

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Hassiba Benbouali de Chlef
Faculté de Génie Civil et d'Architecture
Département d'Hydraulique



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Présenté par :

FARSI Fatima Zahra

Thème :

**Utilisation Du Modèle EPM (Érosion Potential Méthode) Et Des Outils SIG Et
Télédétection Pour La Cartographie Et L'évaluation Des Processus D'érosion
Hydrique Dans Le Nord-Ouest Algérien**

Soutenu le 30/06/2024, devant le jury :

Yamina MEDAHI

Professeur

Présidente

Leila BENABOURA

MCA

Examineur

Abid OUADJA

MCB

Rapporteur

Année Universitaire : 2023-2024



REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la patience qui m'ont permis d'accomplir ce modeste travail.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de mémoire, M. Abid Ouadja, pour son encadrement, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de cette recherche. Son expertise et ses orientations précieuses ont été déterminantes pour mener à bien ce travail.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour leurs observations pertinentes qui contribueront à enrichir mes connaissances et à améliorer mon travail.

Je remercie également tous les enseignants de la Faculté de l'Hydraulique de l'Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, qui ont participé à ma formation. Enfin, je souhaite remercier profondément ma famille, et tout particulièrement mes parents, pour leur amour, leur patience et leur soutien indéfectible. Leur confiance en moi et leurs encouragements ont été une source de motivation constante.

FATIMAZAHRA, FARSI





Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma mère et à mon père, en témoignage de l'amour, du respect et de la gratitude que je leur porte. **Que Dieu vous garde et vous protège.**

À mon frère Nourddine.

À mes sœurs Ikram, Dhoha et Nora.

À mes grands-mères.

À toute la famille Farsi et Chadli.

À ma meilleure amie Touba Wafa.

À tous les amis de la promotion de 5e année Hydraulique, sans exception.

À tous ceux qui me sont chers.

À toutes les personnes qui m'ont soutenue de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

F, Fatima Zahra 2024



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Liste des figures

Chapitre I : Recherche Bibliographique

Figure I.1 : phénomène d'érosion, (Nord Algérie)	4
Figure I.2 : Erosion éolienne.....	5
Figure I.3 : Erosion hydrique.....	7
Figure I.4 : Différents procédés de l'érosion hydrique)	8
Figure I.5 : Erosion en nappe	9
Figure I.6 : Erosion linéaire	10
Figure I.7 : structure d'un image numérique	20

Chapitre I : Revue de la Littérature

Figure II.1: Carte de situation du bassin versant de Sidi-Yacoub	25
Figure II.2: Carte de réseau hydrographique du bassin versant de Sidi-Yacoub	26
Figure II.3: Carte de (MNT) du bassin versant de Sidi-Yacoub	27
Figure II.4 : Carte des altitudes du bassin versant de Sidi-Yacoub	29
Figure II.5: la courbe hypsométrique du bassin de Sidi-Yacoub.....	30
Figure II.6: Carte des pentes du bassin versant de Sidi-Yacoub.....	32
Figure II.7 : Carte d'exposition du bassin versant de Sidi-Yacoub	33
Figure II.8 : Vue du Barrage Sidi Yacoub.....	44
Figure II.9 : Galerie d'injection du barrage	44
Figure II.10 : une digue Ou barrage principal.....	44
Figure II.11 : carte géologique du nord Algérie échelle 1/500000 (ANRH)	45
Figure II.12 : la carte géologique du bassin versant de Sidi-Yacoub	46
Figure II.13 : la carte d'occupation du sol du bassin de l'oued Ardjem	48
Figure II.14 : la carte pluviométrique du bassin versant de Sidi-Yacoub.....	49
Figure II.15 : Moyennes annuelles des précipitations à la station de barrage sidi yacoub (1981/2023).....	50

Chapitre III : Cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

Partie 01 : Application du modèle EPM et SIG

Figure III.1: Organigramme du modèle Gravitovic (EPM)	53
Figure III.2: Carte du facteur d'érodibilité du Sidi-Yacoub	54
Figure III.3: Carte du facteur de type du sol Ja dans le bassin versant Sidi-Yacoub.....	56

Figure III.4 : Carte de protection du sol Xa dans le bassin versant de Sidi-Yacoub.....	58
Figure III.5: Carte de type d'érosion ϕ dans le bassin de Sidi-Yacoub	60
Figure III.6: Carte de température T bassin versant de Sidi-Yacoub.....	62
Figure III 7 : Carte de coefficient de precipitation H du bassin versant de Sidi-Yacoub	64
Figure III.8 : Coefficient d'érosion Z dans le bassin versant Sidi-Yacoub	66
Figure III.9 : Coefficient d'érosion W dans le bassin versant Sidi-Yacoub	68

Partie 02 : Application du modèle RUSLE et SIG

Figure III.1 : Carte du facteur d'érosivité R du bassin versant de Sidi-Yacoub	73
Figure III.2 : Carte du Facteur d'érodibilité du sol K du bassin versant de Sidi-Yacoub ...	76
Figure III.3 : Carte de facteur topographique LS dans le bassin versant de Sidi-Yacoub.	79
Figure III.4: la carte de couvert végétale du bassin versant de Sidi-Yacoub.....	80
Figure III.5: la carte facteur des pratiques anti-érosives (P) Du bassin de Sidi-Yacoub	83
Figure III.6: Carte de perte en sol en (t/ha/an) dans le bassin versant de Sidi Yacoub	84
Figure III.7 : Carte de degré de sensibilité a l'érosion hydrique.....	84
Figure III.8: Carte des zones sensibles à l'érosion hydrique des sols dans le bassin de Sidi-Yacoub	86

Chapitre IV : Moyennes de protection Anti-érosives proposée

Figure IV.1 : Pratique agricoles.....	90
Figure IV.2 : Terrasses	91
Figure IV.3 : Banquettes des sols	91
Figure IV.4 : Murettes en prises sèches en Tunisie	92
Figure IV.5 : Cordons de pierres -Burkina Faso)	93
Figure IV.6 : Paillage des sols	93
Figure IV.7: gabionnage des sols.....	94
Figure IV.8 : (Seuil en sacs de plastique, Seuil en gabions, en grillage métallique, en pneus usées, en sacs plastique	96
Figure IV.9 : Drains.....	97
Figure IV.10 : Haie vive anti-érosive	97
Figure IV.11 : Plantation d'opuntia	98
Figure IV.12: Reboisement des sols.....	99

Liste des tableaux

Chapitre I : Recherche Bibliographique

Tableau I.1 : Tableau I.1. Formes de l'érosion linéaire.....	10
Tableau I.2 : Comparaison entre les différents types d'érosion	12
Tableau I.3 : La quantification de l'érosion à différentes échelles spatiales	14
Tableau I.4 : Présentation de quelques Modèles hydrologiques	18
Tableau I.5 : Caractéristiques des capteurs Landsat.....	21

Chapitre II : Revue de la Littérature

Tableau II.1: Classes des altitudes du bassin versant de Sidi-Yacoub	30
Tableau II.2: Classes des pentes dans le bassin versant de Sidi-Yacoub	31
Tableau II.3 : Les communes les plus importants du bassin versant du Sidi-Yacoub	34
Tableau II.4 : la superficie des communes du bassin versant Sidi-Yacoub	36
Tableau II.5 : La topologie agro-écologique des communes siégeant dans le bassin versant Sidi-Yacoub	36
Tableau II.6 : : le relief en fonction de la valeur de I_g	38
Tableau II.7 : caractéristiques morphologiques du bassin versant	40
Tableau II.8 : : la nature géologique du bassin versant de Sidi-Yacoub (ANRH)	45
Tableau II.9 : Classe d'occupation du sol du bassin versant de Sidi-Yacoub.....	47
Tableau II.10 : les stations pluviométriques et ses précipitation (ANRH)	49

Chapitre III : Cartographie des principaux facteurs de l'érosion

hydrique

Partie 01 : Application du modèle EPM et SIG

Tableau III.1 : Type du sol en fonction Y	54
Tableau III.2 : X_a en fonction d'occupation des sols par les végétaux.....	57
Tableau III.3 : La classe de l'érosion en fonction de Z	65
Tableau III.4 : Le volume annuelle moyen des sédiments érodé W	67

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Données et logiciels utilisés.....	39
Tableau III.2 : Erosivité en (t/ha/an) dans le bassin versant de Sidi-Yacoub	73
Tableau III.3 : valeurs du facteur P (d'après Wischmeier & Smith, 1978).....	82

LISTE DES SYMBOLES PRINCIPAUX

- P** : le périmètre du bassin versant (Km)
S : la surface du bassin versant (Km²)
Kc : Indice de compacité de Gravelius
S : surface du bassin versant
L : La longueur du rectangle équivalent
I : La largeur du rectangle équivalent
Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)
Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en (m)
S : Superficie du bassin versant (Km²)
AH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives
L1, L2, L3, ...Ln : Les longueurs des courbes de niveaux (Km)
S : superficie du bassin versant (Km²)
D : Dénivelée entre H5% et H95% (m)
L : longueur du rectangle équivalent (Km)
H5% et H95% : sont respectivement Les altitudes correspondantes à 5% et 95%
Dd : Densité de drainage [km/km²]
Li : Longueur de cours d'eau [km]
S : surface du bassin versant [km²]
Lp : Longueur du cours d'eau principal (Km)
S : La superficie du bassin versant (Km²)
Hmoy : Altitude moyenne du bassin versant (m NGA)
FA : Grille d'accumulation de l'écoulement
RS : Résolution du modèle MNT (30m)
S : Grille des pentes en degré
K : représente l'érodibilité du sol (tonne/ha)
MO : le taux de matière organique dans le sol
M : est le produit des fractions de particules primaires
S : le code de structure
P : le code de perméabilité
Ka : Erodibilité ajustée
K : Erodibilité estimée à partir de la formule de Wischmeier
X : Pourcentage d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm à la surface du sol.
NDVI : L'indice de végétation
R : La bande du rouge
PIR : La bande du proche infrarouge
α, β : Paramètres déterminants la forme de la courbe de NDVI

Liste des abréviations

- ANBT** : Agence Nationale des **B**arrages et **T**ransferts
- ABH** : Agence de **B**assin **H**ydrographique
- ANRH** : Agence Nationale des **R**essources **H**ydraulique
- USLE** : **U**niversal **S**oil **L**oss **E**quation
(Equation Universelle des Pertes en Terre)
- RUSLE** : **R**evised **U**niversal **S**oil **L**oss **E**quation
(Equation Universelle des Pertes en Terre Révisée)
- MUSLE** : **M**odified **U**niversal **S**oil **L**oss **E**quation
(Equation Universelle des Pertes en Terre Modifiée)
- DEM** : **D**igital **E**levation **M**odels
(Model Digital d'Elevation)
- MNT** : **M**odèle **N**umérique de **T**errain
- MNE** : **M**odèle **N**umérique d'**E**levation
- USGS** : **U**nited **S**tates **G**eological **S**urvey
(Institut d'étude Géologiques des Etats-Unis)
- FAO** : **F**ood and **A**griculture **O**rganisation
(Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture)
- SRTM** : **S**huttle **R**adar **T**opography **M**ission
(Mission de Topographie Radar de la Navette)
- GDEM** : **G**lobal **D**igital **E**levation **M**ap
(Carte Digital d'Elevation Globale)
- DGF** : **D**irection **G**énérale des **F**orêts
- DSMW** : **D**igital **S**oil **M**ap of the **W**orld
(Carte Mondiale Digitale des Terres)

Introduction générale

Chapitre I : Recherche Bibliographique

Introduction.....	3
I.1. Erosion.....	3
I.2. Définition	3
I.2.1. Types d'érosion hydrique	4
I.2.1.1. Erosion éolienne	4
I.2.2. Les mécanismes de l'érosion éolienne.....	4
A. La saltation.....	5
B. La reptation en surface	6
C. La suspension.....	6
I.2.2.1. Erosion hydrique	6..
I.2.3. Les causes de l'érosion hydrique.....	7
I.2.4. Formes de l'érosion hydrique	8
a. L'érosion en nappe.....	8
b. L'érosion linéaire, an griffe ou en rigols.....	9
I.3. Les conséquences de l'érosion hydrique en Algérie du nord.....	11
I.3.1. Comparaison entre les différents types d'érosion	11
I.3.2. L'impact de l'érosion dans les différentes Régions	13
I.3.3. Intérêts de l'imagerie et des SIG pour l'étude de l'érosion.....	15
I.3.4. Méthodes utilisées pour étudier l'érosion	16
I.3.4.1. Le modèle WEPP (water erosion preducting project).....	16
I.3.4.2. Le modèle EUROSEM (Europen soil erosion modèle)	16
I.3.4.3. La méthode PAP/CAR.....	16
I.3.4.4. Le modèle kinéros (kinermatic Runoff (an erosion modele)	17
I.4. Les apports de sédiments de la rivière	18
I.4.1. La télédétection.....	18
I.4.2. Image numérique de télédétection.....	19
I.4.3. Apport de la télédétection et les SIG à l'étude de l'érosion.....	20
I.5. Logiciel ArcGIS	21
I.5.1. ArcGIS Desktop.....	21
I.5.2. ArcMap	21
I.5.3. ArcCatalog	21
I.5.4. ArcToolbox.....	21
I.6. Conclusion.....	22

Chapitre II : Cadre de l'étude
Bassin versant oued L'ardjem

Introduction	24
II.1. Caractéristiques géologique	24
II.2. Caractéristiques physiques.....	26
II.2.1. Réseau hydrographique.....	26
II.2.2. Modèle numérique de terrain (M.N.T)	27
II.2.3. Altitudes	28
II.2.4. Courbe hypsométrique	30
II.2.5. Classes des pentes	31
II.2.6. Exposition vers le nord	33
II.3. Caractéristiques sosiodémographiques	34
II.4. Paramètres du relief	37
II.4.1. Le rectangle équivalent.....	37
II.4.2. Indice de compacité de gravilieuse.....	37
II.4.3. Altitude moyenne du bassin versant.....	38
II.4.4. Pente moyenne du bassin versant.....	38
II.4.5. Indice de pente globale I_g	38
II.4.6. Indice de pente moyenne I_{pm}	39
II.4.7. La densité de drainage.....	39
II.4.8. Temps de concentration du bassin versant.....	39
II.4.9. La densité de drainage.....	39
II.5. Description du barrage de Sidi-Yacoub.....	42
II.6. Géologie et géomorphologie.....	44
II.7. L'occupation du sol.....	47
II.8. Climatologie.....	48
II.8.1. Précipitations.....	48
II.8.2. Régime annuelle.....	50
II.9. Conclusion	50

Chapitre III : Cartographie des principaux facteurs de l'érosion**hydrique****Partie 01 : Application de modèles EPM et SIG**

III.1. Introduction	52
III.2. Paramètres du modèle EPM.....	53
III.2.1. Coefficient d'érosion du sol Y	53

Sommaire

III.2.2. Carte de pent Ja en %.....	55
III.2.2.1. Coefficient de protection du sol Xa	57
III.2.2.2. Coefficient de type de sol érosion ϕ	59
III.2.2.3. Coefficient de température T	60
III.2.2.4. Précipitation moyenne annuelle en (mm) H	62
III.2.2.5. Coefficient d'érosion Z.....	65
III.2.3. Volume annuelle moyen des sédiments érodés W.....	66

Partie 02 : Application de RUSLE et SIG

III.1. Introduction.....	69
III.2. Méthode d'évaluation de l'érosion utilisé	69
III.2.1. Estimation des paramètres du modèle	71
III.2.1.1. Définition USLE	71
III.2.1.2. Facteur R	72
III.2.1.3. Facteur d'érodibilité du sol K	74
III.2.1.4. Facteur topographique LS	76
III.2.1.5. Facteur de couvert végétale C.....	79
III.2.1.6. Facteur des pratiques anti-érosive P.....	82
III.2.1.7. Carte finale (Facteur d'érosion A).....	83
III.3. Confirmation visuelle du modèle.....	84
III.4. Conclusion	59

Chapitre IV : Moyennes de protection Anti-érosives proposée

Introduction.....	88
IV.1. Modèles culturels antiérosives.....	88
IV.1.1. Techniques traditionnelles.....	88
IV.1.1.1. Les bandes alternées	88
IV.1.1.2. Les double Dérayure	89
IV.1.2. Méthodes et techniques de protection antiérosives	89
IV.1.2.1. Pratique argicoles.....	89
IV.1.3. Méthodes et techniques mécaniques	90
IV.3.1.1. Les terrasses.....	90
IV.3.1.2. Banquettes.....	91
IV.3.1.3. Les murettes.....	92
IV.3.1.4. Les cordons de pierres	92

Sommaire

IV.3.1 Correction torrentielle	93
IV.1.3.1. Paillage	93
IV.1.3.2. Gabionnage.....	93
IV.1.3.3. Les gabions.....	94
IV.1.3.4. Le seuil en gabions... ..	94
IV.1.3.5. Le seuil en pierre sèches	94
IV.1.3.6. Le seuil en grillage métallique.....	95
IV.1.3.7. Le seuil en pneus usées	95
IV.1.3.8. Le seuil en sacs de plastique.....	95
IV.1.3.9. Drains... ..	96
IV.1.4. Méthodes et techniques biologiques	97
IV.1.4.1. Haies vives ou brise vent.....	97
IV.1.4.2. Plantation d'optunia.....	97
IV.1.4.3. Révégétalisation.....	98
IV.1.4.4. Le reboisement.....	98
IV.2. Moyens de luttés contre l'envasement du barrage.....	99
IV.2.1. Moyens de luttés curatives.....	99
IV.2.2. Définition du dragage.....	99
IV.2.2.1. Objectifs des Operations du dragage	99
IV.2.3. Technique du dragage	100
IV.2.3.1. Dragage mécanique.....	100
IV.2.3.2. Dragage hydraulique.....	100
IV.3. Conclusion	

Conclusion générale

Référence bibliographique

I. Introduction

Les sols constituent l'épiderme de notre planète et sont le support fondamental des activités humaines (De Noni et al., 2001 ; Raissouni, 2012). Bien que le sol soit une ressource naturelle vitale, il se dégrade à un rythme sans précédent en raison de l'érosion hydrique, qui est la forme la plus courante de dégradation des sols. Des estimations empiriques annuelles indiquent que cette érosion entraîne en moyenne la perte de 5 à 10 tonnes de sol par hectare en Europe et en Australie, de 10 à 20 tonnes par hectare sur le continent américain, et près de 30 tonnes par hectare en Asie (Brown et al., 1996).

À l'échelle mondiale, les terres cultivables sont estimées à seulement 3,79 milliards d'hectares, représentant 33 % des 12,4 milliards d'hectares de terres émergées. Ces dernières décennies, les pertes de terres arables ont augmenté de 7 à 10 millions d'hectares par an. À ce rythme, il ne faudrait que deux siècles pour détruire toutes les terres cultivables (Kanwar, 1982).

L'érosion hydrique, causée par le détachement des particules de sol sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie (impact splash) ou du ruissellement, est un phénomène complexe en raison de son caractère irrégulier, aléatoire et de sa discontinuité spatio-temporelle (Achite et al., 2006). Ce phénomène est devenu un problème majeur à l'échelle mondiale et un défi crucial au cours des dernières décennies (Prasanna Kumar et al., 2012), rendant sa maîtrise une priorité essentielle (Morsli et al., 2012). L'érosion compromet non seulement la gestion durable des terres, mais peut également entraîner des dommages hors site avec de nombreuses conséquences néfastes (Achite et Ouillon, 2007). Parmi celles-ci figurent la réduction de l'épaisseur du sol (Blanco et Lal, 2010 ; Zhao et al., 2013), l'appauvrissement en nutriments, la perte de matière organique (Blanco et Lal, 2010 ; Verheijen et al., 2009), le compactage du sol, et la diminution des rendements agricoles (Blanco et Lal, 2010 ; Pimentel, 2006). À l'échelle mondiale, environ 30 % des terres arables sont devenues improductives (Lang, 2006).

Face à la préoccupation croissante vers les années 1930, la communauté scientifique s'est mobilisée pour trouver des solutions visant à préserver les sols (Aké et al., 2012). Des chercheurs du monde entier ont été contraints de développer des modèles pour estimer l'érosion hydrique à partir d'expérimentations sur le terrain, parmi lesquels Duley et Ackerman (1934), Zingg (1940), Smith (1941), Browning et al. (1947), Smith et Whitt (1947), Musgrave (1947), Smith et Whitt (1948). Ces modèles ont identifié plusieurs facteurs influençant l'érosion hydrique, notamment la topographie, la couverture végétale, l'intensité des précipitations, les caractéristiques du sol et les pratiques antiérosives.

Wischmeier et Smith (1978) ont développé le modèle Universal Soil Loss Equation (USLE), qui a marqué un tournant dans la gestion de l'érosion des sols. Cette équation a été révisée par Renard et

al. (1991) pour devenir la Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), une version améliorée qui a bénéficié de l'essor des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) et de la télédétection, notamment par l'utilisation d'images satellitaires. Selon De Roo (1996) et Chatterjee et al. (2014), l'application du modèle RUSLE en combinaison avec les SIG présente l'avantage de pouvoir être utilisée sur de vastes étendues, permettant une évaluation précise et une gestion efficace de l'érosion hydrique à l'échelle régionale et mondiale.

En parallèle, le modèle (Erosion Potential Method (EPM) s'est imposé comme un outil important pour l'évaluation globale de l'érosion des sols. Développé par Gavrilović dans les années 1970, l'EPM permet de calculer l'érosion potentielle en tenant compte de facteurs tels que la géologie, la morphologie, l'utilisation des terres, et les caractéristiques climatiques. L'EPM est particulièrement utile pour fournir une estimation théorique de l'érosion, qui peut ensuite être affinée par des modèles empiriques détaillés comme le RUSLE.

L'objectif de cette étude est de créer une série de cartes thématiques illustrant les résultats de l'analyse des divers facteurs impliqués dans le phénomène de l'érosion. Ces cartes incluront des représentations de l'érosion potentielle et de la sensibilité au risque d'érosion. Il est également essentiel d'identifier les facteurs contribuant à l'érosion et de cartographier les zones vulnérables aux pertes de sol. Ces informations seront cruciales pour évaluer l'ampleur et la gravité des risques d'érosion, et pour élaborer des stratégies efficaces de lutte préventive et curative contre l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Ardjem. L'objectif ultime est de préserver le barrage de Sidi Yacoub en minimisant l'envasement accéléré causé par l'érosion.

Nous avons conçu ce travail en cinq chapitres distincts. Le premier chapitre, « Revue de la Littérature », est consacré au cadre théorique, où nous abordons la description des processus d'érosion hydrique, les principaux facteurs qui l'affectent, ainsi que les méthodes d'étude de l'érosion. Le « Cadre de l'étude » est présenté dans le deuxième chapitre, où nous décrivons le milieu de la zone d'étude. Le troisième chapitre, intitulé « Évaluation et spatialisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant par les modèles RUSLE et EPM couplés au SIG », expose la méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail. L'ensemble des résultats ainsi que leur discussion sont illustrés dans le quatrième chapitre, « Moyennes de protection Anti-érosives proposées ».



**Chapitre I : Revue de la
Littérature**

Chapitre I : Revue de la Littérature

Introduction

L'érosion hydrique représente un défi majeur pour l'agriculture et les activités rurales en raison de sa nature complexe, imprévisible et de sa variabilité dans l'espace et le temps. Cette problématique est particulièrement préoccupante dans la région du Maghreb, où les ressources en eau et en sol sont gravement menacées, comme l'ont souligné plusieurs chercheurs (**Heush et al, 1971, Demmak, 1982, Lahlou, 1994, Touaibia et al, 2001, Meddi, 1992, Terfous et al, 2003, Achite et al, 2005**). Les estimations indiquent que près de 47 millions de tonnes de sédiments transportés en suspension pourraient se déposer chaque année le long du littoral méditerranéen des côtes algériennes (**Probst et al, 1992**).

En Algérie du Nord, notamment dans l'ouest du pays, les conditions socioéconomiques et hydro climatiques favorisent l'intensification de l'érosion hydrique, ce qui constitue une menace potentielle pour l'équilibre environnemental à l'échelle régionale et locale, comme l'ont souligné (**Dekiche et al, En 1997**). Environ **28 %** des terres de l'Algérie du Nord sont affectées par l'érosion hydrique, en particulier les terres en forte pente des massifs telliens, où l'érosion se manifeste par la formation de rigoles, de ravines et de bad-lands, avec exposition de la roche-mère, comme rapporté par (**Hadjiat en 1997**). De manière générale, l'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 tonnes par kilomètre carré et par an en Algérie, selon **Demmak en 1982**. Ce qui fait de l'Algérie l'un des pays les plus menacés par l'érosion dans le monde.

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une région à l'autre, avec **47 %** des terres touchées dans la partie ouest, suivie par les régions du centre (**27 %**) et de l'est (**26 %**), selon les données du Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire en 2000. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'ampleur de l'érosion en Algérie du Nord et d'analyser ses conséquences. Les résultats de cette analyse permettront de classer les zones étudiées et d'établir des priorités en matière d'aménagement anti-érosif.

I.1. L'érosion :

I.2. Définition :

L'érosion, dérivée du verbe latin "éroder" qui signifie "ronger", est un processus naturel qui modèle les terres de manière similaire à la façon dont un chien ronge un os. Certains la comparent à une maladie dévorante qui érode la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette décharné, comme on peut le voir dans les montagnes calcaires méditerranéennes, notamment en Grèce, où la végétation stérile est souvent retirée et brûlée.

Il est important de noter que, bien que l'érosion réduise progressivement l'altitude des montagnes un phénomène que les géographes britanniques désignent par le terme "taux de dénudation" pour indiquer la vitesse de diminution de l'élévation du sol elle joue également un rôle crucial dans l'enrichissement des vallées. En effet, elle contribue à la formation de plaines fertiles qui soutiennent la majorité de la population mondiale. Par conséquent, au lieu de tenter d'arrêter complètement l'érosion, l'objectif devrait être de la gérer de manière à ce qu'elle reste à un niveau acceptable.

L'érosion implique une série de processus chimiques et organiques qui provoquent la désintégration des roches et l'aplanissement progressif du terrain. Elle est principalement causée par l'action de l'eau et du vent, qui usent la surface de la croûte terrestre.

Enfin, l'érosion est un processus naturel fondamental qui influence la structure géologique du sol et joue un rôle déterminant dans la formation et l'évolution des paysages naturels, comme l'a souligné **Dutil (1984)**.



Figure I.1 : Phénomène d'érosion. (wikipedia)

I.2.1. Types d'érosion hydrique :

I.2.2. Érosion éolienne :

Les vents mentionnés ci-dessus sont responsables de l'érosion du sol. Le processus de déracinement, de transport et de dépôt des particules de sol dépend de plusieurs facteurs, notamment la vitesse du vent, la taille et la densité des particules, l'humidité du sol et la présence de végétation.

La portance des particules de sol est influencée par l'action du vent sur la surface terrestre. La vitesse du vent qui souffle à la surface devient plus significative au fur et à mesure que l'on s'élève au-dessus du sol. Cette relation est décrite par la courbe de vélocité, définie par le logarithme de la hauteur. À une hauteur proche du sol, où le vent est pratiquement nul, l'air circule de manière laminaire ou régulière. Au-delà de cette couche laminaire, le mouvement de l'air devient turbulent, ce qui entraîne le déplacement des particules de sol. Cela se produit généralement lorsque la vitesse du vent dépasse 2 à 3 kilomètres par heure.



Figure I.2: Érosion éolienne. (Wikipédia)

I.2.2. Les mécanismes de l'érosion éolienne :

A. La saltation :

Le mouvement initial des particules de sol consiste en une série de sauts, avec un diamètre de particules variant généralement entre 0,5 et 1,1 mm. Après avoir effectué ces sauts, les particules retombent sous l'effet de la gravité. La trajectoire descendante est fortement inclinée vers le sol, presque verticale. Seules quelques particules parviennent à atteindre des hauteurs dépassant 1 mètre, la grande majorité sautant moins de 30 cm. En ce qui concerne la direction horizontale, les sauts ont généralement une magnitude comprise entre 0,5 et 1 mètre.

Le phénomène de saut est crucial pour déclencher l'érosion éolienne, et il constitue la raison principale de deux autres modes de transport des éléments du sol par le vent : le transport rampant à la surface et le transport aéroporté.

B. La reptation en surface :

Les particules plus grosses ont tendance à rouler ou glisser à la surface du sol. Leur poids les rend trop lourdes pour être soulevées par le vent seul. Leur mouvement est déclenché par l'influence des particules effectuant des sauts, en plus de celle du vent. Ces particules en mouvement ont un diamètre compris entre 0,5 et 2 mm, leur taille dépendant à la fois de leur densité et de la vitesse du vent.

C. La suspension :

En règle générale, les poussières fines ne peuvent être emportées que lorsqu'elles sont propulsées par des particules plus grosses dans l'air. Une fois entraînées dans la couche turbulente, elles peuvent être soulevées à de grandes hauteurs grâce à des courants ascendants et à des tourbillons. Les nuages de poussière peuvent ainsi atteindre des altitudes allant jusqu'à 3 à 4 000 mètres. Bien que leur visibilité soit significative, le mécanisme fondamental de l'érosion éolienne demeure le saut de particules, car sans ce processus, de tels nuages de poussière ne se formeraient pas.

I.2.2.1. L'érosion hydrique

L'impact de l'eau sur les pentes est influencé par plusieurs facteurs tels que la pente elle-même, la composition des roches (lithologie), et l'état de l'altération de la surface ou des sédiments, qui affectent la capacité d'infiltration. Lorsque la perméabilité du sol est faible, le ruissellement est favorisé. À l'inverse, les solutions solides nécessitent une perméabilité minimale pour se produire. Il existe donc un seuil, qui varie selon des conditions telles que la pente et la composition des roches. Le ruissellement et l'infiltration se produisent de part et d'autre de ce seuil, soit par l'écoulement superficiel, soit par infiltration, souvent avec une transition graduelle entre les deux.



Figure I.3: Erosion hydrique. (Wikipédia).

I.1.2.2. Les causes de l'érosion hydrique :

Les propriétés physiques du sol déterminent sa vulnérabilité à l'érosion. L'érosivité est principalement influencée par la texture du sol, mais aussi par d'autres facteurs tels que sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui présentent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux où l'eau peut s'infiltrer facilement, qui sont riches en matière organique et qui possèdent une structure solide. Par exemple, les sols sablonneux sont souvent moins sensibles à l'érosion que les sols limoneux ou argileux, surtout s'ils sont composés de sable grossier avec peu d'argile.

La pente d'un champ est un facteur déterminant dans le risque d'érosion. En effet, plus la pente est raide et longue, plus le risque d'érosion est élevé.

La couverture végétale joue un rôle crucial dans la prévention de l'érosion. En effet, lorsque le sol est dénudé ou insuffisamment couvert, le risque d'érosion augmente considérablement. La présence d'une couverture végétale protège le sol des gouttes de pluie, ce qui réduit l'impact de l'impact direct de la pluie sur le sol. De plus, la végétation agit comme un frein à l'écoulement de l'eau, ce qui favorise l'infiltration de l'eau dans le sol. Ainsi, une couverture végétale adéquate est essentielle pour prévenir l'érosion et maintenir la santé des sols

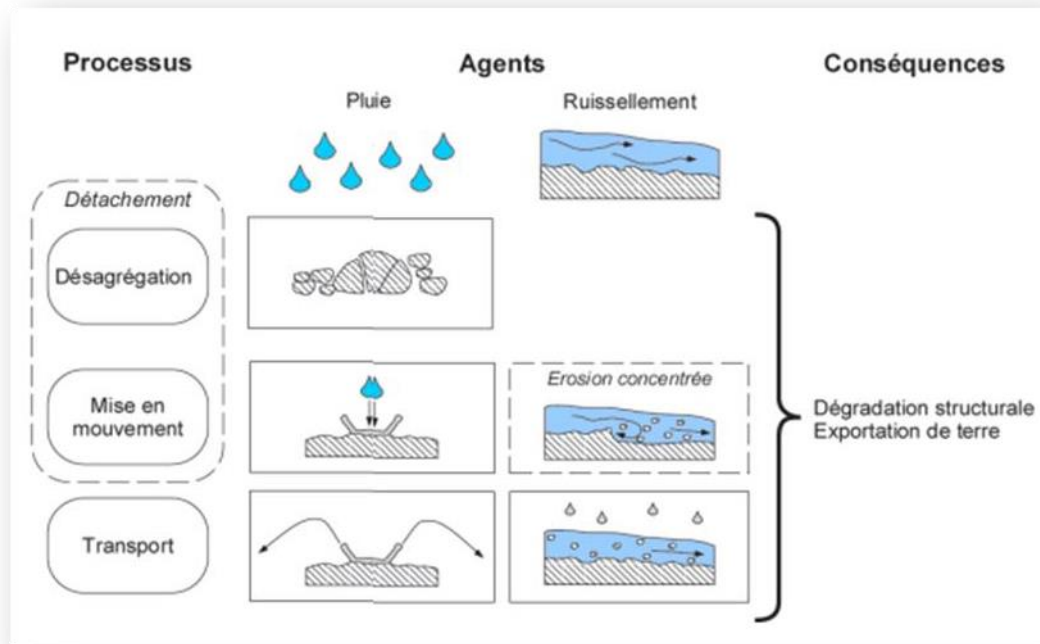


Figure I.4 : Différents procédés de l'érosion hydrique. (Wikipédia)

I.2.3. Formes de l'érosion hydrique

a. L'érosion en nappe :

L'érosion en nappe se caractérise par un écoulement de l'eau de ruissellement sans former de rigoles ou de sillons visibles. Ce phénomène se produit principalement sur des pentes faibles où l'eau ne peut pas s'accumuler. Initialement, l'impact des gouttes de pluie arrache et transporte les particules du sol. Les gouttelettes de pluie projetées dans toutes les directions contribuent à ce processus. Cependant, en raison de la gravité, les gouttelettes auront tendance à se déplacer plus rapidement vers le bas de la pente que vers le haut. En moyenne, la vitesse de ces gouttelettes est dirigée dans le sens de l'écoulement de l'eau. Cela conduit à la formation de flaques d'eau et au débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à une autre, ce qui provoque un ruissellement en nappe.

- L'intensité maximale des précipitations qui déclenchent le ruissellement
- L'énergie cinétique des précipitations qui contribuent au détachement des particules du sol

- La durée et l'humidité préalable du sol avant les précipitations.



Figure I.5: Erosion en nappe. (Wikipédia)

b. L'érosion linéaire, en griffes ou en rigoles :

L'érosion linéaire se manifeste à travers une variété de creusements linéaires sur la surface du sol, tels que les griffes, les rigoles et les ravines, entre autres. Ce phénomène survient lorsque le ruissellement en nappe se structure, creusant des formes de plus en plus profondes (**Kalman, 1976**). Les griffes sont des petits canaux avec une faible profondeur, tandis que les rigoles dépassent les 10 cm de profondeur mais peuvent encore être atténuées par des pratiques agricoles.

Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe à mesure que le ruissellement se concentre dans les dépressions. À ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles. La nappe ravinant se caractérise par des creux de 10 à 20 cm de profondeur et une largeur de plusieurs mètres, tandis que les ravines présentent des creux de plusieurs dizaines de centimètres, souvent non réversibles par des techniques agricoles

À l'intérieur des ravines, on peut distinguer des petites ravines avec encore une végétation herbacée et arbustive, qui peuvent être rapidement fixées par des approches biologiques. Cependant, les grandes ravines, qui peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres, ont un canal central comportant des blocs rocheux, indiquant un transport important de matériaux et une certaine force torrentielle.

Tableau I.1. Formes de l'érosion linéaire (**Roose,1994**).

Profondeur Appellation	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm quelques mètres de large	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

**Figure I.6.** Erosion linéaire. (www.aquaportail.com)

I.3. Conséquences de l'érosion hydrique en Algérie du Nord :

Les répercussions de l'érosion hydrique dans le nord de l'Algérie sont considérables, engendrant divers impacts :

- Diminution de la production agricole due aux pertes de sols cultivables.
- Dégradation spécifique dépassant les 5000 tonnes par kilomètre carré par an.
- Rejet en mer d'environ 120 millions de tonnes de sédiments par an, provenant des bassins versants tributaires de la Méditerranée **(Demmak, 1982)**.
- Migration importante des populations rurales vers les zones urbaines.
- Augmentation du niveau des lits des cours d'eau, entraînant des risques d'inondations qui menacent les infrastructures routières et les ouvrages d'art.
- Envasement précoce des barrages en exploitation.

Une étude synthétique menée par **(Bouraba en 2002)** a mis en évidence l'ampleur de ce phénomène, en fournissant des données alarmantes sur la dégradation spécifique dans le nord de l'Algérie. L'étude a porté sur plus de 35 bassins versants, évaluant les pertes sur des cycles hydrologiques différents, généralement sur une base annuelle.

Les taux d'érosion spécifique varient considérablement d'un bassin versant à un autre : de 307 à 5453 tonnes par kilomètre carré dans le bassin de Cheliff, de 1557 à 9397 tonnes par kilomètre carré dans la région côtière algéroise, 3990 tonnes par kilomètre carré dans l'Issar, etc. Ces chiffres témoignent de la sévérité de l'érosion hydrique dans différentes régions du pays.

I.3.1. Comparaison entre les différents types d'érosion :

Le **Tableau I.2** présente Les formes de dégradation et d'érosion, causes, facteurs de résistance du milieu et conséquences **(d'après Roose, 1994)**

Tableau I.2 : Comparaison entre les différents types d'érosion

<p>Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes</p>	<p>Les causes : différentes sources d'énergie</p>	<p>Les facteurs de résistance du milieu</p>	<p>Les conséquences : sélectivité de l'érosion et des dépôts</p>
<p>Erosion mécanique sèche Forme : creeping</p>	<p>Gravité et poussée par les outils de travail du sol</p>	<ul style="list-style-type: none"> • fonction de l'intensité du travail du sol, c'est-à-dire de la fréquence des travaux et du type d'outil • fonction de la pente et de la cohésion du terrain 	<p>Sélectivité Erosion: nul Dépôt: nul</p>
<p>Erosion en nappe Forme: nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée", micro-falaise</p>	<p>Battance des gouttes de pluie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • le couvert • végétal, • la pente • le sol, • les techniques et structures antiérosives 	<p>Sélectivité Erosion: forte Dépôt: fort</p>
<p>Erosion linéaire Formes: griffes, rigoles, ravines</p>	<p>L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $1/2MV^2 = 1/2MGH$</p>	<p>- la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, - le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, - résistance du profil du sol et des racines</p>	<p>Sélectivité Erosion: fable Dépôt: fort</p>

I.3.2. L'impact De L'érosion Dans Différentes Régions :

L'érosion représente un défi d'ampleur variable selon les régions. **Kanwar (1982)** a souligné lors du congrès de l'Association Internationale des Sciences du Sol à New Delhi que sur les 13,500 millions d'hectares de terres émergées dans le monde, seuls 22 % sont potentiellement cultivables, dont seulement 10 % sont actuellement exploités (soit 1,500 millions d'hectares). Au cours des dix dernières années, les pertes en terres cultivables ont augmenté pour atteindre entre 7 et 10 millions d'hectares par an, en raison de l'érosion, de la salinisation et de l'urbanisation. Cette tendance souligne la gravité du problème de l'érosion à l'échelle mondiale, en particulier dans des régions telles que le Maghreb, et plus spécifiquement en Algérie.

En parallèle, au cours des trente dernières années, un réseau de stations de recherche a été mis en place, conduisant à l'élaboration de l'équation universelle de perte de sol, connue sous le nom d'USLE (**Wischmeier, 1978**) Malgré cinquante ans d'investissements massifs en ressources humaines et financières, (**Lovejoy et al, (1986)**) ont observé que 25 % des terres cultivées perdaient toujours plus de 12 tonnes par hectare et par an, une limite considérée comme tolérable. Ainsi, la conservation des sols reste un enjeu majeur, même si les préoccupations actuelles se tournent davantage vers la pollution et la qualité de l'eau que vers la préservation des sols.

En Algérie, l'érosion hydrique impacte directement les ouvrages hydrauliques en provoquant un envasement rapide. Face à ce défi complexe, l'Algérie tente de trouver des solutions, bien que des mesures aient été prises pour évaluer l'ampleur de ce phénomène, notamment en ce qui concerne l'envasement des barrages. Les données alarmantes sur l'état d'envasement des barrages algériens sont présentées dans le **Tableau I.3.**

Tableau I.3 : La quantification de l'érosion à différentes échelles spatiales (**Touibia ,1998**)

Echelle spatiale	Erosion spécifique	Type d'érosion
Parcelle Wischmeier	0.12 à 1.09 T/Ha.an	En nappe : faible
Mini Simulation de pluie (1m ²)	9 à 1407 g/m ² .h	En nappe, en rigole : faible
Simulation géante (87 m ²)	0.1 à 184 g/m ² .h	Toute forme d'érosion : appréciable et dangereuse
Micro-bassin expérimentaux de l'ordre de l'hectare	12.38 à 48.72 T/Ha.an	Toute forme d'érosion : appréciable
Retenues collinaires	23.74 T/Ha.an	Toute forme d'érosion faible (Effet de surface néfaste)
Stations hydrométriques	2.12 à 3 T/Ha	
Barrage SMB : - d'après la bathymétrie 1196 - d'après les stations hydrométriques	3.27 T/Ha.an 7.10 T/Ha.an	Toute forme d'érosion, faible Toute forme d'érosion, non négligeable

Tableau I.4 : l'état d'envasement des barrages algériens (**Remini et al, 2003**).

Barrage	Année de Mise En eau	Capacité Initiale (Mm3)	Envasement moyen Annuel (Mm3/an)
OUED FODDA	1932	228	2.66
GHRIB	1939	280	3.2
BOUHANIFIA	1944	73	0.78
SIDI YACOUB	1986	280	1.8
FOUMEL GUEISS	1939	3	0.03
FOUMEL GHERZA	1950	47	0.8
BENI BAHDELS	1940	63	0.2
BAKHADA	1936	37.6	0.27
EGHIL EMDA	1953	154.8	1.6
S.B.M. A	1978	235	1
LACHEFFIA	1965	175.68	0.17
DJORF EL TORBA	1934	350	1.3

I.3.3. Intérêts de l'imagerie et des SIG pour l'étude de l'érosion :

D'après la documentation consultée, les spécialistes disposent de deux approches principales pour étudier l'érosion : les études sur le terrain et l'analyse des données à l'aide des systèmes d'information géographique (SIG). Ce dernier moyen est souvent privilégié pour plusieurs raisons. Les SIG permettent de collecter, stocker, extraire, transformer et visualiser des données spatiales de manière efficace (**Burrough, 1987**). Ils offrent également des outils d'analyse et de modélisation qui facilitent la manipulation des données spatiales et la création d'interactions entre différentes couches d'informations (**Bonham Carter, 1994**).

Comparativement aux études sur le terrain, l'utilisation des SIG permet d'évaluer les problématiques sur de vastes étendues à moindre coût grâce à l'utilisation d'images satellites et de photographies aériennes. Les données matricielles issues de ces sources sont particulièrement pertinentes pour l'étude de l'érosion. Lorsque les capteurs satellites ne sont pas suffisamment performants, l'utilisation combinée de photographies aériennes et d'images satellitaires est recommandée pour les analyses régionales (**Stephens and Cihlar, 1981, Breyer, 1982**). Ces deux sources d'informations complémentaires offrent des résolutions différentes, permettant l'identification de caractéristiques telles que les rigoles, surtout lorsqu'elles sont prises pendant une période sèche pour minimiser l'impact de la végétation.

La télédétection présente des avantages en termes de rapidité et d'objectivité lors de l'analyse statistique des images, tandis que la prise d'images à répétition permet de suivre l'évolution de l'érosion dans le temps (**Bou Kheir et al, 2001**). Certains chercheurs, comme **Marzloff et Poesen (2009)**, combinent l'analyse d'images satellites à très haute résolution avec la photogrammétrie pour établir des cartes des zones affectées et des volumes de sédiments impliqués. Ils soulignent que les photographies aériennes offrent une résolution très élevée pour des analyses quantitatives et qualitatives.

Des satellites spécifiquement conçus, comme le satellite Stéréo Cartosat-1, fournissent des données topographiques de haute résolution en utilisant des méthodes de mesure du relief dénudé de couverture naturelle et de constructions. Ces données sont essentielles pour générer des indices topographiques tels que l'indice d'humidité, l'indice de l'intensité de l'écoulement et l'indice de transport de sédiments (**Kumar et al, 2008**). En résumé, les informations recueillies par ces satellites offrent une précieuse contribution à l'étude de l'érosion et permettent d'obtenir des résultats très précis.

I.3.4. Méthodes utilisées pour étudier l'érosion :

Grâce aux Systèmes d'Information Géographique (SIG), de nombreuses approches ont été élaborées à l'échelle mondiale pour caractériser les environnements et examiner le phénomène de l'érosion. Ces approches, fréquemment utilisant l'analyse de photographies aériennes et d'images satellites, offrent une meilleure compréhension et évaluation de cette préoccupation environnementale.

I.1.3.4.1. Le modèle "WEPP" (Water Erosion Predicting Project):

Le modèle WEPP, conçu comme une évolution de l'USLE, est spécifiquement développé pour évaluer l'érosion par les organismes de conservation des sols et des eaux ainsi que pour la planification environnementale (**Morgan,2005**). Il se compose de trois variantes informatiques : une pour les profils, une pour les bassins versants et une pour les grilles. La version profil estime le détachement du sol, les dépôts le long d'un profil et la perte nette totale de sol, utilisant la méthode de l'USLE. Les versions bassins versants et grilles effectuent des estimations de perte de sol et de dépôts nets sur des petites surfaces de bassins versants, en tenant compte du climat, de la topographie, de la gestion des sols et des pratiques existantes. Les processus d'érosion pris en compte dans ce modèle incluent l'érosion en nappe, en rigole et dans les chenaux (**Jaoued, 1997**).

I.1.3.4.2. Le modèle "EUROSEM" (European Soil Erosion Model) :

EUROSEM est un modèle basé sur les événements, conçu pour évaluer le transport de sédiments, l'érosion et le dépôt au cours d'un événement spécifique. Il est adapté à des parcelles individuelles ou de petits bassins versants. Comparativement à d'autres modèles, EUROSEM simule explicitement l'érosion en nappe, incluant le transport de l'eau et des sédiments depuis les zones de rigoles, permettant ainsi le dépôt progressif de matériaux en cours de trajet. Cette approche est considérée comme plus réaliste que de diriger la totalité ou une partie spécifique des matériaux détachés vers les rigoles. Le modèle est applicable aux écoulements sur des surfaces relativement lisses ou en pente contenant des rigoles, et il calcule la vitesse d'écoulement ainsi que la profondeur dans ces rigoles.

I.1.3.4.3. La méthode PAP/CAR :

La méthode PAP/CAR, selon PAP/CAR (1998), comprend trois approches distinctes :

L'approche prédictive, qui évalue l'érosion à partir de la cartographie thématique des facteurs tels que la pente, la lithologie, l'occupation des sols et le degré de couverture végétale. Cette approche aboutit à la création d'une carte d'état érosif, offrant une estimation du niveau d'érosion dans l'ensemble de la zone d'étude.

L'approche descriptive, qui offre une représentation concrète des différentes formes d'érosion présentes dans la zone d'étude ainsi que de leur degré d'exposition à la dégradation.

L'approche d'intégration, qui consiste en la superposition des cartes des états érosifs obtenues à partir de la cartographie thématique et de la carte des formes d'érosion résultant de la cartographie descriptive directe sur le terrain ou à partir d'images satellites.

I.3.4.4. Le modèle "Kineros" (Kinematic Runoff an Erosion Model) :

Ce modèle est spécifiquement conçu pour les événements pluviométriques, et il détaille les processus d'interception, d'infiltration, d'écoulement en surface et d'érosion à partir de petits bassins versants agricoles ou urbains. Le bassin versant est représenté sous forme d'une série de parcelles et de canaux. Il utilise une approximation d'ordre cinématique pour modéliser les écoulements en surface et dans les canaux, en supposant que le ruissellement est généré selon un mécanisme de type Hortonien.

La description de l'infiltration nécessite plusieurs paramètres, tels que la conductivité hydraulique à saturation, la charge capillaire à saturation, la porosité du sol, la saturation relative maximale et la saturation relative initiale.

Ce modèle peut être employé pour évaluer les effets de diverses interventions, telles que les développements urbains, les petits réservoirs de rétention ou les aménagements des cours d'eau, sur les hydrogrammes de crues et la production de sédiments.

Une version améliorée de Kineros, appelée **Kineros 2**, est également disponible. Elle permet la simulation du transport solide avec une prise en compte des différentes dimensions des particules.

Le tableau I.5 répertorie quelques autres modèles hydrologiques à base physique utilisés pour décrire et prédire l'érosion hydrique à différentes échelles temporelles.

Tableau I.5 : Présentation de quelques Modèles hydrologiques (Sivapalan et al, 2003)

Modèles	Type	Spatial échelle	Temporal échelle	Outputs
ANSWERS	Physique	Petit bassin versant	Événement/ continue	Les eaux de ruissellement, débit de pointe, l'érosion, la production de sédiment
SWAT	Conceptuel	Bassin versant / bassin	Continu	Les eaux de ruissellement, débit de pointe, l'érosion, la production de sédiment
KINEROS2	Physique	Versant / petit bassin versant	Événement	Les eaux de ruissellement, débit de pointe, l'érosion, sédiment
LISEM	Physique	Petit bassin versant	Événement	Les eaux de ruissellement, des sédiments
STREAM	Physique	Petit bassin versant	Événement	Le ruissellement et l'érosion

I.4. Les apports de sédiments de la rivière :

Cette méthode est employée pour estimer le taux d'érosion en collectant des données sur les sédiments présents dans les cours d'eau. Elle trouve principalement son utilité dans la conception de la construction des barrages et dans l'estimation des charges de sédiments fluviaux. Cependant, son application pour les travaux de conservation des eaux et des sols est particulièrement difficile, car elle ne permet pas de repérer précisément les points et les zones où l'érosion hydrique se produit.

I.1.4.1. La télédétection :

La télédétection est définie comme l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans nécessiter de contact matériel direct avec ces objets (J_O_du, 11 décembre 1980). Elle repose sur l'exploitation des propriétés d'émission ou de rayonnement des ondes électromagnétiques par les objets. Bien que la télédétection soit principalement appliquée à l'observation de la Terre, elle peut également concerner d'autres entités telles que des planètes, des étoiles, des galaxies, et ainsi de suite.

I .4.2. Image numérique de télédétection :

Une image photographique est une représentation plane divisée en petits morceaux de forme et de taille égale appelée « pixels ». Chaque pixel est associé à une valeur numérique (CN) en fonction de sa luminosité. Cette représentation numérique de l'image est composée de données organisées en lignes et en colonnes, ce qui constitue ce qu'on appelle des données raster. Étant donné que les images numériques sont essentiellement des matrices de données, il est facile d'effectuer des opérations mathématiques sur ces images, ce qui est connu sous le nom de « traitement numérique des images ».

Les données des images numériques peuvent également avoir une troisième dimension appelée « couche », qui représente une image de la même scène mais avec des informations différentes. Dans le cas d'images multispectrales, les couches sont constituées d'images de différentes plages spectrales, appelées bandes ou canaux.

La structure d'une image numérique en télédétection est similaire à celle d'un fichier image (raster) telle que définie dans un système d'information géographique (SIG). Elle est généralement divisée en deux parties :

L'entête : Cette section contient les métadonnées ou méta-informations, c'est-à-dire toutes les informations que le producteur de l'image juge utiles de fournir à l'utilisateur.

La matrice numérique : Cette partie est formée de nombres entiers compris entre 0 et 255, représentant la luminance spectrale relative de chaque cible dans l'image.

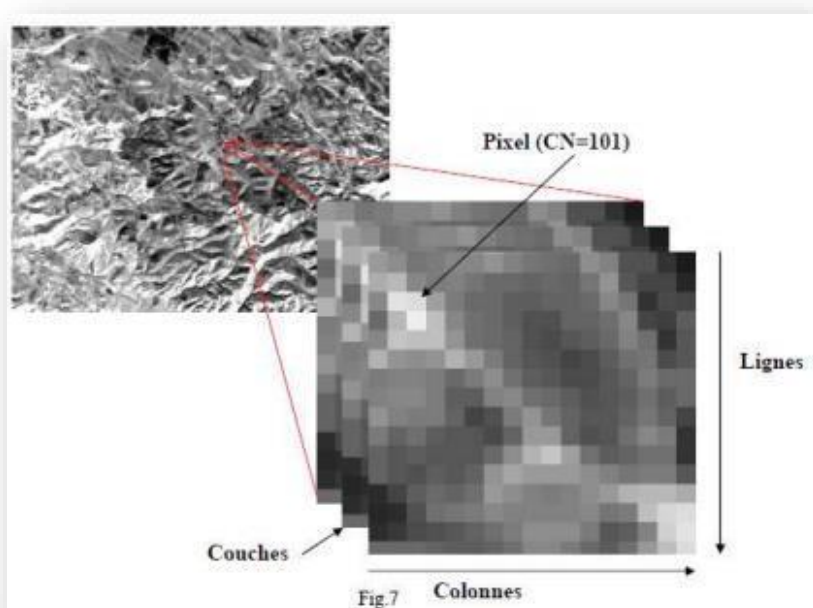


Figure I.7 : Structure d'une image numérique (Toumi, 2013)

I.4.3. Apport de la télédétection et les SIG à l'étude de l'érosion :

L'application de la télédétection dans les études sur l'érosion se concentre sur deux axes de recherche principaux : premièrement, la surveillance des signaux décrivant les variations spatio-temporelles des caractéristiques de surface du sol, et deuxièmement, l'amélioration des méthodes utilisées pour corrélérer ces signaux surveillés avec les variables hydrologiques et géomorphologiques pertinentes des modèles utilisés pour étudier les processus d'érosion.

L'utilisation d'images de différentes résolutions permet d'observer un territoire et ses éléments à différentes échelles. Chaque catégorie d'objets observés peut être analysée à une échelle locale spécifique. Le choix des capteurs de télédétection est guidé par leur résolution spatiale afin de les adapter au mieux à la taille des objets observés et à l'échelle de restitution souhaitée.

De nombreux chercheurs ont utilisé la télédétection comme source de données, combinée aux systèmes d'information géographique (SIG), pour la gestion et l'analyse de ces données en vue d'estimer et de cartographier l'érosion hydrique.

Tableau I.6 : Caractéristiques des capteurs Landsat (**Sources :** <http://e-cours.univ-paris1.fr/>)

Satellite	Date de lancement	Altitude	Bandes spectrales	Répétitivité
Landsat-1	23/07/1972	907Km	4 (2 visibles / 2 proche IR)	18 jours
Landsat-2	22/01/1975	908Km	4 (2 visibles / 2 proche IR)	18 jours
Landsat-3	05/03/1978	915Km	5 (2 visibles / 2 proche IR / 1IR thermique)	18 jours
Landsat-4	16/07/1982	705Km	8 (3 visibles / 3 proche et moyen IR / 1 IR thermique / 1 panchromatique)	16 jours
Landsat-5	01/03/1984	705Km	8 (3 visibles / 3 proche et moyen IR / 1 IR thermique / 1 panchromatique)	16 jours
Landsat-6	05/10/1993	n/a	8 (3 visibles / 3 proche et moyen IR / 1 IR thermique / 1 panchromatique)	16 jours
Landsat-7	11Avril 1999	705Km	8 (3 visibles / 3 proche et moyen IR / 1 IR thermique / 1 panchromatique)	16 jours
Landsat-8	11 février 2013	705Km	9 (4 visibles / 4 proche et moyen IR / 1 panchromatique)	16 ours

I.5. Logiciel ArcGIS :

I.5.1. ArcGIS Desktop :

ArcGIS Desktop est une suite d'applications complète comprenant ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. Ces trois applications offrent toutes les fonctionnalités nécessaires pour effectuer des tâches SIG, qu'elles soient simples ou avancées, telles que la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement. De plus, ArcGIS 10.3 donne accès à une vaste gamme de données et de ressources spatiales via les services ArcIMS disponibles sur Internet. Cette solution SIG est conçue de manière intégrée et flexible pour répondre aux besoins diversifiés des utilisateurs SIG.

I.5.2. ArcMap :

ArcMap est l'élément central d'ArcGIS Desktop, l'application principale utilisée pour toutes les tâches liées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse cartographique et la mise à jour des données. Dans ArcMap, vous travaillez avec des cartes, qui sont composées d'une mise en page contenant une fenêtre géographique (ou vue) comportant un ensemble de couches, de légendes, de barres d'échelle, de flèches indiquant le Nord, et d'autres éléments cartographiques. ArcMap offre différentes façons de visualiser une carte, notamment la vue des données géographiques et le mode de mise en page, dans lesquels vous pouvez effectuer de nombreuses opérations SIG.

I.5.2. ArcCatalog

ArcCatalog est une application qui simplifie l'organisation et la gestion de toutes les données SIG. Elle offre des outils de navigation et de recherche des informations géographiques, ainsi que des fonctionnalités d'enregistrement et de visualisation des métadonnées. Avec ArcCatalog, il est possible d'effectuer une visualisation rapide de n'importe quel jeu de données, et d'utiliser des outils pour définir la structure des couches de données géographiques.

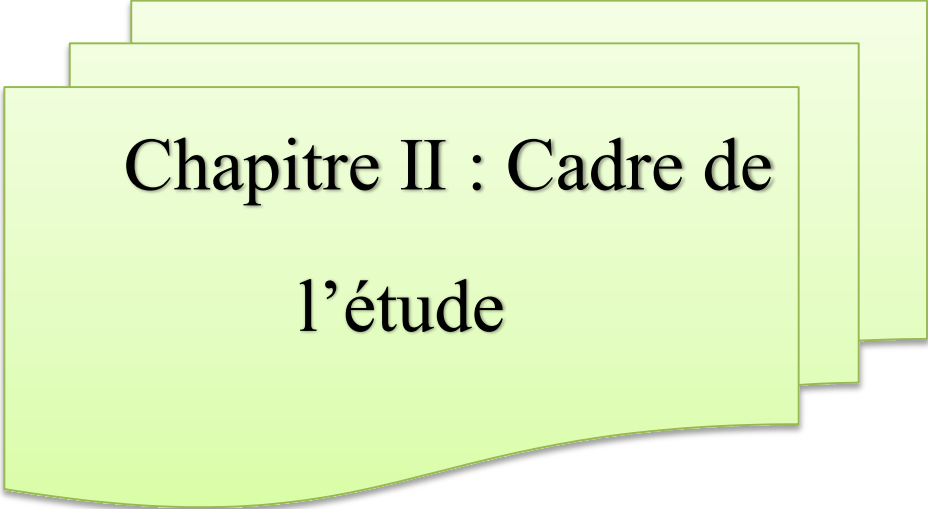
I.5.4. ArcToolbox

ArcToolbox est une application qui regroupe de nombreux outils SIG utilisés dans le géotraitement. Il existe deux versions d'ArcToolbox :

- L'ArcToolbox complet qui est fourni avec Arc Info.
- Une version plus légère qui est fournie avec les applications ArcView et Arc Editor.

I.6. Conclusion

La revue de la littérature a permis de mettre en évidence la complexité du phénomène de l'érosion hydrique et la nécessité d'utiliser des méthodes appropriées pour évaluer et cartographier la vulnérabilité à ce phénomène. Les méthodes de télédétection et de SIG, combinées avec des modèles tels que RUSLE et EPM, offrent une approche efficace pour la quantification de l'érosion en Algérie. Les résultats de cette étude permettront de mieux comprendre les facteurs influents de l'érosion hydrique et d'identifier les zones les plus vulnérables, ce qui contribuera à la mise en place de mesures de conservation des sols et de gestion des ressources en eau pour prévenir et réduire les impacts de l'érosion hydrique.



**Chapitre II : Cadre de
l'étude**

Chapitre II : Cadre de l'étude

Bassin versant du L'ardjem

II.1. Introduction

La dégradation du milieu naturel est une problématique majeure à l'échelle nationale, avec des manifestations spécifiques selon les régions. Selon le ministère de l'Agriculture et du Développement rural (**MADR, 2011**), environ 50 millions d'hectares de terres sont menacés par la désertification et l'érosion hydrique, ce qui représente plus de 20% de la superficie totale du pays, qui dépasse les 238 millions d'hectares. Cette dégradation touche diverses zones, notamment 14 millions d'hectares de montagnes au nord, 32 millions d'hectares de zones steppiques et 4,1 millions d'hectares de forêts soumis aux effets des changements climatiques (**S. Merdes, 2013**).

Malgré sa taille modeste, la région étudiée offre un aperçu significatif de l'évolution de l'érosion observée dans les bassins versants en Algérie. Ce chapitre se concentrera donc sur la présentation des caractéristiques physiques et climatiques du bassin versant du barrage de Sidi-Yacoub.

Caractéristique géographique

Le sous-bassin de l'Oued Ardjem fait partie du bassin versant du haut et moyen Cheliff, situé dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Il couvre une superficie de 1391 km² avec un périmètre de 213,49 km, s'étendant d'ouest en est entre les longitudes **1° 15' et 1° 18'** et du nord au sud entre les latitudes **35° 58' et 35° 36'**. L'Oued Ardjem, qui draine ce bassin, a une longueur de 92,213 km et son altitude varie entre 67,6 mètres et 1640,9 mètres. Il est considéré comme l'un des principaux affluents du Cheliff. Il est alimenté par plusieurs affluents importants, notamment l'Oued Ardjem, l'Oued Melah, l'Oued Lag et l'Oued Djouza. Sur le plan administratif, le sous-bassin de Sidi Yacoub s'étend sur 17 communes réparties dans quatre wilayas : **Tissemsilt, Relizane, Cheliff et Tiaret**.

La **Figure II.1** se présente la carte de situation du bassin versant de Sidi-Yacoub réalisée par nos soins sous ArcGIS 10.8.

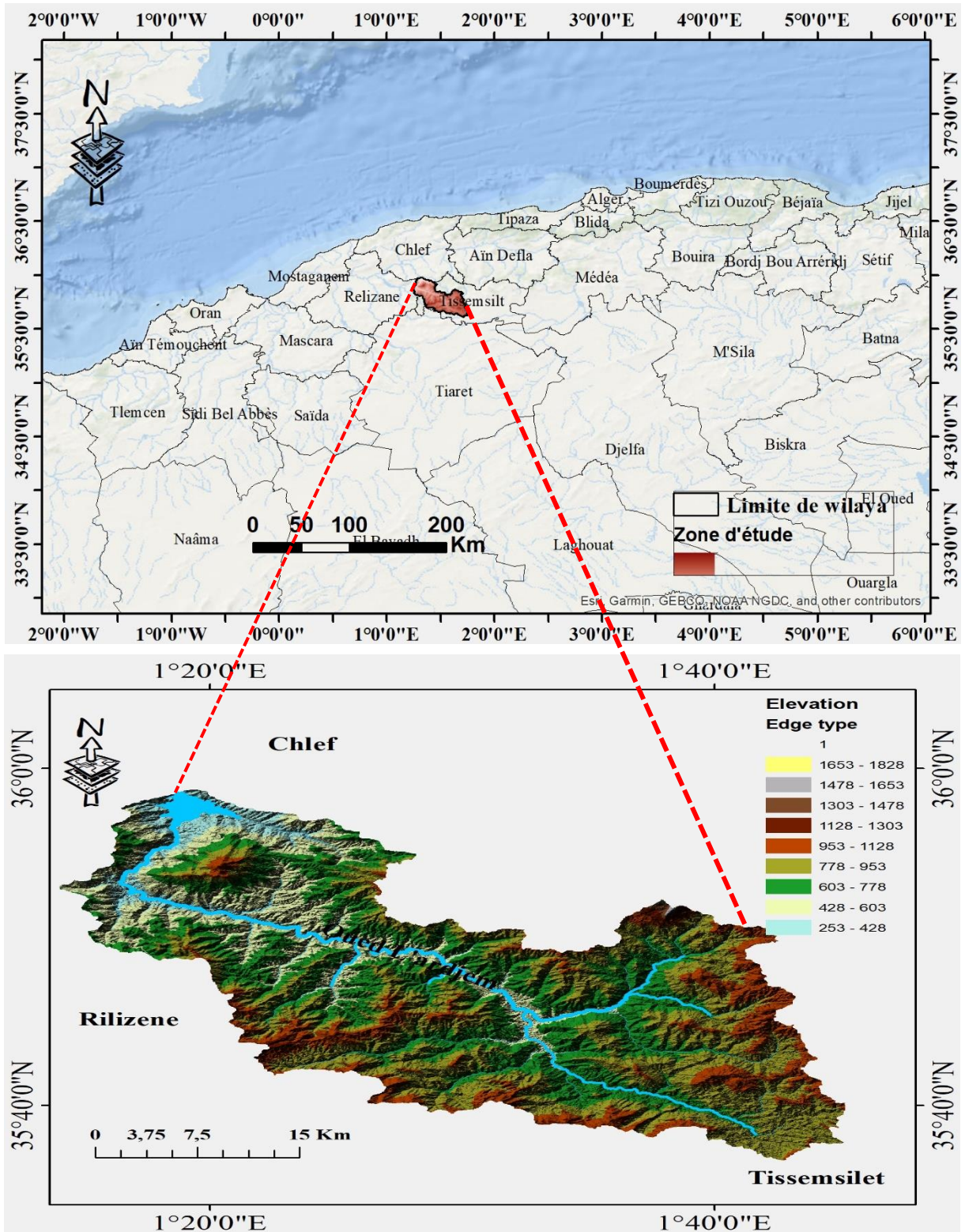


Figure II.1: Situation géographique du bassin versant d'Oued El Ardjem.

II.2. Caractéristiques physiques

II.2.1. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du sous-bassin versant de Sidi-Yacoub est remarquablement dense, principalement en raison de pentes plus prononcées et d'une couche superficielle moins perméable. Cette configuration favorise l'écoulement important des eaux de ruissellement et des sédiments.

