

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi ousou
Faculté de génie de la construction
Département génie civil



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme
De master en génie civil
Option : Construction hydraulique et aménagement

Thème

**Cartographie des risques d'érosion et évaluation
du transport solide du bassin versant haut et
moyen Cheliff**

Dirigé par :

Melle. Benkaci Souhila

Présidé par :

Mr. Khettaoui Mohamed

Examiné par :

Mme. Bouzelha Karima

Réalisé par :

Abir Dehbia

Oumellal Aziz

Promotion 2014/2015

Remerciements

Au terme de ce travail, Nous sommes reconnaissant à notre encadreur madame « BENKACI SOUHILA » et nous lui offrons un grand respect et l'appréciation, et nous tenons à la remercier pour son aide, sa disponibilité de tous les instants pour ses orientations et ses précieux conseils qu'elle nous a prodigués tout du long de notre travail de recherche.

Nos remerciements anticipés vont également aux membres du jury :

Monsieur le président « Khettaoui Mohamed » qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de thèse

Madame « Bouzelha Karima » pour nous avoir fait l'honneur de prendre part de notre jury de thèse.

A la fin, on présente nos remerciements à tous les personnes qui ont rendu possible la présente étude qui ont contribué à son élaboration sous quelque forme que ce soit.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mon cher père

Ma chère mère

Mes frères et sœurs

Toute ma famille

Tous mes amis

Tous ceux qui me connaissent

Aziz

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mon cher père

Ma chère mère

Mes grands parents

Mes frères

Toute ma famille

Tous mes amis

Tous ceux qui me connaissent

Dehbia

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE 1 SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. L'EROSION.....	03
1.1.1. Définition.....	03
1.1.2. Les facteurs de l'érosion.....	03
1.1.2.1. Le climat.....	03
1.1.2.2. Le relief (morphologie du terrain).....	03
1.1.2.3. Le sol (la physique et la chimie de la roche).....	03
1.1.2.4. L'absence ou non de la couverture végétale et la nature des végétaux.....	03
1.1.2.5. L'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanisation).....	03
1.1.3. Les formes de l'érosion.....	04
1.1.3.1. Les ravinements.....	04
A/. Erosion en nappe.....	04
B/. Erosion en rigoles (rills).....	04
C/. Erosion en ravines (gullies)	05
1.1.3.2. Les mouvements de masse.....	05
A/. Les affaissements.....	05
B/. Glissement et reptation	05
B1. Glissement	05
B2. Reptation.....	05
1.1.4. Conséquences de l'érosion hydrique.....	05
1.1.4.1. Conséquences de l'érosion hydrique en zones érodées.....	05
1.1.4.2. Conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts.....	06
1.1.5. Quantification de l'érosion.....	06
1.1.5.1. Formule de Henin "1950".....	06
1.1.5.2. Formule universelle de Wischmeier	07
1.1.5.3. Formule de Gavrilovic	07
1.1.5.4. Formule de L'A.N.R.....	07
1.1.5.5. Formule de Tixeront.....	08
1.1.5.6. Formule de Fournier.....	08
1.1.5.7. Formule de poliakov.....	08
1.2. LE TRANSPORT SOLIDE.....	09
1.2.1. Définition.....	09
1.2.2. Les modes du transport solide.....	09
1.3. Envasement des barrages.....	10
1.3.1. Définition.....	10
1.3.2. Problèmes liés à l'envasement.....	10

CHAPITRE 2

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ORGANISATION ADMINISTRATIVE.....	11
2.2. LE RELIEF.....	16
2.3. CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES.....	17
2.3.1. Caractéristiques géométriques.....	17
2.3.1.1. Superficie et périmètre du bassin haut et moyen Cheliff.....	17
2.3.2. Caractéristiques de forme.....	18
2.3.2.1. Indice de compacité de Gravelius	18
2.3.2.2. Topographie.....	19
A/. Courbe hypsométrique.....	19
2.3.2.3. Rectangle équivalent.....	20
2.3.2.4. Indices de pente.....	22
A/. Indice de pente de roche.....	22
B/. Indice de pente global.....	23
C/. Indice de pente moyenne.....	23
D/. Dénivelée spécifique.....	24
2.4. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	25
2.5. GEOLOGIE DU SITE.....	26
2.5.1. Stratigraphie.....	28
2.5.1.1. Jurassique.....	28
2.5.1.2. Crétacé.....	28
2.5.1.3. Quaternaire.....	28
2.5.1.4. Tertiaire.....	28
2.5.1.5. Trias.....	28
2.5.1.6. Paléozoïque.....	28
2.6. CLIMAT DE LA REGION D'ETUDE.....	31
2.6.1. Réseau pluviométrique.....	31
2.6.2. Précipitation.....	33
2.6.3. L'évapotranspiration.....	34

CHAPITRE 3

REALISATION DE LA CARTE DE SENSIBILITE A L'EROSION DU HAUT ET MOYEN CHELIFF

3.1. METHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	35
3.2. MATERIELS.....	36
3.2.1. Logiciels utilisés.....	36
3.2.1.1. MapInfo professionnel 10.5.....	36
3.2.1.2. Google earth.....	36
3.2.1.3. Arcgis 10.2.1.....	36
3.2.1.4. Global mapper v15.2.....	36
3.2.2. Données cartographiques.....	37

3.2.3. Données images.....	37
3.2.4. Modèle numérique de terrain (MNT).....	38
3.3. ÉLABORATION DES DIFFERENTES CARTES.....	38
3.3.1. La carte des pentes.....	39
3.3.2. La carte d'exposition au vent.....	41
3.3.3. La carte des isohyètes.....	43
3.3.4. Carte lithologique.....	45
3.3.5. Carte d'occupation des sols.....	47
3.3.5.1. Matériels et méthodes.....	47
A/. La télédétection.....	47
B/. Indice de végétation normalisé NDVI.....	47
C/. Landsat-8.....	47
3.3.5.2. Réalisation de la carte d'occupation des sols.....	48
3.4. ELABORATION DE LA CARTE DE SENSIBILITE A L'EROSION.....	50
3.5. INTERPRETATIONS DES RESULTATS.....	52

CHAPITRE 4

EVALUATION DU TRANSPORT SOLIDE SUR LE BASSIN HAUT ET MOYEN CHELIFF

4.1. PRESENTATION DES BARRAGES DE LA REGION.....	54
4.1.1. Les barrage en exploitation sur le haut et moyen Cheliff.....	54
4.1.2. Les barrages les plus envasées de la région d'étude.....	55
4.1.2.1. Barrage GHRIB.....	56
4.1.2.2. Barrage Oued Fodda.....	58
4.2. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE ET DE L'EROSION SPECIFIQUE SUR LE HAUT ET MOYEN CHELIFF.....	60
4.2.1. Identification des zones productrices de matières solides.....	60
4.2.2. Relation entre le débit solide en suspension et le débit liquide.....	61
4.2.3. Estimation de l'apport solide et l'érosion spécifique.....	63
4.3. ELABORATION DE LA CARTE THEMATIQUE DU TRANSPORT SOLIDE.....	64
4.3.1. Analyse de la carte.....	65

CHAPITRE 5

PERSPECTIVES D'AMENAGEMENT

5.1. AU NIVEAU DES VERSANTS.....	66
5.1.1. Le reboisement.....	66
5.1.1.1. Reboisement forestier.....	66
5.1.1.2. Reboisement arboricole.....	67
5.1.2. Les murettes.....	67
5.1.3. Les banquettes.....	69
5.1.4. Les fossés.....	70
5.1.5. Les bandes d'arrêt enherbées.....	71
5.1.6. Les terrasses.....	72

5.2. AU NIVEAU DES OUEDS.....	73
5.2.1. La correction des ravins.....	73
5.2.2. La protection des berges.....	73
5.2.3. La correction torrentielle.....	74
5.2.3.1. Les seuils en gabions.....	74
5.2.3.2. Les seuils en pierres sèches.....	75
5.2.3.3. Les seuils végétaux.....	76
CONCLUSION GENERALE.....	77

ANNEXES

ANNEXE 1 : MANUEL ARCGIS.....	79
1. ORGANISATION DES DONNEES.....	79
2. LE MODULE ARCMAP.....	79
2.1. Interface d’ArcMap.....	79
3. LES 2 MODULES COMPLEMENTAIRES D’ARCMAP.....	82
3.1. Arc catalogue.....	82
3.1.1. Interface d’Arc catalogue.....	82
3.2. Arc toolbox.....	82
ANNEXE 2 : ETAPES D’ELABORATION DE LA CARTE DE SENSIBILITE A L’EROSION	83

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Erosion en nappe.....	04
Figure 1.2 : les modes du transport solide.....	09
Figure 1.3 : Dépôt de vase.....	10
Figure 2.1 : Délimitation du bassin haut et moyen Cheliff.....	11
Figure 2.2 : Image satellitaire du haut et moyen Cheliff.....	12
Figure 2.3 : Découpage administratif.....	13
Figure 2.4 : sous bassins versant du haut et moyen Cheliff.....	15
Figure 2.5 : carte altimétrique du haut et moyen Cheliff.....	16
Figure 2.6 : DEM Haut et moyen Cheliff 3D.....	17
Figure 2.7 : Courbe hypsométrique.....	20
Figure 2.8 : rectangle équivalent du bassin versant haut et moyen Cheliff	22
Figure 2.9 : Réseau hydrographique (haut et moyen Cheliff).....	26
Figure 2.10 : Coupe structurale nord-sud Dahra-Cheliff- Ouarsenis.....	27
Figure 2.11 : Colonne lithostratigraphique dans le bassin du Cheliff	29
Figure 2.12 : Carte géologique du haut et moyen Cheliff.....	30
Figure 2.13 : carte stations pluviométrique du haut et moyen Cheliff.....	32
Figure 2.14 : Carte des précipitations du haut et moyen Cheliff.....	33
Figure 2.15 : Carte de l'évapotranspiration du haut et moyen Cheliff.....	34
Figure 3.1 : Diagramme méthodologique de la réalisation de la carte de sensibilité des terrains à l'érosion fondé sur un système d'information géographique.....	35
Figure 3.2 : Affichage des deux bandes spectrales de Landsat 8 des deux régions Médéa et Cheliff.....	37
Figure 3.3 : MNT de la région d'étude.....	38
Figure 3.4. Carte des pentes du haut et moyen Cheliff.....	40
Figure 3.5 : Carte d'exposition au vent du haut et moyen Cheliff.....	42
Figure 3.6: Carte des isohyètes du haut et moyen Cheliff.....	44
Figure 3.7: Carte schématique des formations lithologiques du bassin haut et moyen Cheliff.....	46
Figure 3.8: Combinaison des deux bandes spectrales des régions Médéa et Cheliff et Calcul du NDVI sous Arcmap.....	48

Figure 3.9 : Carte d'occupation des sols du bassin haut et moyen Cheliff.....	49
Figure 3.10 : Modèle de superposition des cartes.....	50
Figure 3.11 : Carte de sensibilité à l'érosion du bassin Haut et moyen Cheliff.....	51
Figure 4.1 : Carte de répartition des barrages sur le haut et moyen Cheliff.....	55
Figure 4.2 : situation géographique des barrages Ghrib et oued Fodda.....	55
Figure 4.3 : Image aérienne du barrage Ghrib.....	56
Figure 4.4 : Image du barrage Ghrib.....	57
Figure 4.5 : Etat mensuel des réserves du barrage Ghrib.....	57
Figure 4.6 : Image aérienne du barrage Oued Fodda.....	58
Figure 4.7 : Image du barrage Oued Fodda.....	59
Figure 4.8 : Etat mensuel des réserves du barrage Oued Fodda.....	59
Figure 4.9 : Identification des zones vulnérables au transport solide dans le haut et Moyen Cheliff.....	60
Figure 4.10 : Corrélation entre l'apport solide et le débit liquide.....	61
Figure 4.11 : Carte thématique du transport solide sur le haut et moyen Cheliff.....	64
Figure 5.1 : Reboisement.....	66
Figure 5.2 : Murettes.....	68
Figure 5.3 : Une vue de près sur une murette.....	68
Figure 5.4 : Des coupes transversales de Rideaux et de banquettes	69
Figure 5.5 : Plantations fruitières et forestières sur banquettes.....	70
Figure 5.6: Fossés.....	71
Figure 5.7 : terrasses par gradin soutenu par des talus.....	72
Figure 5.8 : protection des berges par des pierres.....	73
Figure 5.9 : seuil en gabions.....	75
Figure 5.10 : seuil en pierre sèche.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : codes des sous bassin versants du haut et moyen Cheliff.....	14
Tableau 2.2 : Superficie et périmètre du bassin haut et moyen Cheliff.....	18
Tableau 2.3 : Répartition altimétrique du bassin du haut et moyen Cheliff.....	19
Tableau 2.4 : Pourcentage de surface et écartement entre les courbes de niveau.....	21
Tableau 2.5 : Indice de compacité et longueur du rectangle équivalent.....	22
Tableau 2.6: Variation de l'indice de pente global.....	23
Tableau 2.7 : Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.....	24
Tableau 2.8: Caractéristiques morphométriques du bassin haut et moyen Cheliff.....	25
Tableau 2.9: Longueur des oueds permanents et temporaires par bassin versant.....	25
Tableau 3.1: Classes des pentes avec leurs surfaces et leurs indices des poids.....	39
Tableau 3.2 : Les classes d'exposition et leurs indices des poids.....	41
Tableau 3.3. Pluviométrie interannuelle du haut et moyen Cheliff.....	43
Tableau 3.4. Les classes de pluviosité et leurs indices des poids.....	44
Tableau 3.5. Type de roche et leurs indices des poids.....	45
Tableau 3.6. Les bandes spectrales de l'instrument OLI 8.....	47
Tableau 3.7. Bandes spectrales de l'instrument TIRS 8.....	48
Tableau 3.8. Occupation des sols et leurs indices des poids.....	48
Tableau 3.9 : Classes de sensibilité à l'érosion et les surfaces exposées.....	52
Tableau 4.1 : Ressources en eau superficielle (barrage en exploitation haut et moyen Cheliff).....	54
Tableau 4.2 : Les caractéristiques du barrage Ghrib et celles de son bassin versant.....	56
Tableau 4.3 : Les caractéristiques du barrage Oued Fodda et de son bassin versant.....	58
Tableau 4.4 : Valeur du coefficient de corrélation R^2	62
Tableau 4.5 : Relation débit solide et débit liquide pour chaque station.....	62
Tableau 4.6 : Apport solide et Erosion spécifique dans les différentes stations.....	63

LISTE DES ABREVIATIONS

A : surface du bassin versant

ABH : Agence des bassins hydrographiques

AEP : adduction en eau potable

ANRH : Agence national des ressources hydrauliques

DEM : digital elevation model (*model d'élévation digital*)

DRS: défense et restauration des sols

ES : érosion spécifique

Hm³ : hecto mètre cube

Hmax : altitude maximal

Hmed : altitude médiane

Hmoy: altitude moyenne du bassin

IRR : irrigation

GPS : Global Positioning System (*système de géolocalisation*)

Kc : indice de compacité de Gravélius

Km : Kilomètre

KMZ :Keyhole Markup Language Zipped

m : mètre

MNT: Modèle numérique de terrain.

Moy : moyenne.

NASA :National Aeronautics and Space Administration

NDVI : NormalizedDifferenceVegetation Index (*indice de végétation de la différence normalisée*)

O.R.S.T.O.M : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer

P : périmètre du bassin [km].

PNE : Partenariat National de l'Eau

SAA : société national d'assurance

SIG : systèmes d'information géographique

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

t : tonne

TIRS: Thermal Infrared Sensor

USGS: United States Geological Survey

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Moisson et Cie, 1960** - « Erosion et sédimentation, introduction à la géologie générale et à la paléogéographie ». 120, boulevard saint-germain-paris (vi^e), 4 : 77p.
- [2] **Jean pouquet, 1976** - « L'érosion des sols » Presse universitaire de France.
- [3] **El Younssi Yosra, 2011**- « Caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques du bassin versant du n'fis : conséquences sur l'envasement du barrage lalla takerkoust » (PFE)
- [4] **Wischmeier, W.H. et D.D. Smith, 1965** - « Predicting rainfall- -erosion losses from crop land east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook » No. 282, USDA, Washington.
- [5] **Benaicha amar cherif. 2011**- « Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages » 116p.
- [6] **Philippe Ramez 1995**- « érosion et transport solide en rivière », tome1, LOUIS-GEAN avenue d'Embrun.
- [7] **Remini, W. et Remini, B. 2003** - « La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord ». Larhyss Journal, 2: 45-54p.
- [8] **Chow V.T., 1964** – « Handbook of Applied Hydrology. Mc-Graw Hill Book Company».
- [9] **Agence du bassin hydrographique Cheliff Zahrez, 2004** – « cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Cheliff- Aval du barrage de Boughzoul ». 62p.
- [10] **Remmas, H. 2014** - « Contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique du sous bassin versant de Oued Saida » 76p.
- [11] **Bal K, Cheridi, M. 2006** - Cartographies hydrogéologique du bassin du haut et moyen Chélif, mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur d'état en géologie (USTHB)
- [12] **Mehaiguene, M.** - « Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez » thèse de Magister, 141p.
- [13] **Hammoum, H. et Bouzida, R. 2010** – « Pratique des systèmes d'information géographiques (S.I.G) » .Copyright Eurl Pages Bleues Internationales, 196p.
- [14] **Roose, E.J. ET Bertrand, R. 1971** – « Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain » Agron. Trop. 11.

- [15] **Khaled Deblane, 2010** – « Hydraulique fluviale et torrentielle avec présentation et prise en main des logiciels Hec-Ras, Arc-Gis et HecGeo-Ras » Rhéohydro, 3BIS SCOP. 162P.
- [16] **Tutorial de Formation en français sur ArcGIS, 2001** – « Support de cours avec exercices pratiques et données » ESRI France.

RESSOURCES INTERNET

<http://www.soudoud-dzair.com/>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_Landsat

<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/VI.Lutte.html>

INTRODUCTION GENERALE

L'érosion hydrique résulte de l'action de la pluie, aussi bien en milieu naturel que sous influence humaine. Elle est la source majeure de la dégradation des sols dans les régions semi arides et surtout en zone méditerranéenne. Ce phénomène qui porte préjudice aux ressources en eau et en sol des bassins versants dépend d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux. En effet, la prédominance de roches de surface peu résistantes, l'irrégularité du climat, la torrentialité des écoulements, la faible densité du couvert végétal et la surexploitation des terres sont particulièrement favorables à l'accélération de ce phénomène.

Notre zone d'étude fait partie du bassin Cheliff-Zahrez, elle est située dans la partie nord-ouest de l'Algérie, et s'étend de l'étranglement qui le sépare du sous bassin à l'amont du barrage de Boughzoul jusqu'au seuil de Boukadir, qui le sépare du bas Cheliff et de la Mina. Cette zone, regroupe en tout, onze sous bassins versants, L'ensemble constitue notre bassin versant « haut et moyen Cheliff ». Ce bassin est confronté à un grave problème de dégradation du sol qui provoque l'envasement de la plupart des barrages en particulier Ghrib et Oued Fodda qui représentent à eux seuls environ le tiers de l'envasement total des barrages algériens.

Cette étude s'intéresse alors, aux problèmes d'érosion et du transport solide dans le bassin versant du haut et moyen Cheliff. Elle propose une réflexion en deux temps ; tout d'abord, un diagnostic est réalisé afin de déterminer les zones les plus sensibles à l'érosion et au transport solide, en faisant appel aux SIG et à la télédétection pour la cartographie et l'élaboration des bases de données. Ensuite, des mesures de prévention sont proposées pour orienter les priorités d'intervention et d'aménagement et réduire l'envasement des barrages de la région.

La première partie présentera tout d'abord un aperçu bibliographique sur les phénomènes d'érosion, de transport solide et d'envasement, ce qui nous permettra de comprendre ces processus, leurs mécanismes et leurs conséquences sur le milieu naturel.

Par la suite, une présentation de la région d'étude s'avère nécessaire, afin de faciliter la collecte de toutes les informations nécessaires pour l'élaboration des cartes thématiques, ceci concerne surtout, l'étude géologique, hydrologique, climatique et hydrographique.

Dans le troisième chapitre, on passe par une analyse des principaux facteurs de l'érosion : l'érosivité des pluies, l'érodibilité des sols, la pente et l'occupation des sols. La superposition d'une série de cartes thématiques obtenues, faite sous forme d'une addition

pondérée, nous permettra par la suite d'hierarchiser le bassin sous forme de classes de sensibilité à l'érosion.

Le quatrième chapitre, sera consacré à l'étude du transport solide. En premier lieu, nous avons quantifié l'apport solide en se basant sur les données des stations hydrométriques en service, réparties sur l'ensemble du bassin. Par la suite, des corrélations ont été établies dans l'objectif de déterminer une relation entre le débit solide et le débit liquide. En second lieu, et après avoir identifié les zones vulnérables au transport solide nous avons réalisé une carte thématique permettant de quantifier le débit solide et de combler le manque de données du transport solide dans le bassin du haut et moyen Cheliff. Pour finaliser, nous avons estimé le taux d'érosion spécifique dans la zone d'étude.

Au dernier chapitre, le cinquième de ce présent mémoire, un certain nombre d'aménagements ont été proposés à l'échelle du bassin versant et des oueds, visant à la réduction de l'érosion hydrique, à la régularisation et à la préservation des eaux à leur source, tant sur le plan de la quantité que de la qualité et ce à travers une gestion conservatoire des sols à l'amont.

CHAPITRE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. L'ÉROSION

1.1.1. Définition

L'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre sous les actions mécaniques et chimiques de l'hydrosphère (pluie et eaux de ruissellements, glaciers, mer, simple humidité, évaporation), sous l'action de la biosphère (végétaux, animaux, homme), sous l'action de l'atmosphère (vent) et sous celle des variations de température. Ses conséquences sont d'ailleurs considérables. Puisque la matière ne se perd pas dans notre univers fermé, l'érosion a pour conséquence immédiate l'élaboration et le dépôt des matériaux qu'elle a dissociés : l'érosion engendre la sédimentation [1].

1.1.2. Les facteurs de l'érosion

1.1.2.1. Le climat

Il constitue la cause et la source de l'énergie érosive. Ce sont les gouttes de pluie et les eaux de ruissellements sur les terrains en pentes et les vents violents qui détachent et entraînent les particules terreuses.

1.1.2.2. Le relief (morphologie du terrain)

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs.

- * La déclivité de la pente : le ruissellement et l'érosion commencent sur des pentes faibles (1 à 2%) et elle augmente avec la pente.
- * La longueur de la pente : plus la pente est longue plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie et plus l'érosion s'intensifie.

1.1.2.3. Le sol (la physique et la chimie de la roche)

Les caractéristiques du sol comme sa texture, sa minéralogie, sa stabilité structurale et la matière organique qu'il contient nous informe sur sa résistance à l'érosion.

1.1.2.4. L'absence ou non de la couverture végétale et la nature des végétaux

L'absence du couvert végétal expose le sol à l'action directe des gouttes de pluie et des vents. Les arbres forestiers ou les plantes cultivés protègent le sol contre l'érosion.

1.1.2.5. L'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanisation)

Les défrichements que l'homme opère sur les forêts et les parcours naturelles, le surpâturage, les labours mécaniques facilitent le ruissellement et par conséquent l'érosion.

1.1.3. Les formes de l'érosion

Les phénomènes d'érosion du sol s'extériorisent sous deux formes essentielles :

- ravinement,
- mouvement en masse.

1.1.3.1. Les ravinements

A/. Erosion en nappe

L'érosion en nappe s'entend du déplacement des particules de sol provoqué par le choc des gouttes de pluie et les eaux de ruissellement; elle provoque l'enlèvement plus ou moins uniforme d'une mince couche ou « nappe » de sol, car l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion.

L'érosion en nappe s'effectue selon deux étapes :

- le détachement des particules de terre causé par le choc des gouttes de pluies : effet splash. (érosion par l'eau)
- le ruissellement superficiel lorsque l'intensité de la pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration : ruissellement hortonien.

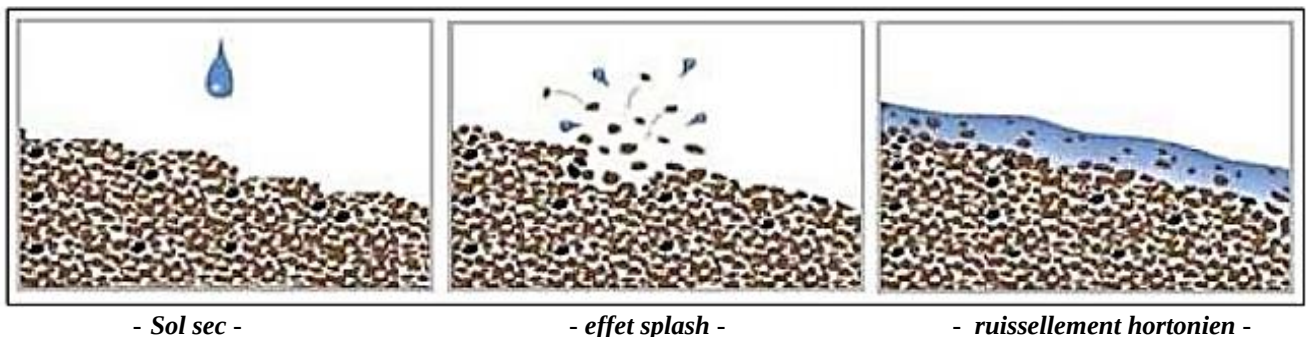


Figure 1.1 : Erosion en nappe

B/. Erosion en rigoles (rills)

L'érosion en rigoles se manifeste dans les régions du globe où les précipitations s'effectuent sous forme d'averses violentes et brèves. Elle résulte de la concentration du ruissellement, en petits canaux assez bien définis. Ces canaux portent le nom de rigoles lorsqu'ils sont assez petits pour ne pas interférer avec les opérations de la machinerie. Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux

C/. Erosion en ravines (gullies)

Une évolution de l'érosion en rigoles peut conduire à l'érosion en ravine. Les rigoles sont appelés ravins lorsqu'ils s'étendent au point de ne pouvoir être comblés par les opérations normales de travail du sol, ou lorsqu'ils deviennent nuisibles au travail du sol. Dans tous les cas l'évolution est la même. L'incision prend d'abord la forme classique en V, puis, par recul rapide des versants s'usant par tranches entières, le ravin épouse le dessin caractéristique en U. éloignement du versant et creusement du lit sont simultanés, ce qui aboutit à une très vaste excavation [2].

1.1.3.2. Les mouvements de masse

Les mouvements de masses, éboulement, écoulements visqueux, glissement de terrains, peuvent se traduire sous une forme brutale, en quelque minute, ou au contraire s'étaler sur une longue période.

A/. Les affaissements

Ce phénomène, généralisé en région de climat à saison pluvial hivernale, se produit sur tous les versants, toutes les pentes topographiques, affectent les terrains les plus variés, argiles marnes, schistes, produits de décomposition ou de transport.

B/. Glissement et reptation

B1. Glissement

C'est un phénomène géologique où une masse de terre descend sur une pente, autrement dit un plan de glissement plus ou moins continu, plus ou moins plan ou incurvé. Après la mise en mouvement la masse conserve globalement sa consistance et sa physionomie.

B2. Reptation

C'est un lent mouvement des particules superficielles du sol vers le bas des versants.

1.1.4. Conséquences de l'érosion hydrique

1.1.4.1. Conséquences de l'érosion hydrique en zones érodées

L'érosion hydrique a des effets sur les zones érodées, parmi lesquels on cite [3] :

- La diminution de la capacité du sol de retenir l'eau et de mettre à la disposition des végétaux;
- La diminution du drainage profond induisant une moindre réalimentation des nappes ;
- L'appauvrissement du sol : la teneur en humus et en élément nutritifs du sol décroît ce qui influence la stabilité structurale du sol ;

- La baisse des rendements des cultures, une augmentation des coûts de production des aliments ;
- La dégradation des terres agricoles et une désertification du milieu naturel.

1.1.4.2. Conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts

- L'envasement accéléré des barrages, des canaux d'irrigation et des réservoirs ;
- La destruction de routes, chemins et ponts ;
- La réduction de la capacité des lits de rivières et un risque d'inondation des terres voisines ;
- Le transfert et la répartition spatiale des polluants (pesticides, métaux lourds et nutriments en excès) dans l'environnement;
- L'augmentation du coût de traitement des eaux de consommation.

1.1.5. Quantification de l'érosion

L'importance de l'érosion hydrique et ces préjudices pour l'activité humaine d'un côté (pertes en sol), ont poussé l'homme à chercher et à proposer les méthodes pour y remédier à ce phénomène crucial. Pour ce faire, il a été procédé à la quantification de cette érosion par des méthodes empiriques.

1.1.5.1. Formule de Henin "1950"

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviale et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule (1.1)

$$E_s = \frac{I_p I_s}{K V_e} \quad (1.1)$$

Avec :

I_p : Intensité des précipitations.

I : Pente du bassin versant.

S : Susceptibilité des sols.

K : Perméabilité du sol.

V_e : Végétation.

Les facteurs S , K et V_e limitent l'érosion et en plus, les facteurs S et V_e semblent les plus difficiles à quantifier.

1.1.5.2. Formule universelle de Wischmeier "1959"

L'équation universelle des pertes de sol regroupe toutes les variables sous six facteurs majeurs. Elle prédit les pertes moyennes de sol au champ, pertes qui sont occasionnées par l'érosion de surface (érosion par l'impact des gouttes de pluie ou la battance), érosion en nappe et érosion en rigole [4]. Elle s'exprime par :

$$A = R * K * SL * C * P \quad (1.2)$$

A : Perte de terre (T/Ha).

