

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Application de l'analyse morpho métrique a des sous bassins versants -cas du Bassin Cheliff-.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0010-18

APA Citation (APA توثيق):

Boudjefna, Chahrazad (2018). Application de l'analyse morpho métrique a des sous bassins versants -cas du Bassin Cheliff-[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ASSAINISSEMENT

THEME :

**APPLICATION DE L'ANALYSE MORPHOMETRIQUE A
DES SOUS BASSINS VERSANTS -CAS DU BASSIN CHELIFF-**

Présenté Par :

M^{elle} BOUDJEFNA Chahrazad

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M ^{me} H. MEDDI	MCA	Présidente
M ^r A. AMMARI	MCB	Examinateur
M ^r A. BOUFEKANE	MAA	Examinateur
M ^{me} S. KHALED/HOULI	MAA	Examinatrice
M ^r S. TOUMI	MCB	Promoteur

Session Juin 2018

❧ Remerciements ❧

Louange à Dieu, tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage pour arriver jusque-là.

Au terme de cette modeste étude, Je voudrais exprimer mes gratitude et mes sincères remerciements à l'encadreur Mr TOUMI S. pour sa disponibilité permanente, pour son aide, sa patience, ses commentaires et bien sûr ses critiques constructives; Il n'a épargné ni temps ni efforts pour mener à bien ce travail.

Je remercie évidemment le Président et les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je n'oublie pas de remercier aussi l'ensemble des enseignants de l'E.N.S.H qui ont assuré ma formation.

Enfin ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

❧ C. BOUDJEFNA ❧

❧ Dédicaces ❧

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

À mes chers parents pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard;

À mes sœurs : Khadidja , Naziha, Farida et Imane et mes frères Mohamed et Redha ;

À toute la famille BOUDJEFNA; ZEGHADNA

À tous mes collègues et amis de l'ENSH et en particulier : Samia, Safaâ, Houria, Nadjet et Hamida qui ont toujours été là pour me soutenir;

À tous mes camarades, promotion 2014/2017 ;

En un mot, à tout les gens qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite.

❧ CHAHRA ZAD ❧

ملخص

تفتقر معظم الأحواض القاحلة وشبه القاحلة في الجزائر إلى إدارة مستدامة للموارد الطبيعية. الهدف من هذا العمل هو أقلمة الأحواض الفرعية المتجانسة من خلال تحليل الخصائص المورفومترية لحوض الشلف (43750 كم²) بشمال غرب الجزائر. وقد تم وصف الأحواض الهيدروغرافية باستخدام تقنيات المعالجة الجيولوجية في نظم المعلومات الجغرافية باستخدام نظام المعلومات المتكامل عن الأراضي والمياه (ILWIS). يسمح تحليل المورفومترية للحوض استكشاف العلاقة الطردية بين المعلومات الهيدروولوجية والجيومورفولوجية والمتغيرات الإحصائية التفسيرية هي التي تدعم تصنيف الأحواض في مناطق متجانسة. يمكن تطبيق نتائج هذه الدراسة لإدارة التربة والمياه، وكذلك للوقاية من الكوارث في الأحواض المتماثلة.

الكلمات المفتاحية : الإقليمية ، نظم المعلومات الجغرافية ، ILWIS ، التحليل المورفومتري ، المناطق المتجانسة.

Résumé

La plupart des bassins versants arides et semi-arides algériens manquent de la gestion durable des ressources naturelles. L'objectif de ce travail est une régionalisation des sous bassins homogènes à partir d'une analyse morphométrique du bassin de Cheliff (43750 km²) situé au Nord-Ouest de l'Algérie. Le bassin hydrographique a été caractérisé en utilisant des techniques de géotraitement dans les SIG à l'aide du Système intégré d'information sur les terres et les eaux (ILWIS). L'analyse morphométrique des bassins permet d'explorer l'interrelation entre les paramètres hydrologiques et les caractéristiques géomorphologiques, et les variables statistiques explicatives, qui servent de support à une classification du bassin versant en zones homogènes.

Cette étude peut être appliquée pour la gestion des sols et de l'eau, ainsi que pour la prévention des catastrophes à partir de bassins hydrographiques similaires.

Mots clés : Régionalisation hydrologique, SIG, ILWIS, analyse morphométrique, zones homogènes.

Abstract

Most of Algeria's arid and semi-arid watersheds lack the sustainable management of natural resources. The objective of this study is a regionalization of the homogeneous sub-basins from a morphometric analysis of the Cheliff basin (43750 km²) which is situated in the North-West of Algeria. The watershed has been characterized using geoprocessing techniques in GIS mainly, the Integrated Land and Water Information System (ILWIS).

The morphometric analysis of the basin makes it possible to explore the interrelation between the hydraulic parameters and the geomorphological characteristics and the explanatory statistical variables which serve as a support for a classification of the catchment area in homogeneous zones.

This study can be applied for soil and water management as well as for disaster prevention from similar watersheds.

Key words : Hydrological regionalization, GIS, ILWIS, morphometric analysis, homogeneous zones.

Liste des abréviations

ABH-CZ : Agence du Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BV : Bassin Versant

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

DEM : Digital Elevation Model

ILWIS : Integrated Land and Water Information System

MNT : Modèle Numérique de Terrain

SBV : Sous Bassin Versant

SIG : Systèmes d'Informations Géographiques

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

Liste des tableaux

Chapitre I : Recherche bibliographique

Tableau I.1 Les différents domaines d'application des SIG.....	07
Tableau I.2 Classification O.R.S.T.O.M (relief).....	12

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1 Découpage par Sous région du Bassin Chélif-Zahrez.....	20
Tableau II.2 Inventaire du réseau pluviométrique	25
Tableau II.3 Températures moyennes mensuelles et annuelles (C°).....	27

Chapitre III : Application de l'analyse morpho-métrique

Tableau III.1 Valeurs calculées de variables sélectionnées dans le bassin Chélif.....	50
Tableau III.2 Paramètres physiques dans le SBV6.....	52
Tableau III.3 Paramètres linéaires dans le SBV6.....	52
Tableau III.4 Paramètres Statistiques de Horton dans le SBV6.....	52

Chapitre IV : La régionalisation

Tableau IV.1 Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho-métriques des SBV de Chélif.....	56
Tableau IV.2 Matrice de corrélation (ACP) entre les variables morpho-métriques	58
Tableau IV.3 Vecteurs de la matrice de corrélation des variables morpho-métriques.....	59
Tableau IV.4 Matrice de cosinus carrée (\cos^2) des variables morpho-métriques du SBV Chélif	62
Tableau IV.5 Résultats de l'CAH par classe pour le niveau 1.....	65
Tableau IV.6 La composition des classes en SBV pour le niveau 1 de similarité.....	66
Tableau IV.7 Les objets centraux pour chaque classe (C1, C2, C3, C4) pour le niveau 1.....	67
Tableau IV.8 La composition des classes en SBV pour le niveau 2 de similarité.....	69

Liste des figures

Chapitre I : Recherche bibliographique

Figure I.1 Schéma représentant un bassin versant	04
Figure I.2 Carte d'un bassin versant avec son exutoire.....	04
Figure I.3 Classification du réseau hydrographique selon le système de Strahler (1957).....	14

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II.1 Les agences de bassin hydrographiques en Algérie.....	19
Figure II.2 Bassins versants de l'Algérie.....	20
Figure II.3 Carte de situation de la région hydrographique Chélif- Zahrez.....	21
Figure II.4 Carte représentative pour Bassin Côtier Dahra ,Chélif, Zahrez.....	22
Figure II.5 Carte des sous régions du bassin hydrographique Chélif- Zahrez.....	23
Figure II.6 Carte de découpage administratif du bassin versant de Chélif.....	24
Figure II.7 Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif - Zahrez	26
Figure II.8 Variations de la température moyenne mensuelle du Aval à Amont Boughzoul aux stations: Chlef , Kasr El Boukhari,Aflou.....	28
Figure II.9 Carte des altitudes du bassin Chélif.....	30
Figure II.10 Carte de découpage du bassin Chélif en sous bassin selon l'ANRH	32

Chapitre III : Application de l'analyse morpho-métrique

Figure III.1 Carte du MNT de BV Chélif	36
Figure III.2 Organigramme explicatif de la méthodologie de travail.....	38
Figure III.3 Visualisation du MNT de BV Chélif.....	39
Figure III.4 Carte du MNT de BV Chélif après la correction (fill_sinks)	40
Figure III.5 Carte du sens d'écoulement du BV Chélif (flow_direction).....	41
Figure III.6 Extrait de la carte d'accumulation de flux (flow_accumulation).....	42
Figure III.7 Extrait de la carte d'extraction du réseau de drainage(Drainage network extraction).....	42
Figure III.8 Carte d'affectation des ordres de Strahler dans le réseau de drainage du BV Chélif (Drainage network ordering).....	44
Figure III.9 Extraction des SBV du bassin Chélif (Catchment extraction).....	45
Figure III.10 Localisation des exutoires du BV Chélif.....	47
Figure III.11 Assemblage des SBV du bassin Chélif (Catchment merge).....	47
Figure III.12 MNT correspondant au SBV6.....	51

Chapitre IV : La régionalisation

Figure IV.1 Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho-métriques des SBV de Chélif	56
Figure IV.2 La contributions des paramètres morpho-métriques au niveau du bassin Chélif sur les plans factoriels (F1-F2) et (F1-F3).....	60
Figure IV.3 Projections des individus les plans factoriels (F1-F2) et (F1-F3).....	63
Figure IV.4 Dendrogramme général des classes.....	65
Figure IV.5 Dendrogramme représentatif des SBV et des classes selon le niveau 1 de similarité	67
Figure IV.6 Carte de régionalisation des SBV du bassin Chélif avec les objets centraux selon le niveau 1 de similarité.....	68
Figure IV.7 Carte de régionalisation des SBV du bassin Chélif selon le niveau 2 de similarité.....	69

Liste des annexes

ANNEXE I : Identification des exutoires du bassin Chélif

**ANNEXE II : Les paramètres morpho-métriques des SBV (partie 01)
Les paramètres morpho-métriques des SBV (partie 02)**

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction	3
I.1 Etude d'un bassin versant par les systèmes d'informations géographiques SIG.....	3
I.1.1 Définition d'un bassin versant	3
I.1.2 Introduction au SIG.....	5
I.1.2.1 Présentation d'un SIG	5
I.1.2.2 Historique des SIG	6
I.1.2.3 Principales composantes d'un SIG	6
I.1.2.4 Utilité du SIG	7
I.1.2.6 Les avantages des SIG	8
I.1.2.7 Les contraintes des SIG.....	8
I.1.3 Le modèle numérique de terrain MNT	8
I.1.3.1 Concept de modèle numérique de terrain	8
I.1.3.2 L'intégration de l'MNT dans les SIG	9
I.2 Les paramètres morpho-métriques d'un bassin versant	10
I.2.1 Les caractéristiques géométriques d'un bassin versant	10
I.2.2 Le réseau hydrographique.....	12
I.2.2.1 La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau	13
I.2.2.2 Les longueurs et les indices caractéristiques du réseau	14
I.2.2.3 Le degré de développement du réseau.....	15
I.3 Synthèse des travaux sur l'analyse morpho-métrique des bassins versants en utilisant les SIGs.....	17
Conclusion.....	18

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction	19
II.1 Présentation générale de la région hydrographique.....	19
II.2 Situation géographique du bassin Chéouly.....	22
II.3 Situation administrative du bassin Chéouly.....	23
II.4 Situation climatique du bassin Chéouly.....	25
II.4.1 La pluviométrie.....	25

II.4.2 La température	27
II.4.3 Evapotranspiration	28
II.5 Topographie	29
I.6 Réseau hydrographique	30
II.7 Géologie	33
II.8 Hydrogéologie	33
Conclusion	34


CHAPITRE III : APPLICATION DE L'ANALYSE MORPHOMETRIQUE

III.1 Méthodologie, Données et Matériels utilisés	35
III.1.1 Sélection des données	35
III.1.2 Matériels utilisés (Logiciel)	36
III.1.2.2 Fonctionnalité de logiciel ILWIS	37
III.1.3 Méthodologie	37
III.2 Application et résultats	39
III.2.1 Importation de fichier MNT	39
III.2.2 Hydrotraitement du MNT (MNT Hydro-processing)	39
III.3 Extraction du MNT pour chaque SBV	48
III.3.1 Hydrotraitement des MNT_SBV	48
III.3.2 Extraction de paramètres	48
III.3.2.1 Paramètres physiques	48
III.3.2.2 Paramètres linéaires	49
III.3.2.3 Paramètres Statistique de Horton	49
III.4 Résultats de l'analyse morfo-métrique	50
Conclusion	53

CHAPITRE IV : LA REGIONALISATION

Introduction	54
IV.1 La régionalisation statistique	54
IV. 2 Méthodes de classification et d'analyse des données	54
IV.2.1 L'analyse en composantes principales (ACP)	55
IV. 2.1.1 Application de l'ACP	55
IV.2.1.2 Interprétation de résultats de l'ACP	56
IV. 2.2 La classification ascendante hiérarchique (CAH)	64
IV.2.2.1 Application de la CAH	64

IV.2.2.2 Résultats de la CAH.....	65
Conclusion.....	70
CONCLUSION GENERALE.....	71



Chapitre I
Recherche
bibliographique

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Dans les bassins versants arides et semi-arides, la gestion durable des ressources naturelles (sol, eau et ressources écologiques) et la gestion des bassins versants nécessitent une bonne connaissance des paramètres morfo-métriques en termes de pente, système de drainage, topographie, géomorphologie et la lithologie à partir des cartes géologiques et leurs interrelations ; cela nécessite l'utilisation des techniques et des outils de traitement avancés, à savoir, les systèmes d'informations géographiques (SIG). En effet, ces outils permettent d'apporter à chacun l'information dont il a besoin pour décider et agir au mieux. C'est un outil de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent, de simulation d'alternatives et de leurs effets. C'est aussi un outil de dialogue et de communication entre disciplines par un constant aller-retour entre observation, interprétation, hypothèse et validation. L'utilisation de ce genre de système offre un moyen simple, rapide et efficace à l'utilisateur, pour les études d'aménagement et de prise de décision (Cheggour, 2008)

I.1 Etude d'un bassin versant par les systèmes d'informations géographiques SIG

I.1.1 Définition d'un bassin versant

Le bassin versant ou bassin hydrologique est le territoire qui recueille les eaux de ruissellement et d'infiltration alimentant soit un fleuve, une rivière ou une ravine. Il les concentre vers le point de sortie appelé exutoire. Le BV est défini par le relief et délimité par les lignes de partage des eaux (lignes de plus hautes altitudes qui déterminent la direction d'écoulement des eaux de pluie). Le sous-bassin représente le bassin versant d'un affluent. L'exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin. La ligne de crête d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux. Cette ligne ainsi définie, limite les bassins versants topographiques adjacents (Morell et *al.*, 1999).

En effet, Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur carte topographique. En commençant par l'exutoire on trace à main levée des segments perpendiculairement aux courbes de niveaux en passant par les crêtes, aboutissant automatiquement à l'exutoire (Touaibia , 2004) .

Le bassin versant est défini par son exutoire (la section droite du cours d'eau) comme c'est présenté dans la figure I.2 et délimité par la ligne de partage des eaux. Il est caractérisé par :

- ses entrées (les précipitations),
- sa géométrie (pentes des versants), sa composition (géologie, pédologie, occupation des sols) et ses limites (lignes de partage des eaux),
- ses états internes (humidité des sols, piézométrie),
- ses sorties (évapotranspiration, débit à l'exutoire du bassin)

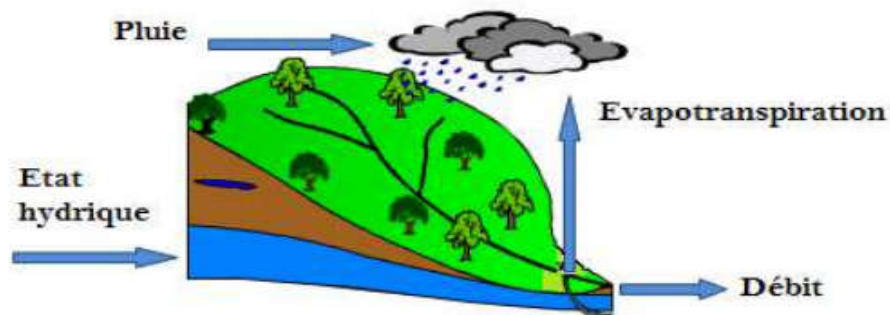


Figure I.1 Schéma représentant un bassin versant (Musy , 2005).

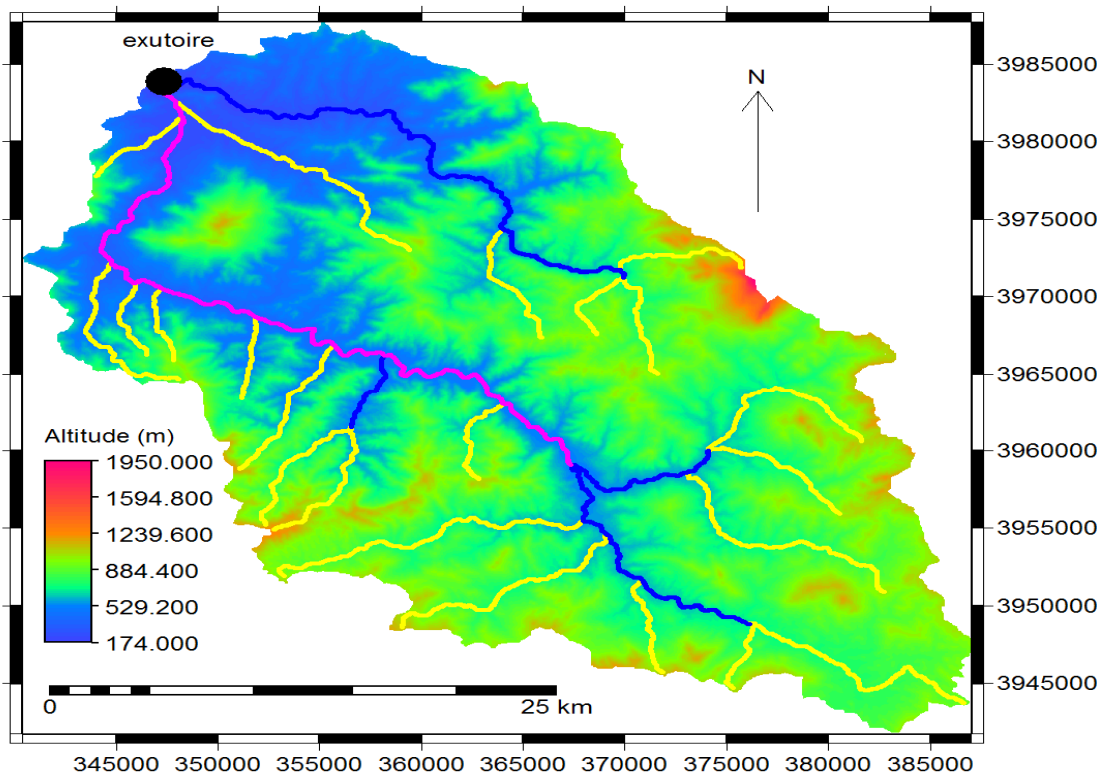


Figure I.2 Carte d'un bassin versant avec son exutoire

Le bassin versant est une surface élémentaire en théorie hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire (Laborde, 2009).

D'après ces définitions, on peut conclure que le bassin versant ou bassin hydrologique est une zone du relief dont les ruissellements de surface s'écoulent et se rassemblent vers un émissaire commun appelé exutoire .Il est déterminé sur une carte topographique par une courbe joignant les lignes de crête (ligne de partage des eaux) en amont de l'exutoire tel que les eaux de ruissellement en dehors de cette ligne deviennent des fuites.

I.1.2 Introduction au SIG

Les SIG sont utilisés pour gérer et étudier une gamme très diversifiée de phénomènes et de réseaux de phénomènes en utilisant des informations concernant l'emplacement géographique d'une entité structuré de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision. Ceci implique souvent l'utilisation de coordonnées géographiques, tel qu'une valeur de latitude ou de longitude. Le terme donnée spatiale est également employé couramment, ainsi que : donnée géographique, donnée SIG, donnée cartographique, donnée de localisation, donnée de géométrie spatiale . . .

I.1.2 .1 Présentation d'un SIG

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace (Tébourbi, 2006)

Un SIG est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées. C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. Un SIG est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision (Boukli Hacène, 2014)

On peut dire en résumé qu'un SIG peut désigner un ensemble complet de composantes permettant le traitement informatique de l'information géo-référencée.

I.1.2.2 Historique des SIG

On cite souvent comme première application des SIG l'étude menée avec succès par le docteur « John Snow » pendant l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854 : ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il détermina que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination.

Le développement des SIG dans la science a été permis par l'avancée de la technologie informatique, et encouragé par prise de conscience environnementale et de nouvelles approches scientifiques transdisciplinaires, intégratrices. Depuis les années 1970, notamment depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 qui a généré une demande croissante de cartes présentant l'état de l'environnement et utiles pour mesurer les impacts du développement. (Tchioffo kodjo, 2008)

Maguire et *al.* (1991) distinguent quatre périodes principales dans l'évolution des SIG :

- Fin des années 1950 – milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques ;
- Milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...) ;
- Depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données distribuées) ;
- Depuis les années 1990, des applications sur Internet et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...) (Tchioffo kodjo , 2008)

Aujourd'hui les SIG sont utilisés par tous les acteurs des différentes disciplines :

- Sciences de l'eau, de la terre, de l'environnement, biologiques, ...

I.1.2.3 Principales composantes d'un SIG

Un SIG comprend 4 composantes :

- 1- Matériel informatique : ordinateur, scanner, RDS, satellite,
- 2- Logiciel SIG : Map Info, Arc Gis, Arc view, Ilwis ...
- 3- Données : récupérable partir du terrain, d'un rapport, d'une carte, ...
- 4- Ressources humaines : personnel formé.

I.1.2.4 Utilité du SIG

Les logiciels liés au SIG assurent les 6 fonctions suivantes (parfois regroupées sous le terme des '6A') :

- 1- Saisie des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition).
- 2- Gestion de base de données (Archivage).
- 3- Manipulation et interrogation des données géographiques (Analyse).
- 4- Mise en forme et visualisation (Affichage).
- 5- Représentation du monde réel (Abstraction).
- 6- La prospective (Anticipation). <https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/initiation-au-systeme-d-information-geographique/definitions-des-s-i-g>

I.1.2.5 Les domaines d'application des SIG

Les SIG sont utilisés pour gérer et étudier une gamme très diversifiée de phénomènes

Tableau I.1 Les différents domaines d'application des SIG

Domaine	Application
Ressources naturelles	protection des zones humides, études d'impact environnemental, évaluation du potentiel panoramique, gestion des produits dangereux, modélisation des eaux souterraines et dépistage des contaminants, études des habitats fauniques et des migrations, recherche du potentiel minier, etc.
Réseaux urbains	localisation à partir des adresses civiques, planification des transports, développement de plan d'évacuation, sélection de sites, planification et distribution des flux de véhicules, localisation des accidents, sélection d'itinéraires, etc.
Administration municipale	gestion du cadastre, zonage, évaluation foncière, gestion de la qualité des eaux, entretien des infrastructures, études d'impact environnemental, schémas d'aménagement, etc.
Gestion des installations	localisation des câbles et tuyaux souterrains, rééquilibrage des réseaux électriques, planification et entretien des installations, localisation des dépenses énergétiques, etc
Commerce	analyse de la structure des marchés, planification des développements et ciblage des clientèles visées, analyse de la concurrence et des tendances des marchés, etc.
Santé	épidémiologie, répartition et évolution des maladies et des décès, distribution des services sociaux-sanitaires, plans d'urgence
Protection de l'environnement	étude des changements globaux, suivi des changements climatiques, biologiques, morphologiques, océaniques, etc.

Source: (Kellouche ,2009)

I.1.2.6 Les avantages des SIG

- Capacité et fiabilité de stockage
- Rapidité de restitution des données (gain de temps)
- Intégration et combinaison de données de sources différentes
- Précision des processus cartographiques
- Facilité de mise à jour (Outils de suivi)
- Analyse des relations spatiales (Intégration, requête spatiale, Combinaison et superposition de cartes)
- Production de cartes (bon rapport qualité / prix).

<https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/initiation-au-systeme-d-information-geographique/definitions-des-s-i-g>

I.1.2.7 Les contraintes des SIG

- Le manque de personnel spécialisé et compétant.
- Coût élevé et problèmes techniques pour l'acquisition des données fiables.
- Non Standardisation des formats de données.
- Manque d'outils pour la gestion du temps.
- Nécessité d'une mobilisation continue des acteurs.
- Manque d'outils pour la gestion en 3 dimensions.
- Nécessité de formaliser les besoins et structurer les données.

<https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/initiation-au-systeme-d-information-geographique/definitions-des-s-i-g>

I.1.3 Le modèle numérique de terrain MNT

I.1.3.1 Concept de modèle numérique de terrain

Un modèle numérique de terrain (MNT), modèle numérique d'altitude (MNA) ou Digital Elevation Model est une représentation numérique et mathématique de l'altitude d'un point quelconque de la surface terrestre continue d'une zone géographique, dans un système référentiel bien défini. Même si le MNT représenté sous forme de triangles irréguliers présente certains avantages (Peucker et *al.*, 1978), dans la grande majorité des cas, le MNT est représenté comme un ensemble de mailles régulières, caractérisées chacune par une valeur d'altitude, dans le but d'en faciliter la manipulation et le stockage en mémoire de l'ordinateur pendant les calculs. Le MNT reste l'une des plus importantes sources de données utilisées

pour l'extraction de nombreux paramètres utilisés tels que la pente, la direction d'écoulement de l'eau, l'indice topographique, etc. Cependant, il reste une représentation spatiale de la réalité. Selon Carter (1988), un MNT, même de meilleure exactitude, reste une approximation de la réalité du terrain. Par conséquent, il contient toujours des erreurs. Ces erreurs se propagent inévitablement dans les différentes applications qui l'utilisent et peuvent influencer considérablement les résultats finaux (Huang *et al.*, 2005; Oksanen *et al.*, 2005).

La génération d'un MNT nécessite l'acquisition de données spatiales soit sous forme de données altimétriques, soit sous forme de données photo-grammétriques. Les moyens d'acquisition de ces données ont beaucoup évolué de nos jours et permettent d'acquérir des données de haute densité (plusieurs points par m²) sur des zones de plusieurs hectares. (Ouédraogo *et al.*, 2014).

Dans la majorité des cas, appliquée à l'élévation Géo-bases (le plus souvent matricielles) à structure adaptée pour analyser des caractères structurels du terrain:

- Pente.
- Orientation de la pente.
- Ombres portées.
- Chenaux de drainage.
- Limites des bassins-versants.
- Aires de visibilité, etc.

I.1.3.2 L'intégration de l'MNT dans les SIG

Le MNT fournit une information altimétrique, c'est une représentation numérique simplifiée de la surface du territoire, intégrée dans le SIG cette information joue un rôle très important dans les méthodes l'analyse spatiale en particulier pour la prise en compte de la morphologie du terrain.

Il existe de nombreuses représentations possible des surfaces sous forme de MNT sans les SIG, les deux formes essentielles recouvrent le mode Raster et le mode Vecteur.

A partir de l'information altimétrique du MNT des cartes dites dérivées vont pouvoir être calculées, en particulier dans un objectif d'analyse morphologique du milieu : Carte des pentes, des orientations, d'ensoleillement, d'inter-visibilité, bassins versants, profils en long et en travers, coupes de terrain ...

I.2 Les paramètres morpho-métriques d'un bassin versant

Les caractéristiques morpho-métriques en termes de taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des (MNT).

