

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID BENBADIS - MOSTAGANEM



Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département Agronomie
Mémoire de fin d'études
Présenté par :

M^{LLE} NEGGAZ FATIMA ZOHRA

En vue de l'obtention du diplôme de Magister

Spécialité : Sciences Agronomiques

Option : Gestion conservatoire des eaux des sols et de l'environnement

Intitulé :

*''Application du modèle RUSLE et du Système d'Information Géographique S.I.G
pour l'évaluation du degré de sensibilité des sols à l'érosion hydrique.
Cas de la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina''*

Composition du jury de soutenance

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
BAKHTI Abdallah	M.C (A)	Président	U.M.A.B
KOURI Lakhdar	Professeur	Encadreur	U.M.A.B
MEDERBEL Khaladi	Professeur	Examineur	U. Mascara
CHOUIEB Mohamed	M.C (B)	Examineur	U.M.A.B

Année universitaire : 2011 – 2012

REMERCIEMENTS

Bien qu'un mémoire soit un travail individuel, il y a une bonne partie de personnes qui ont rendu possible la réalisation de ce travail et que je tiens à remercier ici.

*J'adresse mes sincères remerciements à **M BAKHTI Abdallah**, Maître de conférences à l'université de Mostaganem, pour son encouragement et surtout du fait qu'il m'honore de présider mon jury.*

*Je voudrais associer dans une même reconnaissance **M CHOUIEB Mohamed** Maître de conférences à l'université de Mostaganem et **M MEDERBEL Khalladi**, Professeur à l'université de Mascara, pour leurs regards critiques et conseils avisés dans le cadre du pilotage de ce travail.*

*Je réserve une mention particulière à mon directeur de mémoire **M KOURI Lakhdar**, Maître de conférences à l'université de Mostaganem, qui m'a accordé sa confiance et son soutien pour mener à bien cette recherche.*

*Je ne saurai oublier le **personnel des conservations des forêts de Tiaret, Relizane et Mascara**, pour la fourniture de documentation qui m'a été très bénéfique.*

*Que Mes Chers collègues **BOUKHALKHAL Hamza**, **FERADJ Fatiha** Cadres dans la conservation des forêts de Mostaganem et **KAOUADRI Kaddour Maamar** Cadre dans l'INRF de Beraki, soient chaleureusement remerciés pour leurs nombreux services. Je ne pourrai oublier leur soutien moral, leur souvenir en moi restera vivace.*

Merci à tous mes proches qui par leur présence ont largement participé à ce projet. A mes chers parents de m'avoir donné les moyens de suivre la voie que j'avais choisie et surtout, pour leur soutien sans limites.

Je remercie tous ceux qui de près ou de loin et à différentes périodes m'ont aidé et accompagné durant la réalisation de ce projet d'étude. Mes frères et mes sœurs qui ont été toujours à mes côtés dans les moments difficiles, et à mon fiancé qui m'a beaucoup aidé et soutenu.

Je souhaite enfin adresser mes plus chaleureux encouragements à ceux qui s'engagent cette année dans la préparation de mémoire de fin d'étude.

NEGGAZ Fatima Zohra.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents ...

Ma mère Fatiha et mon père Abdelkader

Mes Sœurs ...

Imane et Nour El Houda

Mes frères ...

Mohamed Amine et Salah Eddine

A Mon Fiancé ...

Omar.

Résumé -, L'érosion des bassins versants en amont sous toutes ses formes, est considérée comme un problème crucial en Algérie. Elle est à l'origine de l'envasement des ouvrages hydrauliques et la perte de leur capacité. Dans le bassin versant de l'oued Mina, la zone marneuse est un exemple typique, elle constitue un domaine particulièrement riche en formes d'érosion, elle est de loin le plus grand fournisseur de sédiments pour le barrage Es-Saada. Selon les études effectuées sur cette zone objet de nos travaux, on a constaté une complexité du phénomène de l'érosion hydrique, une importante hétérogénéité des sols, un couvert végétal très éparse ou inexistant et une pluviométrie mal répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps. Des éventuelles interventions d'aménagement antiérosif s'imposent, afin de préserver le périmètre d'irrigation en aval et le barrage Es-Saada qui commence à s'envaser à un rythme très rapide ces dernières années.

L'objectif de notre étude, consiste a priori, de spatialiser un modèle ponctuel d'évaluation de l'érosion USLE, en utilisant le Système d'information géographique (SIG) en vue de cartographier et évaluer quantitativement l'érosion hydrique et localiser les secteurs, sources de sédiments. L'équation universelle de perte en sols (USLE) a été appliquée sous sa version révisée RUSLE de manière interactive avec le SIG. Les calculs résultent d'une modélisation des principaux facteurs impliqués dans l'érosion hydrique.

L'indice d'érosivité **R** a été calculé sur la base de la formule de **Rango et Arnoldus 1987**, il varie de **42.15** à **73.86**. Les valeurs du facteur d'érodibilité des sols **K** sont comprises entre **0.059** et **0.463**. Un DEM à résolution de 30m nous a servi pour générer le facteur topographique **LS**, les calculs ont été fait sur la base de la méthode proposée par **Van Remortel et al, 2004**. Les valeurs des facteurs C et P, qui représentent la couverture végétale et les pratiques antiérosives respectivement ont été déterminées par la carte du couvert végétal et des images satellitaires Google earth. Finalement la carte des pertes en sol a été réalisée suite au croisement des différentes cartes thématiques à travers le SIG. Les résultats obtenus montrent que l'intensité de l'érosion et les quantités de sédiments produites, varient essentiellement en fonction de l'occupation actuelle des sols ainsi qu'à la nature des terrains et leur pentes. Les priorités en matière de pratiques de gestion ont été fixées sur la base du risque d'érosion des sols, et du transport de sédiments en aval du bassin versant de l'oued Mina.

Mots clés : bassin versant, oued Mina, marnes, érosion hydrique, Système d'information géographique, modèle universelle de pertes en sol révisé RUSLE, quantification.

Abstract -,The erosion of upstream watersheds in all its forms is considered a crucial problem in Algeria. It is the source of the siltation of hydraulic structures and loss of capacity. In the watershed of Wadi Mina, marly zone is a typical example, it is an area particularly rich in forms of erosion, it is the largest supplier of sediment to the dam-Es Saada. According to studies done on this subject area of our work, there was a complex phenomenon of erosion, a significant heterogeneity of soils, vegetation cover very sparse or no rainfall and poorly distributed both in space in time. Of any anti-erosion management interventions required to maintain the irrigation scheme and dam downstream Es-Saada beginning to silt up at a rapid pace in recent years.

The aim of our study is a priori, one-time spatialized model for assessing erosion USLE, the Geographic Information System (GIS) to map and quantify water erosion and locate the areas, sources of sediment. The universal equation of soil loss (USLE) was applied in RUSLE revised interactively with the GIS. The calculations are the result of modeling of the main factors involved in water erosion.

The erosivity index R was calculated on the basis of the formula Arnoldus and Rango 1987, it ranged from **42.15 to 73.86**. The values of soil erodibility factor K is between **0.059 and 0.463**. A DEM of 30m resolution has been used to generate the topographic factor LS, calculations were made on the basis of the method proposed by **Van Remortel et al, 2004**.The values of C and P factors, which represent the vegetation cover and erosion control practices, respectively, were taken directly from the card cover and satellite images Google earth. Finally the map of soil loss was carried out following the crossing of different thematic maps through the GIS. The results show that the intensity of erosion and sediment loads produced vary substantially according to the present land use and the nature of the terrain and slopes. Priorities of management practices have been established on the basis of the risk of soil erosion and sediment transport downstream of the watershed of the Oued Mina.

Keywords:watershed, Wadi Mina, marls, erosion, Geographic Information System, revised model universal soil loss RUSLE, quantification.

Sommaire

Introduction 1

PREMIERE PARTIE : Etude de l'érosion hydrique et du milieu physique de la zone d'étude

Chapitre 1. Erosion hydrique en Algérie et méthodes d'études..... 4

1. Erosion des sols en Algérie..... 4

1.1. Formes d'érosion hydrique..... 4

1.1.1. L'érosion diffuse (ou érosion en nappe) 6

1.1.2. L'érosion en rigoles 6

1.1.3. L'érosion en ravines..... 7

1.1.4. Les mouvements de masse 7

1.2. Contribution des différents processus érosifs à la sédimentation des réservoirs 8

1.2.1. L'envasement des barrages et retenues 8

2. Approches pour l'étude de l'érosion hydrique 9

2.1. Les mesures directes..... 9

2.1.1. Mesures topographiques 9

2.1.2. Simulation de pluie 9

2.1.3. Mesures par l'étude du transport solide 10

2.1.4. Mesures par l'étude de la sédimentation dans les retenues (envasement)..... 11

2.2. Les mesures indirectes..... 12

2.2.1. Les modèles empiriques : cas de l'équation universelle WISCHMEIER (UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION, USLE) 12

2.2.2. L'équation universelle des pertes en terres révisée (RUSLE) 13

2.2.3. Apport du système d'information géographique dans l'étude de l'érosion 13

2.3. le SIG « Arc GIS » d'ESRI, utilisé dans le cadre de notre étude 14

2.3.1. Shapefile 16

2.3.2. L'extension Arc GIS Spatial Analyst 16

2.3.2.1. Fonctions d'hydrologie de la calculatrice raster (Spatial Analyst)..... 16

2.3.2.2. La Direction des écoulements - FLOWDIRECTION 16

2.3.2.3. L'accumulation des écoulements (FLOWACCUMULATION)..... 17

2.3.2.4. La Vectorisation du réseau hydrographique (STREAMORDER) 17

Chapitre 2. Etude du milieu physique.....	18
1. Localisation de la région d'étude	18
2. Climat	19
2.1. La pluviométrie	20
2.2. Evapotranspiration	24
2.3. Températures.....	26
Source ANRH 2006	26
2.2.4. Humidité, Vent et Insolation.....	26
3. Réseau Hydrographique	27
4. Topographie et paramètres physiographiques	30
5. Géologie et géomorphologie.....	34
6. Géomorphologie et stratigraphie	35
7. Tectonique	36
8. Pédologie.....	36
9. Couvert végétal.....	38
9.1. COUVERT VEGETAL PERMANANT	38
a. Les cultures pérennes	38
b. Le couvert forestier	38
c. Le reboisement.....	39
9.2. Le Couvert Végétal Temporaire.....	39
a. Les cultures annuelles	39
b. Les cultures maraichères	39
2.9.4. Les sols Nus.....	40
2.9.5. Les pâturages	40
 DEUXIEME PARTIE : Evaluation du degré de l'érosion hydrique	
dans la zone des marnes tertiaires.	
Chapitre 3. Méthodologie suivie	44
1. Collecte des données	44
1.2. Adaptation de l'équation universelle de pertes en terre	45
1.3. Modèle d'élévation numérique DEM (MNT)	47
2. Indice d'érosivité des pluies (facteur R)	50
2.1. Indice de Fournier 1960	51
2.2. Indice d'Arnoldus	51
2.3. INDICE DE RANGO et ARNOLDUS	51
2.4. Collecte des données pluviométriques	52
2.5. Régionalisations de l'indice d'erosivite R.....	54
3. Le facteur d'érodibilité du sol K	56
4. Facteur topographique LS.....	63
4.1. Description de l'Algorithme	64
4.2. Calcul de La longueur de la pente.....	65
4.3. La raideur de la pente (inclinaison).....	68
5. Le couvert végétal et les pratiques anti-érosives	68
8. Croisement des cartes.....	71

Chapitre 4. Résultats et discussions	73
1. Indice de l'érosivité des pluies R	73
2. Facteur d'érodibilité des Sols K	77
3. Facteur topographique LS.....	83
3.1. La longueur de pente L.....	84
3.2. L'inclinaison de la pente S.....	85
3.3. Facteur LS :.....	87
4. Couvert végétal et Pratiques anti érosives	89
4.1. Couvert végétal - Facteur C.....	90
4.2. Pratiques anti-érosives - Facteur P :.....	92
5. Distribution spatiale des pertes en sol	95
Chapitre 5. Lutte contre l'érosion hydrique des sols en Algérie et propositions d'aménagements.....	98
1. Projets passés et actuels de protection des bassins versants et de lutte contre l'érosion en Algérie	98
1.1. Les projets recensés.....	98
1.2. Succès et échecs des projets de conservations des sols.....	100
2. Propositions d'aménagement.....	102
2.1. Mesures techniques :	105
2.1.1. Les seuils de correction torrentielle	105
<i>Aspects sociaux et planification participative</i>	<i>105</i>
2.1.2. Les cordons de pierres:.....	106
<i>Aspects sociaux et planification participative</i>	<i>106</i>
2.1.3. RETENUES COLLINAIRES	106
<i>Aspects sociaux et planification participative</i>	<i>106</i>
2.2. Amélioration des systèmes de production (pratiques agricoles)	107
2.2. Mesures biologiques.....	108
2.2.1. Reboisement.....	108
<i>Aspects sociaux et planification participative</i>	<i>108</i>
2.2.2. Haies vives.....	109
<i>Aspects sociaux et planification participative</i>	<i>109</i>
2.2.3. Revégétalisation.....	110
<i>Aspects sociaux et planification participative :</i>	<i>110</i>
2.2.4. Plantation d'opuntia	110
2.2.5. Plantations fruitières.....	111
Conclusion générale	113
Références Bibliographiques	110
Anenexes	

Liste des abréviations

Liste des abréviations:

- ☛ ABHC - Agence du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez
- ☛ ANBT - Agence Nationale des Barrages et des Transfer
- ☛ ANRH - Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- ☛ BNEDER- Bureau National Etudes pour le Développement Rural
- ☛ DEM - Digital Elevation model
- ☛ OPE - Office pour l'exécution des projets PNUD
- ☛ ETP - Évapotranspiration potentielle
- ☛ GCES - Gestion conservatoire des eaux et des sols
- ☛ GTZ - Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, agence de coopération technique allemande pour le développement.
- ☛ IFG - Institut des géosciences appliquées.
- ☛ INCT - Institut national de cartographie et de télédétection.
- ☛ INRF - Institut national de recherche forestière.
- ☛ METI - Ministère de l'économie, du commerce extérieur et de l'industrie du Japon. (Ministry of Economy, Trade and Industry)
- ☛ NASA - Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace - National Aeronautics and Space Administration
- ☛ ONM - Office national de la météorologie
- ☛ ORGM - Office National de Recherche Géologique et Minière
- ☛ PNUD - Programme des Nations unies pour le développement
- ☛ RGPH - Recensement Général de la Population et de l'Habitat
- ☛ RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation
- ☛ SIG - système d'information géographique
- ☛ USDA - United States Department of Agriculture
- ☛ UTM - Universal Transverse Mercator

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1- <i>Distribution des formes d'érosion sur un bassin. Soutter 2007.....</i>	5
FIGURE 2 - <i>Interface arc catalogue.</i>	15
FIGURE 3. <i>Boite à outils (arctoolbox)</i>	15
FIGURE 4. <i>Direction des écoulements</i>	17
FIGURE 5. <i>Accumulation des écoulements.....</i>	17
FIGURE 6. <i>Réseau hydrographique</i>	17
FIGURE 7. <i>Localisation de la zone marneuse du bassin versant de l'oued mina.</i>	19
FIGURE 8. <i>Précipitations moyennes mensuelles (en mm), dans la zone des marnes tertiaires.</i>	20
FIGURE 9. <i>Répartition des moyennes annuelles de la zone d'étude. (1969/70 -2005-06). Source de données ONM Oran.</i>	21
FIGURE 10. <i>Pluviométrie annuelle (en mm) de la période 1969 – 2006 à sidi m'Hamed Benaouda.....</i>	22
FIGURE 11. <i>Pluviométrie annuelle (en mm) de la période 1969 – 2006 à Sidi Aek Djilali.</i>	22
FIGURE 12. <i>Pluviométrie annuelle (1918-2006) oued el Abtal. Source ONTF 1999 et ONM Oran.....</i>	22
FIGURE 13. <i>Précipitation et évapotranspiration sur le bassin versant de l'oued mina.</i>	24
FIGURE 14. <i>Carte simplifiée de l'évapotranspiration source : anrh, 2006</i>	25
FIGURE - 15. <i>Répartition des bassins hydrographiques. Source : abhcz.com.dz.</i>	27
FIGURE 16. <i>Réseau hydrographique dans la zone marneuse du bassin de l'oued mina.</i>	29
FIGURE 17. <i>Vue 3d montrant le relief de la zone des marnes tertiaires.....</i>	31
FIGURE 18. <i>Carte des expositions de la zone marneuse.</i>	32
FIGURE 19 . <i>Distribution des classes de pentes dans la zone marneuse.....</i>	33
FIGURE 20. <i>Répartition des classes d'altitude dans la zone des marnes tertiaires.</i>	34
FIGURE 21. <i>Les ensembles géographiques du bassin versant de l'oued mina.</i>	35
FIGURE 22. <i>Carte lithologique de la zone des marnes tertiaire</i>	37
FIGURE 23. <i>La carte du couvert végétal de la zone d'étude et sa vérification sur google earth</i>	41
FIGURE 24. <i>Figure google earth.</i>	42
FIGURE 25. <i>Répartition du couvert des terres du bassin versant de l'oued mina</i>	43
FIGURE 26. <i>Organigramme méthodologique de l'intégration de l'équation universelle de perte en sol.....</i>	46
Figure 27. <i>Informations raster et références spatiale concernant le DEM utilise dans notre étude.....</i>	48
FIGURE 28. <i>DEM de la zone marneuse.....</i>	49
FIGURE 29. <i>Localisation des stations météorologiques utilisées dans le calcul du facteur R par rapport aux limites du bassin versant.</i>	53
FIGURE 30. <i>Organigramme de la détermination du facteur R.</i>	55
FIGURE 31. <i>Distribution des sols en fonction du materiel parental et l'etage bioclimatique.</i>	58
FIGURE 32. <i>Triangles des classes texturales internationalement reconnues utilisees par l'USDA.</i>	59
FIGURE 33. <i>Organigramme de détermination de l'indice d'érodibilité des sols k.</i>	62
FIGURE 34. <i>Organigramme de détermination du facteur LS</i>	65
FIGURE 35. <i>Les valeurs de m utilisées dans l'algorithme</i>	67

FIGURE 36. Code utilise pour le calcul de la longueur de pente dans chaque cellule	68
FIGURE 37. -lignes de commande utilisées pour le calcul de la raideur de la pente.	68
FIGURE 38. L'outil map calculateur ou raster calculateur du module spatial analyst.	72
FIGURE 39. Modèle gaussien.....	74
FIGURE 40. Modèle sphérique	74
FIGURE 41. Modèle exponentiel.....	74
FIGURE 42. Cross validation de l'erreur type	75
FIGURE 43. Répartition du degré de l'érosivité des pluies dans la zone marneuse	77
FIGURE 44. Carte lithologique de la zone d'étude.....	78
FIGURE 45. Répartition du taux de la matière organique dans la zone des marnes.	79
FIGURE 46. Classes d'érodibilité du sol facteur k.	80
FIGURE 47. Facteur d'érodibilité des sols k	82
FIGURE 48. L'exécution du programme lsfac_c.exe pour calculer le facteur ls.....	83
FIGURE 49. Output files from the c++ program.....	83
FIGURE 50. Classes de la longueur de pente l.....	84
FIGURE 51. longueur de pente l, calculée par le programme lsfac_c, (Résolution xy : 24,4 ; 24,4 min = 0, max : 60,23131, mean : 1,3060, std_dev=2,5069)	85
FIGURE 52. Classes de l'inclinaison de pente S	86
FIGURE 53. L'inclinaison de la pente s : calculée par le programme lsfac_c, (résolution xy : 24,4*24,4, min = 0, max : 26,77, mean : 2,14, std_dev= 2,17).	87
FIGURE 54. Classes du facteur topographique ls.	88
FIGURE 55. Le facteur ls : calculée par le programme lsfac_c, (résolution xy : 24,4. 24,4, min = 0, max : 150,04, mean : 2,26, std_dev= 3,31).	89
FIGURE 56. Facteur c du couvert végétal	91
FIGURE 57. Pratiques anti érosives [source google earth], terrasses.	93
FIGURE 58. Facteur p des pratiques anti-érosives.	94
FIGURE 59. Distribution des valeurs des facteurs R, K, LS, C et P.	96
FIGURE 60. Risque d'érosion dans la zone des marnes tertiaires selon RUSLE.	97
FIGURE 61. Zone prioritaires aux traitements anti-érosives dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued mina	104
FIGURE 62. 1 : seuil en pneus usés ; 2 : seuil en gabion ; 3 : seuil en sacs de plastique.....	105
FIGURE 63. Cordons de pierres	106
FIGURE 64. Cultures intercalaires de fèves sous abricotier (Algérie).....	107
FIGURE 65. Haie vive antiérosive Algérie.....	109
FIGURE 66. Plantation d'opuntia.....	111

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX:

<i>TABLEAU 1- l'évolution de la capacité de réservoir et la progression du taux d'envasement.</i>	11
<i>TABLEAU 2 - Superficie et coordonnées géographiques du bassin versant de l'oued mina et de la zone marneuse.</i>	18
<i>TABLEAU 3. Températures moyennes mensuelles (°c), stations de sidi M'Hamed Benaouda et de Mecheraa Sfaa 1969 -2006.</i>	26
<i>TABLEAU 4. Humidité dans le bassin versant de l'oued mina. Source anrh, 2006.</i>	26
<i>TABLEAU 5. Comparaison entre ASTER GDEM, SRTM3*, et GTOPO30**</i>	47
<i>TABLEAU 6. Coordonnées géographiques et périodes d'observation des stations météorologiques.....</i>	52
<i>TABLEAU 7. Texture la plus probable selon la nature du materiel parental (Gray et Murphy 1999)</i>	57
<i>TABLEAU 8. Les moyennes de sable, limon, et argile calculées par Shirazi et al, 2001 et l'usda.</i>	60
<i>TABLEAU 9. Taux de matière organique attendu selon le type du couvert végétal.....</i>	61
<i>TABLEAU 10. Le code de la structure et perméabilité selon la texture générale des sols.</i>	62
<i>TABLEAU 11. Valeur du facteur couvert végétal (c) au Maghreb</i>	70
<i>TABLEAU 12. Valeurs du facteur p selon wischmeier et smith 1978</i>	71
<i>TABLEAU 13. Résumé de la méthodologie suivie.....</i>	71
<i>TABLEAU 14. Précipitations moyennes annuelles (mm) et valeur de r moyen pour la période 69/70-2005/06</i>	73
<i>TABLEAU 15. Erreur type pour les trois modèles statistiques utilises</i>	75
<i>TABLEAU 16. Calcul de l'indice d'érodibilité des sols K, dans la zone marneuse</i>	80
<i>TABLEAU 17. Valeurs du facteur c :</i>	90
<i>TABLEAU 18. Valeurs du facteur p :.....</i>	92
<i>TABLEAU 19. Interventions suggérées dans la zone d'étude</i>	102
<i>TABLEAU 20. Pratiques antiérosives proposées en fonction du degré de l'érosion hydrique</i>	103

LISTE DES ANNEXES

Annexe1 -tableau de synthèse litho-géologique du bassin versant de l'oued Mina

ANBT 2006 .Bassin : Oued Mina - Code : 05_19 - Superficie (Km2) : 4801.4.

Annexe 2 - Types de Socle Rocheux et de matériels meubles selon l'USDA - Texture générale et texture détaillée.

Annexe n°3. Table des classes texturales détaillées des sols (USDA) et Shirazi et al, 2001.

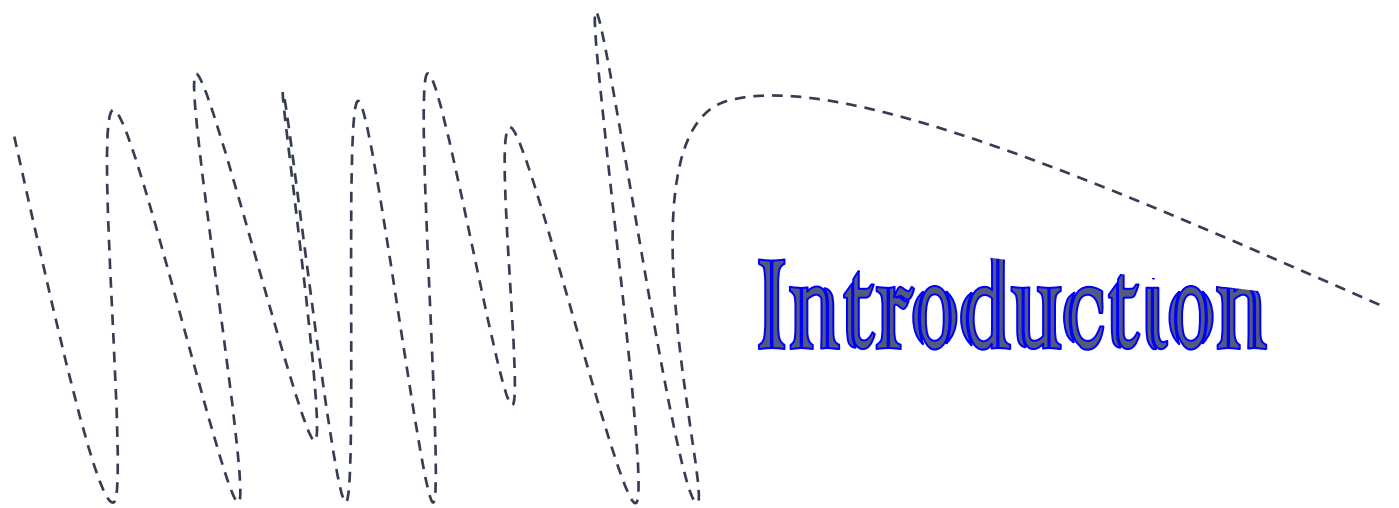
Annexe n°04 : Caractéristique physico-chimique et comportement des types de sols dans la zone des marnes tertiaires - **KOURI 1993.**

Annexe 5 - Facteur d'érodibilité des Sols K (RUSLE) en fonction de la texture du sol et du taux de la matière organique.

Annexe 06 - Table du coefficient de la couverture végétale (C de RUSLE) en fonction du type de couvert végétale

Annexe 07 - Interface ARCGIS et tables Attributaires

Annexe 8 - Photographie de la zone d'étude



Introduction

Introduction

L'érosion hydrique des sols est un phénomène très répandu, et généralement irréversible. Sa complexité se manifeste par une diversité régionale importante des facteurs qui le limitent ou le favorisent et ses conséquences désastreuses et spectaculaires offrent un paysage nu et sillonné, particulièrement dans les régions à réseau d'écoulement dense.

En Algérie septentrionale, l'érosion hydrique reste un problème majeur qui s'est accélérée suite aux défrichements des forêts et maquis protégeant les sols sensibles. Chaque année, plus de 1 million de m³ de sédiments sont déposés en mer. Selon les océanographes, cet apport de sédiments contribue largement à la stabilisation du système côtier. Cependant, il présente une gravité majeure dans la gestion conservatoire des ressources en eau et en sol (**Touaibia, 2000**). L'Algérie est, de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion (**Demmak, 1982**).

La partie Ouest du pays est la plus érodée, étant donné que 47 % de l'ensemble de ses terres sont touchées; Le bassin versant de l'oued Mina en est un exemple typique, il constitue un domaine particulièrement riche en formes d'érosion et qui reste encore très mal connue, malgré les diverses études réalisées, particulièrement dans la zone des marnes tertiaires (**Kouri, 1993; Gomer, 1994; Touaibia, 2000**).

Cette dernière, occupe environ le cinquième de la surface totale du bassin versant de l'oued Mina, et semble être la plus productive en sédiments (**Gomer, 1994**), menaçant par un envasement précoce le barrage Es-Saada destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Relizane et à l'irrigation de la plaine de la Mina.

Selon les études effectuées dans cette zone qui a fait l'objet de nos travaux, on a constaté une complexité du phénomène de l'érosion hydrique, une importante hétérogénéité des sols, un couvert végétal très éparse ou inexistant et une pluviométrie mal répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps. Ainsi la quantification de l'érosion hydrique et l'étude des ravinements ont été entreprises par plusieurs chercheurs à savoir **Kouri 1993, Kouri et al. 1997, Gomer 1994, Touaibia 2000, Touaibia et Achit 2003, Touaibia et al. 1992, Touaibia et al. 1999**).

Cependant et à l'échelle régionale, l'érosion hydrique reste difficile à évaluer, la variation du climat exige au moins 10 années de données pour obtenir une moyenne annuelle exacte des pertes en sol et les mesures directes en de nombreux points dans une région ne sont pas pratiques. C'est ainsi que les travaux de simulation de pluie et ceux effectués dans des micro bassins versants dans la zone marneuse du bassin de l'oued Mina par **Touaibia 2000**, n'ont pas permis la généralisation des résultats sur l'ensemble du bassin.

De ce fait, La lutte contre l'érosion hydrique en particulier, et la complexité de ce phénomène imposent, l'utilisation de méthodes et de moyens performants pour la gestion de l'information géographique.

Actuellement, les chercheurs utilisent couramment des méthodes de prévision d'évaluation régionale du risque d'érosion hydrique sous des conditions variables. Les méthodes utilisées varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail.

Les techniques de cartographie numérique, depuis les traitements d'images satellitaires jusqu'aux systèmes d'information géographique (SIG) en se fondant sur l'équation universelle de pertes en sols de Wischmeier sont de plus en plus utilisées. Elles permettent d'une part, de quantifier les pertes annuelles en sol et d'autre part, d'identifier et de cartographier les surfaces des sols nécessitant l'intervention et réduire les apports solides au niveau des retenues de barrage.

Le modèle **USLE** qui a été développé comme un outil pour aider la conservation des sols dans la planification agricole a résisté avec succès à ces défis, en dépit de son application à des situations autres que celles pour lesquelles il a été développé.

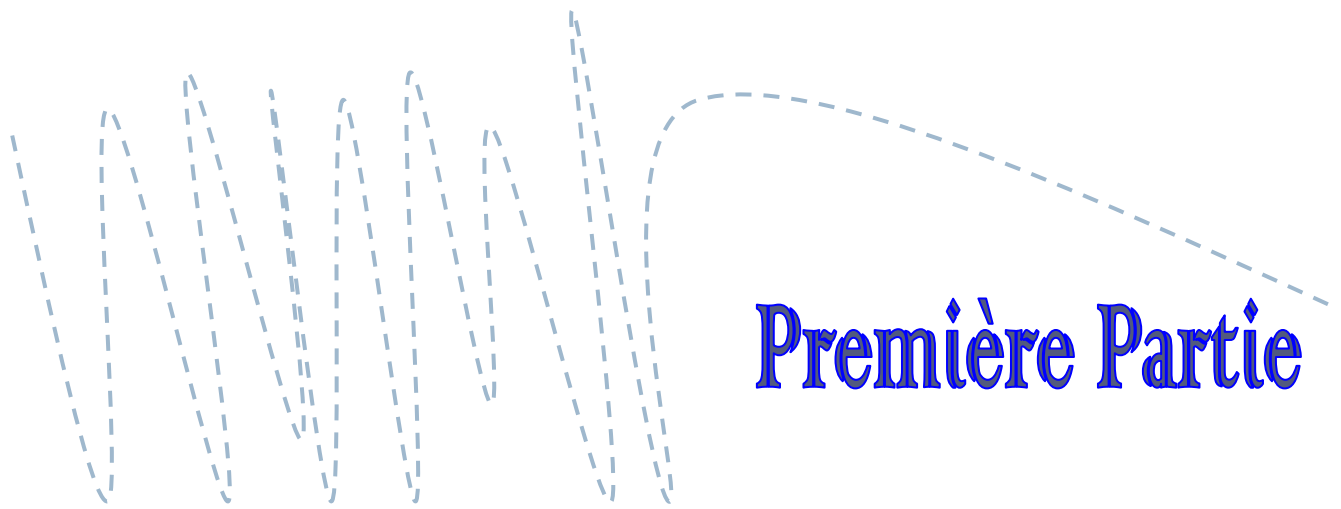
Au fil des ans, les méthodes d'étude de l'érosion du sol n'ont cessé d'évoluer. C'est ainsi que le modèle (**USLE**) a été modifié et amélioré pour donner l'équation universelle révisée des pertes en sol (**RUSLE**). Cette dernière est parmi les principales approches développées actuellement. Elle utilise les mêmes principes empiriques USLE, mais comprend de nombreuses améliorations, telles que l'utilisation des précipitations mensuelles, des pentes irrégulières, et l'amélioration des calculs du facteur topographique LS par les algorithmes associés aux SIG.

L'approche expérimentale adoptée ici, consiste à évaluer des pertes en sol moyennes annuelles dans la zone marneuse du bassin versant de l'Oued Mina, en spatialisant, l'équation universelle des pertes en sol USLE, sous sa version révisée **RUSLE**.

Les calculs ont nécessité la cartographie et l'analyse des principaux facteurs impliqués dans l'érosion hydrique à savoir : l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, la topographie du terrain (inclinaison et longueur de pente), le couvert végétal et les pratiques antiérosives, ce qui a permis d'évaluer la quantité des sols pouvant être détachée annuellement pour chaque pixel de la zone des marnes.

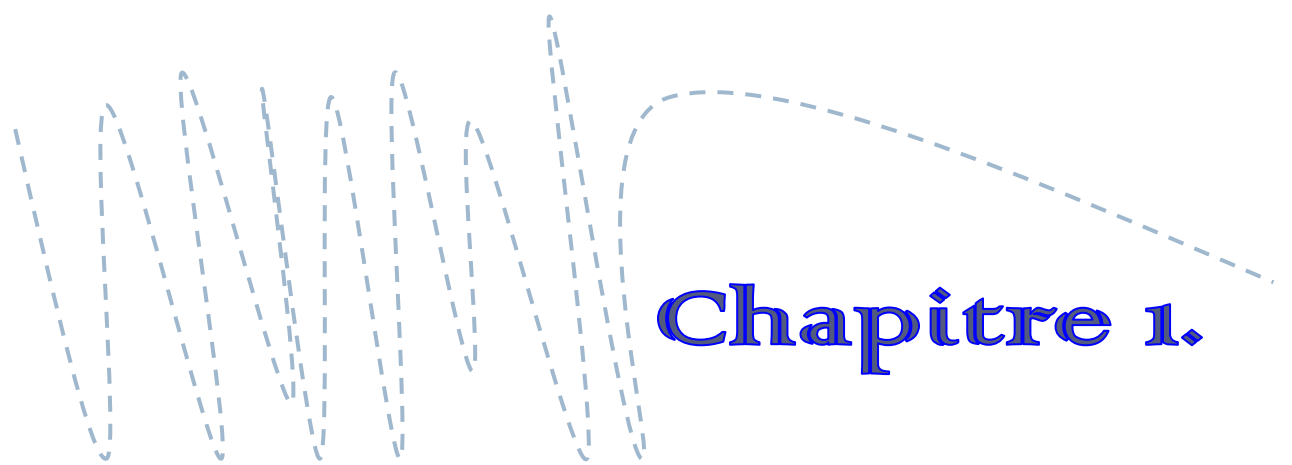
Notre travail expose dans une première partie une recherche bibliographique conséquente dans le souci de mieux connaître le phénomène de l'érosion hydrique en Algérie et bien évidemment les caractéristiques du milieu se rapportant à la zone d'étude; la deuxième partie contient trois chapitres abordant respectivement la méthodologie suivie, les résultats et discussions, et enfin le dernier chapitre est consacré aux projets de protection des sols en Algérie et des propositions d'aménagement.

Nous espérons, par le biais de ce travail, pouvoir contribuer à répondre au mieux à l'attente des responsables concernés par la lutte antiérosive. Nous souhaitons l'exploitation de cette technologie de quantification de l'érosion hydrique, dans les différents programmes de conservation des sols et des eaux surtout au niveau des zones semi – arides et arides touchées par l'érosion hydrique. Cette dernière est de nos jours un souci mondial.



Première Partie

**Eude de l'érosion hydrique
et du milieu physique de la zone d'étude**



Chapitre 1.

Aperçu sur l'érosion hydrique en Algérie et méthodes d'études

Chapitre 1. Aperçu sur l'érosion hydrique en Algérie et méthodes d'études

1. Erosion des sols en Algérie

Le terme érosion, englobe toutes les formes d'usure affectant la couche superficielle de l'écorce terrestre. Ces formes se distinguent habituellement selon la nature de l'agent en cause : érosion hydrique, éolienne, glaciaire, fluviale, anthropique, etc. (Soutter et al, 2007).

Selon Pouquet 1952, l'érosion des sols en Algérie, était principalement géologique ; Cependant, d'autres chercheurs ont attribué les principales causes de ce phénomène à l'accélération de la destruction du couvert végétal forestier protecteur des sols (Despois, 1949) ou encore à l'exploitation des terres agricoles en zones très montagneuses (Benchetrit, 1972).

L'Ouest du pays est le plus touché, 47% de l'ensemble de ses terres sont érodées. Au centre et à l'Est on note des valeurs de 27 et 26% respectivement (Achite et al, 2006). L'érosion spécifique varie de 2 000 à 4 000 T/Km²/an et le taux d'envasement est supérieur à 15%. L'Algérie est de ce fait, l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion.

1.1. Formes d'érosion hydrique

L'érosion hydrique se produit en trois phases : l'ablation des particules du sol (détachement), leur transport ou déplacement suivi par le dépôt ou la sédimentation. Selon Rampon 1987, cette trilogie classique, détachement – transport – sédimentation, n'est pas reconnue par tous les chercheurs. Pour certains, le dépôt subséquent des particules est un phénomène indépendant qu'ils nomment sédimentation.

Dans le phénomène de l'érosion hydrique ; La notion *d'érosivité des pluies* décrit la capacité de la pluie à causer des pertes en sol (Hudson, 1981). *L'érodibilité*, traduit quant à elle la sensibilité des sols à l'érosion, en revanche, *l'érodabilité* exprime la sensibilité globale d'un milieu (sol-végétation) à l'égard de l'érosion hydrique (érodabilité des terres). (Soutter et al, 2007).

Le ruissellement superficiel, principal facteur de déplacement des particules de sol, peut prendre l'une des formes suivantes : écoulement large d'une hauteur relativement uniforme (*érosion en nappe*) ; écoulement préférentiel dans des structures peu profondes, susceptibles d'être éliminées par les intempéries ou le travail du sol (*érosion en rigole*), ou écoulement dans des structures plus marquées et plus durables (*érosion en ravines*) (Soutter et al, 2007). Fig-1.

Les glissements de terrain, et le sapement des berges, sont considérés comme des formes particulières de l'érosion hydrique, dans le cas où leur cause réside en un affaiblissement hydrique.

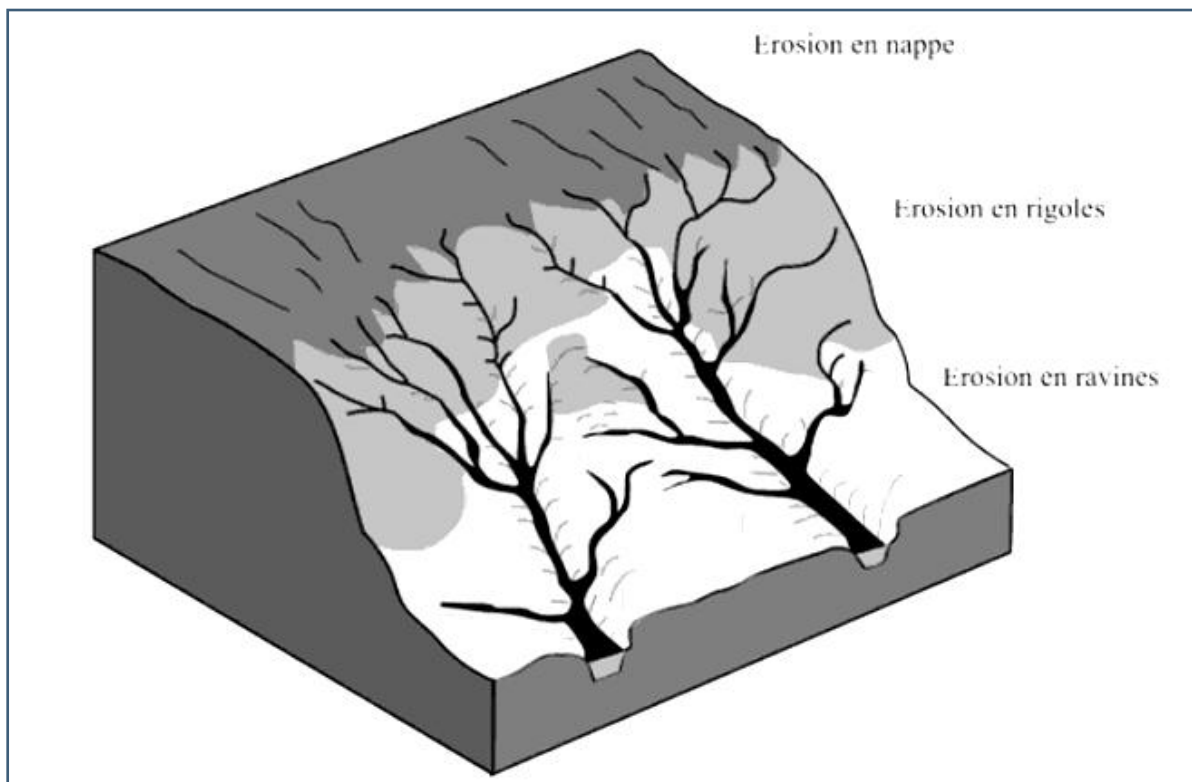


FIGURE 1- Distribution des formes d'érosion sur un bassin, Soutter 2007.

1.1.1. L'érosion diffuse (ou érosion en nappe)

Dès que le sol cesse d'absorber les eaux pluviales, la vitesse du ruissellement augmente et conjointement avec les particules arrachées par battance, exercent un effet mécanique capable d'entraîner le détachement d'autres particules.

L'érosion diffuse est difficile à détecter sur le terrain car les sols perdent une mince couche de façon plus ou moins uniforme. **Roose 1994**, rapporte qu'une importante érosion de **15 à 30 t/ha/an** correspond à une perte de hauteur de **1 à 2 mm**.

Par ailleurs, ce processus est rarement présent dans les champs. **Roose 1994**, explique ça par rapport au foisonnement des terres, à la rugosité du sol après les travaux culturaux (**H = 2 à 10 cm**) ou par rapport à la respiration des sols à argile gonflante (**H** de plusieurs centimètre après réhumectation).

1.1.2. L'érosion en rigoles

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration à la surface du sol, l'écoulement commence et se concentre sur des lignes de plus forte pente. L'érosion en rigole indique, selon **Roose 1994**, que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol, et d'emporter des particules de plus en plus grosses. Selon ce même auteur, on parle **de griffes**, lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, et de **rigoles** lorsque les canaux dépassent **10 cm** de profondeur, mais sont encore effaçables par les techniques culturales.

1.1.3. L'érosion en ravines

L'érosion en ravines se produit lorsque les rigoles touchent non seulement à l'horizon de surface, mais érodent également les horizons sous-jacents à un point où les pratiques agricoles ne peuvent effacer les traces. Sur des micro-bassins expérimentaux situés à Souagui à Médea, **Bouguerra 1985**, a démontré que le ravinement est une forme prédominante dans le processus global de l'érosion.

Kouri et al. 1997, signalent que les facteurs influençant l'érosion en ravines dans la région de l'oued Mina sont le type de marne, la pente, l'exposition des versants, l'utilisation du sol et la morphologie des parois des ravines. L'influence de la pente a également été observée par **Morsli et al, 2004**.

1.1.4. Les mouvements de masse

À l'encontre de l'érosion en nappe, en rigoles et en ravines qui déplacent les sols sous forme de particules ou d'agrégats de façon lente ; les mouvements de masse et les coulées de boue, peuvent déplacer des blocs de sols de façon spontanée lente, ou rapide.

Suite à l'analyse de 32 mouvements de terrain dans le bassin versant du Rhumel constantinois, **Rullin et Perchirin 1989**, ont signalé que la majorité se développent soit sur des terres non cultivées à fortes pentes (> 25 %) ou bien sur des terres ensemencées mais avec un couvert végétal peu protecteur. Il a également été noté que près d'un quart des mouvements de masse résultent de matériaux argileux, gorgés d'eau. Travaillant dans la même région, (**Benaïssa 1998, Benaïssa & Bellouche 1999 et Marmi et al, 2008**) ont également noté cette influence des formations géologiques.

1.2. Contribution des différents processus érosifs à la sédimentation des réservoirs

Heusch 1970, a été l'un des premiers à comparer les types d'érosion, du point de vue contribution à la charge sédimentaire dans les oueds marocains ; l'ordre obtenu était le suivant : Érosion en nappe, en rigole, en ravines et mouvements de masse.

Par contre, en Algérie, **Brahamia 1993** et **Mazour 1992** ont confirmé la faiblesse de l'érosion en nappe sur des parcelles situées respectivement dans le bassin versant de l'Isser et de l'Oued Mina. Pour leur part **Roose et al. (1993)**, ont démontré que l'érosion en nappe n'est pas un processus actif sur les versants algériens, à cause de la richesse des sols en cailloux et en argile saturée en calcium. **Amireche 1994** et **Kouri et al. 1997** ont signalé la même chose dans le Tell nord constantinois et la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina.

1.2.1. L'envasement des barrages et retenues

En Algérie les **52** grands barrages reçoivent 32 millions de m³ de matériaux solide annuellement (**Remini, 2010**). Selon **Boudjadja et al., 2003**, les ouvrages de retenues des eaux ne contiennent que la moitié de leur volume compte tenu de leur envasement.

La durée de vie pour la majorité des barrages est d'à peine une trentaine d'années (**Remini. 1999**), La diminution progressive de leur capacité de stockage est causée par le taux élevé de capture des sédiments (plus de 90 %), transportés continuellement par les oueds alimentant les réservoirs (**Remini et Hallouche, 2003**).