R : Indice - pluie caractérisant l'agressivité de la pluie en T/Ha.

K : Indice - sol mesurant la plus ou moins grande susceptibilité du sol à l'érosion.

SL : Indice- pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standards.

C : Indice- culture permet de tenir compte du degré de protection du sol par le couvert végétal.

P : Indice- remède de conservation du sol.

Cette équation a été appliquée dans l'Est de l'Algérie et a montré la gravité du problème de l'érosion et a déterminé les périodes où l'érosion est intense. Les dégâts graves et intenses causés par l'érosion hydrique au fil des siècles ont poussé l'homme par le biais de différentes formules empiriques à quantifier les pertes en sols, ces formules restent toujours à utiliser avec précaution du fait de leurs limites d'application [5].

1.1.5.3. Formule de Gavrilovic (1960)

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnel à la température, la pluie et un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression :

$$E_s = 3.14 * T * P_0 \sqrt{Z^3} \quad (1.3)$$

Avec :

Es : érosion spécifique dans le bassin versant (T/km².an)

T : coefficient de température ;

P₀: pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

1.1.5.4. Formule de L'A.N.R.H (1970)

Elle est donnée par :

$$T_{ss} = 26.62 I_e + 5.071 I_p + 9.77 C_t - 593.59 \quad (1.4)$$

T_{ss}: transport solide spécifique moyen annuel (T/Km².an)

I_e: indice lithologique (%).

IP : indice des précipitations (%).

C_t: Coefficient de torrentialité

1.1.5.5. Formule de Tixeront (1960)

Elle est donnée par :

$$E_s = [S_1.Ta_1 + S_2.Ta_2 + S_3.Ta_3 + \dots S_n.Ta_n] \quad (1.5)$$

Avec :

E_s : Erosion spécifique (t/Km².an),

Ta_1, Ta_2, Ta_n : Taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous bassins (T/Km²),

S : superficie totale du bassin (Km²),

S_1, S_2, S_n : Superficie des sous bassins (Km²).

En supposant que la totalité du bassin possède une même perméabilité la formule (1.5) devient:

$$E_s = K * L_e \quad (1.6)$$

L_e : Lamme d'eau ruisselée moyenne inter annuelle en (mm),

K : un coefficient qui est déterminé en fonction de la perméabilité des terrains.

$K = 8,5$ pour les terrains d'une perméabilité élevée.

$K = 75$ pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée.

$K = 350$ pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne.

$K = 1400$ pour les terrains d'une perméabilité faible.

$K = 3200$ pour les terrains perméables.

1.1.5.6. Formule de Fournier (1960)

$$Q_s = \frac{1}{36} \cdot \left[\frac{P^2}{P_a} \right]^{2.65} \cdot \left[\frac{H_{moy}^2}{S} \right]^{0.46} \quad (1.7)$$

Avec :

Q_s : l'apport solide moyen inter annuel (T/Km².an),

P : la pluviométrie du mois le plus arrosé (mm),

H_{moy} : l'altitude moyenne (mm),

P_a : la pluviométrie moyenne interannuelle (mm),

S : superficie du bassin versant (Km²).

1.1.5.7. Formule de poliakov

Elle s'exprime par : $E_s = A * K * Q * I^{1/2} \quad (1.8)$

Q : Débit de ruissellement de surface,

K : coefficient de proportionnalité,

I : pente moyenne du bassin versant,

A : coefficient d'érosion variant en fonction des types de sol.

1.2. LE TRANSPORT SOLIDE

1.2.1. Définition

C'est le phénomène qui permet le déplacement d'une masse solide composée d'éléments granulaires sous l'action de l'écoulement de l'eau. Il peut être décomposé en deux étapes successives l'arrachement et l'entraînement des grains. Pour des particules relativement grosses, les forces nécessaires à l'arrachement et à l'entraînement sont du même ordre de grandeur. Par contre, la force d'arrachement peut être très supérieure à celle d'entraînement pour les grains dont le diamètre est très petit. Cette tendance est, de plus, accentuée si les particules deviennent cohésives [6].

1.2.2. Les modes du transport solide

On distingue deux modes :

- a. **Le transport par charriage** : qui permet aux particules de se déplacer en roulant, glissant ou en sautant les unes par-dessus des autres.
- b. **Le transport par suspension** : il permet aux particules, présentes dans le substrat du lit, de se déplacer par saut successifs (saltation ou auto-suspension).

Le transport solide est lié à la dimension des particules. Une petite particule, si elle est arrachée, peut rester en suspension et être transportée dans la masse de l'écoulement sur d'assez longues distances, dans la mesure où la fluctuation des vitesses verticales turbulentes (action motrice exercée par l'écoulement) génère des impulsions pouvant plus au moins compenser la vitesse de chute du grain (fonction du diamètre et de la densité de la particule). A partir d'une certaine taille de particule, et pour un écoulement donné, la mise en suspension est impossible, le cheminement des grains transportés sur le fond se fait alors par charriage, les particules roulant, glissant ou sautant les unes par-dessus des autres (saltation) [6].

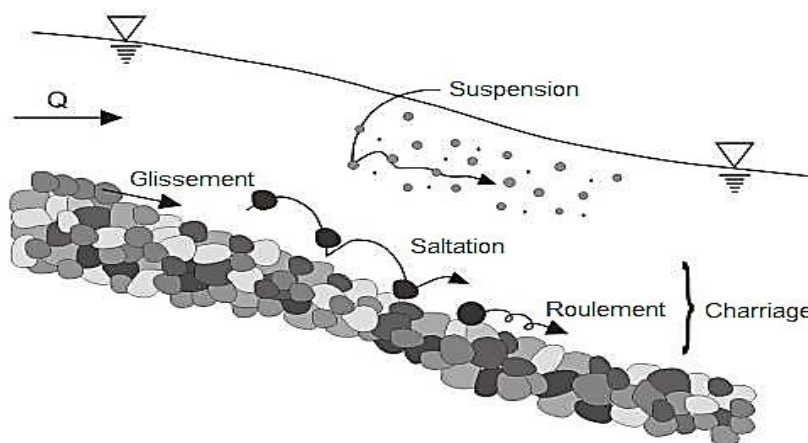


Figure 1.2: les modes du transport solide

1.3. Envasement des barrages

1.3.1. Définition

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage [7].

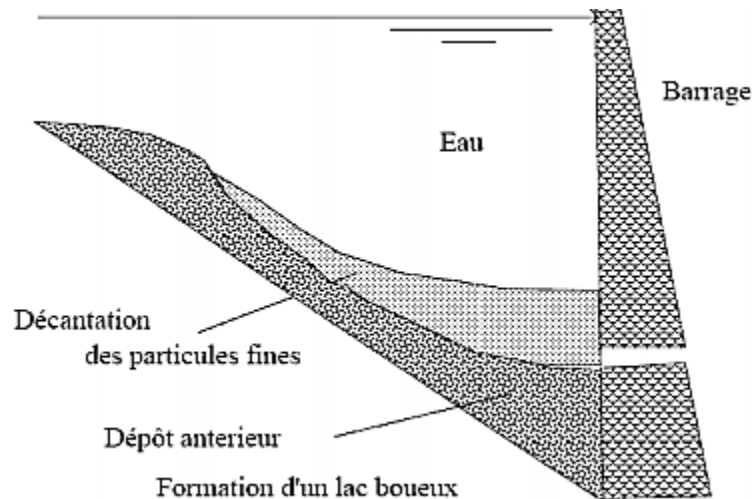


Figure 1.3: Dépôt de vase

La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments transportée par l'écoulement, la matière solide tend à se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport quand le cour d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue, n'ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cour d'eau sont piégés [8].

1.3.2. Problèmes liés à l'envasement

- Réduction de la capacité : Chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue ;
- La sécurité de l'ouvrage : l'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage ;
- Obturation des ouvrages de vidange ;
- Envasement des canaux d'irrigation ;
- Dégradation de la qualité d'eau.

CHAPITRE 2

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ORGANISATION ADMINISTRATIVE

Située au centre ouest de l'Algérie du nord, la région hydrographique « Cheliff-Zahrez » regroupe trois bassins hydrographiques : le Cheliff, le Zahrez et le côtier Dahra.

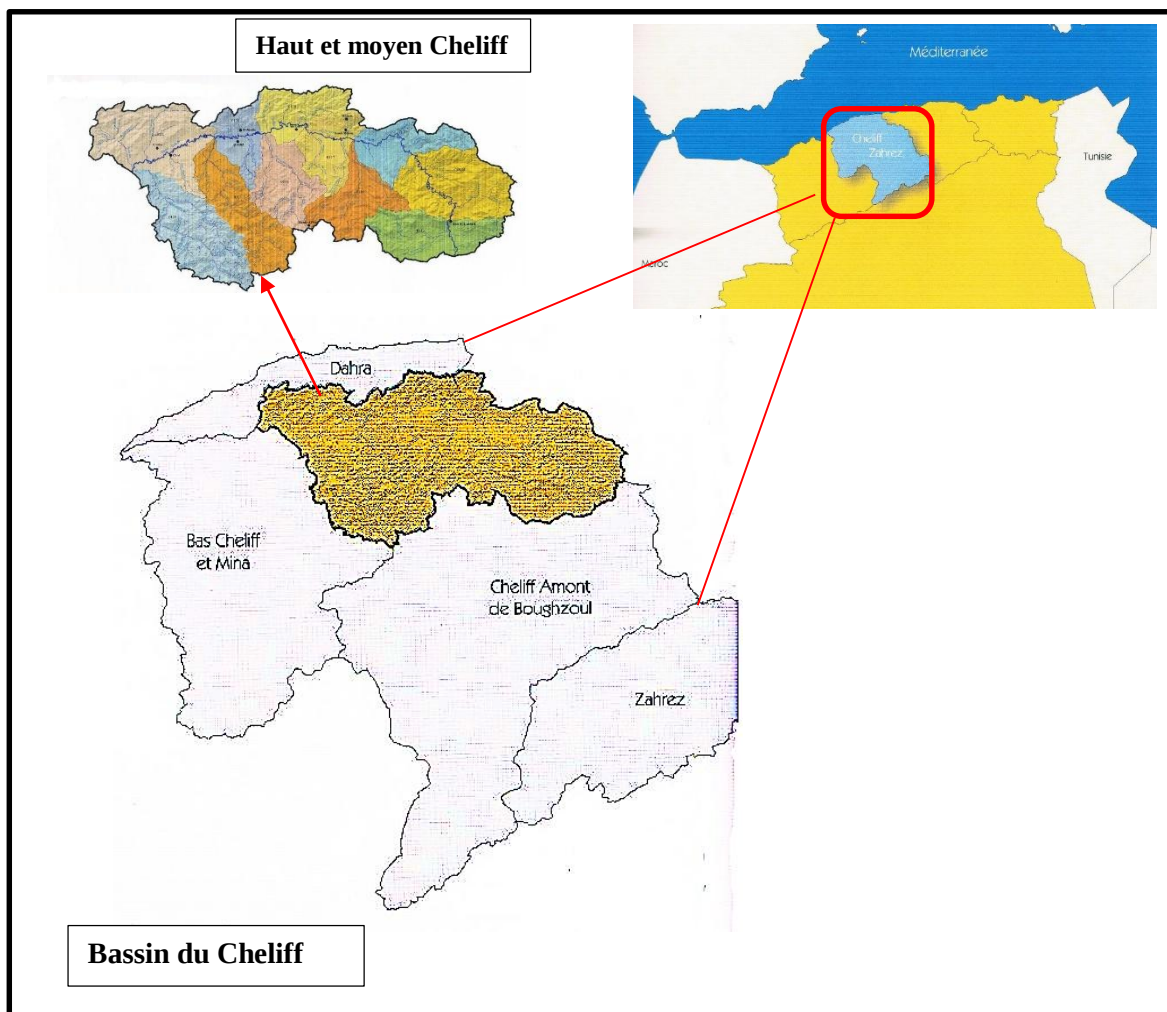


Figure 2.1 : Délimitation du bassin haut et moyen Cheliff

Le bassin du Cheliff qui s'étend sur 43750 km², est le plus vaste bassin hydrographique du nord du pays, il est compartimenté naturellement en trois bassins versants :

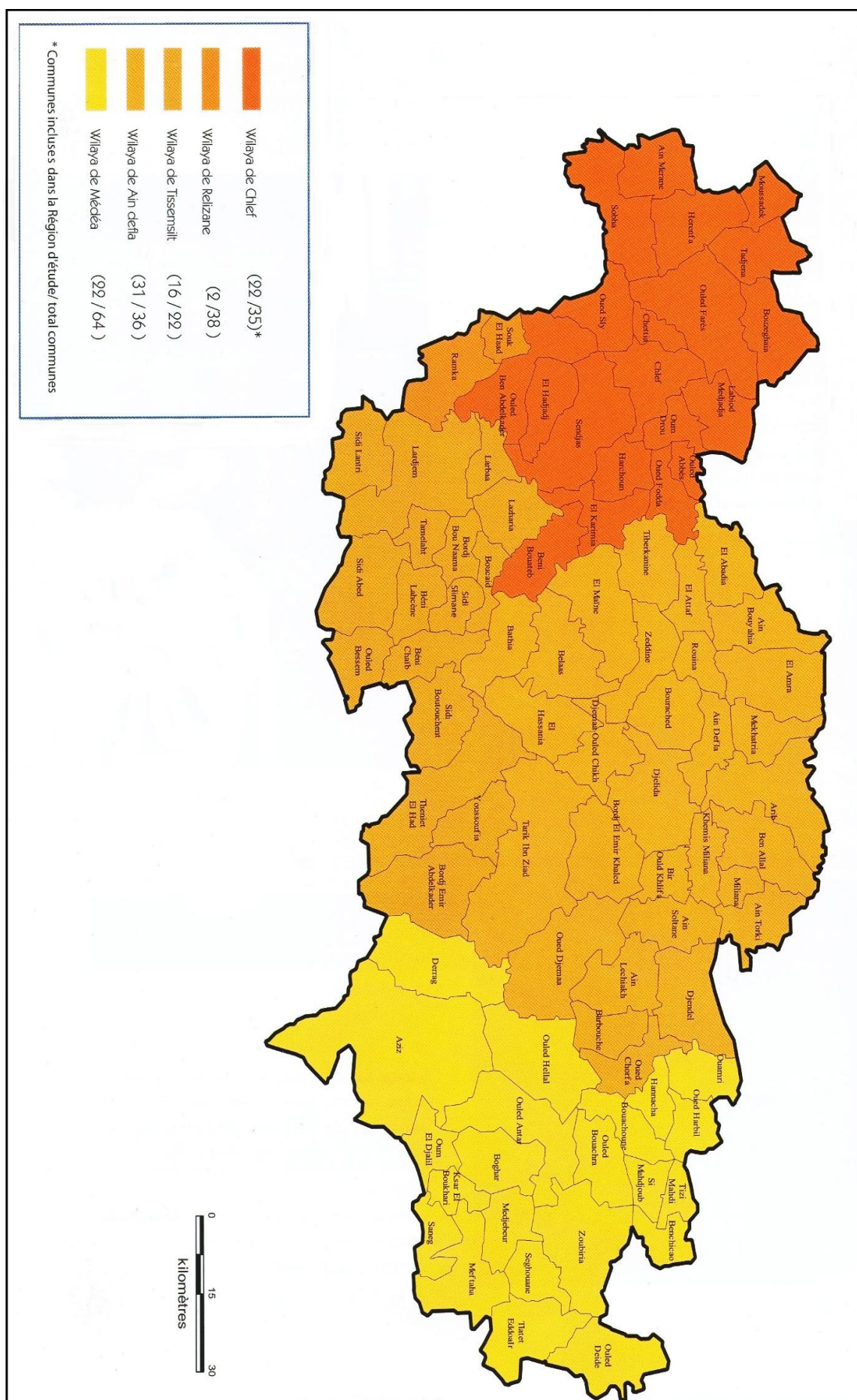
- le bassin du Cheliff-amont du barrage de Boughzoul ;
- **le bassin du haut et du moyen Cheliff ;**
- le bassin du bas Cheliff et de la Mina.



Figure 2.2: Image satellitaire du haut et moyen Cheliff

Notre région d'étude fait partie du bassin versant du Cheliff-Zahrez, elle est située dans la partie nord-ouest de l'Algérie, et s'étend de l'étranglement qui le sépare du sous bassin à l'amont du barrage de Boughzoul jusqu'au seuil de Boukadir, qui le sépare du bas Cheliff et de la Mina. Géographiquement la région se trouve entre les longitudes 1° - 3°,90' Est et les latitudes 35° - 36°,50' Nord, sa superficie est d'environ 10930 Km².

Sur le plan administratif, Le bassin versant du haut et du moyen Cheliff couvre 93 communes de 5 wilayas. 22 communes de la wilaya de Médéa, 31 communes de la wilaya d'Ain Defla, 22 communes de la wilaya de Chlef, 16 communes de la wilaya de Tissemsilt et 02 communes de la wilaya de Relizane [9].



Le bassin versant du haut et moyen Cheliff regroupe en tout onze sous bassins versants :

Tableau 2.1 : codes des sous bassin versants du haut et moyen Cheliff

Code des sous bassins versants	Dénomination des sous bassins versants
0113	Oued Cheliff Djellil
0114	Oued Cheliff Ghrib
0115	Oued Cheliff Harbil
0116	Oued Deurdeur
0117	Oued Cheliff Harrazza
0118	Oued Ebda
0119	Oued Rouina Zddinne
0120	Oued Cheliff Tighzal
0121	Oued fodda
0122	Oued Ras Ouahrane
0123	Oued Sly

La figure 2.4 ci-après représente les différents sous bassin du haut et moyen cheliff.

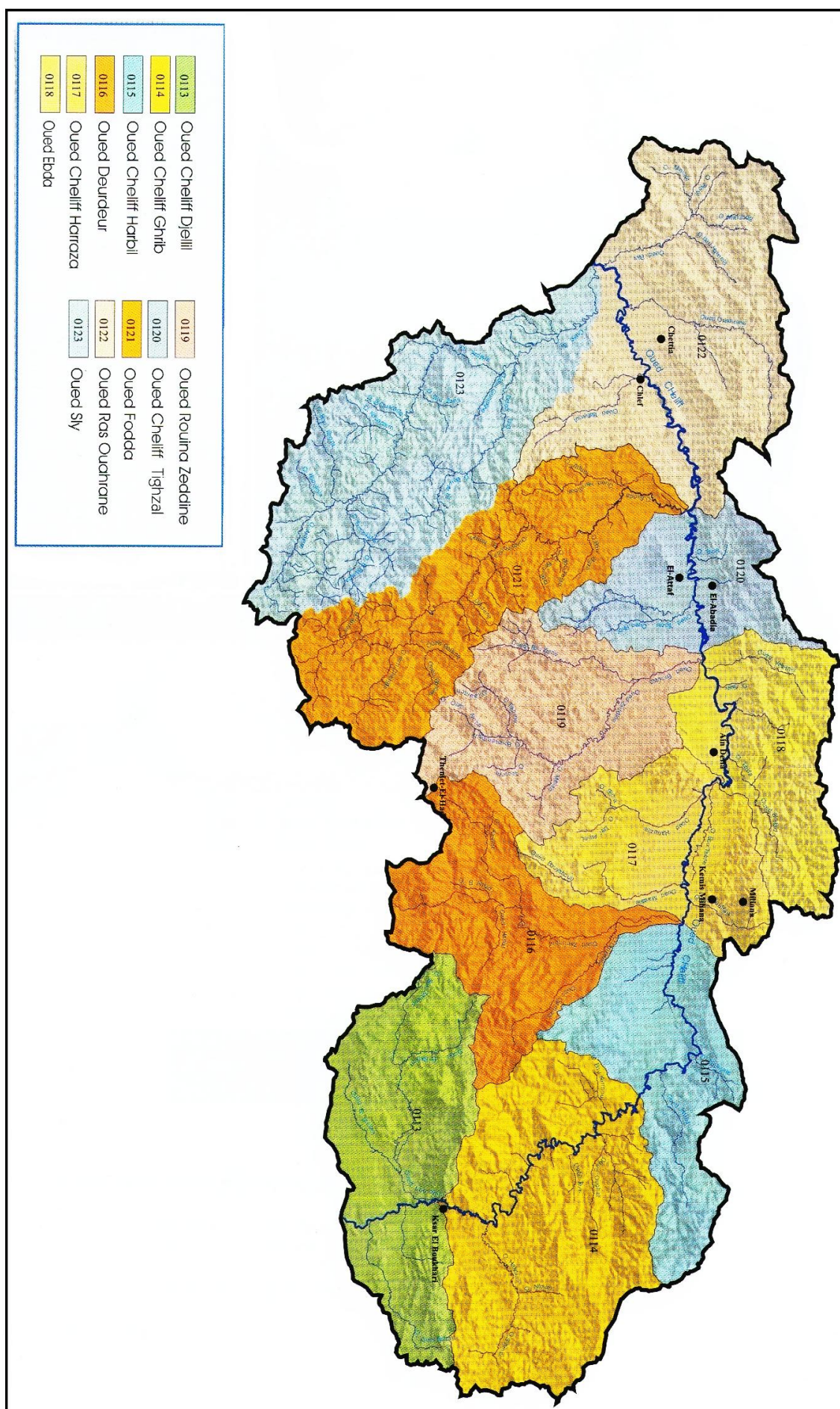


Figure 2.4 : Sous bassins versants du haut et moyen Cheiff

2.2. LE RELIEF

Le haut et moyen cheliff est caractérisé par un relief diversifié, au Sud et à l'Est du bassin du haut et le moyen Cheliff on retrouve des montagnes qui dépassent les 1000 m, elles peuvent atteindre jusqu'à 1945m d'altitude et elles ont de fortes pentes qui favorise l'érosion. Du nord-Est jusqu'au centre du bassin versant c'est des vallées, il est caractérisé par la plus faible altitude du bassin avec de très faibles pentes. Le reste de la surface c'est des plaines avec des pentes plus au moins fortes.

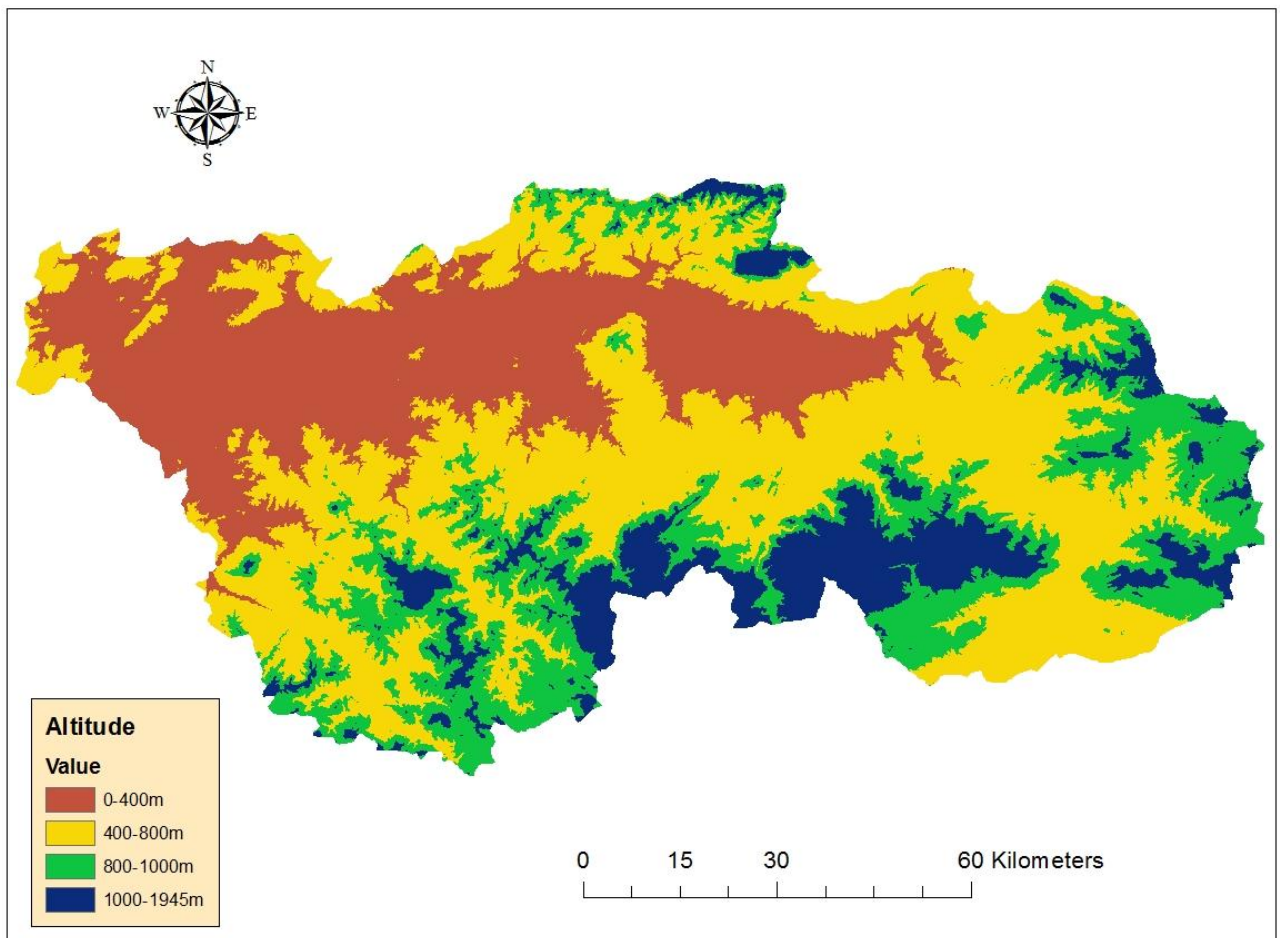


Figure 2.5 : carte altimétrique du haut et moyen Cheliff

Il est traversé de part en part par l'oued cheliff qui est le plus important fleuve d'Algérie d'une longueur 725 Km, il prend sa naissance dans l'atlas tellien et a son embouchure dans la mer méditerranéenne.

➤ La plaine du Cheliff

Au centre se trouve une plaine sous forme de cuvette qui reste compartimentée entre les deux reliefs infranchissables (l'OUARSNIS et le DAHRA-ZACCAR). Il s'agit de la plaine du Cheliff et fait en moyenne 3 km de large sur 60 km.

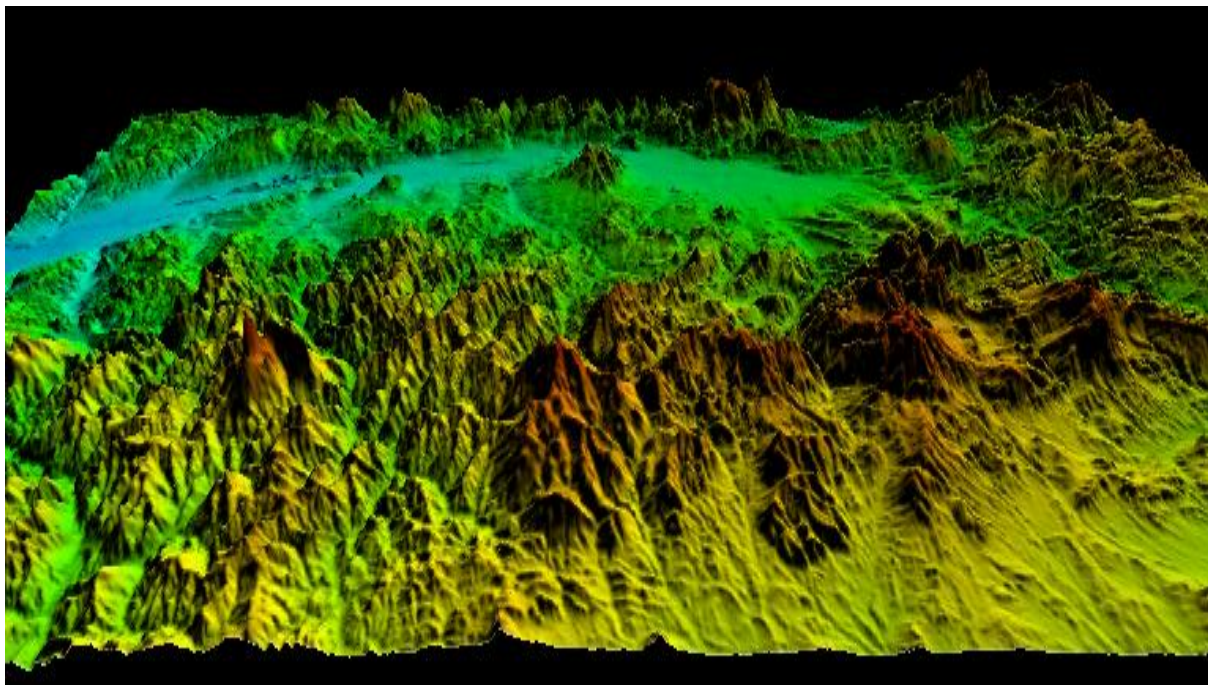


Figure 2.6: DEM (digital elevation model) Haut et moyen Cheliff 3D

2.3. CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. 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 modèles numériques [10].

2.3.1. Caractéristiques géométriques

2.3.1.1. Superficie et périmètre du bassin haut et moyen cheliff

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. Le périmètre représente la longueur du pourtour fermé du bassin, son intérêt essentiel est de pouvoir déterminer l'indice de Gravélius (K_c) et le rectangle équivalent.

