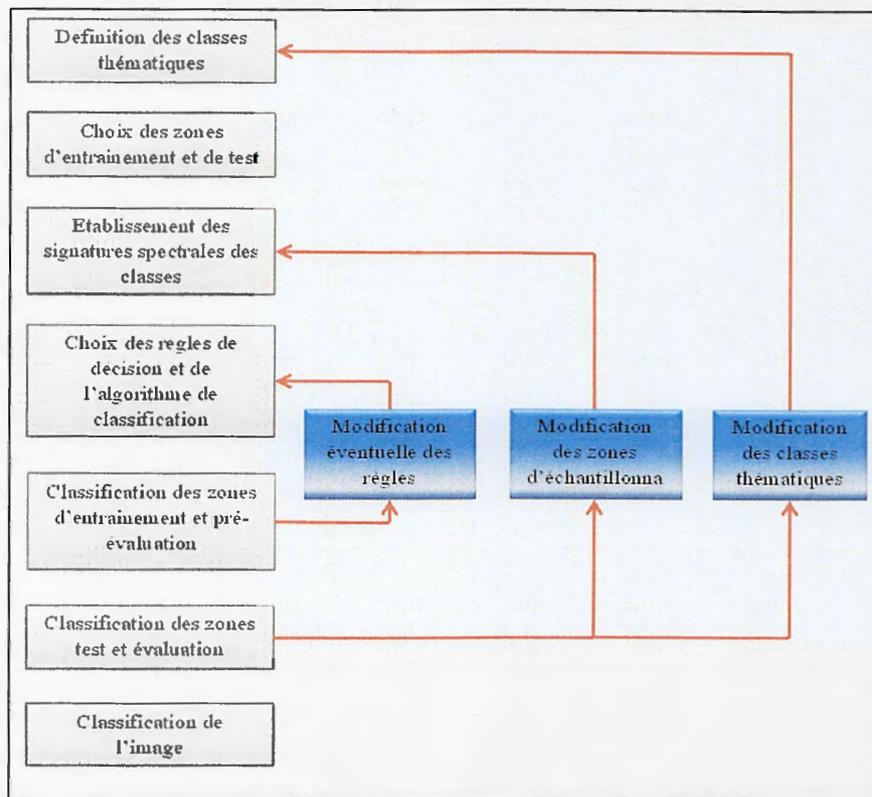


Fig. III.26 : Étapes de la classification supervisée d'après Caloz et Collet (2001).

Les résultats obtenus (Fig.III.27), montrent qu'il y a environ 154 km² de la superficie totale du bassin est voilée par des espaces agricoles, soit presque 57% de la superficie totale. Ainsi, soit environ de 36% du bassin versant est occupée par des forêts (101km²). Ceux-ci, nous amène à dire qu'environ 90% de la superficie totale de la zone d'étude est protégée par une couverture végétale distincte ; ce qui assure, par conséquent une bonne couche protectrice du sol contre l'érosion hydrique du sol.