I.2.1 Les caractéristiques géométriques d'un bassin versant

- Surface (A) (km²)
- Périmètre (P) (km)
- Les altitudes caractéristiques : on peut citer

Altitude moyenne(m) ; Altitude minimale(m) ; Altitude maximale(m)

- **Les indices morphologiques d'un bassin versant**

a) Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité de Gravelius est donné par la formule suivante :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (I.1)$$

Où: K_c : Indice de compacité de Gravelius

P (km) : Périmètre du bassin versant

A (km²) : Surfaces du bassin versant

b) Coefficient d'allongement du bassin

Le coefficient d'allongement du bassin est donné par la formule :

$$K = \frac{P^2}{A} \quad (I.2)$$

Où: P (km) : Périmètre du bassin versant.

A (km²) : Superficie du bassin versant.

c) Le rectangle équivalent :

C'est une transformation géométrique qui permet de transformer le bassin versant à un rectangle, les courbes de niveau des droites parallèles aux petites cotes du rectangle. Ce rectangle défini par sa longueur (L), sa largeur (l) et par la même superficie (S), les dimensions sont données par les formules :

$$L = Kc \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (I.3)$$

$$l = Kc \frac{\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (I.4)$$

Où: Kc : Indice de compacité de Gravelius.
 $A(\text{km}^2)$: Superficie de bassin versant.

d) Indice de pente moyenne

$$I_{pm} = \frac{\Delta H}{L} \quad (I.5)$$

Où: ΔH (m) : Dénivelé entre Hmax et Hmin.
 L (m) : Longueur du rectangle équivalent.

e) Indice de pente globale

$$I_{pg} = \frac{H_{95\%} - H_{5\%}}{L} \quad (I.6)$$

Où: ΔH (m) : Dénivelé entre H5% et H95%.
 L (m) : Longueur du rectangle équivalent.

f) Dénivelé spécifique

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M ; la dénivelée spécifique est :

$$D_s = I_g \sqrt{A} \quad (I.7)$$

Où: I_g : Indice de pente globale.
 A (km^2) : Superficie de bassin versant.

Tableau I.2 Classification O.R.S.T.O.M (relief)

N°	Relief	Dénivelée spécifique (m)
1	Très faible	<10
2	Faible	25
3	Assez faible	50
4	Modéré	100
5	Assez modéré	250
6	Fort	500
7	Très fort	>500

I.2.2 Le réseau hydrographique

Il se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est une des caractéristiques les plus importantes du bassin (Guerra, 1998). D'après Dunne et Black (1970), la différenciation du réseau hydrographique d'un bassin versant à un autre est essentiellement due à quatre facteurs principaux :

- **Lithologie**

Par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. Le réseau de drainage n'est habituellement pas le même dans une région où prédominent les roches sédimentaires, par comparaison à des roches ignées (i.e. provenant du refroidissement du magma). La structure de la roche, sa forme, les failles, les plissements, forcent le courant à changer de direction.

- **Climat**

Le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

- **Pente**

Elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

- **Effet anthropique**

Le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Afin de caractériser le réseau hydrographique, il est souvent utile de reporter son tracé en plan sur une carte à une échelle adéquate. L'utilisation de photographies analogiques ou numériques est utile à cette identification, divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique.

I.2.2.1 La topologie : structure du réseau et ordre des cours d'eau

La topologie s'avère utile dans la description du réseau hydrographique notamment en proposant une classification de ceux-ci. A titre d'exemple, on trouve les types dendritiques, en treillis, en parallèle, rectangulaire, à méandre, anastomosé, centripète, etc.

La classification est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau (rivière principale et affluents). L'ordre des cours d'eau est donc une classification qui reflète la ramification du cours d'eau. La codification des cours d'eau est également utilisée pour la codification des stations de mesures, permettant ainsi un traitement automatisé des données. Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont la classification de Strahler (1957) qui est la plus utilisée.

Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.

Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.

Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de un.

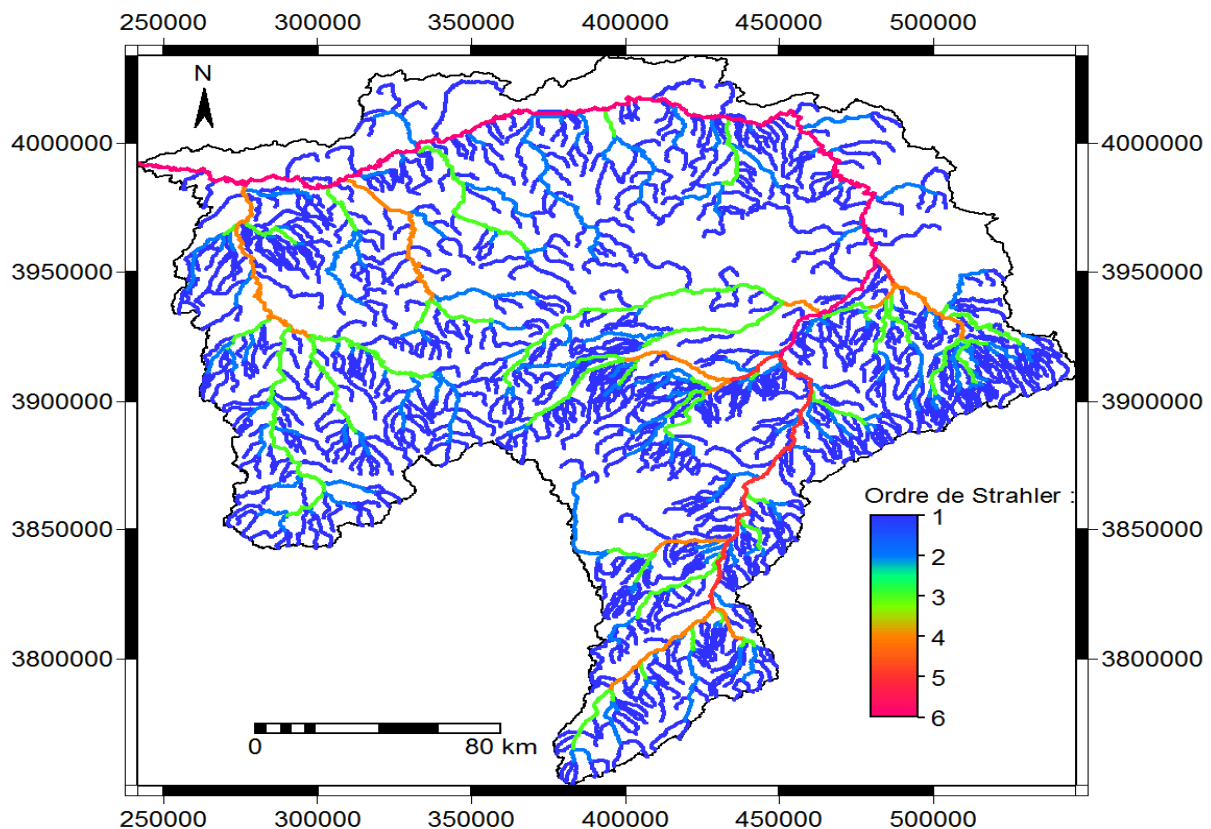


Figure I.3 Classification du réseau hydrographique selon le système de Strahler (1957)

Un bassin versant a l'ordre du plus élevé de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire. Il existe d'autres classifications de ce type comme celle de Horton (1945) qui est parfois utilisée dans le même but.

I.2.2.2 Les longueurs et les indices caractéristiques du réseau

A) Les longueurs caractéristiques du réseau

Un bassin versant se caractérise principalement par les deux longueurs suivantes :

- **La longueur d'un bassin versant (L)** est la distance curviligne mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à un point représentant la projection du centre de gravité du bassin sur un plan (Snyder, 1938).
- **La longueur du cours d'eau principal (L_{cp})** est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

B) Les indices caractéristiques du réseau

➤ La pente moyenne d'un cours d'eau

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La pente moyenne d'un cours d'eau est donnée par l'équation :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{Lcp} \quad (I.8)$$

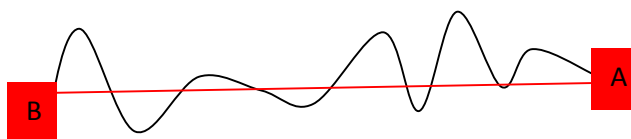
Où : P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;

ΔH_{max} : dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;

Lcp : longueur du cours d'eau principal [km].

➤ Sinuosité d'un cours d'eau (S_{in})

La sinuosité d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau s'évalue en rapportant la longueur réelle à la distance en ligne droite entre le point amont (A) et le point aval (B).



I.2.2.3 Le degré de développement du réseau

a) Densité de drainage

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques. En pratique, les valeurs de densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ;

elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration.

La densité de drainage est donnée par l'équation :

$$Dd = \frac{\sqrt{Lti}}{A} \quad (I.9)$$

Où : Lt_i (km) : Longueur totale des thalwegs d'ordre i.
 A (km²) : Surface du bassin versant.

b) Densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sqrt{N_i}}{A} \quad (I.10)$$

où : F : densité hydrographique [km⁻²] ;
 N_i : nombre de cours d'eau ;
 A : superficie du bassin [km²].

En somme, les régions à haute densité de drainage et à haute densité hydrographique (deux facteurs allant souvent de pair) présentent en général une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux. L'opposé, c'est-à-dire faible densité de drainage et faible densité hydrographique, se rencontre en région à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué.

c) Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité est donné par l'équation :

$$C_T = F_i \times D_d \quad (I.11)$$

Avec : $F_i = \frac{N}{A} \quad (I.12)$

où : Dd (Km/Km²) : Densité de drainage.
 F_i : Fréquence des thalwegs élémentaires.
 N : Nombre des cours d'eau d'ordre i.
 A (km²) : Superficie du bassin versant.

d) Rapport de confluence des cours d'eau R_c

Le rapport de confluence est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il varie suivant l'ordre considéré. C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964), le R_B varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence. Le rapport est donné par l'équation :

$$R_c = \frac{N_x}{N_x + 1} \quad (I.13)$$

où : L'ordre x des divers thalwegs pour l e thalweg

N_x : le nombre de cours d'eau d'ordre x .

N_{x+1} : le nombre de cours d'eau d'ordre x+1.

e) Rapport des longueurs des cours d'eau R_l

Le rapport est donné par l'équation :

$$R_l = \frac{\bar{l}_x}{l_x - 1} \quad (I.14)$$

où : L'ordre x des divers thalwegs pour l e thalweg.

Le rapport entre l a longueur moyenne des cours d'eau d'ordre x e t (x - 1) .

Evidemment, on a : $\bar{l}_x = \frac{\sum l_x}{N_x}$

I.3 Synthèse des travaux sur l'analyse morpho-métrique des bassins versants en utilisant les SIGs

- (Mishra et al, 2011) ont étudié les paramètres morpho-métriques des sous-bassins dans une partie du bassin de Tons, qui fait lui-même partie du méga Ganga bassin (Inde) . ils ont préparé avec l'aide du logiciel (ILWIS 3.4) une carte de drainage de la zone d'étude qui est divisée en six unités de sous-bassin hydrographique . Aux fins de l'analyse du bassin de drainage, ils ont mesuré les numéros de flux, les ordres, les longueurs et d'autres paramètres morpho-métriques comme le taux de bifurcation, la densité de drainage, la fréquence du courant, les paramètres de forme,.... etc .

Cette étude du bassin suggère que la plupart des roches de la région sont de nature assez perméable et il y a de bonnes chances d'infiltration.

- (Ifabiyi et *al* , 2012) ont analysé les variables du bassin de Sokoto (Nigeria) par une approche SIG en utilisant une image de la mission topographique radar (SRTM) intégré dans (ILWIS) et des environnements ArcGIS.

En vue d'évaluer la gestion des inondations et des ressources en eau dans le bassin ,la région d'étude est découpé en 44 SBV , et les résultats ont montré que le bassin présente un fort potentiel d'inondation ce qui la construction de digues pour protéger les terres agricoles, l'exploitation efficace des réservoirs et la gestion durable des bassins versants à des fins de gestion environnementale dans le bassin de Sokoto.

- (Pande et *al* ,2015) ont appliqué une analyse morpho-métrique du bassin de Shanur (Inde) en utilisant des données de télédétection (données SRTM-DEM) couplées aux techniques de géo-traitement dans les SIG.

L'étude conclut que l'analyse morpho-métrique et l'évaluation des aspects linéaires, de pente, de surface et de relief paramètres s'avèrent être un outil compétent pour la planification et la gestion du plan de développement des ressources en eau et des ressources en terres.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une revue générale sur les systèmes d'informations géographiques SIGs (Domaines d'application, avantages, contraintes). Nous avons constaté que ces derniers représentent un outil optimal pour l'analyse des paramètres morpho-métriques des bassins versants à partir duquel s'effectue la régionalisation des sous bassins homogènes pour une bonne gestion de ces derniers et une meilleure prévention contre les risques. Nous avons défini aussi, les différents paramètres morpho-métriques d'un bassin versant, qui vont être régionalisés dans cette étude, ainsi une synthèse sur les travaux fait ce contexte.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction

Le bassin du Chélif a été choisi comme une zone d'application de notre travail en raison de sa vaste superficie (43750 km²) par conséquent un nombre maximal des sous bassins versants et ainsi de suite une grande variabilité des caractéristiques morpho-métriques (le phénomène de variabilité spatiale) qui nous permet de régionaliser les sous bassins homogènes. Donc, cette partie est consacrée à une description générale du bassin versant Chélif afin de donner les indications en termes de pente, système de drainage, topographie, géomorphologie et la lithologie du bassin. Les principales caractéristiques d'un bassin versant étudié ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée à la future analyse des paramètres morpho-métriques et hydrographiques du bassin à l'aide des modèles numériques de terrain.

II.1 Présentation générale de la région hydrographique

Le pays est subdivisé en cinq (5) régions hydrographiques regroupant les dix sept (17) bassins du pays (Figure II.1 ,Figure II.2) respectivement.

Les agences de bassin hydrographiques sont :

- Oranie-Chatt Chergui ;
- Algérois-Hodna-Soummam ;
- Chélif-Zahrez ;
- Constantinois-Seybouse-Mellegue ;
- Sahara ; (ABH,2004)

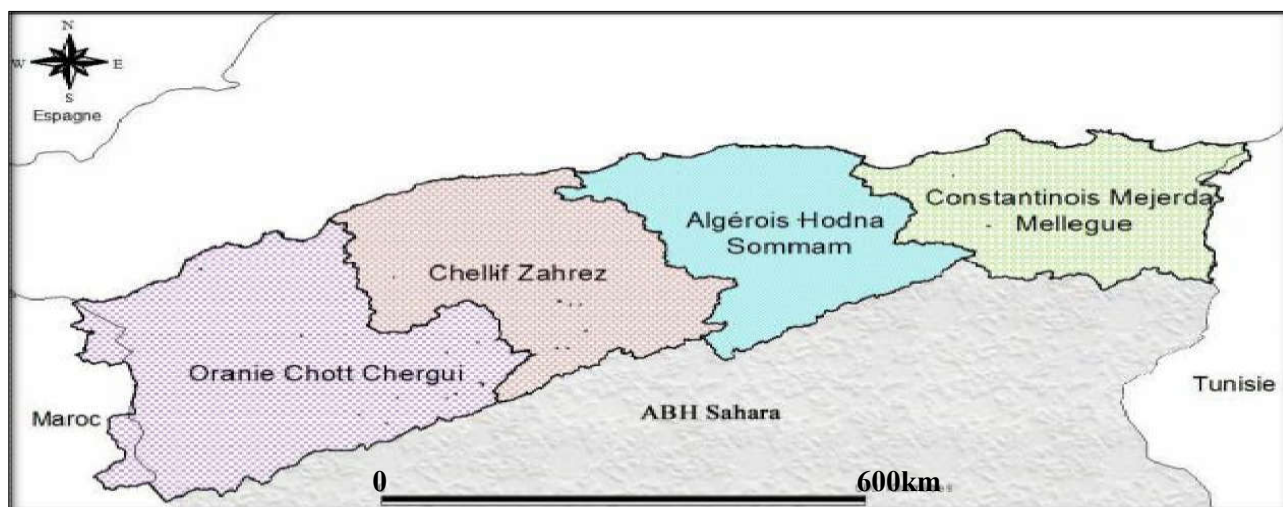


Figure II.1 Les agences de bassin hydrographiques en Algérie

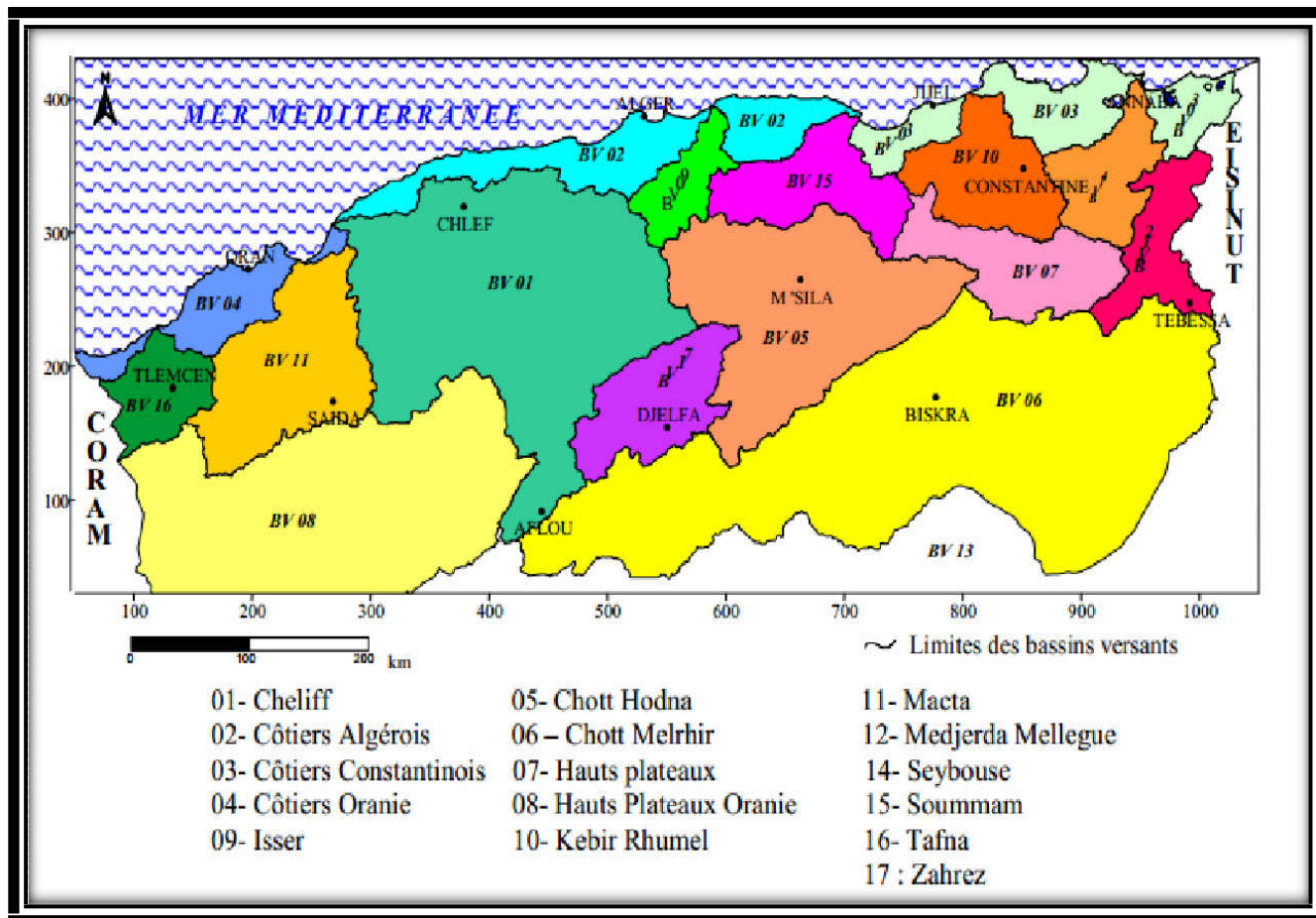


Figure II.2 Carte des bassins versants de l'Algérie (Source : ABH-CZ)

Avec une superficie de 56 227 km² environ (soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord) le bassin du Chélif-Zahrez débord largement les limites géographiques du Chélif, en longitude entre 0°12" Est et 3°87" Est et en latitude entre 33°91" Nord et 36°58" Nord.

Cette région hydrographique est limitée naturellement au nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la région Oranie – Chott Chergui, à l'Est par la région Algéroise – Hoddna – Soummam et au sud par le Sahara.

Tableau II.1 Découpage par sous région du Bassin Chélif-Zahrez

Sous région	Bassin hydrographique	Wilayas
Sous-région 1	Haut Chélif	Ain Defla, Médéa, Tissemsilt et Tipaza
Sous-région 2	Moyen Chélif	Chlef
Sous-région 3	Mina, Bas Chélif	Relizane, Tiaret, Mostaganem, Saida et Mascara
Sous-région 4	Haut plateaux	Djelfa, Laghouat et M'sila

Source : Atlas de bassin hydrographique Chélif-Zahrez

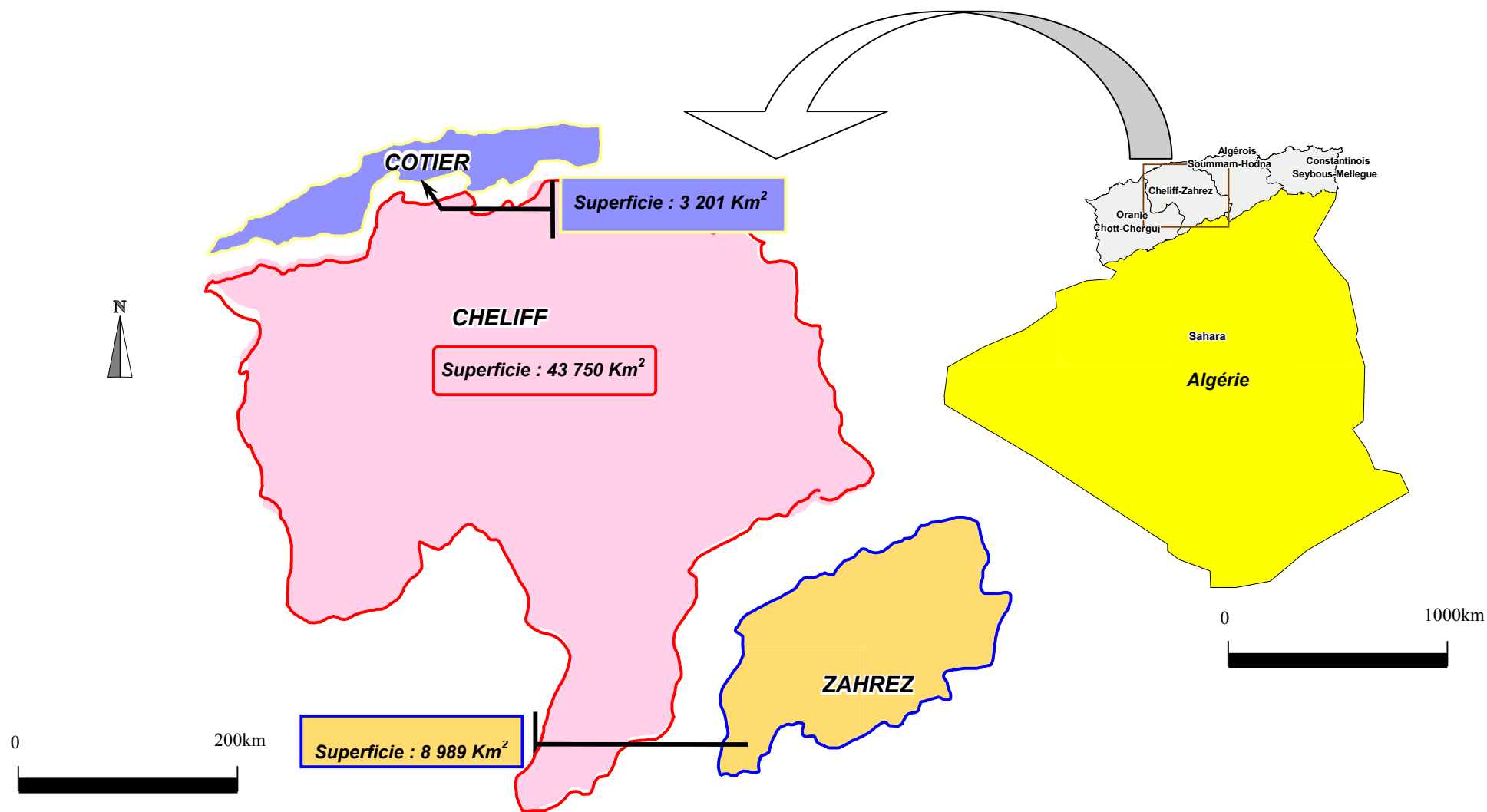


Figure II.3 Carte de situation de la région hydrographique Chélif – Zahrez (Source : ABH-CZ)

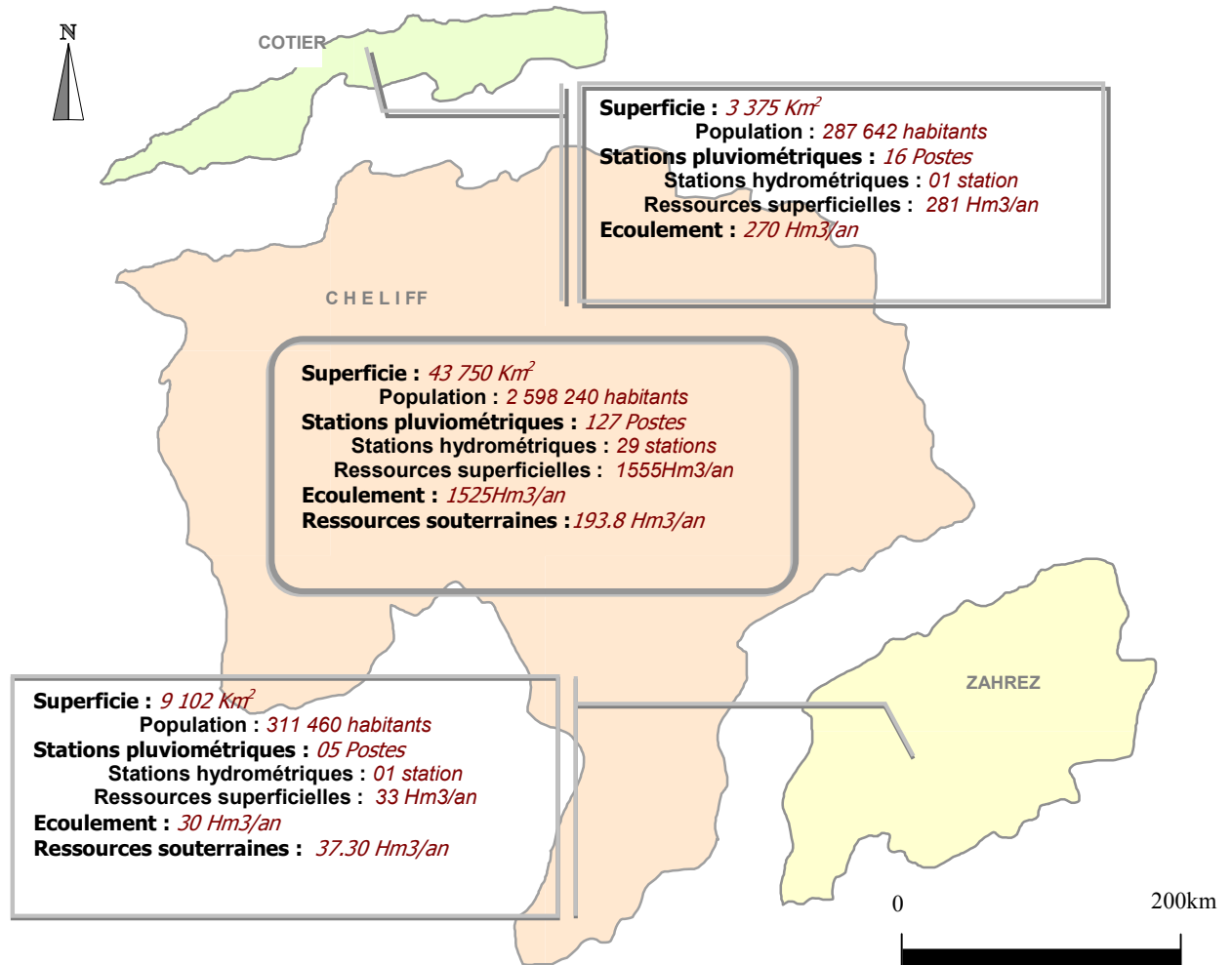


Figure II.4 Carte représentative pour Bassin Côtier Dahra ,Chélif, Zahrez

(Source: Atlas de bassin hydrographique Chélif-Zahrez)

II.2 Situation géographique du bassin Chélif

Le bassin du Chélif est du point de vue superficie, le plus vaste bassin hydrographique en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Chélif-Zahrez avec une superficie de 43750 km², il s'étend entre les longitudes 0° 7' et 3° 31' Est et les latitudes 33° 53' et 36° 26' Nord et limité au nord par les monts du Dahra et au sud par l'Atlas saharien. Il comprend, du nord au sud la vallée du Chélif, le massif de l'Ouarensenis, les hauts plateaux allant de Saïda à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Oussera.