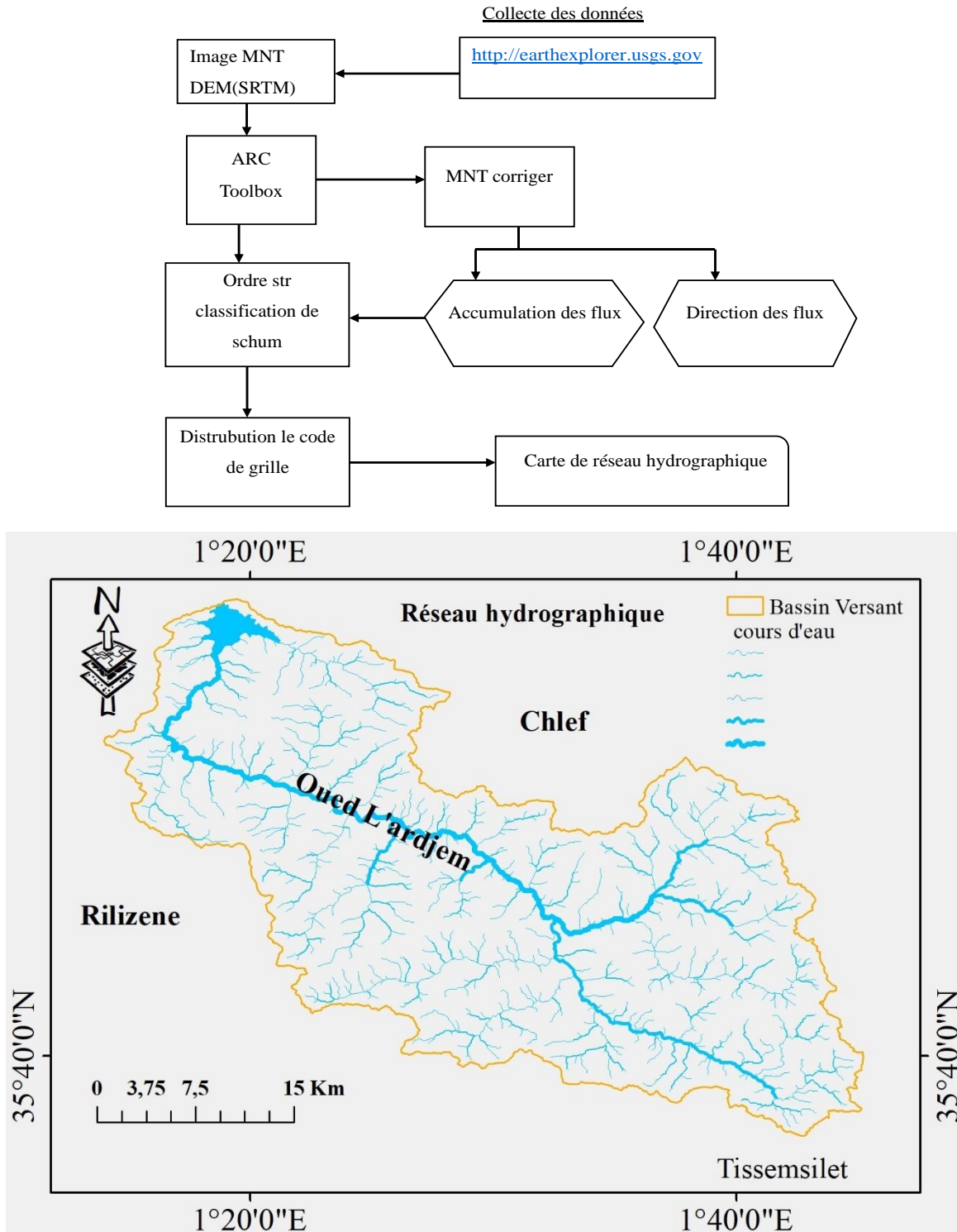


Figure II.2 : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de Sidi-Yacoub

II.2.2. Modèle numérique de terrain (M.N.T)

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation de la topographie d'un terrain ou d'une planète, créée à partir de données d'altitude. Contrairement au modèle numérique d'élévation (MNE), le MNT ne tient pas compte des éléments tels que les végétaux et les structures présentes à la surface. Le MNT que nous avons obtenu a été téléchargé depuis le site internet <http://earthexplorer.usgs.gov/> et a une résolution

• Méthodologie

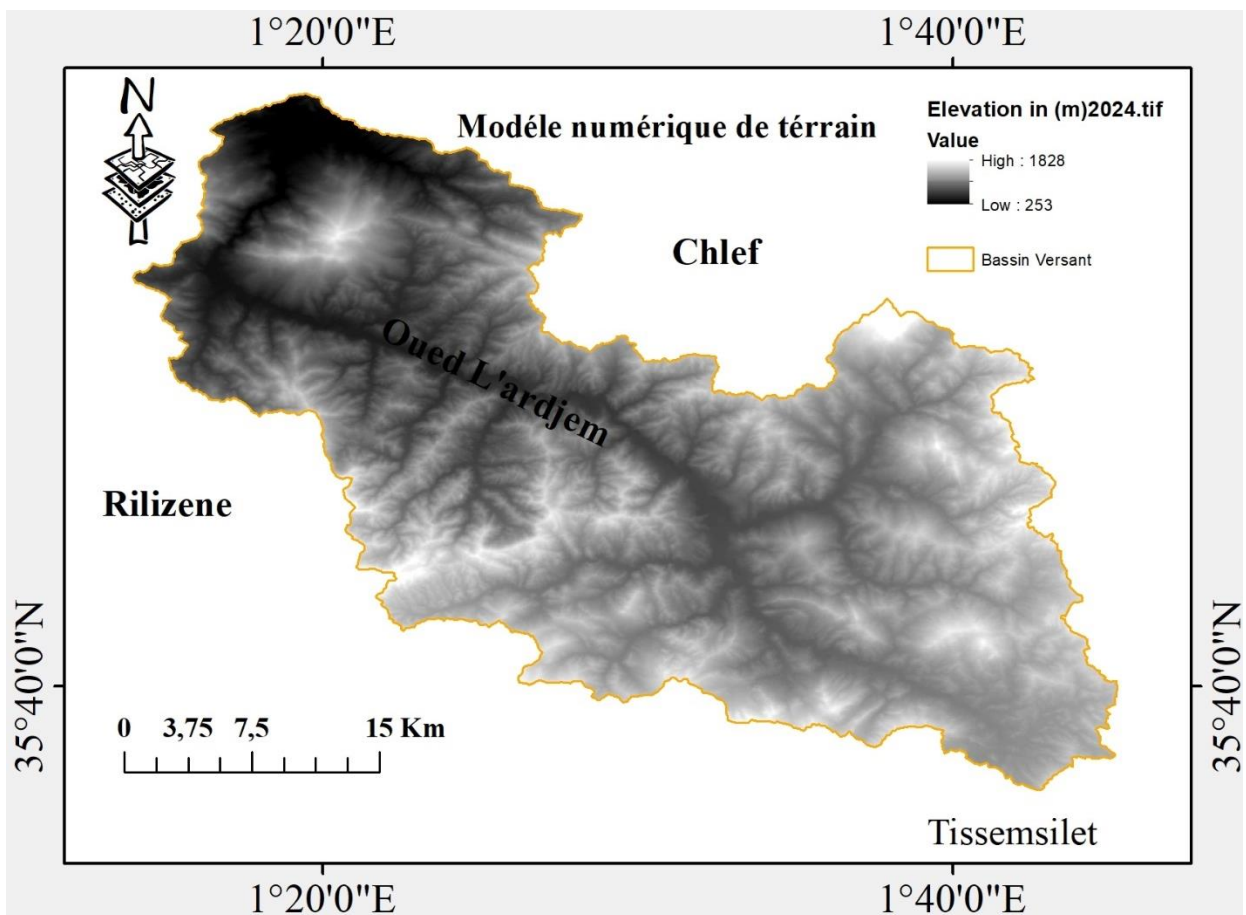
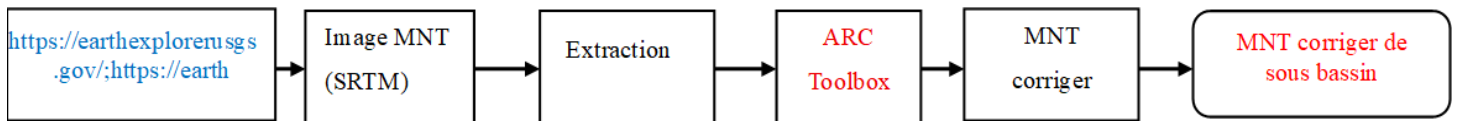


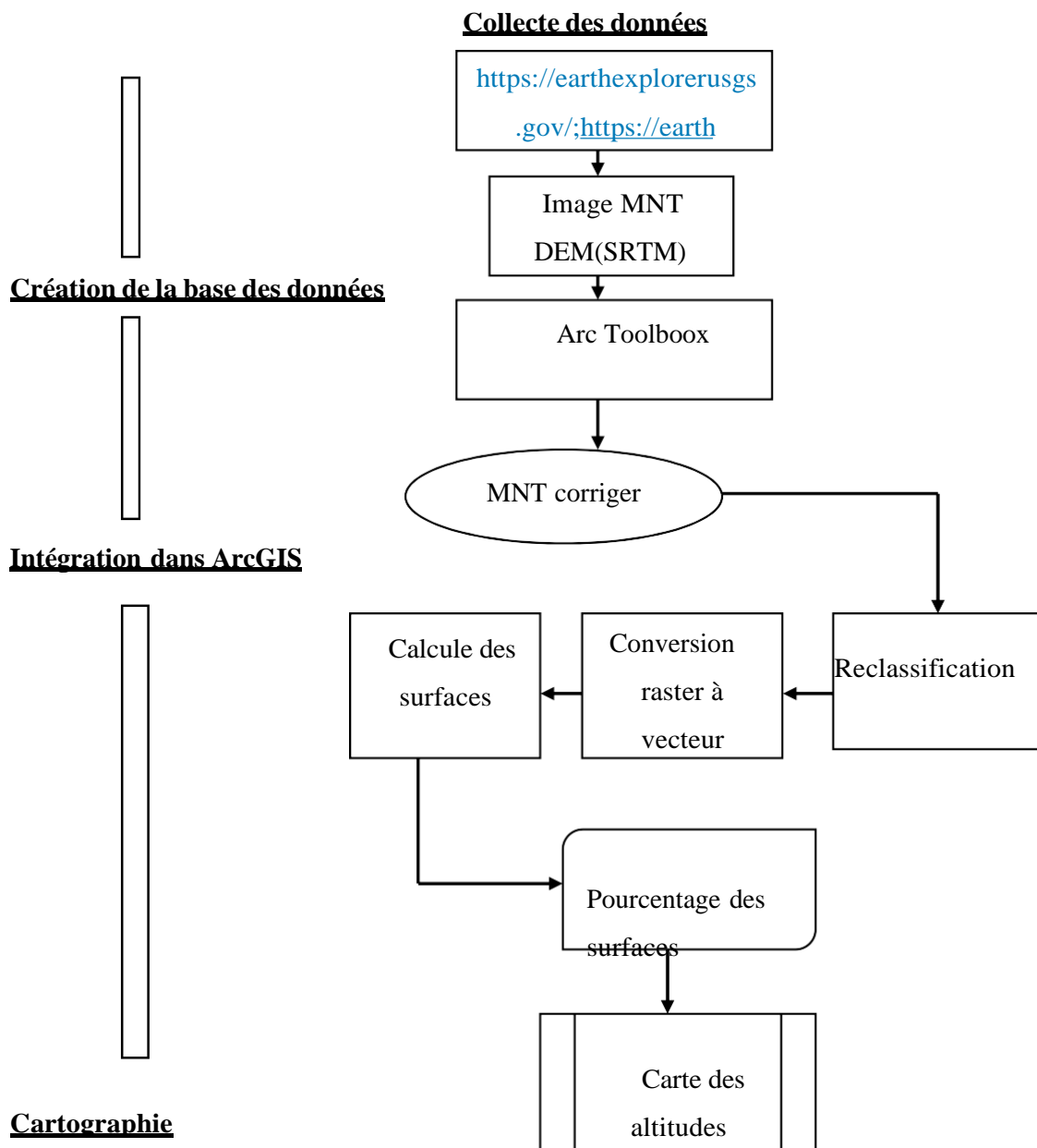
Figure II.3: Carte de modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant de Sidi-Yacoub

II.2.3. Altitudes

La' Figure II.4) illustre les différentes tranches d'altitude réparties sur la superficie du bassin versant, basées sur le modèle numérique de terrain (MNT). Le Tableau II.1 qui suit résume cette répartition des altitudes, utilisée pour dessiner la courbe hypsométrique du bassin.

Le bassin de Sidi-Yacoub se caractérise par un relief montagneux modérément accidenté, avec des altitudes variant de 250 mètres à 1828 mètres

• **Méthodologie**



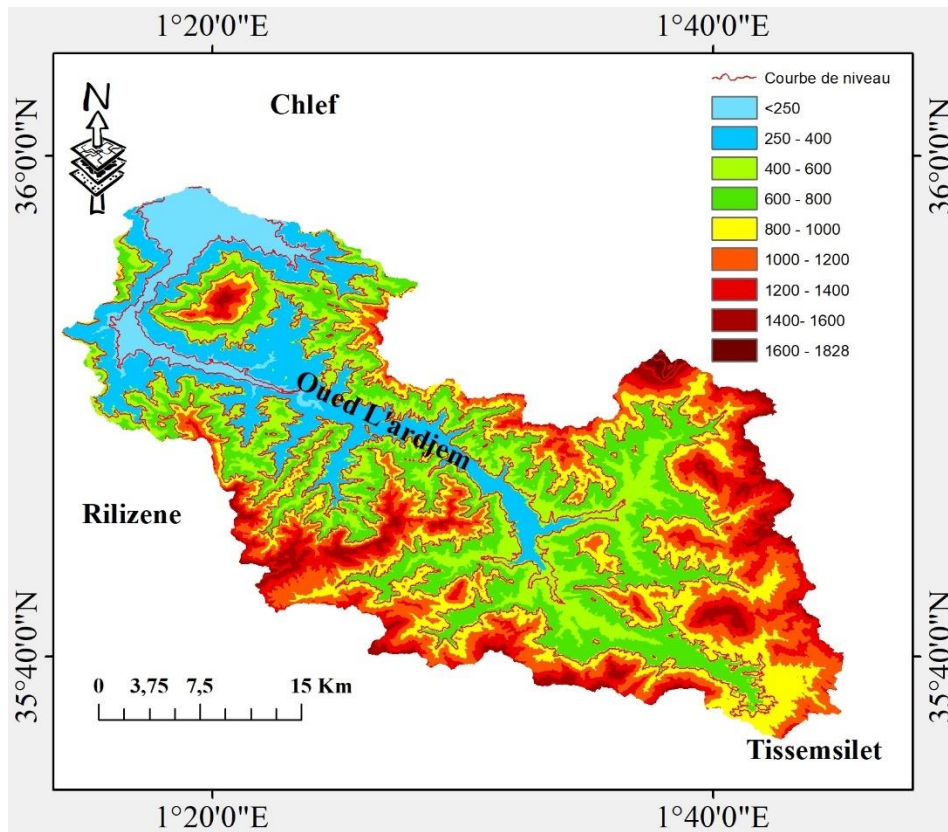


Figure II.4 : Carte des altitudes du bassin versant de Sidi-Yacoub.

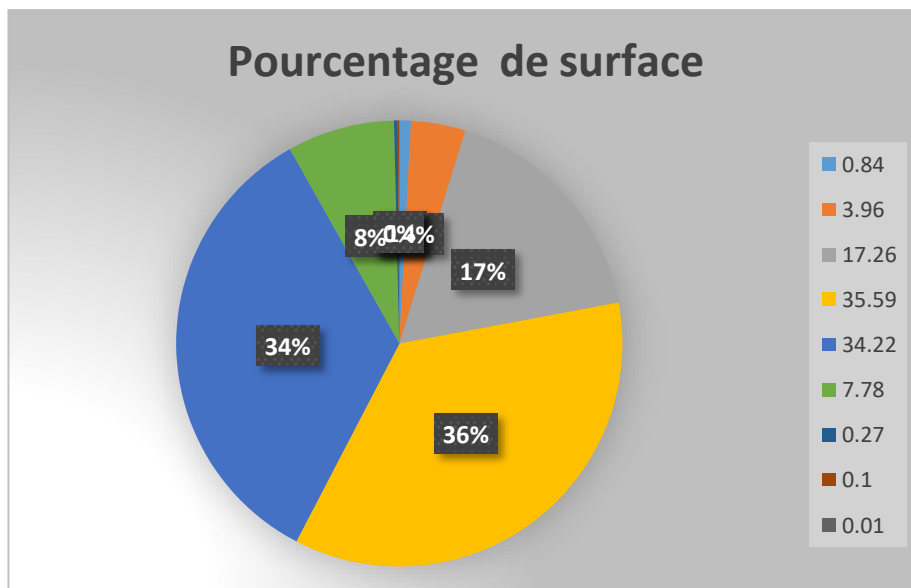
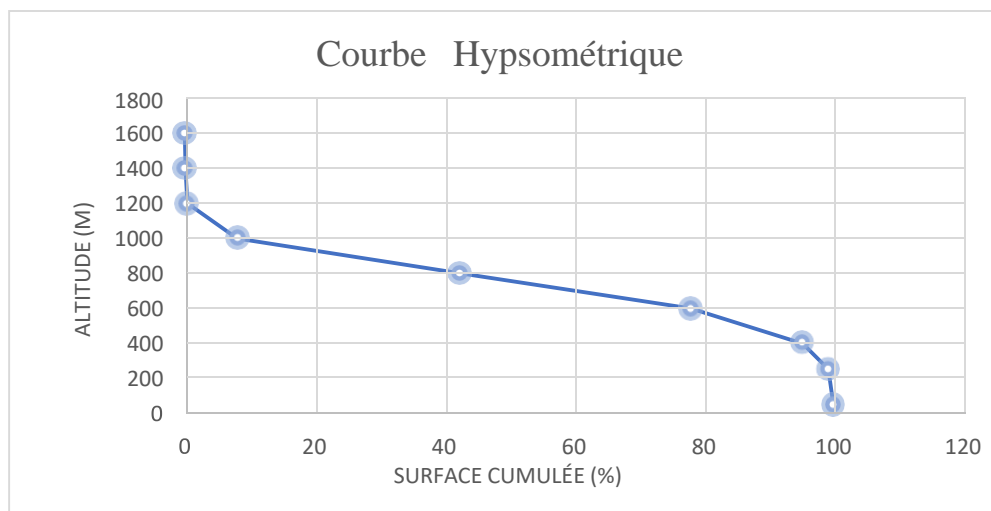


Tableau II.1: Classes des altitudes du bassin versant de Sidi-Yacoub

Classes	Altitudes	Surfaces (Km2)	Pourcentage (%)
1	<250	7,77	0,84
2	250 – 400	36,83	3,96
3	400 – 600	160,55	17,26
4	600 – 800	331,01	35,59
5	800 -1000	318,25	34,22
6	1000 - 1200	72,31	7,78
7	1200 - 1400	2,54	0,27
8	1400 - 1600	0,95	0,1
9	1600 - 1828	0,13	0,01
		Tôt= 930	100

II.2.4. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique du bassin versant de Sidi-Yacoub illustre la distribution de sa surface en fonction de l'altitude. Les informations utilisées pour tracer cette courbe, présentée dans la **Figure II.5**

**Figure II.5:** La courbe hypsométrique du bassin de Sidi-Yacoub

II.2.5. Classes des pentes

L'inclinaison du terrain exerce une influence significative sur le processus d'érosion en fournissant son énergie à l'eau et en accélérant le ruissellement. Une pente plus prononcée intensifie l'érosion en augmentant la vitesse du ruissellement, ce qui entraîne un détachement plus important des particules. Cette relation est exponentielle, car le détachement des particules est lié au carré de la vitesse de l'eau. La longueur de la pente contribue également à la quantité de ruissellement, mais son impact varie et n'est pas aussi significatif que l'inclinaison. De plus, la forme de la pente, qu'elle soit convexe, concave, homogène ou irrégulière, joue un rôle dans le processus érosif.

Dans cette étude, nous nous concentrons principalement sur l'inclinaison de la pente en raison de son importance prépondérante dans le paramètre topographique. La carte d'élévation du bassin montre un relief modérément accidenté, avec des altitudes allant de 250 à 1828 mètres. Les altitudes maximales se trouvent au sud et diminuent en direction du nord, où les altitudes sont plus basses. Les pentes dans notre sous-bassin varient de 0% à 66%.

Tableau II.2: Classes des pentes dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

Classes	Pente	Surface(Km2)	Poucentage(%)
1	<5	87	10
2	5 à 10	179	20
3	10 à 15	229	25
4	15 à 20	186	20
5	20 à 25	120	13
6	25 à 30	66	7
7	30 à 35	29	3
8	>35	14	2

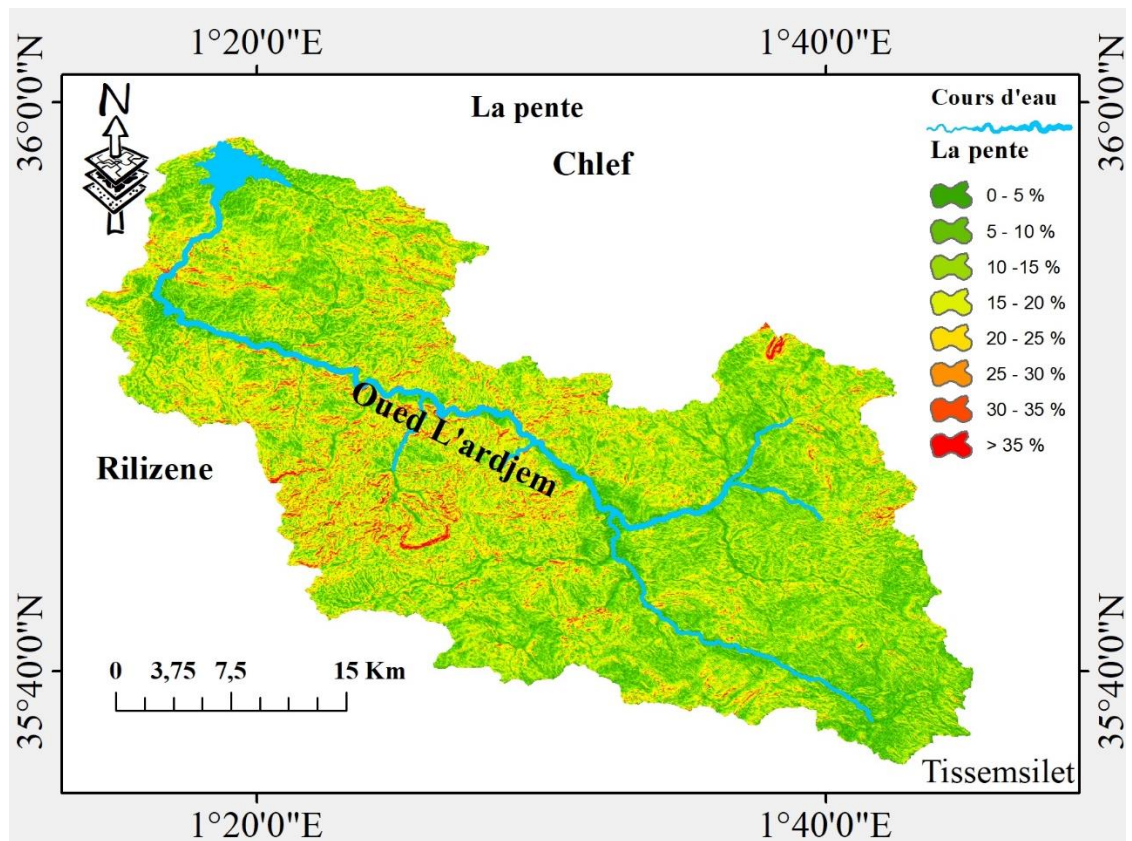
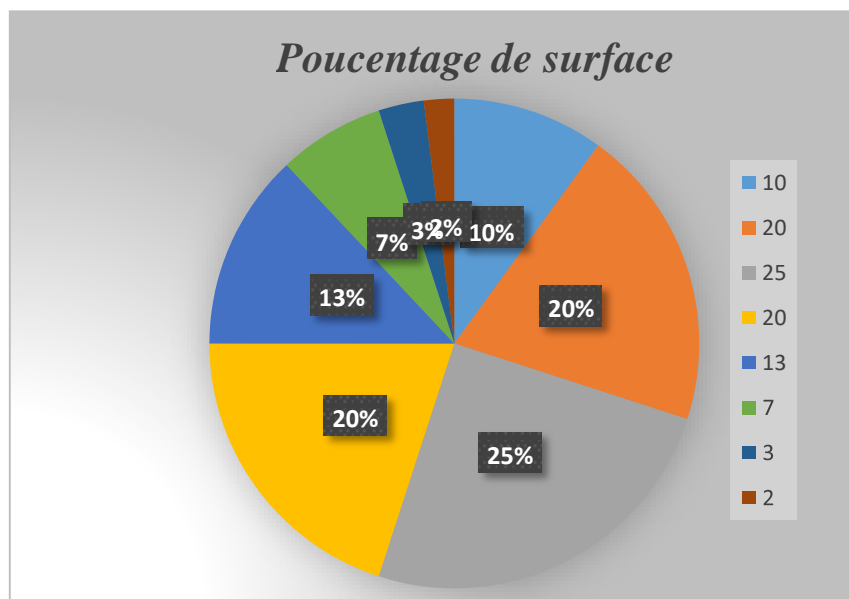


Figure II.6 : Carte des pentes du bassin versant de Sidi-Yacoub



II.2.6. Exposition vers le nord

La Figure II.7 ci-dessous nous montre l'exposition vers le nord de notre sous bassin versant de l'Oued Ardjem

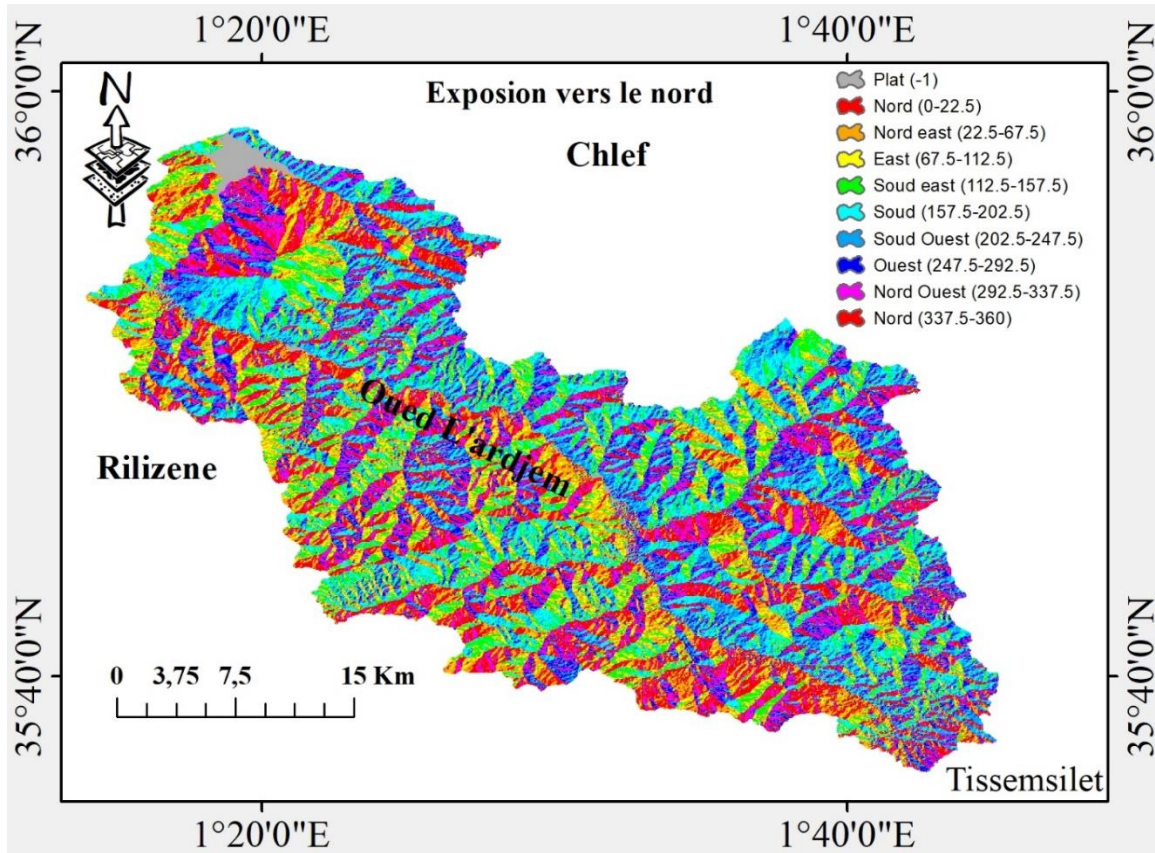


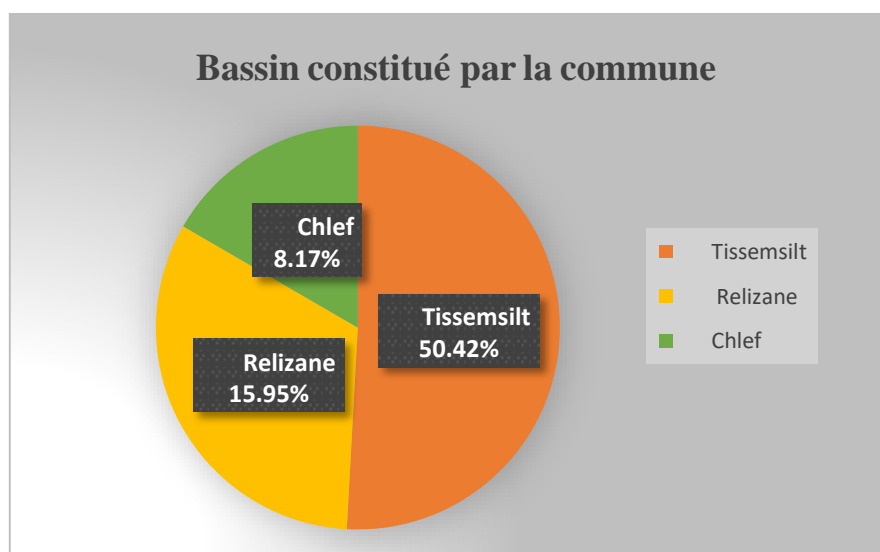
Figure II.7 : Carte d'exposition du bassin versant de Sidi-Yacoub

II.3. Caractéristiques sociodémographiques

Le bassin versant du barrage de Sidi-Yacoub couvre une superficie de 926 km², répartie entre 17 communes situées dans quatre wilayas différentes : Tissemsilt, Relizane, Chleff et Tiaret. Cependant, une analyse approfondie de sa géographie révèle que près de trois quarts de cette superficie se concentrent dans seulement cinq communes.

Tableau II.3: Les communes les plus importantes du bassin versant du Sidi-Yacoub

Wilaya	Commune	Pourcentage du bassin constitué par la commune
1- Tissemsilt	Lardjem	24,98
2- Relizane	Ramka	15,95
3- Tissemsilt	Sidi Abed	14,34
4- Tissemsilt	Sidi Lantri	11,10
5- Chlef	Ouled Ben Abdelkader	8,17
Total		74,54



Il est notable que plus de la moitié du bassin versant est constituée des territoires des communes de Lardjem, Ramka et Sidi Abed. Il est donc primordial de noter dès le départ que ces communes, qui représentent la majeure partie du bassin, devront bénéficier d'une attention particulière lors de la mise en place d'éventuelles actions participatives visant à réduire l'érosion. Sur le plan social, la région principale du bassin présente les caractéristiques principales des populations du versant sud de l'Atlas Tellien. Ces caractéristiques sont en grande partie déterminées par le fait que les groupes sociaux de cette région sont plus orientés vers le sud (la steppe) que vers le nord, tant en termes de traditions socioculturelles que d'activités

économiques. Par conséquent, les structures sociales de base mettent en évidence une présence plus marquée de l'arch (la tribu) dans l'imaginaire collectif par rapport au nord, ainsi qu'une référence persistante à la propriété collective, bien que cette dernière soit en déclin. De plus, la proximité relative de la steppe et de l'activité pastorale signifie que la population de cette région est influencée dans une certaine mesure par les pratiques dominantes de la steppe, caractérisées par un élevage plus prédominant que l'agriculture. Il convient également de souligner le développement de l'arboriculture dans le bassin versant depuis l'application du plan national de développement agricole en 2001. Ainsi, l'arboriculture doit être prise en compte dans les propositions d'actions anti-érosives visant à protéger le bassin versant

Le **Tableau II.4** présente la superficie des communes du bassin versant et leur proportion dans le bassin versant.

Wilaya	Commune	Superficie en km	Pourcentage du bassin constitué par la Commune
Tissemsilt	Lardjem	231.3	24.98
	Sidi Abed	132.8	14.34
	Sidi Lantri	102.8	11.1
	Tamalaht	49.3	5.32
	Ammari	42.1	4.55
	Beni Lahcene	34.6	3.74
	Bordj Bounaama	27.6	2.98
	Maacem	19.8	2.14
	Larbaa	19.7	2.13
	Melaab	19.7	2.13
	Tissemsilt	2.2	0.24
	Sidi Slimane	0.8	0.09
	Tiaret	Meghila	0.8
Relizane	Ramka	147.7	15.95
	Souk El Haad	19.1	2.06
Chlef	Ouled Ben Abdelkader	75.7	8.17
Total		926.2	100.00

Le **Tableau II.5** La typologie agro-écologique des communes siégeant dans le bassin versant du barrage de Sidi-Yacoub.

Wilaya	Zone géographiques	Typologie agro-économique	Commune
Tissemsilt	Montagne Ouarsenis subhumide	Agro-sylvo-pastorale	Lardjem Beni lahcen Larbaa Sidi Slimane Borj Bounaama Sidi Abed Sidi Lantri Tamalaht
	Piémont Sud de Ouarsenis	Agro-pastorale	Ammari Melaab Tissemsilt Maacem
Tiaret	Monts semi-arides de Tiaret	Agro-pastorale	Meghila
Relizane	Piémonts et Monts 'Ouarsenis	Agro-pastorale	Ramka Souk El Haad
Chlef	Piémont Nord-Ouest Ouarsenis	Agricole	Ouled Ben Abdelkader

II .4. Paramètres du relief

Relief

La topographie joue un rôle crucial dans la manière dont les terrains s'écoulent, se drainent et se réhydratent, ce qui influe considérablement sur le cycle hydrologique d'une région.

II.4.1. Indice de compacité de Gravelius

L'indice de Gravelius, également connu sous le nom d'indice de forme, représente la configuration géométrique d'un bassin versant. Il permet de le simplifier en un rectangle de largeur L ayant la même aire que le bassin.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (II.1)$$

Avec :

P : le périmètre du bassin versant (Km),

S : la surface du bassin versant (Km²).

Pour notre cas d'étude la valeur du coefficient de compacité est **Kc =1,854**

Si **Kc > 1** Notre bassin a une forme « allongée ».

II.4.2. Le rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définit respectivement par les formules suivantes :

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définit

Respectivement par les formules suivantes :

$$L, l = \sqrt{S} * \frac{Kc}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128^2}{Kc} \right)} \right) \quad (II2)$$

Avec

Kc : Indice de compacité de Gravelius

S : surface du bassin versant

L : La longueur du rectangle équivalent

l : La largeur du rectangle équivalent.

II.4.3. Altitude moyenne du bassin versant

$$H_{moy} = \sum_i \frac{S_i H_i}{S} \quad (II.3)$$

Avec :

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en (m)

S : Superficie du bassin versant (Km²).

II.4.4. Pente moyenne du bassin versant

$$I_m = \frac{\Delta(0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{S} \quad (II.4)$$

ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives

$L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$: Les longueurs des courbes de niveaux (Km).

S : superficie du bassin versant (Km²).

II.4.5. Indice de pente globale I_g

A partir de la courbe hypsométrique, il est favorable d'en déduire les altitudes de fréquence 5% et 95% de la surface du bassin versant.

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

D : Dénivelée entre H5% et H95% (m)

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

H5% et H95% : sont respectivement Les altitudes correspondantes à 5% et 95%

Classe de relief

Tableau II.6 présenter le relief en fonction de la valeur de I_g

Tableau II.6 : Le relief en fonction de la valeur de I_g

Classe de relief	I_g (m/km)	Type du bassin
R2	$2 < I_g < 5$	Les bassins de plaine
R3	$5 < I_g < 10$	Des terrains intermédiaires entre la plaine et la zone à ondulation du terrain
R4	$10 < I_g < 20$	Ondulation du terrain
R5	$20 < I_g < 50$	Région de collines
R6	$I_g > 50$	Région de montagne

A partir de la valeur de I_g calculée dans notre cas, le type du relief du bassin est « Ondulation du terrain »

II.4.6. Indice de pente moyenne I_{pm}

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent.

$$I_{pm} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (II. 6)$$

II.4.7. La densité de drainage

Pour un bassin versant d'une surface "S", elle est définie comme la longueur totale des cours d'eau de tous les ordres sur la zone drainée, exprimée en kilomètres par kilomètre carré (Km/Km^2).

$$Dd = \frac{\sum^n Li}{S} \quad (II.7)$$

Avec :

Dd : Densité de drainage [km/km^2] ;

Li : Longueur de cours d'eau [km] ;

S : surface du bassin versant [km^2].

II.4.8. Temps de concentration du bassin versant

C'est le laps de temps nécessaire à une particule d'eau, venant de la zone la plus éloignée du point de déversement, pour atteindre ce dernier. Cette estimation peut être réalisée en mesurant la période allant de la fin de la précipitation significative à la cessation du ruissellement, en utilisant la formule de Giandotti (du sud de l'Italie, 1937).