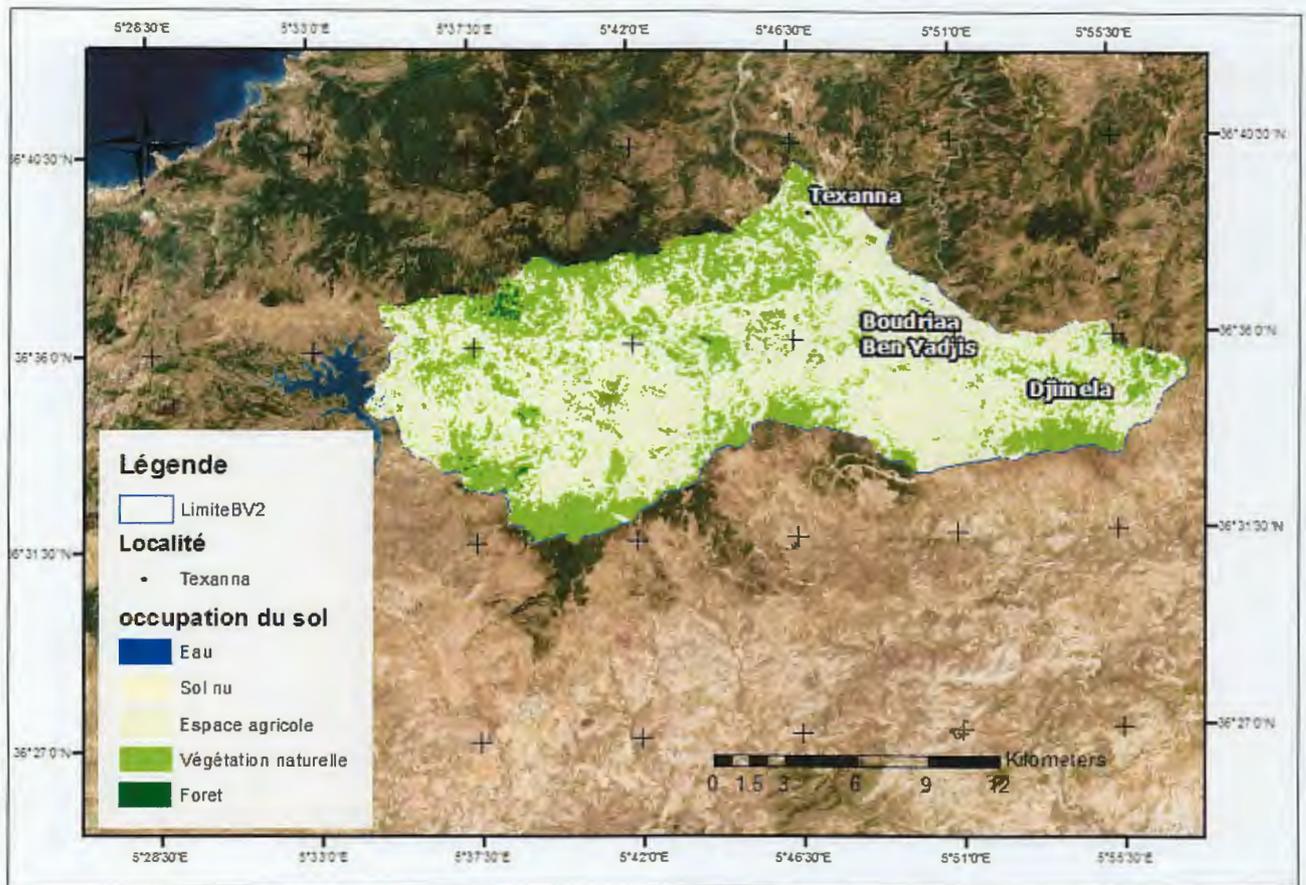


Fig. III.27 : Carte d'occupation du sol

d) Intégration des valeurs du facteur culturelle «C»

Une couverture complète du sol par la végétation, les résidus, les résidus partiellement incorporés et leurs racines intercepte la pluie et réduit les pertes de sol (Arnold et al, 1989). De ce fait, la détermination du facteur "C" s'appuie sur la densité de la couverture de la surface du sol par la végétation et sur la hauteur des strates végétales (Wischmeier, Smith, 1978).

Par le fait de l'absence des moyens et les outils pour calculer ce facteur, nous nous trouvons obligés de recourir à autres travaux de recherche possédant presque les mêmes caractéristiques que les nôtres, pour extrapoler les valeurs de ce facteur. À cet effet, nous avons extrapolé les valeurs de C (tableau III.18) à partir des travaux de recherche de Fekir et al (2012) (la zone est située à 50 km à l'Est d'Oran) et les travaux réalisés par Sadiki et al (2004) sur le bassin versant de l'oued Boussouab (Rif oriental, Maroc).

Tableau III.18 : Distribution de la fréquence des valeurs du facteur C.

Type de couverture végétale	Valeur de C	Superficie (en Km ²)	Pourcentage (%)
Forêt et végétation naturelle	0.13	98,00	36,00
Espace agricole	0.4	154,00	56,58
Sol nu	1	7,34	07,34
Étendue d'eau	0	0,15	0,05
Totaux		272,15	100.00

III.2.5. Facteur des pratiques anti-érosifs (P)

Ce facteur présente la capacité de ces pratiques à réduire le taux de ruissellement en modifiant la structure générale de l'écoulement. Soit en jouant sur le degré de l'inclinaison des pentes ou sur la direction du ruissellement de surface (Wall et al, 2002). D'après Wischmeier, ce facteur est représenté uniquement par les techniques visant à lutter contre l'érosion hydrique, comme le labour et le gabionnage isohypse, les haies et bandes enherbées qui peuvent réduire à 1/10 les pertes en terre (Roose, 1985). Actuellement, lors des travaux visant à perfectionner cette équation, les structures de conservation du sol sont représentées généralement par les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage. Ces types de structures sont considérés comme les pratiques les plus efficaces de conservation des sols (Sadiki et al, 2004).

L'analyse des images satellitaires montre une rareté sur les aménagements antiérosifs. Nous considérons donc qu'il n'y a pas des aménagements antiérosifs d'une valeur susceptible d'être cartographié. Les agriculteurs n'utilisent pas de pratiques culturelles antiérosives ; les cultures sont représentées essentiellement par des céréalières et les labours qui sont rarement parallèles aux courbes de niveau. Dans ce contexte, nous avons attribué la valeur de "1" pour le paramètre P sur l'ensemble de la superficie du sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen.

III.2.6. Estimation de l'érosion hydrique

Nous avons mis en interaction dans le SIG tous les paramètres composant l'équation universelle de perte en sols R, K, LS, C et P. L'estimation de la perte en sol est rendu possible grâce à l'interaction existante entre ces paramètres. Pour cela, nous avons utilisé le module SpatialAnalyst de l'ArcMap pour ce calcul. Cette opération s'appuie tout simplement sur la multiplication des cinq cartes des paramètres déjà cartographie (R, K, LS, C et P) en produisant par la suite des cartes et des scénarios. Cette opération a permis de produire la

carte de risque d'érosion hydrique des sols sur l'ensemble du bassin versant. La première analyse de cette image révèle que les valeurs de l'érosion hydrique des sols s'étendent entre 0 t/h/an et 7798 t/h/an en moyenne.