Les caractéristiques géométriques du bassin haut et moyen cheliff ont été calculé avec le logiciel « Global mapper », les résultats sont mentionnés sur le tableau ci-après :

Tableau 2.2 : Superficie et périmètre du bassin haut et moyen Cheliff

Bassin	Superficie(Km ²)	Périmètre (Km)
Haut et moyen Cheliff	10701	658,7

2.3.2. Caractéristiques de forme

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser les écoulements, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Les principales sont de nombre de quatre : - indice de compacité,

- topographie, caractérisée par la courbe hypsométrique,
- rectangle équivalent,
- indice de pente.

2.3.2.1. Indice de compacité de Gravelius (1916)

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

Si A est la surface du bassin en Km² et P son périmètre en Km, le coefficient K_G est donné par :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

Avec :

K_c : indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [km²],

P : périmètre du bassin [km].

Le coefficient K_G est supérieur à 1 et d'autant plus voisin que cette valeur que le bassin est compact.

Si : $K_c > 1.12$ alors le BV est allongé

Si : $K_c < 1.12$ alors le BV est de forme carrée

Si : $K_c = 1.12$ alors le BV est de forme compacte

Pour notre bassin haut et moyen cheliff, l'indice de compacité : $K_c = 1.783 > 1.12$ d'où le bassin est de forme allongée favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement.

2.3.2.2. Topographie

A/. Courbe hypsométrique

Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Pour la réalisation de cette courbe, nous avons utilisé le SRTM du haut et moyen Cheliff, à l'aide du logiciel « Global mapper ». Après génération des courbes de niveau nous avons extrait les surfaces entre ces dernières. La courbe hypsométrique a été réalisée avec le logiciel Excel après avoir calculé les surfaces cumulées.

Le tableau suivant représente les résultats de la répartition de la surface totale du bassin sur les différentes tranches d'altitude :

Tableau 2.2 : répartition altimétrique du bassin du haut et moyen Cheliff

Altitudes (m)	surfaces	surface%	Surfaces cumulées	Ai * Hi
70 - 100	173.73	0.73543784	100	12161.1
100 - 200	710.83	3.00910192	99.26456216	71083
200 - 300	1659.2	7.02376364	96.25546024	331840
300 - 400	2066.9	8.74964866	89.23169661	620070
400 - 500	2245.5	9.5057023	80.48204794	898200
500 - 600	2484.7	10.5182892	70.97634565	1242350
600 - 700	2873.5	12.1641664	60.45805641	1724100
700 - 800	3128.5	13.2436382	48.29389005	2189950
800 - 900	3020.6	12.7868735	35.05025183	2416480
900 - 1000	2325.2	9.84309017	22.26337837	2092680
1000 - 1100	1306.9	5.53239917	12.4202882	1306900
1100 - 1200	742.58	3.14350675	6.887889032	816838
1200 - 1300	450.19	1.90575467	3.74438228	540228
1300 - 1400	242.59	1.02693757	1.838627608	315367
1400 - 1500	115.66	0.48961457	0.811690035	161924
1500 - 1600	52.335	0.22154573	0.322075461	78502.5
1600 - 1700	19.73	0.08352149	0.100529734	31568
1700 - 1800	3.522	0.01490941	0.017008243	5987.4
1800 - 1900	0.3932	0.0016645	0.002098832	707.76
1900 - 1945	0.1026	0.00043433	0.000434329	194.94

La courbe hypsométrique est la représentation graphique des couples (superficie cumulée en %, altitude), elle est représentée sur la figure ci-après :

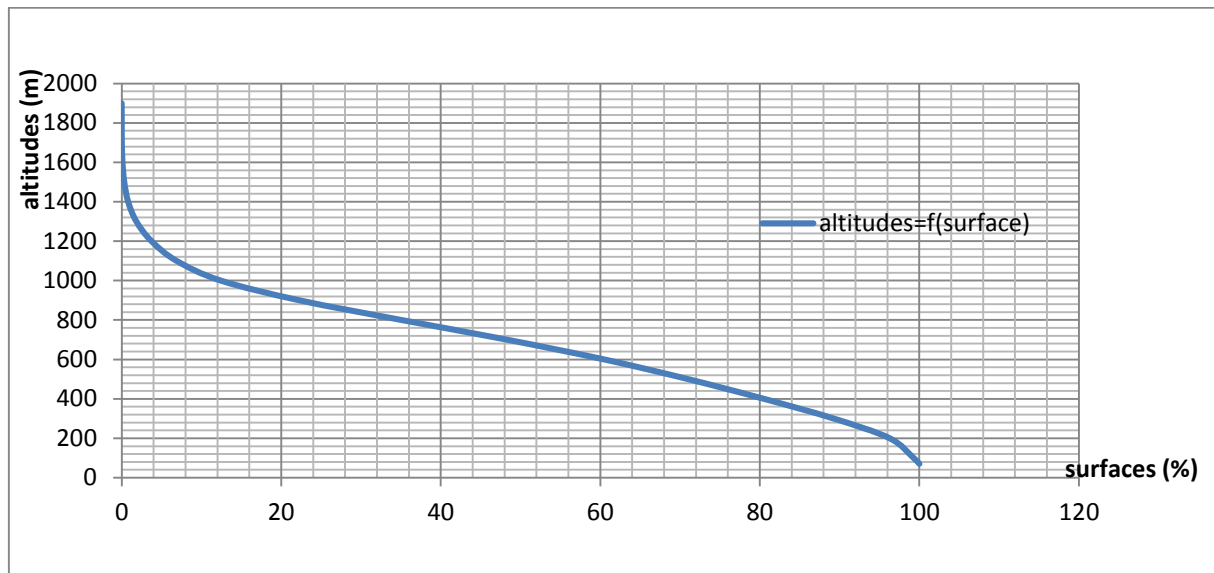


Figure 2.7 : Courbe hypsométrique

La courbe ci-dessus permet de relever les altitudes caractéristiques du relief :

- **Altitude minimale**

Elle est située à l'exutoire du bassin versant, elle est égale à : 70m

- **Altitude moyenne**

Elle est donnée par l'équation suivante :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i * h_i}{A} \quad (2.2)$$

Où :

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

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²] ;

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

A : superficie totale du bassin versant [km²].

Pour notre bassin, l'altitude moyenne calculée est de : $H_{moy} = 628,9m$.

- **Altitude médiane**

C'est l'altitude qui correspond à 50% de la surface total du bassin versant : $H_{med} = 690m$

- **Altitude maximale**

C'est le point culminant du bassin : $H_{max} = 1945m$

2.3.2.3. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique du contour du bassin versant transformé en rectangle de même surface. Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique.

Les caractéristiques (Longueur L et largeur l) du rectangle équivalent sont évaluées à l'aide des équations suivantes:

$$\text{Longueur : } L = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (2.3)$$

$$\text{Largeur : } l = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (2.4)$$

Avec :

A : surfaces du bassin versant [Km²] ;

P : périmètres du bassin [Km] ;

K_c : Indice de compacité;

L : La longueur du rectangle équivalent [Km] ;

l : La largeur du rectangle équivalent [Km].

L'écartement entre deux courbes de niveau consécutives se calcule selon l'expression:

$$d_i = (L * a_i) / 100 \quad (2.5)$$

Pour tracer le rectangle équivalent de notre région d'étude, nous avons calculé les pourcentages des différentes surfaces correspondantes aux écartements entre les courbes de niveau. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 2.3 ci-dessous :

Tableau 2.3 : pourcentages de surface et écartements entre les courbes de niveau

$a_i(\%)$	$d_i(\text{Km})$
0.735437836	2.15350907
3.009101921	8.811252244
7.023763638	20.56698468
8.749648664	25.62072122
9.505702295	27.83459746
10.51828924	30.79965456
12.16416635	35.61911191
13.24363822	38.78002145
12.78687346	37.44252286
9.84309017	28.82253664
5.532399167	16.19997124
3.143506751	9.20481647
1.905754672	5.580430831
1.026937573	3.007078601
0.489614575	1.433689398
0.221545727	0.648730197
0.08352149	0.244567628
0.014909411	0.043657739
0.001664503	0.004873999
0.000434329	0.001271801

En utilisant les résultats présentés sur le tableau ci-dessus, on trace sur Excel le rectangle équivalent suivant :

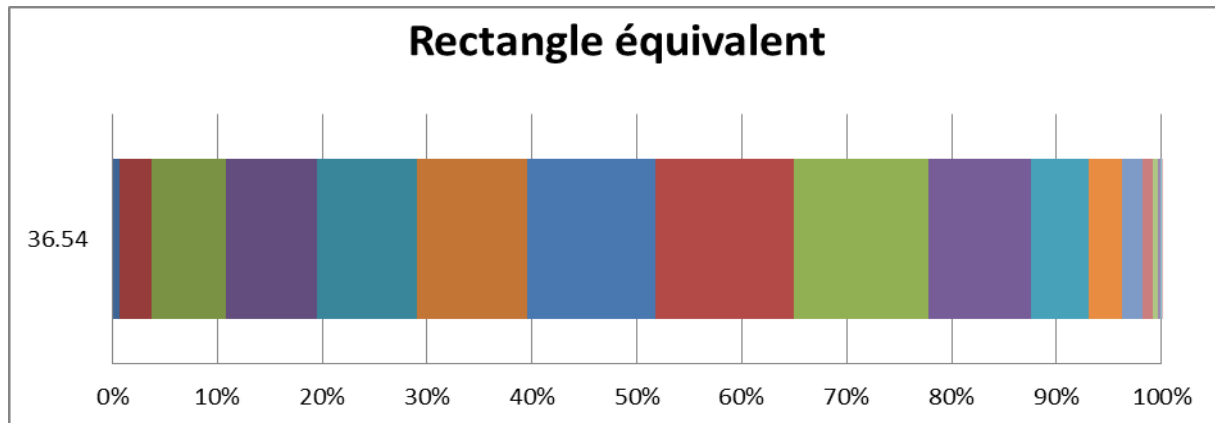


Figure 2.8 : rectangle équivalent du bassin versant haut et moyen Cheliff

Le tableau suivant résume les valeurs obtenues:

Tableau 2.4 : indice de compacité et longueur du rectangle équivalent

Bassin	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité Kc	Longueur du rectangle équivalent	Largeur du rectangle équivalent
Haut et moyen Cheliff	10701	658,7	1,783	292,82	36,54

2.3.2.4. Indices de pente

Vu l'influence directe de la pente sur le ruissellement des eaux superficielles, les hydrologues travaillent avec des indices de pente, pour tenir compte des dénivellations de relief qui sont en contact avec la réponse hydrologique du bassin versant.

A/. Indice de pente de roche

L'indice de pente de Roche caractérise la pente globale du bassin versant. Il s'exprime par:

$$I_p = L^{-\frac{1}{2}} \sum_n^1 \sqrt{a_i \cdot d_i} \quad (2.6)$$

Où :

L : Longueur du rectangle équivalent,

a_i : représente la fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de d_i

$I_p = 100\%$, ce qui correspond à un relief accidenté.

B/. Indice de pente global

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'O.R.S.T.O.M (tableau 2.5) :

Tableau 2.5: Variation de l'indice de pente global

R1	Relief très faible	$I_g < 0.002$
R2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
R3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
R4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
R5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
R6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
R7	Relief très fort	$I_g > 0.1$

Il est calculée par :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (2.7)$$

D: La dénivelée ou bien la distance qui sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin et celles de 95% ou bien la distance qui sépare les deux courbes de niveau maitresses extrêmes H5%et H95%. Donc l'indice global s'écrit comme suit :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (2.8)$$

Ce qui donne : $I_g = 3,039\%$. En se référant à la classification donnée sur le tableau ci-dessus, on déduit que cet indice correspond à un relief assez fort.

C/. Indice de pente moyenne

C'est le facteur moteur qui détermine la vitesse avec laquelle l'eau va s'écouler pour se rendre à l'exutoire. Il s'exprime par :

$$i_m = \frac{D \cdot L}{A} \quad (2.9)$$

Où :

i_m : pente moyenne [m/km ou %],

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km²].

La valeur obtenue est : $i_m = 15,46\%$

D/. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M (l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer.), qui permet de définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies. Cette classification est représentée sur le tableau ci-dessous:

Tableau 2.6 : Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M

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

La dénivelée spécifique est définie par la relation suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{A} \quad (2.10)$$

Avec:

I_g : pente global

A : surface de BV

La valeur calculée est : $D_s = 304,13 \text{ m}$ qui correspond à un Relief fort. Cette valeur traduit le volume montagneux dans le bassin versant.

Pour conclure, nous avons résumé sur le tableau ci-dessous les caractéristiques morphométriques du bassin haut et moyen cheliff :

Tableau 2.7: Caractéristiques morphométriques du bassin haut et moyen cheliff

Superficie (Km²)	10701
Périmètre (Km)	658,7
Indice de compacité K_c	1,783
Altitude maximale (m)	1945
Altitude moyenne (m)	628,9
Altitude minimale (m)	70
Longueur du rectangle équivalent	292,82
Largeur du rectangle équivalent	36,54
Pente moyenne en %	15,46

2.4. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le bassin du haut et moyen cheliff regroupe onze sous bassins hydrographiques. Il présente un chevelu hydrographique très dense, avec un réseau de l'ordre de 2200 Km d'oueds permanents et de 5600 Km d'oueds temporaires. Le principale cours d'eau, le cheliff traverse la zone sur 349 Km, qu'il draine avec ses affluents. La densité de drainage totale de la rivière gauche est plus élevée que celle de la rivière droite. Elle est de 0,93 Km/Km² dans le bassin de l'oued fodda, sur la rivière gauche et se réduit à 0,69 Km/Km² dans le bassin de l'oued Ebda, sur la rivière droite [9].

Tableau 2.8: Longueur des oueds permanents et temporaires par bassin versant

Code	Nom du sous bassin	Longueur des oueds permanents Lp (km)	Longueur des oueds temporaires Lt (km)	Longueur total L (km)
113	Oued Cheliff Djellil	167	439	606
114	Oued Cheliff Ghrib	197	598	795
115	Oued Cheliff Harbil	72	326	398
116	Oued Deurdeur	176	329	505
117	Oued Cheliff Harraza	107	252	359
118	Oued Ebda	75	393	467
119	Oued Rouina Zeddine	178	575	753
120	Oued Cheliff Tikazel	55	345	401
121	Oued Fodda	419	657	1076
122	Oued Ras Ouhrane	172	988	1160
123	Oued Sly	564	670	1233

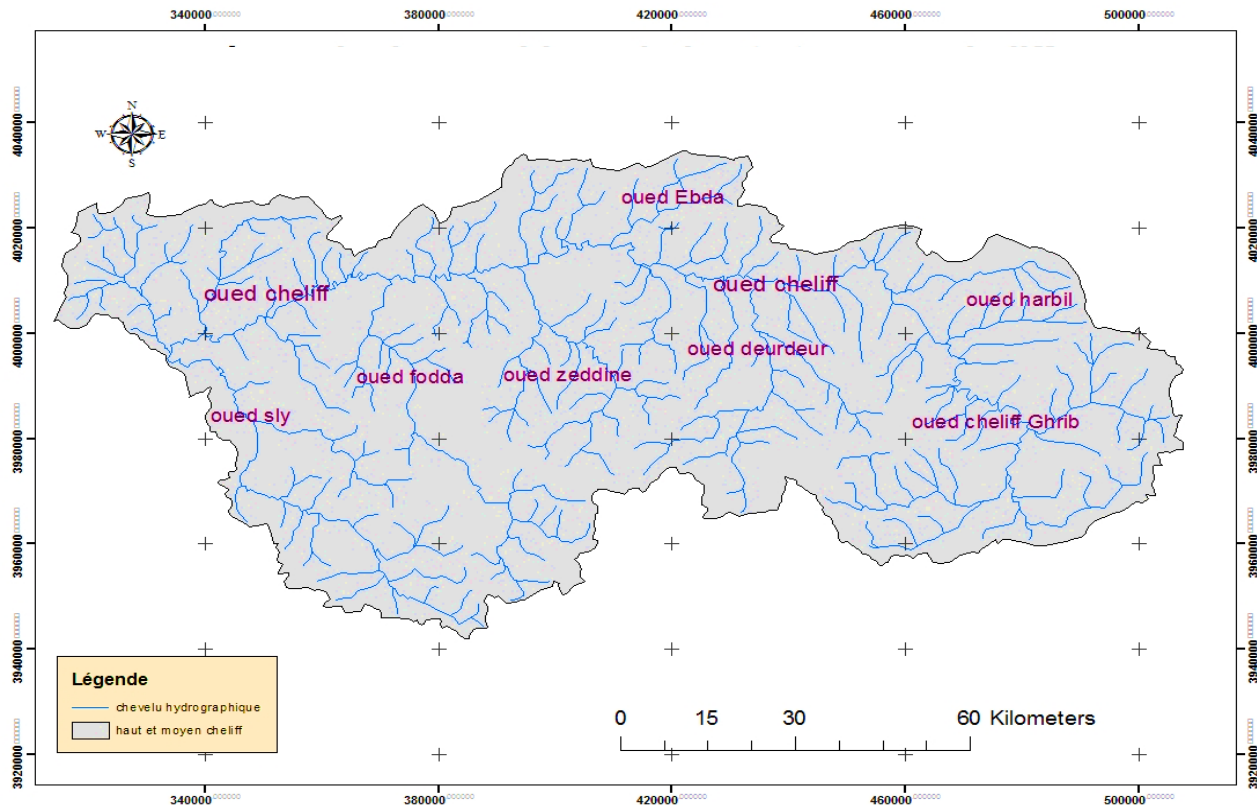


Figure 2.9 : Réseau hydrographique du bassin haut et moyen cheliff

2.5. GEOLOGIE DU SITE

Les principaux traits du tectonique central sont néanmoins, dans la plaine du cheliff : le noyau autoctones, le Doui, le Rouina et le Temoulga qui sont des massifs épimétamorphiques à schistosité. Les ensembles allochtones (nappes de charriages), recouvrant une grande surface sont mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Eocène moyen_Miocène inférieur).

Les deux synclinaliens néogènes reposent sur un substratum crétacé essentiellement marneux qui constitue une limite étanche pour les eaux souterraines, tandis que les formations qui forment le cœur du synclinalien sont du miocène supérieure. Ces derniers contiennent une couche gréseuse au sommet qui passe vers le bas à des terrains plus argileux. Le passage peut se faire par des couches intermédiaires.

Les dépôts d'origines alluvionnaires forment une bande continue au niveau de la bordure de la rive droite et gauche de la vallée du Cheliff, où ils atteignent plus de 30m d'épaisseur. On trouve aussi des formations gréseuses d'âge pliocène inférieur de 100 m d'épaisseur. Où elles forment une bande parallèle à celle de la vallée du Cheliff sur toute la bordure de Dahra [11].

Ensuite on a des formations de nature marnes blanches qui sont des marnes crayeuses passant à des calcaires marneux atteignant 100 à 150m d'épaisseur. Au sud on a un large banc, aligné sur une direction Nord Est – Sud-Ouest, d'une nature calcaire à lithothamnium dure, très développé à la bordure sud de la plaine et passant à des grès à l'Est de l'oued Sly. Vers l'Ouest, ils passent latéralement à des marnes sableuses. La base pliocène peut donc être prise comme la limite Nord du moyen Cheliff. Partout ailleurs, les terrains crétacés bordent les deux bassins considérés. Les limites ainsi définies englobent, en rive gauche de l'oued cheliff, de longues surfaces de terrains Miocène supérieur, dont une grande partie présente une forte proportion d'argiles.

Le centre de ces deux bassins est occupé par des alluvions, dont la partie supérieure est constituée par des limons très argileux sur une épaisseur d'une quinzaine de mètres. Ces limons argileux sont parfois remplacés par des argiles rougeâtres dans la région de l'oued Fodda [11].

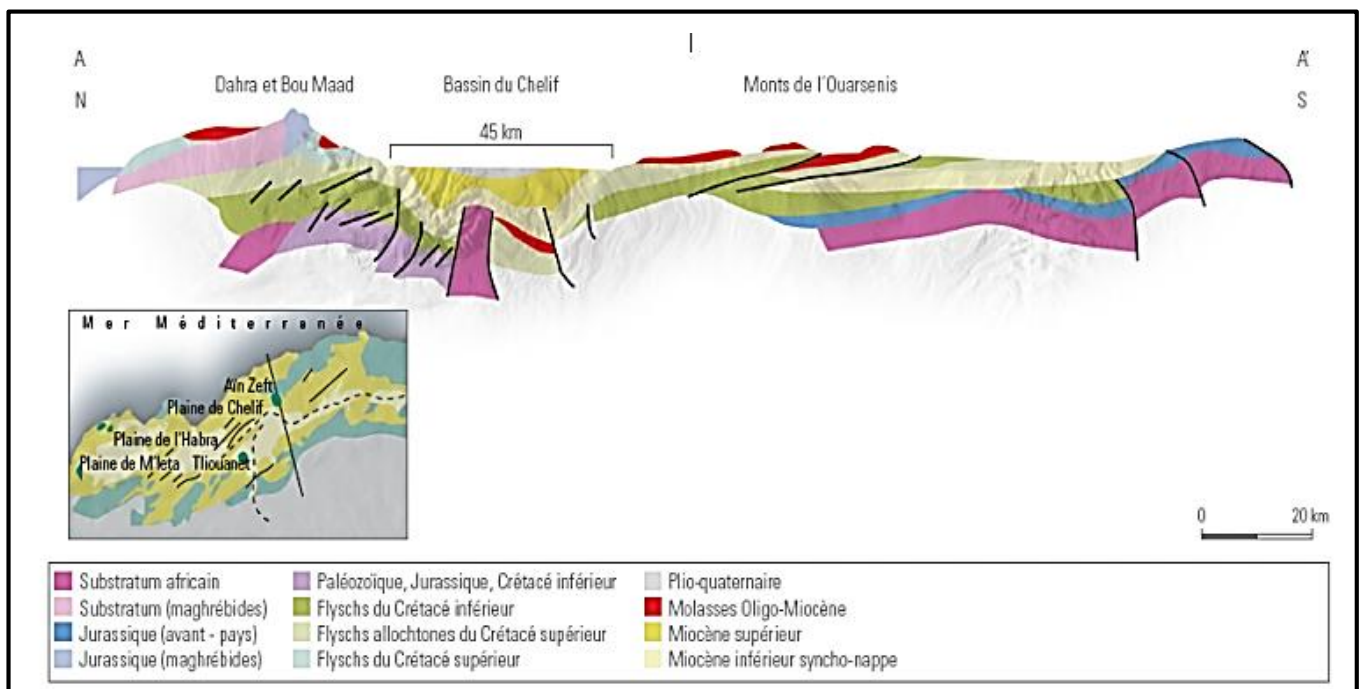


Figure 2.10 : Coupe structurale nord-sud Dahra-Cheliff- Ouarsenis

2.4.1. Stratigraphie

2.4.1.1. Jurassique

Il est essentiellement formé de calcaires qui sont caractérisé par une perméabilité de fissuration. Il présent du coté de Tipaza et de Tissemsilt, on le retrouve sur le djebel zaccar qui est située au nord de la plain du haut cheliff.

2.4.1.2. Crétacé

Il est essentiellement marneux, il constitue une limite étanche pour les eaux sous terraines ce qui favorise les instabilités de pente, le glissement de terrain et le ravinement. Il est présent du coté de Médéa et de Relizane, on le retrouve sur le djebel moula goumer et le djebel hanghoute.

2.4.1.3. Quaternaire

Il est essentiellement formé par des dépôts d'origines alluvionnaires. On le retrouve le long de la vallée du Cheliff.

2.4.1.4. Tertiaire

Il est constitué de calcaire et de granite, on le retrouve sur une grande partie de notre région d'étude.

2.4.1.5. Trias

Il est essentiellement formé de schiste, on le retrouve sur le djebel Doui.

2.4.1.6. Paléozoïque

Il est formé essentiellement de grés et de sable et il forme un aquifère de moindre importance.

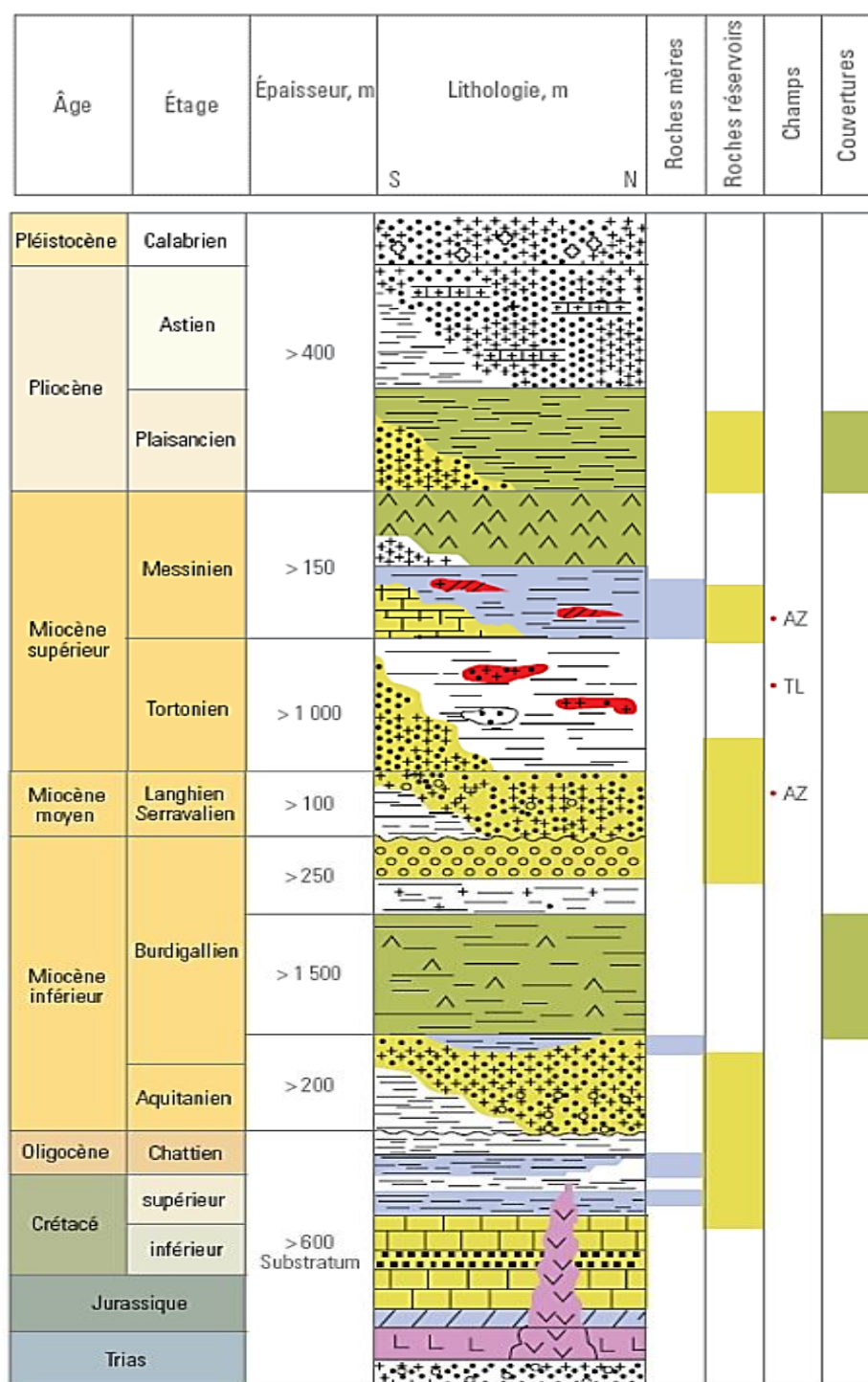


Figure 2.11 : Colonne lithostratigraphique dans le bassin du cheliff



Figure 2.12: Carte géologique du haut et moyen Cheliff

2.5. CLIMAT DE LA REGION D'ETUDE

La région du haut et moyen cheliff possède un climat semi-aride de type méditerranéen. Ainsi elle est caractérisée par des étés chauds et des hivers tièdes. Les précipitations se caractérisent par une irrégularité interannuelle.

2.5.1. Réseau pluviométrique

La région hydrographique Cheliff-Zahrez est équipée d'un réseau pluviométrique de 158 postes géré par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, ainsi répartis sur l'ensemble des bassins.

Le bassin haut et le moyen Cheliff est équipé de 67 postes pluviométriques, soit une densité d'un poste pour 208 km². 61 postes sont en service et 6 sont actuellement à l'arrêt.

En plus de l'hétérogénéité des séries d'observation, le réseau pluviométrique est inégalement réparti et donc, la densité de couverture en informations pluviométriques est très inégale . Ce sous équipement est encore aggravé par une forte disparité géographique du réseau : la partie septentrionale du bassin aval-Boughzoul zone des grandes altitudes dont fait partie notre région d'étude, la plus arrosée est la paradoxalement, la plus dépourvue en postes pluviométriques [12].

Nous représentons sur la figure (2.13) ci-après la carte des différentes stations pluviométriques du bassin haut et moyen Cheliff.