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{H_{moy}}} \quad (II. 8)$$

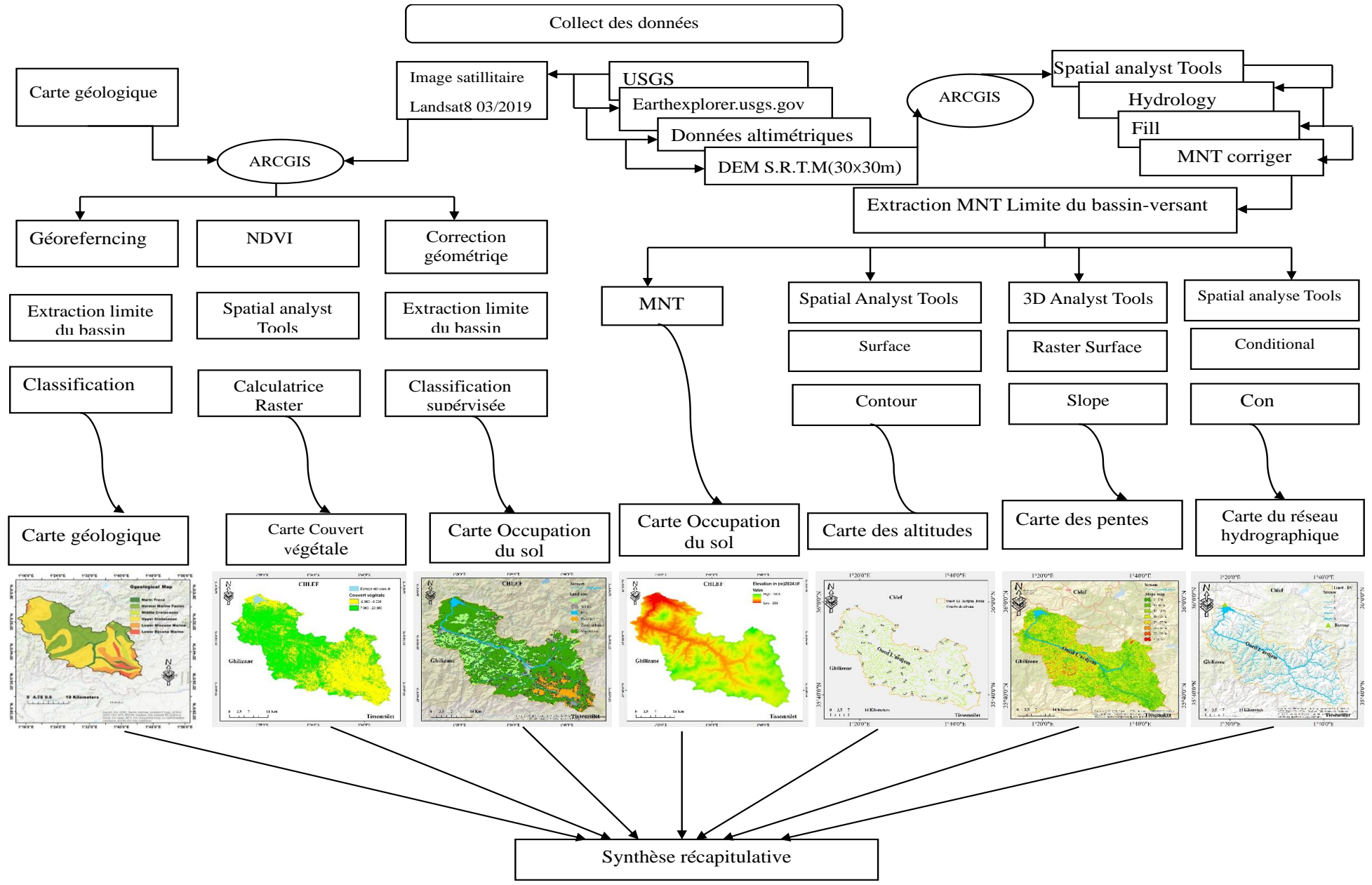
Lp : Longueur du cours d'eau principal (Km)

S : La superficie du bassin versant (Km^2)

Hmoy : Altitude moyenne du bassin versant (m NGA)

Tableau II.7 : Les caractéristiques morphologiques du bassin versant du Sidi-Yacoub

Caractéristiques	Symbole	Unité	B-V Sidi -Yacoub
Surface	S	Km ²	930
Périmètre	P	Km	202
Longueur du rectangle équivalen	L	Km	70.78
Largeur du rectangle équivalent	L	Km	13.14
Altitude maximale	Hmax	M	1828
Altitude moyenne	Hmoy	M	748.86
Altitude minimale	Hmin	M	253
Altitude 5%	H5%	M	1092
Altitude 95%	H95%	M	389
Indice de compacité	Lc	/	1.85
Indice de pente globale	Ig	M/Km	9.93
Pente moyenne du bassin-versant	Im	%	2.23
Longueur du cours d'eau principal	Lcp	Km	49
Densité de drainage	Dd	Km/Km ²	1.72
Temps de concentration	Tc	Heure	8.93



II.5. Description de Barrage Sidi Yacoub

Le barrage de Sidi-Yacoub est situé dans la wilaya de Chlef à 28 km environ au sud du chef-lieu. Il est implanté dans les gorges de l'oued Lardjem. Le site du barrage a été choisi en conformité aux études sur la localité morphologiquement la plus convenable, la capacité initiale du barrage à la retenue normale 264.00m est de 286 millions de mètres cubes, l'eau accumulée servira à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable.

- Daïra : Ouled ben Abdelkader (wilaya) : Chlef
- Ville la plus proche : Ouled Ben Abdelkader
- Bassin fluvial principal : Oued- Ardjem
- Cours d'eau : Oued -Sly
- Surface du bassin versant : 915 km²
- Bureau d'études : Electroproject et GRADEVINSKI INSTITUT ZAGREB
YOUgoslavIE
- Constructeur : Entrepreneur Hidroelektra
- Sous-traitants : Metalna Maribor Yougoslavie équipements hydromécaniques
Strojexport Vodni Stavby Prague, Tchécoslovaquie
- Année d'achèvement des travaux : Mai 1985
- Année de mise en eau : Septembre 1985
- Réparations postérieures : Néant



Figure II.8 : Vue du Barrage Sidi Yacoub(mars,2024)



Figure II.9 : Galerie d'injection du barrage



Figure II.10 : Une digue Ou barrage principal (2024)

II.6. Géologie et géomorphologie

La nature du sol et du sous-sol joue un rôle prépondérant dans le phénomène d'érosion, influencé par leur perméabilité et leur propension au détachement et au transport des particules. La géologie exerce également une influence significative sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport des solides. Les matériaux géologiques se divisent en formations meubles telles que les sables, les argiles et les marnes, ainsi qu'en formations consolidées telles que les grès, les calcaires et les dolomies

A partir d'une carte géologique du nord Algérie avec échelle : 1/500000 qu'on a récupéré au niveau de l'agence nationale des Ressources hydrauliques (ANRH), (Figure II.11).

Tableau II.8 : La nature géologique du bassin versant de Sidi-Yacoub (ANRH).

Classes	Symbols	Description	Surface (km2)	Pourcentage (%)
1	Ci	Facies marins normaux	327,93	35,26
2	Cs	Crétacé supérieur marin	434,28	46,69
3	Mi	Miocène inférieur marin	79,71	8,57
4	Cm	Crétacé moyen	17,13	1,84
5	T	Trias marin	38,14	4,10
6	Ei	Eocène inférieur marin	33,24	3,57

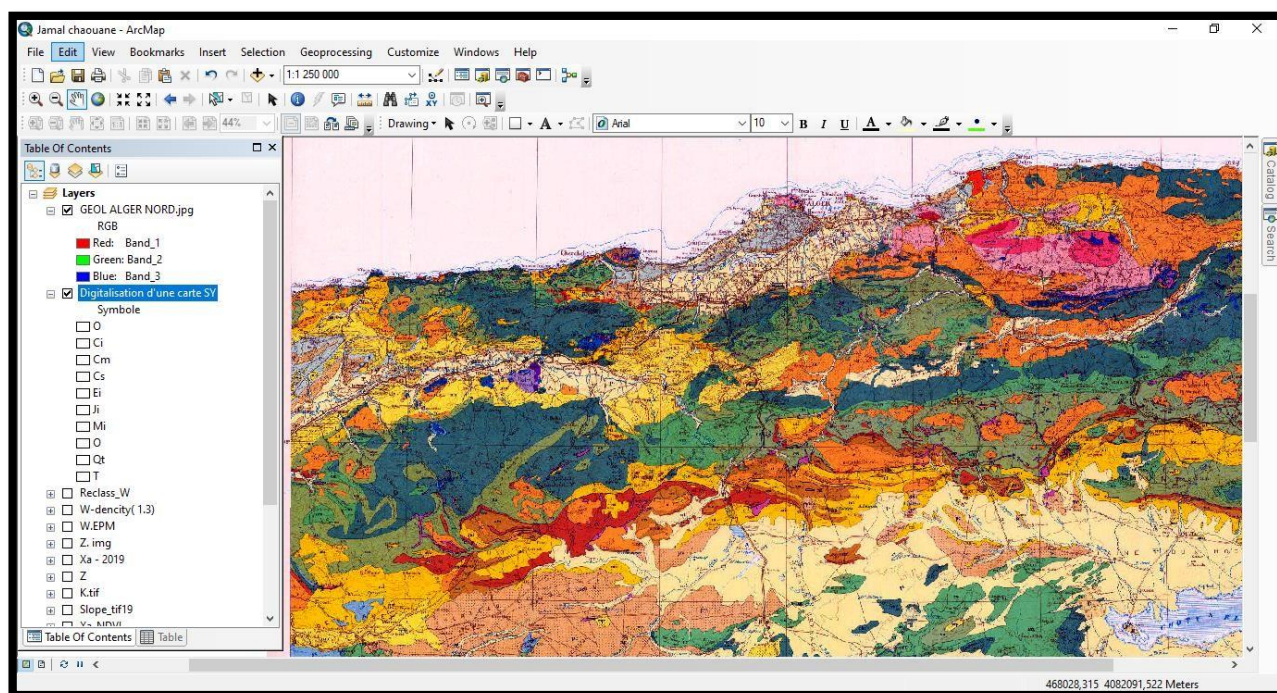


Figure II.11 : Carte géologique du nord Algérie (échelle : 1/500000) (ANRH)

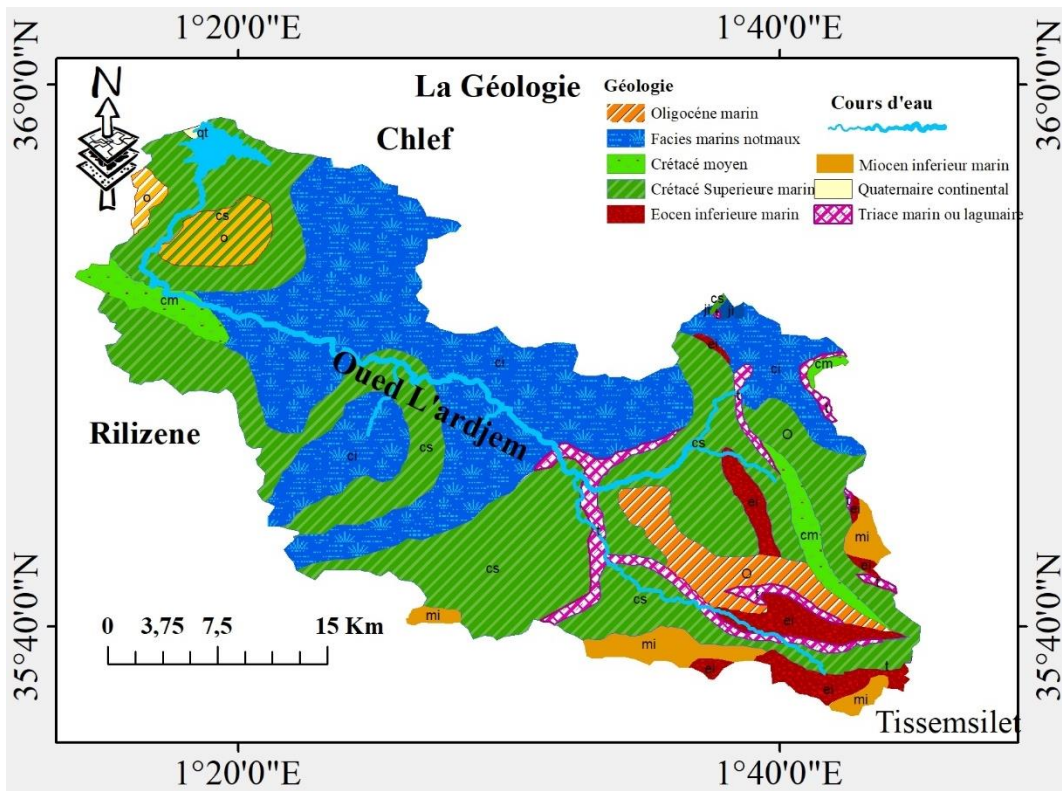
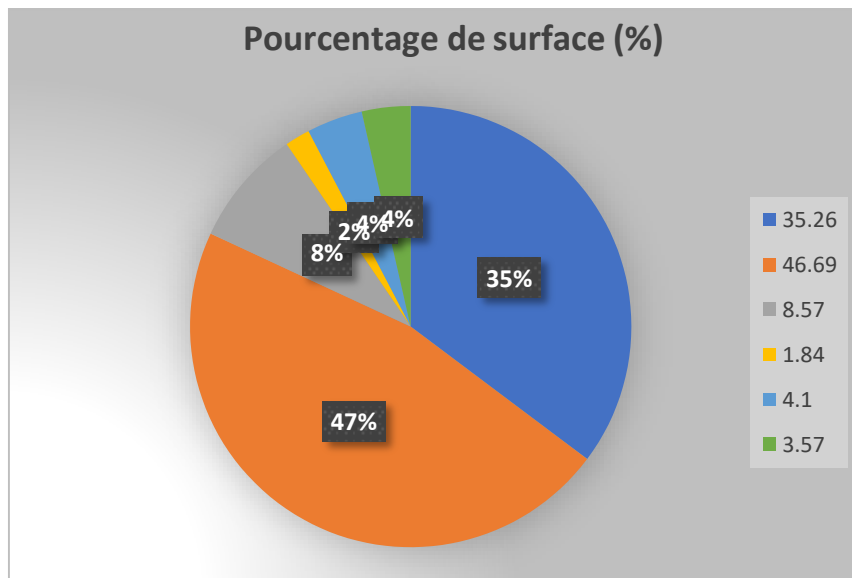


Figure II.12 : La carte géologique du bassin versant de Sidi-Yacoub



II.7. L'occupation du sol

Le processus d'érosion est étroitement lié à la manière dont les terres sont utilisées, ce qui joue un rôle majeur dans son aggravation ou son atténuation. L'utilisation des terres détermine le niveau de protection des sols. L'impact de la couverture végétale sur l'érosion linéaire est donc crucial. Son efficacité est d'autant plus grande qu'elle absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, couvre une grande partie du sol et ralentit l'écoulement des eaux de ruissellement, tout en maintenant une bonne porosité à la surface du sol.

D'une part, la couverture végétale protège contre le phénomène de battance des pluies, ce qui prolonge la perméabilité des sols et réduit le volume d'eau de ruissellement. D'autre part, une grande quantité de l'énergie des eaux de ruissellement est absorbée par la litière, favorisant ainsi la vie des micro-organismes du sol (ce qui influe sur la vitesse d'infiltration).

Enfin, l'état de la couverture végétale influence directement la rugosité du sol, qui dépend notamment du nombre de tiges par mètre carré. Un couvert végétal composé de nombreuses herbes aura une action protectrice plus efficace contre le ruissellement que des arbres (Roose et Sarrailh, 1990).

Dans le cadre de ce travail, une carte d'occupation des sols du sous-bassin de l'oued Ardjem, représentée dans la **Figure II.6**, a été réalisée à partir d'une carte de l'indice de végétation NDVI.

Tableau II.9 : Classe d'occupation du sol du bassin versant de Sidi-Yacoub.

Classes	Type de couverture	Surfaces (Km ²)	Pourcentage (%)
1	Végétation	430.22	46.3
2	Zones urbaines	8.1	0.87
3	Zones humides	36.98	3.84
4	Parcours	32.2	3.56
5	Sols nu	422.5	45.43

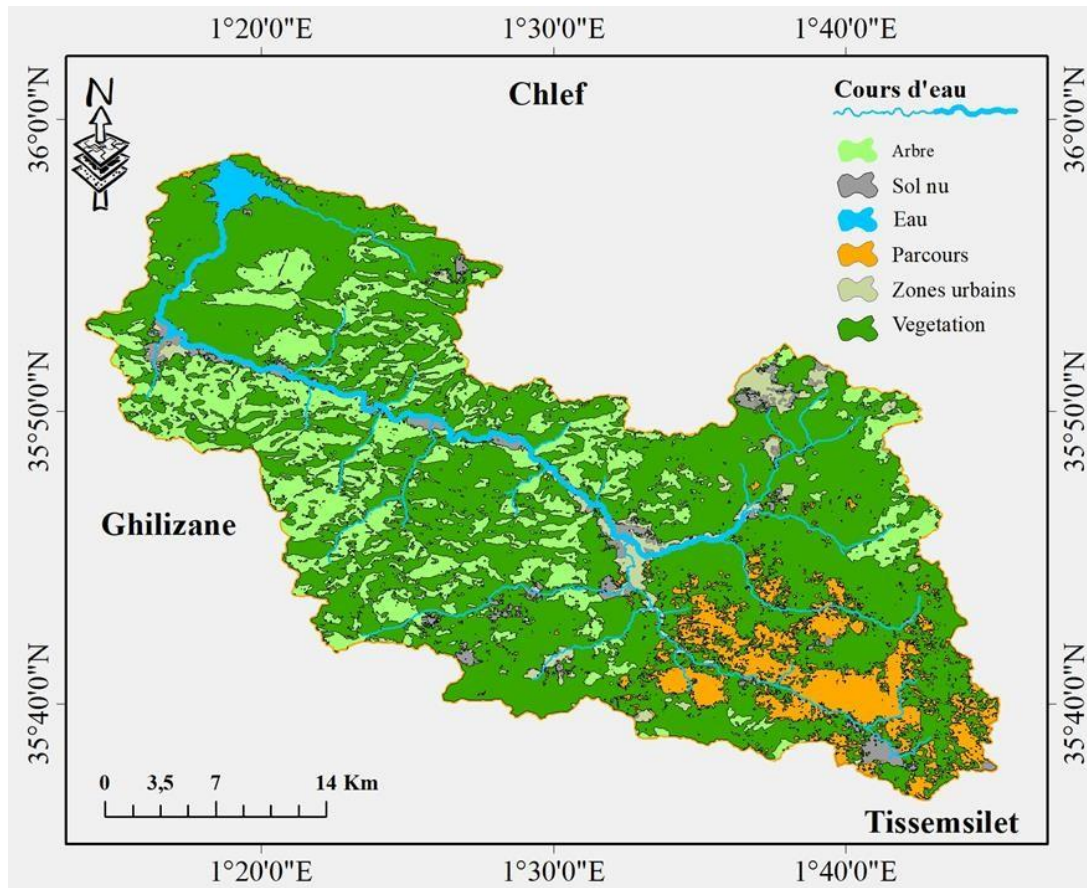


Figure II.13: La carte d'occupation du sol du bassin de l'oued L'ardjem

II.8. Climatologie

II.8.1. Précipitations

L'analyse des conditions climatiques d'un bassin versant est essentielle pour comprendre le fonctionnement hydrologique de ses cours d'eau. En effet, la fréquence, la durée et les fluctuations des précipitations pendant les périodes de l'année où les sols ne sont pas couverts par la végétation ont un impact significatif sur l'environnement physique et peuvent déclencher des phénomènes érosifs graves. La (Figure II.14) représente la carte pluviométrique du bassin d'oued l'Ardjem.

Tableau II.10: Les stations pluviométriques et ses précipitation (ANRH)

N	Stations	X	Y	Altitude (m)	Precipitation(mm)
1	Ouled ban A.E.K	345334,03	3987406,76	160	368,4
2	Ain lellou	370684,16	3977243,3	900	445,2
3	Bordj bounaama	374955,29	3968439,52	1050	605,3
4	Souk El Had	342074,6	3980254,95	550	482,2
5	Tissemsilet	390788,75	3939498,63	858	358,8
6	Sidi yacoub	347639.123	3982516.528	222	325.11

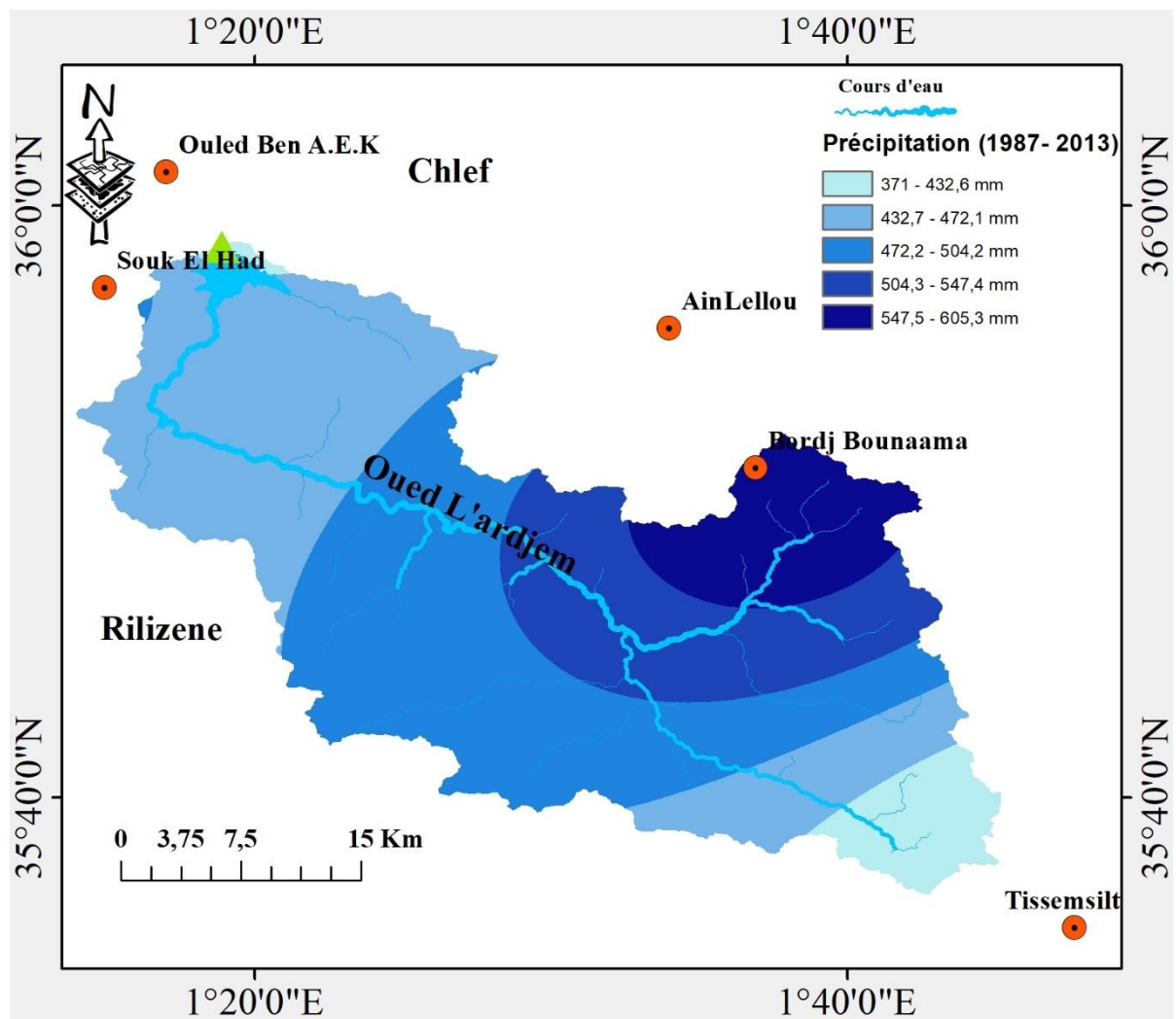


Figure II.14 : La carte pluviométrique du bassin versant de Sidi-Yacoub

II .8.2. Régimes annuels

Selon les données recueillies à la station du Barrage Sidi yacoub , il est observé que la zone d'étude a traversé des cycles de sécheresse au cours des dernières décennies, parmi lesquels celui le plus notable s'est étendu de 1981/ 2023.

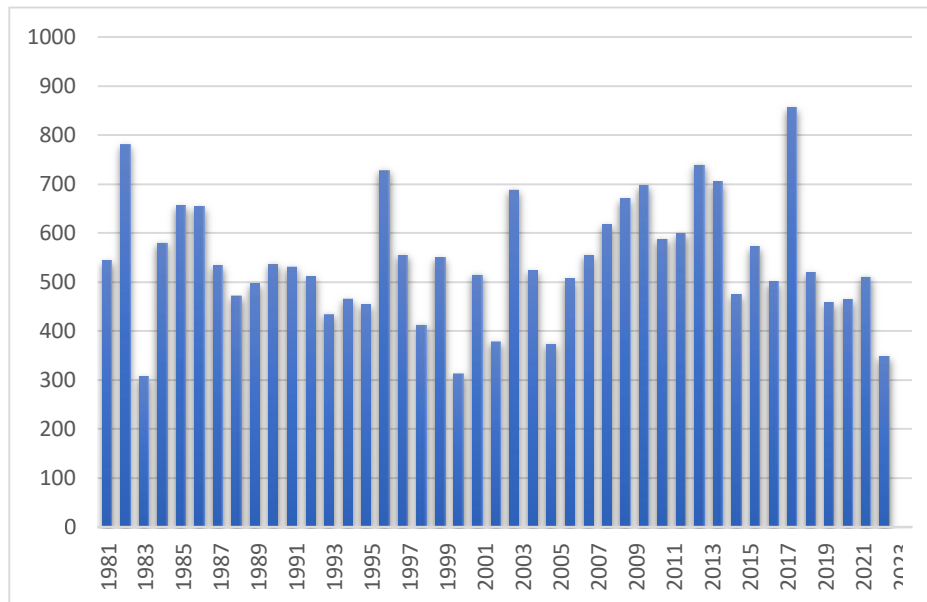


Figure II.15 : Moyennes annuelles des précipitations à la station de Barrage Sidi - Yacoub (1981/2023)

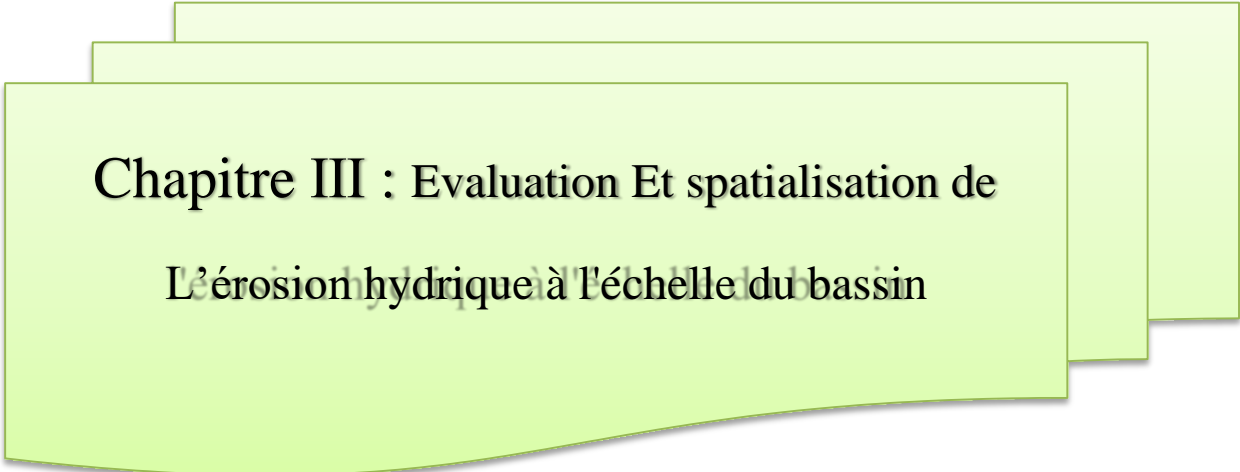
II.3. Conclusion :

En résumé, cette analyse du bassin versant du barrage de Sidi-Yacoub a permis de faire les constats suivants :

- Le relief de la zone d'étude est de nature modérée.
- Le couvert végétal y est dégradé.
- Le climat est de type méditerranéen semi-aride.

De plus, nous avons souligné que le barrage de Sidi-Yacoub a une capacité initiale de 285 hm³ et qu'il sert principalement à l'irrigation des régions du bas et moyen Cheliff, ainsi qu'à l'alimentation en eau potable de la wilaya du Chlef.

Cette analyse détaillée du bassin versant fournit un cadre général important pour la suite de l'étude sur le fonctionnement et la gestion de cet ouvrage hydraulique majeur de la région.



**Chapitre III : Evaluation Et spatialisation de
L'érosion hydrique à l'échelle du bassin**

Chapitre III : Évaluation et spatialisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin

Partie 01 : Application du modèle EPM et SIG

III.1. Introduction

Le modèle EPM (Erosion Potentiel Method) a été développé dans les années 1950 par Gavrilović en Yougoslavie. Ce modèle vise à évaluer les risques d'érosion hydrique des sols et à proposer des pratiques pour limiter leur perte. Il a été appliqué avec succès dans les bassins versants alpins en Italie, démontrant son efficacité.

Le modèle EPM se base sur la cartographie et la combinaison de six paramètres clés :

1. La pente du terrain
2. La sensibilité des sols à l'érosion
3. L'état érosif et la protection des sols
4. Les conditions météorologiques, notamment la température et les précipitations

Dans cette étude, nous allons appliquer ce modèle pour quantifier l'érosion dans le sous-bassin versant de SIDI YACOUB. Toutes les données nécessaires concernant les paramètres du modèle ainsi que la similarité des conditions physiques du bassin versant sont disponibles.

L'application du modèle EPM nécessite l'intégration des différents paramètres dans un Système d'Information Géographique (SIG). Ce couplage permet d'évaluer rapidement et efficacement les pertes en sols et d'estimer l'impact de chaque facteur ainsi que de leurs interactions.

L'érosion est exprimée comme le produit des six facteurs mentionnés ci-dessus. Ces paramètres ont été étudiés grâce à la télédétection et aux données de terrain, puis intégrés dans le SIG.

Afin d'appliquer le modèle EPM, la formule suivante sera utilisée : $W = T \times H \times \pi \times \sqrt{Z^3}$

Où :

- W : volume annuel moyen des sédiments érodés ($m^3/km^2/an$)
- T : coefficient de la température
- H : précipitation moyenne annuelle (mm)
- Z : coefficient d'érosion

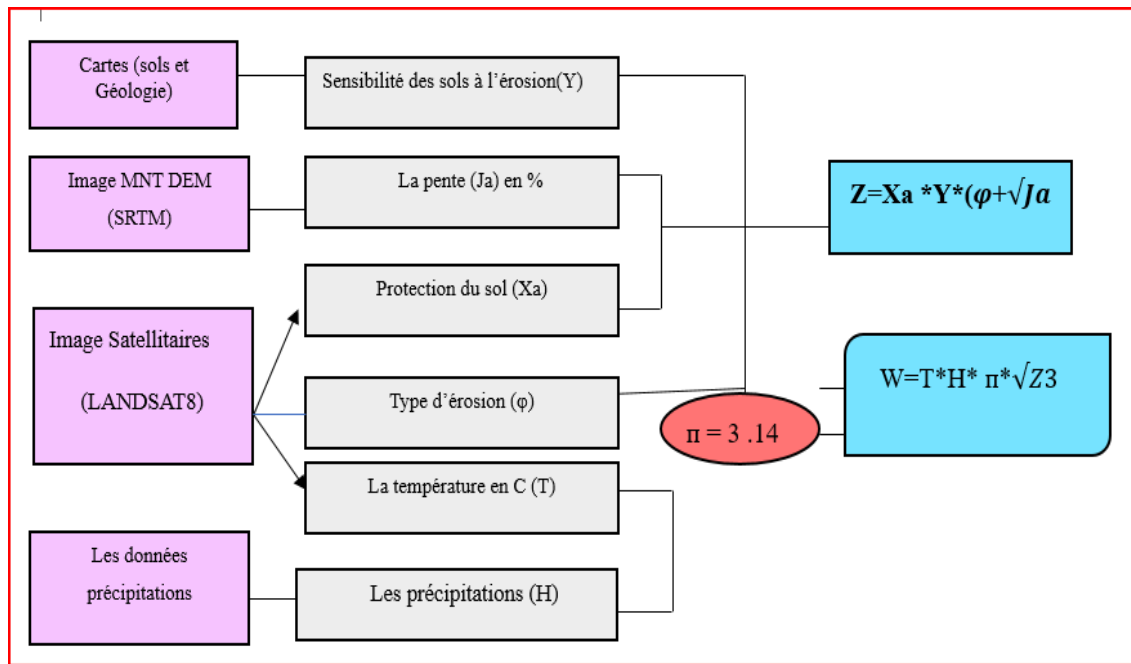


Figure III.1 : Organigramme du modèle Gavrilovic « EPM

III.2. Paramètres du modèle EPM

III.2.1. Coefficient d'érosion du sol Y :

Le facteur d'érosion (Y) d'un sol indique sa susceptibilité à l'érosion hydrique, et elle est influencée par ses caractéristiques intrinsèques telles que la texture, la structure et la perméabilité. Sa détermination spécifique pour un sol donné est basée sur la relation établie par (WISHMEIER et SMITH, 1978).

$$Y = [2,1 * 10^{-4} (12 - MO) M^{1,14} + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3)] / 100 \quad (III.1)$$

Avec :

Y : coefficient d'érosion du sol

OM : Le taux de matière organique dans le sol.

M : est le produit des fractions de particules primaires et se calculant de la manière suivante :

$$M = (\% \text{ sable fin} + \% \text{ limon}) \times (100 - \% \text{ argile}).$$

P : Est le code de la perméabilité.

S : Est le code de la structure.

Tableau III.1 : Type de sol en fonction de Y [Gavrilović, 1962)

Type de sol	Facteur Y
Très haute résistance et cohésion	0,0232 - 0,0243
Résistance et cohésion moyennes	0,0196 - 0,0231
Faible résistance	0,0154 - 0,0195
Agrégats de débris et dépôts de sédiments grossiers	0,0126 - 0,0153
Sable fin, sol à très faible résistance	0,0125

Les valeurs du facteur Y, situées entre **0, 0125** et **0, 0243** montrent une nette fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion.