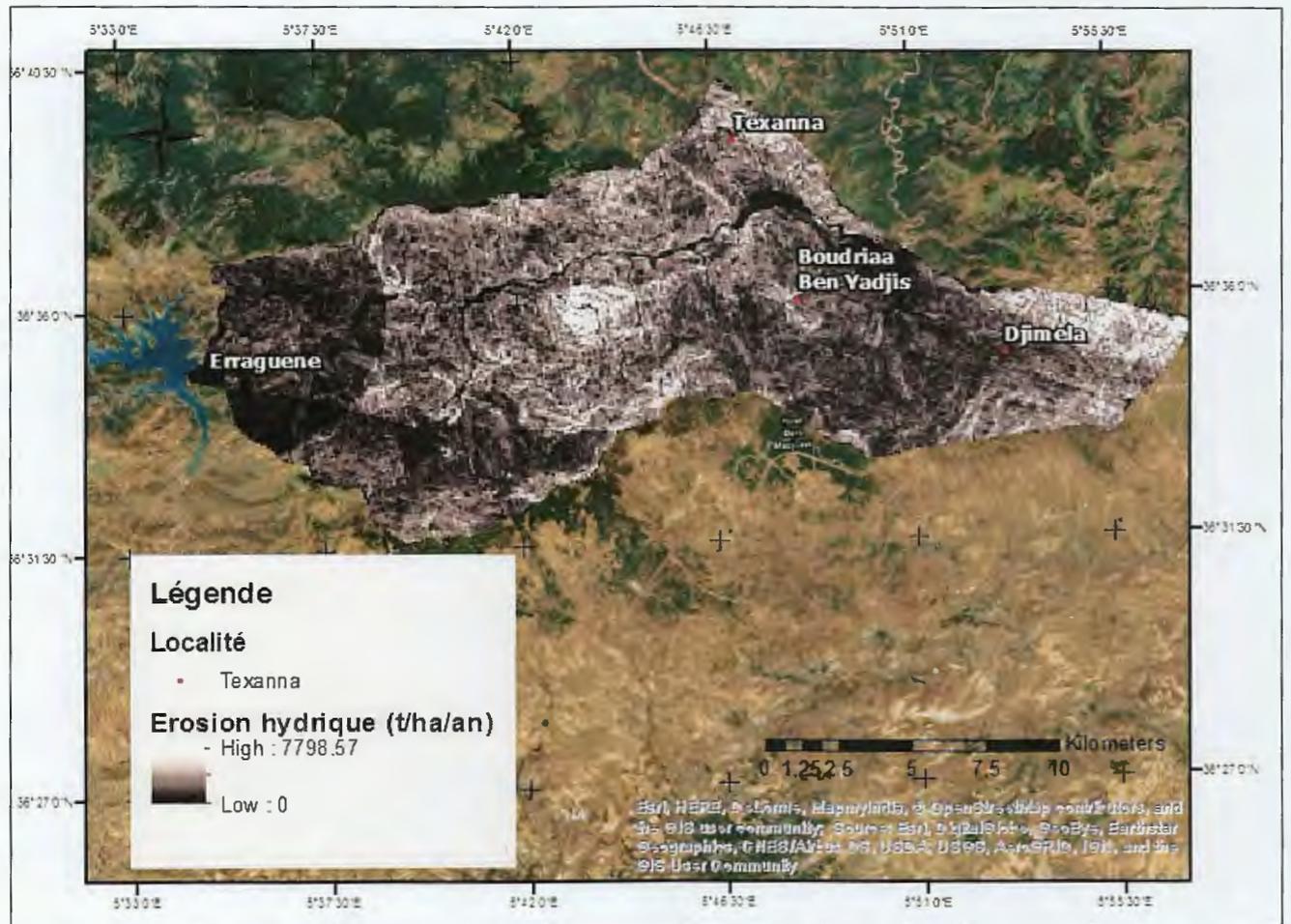


Fig. III. 28 : Erosion hydrique obtenu par la méthode RUSLE

D'ailleurs, et grâce au module reclassify de l'ArcMap (Fig. III.29), nous avons reclassé les valeurs de l'érosion figurées dans la carte précédente en sept classes d'érosion hydrique.