Il est compartimenté naturellement en trois grands sous bassins versants Figure II.5:

- Le bassin du Chélif-amont du barrage de Boughzoul,
- Le bassin du Haut et du Moyen Chélif,
- Le bassin du Bas Chélif et de la Mina.

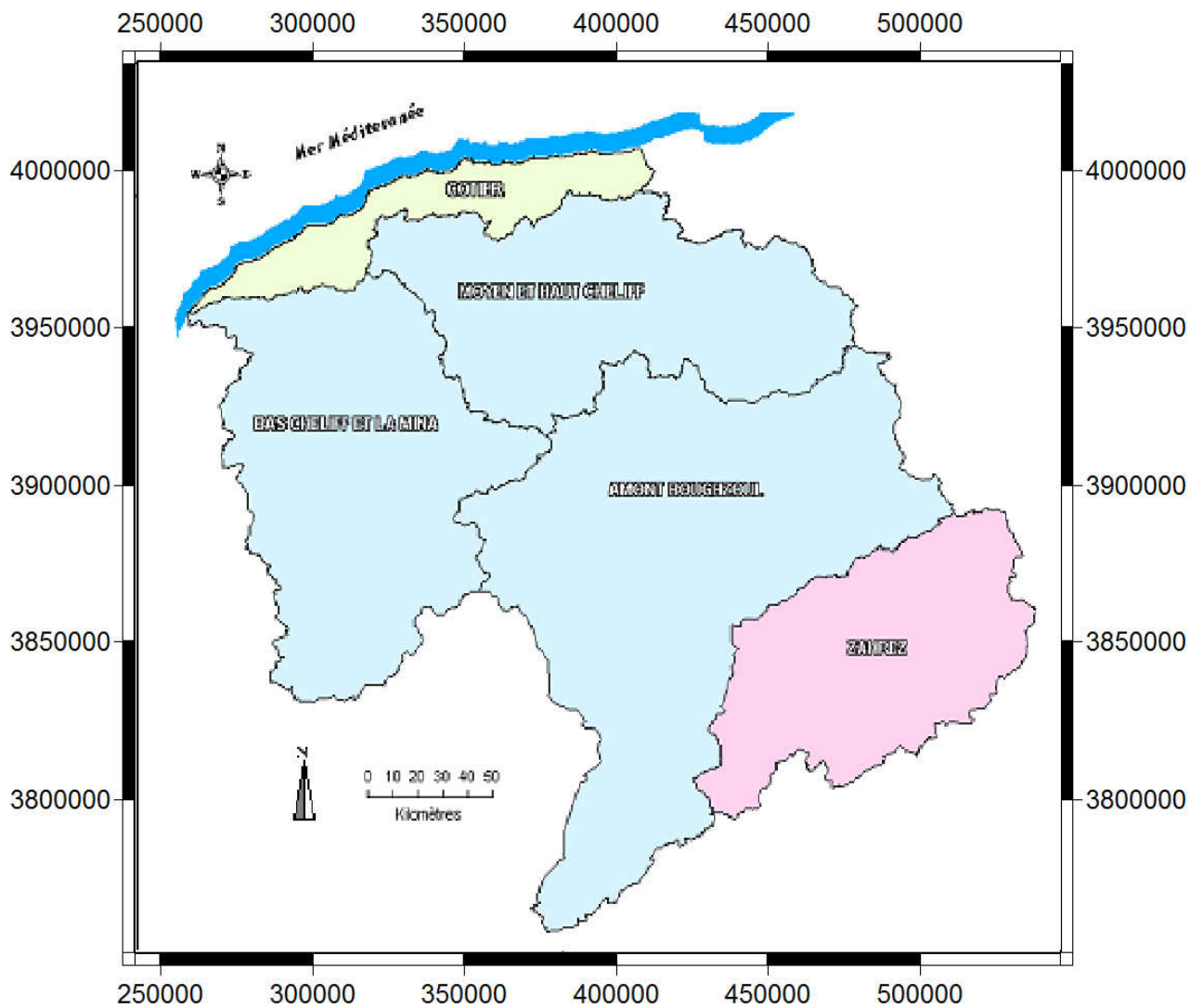


Figure II.5 Carte des sous régions du bassin hydrographique Chélif-Zahrez
(Mehaiguene,2005 modifiée par Boudjefna)

II.3 Situation administrative du bassin Chélif

Sur le plan du découpage administratif, la région hydrographique englobe trois Wilayas entières (Chlef, Tissemsilt et Relizane) et neuf Wilayas en partie (Ain Defla ,Medea, Djelfa, Laghouat ,Tiaret,Saida , Mascara et Mostaganem,). Voir Figure II.6.

Ces onze Wilayas forment le bassin hydrographique Chélif contient 2 598 240 habitants.

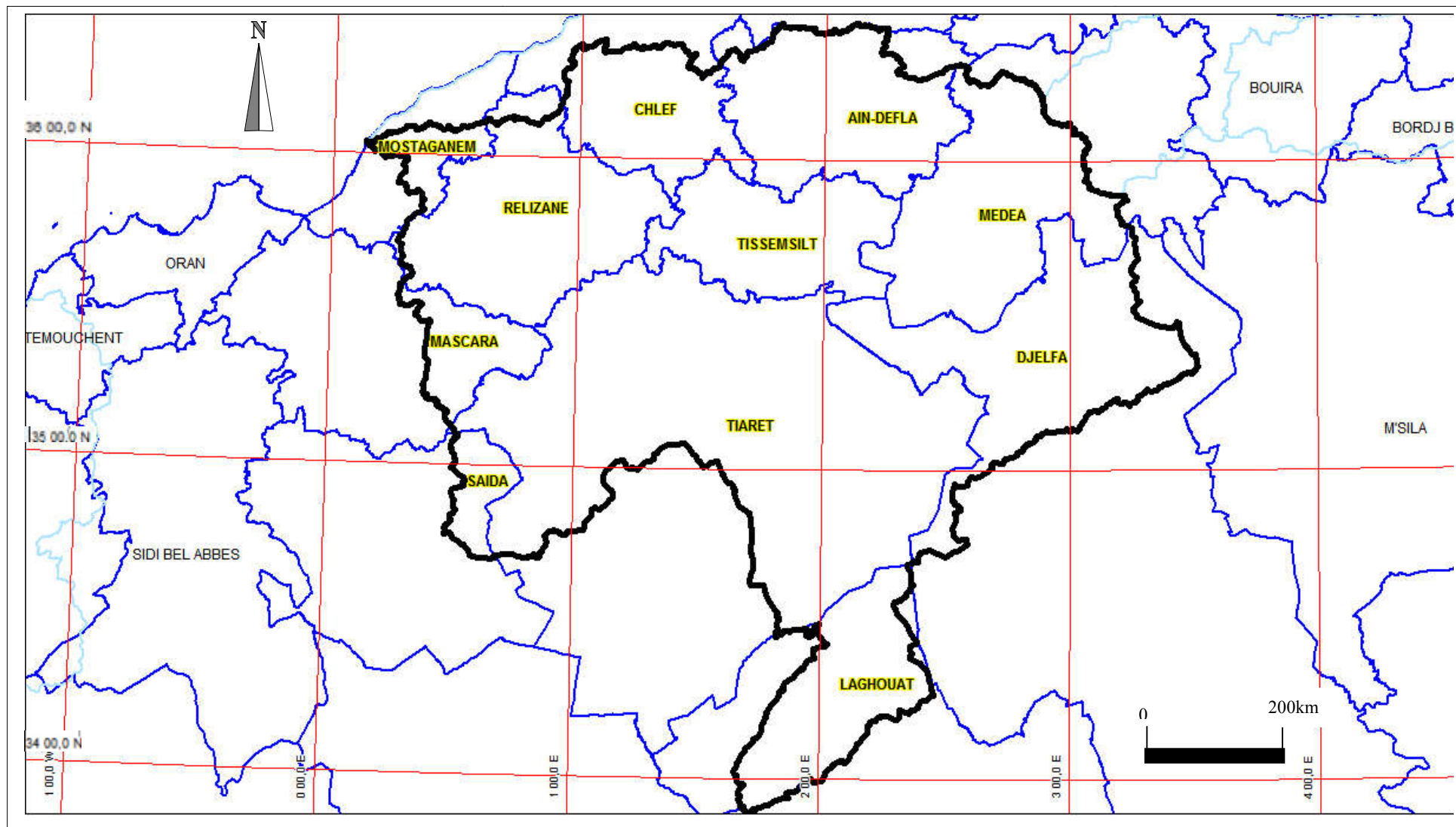


Figure II.6 Découpage administratif du bassin versant de Chélif (Source: ANRH Blida)

Situation climatique du bassin Chélif

Le climat du Chélif se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride (Gomer, 1994).

II.4.1 La pluviométrie

La région hydrographique Chélif est équipée d'un réseau pluviométrique de 127 postes pluviométriques et 29 stations hydrométriques. géré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, ainsi réparti dans les bassins de la région d'étude (Voir Tableau II.2)

Tableau II.2 Inventaire du réseau pluviométrique

Bassin	Superficie (km ²)	Nbre de poste pluviométrique		Densité du réseau en (1000 km ²)	
		total	Opérationnel	total	Opérationnel
Côtier - Dahra	3 202	14	9	4,37	2,81
Haut et Moyen Chélif	13 940	67	61	4.82	4.32
Bas Chélif et la Min	10 140	40	31	3.94	3.05
Chélif à l'amont Boughzoul	19 990	28	26	1,45	1,2
Zahrez	8 990	9	3	0,88	0,33

(Source: ABH-CZ,2004)

La Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne (période 1968-2001) , établie à partir des séries chronologiques de longue durée couvrant la période 1968/1969-2001/2002 fait bien ressortir les traits essentiels de la répartition des précipitations dans la région d'étude:

- Dans le bassin du Haut et Moyen Chélif; une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations 011803 Sidi Medja et 011806 El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut et Moyen Chélif où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm.
- Pour le bassin versant du Bas Chélif et de la Mina, il illustre clairement l'augmentation de la concentration des précipitations proportionnellement à l'altitude de 200 mm à 500 mm; les versants Nord-ouest des monts de Tiaret ouverts au vent de la mer sont les plus arrosés, avec une moyenne interannuelle de plus de 400 mm (Sidi Bakht (013103) et Tiaret ANRH (012917)). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Bas Chélif où elles varient entre 200 et 350 mm.

- La région bassin Amont Boughzoul est cernée en gros par la tranche d'eau moyenne précipitée 300-350mm dont le tracé suit étroitement la limite des versants Sud-tellien, sauf au Nord, au niveau de limite de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude, où la limite remonte jusqu'à 500 mm. Et plus au Sud par l'isohyète 150mm.

La figure (II.7) représente la carte pluviométrique et les tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif - Zahrez (période 1968-2001)

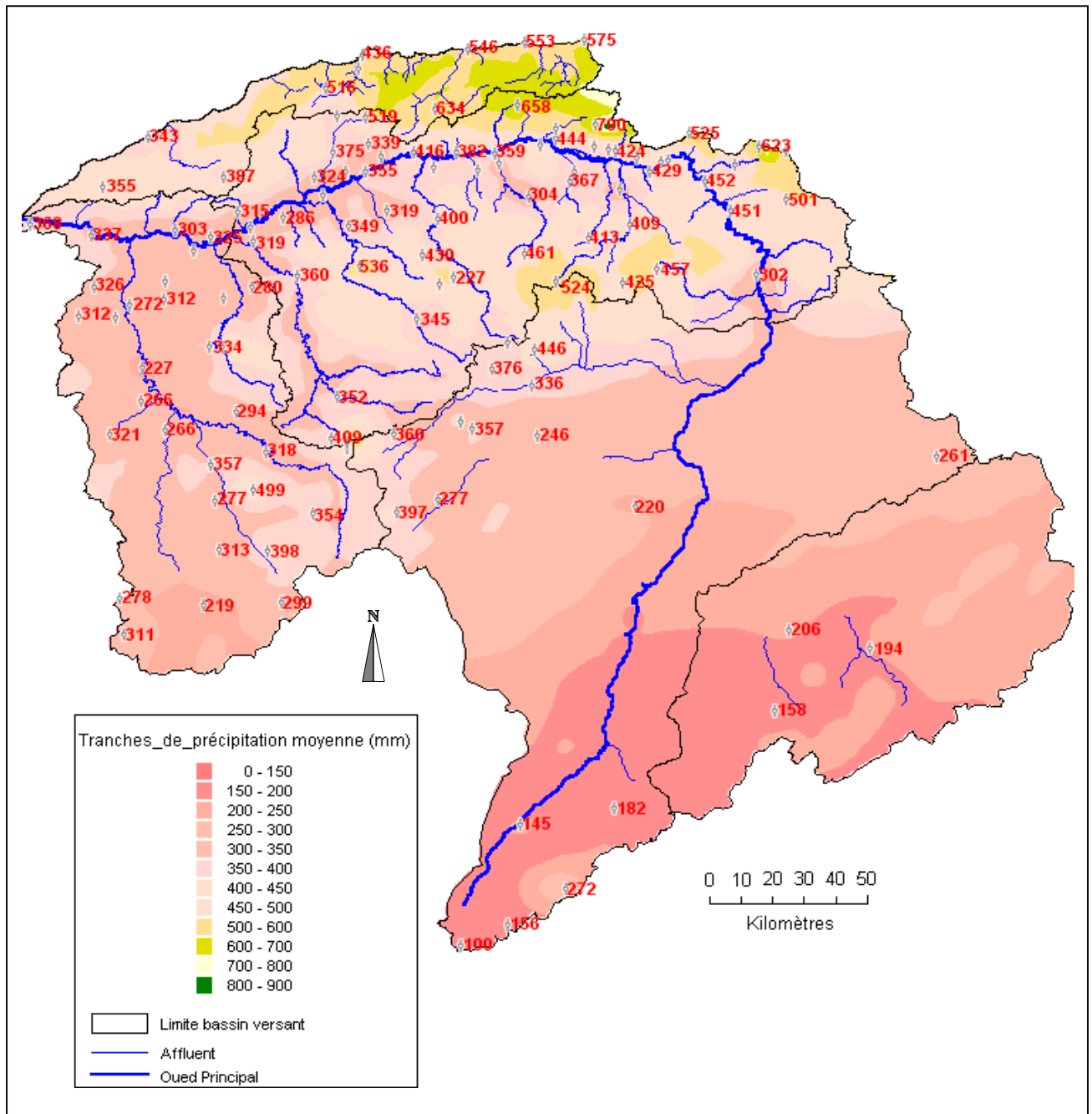


Figure II.7 Carte pluviométrique et tranches de précipitation moyenne de la région hydrographique Chélif - Zahrez (Mehaiguene , 2005)

II.4.2 La température

Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et par l'office national de météorologie. Ces données relevées à partir des cartes de températures moyennes mensuelles éditées récemment par l'ANRH.

- Les températures moyennes annuelles les plus élevées sont enregistrées dans les plaines du Haut - Moyen Chélif et Bas Chélif, elles varient entre 18,4°C et 18,7°C (station Ain Defla, Chlef, Bekhada et Relizane).
- Les plus basses sont enregistrées dans les altitudes; elles varient entre 13,5°C et 13,7°C (station de Aflou et Ouzera), avec une diminution progressive du bassin Aval Boughzoul au bassin Amont Boughzoul.
- Les valeurs extrêmes (19,6°C et 13,2°C) sont enregistrées respectivement à la station de (Sidi M. Benaouda et Theniet El Had).

Tableau II.3 Températures moyennes mensuelles et annuelles (C°) pour l'année 2002

Bassin	Station	Jan	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Chélif à l'aval Boughzoul	Chlef	9,6	10,9	13,4	16,4	20,8	25,6	29,6	29,8	25	19,4	14	10,1	18,7
	El Abadia	9,1	10,3	12,6	15,3	19	24	28,5	28,9	25	19,1	14	9,7	17,9
	Chlef ONM	9,4	10,7	12,9	15,4	20,1	24	28,9	29,4	25	19,8	14	10,1	18,3
	Ain Defla	8,9	9,8	12,6	16	20,5	26	30,6	30,3	26	20,4	14	9,9	18,7
	Miliana	8,9	10,3	11,8	13,8	18	22,7	26,7	27,3	23	18,3	13	9,9	17
	Ghrib Barrage	8,2	9,3	12,3	13,3	17,6	22,3	26,1	27	22	17,5	13	8,8	16,4
	Medea Secteur	6,8	6,7	9,8	12,3	15,4	20,4	24,6	24,4	21	15,4	11	6,4	14,5
	Merdja	11,5	13,3	15,7	16,2	21	23,6	26,3	27,8	25	20,2	17	13	19
	Sidi Slimane	7,3	8,1	9,9	12,6	17,2	21	26,5	27,1	22	16,8	11	7,7	15,6
	Theniet El Had	4,7	5,8	8,5	11,3	15,2	20,3	23,8	24,1	20	14,8	8,9	6	13,2
	Ammi Moussa	9,1	10,8	12,9	15,6	19,4	24,4	28,2	28,5	25	19	14	9,6	17,9
	Ksar El Boukhari	5,7	7,1	9,9	13,1	17	21,5	26,3	25,3	22	16	10	6,2	15
	Zoubiria Mongorno	5,1	6,4	9,1	12	15,9	20,4	24,7	24,7	21	15,6	9,9	6	14,2
	Ouzera	4,6	6,2	8,4	10,9	15,7	20	25,6	25,3	20	14,6	8,5	5,7	13,7
	Relizane	9,9	11,3	13,4	16,3	20	23,6	27,9	28,7	25	19,6	15	10,8	18,4
	Sidi M. Benaouda	11	12,1	15,9	17,2	22,1	24,5	29	29,5	25	20,3	16	13,1	19,6
	Ain Kermes	6,5	7,6	9,8	11,9	16,9	22	26,4	25,4	21	16,3	11	7,7	15,2
	Bekhada	9,7	10,7	14,1	14,2	19,5	23,7	28,6	28,2	24	18,4	15	10,3	18
Guertoufa	6,1	6,9	9,1	12,1	16,1	21	25,9	26	22	15,9	10	6,6	14,8	
Chélif à l'amont Boughzoul	Tissemsilt	5,8	5,4	8,7	11	16,5	20,5	25,4	25,3	21	15,1	9,9	6	14,2
	Dahmounia	6,4	8,1	10,3	12	16,5	21	26,5	25,3	22	17,3	12	8,1	15,5
	Ksar Chellala	6,8	8,3	10,9	14	18,4	23	27,1	27,4	23	16,6	11	7,4	16,2
	Aflou	4,3	3,5	8,3	11	16,7	20,4	24	24	19	13,9	8,5	4,8	13,5

Selon les données des stations en question, il s'avère que, contrairement aux précipitations, les saisons thermiques sont bien tranchées : la saison chaude de Mai à Octobre, mois durant lesquels les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide s'étale de Novembre à Avril. Le maximum des températures est atteint en Août ou Juillet autour de 26°C à 28°C et le minimum se situe en janvier ou Février de 3°C à plus de 10°C.

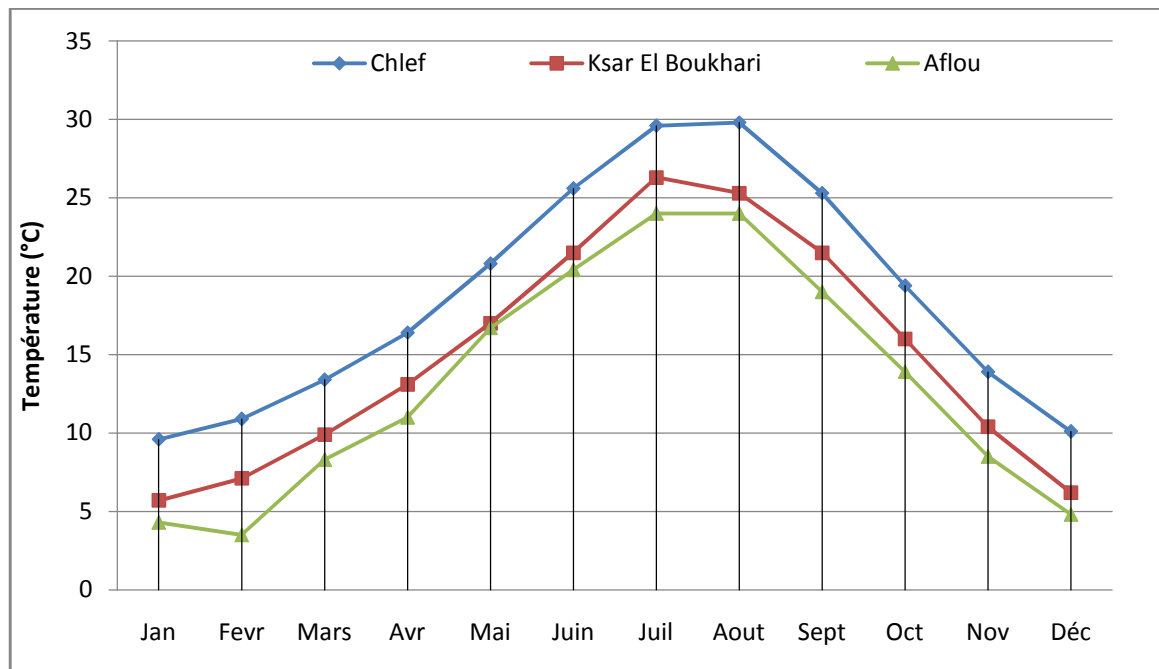


Figure II.8 Variations de la température moyenne mensuelle du Aval à Amont Boughzoul aux stations: Chlef , Kasr El Boukhari,Aflou

II.4.3 Evapotranspiration

Les données des évapotranspirations sont relevées à partir des cartes des évapotranspirations mensuelles et annuelles éditées par les services de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

L'évaluation de l'évapotranspiration potentielle suit la marche des saisons avec un minimum moyen de l'ordre de 25mm (Haut et moyen Chélif), 37mm (Bas Chélif et la Mina),et 31mm (Chélif à l'amont de barrage de Boughzoul) pendant le mois janvier. Le mois juillet connaît une valeur maximale de l'ordre de 232mm à la station de Ksar Chellala (Bassin Chélif).

Le total potentiel évaporatoire annuel serait de 1200 à 1600 mm, soit plus du double du total pluviométrique, avec un maximum de 1626 mm à la station de Sidi M'hamed Ben Aouda, et un minimum de 1258 mm enregistré à la station de Theniet El Had. En saison froide, l'évapotranspiration décroît progressivement jusqu'au moment où elle atteint des valeurs inférieures à celles des précipitations.

Les données d'évapotranspiration inscrites ci-dessus sont relevées de la carte éditée par les services de l'ANRH (2002).

II.5 Topographie

S'étendant entre les massifs Côtiers Dahra du Nord et les hautes plaines des Chotts Chergui et Gharbi du Zahrez, le bassin du Chélif présente un relief compartimenté.

On distingue quatre régions naturelles diversifiées : les chaînes montagneuses du Dahra-Zaccar (chef-lieu de la wilaya de Chlef) (de 700 à 1 580 m d'altitude) au Nord et l'Ouarsenis au Sud (près de 2 000 m d'altitude), la vallée du Chélif au centre et une région côtière. (Benhattab et *al*, 2014)

- L'altitude moyenne des bassins de la région d'étude varie dans le bassin Chélif entre 640 m (Aval Boughzoul) et 980 m dans les hautes plateaux (Amont Boughzoul).
- L'altitude moyenne varie entre moins de 300 m (sous bassins Chélif Ouarizane et Mina aval) à plus de 900 m (sous bassins Oued Deurdeur et Oued Abd amont). Elle est élevée dans les sous bassins des hautes plaines (Amont Boughzoul). Elle varie entre 790 m (sous bassin Diaa Boughzoul) à 1410m (sous bassin Oued Sebgag Berkana).
- Il s'avère que les secteurs, d'altitude supérieure à 1200 m, sont peu étendus dans les bassins Aval et Amont Boughzoul; Elles correspondent à des massifs montagneux importants, seuls les sommets des monts de l'Ouarsenis, des monts de Tiaret et des djebels Ammour dépassant les 1600m d'altitude.
- Les zones d'altitude comprise entre 400 et 1000 m, couvrent 13 899 km² dans le bassin Aval Boughzoul, soit environ 58% de la superficie total de ce bassin. Les zones d'altitude comprise entre 700 et 1200 m, couvrent 15 736 km² dans le bassin Amont Boughzoul, soit environ 79% de la superficie totale du bassin.
- Les zones dans les bassins à l'amont du barrage Boughzoul correspondent en majorité aux bassins des hautes plaines. L'altitude de ces dernières ne descend, que très rarement, en dessous de 700 m.