L'envasement, peut endommager les infrastructures, telles les turbines et les vannes, et même entraîner le déclassement du barrage (**Boudjadja et al., 2003**) en provoquant l'arrêt provisoire de son exploitation. Par exemple, les barrages de Keddara, Fergoug, Oued Fodda, Ghrib, Beni Amrane, Ksob, Foug El Gherza, Foug El Gueïss, Ain Dalia, Hamman Grouz ont tous été mis en arrêt provisoire d'exploitation en partie dû à l'envasement. Par ailleurs, des coûts sont également associés à la chasse des sédiments par les vannes de fond, un procédé dont l'efficacité est variable.

2. Approches pour l'étude de l'érosion hydrique

Les méthodes utilisées dans l'évaluation de l'érosion hydrique varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail. La quantification peut se faire par, mesures directes ou indirectes.

2.1. Les mesures directes

2.1.1. Mesures topographiques

Le principe est basé sur le suivi de l'évolution topographique de la surface du sol par :

- ☛ Rugosimètre : la variation de la hauteur du sol est estimée par rapport à un plan de référence.
- ☛ Suivi de l'évolution des ravines : la variation des dimensions de certaines sections des ravines se mesure, après chaque événement pluvieux.

2.1.2. Simulation de pluie

L'objectif est de déterminer certaines caractéristiques hydrodynamiques des sols, à petite échelle et sous diverses conditions de pluie et de sols.

La première simulation de pluies en Algérie, a été réalisée en **1992 par Touibia et al**, au niveau de la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina. L'estimation de l'érosion spécifique a été calculée pour différentes couvertures végétales, pentes et types de sol. Les premiers résultats, obtenus ont permis d'avoir une idée sur l'influence du couvert végétal et de la pente sur l'érosion, mais pas autant pour tirer une conclusion quant à la quantité de terre arrachée.

Dans la même zone d'étude, **Touibia et al**, ont retenté l'expérience en **1999**. Une simulation géante a été faite, dans le but de quantifier l'érosion à plusieurs échelles spatiales d'une part, et de rechercher un modèle régressif pouvant expliquer la relation entre débit solide et liquide pour les différentes formes d'érosion d'autre part.

L'effet "état de couverture du sol", manifeste quelles que soient la nature du sol, la pente du terrain et l'échelle spatiale considérée. Cependant, il était quasiment impossible d'extrapoler les résultats.

2.1.3. Mesures par l'étude du transport solide

La notion débit solide, consiste à la mesure ou à l'estimation de la masse des matières solides, qui traversent une section donnée d'un cours d'eau par unité de temps, d'où le terme « transport solide ».

En Algérie, Le transport solide est mesuré dans les stations hydrométriques des bassins versants pour la quasi-totalité des épisodes d'écoulement. Généralement, on se limite au débit en suspension, car l'estimation du charriage représente toujours un problème dont la solution n'est pas complète (**Touaibia 2000, Larfi 2001, Elahcen et Remini 2009**).

Un grand nombre de chercheurs ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes du transport solide et de quantifier les volumes des sédiments transportés (**Tixeront 1960, Milliman et Meade 1983, Sogreah 1983, Walling 1984, Heusch 1986, Lahlou 1990**).

La recherche de modèles reliant les paramètres hydro climatiques (précipitations, écoulements et/ou transport de matériaux solides) a fait également l'objet de nombreuses études, **Demmak 1982, Kattan et al. 1987, Probst et al. 1992, Terfous et al 1999, 2001 et 2003, Megnounif et al 2000 et 2003, Touiaibia 2000, 2003, Ghenim 2001, Achite 2002, Benkhaled et al. 2003**, ont tous fait des travaux dans le but d'expliquer les phénomènes de l'écoulement et du transport solide et de mettre en évidence des relations susceptibles d'être appliquées à des régions où les mesures sont rares ou inexistantes.

L'influence de la saison sur les charges en suspension, a été mis en évidence par **Bourouba 1997 et 1998** en étudiant sur une période de dix années, les oueds Djendjen et Seybouse à Jijel de façon individuel, par **Meddi 1999**, dans le cas de l'oued Ebda, un affluent de Cheliff et également par **Terfous et al., 2001** dans le bassin versant de l'Oued Mouilah à Tlemcen. Les résultats obtenus montrent que les plus fortes concentrations de sédiments sont mesurées en automne, cela est dû aux pluies torrentielles qui s'abattent sur des matériaux fins désagrégés et facilement mobilisables.

2.1.4. Mesures par l'étude de la sédimentation dans les retenues (envasement)

L'estimation de la quantité des sédiments déposés dans une retenue dépend de deux paramètres : la densité (qui varie en fonction du temps, la position dans la retenue, la granulométrie, la composition minéralogique, l'épaisseur des dépôts, le niveau de l'eau dans la retenue et l'âge des dépôts), et le volume des sédiments (qui est déterminé sur la base d'une comparaison topographique de la cuvette avant et après mise en eau du barrage). La détermination de la profondeur des sédiments par rapport à la surface d'eau est appelée bathymétrie.

En 2003, la Direction de la Maintenance et du Contrôle de l'ANBT a effectué un rapport technique sur le barrage d'Es-Saada. Son réservoir a perdu près d'un tiers (81,3 hm³) de sa capacité initiale (235 hm³) depuis sa mise en service en 1978. Soit une diminution d'environ 3,25 hm³/an.

Actuellement, la capacité du barrage d'Es-Saada est de 153,7 hm³. En 1985, cette valeur atteignait 225,6 hm³ selon le rapport d'expertise produit en 1987 par la Société Géokart ; il résulte, que l'envasement a connu une accélération accrue au cours de la dernière décennie (plus de 70 hm³), comparé à une perte d'à peine 10 hm³ au cours des premières sept années d'exploitation. La diminution, accrue de la capacité du barrage, pourrait s'expliquer en partie par l'exode rural massif des années 1990 combiné à des fréquents épisodes pluvieux de forte intensité. L'évolution de la capacité de réservoir du barrage et la progression du taux d'envasement dans le temps sont présentées dans le tableau 2-1.

TABLEAU 1-l'évolution de la capacité de réservoir et la progression du taux d'envasement.

Barrage Es-Saada Année de mise en service - 1978								
Capacité(Hm ³)					Envasement / an			
Initial	en 1985	en 2000	Actuelle	% actuelle de perte	moyenne vant(Hm3) 1985	Moyenne (hm3) 1985-2003	moyenne(hm3) actuel	Envasement %
235	225,58	159,42	153,709	35,6	1,35	4	3,25	1,38

2.2. Les mesures indirectes

Les phénomènes de l'érosion sont le résultat d'interactions de complexes variables dans le temps et l'espace. Dans une optique d'évaluation des risques ou d'établissement de schémas d'aménagement pour la conservation des sols, le recours à la modélisation peut constituer un outil d'aide à la décision, et surtout à prévoir les risques futurs sous des conditions variables, ce qu'on appelle les mesures indirectes.

Contrôler l'érosion hydrique, et prédire ses risques, a commencé depuis **1932** avec des modèles empiriques. De nombreux essais ont été conduits aux Etats-Unis, sous la direction du service de la conservation du sol et du Ministère de l'Agriculture des Etats Unis d'Amérique USA.

2.2.1. Les modèles empiriques : cas de l'équation universelle WISCHMEIER (UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION, USLE)

Les premières formules établissant la perte en sol, sont apparues en **1940** pour le centre des USA. **Zing 1940** a été un des premiers à établir une équation reliant les pertes de sol à la pente et à sa longueur. **Smith 1941**, fait intervenir les types de cultures et les pratiques de conservation. **Browing et al. 1947, Vandoren en 1956**, introduisent la notion d'érodibilité du sol (**Sine 1970**).

Vingt (**20**) ans après la mise en place des essais d'érosion, il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion, dont il est convenu de faire la synthèse. L'objectif de **wischmeier et smith 1960 et 1978**, était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé (**Roose, 1994**).

Selon l'USLE, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies (le facteur **R**, qui est égale à l'énergie potentielle) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprends **K** (l'érodibilité des sols), **S L** (lecteur topographique), **C** (le couvert végétal et les pratiques culturales), et **P** (les pratiques anti érosives). C'est une fonction multiplicative, de tel sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers zéro.

Son principe est de comparer l'érosion d'un site quelconque à l'érosion d'une parcelle témoin ayant une longueur de **22 m** et une pente de **9%** sur jachère nue, c'est à dire labourée périodiquement de manière à ce qu'aucune végétation ne puisse s'y développer et telle que le sol ne puisse former une croûte superficielle.

Les limites de l'USLE selon (Roose 1994)

- ☛ Il ne s'applique qu'à l'**érosion en nappe**
- ☛ testé et vérifié dans des **paysages de pénéplaines et de collines** sur des pentes de **1 à 20 %**.
- ☛ la relation entre l'énergie cinétique et l'intensité des pluies utilisée généralement n'est valable que dans la plaine américaine et pas en montagne.
- ☛ Enfin une limite importante de ce modèle, c'est qu'il **néglige certaines interactions** entre les facteurs pour pouvoir distinguer plus facilement l'effet de chacun des facteurs

2.2.2. L'équation universelle des pertes en terres révisée (RUSLE)

Au fil des ans, les fondements scientifiques de l'érosion du sol n'ont cessé d'évoluer. C'est ainsi que l'outil le plus utilisé pour prévoir l'érosion hydrique – l'Équation universelle des pertes de sol (USLE) (**Wischmeier et Smith, 1978**) – a été modifié et amélioré pour donner l'équation universelle révisée des pertes en sol (**RUSLE**) (**Renard et al., 1997**).

Les diverses modifications de cette équation sont appliquées à l'estimation de la perte de sol à l'aide du **SIG** (**Warren et al. 1989**). Le modèle révisé **RUSLE**, utilise les mêmes principes empiriques USLE, mais il comprend de nombreuses améliorations, telles que l'utilisation des précipitations mensuelles et annuelle pour calculer l'érosivité des pluies, l'informatisation des algorithmes pour faciliter les calculs du facteur topographique LS (**Foster et Wischmeier 1974, Renard et al. 1997**).

2.2.3. Apport du système d'information géographique dans l'étude de l'érosion

Un Système d'information géographique (SIG) est, comme son nom l'indique, un outil informatisé dédié à la gestion de l'information géographique. Assure le dialogue et la communication entre disciplines par un constant aller-retour entre observation, interprétation, hypothèse et validation.

L'utilisation de ce genre de système offre un moyen simple, rapide et efficace à l'utilisateur, pour les études d'aménagement et de prise de décision. C'est ainsi que la lutte contre l'érosion hydrique en particulier, et la complexité de ce phénomène imposent aujourd'hui, l'utilisation de méthodes et de moyens performants pour la gestion de l'information géographique. Dans le SIG, on peut intégrer des paramètres des modèles d'érosion comme l'USLE permettant de faire une modélisation spatialisée de l'érosion des sols et de la production des sédiments.

2.3. Le SIG « Arc GIS » d'ESRI, utilisé dans le cadre de notre étude

En 1999 ESRI a édité une suite de logiciels, qui porte comme nom Arc GIS. L'évolution d'ArcView à Arc GIS n'est pas une mise à jour simple, mais un développement d'une toute nouvelle famille de SIG, comme le montre son nouveau nom.

Arc Info est la version la plus complète d'**Arc GIS**. Arc Info Desktop est composé de trois modules avec des fonctionnalités différentes : **Arma**, **ArcCatalog** et **ArcToolbox**. Ces applications représentent les fondements méthodologiques et les clefs d'accès pour un utilisateur du SIG : Cartes, Données et Outils.

ArcMap est l'environnement de traitement des données et de rédaction de documents cartographiques. Ses fonctions clefs sont la visualisation, la création, l'édition, la consultation, l'analyse et la mise à jour des données cartographiques ou géographiques.

Les informations géographiques s'affichent sur une carte sous la forme de couches. Chaque couche représente un type particulier d'entités. Une couche ne contient pas de données mais renvoie à une source de données, qui est stockée sur le disque ou ailleurs.

ArcCatalog est une application orientée sur les données pour la gestion, la localisation et la navigation dans les données spatiales. Toutes les connexions aux données nécessaires sont y définies. Ces connexions peuvent appeler des dossiers sur disque, des bases de données en réseau ou des serveurs internet « ArcIMS ».

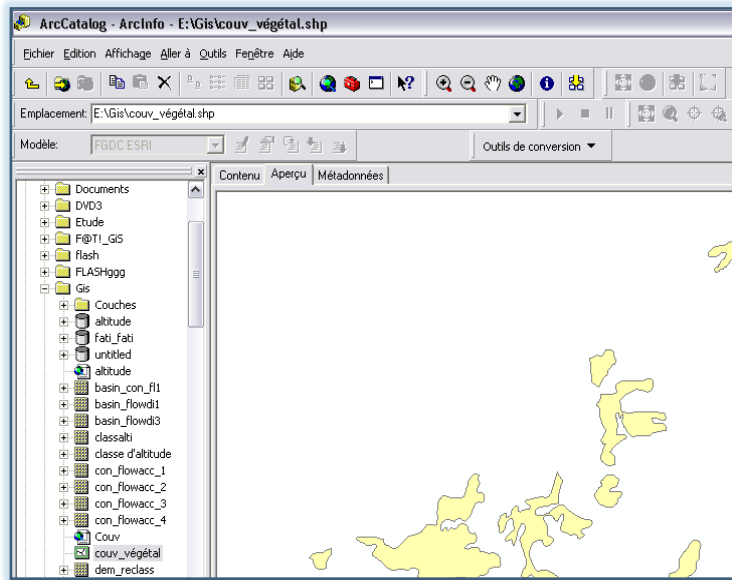


FIGURE 2- Interface arc catalogue.

ArcToolbox est une application pour la mise en œuvre de toutes les opérations de traitement géographique. Elle inclut les fonctionnalités d'analyse de données et de conversion de formats. Cette application peut être considérée comme la nouvelle interface de présentation des fonctions de géo traitement d'Arc Info.

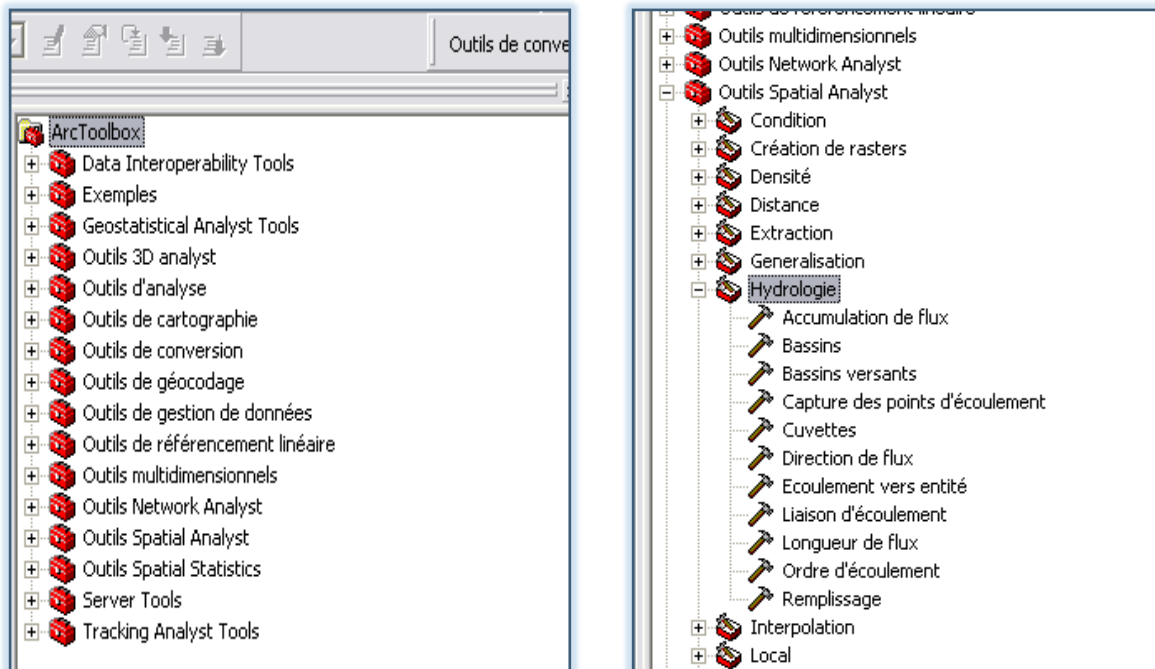


FIGURE 3. Boite à outils (arctoolbox)

2.3.1. Shapefile

Le shapefile est le format de stockage de données, le plus simple, car il ne stocke pas la topologie d'une feature. C'est pour cela qu'ils s'affichent plus vite que les autres formats de stockage. Les informations relatives à un ensemble d'entités sont stockées dans une table. Chaque enregistrement correspond à une entité distincte.

Le format shapefile est composé de plusieurs fichiers. Il y a au moins trois fichiers associés à un shapefile. Ils ont les extensions « **.shp** », « **.shx** » et « **.dbf** ». Le fichier « ***.shp** » stocke la géométrie de l'entité géographique, le fichier « ***.shx** » l'index de la géométrie et le fichier « ***.dbf** » inclut les données descriptives des entités géographiques. Le dernier est un fichier **dBASE** qui inclut les informations attributaires sous forme de table.

2.3.2. L'extension Arc GIS Spatial Analyst

L'extension **Arc GIS Spatial Analyst** permet aux utilisateurs de SIG de créer, interroger et analyser toute information s'appuyant sur des fichiers rasters. Elle permet également de créer de nouvelles données à partir d'informations existantes, d'interroger des informations au travers de nombreuses couches, de modéliser ces croisements d'informations et de permettre des traitements combinés entre des données rasters et vecteurs.

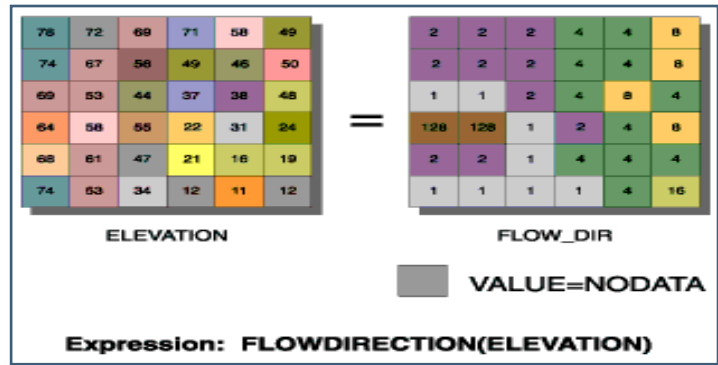
2.3.2.1. Fonctions d'hydrologie de la calculatrice raster (Spatial Analyst)

L'extension Spatial Analyst dispose de plusieurs fonctions de calculs hydrologiques (pentes, directions d'écoulement, bassins versants, ...) basées sur une grille de surface (MNT). Ces fonctions peuvent être utilisées individuellement à l'aide de la calculatrice d'ArcMap. Afin de simplifier la mise en œuvre de ces traitements.

2.3.2.2. La Direction des écoulements - FLOWDIRECTION

Cette commande permet de calculer les directions des écoulements, et de créer un raster de direction de flux à partir de chaque raster vers son voisin en suivant la pente descendante. La grille de sortie est une grille entière dont les valeurs sont comprises entre **1 et 255**. Par exemple, si la pente de la plus raide est à gauche de la cellule, sa direction de flux serait codée comme 16.

FIGURE 4. Direction des écoulements



2.3.2.3. L'accumulation des écoulements (FLOWACCUMULATION)

Permet de créer un raster de flux accumulé sur chaque raster. Les cellules ayant les plus fortes valeurs sont utilisées pour identifier les cours d'eau. Par contre celles ayant la valeur 0 correspondent à des crêtes.

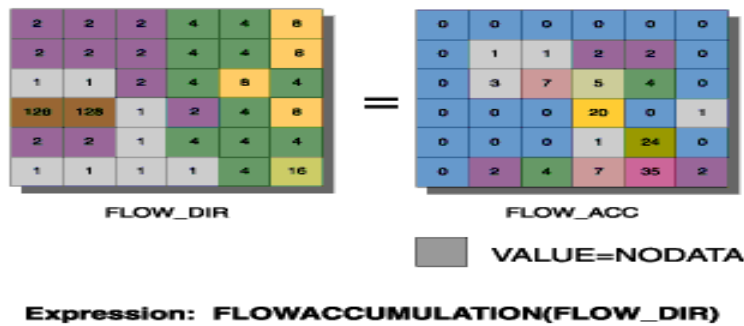


FIGURE 5. Accumulation des écoulements

2.3.2.4. La Vectorisation du réseau hydrographique (STREAMORDER)

Permet d'attribuer un ordre numérique aux segments d'un raster représentant les bras d'un réseau linéaire. Avec la méthode STRAHLER tous les segments non tributaire d'un autre prennent la valeur 1 et sont référencés comme étant d'ordre 1. Lorsque deux segments de même ordre se croisent l'ordre augmente.

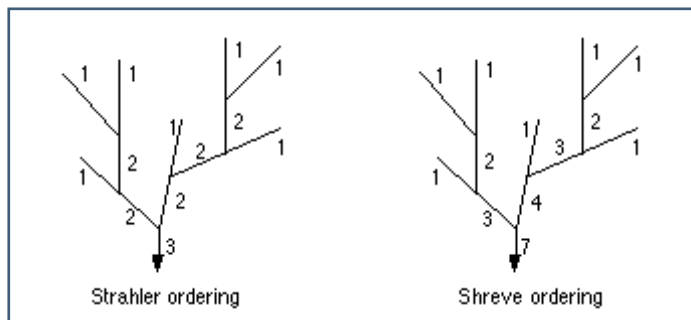
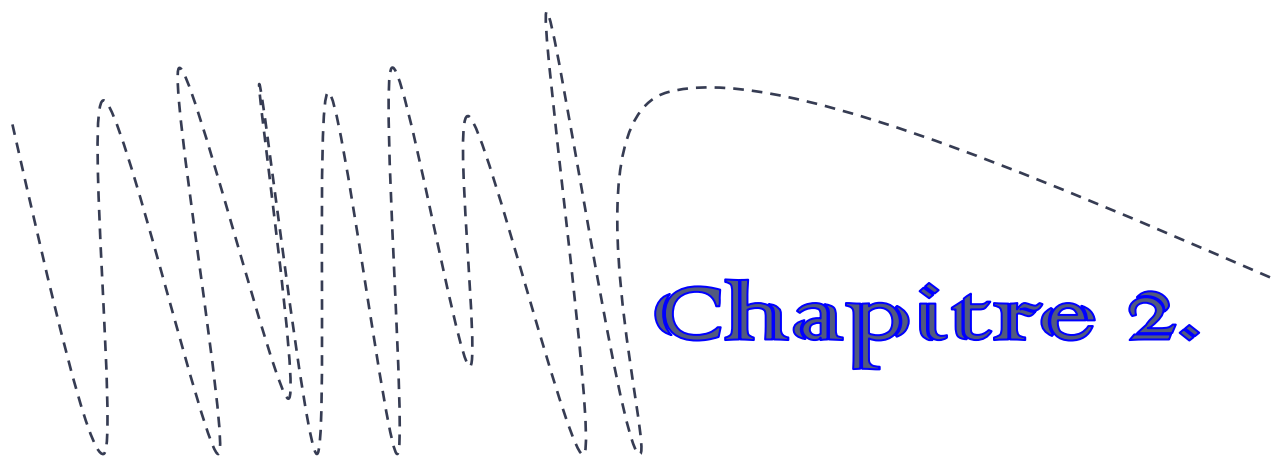


FIGURE 6. Réseau hydrographique



Chapitre 2.

Le milieu physique de la zone d'étude

Chapitre 2. Le milieu physique de la zone d'étude

1. Localisation de la région d'étude

Le bassin versant de l'oued Mina, est localisé au Nord - ouest de l'Algérie à environ **300 Km** de la capitale. Il couvre une superficie d'environ **5 000 Km²** répartie partiellement entre les villes de : Relizane, Tiaret, Saïda et Mascara (**fig-7**). Il s'allonge sur **90 Km** sur les monts de Frenda au Sud et ceux de la Mina au Nord et sur **50 Km** de l'Ouest à l'Est entre les monts de Béni Chougrane et le massif de l'Ouarsenis. Deux unités naturelles dissemblables sont distinguées par **Kouri, (1993)**:

- ☞ Au sud, les monts de Frenda et de Saïda, d'une altitude **900 à 1 300 m**, ou les calcaires et les grès affleurent souvent.
- ☞ Au nord, un ensemble de chaînes de montagnes, d'altitude inférieure à **900 m**, dont l'Ouarsenis et les Béni-Chougrane sont les plus marquants. Ils sont caractérisés par l'abondance des affleurements de marnes, très sensibles à l'érosion linéaire.

TABLEAU 2 - Superficie et coordonnées géographiques du bassin versant de l'oued mina et de la zone marneuse.

Impact	Superficie(km ²)	Coordonnées
Bassin versant de la Mina	4 900	Longitude : 0°23' à 1°10' Latitude : 34°41' à 35°35'
La zone marneuse	1 151	Longitude : 0°23' à 1°10' Latitude : 35°20' à 35°35'

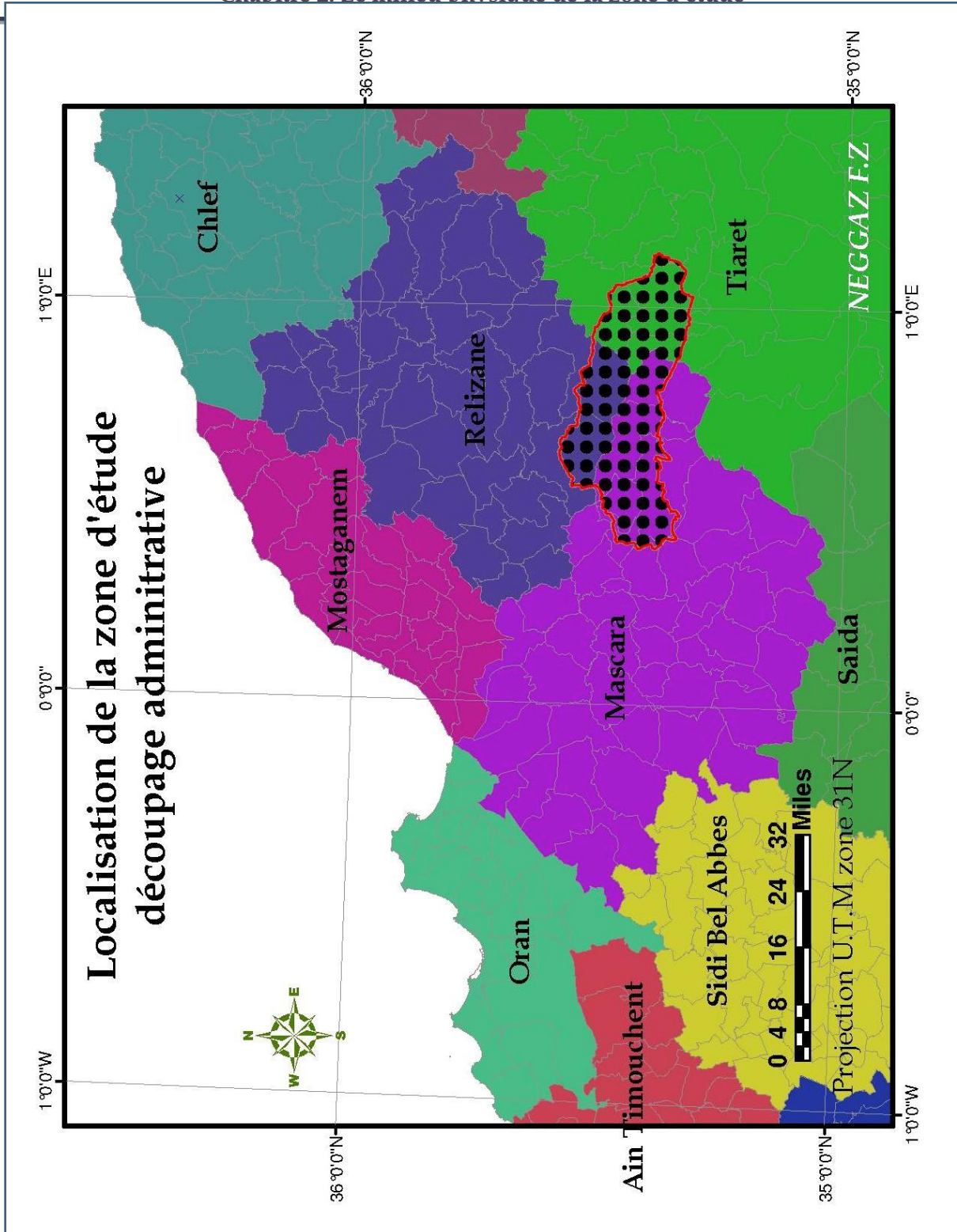


FIGURE 7. Localisation de la zone marneuse du bassin versant de l'oued mina.

2. Climat

Le climat du Tell oranais est de type méditerranéen semi-aride avec des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux humides (Touazi et Laborde 2004, Meddi *et al*, 2007). Ce qui détermine en grande partie les conditions hydro-érosives dans les blocs montagneux du Tell Occidental (Vogt et Gomer, 1996). Le bassin versant de l'oued Mina appartient à ce même étage bioclimatique (Kouri 1993, Touibia 2000).

2.1. La pluviométrie

Sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Mina, certains secteurs sont relativement humides, les précipitations sont généralement irrégulières et torrentielles (Touaibia et Achite, 2003). Dans la zone des marnes tertiaires, les moyennes annuelles calculées de 1969 à 2006, montrent une variation de 200 mm à sidi M'Hamed Ben Aouda jusqu'à plus 400 mm du côté de Mechraa Sfaa.

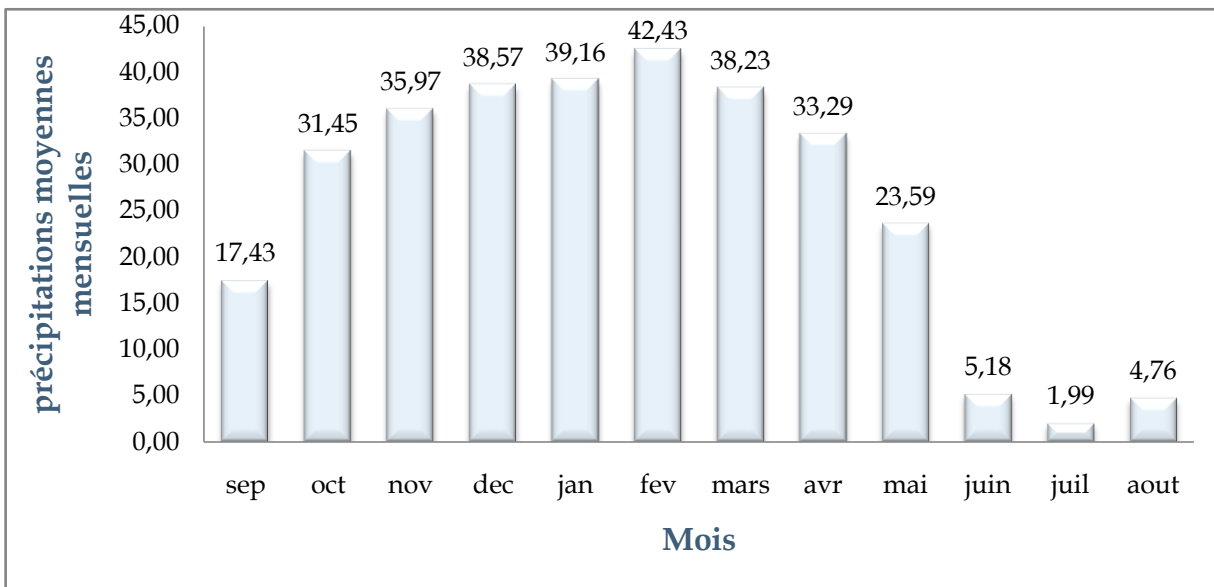


FIGURE 8. Précipitations moyennes mensuelles (en mm), dans la zone des marnes tertiaires.

La figure n° 9, représente une carte simplifiée de la pluviométrie moyenne annuelle (1968/69 à 2005/06) avec une moyenne générale de 312 mm. Les bassins et les plaines centrales reçoivent de 200 à 300 mm. Les précipitations mensuelles varient généralement de moins de 5 mm au mois de juillet à 42.43 mm au mois de février **fig-8.**

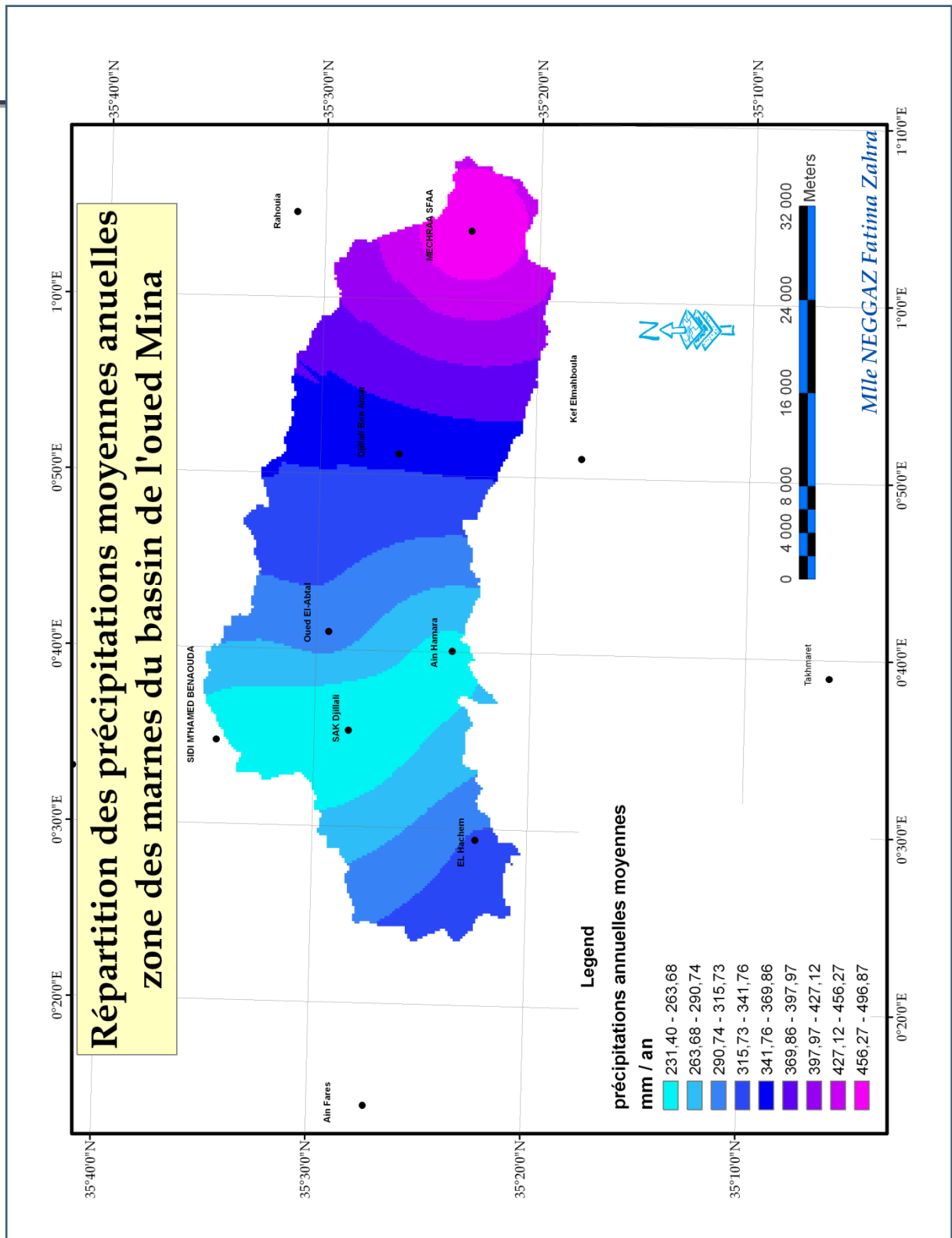


FIGURE 9.Répartition des moyennes annuelles de la zone d'étude. (1969/70 -2005-06).

Source de données ONM Oran.

L'irrégularité des pluies est générale et s'exprime par des oscillations à la fois saisonnières et interannuelles. D'une année à l'autre, d'une station à l'autre, les précipitations

enregistrées peuvent varier du simple au double (**fig.10, 11 et 12**). De courtes périodes de sécheresse entre les mois de forte pluviosité ne sont pas à exclure (**SARI, 1977**).

Les statistiques de la station de l'Oued El Abtal, montrent la distribution et la haute variation des précipitations pour la période entre 1918 et 2006 (**fig.12**). Les années **1918/19** (593mm), **1927/28** (644 mm), **1935/36** (548 mm) et **1971/72** (558 mm) ont eu des précipitations extrêmement hautes. En revanche les années **1944/45**, **1965/66** et **1981/82** ont connu la sécheresse, moins de **150 et 200 mm** par an.

Les autres stations n'échappent pas à cette règle, a Sidi M'Hamed Benaouda on note des valeurs de **347.3 mm** en **1995/96** et **380.80 mm** en **2000/01** et seulement **95 mm** en **1992/93** **fig.10**. Il en est de même pour Sidi AEK Djilali où les moyennes annuelles des précipitations restent irrégulières **fig.11**.

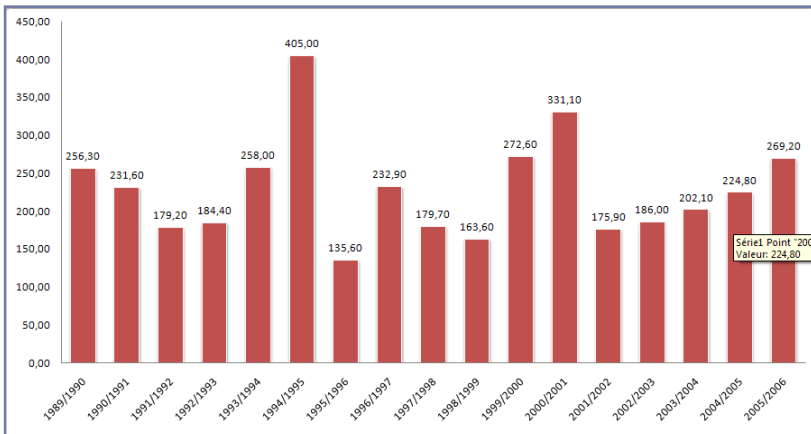


FIGURE 10.Pluviométrie annuelle (en mm) de la période 1969 – 2006 à sidi m'Hamed Benaouda

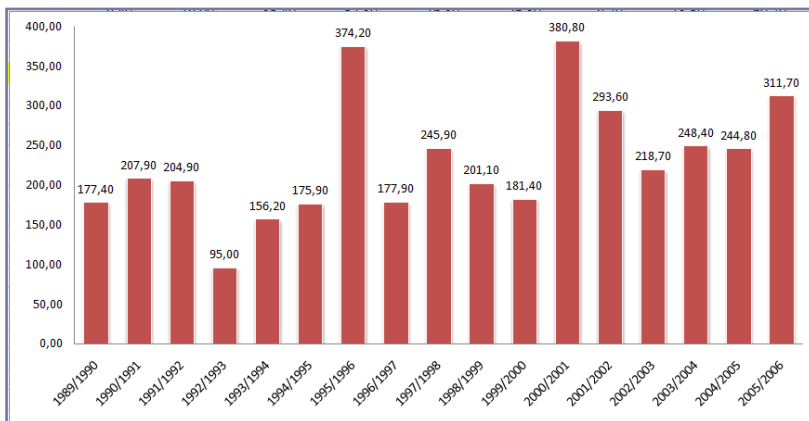
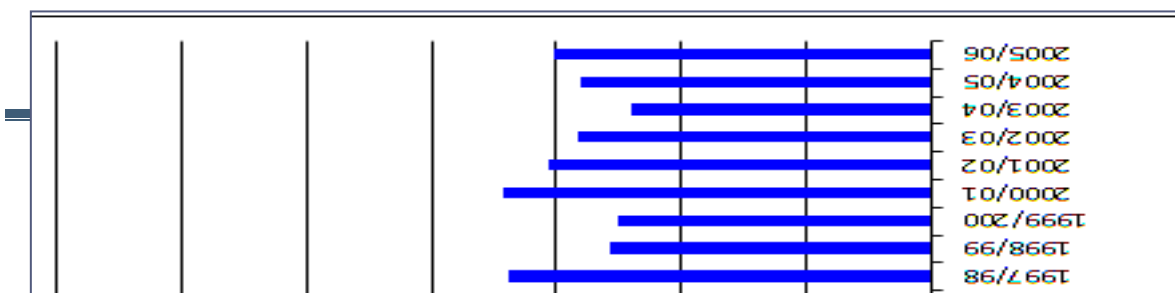


FIGURE 11.Pluviométrie annuelle (en mm) de la période 1969 – 2006 à Sidi Aek Djilali.



2.2. Evapotranspiration

Le bassin versant de l'oued Mina est caractérisé par une importante évapotranspiration potentielle annuelle (**fig.13 et 14**). Celle-ci varie de **1 300 mm** à plus de **1 600 mm**, avec un maximum enregistré à Sidi M'Hamed Benaouda de **1 626 mm** (ANRH 2006).

La superposition des valeurs de pluviosité à celle d'évapotranspiration potentielle permet de repérer les mois déficitaires en eau. En effet, les valeurs de l'ETP mensuelle en saison chaude dépassent fortement celles des précipitations (une évapotranspiration de **217 mm** contre une pluviométrie qui ne dépasse guère les **3 mm**). En saison froide, l'ETP décroît progressivement mais elle reste importante ; seuls les deux mois de décembre et janvier enregistrent les valeurs des précipitations supérieures (un léger surplus d'eau, soit à peine **15 mm**) ou égales à celle de l'ETP(**fig. 13**).

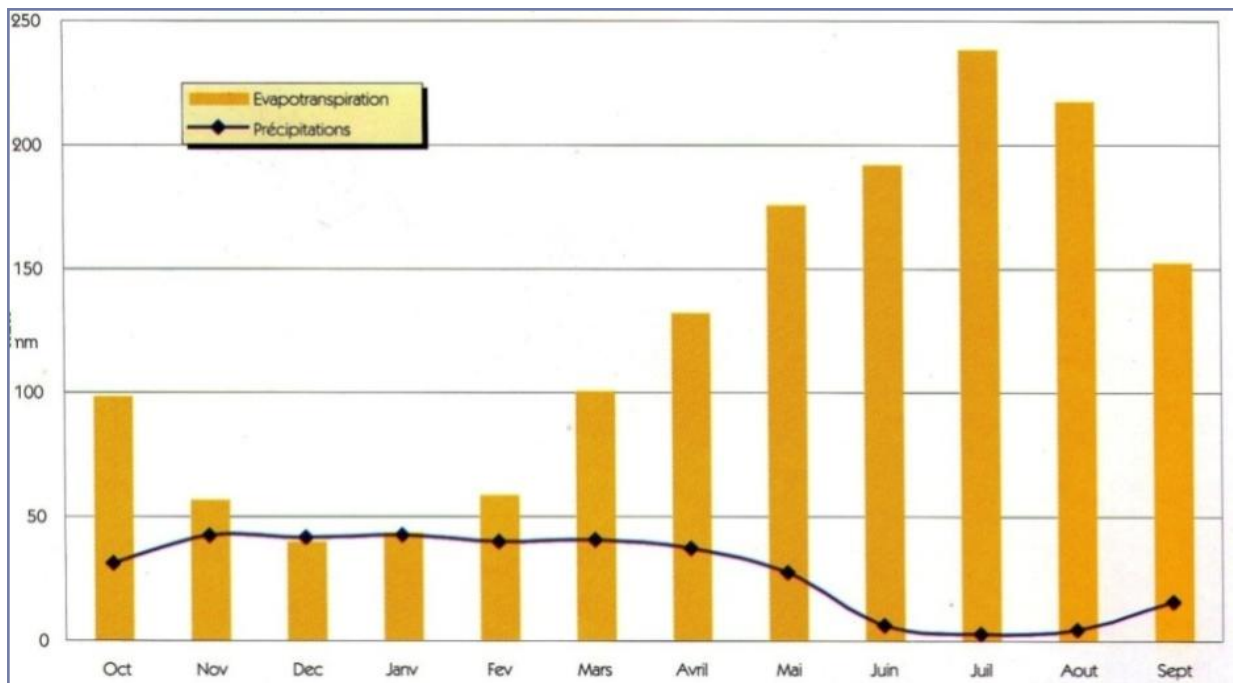


FIGURE 13. Précipitation et évapotranspiration sur le bassin versant de l'oued mina.