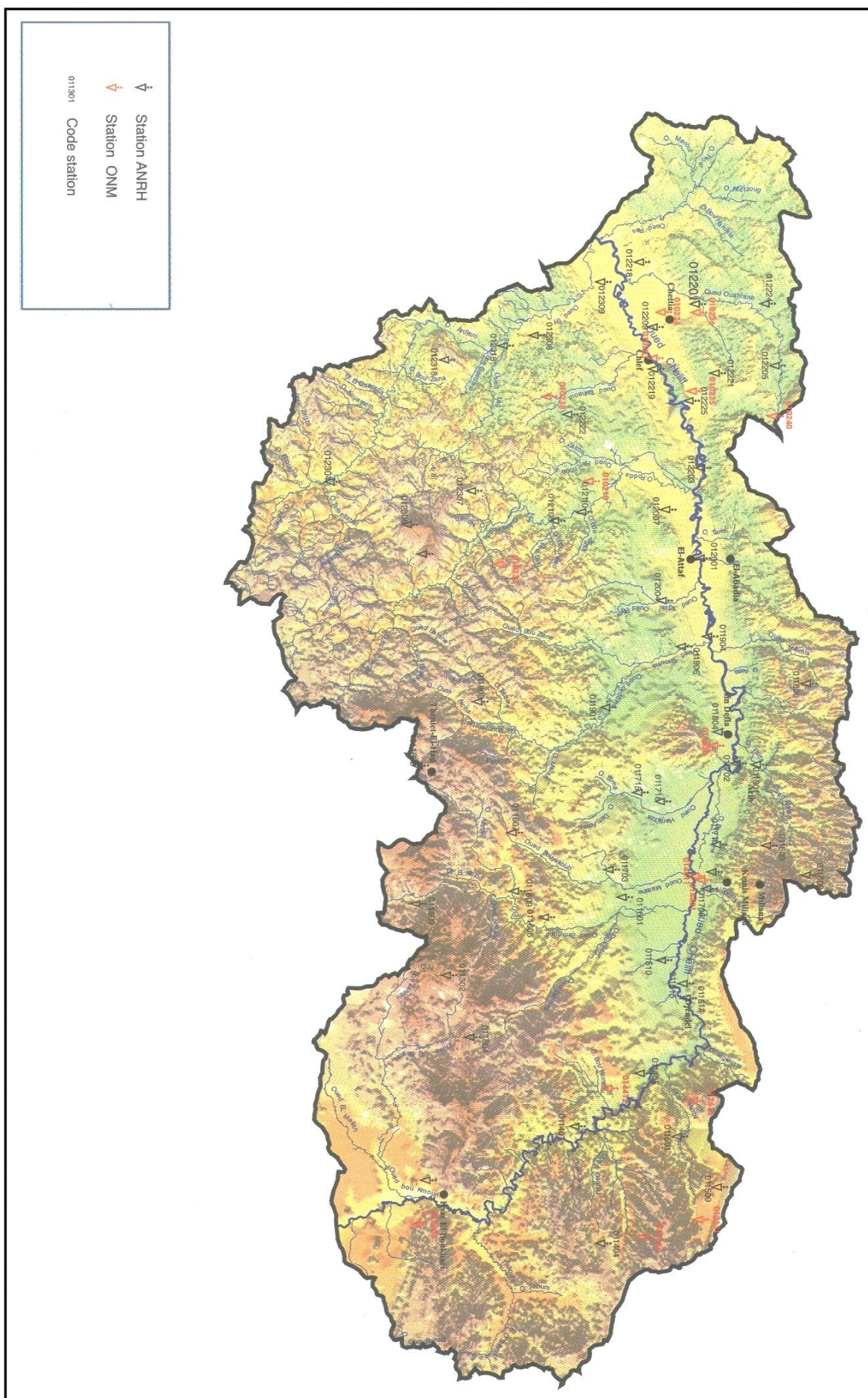


Figure 2.13 : carte des stations pluviométrique du haut et moyen Chelif

2.5.2. Précipitation

La pluviométrie moyenne interannuelle dans le bassin varie de 227 à 700mm, elle est concentrée sur les versants sud des monts de Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle maximale de 700mm dans la station de sidi Medja commune de ben allel (willaya de ain defla) et deux autre valeurs de plus de 600mm enregistré dans les deux stations de El Aneb commune El Amra willaya de Ain Defla ainsi qu'as la station Médéa secteur, localisé au sud de l'atlas Blidéen . Les précipitations diminuent dans la valais du cheliff ou elle varie entre 300 et 400 mm, une moyenne interannuelle minimale de 227mm est enregistrée dans la station de sidi slimane commune de sidi slimane (willaya de Tissemsilt).

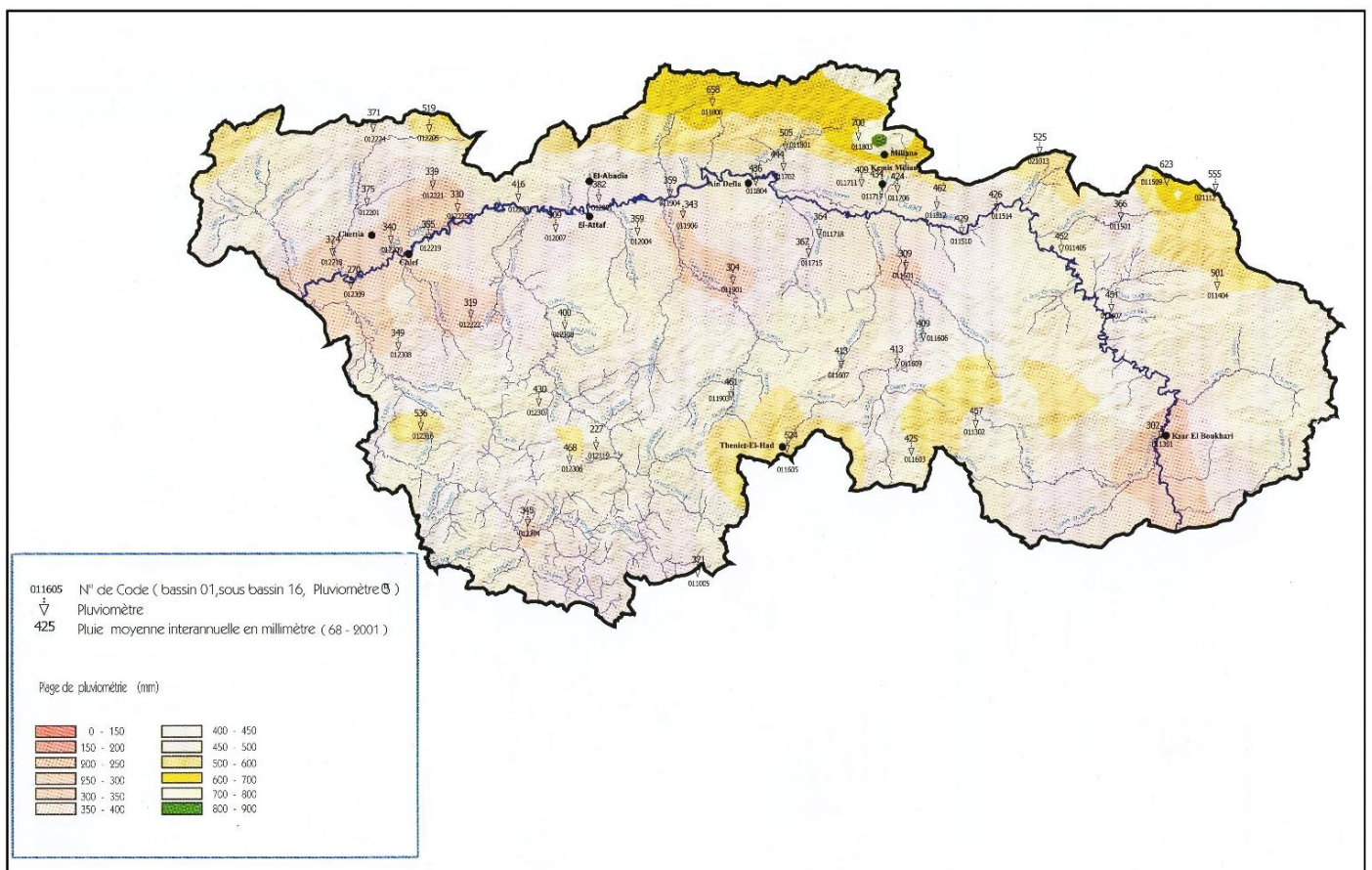


Figure 2.14 : Carte des précipitations du haut et moyen Cheliff

CHAPITRE 3

REALISATION DE LA CARTE DE SENSIBILITE A L'EROSION DU HAUT ET MOYEN CHELIFF

3.1. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Pour atteindre les objectifs assignés dans cette étude, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Rassembler et cartographier les différents facteurs intervenants dans le processus érosif en utilisant le logiciel Arcgis. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour.
- Etablir un mode de pondération des différentes cartes réalisées sur Arcmap en affectant un indice de poids pour chacune des classes.
- Une fois toutes les cartes sont rassemblées, la superposition de celles-ci est effectuée par « model builder » sur Arcmap et la carte de sensibilité à l'érosion de notre zone d'étude est obtenue.

L'essentiel du travail a été réalisé suivant l'organigramme méthodologique ci-dessous :

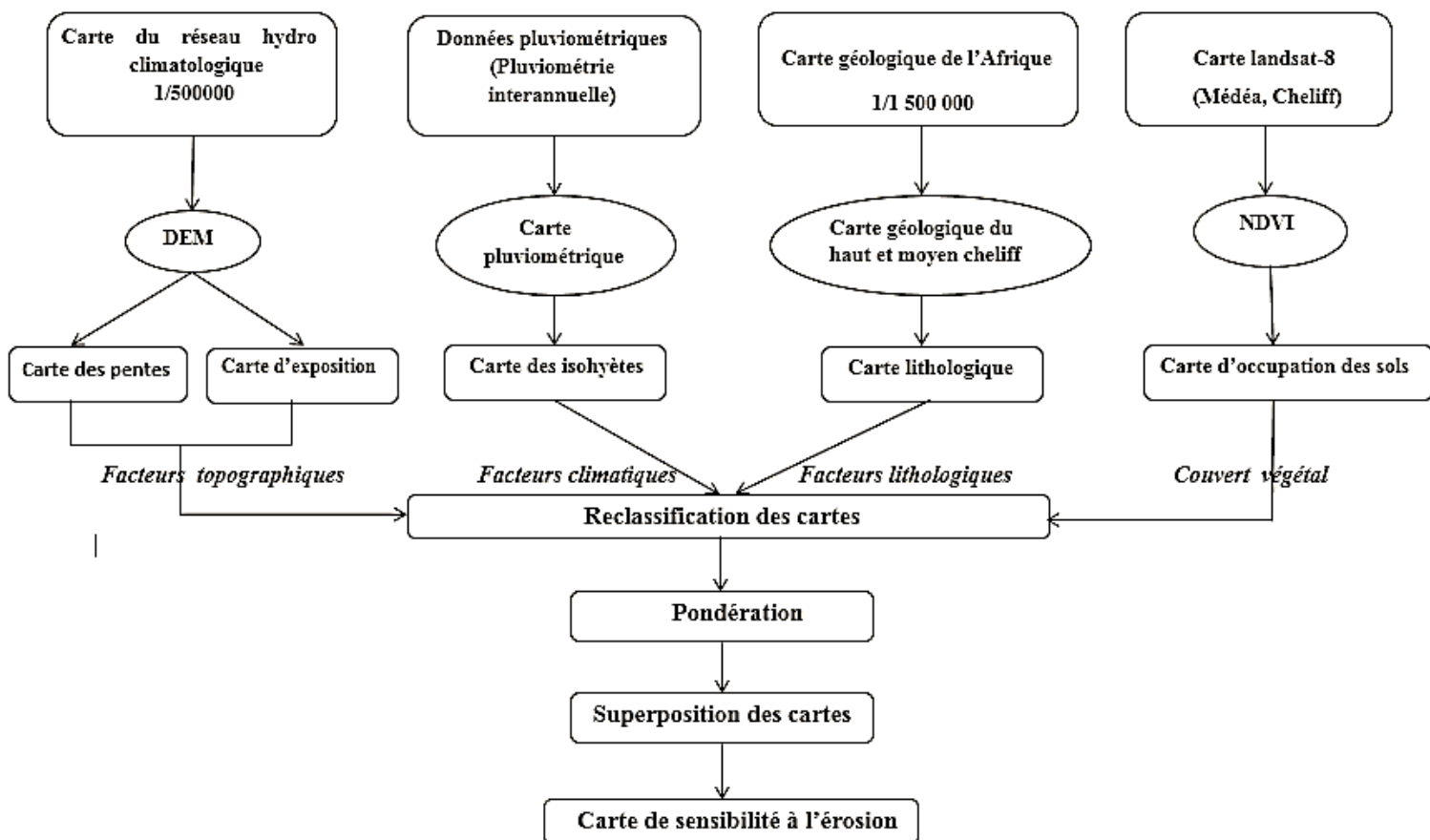


Figure 3.1 : Diagramme méthodologique de la réalisation de la carte de sensibilité des terrains à l'érosion fondé sur un système d'information géographique

3.2. MATERIELS

3.2.1. Logiciels utilisés

Un SIG est un système informatique de matériels, de logiciels et de processus, conçu pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation et l'affichage de données à référence spatial en vue de résoudre des problèmes d'aménagement et de gestion [13].

Pour atteindre notre objectif et réaliser la carte de sensibilité à l'érosion, nous avons utilisés un certain nombre de logiciels d'information géographiques, à savoir :

3.2.1.1. MapInfo professionnel 10.5

C'est un Système d'information géographique (SIG) qui permet de réaliser des cartes en format numérique. MapInfo est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones, image raster ... Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données... Ce logiciel a été utilisé surtout pour caller et délimiter notre région d'étude.

3.2.1.2. Google earth

C'est un logiciel permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires. Il nous a permis de convertir les données SIG au format KMZ et les exporter vers d'autres logiciels.

3.2.1.3. Arcgis 10.2.1

C'est in système d'information géographique très puissant qui permet de visualiser, interroger, analyser et mettre en page des différents types de données. C'est l'application essentielle pour la création et l'utilisation des données spatiales. Il permet également, de créer des cartes de qualité en utilisant un panel d'outils ...etc.

Sur la base de ce logiciel et plus exactement sur Arcmap nous avons réalisé la majeure partie de notre étude : d'abord, l'élaboration des différentes cartes (pentes, exposition au vent, isohyètes, lithologique, occupation des sols) ensuite leurs superpositions, pour créer au final la carte de sensibilité à l'érosion de la zone d'étude.

3.2.1.4. Global mapper v15.2

C'est un logiciel professionnel de cartographie. Il permet un accès direct à nombre de ressources satellites (Digital Globe, GlobeXplorer, AirPhotoUSA, TerraServer...). Il se lie avec un GPS pour une plus grande précision ou pour créer des cartes personnalisées.

Ce logiciel nous a permis en premier lieu, la lecture des fichiers KMZ et leur exportation sous plusieurs formes de données, vecteur ou raster, qu'on a pu exploité sous Arcgis. Nous l'avons également utilisé pour obtenir un modèle d'élévation numérique (DEM) de notre région

d'étude et par la suite extraire la courbe hypsométrique et faciliter l'étude des caractéristiques géométriques du bassin haut et moyen cheliff.

3.2.2. Données cartographiques

Elles concernent :

- Carte du réseau hydro-climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux du nord de l'Algérie, échelle 1/500000, qui était utilisée particulièrement pour la délimitation du bassin versant cheliff.
- Carte géologique de l'Afrique, échelle 1/1 500 000, (téléchargée depuis USGS), utilisée pour extraire les données géologiques de la région d'étude.
- Carte topographique du haut et moyen Cheliff, (téléchargée depuis la base de données Terra Server d'imagerie satellitaire de l'USGS).

3.2.3. Données images

- Deux cartes images landsat-8 sous formes de bandes (rouge et infrarouge proche) avec une résolution de 30m, des deux régions Médéa et Cheliff. Ces deux images ont été intégrées dans un SIG (Arcgis) pour pouvoir extraire et mettre à jour les informations cartographiques et thématiques dont l'objectif est de réaliser une carte d'occupation du sol de la région d'étude.

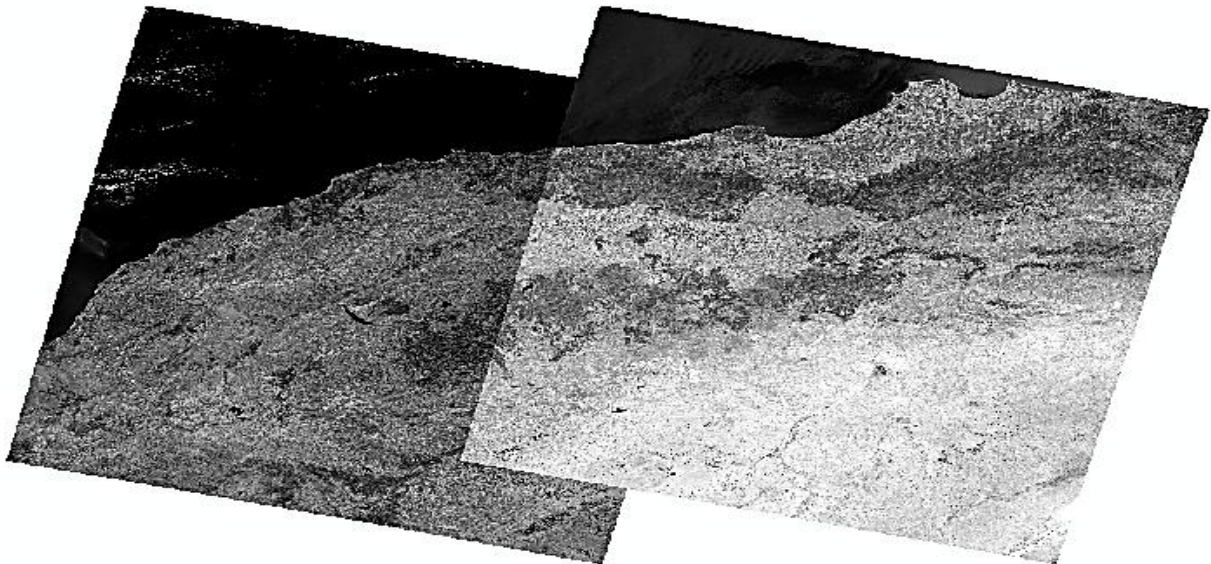


Figure 3.2 : Affichage des deux bandes spectrales de Landsat 8 des deux régions Médéa et cheliff

3.2.4. Modèle numérique de terrain (MNT)

Un Modèle numérique de terrain (MNT) correspond à une représentation sous forme numérique du relief d'une zone géographique adaptée à une utilisation informatisée. C'est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une région, créée à partir des données d'altitude du terrain.

Le MNT de notre région d'étude a été établi avec le logiciel « Global mapper ». Il a été utilisé principalement, pour extraire un modèle d'élévation numérique (DEM) qui nous a permis par la suite, d'obtenir toutes les composantes hydrologiques à savoir :

- Le réseau hydrographique,
- Le réseau de drainage,
- Le sens d'écoulement etc.

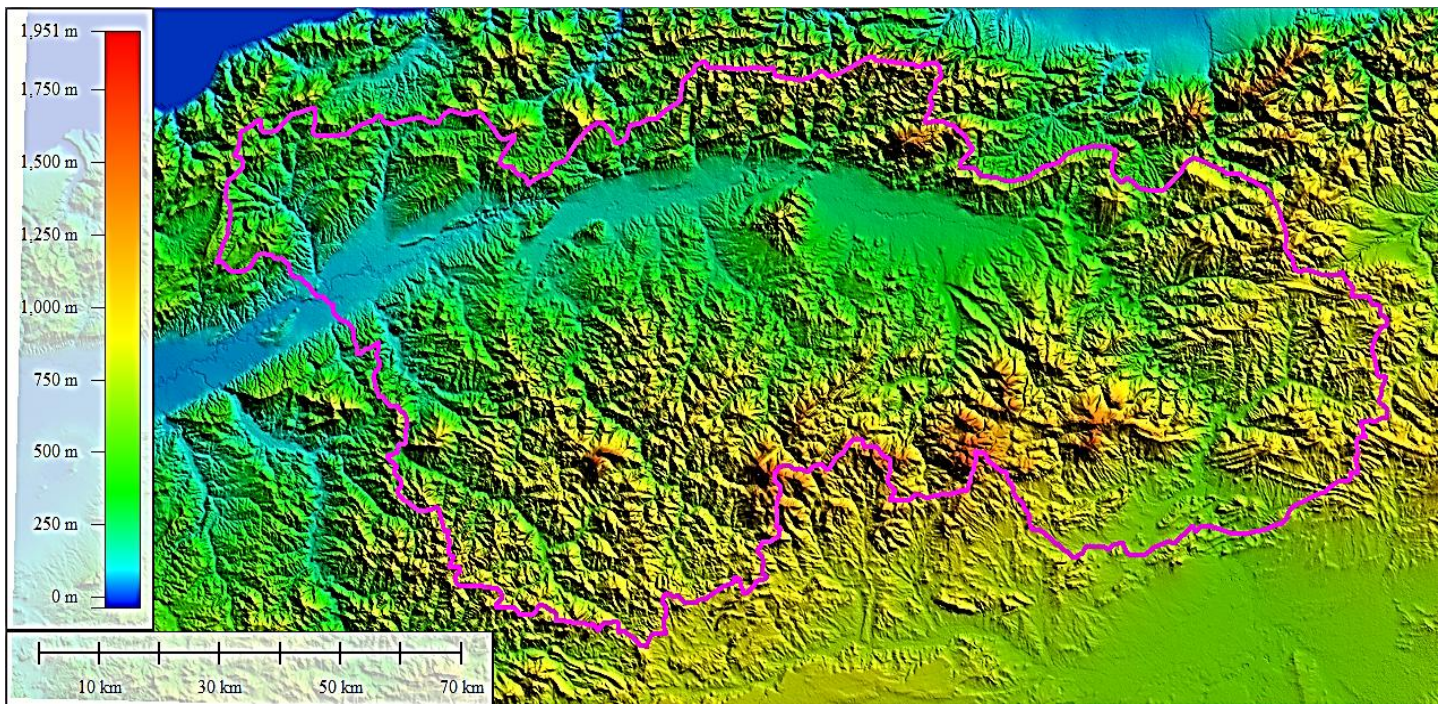


Figure 3.3 : MNT de la région d'étude

3.3. ÉLABORATION DES DIFFÉRENTES CARTES

La méthode utilisée pour réaliser la carte de sensibilité à l'érosion est celle de la superposition pondérée des différentes cartes (pente, exposition, isohyète, occupation des sols et lithologie). Cette méthode consiste à superposer plusieurs rasters en utilisant une échelle de mesure commune et une pondération en fonction de leurs importances. Les cinq rasters entrés ont été reclassés selon une échelle de mesure commune de 1 à 4. Chaque raster est affecté par un pourcentage d'influence, puis les résultats sont cumulés pour créer le raster en sortie.

3.3.1. La carte des pentes

La pente topographique est la tangente de l'angle que fait le terrain par rapport à l'horizontal, sa valeur peut être donnée soit en pourcentage ou en degré. Le pourcentage d'une pente permet de décrire le relief en exprimant le rapport entre la dénivellation et la distance horizontale, plus la valeur de la pente est faible, plus le terrain est plat ; plus la valeur de la pente est élevée, plus le terrain est pentu.

$$\text{Pente (\%)} = \text{dénivelé} \times 100 / \text{longueur parcourue}$$

Dénivelé : Hauteur totale entre le point d'arrivée et le point de départ,

Longueur parcourue : parcours entre le point de départ et le point d'arrivée.

La pente a une grande influence puisqu'elle fournit son énergie érosive à l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse du ruissellement, accélérant le transport solide vers le bas augmentant ainsi l'impact de l'ablation des matériaux détritiques. L'indice topographique sera donc le paramètre à considérer pour ce facteur. Le modèle d'élévation numérique (DEM) de la zone d'étude, obtenu par le logiciel Global mapper, nous a permis d'établir une carte des classes de pente (figure 3.4). Les classes de pente et leur pondération sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 3.1. Classes des pentes avec leurs surfaces et leurs indices des poids

Classe des pentes	Surface occupé (Km ²)	Sensibilité	Indice de poids
< 6%	2249	faible	1
6% à 13%	2722	Moyenne	2
13% à 25%	3764	Forte	3
> 25%	2044	Très forte	4

➤ Interprétation des différentes classes

Classe 1 (< 6%) : représente les faibles pentes qui occupent à peu près 21% de la surface totale considérée, ce sont en particulier, les particules fines qui migrent. Ici le risque érosif est considéré comme faible.

Classe 2 (6% à 13%) : c'est des pentes moyennes qui favorisent l'apparition des rigoles. Elles occupent une surface de 2722 km², soit environ 25% de la surface totale du bassin.

Classe 3 (13% à 25%) : les pentes supérieures à 13 % qui occupent environ 35% de la surface totale représentent des fortes pentes. C'est ici que s'exprime l'érosion par ravinements où le couvert végétal est peu dense. Dans cette classe la sensibilité à l'érosion est forte.

Classe 4 (> 25%) : au-delà de 25 %, soit environ une surface de 2044 km² (19 % de la superficie totale), les rigoles se creusent et deviennent de plus en plus profondes, ce qui se traduit par une surface très accidentée et le risque érosif est très fort.

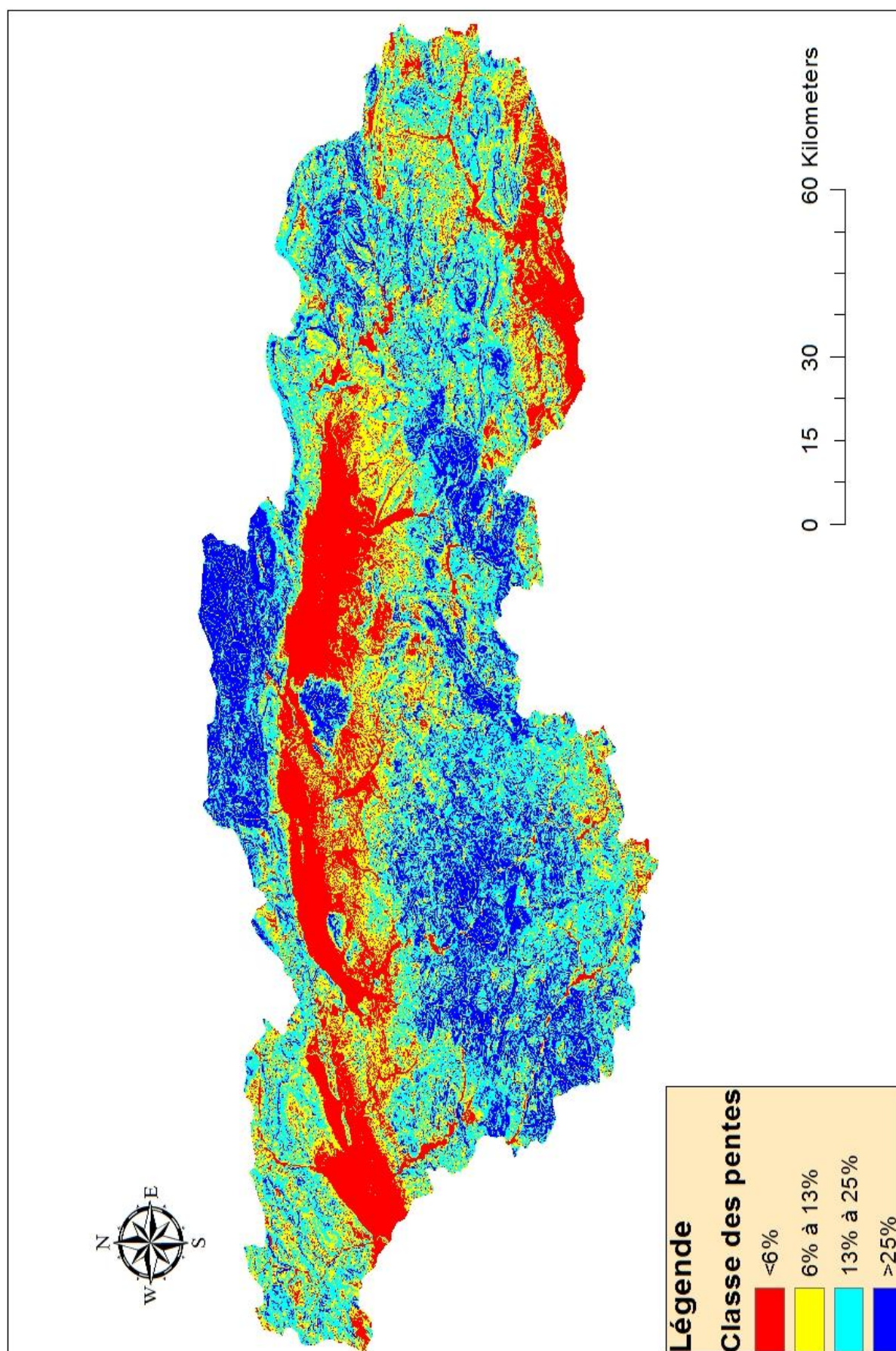


Figure 3.4. Carte des pentes du haut et moyen cheliff

3.3.2. La carte d'exposition au vent

La carte d'exposition nous permet de localiser les versants qui présentent le plus de risque à l'érosion éolienne, qui attaque les roches en enlevant des particules (déflation, abrasion) ou en polissant la surface, ce qui conduit à une dégradation environnementale sévère par l'appauvrissement des sols et le déplacement de volumes élevés de particules par le vent.

En été notre région est exposée à des vents venant du sud qui sont chargés en particules de sable, ces derniers exercent une action corrosive donnant l'effet d'un mitraillage. Elle est aussi exposée à des vents venant du nord-est qui contribue au balayage des particules fines et leurs enlèvements du sol. En hiver notre région est exposée à des vents du nord-ouest portants de pluies.

Les différentes expositions retenues sont : le N, NE, NW, E, W, S, SE et SW. La pondération de chacune des expositions dépendra de la zone considérée.