- Enfin, les secteurs, d'altitude inférieure à 400 m dans le bassin Aval Boughzoul, représentant un peu plus du quart (29,45%) de la superficie totale du bassin. Elles concernent essentiellement la moitié septentrionale du bassin. Il correspond exclusivement aux vallées drainées par le Moyen et le Bas Chélif (le principal affluent : l'Oued Mina). (Mehaiguen, 2005)

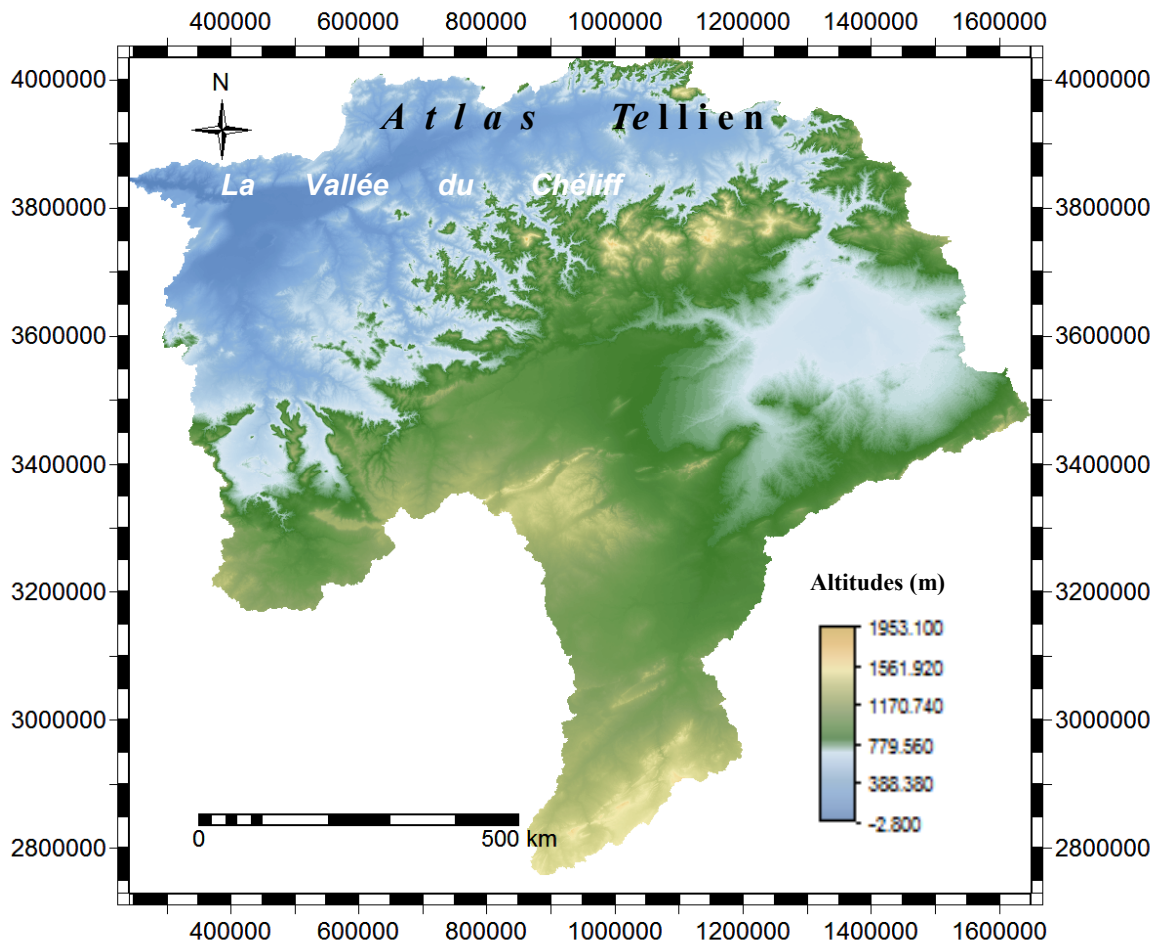


Figure II.9 Carte topographique du bassin Chélif

I.6 Réseau hydrographique

Le bassin Chélif résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km² et 3 651 km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Chélif (figure II.10).

- L'oued Touil prend sa source dans l'Atlas saharien, près d'Aflou dans les monts de Djebel Ammour. Il traverse les hautes plaines de quatre wilaya successivement : Laghouat, Djelfa, Tiaret et Medea au barrage Boughzoul, avec une orientation SW-NE jusqu'à

Chahbounia à Médéa pour confluer avec l'oued Nahr Ouassel qui coule en oblique vers le Nord-Est et traverse successivement (03) wilayas :Tiaret, Tissemsilt et Médéa.

- L'Oued Chélif résultant de jonction des deux grands cours d'eau précédents, prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit la chaîne de Médea (Boughari). Ensuite, suivant une orientation SE-NW il traverse le massif de Gantass, et enfin il coule en oblique de l'Est à l'Ouest, traversant ainsi successivement (04) wilayas : Ain Defla, Chlef, Relizane et Mostaganem, jusqu'à son embouchure dans une large vallée vers la mer méditerranée.

Sur la majeure partie de son cours d'eau, il serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au sud par le massif des Ouarsenis et au nord par la chaîne côtière des monts du Dahra et du Zaccar. De Boughzoul à l'embouchure du Chélif, la distance en ligne droite est d'environ 250 km et la dénivellation à peu près 625 m. Durant tout ce parcours, l'Oued Chélif ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda et l'Oued Ras Ouahrane, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, Rouina Zeddine, Fodda, Sly, Rhiou, Djediouia et l'affluent important plus au Ouest : Oued Mina qui suit une direction Sud-Nord.

- Les cours d'eau du massif Côtier du Dahra, qui s'étend sur une centaine de kilomètres d'Est en Ouest et sur une trentaine de kilomètres de large, sont orientés Sud-Nord vers la méditerranée et sont très courts et présentent une forte pente (Oued Damous, Allala, Tarzoult et Kramis).

De cet ensemble, il est possible de délimiter trois grandes parties du bassin :

1- Le bassin Chélif à l'amont du barrage Boughzoul : correspondant à l'Oued Touil et Nahr Ouassel ainsi que le bassin du Zahrez.

2- Le bassin Chélif à l'aval du barrage Boughzoul : formé par l'Oued Chélif et ses affluents jusqu'à son embouchure.

3- Le bassin Côtier-Dahra : correspondant de l'Ouest à l'Est aux Oueds de Kramis, Allala et Damous. (Mehaiguene, 2005)

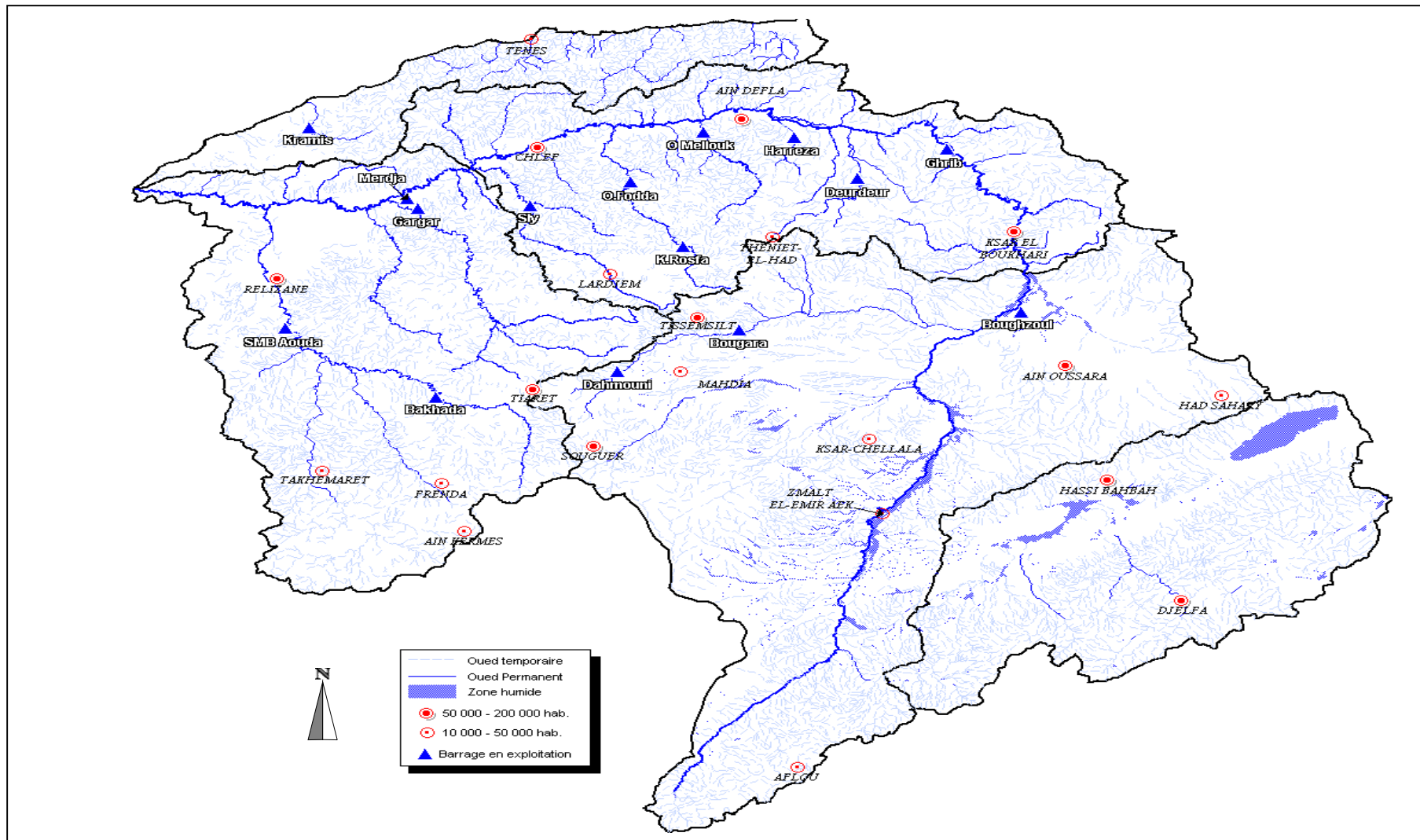


Figure II.10 Réseau Hydrographique du bassin Chélif-Zahrez (Mehaiguene , 2005)

II.7 Géologie

La taille importante du bassin versant (43750 km²) représente une complexité géologique, notamment dans sa partie Nord, rendent une telle étude forte délicate.

Les formations géologiques du bassin Chélif à l'amont du barrage de Boughzoul sont :

- Des alluvions quaternaires (sables, graviers et argiles) les calcaires massifs turoniens et les grès albiens.
- Des calcaires et les dolomies jurassiques du Djebel Nador de perméabilité moyenne.
- Des formations calcaires turoniens, les grès albiens et les dolomies et grès barrémiens
- De dépôts calcaires quaternaires et des alluvions sableuses récentes dans la plaine de Ain Ouessara.
- Des calcaires parfois dolomitiques où les circulations sont favorisées par la fissuration ou l'érosion karstique, tels que les calcaires liasiques du Zaccar éminemment perméables (près du tiers des précipitations s'y infiltrent), de Rouina et Temoulga.
- Les calcaires à lithothamniées du miocène supérieur
- Des grès plus en moins dans le plateau du Sersou et le plateau de Mostaganem
- Des dépôts détritiques à perméabilité variable tels les grès et poudingues du miocène, les sables, les galets, les graviers et les poudingues du pliocène et du quaternaire.
- Des alluvions récentes du quaternaire souvent argilo – limoneuses et peu favorables à l'infiltration.
- Les alluvions grossières acheminées de certains secteurs du haut, moyen et bas Chélif. (ABH-CZ, 2004)

II.8 Hydrogéologie

La région se compose de sillon du Chélif encadré par les deux chaînes telliennes (Monts du Dahra au Nord et le Massif de l'Ouaresnis au Sud).

Le sillon de Chélif est compartimenté en trois cuvettes (Haut, Moyen et Bas Chélif séparées par deux seuils le seuil de Ain Defla et le seuil de Oum Drou.

De nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines, les plus anciennes sont attribuées au jurassique et les récentes correspondent aux alluvions Quaternaire, la lithologie permet de regrouper les formations géologiques de la manière suivantes :

- Des calcaires parfois dolomités où les circulations favorisées par la fissuration ou l'érosion Karstique tel que les calcaires liasiques du zaccar éminemment perméables (près de tiers des précipitations s'y infiltrent), de Rouina et Temoulga.
- Les calcaires à Lithothaminés du Miocène supérieur.
- Des grès plus ou moins consolidés du Barrémiens et de l'Albiens dans la plaine de Ain Oussera, le plateau du Sersou et de Slim et du Calabriens sur le Plateau de Mostaganem.
- Des dépôts détritiques à perméabilités variables tels les grès et poudingues du Miocène, les sables, les galets, les graviers et les poudingues du Pliocène et du Quaternaires.
- Des alluvions récentes du Quaternaire souvent argilo-limoneuses et peu favorables à l'infiltration.
- Les alluvions grossières acheminées de certains secteurs du Haut, Moyen et Bas Chélif.
- Des formations imperméables ou très peu perméable représentant la majorité des dépôts de la région (séries crétacées et tertiaires du Dahra, de l'Ouarsenis) (ABH-CZ, 2004)

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté de façon générale et distincte notre cadre d'étude, Nous avons défini les données disponibles du point de vue topographie, géologie, climatologie.... ainsi que la situation hydrographique.

Ces données nous serviront pour entamer la régionalisation qui est basée en premier lieu sur l'analyse des paramètres morpho-métriques du bassin versant et par la suite la détermination des régions homogènes.

Chapitre III

Application de l'analyse

morpho-métrique

CHAPITRE III : APPLICATION DE L'ANALYSE MORPHOMETRIQUE

Introduction

La gestion d'un bassin versant exige une bonne compréhension hydrologique, géologique, géomorphologique, écologique et climatique pour déterminer les facteurs qui agissent sur la naissance des risques naturels (le couvert végétal, la pente, l'occupation du sol et le réseau hydrographique). Ces indices sont nécessaires pour identifier les bassins versants similaires, la détermination de ces indices est basée essentiellement sur l'utilisation des techniques des (SIG) et les (MNT), pour une meilleure évaluation de la zone d'étude en termes de pente, système de drainage, topographie, géomorphologie et la lithologie à partir des cartes géologiques. Ces données ont été utilisées dans l'analyse des paramètres morphométriques du bassin versant et les sous bassins ce qui a permis une classification des bassins versants dans le but d'une régionalisation des bassins versant homogènes et une gestion durables des ressources naturelles....

III.1 Méthodologie, Données et Matériels utilisés

Pour appliquer l'analyse des paramètres morpho-métrique nous avons utilisé un MNT, l'intérêt d'un MNT est de limiter le bassin d'étude et l'extraction automatique des paramètres caractérisant le relief. En effet, l'utilisation de logiciel ILWIS (Integrated Land and Water Information System) est très nécessaire pour développer cette démarche.

Sur la base des travaux de (Mishra et al, 2011) (Ifabiyi et al , 2012) (Chaitanya et al ,2015) nous avons suivi la même approche et le même plan d'action afin d'appliquer une régionalisation des SBV du grand bassin Chélif .

III.1.1 Sélection des données

Les données utilisées dans cette étude c'est un modèle SRTM (MNT) de résolution de 30*30 m, il est stocké sous extension de fichier **.dem** , les données ont été importées dans (ILWIS), déjà géo-référencé avec le système de projection suivant :

Projection: UTM

Zone: 31 (0°E-6°E-Northern Hemisphere)

Datum : WGS84

Le bassin de Chélif est situé entre les coordonnées 3750000m et 4050000 m longitude et 250000m et 550000m en latitude.

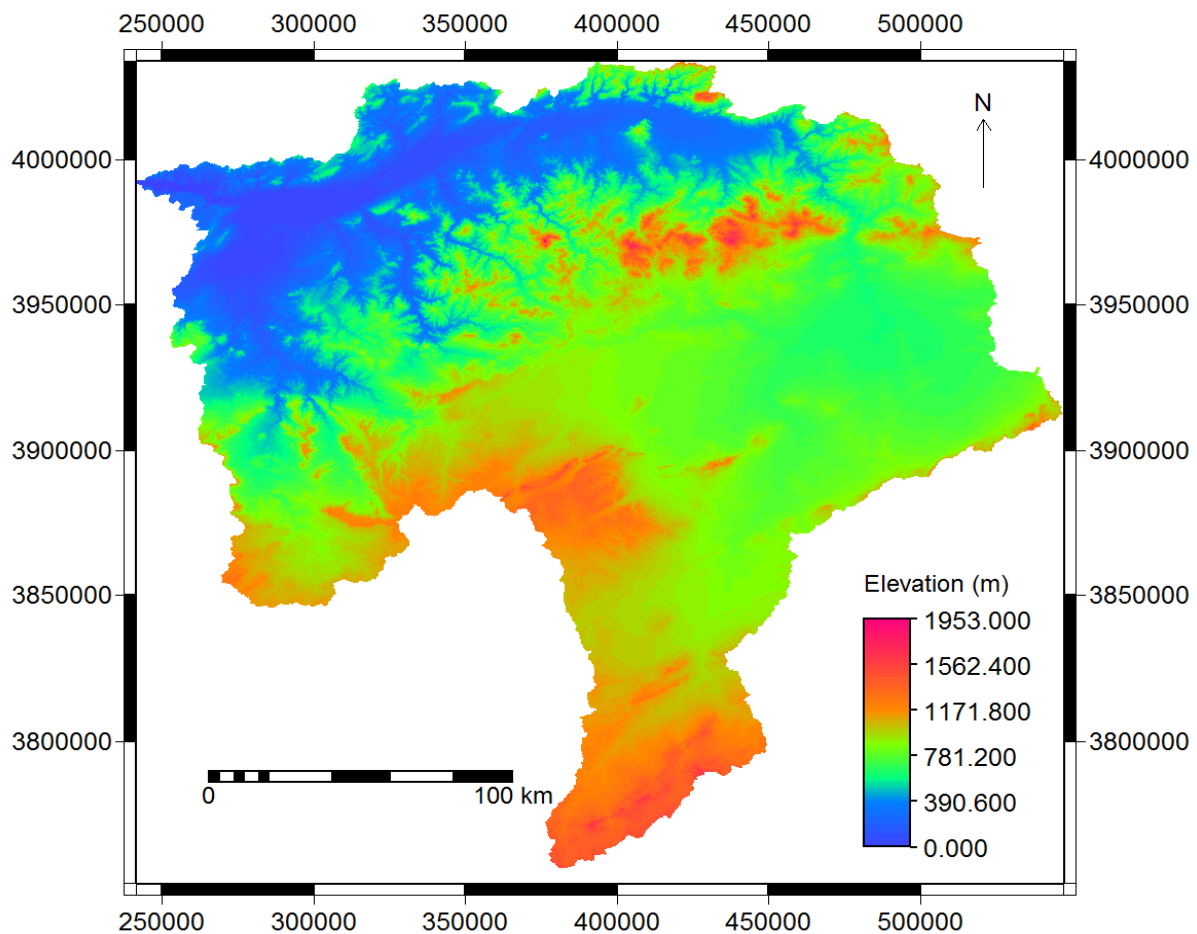


Figure III.1 Carte du MNT de BV Chélif

III.1.2 Matériels utilisés (Logiciel)

III.1.2.1 Présentation de logiciel ILWIS

ILWIS pour Windows est une application Windows intégrée de SIG et de télédétection comprenant:

- Affichage de raster et de plusieurs cartes vectorielles dans des fenêtres de carte
- Affichage des tables dans les fenêtres de la table
- Récupération interactive des informations d'attribut
- Installations de traitement d'images
- Manipulation de cartes dans un calculateur de carte

- Manipulation de tables dans un calculateur de table
- Outils d'analyse SIG
- Langage de script pour effectuer des tâches (Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic, 2007)

III.1.2.2 Fonctionnalité de logiciel ILWIS

Comme la plupart des SIG logiciel ILWIS offre la possibilité de travailler sur des données vectorielles, raster, images satellitaires :

- Pour les vecteurs : la numérisation avec la souris et / ou le numériseur, l'interpolation à partir d'iso-lignes ou de points, le calcul de la densité de segments ou de points, l'analyse de modèles.
- pour raster : calcul de distance, création d'un (MNT), calcul de pente / aspect, dérivation de mappages d'attributs, classification de cartes, manipulation de cartes, logique booléenne, cartes croisées, etc.
- Pour l'imagerie satellitaire: création d'histogrammes, composites de couleurs, échantillonnage et classification, filtrage, statistiques multi-bandes.
 - ILWIS fournit des routines d'importation et d'exportation, l'édition de cartes de points, de segments, de polygones et de rasters, le changement de systèmes de projection / coordonnées de cartes, et des possibilités de sortie avec annotation.
 - Avec Windows, la possibilité de démarrer une opération et la maintenir en cours pendant que le démarrage d'une ou plusieurs applications supplémentaires. C'est une sorte de multitâche,
 - la possibilité de travailler avec les programmes d'application Windows et DOS, vous pouvez effectuer un ou plusieurs calculs ILWIS en arrière-plan et en même temps afficher des cartes, exécuter d'autres opérations ILWIS, imprimer, etc. (Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic, 2007)

ILWIS est donc une alternative aux logiciels propriétaires commerciaux de GIS (ArcGIS, MapInfo, etc.) et de traitements d'images numériques (PCI Geomatica, ER Mapper, ENVI, etc.), ILWIS est sous licence libre depuis juillet 2007.

III.1.3 Méthodologie

La méthodologie adoptée dans ce travail repose sur l'utilisation des cartes thématiques réalisé à l'aide de logiciel ILWIS qui offre la possibilité de croiser les différentes caractéristiques, physiques et hydrographiques du bassin versant.

Cette méthodologie comprenant deux étapes:

- l'élaboration d'une carte qui englobe l'ensemble des sous bassins versant du Bassin Chélif;
- l'extraction du MNT pour chaque sous bassin versant,

L'approche méthodologique est représenté dans l'organigramme suivant :

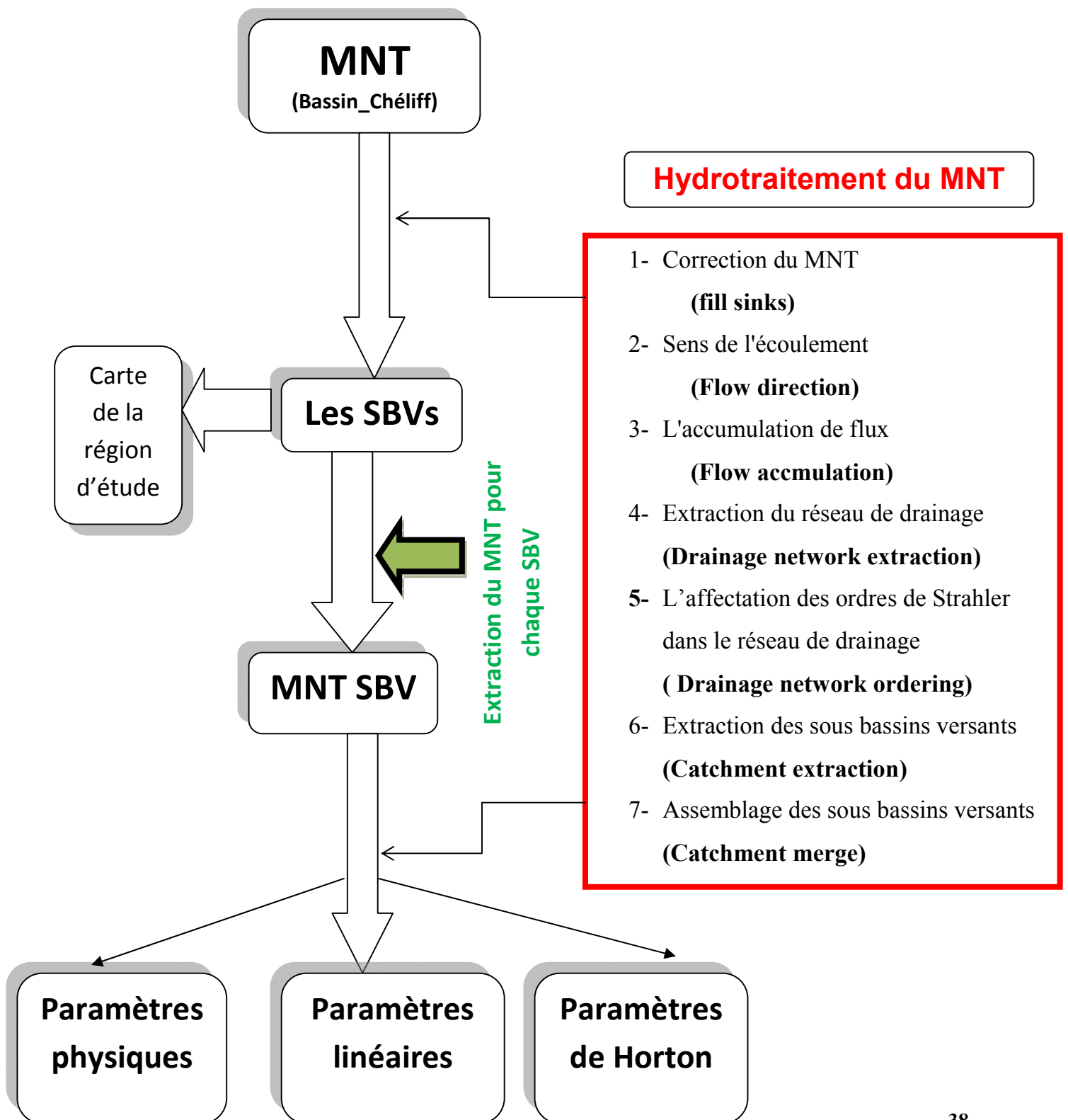


Figure III.2 Organigramme explicatif de la méthodologie de travail

III.2 Application et résultats

III.2.1 Importation de fichier MNT

Il faut tout d'abord sélectionner les données à importer (MNT_Chélif) géo-référencé selon les informations citées par avant dans logiciel ILWIS .

III.2.2 Hydrotraitement du MNT (MNT Hydro-processing)

Le traitement du fichier MNT est fait par un ensemble de tâches structurées comme suit :

A) Visualisation MNT (MNT visualization)

La visualisation MNT crée un composite couleur pour un MNT. Tout d'abord, trois cartes d'ombre sont créées par le script, en utilisant trois filtres d'ombre différents.(Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

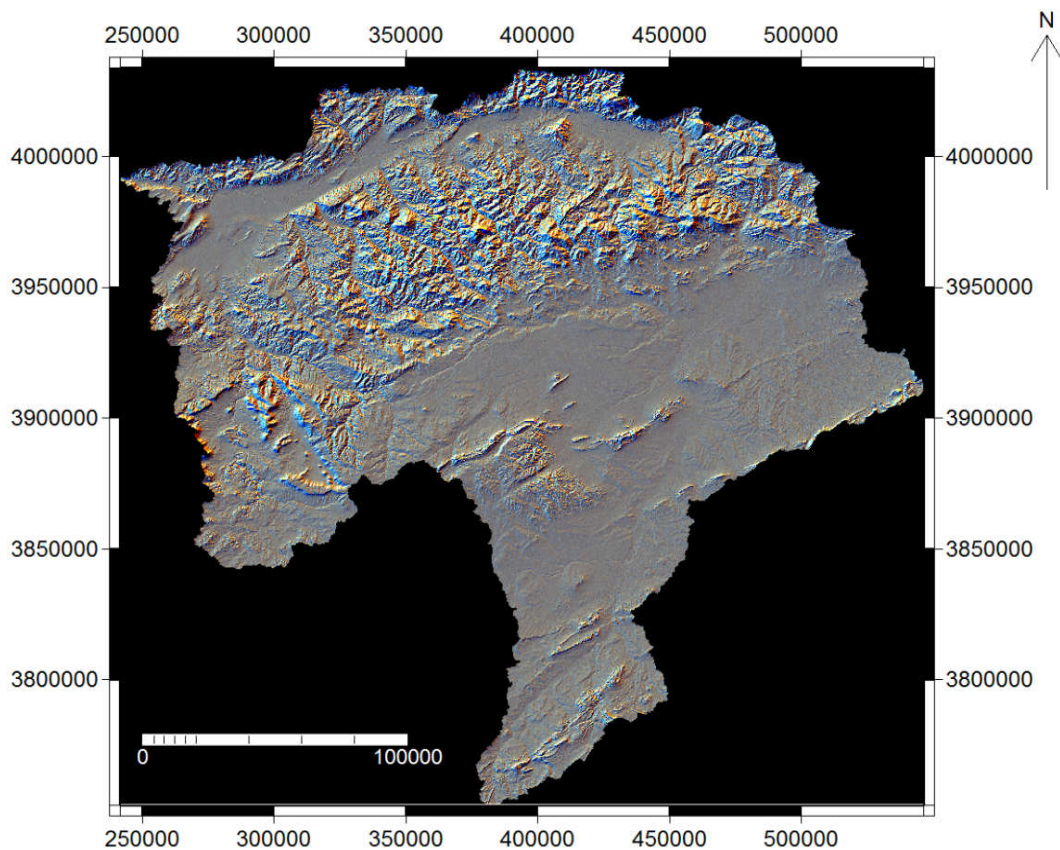


Figure III.3 Visualisation du MNT de BV Chélif

B) Détermination du débit (Flow Determination)

B.1) Correction du MNT (Fill Sinks)

L'opération correction MNT supprime les dépressions locales (de pixels uniques et de plusieurs pixels) d'un MNT en remplaçant ces dépressions locales par des zones plates dans le MNT en sortie.