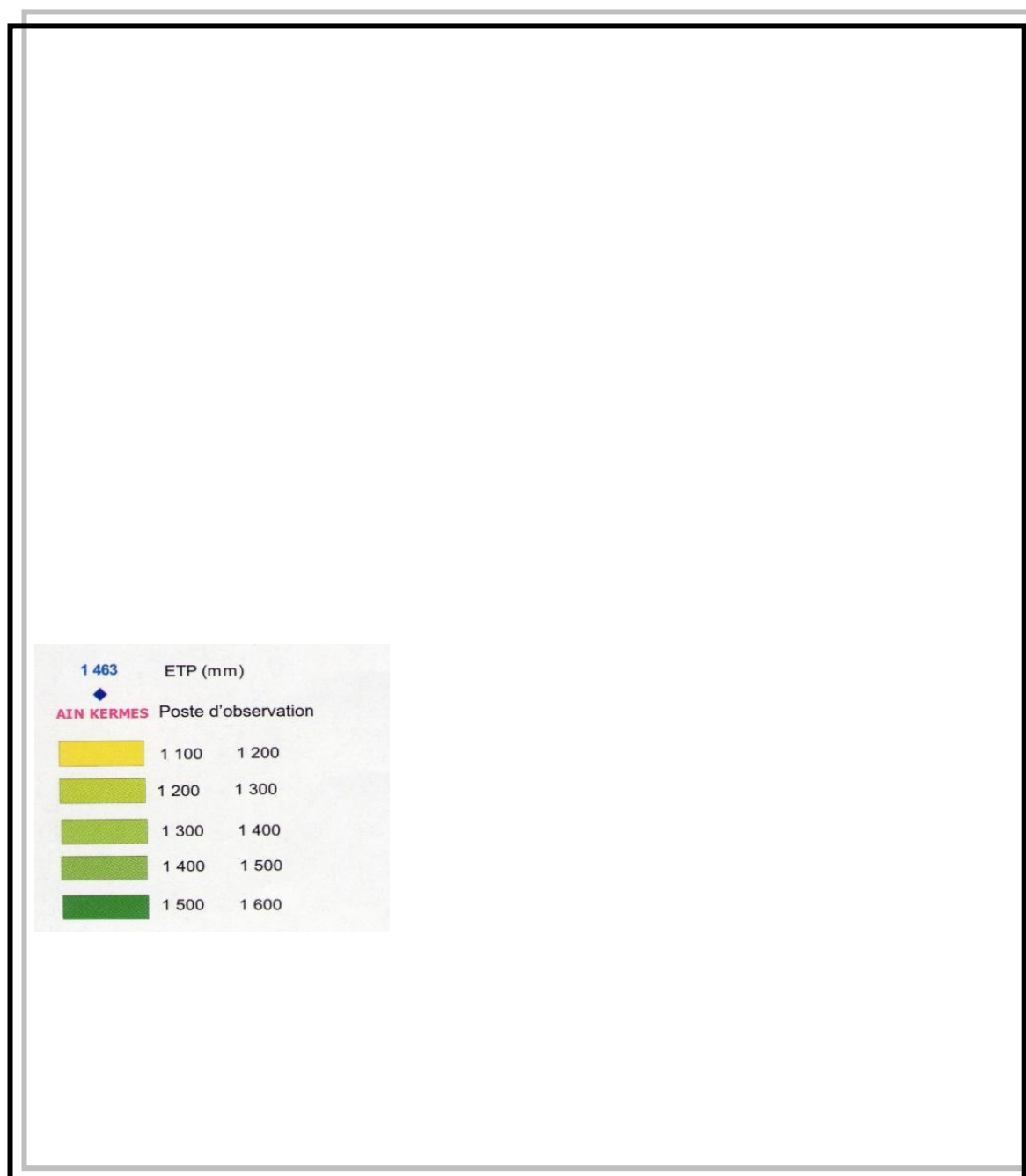


FIGURE 14. Carte simplifiée de l'évapotranspiration

source : anrh, 2006

2.3. Températures

Les monts de la Mina se caractérisent par une sécheresse estivale prononcée. Le mois de janvier présente les plus basses températures, alors que les mois de juillet et août sont les mois les plus chauds (**GTZ 1992, KOURI 1993, ANHR 2006**). La moyenne interannuelle varie de **14 à 20 °C**, avec un maximum mensuel de 29.5°C, enregistré au mois d'août à la station de sidi M'hamed Benaouda (Wilaya de Relizane).

TABLERAU 3. Températures moyennes mensuelles (°c), stations de sidi M'Hamed Benaouda et de Mecheraa Sfaa 1969 -2006.

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
Mechraa Sfa	9,7	10,7	14,1	14,2	19,5	23,7	28,6	28,2	24,3	18,4	14,8	10,3	18,04
Sidi M'Hamed Benaouda	11	12,1	15,9	17,2	22,1	24,5	29	29,5	25,2	20,3	16,3	13,1	19,68

Source ANRH 2006

2.2.4. Humidité, Vent et Insolation

L'humidité relative moyenne annuelle est estimée à environ **69%** et les valeurs extrêmes auraient atteint en décembre et janvier **78%** et en juillet **62%**(**ONM**). Il y a lieu de noter que la mesure de l'humidité du sol est généralement exigeante et peu pratiquée en Algérie. Comme le bassin versant de l'oued Mina n'est jamais arrosée d'une manière uniforme, la structure de la répartition de l'humidité du sol ne peut être parfaitement constante (**GOMER, 1994**).

TABLERAU 4.Humidité dans le bassin versant de l'oued mina.

Source anrh, 2006.

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuelle
Humidité (%)	78.0	73.0	69.0	66.0	65.0	64.0	62.0	63.0	67.0	71.0	74.0	78.0	69.0

3. Réseau Hydrographique

Le territoire de l'Algérie a été divisé en 1996 en cinq (05) bassins hydrographiques à savoir: Cheliff (Zahrez), Hodna Soumam, Chott Chergui (Oranie), Seybous Mellègue (Constantinois) et le Sahara (fig. 15).

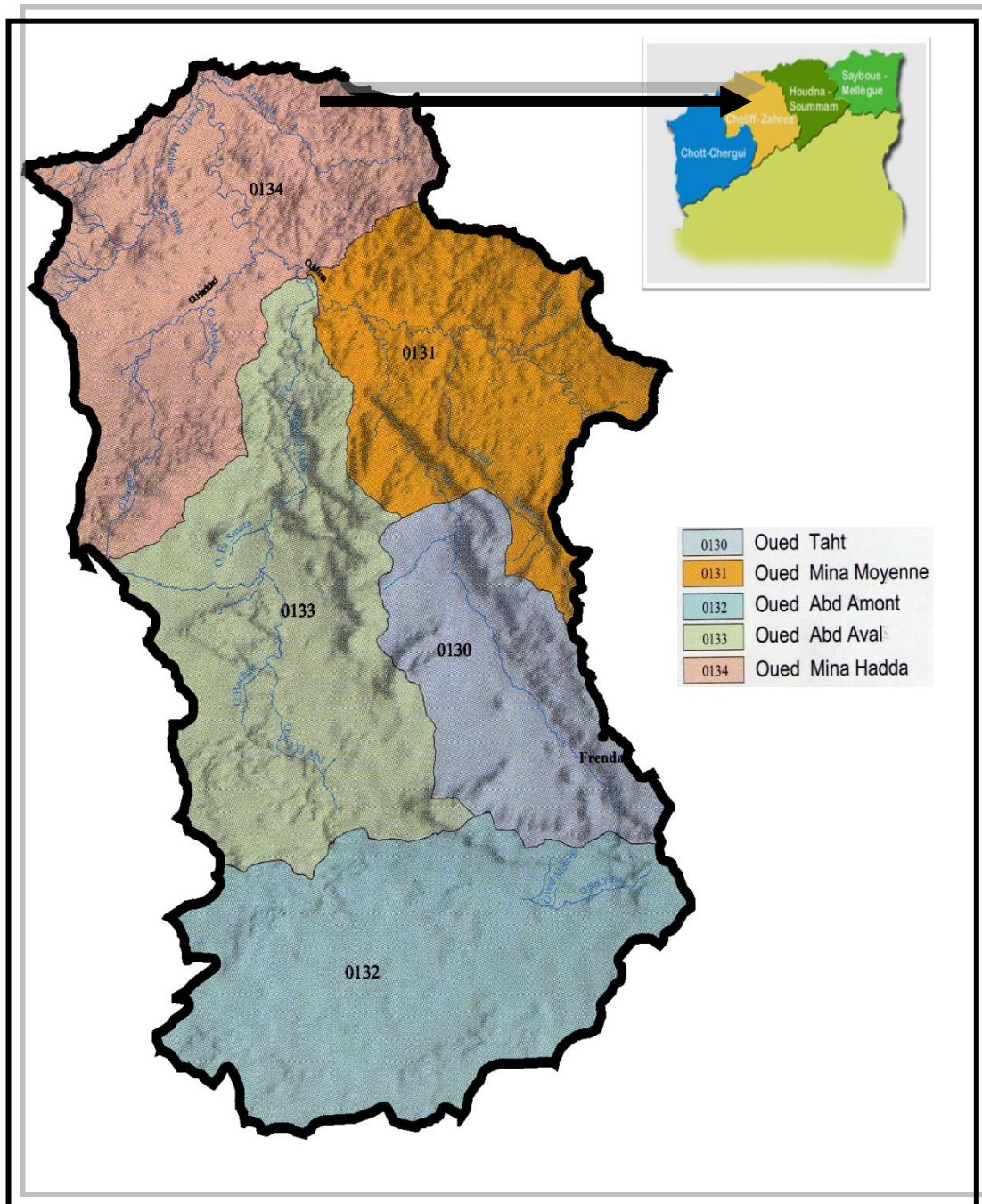


FIGURE - 15. Répartition des bassins hydrographiques. Source : abhcz.com.dz.

Le versant de l'oued mina est compris dans le bassin régional n° 01, soit le Chélif, de la région hydrographique n° 2 Chélif Zahrez. Il regroupe cinq **(05)** sous bassins versants du **0130 au 0134(fig.15)**, Le principal cours d'eau la Mina, traverse la zone sur **90 km** avec une pente moyenne de **5.89 m/Km**.

A l'échelle de la zone marneuse, le réseau hydrographique est dense et très ramifié. Les oueds sont temporaires à régime d'écoulement saisonnier et déversent dans l'oued Mina, avec une orientation Nord-Est – Nord-Ouest. Il reçoit quatre principaux affluents : l'oued Haddad, l'oued El Abd, l'oued Tat et l'oued Medroussa **fig 16**.

L'affluent principal oued Abd, s'allonge sur **100 Km** avec une pente moyenne de **8°/∞**. Le Taht draine le Sud-Est du bassin-versant et s'allonge sur **69 Km** avec une pente de **11°/∞**. Il a sa source dans les montagnes de Frenda qui dépassent les **1 000 m** d'altitude. L'oued Medroussa, appelé aussi Oued Yassel, draine la partie orientale du bassin-versant, jouxtant le cours supérieur de l'oued Mina. Cette zone est restreinte mais pluvieuse, les altitudes atteignent plus de **1 000 m**.

L'oued Haddad, le dernier affluent, a sa source dans le Djebel Bazita à environ **1 000 m** d'altitude. Il draine le Nord-Ouest du bassin ; il est jaugé à la station de Sidi Abdelkader Djilali. Les **41 km** de cours ont une pente moyenne de **8.9°/∞**.

Du point de vue hydrologique, les études antérieures, rapportent une tendance aux crues des affluents de l'oued Mina **(IFG 1987, Meddi et Achite, 2005)**. Le transport en suspension présente des variations spatio-temporelles considérables causées essentiellement, par le régime pluviométrique, le couvert végétal et la lithologie. Les valeurs maximales des apports solides, pour l'ensemble des sous-bassins, s'observent au début d'automne et à la fin du printemps **(Meddi 1992 et Achite 1999)**.

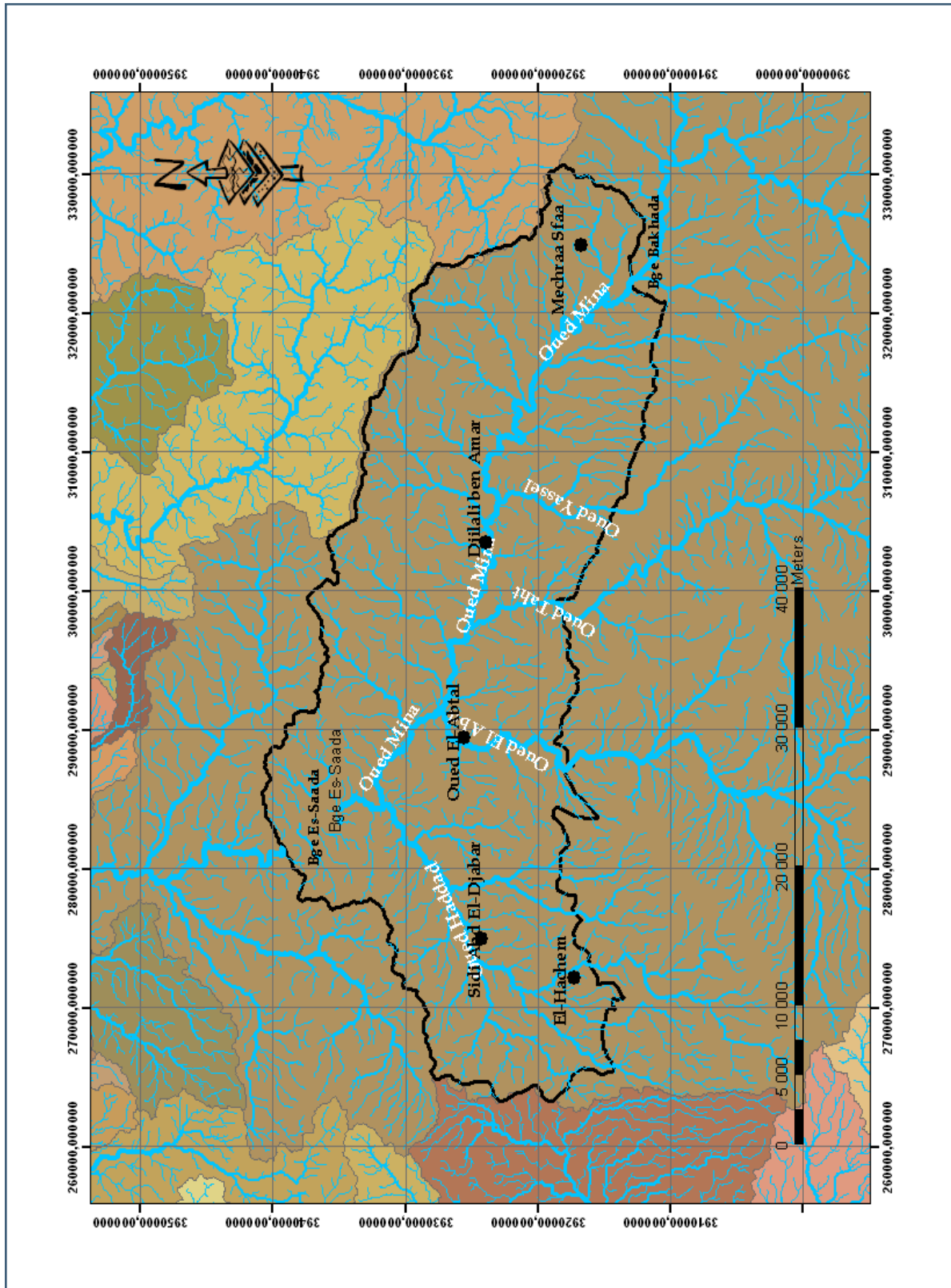


FIGURE 16. Réseau hydrographique dans la zone marneuse du bassin de l'oued mina.

Les sous bassins de l'oued Taht et l'Oued Haddad réagissent beaucoup plus aux précipitations. Cela ne résulte pas uniquement des averses fréquentes et intensives, mais aussi de la grande disposition à l'écoulement dans chaque bassin (IFG 1987, GTZ 1990, Meddiet Achite 2005). La charge spécifique moyenne (**Ds**) est égal à **212 t/km²/an** à oued Haddad et **Ds = 191 t/km²/an** à oued Taht. Ces valeurs considérées comme élevées, comparées à celles enregistrées à Ain el Hamara et Takhmaret, et qui sont de l'ordre de **117 t/km²/an** et **65 t/km²/an** avec un couvert végétal discontinu et pauvre en saison chaude. Ce contexte favorable à l'écoulement et par conséquent au transport solide, explique cette forte dégradation des sols dans ce bassin versant (Meddi, 1992).

El Amir Abd El Kader Les services de l'ANBT en 2006 ont estimé pour l'ensemble du bassin de l'oued Mina, un débit moyen annuel (module) de **3.8 m³/s**, ce qui correspond à un débit spécifique de **0.79 l/s/km² (25mm/an)**. Ce débit est plutôt faible, comparé à celui du bassin hydrographique régional n° 1 (Chélif) : **35mm/an**, ou à celui du Bas Chélif qui est de **39 mm/an**, ou même en comparaison au débit spécifique global de **35 mm/an** de la région hydrographique 02, Chélif-Zahrez.

4. Topographie et paramètres physiographiques

La topographie et la géomorphologie sont des facteurs importants pour déterminer l'aptitude du relief et du sol à l'érosion, Ils indiquent de manière significative le degré de l'érosion. Ces facteurs sont influencés par la roche en place, les sols, la distribution et la quantité des pluies, et enfin l'activité de l'homme.

A l'échelle de la zone des marnes tertiaires, le relief reste très morcelé, et ce malgré la plus grande étendue des terres en pentes faibles dans le bassin versant de l'oued Mina. Le ravinement est plus dense au nord de la vallée, et les profondes entailles en V sont généralement plus raides en exposition Sud qu'en exposition Nord **fig. 17 et 18**.

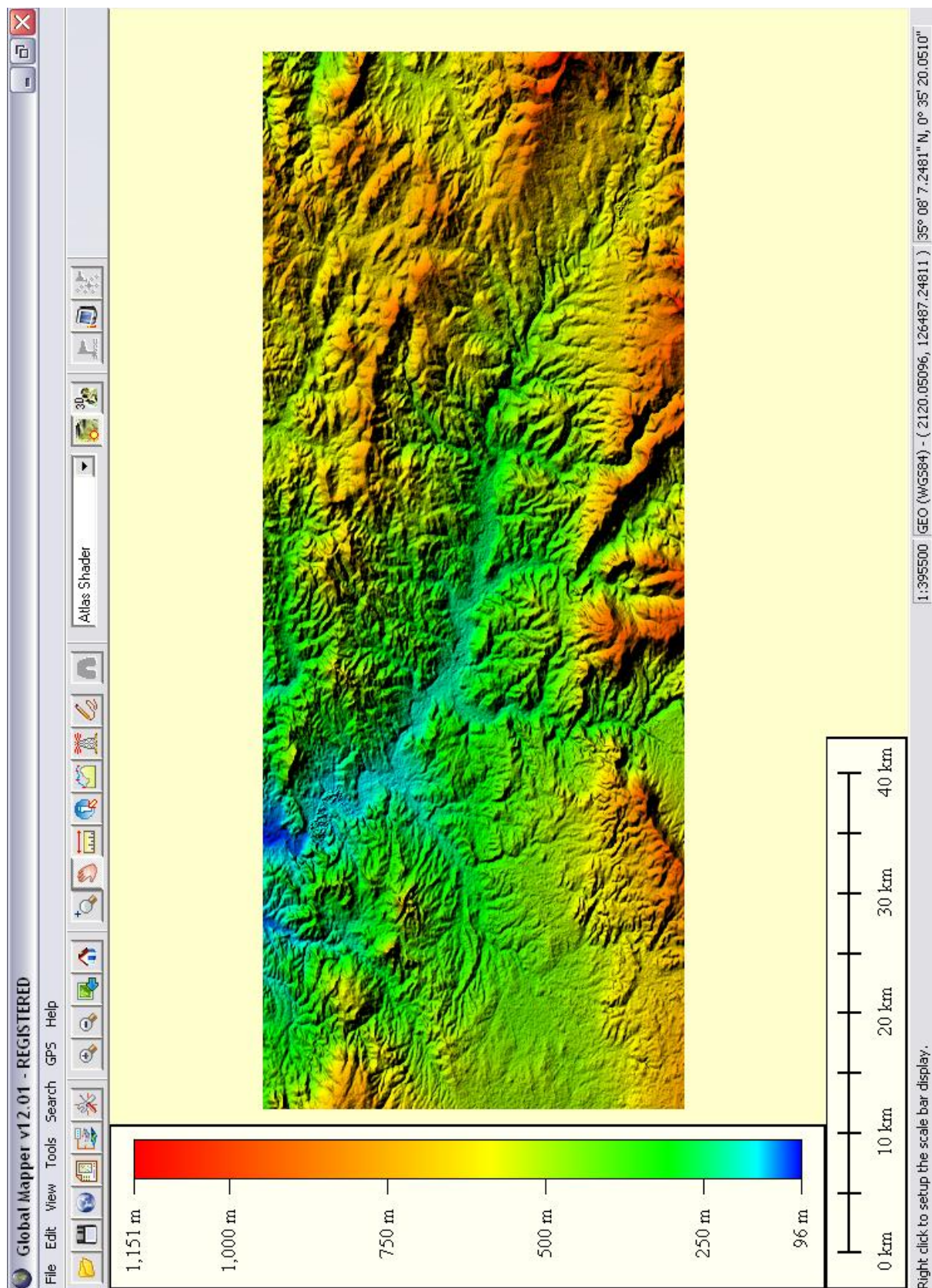


Figure 17. Vue 3d montrant le relief de la zone des marne tertiaires.

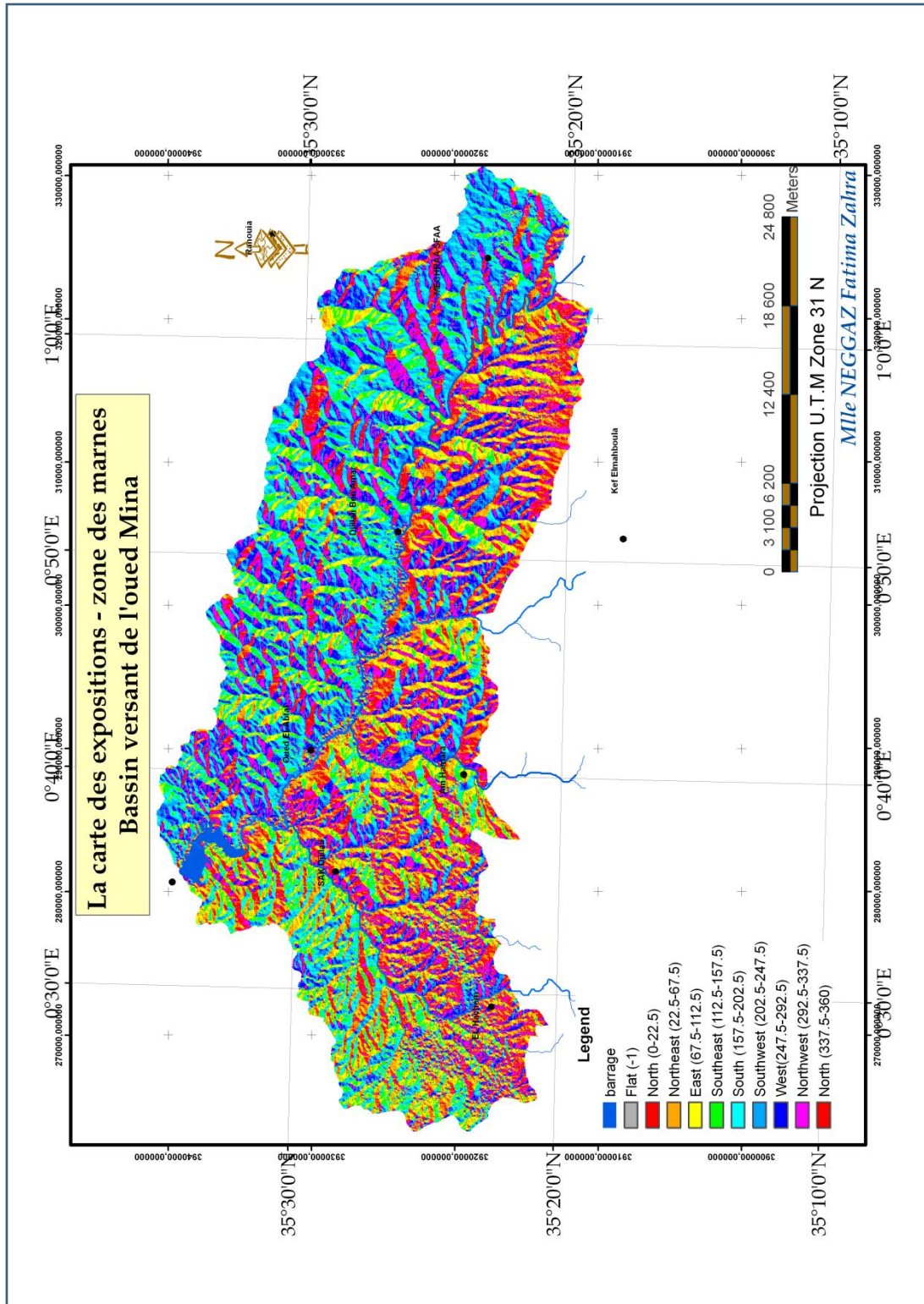


FIGURE 18. Carte des expositions de la zone marneuse.

La pente moyenne est de **11.29%** avec une valeur minimale de **0 %** et une maximale de **104%**, l'écart type est égal à **8.34**. La classe des pentes comprise entre **5 et 10 %** est la plus dominante avec un pourcentage de **30**, celles comprises entre **0 et 5%** et **10 et 15%** viennent juste après avec **23 et 20 %** respectivement, donc les pentes inférieures à **15 %** se présentent sur plus de **73%** de la superficie totale de la zone d'étude. La distribution des classes de pente est dans l'ensemble proche de la normale (**fig. 19**).

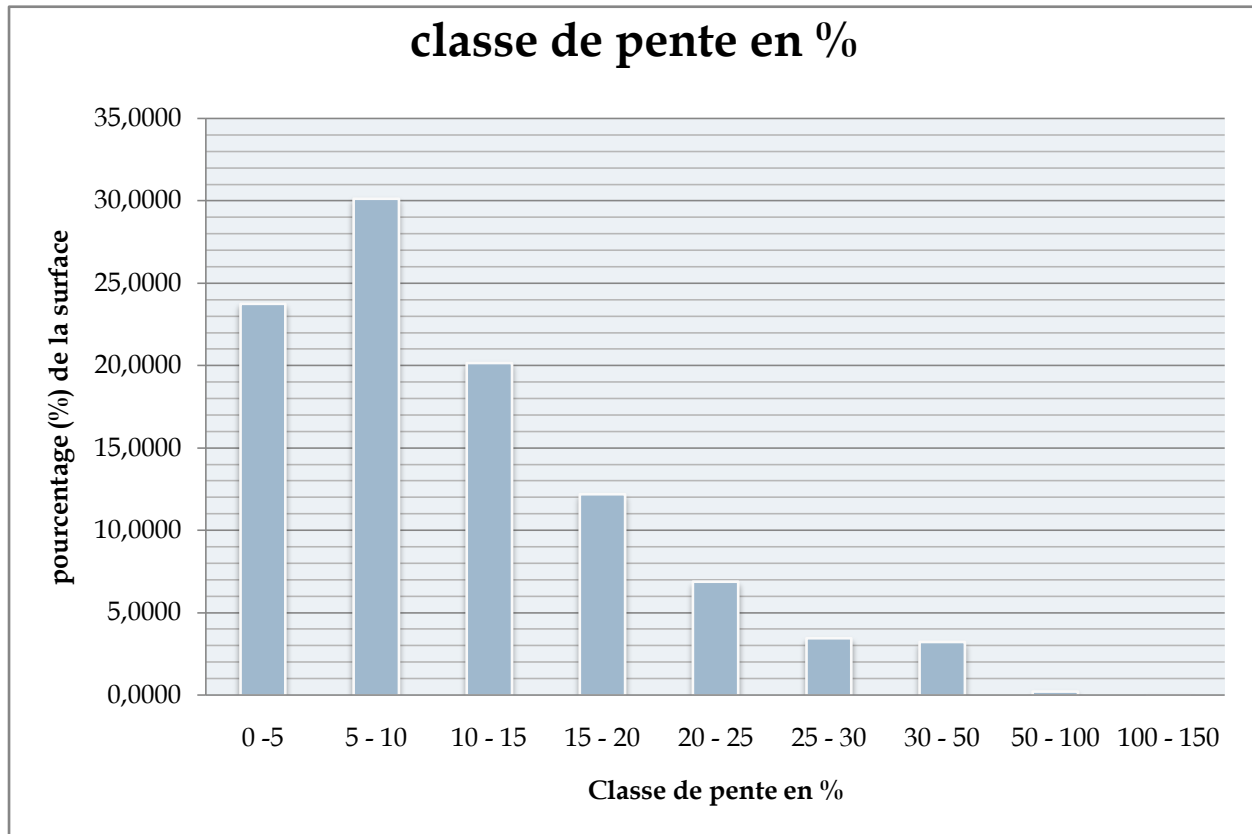


FIGURE 19. Distribution des classes de pentes dans la zone marneuse

Du point de vue altitude, une légère dominance de terres entre **300 et 450 m** d'altitude peut être observée, bien qu'un second groupe entre **250 - 300 m et 450 - 500 m** s'y distingue aussi. La figure 15 illustre la répartition des classes d'altitude pour la zone d'étude. La valeur moyenne est de **449.47 m** d'altitude avec un, un minimum de **133.20 m** et un maximum de **948.80 m**. Les zones comprises entre **250 et 500 m** représentent **60%** de la surface totale.

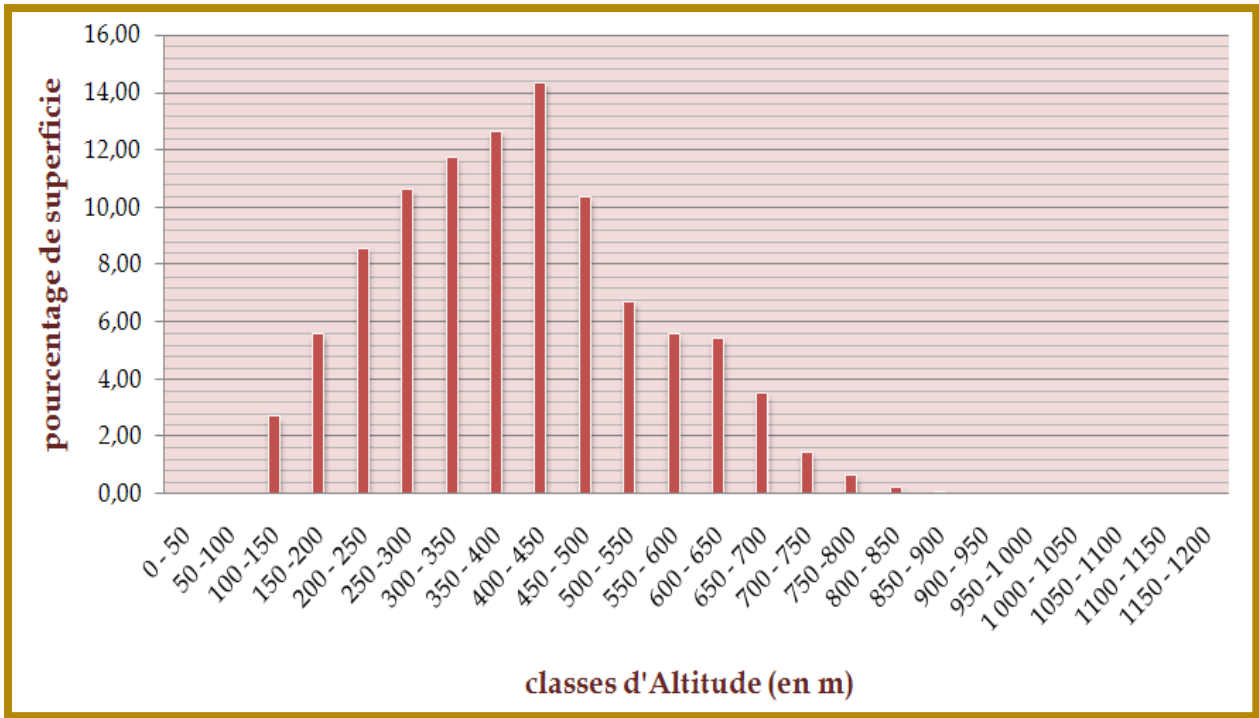


FIGURE 20. Répartition des classes d'altitude dans la zone des marnes tertiaires.

5. Géologie et géomorphologie

Le bassin versant de l'oued Mina s'étend sur le domaine de l'Atlas, au Sud, et celui du Tell au Nord. Le contact entre les deux domaines correspond à une zone de chevauchement, exploitée par la vallée du cours moyen de l'oued Mina (**Gomer, 1994**). Dans le premier affleurent pour l'essentiel des faciès de calcaires compacts et de strates marneuses du Trias et du Jurassique. Le Tell au Nord s'est mis en place depuis le crétacé supérieur avec une structure complexe ; il est constitué de marnes avec subordonnés, de calcaires, de grès calcaires et de dolomites (**Gomer 1994, Vgot. t et Vogt. H 1996**).

Ainsi, le bassin de l'oued Mina s'étend sur plusieurs ensembles géographiques dont les plus importants sont:

- les monts semi arides de Frenda dans la wilaya de Tiaret
- les monts et piémonts de Saïda
- les hautes plaines de Ain Dheb dans la wilaya de Tiaret

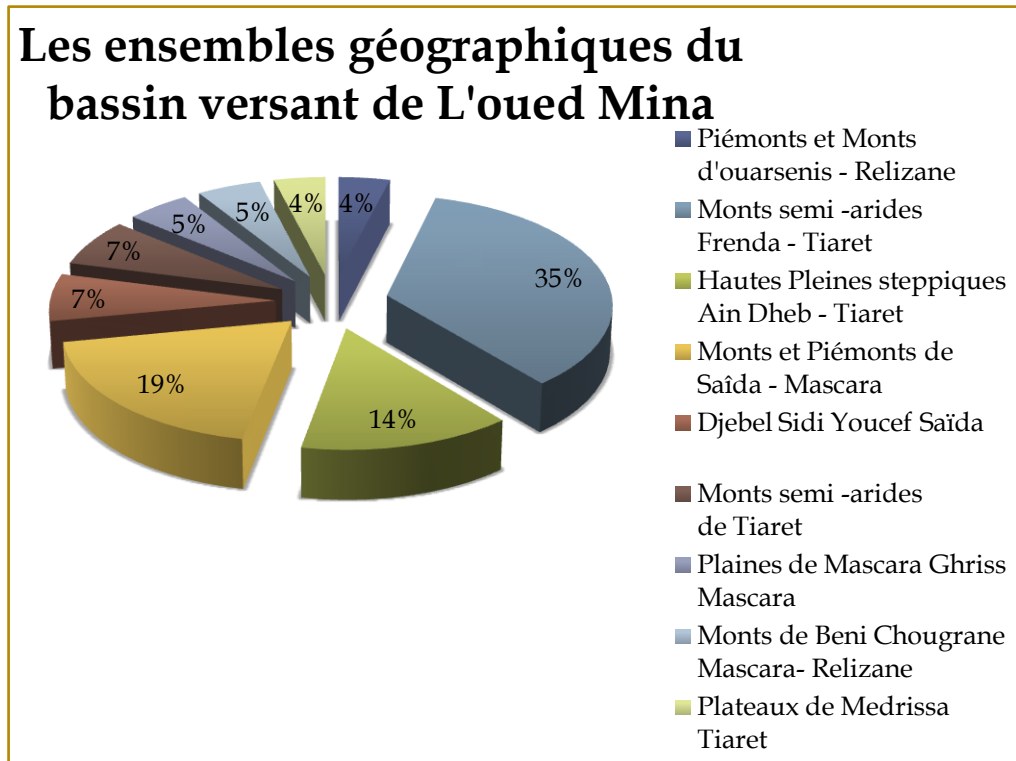


FIGURE 21. Les ensembles géographiques du bassin versant de l'oued mina.

6. Stratigraphie

Une description géomorphologique du bassin versant apparaît dans le rapport de l'**IFG 1987**. On y indique que les réseaux hydrographiques du Haddad, du Abd et du Taht ont profondément incisé les plaines et ont ainsi créé le paysage des hauts plateaux actuels avec des pédiments ravinés, des plaines d'accumulation (hautes terrasses), des bassins et des vallées érodées.

Les roches présentes dans le bassin versant sont toutes d'origine sédimentaire. Les formations rocheuses cartographiées ne sont généralement que peu différenciées, leur âge est compris entre le Trias et l'Oligocène.

Les dépôts quaternaires cartographiés par l'**ANBT en 2006** sont : les éboulis, les colluvions, les travertins, les basses et les hautes terrasses, et les alluvions récentes et anciennes, majoritairement interprétés comme des dépôts quaternaires continentaux.

7. Tectonique

A l'échelle du Tell oranais, la tectonique est active comme le documentent entre autre des séismes de fortes magnitudes. Les branches principales du réseau hydrographique empruntent tour à tour des dépressions tectoniques entre blocs montagneux soulevés, tel que l'essentiel du cours du **Chelif** ou l'Oued Mina entre **Bakhadda** et la confluence de l'Oued Haddad. Elles franchissent vers la Méditerranée les alignements montagneux orientés Ouest-Est, à la faveur d'ensellements tectoniques ou d'antécédences.

Au niveau du Bassin de l'Oued Mina, de nombreuses cassures et cisaillements sont observés dans la zone d'emprise du barrage Es-Saada par le bureau d'étude **Coyne et Bellier 1980**.

Des failles normales de direction Est-Ouest et des décrochements de direction Nord-Sud ont également été répertoriés. Les incisions sont asymétriques, en pente faible sur exposition nord et en pente forte sur exposition sud, cette asymétrie a fortement influencé la pédogénèse, d'où une forte corrélation entre exposition et type de sols (**Gomer, 1994**).

8. Pédologie et lithologie

L'ensemble des sols du bassin versant de l'oued Mina a été étudié par le GTZ dans le cadre d'un projet de coopération entre l'Algérie et l'Allemagne (**IFG, 1987**). La carte pédologique résultante, présente les sols sous la forme d'association de Rendzines (sols calcaires de couche mince avec un horizon d'humus), de Cambisols (sols avec un profil de type A-B-C faiblement développée), de Vertisols, de Chernozems et de Fluvisols.

Au Nord - Est, les marnes tertiaires prédominantes sont recouvertes par des grès calcaires et des dolomies. La puissance de ces formations se réduit au centre et à l'Ouest de la partie septentrionale. Dans le centre et le Sud-Est du bassin versant, des marnes jurassiennes sont présentes. Au Sud-Ouest affleure un complexe calcaire-dolomie du Jurassique moyen.

Les marnes contiennent des lentilles de sels et de gypse, très solubles, ces dernières se sont déposées de l'Oligocène au Miocène Supérieur. Les plus récentes appartiennent au Miocène Supérieur, elles sont altérées et tendres jusqu'à une profondeur d'un à deux mètres [**Tricart et Kilian 1979, BNEDR 1984, IFG 1987**]

Le tableau de synthèse géologique (**Annexe - 1**), et la carte lithologique, élaborés par l'**ANBT en 2006**, ont servi pour répertorier les formations rocheuses présentes dans la zone des marnes tertiaires, **fig 22**.

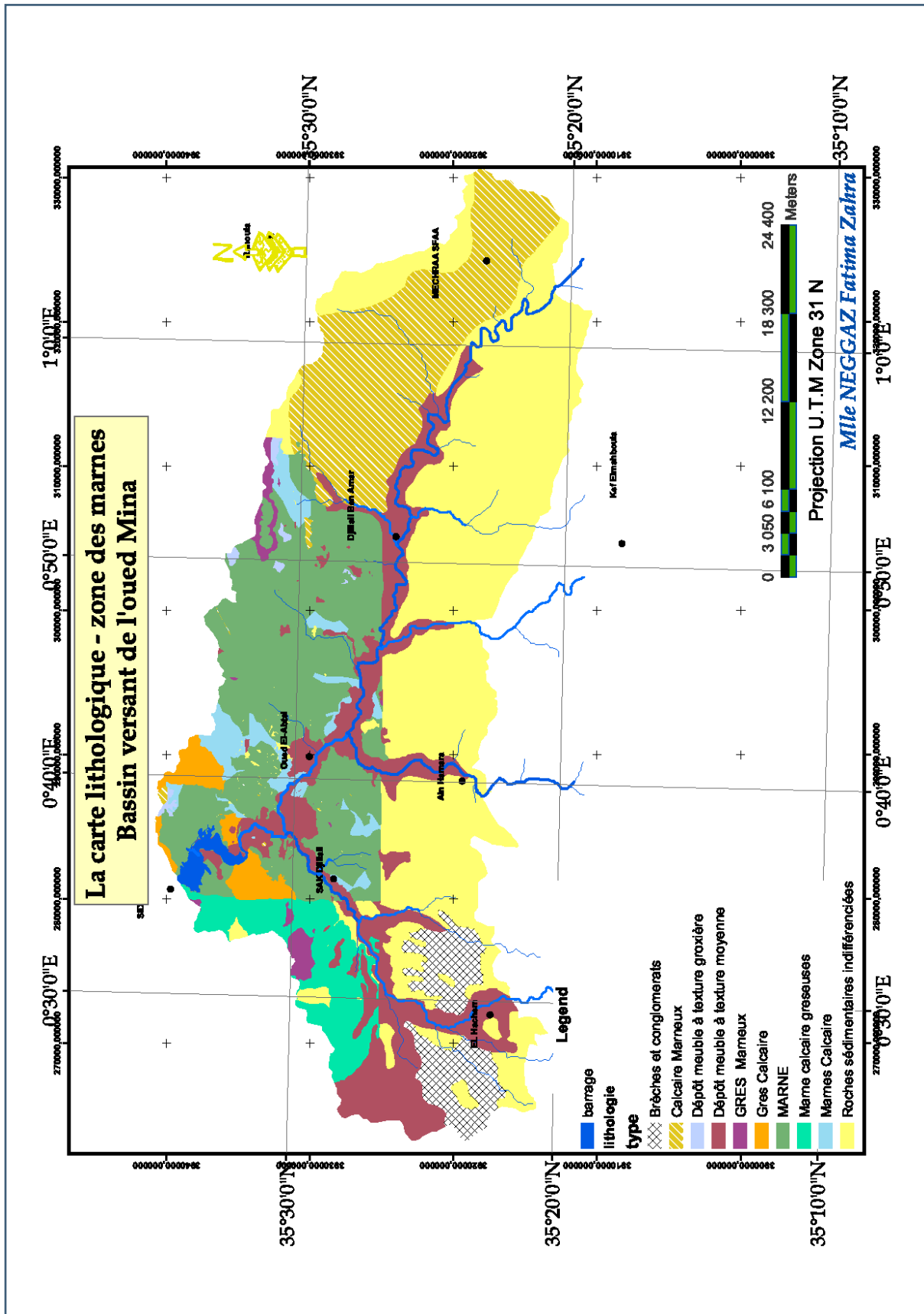


Figure 22. Carte lithologique de la zone des marnes tertiaire

9. Couvert végétal

Le couvert végétal est un facteur conditionnel important du phénomène de l'érosion ; IL offre au bassin versant de l'oued Mina, une grande diversité spatiale, influencée par le modelé des terres et écarts climatiques induits par la proximité du Sahara.

Roose (1977), classe les couverts végétaux en Afrique de l'ouest en 3 groupes :

- ☛ Couvert complet toute l'année: forêts, prairie de plus d'un an et cultures arbustives avec plantes de couverture ou paillage.
- ☛ Les sols nus ou pratiquement nus durant les mois les plus agressifs.
- ☛ Les couverts incomplets au moins durant une partie de l'année. Cultures vivrières, industrielles, plantes de couverture ou fourragères.

Kouri 1993, s'est inspiré de cette classification pour décrire les types de couvert végétal dans la zone des marnes, tout en précisant leur importance, leur rôle protecteur du sol ainsi que leur localisation. Elle se résume comme suit:

9.1. COUVERT VEGETAL PERMANANT

a. Les cultures pérennes

Les cultures pérennes (olivier, amandier, vigne ...) peu protectrices, sont pratiquées dans le bassin de l'oued Haddad au sud – ouest de la zone sur des sols rouges sur sables.

b. Le couvert forestier

La végétation forestière est constituée essentiellement de matorral arboré à base de *Pinus halepensis*, *Tetraclinis articulata*, *Quercus ilex*, *Olea europea*, *Pistacia lentiscus*, *Eucalyptus gamphocéphala*, et *Cupressus*.

Le matorral est réparti selon deux faciès:

- **Faciès a *Olea europea et Pistacia lentiscus*** : son caractère dense lui confère un bon recouvrement du sol (70 – 90 %) et un rôle protecteur efficace. Dans la partie sud-ouest de la zone des marnes, le cortège floristique est dominé par des arbustes malvenants de *Quercus ilex et Pistacia lentiscus*. Le couvert est clair (<50%)

- **Faciès à *Tetraclinis articulata*** : apparaît localement le long de la limite sud-ouest de la zone marneuse. Son efficacité est réduite à cause de son faible taux de recouvrement du sol (30 – 50%)

c. Le reboisement

Les escarpements marneux sur la rive droite de l'oued Mina, sont reboisés sur des terrassettes en *Pinus halepensis* et *Eucalyptus ghamphocephala*. Ces aménagements anti-érosifs réalisés depuis 1974 n'assurent pas une protection efficace pour deux raisons:

- ☛ Les reboisements, mise en place dans le sol stérile des terrasses, sont malvenants, ils sont attaqués par des parasites: les *Eucalyptus* par *Phoracanta* et *Pinus parthaumetopea pytiocampa Schiff*.
- ☛ Les terrassettes favorisent l'infiltration concentrée dans les marnes verticales. Ceci augmente le risque de déclenchement des mouvements en masse et le démarrage des ravines.

9.2. Le Couvert Végétal Temporaire

a. Les cultures annuelles

Les céréales et les légumineuses sont pratiquées préférentiellement sur les sols profonds des plateaux au nord-est et au sud-est de la zone des marnes.

b. Les cultures maraichères

Celles-ci occupent les secteurs irrigués situés principalement à proximité des oueds. La couverture par les cultures annuelles, temporaire et discontinue, ne protège pas efficacement le sol. Cependant le labour favorise l'infiltration et constitue un moyen antiérosif à développer.

2.9.4. Les sols Nus

Les terrains nus existent un peu partout dans la zone des marnes tertiaires. Les secteurs occidentaux situés de part et d'autre de l'oued Mina, sont dénudés et fortement entaillés. Des champs cultivables enclavés entre les ravines sont abandonnés à cause de l'exode des paysans vers les agglomérations (oued – El – Abd et El-Hachem).