La carte de la (Figure III.2), présente la répartition spatiale des différentes classes du facteur Y dans le bassin versant, et sont réparties sur la zone d'étude selon les différentes unités homogènes.

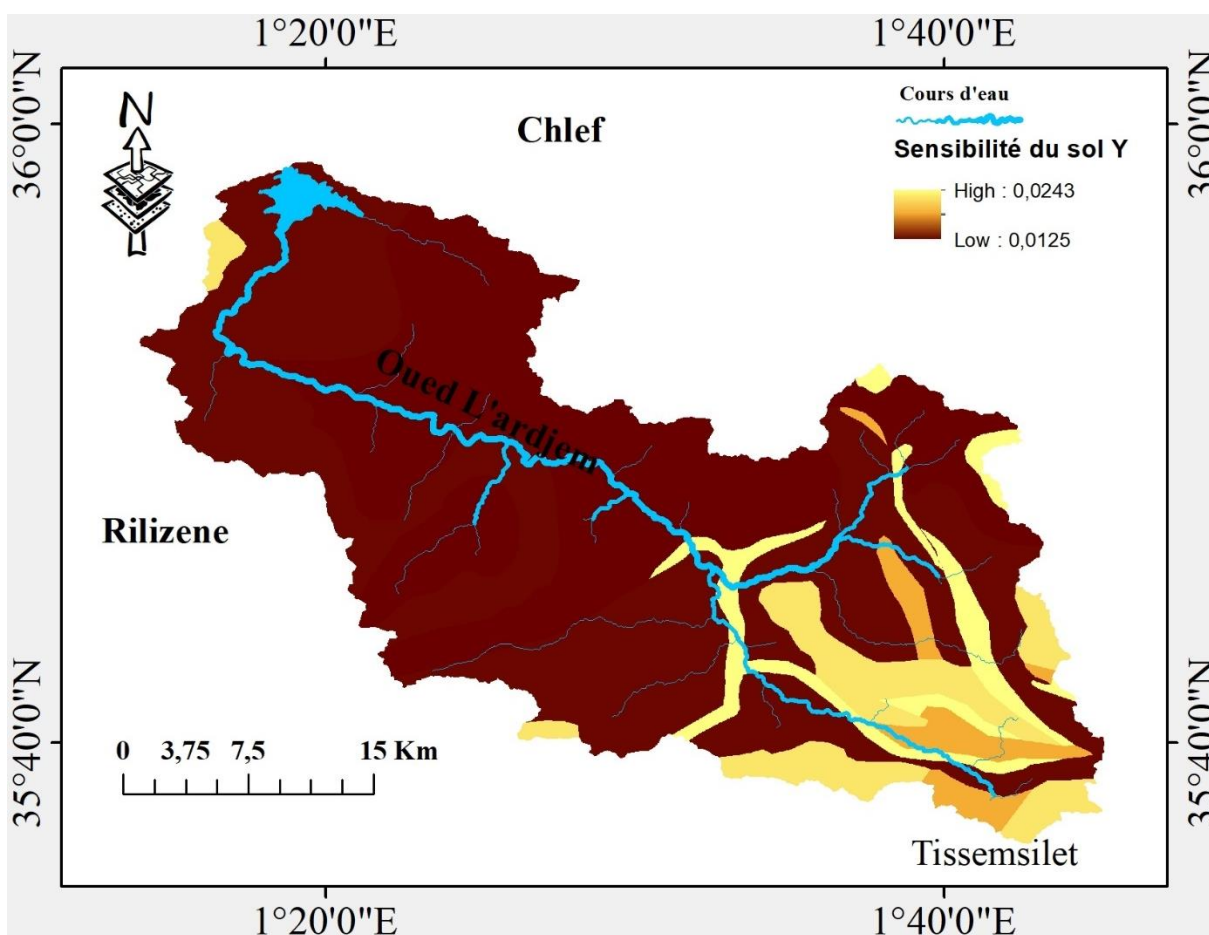


Figure III.2 : Carte du Facteur d'érodibilité du sol Y du bassin versant de Sidi - Yacoub.

III.2.2. Carte de pente (Ja) en (%)

La pente du terrain est un paramètre essentiel à prendre en compte dans le modèle EPM, car elle influence significativement les processus érosifs. Pour générer la carte de pentes, les données du modèle numérique de terrain (MNT) seront utilisées.

Dans un logiciel SIG (Système d'Information Géographique), l'outil d'analyse spatiale "Surface - Slope" sera appliqué sur le fichier d'altitude en entrée (Input : carte d'altitude). Cet outil calcule la pente locale en pourcentage pour chaque pixel de la zone d'étude.

Le résultat sera une couche raster représentant la carte des pentes (Output : slope), avec comme unité de mesure le pourcentage (Output measurement: percent).

Cette carte des pentes, exprimée en pourcentage, sera ensuite intégrée dans le modèle EPM afin d'évaluer son influence sur les processus d'érosion dans le sous-bassin versant de SIDI YACOUB.

Le calcul précis de cette variable topographique à partir du MNT est une étape cruciale pour alimenter correctement le modèle EPM et obtenir des résultats pertinents sur les dynamiques érosives du bassin.

Les étapes détaillées pour créer la carte de pentes à partir du MNT :

Importer le fichier MNT (Modèle Numérique de Terrain) dans le logiciel SIG (ArcGIS, QGIS, etc.).

Ouvrir l'outil d'analyse spatiale "Surface" et sélectionner l'option "Slope" (pente).

Dans les paramètres de l'outil :

- Définir le fichier MNT comme "Input raster"
- Sélectionner "Percent rise" comme unité de mesure pour la pente
- Choisir le mode de calcul de la pente (par exemple, "Planar")
- Définir un nom et un emplacement pour le fichier de sortie

Lancer l'exécution de l'outil. Le logiciel va alors calculer la pente locale pour chaque pixel du MNT et générer une nouvelle couche raster représentant la carte des pentes en pourcentage.

. Vérifier la qualité de la carte de pentes générée :

- Visualiser la distribution des valeurs de pente
 - S'assurer que les pentes correspondent bien à la topographie du terrain
 - Identifier d'éventuelles zones problématiques (pentes trop fortes, artefacts, etc.)

Effectuer les ajustements nécessaires si besoin (lissage, correction d'erreurs, etc.).

Enregistrer la carte de pentes au format approprié (raster, vecteur, etc.) pour pouvoir l'intégrer dans le modèle EPM.

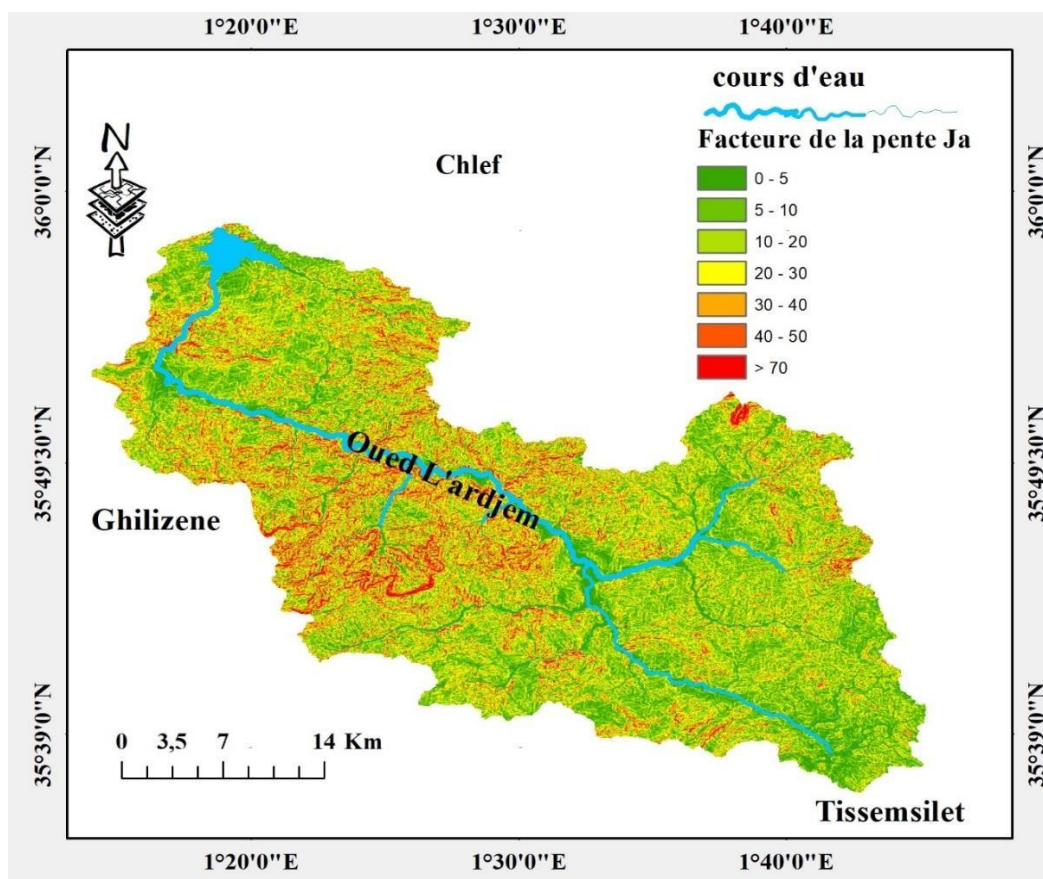


Figure III.3 : Carte de Coefficient de type de sol Ja dans le bassin versant de Sidi-Yacoub.

III.2.2.1. Coefficient de protection du sol Xa :

Tableau III.2: (XA) en fonction d'occupation des sols par les végétaux (Zorn, & Komac, 2009).

Type de sol	Coefficient de protection du sol (Xa)
Les forêts denses, et moyennement denses	0.05 – 0.20
Les forêts de pins et des herbes à côté des Cours d'eau	0.20 – 0.40
Forêt et buissons endommagés, pâturages	0.4-0.6
Pâturages et fermes	0.60 – 0.80
Terrain nue sans couverture	0.80– 1.00

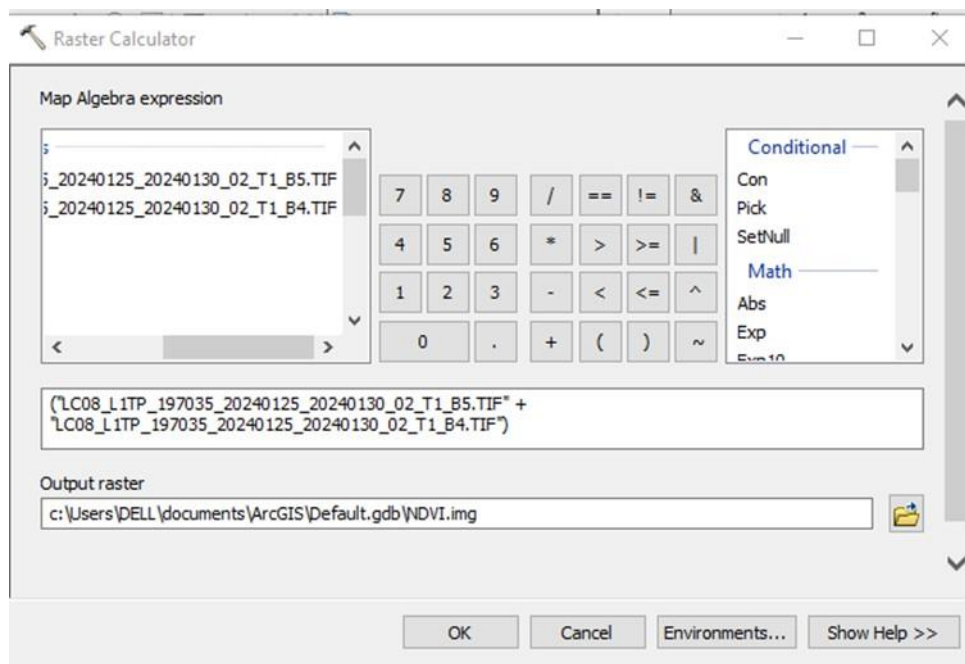
Le coefficient de protection du sol (Xa) est étroitement lié à la couverture végétale, mesurée par l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). Cette relation est cruciale pour réduire l'érosion car la végétation protège le sol pendant les précipitations et améliore sa perméabilité. L'indice de couverture végétale est déterminé par la présence, le type, la hauteur et la densité des arbres, arbustes et herbes. Dans les zones agricoles, plantées ou pâturées, cette couverture évolue en fonction des cultures cultivées, du cycle agricole, ainsi que de la quantité et de la qualité des résidus végétaux après la récolte. L'état de surface du sol varie selon les saisons et les activités agricoles, certaines phases étant plus exposées à l'érosion tandis que d'autres sont protégées par un couvert végétal dense.

Les valeurs d'indice de protection du sol Komac et Zoran varient de 0,05 pour les forêts denses et moyennement denses à 1 pour les terrains nus sans couverture végétale.

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \quad (\text{III.2})$$

Pour les images Landsat8 :

$$\text{NDVI} = (\text{Bande 5} - \text{Bande 4}) / (\text{Bande 5} + \text{Bande 4}) \quad (\text{III.3})$$



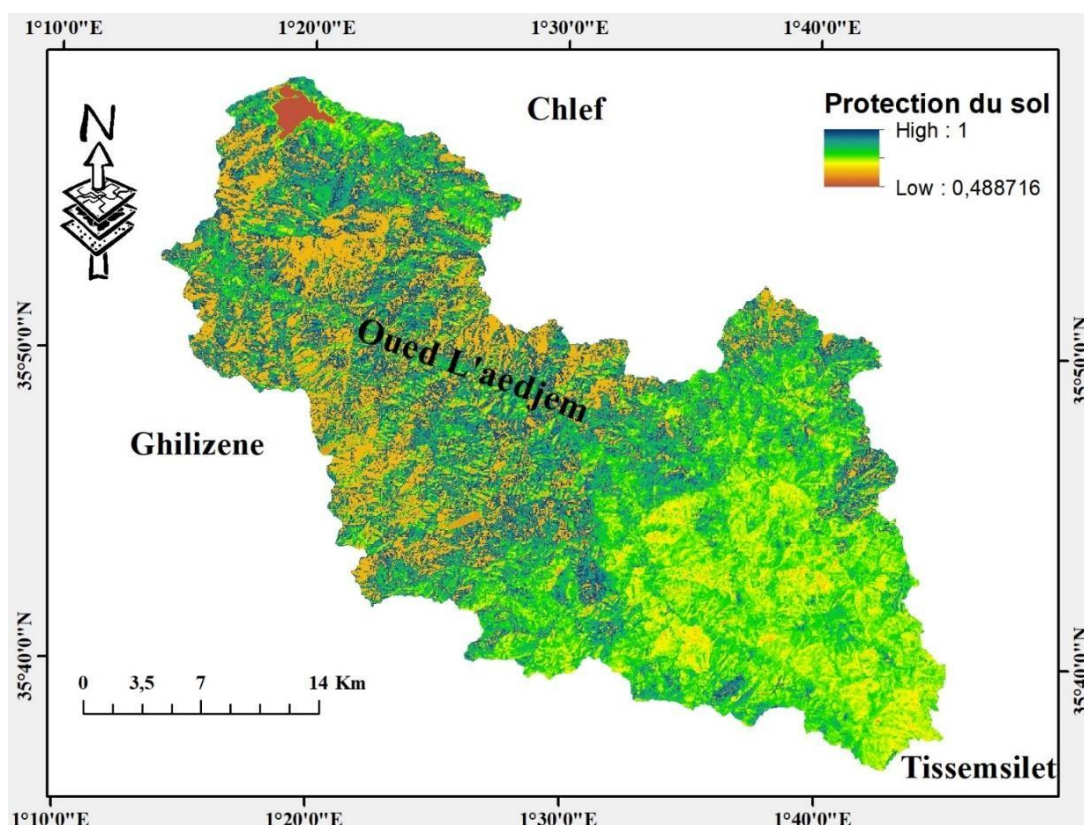


Figure III.4 : Carte de Protection du sol Xa dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

III.2.2.2. Coefficient de type de l'érosion ϕ :

Les valeurs du coefficient de type d'érosion et leur variation dépendent de la taille des bassins hydrographiques. Ce coefficient identifie précisément les zones affectées par l'érosion dans le bassin versant, telles que les cours d'eau, les rivières, les ravins, les dépôts alluviaux ou l'ensemble du bassin versant. Son estimation nécessite plusieurs visites sur le terrain pour observer le développement de l'érosion dans le bassin, ainsi que l'utilisation d'images satellitaires à haute résolution (environ 1 mètre en moyenne).

En l'absence d'images de ce type, nous avons utilisé l'équation proposée par (MILEVSKI, 2008) pour calculer ce coefficient à partir des images satellitaires Landsat-8. Chaque image satellitaire est associée à des métadonnées et un fichier MTL fournissant des informations pour la correction. Après la correction de ces images, nous avons calculé le coefficient de type d'érosion en utilisant l'équation suivante.

$$\Phi = \sqrt{\frac{R}{Q_{max}}} \quad (\text{III.4})$$

SquareRoot (Float("LC08_L1TP_197035_20240125_20240130_02_T1_B4.TIF")) / 56535

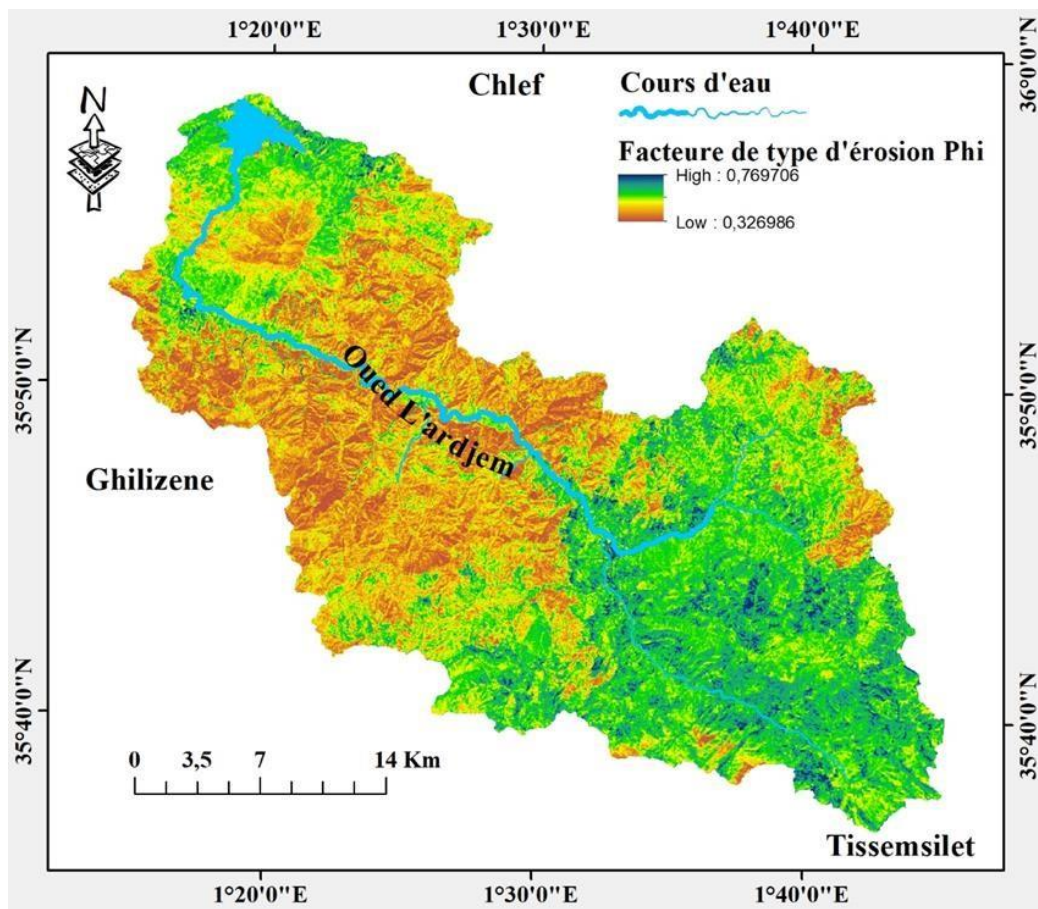
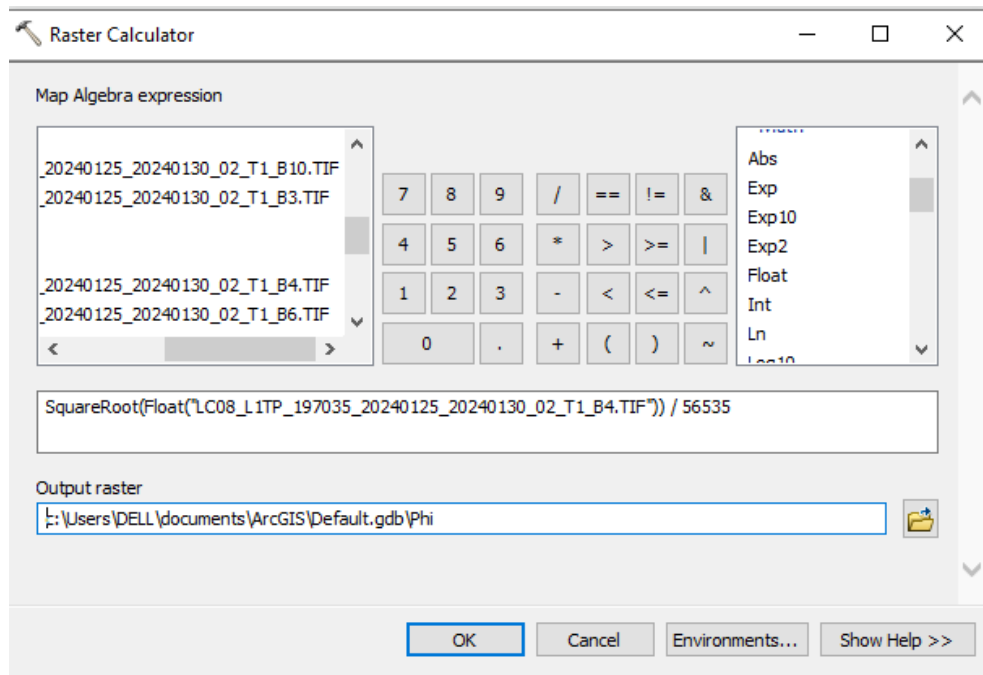


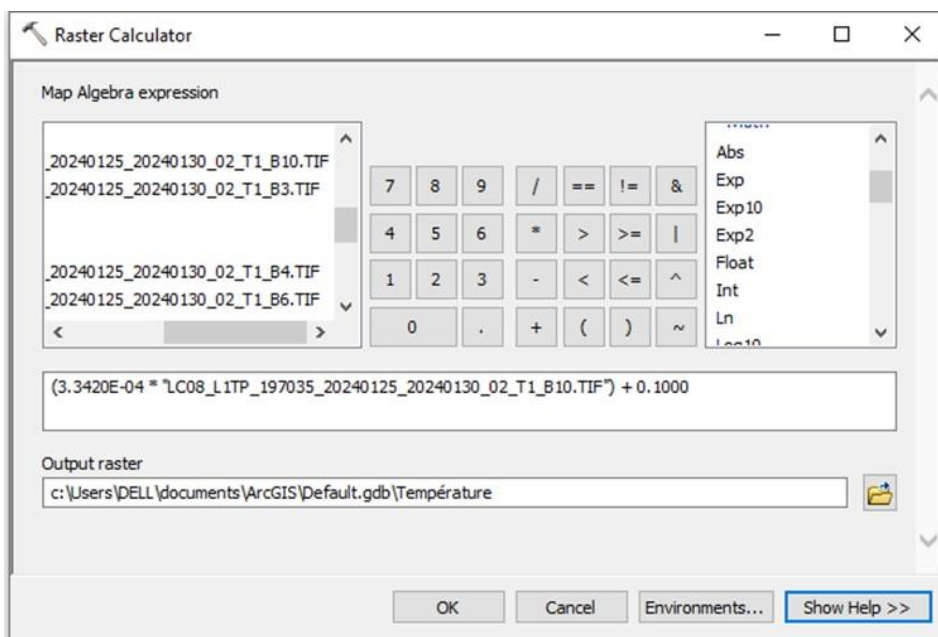
Figure III.5: Coefficient de type d'érosion ϕ dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

III.2.2.3. Coefficient de la température T :

Le coefficient de température (T) représente l'effet de la température sur l'érosion. La température joue un rôle crucial dans ce processus car elle influence directement la quantité d'eau présente dans le sol. Les températures élevées accélèrent l'évaporation et provoquent des fluctuations qui entraînent la formation de fissures dans les sols argileux, ce qui favorise leur érosion. De plus, les variations thermiques répétées contribuent au désagrègement des roches et des composants de surface.

Les valeurs des coefficients de température dans le modèle EPM sont calculées à l'aide d'une formule spécifique qui utilise la température annuelle moyenne comme variable de base pour déterminer le coefficient.

$$T = \sqrt{\frac{T^0}{10} + 0.1} \quad (\text{III.5})$$



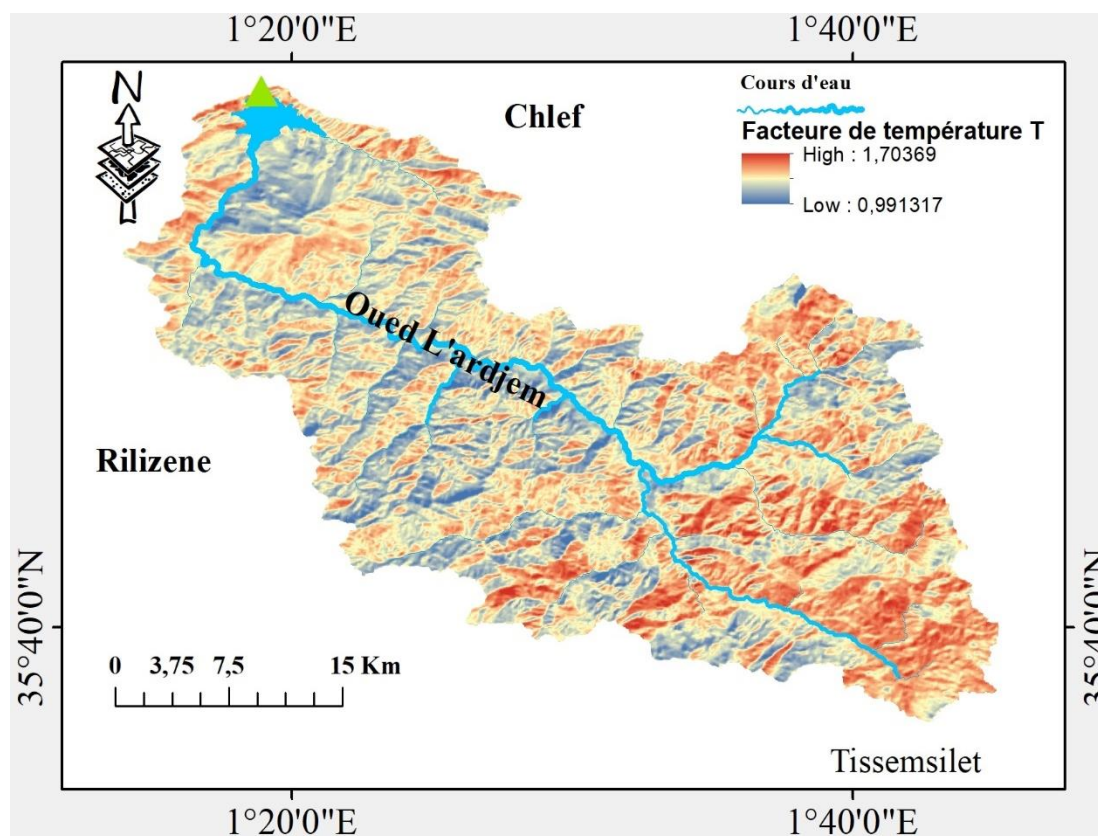


Figure III.6: Coefficient de température T dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

III.2.2.4. Précipitation moyenne annuelle en (mm) H

Les précipitations jouent un rôle crucial dans le processus d'érosion hydrique. Lorsque les gouttes de pluie tombent sur la surface du sol et s'écoulent le long des cours d'eau, elles contribuent à former des canaux de drainage significatifs. Les pluies intenses et soudaines peuvent entraîner le déplacement de grandes quantités de sol, en particulier dans les zones fortement inclinées, dépourvues de végétation et sensibles à la surexploitation.

Le modèle EPM repose sur les données des précipitations annuelles. Il utilise la moyenne des précipitations annuelles pour évaluer l'érosion hydrique. Ainsi, une fois les

Les précipitations jouent un rôle crucial dans le processus d'érosion hydrique. Lorsque les gouttes de pluie tombent sur la surface du sol et s'écoulent le long des cours d'eau, elles contribuent à former des canaux de drainage significatifs. Les pluies intenses et soudaines peuvent entraîner le déplacement de grandes quantités de sol, en particulier dans les zones fortement inclinées, dépourvues de végétation et sensibles à la surexploitation.

Le modèle EPM repose sur les données des précipitations annuelles. Il utilise la moyenne des précipitations annuelles pour évaluer l'érosion hydrique. Ainsi, une fois les données de projection disponibles, elles peuvent être converties en cartes utilisables dans le modèle d'évaluation de l'érosion hydrique.

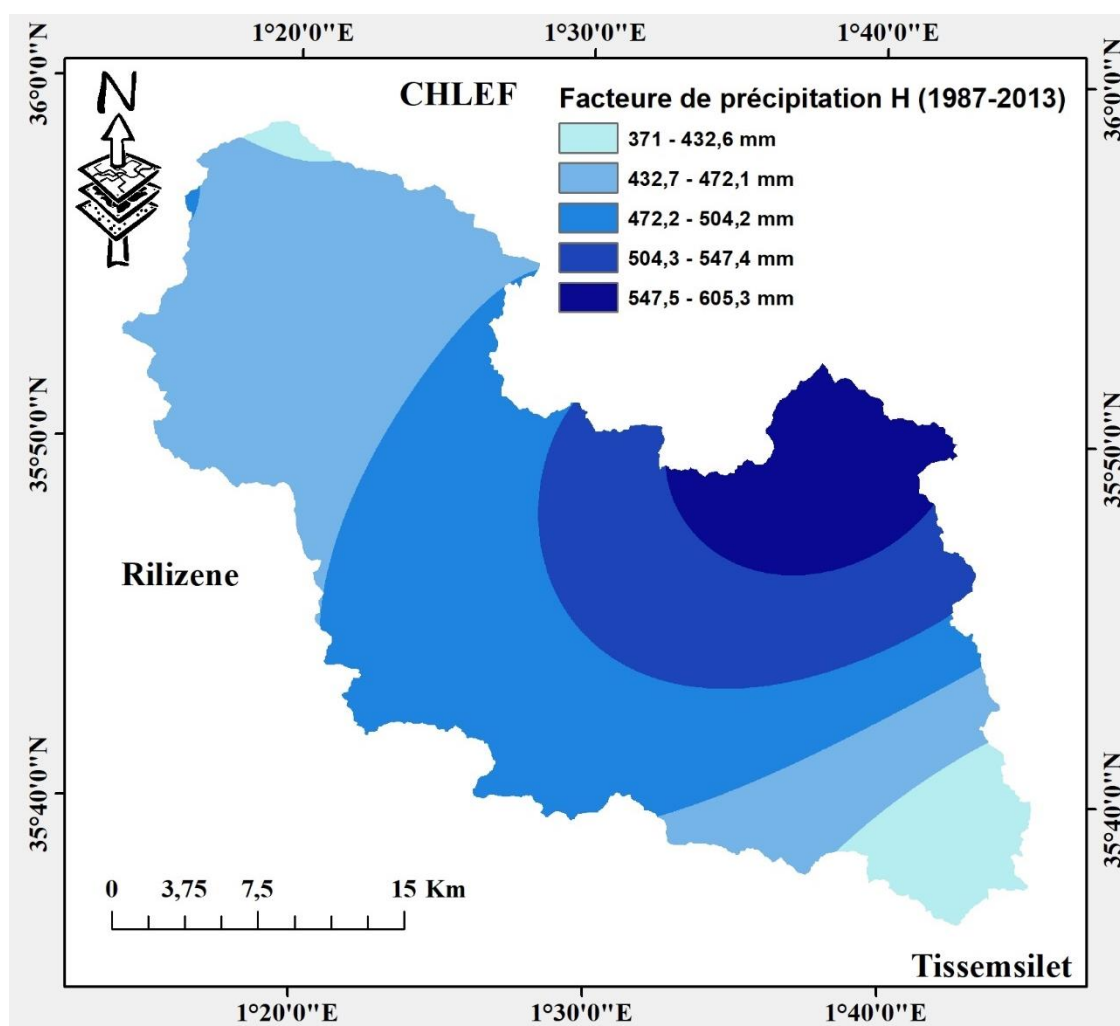


Figure III.7: Coefficient de précipitation H dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

III .2.2.5. Coefficient d'érosion Z :

Le modèle de Gavrilovic, utilisé pour estimer l'érosion potentielle, s'appuie sur un vaste ensemble de données concernant les caractéristiques du sol, la régression, la végétation et les informations topographiques. Nous avons appliqué ce modèle dans la cartographie pour évaluer l'état de l'érosion dans le bassin d'oued L'ardjem Dans cette étude sur l'érosion, nous avons intégré l'équation z dans un Système d'Information Géographique (SIG). Pour collecter les données sur le terrain, nous avons utilisé des images satellites de Landsat 9 et Sentinel A2, ainsi que des données de SRTM et MNT. Nous avons également employé divers outils de traitement d'images et de cartographie, ainsi que des algorithmes EPM pour appliquer les équations.

Tableau III.3 : La classe de l'érosion en Fonction de (Z) (**Gavrilovic et al 2006**).