Tableau 3.2 : Les classes d'exposition et leurs indices des poids

Expositions	sensibilité	Indice de poids
E	faible	1
SE, SW	Moyenne	2
N, W	Forte	3
S, NW, NE	Très forte	4

La carte d'exposition au vent a été réalisée sous Arcmap, elle est représentée sur la figure 3.5 ci-dessous :

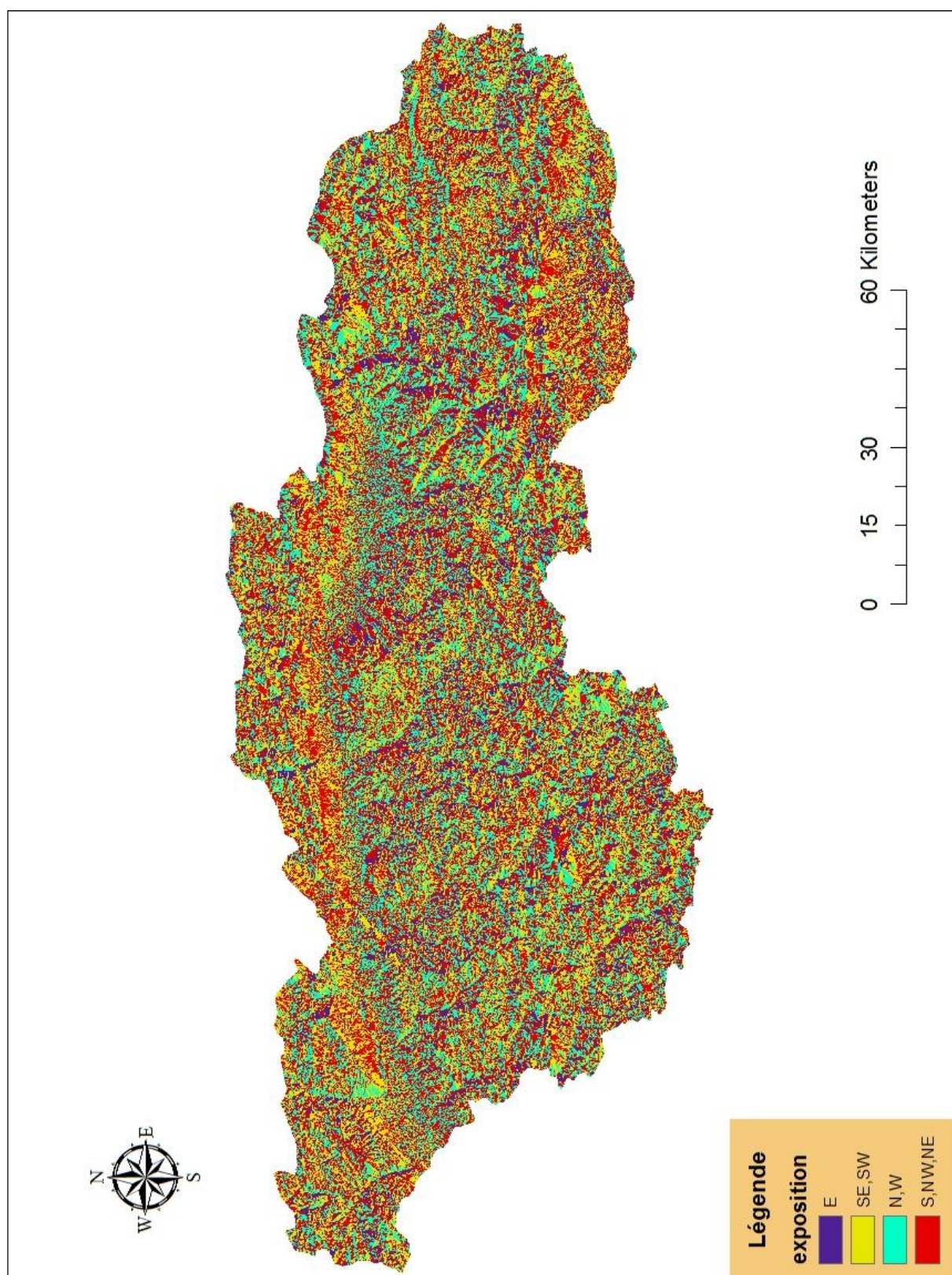


Figure 3.5 : Carte d'exposition au vent du haut et moyen cheliff

3.3.3. La carte des isohyètes

Le climat qui règne sur le haut et le moyen Chelif est un climat semi-aride. Les précipitations moyenne annuelle sont de 300 à 400 mm/an au niveau de la wilaya de Chlef, elles sont de 500 à 700 mm/an au niveau de la wilaya de Ain Defla, elles varient entre 400 et 500 mm/an au niveau de la wilaya de Tissemsilt, et elles sont très faibles, 200 mm/an au niveau de la wilaya de Relizane.

Par son intensité et sa durée, la pluie joue un rôle très important dans l'érosion des sols, elle intervient dans la saturation momentanée de la porosité des sols, mais aussi au cours de la pluie l'énergie cinétique dissipe en détruisant la structure de la surface de sol.

La carte des isohyètes a été réalisée à partir des données pluviométriques fournies par l'ANRH en utilisant le logiciel Arcgis.

Tableau 3.3. Pluviométrie interannuelle du haut et moyen Chelif

ID	CODE	X°	Y°	Pluviométrie (mm)
1	011302	2.38944	35.5111111	457
2	011407	2.64944	36.07916667	451
3	011510	2.36389	36.19361111	429
4	011514	2.42917	36.22666667	426
5	011605	2.02361	35.87583333	524
6	011607	2.14861	35.99500000	413
7	011702	2.02611	36.29138889	444
8	011703	2.20917	36.12333333	378
9	011711	2.16556	36.26611111	409
10	011715	2.07611	36.16111111	367
11	011803	2.16667	36.33277778	700
12	011804	2.97167	36.26722222	436
13	011903	1.92389	35.94500000	461
14	011904	1.80722	36.24277778	359
15	011906	1.82639	36.21750000	343
16	012001	1.675	36.24277778	382
17	012004	1.74667	36.19166667	359
18	012119	1.65694	36.87222222	227
19	012210	1.59694	36.08361111	407
20	012201	1.23222	36.23111111	375
21	012209	1.23111	36.17527778	340
22	012221	1.35972	36.25666667	339
23	012222	1.40389	36.06722222	319
24	012224	1.24222	36.34138889	317
25	012225	1.40194	36.21972222	330
26	012304	1.54806	35.74805556	345
27	012307	1.5625	35.93666667	468
28	012308	1.27583	36.02666667	430
29	012309	1.20222	36.10500000	349
30	012316	1.33017	35.89888889	270

Tableau 3.4. Les classes de pluviosité et leurs indices des poids

Pluviométrie annuelle en (mm)	Sensibilité	Indice de poids
< 300	faible	1
300 à 450	Moyenne	2
450 à 600	Forte	3
> 600	Très forte	4

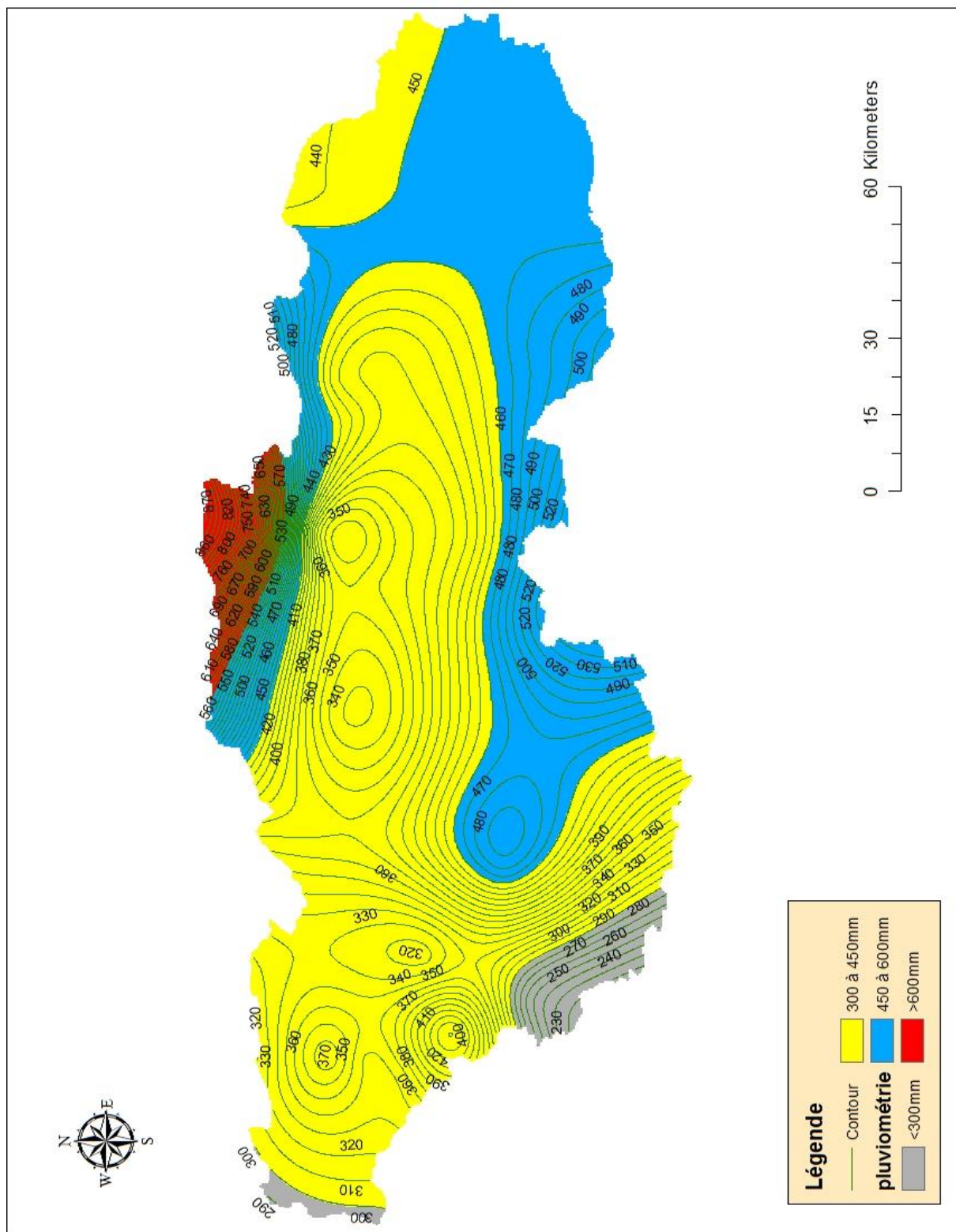


Figure 3.6: Carte des isohyètes du haut et moyen cheliff

3.3.4. Carte lithologique

Sur la carte géologique du haut et moyen Cheliff on voit clairement une diversité géologique sur toute notre zone d'étude, on trouve différents types de roche avec différentes résistances vis-à-vis de l'érosion, ce qui influence sur la sensibilité à l'érosion de notre région. La réalisation de la carte lithologique s'est faite par extrapolation à partir de la carte géologique du haut et moyen cheliff, la carte schématique des formations lithologiques du bassin ainsi obtenue, est représentée sur la figure 3.7

Le tableau ci-dessous montre les différents types de roche pour chaque période géologique ainsi que leur sensibilité vis-à-vis de l'érosion.

Tableau 3.5. Type de roche et leurs indices des poids

Périodes	Types Des Roches	Sensibilité	Indice De Poids
Crétacé	marne	très forte	4
Crétacé inférieur	schiste	moyenne	2
Jurassique	calcaire	faible	1
quaternaire	alluvion	moyenne	2
Trias	schiste	moyenne	2
Paléozoïque	grès et sable	forte	3
tertiaire	calcaire et granite	faible	1

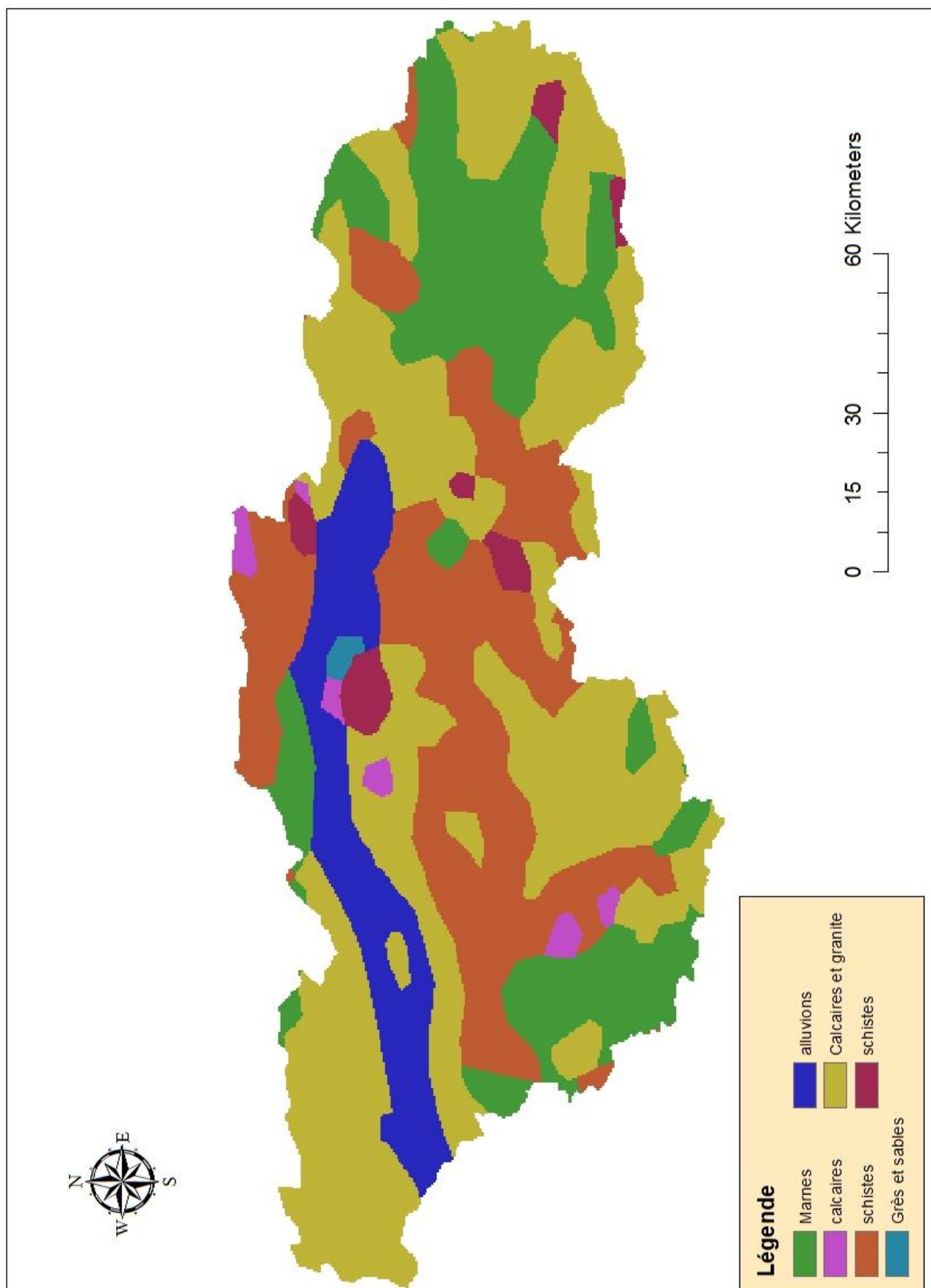


Figure 3.7: Carte schématique des formations lithologiques du bassin haut et moyen cheliff

3.3.5. Carte d'occupation des sols

3.3.5.1. Matériels et méthodes

A/. La télédétection

Ce type de méthode d'acquisition utilise la mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis des objets étudiés dans un certain domaine de fréquences (infrarouge, visible, micro-ondes). Ceci est rendu possible par le fait que les objets étudiés (plantes, maisons, surfaces d'eau ou masses d'air) émettent ou réfléchissent du rayonnement à différentes longueurs d'onde et intensités selon leur état.

B/. Indice de végétation normalisé NDVI

C'est un indice qui consiste à soustraire au canal infrarouge (où la couverture végétale a des fortes réflectances) le canal rouge (où les surfaces minéralisées ont de fortes réflectances). Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie entre -1 et +1.

- Les valeurs négatives : correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge.
- Valeurs NDVI proches de 0 : c'est des sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge.
- Valeurs de NDVI positives : c'est des formations végétales, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs plus élevées correspondent aux couverts plus denses.

C/. Landsat-8

Le programme Landsat est le premier programme spatial d'observation de la Terre dédié à des fins civiles. Il est développé par l'agence spatiale américaine, la NASA à l'instigation de l'Institut des études géologiques américain (USGS) et du département de l'agriculture au milieu des années 1960. Ce programme nous permet d'avoir des images sous formes de bandes qu'on peut exploiter avec les systèmes d'informations géographiques.

Tableau 3.6. Les bandes spectrales de l'instrument OLI 8

Bandes spectrales	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

Tableau 3.7. Bandes spectrales de l'instrument TIRS 8

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

3.3.5.2. Réalisation de la carte d'occupation des sols

Pour la réalisation de la carte d'occupation des sols nous avons combiné deux images Landsat 8, l'une de la région de Médéa et l'autre de la région du Cheliff, pour qu'elles puissent couvrir toute la zone d'étude. A l'aide du logiciel Arcgis nous avons déterminé le NDVI de notre région en utilisant les bandes spectrales 4 et 5. Après avoir obtenue la carte d'occupation des sols nous avons établi un reclassement puis une pondération des différentes classes suivant la sensibilité de chacune à l'érosion.

Tableau 3.8. Occupation des sols et leurs indices des poids.

Occupation	Sensibilité	Indice de poids
Foret	faible	1
maquis	moyenne	2
Humide et parcours	forte	3
agricole	Très forte	4

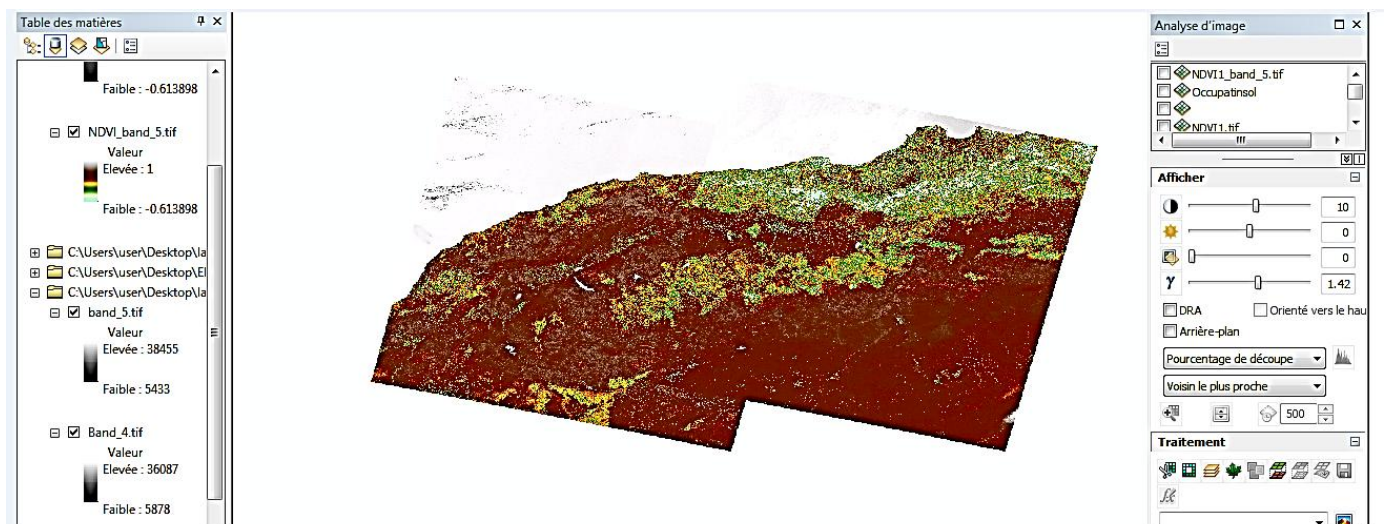


Figure 3.8: Combinaison des deux bandes spectrales des régions Médéa et cheliff et calcul du NDVI sous Arcmap

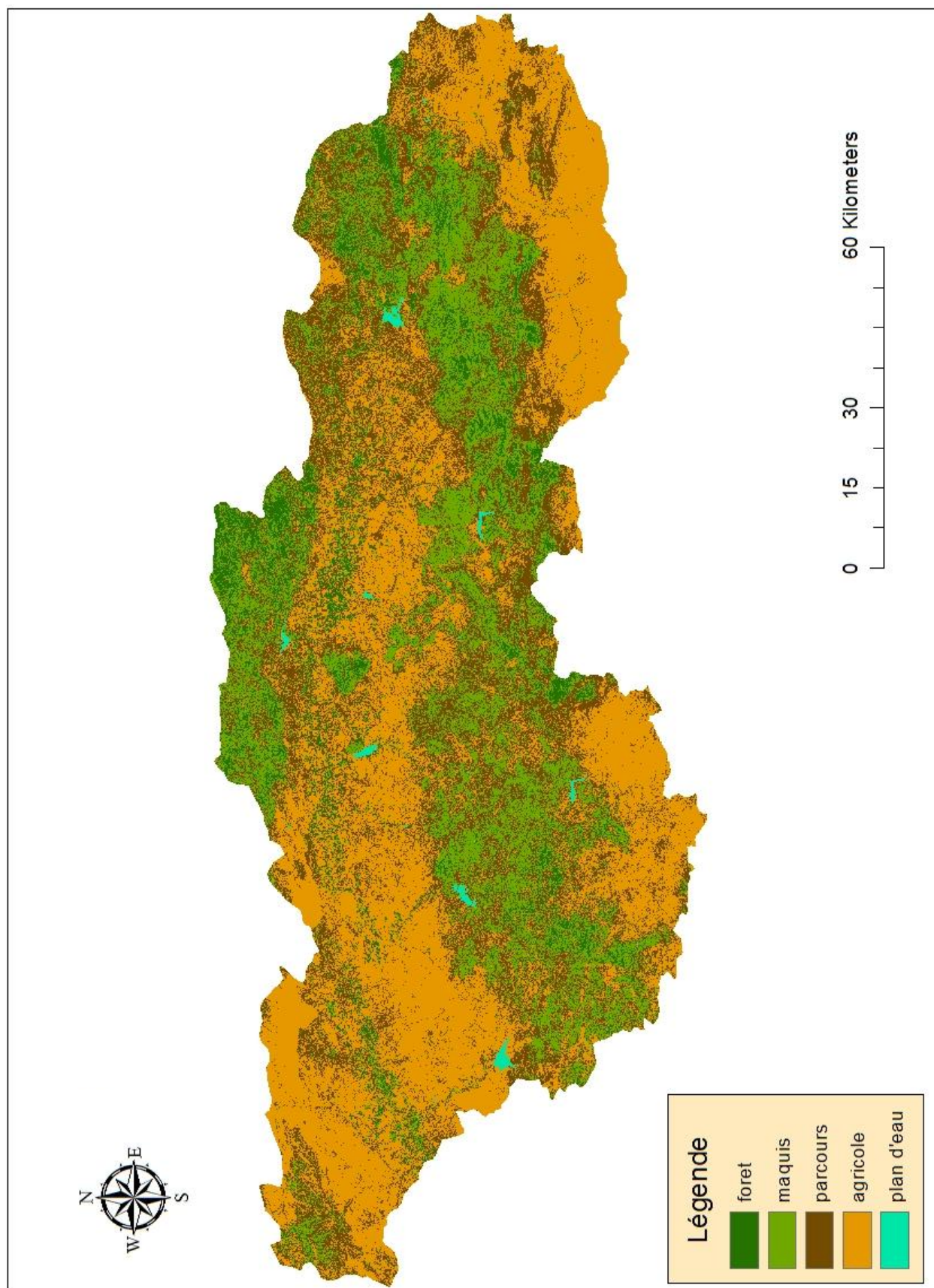


Figure 3.9: Carte d'occupation des sols du bassin haut et moyen cheliff

3.4. ELABORATION DE LA CARTE DE SENSIBILITE A L'EROSION

La carte de sensibilité à l'érosion a été réalisée par le croisement des cartes précédentes à l'aide du logiciel Arcgis, (voir annexe 2), en tenant compte des valeurs des cinq facteurs étudiés à savoir :

- Facteur topographique ;
- Facteur climatique ;
- Exposition au vent ;
- Facteur lithologique ;
- Facteur d'occupation des sols.

Degré de sensibilité = Indice de pente + indice lithologique + indice d'exposition + indice d'occupation des sols + indice de la pluviométrie.

Le modèle de superposition des différentes cartes, réalisé sur Arcmap est représenté sur la figure ci-dessous :

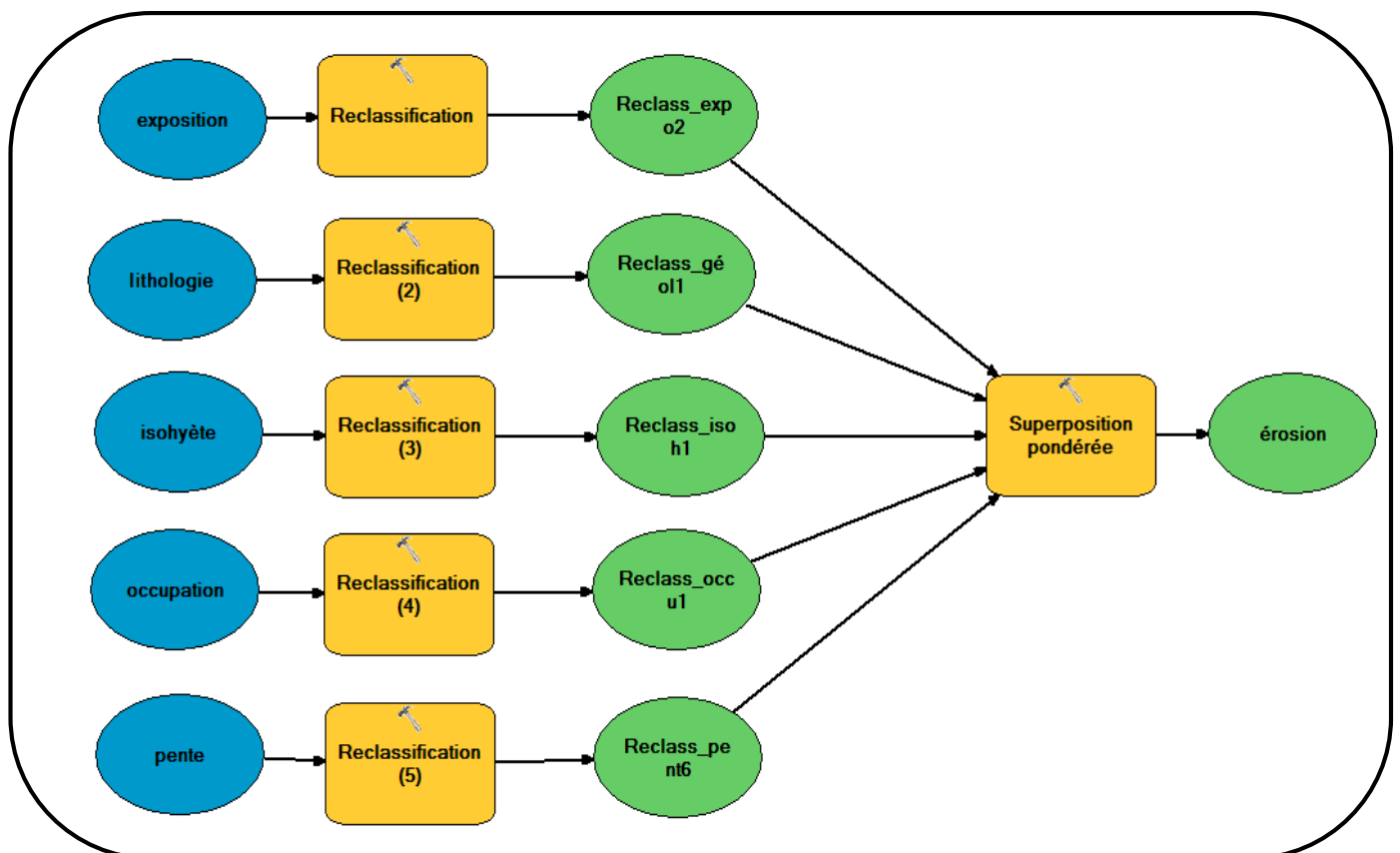


Figure 3.10 : Modèle de superposition des cartes

La carte de sensibilité à l'érosion obtenue est représentée sur la figure 3.11, ci-après :

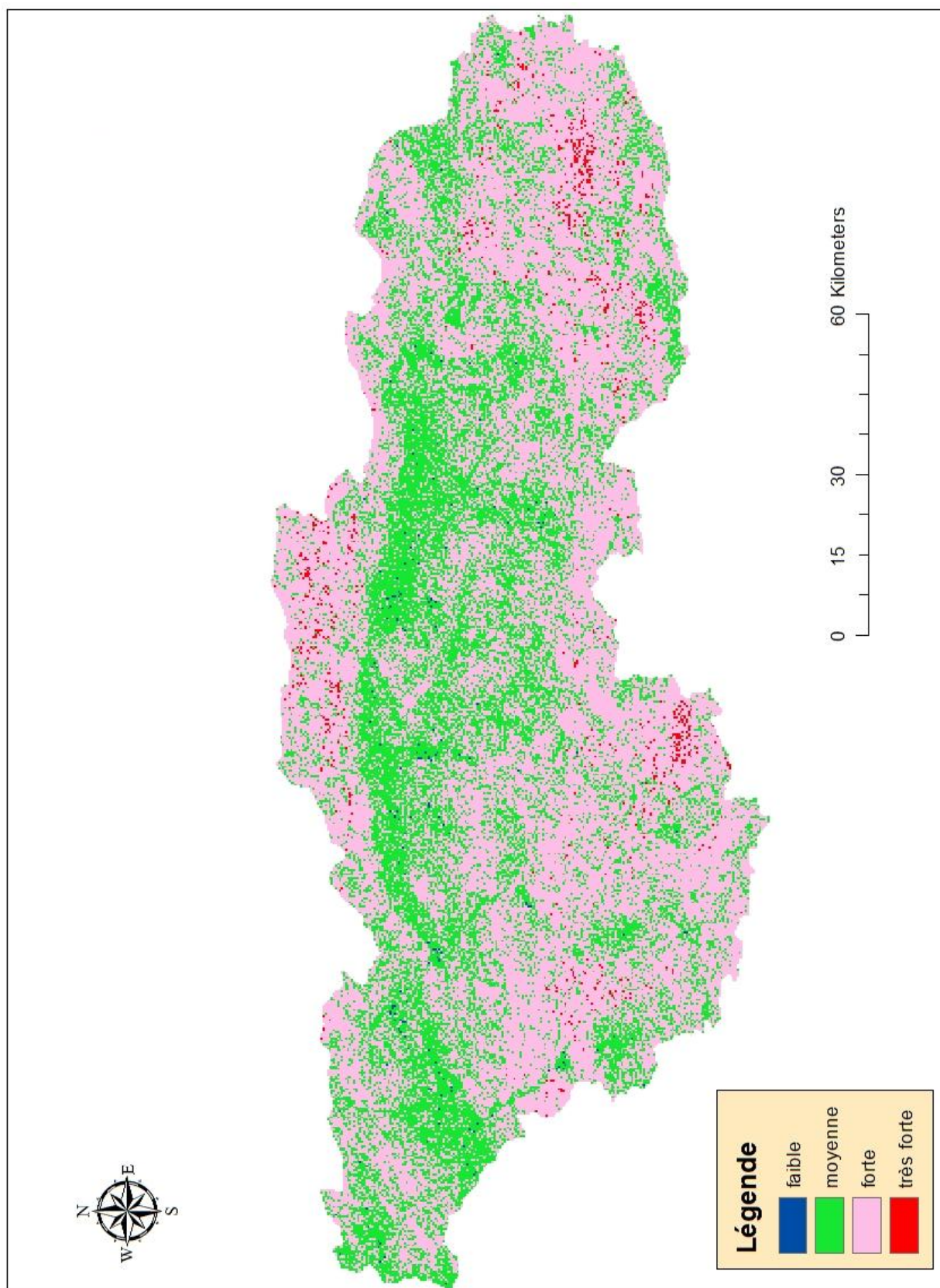


Figure 3.11 : Carte de sensibilité à l'érosion du bassin Haut et moyen cheliff

On obtient ainsi, quatre classes représentant les facteurs déterminant de la sensibilité à l'érosion. Ces classes ont été pondérées suivant l'importance de leurs influences sur le phénomène. Les différents pourcentages des surfaces exposées au risque érosif sont représentés sur le tableau ci-dessous :

Tableau 3.9 : Classes de sensibilité à l'érosion et les surfaces exposées

Classes de sensibilités	Sensibilité à l'érosion	Surfaces (Km ²)	Pourcentage de surface (%)
01	Faible	18	0,168
02	Moyenne	3314	30,969
03	Forte	7279	68,021
04	Très forte	90	0,841

3.5. INTERPRETATIONS DES RESULTATS

L'analyse de la carte finale nous a permis de localiser et de cerner quatre classes de sensibilité (voir figure 3.11)

▪ Classe de sensibilité faible

Très peu ré pondue, c'est la classe où l'érosion est presque nulle, elle est caractérisée par une stabilité due aux caractères physiques des roches, la grande résistance de ces dernières et leur perméabilité qui favorise l'infiltration des eaux. L'existence de la végétation dense et des pentes faibles sont également à l'origine de cette stabilité. Cette classe occupe une superficie de 18 km² soit 0.168% de la surface totale du bassin.