2.9.5. Les pâturages

Les terrains rocheux, les jachères et les terres de cultures abandonnées constituent des zones de pâturage. Le pacage illicite est aussi pratiqué dans les zones mise en défens (reboisement, secteurs test) ou le cortège floristique diversifié est dense (recouvrement > 70%). Les ravins sont utilisés pour le déplacement du bétail et le piétinement des parois favorise les éboulements marneux.

Selon **Kouri 1993**, le couvert végétal temporaire (cultures annuelles) tend à diminuer à cause du mouvement de départ des agriculteurs, ainsi les terres abandonnées subissent un ravinement intense. Suite à l'action anthropique en particulier le pâturage extensif, le couvert permanent a subi une dégradation sévère. **Kouri, 1993** constate également que les méthodes anti érosives introduites sont peu efficaces. Les espèces plantées sont attaquées par des parasites et la technique des terrasses n'est pas adaptée aux terrains marneux.

En 2004, Les services de **L'ANBT** (Agence Nationale des Barrages et Transfert), ont réalisé une carte du couvert végétal pour l'ensemble du bassin versant de l'Oued Mina. Cette carte nous a servi pour obtenir l'occupation du sol et le type du couvert végétal dans la zone des marnes tertiaires. Après digitalisation par le logiciel ARCGIS 9.2, La carte résultante a fait l'objet d'une vérification et validation sur Google Earth (**fig. 23 et 34**).

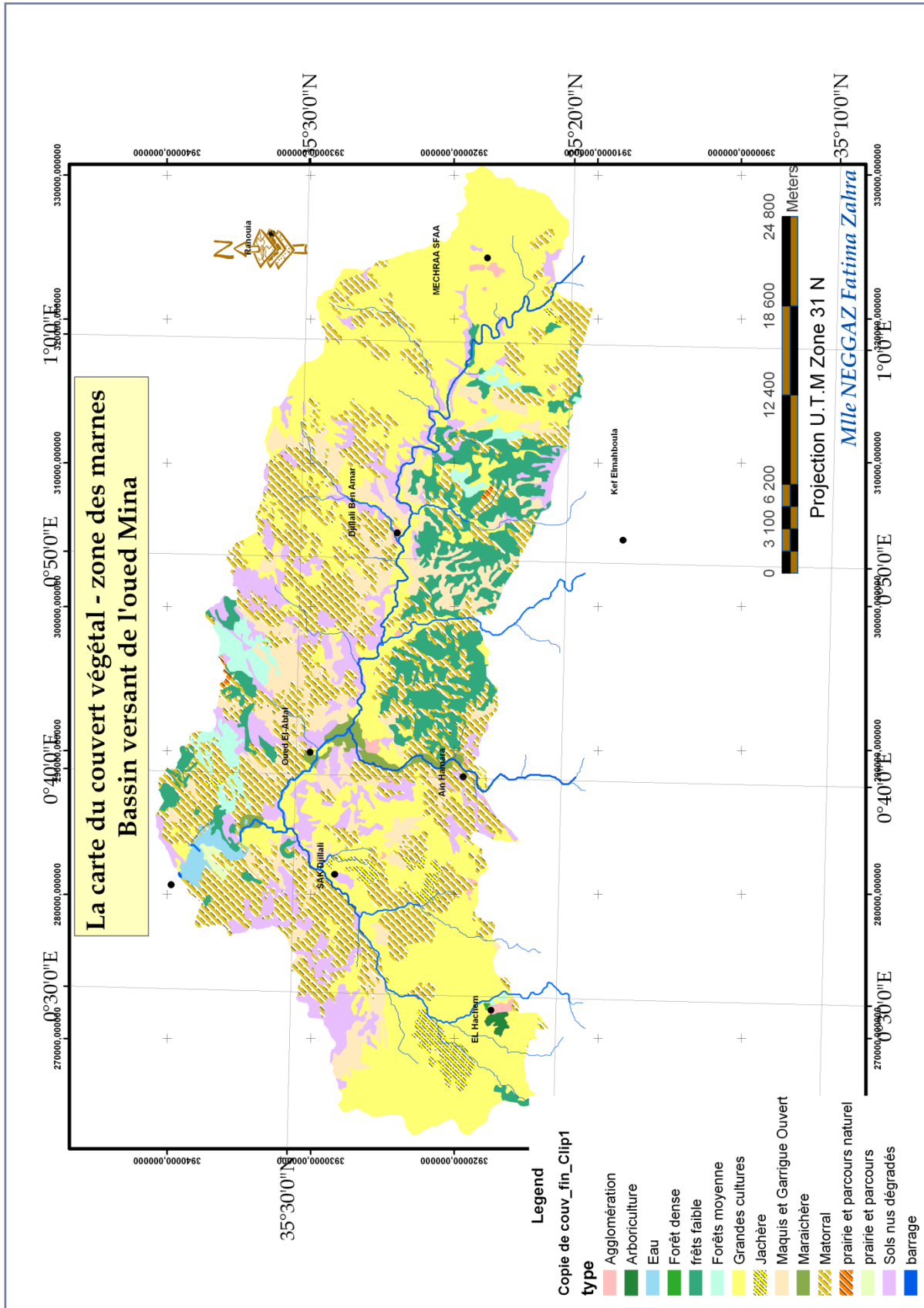


FIGURE 23. La carte du couvert végétal de la zone d'étude

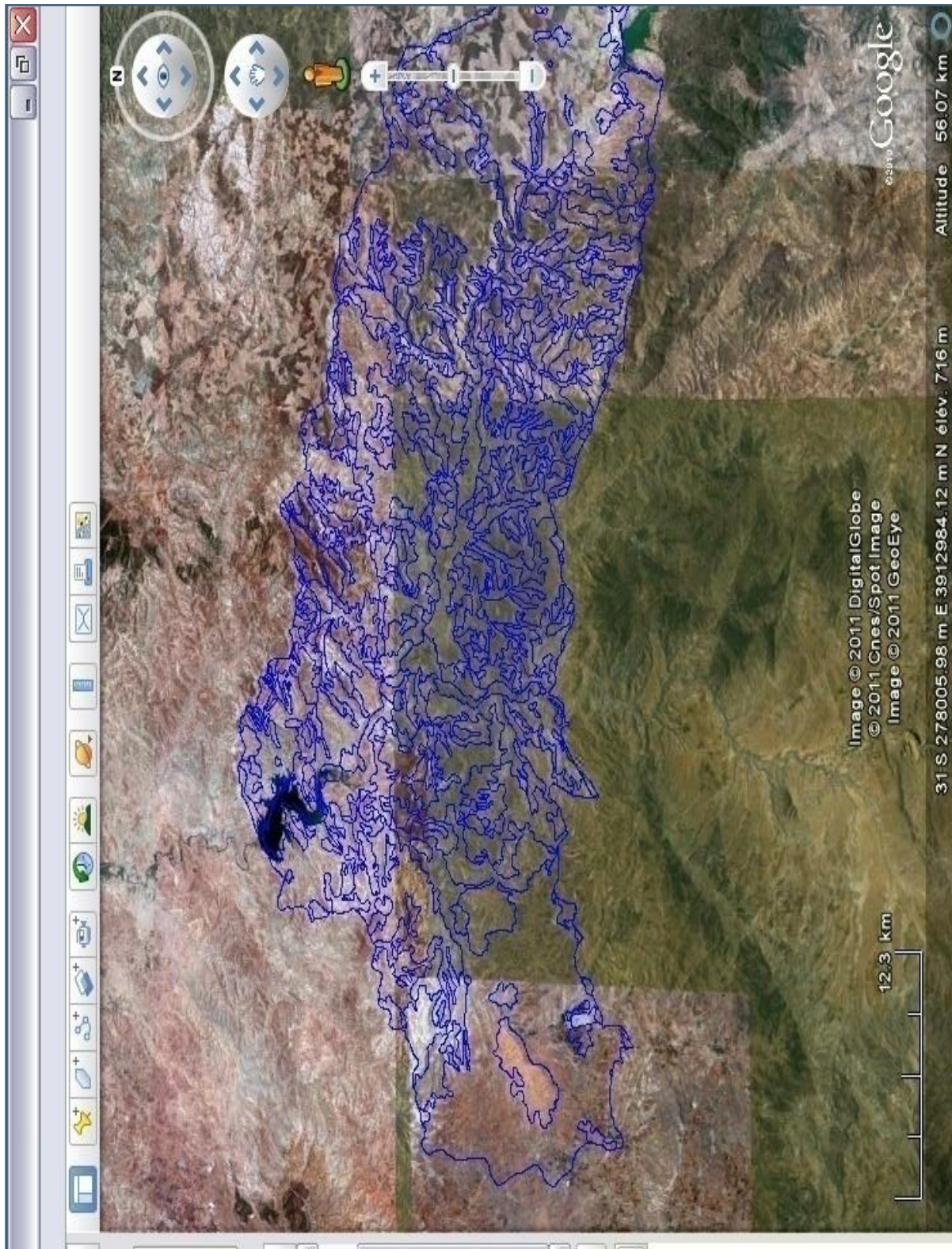


FIGURE 24. Figure google earth.

Les zones agricoles dominent presque la moitié de la zone d'étude, comme l'indique la figure 23. Le matorral occupe des superficies presque aussi importantes, soit environ 27%, ce dernier est suivi par les sols nus dégradés qui se trouvent un peu partout et qui totalisent environ 10%. Les formations de maquis – garrigue totalisent 9%. Elles sont particulièrement imbriquées au matorral.

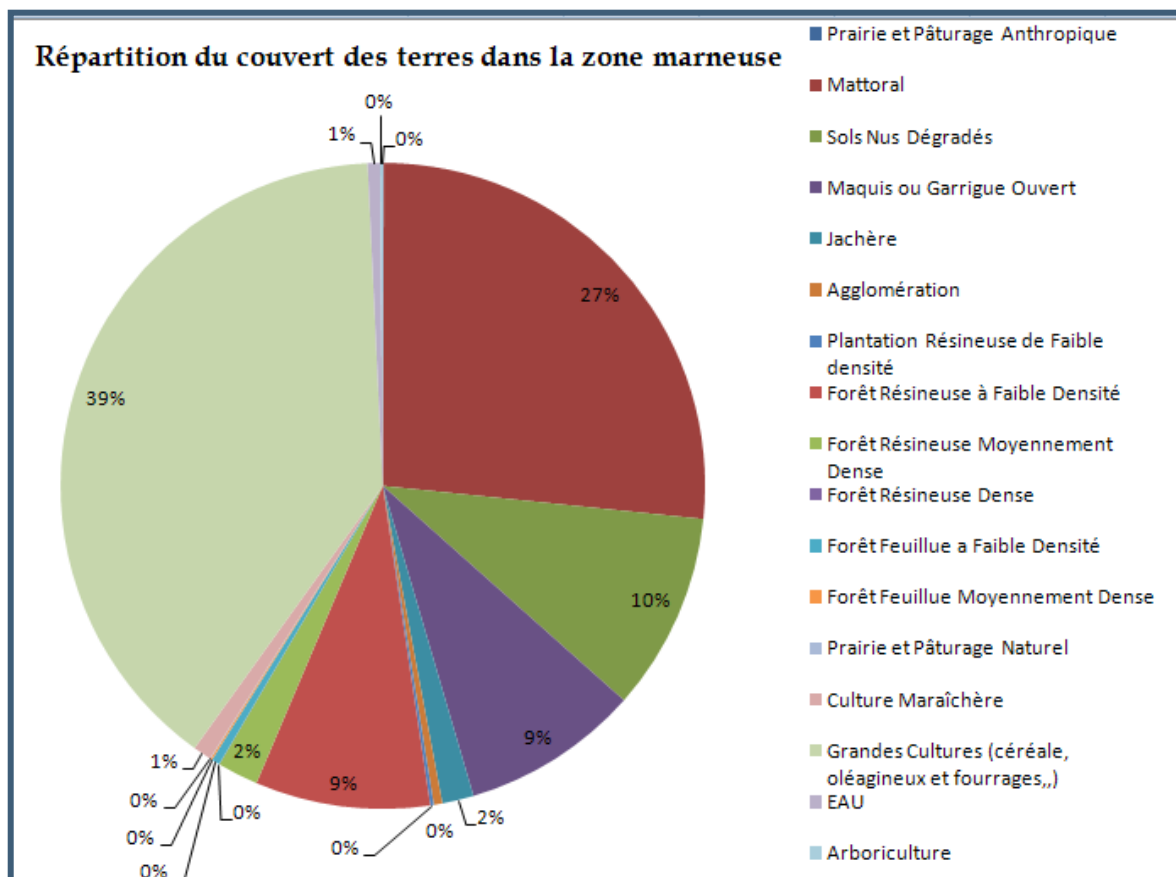
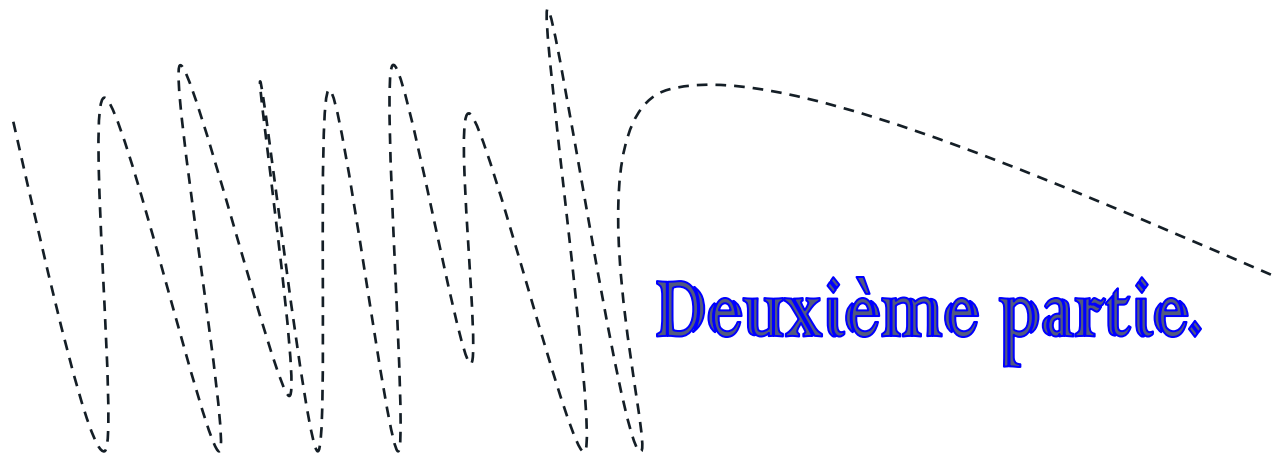
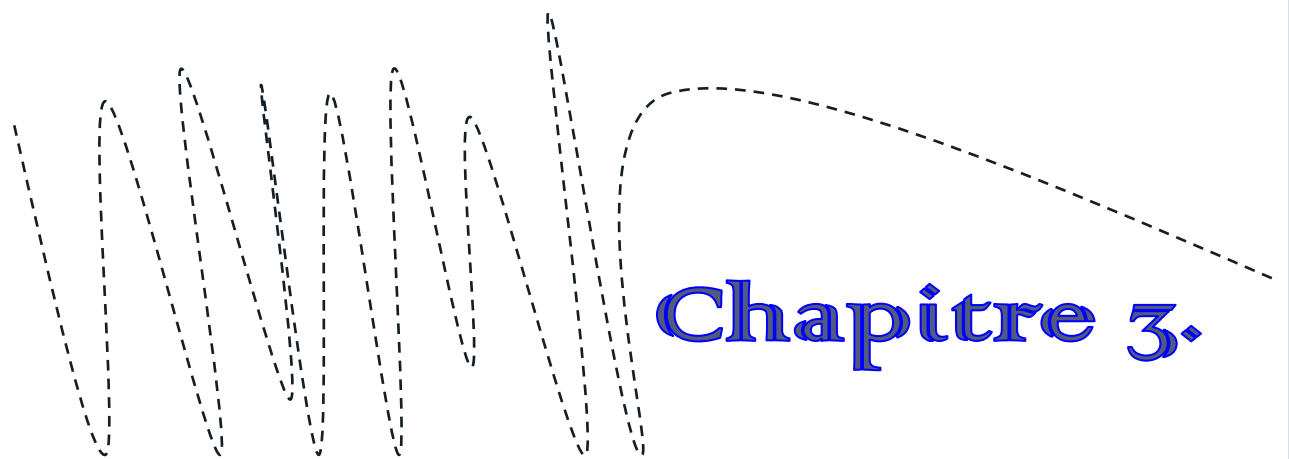


FIGURE 25. Répartition du couvert des terres du bassin versant de l'oued mina



**Evaluation du degré de l'érosion hydrique
dans la zone des marnes tertiaires**



Chapitre 3.

Méthodologie de travail

Chapitre 3. Méthodologie de travail

La méthodologie proposée consiste à effectuer une estimation des pertes de sol moyennes annuelles dans la zone marneuse du bassin versant de l'Oued Mina à l'aide du modèle empirique des pertes en sols RUSLE. Les paramètres de ce dernier sont calculés grâce au traitement et à l'analyse spatiale des données concernant les contraintes physiques des terrains, l'occupation du sol, la géomorphologie et de données dérivées, telles que les pentes et les expositions.

L'équation a été intégrée dans le **SIG ArcGis 9.2**, ce dernier permet la numérisation de toutes couches d'informations requises, et l'évaluation du taux annuel moyen d'érosion hydrique sur l'ensemble de la zone d'étude.

CHOIX DE LA ZONE DES MARNES TERTIAIRES:

C'est la partie septentrionale du bassin versant de l'oued Mina, occupe **1/5** de la superficie totale du bassin soit plus de **1 000 Km²**, constituée pour l'essentiel de marnes tertiaires, et contenant un Barrage en exploitation. Cette zone est retenue pour réaliser notre projet, ses terrains sont sensibles aux phénomènes d'érosion et contribuent à l'envasement du barrage Es-Saada.

La zone des marnes connaît un grand mouvement de la population, l'exode rural a fait perdre le contrôle des terres et par conséquent, il a contribué d'une façon indirecte à la dégradation des sols qui restent livrés au surpâturage.

1. Collecte des données

En plus de la recherche bibliographique, la collecte des données a été basée principalement sur les données de climatologie, de pédologie, et de la socio-économie du bassin de l'oued Mina, Ainsi que la sélection du matériel et logiciels cartographiques, et les images satellitaires nécessaires pour accomplir l'étude.

1.2. Adaptation de l'équation universelle de pertes en terre

Le modèle **RUSLE** (*Revised Universal Soil Loss Equation*) consiste en une version modifiée de l'équation universelle de pertes de sols (*USLE*) originalement élaborée par **Wischmeier et Smith 1978**, (l'érosion actuelle Ea ou perte en sol $Ea = R.K.LS.C.P$).

Ea est la perte de sol due à l'érosion et constatée, par unité de surface pendant une période de temps déterminée.

R est appelé facteur pluie ou indice d'érosivité. Il a été défini comme le produit de l'énergie de la pluie par son intensité maximum en 30 minutes.

K l'érodibilité de sol est la susceptibilité du sol à l'érosion et est évaluée en tenant compte de la texture, de la teneur en matière organique, de la structure et de la perméabilité du sol, sans tenir compte du couvert végétal et des pratiques culturales.

S * L Le facteur topographique tient compte à la fois de la longueur de la pente (**L**) et de son inclinaison (**S**) et d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion.

C Le facteur de couverture végétale est un simple rapport entre l'érosion sur sol nu et l'érosion observé sous un système de production. Il varie de 1 sur sol nu à $1/1000^{\text{ème}}$ sous forêt, $1/100^{\text{ème}}$ sous prairies et plantes de couverture, 1 à $9/10^{\text{ème}}$ sous cultures sarclées.

P le facteur des pratiques culturales antiérosives comme le labour, le buttage et le billonnage en courbe de niveau. Il varie entre 1 sur un sol nu sans aucun aménagement anti érosif à $1/10^{\text{ème}}$ environ, lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage cloisonné.

L'équation **RUSLE** a été résolue en superposant, à l'aide du SIG, les différentes cartes thématiques pertinentes à chacun des facteurs. La base de données véhiculée par chaque carte a été adaptée en attribuant une valeur précise au facteur concerné en se basant sur le contenu thématique du polygone cartographique. Par exemple, une valeur particulière du facteur C a été définie pour chaque polygone cartographique en se basant sur le type de couvert végétal comme élément discriminatoire. **La figure 26**, représente l'organigramme méthodologique de l'intégration de l'équation universelle de perte en sol.

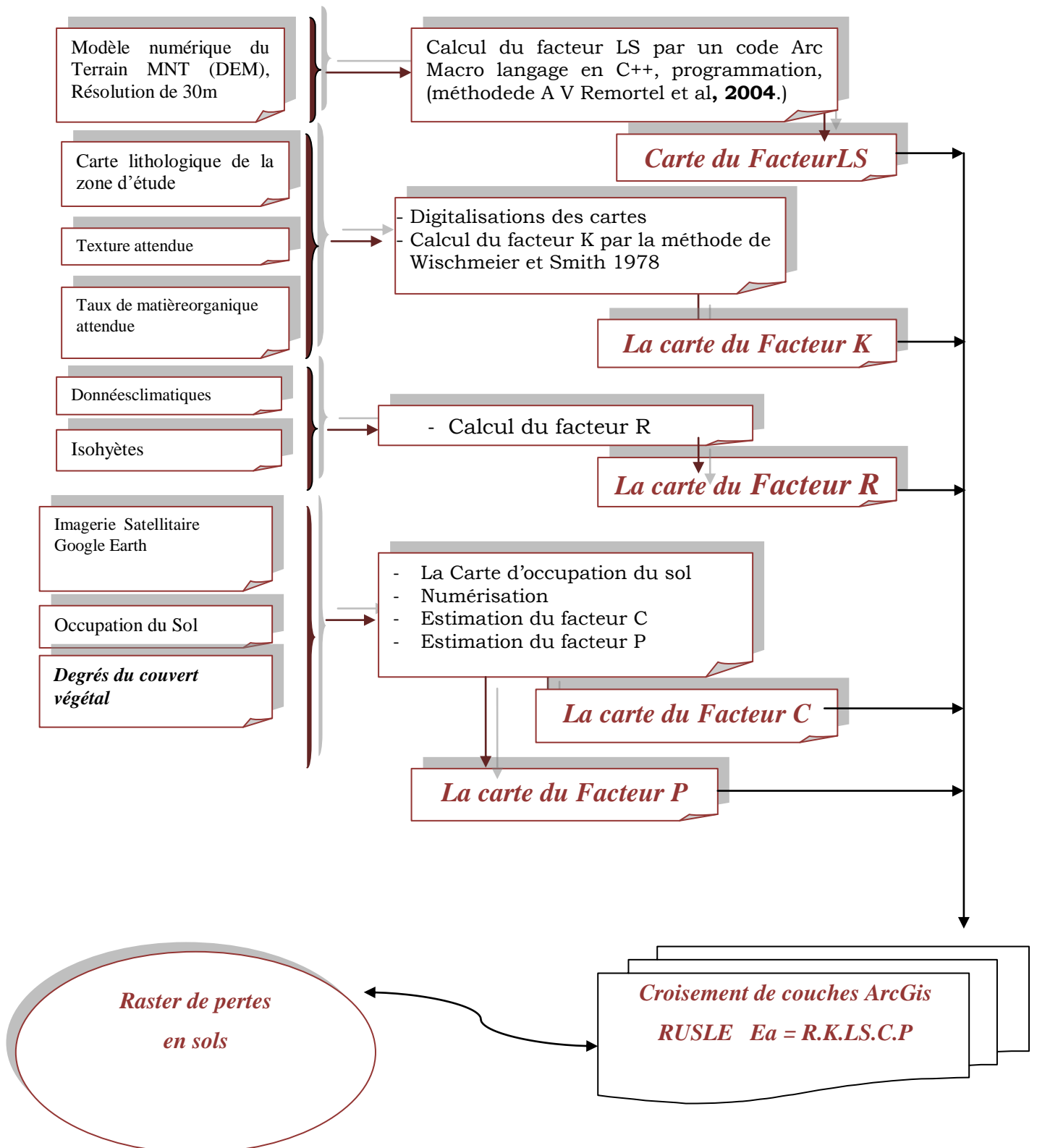


FIGURE 26. Organigramme méthodologique de l'intégration de l'équation universelle de perte en sol

1.3. Modèle d'élévation numérique DEM (MNT)

Le modèle d'élévation numérique (**Digital elevation model DEM**) ou le modèle numérique de terrain (**MNT**), joue le même rôle que celui des courbes de niveau du papier classique. Il offre une perspective analytique puissante.

Le **DEM** utilisé dans notre étude a été obtenu à partir d'**ASTER GDEM** (Global Digital Elevation Model), disponible pour le téléchargement sur le site : <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>, depuis juin 2009.

Le site est un projet de collaboration entre les ministères de l'économie, du commerce et de l'industrie du Japon (**METI**) et la NASA (National Aeronautics and Space Administration), visant à développer une base de données **DEM**, acquise par un satellite "ASTER" pour couvrir toute les terres de la planète.

Le **tableau-5**, représente une comparaison entre ASTER GDEM, SRTM3*, et GTOPO30** publiée sur le site <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html>.

TABLEAU 5. Comparaison entre **ASTER GDEM**, **SRTM3***, et **GTOPO30****

	Aster GDEM	SRTM3*	GTOPO30**
Source de données	ASTER	Space shuttle radar	From organisations around the world that have DEM data
Génération et distribution	METI/NASA	NASA/USGS	USGS
Année de sortie	2009	2003	1996
Période d'acquisition de données	2000 ongoing	11 days (in 2000)	
Posting interval	30m	90m	1000m
DEM précision (stdev.)	7 – 14m	10m	30m

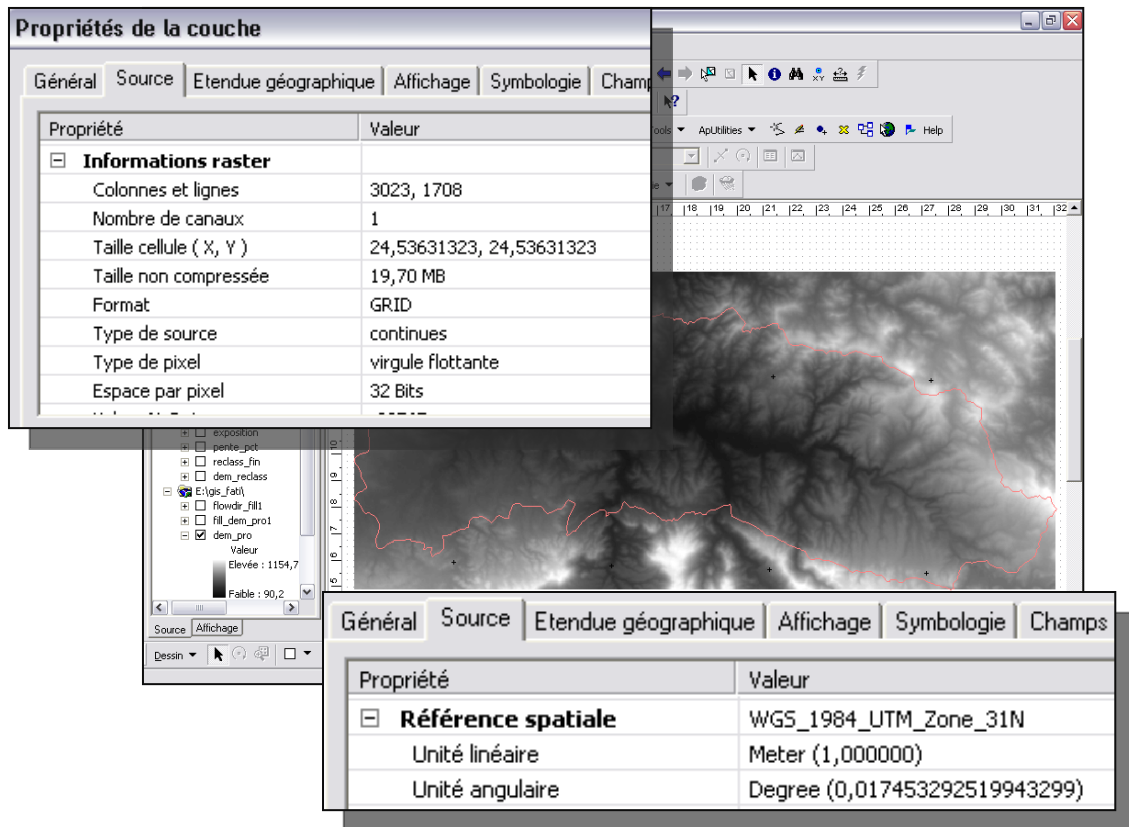


Figure 27. Informations raster et références spatiale concernant le DEM utilise dans notre étude

Le système de projection utilisée était l'Universel Transverse Marcator UTM, zone 31 Nord, Cette projection est recommandée pour les régions qui possèdent de vastes étendues, ainsi c'est la plus couramment utilisé à travers le monde entier, dans notre étude elle est associée aux référentiels géodésiques WGS84.

Le DEM à 30 m de résolution spatiale est largement suggéré pour obtenir les meilleurs résultats (Van Remortel et al., 2001 et Wang et al., 2002).

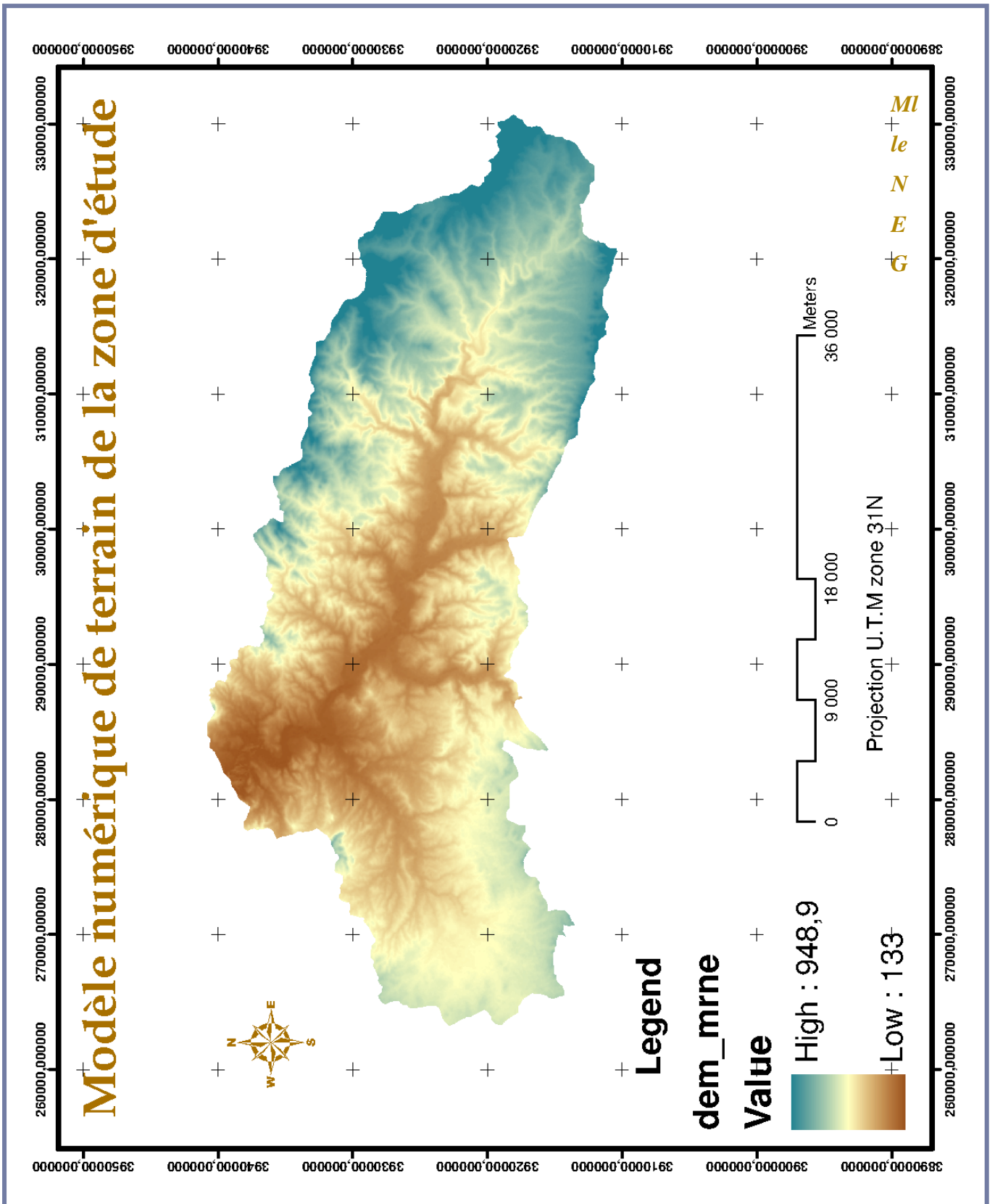


FIGURE 28. DEM de la zone marneuse

2. Indice d'érosivité des pluies (facteur R)

La caractérisation de l'agressivité des précipitations repose sur la définition d'un indice d'érosivité qui doit être significativement corrélé avec les pertes en terre observées (Soutter et al, 2007).

L'indice d'érosivité le plus communément utilisé a été proposé par **Wishmeier et Smith (1958)**, son estimation se fait sur la base d'observation liant d'une part les pertes en terres et d'autre part le produit de l'énergie cinétique E_{cin} et de l'intensité maximale des pluies de 30 minutes [mmh^{-1}].

$$R = E_{cin} i_{30}$$

L'inconvénient majeur de cette relation réside dans le fait qu'elle conduit à calculer une érosion même pour de faible intensité de pluies alors qu'en réalité elle se déclenche que si elle dépasse un certain seuil (en général entre **1** et **10 mmh^{-1}** en climat tempéré et de **25 mmh^{-1}** en climat tropical pour l'érosion en nappe et en rigole ; la formation de ravines nécessite quant à elle des intensités plus fortes, propres à des événements extrêmes (**Roose 1994 et Soutter et al, 2007**).

Ainsi cet indice, correspond aux risques érosifs potentiels dans une région donnée ou se manifeste l'érosion en nappe sur des parcelles nues de **9%** de pente (**Roose 1994, El-Garouani 2005**).

Pour pallier au manque de données pluviométriques, en particulier l'intensité des pluies à trente minutes i_{30} ; certains chercheurs (**Kalman 1967, Fournier 1960, Arnoldus 1980 et Rango et Arnoldus 1987**) ont développé des formules alternatives en Afrique du Nord qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur **R**.

2.1. Indice de Fournier 1960

Il permet uniquement, de caractériser d'une manière relative l'érosivité des régimes climatiques dans leur ensemble. Sa valeur s'exprime par rapport au carré de la pluviométrie moyenne P_i du mois le plus arrosé a la pluviométrie moyenne annuelle

$$\epsilon_F = P_i \max^2 / P \text{ annuelle}$$

Cet indice présente une bonne corrélation avec l'érosion annuelle moyenne des grands bassins pluvieux du globe (Soutter 2007, Roose 1994).

2.2. Indice d'Arnoldus

En 1980, Arnoldus, a tenté d'estimer l'indice d'érosivité de Wischemeier à partir de la somme des indices mensuels de Fournier (1960) il a pu trouver de bonnes corrélations régionales entre le **R de Wischmeier** et l'indice de **Fournier**.

$$\dot{\epsilon}_F = \sum P_i^2 / P \text{ annuelle}$$

Certains chercheurs ont appliqué cette formule à savoir, Tribak et al 2009, Elgarouani et al 2005 au Maroc et Litim et Hocine 2009 en Algérie.

2.3. INDICE DE RANGO et ARNOLDUS

C'est la forme modifié de l'équation d'Arnoldus 1980, adaptée à l'Afrique du Nord. Utilisée au Maroc par Sadiki et al en 2004, Elkhatouri en 2003 et El-Bouqdaoui et al en 2006; cet indice va nous servir dans le calcul du facteur R dans la zone des marnes tertiaires.

$$\text{Log R} = 1.74 \text{ Log } \sum (P_i^2/P) + 1.29$$

- P_i :Présente les précipitations mensuelles.
- P :Les précipitations annuelles en mm.

La formule de Rango et Arnoldus 1987 ; a été appliquée dans treize (13) stations météorologiques dont sept (07) sont réparties sur l'ensemble de la zone d'étude et six (06) à proximité.

2.4. Collecte des données pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées dans cette étude proviennent des treize 13 stations localisées sur la **fig.29**, bien que certaines de ces stations se retrouvent à l'extérieur du champ étudié, elles seront incluses dans l'interpolation, leur proximité à la zone d'étude permettra très probablement d'améliorer la qualité de l'interpolation.

Les coordonnées géographiques ainsi que les périodes d'observation de sept (07) stations localisées à l'intérieur de la zone d'étude sont présentées dans le tableau 3-1.

TABLEAU 6. Coordonnées géographiques et périodes d'observation des stations météorologiques

NO	Name	Code	Coordonnées Géographiques UTM zone 31			période d'observation
			x (m)	y (m)	Z(m)	
01	Sidi M'hamed	01-34-10	280 600	3 939 600	145	1969 - 2006
02	Oued El- Abtal	01-33-06	289 800	3 929 800	354	1969 - 2006
03	SAEK Djillali	01-34-01	281 700	3 928 500	225	1969 - 2006
04	Ain Hamara	01-33-02	288 110	3 919 490	288	1969 - 2006
05	Mechraa Sfaa	01-31-01	324 200	3 917 500	653	1969 - 2007
06	El-Hachem	01-34-07	272 050	3 917 400	417	1969-1992
07	Djilali ben Amar	01-31-02	305 000	3 924 300	300	1969 - 2006

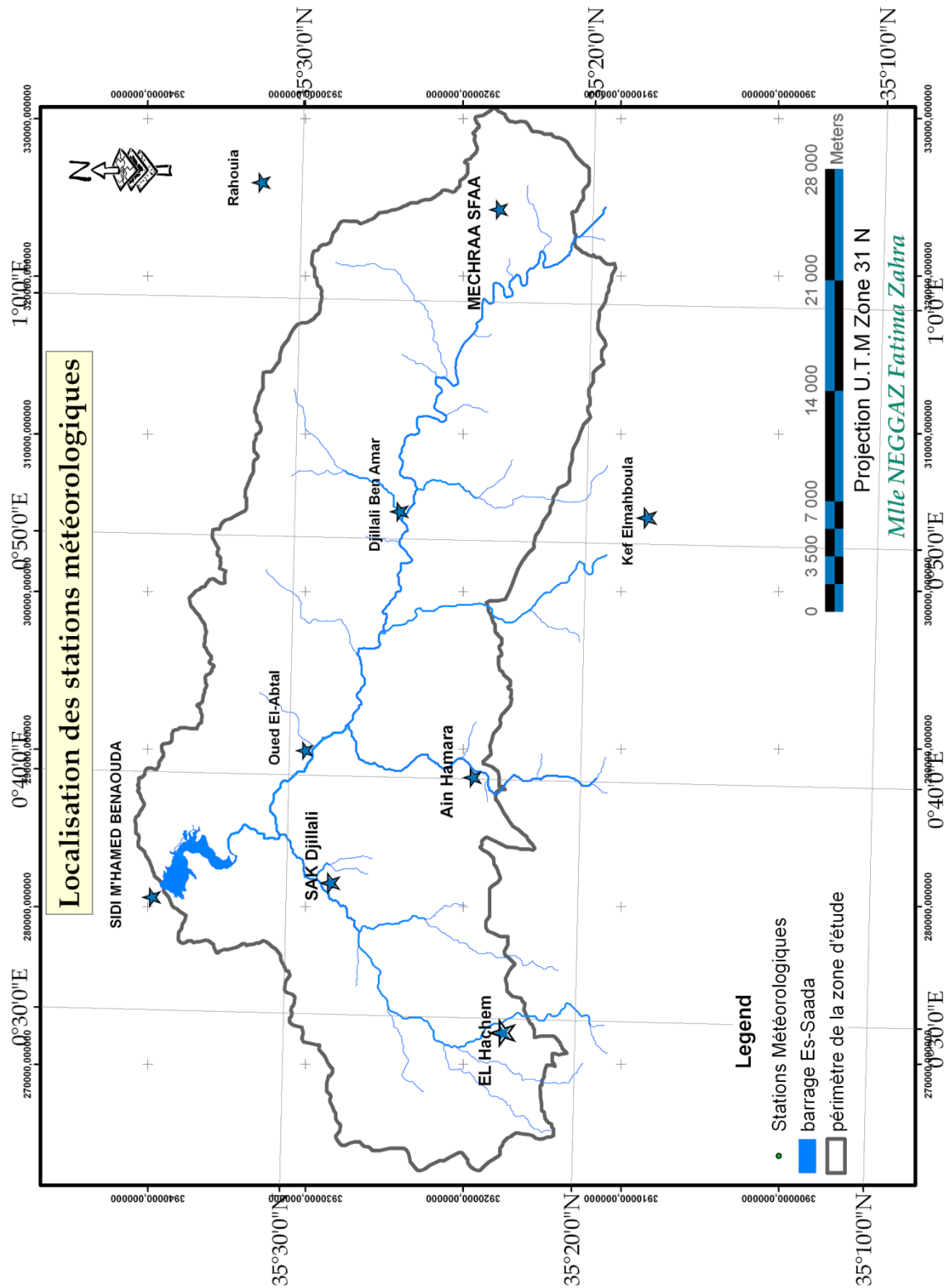


FIGURE 29. Localisation des stations météorologiques utilisées dans le calcul du **facteur R**.

2.5. Régionalisations de l'indice d'érosivité R

L'interpolation du **facteur R** à l'ensemble de la zone d'étude, sera faite selon le principe du **krigéage ordinaire**, une méthode géostatistique qui permet d'étudier les problèmes posés par des variables régionalisées, mesurées dans la nature telle que l'épaisseur d'une couche géologique, la teneur en substance et la pluviométrie (**Deveughele et Rizzoli, 1976**).

La démarche classique de **Thissen 1911**, utilisée par **Touaibia 2000** au bassin versant de l'oued Mina a été écartée dans cette étude. Elle est basée purement sur des principes géométriques, consistant à tracer des segments de droite joignant les points de mesures (stations), puis tracer des médiatrices pour enfin obtenir des polygones d'influence autour de chaque mesure. La valeur du poste contenu dans le polygone est alors affectée à l'ensemble du polygone (**Goovaerts, 2000**). Donc cette approche ne tient pas compte de la répartition spatiale des postes de mesures.

Par contre, les approches géostatistiques fondées sur la théorie des variables régionalisées sont de plus en plus appliquées (**Goovaerts 2000, Mortier 2007**). Ces méthodes de prévisions permettent d'utiliser la corrélation entre les observations voisines pour réaliser la spatialisation (**Deveughele et Rizzoli 1997**) elles donnent les meilleures évaluations des précipitations que les méthodes conventionnelles comme celle de **Thissen 1911**.

Le krigéage ordinaire représente selon plusieurs auteurs, la méthode d'estimation la plus précise, Il permet de calculer l'erreur d'estimation (**Baillargeon 2005 et Mortier 2007**), et génère les interpolations les plus justes (**Arnaud et al 2000 et Batti 2005**) où les données sont utilisées deux fois : tout d'abord pour générer le semi variogramme, qui repose sur les propriétés d'auto-corrélation, et en suite lors de l'interpolation en elle-même (**Mortier 2007**).

L'extension geostatistical Analyst, d'ARC GIS qui comprend la méthode d'interpolation de krigéage a été utilisée dans notre étude pour établir la carte de répartition du facteur d'agressivité climatique R.

L'organigramme suivant (**fig.30**) montre les différentes étapes suivies pour calculer le facteur R et le régionaliser sur l'ensemble de la zone d'étude.

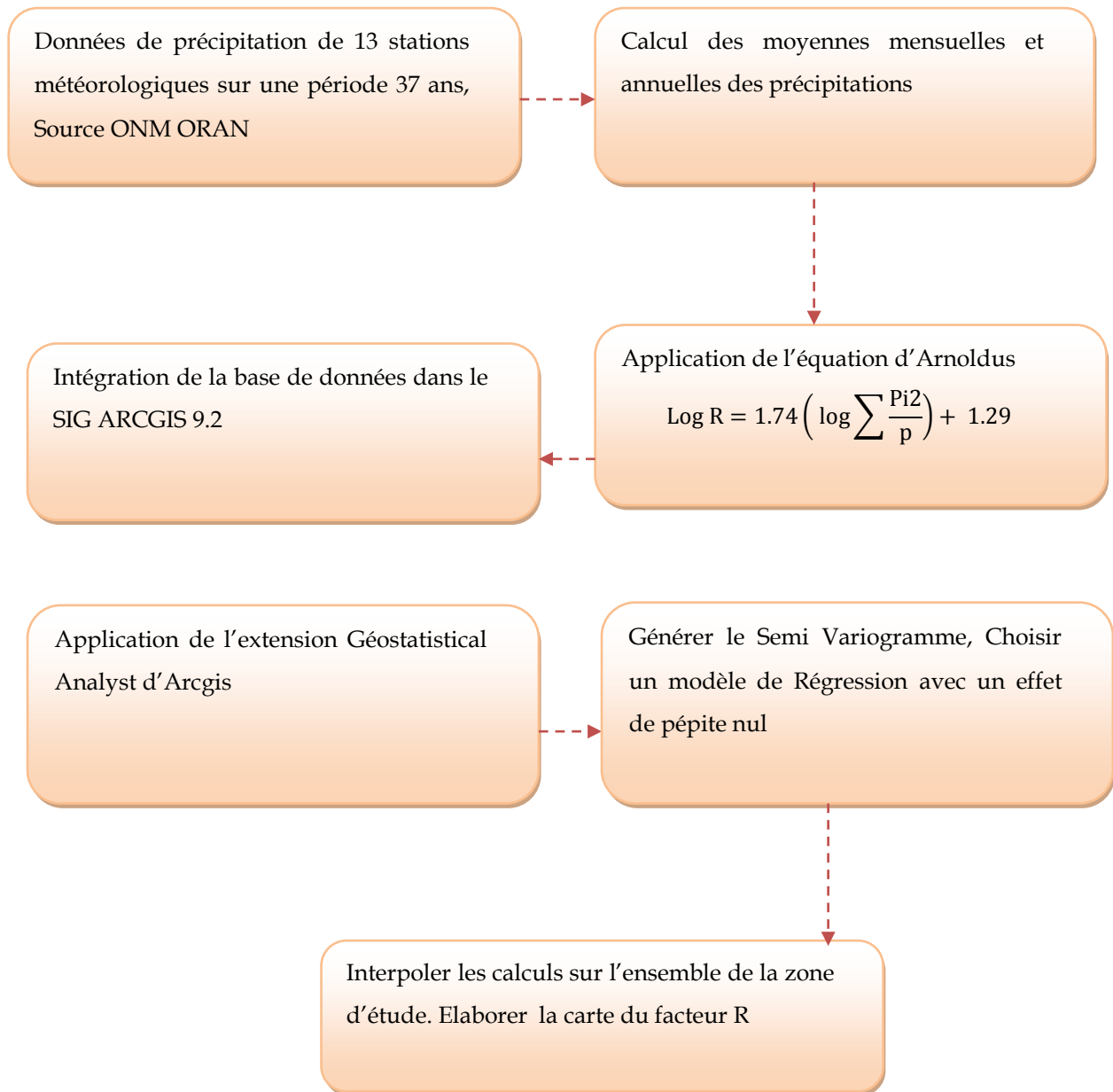


FIGURE 30. Organigramme de la détermination du facteur R.