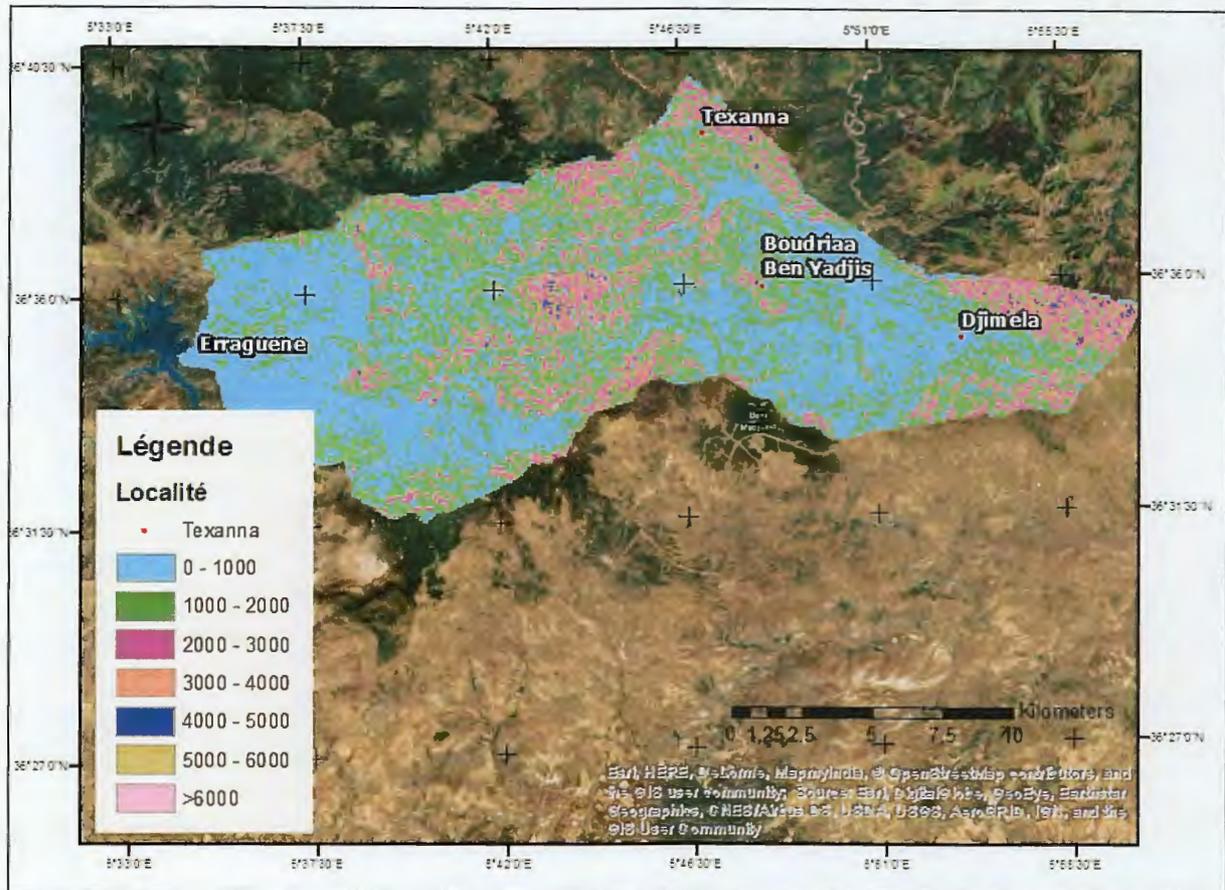


Fig. III.29: Carte de risque d'érosion hydrique reclassé obtenu par la méthode RUSLE

Tableau III.19 : Distribution des fréquences du risque de l'érosion hydrique du sol obtenu par RUSLE.

Classes	Etat actuel	
	Superficie occupée (Km ²)	Fréquence relative (%)
[0, 1000[	111,69	42,16
[1000, 2000[	111,73	42,18
[2000, 3000[	32,07	12,11
[3000, 4000[	7,51	2,84
[4000, 5000[	1,45	0,55
[5000, 6000[	0,35	0,13
Plus de 6000	0,09	0,03

Commentaire

Les résultats obtenus montrent que les deux classes [0, 1000[et [1000, 2000[couvrent presque la totalité de la surface du bassin versant, soit environ 82% de la surface totale, dont la première classe s'étale sur les versants Est et Ouest du BV2, et la deuxième classe occupe le centre du bassin versant.

Ces valeurs de l'érosion hydrique sont très élevées, ce qui concorde avec les valeurs de différents facteurs qui mis en jeu (le facteur climatique, le facteur topographique, le facteur pédologie, ...).

Conclusion

Des données SRTM qui couvrent la région du bassin versant d'oued Djendjen sont intégrées dans un SIG. Nous les analysons à l'aide des outils : Archydro et analyse spatiale d'ArcGIS 10.2 afin de modéliser et de cartographier un réseau hydrographique et de déterminer le bassin versant et déterminer ces caractéristiques. Malgré l'erreur constatée pour le sous bassin versant de la basse vallée (BV1), les résultats obtenus pour les deux autres sous bassins versants (BV2 et BV3) sont très satisfaisantes, avec une marge d'erreur négligeable. Donc l'outil Archydro paraît adapté pour la modélisation hydrologique. Cette étude a également démontré la précision acceptable des données SRTM et la possibilité de les utiliser pour mener des études hydrologiques.

L'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE) nous a permis d'intégrer et de mettre en interaction plusieurs plans d'informations et des paramètres distincts dans une seule base de données spatiales (SIG) et également de l'adapter dans les mêmes conditions spécifiques régnant dans l'ensemble du sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen (BV2); il possède un potentiel érosif très accentué avec des valeurs des taux d'érosion critique. Ces valeurs, nous ont mené à déclencher l'alerte sur le risque de l'envasement du futur barrage de Tabellout. Cette conclusion, est vraiment confirmée par l'analyse des caractéristiques morphométriques du bassin.

Le SIG permet de mettre en évidence les zones les plus sensibles à l'érosion, il est donc possible d'établir à partir de celles-ci des mesures de gestion pour les zones les plus fragiles et les plus menacées par l'érosion et par conséquent la diminution du taux d'envasement du barrage. En revanche, le présent modèle (RUSLE) adopté par Wischmeier et Smith (1978) comporte plusieurs limites lors de son application dans nos propres conditions.

En ce que concerne l'estimation du facteur d'occupation des sols C, elle présente des résultats relatifs aux estimations des autres valeurs de différents types d'occupation des sols calculées dans des régions avoisinant possédant les mêmes conditions. À cet effet, une réduction sera causée sur la représentativité de la carte du facteur d'occupation des sols de la région d'étude ainsi que sur le degré de sa justesse. En outre, il faut signaler que la classification de la

couverture du sol doit être précisée en séparant à titre d'exemple les différents types de couvert végétal. C'est-à-dire, la création des classes au sein d'un même type de couvert.