▪ Classe de sensibilité moyenne

Cette classe regroupe les mêmes facteurs contraignants, cités précédemment, mais avec un degré plus élevé, la couverture végétale est dégradée (foret et maquis claire), les roches sont peu résistantes et les pentes sont modérées.

L'érosion dans cette classe est sous forme de petites griffes qui se multiplient parallèlement et provoque une érosion en nappe. Cette classe de sensibilité moyenne s'étale sur une superficie de 3314 km² soit environ 30,969% de la superficie totale de la zone d'étude.

▪ Classe de sensibilité forte

C'est la classe la plus dominante, elle est attribuée aux zones accidentées et dégradées où la pente est forte, la végétation est faible et la lithologie tendre et parfois imperméable. Ces zones se caractérisent par l'apparition des ravinements et couvrent une superficie de 7279 km² soit 68,021% de la surface totale du versant.

▪ **Classe de sensibilité très forte**

C'est la classe qui matérialise les zones très fortement touchées par l'érosion. Ce degré de sensibilité est provoqué par une intensité très forte des pluies, à des fortes pentes également, et à des faciès tendres (marnes). Cette très forte sensibilité est susceptible de provoquer des ravinements, elle couvre une superficie de 90 km² soit 0,841% de la superficie totale de la zone d'étude.

CHAPITRE 4

EVALUATION DU TRANSPORT SOLIDE SUR LE BASSIN HAUT ET MOYEN CHELIFF

4.1. PRESENTATION DES BARRAGES DE LA REGION

4.1.1. Les barrage en exploitation sur le haut et moyen Cheliff

La région du haut et moyen Cheliff exploite plus de neufs barrages, ils sont réparties sur des wilayas différentes et sont conçues pour des usages différents (AEP, IRR, MIXTE), leurs capacités sont plus ou moins importantes. Dans le précédant chapitre l'analyse des cartes nous a montré que le haut et moyen Cheliff présenté une forte érosion ce qui conduit à un risque élevé à l'envasement pour les barrages de la région.

Tableau 4.1 : Ressources en eau superficielle (barrage en exploitation haut et moyen Cheliff)

Barrages	Wilaya	Date de mise en service	Capacité initiale (hm³)	Capacité actuelle (hm³)	Usage (AEP/IRR/MIXTE)
Sidi-yacoub (Sly)	Chlef	1985	280	252,85	Mixte
Oued fodda	Chlef	1932	228	102,85	IRR
Deurdeur	Ain Defla	1984	115	105,12	Mixte
Harreza	Ain Defla	1984	70	76,65	IRR
Ghrib	Ain Defla	1939	280	116,32	Mixte
Boughzoul	Médéa	1934	55	20,27	Transfert vers Ghrib
O.Mellouk	Ain Defla	2003	127	119,4	IRR
Kt.Rosfa	Tissemsilet	2004	75,00	75,00	AEP
S.M.B.Taiba	Ain Defla	2005	95.00	75.00	IRR

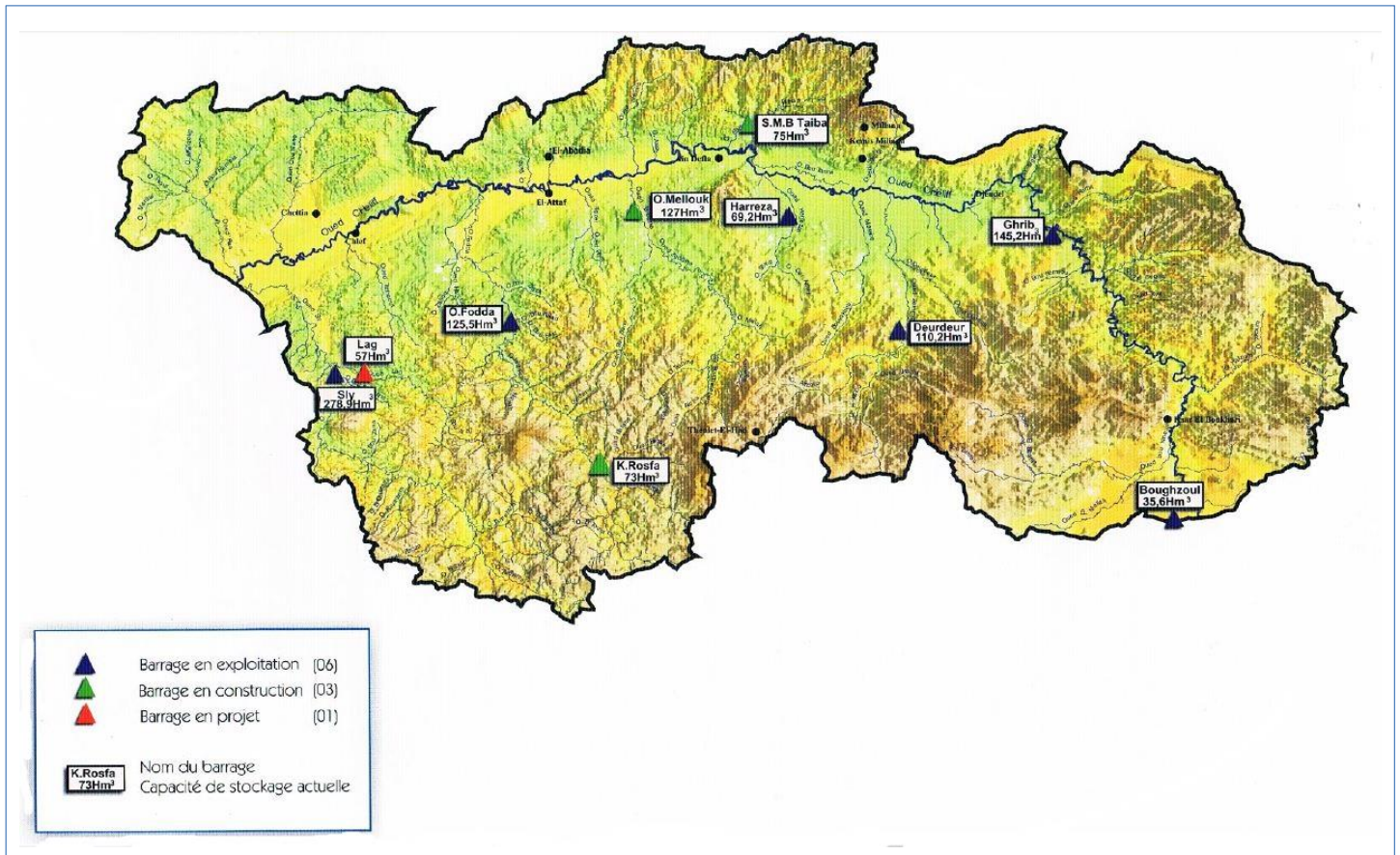


Figure 4.1 : Carte de répartition des barrages sur le haut et moyen Cheliff

4.1.2. Les barrages les plus envasées de la région d'étude

Les barrages de Ghrib et Oued Fodda représentent à eux seul environ le tiers de l'envasement total des barrages algériens (289 hm³).



Figure 4.2 : situation géographique des barrages Ghrib et oued Fodda

4.1.2.1. Barrage GHRIB

Le barrage Ghrib est situé dans la commune de l'Oued-Chorfa dans la Wilaya de Ain-Defla. Il est implanté sur l'oued Chélif à 20 kilomètres au Sud -Ouest de la ville d'Ain-Defla.

Ce barrage est destiné à l'irrigation, l'AEP et le transfert vers le barrage de Bouroumi (SAA) pour un volume régularisé annuel de 105 millions de m³.

Le barrage de Ghrib, sur l'Oued Cheliff est l'ouvrage de base de l'aménagement de la vallée du Chélif. Construit en amont des trois périmètres, il permet de fournir de l'eau indifféremment à chacun des trois périmètres : haut Cheliff, moyen Cheliff, bas Cheliff.

Géographiquement il est situé à une Latitude de 36.1667° et une Longitude de 2.5667°.



Figure 4.3 : Image aérienne du barrage Ghrib

L'image ci-dessus montre un lac de forme allongée entouré de zones habitables et de parcelles agricoles dont les sillons sont dirigés vers la cuvette, ce qui explique l'augmentation de la quantité des sédiments transportés.

Tableau 4.2 : Les caractéristiques du barrage Ghrib et celles de son bassin versant

Date de mise en service	1939
Superficie du bassin versant	2 800 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	148,50 Hm ³ (PNE) contre 138,40 Hm ³ estimé par l'ABH
La capacité initiale du barrage	280 Hm ³
La capacité estimée (2003) du barrage	145,20 Hm ³
Volume régularisé	105,00 Hm ³ /an
Apport réel du barrage	88,56 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	48 %



Figure 4.4 : Image du barrage Ghrif

Sur l'image ci-dessus, on peut remarquer que le barrage est entouré par des plaines à pente moyenne et à très faible couvert végétal.

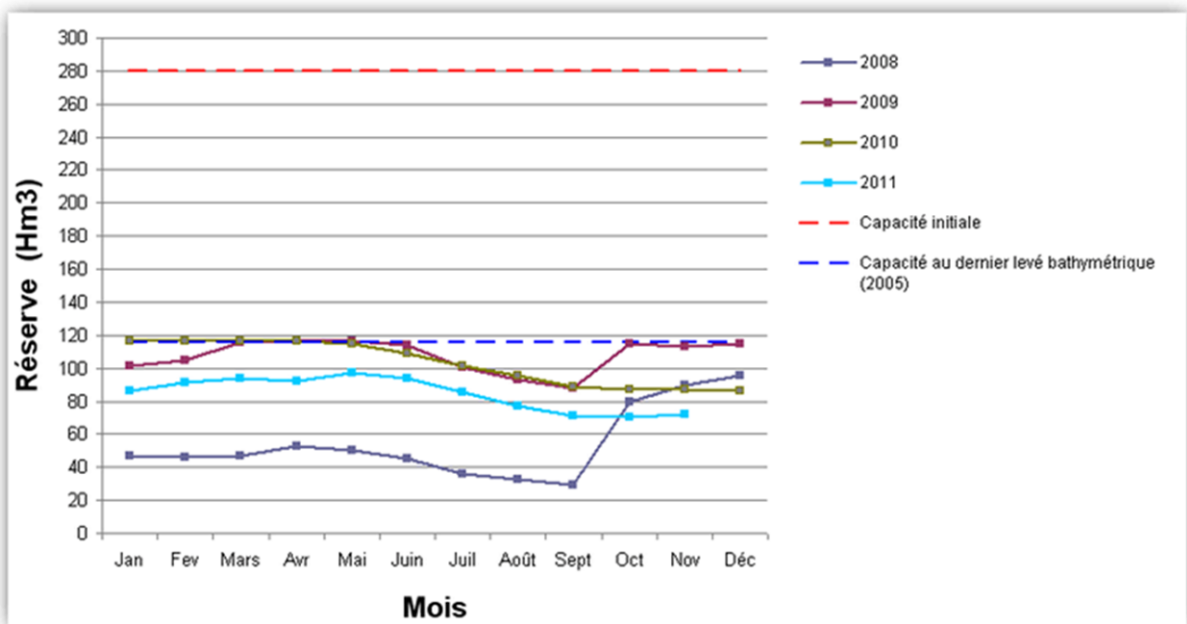


Figure 4.5 : Etat mensuel des réserves du barrage Ghrif

En raison de l'envasement la capacité initial n'est jamais atteinte, le barrage Ghrif perd chaque année la moitié de sa réserve en eau.

4.1.2.2. Barrage Oued Fodda

Le barrage de l'Oued-Fodda, situé à 45 kilomètres au Sud de la ville de Chlef, a pour objet d'approvisionner :

- L'irrigation du périmètre du moyen Cheliff.
- L'alimentation en Eau Potable du barrage et des localités avoisinantes.
- Le transfert vers le barrage de Bouroumi (SAA).

La surface du bassin versant de l'oued fodda est de 800 Km². Son altitude moyenne est de 850 m. Ce bassin reçoit en moyenne 525 mm de pluie par an, le débit moyen annuel de l'oued est de 85 hm³. Géographiquement il est situé à une Latitude de 36°1'35.04" et une Longitude de 1°35'48.48".



Figure 4.6 : Image aérienne du barrage Oued Fodda

L'image ci-dessus montre la forme allongée de la retenue et également, L'importance des sillons dirigés vers la cuvette, favorisant la migration des sédiments vers l'intérieur, et traduisant ainsi l'importance du phénomène d'envasement dans le barrage.

Tableau 4.3 : Les caractéristiques du barrage Oued Fodda et de son bassin versant

Date de mise en service	1932
Superficie du bassin versant	800 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	120 Hm ³ (PNE) contre 20 Hm ³ estimé par l'ABH
La capacité initiale du barrage	228 Hm ³
La capacité estimée (2003) du barrage	125,50 Hm ³
Volume régularisé	69,00 Hm ³ /an
Apport réel au barrage	32,26 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	45 %

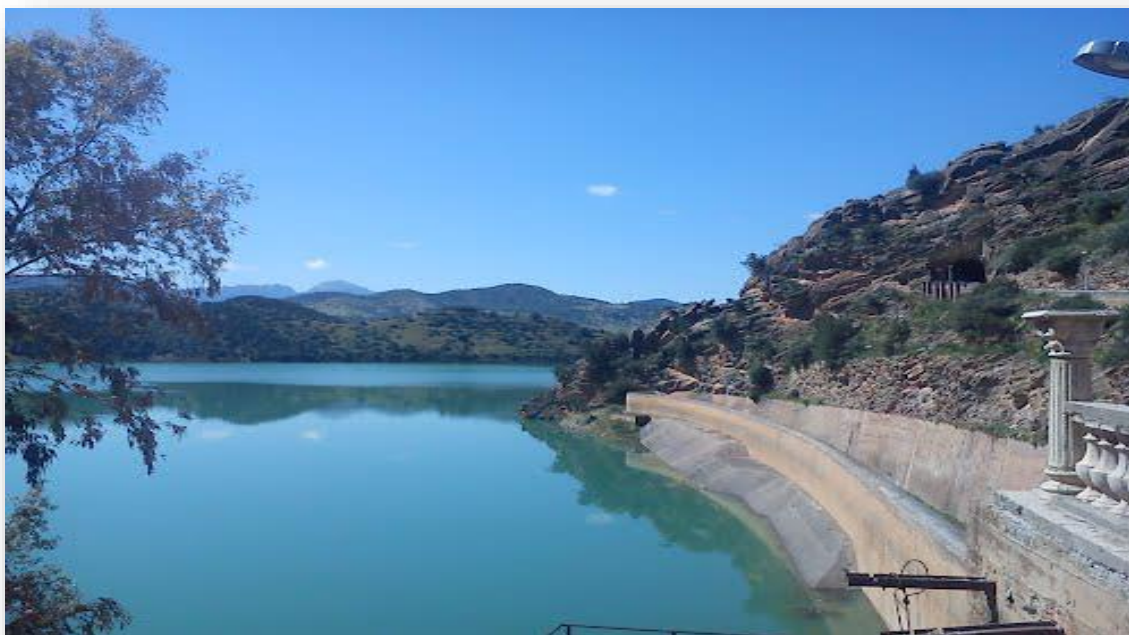


Figure 4.7 : Image du barrage Oued Fodda

L'image ci-dessus montre que le barrage est entouré par des vallées à fortes pentes et un couvert végétal assez dense.

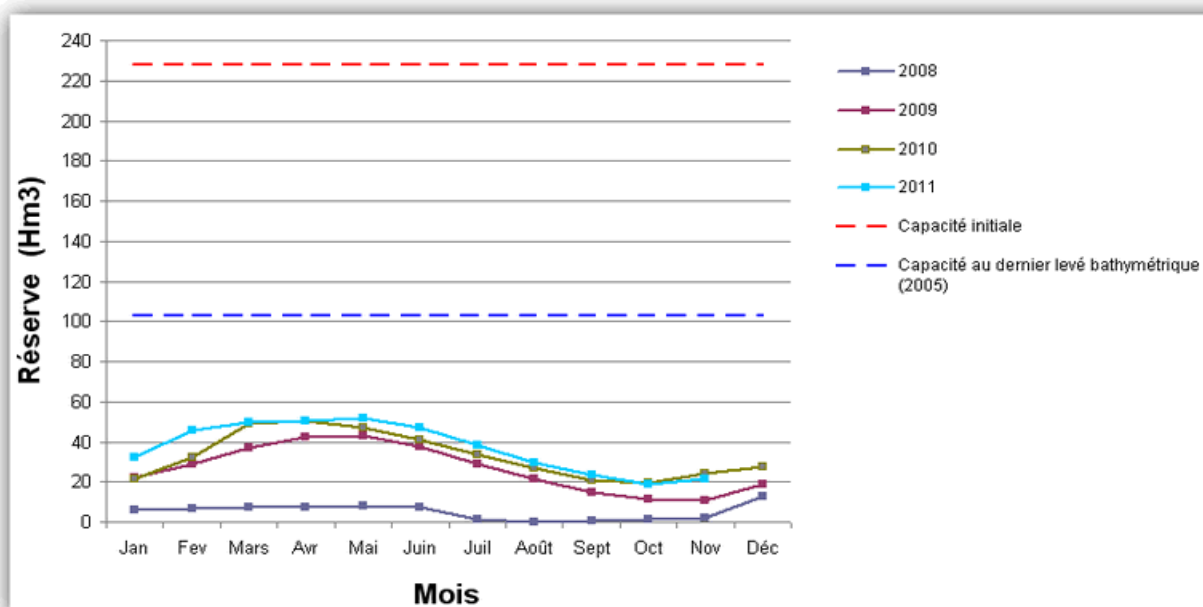


Figure 4.8 : Etat mensuel des réserves du barrage Oued Fodda

4.2. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE ET DE L'ÉROSION SPECIFIQUE SUR LE HAUT ET MOYEN CHELIFF

4.2.1. Identification des zones productrices de matières solides

Le phénomène érosif dans notre zone d'étude résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : agressivité des pluies ; érodibilité des sols ; raideur du relief et la faiblesse du couvert végétal. La superposition d'une série de cartes thématiques nous a permis d'élaborer une carte d'évaluation du risque érosif dans le bassin haut et moyen cheliff. Celle-ci nous a permis également d'identifier les zones où le transport solide est important (figure 4.9).

Comme le montre la figure ci-dessous, les zones à très fortes érosion se localisent essentiellement sur trois sous bassin versant (Oued Fodda, Oued Cheliff Ghrib et Oued Ebda), ce qui traduit également l'importance du transport solide qui apparaît bien, en amont de ces trois sous bassin versant. Ceci explique la gravité du phénomène d'envasement des barrages existants dans la région en particulier, le barrage Fodda et Ghrib qui représentent à eux seuls environ le tiers de l'envasement total des barrages algériens.

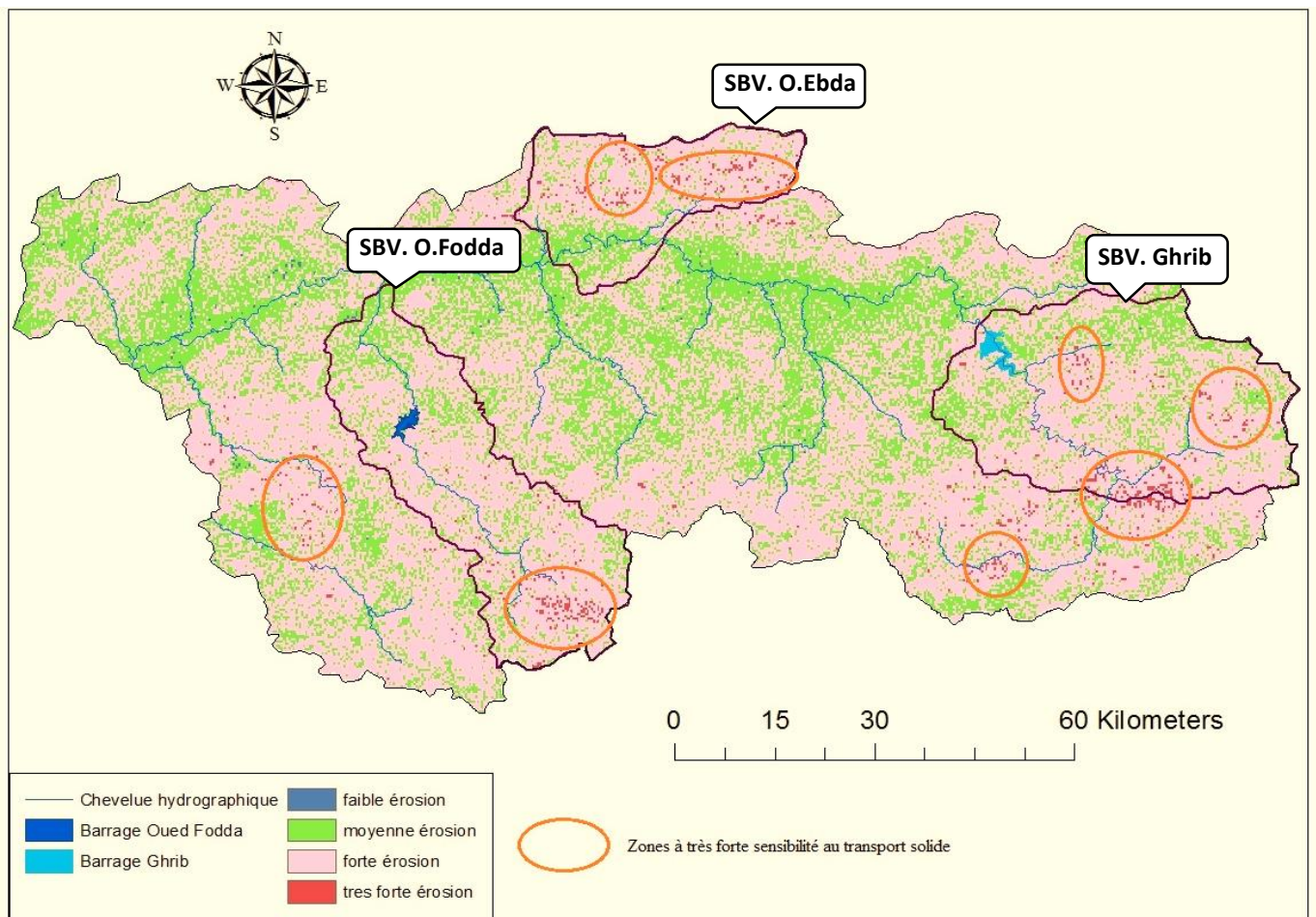


Figure 4.9 : Identification des zones vulnérables au transport solide dans le haut et moyen Cheliff

4.2.2. Relation entre le débit solide en suspension et le débit liquide

Le transport solide en Algérie est évalué au niveau des stations hydrométriques des bassins versants pour la quasi-totalité des épisodes d'écoulement. Généralement, on se limite au débit en suspension. Le charriage est estimé entre 15% et 25% de la suspension, selon plusieurs auteurs.

On tentera dans cette étape d'étudier la relation apport solide - débit liquide sur plusieurs années d'observations dans les trois stations hydrométriques : Arib ebda, El abadia, Arib Cheliff. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure (4.10) ci-dessous :

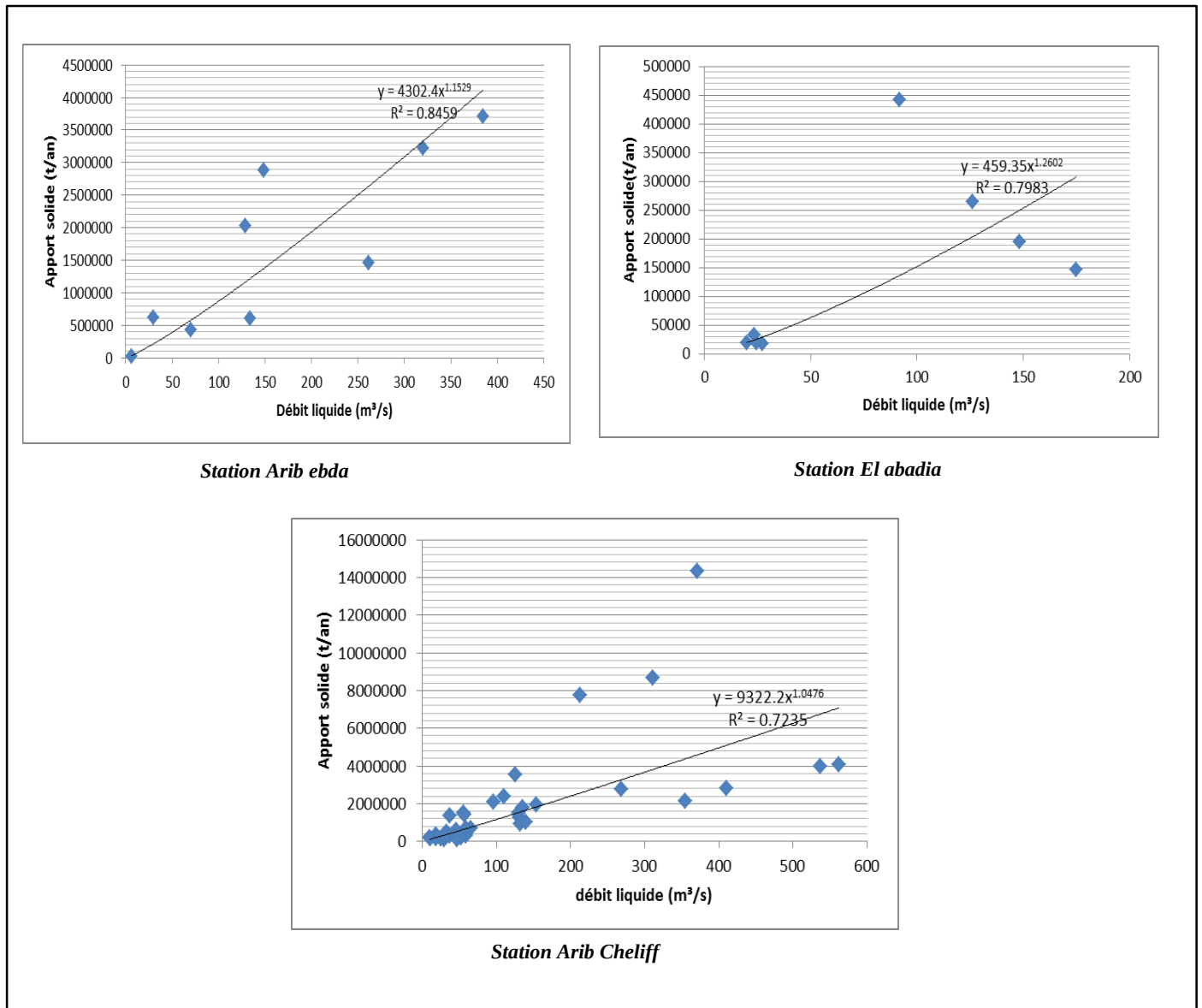


Figure 4.10 : Corrélation entre l'apport solide et le débit liquide

Il est intéressant de constater que le nuage de point prend la forme d'une corrélation puissance : $Q_s = K \cdot Q^A$ (K et A sont des coefficients). Les relations obtenues sont significatives du fait du coefficient de corrélation R^2 élevé.