- La carte d'entrée est censée être un (MNT).
- Carte raster en sortie: une carte raster qui contiendra des valeurs de hauteur sans dépressions locales. (Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

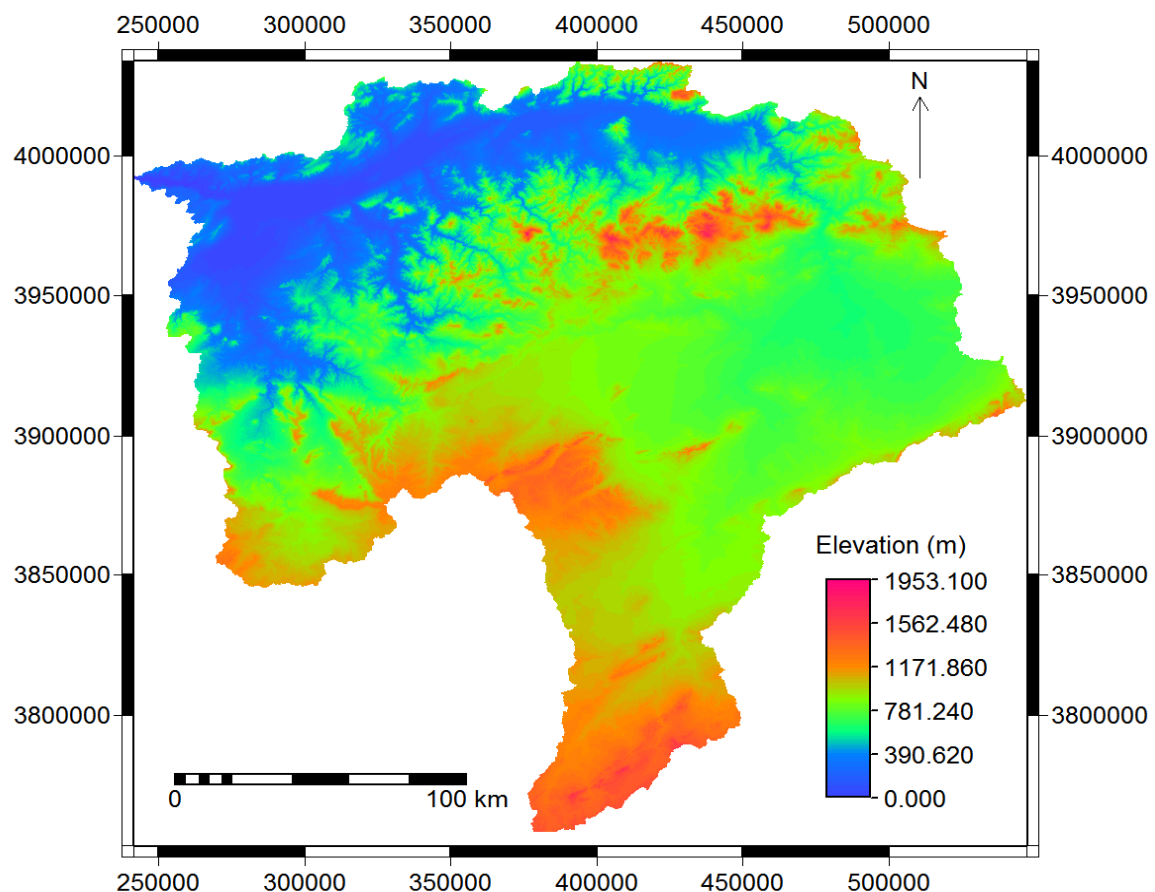


Figure III.4 Carte du MNT de BV Chélif après la correction (fill_sinks)

B.2) Sens de l'écoulement (Flow direction)

L'opération de direction d'écoulement détermine dans quel pixel voisin l'eau dans un pixel central va circuler naturellement. La direction du flux est calculée pour chaque pixel central dans des blocs d'entrée de 3 x 3 pixels, en comparant chaque fois la valeur du pixel central avec la valeur de ses 8 pixels voisins. La carte de sortie contient des directions d'écoulement comme N (au nord), NE (au nord-est), etc.

- La carte d'entrée est supposée être un (MNT) sans dépressions.
- Carte raster en sortie: une carte raster qui contiendra les directions du flux.(Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

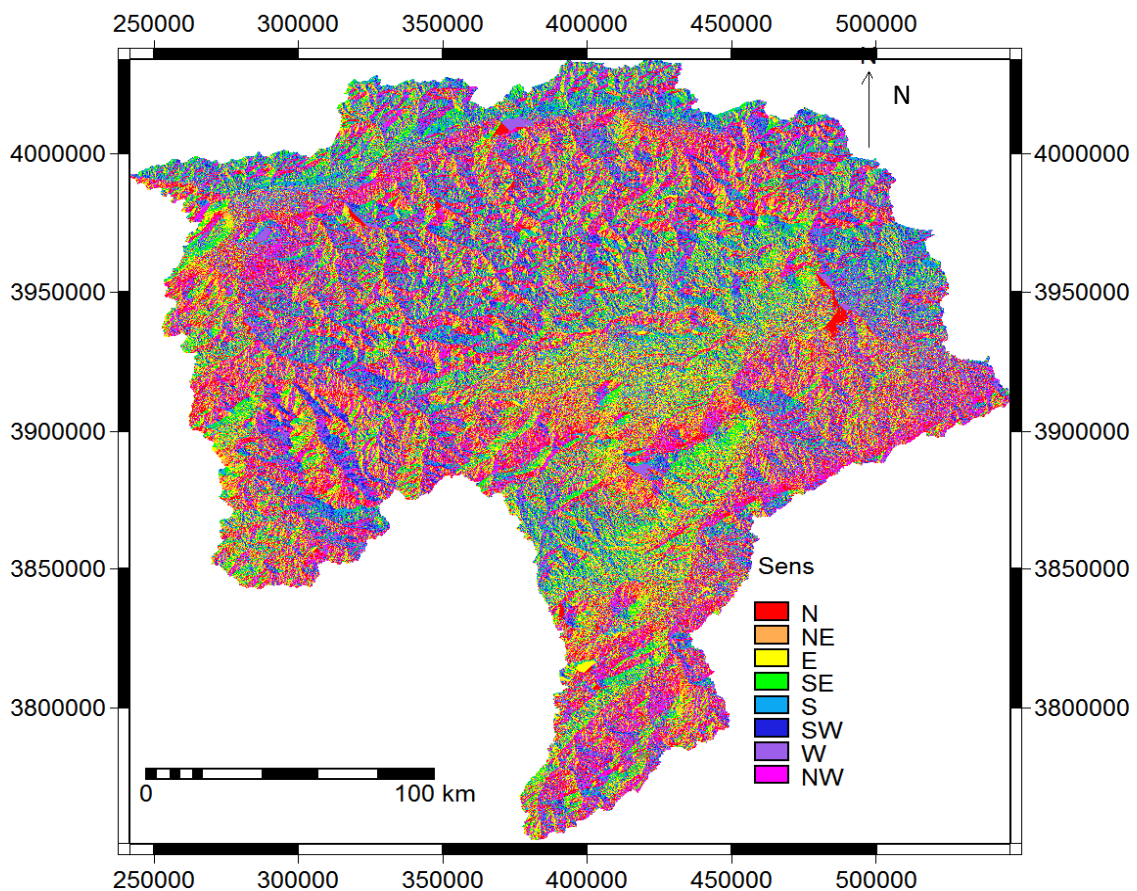


Figure III.5 Carte du sens d'écoulement du BV Chélif (flow_direction)

B.3) L'accumulation de flux (Flow accumulation)

L'opération d'accumulation de flux effectue un comptage cumulatif du nombre de pixels qui se drainent naturellement dans les prises. L'opération peut être utilisée pour trouver le modèle de drainage d'un terrain.

- En entrée, l'opération utilise la carte de sortie de l'opération de direction du flux.

- La carte de sortie contient des valeurs de débit hydrologique cumulatif qui représentent le nombre de pixels d'entrée qui apportent de l'eau aux sorties. (Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

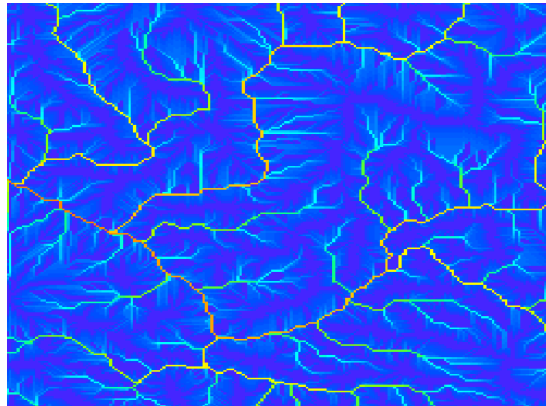


Figure III.6 Extrait de la carte d'accumulation de flux (flow_accumulation)

C) Réseau de drainage et extraction des sous bassins versants (Network and Catchment extraction)

C.1) Extraction du réseau de drainage (Drainage network extraction)

L'opération d'extraction du réseau de drainage extrait un réseau de drainage de base (carte matricielle booléenne).

- En entrée, l'opération utilise une carte raster qui est la sortie d'une opération d'accumulation de flux précédente.

La notion de seuil du flux: C'est une valeur pour le nombre minimum de pixels qui doit être drainé dans un pixel examiné pour ajouter ce pixel au réseau de drainage de sortie.

- les pixels de la carte d'accumulation de flux ayant une valeur > seuil de flux recevront la valeur Vrais dans la carte du réseau de drainage de sortie.
- Les pixels de la carte d'accumulation de flux ayant une valeur < seuil de flux recevront la valeur Faux dans la carte du réseau de drainage de sortie.
- Carte raster en sortie: une carte raster en sortie qui contiendra le réseau de drainage extrait. (Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

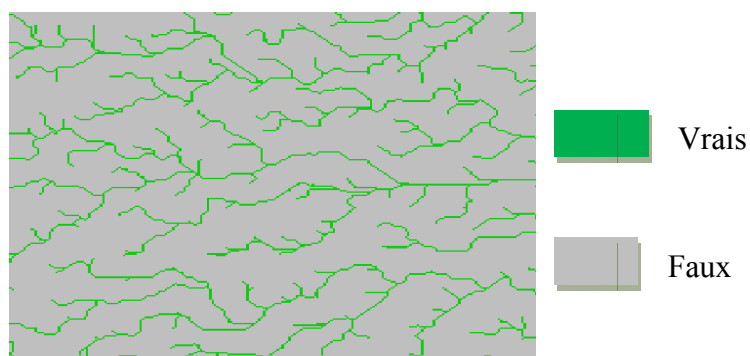


Figure III.7 Extrait de la carte d'extraction du réseau de drainage
(Drainage network extraction)

C.2) L'affectation des ordres de Strahler dans le réseau de drainage (Drainage network ordering)

L'opération trouve des flux individuels dans un réseau de drainage et attribue un identifiant unique à chaque flux. L'opération délivre une carte raster en sortie, une carte de segment de sortie et une table d'attributs de sortie.

La table attributaire contient des informations sur chaque flux, telles que: l'ordre et la classe de Strahler, l'ordre et la classe de Shreve, la longueur du cours d'eau, calculée le long du drainage, les valeurs de pente en degrés et en pourcentages, et l'altitude, la sinuosité du chemin de drainage comme mesure de méandres, longueur de drainage totale en amont, c'est-à-dire la longueur totale des cours d'eau qui s'écoulent dans le courant, etc.

- Entrées MNT:
 - 1- une carte raster qui contient des valeurs de hauteur, c'est-à-dire un modèle numérique de terrain (MNT).
 - 2- Carte de direction de flux: une carte raster qui est la sortie d'une opération de direction de flux précédente.
 - 3- Carte du réseau de drainage: une carte raster qui est la sortie d'une opération précédente d'extraction du réseau de drainage.

La notion de longueur minimale de drainage: c'est une valeur pour la longueur minimale (m) qu'un ruisseau doit avoir pour rester dans le réseau de drainage. En choisissant une plus grande valeur, moins de flux resteront dans le réseau de drainage; cela accélérera l'opération.

- Les sorties : une carte raster, une carte de segment qui contiendra les flux numérotés de façon unique et une table attributaire de sortie.(Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)
Dans notre travail, on a fixé les paramètres (1 pixel , 8000) pour élaborer la carte de drainage .

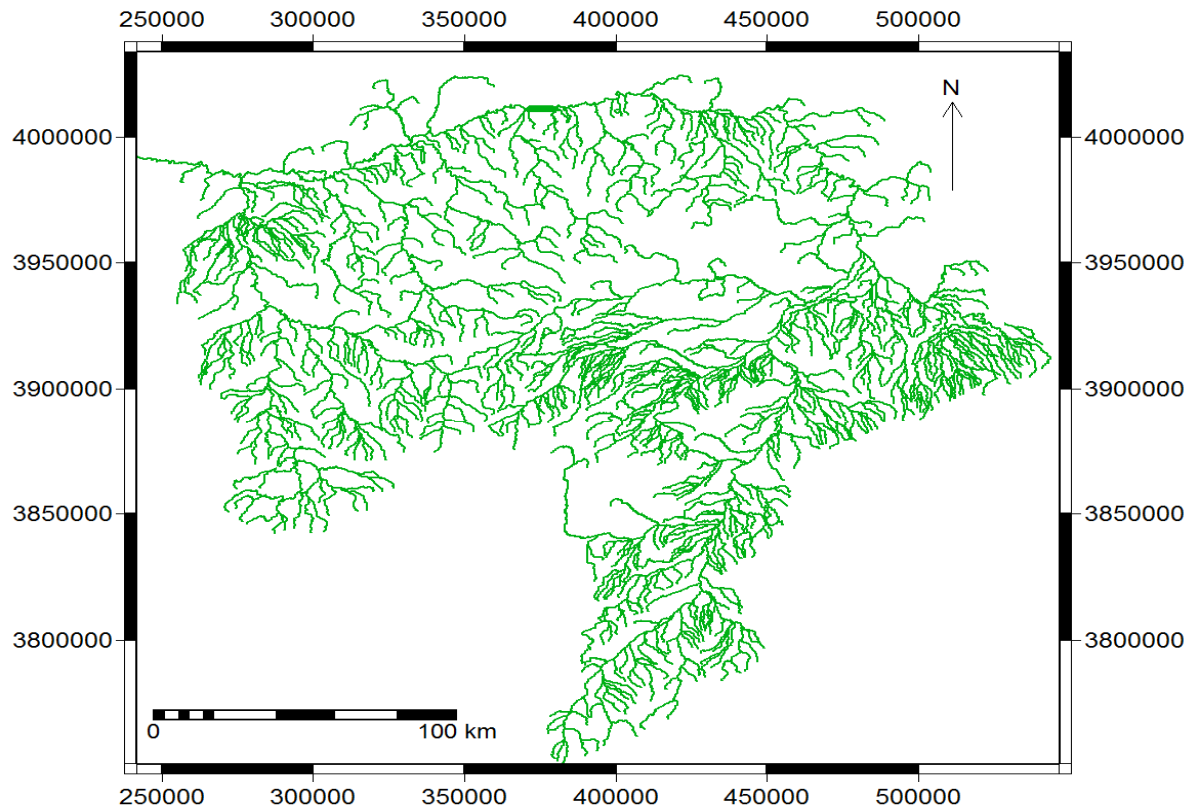


Figure III.8 Carte d'affectation des ordres de Strahler dans le réseau de drainage du BV Chélif (Drainage network ordering)

C.3) Extraction des sous bassins versants (Catchment extraction)

L'opération d'extraction du bassin versant construit des sous bassins versants; un sous bassin versant sera calculé pour chaque cours d'eau trouvé dans la carte de sortie de l'opération de commande du réseau de drainage, l'opération délivre une carte raster en sortie, une carte de polygones en sortie et une table attributaire en sortie.

Le tableau des attributs contient des informations sur chaque sous bassin, telles que: Zone et périmètre du sous bassin versant, superficie totale en amont...., etc.

- Entrées MNT:

- 1- Carte de commande du réseau de drainage: une carte raster qui est la sortie d'une opération précédente de l'affectation des ordres de Strahler dans le réseau de drainage.
- 2- Carte de direction de flux: une carte raster qui est la sortie d'une opération de direction de flux précédente.

- Les sorties : une carte raster, une carte en polygone qui contiendra les captages numérotés de façon unique et la table attributaire de sortie.(Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

Dans notre travail 256 sous bassins versants sont tirés à partir du Bassin Chélif (voir figure III.9)

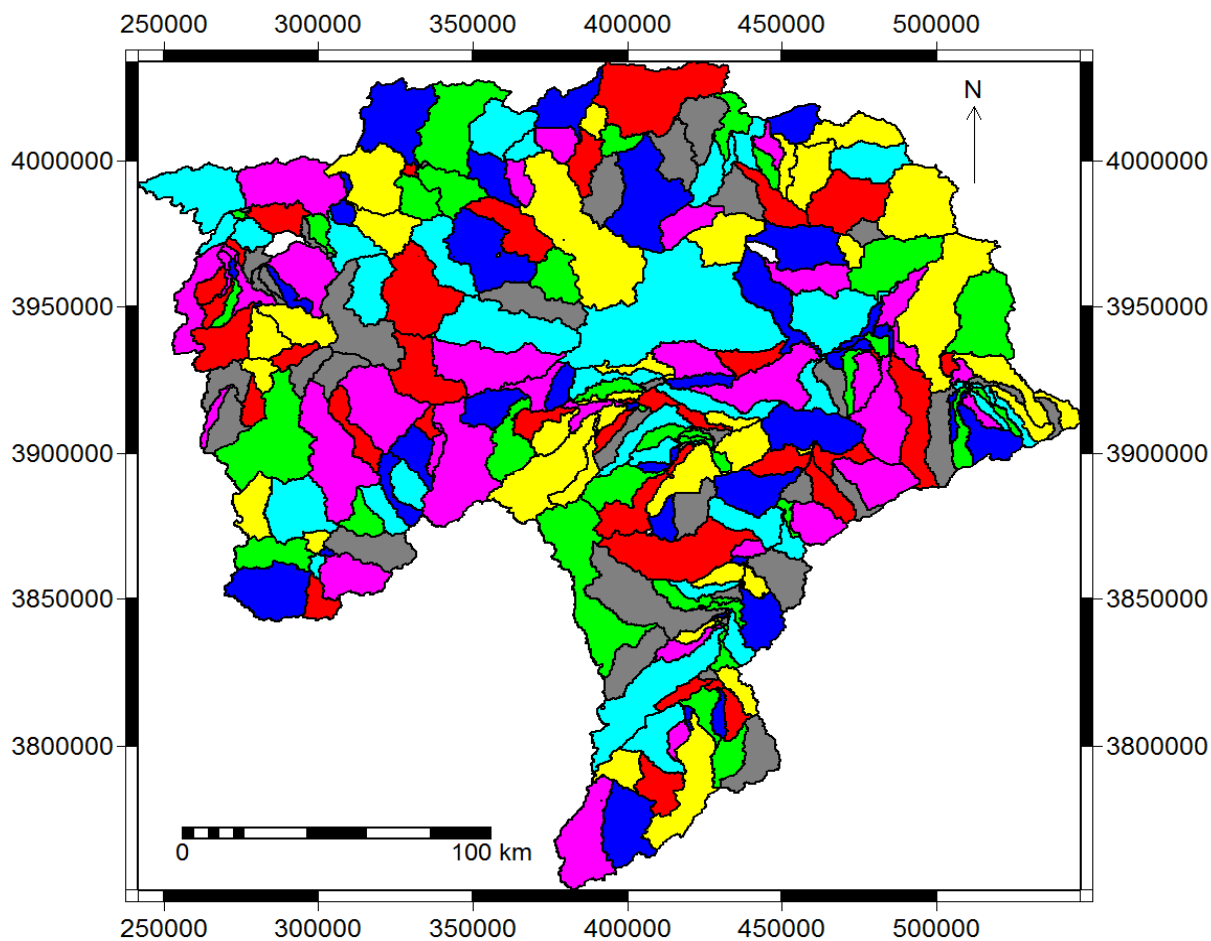


Figure III.9 Extraction des SBV du bassin Chélif (Catchment extraction)

C.4) Assemblage des sous bassins versants (Catchment merge)

L'opération d'assemblage des sous bassins est capable d'assembler les sous bassins adjacents trouvés par la précédente opération d'extraction des sous bassins versants. En fait, de nouveaux bassins versants seront créés sur la base de la carte de sortie du réseau de drainage et de sa table d'attributs.

Il existe deux manières d'assemblage des sous bassins versants :

1-en spécifiant une carte de points qui contient l'emplacement des exutoires dans la total du bassin Chélif; tous les bassins versants adjacents qui s'écouleront dans un tel exutoire seront fusionnés,

2-en spécifiant simplement une valeur d'ordre Strahler ou Shreve: tous les sous bassins adjacents ayant cette valeur d'ordre Strahler ou Shreve (ou une valeur inférieure) seront fusionnés.

L'opération délivre une carte raster, une carte de polygones et une table attributaire en sortie.

En option, on va obtenir:

-une carte de segment (et une table d'attributs) contenant les plus longs chemins d'écoulement par nouveau bassin versant,

-une table d'ordonnement de segments et une table d'attributs, qui ne contiennent que les flux de segments dans les nouveaux bassins versants; les autres flux n'apparaîtront plus; La sortie est similaire à la table de segments et à la table attributaire de l'opération Commande de réseau de drainage (Drainage Network Ordering).

▪ Entrées MNT :

1- Carte de commande du réseau de drainage: une carte raster qui est la sortie d'une opération précédente de l'affectation des ordres de Strahler dans le réseau de drainage.

2- Carte de direction de flux: une carte raster qui est la sortie d'une opération de direction de flux précédente.

3- Carte d'accumulation de flux: une carte raster qui est la sortie d'une opération d'accumulation de flux précédente.

4- Utilisant les emplacements de l'exutoires : par une carte de points contenant un ou plusieurs points (exutoires) pour fusionner tous les sous bassins versants des drainages qui se déversent dans un tel point dans un bassin versant plus grand. En utilisant plusieurs points, un certain nombre de sous-bassins sont fusionnés en plusieurs plus grands.

5- Utilisant les commandes de flux: cette option est simplement sur les valeurs de la commande de flux en fonction duquel les sous bassins doivent être. Les valeurs de l'ordre Strahler et Shreve se trouvent dans la table attributaire de la carte d'entrée de commande de réseau.

▪ Les sorties: une carte raster, une carte en polygone qui contiendra les captages numérotés de façon unique et la table attributaire de sortie.(Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic,2007)

Dans notre travail, on a utilisé la localisation des exutoires pour l'assemblage des sous bassins adjacents (voir ANNEXE I)

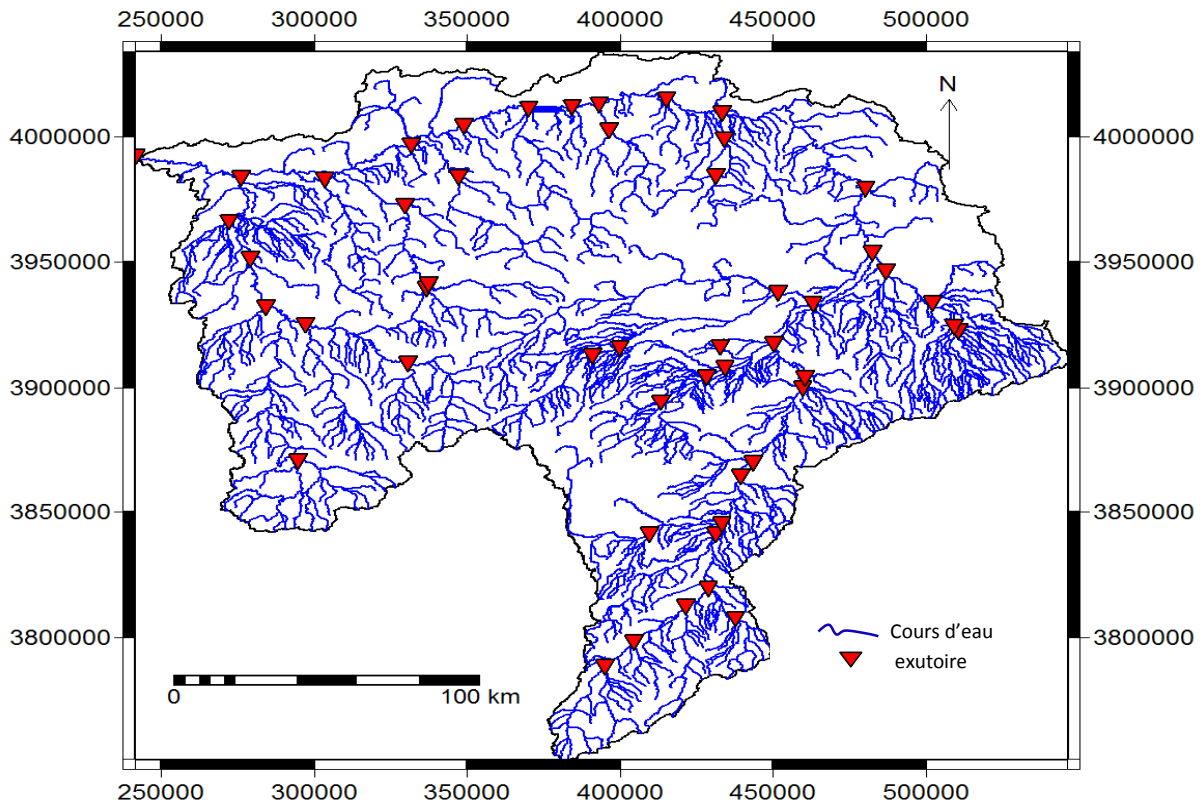


Figure III.10 Localisation des exutoires du BV Chélif

Par la fin, On a assemblé les 256 sous bassins versant en 49 sous bassin seulement.