Conclusion générale et recommandations

D'un point de vue méthodologique, la modélisation hydrologique semble offrir un grand potentiel d'analyse spatiale. Toutefois parmi les classes de modèle, seuls les modèles physiques considèrent la dimension spatiale comme variable. La topographie et l'occupation du sol sont les deux principales composantes spatiales impliquées dans ce type de modèle. La production d'un MNT pertinent nécessite l'utilisation de procédures d'interpolation itératives. La couverture terrestre, ou l'occupation du sol, et ses les changements peuvent être surveillés et entrés dans la modélisation des images de télédétection à travers une indice de végétation normalisée. L'approche SIG peut être intégrée à différents niveaux dans la modélisation hydrologique, avec SIG orienté objet vu le niveau le plus élevé.

Ce projet de fin étude a pour objectif principal d'élaborer un système d'information géographique (SIG) accompagné par une analyse multicritère comme un outil d'aide à la gestion des hydro systèmes dans le bassin versant d'oued Djendjen (situé sur le territoire de la Wilaya de Jijel) en matière de la modélisation du réseau hydrographique, de la génération automatique du bassin versant, de la détermination de ces caractéristiques et de la protection des ressources contre le risque d'érosion hydrique, en utilisant le modèle de terrain numérique et les techniques de la télédétection comme une source d'information.

Donc, le présent travail décrit une méthodologie d'exploitation des données MNT SRTM permettant une extraction du réseau hydrologique à l'aide de deux outils SIG (ArcGis 10.2) et les techniques de la télédétection pour une modélisation d'un phénomène hydrologique (érosion hydrique), en appliquant le modèle de RUSEL, sur le bassin versant d'oued Djendjen. Ceci, consiste à évaluer et protéger les ressources en eau face aux risques environnementaux : l'érosion hydrique des sols (qui provoque l'envasement du futur barrage de Tabellout).

En ce que concerne, la délimitation du bassin versant, la détermination de ces caractéristiques, nous avons constaté que l'outil ArcHydro d'Arcgis 10.2 donne des résultats satisfaisants, avec une marge d'erreur négligeable, nous avons presque arrivé aux mêmes résultats présentés sur les cartes de l'ANRH, exception faite pour le sous bassin versant de la basse valle, où nous avons constaté une erreur sur le MNT.

Le bassin versant d'oued Djendjen est découpé en trois sous bassins : le sous bassin versant de la basse vallée (noté BV1), le sous bassin inférieur (noté BV2) et le sous bassin supérieur (noté BV3).

Pour ces trois sous bassins, en exécutons les commandes de l'outil ArcHydro, nous avons déterminé les caractéristiques morphométriques du réseau et leur hiérarchisation, nous avons aussi calculé le rapport de bifurcation et la densité de drainage. En plus, nous avons défini les caractéristiques géométriques, la surface, le périmètre, l'indice de compacité, l'hypsométrie, les altitudes et les indices de pente.

Toutes ces caractéristiques, qui nécessitaient un grand temps pour les déterminer, ont été définies en simple clique et un très court temps.

En ce que concerne l'évaluation de l'érosion hydrique, nous avons choisi le sous bassin inférieur, dont la marge d'erreur est très faible, de l'ordre de 0,32%.

La cartographie de ce phénomène a été effectuée en appliquant le modèle RUSLE ((Revised Universal Soil Loss Equation), cette équation prends plusieurs facteurs : le facteur d'érosivité climatique (R), le facteur d'érodibilité du sol (K), le facteur de longueur de pente (L), le facteur d'inclinaison de pente (S), le facteur de la couverture végétale et de gestion du sol (C) et le facteur relié à des pratiques de conservation du sol (P).

En premier nous avons déterminé chaque facteur à part, puis nous avons mis en interaction dans le SIG tous les facteurs composant l'équation universelle de perte en sols R, K, LS, C et P. L'estimation de la perte en sol est rendu possible grâce à l'interaction existante entre ces paramètres.

La première évaluation, montre que le phénomène de l'envasement du futur barrage de Tabellout est bien l'un des principaux dangers environnementaux de la région. Ce dernier est dû essentiellement de l'érosion hydrique de sol par le fait des eaux de précipitations. Il en ressort que la cartographie de ce risque sur l'ensemble du sous bassin versant d'oued Djendjen peut donner un excellent moyen pour atténuer au maximum l'envasement qui menace ce barrage.

L'application de l'équation universelle de perte en sol pour la cartographie de l'érosion hydrique dans le sous bassin versant d'oued Djendjen révèle une grande fragilité de ce milieu.

En outre, les résultats obtenus ont bien montré que l'érosion hydrique dépend étroitement des conditions topographiques de la région. Ce facteur est bien intégré et caractérisé dans l'équation RUSLE, il présente une relation proportionnelle avec le taux d'érosion.

En effet, ces valeurs conditionnent une concentration rapide de ruissellement le long du sous bassin versant favorisant par conséquent l'augmentation de la capacité d'arrachement des particules des sols, surtout sur une structure lithologique tendre.

Le facteur d'occupation des sols (C) les superficies sont relativement protégées par plusieurs types de couverture végétale, alors que le reste est faiblement ou complètement dénudés. En effet, ceci ne reflète pas vraiment le taux élevé de l'érosion hydrique de sol. Ceci est peut être expliqué par le fait que cette couverture est largement dispersée et ne constitue pas un vraiment un couvet protecteur.