3. Le facteur d'érodibilité du sol K

L'influence des propriétés des sols sur l'érosion a été démontré dans les années 1920, par **Bennett 1926, Middleton 1930, Bayer 1933 et Cook 1936**.

Sur des parcelles nues, de 9% de pente et de 22.2 m de longueur, **Wischmeier et Mannering 1969**, ont mis au point une équation de régression multiple, en fonction de plusieurs variables à savoir : la proportion de sable, limon, argile ; la teneur en matière organique ; l'humidité du sol ; la densité apparente ; la pente ; le PH de la surface et du sous-sol ; la structure ; l'épaisseur de la couche du sol, et l'utilisation des terres / couverture terrestre etc. L'équation est statistiquement précise, techniquement valable, mais elle s'est avérée, trop complexe en tant qu'outil opérationnel pour un technicien (**Sachin 2005**).

Plus tard, **Wischmeier et al. 1971**, ont jugé que l'érodibilité des sols dépend essentiellement du taux de la matière organique, de la texture du sol, de sa structure et de sa perméabilité. De ce fait, l'auteur et ses collaborateurs ont simplifié davantage la procédure de détermination du facteur d'érodibilité du sol, par l'élaboration d'une équation basée sur les cinq paramètres précités, sous la forme suivante :

$$K = [0.00021 M^{1,14} (12 - A)] + [0.0325 (S - 2)] + [0.025 (P - 3)]$$

- ☞ **K** : facteur d'érodibilité du sol
- ☞ **M** : terme textural = (%limon+ %sable fin) * (100 – Argile 100)
- ☞ **A** : teneur en matière organique
- ☞ **S** : code de structure du sol (1 à 4), 1 pour une structure grenue très fine et 4 pour une structure massive en bloc
- ☞ **P** : code de perméabilité (1 à 6), allant de 1 pour les sols à drainage rapide à 6 pour les sols à drainage très lent.

A l'échelle régionale, L'approche de **Wischmeier** reste, coûteuse, et nécessite beaucoup de temps. Il serait impossible d'évaluer le facteur K à partir des parcelles standard (simulation de pluie) dans le cadre d'un mémoire de magister. Ainsi, le manque de données relatives aux paramètres de l'équation en question, constitue un handicap considérable. Par conséquent, des études devraient être entreprises pour déterminer la valeur de K en fonction de la méthode proposée par **Wischmeier et al. 1978**.

Les propriétés du sol pourraient toutefois, être déterminées par des méthodes alternatives. Ainsi, la texture des sols sera déduite de la carte lithologique de la zone d'étude, suivant le principe de **Cray et Murphy 1999**.

L'influence du matériel original du sol sur ses propriétés physico-chimiques, a été évoqué par plusieurs chercheurs à savoir: **Jenny 1941 et 1980, Brewer 1954 et Chesworth 1973**.

Gray et Murphy 1999 et 2002, ont exploité les données de l'analyse de plus de **8 000** profils de sol, afin d'établir des corrélations entre les types de sols, le matériel parental, le climat et le drainage. Le tableau 7 et la figure 31, montrent les résultats obtenus.

TABLEAU 7. Texture la plus probable selon la nature du matériel parental (**Gray et Murphy 1999**)

Matériel parental	exemple	Texture attendue
Extrêmement siliceux	Quartz	Sable
Très siliceux	Grès, granite	Sable à limon sableux
Composition de transition	Shale, schiste	Limon sableux à limon
Composition intermédiaire	Diorite	Limon sableux à limon argileux
Mafique	Basalte	Limon argileux à argile
Ultra-mafique	serpentinite	argile
Calcareux	Calcaire dolomite	Limon à argile
Alluvial	Alluvions	Sable à limon sableux ou limon à argile
Organique	Tourbière	Variable
Riche en sesquioxides	Laterite	Limon sableux à limon

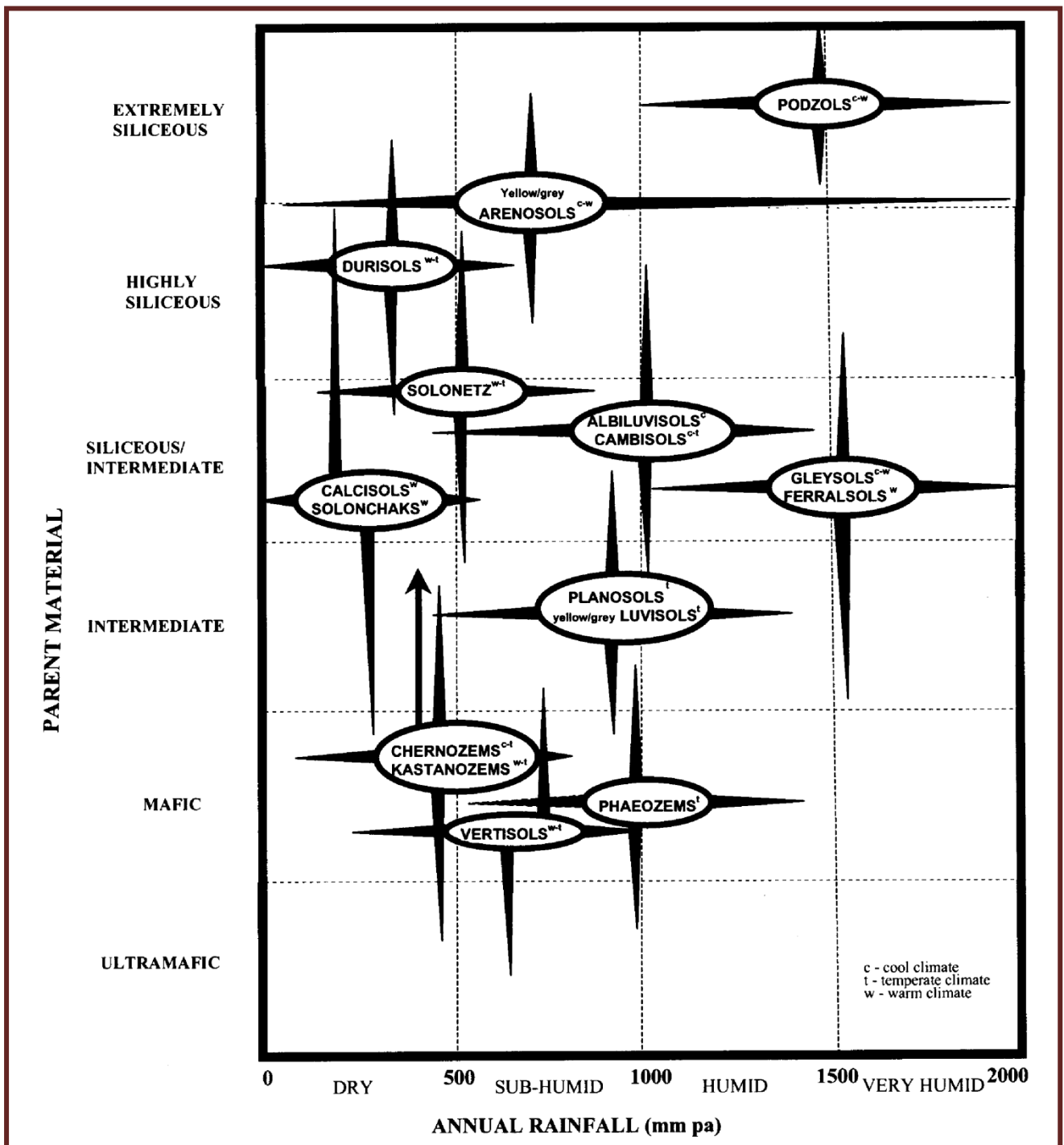


FIGURE 31. Distribution des sols en fonction du matériel parental et l'étage bioclimatique.

Les résultats trouvés par **Gray et Murphy 1999**, seraient difficilement transférables en Algérie, de ce fait, les classes texturales détaillées internationalement reconnues vont nous servir pour affecter à chaque unité lithologique une classe texturale (**l'USDA fig.32**).

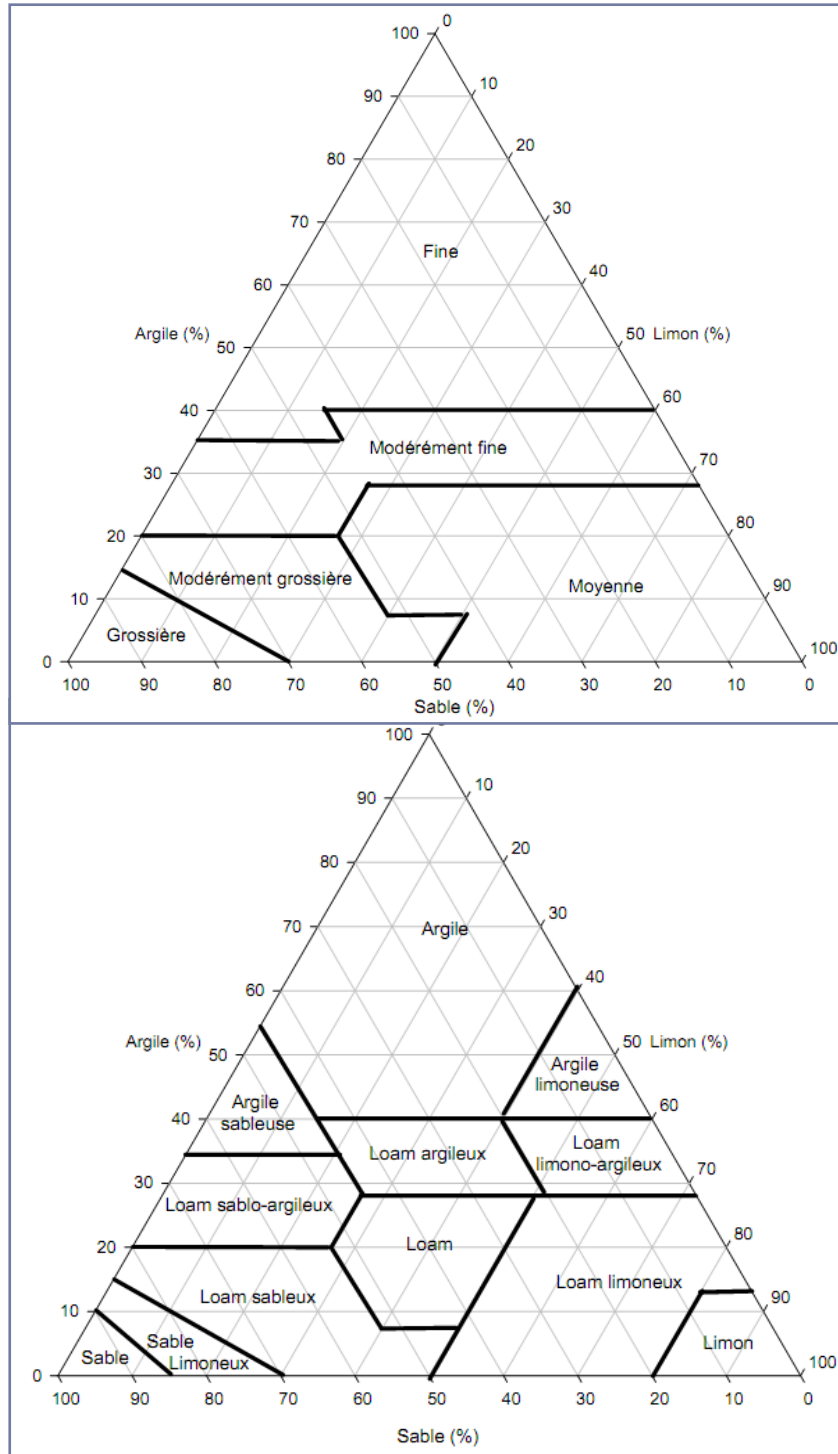


FIGURE 32. Triangles des classes texturales internationalement reconnues utilisées par l'USDA.

La lithologie du bassin versant de l’oued Mina a été entièrement cartographiée par IFG en 1987, par Kouri 1993, et par les services de l’ANBT en 2006. La carte réalisée par l’ANBT fera, l’objet d’une digitalisation afin d’obtenir les différentes unités lithologiques couvrant l’ensemble de la zone des marnes tertiaires. Elle avait comme sources:

- ☞ Carte géologiques de l’ORGM au 1 :50 000 : Ain Fares (184) et Oued El Abtal (185) et au 1 :500 000 Alger Nord et Oran Nord.
- ☞ Un fond cartographique se composant des feuillets topographiques de l’INCT au 1 : 50 000 : NI-31-XIII (SAIDA) 1E, NI-31-XIII (AIN DEZ) 2E et 2O, NI-31-XIII (AIN SEKHOUNA) 4E et 4O, NI-31-XIV (MEDRISSA) 1O, NI-31-XIX (MOHAMMADIA) 3E, NI-31-XIX (RELIZANE) 4E et 4O, NI-31-XIX (MASCARA) 5E, NI-31-XIX (OUED EL ABTAL) 6E et 6O, NI-31-XIX (OUED TARIA) 7E, NI-31-XIX (TAKHEMARET) 8E et 8O, NI-31-XX (TIARET) 5O, et NI-31- (FRENDA) 7O.

Les pourcentages moyens de sable fin, de limon et d’argile représentent les caractéristiques moyennes de chacune des classes. Ils ont déjà été calculés par **USDA et Shirazi et al.(2001). Tableau 8.**

TABLEAU 8. Les moyennes de sable, limon, et argile calculées par **Shirazi et al, 2001 et l’usda.**

Texture générale	Texture détaillée	sable très fin (%)	Sable (%)		Limon (%)		Argile (%)	
Fine	argile	6	22,00	19,87	20,00	19,6	66,67	60,76
	argilo limoneuse	2	8,67	6,84	49,00	47,17	49,00	45,98
	argilo - sableuse	5	53,67	51,84	8,33	7,21	44,67	40,95
modérément Fine	limono argileuse	11	32,67	32,5	33,67	57,06	33,67	32,94
	limon argilo limoneuse	4	10,00	10	56,33	34,6	33,67	32,9
	limon argilo sableuse	9	61,67	60,11	13,67	13,54	27,33	26,36
Moyenne	limon	4	9,33	7,58	89,00	87,82	5,67	4,6
	laom limoneux	9	23,33	21,64	71,67	65,9	14,00	12,45
	loam	14	38,67	41,21	39,67	41,07	17,33	17,72
Modérément grossière	loam sableux	15	64,33	64,52	25,00	26,01	10,00	9,46
Grossière	sable laomeux	10	80,67	81,53	10,67	13,17	7,00	5,3
	sable	6	91,67	91,71	7,00	5,39	4,67	2,89

USDA	Shirazi et al, 2001
-------------	----------------------------

Les moyennes obtenues par **Shirazi et al, 2001** sont proches de celles calculées par l'**USDA**, cette dernière a également déterminé le pourcentage de sable très fin, de ce fait ses valeurs seront utilisées dans notre étude pour calculer le facteur **K**.

Le pourcentage de la matière organique va être estimé par l'entremise du couvert végétal cartographié dans notre zone d'étude. Les analyses du sol effectuées par **Morsli et al en 2004**, dans le Tell oranais, montre que le taux de matière organique tend à diminuer d'une année à l'autre. Sur les petits bassins expérimentaux de l'oued Mina, le taux de matière organique n'a pas dépassé 3 % selon des analyses réalisées par **Kouri 1993 (Annexe n°02)**. De ce fait le taux de la matière organique sera attribué de la façon suivante (**tableau.9**).

TABLEAU 9. Taux de matière organique attendu selon le type du couvert végétal

Couvert végétal	Classe du % en matière organique	Moyenne
Agriculture céréalière et fourragère	0 à 0.5	0.2
Agriculture maraîchère	> 1.5	1
Arboriculture	> 1.5	2
Plantation forestière résineuse < 50 % de couvert	0.5 – 1.5	1
Forêt feuillue < 50 % de couvert	0.5 - 1.5	1
Forêt feuillue 50 à 75 % de couvert	0.5 – 1.5	1
Forêt Résineuse < 50 % de couvert	0.5 – 1.5	1
Forêt résineuse 50 à 75 % de couvert	0.5 – 1.5	1
Forêt Résineuse > 75 % de couvert	> 1.5	2
Maquis et garrigue ouverte 20-60 % de couvert	0.5 - 1.5	1
Prairie et pâturage naturel	0.5 – 1.5	1
Prairie et pâturage anthropique	0.5 – 1.5	1
Matorral dégradé	0.5 – 1.5	1
Jachère	0 – 0.5	0.2
Affleurement rocheux	0 – 0.5	0.2
Sol nu dégradé	0 – 0.5	0.2

Les valeurs des coefficients, structure du sol (**S**), et perméabilité (**P**), ont été obtenue en se basant sur la texture (**Tab.10**).

TAB.10.Le code de la structure et perméabilité selon la texture générale des sols.

Texture générale	Perméabilité (P)	Structure (S)
Grossière	5	1
Modérément grossière	4	2
Moyenne	3	3
Modérément fine	2	4
Fine	1	4

l'organigramme suivant, résume la démarche suivie pour le calcul de l'érodibilité des sol "Facteur K" dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina.

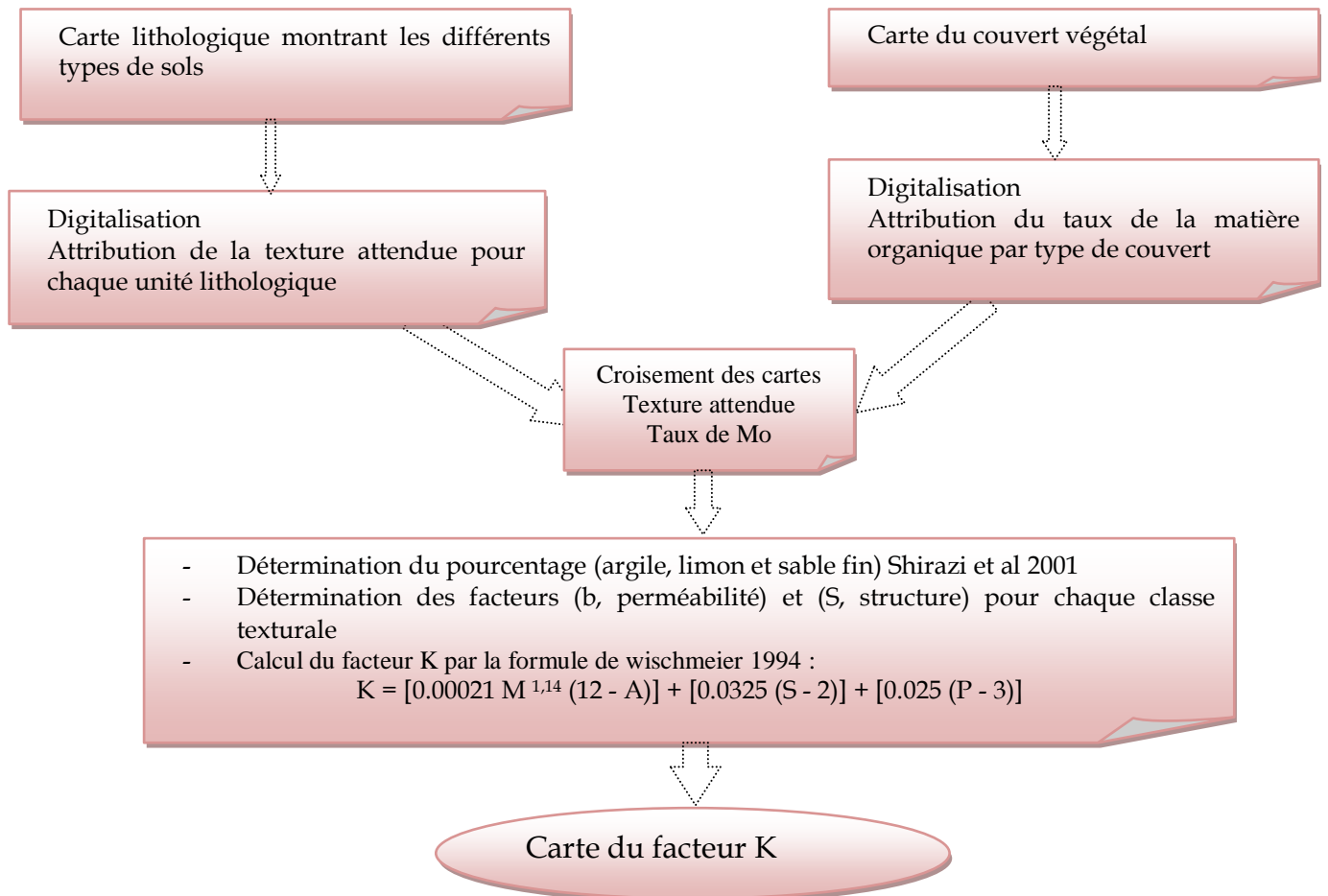


Figure 33.Organigramme de détermination de l'indice d'érodibilité des sols k.

4. Facteur topographique LS

Pratiquement tous les modèles de calcul de l'érosion et de perte en terre, incluent le facteur topographique, sous une certaine forme.

Le facteur topographique, **LS** est défini comme le produit de la longueur de pente **L**, et son inclinaison **S**, par unité de surface, soit la parcelle standard de Wischmeier d'une longueur de **22.1m** et d'une pente de **9%**. Il y a eu différentes manières de calculer le **LS**. Depuis **Zingg 1940**, Jusqu'à **RUSLE (McCool et al., 1997)**.

L'utilisation de l'USLE et sa forme révisée, **RUSLE** à l'échelle régionale a été limitée par l'incapacité à produire des estimations fiables du facteur topographique **LS (Hickey et al 1994, Van Remortel et al, 2004)**. D'où de multiples questions et préoccupations concernant ce facteur plus que tout autre terme dans **RUSLE**. Cela est causé par le choix de la longueur de la pente selon **Renard et al, 2011**, différents utilisateurs choisissent différentes longueurs des pentes, pour des situations similaires.

La numérisation des procédures de calcul a conduit au développement de deux grandes philosophies de détermination du **LS (Soutter 2007)**:

- ✓ la première s'appuie soit sur une toposéquence relative au plus long chemin d'écoulement, soit en 2D (**Wischmeier and Smith 1965 et 1978 ; Foster and Wischmeier 1974 ; Foster et al, 1987 ; McCool et al, 1989 ; Desmet and Govers, 1996 ; Renard et al, 1997 ; Hickey, 2000**). Cette approche nécessite la programmation d'un outil dédié dans le logiciel ArcInfo©.
- ✓ la superficie amont afférente au pixel qui remplace la longueur d'écoulement (**Moore and Burch, 1986 ; Moore et al, 1993**). Cette approche-ci peut être générée sur la base de la cartographie de l'accumulation des flux dans le logiciel ArcInfo©.

Les procédures nouvellement mises au point, permettent aux utilisateurs de système d'information géographique (SIG), l'estimation automatique des pertes en sol dans des aspects complexes comme les bassins versants (**Van Remortel et al., 2004, Galdino et al., 2011**).

Les travaux de **Hickey et al., 1994 et 2000**, ont abouti à la production d'un code AML (Arc Macro Langage), qui peut être utilisé dans les SIG IDRISSE et ArcInfoTM, pour calculer le facteur topographique LS. L'entrée numérique utilisée, est un Modèle d'élévation de terrain (DEM, digital elevation model).

Le code a été réécrit en langage programmation C++, par **Van Remortel et al., 2004**, dans le but de remplacer les anciennes équations, par les nouveaux algorithmes RUSLE. Certains changements associés à des points spécifiques, comme les zones plates, les pistes et d'autres critères spécifiques de l'inclinaison des pentes ont été ajoutés.

La méthode **Hickey** est spécialement conçue pour le calcul de la longueur de la pente, car elle intègre une variable de "pente-off", qui améliore la détection du début et de la fin de chaque longueur de pente (λ) (**José et al, 2010**).

C'est ainsi, que l'objectif de cette section est d'estimer le facteur topographique LS par le biais du programme AML C++ exécutable (**lsfac_c.exe**).

4.1. Description de l'Algorithme

Une description détaillée des algorithmes et programmes utilisés dans le calcul du facteur topographique LS – RUSLE a été faite par (**Dunn et Hickey 1998, Hickey 2000, Van Remortel et al, 2001 et 2004**).

La première exigence pour le programme **lsfac_c.exe**, est un DEM. Son fonctionnement, commence par une fonction de remplissage sur toutes les dépressions ou les puits trouvés sur l'entrée de DEM. Les dépressions peuvent générer des valeurs négatives de pente et par conséquent entraîner de graves estimations de l'érosion (dépôt) (**Dunn et Hickey 1998, Hickey et al., 1994**).

Afin de calculer les valeurs LS, une série de grilles DEM dérivés sont produits par l'exécution du programme AML LS-facteur. Elles sont ensuite utilisées dans le calcul final. Il s'agit des grilles de la direction de l'écoulement (flowdirection) et de son accumulation (flowaccumulation). Le principe de ces deux commandes est expliqué dans le chapitre n° 02. La **Figure n°34** contient un organigramme qui montre une vue d'ensemble du processus.

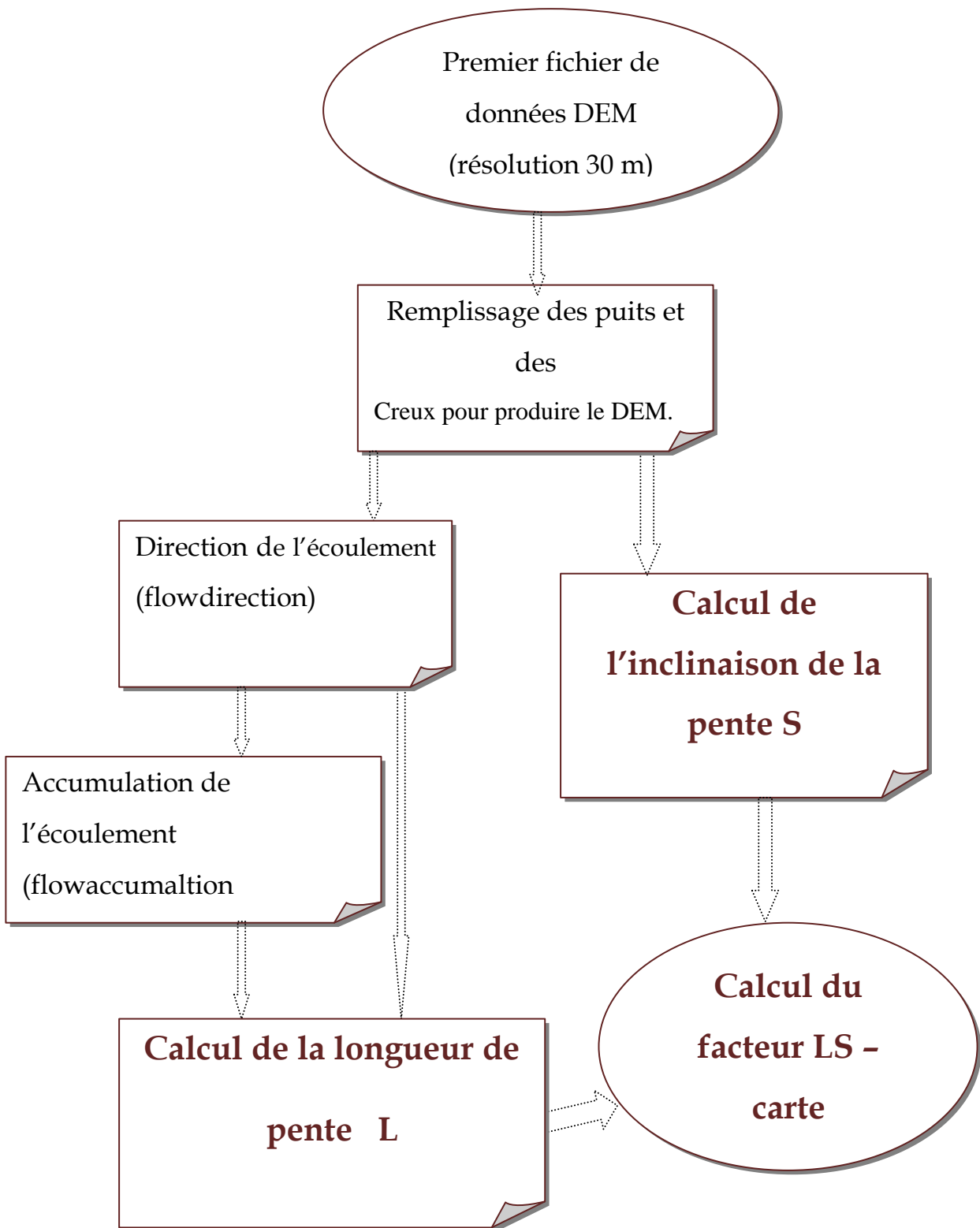


Figure 34. Organigramme de détermination du facteur LS

4.2. Calcul de La longueur de la pente

La longueur de la pente **L** a été définie comme la distance entre le point d'origine de l'écoulement, jusqu'au point où l'inclinaison de la pente diminue assez et le dépôt commence (**Wischmeier et Smith, 1978**). Le facteur **L** est sans dimension, car il représente le rapport entre la longueur réelle d'un terrain λ , et celle de la parcelle de **Wischmeier (22.13m)**, élevé à la puissance du désigné exposant de la longueur de pente m . La formule de **Wischmeier & Smith (1978)** est la suivante :

$$L = (\lambda / 22,13)^m$$

Dénivelé (S)	m
$\geq 5 \%$	0,5
3,5 à < 5%	0,4
1 à < 3.5 %	0,3
< 1 %	0,2

- ✚ λ = longueur pente en mètres;
- ✚ m = constante dépendant de l'inclinaison de la pente.

Le calcul de la longueur de pente dans le modèle **RUSLE** est basé sur les expressions suivantes de **McCool 1997**:

Le calcul de la constante m , se fait selon la formule de (**foster et al, 1977**) dont l'expression est la suivante :

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Où: β = est le rapport entre l'érosion en rigole et l'érosion en nappe

McCool et al., (1989) ont calculé les valeurs de " β " pour les conditions où le sol est modérément sensible à l'érosion dans les sillons et les crêtes, selon l'équation suivante :

$$\beta = \frac{\left(\frac{\sin \theta}{0,0896}\right)}{[3 * (\sin \theta)^{0,8} + 0,56]}$$

Dans les bassins versants ou à l'échelle des terres boisées, la sensibilité à l'érosion en nappe et en rigole est faible. De ce fait l'exposant de la longueur de pente m , a été adopté sur

une large gamme de gradients de pente (McCool *et al.*, 1997). L'algorithme de Hickey 2000, modifié par Van Remortel *et al.*, 2004 contient de multiples exposants Fig 35.

```

rusteV4pc(2).aml - WordPad
Fichier Edition Affichage Insertion Format ?
else if ((down_slp_ang gt 0.1) and (down_slp_ang lt 0.2))
  m_slpexp = 0.02
else if ((down_slp_ang ge 0.2) and (down_slp_ang lt 0.4))
  m_slpexp = 0.04
else if ((down_slp_ang ge 0.4) and (down_slp_ang lt 0.85))
  m_slpexp = 0.08
else if ((down_slp_ang ge 0.85) and (down_slp_ang lt 1.4))
  m_slpexp = 0.14
else if ((down_slp_ang ge 1.4) and (down_slp_ang lt 2.0))
  m_slpexp = 0.18
else if ((down_slp_ang ge 2.0) and (down_slp_ang lt 2.6))
  m_slpexp = 0.22
else if ((down_slp_ang ge 2.6) and (down_slp_ang lt 3.1))
  m_slpexp = 0.25
else if ((down_slp_ang ge 3.1) and (down_slp_ang lt 3.7))
  m_slpexp = 0.28
else if ((down_slp_ang ge 3.7) and (down_slp_ang lt 5.2))
  m_slpexp = 0.32
else if ((down_slp_ang ge 5.2) and (down_slp_ang lt 6.3))
  m_slpexp = 0.35
else if ((down_slp_ang ge 6.3) and (down_slp_ang lt 7.4))
  m_slpexp = 0.37
else if ((down_slp_ang ge 7.4) and (down_slp_ang lt 8.6))
  m_slpexp = 0.40
else if ((down_slp_ang ge 8.6) and (down_slp_ang lt 10.3))
  m_slpexp = 0.41
else if ((down_slp_ang ge 10.3) and (down_slp_ang lt 12.9))
  m_slpexp = 0.44
else if ((down_slp_ang ge 12.9) and (down_slp_ang lt 15.7))
  m_slpexp = 0.47
else if ((down_slp_ang ge 15.7) and (down_slp_ang lt 20.0))
  m_slpexp = 0.49
else if ((down_slp_ang ge 20.0) and (down_slp_ang lt 25.8))
  m_slpexp = 0.52
else if ((down_slp_ang ge 25.8) and (down_slp_ang lt 31.5))
  m_slpexp = 0.54
else if ((down_slp_ang ge 31.5) and (down_slp_ang lt 37.2))
  m_slpexp = 0.55
else if (down_slp_ang ge 37.2)
  m_slpexp = 0.55
  
```

Appuyez sur F1 pour obtenir de l'aide

FIGURE 35. Les valeurs de m utilisées dans l'algorithme

La longueur de la pente dans chaque cellule (pixel), est appelée «longueur de la pente non cumulatifs" (NCSL) ; cette dernière varie en fonction de la résolution de la façon suivante:

- ✚ Si la cellule d'entrée est dans une direction cardinale (N, S, E, O), puis NCSL = (La résolution de la cellule).
- ✚ Si la cellule est entrée dans une direction diagonale, NCSL = 1,4142 x (La résolution de la cellule).
- ✚ Si la cellule est situé sur une crête (point le plus haut de la pente), puis NCSL = 0,5 x (La résolution de la cellule).

```

if [exists dem_fill_b -grid] &then
  kill dem_fill_b all
dem_fill_b = con (isnull(dem_fill), focalmin(dem_fill), dem_fill)
kill dem_fill all
  
```

```

/*set cell length for orthogonal and diagonal flow directions.
&sv cell = [show scalar $$cellsize]
&sv cellorth = (1.00 * %cell%)
&sv celldiag = (1.4142 * %cellorth%)
  
```

Figure36. Code utilise pour le calcul de la longueur de pente dans chaque cellule

4.3. La raideur de la pente (inclinaison)

L'inclinaison **S** est fondamentalement liée au facteur **L**. Ces deux caractéristiques de la pente sont généralement regroupées. L'équation originale pour exprimer la raideur de la pente, **S**, a été présentée par **Wischmeier et Smith 1978** comme :

$$S = (65.41 \times \sin^2 \theta) + (4.56 \times \sin \theta) + 0.065$$

L'angle de la pente θ est exprimé en degrés.

Dans l'algorithme – **RUSLE**, la raideur de la pente, est calculée directement à partir d'un angle d'inclinaison (θ) en utilisant deux équations (**McCool et al., 1987 et 1997**) :

$$s = 10,8 * \sin(\theta + 0,03) \quad \text{pour une inclinaison} < \text{à } 9\%$$

$$s = 16,8 * \sin(\theta - 0,50) \quad \text{pour une inclinaison} \geq 9\%$$

```

%sa%_rusle1 = pow((slp_lgth_ft div 72.6), m_slpexp)
end

/*amended previous USLE code to calculate S constituent using different algorithms
/*for lt or ge sin of 9% slope as defined by McCool et al. (1997), where:
/*radian = 57.2958 deg (factor = 6.2832); deg (theta) = inv tan of % gradient;
/*(e.g., 0.09 slope gradient = 5.1428 deg angle = 0.0898 radians).
/*NOTE: RDV 12/03 Fixed previous computational order-of-operations problem below
&if [exists %sa%_rusles -grid] &then
    kill %sa%_rusles all
%sa%_rusles = con (down_slp_ang ge 5.1428, 16.8 * (sin(down_slp_ang div deg)) - .50, ~
    10.8 * (sin(down_slp_ang div deg)) + .03)
|
/*multiply L and S constituents to produce LS-factor integer grid clipped to the
/*intershed boundary use _vat to perform statistical analysis as necessary:

```

Figure37 -lignes de commande utilisées pour le calcul de la raideur de la pente.

5. Le couvert végétal et les pratiques anti-érosives

L'érosion hydrique des sols est fortement contrôlée par la couverture végétale. Dans le modèle USLE/RUSLE, l'action de la végétation est traduite par le coefficient **C**. ainsi les pratiques agricoles antiérosives sont représentées par le coefficient **P**.

Le facteur du couvert végétal C, est l'un des paramètres les plus importants dans l'équation USLE/RUSLE, il représente le rapport entre l'érosion sur sol nu et l'érosion observée sous un système de production. Il varie de 1 sur sol nu à 1/1000^{ème} sous forêt, de 1/100^{ème} sous prairies et plantes de couverture, et de 1 à 9/10^{ème} sous cultures sarclées. C'est égale à zéro dans les conditions ou le sol est totalement non-érodable.

Dans le modèle **USLE et sa forme révisée RUSLE**, le facteur C est calculée en utilisant des équations empiriques qui contiennent des mesures sur le terrain de la couverture végétale. (**Wischmeier et Smith 1978; Renard et al, 1997**). La valeur de C dépend principalement du pourcentage de couverture végétale et de la phase de croissance. Les effets de mulch, des résidus de récolte et des opérations de tillage doivent aussi être pris en compte.

Dans l'équation **USLE-Révisée (Renard et al., 1997)**, le facteur C est subdivisé en 5 sous-facteurs, qui prennent en compte respectivement les effets de l'utilisation antérieure du terrain, le couvert de la canopée, le couvert de surface, la rugosité de surface et l'humidité des sols.

Dans notre cas, seul le type du couvert végétal ainsi que le taux de recouvrement sont pris en compte pour déterminer les valeurs du facteur C. La carte de l'occupation du sol réalisée en **2004**, ainsi que les recherches effectués par **Roose 1994**, au Nord et à l'Ouest d'Afrique. Les travaux de **Khatouri 2003, Ait Brahim et al 2003, Sadiki et al 2004 et El-Garouani et al, 2009**, au Maroc et **Masson 1964 en Tunisie**, ont servi pour déterminer les types du couverts végétaux, et les valeurs du facteur C.

Cette carte nous a servi pour obtenir l'occupation du sol et le type du couvert végétal dans la zone des marnes tertiaires. Après digitalisation par le logiciel ARCGIS 9.2, La carte résultante a fait l'objet d'une vérification et validation sur Google Earth.

Le couvert des principales cultures d'Afrique réduit l'érosion de 20 à 60 %, en fonction de l'intensité du recouvrement et des techniques culturales. Le facteur **C** diminue

jusqu'à 0,01 sous cultures pérennes avec plantes de couverture ou prairie et à 0,001 sous forêt et cultures paillées.

Au Maroc, **Laouina 1992**, a observé que lorsque le sol est couvert de matorral dense, d'herbes rases, de cystes ou de rocaille, l'érosion ne dépasse pas 0,2 à 2 t/ha/an, mais dès que le sol est labouré pour une culture sarclée, l'érosion peut s'élever à plus de 20 t/ha/an sur des pentes de 20 % en année à fortes pluies

TABLEAU 11. Valeur du facteur couvert végétal (c) au Maghreb

Type de couvert	Khatouri 2003	Ait brahim et al, 2003	Sadiki et al 2004	Tribak et al 2009
Reboisement dense	-	-	0.058	-
Forêt moyennement dense	0.023	-	0.13	-
Matorral dégradé, parcours dense	-	0.11	0.17	-
Reboisement clair	-	-	0.18	0.15
Matorral clair, parcours dense	0.18	0.2	0.20	-
Matorral très dégradé	-	0.2	0.22	-
Steppes à Alfa	-	-	0.32	-
Céréaliculture	0.6	0.6	0.7	-
Jachère	0.9	-	-	-
Arboriculture	-	-	-	0.35
Prairie (parcours)	-	-	-	0.55
Terrain nu	1	1	1	1

Les valeurs utilisées par **SADIKI et al. 2004**, sont les plus complètes, de ce fait elles seront utilisées dans notre étude pour déterminer le coefficient du couvert végétal C.

Le facteur des pratiques anti érosives P, est le rapport entre les pertes en terre sur un champ aménagé et celles d'une parcelle de taille voisine non aménagé ou encore de la parcelle de référence de **Wischmeier**.

Le facteur P, tient compte des pratiques purement antiérosives comme le labour et les cultures en courbe de niveau en bandes alternées ou en terrasses, le buttage, ou le billonnage en courbe de niveau. les reboisements en banquettes. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée. Il varie entre 1 sur un sol nu sans aucun aménagement antiérosif à 1/10^{ème} environ, lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage cloisonné. Le tableau ci-dessous présente les valeurs du facteur P (d'après **Wischmeier & Smith, 1978**).

TABLEAU 12. Valeurs du facteur p selon **wischmeier et smith 1978**

Type de pratique anti-érosive	Pente	Longueur maximale	P
Culture en courbe de niveau	1 à 8%	61 à 122 m	0.5
Culture en courbe de niveau	9 à 12%	36 m	0.6
Culture en courbe de niveau	13 à 16%	24 m	0.7
Culture en courbe de niveau	17 à 20%	18 m	0.8
Culture en courbe de niveau	21 à 25%	15 m	0.9
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	1 à 8%	30 à 40 m	0.25 à 0.5
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	9 à 16%	24 m	0.3 à 0.6
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	17 à 25%	15 m	0.4 à 0.9

8. Croisement des cartes

Toutes les couches obtenues à savoir, R, K, LS, C et P ont été générées dans les SIG ARC GIS 9.2. Toutes les combinaisons se sont effectuées en mode "Raster" en utilisant l'outil "Map Calculator" du module "Spatial Analyst" tout en appliquant l'équation mathématique du modèle de **Wischmeier & Smith (1978)**, cela permet d'évaluer le taux d'érosion sur tous les points de la zone d'étude et l'élaboration de la carte synthétique des pertes en sol selon l'organigramme méthodologique. Les valeurs résultantes donnent la perte de sol en tonne par hectare et par an à l'échelle du pixel.

Les méthodes de collecte de données qui ont été utilisées pour la détermination des valeurs de facteurs USLE sont résumées dans le **tableau 13**.