La classe d'érosion	Valeur de (Z)
Érosion très élevée	0.01- (>1.51)
Elevée érosion	0.81 - 1.0
Érosion moyenne	0.41- 0.80
Faible érosion	0.20 - 0.40
Très Faible érosion	0.01 - 0.19

Z facilite le suivi des niveaux d'érosion et contribue à l'identification de solutions pour les réduire. Son calcul implique plusieurs variables qui se superposent, toutes évaluées selon la formule suivante. $Z=Y \times Xa \times (\varphi + \sqrt{J})$ **(III.6)**

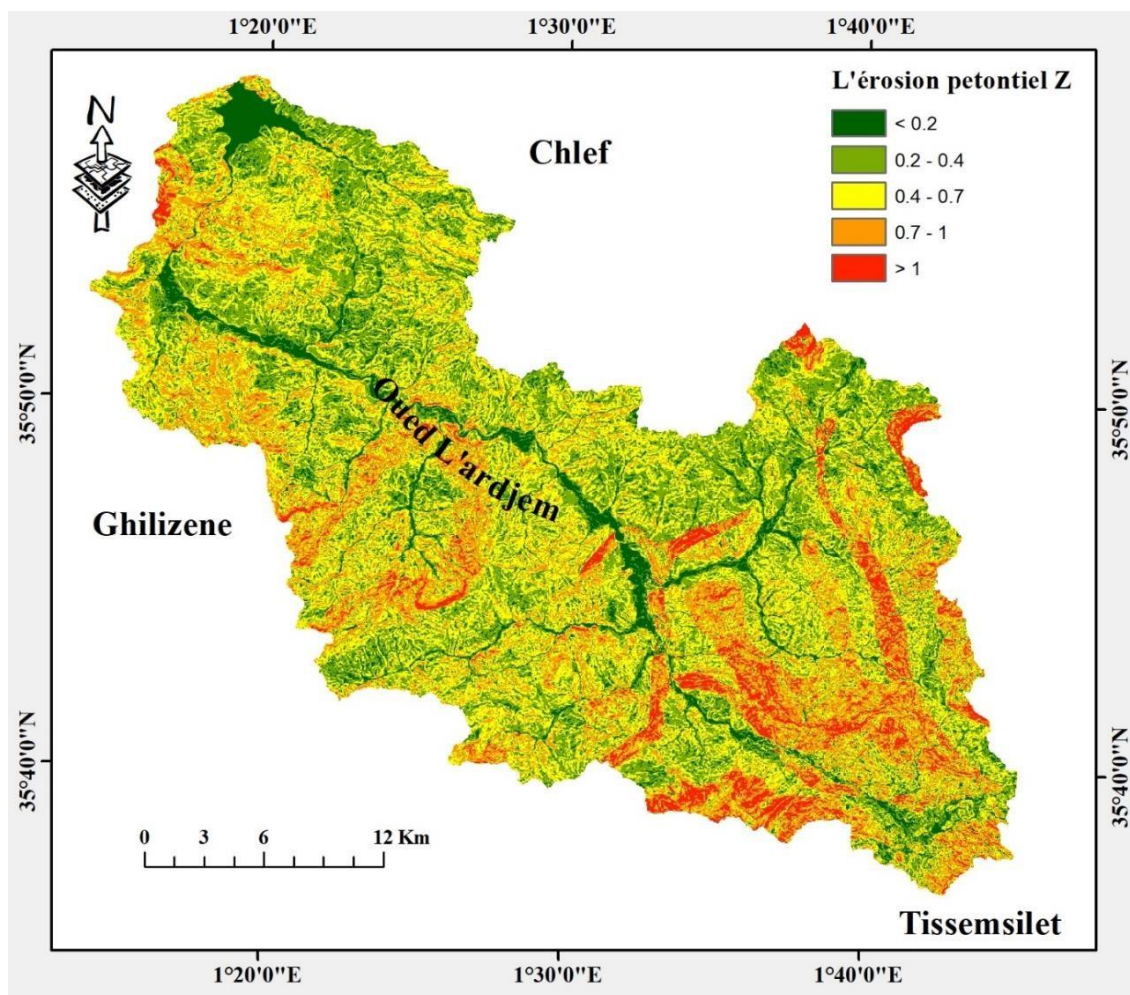


Figure III.8: Coefficient d'érosion Z dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

III.2.3. Volume annuel moyen des sédiments érodés W

Après l'élaboration de toutes les cartes représentant les différents facteurs du modèle EPM nous obtenons la carte de volume annuel moyen (W).

$$W = T * H * \pi * \sqrt{Z} \quad (III.7)$$

Tableau III.4 : Le volume annuelle moyen des sédiments érodé W(m³/an)

Classes(W)	Surface	W moyenne	W
m ³ /Km ² /an	Km ²	m ³ /Km ² /an	(m ³ /an)
26.93- 500	233.80	317.59	74252.81
500-1000	309.68	746.56	231186.63
1000-1500	271.77	1234.10	335389.38
1500-2000	180.90	1735.28	313910.58
2000-2500	123.15	2230.56	274690.06
2500-3000	81.29	2726.84	221661.53
3000-3500	45.74	3221.85	147363.09
3500-4000	26.58	3719.43	98857.49
4000-4500	15.82	4207.96	66564.27
4500-5000	9.71	4720.60	45830.78
5000-5500	5.96	5208.84	31037.76
5500-6000	4.30	5727.55	24620.82
6000-6500	3.26	6284.52	20479.15
6500-7000	2.77	6709.11	18572.28
7000-9733.75	2.49	7624.20	18974.10
TOTAL	1317.20	56414.97	1923393.73

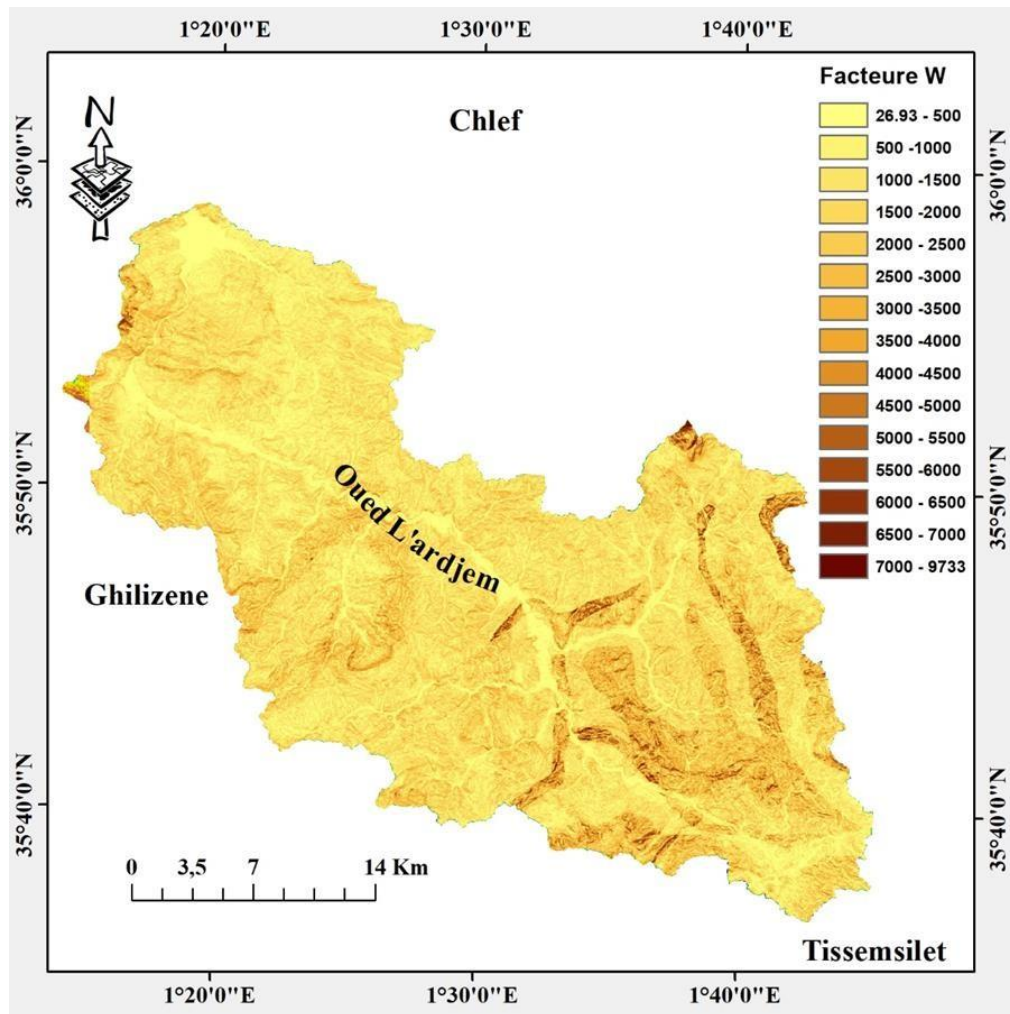
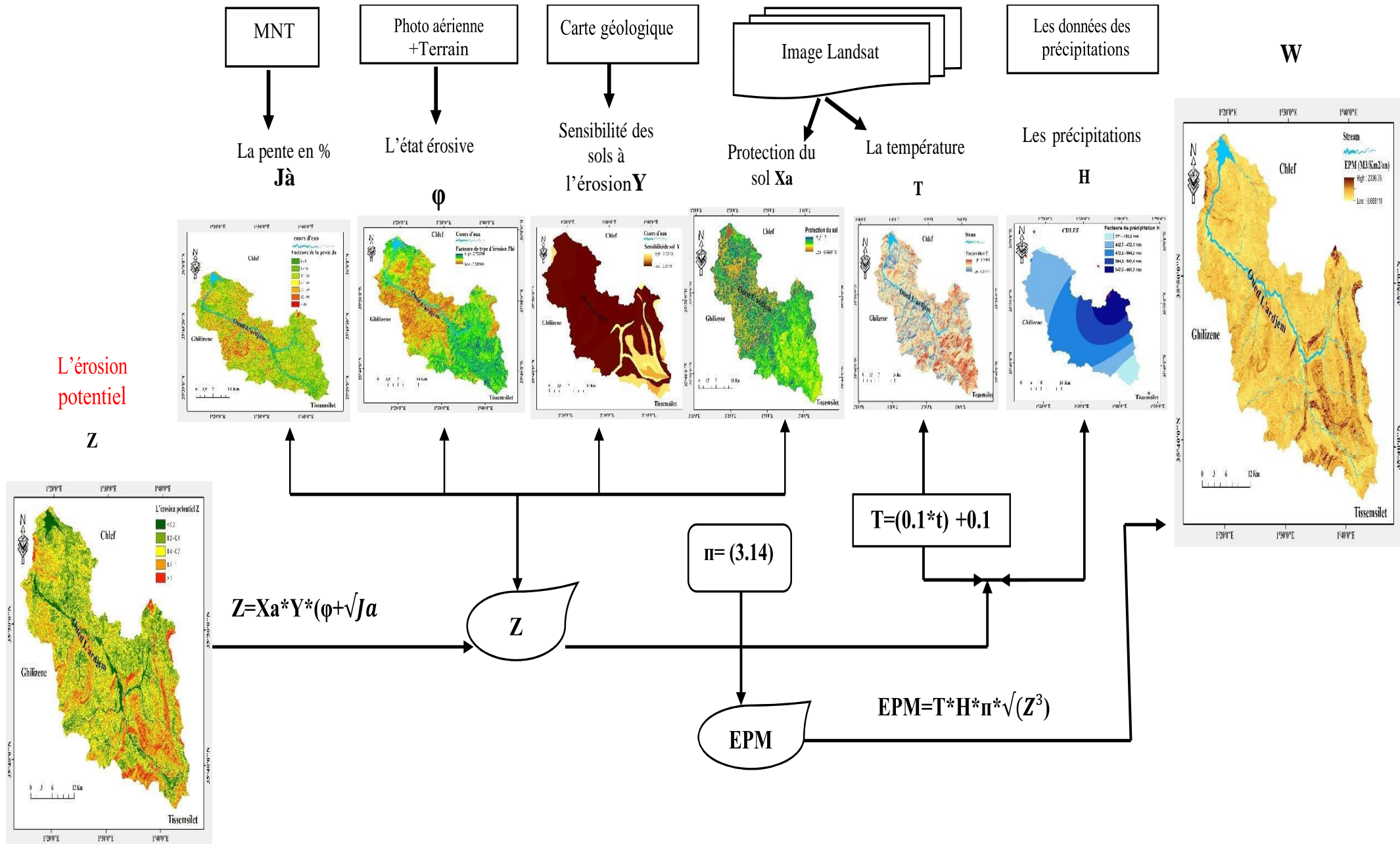


Figure III.91: Coefficient d'érosion W dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

III.3. Conclusion

L'objectif principal de cette partie est d'appliquer le modèle EPM au bassin de Sidi-Yacoub, afin d'estimer l'érosion des sols et d'étudier sa répartition spatiale. Cette étude a montré que l'EPM (modèle de potentiel d'érosion), avec l'aide de la télédétection et des techniques SIG, pourrait être un outil utile pour l'identification et l'analyse de la perte de sol dans des régions comme le bassin du Souss. Des facteurs tels que l'érodibilité du sol, la protection du sol, la pente, la température et les précipitations sont importants pour contrôler le processus d'érosion. Les résultats suggèrent une perte de sol variant de 0,66 à 12336 m³/km²/an. La cartographie de l'érosion par la méthode EPM s'est avérée être un outil utile pour le suivi de l'environnement et la gestion des ressources en eau, qui pourrait fournir des résultats satisfaisants lorsqu'il est utilisé conjointement.



Partie 02 : Application du modèle RUSLE et SIG

III.1. Introduction

L'érosion des sols est un processus naturel qui joue un rôle majeur dans la formation actuelle du paysage. Le terme "érosion des sols" ne revêt un caractère menaçant ou risqué que lorsqu'il s'agit d'une érosion accélérée, dépassant les taux modérés en raison de facteurs anthropiques, et entraînant la perte d'une ou plusieurs fonctions du sol. La détection des zones érodées, ainsi que l'évaluation des facteurs contrôlant l'érosion et leurs caractéristiques, sont des tâches complexes. Cependant, elles peuvent être résolues en intégrant diverses sources de données (données spatiales, mesures et enquêtes sur le terrain, et images satellitaires) dans des systèmes de traitement géo-spatial, tels que les systèmes d'information géographique (SIG).

III.2. Méthode d'évaluation de l'érosion utilisée

L'avènement des systèmes d'information géographique (SIG) et de la télédétection a permis une utilisation spatialisée de l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE), chaque cellule d'une image raster représentant une unité sur le terrain. La première étape de l'approche consistait à identifier les facteurs déclencheurs de l'érosion et à les spatialiser en utilisant les images satellitaires Landsat-TM. Les données de télédétection multi-temporelles et les SIG sont employées pour évaluer et cartographier chaque facteur individuellement. La modélisation prédictive dans un environnement SIG offre une opportunité d'évaluer les risques d'érosion. Les données sur l'érosion, basées sur certains indicateurs, sont collectées, calibrées et intégrées dans une base de données SIG, puis spatialement modélisées pour représenter le risque d'érosion des sols dans n'importe quel élément du paysage sélectionné.

Des couches individuelles ont été créées pour chaque paramètre de la RUSLE, puis combinées via une procédure de modélisation dans la grille ArcGIS. Chaque grille de facteur avait une taille de cellule de 30 m, bien que la résolution réelle (de la source de données la plus basse résolution) soit d'environ 100 m. Ce rééchantillonnage a été réalisé pour intégrer la plus grande précision des précipitations et des interpolations topographiques. Toutes les couches ont été projetées en UTM zone 31N en utilisant le WGS 1984. La méthodologie suivante a été utilisée pour générer les grilles des facteurs. La figure montre le cadre général suivi.

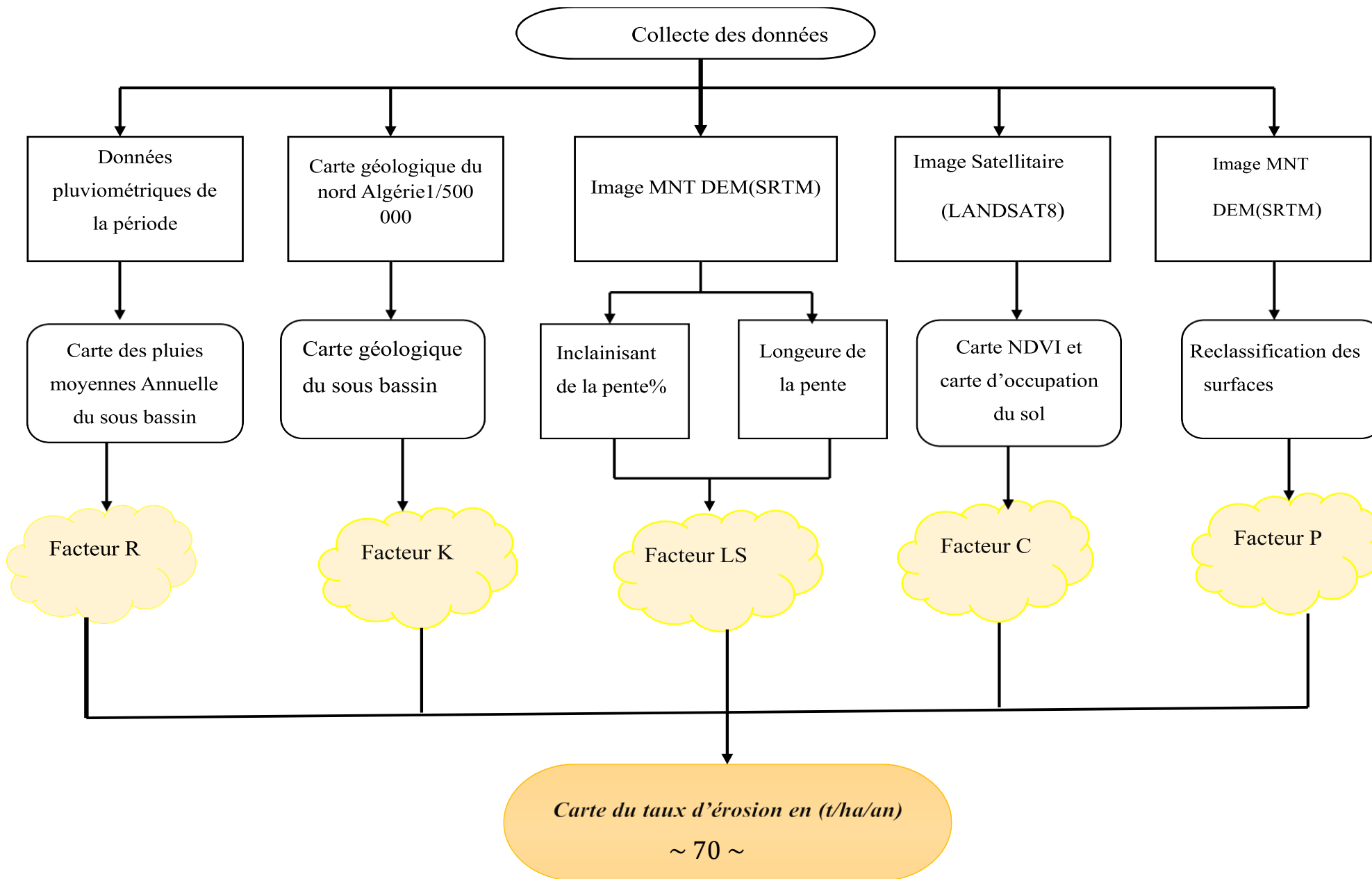


Tableau III.1 : Données et logiciels utilisés

Documents	Logiciels
1- Image Shuttle Radar Topographie Mission (SRTM) de résolution 30 m obtenue sur le site : Earth explorer USGS (http://earthexplorer.usgs.gov/) 2- Carte lithologique du nord Algérie : 1/500000 3- Carte numérique du sol du monde : « Digital Soil maps of the world » (DSMW) 4- Image satellitaire Landsat 8 ETM+ du 25/03/2019 de 30 m de résolution. 5- Précipitations unregisters entre 1985 et 2013.	ArcGIS version 10.8 Excel 2019

III.2.1. Estimation des paramètres du modèle

III.2.1.1. Définition d'USLE

L'USLE est déterminée par la multiplication de cinq facteurs qui influent sur l'érosion hydrique : l'impact climatique, la sensibilité des sols à l'érosion, le degré d'inclinaison et de longueur des pentes, l'utilisation des terres et les méthodes de protection contre l'érosion.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Avec :

A est le taux annuel de pertes en sol en (t/ha/an),

R est le facteur de l'érosivité des pluies en (MJ.mm.ha-1.h-1.an-1),

K est l'érodibilité des sols (t.ha.h.ha-1.MJ-1.mm-1),

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

C facteur sans dimension de la couverture végétale et des pratiques culturales,

P facteur sans dimension de contrôle de l'érosion et des pratiques de conservation du sol

III.2.1.2. Facteur d'érosivité (R)

La pluie joue un rôle crucial dans le processus d'érosion. En l'absence de précipitations, il n'y a pas d'érosion hydrique (Cherni & Samaali, 2012). L'impact de la pluie peut être évalué en tenant compte de sa quantité, de son énergie et de son intensité. Afin de calculer le coefficient R, il est nécessaire d'avoir une connaissance précise de la distribution des précipitations sur l'ensemble du bassin versant

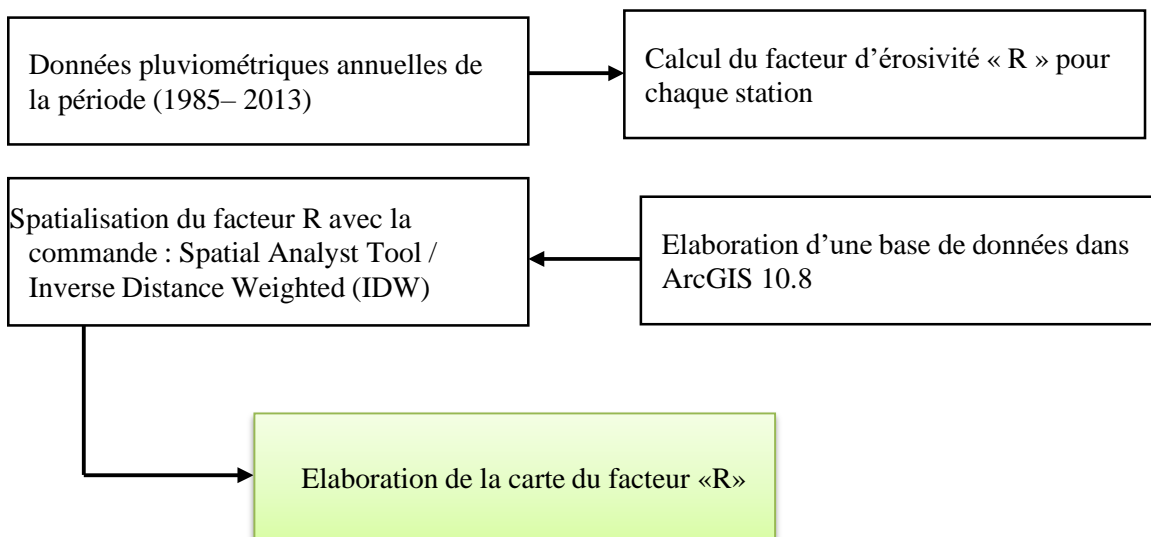
L'érosivité de la pluie a été calculée suivant l'équation (**Renard et Freimund ,1993**).

$$R = 0,0483 P^{1,6}$$

R : Erosivité en (t/ha/an)

P : précipitations annuelles en (mm).

L'élaboration de la carte du facteur R est calculée à partir de 32 stations pluviométriques avec la méthode d'interpolation de l'inverse distance (Inverse Distance Weighting; IDW



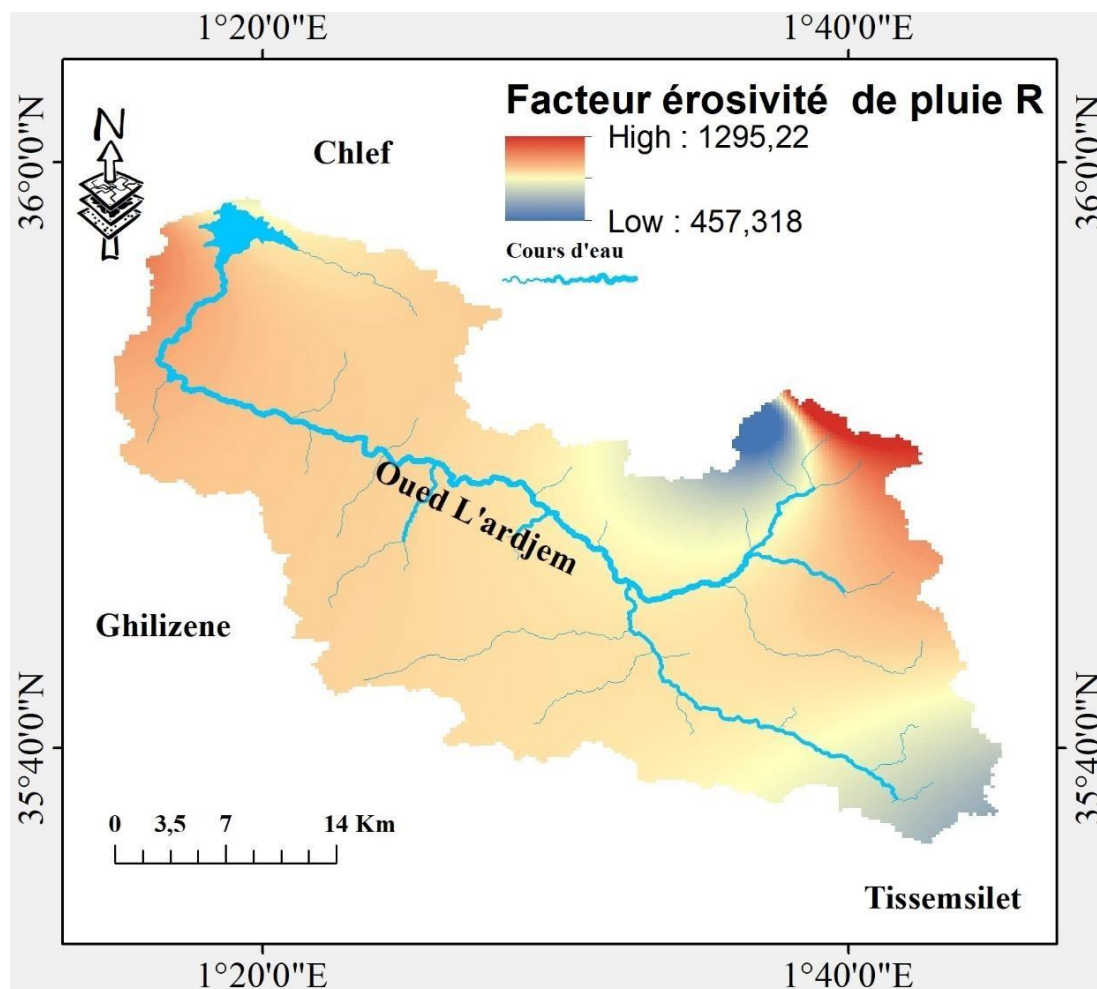


Figure III.1 : Carte de facteur d'érosivité R dans le bassin versant de Sidi-Yacoub.

Tableau III.2 : Erosivité en (t/ha/an) dans le bassin versant de Sidi-Yacoub

Stations	Code	Altitude(m)	X	Y	Précipitations	R(t/ha/an)
Tissemsilt	10,06	858	390788	3939498	358,8	626,9
Fodda BGE	21,08	249	385914	3975184	520	1139,5
Sidi Slimane	21,19	860	378553	3970741	604,3	1451,3
AinLellou MF	23,03	900	370684	3977243	445,2	887,4
Souk El Had	23,04	550	342074	3980254	482,2	1009,1
Ouled Ben A.E. K	23,08	160	345334	3987406	368,4	654,2
Dj Saadia	23,16	1050	374955	3968439	294,8	456,9

III.2.1.3. Facteur d'érodibilité du sol K

L'érodibilité des sols est un indicateur de la facilité avec laquelle les particules de sol se détachent. Elle dépend de la structure du sol, de sa texture, de sa granulométrie, de sa teneur en matière organique et de sa perméabilité.

Le facteur d'érodibilité des sols, noté K, a été déterminé en utilisant le monogramme de [Wischmeier](#) et en analysant les résultats des profils pédologiques issus des études de ([Sabir et al. 2002](#)) et ([Mandimou 2002](#)) dans le bassin versant de Sidi Yacoub.

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} (12 - MO) M^{1,14} + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3)] / 100$$

Où :

K : représente l'érodibilité du sol (tonne/ha) ;

MO : le taux de matière organique dans le sol ;

M : est le produit des fractions de particules primaires et se calculant de la manière suivante :

$$M = (\% \text{ limon} + \% \text{ sable fin}) * (100 - \% \text{ argile})$$

S : le code de structure ;

P : le code de perméabilité

Certaines surfaces présentent une grande quantité d'éléments grossiers, qui ralentissent l'érosion en interceptant les gouttes de pluie et en réduisant la vitesse de ruissellement. Ainsi, pour les sols peu évolués et les sols bruns fersialitiques, afin d'obtenir un facteur K plus proche de la réalité, on a utilisé la formule ajustée proposée par [Dumas \(1964\)](#) et [Römken et al.](#) (cité dans [Renard et al., 1996](#)).

$$K_a = K (0,983 - 0,01898 X + 0,000973 X^2)$$

Où :

K_a : Erodibilité ajustée,

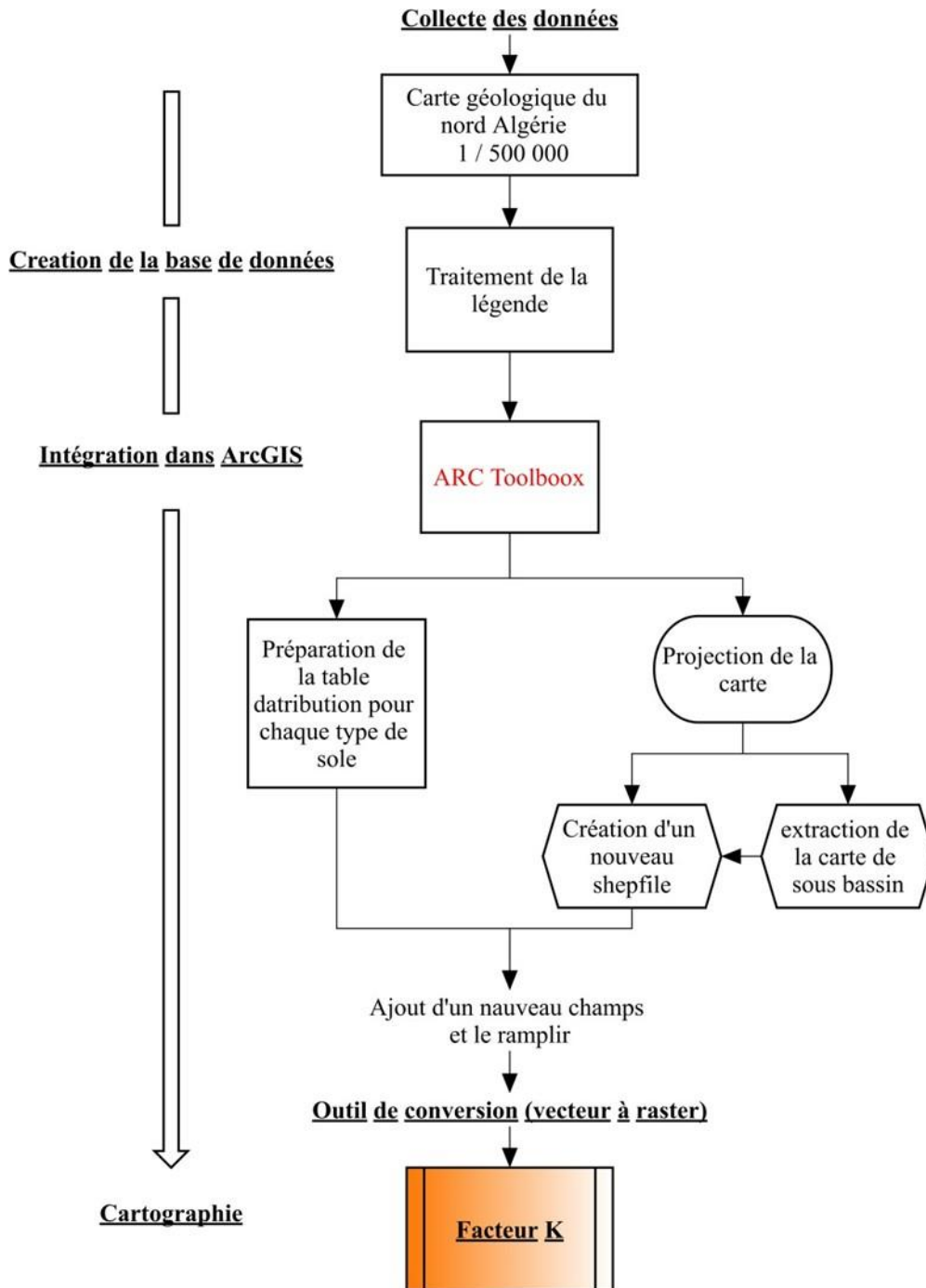
K : Erodibilité estimée à partir de la formule de Wischmeier,

X : Pourcentage d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm à la surface du sol

Les sites d'échantillonnage et d'observation ont été sélectionnés en se basant sur la carte des unités homogènes, élaborée par superposition de la carte géologique, de la carte du couvert végétal et de la carte physiographique. Chaque unité homogène s'est vu attribuer la valeur de K correspondante

- Méthodologie

Méthodologie La méthode de travail sous logiciel ArcGIS est présenter dans l'organigramme ci-dessous :



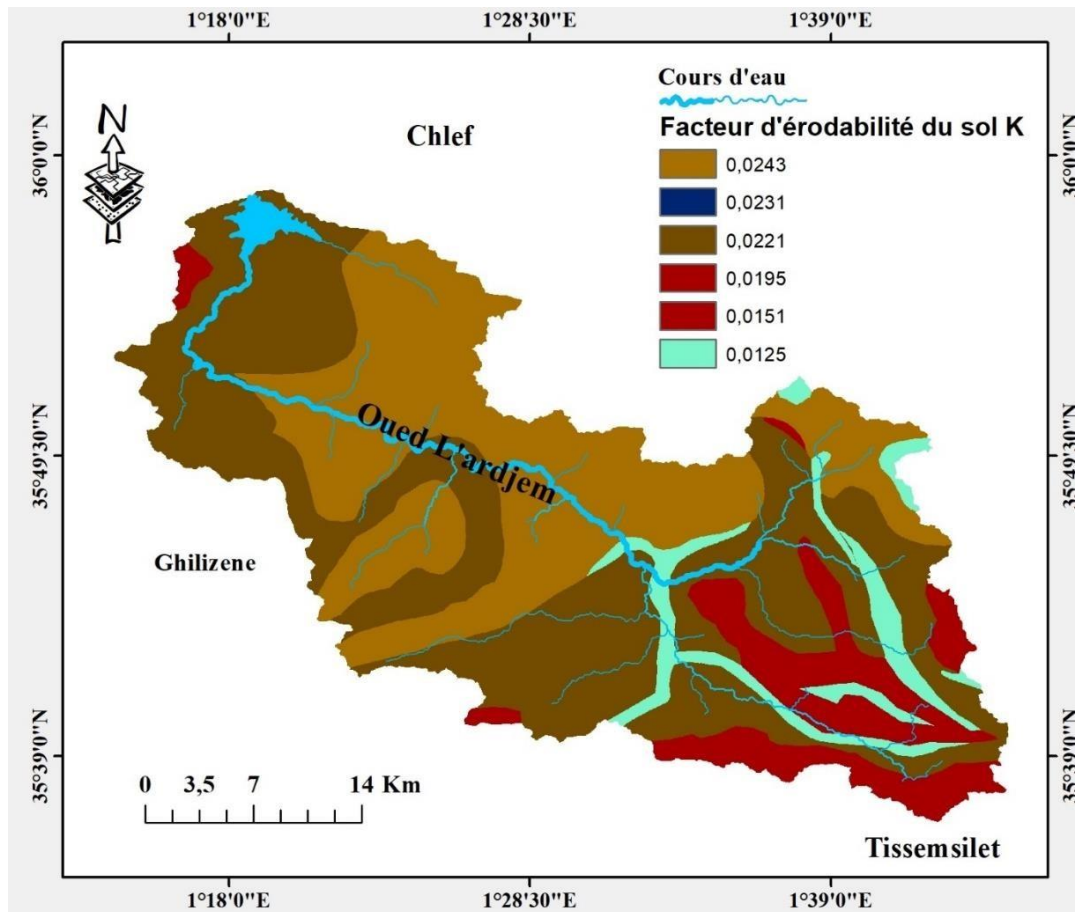


Figure III.2 : Carte du Facteur d'érodabilité du sol K du bassin versant de Sidi-Yacoub

Les valeurs du facteur K, qui varient de 0,0125 à 0,0243, indiquent une grande sensibilité des sols à l'érosion et leur fragilité significative. La carte (Figure III.2) illustre la répartition spatiale des diverses classes du facteur K dans le bassin versant, réparties au sein des différentes unités homogènes de la zone d'étude.