Recommandations et proposition des aménagements

Ceci, consiste des modifications apportées sur les paramètres de RUSLE ; étant donné qu'il est impossible de réagir sur les facteurs suivants : facteur d'agressivité climatique, facteur topographique et le facteur d'érosivité des sols. On ne peut agir que sur les deux facteurs C et P. De ce fait, nous avons proposés les scénarios d'aménagement qui nous paraissent les plus appropriés en réagissant essentiellement sur le facteur de la pratique antiérosive et celui de la couverture végétale :

- Scénario 01 : Nous proposons la réalisation de la culture en contour dans les zones les plus affectées par l'érosion hydrique ou sur l'ensemble du bassin versant. Cette technique consiste à établir de petits canaux perpendiculaires à la pente du champ considéré.
- Scénario 02 : Nous proposons la mise du système de reboisement dense au niveau des sols nus en intégrant une valeur de C qu'est égale à 0.058.

Références bibliographiques

- **AOULMIT F.**, (2016). Apport de la télédétection et SIG dans la gestion des hydro systèmes du sous bassin versant inférieur d'oued Djendjen (Jijel, Algérie Nord orientale).
- **ARNOLD JB, MOORE N, WALL G, SHELTON IJ.**, (1989). Direction de la gestion du sol et de l'eau/MAAARO, *Érosion du sol : causes et effets*. Fiche technique, ISSN 1198-7138.
- **ARNOLDUS HMJ.**, (1980). An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: De Boodt M, Gabriels D, eds. *Assessment of erosion*. New York: John Wiley ET Sons: 127- 132.
- **BARET F, CLEVERS J, STEVEN MD.**, (1995). The robustness of canopy gap fraction estimations from red and near-infrared reflectances: A comparison of approaches. *Remote Sensing of Environment*, 54(2): 141-151.
- **BEEK PSA, ATZBERGER C, HOGDA KA, JOHANSEN B, SKIDMORE AK.**, (2006). Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 100(3) : 321-334.
- **BENABES, C.**, (2006). Evolution Moi-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale : Apport de la photogéologie et analyse morphostructurale. Thèse de Doctorat. Université Mentouri-Constantine, 256 p.
- **BENSAID A.**, (2006). SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la Wilaya de Naâma (Algérie). Thèse Doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, France, p. 288.
- **BENTEKHICI N.** (2006). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie). Conférence francophone ESRI.
- **BONN F, ROCHON P.**, (1992). Précis de Télédétection : Principes et méthodes, Vol. 1, Presse de l'Université du Québec/ AUPELF-UREF, pp. 301-316.
- **BOUCENNA F.**, (2008/2009). Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Jijel, Nord-est algérien).
- **CALOZ R, COLLET C.**, (2001). Précis de télédétection ; vol. 3 : Traitements numériques d'images de télédétection, Presses de l'Université du Québec/AUF, Québec, 380 p. ISBN : 2760511456-9782760511453.
- **CHARLEUX-DEMARGNE J.**, (2001). Qualité des Modèles Numériques de Terrain pour l'hydrologie. Application à la caractérisation des crues des bassins versants. Thèse de Sciences de l'Information Géographique, Université de Marne la Vallée, France. 350 p.
- **CHORLEY RJ, MALM DEG, POGORZELSKI HA.**, (1957). A new Standard for estimating basin shape; *Amer. Journ. Sci.* 255,138-141.
- **COMBEAU A.**, (1977). *Erosion et conservation des sols*. ORSTOM, Paris, 85 p.
- **DEFOURNY P.**, (1990). Méthode d'évaluation quantitative de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne à partir de données Landsat TM (Burkina Faso). In *Télédétection et sécheresse*. Ed. AUPELF-UREF, p. 63-74.

- **DJELLIT H.**, (1987). Évolution tectono-métamorphique du socle kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabyle occidentale (Algérie). Thèse doctorat. Univ d'Orsay Paris, p. 26.
- **DUBREUIL P.**, 1974. Initiation à l'analyse hydrologique (Dix exercices suivis des corrigés). Ed, O.R.S.T.O.M. Library of CONGRESS CTALOG CARD n° 74-81861. ISBN.2-225 40 140-3-Paris. 224p.
- **DUPONT S.**, (1997). Génération de modèles numériques de terrain par interférométrie ROS. Thèse, Université de Nice- Sophia Antipolis, 143p.
- **DURAND DELGA M.**, (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n°39, pp 89-131, 9 fig.
- **ESTHER MW.**, (2009). Using GIS techniques to determine RUSLE's 'R' and 'LS' factors for KAPINGAZI river catchment. Master of Science Research Project Report. Jomo Kenyatta.
- **FEKIR Y, MEDERBAL K, BELGHERBI B, HAMMADOUCHE MA, ANTEUR D.**, (2012). Utilisation de la télédétection et les SIG pour l'évaluation quantitative du risque d'érosion hydrique des sols, cas d'un site à l'ouest algérien. International Conference of GIS-Users, Taza GIS-Days, p 83-87.
- **FOSSEY M.**, (2008). Étude hydrologique dans le pacifique, une première étape d'une modélisation sous SIG. Rapport technique IDR. Projet GERSA.
- **FOSSEY M.**, (2007). Développement méthodologique et spatialisation du risque d'érosion hydrique à L'île d'Efaté – Vanuatu. Rapport technique. Composante 1A-Projet 1A4. Gestion côtière intégrée- projet GERSA, Lot1, (gestion des récifs, du Satellite a l'Acteur).Nouvelle-Calédonie.
- **GIRARD MC, WALTER C, REMY JC, BERTHELIN J et MOREL JL.**, (2005). Sols et environnement. Paris, DUNOD, 816 p.
- **HUBERT-MOY L.**, (2004). Occupation du sol et télédétection : de l'inventaire à la modélisation prédictive, Habilitation à diriger des recherches, Univ, Rennes 2- haute Bretagne, p 327.