TABLEAU 13. Résumé de la méthodologie suivie

Facteur	data	source	Croisement des cartes
USLE			
R	Érosivité des pluies	Données pluviométriques	
K	Erodibilité des sols	Caractéristiques physico - chimiques déduites de la nature lithologique des sols	
Ls	topographie	Programme lsfac_c.exe Un DEM 24 m de résolution	
C	Couvert végétal	Carte du couvert végétal Sources bibliographiques	
P	Pratiques anti-érosives	Digitalisation a partir de google earth Sources bibliographiques	

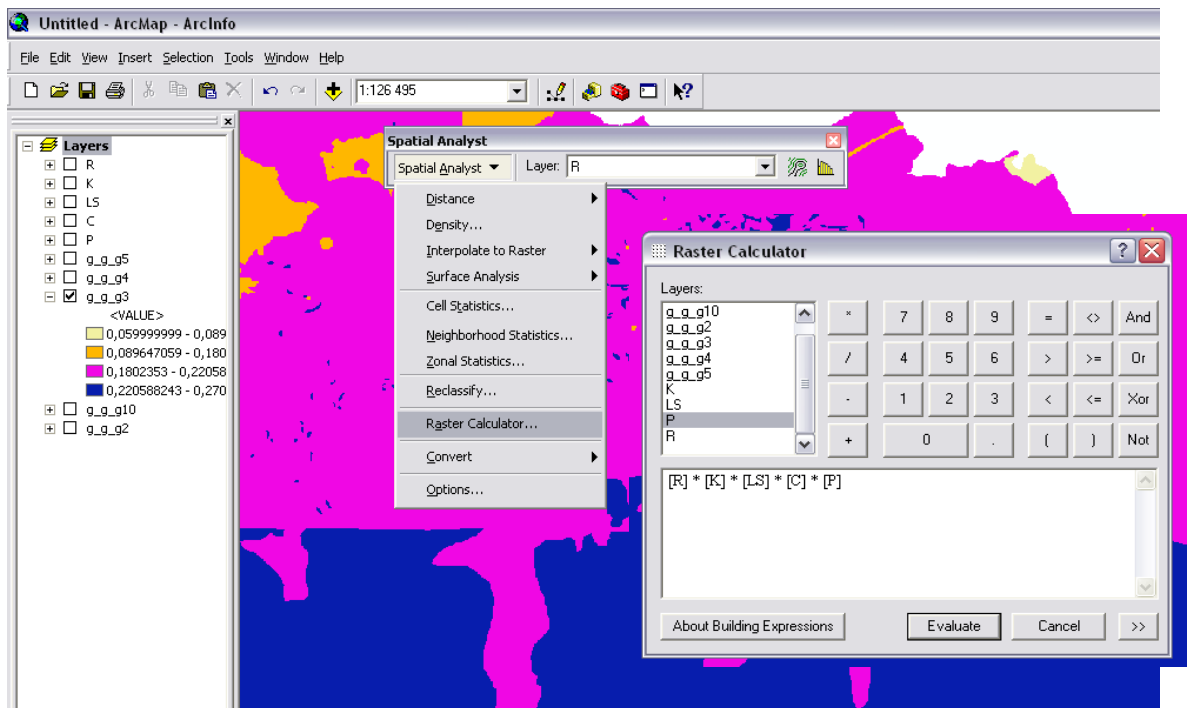
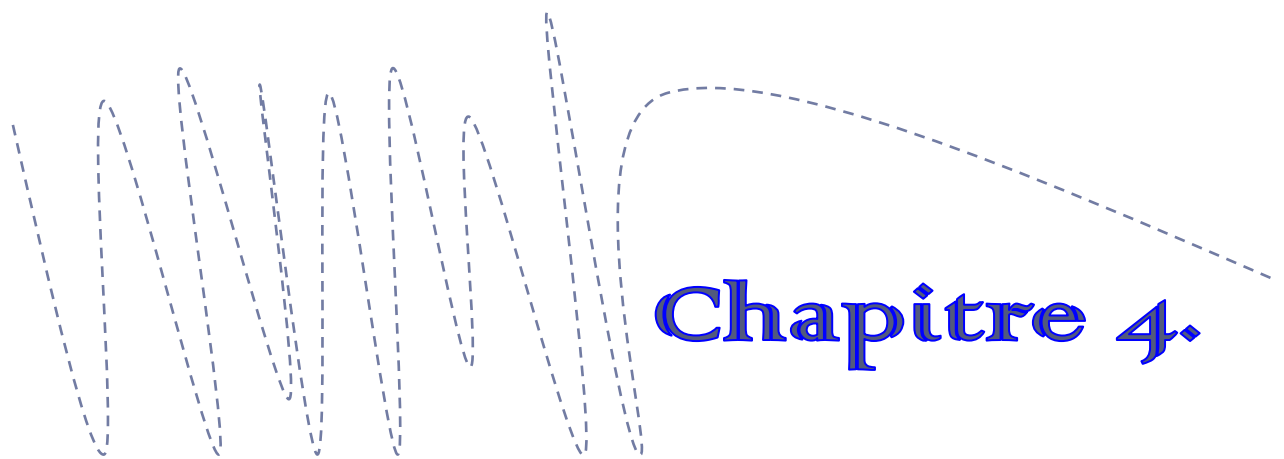


FIGURE 38. L’outil map calculateur ou raster calculateur du module spatial analyst.



Chapitre 4.

Résultats et Discussions

Chapitre 4. Résultats et discussions

1. Indice de l'érosivité des pluies R

Tel que mentionné dans la méthodologie, le facteur R a été estimé en fonction de la pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle en suivant l'équation de **Rango et Arnoldus 1987**. Les précipitations moyennes annuelles et les résultats des calculs du facteur R pour sept (07) des stations utilisées sont reportés dans le **tableau 14**.

TABLEAU 14. Précipitations moyennes annuelles (mm) et valeur de r moyen pour la période 1969/70-2005/06

No	Name	Total	Pi/P	log	LOG R	R
1	SMBA	231,13	25,63	1,41	3,74	42,15
2	O/Abtal	309,83	34,08	1,53	3,96	52,28
3	SAEK Djillali	231,34	25,79	1,41	3,75	42,35
4	Ain Hamara	248,14	26,17	1,42	3,76	42,82
5	Mechraa Sfaa	497,63	53,84	1,73	4,30	73,86
6	Hachem	320,40	35,84	1,55	3,99	54,30
7	Djilali ben Amar	346,15	43,60	1,64	4,14	62,97

Les résultats du calcul montrent que R est compris entre **42.15** (station de Sidi M'Hamed Benouada) et **73.86** (station de Mechraa Sfaa). Une valeur élevée de R caractérise une région subissant des pluies de forte capacité érosive tandis qu'une faible valeur de R traduit un minime pouvoir érosif des pluies.

La régionalisation de l'indice d'érosivité sur l'ensemble de la zone d'étude a été faite selon le principe du **krigeage** ordinaire. Pour générer le semi-variogramme, trois modèles statistiques ont fait l'objet d'une comparaison dans le but d'avoir un effet de pépite nul, il s'agit des modèles gaussien (**fig.39**) sphérique (**fig.40**), et exponentiel (**fig.41**).

Seul le troisième modèle a eu une constante de pépite égale à zéro (0), par conséquent notre semi variogramme sera de type exponentiel.

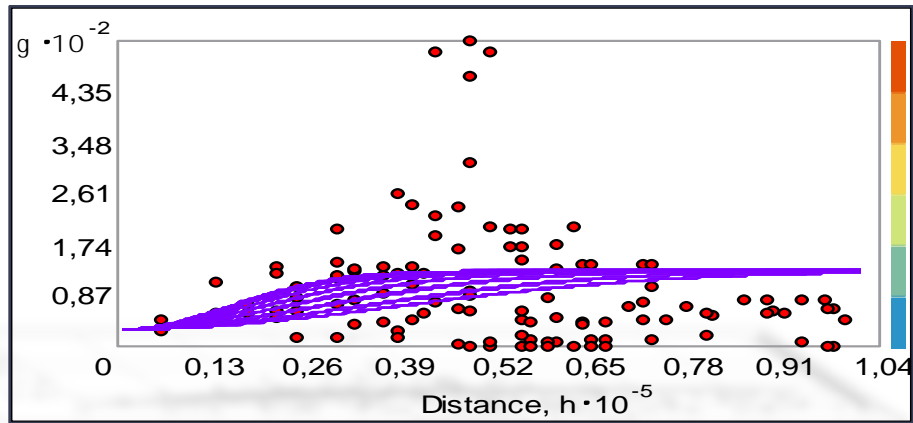


FIGURE 39. Modèle gaussien

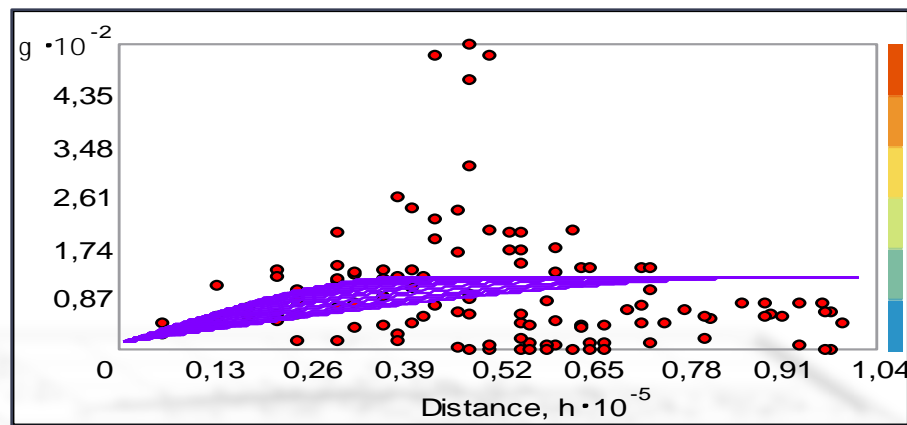


FIGURE 40. Modèle sphérique

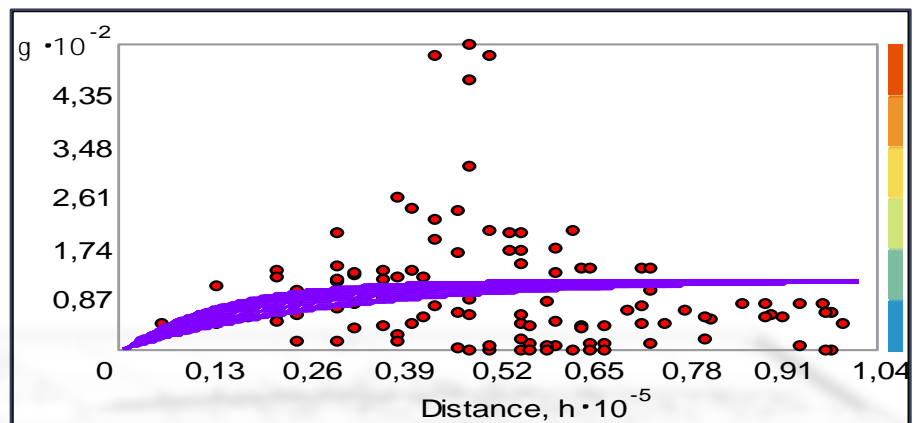


FIGURE 41. Modèle exponentiel.

La minimisation de l'erreur type (Laborde et al., 1998) par la méthode d'optimisation confirme notre choix et nous donne un variogramme expérimental ajusté au modèle exponentiel dont les principaux résultats figurent dans le **tableau 15 et Fig. 42**.

TABLEAU 15.Erreur type pour les trois modèles statistiques utilisés

Type de Modèle	Portée	Palier	Pépite	Erreur Type Moyenne
Sphérique	95040	113,09	12,87	9,419
Exponential	95046,7	122,1	0	9,301
Gaussien	95041,7	100,65	30,535	9,740

Les résultats du krigeage ordinaire semblent convaincants (effet de pépite nul), nous les avons considéré pour élaborer une carte de l'indice R afin d'avoir une vue d'ensemble sur le phénomène.

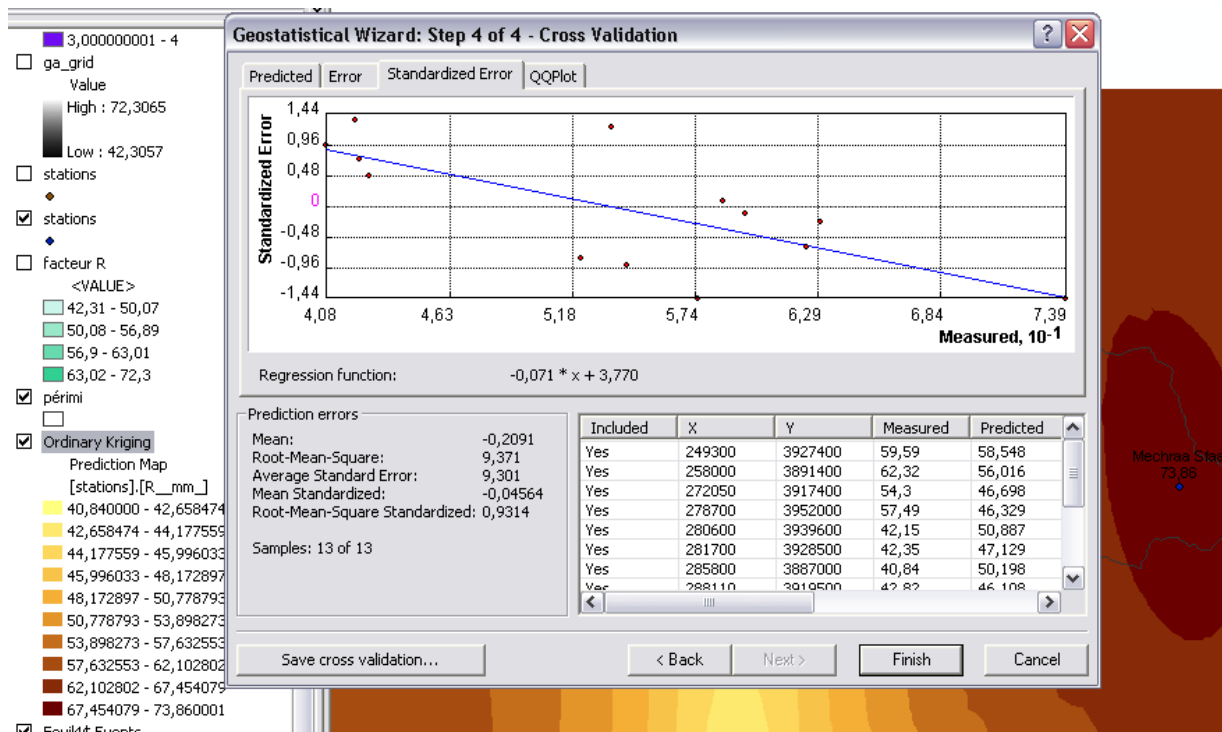


FIGURE 42. Cross validation de l'erreur type

Les valeurs de l'indice d'érosivité des pluies R varient de **42** à **73**, les plus faibles valeurs sont observées aux environs d'Oued El-Abtal et El-Hachem, les plus élevées sont localisées à la limite Est de la zone d'étude à Mechraa Sfaa **fig.43**. La moyenne annuelle est de **54,09**. Plus de la moitié de la zone d'étude a subi une agressivité climatique supérieure à **50**.

Nos valeurs sont relativement proches de celles trouvées par **Gomer 1994**. Ce dernier a calculé par la méthode de **wischmeier**, L'indice R sur neuf (09) stations réparties sur l'ensemble du bassin versant de l'oued Mina. Le R moyen a été de 61 (N/h*a) pour Ain Hamara, 50 (N/h*a) pour EL-Hachem et 43 (N/h*a) Pour Sidi Mhamed Benaouda. Par contre **Touaibia 2000**, a calculé un indice R variant entre 12 et 40 (N/h*a) dans des micros bassins versants situant au nord du Djilali Benamar. La moyenne du facteur R est jugée modérée à forte, selon **Gomer 1994**, elle est plutôt modérée.

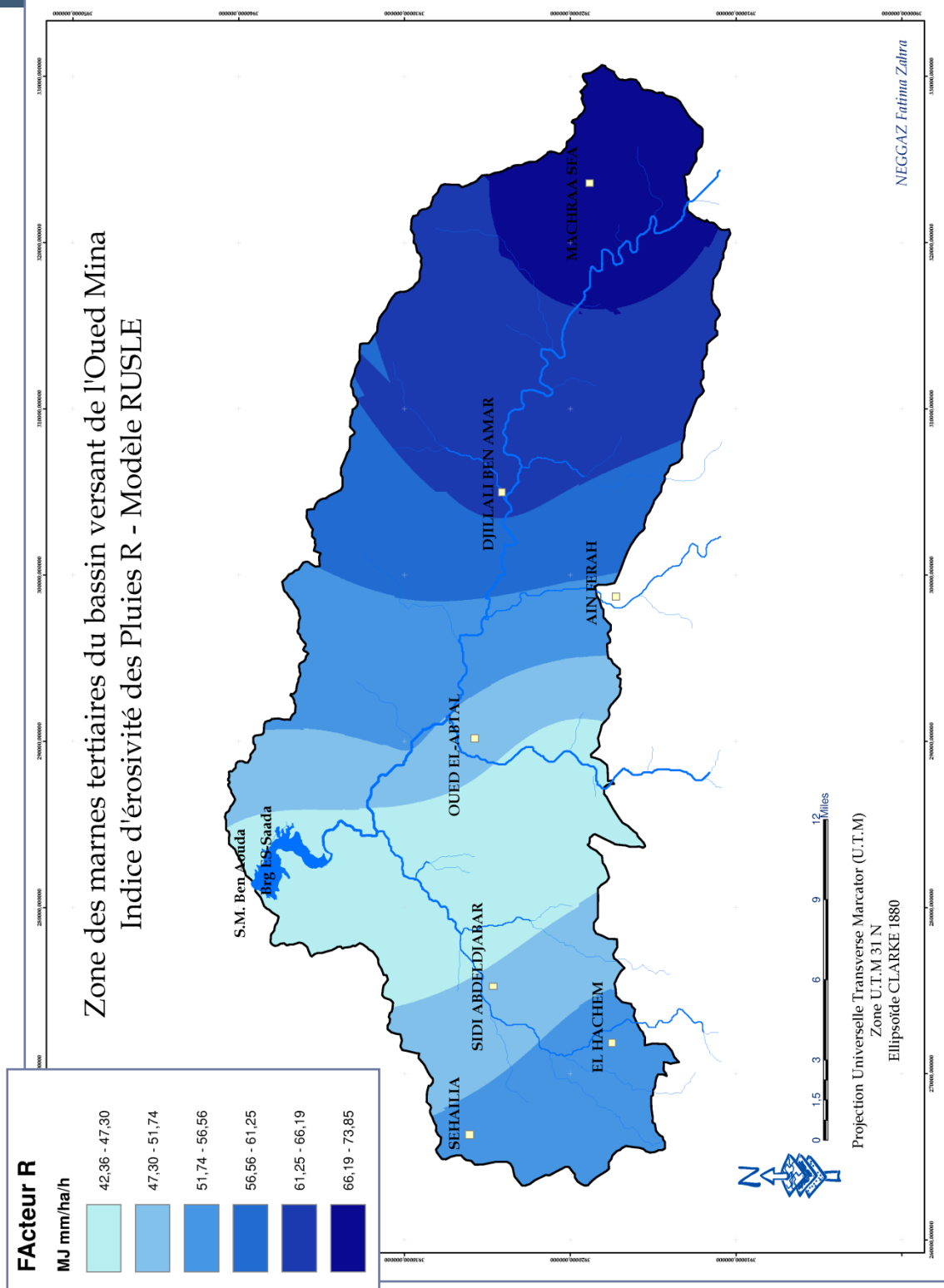


FIGURE 43. Répartition du degré de l'érosivité des pluies dans la zone marneuse.

2. Facteur d'érodibilité des Sols K

Les valeurs de **K** ont été initialement définies pour chaque classe texturale, en prenant en compte le taux de matière organique du sol attribué à chaque type de couverture végétale (tableau n°16, Fig. 44 et 45). Les unités pédo-géologiques ont été superposées à la carte du taux de matière organique pour calculer le facteur K (fig.46). la zone des marnes tertiaires présente six (06) types de classe texturale : Argileux, limoneux sableux, sablo-limoneux, sableux, limoneux argileux, et limoneux.

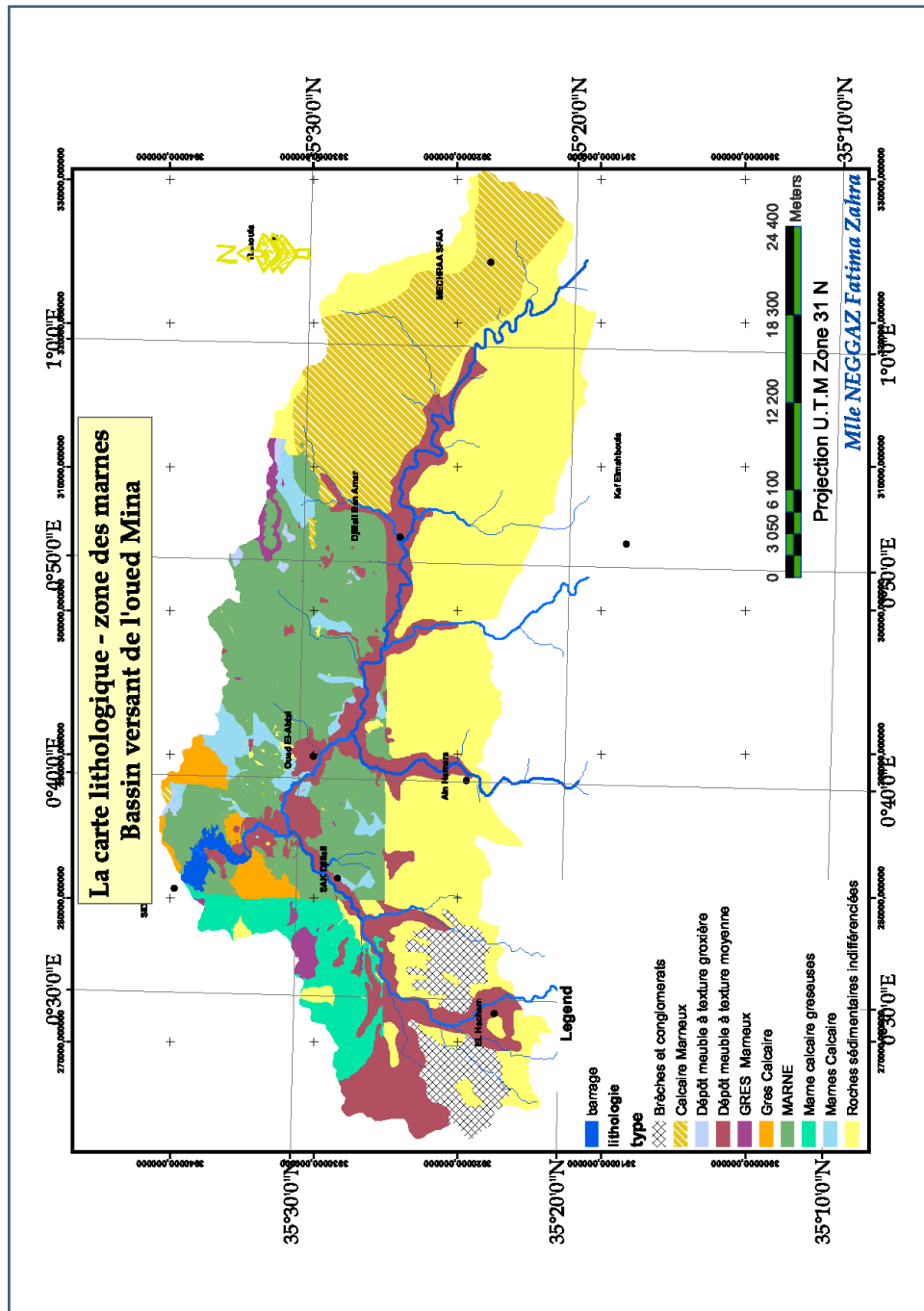


FIGURE 44 .Carte lithologique de la zone d'étude.

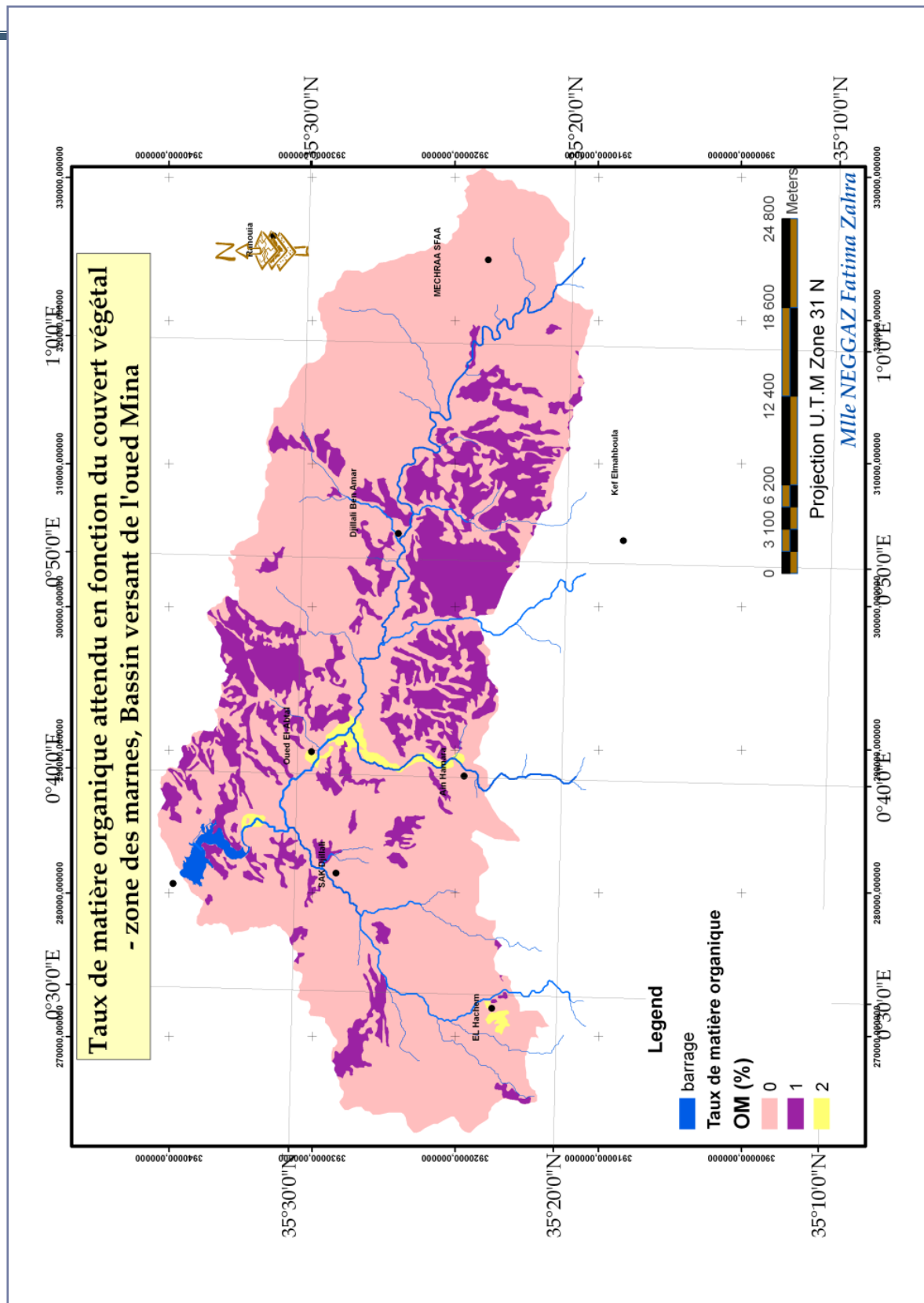


Figure 45. Répartition du taux de la matière organique dans la zone des marnes.

Tableau 16. Calcul de l'indice d'érodibilité des sols K, dans la zone marneuse.

Unité lithologique	Texture générale	Texture détaillée	Facteur K à			Classe d'érodibilité
			0,2 % de Mo	1% de Mo	2% de Mo	
Calcaire marneux	fine	Argileuse à argilo limoneuse	0,231	0,229	0,229	Faible
Brèches et conglomérats	Modérément grossière	Laom sableux	0,194	0,192	0,191	Faible
Grès calcaire	Grossière	Sablo laomeux	0,103	0,102	0,101	Peu érodable
Dépôt meuble à texture grossière		Sableuse	0,060	0,060	0,059	
Marno _ gréseuse	Modérément fine	Laom argileux	0,381	0,379	0,378	Elevée
Marne calcaire gréseuse						
Marne calcaire						
Marne						
Roche sédimentaires indifférenciées	Moyenne	Limon	0,463	0,460	0,456	Très élevée
Dépôt meuble à texture moyenne		Laom argileux	0,381	0,379	0,378	Elevée

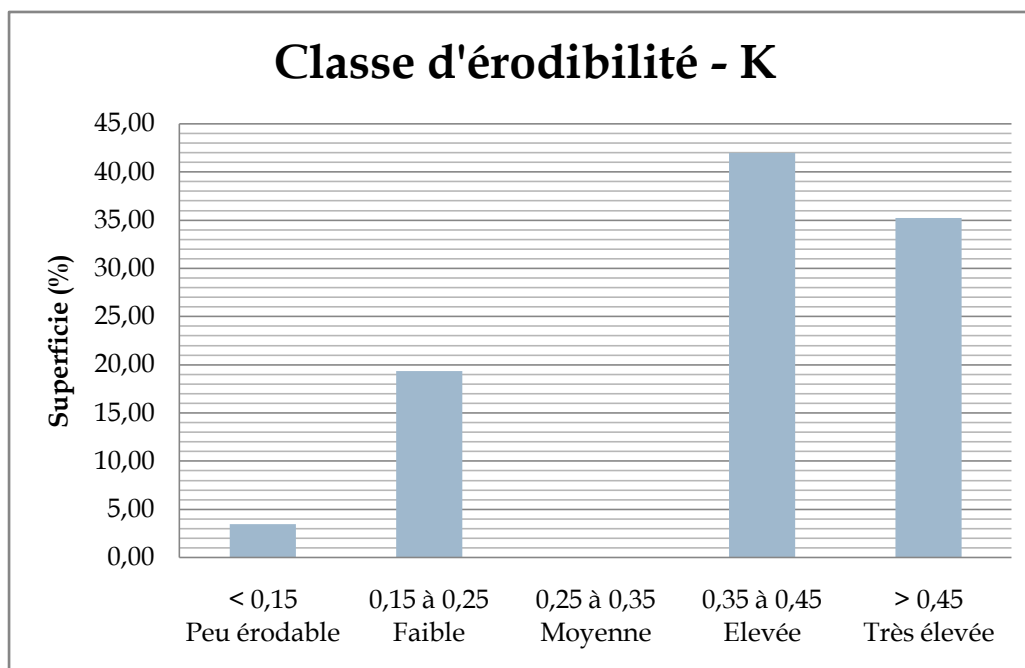


FIGURE 46. Classes d'érodibilité du sol facteur k.

L'ensemble de la zone d'étude a une valeur de **K** comprise entre **0.06 et 0.46**. Les sols à texture limoneuse et limono argileuse sont les plus sensibles à l'érosion hydrique. Des flots de grès calcaire et de dépôts meubles à texture grossière, situés au Nord et Nord-Est ont de faibles valeurs de **K**, **0.10 et 0.06** respectivement (Tab.16). Touaibia 2000a également calculé le facteur K dans six micros bassins versants au nord de la zone d'étude à Taasalet. Les valeurs obtenues varient de **0,13 à 0,20**.

La figure n°46, montre que plus de **70%** de la superficie totale de la zone d'étude est occupée par les classes d'érodibilité élevée et très élevée, avec **41,98** et **35,26 %** respectivement, contre moins de 25 % pour la classe faible à peu érodable. Ces résultats sont expliqués par la texture limoneuse à limono argileuse dominante dans notre zone d'étude.

L'**USDA**, classe les sols avec teneur élevée en limon comme, les plus sensibles à l'érosion, car ils se détachent facilement, et ils ont tendance à former des croûtes favorisant le ruissellement. **Richter et Negendank (1977)** ont montré que les sols ayant 40 à 60% de limon sont les plus sensibles à l'érosion. C'est pourquoi, les fractions limon et sable sont considérées comme un paramètre de texture pour déterminer l'érodibilité des sols dans le modèle USLE.

Evans (1980) préfère examiner l'érodibilité en terme de teneur en argile indiquant que les sols avec une fraction argileuse restreinte, entre 9 et 30%, sont les plus sensibles à l'érosion. L'utilisation de la teneur en argile comme un indicateur d'érodibilité est théoriquement plus satisfaisant parce que les particules d'argile se combinent avec la matière organique, pour former agrégats du sol ou de mottes de terre, ainsi la stabilité de celles-ci qui détermine la résistance du sol.

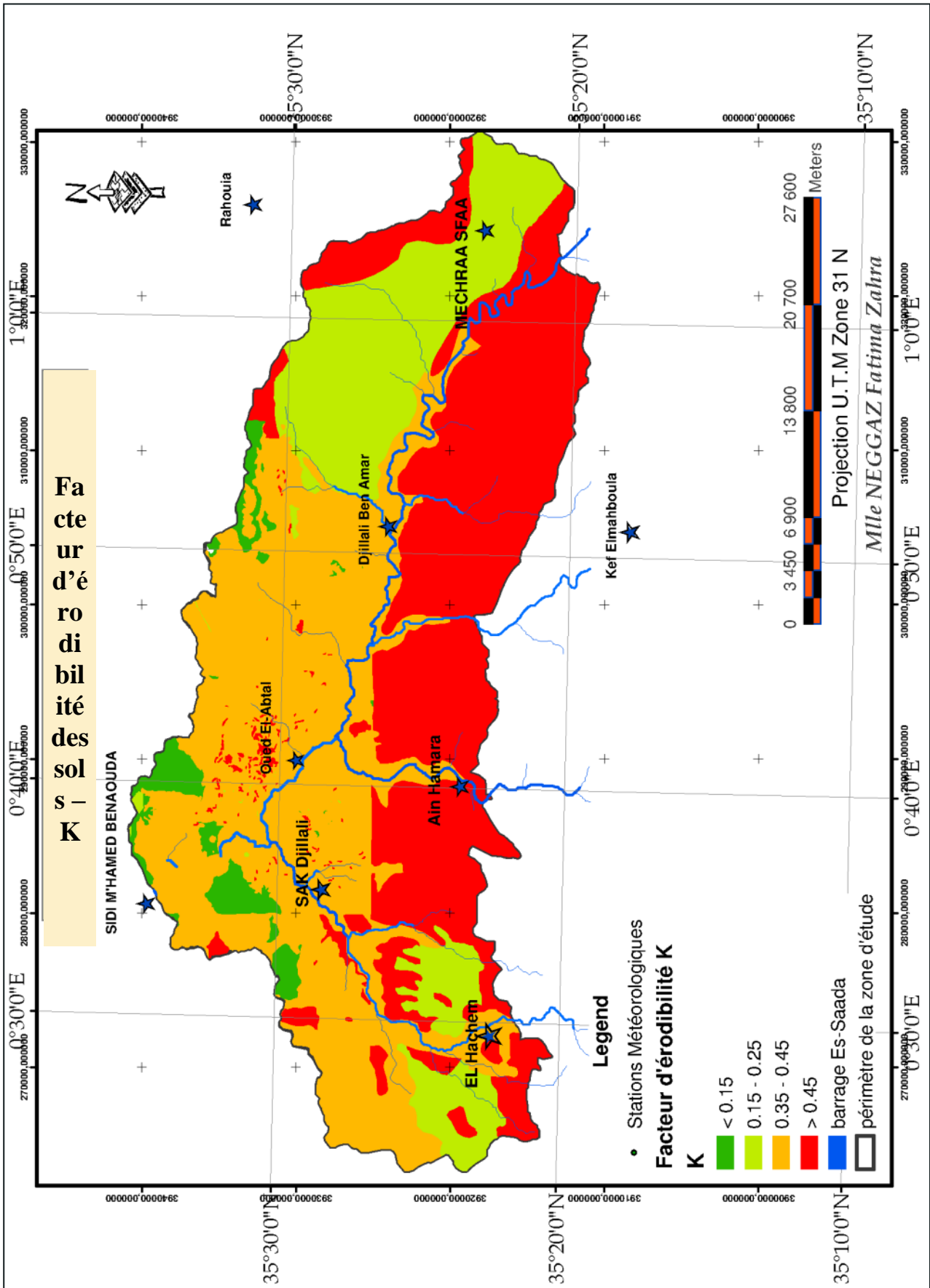


FIGURE 47 . Facteur d'érodibilité des sols k

3. Facteur topographique LS

Le programme lsfac_c.exe C ++ (Van Remortel et al. 2004) calcul le facteur LS sur la base de de la grille d'entrée (DEM) pour chaque cellule (pixel). Son exécution a généré en tout seize fichiers fig. Ces derniers ont été convertis en format raster dans le SIG ARCGIS.

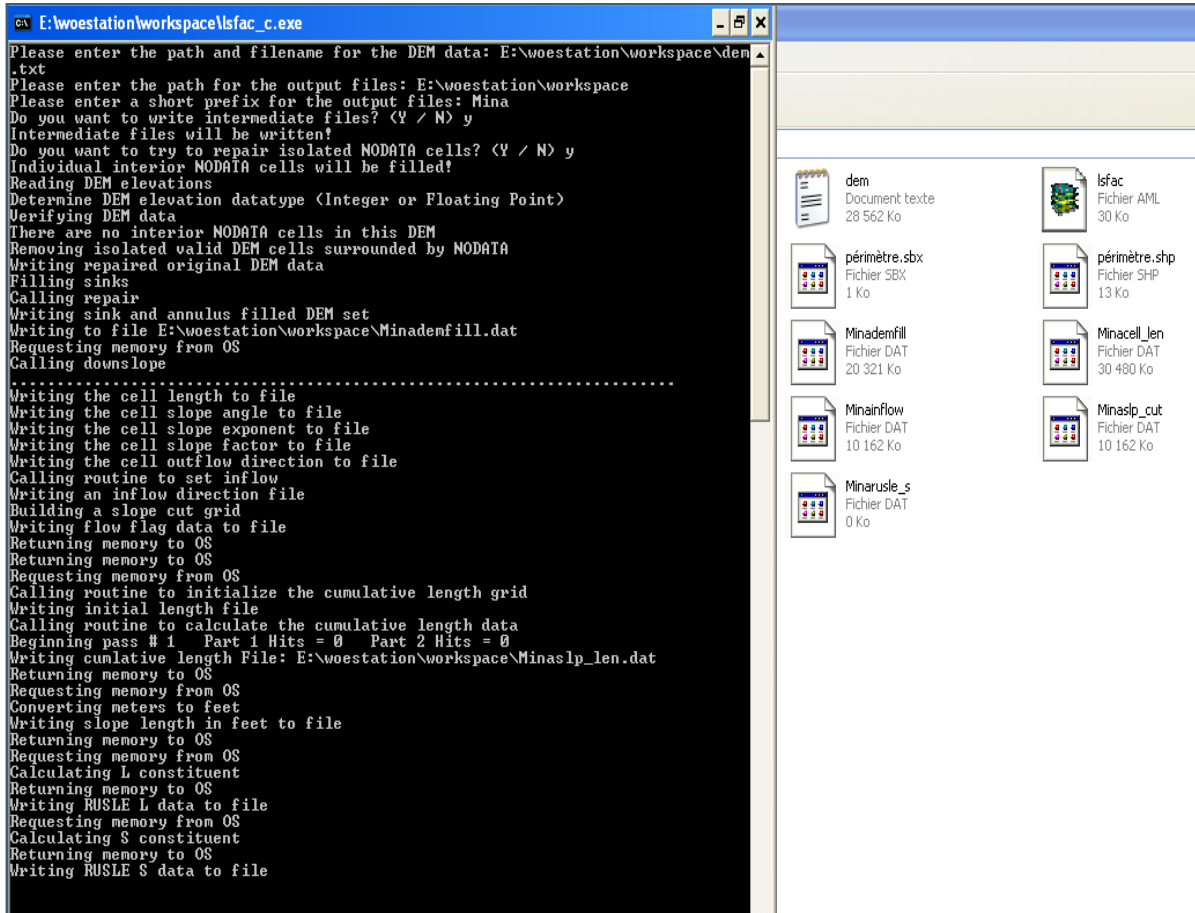


FIGURE 48.L'exécution du programme lsfac_c.exe pour calculer le facteur ls

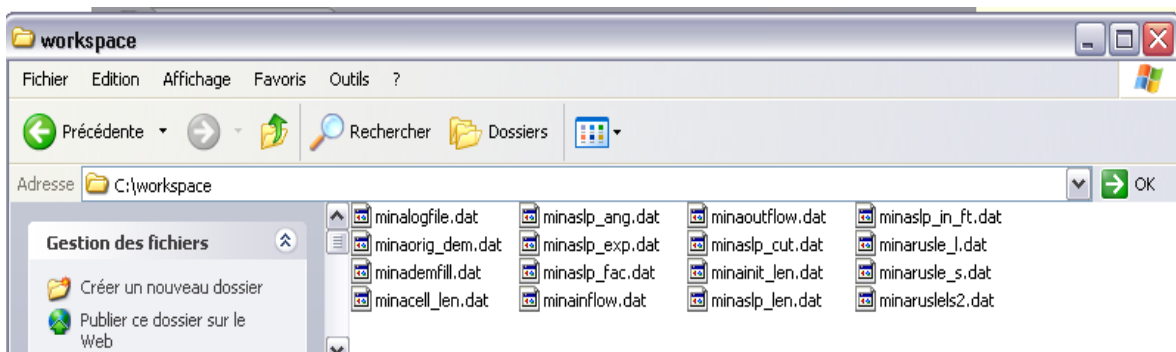


FIGURE 49.Output files from the c++ program

3.1. La longueur de pente L

Les modifications apporté aux calculs du facteur L, ont l'avantage d'utiliser le plus long chemin d'écoulement comme une estimation de la longueur de pente, ce qui permet peut être d'introduire l'effet du ravinement dans l'équation RUSLE, d'où l'aspectde chevelu de réseau hydrographique de la carte obtenue. L'utilisation du code AML écrit par **Hicky et al. 2001 et 2004** permet également de détecter les ruptures de pente.

Dans la zone des marnes tertiaires, on n'a pas récéncé des travaux qui ont été effectué sur ce facteur. Les résultats obtenus dans notre étude, montrent que L varie de **0 à 60,231m** avec une moyenne de **1.83 m** et un écart type de **2.50**. La classe comprise entre **0 et 2.5 m** représente **76,8%**soit **875,90 km²**. Les longueurs de pente supérieures à **10 m** représentent **9.41%** de la superficie totale (**fig. 50 et 51**)

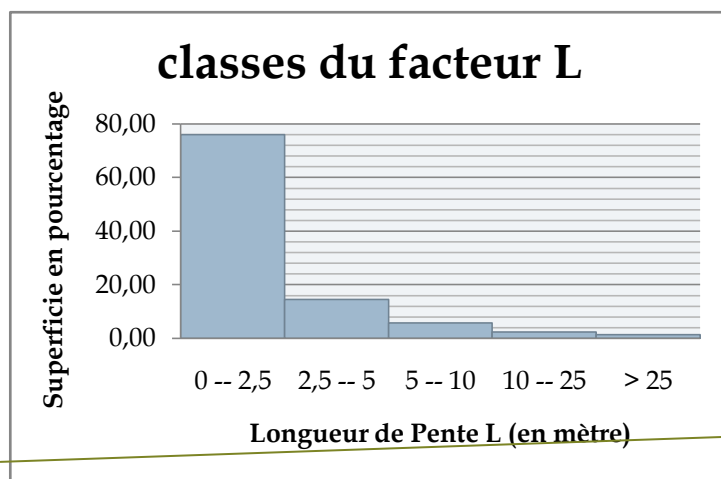


FIGURE 50.Classes de la longueur de pente l

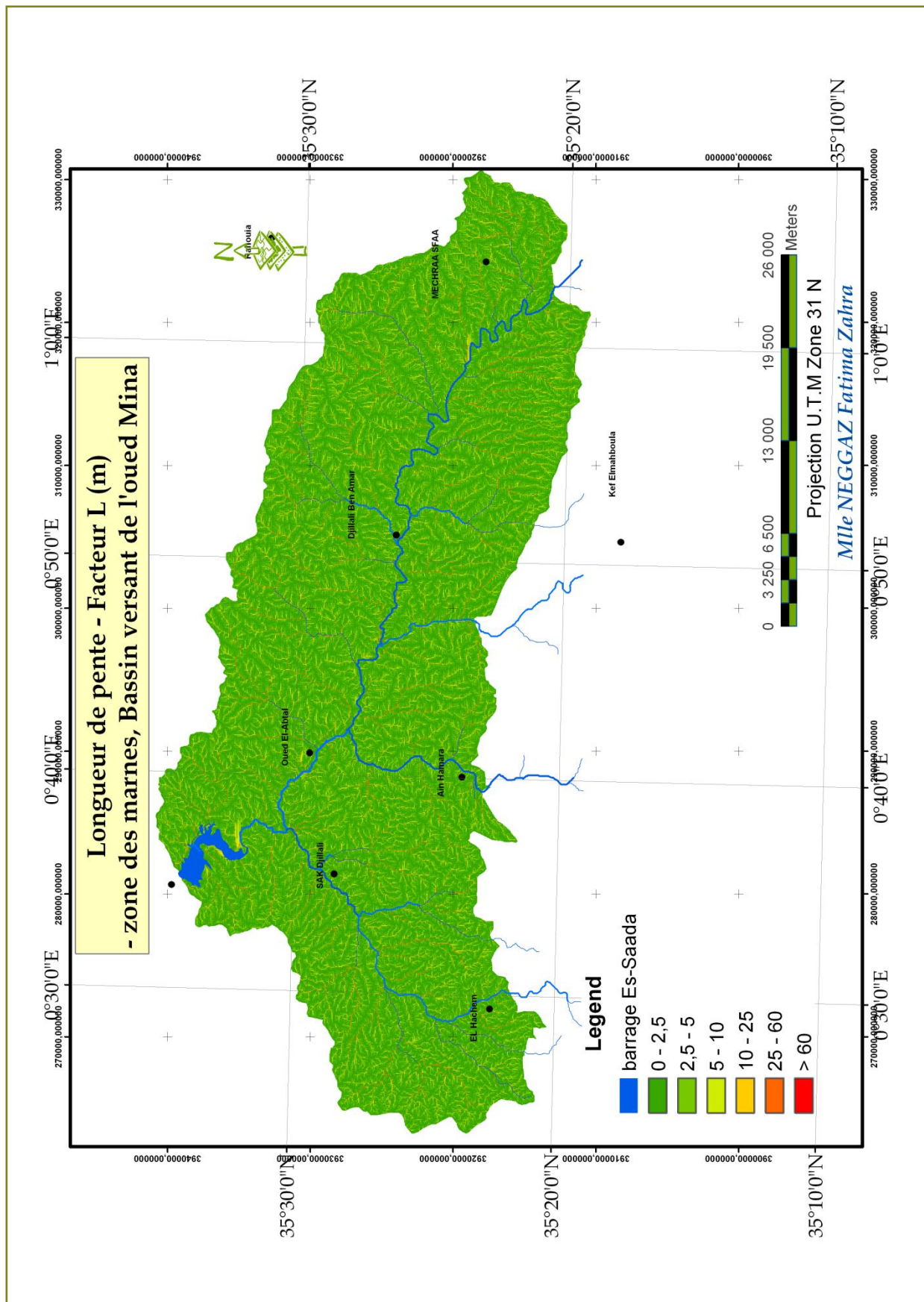


Figure51. longueur de pente l, calculée par le programme Isfac_c, (Résolution xy : 24,4 ; 24,4min = 0, max : 60,23131, mean : 1,3060, std_dev=2,5069).

3.2. L'inclinaison de la pente S

La carte du facteur **S**, montre que les valeurs les plus fortes se localisent logiquement dans la partie amont du bassin. Les Crêtes plates sont bordées par des zones en pentes modérées. L'inclinaison de la pente est décroissante depuis les contreforts vers la vallée.