Les tableaux ci-dessous résument respectivement, les différents coefficients de corrélation obtenus pour chaque modèle statistique et les relations débit solide-débit liquide pour chaque station:

Tableau 4.4 : Valeur du coefficient de corrélation R^2

Stations hydrométriques	Types de modèle	Valeurs de R^2
Arib Cheliff	Exponentielle	0.5236
	linéaire	0.3904
	logarithmique	0.4047
	Puissance	0.7235
	polynomial	0.5031
Arib Ebda	Exponentielle	0.6604
	linéaire	0.3408
	logarithmique	0.5031
	Puissance	0.7983
	polynomial	0.8696
El Abadia	Exponentielle	0.5316
	linéaire	0.7028
	logarithmique	0.5895
	Puissance	0.8459
	Polynomial	0.7043

Tableau 4.5 : Relation débit solide et débit liquide pour chaque station

Stations	Relation
Arib Cheliff	$Q_s = 9322.2 Q^{1.0476}$
Arib Ebda	$Q_s = 459.35 Q^{1.2602}$
El Abadia	$Q_s = 4302.4 Q^{1.1529}$

Les valeurs du facteur de corrélation R^2 sont proche de 1 pour les régressions polynomiales et puissance, donc les modèles puissance et polynomiales sont les plus représentatifs. Ainsi, la station El Abadia semble donner une meilleure corrélation entre le débit solide et le débit liquide puisque le coefficient de corrélation varie entre 0.5316 et 0.8459 et la loi puissance retenue est de la forme : $Q_s = 4302.4 Q^{1.1529}$

4.2.3. Estimation de l'apport solide et l'érosion spécifique

Le calcul de la dégradation spécifique ou l'érosion spécifique (ES) nous donnera une idée sur l'érodibilité de chaque région, et donc sur la vulnérabilité à l'envasement des ouvrages de stockage implantés. L'érosion spécifique moyenne interannuelle n'est autre que le rapport entre l'apport solide moyen interannuel et la superficie du bassin drainé.

Pour la quantification du transport solide dans le bassin versant du haut et moyen Cheliff, on a utilisé les données des stations hydrométriques en services présentent sur le bassin. Le réseau d'observation de l'agence national des ressources hydrauliques (ANRH) ne dispose pas de stations en services sur le sous bassin versant Oued Fodda, donc nous n'avons pas les informations nécessaires pour la quantification du transport solide sur ce bassin versant.

On a utilisé les apports et les concentrations annuelles enregistrés sur les différentes stations hydrométriques pour calculer l'apport solide en suspension, l'apport solide par charriage et l'érosion spécifique. Le calcul s'effectue comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Apport solide en suspension} &= \text{Concentration} * \text{Apport liquide} \\ \text{Apport solide par charriage} &= 20\% \text{ de l'apport solide en suspension} \\ \text{Apport solide total} &= \text{apport solide en suspension} + \text{apport solide par charriage} \end{aligned}$$

Connaissant l'apport solide total l'érosion spécifique se calcul par :

$$\text{Erosion spécifique} = \text{apport solide total} / \text{superficie contrôlé par la station hydrométrique}$$

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Tableau 4.6 : Apport solide et Erosion spécifique dans les différentes stations

Noms	Code	X	Y	Apport solide (t/an)	Erosion (t/Km²/an)
Arib chelif	11702	2.02611	36.2913889	2062288.599	841.0638
Arib ebda	11801	2.16667	36.3327778	855712.8436	3169.3068
Bir ouled taher	11905	1.80722	36.2427778	699929.8289	1609.034
Djenane Ben ouadah	11514	2.42917	36.2266667	1845241.699	81.72012
El abadiah	12001	1.675	36.2427778	1662130.609	62.9261
Ghrib amont	11407	2.64944	36.0791667	5159237.266	2718.2493
Larbaa ouled fares	12201	1.23222	36.2311111	1144682.311	4369.016
Marabout blanc	11601	2.02361	35.8758333	627290.7936	1254.58
Oueld ben Aek	12311	1.33017	35.8988889	869766.2897	710.0132
Ponteba	12203	1.23111	36.1752778	1400065.83	50.2175

4.3. ELABORATION DE LA CARTE THEMATIQUE DU TRANSPORT SOLIDE

La réalisation de la carte thématique s'est faite à l'aide du logiciel Arcgis en suivant les étapes ci-dessous:

- Sur la carte DEM du haut et moyen Cheliff, on a ajouté des données XY sous forme d'un tableau Excel qui contient l'apport solide des stations en service, leurs codes et leurs coordonnées X et Y.
- A l'aide de l'outil d'analyse spatial Spline, nous avons attribué à chaque station une surface raster. C'est une méthode d'interpolation selon laquelle les valeurs sont déterminées à l'aide d'une fonction mathématique qui réduit la courbure globale des surfaces et restitue une surface lisse passant exactement par les points en entrée.
- Finalement, on a mis la carte de sensibilité à l'érosion en arrière-plan pour mieux comprendre les deux processus et leurs conséquences sur l'envasement des deux barrages Oued fouda et Ghrib. La carte thématique caractérisant le transport solide sur l'ensemble du bassin est ainsi obtenue (figure 4.11).

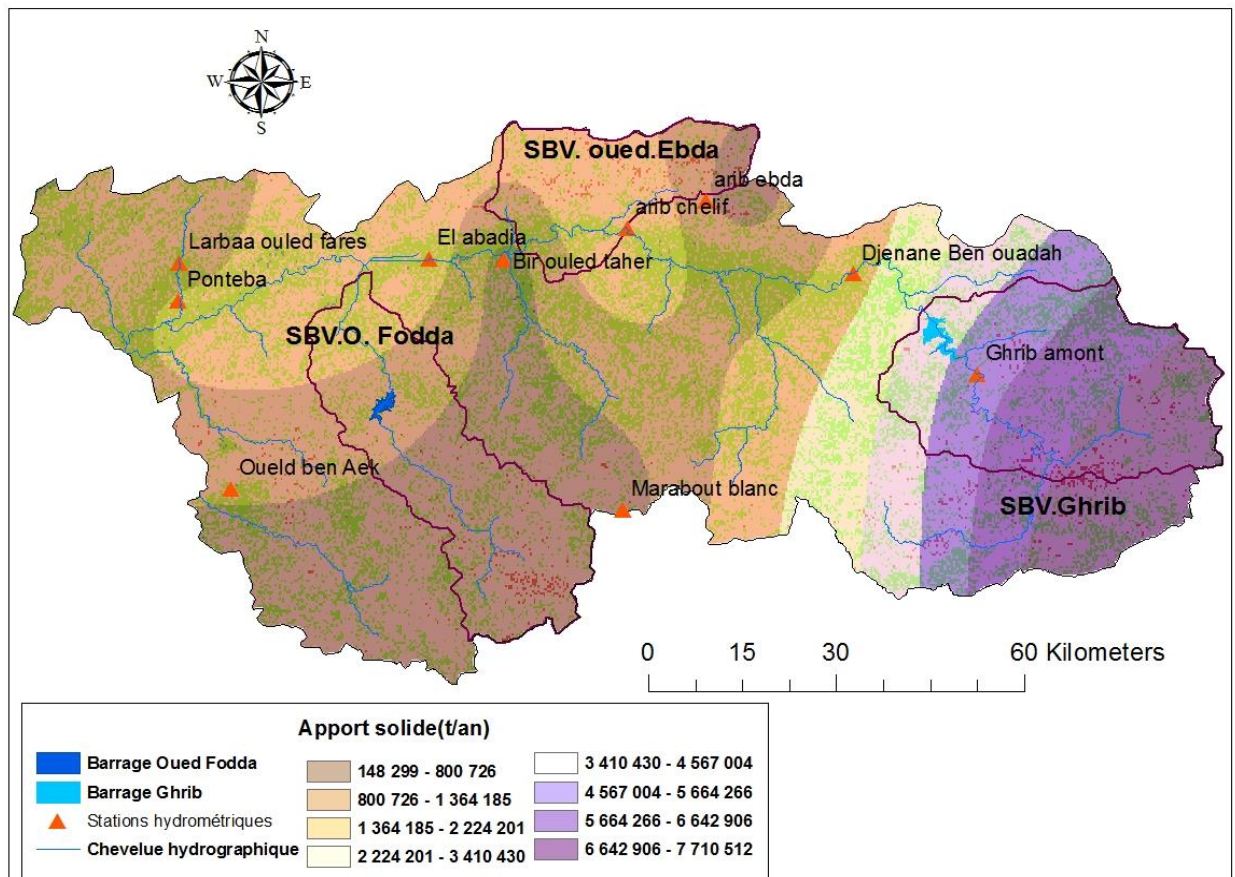


Figure 4.11 : Carte thématique du transport solide sur le haut et moyen Cheliff

4.3.1. Analyse de la carte

La carte thématique ci-dessus permet l'évaluation du transport solide au niveau de chaque sous bassin. Elle nous a permis de combler le manque de données dans certaines stations hydrométriques qui sont hors services.

L'apport solide a été estimé pour les deux sous bassin versant Oued fodda et Oued Cheliff Ghrib, les résultats obtenus sont représentés sur le tableau ci-dessous :

Sous bassin versant	Transport solide (t /an)
Oued fodda	148299 t/an - 1 364185t/an
Oued Cheliff Ghrib	3 410 430 t/an - 7 710 512 t/an

La carte thématique élaborée (figure 4.11) confirme deux résultats importants :

- la vulnérabilité de la zone d'étude à l'érosion, ceci peut être marqué en particulier à l'amont des trois sous bassin : Oued Fodda, Oued Cheliff Ghrib et Oued Ebda.
- L'importance du transport solide qui a une conséquence directe sur l'envasement des retenues réparties sur l'ensemble du bassin en particulier l'envasement des deux barrages oued fodda et ghrib.

CHAPITRE 5

PERSPECTIVES D'AMENAGEMENT

5.1. AU NIVEAU DES VERSANTS

5.1.1. Le reboisement

Dans le but d'obtenir un équilibre naturel relatif aux versants, il est nécessaire d'améliorer la végétation naturelle existante par le reboisement forestier et fruitier.

Le reboisement est une opération qui consiste à restaurer ou créer des zones boisées, protégeant ainsi le sol de l'action des gouttes de pluie et freinant le ruissellement des eaux. Il est considéré comme étant la technique la plus efficace.



Figure 5.1 : Reboisement

5.1.1.1. Reboisement forestier

La forêt a un rôle de protection physique irremplaçable pour certains sols structurellement fragiles. C'est notamment le cas des sols sensibles à l'érosion éolienne (dunes) ou au ravinement (sols instables sur pentes). La perte de la couverture forestière dans ces sols instables entraîne rapidement leur dégradation, voire leur disparition par érosion.

5.1.1.2. Reboisement arboricole

L'introduction d'arbres fruitiers est recommandée. Ils jouent un rôle de protection du sol contre l'érosion tout en apportant un revenu à la population riveraine. La plantation et le développement d'arbres fruitiers (oliviers, amandiers) et agroforestiers permettent d'apporter un soutien aux structures d'aménagement et une plus-value économique. Le choix des essences fruitières doit se faire en fonction des exigences agro climatiques des espèces et des vœux des riverains. Les espèces proposées en priorité sont les espèces rustiques telles que l'olivier, le figuier, l'amandier, le prunier, le grenadier. Les espèces non rustiques comme l'abricotier, le pommier, le pêcher et le poirier doivent être localisées dans les zones où l'irrigation est possible.

5.1.2. Les murettes

Il s'agit d'un mur construit soigneusement en empilant des pierres plates calées par de petits fragments de roche. On en trouve fréquemment dans les massifs montagneux gréseux. Pour construire un muret de pierres, il faut d'abord creuser une tranchée en courbe de niveau jusqu'à un horizon cohérent, mettre en place, au fond et sur la paroi de la tranchée, un filtre drainant constitué d'une couche de sable et de gravier.

Les murettes sont des structures stables donc plus adaptées aux pentes faibles et moyennes (5 - 30%). Elles sont souvent continues là où les pierres sont abondantes.

Les écartements entre les murettes sont très variables et sont plus étroits pour les fortes pentes. La longueur peut concerner la largeur de tout le versant. Les pierres sont empilées soigneusement, mais sans ordre particulier: les grosses doivent être mélangées aux minces pour assurer une bonne stabilité.



Figure 5.2 : Murettes



Figure 5.3 : Une vue de près sur une murette

5.1.3. Les banquettes

Ce sont des levées de terre de faible hauteur (0.50 m) établies selon les courbes de niveau; elles sont généralement plantées par des arbres permettant de valoriser les surfaces marginales, de fixer les ouvrages et améliorer l'infiltration. Elles sont utilisées en DRS. Elles sont des petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de la plus grande pente, dans le but est de remodeler une parcelle. Le talus à l'amont de la banquette dépasse rarement 1 mètre de haut. La largeur de la terrasse varie entre 0.5 et 2.5 mètres. S'il s'agit d'éléments de banquette, la longueur est comprise entre 4 et 10 mètres. Ces ouvrages sont très souvent couplés avec la plantation d'arbre fruitier (dominance de l'olivier, suivi du figuier, rosacées, grenadier, etc.).

Notre zone étant caractérisée par des pentes dépassant le plus souvent 25% nous préconisons l'installation des banquettes sur tous les sols dénudés et ceux portant végétation basse et clairsemée.

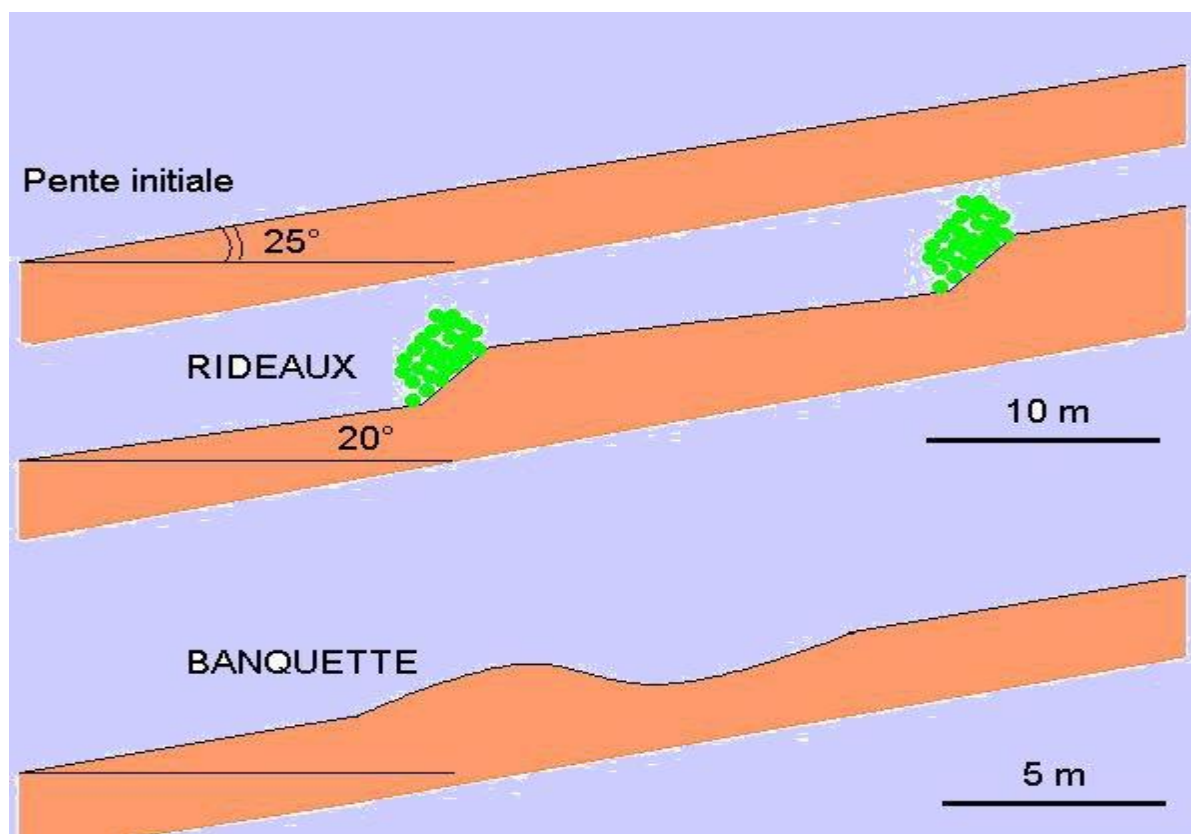


Figure 5.4 : Des coupes transversales de Rideaux et de banquettes

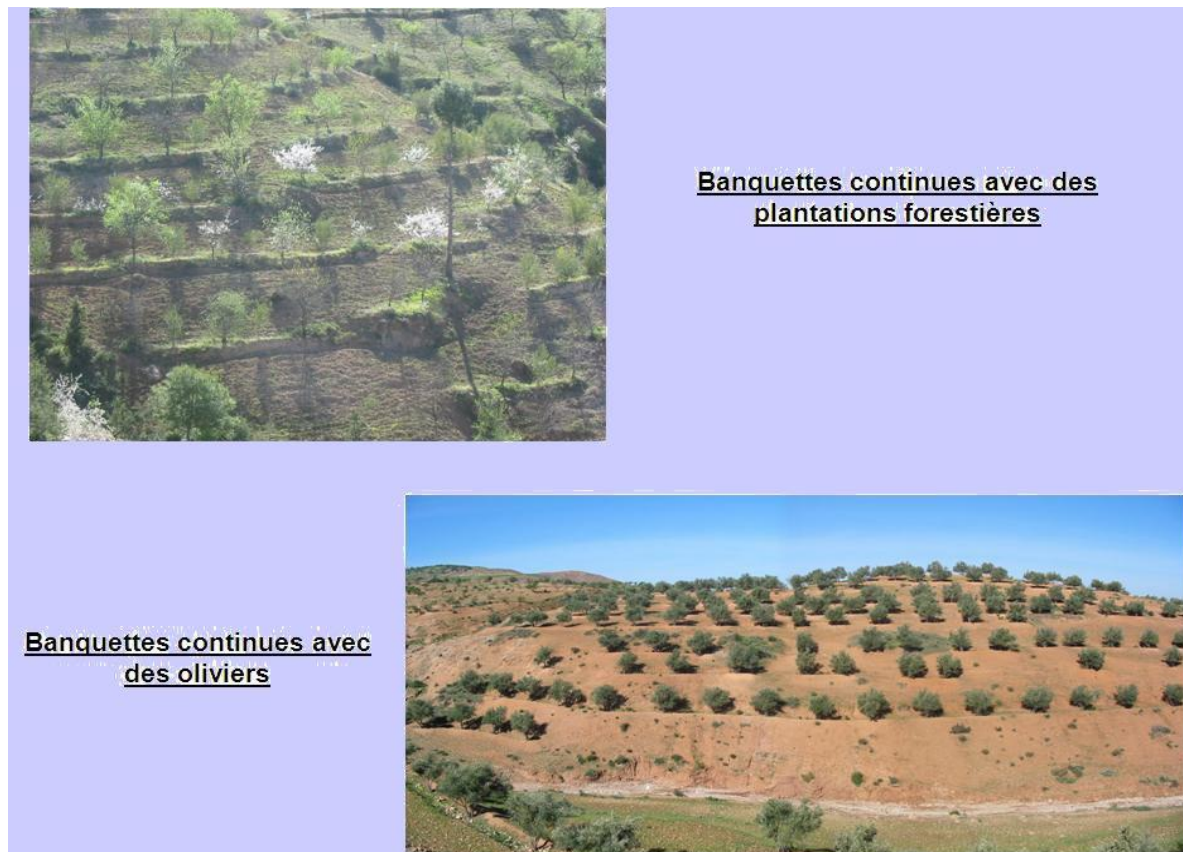


Figure 5.5 : Plantations fruitières et forestières sur banquettes

5.1.4. Les fossés

Un fossé en association avec un talus est un ouvrage de dérivation des eaux avec en plus une garantie sur la direction d'écoulement des eaux. Le talus empêche le débordement des eaux hors du fossé. Mis en place dans les zones où il est nécessaire de dévier et conduire les eaux vers l'exutoire pour éviter l'érosion

La mise en place d'une bande enherbée en amont du fossé ou du chenal permet d'accroître l'efficacité de l'ouvrage.

Son rôle :

- Déviation des eaux de ruissellement ;
- Stabilisation des fossés de conduction de l'eau.



Figure 5.6: Fossés

5.1.5. Les bandes d'arrêt enherbées

La bande enherbée constitue une couverture végétale du sol pouvant assurer une grande protection contre l'érosion :

- elle permet d'améliorer l'infiltration des eaux de ruissellement grâce au système racinaire des graminées
- elle protège le sol contre l'impact des gouttes de pluies (l'effet splash) grâce au feuillage
- elle protège le sol contre l'arrachement des particules de terre grâce à l'armature racinaire
- elle permet la sédimentation des particules de terre grâce à la rugosité de l'herbe, et donc limite le transfert des sédiments et des polluants vers les cours d'eau.

Pour être efficace, la bande enherbée doit être assez large, et d'autant plus quand les conditions naturelles ne sont pas favorables et quand la surface de la parcelle est grande. Notons qu'elle peut être considérée comme jachère permanente si elle mesure au moins 20 mètres de large et si sa superficie est d'au moins de 30 ares (10 m et 10 ares en bord de rivière). Elles peuvent réduire le ruissellement de 30 ou 60 % par rapport au témoin et l'érosion de 30 et jusqu'à 10 % du témoin [14].

5.1.6. Les terrasses

On les trouve sur les versants et dans les fonds des vallées, entre les lits des oueds et le début des fortes pentes. La construction se fait sur les sols profonds afin d'éviter d'aller dans la roche mère. Il n'est pas recommandé de les construire sur les pentes faibles (10 %) du fait de leur coût prohibitif.

On peut distinguer deux types de terrasses:

- Les terrasses qui sont soutenues par des murs en pierres sèches : c'est une technique des terrasses soutenues par des murs s'applique aux pentes moyennes à fortes, où la charge caillouteuse est importante. Les murs sont alignés suivant les courbes de niveau et leur espacement augmente quand la pente diminue.
- Les terrasses qui sont soutenues par le talus : cette technique s'applique aux talus qui ont généralement une hauteur comprise entre 1 et 2,5 m. les terrasses sont confectionnées selon les courbes de niveau.



Figure 5.7 : terrasses par gradin soutenu par des talus

5.2. AU NIVEAU DES OUEDS

5.2.1. La correction des ravins

Le ravinement est l'une des formes d'érosion la plus répandue dans le versant, il se traduit par la perte très importante des sols.

Pour la correction des ravins, de petits seuils en pierres sèches d'une hauteur qui ne dépasse pas en général 1.5 m serait à proposer, ils permettent une correction de la pente du cours d'eau et ceci dans le but de réduire la vitesse d'écoulement en période de pluies. Le principe consiste à réaliser une succession de seuils peu élevés de façon à tronçonner le profil en long des oueds, en platiers à faible pente sur lesquels les eaux auront tendance à se décanter jusqu'à réalisation d'un profil moins abrupt.

5.2.2. La protection des berges

Une berge est une zone comprise entre les eaux libres d'un cours d'eau et la limite inférieure de la zone d'inondation. Autrement dit, c'est la bande de protection qui côtoie de part et d'autre le cours d'eau.

Le sapement latéral des berges des oueds fournit une bonne part de matériel de comblement du barrage. On peut freiner cette érosion par des travaux de stabilisation :

- Empierrages des seuils en gabion ou murs de soutènement en gradin.
- Implantation d'une végétation arbustive et herbacée afin de réduire le ruissellement et prolonger le temps de concentration.



Figure 5.8 : protection des berges par des pierres

5.2.3. La correction torrentielle

La correction torrentielle est l'outil de base de l'aménagement. Elle s'applique au ravinement et aux torrents. L'aménagement peut avoir deux objectifs :

- Stabiliser le profil en long de la ravine dans les secteurs où la tendance générale est au surcreusement,
- Retenir les sédiments dans la section en transit où l'incision est faible.

La conception d'une installation de lutte contre le ravinement comporte trois étapes :

1. L'inspection du ravin pour déceler les causes de l'érosion : Quels changements ont-ils pu se produire qui ont aggravé le problème? Le lit du ravin cache-t-il une source?
2. L'estimation du débit maximal de l'eau se déversant dans le ravin. Ce débit est fonction de la topographie du bassin versant, de sa superficie, de sa végétation, du type de sol et de la capacité du bassin de retenue des eaux. Cette étape fait appel à des compétences techniques.
3. La mesure approximative de la longueur et de la pente du ravin. Une fois muni de ces renseignements, on peut passer au choix de l'installation de lutte contre le ravinement.

Dans le lit des ravins, nous établirons des seuils et des bassins de sédiments en utilisant autant que possible des matériaux trouvés sur place, nous proposons plusieurs types de corrections :

5.2.3.1. Les seuils en gabions

Ce sont des seuils en pierres sèches empilées dans des caisses de grillage métallique galvanisé dites gabions. Ils sont implantés dans les lits de ravins. Leurs objectifs sont les suivants :

- Réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.
- Ils sont utiles pour la correction des ravins à largeur importante.

Les gabions sont recommandés pour les sols argileux ou argilo-limoneux. Ils ont généralement les dimensions suivantes: 1m de largeur, 1m de hauteur et 1 à 4 m de longueur.



Figure 5.9 : seuil en gabions

5.2.3.2. Les seuils en pierres sèches

Ils sont exécutés à l'aide de gros blocs de pierres sèches superposés de telle manière qu'ils résistent par leur poids à la poussée de l'eau. Ils sont généralement élaborés dans la partie haute des affluents et des ravins secondaires dont la pente est forte.

L'utilisation des petits seuils en pierres sèches peut jouer un rôle provisoire dans la correction de ravinement avant la mise en place des seuils biologiques par de la végétation. Ces seuils peuvent créer par leur atterrissement un milieu favorable à l'installation des plants.



Figure 5.10 : seuil en pierre sèche

5.2.3.3. Les seuils végétaux

La construction de seuils végétaux a toujours été le remède principal contre les phénomènes d'érosion régressive.

De nouveaux principes de conception permettent aujourd'hui d'en atténuer les impacts les plus marquants, notamment les difficultés de franchissement par les poissons.

On distinguera :

- les seuils préventifs, calés au niveau du fond du lit, destinés à bloquer une évolution venant d'aval avant qu'elle ait touché la zone traitée ;
- les seuils curatifs, calés plus haut que le lit, réalisés après abaissement du lit pour retrouver un niveau antérieur jugé plus satisfaisant.

CONCLUSION GENERALE

D'après cette étude, il s'avère qu'une grande partie des terrains du bassin versant haut et moyen Cheliff présente une forte sensibilité à l'érosion. Celle-ci résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : l'agressivité des pluies ; l'érodibilité des sols ; la raideur du relief et la faiblesse du couvert végétal.

En effet, une série de cartes thématiques a été réalisées en faisant appel à un certain nombre de logiciels d'information géographiques et de télédétection :

- Une carte lithologique élaborée à partir des différentes données géologiques de la zone d'étude,
- Deux cartes respectivement, des pentes et d'exposition au vent, réalisées en se basant sur un modèle d'élévation numérique (DEM) de la zone d'étude et des données météorologiques.
- Une carte des isohyètes établie par interpolation des différentes données pluviométriques.
- Et finalement, une carte d'occupation des sols, élaborée en effectuant un traitement d'image.

La superposition de ces cartes nous a permis d'élaborer une carte de localisation des zones les plus sensibles à l'érosion. La plupart de ces zones sont accidentées et dégradées où la pente est forte, la végétation est faible et la lithologie est tendre et parfois imperméable. Ces zones se caractérisent par l'apparition des ravinements et couvrent une superficie de 7279 km² soit 68,021% de la surface totale du versant. Cependant, les zones les plus vulnérables couvrent une superficie de 90 km² soit 0,841% de la superficie totale de la zone d'étude. Cette vulnérabilité est provoquée essentiellement par une intensité très forte des pluies, à des très fortes pentes également, et à des faciès tendres.

Ces zones se localisent essentiellement sur trois sous bassin versant : Oued Fodda, Oued Cheliff Ghrib et Oued Ebda, ce qui traduit également l'importance du transport solide qui apparaît bien, en amont de ces trois sous bassin versant. Ce résultat est très satisfaisant du fait que la vulnérabilité à l'envasement des deux barrages, Oued Fodda et Ghrib, peut être bien expliqué. Ceci a été confirmé par l'élaboration d'une carte thématique du transport solide du bassin versant haut et moyen cheliff.