- **JOLY F.**, (1976). La cartographie ; Editions PUF, Paris, 271 p.
- **KALMAN R.**, (1967). Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou. *Projet Sebou, Rapp. inédit*, 40 p.
- **KIRAT S.**, (2006). Les conditions d'émergence d'un système d'élevage spécialisé en engraissement et ses conséquences sur la redynamisation de l'exploitation agricole et la filière des viandes rouges bovines- cas de la Wilaya de Jijel en Algérie. Thèse Master. Institut d'Agronomie Méditerranéen Montpellier. (Série ; Master of science), n°88, p.20.
- **LEOPOLD LB, WOLMAN MG, MILLER JP.**, (1964). Fluvial Processes in Geomorphology, Freeman & Co., London.
- **LE PAPE S.**, (1998). Analyse et quantification du réseau hydrographique. Mémoire de projet de fin d'étude. E.S.G.T
- **LOUISE R.**, (2007). L'eau, source de conflits. *Lex Electronica*, vol. 12 n°2.
- **MARCEY F., BERVILLE D.**, (2003). Synthèse bibliographique : bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement, Sinfotech, p28.
- **MILLER G., LAFLAMME RA.**, (1958). The digital terrain model-Theory and application. *Photogrammetric engineering* 3 (24), pp. 433-475.
- **MUSY A, HIGY C.**, (1998). Hydrologie appliquée. Edi, H.G.A, ISBN: 973-98530-8-0. GR-Ecublens CH-1015 Lausanne-Suisse.
- **MUSY A., LAGLAINE V.**, (1992). Hydrologie générale. Cours photocopié, section génie rural, environnement, mensuration, EPFL, Lausanne.
- **MUTIN G.**, (2009). Le Monde arabe face au défi de l'eau Enjeux et Conflits. hal- version 2, novembre 2009.
- **MORGAN RPC, DAVIDSON DA.**, 1991. Soil erosion and conservation, Longman Group, U.K.
- **MOSTEFAOUI L.**, (2014), caractéristiques géologiques, minéralogiques, pétrographiques, et sédimentologiques, des sables côtiers des secteurs : oued zhour, oued el kebir et oued ziama mansouria (wilaya de Jijel, Algérie).
- **PAGET A. et al**, (2008). La géomatique au service de la caractérisation automatique des réseaux hydrographiques. *Physio-Géo – Géographie Physique et Environnement*, 2008, volume II
- **PMH**, (2009). Etude d'actuation de la petite et la moyenne hydraulique, Algérie.
- **PODAIRE A.**, (2003). Informations sur le projet Changement d'Utilisation et de Couverture des Sols (Land-Use and Land-Cover Change : LUCC) ; *Revue Électronique CYBERGEO*, n° 180, 6p.
- **PROVENCHER L, DUBOIS J M M.**, 2007. Précis de Télédétection. Méthodes de photo interprétation et interprétation d'image. Vol. (4), Presses de l'université du Québec, p. 420, ISBN : 2760514854-9782760514850. Publ. du Serv. De la carte géol. de l'Algérie. Nlle série. Bull. N°22.
- **RANGO A, ARNOLDUS HMJ.**, (1987). Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO*.
- **RENARD K.G., FOSTER G., WEESICS G.A. and Porter J.P.** (1991). Revised universal soil loss equation RUSLE. USLE-EPIC-RUSLE-Wepp Bull. 1: 30-33.
- **ROBIN M.**, 2002. Télédétection ; des satellites aux SIG, publications NATHAN, 2ème édition, 246 p.