L'inclinaison de la pente dans la zone des marnes varie entre **0 et 26,76%**, avec une valeur moyenne de **2,1416 %** pour l'ensemble de la zone d'étude. la classe inférieure à **2.5 %** occupe **69,62 %** de la superficie totale soit **801,483 km²**. Par contre celles supérieures à **10%** ne représentent que **1.01%**. Cela pourrait être expliqué par la répartition des classes de pente où les valeurs inférieures à **10%** occupent plus **50%** de la superficie totale.

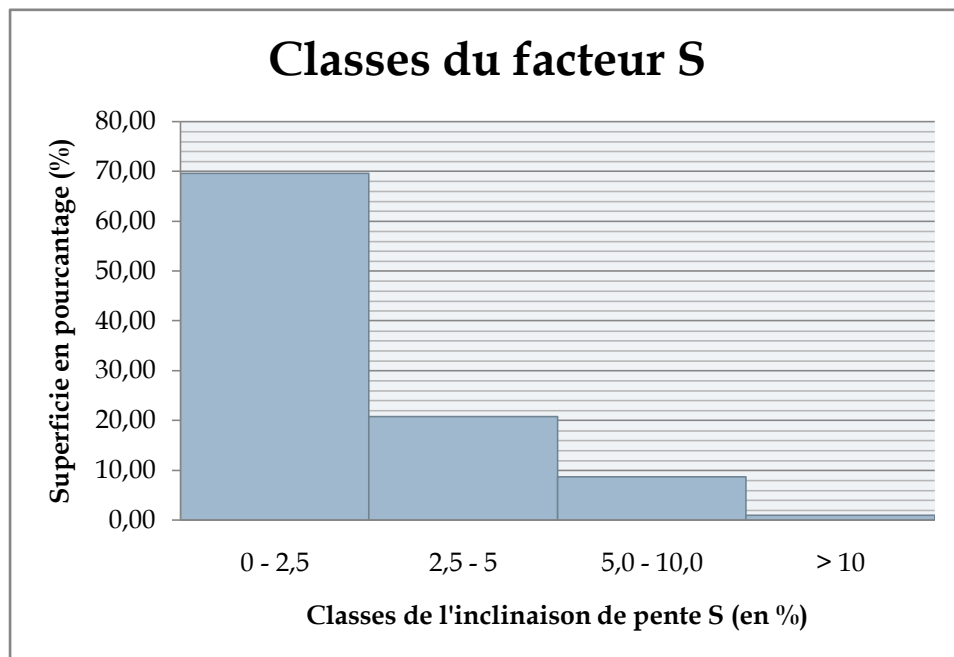


FIGURE 52. CLASSES DE L'INCLINAISON DE PENTE S

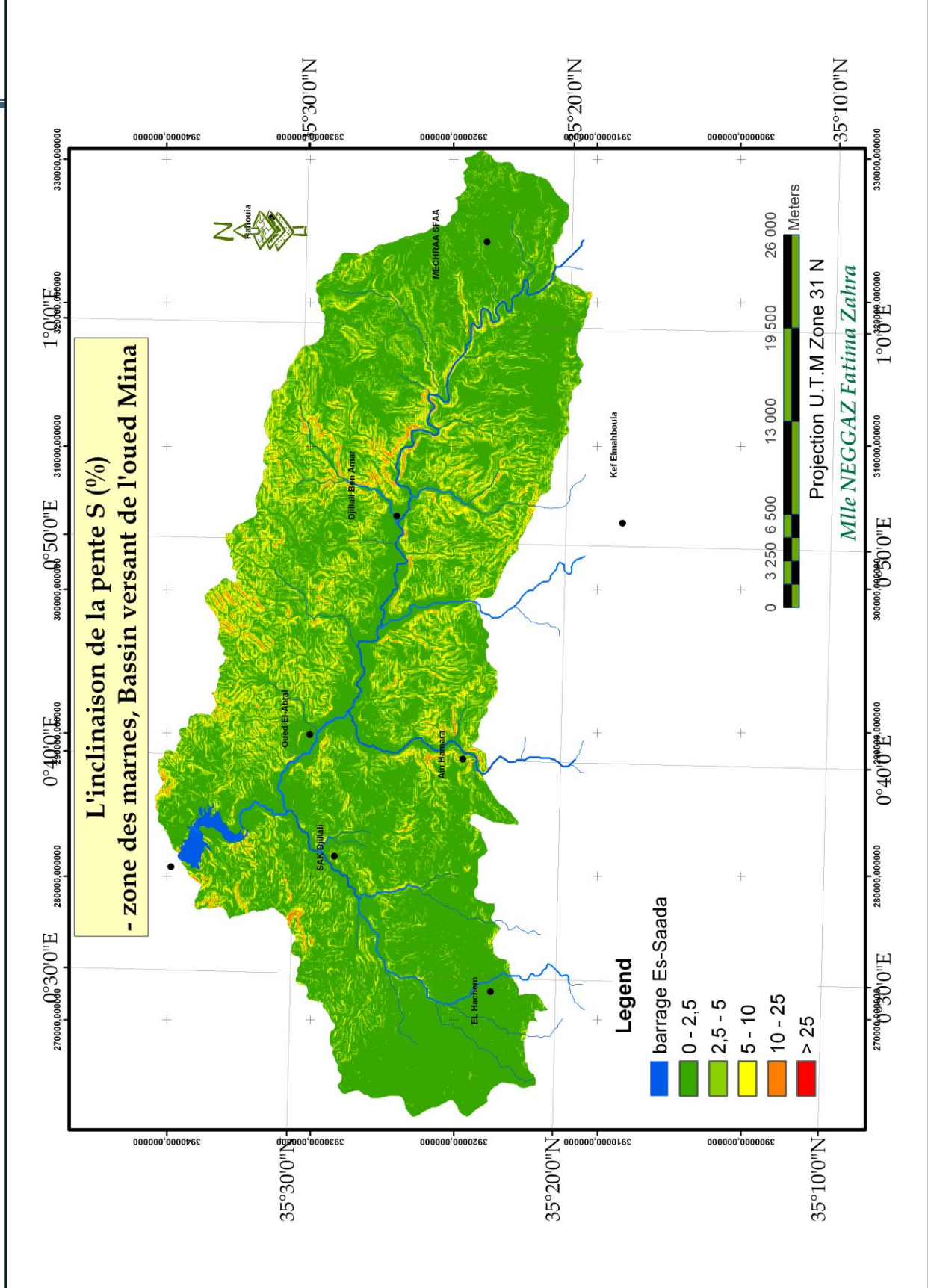


FIGURE 53. L'inclinaison de la pente s : calculée par le programme lsfac_c, (resolution xy : 24,4*24,4, min = 0, max : 26,77, mean : 2,14, std_dev= 2,17).

3.3. Facteur LS :

Le facteur topographique (**LS**), regroupe les effets de la longueur (L) et de l'inclinaison (S) de la pente. Théoriquement, L'érosion serait importante avec l'augmentation de ces deux sous facteurs.

Dans la zone des marnes tertiaires, une dominance de valeurs variant de 0 à 5 % est nettement remarquable, elles sont maximales au nord, et aux environs de Djilalli Ben Amar et Ain Ferah au sud. Elles excèdent occasionnellement 20 % sur les versants abrupts au sud d'Ain FERAH. Aux environs de la région d'El Hachem au sud-ouest, LS est inférieur à 2%, cette classe concerne également la plaine alluviale de l'oued Mina et ce du Barrage Es-Saada jusqu'au Dijjali Benamar. Finalement les zones de transition entre les valeurs extrêmes consistent en une mosaïque où la variation LS met en relief les vallées, sommets arrondis et abrupts.

La comparaison des cartes obtenues, des facteurs topographique LS et l'inclinaison S, indique que le facteur LS est sensible beaucoup plus aux variations du facteur S. Selon **Renard et al. 2011**, Les calculs des pertes en sol, sont souvent moins sensibles à la longueur de pente qu'à d'autres facteurs USLE/RUSLE. Une erreur de 10% dans les résultats du facteur L, donne une erreur de 5% dans les pertes de sol calculées. Cette valeur peut atteindre 20%, avec une erreur de 10% dans le facteur S. En revanche, la perte en sol, est beaucoup plus sensible aux variations de l'inclinaison de pente que de sa longueur (**McCool et al., 1987, Renard et al., 2011 ; Van Remortel et al., 2004**).

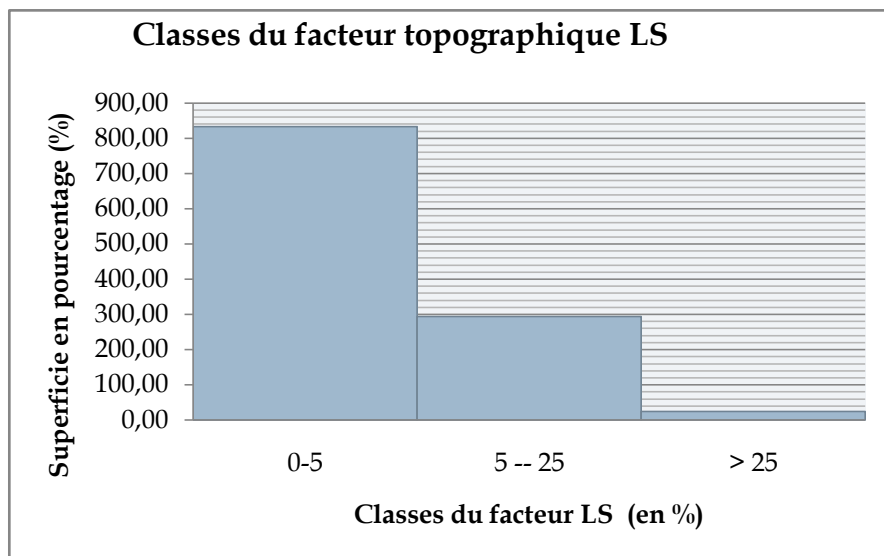


FIGURE 54. Classes du facteur topographique ls.

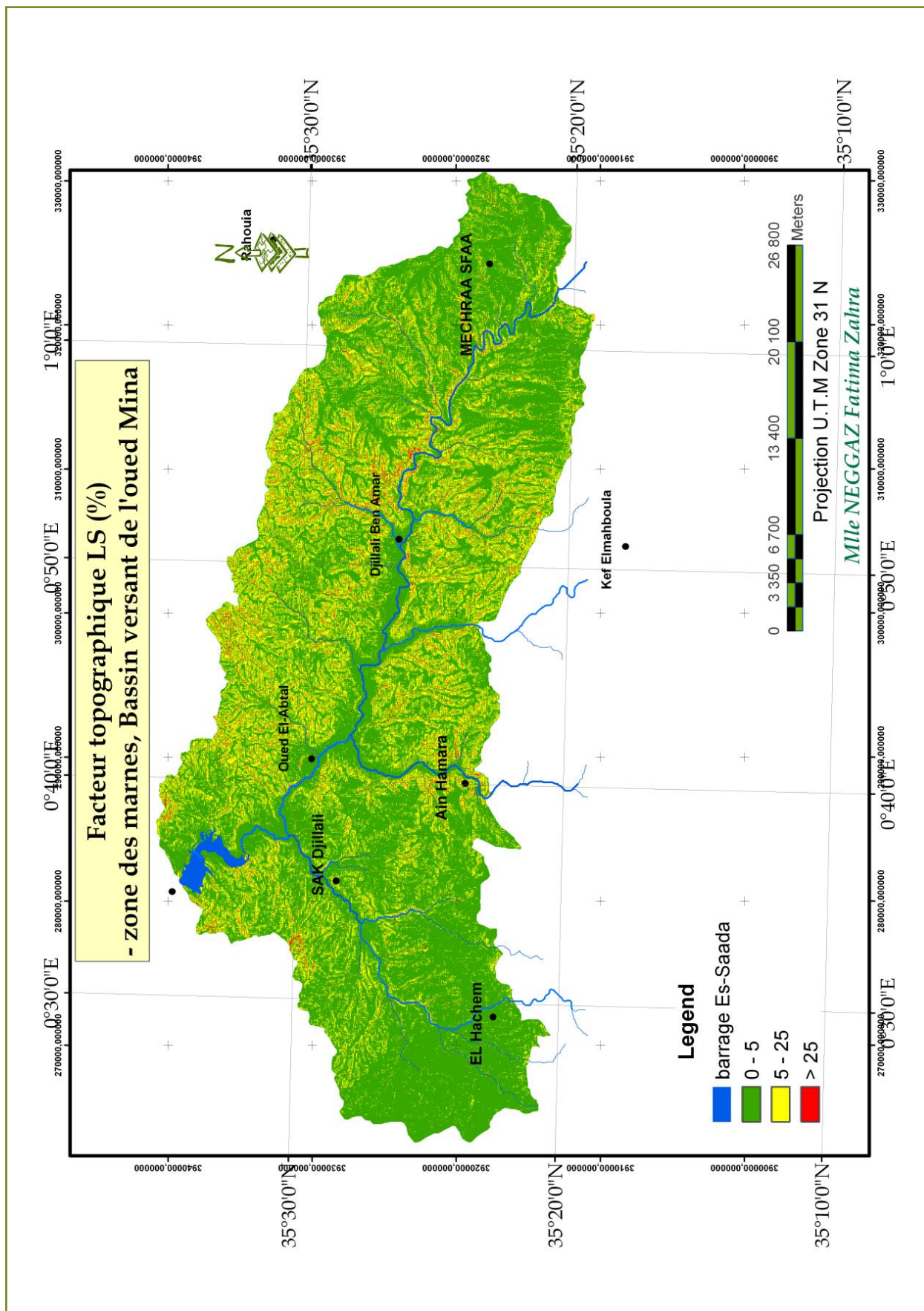


FIGURE 55. Le facteur LS : calculée par le programme lsfac_c, (résolution xy : 24,4. 24,4, min = 0, max : 150,04, mean : 2,26, std_dev= 3,31).

4. Couvert végétal et Pratiques anti érosives

4.1. Couvert végétal - Facteur C

Dans notre cas, seul le type du couvert végétal ainsi que le taux de recouvrement sont pris en compte pour déterminer les valeurs du facteur C. La carte de l'occupation du sol, ainsi que les recherches effectuées par **Roose 1994**, au Nord et à l'Ouest d'Afrique, les travaux de **Khatouri 2003**, **Ait Brahim et al 2003**, **Sadiki et al 2004** et **Garouani et al, 2009**, au Maroc et **Masson 1964 en Tunisie**, Nous ont servi pour déterminer les types du couvert végétal, et leurs attribuer les valeurs de C.

Les zones agricoles dominant presque la moitié de la zone d'étude, comme l'indique la **figure 4-17**. Le matorral occupe des superficies importantes soit environ **27%**, ce dernier est suivi par les sols nus dégradés qui se trouvent un peu partout et qui totalisent environ **10%**. Les formations de maquis – garrigue totalisent **9%** elles sont particulièrement imbriquées au matorral. Les valeurs de C attribués à chaque type de couvert végétal sont présentés dans le tableau **17**.

TABLEAU 17. Valeurs du facteur c :

type	C_RUSLE	Superficie Km ²	%
prairie pâturage parcours	0.13	0,56	0,05
matorral	0.18	305,76	26,59
sol nu	0,9	114,04	9,92
maquis garrigue ouvert	0.15	102,52	8,91
jachère	0,9	18,16	1,58
reboisement faible	0,04	2,07	0,18
foret faible	0,04	100,79	8,76
foret moyenne	0,02	23,64	2,06
foret dense	0,005	0,15	0,01
maraichère	0.5	10,52	0,91
grandes cultures arboriculture	0,7	452,15	39,31
	0,45	1,56	0,14
Total		1150,11	100,00

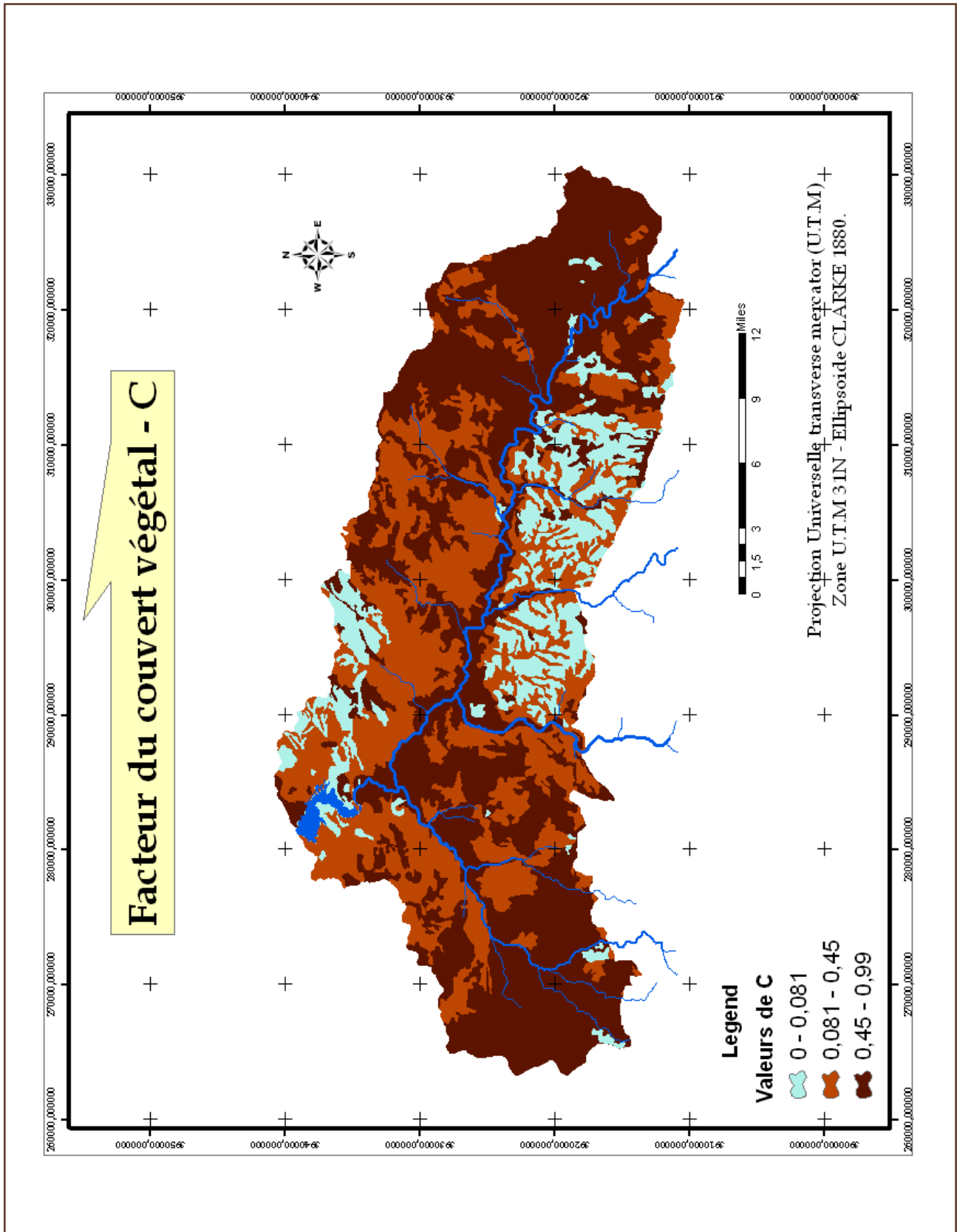


FIGURE 56. Facteur c du couvert végétal

4.2. Pratiques anti-érosives - Facteur P :

Le facteur *P*, représente le rapport entre les pertes en terres sur un champ aménagé et celles d'une parcelle de taille voisine non aménagée ou encore de la parcelle de référence de wischmeier (**Roose 1994**). Les pratiques anti-érosives tentent à limiter mécaniquement la longueur de la pente et d'augmenter l'infiltration (labour et billonnage isohypses, banquettes, terrasses et fossés de diversion), elles peuvent contribuer à réduire l'érosion au cas où la végétation est peu vigoureuse.

Deux pratiques anti-érosives ont été observées dans la zone des marnes tertiaires, il s'agit du labour dans le sens des courbes de niveau, et les plantations sur des petites terrasses.

Les pratiques anti-érosives observées sur les images satellitaires de google earth ont fait l'objet d'une digitalisation puis intégration dans le **SIG Arc Gis**. L'attribution des valeurs de facteur *P*, a été également basée sur les travaux *de wischmeier et smith, Roose, Khatouri, Ait Brahim et al.*

TABLEAU 18. Valeurs du facteur p :

Utilisation du sol	P
sol nu dégradé	1
jachère	1
plantation sur terrasse et terrasses	0,14
Plantation forestière faible densité	0,5
Labour en courbe de niveau	0,2
maraichère	0,5
grandes culture	0,7
arboriculture	0,5

Le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols. Les valeurs de **P** sont inférieures ou égales à **1**. Elles varient selon la pratique adoptée.



FIGURE 57. Pratiques anti érosives [source google earth].

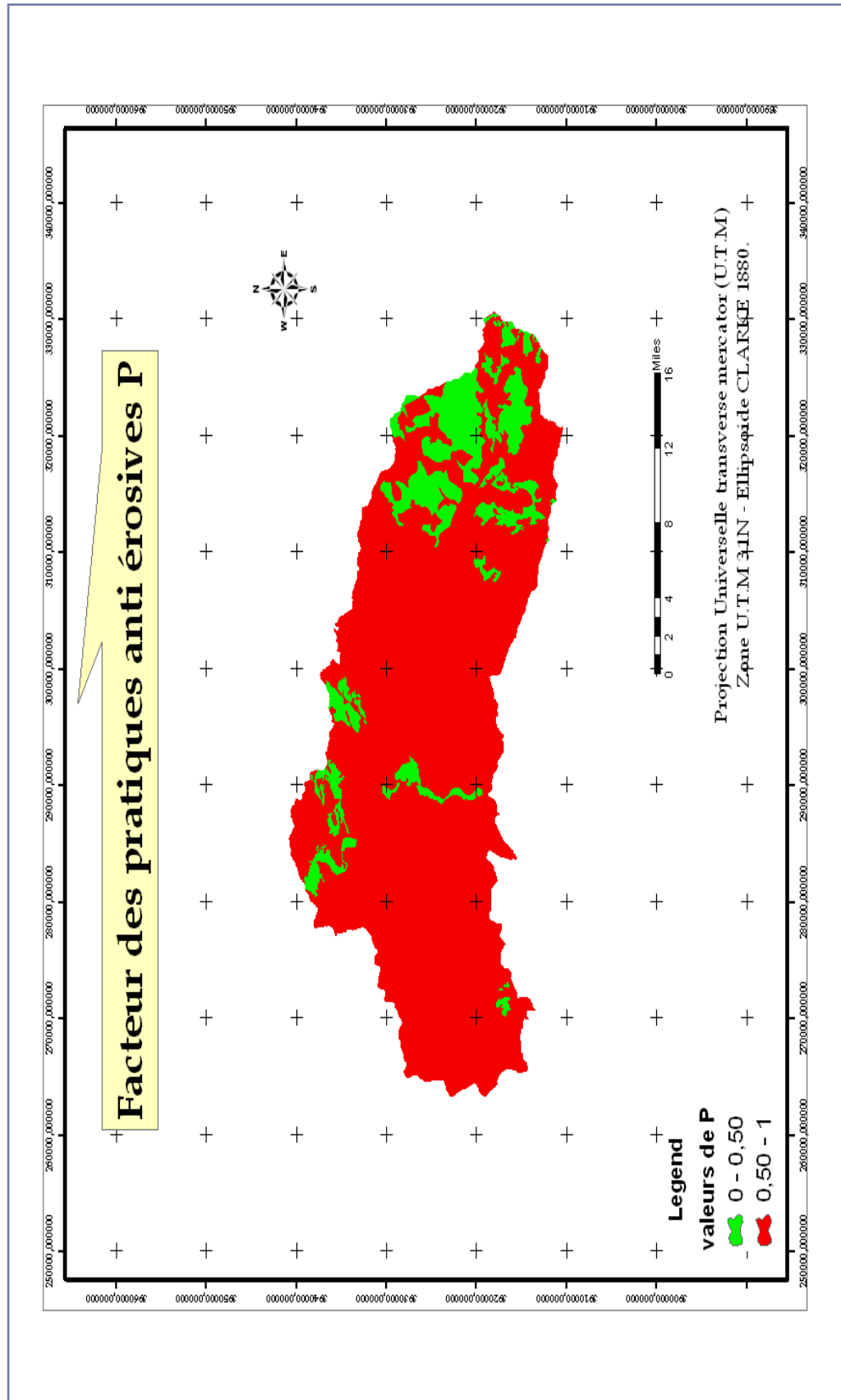


FIGURE 58. Facteur p des pratiques anti-érosives.

5. Distribution spatiale des pertes en sol

L'application du modèle RUSLE, a permis d'étudier séparément les facteurs impliqués dans l'érosion hydrique, puis procéder à un croisement des différentes cartes thématiques obtenues (facteurs R, K, LS, C et P) en utilisant le module Spatial Analyst - calculatrice raster du logiciel ARCGIS 9.2. Le croisement des cartes a été fait à l'échelle du pixel de **24.379*24.379 m**.

Les classes de pertes en sol, sont réparties selon le principe de tolérance du sol aux pertes, utilisé aux Etat Unis. Un taux d'érosion inférieur à **7.41 t/ha/an** reste tolérable et il permet une production agricole élevée, par contre des valeurs supérieures à **20 t/ha/an** indiquent que le sol est dégradé et qu'un aménagement s'impose.

Les résultats que nous avons obtenus, montrent que la moitié de la superficie de la zone d'étude soit **54,09 %** à un taux d'érosion inférieur à **7.41 t/ha/an**. Dans cette classe se trouve la région de **Taassalet**. Cette dernière a été un champ d'expérimentation pour plusieurs chercheurs à savoir **Kouri 1993, Gomer 1994 et Touaibia 2000**. Leurs résultats relevant de la réalité du terrain sont nettement proches aux notre.

Des états érosifs faibles à très variables sont observés un peu partout dans la zone d'étude, à l'Ouest près de **Mecheraa Sfa** et à l'Est près **d'El-hachem**, avec dominance des deux premières classes, inférieure à **7.41 t/ha/an** et variant entre **7,41 à 19,77 t/ha/an**. Cela pourrait être expliqué par le type d'occupation du sol. Les grandes cultures ou le labour en courbe de niveau est largement pratiqué. Des petites ravines sont toutefois observées sur des pentes raides.

Les valeurs critiques supérieures à **20 T/ha/an** ne sont pas négligeables, elles occupent plus d'un quart de la superficie totale soit **28,37 %**(fig. 59),et se situent également un peu partout sans couvrir de vastes étendues d'un seul tenant. Malgré la dominance des valeurs inférieure à **7.41 t/ha/an**, ce sont les zones d'érosion élevée à très élevée qui contrastent dans le paysage car elles sont agglomérées sur des versants abrupts et de forme allongée.

La moyenne annuelle pour l'ensemble de la zone des marnes est estimée à **25.457 t/ha/an**. Des mesures du transport solide ont été effectuées sur l'ensemble du bassin versant de l'oued Minapar **Touiaibia et Achite 2003**. Les résultats obtenus ont également montré que la zone marneuse est fortement touchée par l'érosion hydrique avec une moyenne dépassant **20 t/ha/an**.

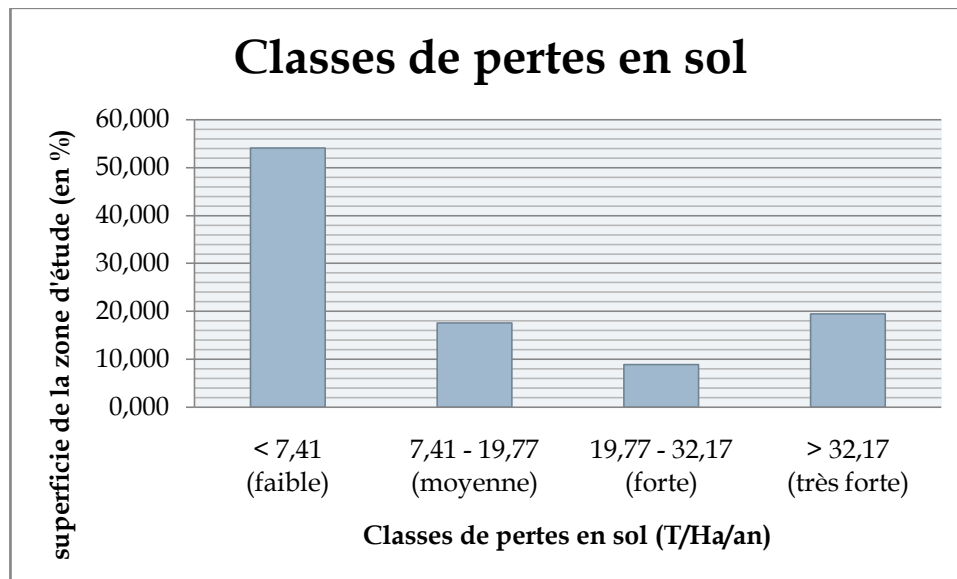


FIGURE 59. Distribution des classes de pertes en sol (taux de l'érosion hydrique)

La lecture de la carte d'érosion obtenue, montre que les classes où l'érosion est forte à très forte se répartissent sur les terrains dégradés et ravinés. L'effet du couvert végétal est nettement remarquable pour les classes à érosion faible à moyenne. Par conséquent, l'intensité de l'érosion et les quantités de sédiments produites, varient essentiellement en fonction de l'occupation actuelle des sols ainsi qu'à la nature des terrains et leur pente. Les priorités en matière de pratiques de gestion doivent être fixées sur la base du risque d'érosion des sols, et du transport de sédiments en aval du bassin versant de l'oued Mina.

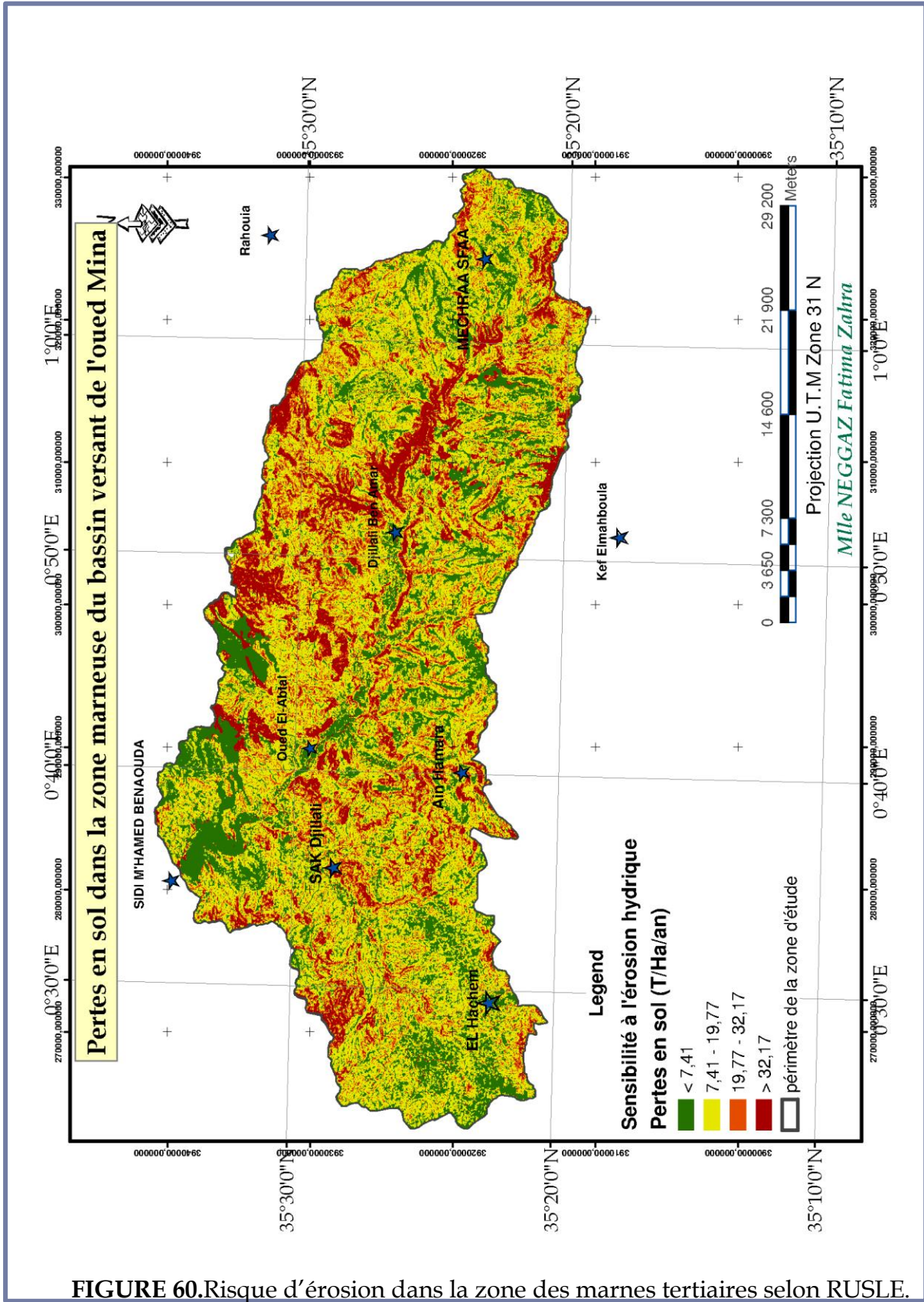
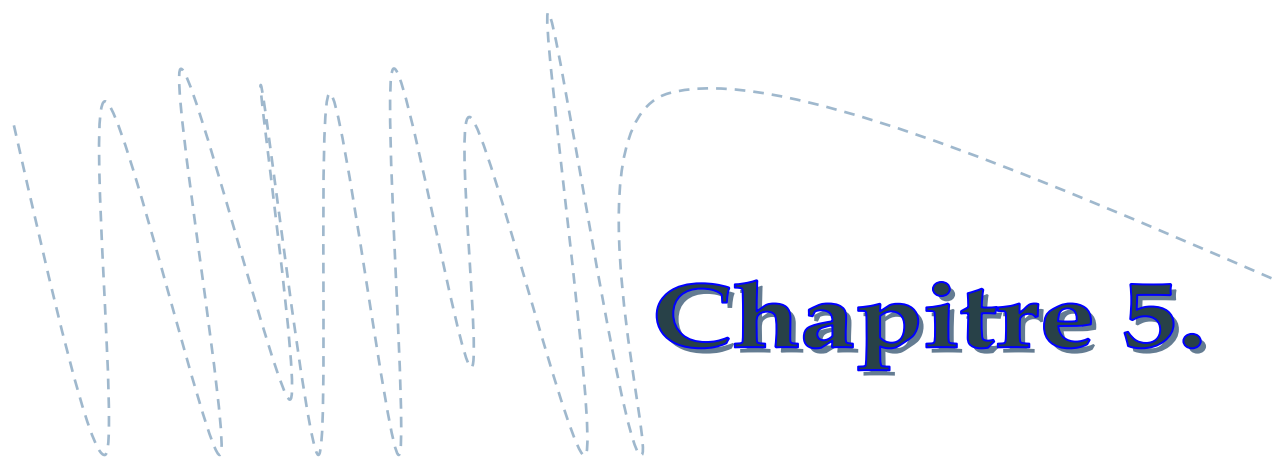


FIGURE 60. Risque d'érosion dans la zone des marnes tertiaires selon RUSLE.



Chapitre 5.

Lutte contre l'érosion hydrique des sols en Algérie et propositions d'aménagements

Chapitre 5. Lutte contre l'érosion hydrique des sols en Algérie et propositions d'aménagement.

La lutte antiérosive était depuis toujours une préoccupation mondiale. L'étude de l'érosion hydrique et sa quantification (pertes en sol ou sédimentation au niveau des retenues) représente une étape incontournable dans les plans d'action et de lutte contre l'érosion hydrique. Afin de contrer ce phénomène et réduire l'envasement des structures hydrauliques, plusieurs techniques antiérosives ont été adoptées au fil des temps.

Ce chapitre aborde les différentes approches et méthodes qui y sont associées dans le contexte algérien, ainsi que des propositions d'interventions suggérées dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina, faites en se basant sur les résultats obtenus dans le précédent chapitre.

1. Projets passés et actuels de protection des bassins versants et de lutte contre l'érosion hydrique en Algérie

1.1. Les projets recensés

Antérieurement à **1942**, la conservation des sols en Algérie a été associée à la politique forestière, car on estimait que la dégradation des sols était intimement liée à la dégradation de la forêt (**Bellatrech, 1987**). S'inspirant des spécialistes américains, l'Algérie a développé en **1942** un service dédié à la défense et à la restauration des sols (**DRS**) pour les périmètres dits « d'utilité publique » (**Greco, 1966**).

La contribution la plus importante des spécialistes de la **DRS** a été sans aucun doute l'instauration de banquettes sur les versants. Or, leur inefficacité a rapidement été observée pour les versants subissant l'érosion et ainsi, il a été proposé d'installer les nouvelles banquettes seulement aux zones non touchées par l'érosion (**Heusch, 1985**). En **1960**, les forestiers ont mis en place un programme de restauration et de protection des terres utilisables de l'Algérie du Nord. En raison des piètres résultats, le gouvernement algérien a suspendu toute intervention fondée sur l'approche du génie civil, incluant les banquettes.

À la fin des années **1970**, le Ministère de l'Agriculture et de la révolution agraire a effectué un inventaire général de la situation des terres et forêts pour chaque wilaya de l'Algérie du Nord (**BNEDER, 1979**). Les schémas directeurs d'aménagement régional émanant de ces études proposaient la reconversion des terres agricoles les plus touchées par l'érosion à leur vocation d'origine soit forestière, pastorale ou arboricole. Dès **1983**, ces schémas ont été appliqués par des offices d'aménagement et de mise en valeur des périmètres afin de protéger et valoriser les ressources dans les zones montagneuses.

A la même époque en **1984**, le code forestier a été modifié par l'adoption de la loi portant sur le régime général des forêts. Cette loi incluait pour la première fois un volet de conservation des sols et de lutte contre l'érosion. En effet, la loi stipulait que les paysans ne pouvaient s'opposer à l'implantation de techniques de contrôle de l'érosion si leurs terres étaient jugées trop dégradées

Au cours des années **80**, trois grands projets d'étude et de la lutte contre l'érosion ont été réalisés en Algérie :

Le premier est le projet "Ressources en eau dans les pays d'Afrique du Nord" (RAB 80/011), les deux autres ont été des projets de collaboration avec des chercheurs français et allemands.

Le **RAB 80/011** était réalisé en Algérie (Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et des Forêts), le Maroc et la Tunisie sous la tutelle du Programme des Nations Unies pour le Développement (**PNUD, 1988**). L'un des objectifs de ce projet était de contribuer à la définition d'une stratégie de lutte contre l'érosion et les transports solides, et ce, sur la base de l'expérimentation de différents traitements antiérosifs d'une part et de la mesure de leur l'efficacité de l'autre.

Le deuxième projet est le fruit d'une collaboration entre l'Institut National Algérien de Recherches Forestières (INRF) avec des chercheurs français de l'**ORSTOM** entre 1984 à 1989. Cette collaboration a été réalisée en trois volets :

- Le premier volet a abordé le démarrage du projet par une enquête sur l'efficacité des méthodes de D.R.S (**Hammoudi et al. 1989**).
- Le deuxième a étudié l'aménagement de micro-bassins dans les monts Beni Slimane (**Bourougaa et al., 1989**) et Beni Chougrane (**Morsli et al., 1989**).
- le troisième volet a examiné la quantification de l'érosion.

Le troisième projet, se rapporte à une coopération entre le Ministère algérien de l'agriculture et la Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (G.T.Z.), agence fédérale allemande. Le bassin versant de l'Oued Mina était choisis comme zone-test pour développer un schéma directeur d'utilisation et de conservation des sols et de l'eau en Algérie. L'examen de l'efficacité des techniques antiérosives a été suivi, par la mise en place des ateliers de démonstration en vue de sensibiliser les populations.

Afin de lutter contre un taux de chômage élevé, la Direction Générale des Forêts a lancé en **1997** le *Projet Emploi Rural I*, ce qui a permis de créer de l'emploi en intégrant les populations de la région Ouest du pays dans la lutte contre l'érosion. À la suite de résultats positifs, le gouvernement algérien a lancé un deuxième projet (Projet Emploi Rural II) dans les wilayas de Tiaret, Tissemsilt, Chlef, AïnDefla, Médéa et Bouira.

Ce dernier projet prévoit, entre autres, la réduction de l'érosion par le biais du reboisement, la correction torrentielle, le repeuplement des zones désertiques, la fixation des berges et la réfection des banquettes (Ministère de l'Agriculture, 2002)

1.2. Succès et échecs des projets de conservations des sols en Algérie

Dans le cadre d'une thèse de doctorat, **Bellatreche (1987)** explique les échecs des projets de DRS pour l'imposition des banquettes auprès des paysans. Ces derniers percevaient ces ouvrages comme une servitude.

Ainsi, les banquettes ont été laissées à l'abandon et voir même détruites (**Aubert, 1986**). Par ailleurs, ces techniques sont efficaces seulement si les pluies sont brèves et très intenses sur des sols secs. Or, les pluies en Algérie sont souvent de faibles intensités, mais de longues durées (**Heusch, 1985**). Cette situation peut s'avérer dangereuse car **Tihay (1976)** a observé que l'abandon des banquettes dans la vallée de la Soummam a conduit à des mouvements de masse généralisés.

Selon *Fay (1993a et b)*, la réduction de l'érosion dans les montagnes rifaines et telliennes ne peut se réaliser que dans le cadre de l'aménagement de leur territoire en apurant les structures foncières, en intégrant davantage leurs économies dans le marché national et par la responsabilisation des collectivités locales. Ce dernier point est important car il a été démontré que les agriculteurs ne comprennent toujours pas l'utilité des travaux de correction torrentielle (*Sahli, 2003*).

Pour les régions sous climat méditerranéen, le reboisement n'a pas donné les résultats attendus car la pluviométrie y est trop faible.

Ainsi, afin d'obtenir un couvert végétal protecteur à la surface de sols, *Paschen et al. (1998)* ont conclu suite à de nombreux tests sur la partie marneuse de l'Oued Mina, que l'utilisation traditionnelle du sol par les populations locales était la façon la plus efficace de minimiser la production de sédiments. Donc il est plutôt suggéré de réutiliser des techniques de cultures traditionnelles adaptées aux versants sur marnes. Par exemple, le labour pratiqué par ces populations augmentait la porosité des sols favorisant ainsi l'infiltration et minimisant, par conséquent, le ruissellement et donc le ravinement (*GTZ, 1996*).

Ces techniques fonctionnaient si bien selon *Paschen et al. (1998)* que la dégradation des versants n'a débuté qu'immédiatement après la migration de la population montagnarde vers le fond des vallées. Ainsi, le schéma directeur de l'Oued Mina devrait combiner aux mesures anti-érosives des aspects socio-économiques et même inciter les fermiers des régions montagneuses à employer de nouveau ces techniques.

Du point de vue envasement de barrages, les plans de gestion des bassins versants doivent non seulement diminuer les taux d'envasement, mais également s'attaquer aux sources les plus importantes de sédiments, c'est-à-dire le ravinement et le sapement des berges (*PNUD et OPE, 1987*). Reconnaisant la faible importance de l'érosion en nappe comme source de sédiments, *Roose (1994)* propose néanmoins d'appliquer la GCES sur les versants afin de diminuer les volumes de ruissellement et ainsi réduire le ravinement et les crues provoquant l'érosion des berges.

2. Propositions d'aménagement

La carte des pertes en sol obtenue dans notre étude, nous a permis de localiser les zones prioritaires aux traitements, et de proposer les aménagements anti-érosives qui ont été considérés utiles, nécessaires et indispensables en vue de réduire les pertes en sol et le taux d'envasement dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina.

Quelque soit le degré de réduction envisageable du taux d'envasement des retenues ; la protection de leur capacité utile aura un impact sur le développement durable des ressources en eau et se répercutera sur l'ensemble des activités économiques liées directement ou indirectement à la disponibilité de l'eau en quantité et en qualité.

Les pratiques antiérosives proposées ici ont été divisées en deux types, mécanique et biologique (Tab.19). Les ouvrages purement mécaniques ont tout d'abord pour but de diminuer la pente et par conséquent la vitesse d'écoulement le long des talwegs. Cependant ils ne sont efficaces que temporairement et exigent donc une fixation biologique à l'intérieur des ravines.

TABLEAU 19. Interventions suggérées dans la zone d'étude

Type	Intervention antiérosive
Mécanique	Correction torrentielle avec seuils
	Cordons de pierres
	Retenues collinaires
	Amélioration foncière
biologique	Reboisement
	Haies vives
	Revégétalisation
	Plantation opuntia
	Plantation fruitière

La correction des ravines profondes passe d'abord par la stabilisation mécanique du fond des berges avant de réimplanter la végétation, sauf en milieu marneux trop souple et trop mobile pour supporter des barrages rigides ; On fait alors appel à une correction biologique qui fait intervenir à la fois des lignes d'arbres très serrées et des graminées à croissance rapide supportant d'être couvertes par des séries de sédiments.

Le tableau n° 20 montre les combinaisons proposées entre interventions mécaniques et biologiques en fonction du taux d'érosion. Les classes ayant des pertes en sol supérieures à **7 T/Ha/an** et inférieures à **32 T/Ha/an** sont regroupées en une seule priorité (moyen à élevé **Tab.20** et **fig.61**). Ces classes devraient avoir une intention particulière pour éviter toute forme de ravinement et de badlands. Les zones à pertes en sol inférieures à **7 T/Ha/année** sont pas prioritaires en matière d'intervention, mais nécessitent une bonne gestion des ressources en eau et en sol, par les pratiques antiérosives appropriées.