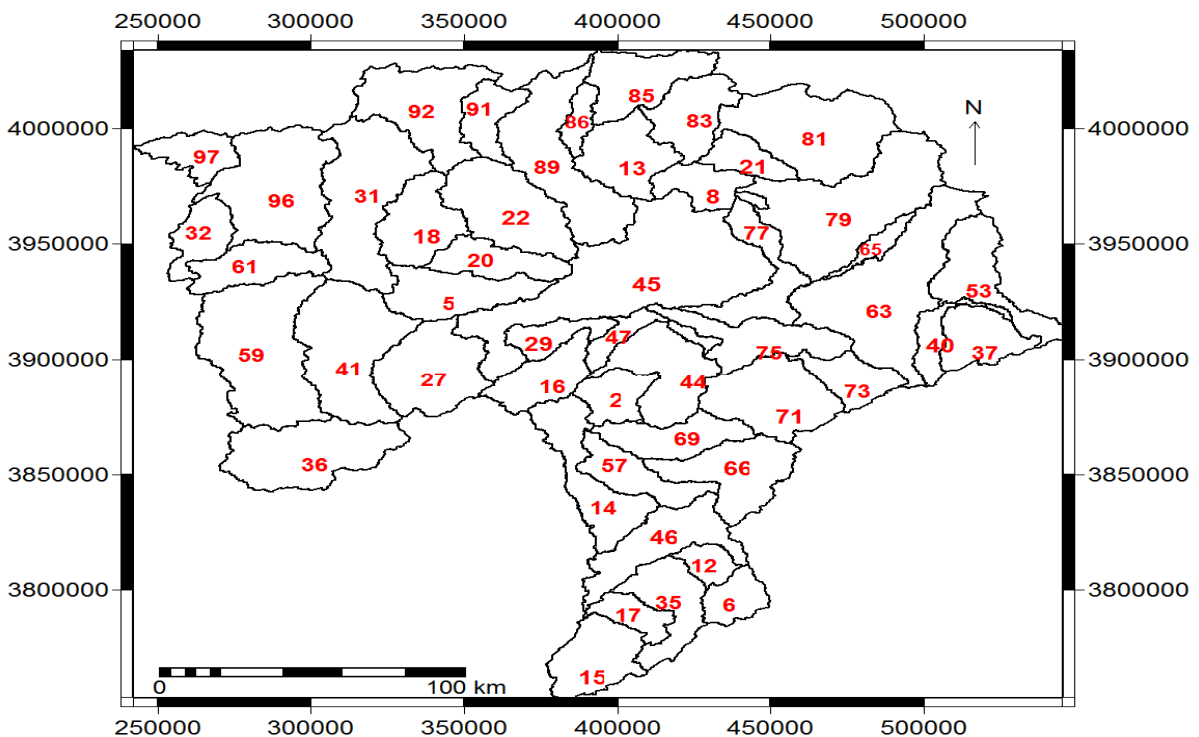


Figure III.11 Assemblage des SBV du bassin Chélif (Catchment merge) (les chiffres représentent l'identifiant « Id » de chaque SBV)

III.3 Extraction du MNT pour chaque SBV

Les résultats de traitement du MNT associé au Bassin Chélif (43750km²) a permis de subdiviser ce dernier en 49 SBV ; à ce niveau, on va utiliser les résultats de découpage pour compléter la suite de travail :

III.3.1 Hydrotraitement des MNT_SBV

En premier lieu, on va extraire les MNT pour chaque sous bassin, et par la suite faire le traitement de ces MNT en passant par la même procédure Hydrotraitement du MNT (MNT Hydro-processing) précédente. Alors, pour chaque sous bassin on va faire :

- La correction du MNT_SBV (fill sinks)
- Le sens de l'écoulement dans SBV (Flow direction)
- L'accumulation de flux pour SBV (Flow accumulation)
- L'extraction du réseau de drainage dans SBV (Drainage network extraction)
- L'affectation des ordres de Strahler dans le réseau de drainage pour SBV (Drainage network ordering)
- L'extraction des sous bassins versants (Catchment extraction)
- L'assemblage des sous bassins versants (Catchment merge)

III.3.2 Extraction de paramètres

III.3.2.1 Paramètres physiques

Les caractères physiques d'un bassin sont très nombreux, dans notre travail on s'intéresse de paramètres physiques principaux :

- Surface (A) (km²) ;
- Périmètre (P) (km) ;
- Altitude maximale(m) ;
- Altitude minimale(m) ;
- Indice de compacité de Gravelius (K_c);
- Coefficient d'allongement du bassin (K);
- Le rectangle équivalent (L) (l) ;
- Indice de pente globale (I_g);
- Dénivelé spécifique (D_s);
- La pente (S) ;

III.3.2.2 Paramètres linéaires

Les caractères linéaires englobent les différents paramètres hydrographiques d'un cours d'eau, dans notre travail on s'intéresse de paramètres linéaires qui ne sont pas influencés par d'autres paramètres à savoir la géologie, l'état du sol, le climat....

Dans notre travail, on s'intéresse de :

- La longueur d'un bassin versant (L)
- La longueur du cours d'eau principal (L_{cp})
- La pente moyenne d'un cours d'eau (P_{moy})
- Densité de drainage (D_d)
- Densité hydrographique (F)
- Fréquence des thalwegs élémentaires (C_T)
- Coefficient de torrencialité (F_i)
- Sinuosité d'un cours d'eau (S_{in})

III.3.2.3 Paramètres Statistique de Horton

A l'aide du logiciel ILWIS, l'opération calcule pour chaque numéro de flux (Strahler) et pour chaque sous bassin versant fusionné:

- le nombre de flux,
- la longueur moyenne du cours d'eau,
- la superficie moyenne des bassins versants, et
- les valeurs attendues pour celles-ci au moyen d'un ajustement par les moindres carrés.

▪ Les entrées :

- la sortie d'une opération d'extraction précédente de Catchment,
- la sortie d'une opération de fusion Catchment précédente,
- la sortie d'une opération précédente de commande de réseau de drainage.
 - La sortie : une table qui peut être utilisée pour construire des parcelles dites Horton. (Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic, 2007)

À partir de ces données on a pu obtenir :

- le nombre de flux de Strahler
- Rapport de confluence des cours d'eau R_c :
- Rapport des longueurs des cours d'eau R_l :

Remarque :

Les différents indices sont calculés par les relations citées dans le chapitre I.

III.4 Résultats de l'analyse morpho-métrique➤ **Pour le Bassin Chélif**

Les résultats de l'analyse morpho-métrique du MNT associé au Bassin Chélif (43750km²) sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 Valeurs calculées de variables sélectionnées dans le bassin Chélif

V a r i a b l e	V a l e u r	SBV
Surface Maximale (A_{max})_km ²	3009,81	45
Surface Minimale (A_{min})_km ²	126,3	65
Altitude Maximal (H_{max})_m	1950,638	89
Altitude Minimal (H_{min})_m	-1,4	97
Pente Maximale_%	4,94	21
Pente Minimale_%	0,07	65
Sinuosité Maximale	1,504	65
Sinuosité Minimale	1,206	21
Longueur max du Cours d'eau principal du Bassin ($L_{cp\ max}$)_m	89498,3	89
Longueur min du Cours d'eau principal du Bassin ($L_{cp\ min}$)_m	42,4	15
Ordre max de Strahler	5	
Ordre min de Strahler	1	
Ordre de Strahler		
1 ^{er} ordre	1666	
2 ^{ème} ordre	376	
3 ^{ème} ordre	119	
4 ^{ème} ordre	26	
5 ^{ème} ordre	1	

Les valeurs obtenues aux différents sous-bassins versants du Chélif montrent leurs caractéristiques relatives et ainsi leur réponse hydrologique.

- Le nombre maximum de flux (126) se trouve dans le SBV63 , où l'ordre de Strahler varie de 1 à 5 (98 flux d'ordre 1 , 20 flux d'ordre 2 , 5 flux d'ordre 3 , 2

flux d'ordre 4 et 1 flux d'ordre 5)

- Le nombre minimum de flux (5) se trouve dans le SBV 65, dont on a seulement 1^{er} (4flux) et le 2^{ème} ordre de Strahler(1 seul flux).
- La longueur des flux suit celle du nombre des flux dans le classement des sous bassins versants, le SBV89 est le premier présente une longueur de 89498,3m. Le dernier sous-bassin est le SBV 15 avec 42,4m. Au fur et à mesure que l'altitude maximal se trouve dans le SBV89 avec 1950,638m et l'altitude minimal égale à -1,4m dans le SBV97 car ce bassin appartient à la région côtière de Mostaganem.

➤ **Pour les 49 Sous Bassins Versants :**

Les résultats de l'analyse morpho-métrique du MNT pour chaque SBV sont résumés dans le tableau (Voir tableau ANNEXE II).

Exemple :

Pour mieux comprendre la procédure, on traite par exemple le SBV6

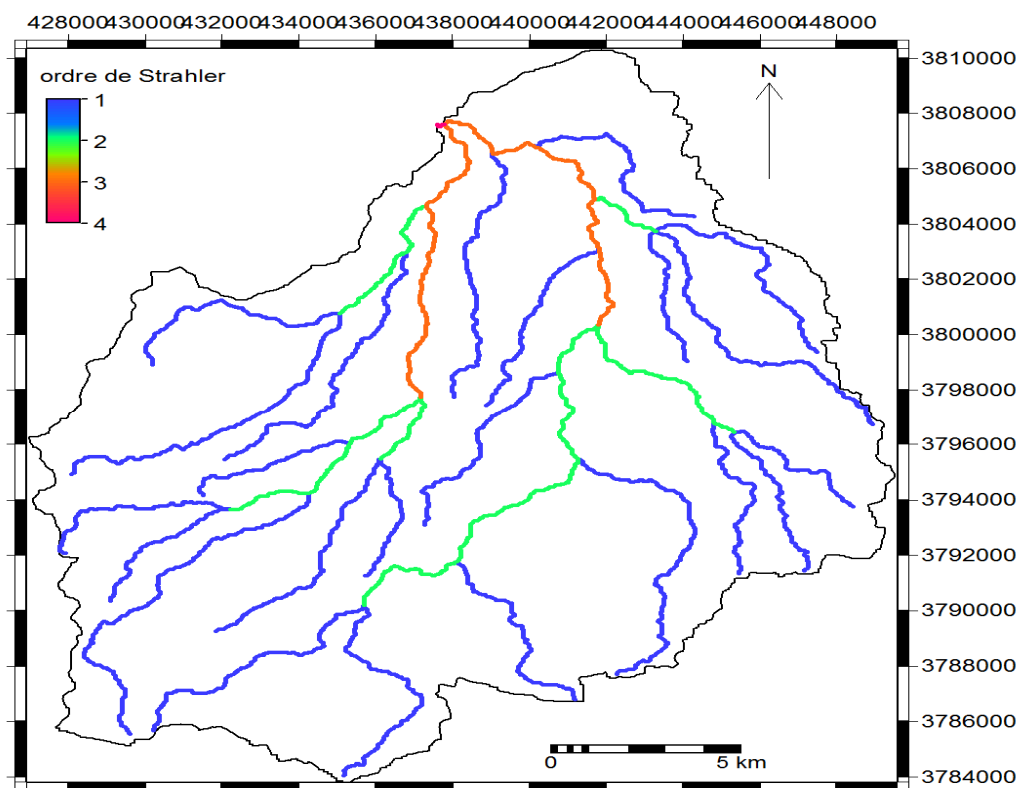


Figure III.12 MNT correspondant au SBV6

Tableau III.2 Paramètres physiques dans le SBV6

Paramètre	Valeur
Surface (A) (km ²) ;	364,48
Périmètre (P) (km) ;	105,09
Altitude maximale(m) ;	1683,383
Altitude minimale(m) ;	1063,3
Indice de compacité de Gravelius (K _c);	1,541
Coefficient d'allongement du bassin (K);	30,119
Le rectangle équivalent (L) ; (l) (m)	(43,863 ; 8,310)
Indice de pente moyenne (I _{pm});	2,275
Indice de pente globale (I _{pg}) ;	14,137
Dénivelé spécifique (D _s);	43,438
La pente (S) ;	1,22

Tableau III.3 Paramètres linéaires dans le SBV6

La longueur d'un bassin versant (L);	254038
La longueur du cours d'eau principal (L _{cp}) ;	247,3
La pente moyenne d'un cours d'eau(P _{moy}) ;	2,51
Densité de drainage (D _d) ;	0,697
Fréquence des thalwegs élémentaires (C _T);	0,061
Coefficient de torrentialité (F _i);	0,088
Sinuosité d'un cours d'eau (S _{in}) ;	1,244

Tableau III.4 Paramètres Statistiques de Horton dans le SBV6

L'ordre maximal de flux de Strahler	4
Le nombre de flux de Strahler	32
- 1 ^{er} ordre	23
- 2 ^{ème} ordre	6
- 3 ^{ème} ordre	2
- 4 ^{ème} ordre	1
Rapport de confluence des cours d'eau R _c ;	2,94
Rapport des longueurs des cours d'eau R _l ;	4,78

Conclusion

Dans ce chapitre, on a effectué une analyse sur le Bassin Chéouiff à l'aide du logiciel ILWIS où on a déterminé les différents paramètres caractérisant ces 49 sous bassins (paramètres physiques, paramètres linéaires et les paramètres statistiques de Horton) qui constituent la base de la régionalisation qu'on abordera dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

La régionalisation

CHAPITRE IV : LA REGIONALISATION

Introduction

La régionalisation sert l'outil de consolidation des observations obtenues en un certain bassin par la prise en compte des observations de bassins similaires voisins. Une région est considérée comme homogène du point de vue hydrologique si elle regroupe des sites (SBV) ayant des caractéristiques physico-graphiques, climatiques qui déterminent un comportement similaire au niveau hydrologique (Hingray et *al* ,2014). Les caractéristiques des BV doivent être sélectionnées pour l'application des techniques de regroupement. Les différents types de paramètres (physiques, linéaires, paramètres de Horton) ont été pris en considération dans la présente étude, pour appliqué l'approche régionale.

IV.1 La régionalisation statistique

La régionalisation basée sur des similarités physiographiques, climatiques ou hydrologiques est très usuelle dans la bibliographie, Elle a pour objectif de transposer des informations d'un bassin jaugé "donneur" vers un bassin "cible" non jaugé, considéré comme suffisamment similaire physio-graphiquement (Oudin et *al.*, 2010), Les caractéristiques des bassins versants prises en compte sont, dans ce cas, considérées comme attributs représentatifs des processus hydrologiques (Gottschalk, 1985) ; Ces attributs comprennent la taille du BV, le réseau de drainage, l'occupation des sols, la géologie, l'altitude (moyenne, variabilité et différence d'altitude maximale), les pentes (moyenne et variabilité) (Blöschl et Sivapalan, 2005).Il existe plusieurs techniques d'analyse multi-variée consistants à regrouper les bassins dits "similaires" (Baba hamed et Bouanani , 2016)

IV. 2 Méthodes de classification et d'analyse des données

Les méthodes de classification, aussi appelées de partition des données, permettent de grouper des objets (observations ou individus) dans des classes (clusters) de manière à ce que les objets appartenant à la même classe soient plus similaires entre eux qu'aux objets appartenant aux autres classes. Le calcul de la proximité entre objets se fait sur une série de variables mesurées sur tous les objets, Les développements récents des méthodes de classification automatique en analyse des données sont effectuées par des techniques de classification automatique ; Excel avec le logiciel XLSTAT propose quatre différentes méthodes de classification au sein du bouton Analyse de données :

- Classification par les nuées dynamiques (k-means clustering)
- Classification ascendante hiérarchique (CAH)
- Modèles de mélanges gaussiens
- Partitionnement uni-varié
- Analyse en Composantes Principales (ACP)
- Analyse Factorielle des Correspondances. (Centre de support client XLSTAT)

Dans notre travail on s'intéresse de deux méthodes : l'analyse en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH)

L'analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique largement utilisée (Eslamian *et al.*, 2010). Elle réduit le nombre de variables à celles qui sont les plus significatives parmi un ensemble de variables et est utilisée afin de trouver un lien entre les variables et les individus afin de les regrouper en régions homogènes. L'un des objectifs de l'ACP est d'obtenir des informations utiles à partir d'une matrice de données, et de fournir une représentation graphique des données pour faciliter l'analyse. La procédure mathématique de l'analyse en composantes principales est en fait une méthode statistique multi-variable qui sert de traitement des données. (Baba hamed et Bouanania , 2016)

Application de l'ACP

Dans le cadre de ce travail, Nous avons soumis tous les paramètres physiques, linéaires et de Horton calculés pour les différents 49 sous-bassins de Chélif à une analyse en composantes principales, afin de déterminer les affinités entre ces sous bassins et déduire les paramètres les plus caractéristiques. Pour ce faire, une matrice de corrélation a été utilisée et les composantes ont été déterminées sans rotation "Varimax".

La méthode ACP a été appliquée à 49 individus (sous-bassins versants) et 21 variables (paramètres morpho-métriques) qui sont : logarithme la surface (A); logarithme Périmètre (P); logarithme de longueur du cours d'eau principal (L_{cp}) ; logarithme Dénivelé spécifique (D_s); Indice de compacité de Gravelius (K_c); Coefficient d'allongement du bassin (K); Indice de pente globale (I_{pg}) ; Indice de pente moyenne (I_{pm}) ; La pente (S) ; La pente moyenne d'un cours d'eau (P_{moy}) ; Densité de drainage (D_d) ; Fréquence des thalwegs élémentaires (C_T); Coefficient de torrentialité (F_i); Sinuosité d'un cours d'eau (S_{in}) ; Le nombre de flux de Strahler (1^{er} , $2^{ème}$, $3^{ème}$, $4^{ème}$, $5^{ème}$ ordre) ; Rapport de confluence des cours d'eau R_c et Rapport des longueurs

des cours d'eau R_1 .

On a fait une transformation logarithmique pour les valeurs de : la surface(A), le périmètre (P), la longueur du cours d'eau principal(Lcp), la dénivelé spécifique(Ds) car ces valeurs sont supérieur à 100 et par cette transformation les résultats obtenus de l'analyse seront plus fiables.

Interprétation de résultats de l'ACP

A) Les valeurs propres

L'analyse du tableau (IV.1) et la courbe des valeurs propres (fig IV.1), montre que les trois premiers facteurs représentent le maximum d'informations. Ainsi les trois premiers axes factoriels expriment 64% de la variance totale, avec 29% pour le premier facteur (F1), 18,7% pour le second (F2) et 16 % pour le troisième facteur (F3).

Tableau IV.1 Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho-métriques des SBV de Chélif

Axe	Valeur Propre	Proportion %	Valeur propre Cumulative	Cumulatif %
1	6,1019	29,0566	6,1019	29,0566
2	3,9369	18,7470	10,0388	47,8036
3	3,3629	16,0137	13,4017	63,8173

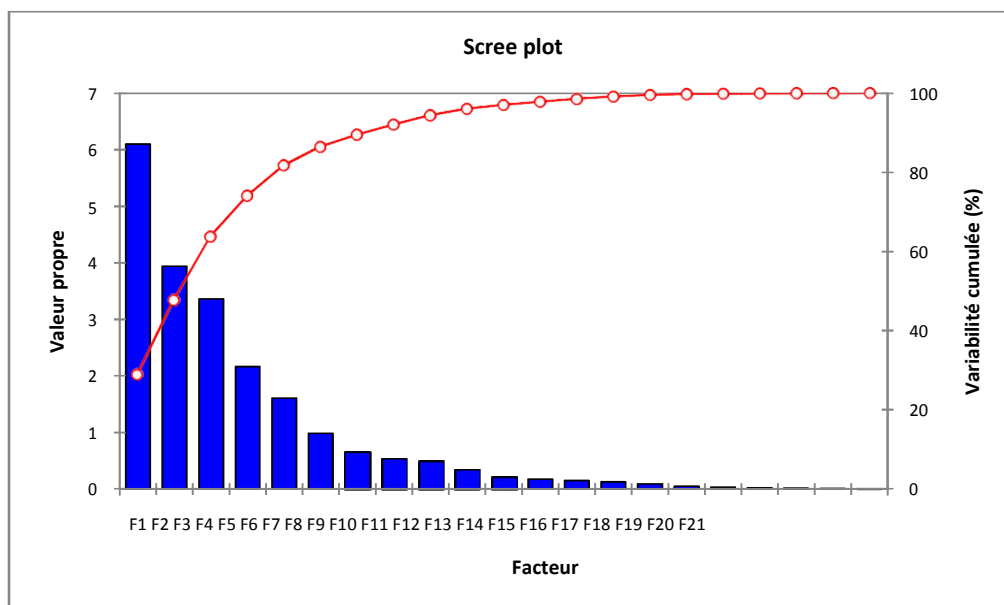


Figure IV.1 Valeurs propres de la matrice de corrélation des paramètres morpho-métriques des SBV Chélif

B) Les variables

B.1) La matrice de corrélation

L'analyse de la matrice de corrélation (Tableau IV.2), montre :

- une corrélation positive et parfaite entre :
 - l'indice de forme (K_c) et l'indice d'allongement (K),
 - la fréquence des talwegs élémentaires (F) et le coefficient de torrentialité (C_T) et la densité de drainage (D_d),
 - le coefficient de torrentialité est excellent corrélé à la densité de drainage (D_d).
- une bonne corrélation positive entre :
 - Le logarithme de périmètre (P) et logarithme de surface (S) et le 1^{er} ordre de Strahler,
 - Logarithme de la Surface (A) et le 1^{er} ordre de Strahler,
 - Logarithme de la dénivelé spécifique (D_s) et logarithme de la surface (A) et l'indice de pente globale (I_{pg}),
 - Le 1^{er} ordre de Strahler et le 2^{ème}, 4^{ème} ordre,
 - Le 2^{ème} ordre de Strahler et le 3^{ème}, 4^{ème} ordre,
 - La pente (S) et l'indice de pente globale (I_{pg}) et l'indice de pente moyenne (I_{pm}),
 - l'indice de pente globale (I_{pg}) et l'indice de pente moyenne (I_{pm}),

Ainsi que la longueur du cours d'eau principal est bien corrélé négativement avec la pente moyenne du cours d'eau.

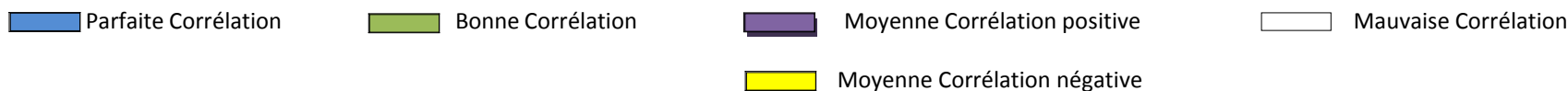
- une moyenne corrélation positive entre :
 - Le logarithme de périmètre (P) et de surface (A) et le 2^{ème} ordre de Strahler,
 - Logarithme de la dénivelée spécifique (D_s) et l'indice de pente moyenne (I_{pm}),
 - Le 1^{er} ordre de Strahler et le 3^{ème} ordre,
 - Le 3^{ème} ordre de Strahler et le 4^{ème} ordre,
 - Le rapport de confluence (R_c) et le rapport des longueurs (R_l).

Aussi, La dénivelée spécifique (D_s) est moyennement corrélée positivement avec l'indice de pente moyenne (I_{pm}) et moyennement corrélé négativement avec l'indice de compacité de Gravelius (K_c) et la densité de drainage (D_d) et le coefficient d'allongement (K). l'indice de compacité de Gravelius (K_c) est moyennement corrélé négativement avec la pente (S) et l'indice de pente moyenne (I_{pm}). la pente (S) est moyennement corrélé négativement avec le coefficient d'allongement (K).

Tableau IV.2 Matrice de corrélation (ACP) entre les variables morpho-métrique

Variables	P	A	Lcp	Ds	STR1	STR2	STR3	STR4	STR5	Kc	sin	S	lpg	lpm	Fi	CT	Dd	K	Rc	Rl	Pmoy
P	1,00																				
A	0,85	1,00																			
Lcp	0,22	0,21	1,00																		
Ds	-0,18	0,18	-0,05	1,00																	
STR1	0,70	0,75	0,18	-0,22	1,00																
STR2	0,53	0,60	0,20	-0,27	0,87	1,00															
STR3	0,28	0,36	0,10	-0,20	0,57	0,78	1,00														
STR4	0,41	0,50	-0,22	-0,18	0,74	0,75	0,55	1,00													
STR5	0,28	0,23	-0,08	-0,14	0,44	0,34	0,22	0,33	1,00												
Kc	0,36	-0,18	0,04	-0,66	-0,02	-0,07	-0,13	-0,11	0,10	1,00											
sin	0,04	-0,19	0,04	-0,36	-0,26	-0,21	-0,12	-0,20	-0,04	0,42	1,00										
S	-0,25	0,05	0,12	0,76	-0,23	-0,26	-0,23	-0,20	-0,15	-0,54	-0,21	1,00									
lpg	-0,45	-0,22	-0,02	0,73	-0,40	-0,40	-0,34	-0,30	-0,11	-0,44	-0,20	0,78	1,00								
lpm	-0,53	-0,25	0,03	0,67	-0,44	-0,40	-0,29	-0,32	-0,14	-0,53	-0,14	0,81	0,80	1,00							
Fi	-0,31	-0,36	-0,05	-0,40	0,19	0,34	0,48	0,26	0,02	0,05	-0,29	-0,39	-0,27	-0,21	1,00						
CT	-0,28	-0,35	0,00	-0,44	0,17	0,31	0,43	0,25	0,00	0,09	-0,23	-0,39	-0,28	-0,21	0,97	1,00					
Dd	-0,22	-0,35	-0,03	-0,52	0,23	0,31	0,33	0,28	0,04	0,20	-0,26	-0,45	-0,33	-0,28	0,95	0,96	1,00				
K	0,30	-0,23	0,03	-0,66	-0,06	-0,11	-0,17	-0,13	0,08	0,99	0,43	-0,52	-0,41	-0,49	0,05	0,10	0,22	1,00			
Rc	0,18	0,19	0,32	0,12	0,12	-0,21	-0,49	-0,24	-0,08	0,04	-0,24	0,31	0,25	0,19	-0,27	-0,22	-0,10	0,06	1,00		
Rl	0,04	0,08	0,27	0,18	-0,01	-0,03	-0,31	-0,21	-0,06	-0,04	-0,30	0,33	0,41	0,22	-0,18	-0,15	-0,08	-0,03	0,57	1,00	
Pmoy	-0,06	-0,01	-0,72	0,11	-0,02	-0,06	-0,06	0,16	-0,03	-0,10	-0,17	-0,04	0,02	-0,07	0,02	-0,01	0,01	-0,09	-0,11	0,00	1,00

P : Périmètre , **A** : Surface, **L_{CP}** : longueur du cours d'eau principal , **D_s** : Dénivelée spécifique, **STR_i** : Strahler d'ordre i , **K_c** :indice de compacité de Gravelius , **Sin** :sinuosité, **lpg** : Indice de pente globale, **lpm** : Indice de pente moyenne, **F_i** :Fréquence des talwegs élémentaire, **C_T** : Coefficient de torrentialité, **D_d** : densité de drainage, **K** :coefficient d'allongement, **R_c** : Rapport de confluence, **R_l** : Rapport des longueurs, **P_{moy}**:la pente moyenne



Les axes 1,2 et 3 ainsi retenus mettent en évidence leurs relations avec les paramètres étudiés (Tableau IV.3)

Tableau IV.3 Vecteurs de la matrice de corrélation des variables morpho-métriques

	F1	F2	F3
P	-0,4749	0,5599	-0,6133
A	-0,2418	0,8841	-0,3138
Lcp	-0,0135	0,1863	-0,2288
Ds	0,7511	0,4520	0,2238
STR1	-0,6576	0,6830	-0,0167
STR2	-0,7051	0,5927	0,1701
STR3	-0,6281	0,3700	0,3651
STR4	-0,5965	0,5165	0,2314
STR5	-0,3205	0,2815	-0,0725
kc	-0,4463	-0,5157	-0,5974
sin	-0,0496	-0,3945	-0,5265
S	0,7799	0,3678	0,1772
Ipg	0,8068	0,1232	0,2561
Ipm	0,7949	0,0847	0,3381
Fi	-0,5633	-0,3150	0,7088
CT	-0,5638	-0,3407	0,6539
Dd	-0,6040	-0,3629	0,5663
K	-0,4133	-0,5544	-0,5779
Rc	0,3116	0,1813	-0,2936
RI	0,3312	0,1892	-0,0996
Pmoy	0,0205	0,0038	0,1959

La matrice de corrélation des variables et des facteurs du poids de variance (Tableau IV.3) et la Figure IV.2 montrent que l'axe 1 (principal axe d'inertie) qui représente plus de 29% de variance est très bien corrélé positivement à logarithme la dénivelée spécifique (D_s), à la pente (S), aux indices de pente : globale (I_{pg}) et moyenne (I_{pm}). Il est aussi assez moyennement corrélé mais négativement au ordre 1,2,3,4 de Strahler et aux coefficients de torrentialité (C_T), la densité de drainage (D_d), la fréquence des talwegs élémentaires (F_i).

L'axe 2 avec 18,75% de variance, est bien lié positivement aux l'ordre 1,2,4 de Strahler, au logarithme de périmètre (P), et lié négativement avec l'indice de compacité de Gravelius (K_c) et au coefficient d'allongement (K).

la fréquence des talwegs élémentaires (F_i), coefficient de torrentialité (C_T), ainsi que la densité de drainage (D_d), sont mieux corrélés positivement avec l'Axe 3 qui représente presque 16% de la variance. ainsi que l'indice de compacité de Gravelius (K_c), le coefficient d'allongement (K), la sinuosité (S) et logarithme de périmètre sont moyennement corrélés

mais négativement à cet axe.

Ces résultats sont synthétisés sur la figure IV.2, qui illustre le cercle des corrélations selon la projection des variables sur les plans factoriels F1-F2 et F1 et F3.