- **ROOSE E.**, (1985). Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest. Bull. Rech. Agro. Gembloux. ORSTOM. MONTPELLIE (France). 20 (3/4), pp 505-537.
- **SADIKI A, BOUHLASSA S, AUJJAR J, FALEH A, MACAIRE JJ.**, (2004). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Équation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab. n°26, p. 69-79. Rabat.
- **SHAHRAM KHOSROW PANAH PE, LEROY F, HEITZ PE, WEN Y, PARK M.**, (2007). Developing a GIS-based soil erosion potential model of the UGUM watershed. Technical Report n°117. Univ of GUAM WATER & ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE Of the WESTERN PACIFIC UOG Station, Mangilao, Guam 96923.
- **SIMMS AD, WOODROFFE CD ET JONES BG.** (2003). Application of RUSLE for Erosion Management in a Coastal Catchment, Southern NSW, Proceedings of MODSIM 2003, International Congress on Modelling and Simulation, volume 2, pp 678-683.
- **STENGEL P, GELIN S.**, 1998. Sol, interface fragile. Chap 9 l'érosion hydrique des sols cultivés en milieu tempéré. Institut National de la Recherche agronomique, ed. Quae, 222 pages.
- **VAN DER KHIJFF JM, JONES RJA, MONTANARELLA L.**, 2000. Estimation de l'érosion hydrique en Italie. Rapport. EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL JRC JOINT RESEARCH CENTRE, Space Applications Institute European Soil Bureau.
- **VILA J M.**, (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens .Thèse Sc. Univ. Paris VI, 3 vol, 663 p., 199 fig., 40 pl., 7 pl.h.t.
- **VERSTRAETE MM, PINTY B.**, 1991. The potential contribution of satellite remote sensing to the understanding of arid lands processes. Vegetation, 91: 59-72.
- **WALL GJ, COOTE DR, PRINGLE EA et SHELTON IJ.**, (2002). RUSLE-CAN-Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada. Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique au Canada. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, No de la contribution AAC2244F, 117 p.
- **WHITE WR.**, 1986. Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. Projet 5.3Ed, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture7, place de Fontenoy, 75700 Paris, France. ISBN : 92-3-202014-g. 155p.
- **WISCHMEIER W.H. and SMITH D.**, (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA-ARS Agriculture Handbook N° 537, Washington DC. 58 p.
- **WORDOFA G.**, 2011. Soil erosion modelling using GIS and RUSLE on the Eurajoki watershed Finland. Thesis, Tampere University of applied sciences. 50p.

Site Web

- <http://www.altoa.org/fr/produits-mns-et-mnt.html> [W1]
- <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=11517> [W2]
- <https://www.jpl.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission-srtm/> [W3]

- <http://nilerak.hatfieldgroup.com/French/NRAK/EO/html/landsat.html> [W4]
- <http://landsat.usgs.gov/> [W5]
- <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/> [W6]
- <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> [W7]
- https://mesange.educagri.fr/hdocs/sigea/supports/QGIS/distance/perfectionnement/M09_Traitement_donnees_raster_gen_web/co/60_N2_Images_satellites.htm [W8]
- https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/accessing-the-spatial-analyst-toolbox.htm#ESRI_SECTION1_F086B6FE27D2423BA605D49EC30E0E8A [W9]
- <http://earthexplorer.usgs.gov/> [W10]

Résumé

Dans tous les domaines s'intéressant à l'étude de phénomènes spatialisés, un besoin en automatisation émerge, notamment pour les structures géographiques de types « réseaux », vue leur organisation systémique de l'espace qui n'est pas explicitée dans les bases de données géographiques (Paget et al, 2008). Dans l'optique de satisfaire ce besoin d'automatisation, le recours à l'utilisation des Systèmes d'informations géographiques s'est avéré rentable (Hocine et al, 2007 ; Charleux et al, 2000). Le présent travail décrit une méthodologie d'exploitation des données MNT SRTM permettant une extraction du réseau hydrologique à l'aide de deux outils SIG d'ArcGis 10.2 (ArcHydro et Analyse spatiale) et les techniques de la télédétection pour une modélisation d'un phénomène hydrologique (érosion hydrique), en appliquant le modèle de RUSEL, sur le bassin versant d'oued Djendjen. Ceci, consiste à évaluer et protéger les ressources en eau face à un risque environnemental: l'érosion hydrique des sols qui menace le futur barrage de Tabellout.

À l'issue de ce travail, on a constaté que les résultats obtenus sont très satisfaisantes en matière de la détermination des caractéristiques du bassin versant. On a constaté aussi que la région, est en grande partie montagneuse, présente de potentialités en eaux, principalement constituées en eau de surface.

Les résultats obtenus lors de l'application de l'équation Universelle de Perte de Sol Révisée (RUSLE) montrent que le bassin étudié possède un potentiel érosif très élevé.

Les pratiques antiérosives proposées diminuent efficacement ce phénomène.

Mots clés : *SIG, Modélisation, Télédétection, MNT SRTM, Erosion hydrique, RUSEL, Bassin versant d'oued Djendjen.*

Abstract

In all domains interested in the study of spatial phenomena, a need for automation emerges, especially for the geographic structures of "network" types, given their systemic organization of space that is not explained in the databases of geographical data (Paget and al, 2008). In order to meet this need for automation, the use of Geographic Information Systems has proven profitable (Hocine and al, 2007, Charleux and al, 2000). The present work describes a methodology of exploitation of the digital elevation model (DEM SRTM data) allowing an extraction of the hydrological network by means of two tools GIS of ArcGis 10.2 (ArcHydro and spatial analyst tool) and the techniques of the remote sensing for a modelization of a hydrological phenomenon (soil erosion), applying the RUSEL model, on the Oued Djendjen watershed. This consists of evaluating and protecting water resources in the face of environmental risks: water erosion of the soil, which causes silting of the future Tabellout dam.

At the end of this work, it was found that the results obtained are very satisfactory in terms of the determination of the characteristics of the watershed. It has also been found that the region is largely mountainous and has water potential, mainly consisting of surface water.

The results obtained from the application of the Revised Universal Ground Loss Equation (RUSLE) show that the studied basin has a very high erosive potential. The proposed anti-erosive practices effectively reduce this phenomenon.

Key Words: *GIS, Modelization, Remote sensing, DEM SRTM, Soil erosion, RUSEL, OuedDjandjen watershed.*