III.2.1.4. Facteur topographique (LS)

Le facteur topographique (LS) dans le modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) représente la combinaison des effets de la longueur (L) et de l'inclinaison (S) d'une pente. Ce facteur évalue les pertes de sol par érosion hydrique en tenant compte des influences de la longueur et du gradient de la pente. Plus précisément, le facteur LS est défini comme la relation entre la perte de sol sur une pente donnée (avec une longueur l et un gradient p) et la perte de sol sur une parcelle standard de 22,1 mètres, utilisée pour le développement de la RUSLE

Pour estimer les composantes topographiques de l'érosion du sol selon la RUSLE, on utilise les facteurs de longueur (L) et de gradient (S) de la pente. Les équations suivantes sont utilisées pour le calcul de ces facteurs :

Facteur de longueur (L) : λ représente la longueur de la pente en mètres, m est l'exposant de la longueur de la pente, et β est l'angle de la pente. La longueur est définie comme la distance horizontale à partir du point où commence le flux de surface jusqu'à celui où il se dépose ou s'écoule dans un canal défini (U.H.A.S.L.S, 2016).

Les équations utilisées pour le calcul de LS, en Arc Gis sont :

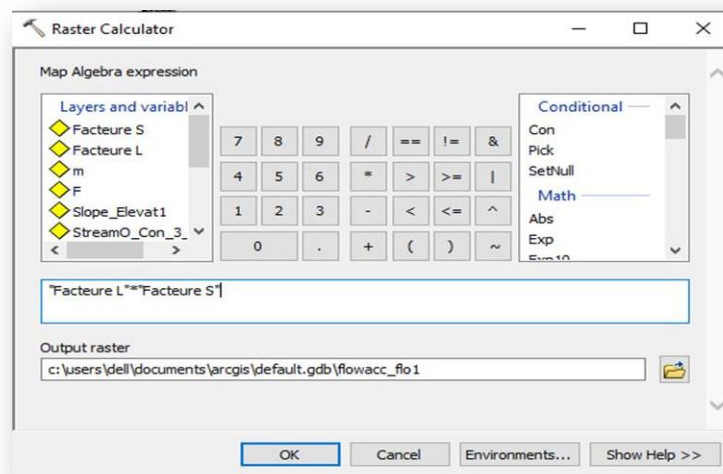
$$F = (\text{Sin} (\ll \text{slope_bv} " * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power} (\text{Sin} ("slope_bv" * 0.01745),0.8) + 0.56)$$

$$M = "F" / (1 + "F") L = (\text{Power} (("Flow_acc"+ 625), ("m"+1)) - \text{Power} ("Flow_acc », ("m"+1))) / (\text{Power} (25, ("m"+2)) * \text{Power} (22.13,"m"))$$

$$S = \text{Con} (\text{Tan} ("slope_bv"* 0.01745) < 0.09, (10.8 * \text{Sin} ("slope_bv" * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin} ("slope_bv" * 0.01745) - 0.5))$$

En dernier lieu, est obtenu le facteur LS à travers la multiplication du facteur L et S. Ci-dessus, sa distribution spatiale (carte du facteur LS):

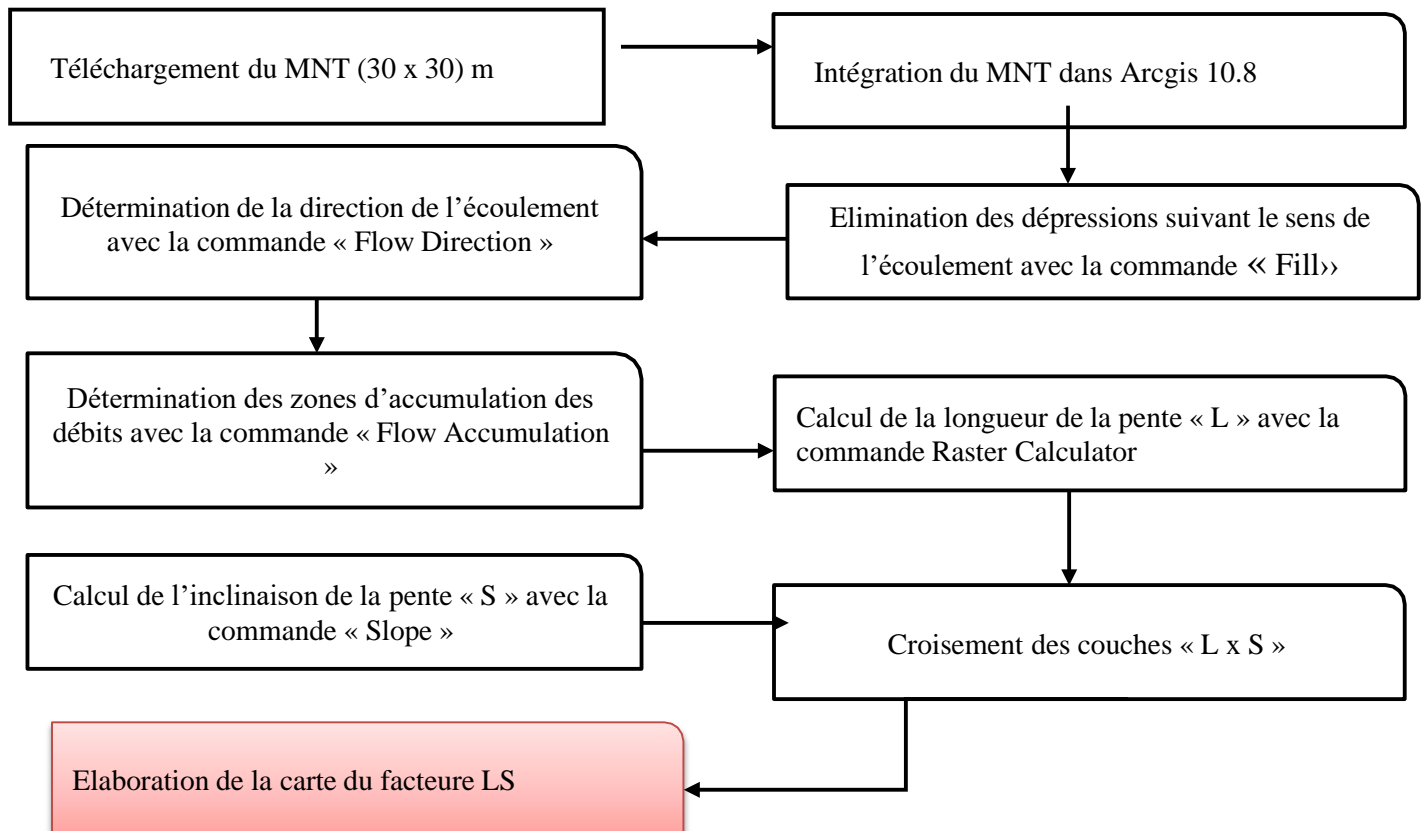
Spatial analyst tools – map algebra – raster calculator Copier et coller la formule dans le champ (Sin ("slope_degree" * 0.01745) / 0.0896) / (3 * Power (Sin ("slope_degree" * 0.01745),0.8) + 0.56)) Output : F Remplacer slope_degree dans la formule par la carte slope_bv



Pour cette étude le facteur topographique a été déterminé à partir du MNT, à cet effet plusieurs opérations préliminaires ont été respectées en utilisant l'extension « Spatial Analyst » du logiciel Arcgis 10.8, à savoir :

- 1) l'élimination des dépressions suivant le sens de l'écoulement avec la commande « Fill » ;
- 2) détermination de la direction de l'écoulement « Flow Direction » ;
- 3) détermination des zones d'accumulation des débits « Flow Accumulation » ;
- 4) Calcul de la pente du bassin versant « Slope » et enfin du facteur LS avec le « Raster Calculator ». Les différentes étapes constitutives de calcul sous le résultat obtenu sont illustrées dans l'organigramme suivante :

• **Méthodologie**



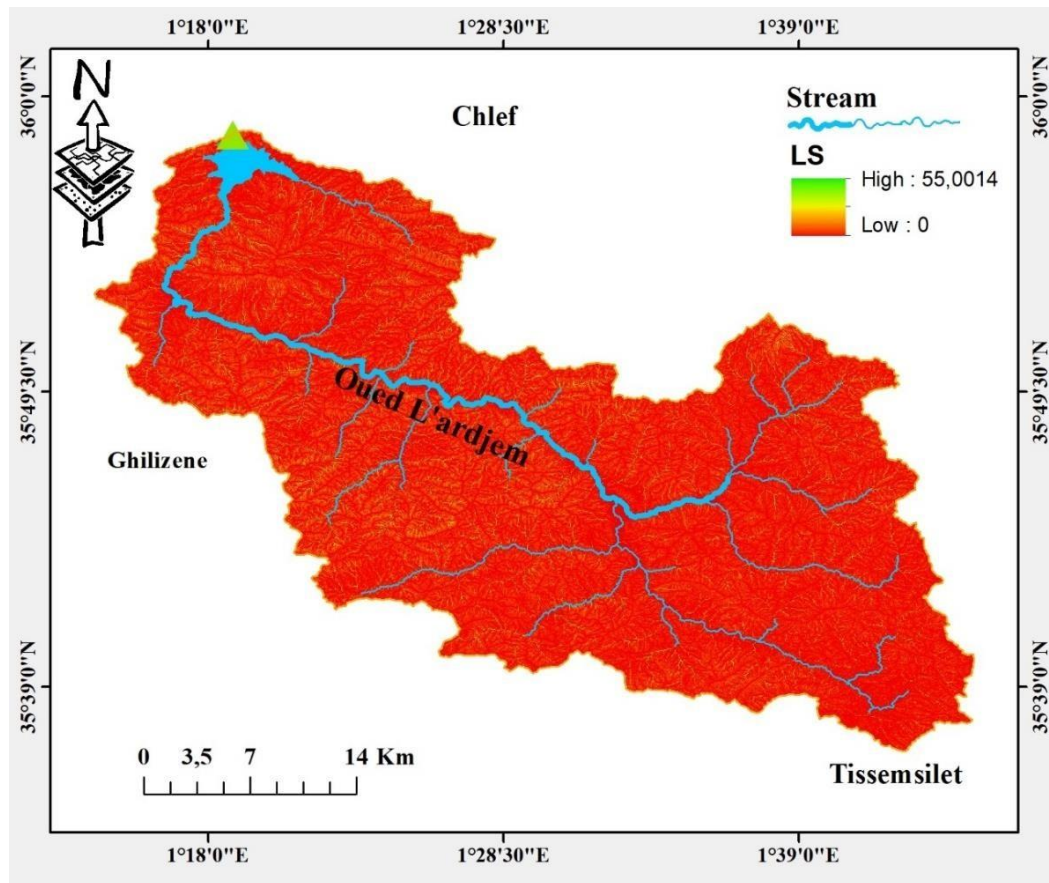


Figure III.3 : Carte du facteur topographique LS du bassin versant de Sidi-Yacoub

Il semble que vous décriviez la répartition d'un facteur spécifique dans un bassin versant.

Voici une reformulation de votre texte :

L'analyse de la répartition de ce facteur dans le bassin versant révèle une gamme de valeurs allant de 0 à 55,00. On observe une concentration élevée de ces valeurs au centre de la zone d'étude, où le terrain est accidenté et particulièrement sujet à l'érosion linéaire.

III.2.1.5. Facteur de couvert végétale C

L'occupation des terres et la végétation sont influencées par divers facteurs tels que la topographie, la géologie, les sols, le climat et les caractéristiques hydrologiques. Sauf dans les régions éloignées, l'occupation du sol est directement liée aux activités humaines. Les activités ayant le plus grand impact sur l'érosion des sols comprennent l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abattage du bois, la construction de routes et l'urbanisation (White, 1986).

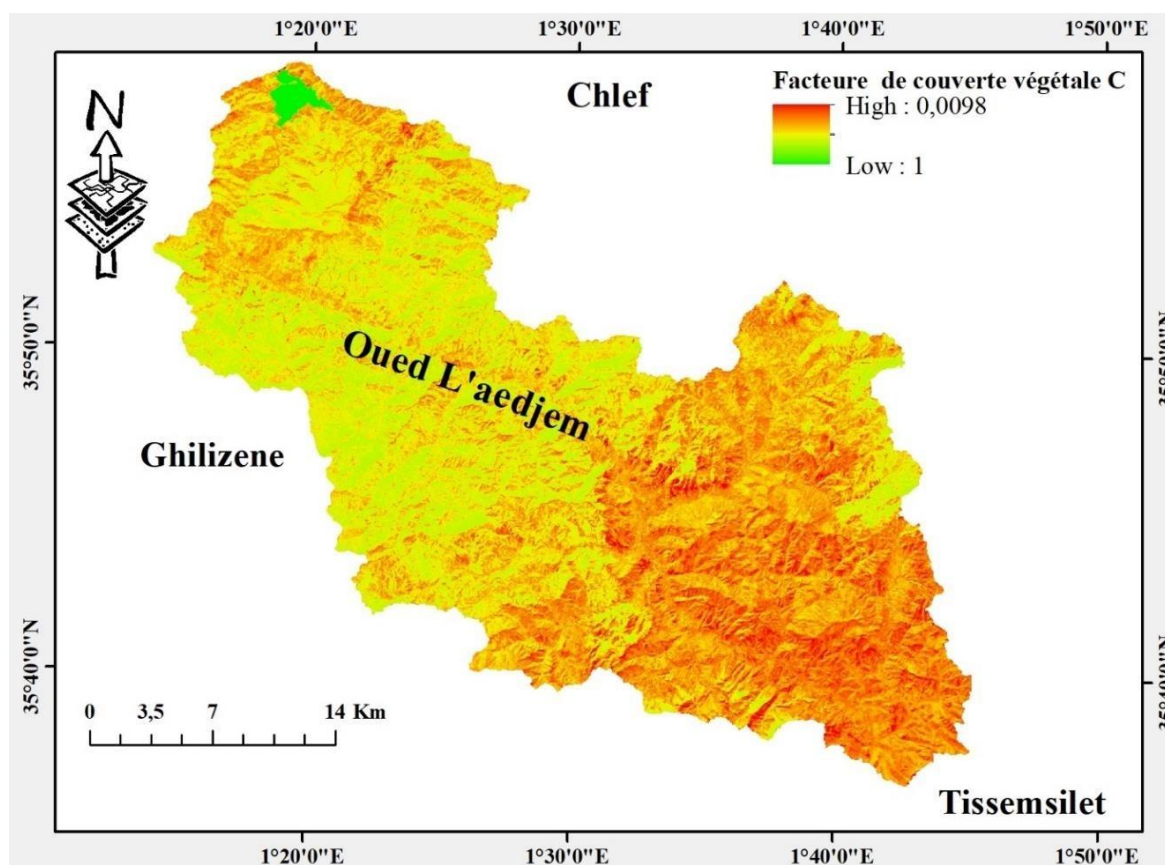
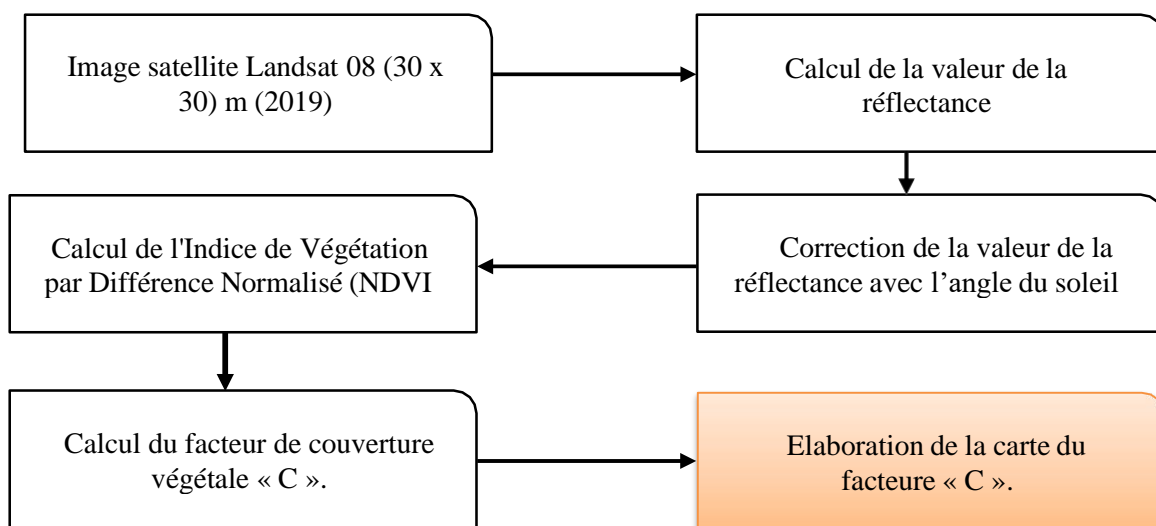


Figure III.4 : La carte de couvert végétale C du bassin versant de Sidi-Yacoub

La couverture végétale est un élément essentiel pour la protection du sol contre l'érosion. Un couvert végétal dense est particulièrement efficace car il dissipe l'énergie des gouttes de pluie, ralentit l'écoulement des eaux à la surface du sol et maintient une bonne porosité superficielle

en évitant l'encroûtement (Sabir & Roose, 2004). Les valeurs du facteur C, qui varient entre 0.0098 et 1 selon l'occupation du sol, sont corrélées avec les valeurs de NDVI. De nombreux chercheurs utilisent des analyses de régression pour estimer les valeurs du facteur C en fonction des classes d'utilisation des terres/couverture du sol dans l'évaluation de l'érosion (Ouallali et al, 2016; Kouli et al, 2009; Zhou et al, 2008).

Les équations de régression, linéaire ou non linéaire, sont construites en utilisant une analyse de corrélation entre les valeurs de NDVI obtenues à partir d'images satellitaires et les valeurs correspondantes du facteur C issues des tables USLE.

L'indice de végétation NDVI se calcule comme le rapport entre les valeurs de la bande rouge (R) et de la bande proche infrarouge (PIR), reflétant la fraction du rayonnement photosynthétiquement actif absorbé :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$

Pour les images Landsat 8 :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Band5} - \text{Band4}}{\text{Band5} + \text{Band4}}$$

Les valeurs du NDVI varient entre -1,0 et 1,0, les valeurs les plus élevées reflétant une végétation verte et dense, tandis que les valeurs faibles représentent les sols nus ou les plans d'eau.

Le facteur C peut être estimé en appliquant la relation de régression suivante (Van Der Knijff et al, 1999) :

$$C = \exp \left[-\alpha \left(\frac{\text{NDVI}}{\beta - \text{NDVI}} \right)^\beta \right]$$

Où

α et β sont des paramètres déterminant la forme de la courbe NDVI-C, avec $\alpha = 2$ et $\beta = 1$.

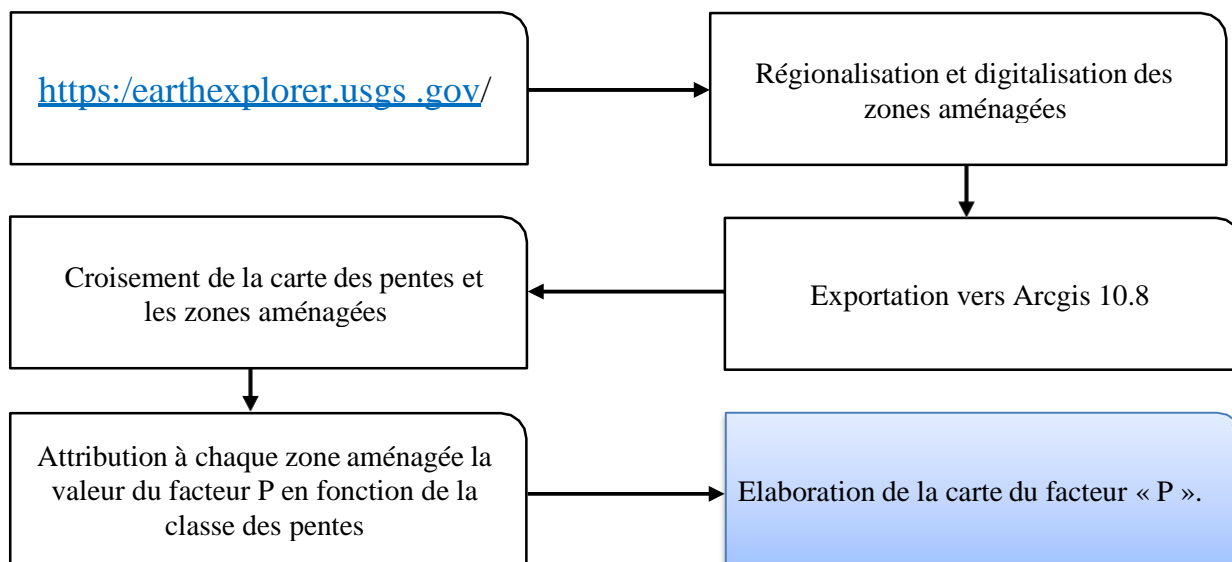
III.2.1.6. Facteur des pratiques anti-érosives (P)

En l'absence de détails spécifiques sur la région étudiée, les valeurs du facteur P (comme indiqué dans l'organigramme) varient principalement de **0,55 à 1** là où des mesures de contrôle de l'érosion sont mises en œuvre. Dans les autres zones du bassin, où le contrôle de l'érosion n'est pas pratiqué, le facteur P est égal à **1**. Dans ces régions, les sols ne bénéficient pas de protections contre l'arrachement des particules ni de leur transport.

Tableau III.3 Le facteur P en fonction de la pente (Shin, 1999).

Pente (%)	Contour	La culture en bande	Terrassement
0 - 7	0.55	0.27	0.10
7 - 11.3	0.6	0.3	0.12
11.3 - 17.6	0.8	0.4	0.16
17.6- 26.8	0.9	0.45	0.18
> 26.8	1	0.5	0.20

• Méthodologie



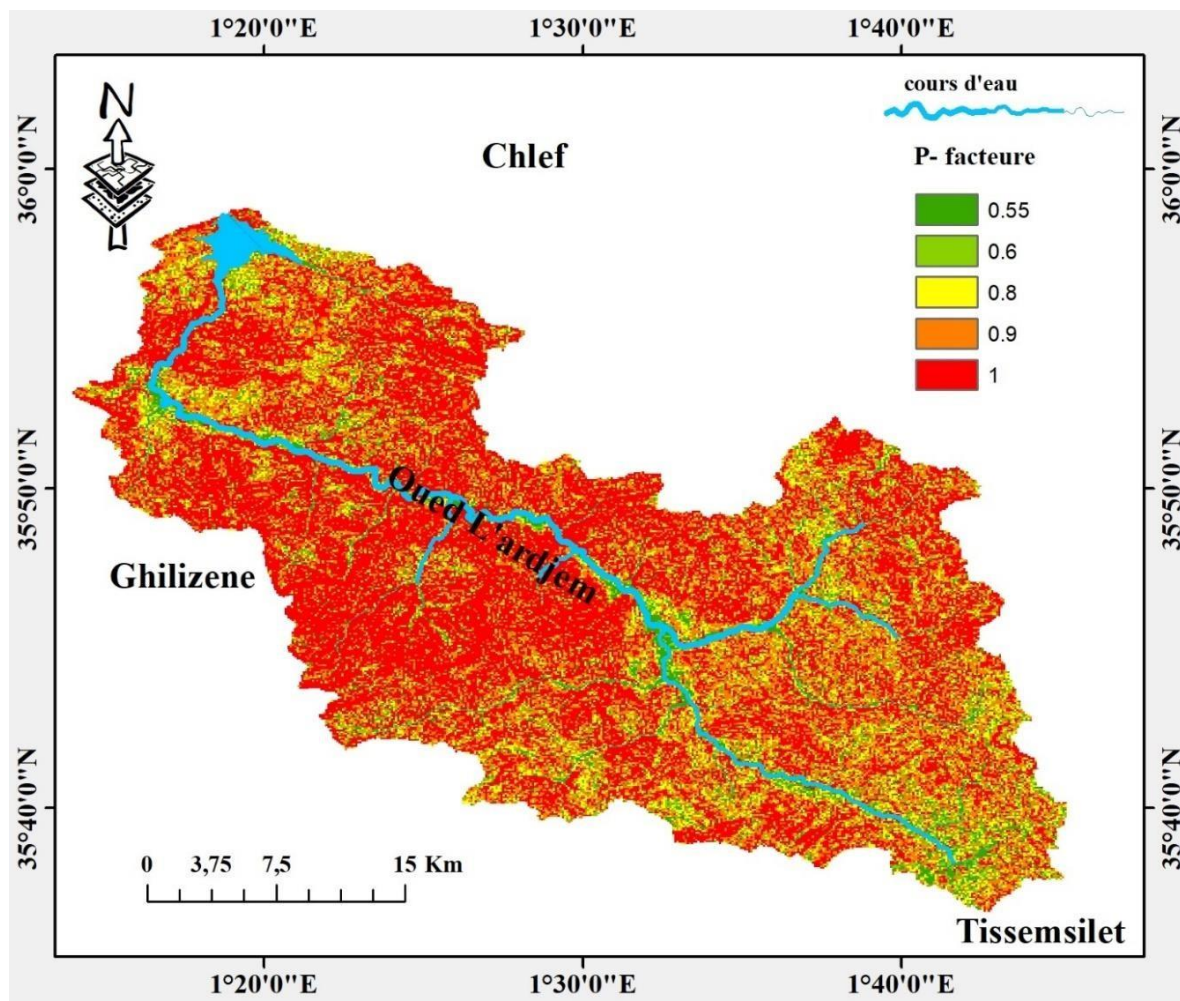
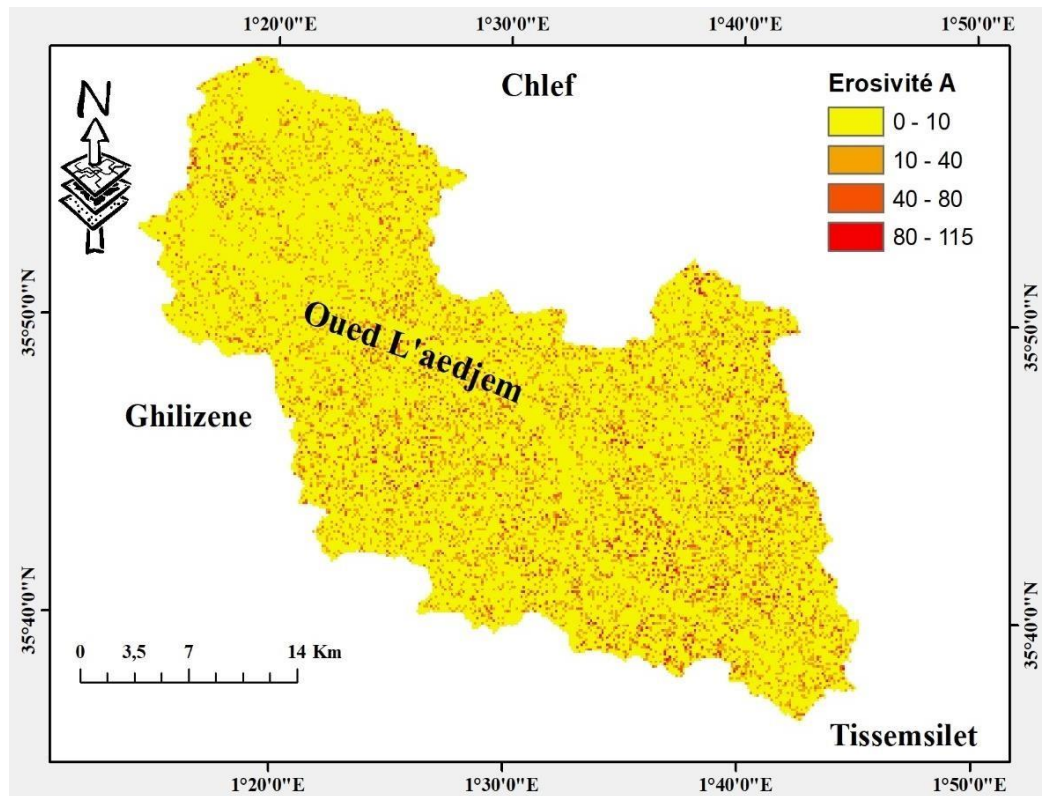


Figure III.5 : La carte facteur des pratiques anti-érosives (P) Du bassin versant de Sidi-Yacoub

III.2.1.7. Carte finale (Facteur d'érosion A)

Les systèmes d'information géographique (SIG) nous ont permis d'évaluer le risque potentiel d'érosion annuelle dans la zone d'étude, pixel par pixel, comme illustré dans la Figure V.16. Les pertes de sol varient principalement entre 0 et 115 tonnes par hectare par an. Le facteur d'érosivité ainsi que le relief jouent un rôle crucial dans le déclenchement de l'érosion hydrique (Markose et Jayappa, 2016). Les zones couvertes de végétation sont moins exposées au risque en raison de la réduction de l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement, tandis que les zones forestières modérément ouvertes présentent un risque plus élevé (Kumar et Kushwaha, 2013)



Figure

III.6 : Carte de perte en sol en (t/ha/an) dans le bassin versant de Sidi Yacoub

III.3. Confirmation visuelle du modèle

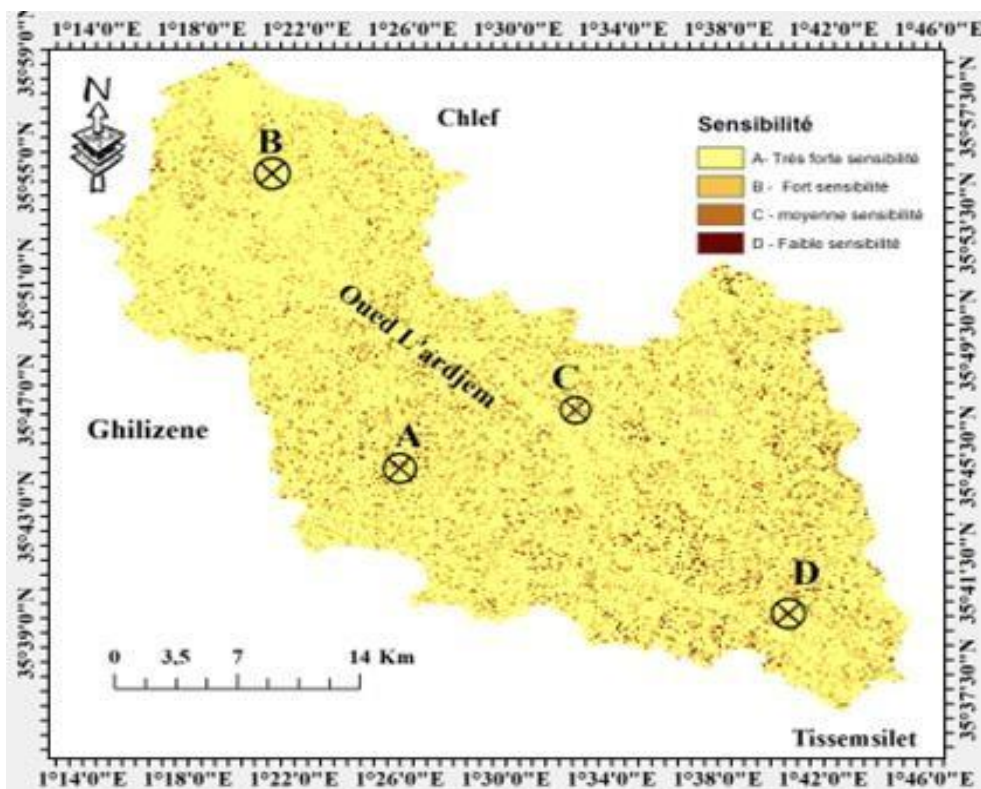
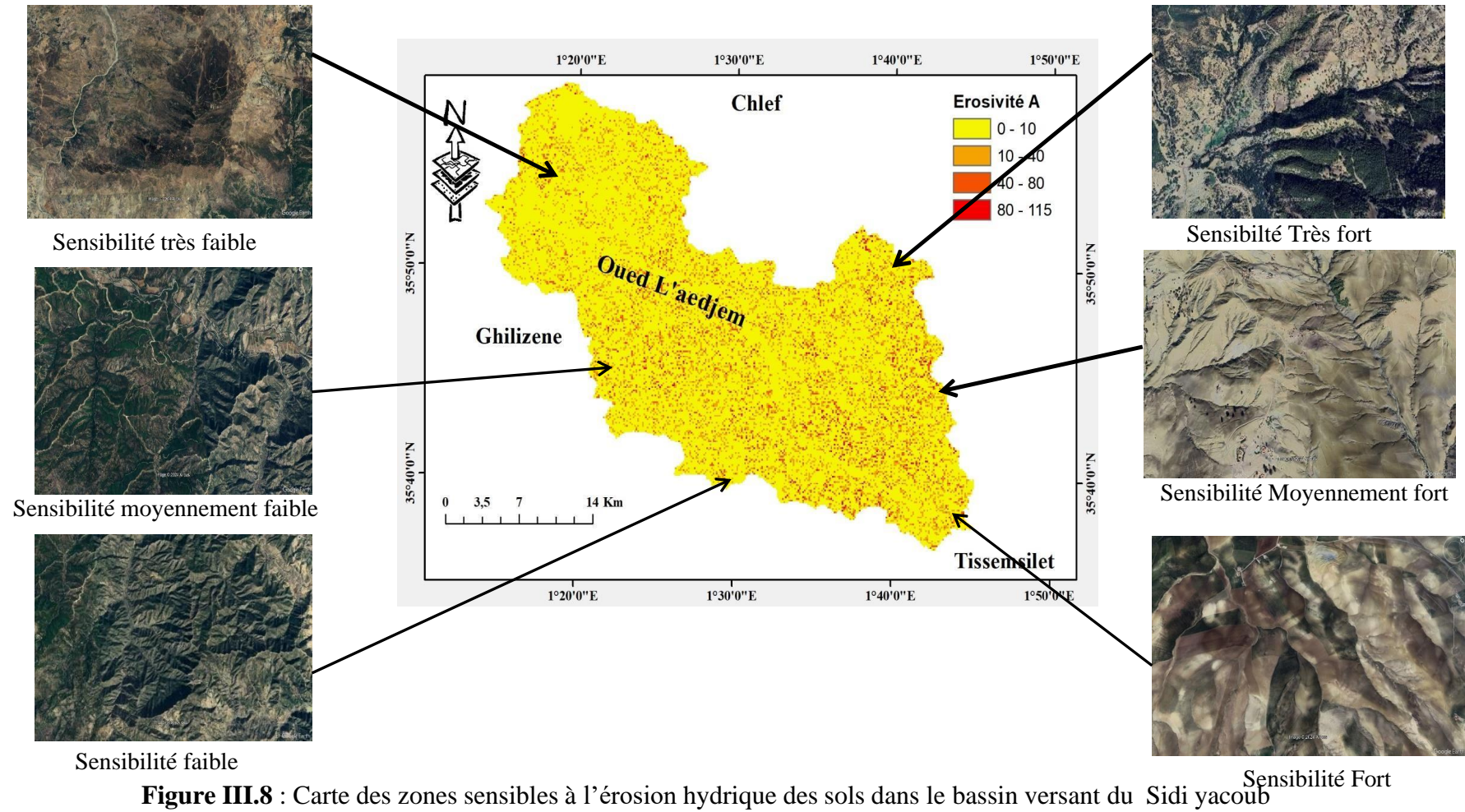


Figure III.7 : Carte de degré de sensibilité à l'érosion hydrique.