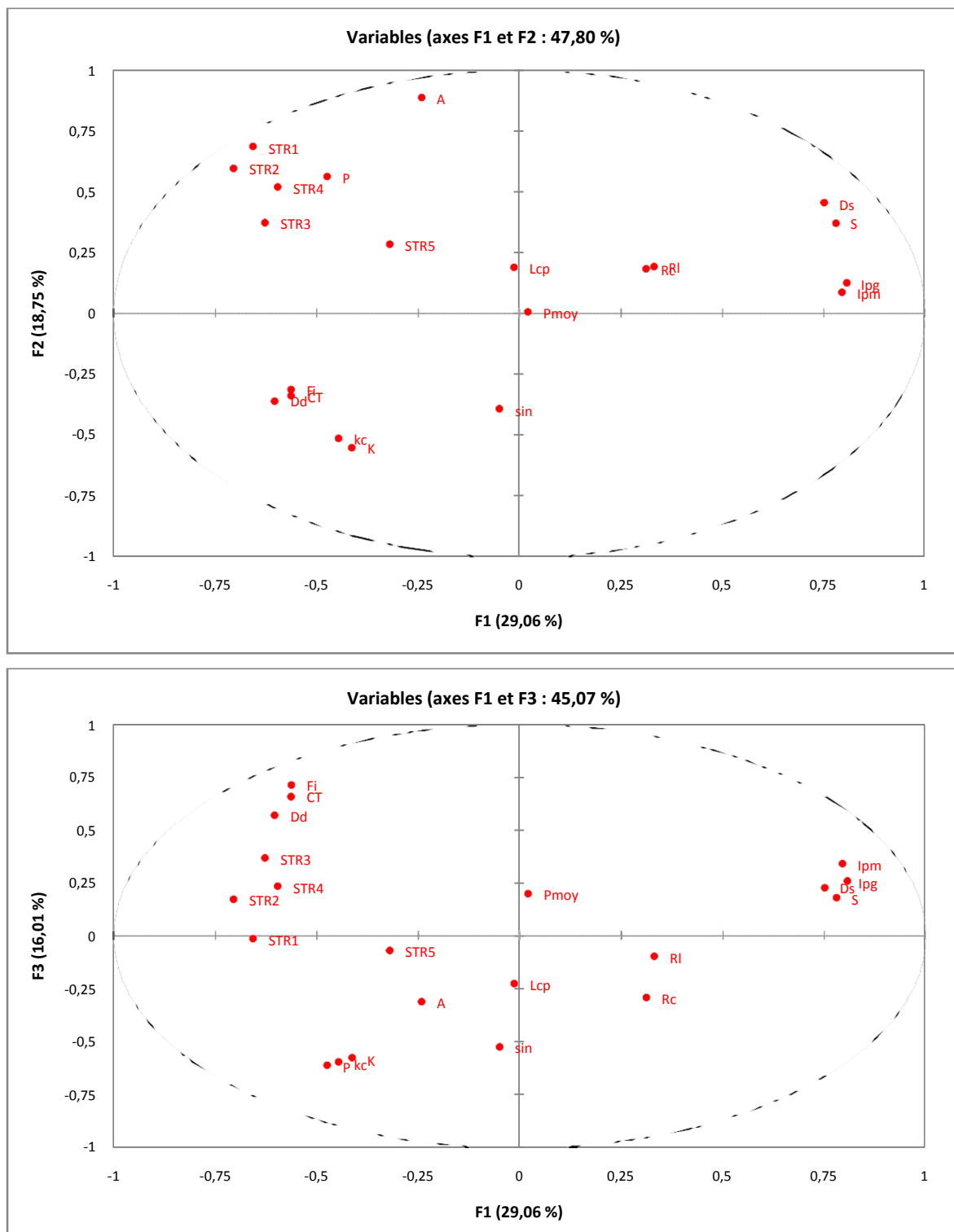


Figure IV.2 La contributions des paramètres morpho-métriques au niveau du bassin Chélif sur les plans factoriels (F1-F2) et (F1-F3)

Le cercle des corrélations est la projection du nuage des variables sur le plan des composantes principales. Les variables bien représentées sont celles qui sont proches du cercle, celles qui sont proches de l'origine sont mal représentées

Alors on a :

- Pour le cercle F1-F2 (47,80% de l'inertie cumulée) illustré dans la Figure IV.2 partie supérieure : les variables mal représentées sont : la pente moyenne (P_{moy}) , longueur du cours d'eau principal (L_{CP}) , Strahler d'ordre 5 (STR5) , , la sinuosité (Sin) ,le rapport de confluence (R_c) et le rapport des longueurs (R_l) au contraire du périmètre (P),la surface (A) ,la dénivelée spécifique (D_s), STR_i : Strahler d'ordre 1 2 3 4 , indice de compacité de Gravelius(K_c) les indices de pente globale (I_{pg}) et de pente moyenne (I_{pm}) la fréquence des talwegs élémentaire (F_i) , Coefficient de torrentialité (C_T) ,la densité de drainage (D_d) , coefficient d'allongement (K) qui sont bien représentées.
- Le cercle F1-F3 (45,07% de l'inertie cumulée) a la même signification que le cercle F1-F2

B.2) Cosinus carrés des variables

D'après l'analyse de la matrice de cosinus carrés (\cos^2) des variables (Tableau IV.3) ,On a :

- Pour le facteur 1 (F1) on remarque la contribution des variables logarithme la dénivelée spécifique (D_s), l'ordre de Strahler (STR2, STR3, STR4) ,la pente (S) ,l'indice de pente globale (I_{pg}) ,l'indice de pente moyenne (I_{pm}) ,la densité de drainage (D_d).
- Pour le facteur 2 (F2) on remarque la contribution des variables logarithme la surface (A), l'ordre de Strahler STR1
- Pour le facteur 3 (F3) on remarque la contribution des variables logarithme le périmètre (P),le coefficient de compacité de Gravelius (K_c) ,la Sinuosité (Sin) ,la fréquence des talwegs élémentaires (F_i) ,coefficient de torrentialité (C_T),coefficient d'allongement (K)
- Les autres variables restantes : la longueur du cours d'eau principal (L_{cp}) , le rapport de confluence (R_c),le rapport des longueurs (R_l), la pente moyenne (P_{moy}) , l'ordre de Strahler le (STR₅) contribuent respectivement au autres attributs F4,F5,F6,F7

Tableau IV.4 Matrice de cosinus carrée (cos²) des variables morpho-métriques du SBV Chélif

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21
P	0,226	0,314	0,376	0,001	0,011	0,004	0,007	0,002	0,038	0,002	0,003	0,001	0,012	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
A	0,058	0,782	0,098	0,001	0,001	0,025	0,000	0,002	0,003	0,004	0,003	0,001	0,015	0,000	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Lcp	0,000	0,035	0,052	0,536	0,280	0,010	0,000	0,008	0,000	0,010	0,002	0,022	0,031	0,001	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ds	0,564	0,204	0,050	0,015	0,000	0,001	0,000	0,000	0,087	0,000	0,053	0,007	0,000	0,000	0,005	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
STR1	0,432	0,466	0,000	0,022	0,012	0,004	0,001	0,019	0,005	0,004	0,002	0,001	0,005	0,001	0,014	0,001	0,009	0,001	0,001	0,000	0,000
STR2	0,497	0,351	0,029	0,007	0,010	0,001	0,037	0,009	0,011	0,001	0,003	0,001	0,006	0,007	0,018	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
STR3	0,395	0,137	0,133	0,011	0,127	0,000	0,058	0,026	0,019	0,032	0,012	0,039	0,001	0,001	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
STR4	0,356	0,267	0,054	0,049	0,016	0,015	0,023	0,084	0,014	0,099	0,000	0,003	0,002	0,000	0,015	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
STR5	0,103	0,079	0,005	0,008	0,009	0,643	0,110	0,026	0,001	0,011	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
kc	0,199	0,266	0,357	0,019	0,028	0,030	0,039	0,001	0,057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
sin	0,002	0,156	0,277	0,081	0,180	0,018	0,071	0,022	0,126	0,027	0,032	0,000	0,004	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S	0,608	0,135	0,031	0,016	0,004	0,021	0,052	0,033	0,004	0,007	0,022	0,007	0,002	0,055	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lpg	0,651	0,015	0,066	0,017	0,005	0,087	0,058	0,000	0,005	0,005	0,032	0,036	0,011	0,004	0,001	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
lpm	0,632	0,007	0,114	0,011	0,016	0,064	0,016	0,036	0,000	0,008	0,021	0,009	0,018	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fi	0,317	0,099	0,502	0,060	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,005	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,004	0,001	0,000
CT	0,318	0,116	0,428	0,088	0,000	0,000	0,002	0,005	0,001	0,006	0,011	0,002	0,008	0,001	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,000	0,000
Dd	0,365	0,132	0,321	0,124	0,026	0,001	0,000	0,013	0,000	0,000	0,004	0,003	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000
K	0,171	0,307	0,334	0,025	0,031	0,034	0,044	0,003	0,044	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000
Rc	0,097	0,033	0,086	0,411	0,180	0,005	0,029	0,089	0,011	0,025	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
RI	0,110	0,036	0,010	0,366	0,178	0,001	0,067	0,149	0,054	0,013	0,000	0,001	0,014	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Pmoy	0,000	0,000	0,038	0,298	0,487	0,020	0,030	0,007	0,004	0,085	0,000	0,010	0,015	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

C) Les individus (les SBV)

La projection des individus (bassins) sur le plan (1-2) (**Figure IV.2**), met en évidence quatre groupes de bassins :

- Le premier formé par les bassins 29,40,47,65.....ect.
- Le second groupe, est formé par les bassin 31,36,41,44,59,63,96...ect
- Le troisième groupe par les bassins 2,5,8,12,13,18,22,32,86.....ect
- Le quatrième groupe par les bassins 21.

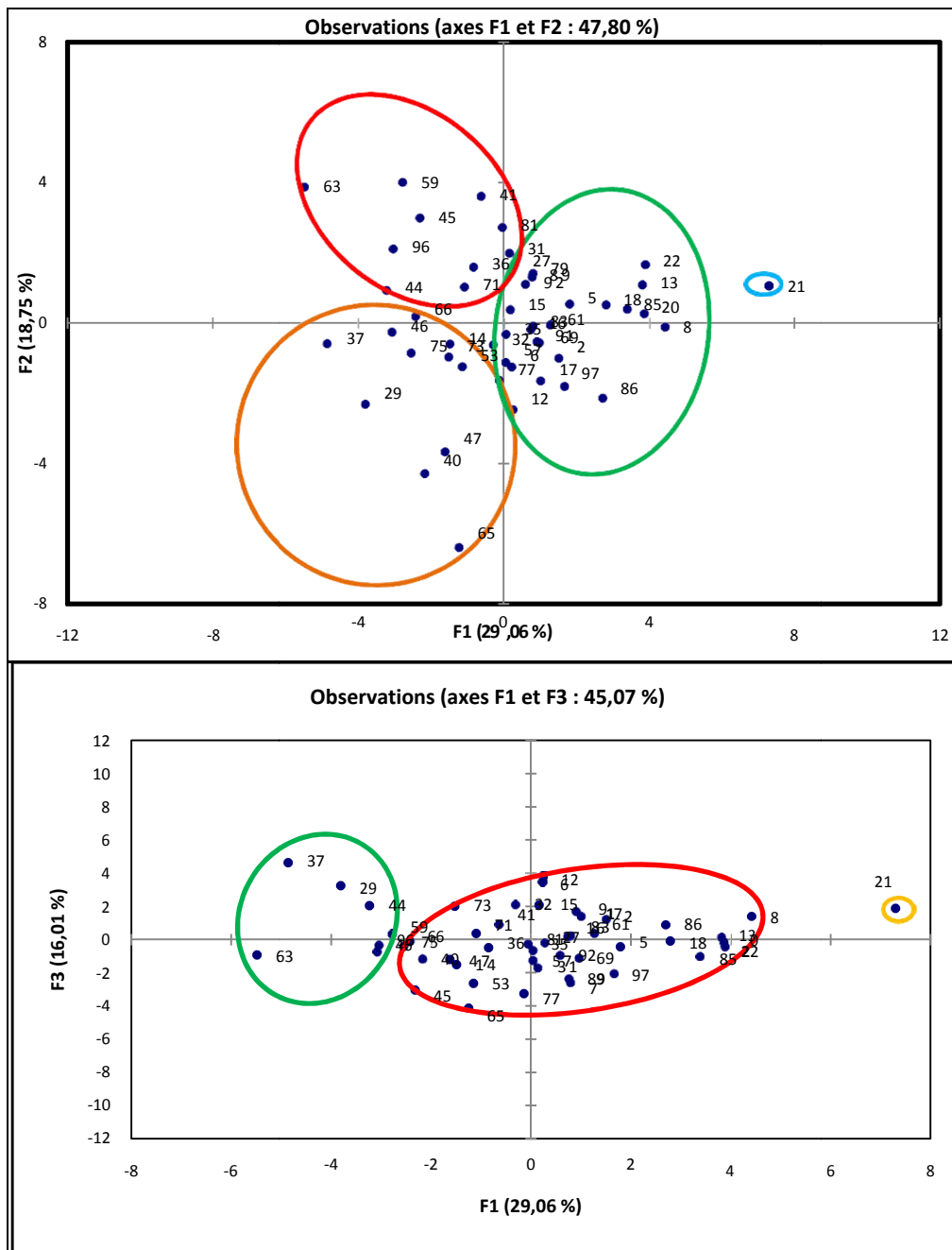


Figure IV.3 Projections des individus sur les plans factoriels (F1-F2) et (F1-F3)

La classification ascendante hiérarchique (CAH)

L'objectif de la CAH est de classer des individus ayant un comportement similaire suivant un ensemble de variables (variables mesurées directement sur le terrain, variables calculées, ou bien des variables synthétiques issues d'axes factoriels par exemples). (Jonathan, 2016)

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification itérative, dont le principe est simple:

- On commence par calculer la dissimilarité entre les N objets.
- Puis on regroupe les deux objets dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi une classe comprenant ces deux objets.
- On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les N-2 autres objets en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux objets ou classes d'objets dont le regroupement minimise le critère d'agrégation.
- On continue ainsi jusqu'à ce que tous les objets soient regroupés.

Ces regroupements successifs produisent un arbre binaire de classification (dendrogramme), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. Ce dendrogramme représente une hiérarchie de partitions. On peut alors choisir une partition en tronquant l'arbre à un niveau donné, le niveau dépendant soit des contraintes de l'utilisateur (l'utilisateur sait combien de classes il veut obtenir), soit de critères plus objectifs.

Application de la CAH

La méthode CAH a été appliquée à 49 individus (sous-bassins versants) et 21 variables (paramètres morphométriques) qui sont :

logarithme la surface (A); logarithme Périmètre (P); logarithme de longueur du cours d'eau principal (L_{cp}) ; logarithme Dénivelé spécifique (D_s); Indice de compacité de Gravelius (K_c); Coefficient d'allongement du bassin (K); Indice de pente globale (I_{pg}) ; Indice de pente moyenne (I_{pm}) ; La pente (S) ; La pente moyenne d'un cours d'eau (P_{moy}) ; Densité de drainage (D_d) ; Fréquence des thalwegs élémentaires (C_T); Coefficient de torrentialité (F_i); Sinuosité d'un cours d'eau (S_{in}) ; Le nombre de flux de Strahler (1^{er} , $2^{ème}$, $3^{ème}$, $4^{ème}$, $5^{ème}$ ordre) ; Rapport de confluence des cours d'eau R_c et Rapport des longueurs des cours d'eau R_l .

Résultats de la CAH

-Niveau 1 : pour une similarité de 89,97%

Le dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des paramètres morpho-métriques des sous bassin versant du bassin Chélif (figure IV.4) a montré qu'il existe 4 classes de sous bassins versants pour une similarité de 89,97%.

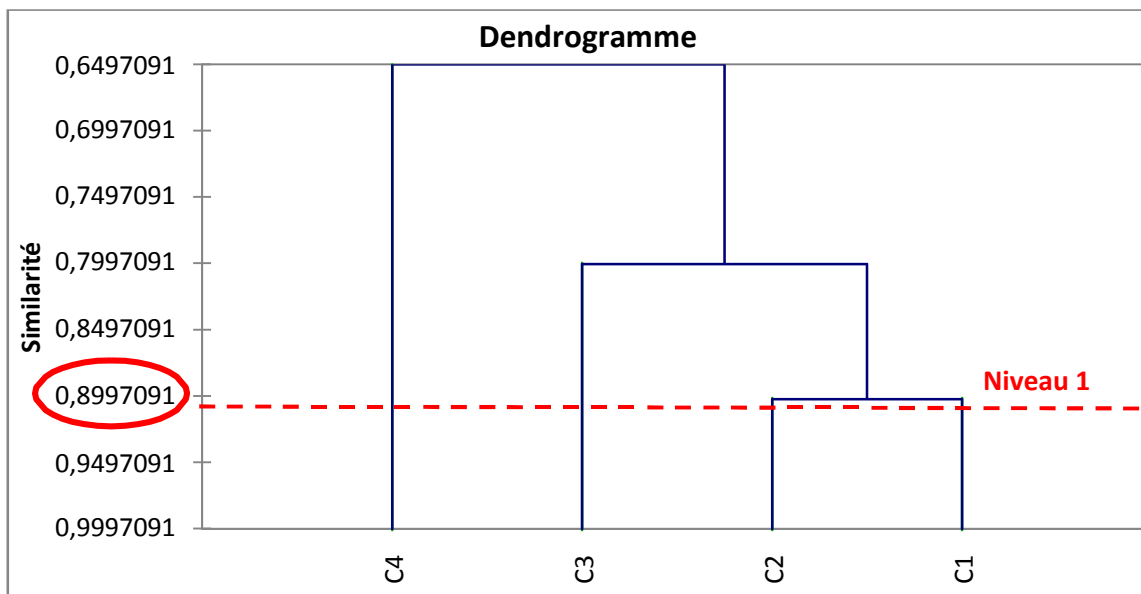


Figure IV.4 Dendrogramme général des classes

L'analyse du tableau IV.5 a montré que la classe 1 (C1) rassemble 24 SBV homogènes dont la variance intra classe égale à 352,968 ,la classe 2 (C2) contient 10 SBV similaires avec une variance intra-classe égale à 1211,2483 , pour une variance égale à 510,89 la classe 3 (C3) rassemble 14 SBV homogènes , Alors que la dernière classe (C4) contient un seul SBV isolé .

Tableau IV.5 Résultats de l'CAH par classe pour le niveau 1

Classe	1	2	3	4
Objets	24	10	14	1
Somme des poids	24	10	14	1
Variance intra-classe	352,9680	1211,2483	510,8908	0,0000
Distance minimale au barycentre	4,2993	8,6184	9,4955	0,0000
Distance moyenne au barycentre	15,8219	30,0807	19,5679	0,0000
Distance maximale au barycentre	43,0255	52,2772	43,7558	0,0000

Tableau IV.6 La composition des classes en SBV pour le niveau 1 de similarité

Classe	1		2	3	4
SBV	2	61	14	15	21
	5	73	29	27	
	6	75	40	31	
	8	79	47	36	
	12	83	53	37	
	13	85	57	41	
	16	86	65	44	
	17	89	69	45	
	18	91	77	59	
	20	92	97	63	
	22			66	
	32			71	
	35			81	
	46			96	

D'après l'analyse du Tableau (IV.7), il est apparu que la classe (C1) est représenté mieux par le bassin SBV 32 dont l'ordre de Strahler varie du 1^{er} à 4^{ème} ordre, ainsi qu' il est caractérisé par une densité de drainage d'environ 0,65.

L'objet central de la classe (C2) est le SBV 77, dans le quel l'ordre de Strahler varie de 1^{er} à 3^{ém} ordre, la densité de drainage est d'environ 0,34.

Pour (C3) le bassin représentant la classe est le SBV 96. ; d'où l'ordre de Strahler varie de 1 à 4 et la densité de drainage est égale à 0,54

Le sous bassin isolé SBV 21 est le représentant de sa classe (C4) par une variation faible de l'ordre de Strahler (l'absence de l'ordre 3,4,5) et une densité de drainage d'environ 0,46

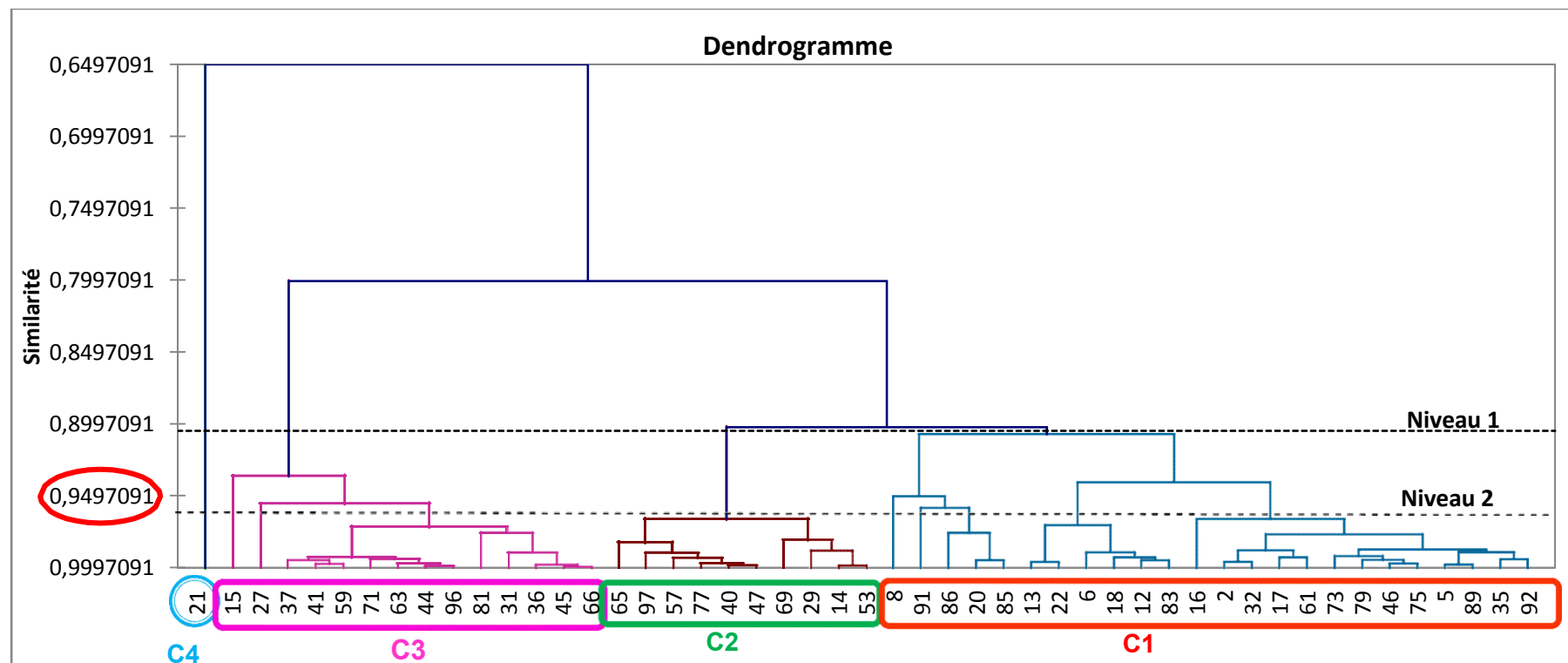


Figure IV.5 Dendrogramme représentatif des SBV et des classes selon le niveau 1 de similarité

Tableau IV.7 Les objets centraux pour chaque classe (C1, C2, C3, C4) pour le niveau 1

Classe	P	A	Lcp	Ds	STR1	STR2	STR3	STR4	STR5	Kc	sin	S	lpg	lpm	Fi	CT	Dd	K	Rc	RI	P _{moy}
1 (32)	2,17	2,67	3,59	1,68	27	7	3	1	0	1,90	1,24	1,62	2,22	13,24	0,08	0,05	0,65	46,22	3,06	3,47	0,23
2 (77)	2,41	2,85	4,34	1,06	19	3	1	0	0	2,68	1,32	0,46	0,43	8,76	0,03	0,01	0,34	91,72	4,67	4,73	0,05
3 (96)	2,42	3,20	4,58	0,64	69	17	6	1	0	1,85	1,30	0,90	0,11	5,64	0,06	0,03	0,54	43,48	4,30	7,06	0,02
4 (21)	2,02	2,54	4,67	2,42	14	2	0	0	0	1,57	1,21	4,94	14,34	29,44	0,05	0,02	0,46	31,34	7,00	27,25	0,03

A la base des résultats de la figure (IV.5) et le tableau 5IV.7) une carte des regroupements des SBV pour le niveau 1 de similarité a été fournie à l'aide du logiciel ILWIS

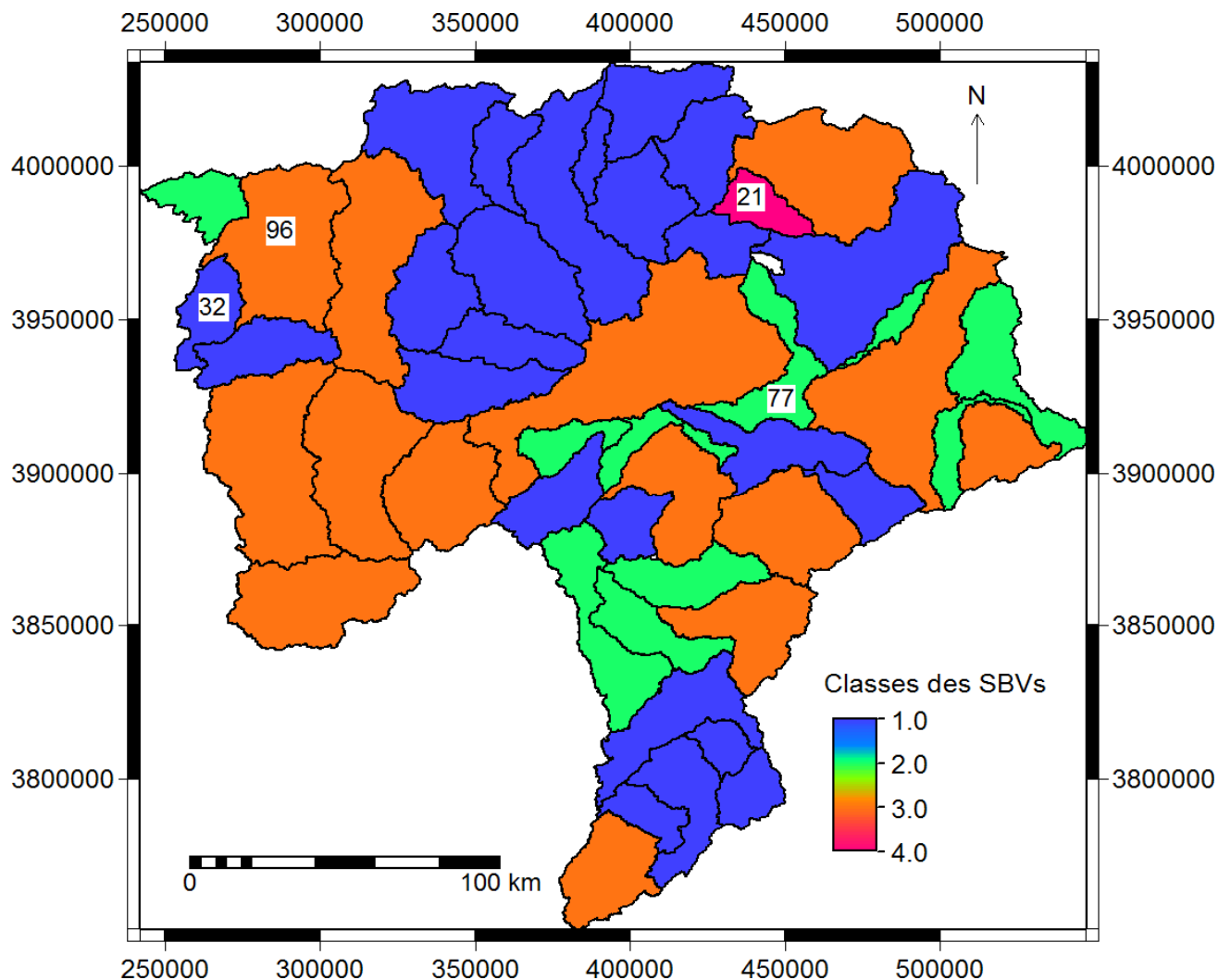


Figure IV.6 Carte de régionalisation des SBV du bassin Chélif avec les objets centraux selon le niveau 1 de similarité

-Niveau 2 : pour une similarité de 94,97%

Selon le dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des paramètres morphométriques des sous bassin versant du Bassin Chélif (figure IV.4) et l'analyse du tableau (IV.8) il existe 7 classes de sous bassin versant pour une similarité de 94,97% ; dont la classe 1 (C1) rassemble 13 SBV homogènes, la classe 2 (C2) contient 6 SBV similaires, la classe 3 (C3) rassemble 5 SBV homogènes, la classe 4 (C4) contient 10 SBV semblables, la classe 5 (C5) contient 13 SBV similaires alors que les dernières classes (C6) et (C7) contiennent un seul SBV isolé .