Le calcul de la dégradation spécifique nous a donné une idée sur l'érodibilité de chaque région, et donc sur la vulnérabilité à l'envasement des ouvrages de stockage implantés sur l'ensemble du bassin. Elle varie entre 50.2175 et 4369.016 (t/Km²/an). Les stations hydrométriques Arib Ebda, Bir Oueld Taher, Ghrib amont, Larbaa Ouled Fares et marabout blanc ont enregistré le taux le plus fort d'érosion spécifique.

La carte de sensibilité à l'érosion, élaborée pour notre zone d'étude représentera un outil indispensable dans une démarche de lutte contre l'érosion. Elle permettra de disposer une vue d'ensemble des zones menacées. La protection de ces zones nécessite :

- Des techniques biologiques, tels que le reboisement forestier et l'arboriculture qui sont des moyens très efficace contre l'érosion,
- L'utilisation des banquettes pour les terrains à sensibilité moyenne.

Par ailleurs au niveau des oueds, on utilise la correction des ravins et des torrents et la protection des berges.

Ces techniques d'aménagement proposées devraient contribuer à diminuer l'intensité du phénomène érosif dans le bassin versant haut et moyen cheliff, à minimiser le taux de sédiments transportées et donc réduire le taux d'envasement et augmenter la durée de vie des barrages implantés sur l'ensemble du bassin.

ANNEXE 1

MANUEL ARCGIS

1. ORGANISATION DES DONNEES

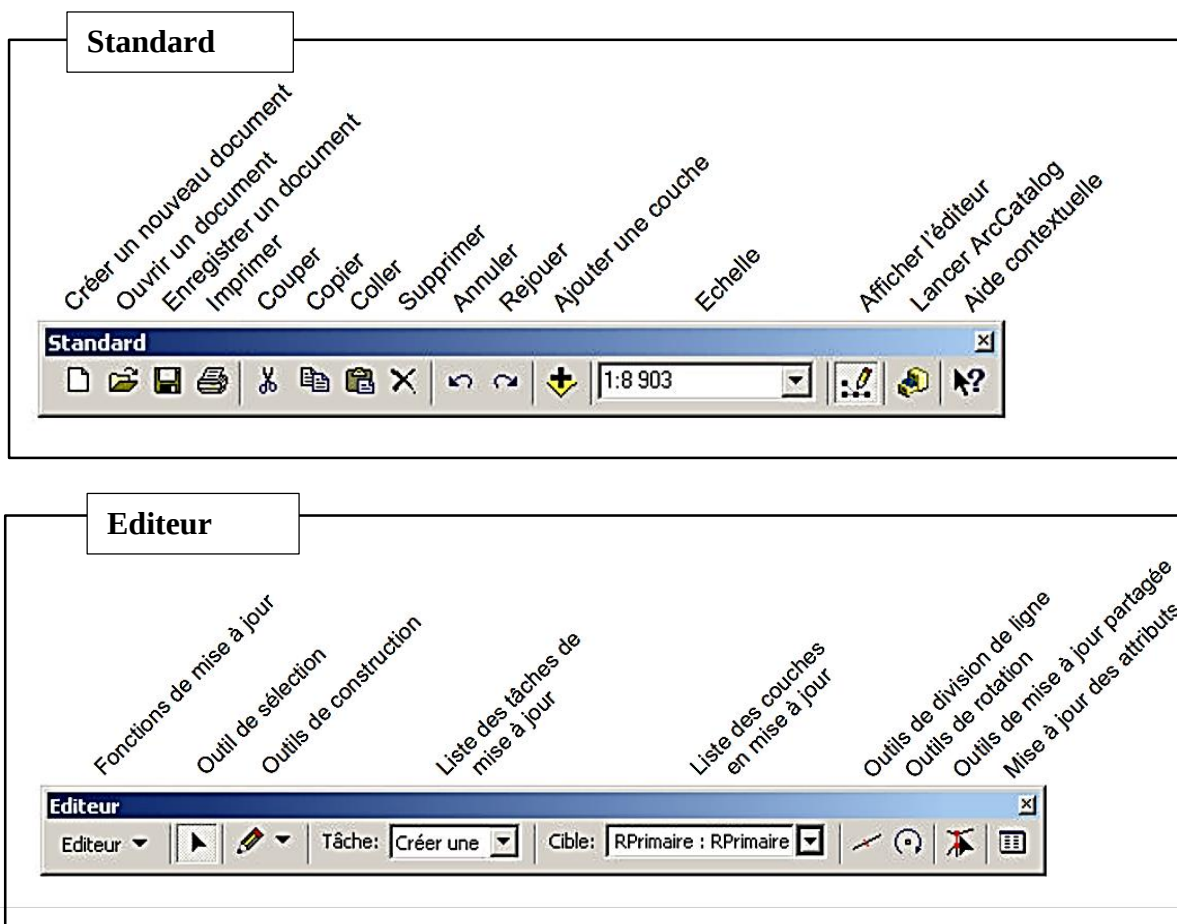
ArcGIS possède un mode de stockage des données qui lui est propre avec des fichiers de formes (Shape Files) pour les données vecteur et des fichiers GRID pour les données Raster. Chaque donnée (raster ou vecteur) est constituée de plusieurs fichiers.

Les fichiers de forme ou Shape Files (.shp) comportent trois grandes classes : Ponctuelle, linéaire ou surfacique. Un fichier de forme ne peut représenter qu'une et une seule de ces classes. Chaque fichier de forme est donc composé de données attributaires et de données géométriques pour la représentation spatiale des objets [15].

2. LE MODULE ARCMAP

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour.

2.1. Interface d'ArcMap [16]



Dessiner

Fonctions de dessins
Sélectionner un élément graphique
Rotation d'un élément graphique
Dessiner un élément graphique
Insérer un élément de texte
Modifier les sommets de l'élément graphique
Choisir une police de texte
Choisir une taille de texte
Caractères gras
Caractères italiques
Caractères soulignés
Couleurs des textes
Couleurs des surfaces
Couleurs des lignes
Couleurs des points



Outils

Zoom avant		Zoom arrière
Zoom avant centré		Zoom arrière centré
Déplacement		Zoom général
Zoom précédent		Zoom suivant
Sélectionner des entités		Sélectionner des éléments graphiques
Identifier une entité		Rechercher des entités
Mesurer une distance		Afficher l'hyperlien



Mise en page

Zoom avant sur la mise en page
Zoom arrière sur la mise en page
Déplacement sur la mise en page
Zoom avant centré sur la mise en page
Zoom arrière centré sur la mise en page
Zoom général sur la mise en page
Zoom à la taille réel sur la mise en page
Zoom précédent
Zoom suivant
Pourcentage de zoom sur la mise en page
Choisir un modèle de mise en page



Éléments graphiques

Grouper les éléments graphiques
 Dégroupier les éléments graphiques
 Mettre au premier plan
 Mettre en arrière plan
 Mettre au dessus
 Mettre en dessous
 Réaliser les alignements sur les marges
 Alignement à gauche
 Alignement vertical au centre
 Alignement à droite
 Alignement en haut
 Alignement horizontal au centre
 Répartition en bas
 Répartition horizontale
 Affecter la même taille
 Affecter la même largeur
 Rotation 90° à droite
 Rotation 90° à gauche
 Symétrie verticale
 Symétrie horizontale



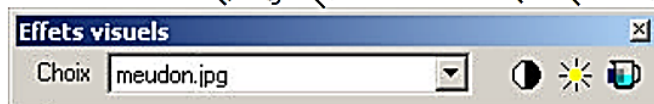
Géoréférencement

Commande générale
 sur les opérations de
 géoréférencement
 Couche à géoréférencer
 Rotation manuelle de l'image
 Saisie de points de calage
 Tableau des points de calage



Effets visuels

Image dont vous
 souhaitez changer
 l'affichage
 Réglage du contraste
 Réglage de la luminosité
 Réglage du pourcentage
 de transparence



Outils du bloc de données

Rotation manuelle
 Supprimer la rotation
 Saisir un angle de rotation

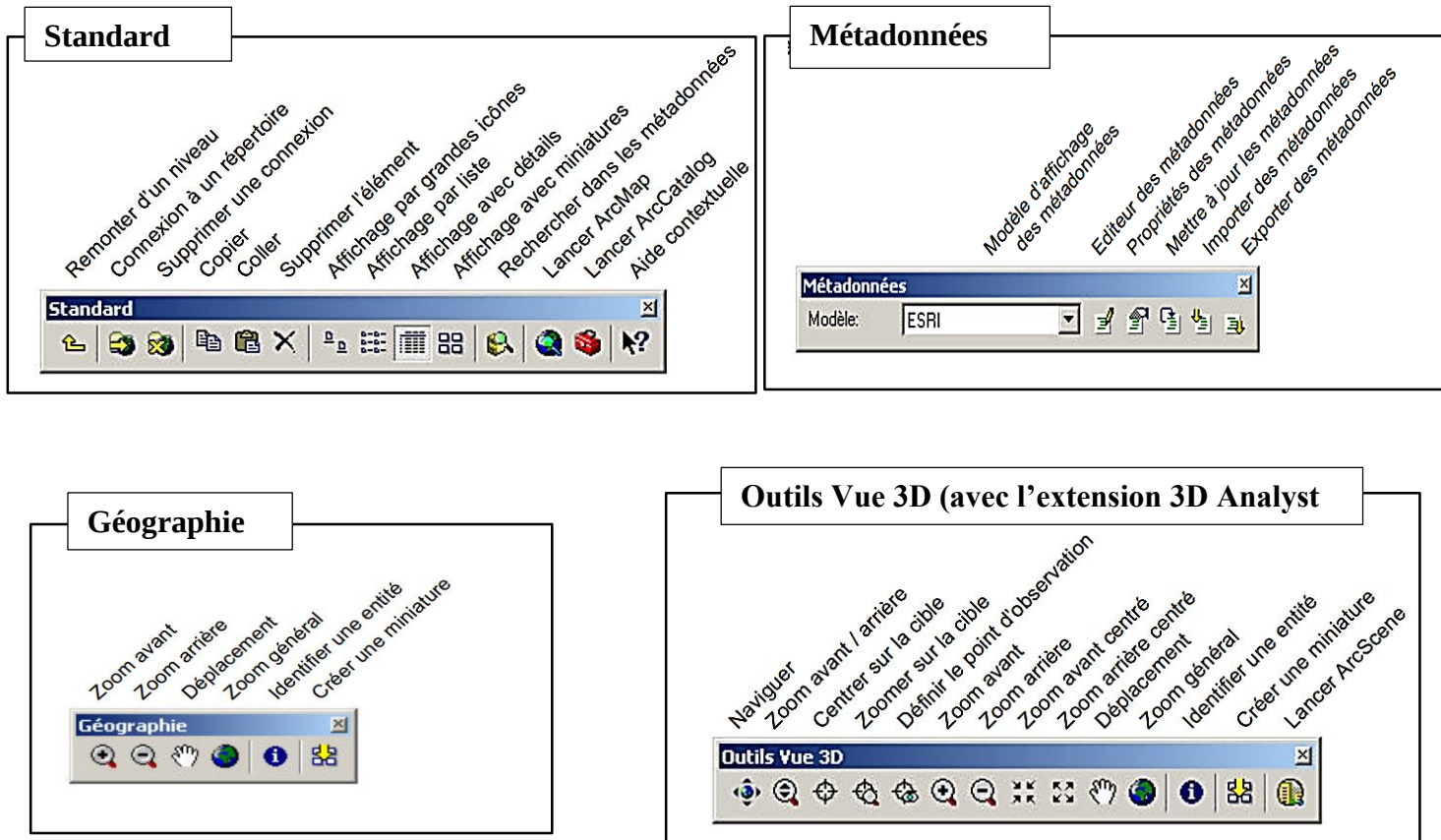


3. LES 2 MODULES COMPLEMENTAIRES D'ARCMAP

3.1. Arc catalogue

Il permet de rechercher des données, de les visualiser d'en faire rapidement des copies et de les supprimer rapidement.

3.1.1. Interface d'Arc catalogue [16]



3.2. Arc toolbox

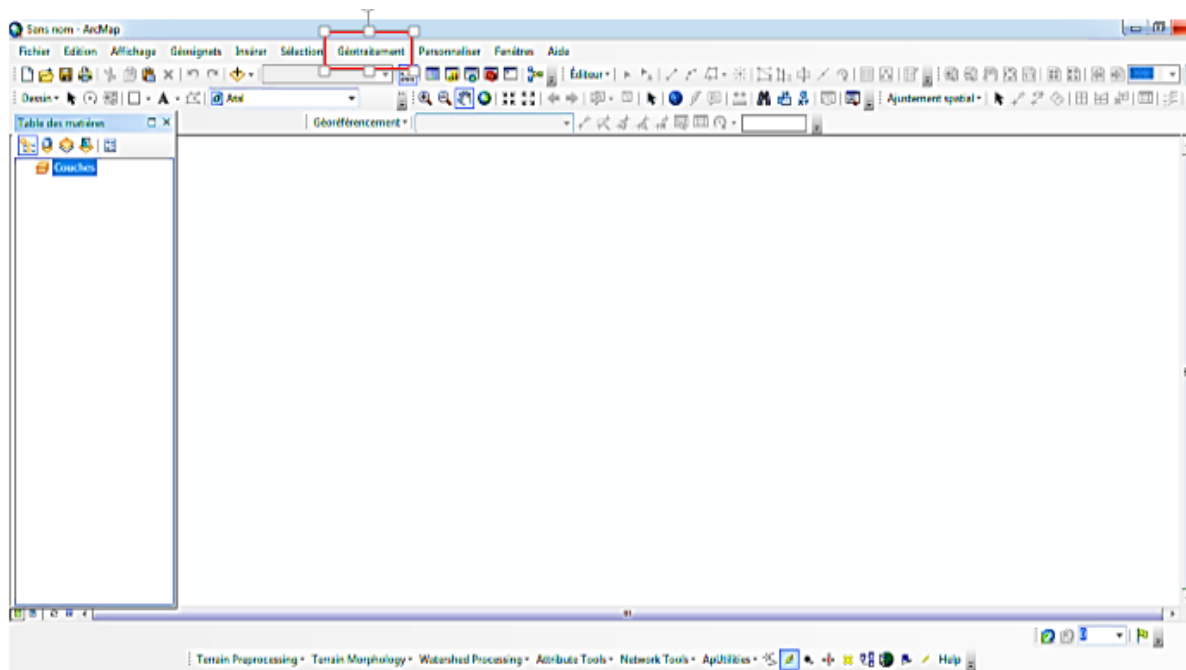
Arc GIS dispose de très nombreux outils des plus généralistes aux outils métiers comme les outils d'hydrologie servant, par exemple, à calculer des bassins versants. Tous ces outils sont disponibles à partir de la toolbox qui, à l'inverse d'Arc catalogue et Arc Map, ne s'ouvre pas dans sa propre fenêtre mais directement dans les modules en appuyant sur ce bouton .

Dans la fenêtre qui s'ouvre chaque boîte à outils représente une catégorie d'outils et ces derniers sont organisés en sous catégories [15].

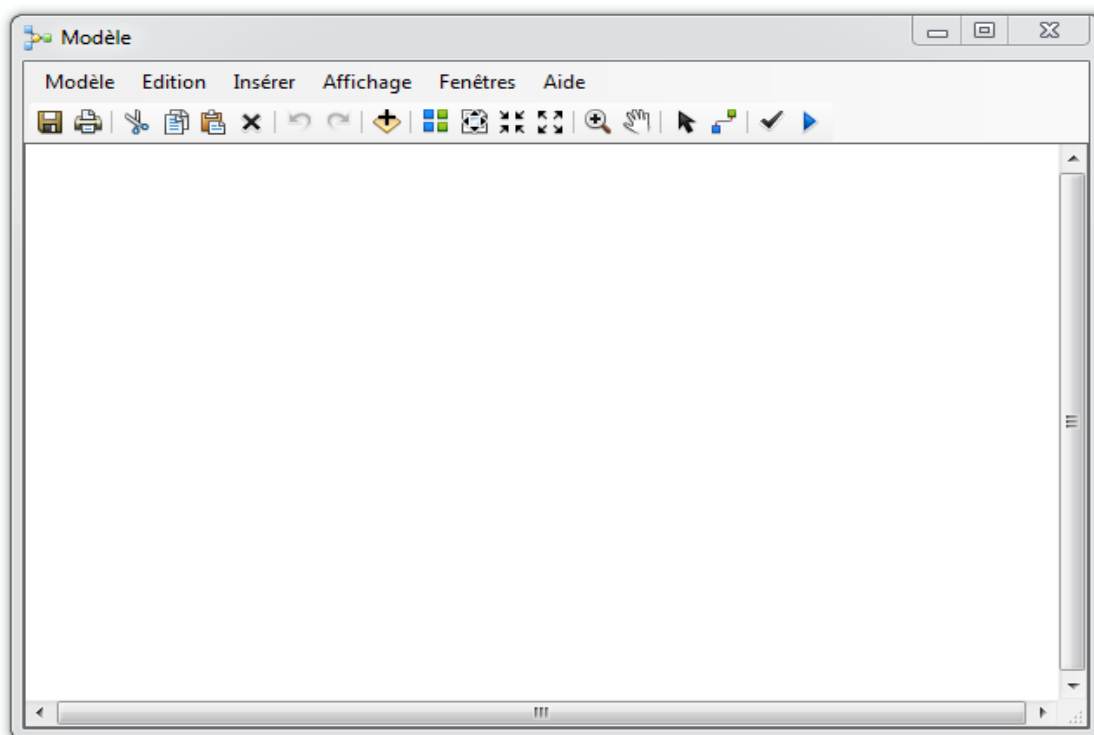
ANNEXE 2

ETAPES D'ELABORATION DE LA CARTE DE SENSIBILITE A L'EROSION

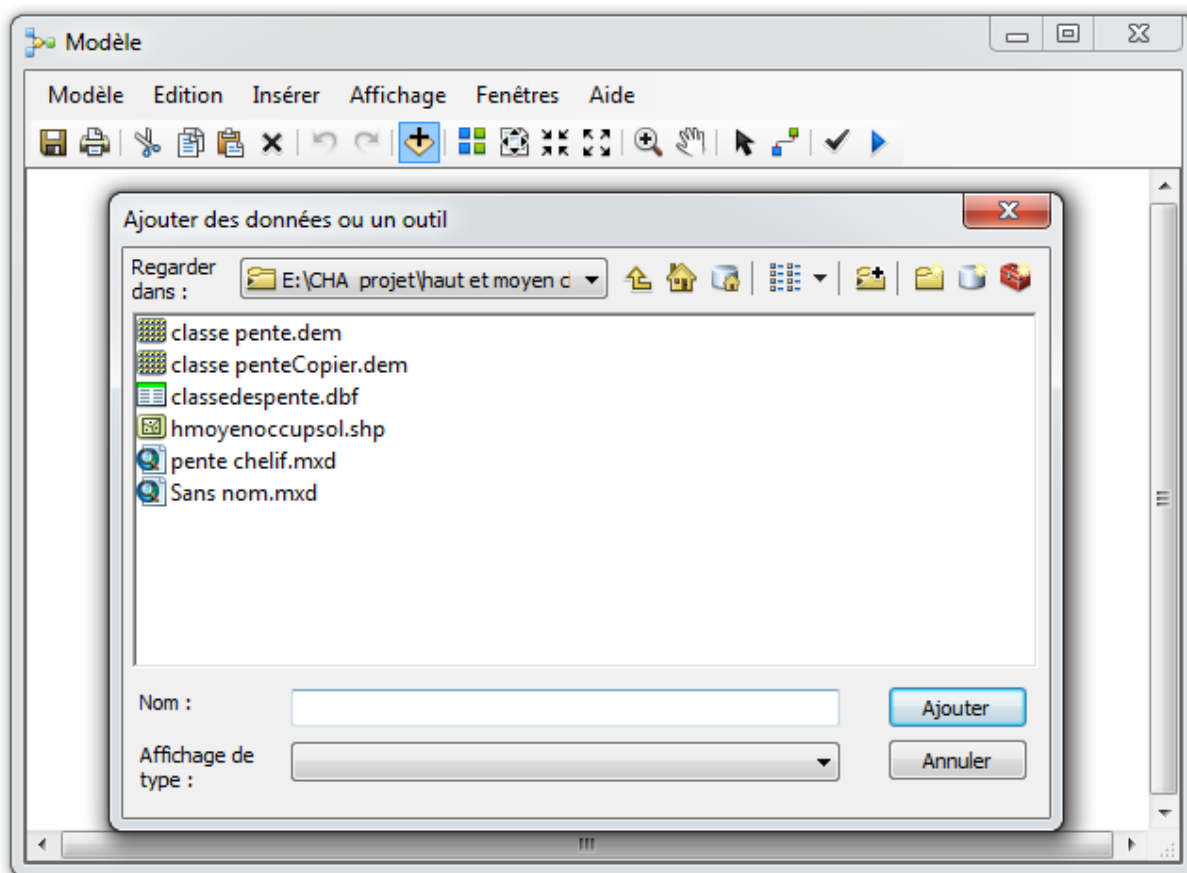
Dans le module Arcmap, on ouvre la fenêtre **Géotraitement** dans la barre d'outils



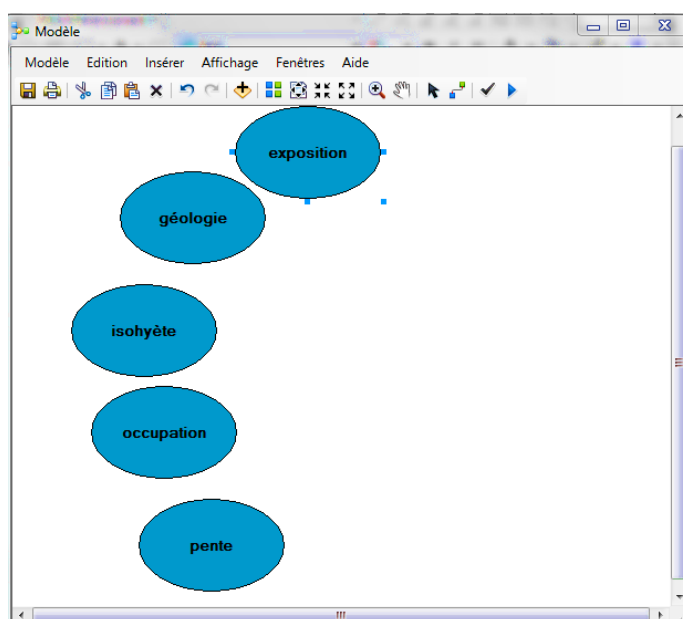
Cliquer par la suite sur : **model builder**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre automatiquement :



Puis sur le bouton 

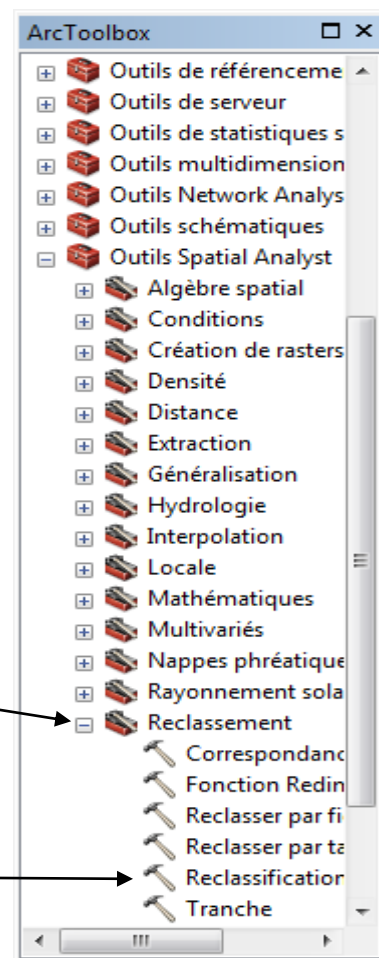


On ajoute successivement toutes les cartes thématiques à superposer :

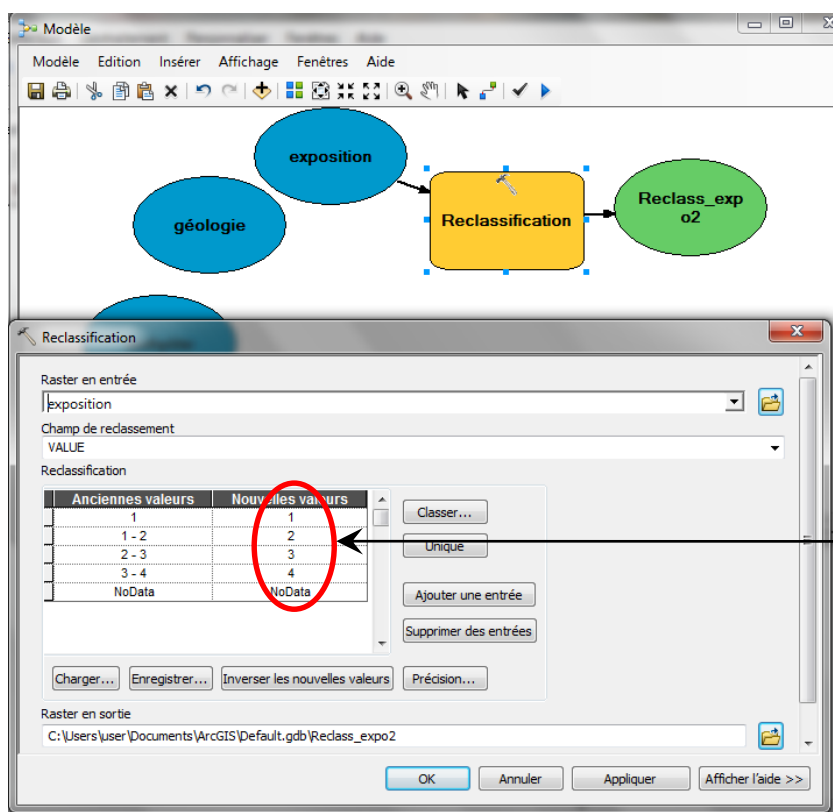


Cliquer sur le bouton  pour ouvrir la boîte à Outils, ArcToolbox.

Reclassement → Reclassification



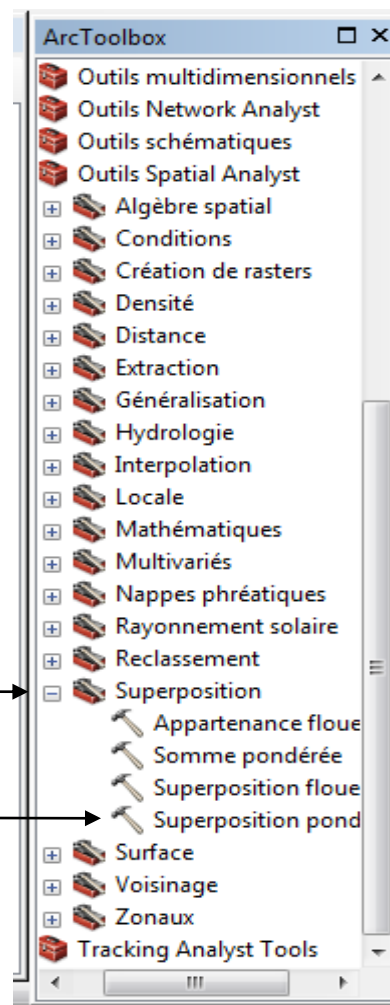
On obtient la fenêtre ci-dessous :



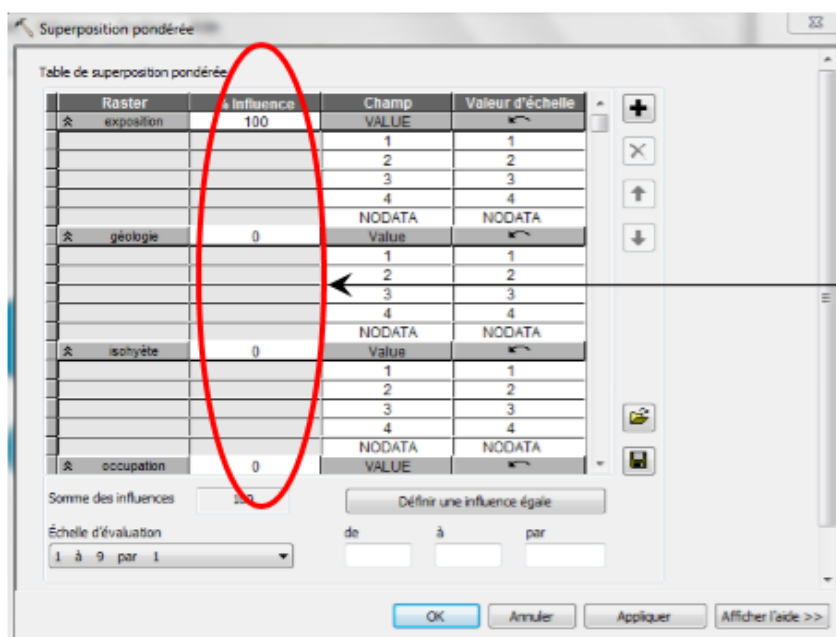
On donne pour chaque carte de nouvelles valeurs en fonction de sa sensibilité à l'érosion

Toujours dans la boîte à Outils dans le menu
Outils Spatial Analyst :

Superposition → superposition pondérée



La fenêtre ci-dessous s'ouvre automatiquement :



Pour chaque carte on
lui attribue son
pourcentage
d'influence

Par la suite :