La cartographie réalisée met en évidence la distribution géographique de la sensibilité des terrains à l'érosion. La carte des zones sensibles à l'érosion a été créée à partir de la carte d'érosion elle-même, en délimitant les zones sensibles en fonction des quatre classes précédemment identifiées sur la carte. Pour compléter cette analyse, nous avons utilisé des images satellites avec une résolution de 200 mètres afin de visualiser la sensibilité des différentes zones à l'érosion, tel que représenté sur la carte.



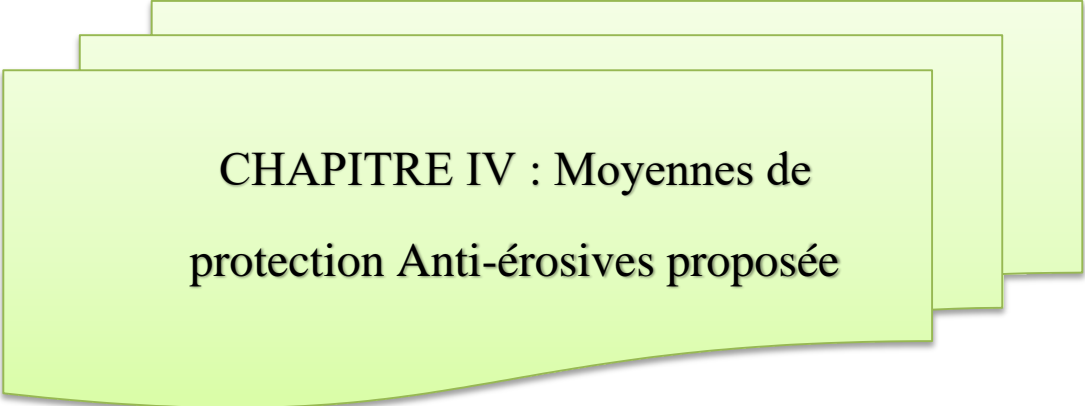
III.4. Conclusion

Ce chapitre s'est concentré sur la cartographie des différents facteurs influençant l'érosion hydrique dans le sous-bassin de l'oued Ardjem, notamment les pentes, la géologie, les précipitations et l'occupation du sol. Cette approche nous a permis de quantifier chaque facteur de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) et d'analyser leur répartition dans le sous-bassin. L'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) a été cruciale pour cartographier précisément l'impact de chaque facteur individuel sur l'érosion hydrique.

Les informations présentées dans ce chapitre ont été utilisées pour générer une carte multifactorielle du potentiel d'érosion hydrique. Cette carte intègre les différentes couches d'information sur les pentes, la géologie, les précipitations et l'occupation du sol, permettant une évaluation complète et détaillée du risque d'érosion dans la région étudiée.

La validation du modèle a été renforcée par l'analyse de la sensibilité des zones à l'érosion hydrique à l'aide d'images satellitaires. Ces données ont permis de confirmer la précision du modèle utilisé en comparant les prédictions avec les observations réelles sur le terrain, assurant ainsi la fiabilité des résultats obtenus par le biais des techniques de télédétection.

En résumé, ce chapitre démontre l'importance et l'efficacité des SIG dans la cartographie et l'analyse multifactorielle de l'érosion hydrique, offrant une base solide pour la gestion et la conservation des ressources naturelles dans le sous-bassin de l'oued Ardjem.



**CHAPITRE IV : Moyennes de
protection Anti-érosives proposée**

CHAPITRE IV : Moyennes de protection Anti-érosives proposée

Introduction :

Ce chapitre s'inscrit dans le cadre de l'étude visant à protéger le bassin versant du barrage Sidi-Yacoub. Ce barrage est crucial pour répondre aux besoins en eau potable et en irrigation. Cependant, il est menacé par l'accumulation de sédiments provenant de l'érosion dans son bassin versant.

L'objectif de cette étude, complémentaire aux études d'avant-projet détaillé réalisées par l'ANBT, est de concevoir des aménagements et des ouvrages anti-érosifs. Ces mesures ont pour but de préserver le barrage Sidi-Yacoub en :

- Améliorant la conservation des sols dans le bassin versant ;
- Réduisant potentiellement le transport de sédiments vers le barrage ;
- Diminuant le taux de sédimentation et d'envasement du barrage ;

Et par conséquent, prolongeant sa durée de vie utile.

Ce chapitre met en avant les mesures de lutte antiérosive préventive et curative proposées pour le bassin versant de l'Oued Ardjem. Ces mesures visent à protéger le barrage de Sidi Yacoub contre l'envasement accéléré.

IV.1. Méthodes culturales antiérosifs

IV.1.1 Techniques traditionnelles

Pendant de nombreuses années, les humains ont mis en place et perfectionné des techniques traditionnelles pour étendre les zones cultivables et limiter la dégradation environnementale. Ces méthodes ancestrales sont intimement liées aux réalités écologiques et économiques des sociétés qui les ont développées. Leur objectif principal était de contrôler l'eau sur les terrains en pente, préserver la fertilité des sols et réduire l'érosion (**Tribak, 2002 ; Roose, 2005**).

IV.1.1.1 Les bandes alternées

Les cultures sont disposées en bandes parallèles aux courbes de niveau de manière à ce que, lorsqu'une bande est découverte, les deux bandes adjacentes soient recouvertes de végétation. De même, les bandes permanentes d'absorption suivent ce même principe, alternant avec les bandes cultivées et conservant en permanence une couverture végétale herbacée ou

buissonnante. Cependant, un inconvénient majeur de cette méthode est la réduction de la surface agricole disponible (Greco J, 1978).

IV.1.1.2. La double dérayure

La dérayure conventionnelle désigne le sillon qui sépare un champ en deux parties, tandis que la double dérayure consiste à creuser un second sillon à environ un mètre de distance du premier. Sur des terrains avec une pente inférieure à 20%, on établit des doubles dérayures perpendiculairement à la ligne de plus grande pente, avec une légère inclinaison régulière de 0,5 à 1% sur leur longueur. Ces doubles dérayures sont placées à environ tous les 35 mètres sur un plan horizontal pour les pentes inférieures à 10%, et à tous les 20 mètres pour les pentes comprises entre 10 et 20% (Greco J, 1978).

IV.1.2. Méthodes et techniques de protection antiérosive

Les dispositifs antiérosifs se caractérisent par leur efficacité à long terme, s'étalant sur plusieurs années. Ils sont conçus pour compléter les pratiques agricoles en ralentissant le ruissellement de l'eau et en favorisant son infiltration dans le sol. Ces dispositifs comprennent des interventions mécaniques telles que la construction de cordons de pierres, de murettes, de banquettes, de terrasses, la correction des cours d'eau, l'installation de drains et de déversoirs. En parallèle, des méthodes biologiques sont également recommandées, telles que la plantation de haies vives ou de brise-vent, la revégétalisation, le reboisement et la mise en place de plantations fruitières résistantes. Ces techniques de lutte anti-érosive ont été efficaces en Algérie, notamment en raison de leur coût abordable, de la disponibilité de la main-d'œuvre et des matériaux nécessaires.

IV.1.2.1. Pratiques agricoles

Les principes fondamentaux des bonnes pratiques agricoles consistent à réduire au maximum les surfaces de sol dépourvues de couverture végétale, à gérer de manière progressive cette couverture végétale et à favoriser la porosité et la structure du sol. Il est essentiel de noter qu'il est nécessaire d'adapter ces pratiques en fonction des particularités locales, car ce qui peut être efficace dans un contexte donné peut ne pas l'être dans un autre. En effet, des facteurs tels que la profondeur du sol, le type de culture, le niveau de précipitations, le relief des terrains, les méthodes de production agricole utilisées par l'exploitant, la disponibilité de la main-d'œuvre et les interactions entre l'agriculture et l'élevage influent sur le choix d'un système de lutte contre l'érosion et des pratiques culturales appropriées (Dupriez et de Leener, 1990).



Figure IV.1: Pratiques agricoles

IV .3. Méthodes et techniques mécaniques

IV.3.1.1. Les terrasses

Les terrasses sont des surfaces de terrain horizontales aménagées en marches d'escalier sur les versants. Cette technique, utilisée depuis des temps immémoriaux, constitue un moyen efficace de contrôler le ruissellement. Son objectif est d'exploiter au mieux les petites superficies agricoles dont disposent les agriculteurs. Les terrasses sont principalement utilisées pour des cultures irriguées ou des espèces fruitières à forte valeur économique telles que l'olivier, le grenadier, le prunier et le figuier. En associant des cultures denses et variées, il est possible de maintenir une végétation presque constante une grande partie de l'année, réduisant ainsi l'impact du ruissellement et préservant les terres contre l'érosion (De Noni & Viennot, 1995 ,Trikat, 2002 ,Roose et al, 2008).



Figure IV.2 : Terrasses.

IV.3.1.2. Les banquettes :

Les banquettes sont des élévations de terre construites perpendiculairement à la pente du terrain, conçues pour intercepter et retenir les eaux de ruissellement afin d'améliorer leur infiltration. Leur objectif est de réduire la longueur de la pente, et donc la vitesse d'écoulement en dessous du seuil critique susceptible de causer l'érosion des versants. Chaque banquette se compose d'un bourrelet (ou talus) et d'un fossé (ou canal). La terre excavée pour creuser le fossé est ensuite utilisée pour former le bourrelet de la banquette. Habituellement, plusieurs banquettes sont aménagées en travers de la pente ([Al Ali Y, 2007](#)).



Figure IV.3 : Banquettes des sols.

IV.3.1.3. Les murettes

Cette méthode consiste à utiliser des murs de pierre sèche de forme linéaire, généralement suivant les courbes de niveau, sur des pentes abruptes (entre 12,5 et 25%). Les murs ont une hauteur d'environ 50 cm et une largeur d'environ 60 cm. Elle est recommandée pour les zones soumises à une forte érosion, où les sols sont peu profonds et pauvres en nutriments (Soltner, 1999 cités par Rerboudj, 2005).



Figure IV.4. : Murettes en pierres sèches en Tunisie.

IV.3.1.4. Les cordons de pierres

Le cordon pierreux est un agencement semi-perméable de pierres disposées en lignes le long des courbes de niveau, formant ainsi une structure renforcée. Ces cordons peuvent être continus ou discontinus, avec un espacement de 15 à 50 mètres entre les lignes, et sont adaptés aux pentes de 3 à 0,5%. Leur fonction principale est de ralentir le ruissellement, diminuer la force de transport, stabiliser le sol et faciliter les activités agricoles. En capturant les éléments grossiers, les particules fines et les débris organiques qui remplissent les espaces entre les pierres, les cordons favorisent l'accumulation de sol, ce qui peut soutenir la croissance spontanée de végétation, notamment pour le pâturage (Naimi & Baghdad, 2002).



Figure IV.5 : Cordons de pierres (Burkina Faso).

IV.3.1. Correction torrentielle

IV.1.3.1. Paillage

La méthode du paillage, largement pratiquée depuis longtemps dans les zones semi-arides, implique de recouvrir le sol d'une couche d'environ 2 cm d'herbes, équivalant à une quantité de 3 à 6 tonnes par hectare, ou de branches, ou encore de résidus de culture tels que les tiges de mil ou de sorgho. L'objectif est de favoriser l'activité des termites, qui, en creusant des galeries sous le paillis, contribuent à briser la couche superficielle du sol. Cela conduit à un assouplissement du sol et à une augmentation de sa porosité, favorisant ainsi une meilleure infiltration de l'eau (Hien et al,2004).



Figure IV.6 : Paillage des sols

IV.1.3.2. Gabionnage

Il s'agit de structures préfabriquées en grillage métallique remplies de pierres, appelées gabions. Ces gabions sont disposés côte à côte de manière à amortir la vitesse des eaux de

ruissellement lorsqu'elles passent par-dessus de déversoir. Une fois en place, la végétation peut être installée, permettant aux particules de sol déplacées de se déposer au niveau des gabions et de stabiliser les rives de l'oued. Il est essentiel que les gabions soient suffisamment résistants et solidaires pour supporter la pression exercée par le débit d'eau et les particules de sol (**Houbib, 2013**).



Figure IV.7 : gabionnage des sols.

IV1.3.3 Les gabions

Les seuils sont utilisés pour ralentir le ruissellement, réduire le ravinement et corriger les cours d'eau dans des zones présentant de fortes dénivelées (Sheng T.C., 1993). Ces ouvrages peuvent être construits avec différents matériaux tels que des gabions, des pierres sèches, du grillage métallique, des pneus usés ou des sacs de sable.

IV.1.3.4. Le seuil en gabions

Peut être installé sur des pentes allant jusqu'à des conditions sub-verticales, avec une hauteur maximale de 3 m au centre pour des raisons de stabilité et de coût. Cependant, il n'est pas recommandé dans les torrents sujets à des transports solides violents ou fréquents, car cela nécessiterait un entretien régulier. Dans certains cas, les gabions peuvent être renforcés par des contreforts installés en aval (Sheng T.C., 1993).

IV.1.3.5. Le seuil en pierres sèches :

Similaire au seuil en gabions, est largement utilisé en Algérie. Son efficacité dépend de la qualité et de la taille des pierres.

IV.1.3.6. Seuil en grillage métallique :

Il est flexible et résistant aux poussées de l'atterrissement. Son installation peut parfois être complexe, surtout dans les endroits difficiles d'accès. Ce type de seuil est particulièrement adapté aux régions où les pierres de qualité sont rares.

IV.1.3.7. Le seuil en pneus usés :

En raison de sa faible densité, le seuil construit avec des pneus usés manque généralement de solidité. Cependant, sa résistance peut être accrue en ajoutant des ligatures. Malgré cela, il peut être difficile d'adapter cet ouvrage au profil spécifique de la ravine, notamment en raison de la complexité à trouver des pneus de dimensions uniformes.

IV.1.3.8. Le seuil en sacs de plastique :

Le seuil construit avec des sacs de plastique est généralement peu résistant et a une durée de vie limitée en raison de la dégradation du plastique exposé aux rayons ultraviolets du soleil, notamment pour les sacs de la rangée supérieure. Malgré cela, ce type d'ouvrage reste efficace, flexible et simple à installer. Pour prolonger sa durabilité, il est recommandé d'utiliser du plastique noir, qui est plus résistant aux effets néfastes du soleil.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de réaliser une étude d'impact environnemental afin d'évaluer les conséquences de la construction de ces seuils sur l'environnement.



Figure IV.8 : (Seuil en gabions, Seuil en grillage métallique, Seuil en pneus usés, Seuil en sacs de plastique)

IV.1.3.9. Drains

Le drainage consiste en l'ensemble des travaux visant à évacuer rapidement l'eau saturant le sol. Les drains ou fossés collectent les eaux excédentaires des terres et les dirigent vers des exutoires, qui à leur tour se déversent dans les cours d'eau (Dahmani, 1984).



Figure IV.9 : Drains

IV.1.4. Méthodes et techniques biologiques

IV.1.4.1. Haies vives ou Brise vent

Tout comme les cordons de pierres, les haies vives doivent être disposées en suivant les courbes de niveau. En milieu cultivé, il est recommandé de maintenir une distance optimale entre les haies de 30 à 50 mètres, en fonction de la pente du terrain.

La pratique des clôtures en haies vives, constituées d'arbustes, est courante dans les zones agricoles. Elles agissent comme un filtre, favorisant une répartition homogène de l'eau de ruissellement et le dépôt des matériaux transportés (Tribak, 2002).



Figure IV.10 : Haie vive anti-érosives

IV.1.4.2. Plantation d'opuntia

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est un cactus originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Cette plante s'avère très efficace pour la protection et la restauration des sols dégradés. En effet, l'opuntia est peu exigeant en éléments nutritifs et peut être planté à des densités élevées, ce qui permet de ralentir efficacement le ruissellement de surface. De plus, cette plante produit des fruits très prisés sur le marché, offrant ainsi une source de revenus supplémentaire pour les agriculteurs.



Figure IV.11 : Plantation d'opuntia

IV.1.4.3. Révégétalisation

La revégétalisation, également appelée reverdissement, désigne l'implantation d'une couverture végétale composée d'herbes, de graminées, d'arbustes ou d'arbres sur des terres dénudées. Cette pratique est généralement entreprise dans le but de stabiliser les pentes et de protéger les sols contre l'érosion causée par l'eau.

Le terme revégétalisation désignera ici exclusivement l'utilisation de plantes herbacées et graminéennes.

IV.1.4.4. Le reboisement

Le reboisement implique le réensemencement d'espèces d'arbres sur une zone spécifique dans le but de lutter contre l'érosion. Son objectif principal est de renforcer la couverture végétale protectrice des sols, ce qui réduit l'impact des précipitations et du ruissellement. Contrairement aux plantations fruitières, aux haies vives et aux brise-vent qui sont généralement linéaires, le reboisement est souvent réalisé sur de vastes étendues (Said, 1991).



Figure IV.12 : Reboisement des sols.

IV.2. Moyens de luttres contre l'envasement du barrage

IV.1.2. Moyens de luttres curatives

IV.2.2 Définition du dragage

Le processus de dragage implique l'utilisation d'une drague suceuse refouleuse flottante. Après avoir été remaniés localement, les sédiments sont aspirés par la drague puis refoulés à travers une canalisation qui comprend une partie flottante et une partie fixe s'étendant sur plusieurs centaines de mètres. Cette canalisation sert également au transport des sédiments par refoulement jusqu'à la zone de rejet située en aval du barrage.

Le premier barrage à avoir fait l'objet d'opérations de dragage en Algérie est celui de Fergoug, localisé dans la région de Perrégaux, dans l'Ouest algérien. Entre 1986 et 1989, plus de 10 millions de mètres cubes de vase ont été dragués à cet endroit (**Semcha, 2006**).

IV.2.2.1. Objectifs des Operations du dragage

Le dragage peut être considéré comme une solution ultime pour préserver un barrage et prolonger sa durée de vie. Selon Semcha (2006), les objectifs du dragage peuvent être les suivants

- Restaurer la capacité initiale d'un barrage envasé.
- Améliorer ou maintenir les débits des cours d'eau en approfondissant les zones naturelles ou en rectifiant les cours d'eau pour améliorer la qualité de l'eau et prévenir les inondations.
- Fournir des matériaux pour élever le niveau des terres basses et combler les zones marécageuses ou très humides afin de créer de nouveaux terrains pour divers usages.

- Excaver des tranchées dans des zones où la qualité des sols est médiocre et fournir des matériaux pour la construction de routes, de barrages, de chaussées et de fondations pour des travaux de génie civil.
- Ériger des structures de contrôle ou de protection le long des voies navigables et des régions côtières, telles que des digues.
- Nettoyer les fonds marins contaminés.

IV.2.3. Technique du dragage

Plusieurs méthodes de dragage ont été élaborées, souvent classées en fonction de leur principe de fonctionnement. On peut généralement regrouper les équipements de dragage en deux catégories distinctes.

IV.2.3.1. Dragage mécanique

Le dragage mécanique implique l'utilisation d'équipements spéciaux, y compris des excavatrices montées sur barge, pour retirer les sédiments et autres matériaux du fond. Les procédés mécaniques de dragage génèrent généralement des débris solides. Les matériaux extraits sont ensuite placés dans des cages ou sur des péniches, puis transportés vers une zone d'élimination désignée (USACE, 2001).

IV.2.3.2. Dragage hydraulique

Le dragage hydraulique se réalise à l'aide d'un dispositif qui désintègre les sédiments, les aspirant ensuite en suspension dans une conduite à haut débit d'eau. Ces équipements sont habituellement montés sur des barges équipées de pompes centrifuges, actionnées par des moteurs diesel ou électriques.

Bien que le dragage hydraulique puisse être une option, l'utilisation de cette méthode génère d'importantes quantités d'eau qui ont un impact significatif sur les installations du site de dépôt (GENIVAR, 2012).

IV.3. Conclusion

Aujourd'hui, la principale priorité dans la lutte contre l'érosion hydrique et l'envasement des barrages n'est plus seulement la préservation de la masse du sol, mais plutôt la valorisation de la terre et des efforts déployés pour protéger les terres contre les dommages causés par les précipitations et le ruissellement. Cette approche vise à améliorer l'environnement rural dans une perspective de développement durable

Conclusion générale

Cette étude avait pour objectif principal d'évaluer et de cartographier spatialement l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant, en utilisant les modèles empiriques RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) et EPM (Modèle de Potentiel d'Érosion), ainsi que les outils de la géomatique tels que les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection.

L'intégration de ces différentes approches a permis de créer une base de données riche et multifactorielle, essentielle pour analyser en détail la problématique de l'érosion hydrique dans la zone d'étude. Les facteurs clés tels que la topographie, la nature des sols, la couverture végétale, les précipitations et les pratiques de gestion des terres ont été spatialisés sous forme de couches d'information dans le SIG.

L'application du modèle RUSLE a conduit à l'identification des zones les plus sensibles à l'érosion, tandis que l'utilisation du modèle EPM a permis d'estimer les taux de perte de sol sur l'ensemble du bassin. Cette analyse multi-modèle a fourni une vision d'ensemble du phénomène d'érosion hydrique et de sa répartition spatiale, information cruciale pour la mise en place de mesures de gestion et de conservation des sols adaptées.

Bien que les résultats obtenus soient satisfaisants, des efforts supplémentaires sont encore nécessaires pour affiner les données d'entrée, notamment en ce qui concerne les informations sur l'intensité et la répartition spatiale des précipitations. L'inventaire des mesures existantes de lutte contre l'érosion a également permis d'identifier des pistes d'action à l'échelle du bassin versant, telles que la construction d'ouvrages de rétention, le reboisement des zones dénudées et la mise en place de pratiques agricoles plus durables.

En conclusion, cette étude démontre le potentiel des outils de la géomatique, associés à des modèles empiriques éprouvés, pour évaluer et spatialiser l'érosion hydrique à l'échelle d'un bassin versant. Les résultats obtenus constituent une base solide pour la définition de stratégies de gestion intégrée des ressources en sols et en eau, visant à préserver l'équilibre environnemental de ces écosystèmes fragiles.



Etudiant :Farsi Fatima Zahra
 Option: 2 éme Master Hydraulique Urbaine

Diriger par: A. Ouadja

Introduction

L'érosion des sols est un processus naturel majeur qui a sculpté la géomorphologie actuelle de manière significative. Lorsqu'on évoque la menace ou le risque lié à l'érosion des sols, il s'agit généralement d'une accélération de ce processus, dépassant les taux normaux, causée par des activités humaines, entraînant la perte de fonctions vitales des sols. Identifier les zones érodées et évaluer les facteurs qui influent sur ce phénomène sont des tâches complexes mais réalisables grâce à l'intégration de diverses sources de données, telles que les données spatiales, les relevés sur le terrain et les images satellites, dans des systèmes de traitement géo-spatial comme les SIG. Il existe plusieurs modèles d'érosion des sols, présentant différents niveaux de complexité. Cependant, la plupart nécessitent une quantité considérable de données, ce qui pose problème lors de leur application à l'échelle régionale. Dans notre étude, nous avons utilisé le modèle **EPM (Erosion Potential Method)** ou l'équation de **Gavrilovic (1972)**, qui prend en compte des facteurs tels que la pente, la couverture végétale, le type de sol, les précipitations et la température. Ce modèle vise à estimer les pertes annuelles de sol par érosion en nappe et en rigole, en combinant ces six facteurs de manière multiplicative. Notre objectif principal est d'estimer l'érosion annuelle dans le bassin versant de l'oued L'ardjem .

Objectif

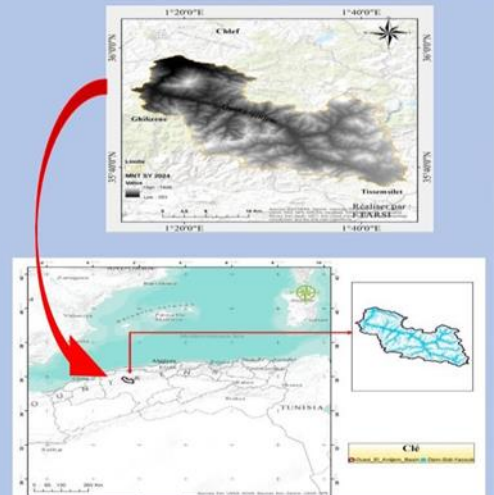
Cette étude vise principalement à évaluer les pertes de sol à différentes échelles temporelles : annuelle, saisonnière et mensuelle. Elle cherche également à identifier et à cartographier les facteurs permanents de l'érosion hydrique tels que la lithologie et la pente, ainsi que les facteurs dynamiques comme le climat, l'hydrologie et l'utilisation des sols. Pour ce faire, nous intégrons le modèle empirique EPM dans un Système d'Information Géographique (SIG) et utilisons des techniques d'analyse spatiale afin d'évaluer l'impact relatif de ces différents facteurs. Nous établissons ensuite une carte du taux d'érosion, mettant en évidence les zones prioritaires nécessitant des interventions immédiates pour réduire l'érosion et limiter l'envasement dans le barrage de Soubella. Enfin, nous fournissons aux planificateurs un document de référence pour les aider dans la prise de décision lors des projets d'aménagement du bassin versant de l'oued L'ardjem.

Présentation de la zone d'étude

Le barrage de Sidi-Yacoub est situé dans la wilaya de Chlef à 28 km environ au sud du chef-lieu il est implanté dans les gorges de l'oued Lardjem le site du barrage a été choisi en conformité aux études sur la localité morphologiquement la plus convenable, la capacité initiale du barrage à la retenue normale 264.00m est de 286 millions de mètres cubes, l'eau accumulé servira à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable

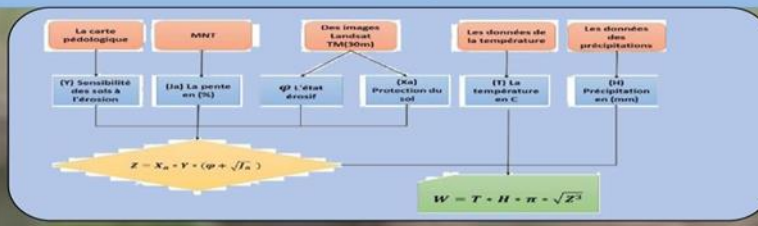
Les principale caractéristiques morphologiques de bassin versant

Caractéristiques	Symbole	Unité	B-V Sidi - Yacoub
Surface	S	Km ²	930
Périmètre	P	Km	202
Longueur du rectangle équivalent	L	Km	70.78
Largeur du rectangle équivalent	L	Km	13.14
Altitude maximale	Hmax	M	1828
Altitude moyenne	Hmoy	M	748.86
Altitude minimale	Hmin	M	253
Altitude 5%	H5%	M	1092
Altitude 95%	H95%	M	389
Indice de compacité	Lc	/	1.85
Indice de pente globale	Ig	M/Km	9.93
Pente moyenne du bassin-versant	Im	%	2.23
Longueur du cours d'eau principal	Lcp	Km	49
Densité de drainage	Dd	Km/Km ²	1.72
Temps de concentration	Tc	Heure	8.93

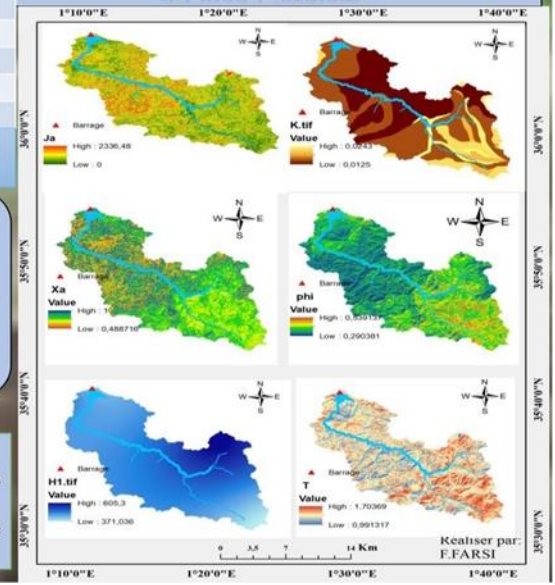


localisation de sous bassin versant d'Oued L'ardjem

Méthodologie



validation du modèle (annuelle; mensuelle) :
 variation spacial de l'érosion dans le bassin versant outils de descision par ordre de priorité
 variation temporelle de l'érosion dans le bassin versant outils de descision pour la gestion du barrage



Realiser par: F.FARSI

Références Bibliographiques

Achite, M., & Ouillon, S. (2007). Suspended sediment transport in a semi-arid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). *Journal of Hydrology*, 343(3-4), 187-202.

Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) (2011). <http://www.soudoudzair.com/index.php>

Ammari, A. (2012). Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider – Biskra).

Arnoldus, H.M.J. (1980). An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In M.De Boodt & D.Gabriels (Eds.), *Assessment of Erosion* (pp. 127-132). John Wiley and Sons.

Balasubramani, K., Veena, M., Kumaraswamy, K., & Saravanabavan, V. (2015). Estimation of soil erosion in a semi-arid watershed of Tamil Nadu (India) using revised universal soil loss equation (RUSLE) model through GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1(2), 10. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0015-4>

Benchettouh, A., Kouri, L., & Jebari, S. (2017). Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 10(79). <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2875-6>

Biswas, S. S., & Pani, P. (2015). Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1(42). <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0040-3>

Copernicus. (2020). Global Land's first global 100 m land cover map. <https://land.copernicus.eu/global/content/annual-100m-global-land-cover-maps-available>

Da Silva, R. M., Santos, C. A. G., & Silva, A. M. (2014). Predicting soil erosion and sediment yield in the Tapacurá catchment, Brazil. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 8, 75–82. <https://doi.org/10.4090/juee.2014.v8n1.075082>

Dakich, A., Bekhadi, A., & Hmoum, A. (1997). Evaluation de la sensibilité des sols à l'érosion par télédétection et SIG. Agence nationale des ressources hydrauliques (Algérie).

Darvishan, A.K., Behzadfar, M., Spalevic, V., Kalonde, P., Ouallali, A., & El Mouatassime, S. (2017). Calculation of sediment yield in the S2–1 watershed of the Shirindareh River Basin, Iran. *Agriculture and Forestry*, 63, 23–32.

-
- Demmak, A. (1982).** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en suspension en Algérie (Doctoral dissertation, Université Paris IV).
- Dutil, P. (1994).** L'érosion en grande culture. *Revue Technique des Agriculteurs*, (169).
- Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (1995).** USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation (No. 10). National Soil Erosion Research Laboratory.
- Gavrilović, Z. (1988).** The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. In *Proceedings of the International Conference on River Regime* (pp. 411-422). Wallingford, UK.
- Hadjiat, K. (1997).** Etat de dégradation des sols en Algérie. Rapport d'expert PNAE, Banque mondiale.
- Heush, B., Millies, J. L., & Lacrais, A. (1971).** Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin; application au Maghreb.
- Kolman (1976).** Aménagement des bassins versants dans la wilaya de Tiaret. Université d'Ibn Khaldoun de Tiaret.
- Lahlou, A. (1994).** Envasement des barrages au Maroc. Casablanca (Maroc), Edition Wallada.
- Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (2000).** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, 95 p.
- Probst, J. L., & Amiotte-Suchet, P. (1992).** Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Hydrological Sciences Journal*, 37(6), 621-637.
- Roose, E. (1994).** Introduction à la GCES. *Bulletin pédologique*.
- Sabri, E., Spalevic, V., Boukdir, A., Karaoui, I., Ouallali, A., Mincato, R. L., & Sestras, P. (2022).** Estimation of soil losses and reservoir sedimentation: a case study in Tillouguite Sub-Basin (High Atlas-Morocco). *Agriculture and Forestry*, 68(2), 207-220.
- Tecsult International Limitée (2004).** Étude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant-Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (lots nos 5 et 6). Experts-conseils 85, Rue Sainte-Catherine Ouest, Montréal, Québec, Canada.
- Terfous, A., Meghnooui, A., & Bouanani, A. (2001).** Étude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérie). *Revue des sciences de l'eau*, 14(2), 173-185.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning with the Universal Soil Loss Equation (USLE) (No. 537). USDA.

Zeggane, H. (2005). Approche cartographique de l'érosion hydrique à partir des ouvrages hydrauliques existants: cas du bassin versant de l'Oued Isser (W. Boumerdes) (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique).

Les sites web :

[https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2.](https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2)

[https://www.worldclim.org/.](https://www.worldclim.org/)

[http://earthexplorer.usgs.gov.](http://earthexplorer.usgs.gov)