Tableau IV.8 La composition des classes en SBV pour le niveau 2 de similarité

Classe	1	2	3	4	5	6	7
SBV	2	6	8	14	27	15	21
	5	12	20	29	31		
	16	13	85	40	36		
	17	18	86	47	37		
	32	22	91	53	41		
	35	83		57	44		
	46			65	45		
	61			69	59		
	73			77	63		
	75			97	66		
	79				71		
	89				81		
	92				96		

Une carte des regroupements des SBV pour le niveau 2 a été fournie à l'aide du logiciel ILWIS

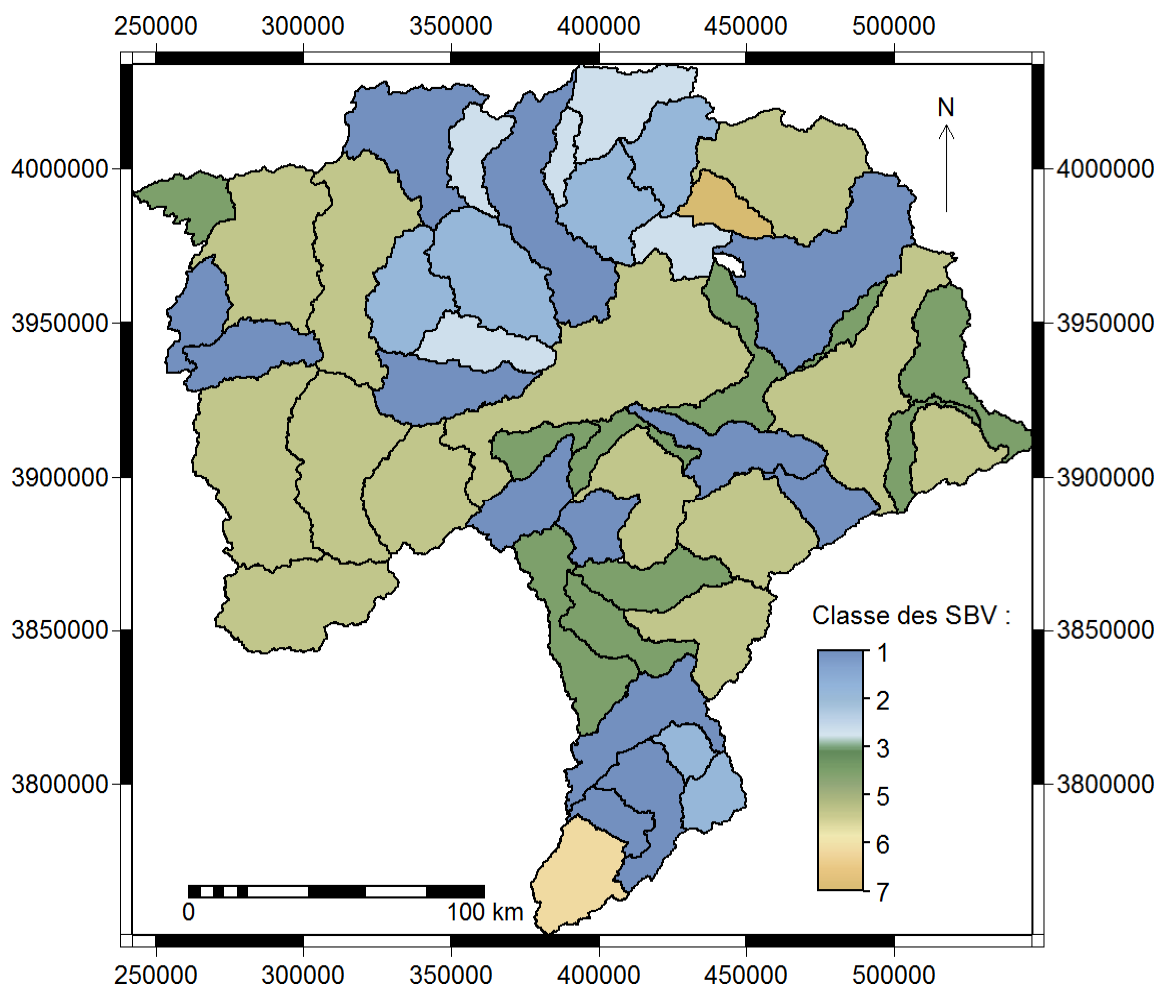


Figure IV.7 Carte de régionalisation des SBV du bassin Chéouf selon le niveau 2 de similarité

Conclusion

On a montré dans ce chapitre comment l'analyse des différents paramètres morphométriques (physiques, linéaires, et de Horton) par l'Analyse en composante principale (ACP) et la classification hiérarchique ascendante (CAH) pouvait permettre une régionalisation des sous bassins versants homogènes.

La construction du regroupement des sous bassins selon deux niveaux de similarité a permis d'avoir 4 classes pour une similarité de 89,97% et 7 classes pour une similarité de 94,97% , aussi elle nous a permis la définition des axes factoriels (vecteurs), responsables liés à la distribution spatiale et donc de mettre en évidence les affinités et les différences entre les groupes et en déduire les variables qui caractérisent au mieux chaque groupe.

CONCLUSION GENERALE

La difficulté majeure rencontrée dans la majorité des études hydrologiques des bassins versants en Algérie est le sous-équipement du bassin, la qualité des données et l'insuffisance d'informations temporelles et spatiales ce qui engendre un manque dans la planification, la gestion des risques naturels, la conservation des sols et de l'eau et la gestion durable des ressources naturelles des régions.

L'objectif principal de ce travail s'appuie sur la méthode de régionalisation au bassin Chélif. La méthodologie est basée essentiellement sur la construction du regroupement des sous bassins versants homogènes de point de vue morpho-métrique à partir du découpage du bassin en utilisant l'analyse des divers paramètres étant physiques, linéaires et paramètres de Horton.

La zone d'étude s'étale sur une superficie 43750 km^2 et présente un périmètre de 1906,5km. Elle est caractérisée par une diversité de relief et un climat méditerranéen semi aride, le bassin Chélif a été étudié à partir de son modèle numérique de terrain (MNT) à l'aide des systèmes d'informations géographiques présenté par le logiciel (ILWIS), pour l'extraction automatique des paramètres morpho-métriques du bassin ; l'évaluation de ces paramètres a permis le découpage de bassin Chélif en 49 sous bassins ainsi que la réalisation de nombreuses cartes thématiques et leurs interprétation.

Nous avons appliqués des méthodes alternatives de délimitation des groupes des sous bassins-versants, à savoir ; l'analyse en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH).

A la lueur de ces données, nous avons relevé quatre regroupements (Classes) de bassin dont la première (C1) rassemble 24 SBV homogènes, la deuxième classe (C2) contient 10 SBV similaires, la troisième classe (C3) rassemble 14 SBV homogènes, alors que la dernière classe (C4) contient un seul SBV isolé.

Enfin, il faut souligner qu'à cause de la présence d'un bassin isolé dans le quatrième groupe, il est recommandé de :

- supprimer le bassin isolé et refaire la même démarche de régionalisation.
- vérifier que le champ géologique est également d'accord avec la priorisation morphologique actuelle.

Donc malgré tous ses mérites et les remarquables contributions de régionalisation basée sur la similarité physico-graphique et hydrologique, il faudrait des démarches complémentaires s'appuyant sur la réalité du terrain et la dépendance de plusieurs variables

indépendantes, telles que les conditions climatiques, géologiques, pédologiques qui ont un impact direct sur la variabilité spatiale et temporelle.

Pour finir, les résultats présentés par notre étude constituent également une étape préparatoire vers une régionalisation fiable, si notre approche de régionalisation ne peut aujourd'hui répondre à tous les problèmes d'hydrologie quantitative, elle se situe, selon nous, parmi les méthodes les plus fiables et les plus facilement utilisables pour un large éventail de questions posées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENHATTAB, Karima, BOUVIER, Christophe, et MEDDI, Mohamed. *Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles dans le bassin hydrographique-Chélif, Algérie*. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 2014, vol. 27, no 3, p. 189-203.
- BOUKLI HACENE Cherifa . *Cours SIG: 1ère partie Les systèmes d'information géographique: Notions fondamentales* , 2014
- BOUROCHE, Jean-Marie et SAPORTA, Gilbert. *L'analyse des données*. 1980.
- CARTER, James R. *Digital representations of topographic surfaces*. Photogramm. Eng. Remote Sens., 1988, vol. 54, no 11, p. 1577-1580.
- CHEGGOUR, A. *Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des techniques SIG: Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc*. Haut Atlas, Maroc, Cady Ayyad, Marrakesh, 2008.
- DUNNE, Thomas et BLACK, Richard D. *An experimental investigation of runoff production in permeable soils*. Water Resources Research, 1970, vol. 6, no 2, p. 478-490.
- GOMER, D. *Écoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Traduction française (Paschen H. et Vogt H.)*. Collab. Agence Nationale Ressources Hydrauliques (Algérie) GTZ (Allemagne) dans le cadre du" Projet Pilote d'Aménagement Intégré du BV de l'Oued Mina"- 207p, 1994, vol. 25.
- GOUASMI Oussama , SILMI Mohamed. *Rapport Cartographie Numérique Digitalisation on carte Mostaganem* ,2017
- GUERRA, A. *Processus érosifs sur les pentes. Géomorphologie: actualisation de bases et concepts*, A.J.T. Guerra & S.B. Cunha (eds.), Bertrand Brésil, Rio de Janeiro, 1998.
- HAMED, Kamila BABA et BOUANANI, Abderrazak. *Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques: Cas du bassin versant de la Tafna.(Nord-ouest algérien)*. Geo-Eco-Trop, 2016, vol. 40, no 4, p. 277-286.
- HINGRAY, Benoît, PICOUET, Cécile, et MUSY, André. *Hydrologie: Une science pour l'ingénieur*. PPUR presses polytechniques, 2009.

- HORTON R. E. *Erosional development of streams and their drainage basins (hydrophysical approach to quantitative morphology)*. Geological Society of America Bulletin, 56, 275-390.,1945
- HUANG Z. & LEES B. *Representing and reducing error in natural resource classification using model combination*.Int. J. Geog. Inf. Sci., 19(5), 603-621, 2005.
- IFABIYI Ifatokun Paul , ENIOLORUNDA, NATHANIEL Bayode. *Watershed Characteristics and Their Implication for Hydrologic Response in the Upper Sokoto Basin, Nigeria*, Canadian Center of Science and Education ,Department of Geography and Environmental Management, Faculty of Business and Social Sciences, University of Ilorin, P.M.B. 1515 Ilorin, Kwara State, Nigeria. Journal of Geography and Geology; Vol. 4, No. 2; 2012 . ISSN 1916-9779 E-ISSN 1916-9787 doi:10.5539/jgg.v4n2p147 URL: <http://dx.doi.org/10.5539/jgg.v4n2p147>
- JONATHAN LENOIR.*Classification Ascendante Hiérarchique : application a des données phytoécologiques*.TD Master EAB , Théorie et application sous R à des données de présence/absence issues de relevés floristiques forestiers,page 3 ,2016
- KELLOUCHE ABDELHAKIM. *Pilotage de MapInfo par Delphi*, 2009
- LABORDE, J.P. *Eléments d'hydrologie de surface*. Ecole polytechnique de l'université de Nice-Sophia Antipolis,1645 Routes de Lucioles-06410 BIOT-France, 188p, 2009..
- MAGUIRE, D.J., GOODCHILD M.F. & RHIND D.W. *Geographical Information Systems*. Wiley, New York. Volume 1 , Volume 2., 1991
- Manuel d'utilisation ILWIS 3.31 Academic , (2007)
- MEHAIGUENE, MADJID. *Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez*. 2005. Thèse de doctorat. MEDDI Mohamed.
- MISHRA, Abha, DUBEY, D. P., et TIWARI, R. N. *Morphometric analysis of Tons basin, Rewa District, Madhya Pradesh, based on watershed approach*. Earth Science India, 2011, vol. 4, no 3, p. 171-180.
- MORELL, Marc, THÉBÉ, Bernard, L'HÔTE, Yann, et al. *Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base*. 1999.
- MUSY, ANDRÉ. *Cours d'hydrologie générale*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.
- OKSANEN J. & SARJAKOSKI T. *Error propagation of DEM-based surface derivatives*. Comput. Geosci., 31(8), 2005

- OUÉDRAOGO, Mohamar Moussa, DEGRÉ, Aurore, et DEBOUCHE, Charles. Synthèse bibliographique: *le modèle numérique de terrain de haute résolution, ses erreurs et leur propagation*. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 2014, vol. 18, no 3, p. 407.
- PANDE, Chaitanya B. et MOHARIR, Kanak. *GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India*. Applied Water Science, 2017, vol. 7, no 2, p. 861-871.
- PEUCKER T.K., FOWLER R.J., LITTLE J.J. & MARK D.M, .*The triangulated irregular network*. In: *Proceedings of the Digital Terrain Models Symposium*, St. Louis, Missouri. Bethesda, MD, USA: American Society of Photogrammetry/American Congress on Surveying and Mapping, 516-540, 1978
- SNYDER, F. F. *Synthetic unit hydrographs*. Trans. American. Geophysical.Union,19, 447-454, 1938.
- STRAHLER AN . *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans Am Geophys Union 38:913–920, 1957
- STRAHLER, A.N. *Quantitative geomorphology of the Drainage basin and Channels networks*. In: Ven Te Chow (ed.) Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book, New York, 225p, 1964
- TCHIOFFO KODJO GAEL . *Conception et réalisation d'une application de webmapping d'analyse territoriale sur des SIG et bases de données open source : cas du territoire camerounais*, ESIG PARIS - Complexe Universitaire SIANTOU Yaoundé - Master en Informatique Approfondie à la Gestion 2008, NSOLLO Victor Désiré ,2008
- TEBOURBI RIADH . *Cours SIG*,2006.
- TOUAÏBIA, B. *Manuel pratique d'hydrologie*. Edition Madani, Blida, Algérie, 2004.

SITES WEBOGRAPHIQUES

<https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/initiation-au-systeme-d-information-geographique/definitions-des-s-i-g>



Annexes

ANNEXE I : Identification des exutoires du bassin Chéloff

Id	X (m)	Y (m)	Id	X (m)	Y (m)
1	482291	3953490	51	421481	3812430
2	432521	3916230	52	395111	3788250
3	432521	3916230	53	347411	3983820
4	391001	3912630	54	303581	3982500
5	347411	3983820	55	508991	3924150
6	272321	3966030	56	433211	3845280
7	294911	3870420	57	329771	3972270
8	437531	3807600	58	451541	3937530
9	384281	4011330	59	431471	3841140
10	349061	4003890	60	463031	3933270
11	396461	4002330	61	400061	3915810
12	431441	3984000	62	404561	3798090
13	480221	3978930	63	428831	3819450
14	279281	3951240	64	370241	4010820
15	404561	3798090	65	331871	3996300
16	415091	4014300	66	501941	3933450
17	433961	3998670	67	297101	3924930
18	431441	3984000	68	428201	3904170
19	337511	3940920	69	434141	3907890
20	510341	3922290	70	434141	3907890
21	510341	3922290	71	486851	3946200
22	413441	3894000	72	421481	3812430
23	439331	3864120	73	330701	3909570
24	336971	3939270	74	428831	3819450
25	336971	3939270	75	450221	3917340
26	459491	3899820	76	486851	3946200
27	437531	3807600	77	482291	3953490
28	395111	3788250	78	431471	3841140
29	501941	3933450	79	297101	3924930
30	337511	3940920	80	433211	3845280
31	329771	3972270	81	284471	3931860
32	272321	3966030	82	279281	3951240
33	428201	3904170	83	439331	3864120
34	409601	3841230	84	443501	3869730
35	396461	4002330	85	276461	3983310
36	451541	3937530	86	459491	3899820
37	400061	3915810	87	460421	3903990
38	409601	3841230	88	450221	3917340
39	460421	3903990	89	463031	3933270
40	393131	4012620	90	480221	3978930
41	284471	3931860	91	433331	4009170
42	433961	3998670	92	415091	4014300
43	508991	3924150	93	393131	4012620
44	413441	3894000	94	384281	4011330
45	433331	4009170	95	370241	4010820
46	294911	3870420	96	349061	4003890
47	510341	3922290	97	331871	3996300
48	391001	3912630	98	303581	3982500
49	330701	3909570	99	276461	3983310
50	443501	3869730			

ANNEXE II : Les paramètres morpho-métriques des SBV (partie 01)

SBV	P	A	Lcp	Ds	STR1	STR2	STR3	STR4	STR5	Kc	sin	S	lpg	lpm	Fi	C _T	Dd	K	R _c	R _i	P _{moy}
2	117,04	429,69	5931,7	70,02	18	4	2	0	0	1,58	1,29	1,40	3,38	10,78	0,06	0,03	0,504	31,88	3,25	1,94	0,09
5	185,27	817,17	46409,6	83,48	28	5	2	0	0	1,81	1,30	2,74	2,92	11,14	0,04	0,02	0,406	42,00	4,05	8,31	0,02
6	105,09	364,48	247,3	43,44	23	6	2	1	0	1,54	1,24	1,22	2,28	14,14	0,09	0,06	0,697	30,30	2,94	4,78	2,51
8	119,23	434,82	2947,6	138,59	14	3	1	0	0	1,60	1,29	4,60	6,65	23,97	0,04	0,02	0,396	32,69	3,83	2,75	0,41
12	86,556	234,41	20586	36,73	21	4	2	0	0	1,58	1,24	1,19	2,40	13,48	0,12	0,09	0,798	31,96	3,63	4,97	0,02
13	157,87	795,81	45489,6	100,67	27	3	1	0	0	1,57	1,27	4,04	3,57	23,17	0,04	0,01	0,377	31,32	6,00	7,09	0,03
14	270,88	932,78	187,3	13,31	30	7	2	1	0	2,48	1,28	0,53	0,44	3,48	0,04	0,02	0,435	78,66	3,26	6,68	2,36
15	170,81	772,93	42,4	65,05	38	7	2	1	0	1,72	1,23	1,40	2,34	7,56	0,06	0,03	0,527	37,75	3,64	7,29	13,28
16	156,74	624,43	32589,3	23,85	32	6	1	0	0	1,76	1,24	1,62	0,95	7,96	0,06	0,04	0,593	39,34	5,67	13,12	0,02
17	119,94	323,45	12159,2	37,75	20	3	1	0	0	1,87	1,22	1,44	2,10	11,41	0,07	0,05	0,634	44,48	4,83	3,62	0,05
18	158,89	776,77	27625,7	104,99	21	5	2	0	0	1,60	1,35	3,23	3,77	16,81	0,04	0,01	0,344	32,50	3,35	7,06	0,04
20	147,54	555,81	42964	174,57	11	3	1	0	0	1,75	1,28	2,88	7,40	14,21	0,03	0,01	0,264	39,16	3,33	9,41	0,02
21	103,74	343,36	46381	265,68	14	2	0	0	0	1,57	1,21	4,94	14,34	29,44	0,05	0,02	0,462	31,34	7,00	27,25	0,03
22	190,07	1199,46	49470,5	141,65	22	3	1	0	0	1,54	1,25	3,31	4,09	22,43	0,02	0,01	0,282	30,12	5,17	6,90	0,04
27	190,45	1135,43	73580,6	21,28	47	13	2	0	0	1,58	1,23	1,66	0,63	7,88	0,05	0,03	0,479	31,94	5,06	18,81	0,01
29	145,06	339,71	28024,6	10,79	24	12	8	0	0	2,20	1,26	0,53	0,59	3,82	0,13	0,11	0,821	61,94	1,75	2,39	0,01
31	297,25	1689,47	25303,1	72,06	60	4	2	1	0	2,02	1,28	2,34	1,75	6,50	0,04	0,02	0,421	52,30	6,33	3,22	0,03
32	147,21	468,85	3870,7	48,08	27	7	3	1	0	1,90	1,24	1,62	2,22	13,24	0,08	0,05	0,648	46,22	3,06	3,47	0,23
35	202,74	710,86	38378	37,87	35	6	2	0	0	2,13	1,27	1,33	1,42	7,45	0,06	0,03	0,529	57,82	4,42	9,90	0,02
36	231,15	1311,13	33227,4	53,77	48	11	3	1	0	1,79	1,30	1,01	1,48	5,41	0,05	0,02	0,429	40,75	3,68	4,49	0,02
37	144,4	590,43	23986,5	4,06	55	17	6	2	0	1,66	1,33	0,90	0,17	11,27	0,14	0,14	1,056	35,32	3,02	4,09	0,03
40	190,66	283,8	37308,6	7,89	20	4	1	0	0	3,17	1,30	0,66	0,47	5,81	0,09	0,08	0,869	128,09	4,50	8,15	0,01
41	234,81	1582,66	61207,1	113,29	59	16	4	2	0	1,65	1,23	2,86	2,85	9,86	0,05	0,02	0,447	34,84	3,23	6,31	0,02
44	206,93	954,54	31293,7	20,68	74	16	4	1	0	1,88	1,25	0,79	0,67	7,56	0,10	0,08	0,837	44,86	4,21	5,65	0,02
45	466,59	3009,81	46838,4	39,37	78	17	3	1	0	2,38	1,32	0,56	0,72	5,01	0,03	0,01	0,367	72,33	4,42	10,52	0,02
46	262,26	907,72	28470,5	6,11	52	12	3	1	0	2,44	1,29	0,73	0,20	3,54	0,07	0,05	0,669	75,77	3,78	7,64	0,02
47	189,55	306,95	58785,5	4,93	19	4	1	0	0	3,03	1,27	0,67	0,28	8,11	0,08	0,06	0,814	117,05	4,38	14,23	0,01
53	264,12	843,4	54047,9	17,11	34	7	2	0	0	2,55	1,40	0,65	0,59	5,99	0,05	0,03	0,507	82,71	4,18	5,72	0,01
57	177,83	576,17	30565,8	15,37	15	5	2	0	0	2,07	1,29	0,52	0,64	5,44	0,04	0,01	0,356	54,89	2,75	5,07	0,01

ANNEXE II : Les paramètres morpho-métriques des SBV (Partie 02)

SBV	P	A	Lcp	Ds	STR1	STR2	STR3	STR4	STR5	Kc	sin	S	lpg	lpm	Fi	CT	Dd	K	Rc	Rl	Pmoy
59	293,64	1935,28	74638	21,76	80	23	5	2	0	1,87	1,23	2,44	0,49	7,95	0,06	0,03	0,477	44,55	3,53	6,33	0,01
61	163,73	640,7	264,9	62,74	20	4	2	1	0	1,81	1,30	2,22	2,48	10,13	0,04	0,02	0,375	41,84	3,00	7,03	2,77
63	369,18	2075,58	6214,5	9,61	98	20	5	2	1	2,27	1,27	0,48	0,21	4,44	0,06	0,03	0,557	65,67	3,35	4,77	0,12
65	130,01	126,3	4520,4	0,65	4	1	0	0	0	3,24	1,50	0,07	0,06	4,08	0,04	0,02	0,461	133,83	4,00	2,19	0,06
66	212,08	942,81	33192,7	12,10	52	12	3	1	0	1,93	1,34	0,46	0,39	3,47	0,07	0,05	0,632	47,71	3,78	4,78	0,01
69	166,67	639,19	26196,2	24,73	15	5	1	0	0	1,85	1,27	0,53	0,98	7,14	0,03	0,01	0,364	43,46	4,00	8,45	0,02
71	181,4	1120,74	20528,8	10,65	50	8	3	1	0	1,52	1,26	0,67	0,32	7,51	0,06	0,03	0,495	29,36	3,97	3,54	0,03
73	143,01	465,09	25964,3	16,76	30	10	2	1	0	1,86	1,25	0,98	0,78	7,25	0,09	0,07	0,746	43,97	3,33	5,98	0,02
75	243,61	773,85	16076,2	7,71	50	7	2	1	0	2,45	1,27	0,85	0,28	5,16	0,08	0,05	0,701	76,69	4,21	3,09	0,04
77	255,35	710,88	21934,9	11,36	19	3	1	0	0	2,68	1,32	0,46	0,43	8,76	0,03	0,01	0,343	91,72	4,67	4,73	0,05
79	314,88	1941,46	43139,2	55,73	35	5	2	0	0	2,00	1,30	1,69	1,26	7,93	0,02	0,01	0,256	51,07	4,75	4,05	0,03
81	243,52	1600,09	62604,5	60,97	41	14	5	1	0	1,70	1,30	2,52	1,52	12,67	0,04	0,01	0,372	37,06	3,58	8,27	0,02
83	163,89	698,96	6926,9	38,95	23	6	2	1	0	1,74	1,34	1,34	1,47	18,03	0,05	0,02	0,440	38,43	2,94	3,79	0,19
85	179,74	802,19	26212,6	171,32	14	4	1	0	0	1,78	1,35	2,10	6,05	17,09	0,02	0,01	0,245	40,27	3,75	8,08	0,05
86	99,012	220,8	9142	56,17	8	2	1	0	0	1,87	1,32	1,96	3,78	20,16	0,05	0,02	0,434	44,40	3,00	2,78	0,10
89	302,67	1496,39	89498,3	27,58	42	7	2	0	0	2,19	1,29	2,50	0,71	12,93	0,03	0,01	0,325	61,22	4,75	12,74	0,02
91	133,16	431,81	19781,4	76,07	16	8	6	0	0	1,79	1,32	2,15	3,66	18,37	0,07	0,03	0,405	41,06	1,67	0,00	0,05
92	249,83	1175,78	1828,2	99,20	27	6	3	1	0	2,04	1,29	1,95	2,89	7,64	0,03	0,01	0,309	53,08	3,17	5,82	0,48
96	263,1	1592,15	37642,5	4,40	69	17	6	1	0	1,85	1,30	0,90	0,11	5,64	0,06	0,03	0,535	43,48	4,30	7,06	0,02
97	141,78	412,17	38091,7	16,42	7	2	1	0	0	1,96	1,44	2,07	0,81	8,20	0,02	0,01	0,262	48,77	2,75	6,94	0,01

P: Périmètre (km)

A: Surface (Km2)

Lcp:longueur du cours d'eau principal(m)

Ds:dénivelé spécifique

STR1 : Strahler d'ordre 1

STR2:Strahler d'ordre 2

STR3:Strahler d'ordre 3

STR4:Strahler d'ordre 4

STR5:Strahler d'ordre 5

Kc:Indice de compacité de Gravelius

sin:Sinuosité d'un cours d'eau

S:slope (la pente) %

lpg:Indice de pente globale

lpm:indice de pente moyenne

F: densité hydrographique

CT:fréquence des thalwegs élémentaires

Dd:densité de drainage

K:coefficient d'allongement du bassin

RC:rapport de confluence

RI:rapport des longueurs

Pmoy:pente moyenne du cours d'eau