Tableau 20. Pratiques antiérosives proposées en fonction du degré de l'érosion hydrique

Taux de l'érosion hydrique	Mesures mécaniques				Mesures biologiques				
	Correction torrentielle avec seuils	Cordons de pierres	Retenues collinaires «	Amélioration foncière	Reboisement	Haies vives	Revégétalisation	Plantation opuntia	Plantation fruitière
< 7,41 T/Ha/an				●		●	●	●	
7,41 à 19,77 T/Ha/an		●	●	●	●	●	●	●	●
19,77 à 32,17 T/Ha/an	●	●	●		●		●	●	●
>32, 17 T/Ha/an	●				●		●	●	●

NB : les couleurs dans le tableau correspondent aux classes de priorité d'aménagement. Voir image 61.

Du point de vue social, les aménagements proposés doivent être efficaces, moins coûteux et réalisables avec les populations locales car la prise en compte de leurs expériences en matière d'aménagements antiérosifs du milieu constitue à la fois un gage de réussite et une manière de rendre hommage au savoir-faire paysan souvent ignoré par les aménagements modernes importants et coûteux mais éphémères.

Dans une seconde étape, il faut réfléchir à la stabilisation des sédiments retenus par une fixation biologique. Les espèces à fort enracinement et à fort pouvoir recouvrant sont envisagées ; leur rôle est d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et de dissiper l'énergie du ruissellement et sa capacité de transport. Ces espèces doivent être rustiques, multi-usages et aussi économiquement valorisantes, afin de retenir l'intérêt des paysans qui auront par la suite la charge de les entretenir.

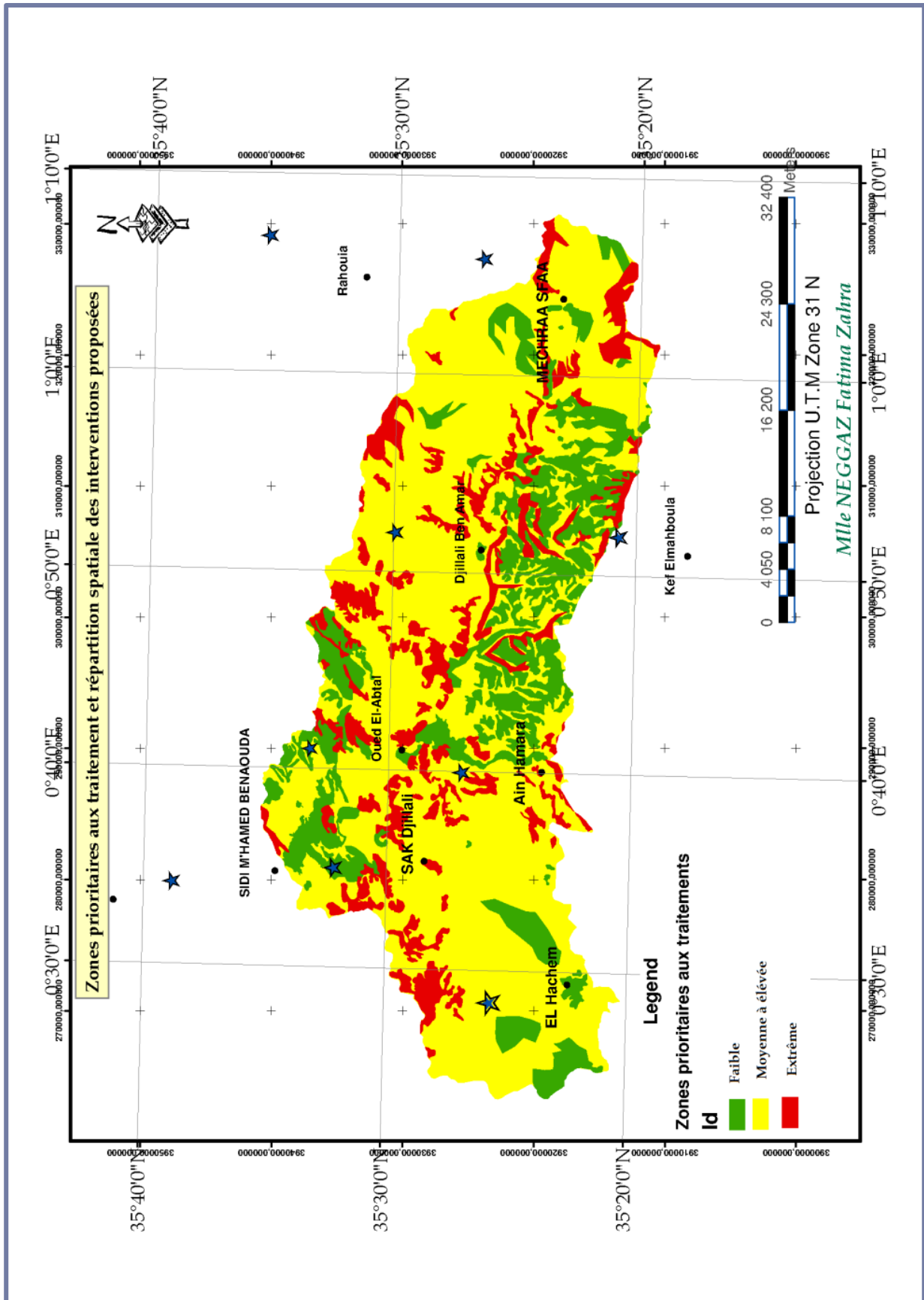


FIGURE 61. Zone prioritaires aux traitements anti-érosives dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued mina

2.1. Mesures techniques :

2.1.1. Les seuils de correction torrentielle

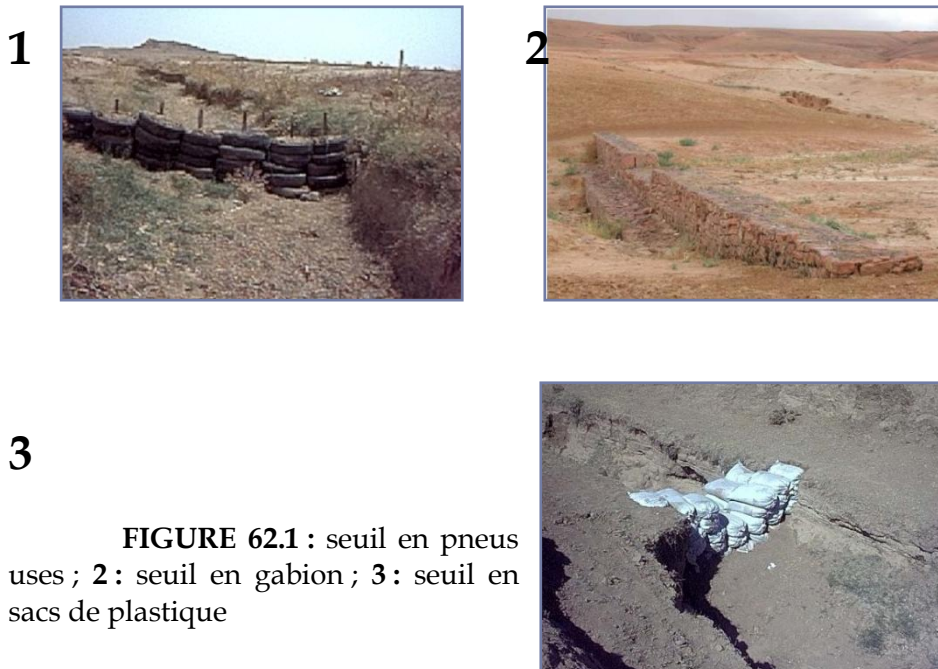
Les seuils sont utilisés afin de réduire la vitesse du ruissellement à des taux non érosifs. Ils sont recommandés pour diminuer le ravinement ainsi que pour la correction torrentielle. Ce sont des ouvrages de petites envergures construits perpendiculairement au sens d'écoulement de l'eau dans des zones de fortes dénivelées (**Fig. 62**).

ASPECTS SOCIAUX ET PLANIFICATION PARTICIPATIVE

Les ravines naissent de l'excès d'eau dégagé du versant. La mauvaise gestion des champs en est généralement la cause essentielle, bien que les ravines puissent aussi se créer de manière naturelle. La correction torrentielle n'a de sens que si le paysan modifie son système d'exploitation. L'innovation du système de production réduit non seulement le ravinement mais améliore aussi la productivité des terres et le revenu du paysan

Il est indispensable que les propriétaires et / ou exploitants visés par les travaux participent activement aux prises de décisions (impacts sur leurs activités, solution d'atténuation, choix d'emplacement, types d'ouvrages, etc.) et soient associés aux travaux de construction.

Le seuil est une technique simple et maîtrisable par la main d'œuvre locale non qualifiée à condition d'être suivi par une personne qualifiée (ingénieur ou technicien) pendant toutes les étapes. Il faut aussi prévoir des sessions publiques d'information sur l'importance et les méthodes d'entretien des ouvrages.



2.1.2. Les cordons de pierres:

Ce sont des alignements de pierres (**fig. 63**), établis de façon à ralentir l'écoulement de l'eau sur de grandes surfaces relativement dénudées et sur des pentes faibles (<12%). Ils favorisent l'étalement de l'eau, évitent la formation de rigoles, favorise ainsi l'infiltration et le dépôt de sédiments.

ASPECTS SOCIAUX ET PLANIFICATION PARTICIPATIVE

Les paysans sont prêts à accepter les cordons de pierres si ceux-ci perturbent peu le travail en traction attelée ou mécanique (tracteur).



FIGURE 63. Cordons de pierres

2.1.3. RETENUES COLLINAIRES

Les retenues collinaires sont de petits ouvrages, qui recueillent les eaux de ruissellement de bassins versants dont la superficie varie de quelques hectares ou quelques km² et qui ont une capacité de 0,5 à 3 millions de m³.

Implantés dans des environnements fragiles et à faible activité économique, les retenues collinaires sont des aménagements très innovants, susceptibles de transformer profondément les systèmes de production agricoles traditionnels, de même qu'ils contribuent à changer les comportements sociaux face à l'eau, une ressource naturelle rare et vitale.

ASPECTS SOCIAUX ET PLANIFICATION PARTICIPATIVE

Ce genre d'ouvrage nécessite la collaboration étroite des services de l'eau, de l'agriculture, de l'élevage, des forêts et des travaux publics. Il est recommandé d'organiser des sessions d'informations (films, conférences, etc.) aux techniciens et agents spécialisés dans les secteurs concernés sur l'importance que revêtent ce genre d'ouvrages.

Lorsque la retenue collinaire est uniquement considérée comme un élément de protection des infrastructures situées en aval (habitations, route, etc.) visant à réduire les crues et à retenir les sédiments, l'ouvrage est alors principalement d'intérêt public.

L'accès à l'eau de ces retenues (irrigation, eau potable, etc.) s'avère souvent la principale motivation pour engager la participation des populations dans la réalisation et l'entretien de ces ouvrages.

La gestion pratique des retenues collinaires ainsi que le partage des responsabilités de cette gestion entre les particuliers (bénéficiaires/usagers) et les collectivités doivent être définis au préalable.

2.2. Amélioration des systèmes de production (pratiques agricoles)

Aujourd'hui, les savoir-faire devraient être repensés dans un sens d'efficacité, de rentabilité et de durabilité. Il s'agit de certaines pratiques rentables, moins coûteuses et facilement reproduites par les paysans, et qui consistent à éviter toutes les actions favorisant le développement de l'érosion hydrique telles que l'abandon des terres, le surpâturage, les travaux du sol inadaptés, le labour suivant la ligne de pente et l'inadaptation de l'arboriculture fruitière.

Il s'agit des différentes pratiques et techniques agricoles qui permettent d'une part d'accroître la production et les revenus des paysans, tout en protégeant le sol et en maintenant sa fertilité, et d'autre part pour mieux couvrir le sol et ainsi réduire l'érosion au champ, et surtout le ravinement en aval

Des pratiques qui pourraient être efficaces et rentables n'ont jamais été testées en Algérie. Leur succès est conditionné par la qualité de l'appui technique offert aux producteurs et du degré de leur sensibilisation face aux problèmes d'érosion.



Figure 64. Cultures intercalaires de fèves sous abricotier (Algérie).

2.2. Mesures biologiques

2.2.1. Reboisement

En plus de son intérêt économique pour la production de bois et l'aménagement paysager ou récréatif, le reboisement constitue une stratégie de lutte contre l'érosion. Il a pour rôle essentiel d'augmenter la couverture protectrice des terres et ainsi de réduire l'impact des gouttes de pluies sur le sol de même que le ruissellement de surface.

La stratégie de mise en œuvre du reboisement doit s'intégrer dans une politique d'aménagement qui promet autant la gestion durable des forêts que l'amélioration des conditions de vie et de revenus des populations locales. L'adhésion des populations à cette stratégie est assurée par le fait qu'elles seront affectées par toute action de développement qui sera entreprise.

Une diversification des espèces à introduire est souhaitable car le pin d'Alep présente au moins deux inconvénients : sa sensibilité à la chenille processionnaire *Thaumetopea pytiocampa Schiff* et sa sensibilité à l'incendie.

Le choix des espèces et des sites à reboiser doit reposer sur une analyse judicieuse des conditions édaphiques, écologiques et sociales. Une telle précaution est d'autant plus importante que les sols à reboiser sont pauvres, dégradés (badlands ou roubines) et en forte pente.

ASPECTS SOCIAUX ET PLANIFICATION PARTICIPATIVE

La législation algérienne portant sur le régime foncier rend les terres forestières et à vocation forestière incessibles, inaliénables et imprescriptibles, ce qui leur assure une protection relativement efficace. Cependant, dans le cadre des autorisations d'usage du domaine forestier national, la loi autorise la gestion des forêts par les riverains. Cette loi reconnaît aussi et respecte les droits traditionnels des communautés locales. Ainsi, il y a lieu d'encourager les bénéficiaires à planter des essences forestières et arboricoles adaptées (1 à 2% de la surface) sur une partie de leur concession.

Il faut éviter le reboisement sur croûtes calcaires, la généralisation d'une espèce unique (ex. pin d'Alep), l'introduction d'espèces inadaptées écologiquement, l'utilisation d'espèces refusées par les paysans, la réduction de la biodiversité, etc.

2.2.2. Haiesvives

Les haies vives remplissent diverses fonctions dont celui de dissiper l'énergie cinétique du ruissellement afin de réduire l'érosion des sols.

Pour que les haies vives remplissent leur fonction protectrice (lutte anti-érosion, brise-vent), il est essentiel de prendre en compte différents paramètres de terrain (exposition, pente, nature du sol) et climatique (vitesse, direction, fréquence) de même que les caractéristiques morphologiques propres aux espèces végétales qui vont constituer les rideaux de haies.

Il est difficile de trouver dans la nature des espèces qui remplissent toutes les conditions énumérées ci-dessus. C'est pourquoi il faut définir un objectif principal tout en visant les objectifs subsidiaires. Dans le présent cas, la protection des sols contre l'érosion aura la priorité.

ASPECTS SOCIAUX ET PLANIFICATION PARTICIPATIVE

Depuis longtemps, les haies vives sont perçues par la plupart des agriculteurs dans les régions de montagne, et même en steppe où dominant pourtant le pastoralisme, comme des pratiques conservatoires essentielles à la protection de leurs cultures contre les effets néfastes du climat (siroco en été, gelées en hiver et au printemps, ruissellement abondant). Certains paysans, à défaut de haies vives sur leurs parcelles, utilisent divers branchages pour protéger leur culture.

Si les paysans reconnaissent l'intérêt des haies vives, ils ne maîtrisent souvent pas les aspects techniques, d'où l'intérêt d'un programme d'appui à la vulgarisation par des démonstrations / visites dans des parcelles de référence.

Certaines espèces qui ont prouvé leur efficacité dans la fixation des terres sur parcelles expérimentales ne sont pas disponibles dans les pépinières, l'Administration forestière doit donc les intégrer dans ses programmes.



FIGURE 65. Haie vive antiérosive Algérie

2.2.3. Revégétalisation

La revégétalisation (ou reverdissement) consiste à implanter une couverture herbacée, graminéenne, arbustive ou arborescente sur des terres dégarnies. Cette pratique est habituellement réalisée pour stabiliser les pentes et protéger les terres contre l'érosion hydrique. À l'instar du reboisement, le choix des espèces et des techniques de revégétalisation doit reposer sur une analyse judicieuse des conditions édaphiques, écologiques et sociales.

ASPECTS SOCIAUX ET PLANIFICATION PARTICIPATIVE :

L'explosion démographique conjuguée à la persistance de la sécheresse depuis deux décennies a fait régresser le couvert végétal en Algérie. Aujourd'hui, les paysans sont conscients de cette situation car, comme l'herbe se raréfie, leurs troupeaux de moutons ont de plus en plus de difficulté à trouver leur pâture. Même si les paysans sont intéressés à tout changement qui pourrait améliorer leur quotidien, il faut faire preuve de beaucoup d'habileté pour apporter des modifications aux systèmes de production actuels qui, souvent, ne sont ni écologiquement viables ni économiquement rentables. De plus, comme le pastoralisme se déroule sur des terres collectives (Arch) qui sont associées à la céréaliculture, il est difficile pour les paysans d'intégrer une nouvelle forme d'organisation spatiale.

La reconquête des terres par la végétation doit impérativement être adaptée à l'élevage. La revégétalisation comme possibilité de pâturage à long terme est envisageable à condition que cette ressource soit gérée durablement.

La réorganisation des espaces doit évidemment tenir compte du passage des troupeaux en créant des couloirs de circulation (transhumance du sud au nord depuis l'Atlas saharien) et parcours (cheminement) en montagne.

2.2.4. Plantation d'opuntia

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), est un cactus originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Cette espèce est très efficace pour protéger et restaurer les sols dégradés. En effet, l'opuntia est peu exigeant en éléments nutritifs et, comme il peut être planté à de fortes densités, il freine efficacement le ruissellement de surface.

Par ailleurs, l'opuntia produit des fruits qui sont prisés sur le marché, générant ainsi une source de revenus pour les agriculteurs.

Aspects sociaux et planification participative

La participation communautaire doit être promue si la plantation d'opuntia s'applique à de grandes superficies d'un seul tenant, notamment lors de la protection d'un versant de montagne ou de grandes zones de ravinement.

L'agencement spatial des plantations doit intégrer les différents modes d'utilisation des terres, notamment les corridors et zones de pâturage.



FIGURE 66. Plantation d'opuntia

2.2.5. Plantations fruitières

La plantation fruitière doit être envisagée à la fois pour la production agricole et la conservation du sol. Sur le plan de la production, l'arboriculture représente une source de revenus non négligeable pour le paysan.

Dans le domaine de la conservation du sol, les arbres fruitiers rustiques, grâce à leurs profondes racines, fixent le sol sur les fortes pentes. Toutefois, au-delà de la partie couverte par le houppier, beaucoup d'espace reste exposé à l'impact des gouttes de pluie. Ceci est aussi valable pour la vigne. Par conséquent, les bonnes pratiques agricoles requièrent des espèces de graminées / herbacées comme couvre-sol.

Il est opportun de développer des cultures pérennes dans toutes les zones de montagne et les régions du piémont où les conditions agrologiques s'y prêtent. Malgré les revenus conséquents qu'elle procure, l'arboriculture (arbres fruitiers/vignes) demeure malheureusement marginale. Elle se pratique souvent sur des sols pauvres.

Le choix des espèces repose sur la demande du marché et sur les conditions naturelles favorables. Généralement, les critères clés du choix sont: disponibilité en eau, résistance du porte greffe à l'asphyxie, importance du gel et de la grêle, calcaire actif et sel dans le sol. Les espèces proposées, en priorité, sont les espèces rustiques telles que l'olivier, le figuier, l'amandier, le prunier, le grenadier. Les espèces non rustiques comme l'abricotier, le pommier, le pêcher et le poirier doivent être localisées dans les zones où l'irrigation est possible.

Le développement de l'arboriculture dépend également en grande partie des connaissances du paysan en matière arboricole (plantation, greffage, sélection, tailles, amendements, traitements phytosanitaires, etc.).

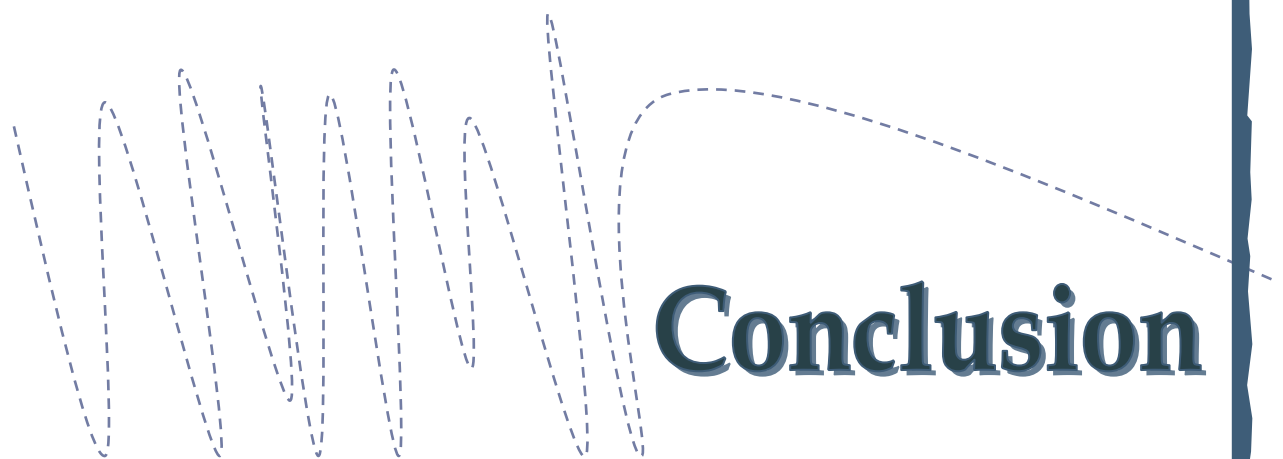

Aspects sociaux et planification participative

L'arboriculture rustique requiert la mise en œuvre d'une série de mesures concrètes auprès des paysans: l'accès facile aux crédits avec de faibles taux d'intérêts, formation spécialisée en arboriculture et apiculture (2 à 3 jours), encouragement à la création d'associations communautaires, disponibilité des plants, captage de sources, construction de bassins de rétention, encouragement de l'irrigation goutte à goutte dans les régions semi arides à fort pouvoir évaporant, distribution de ruches (gratuites pour les femmes), etc.

Un effort doit être fait au niveau de la fourniture de services : structures de stockage, distribution (accès facile au marché) pour aider les agriculteurs à écouler leurs produits aux meilleures offres du marché.

L'accès au micro crédit devrait être favorisé pour les jeunes diplômés agronomes pour la création de petites entreprises : pépinières, laboratoire d'analyse de sol, bureau d'étude et expertise ...

L'arboriculture permet aux agriculteurs de pratiquer également des cultures de subsistance et d'obtenir du fourrage pour le bétail (espèces fourragères telles les Leicenas)



Conclusion

Générale

Conclusion générale

A la lumière des résultats obtenus par l'application du modèle **RUSLE** à l'aide d'un SIG ARCGIS 9.2, dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina et les discussions et conclusions partielles obtenues dans les différents chapitres de notre travail, nous présentons ci – dessous les principaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Caractères du milieu physique :Le climat est de type semi-aride, la pluviométrie varie de 200 à 500 mm/an. La géologie comporte principalement des formations marneuses.Ces dernières montrent une excellente aptitude au développement des fissures profondes favorisant le départ des ravines, et une texture argilo limoneuse dominante, sensible à la battance. Les zones agricoles occupent **40%** de la superficie de la zone d'étude.Le couvert permanent n'arrête pas de subir une sévère dégradation.

Les facteurs analysés à l'aide du SIG montre bien la sensibilité de la zone d'étude à l'érosion qui résulte de la conjonction de différents facteurs : érodibilité des sols, érosivité des pluies, raideur du relief et faiblesse du couvert végétal.

Approche cartographique au moyen du modèle RUSLE et du SIG Arc GIS 9.2 :En utilisant le SIG, Le modèle RUSLE peut évaluer l'érosion par pixel sur des terrains en relief plus complexe (facteur LS), d'où l'avantage des modifications apportées au modèle USLE qui se limitait initialement à l'évaluation de l'érosion en nappe. La comparaison des résultats obtenus avec celles mesurés sur terrain dans les parcelles expérimentales montre l'importance de l'application de cette méthodologie dans l'évaluation des taux d'érosion, ainsi en tant qu'outil d'aide à la décision dans des projets d'aménagement de bassins versants et de lutte contre l'érosion.

Erosivité des pluies (facteur R) :La formule de **RANGO et ARNOLDUS 1987** utilisée à la place de celle de **Wischmeier et Smith 1958**, pour pallier au manque de données pluviométriques a donné pour les treize (13) stations météorologiques choisies, des résultats satisfaisants et comparables avec ceux trouvés par **Gomer (1994)**.

La méthode du krigeage ordinaire utilisée pour régionaliser le facteur R sur l'ensemble de la zone d'étude, semble convaincant (effet de pépité nul). Nous l'avons adopté pour élaborer une carte de distribution spatiale de l'indice R.

Conclusion générale

L'indice d'agressivité climatique **R** varie entre **42.15** (station de Sidi M'Hamed Benouada) et **73.86** (station de Mechraa Sfaa). Les plus faibles valeurs sont observées aux environs d'Oued El-Abtal et El-Hachem, les plus élevées sont localisées à la limite Est de la zone d'étude à Mechraa Sfaa. La moyenne annuelle est de **54,09**. Plus de la moitié de la zone d'étude subit une agressivité climatique supérieure à **50**.

Erodibilité des sols K : par manque de données et de temps nécessaires à de telles études. Il a été relevé l'impossibilité d'évaluer le facteur **K** par l'approche de **Wischmeier** à partir des parcelles standard (simulation de pluie) dans le cadre d'un mémoire de magister. La méthode alternative suivie dans notre étude, basée sur la texture du sol et le taux de matière organique attendus, a donné des valeurs de **K** comprises entre **0.05 et 0.46**.

Les sols à texture limoneuse et limono argileuse sont les plus sensibles à l'érosion hydrique (**K = 0,46**). Des îlots de grès calcaire et de dépôt meuble à texture grossière, situés au Nord et Nord-Est ont de faibles valeurs de **K** avec **0.1 et 0.06** respectivement.

Facteur topographique : Les modifications apportées aux calculs du facteur topographique **LS** qui regroupe les effets de la longueur (**L**) et de l'inclinaison (**S**) de la pente, ont l'avantage d'estimer les pertes en sol dans des aspects complexes comme les bassins versants. Contrairement au procédé de **Wischmeier et Smith** qui se limite à l'érosion en nappe. Les algorithmes exécutables utilisant comme entrée du Modèle Numérique de Terrain de **30m** de résolution et moins semblent très intéressants et ouvrent d'autres perspectives dans la modélisation et la gestion numérique de l'information géographique.

Dans la zone des marnes tertiaires, on n'a pas recensé des travaux effectués sur ce facteur afin de les comparer avec nos résultats. Une dominance de valeurs variant de **0 à 5 %** est nettement remarquable, elles sont maximales au nord, ainsi qu'aux environs de Djilalli Ben Amar et Ain Farah au sud. Elles excèdent occasionnellement **20 %** sur quelques versants abrupts au sud d'Ain Farah. Aux environs de la région d'El Hachem au sud-ouest, **LS** est inférieur à **2%**, cette classe concerne également la plaine alluviale de l'oued Mina et ce du Barrage Es-Saada jusqu'au Djilalli Benamar. Finalement les zones de transition entre les valeurs extrêmes consistent en une mosaïque où la variation **LS** met en relief les vallées, sommets arrondis et abrupts.

Conclusion générale

Facteur de couvert végétal : Les zones agricoles occupent près de la moitié de la zone d'étude. Le matorral occupe des superficies importantes soit environ **27%**, ce dernier est suivi par les sols nus dégradés qui se trouvent un peu partout et qui totalisent environ 10%. Les formations de maquis – garrigue totalisent 9% elles sont particulièrement imbriquées au matorral. Les valeurs de C attribués à chaque type de couvert végétal variaient de 0.005 pour une forêt dense jusqu'à 0.9 pour les sols nu dégradés.

Facteur de pratiques anti-érosives observées sur les images satellitaires de Google Earth ont fait l'objet d'une digitalisation puis intégration dans le SIG Arc Gis. Deux pratiques anti érosives ont été observées dans la zone des marnes tertiaires, il s'agit du labour dans le sens des courbes de niveau, et les plantations sur des petites terrasses.

Croisement des différentes cartes thématiques : L'application de l'équation universelle des pertes en sol USLE, sous sa version révisée RUSLE, nous a permis d'étudier séparément les facteurs impliqués dans l'érosion hydrique, puis procéder à un croisement des différentes cartes thématiques obtenues (facteurs R, K, LS, C et P) en utilisant le module Spatial Analyst - calculatrice raster du logiciel **ARCGIS 9.2**. Le croisement des cartes a été fait à l'échelle de pixel de **24.379m**.

Les résultats que nous avons obtenus mettent en évidence des pertes en terre généralement modestes sur les interfluves de la zone des marnes, mais également critique sur les terrains nus qui nécessitent des aménagements. Ainsi sur les terrains occupés par les grandes cultures à l'Ouest et à l'Est, l'érosion est moyenne à forte, avec un début de développement de ravines qui est due probablement aux pratiques agricoles favorisant l'érosion.

Conclusion générale

Les valeurs critiques supérieures à **20 T/ha/an** ne sont pas négligeables, elles occupent plus de **25 %** de la superficie totale, et se situent un peu partout sans couvrir de vastes étendues d'un seul tenant. Malgré la dominance des valeurs inférieures à **7.41 t/ha/an**, ce sont les zones d'érosion élevée à très élevée qui contrastent dans le paysage car elles sont agglomérées sur des versants abrupts et de forme allongée. La moyenne annuelle pour l'ensemble de la zone des marnes est estimée à **25 t/ha/an** ; une valeur jugée élevée à très élevée

La lecture de la carte d'érosion obtenue, montre que les classes où l'érosion est forte à très forte se répartissent sur les terrains dégradés et ravinés. L'effet du couvert végétal est nettement remarquable par les classes à érosion faible à moyenne. Par conséquent, l'intensité de l'érosion et les quantités de sédiments produites, varient essentiellement en fonction de l'occupation actuelle des sols ainsi qu'à la nature des terrains et leur pente. Les priorités en matière de pratiques de gestion doivent être fixées sur la base du risque d'érosion des sols, et du transport de sédiments en aval du bassin versant de l'oued Mina.



Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- ☛ **ACHITE M 1999.** Analyse multivariée de la variable «Transport Solide». Cas du bassin versant de l'Oued Mina dans la Wilaya de Relizane. Thèse de Magistcr, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida, Algérie.
- ☛ **ACHITE M, TOUAIBIA B, OUIILLON S., 2006.** Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences & Perspectives. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- ☛ **AÏT BRAHIM L, SOSSEY ALAOUI FA, SITERI H, TAHRI M, 2003.** Quantification of soil losses in the Nakhla watershed (Rif, North Morocco) Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 14, Number 2, 101-6, Avril 2003, Note de recherche
- ☛ **AMIRECHE H, 1994.** Formes et processus érosifs dans le tell nord constantinois. Cas des bassins des oueds Kotton et Fessa (Algérie). Rev Méditerranée n°30 pp78-86.
- ☛ **ANBT 2004.** Projet de protection des bassins versants. Description du milieu des bassins versant de Gargar et de Sidi m'Hamed Relizane. Ministère des ressources en eau. Agence nationale des barrages. Direction des études. Version définitive novembre 2004.
- ☛ **ANBT 2006.** Projet de protection des bassins versants. Mesures de protection anti-érosives des bassins versant de Gargar et de Sidi m'Hamed Relizane. Ministère des ressources en eau. Agence nationale des barrages. Direction des études. Version définitive Janvier 2006.
- ☛ **ANRH 2006,** Annales hydrologiques (1973/74 à 1994/95)- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire, Alger.
- ☛ **ARNAUD , M. ET EMERY , X. (2000).** Estimation et interpolation spatiale . Hermes Science Publications, Paris.
- ☛ **ARNOLDUS, H.M.J., 1980.** An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: De Boodt M, Gabriels D, eds. Assessment of erosion. New York : John Wiley et Sons :127- 132.
- ☛ **BAILLARGEON , S 2005.** Le krigeage : revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. Mémoire présenté a la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maitrise en statistique pour l'obtention du grade de Maitre ès sciences (M.Sc.) UNIVERSITE LAVAL QUEBEC 2005.107P.
- ☛ **BAILLARGEON , S., POULIOT , J., RIVEST , L.-P., FORTIN , V. ET FITZBACK , J. (2004).** Interpolation statistique multivariable de données de précipitations dans un cadre de modélisation hydrologique. Dans les actes du colloque national Géomatique 2004 de l'Association canadienne des sciences géomatiques , Montréal, 27 et 28 Octobre 2004.
- ☛ **BATTI A. (2005).** Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa érosion des sols dans les bassins versants en amont du lagon St Gilles (île de la Réunion) . Rapport Mastère SILAT - stage IRD -, 55p.

Références bibliographiques

- ☛ **BAVER LD .,1933.**Some factors affecting erosion. Agricultural Engineering 14, 51-52.
- ☛ **BELLATRECHE, A. (1987).**Érosion et perspectives de conservation des sols dans les bassins sédimentaires de Medea - Beni Slimane - Algérie. Institut des Sciences de la Terre. Spécialité : Géomorphologie. Alger, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne: 272.
- ☛ **BENAISSA A, 1998.**Propriétés géotechniques de quelques formations géologiques propices aux glissements de terrains dans l'agglomération de Constantine (Algérie). Revue, Rhumel sciences de la terre et de l'aménagement n°6, Pp 111-120.
- ☛ **BENAISSA A ET BELLOUCHE M.A, 1999.**Propriétés géotechniques de quelques formations géologiques propices aux glissements de terrains dans l'agglomération de Constantine Algérie. Bull, Eng, Geof, Envi N° 57, Pp 301-310.
- ☛ **BENCHETRIT M, 1972.**L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Paris, Presses Universitaire de France.
- ☛ **BENKHALED, A. ET B. REMINI (2003).**"Analyse de la relation de puissance : débit solide - débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie)." Revue des Sciences de l'eau 16(3): 333-356.
- ☛ **BENNETT HH, 1926.**Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. Soil Science 21, 349-375.
- ☛ **BOUGUERRA K, 1985.**Analyse et interprétation des mesures effectuées sur les micro bassins expérimentaux durant l'année 1983-1984. Erosion et transport solide en zone semi aride, journées d'études. Algérie.
- ☛ **BOUDJADJA A, MESSAHEL M et PAUC H, 2003.**Ressources hydriques en Algérie du Nord. Rev, Science de l'eau n°16, Pp 285-304.
- ☛ **BOUROUBA M, 1996.**Essai de quantification de l'érosion actuelle a partir des mesures de turbidité en Algérie orientale.,Bullt ORSTOM n°16, Pp232-248.
- ☛ **BOUROUBA, M. (1997).** "Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits de oueds semi-arides d'Algérie orientale." Bulletin de l'ORSTOM 17: 345-360.
- ☛ **BOUROUBA, M. (1998).** "Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie orientale)." Bulletin de l'ORSTOM 18: 76-97.
- ☛ **BRAHMIA K, 1993.**Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne bassin versant de l'oued Mina zone de Taassalet Algérie. Revue géographique, Grenoble, Univ Joseph fournier. P 230.
- ☛ **BREWER, R. 1954.**Soil Parent Material. The Australien Journal of sciences 16 : 134-138.
- ☛ **BROWNING, G.M., C.L. PARISH, AND J.A. GLASS. 1947.**A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. Soil Sci. SOC.Am. Proc. 23:249-264.

- ☛ **CHESWORTH, W. 1973.**The parent rock effect in the genesis of soil. *Geoderme* 10 :215-225.
- ☛ **COOK HL, 1936.**The nature and controlling variables of water erosion processes. *Soil Science Society of America Proceedings* 1,487-494.
- ☛ **DEMMAK A, 1982.**Contribution à l'étude des écoulements solides des cours d'eau d'Algérie, Inst Nat des ressources hydrauliques.
- ☛ **DESMET, P., AND G. GOVERS (1996)** A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 51, no. 5, pp. 427-433.
- ☛ **DESMET, P. J. J.; GOVERS, G.**Comparison of routing systems for DEMs and their implications for predicting ephemeral gullies. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 10, n. 3, p. 311-331, 1996b.
- ☛ **DESPOIS J, 1949.**L'Afrique du Nord, P.U.F.
- ☛ **DEVEUGHELE M et RIZZOLI J.L, 1976.**Valorisation des données issues de la reconnaissance détaillée des gisements de sables et graviers alluvionnaires. Thèse 241p.
- ☛ **DUNN, M., AND R. HICKEY (1998)**The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. *Cartography*, vol. 27, no. 1, pp. 9-15.
- ☛ **ELAHCEN O et REMINI B, 2009.**Corrélation Entre la Concentration en Matières en Suspension et le Débit Liquide Dans le Bassin Versant de Oued Bellah (Algérie). *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.26 No.1 (2009), pp.132-139. © EuroJournals Publishing, Inc.
- ☛ **ELBOUQDAOUI K, EZZINE H, BADRAHOUI M, ROUCHDI M, ZAHRAOUI M, ET OZER A. 2005.**Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risqué potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc) *Geo-Eco-Trop*, 2005, 29: 25-36.
- ☛ **EL GAROUANI, 2005.**« Analyse spatiale de l'érosion en nappe et de l'infiltrabilité des sols dans le Pré-Rif Marocain. » in *Télédétection 2005*, vol 5, n° (1-2-3), pp 69-80.
- ☛ **EL GAROUANI A, CHEN H, LEWIS L, 2009.**Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du sig idrisi au nord-est du maroc.
- ☛ **ELKHATOURI M, 2003.** Evaluation du taux d'érosion au niveau du bassin versant de doutama par le systeme d'information géographique (sig). Morocco WPM Watershed Protection and Management Task Order No. 814 under the BIOFOR IQC Contract No. LAG-I-00-99-00014-00
- ☛ **Fay, G. (1993).** "Comment lutter efficacement contre l'érosion dans les montagnes rifaines et telliennes." *Bulletin de l'Association des Géographes Français* 5: 399-407.
- ☛ **Fay, G. (1993).**"Comment lutter efficacement contre l'érosion dans les montagnes rifaines et telliennes ?" *Réseau Erosion - Bulletin* 13: 266-273.
- ☛ **FOURNIER F, 1960.**Climat et érosion. Paris, Presse universitaire de France.
- ☛ **FOSTER, G.R., AND W.H. WISCHMEIER. 1974.**Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Trans. ASAE* 17:305-309.

- ☛ **FOSTER, G. R., MEYER, L. D. and ONSTAD, C. A. 1977.** A runoff erosivity factor and variableslope length exponents for soil loss estimates. Transactions on the ASAE, vol. 20, n° 4, p. 683-687.
- ☛ **FOSTER, G. R., MCCOOL, D. K., RENARD, K. G. and MOLDENHANER, N. C. 1981.** Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 36, n° 6, p. 355-359.
- ☛ **GALDINO, S.; PELLEGRIN, L. A. Diagnóstico e Diretrizes do PCBAP 2003** relativos à erosão na Bacia do Alto Taquari. Corumbá: EMBRAPA, 2003. 33p.
- ☛ **GALDINO, S.; RISSO, A.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R. 2006.** Potencial erosivo da Bacia do Alto Taquari. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A (Ed.). Impactos ambientais socioeconômicos na bacia do rio Taquari – Pantanal. Corumbá: EMBRAPA, 2006. 5, p. 105-117.
- ☛ **GHENIM A 2001.** Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna : cas de oued Isser, oued Mouilah et la Haute Tafna. Thèse de magister, université de Tlemcen, Algérie.
- ☛ **GOMER D., (1994).** Ecoulement et érosion Dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina. GTZ, Karlsruhe. Allemagne. 207p.
- ☛ **GOOVAERTS, P. (2000).** Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, 228:113-129.
- ☛ **GRAY, J. M. AND MURPHY, B. W., 2000.** Parent Material and Soils: A guide to the influence of parent material on soil distribution in eastern Australia. Gray, J. and Murphy, B., 2002. Parent material and world soil distribution. 17th WCSS, Bangkok, Thailand.
- ☛ **GRAY, J.M. & MURPHY, B.W. (2002),** Predicting Soil Distribution, Joint Dept. of Land & Water Conservation (DLWC) & Aust. Society for Soil Science Technical Poster, DLWC, Sydney.
- ☛ **GRAY JM, MURPHY BW 1999.** Parent Material and Soils - A Guide to the Influence of Parent Material on Soil Distribution in Eastern Australia. Technical Report No 45, NSW Department of Land and Water Conservation, Sydney.
- ☛ **GRECO (J.), 1966.** - L'érosion, des sols, et le reboisement la défense et la restauration en Algérie. Min. Agri. Ref. Agr. Alger, 303 p.
- ☛ **GTZ., 1990.** Atelier de Formation, Aménagement du territoire appliqué à la zone des marnes du Bassin versant de l'Oued Mina. Juillet 1990
- ☛ **HAMMOUDI, A., S. MONJENGUE, ET AL. (1989).** "L'enquête sur l'efficacité des aménagements de défense et restauration des sols (DRS) en Algérie." Bulletin de l'ORSTOM, Réseau Érosion 9: 14-18.
- ☛ **HANSMANN W., 1994.** Beschreibung des Infiltrationsverhaltens von Mergelböden unter semi-aridem Klima in Norden Algeriens. Diplomarbeit Univ. Karlsruhe, IWK, 74p.
- ☛ **HEUSCH B, 1986.** Cinquante ans de banquettes de DRS, CES en Afrique du Nord., ORSTOM, n°22, Pp 153-162.
- ☛ **HEUSCH (B.), 1970.** - L'érosion du pré-Rif. Ann. Rech. For. Rabat, 12 : 9-176.
- ☛ **HEUSCH (B.), 1985.** - Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord : un bilan - Réseau Erosion, 5, multigr., ORSTOM Montpellier : 17-32.

Références bibliographiques

- ☛ **HICKEY, R., A. SMITH, AND P. JANKOWSKI (1994)** Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID. *Computers, Environment, and Urban Systems*, vol. 18, no. 5, pp. 365-380.
- ☛ **HICKEY, R. (2000)** Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, vol. 29, no. 1, pp. 1-8.
- ☛ **HUDSON N.W, 1981.**, instrumentation for studies of the érosive power of rainfall. IAHS. N°133, proc. Of the florence Symposium. Erosion and sédiment transport measurement, Wallindford, UK.
- ☛ **IGF 1987.**, Cartes thématiques du bassins versant de l'oued mina sur la base des données de télédétection, Offenbach, 230P., 26 cartes.
- ☛ **JENNY, H 1941.** Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- ☛ **JENNY H. 1980.** The Soil Resource - Origin and behaviour. Springer - Verlag, New York
- ☛ **JOSÉ L. GARCÍA R AND MARTÍN C. 2010.** Estimation of Slope Length Value of RUSLE Factor L Using GIS. *J. Hydrologic Engrg.* 15, 714 (2010); doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000232 (4 pages)
- ☛ **KALMAN R, 1976.** Etude expérimentale de l'érosion par Griffes. *Revue, géographie physique et géologie dynamique*, N° 18(5), Pp 395-406.
- ☛ **KATTAN Z., GAC J.L., PROBST J.L., 1987.** Suspended sédiment load and mechanical érosion in the Sénégal basin - Estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope érosion. *J. Hydrol.*, 92, 59-76.
- ☛ **KOURI L., 1993.** L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued mina. Etude des processus et types fonctionnels e ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, mention géographique physique, 238P.
- ☛ **KOURI L, VOGT H, GOMER D., 1997.** Analyse des processus d'érosion hydrique linéaire en terrain marneux. Bassin versant de l'oued Mina. Tell Oranais. Algérie. Bull. réseau érosion n°17, 64-73.
- ☛ **LABORDE, J. P. & MOUHOUS, N. (1998)** Notice d'installation du logiciel Hydrolab. Equipe "Gestion et valorisation de l'environnement", Université de Nice-Sophia Antipolis et CNRS, France.
- ☛ **LAHLOU A. 1990.** Analyse de la dégradation du littoral méditerranéen à partir du transport solide fluvial et de l'envasement des barrages maghrébins. Communication publiée par Eurocoast C/O BRGM, Marseille, France.
- ☛ **LARFI B., 2001,** Prévion du transport solide dans le bassin versant de l'oued Isser, application à l'envasement du barrage de Béni Amrane, université de Blida, Institut de génie rural, thèse de magistère, 88p.
- ☛ **LITIM M et HOCINE M 2009.** Contribution a l'étude du phénomène d'érosion en Algérie occidentale. Mémoire ING. Spécialité: écologie végétale et environnement. option : écosystème forestier. Université de mascara. faculté des SNV institut de biologie.
- ☛ **MASSON J.-M. (1971).** L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse de Doc. Ing. De l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 244 p.

- ☛ **MARMI R., KACIMI, M., BOULARAK, M., 2008,**« Les mouvements de terrain dans la région de Mila (Algérie Nord-Orientale) : impact sur les infrastructures », *Revista de Geomorfologie*, 10, Bucarest, pp. 51-56.
- ☛ **MAZOUR M, 1992.** Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'ISSER, Tlemcen, Algérie., *Bulletin Réseau Erosion* N° 12, Pp. 300-313.
- ☛ **MC-COOL, D.K., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., 1997:** Slope length and steepness factors (LS). In: **Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (Eds.)**, *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA, pp. 101-141 (404pp.) (Chapter 4).
- ☛ **MCCOOL, D.K., G.R. FOSTER, C.K. MUTCHLER, AND L.D. MEYER (1989)** Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, vol. 32, pp. 1571-1576.
- ☛ **MEDDI H., MEDDI M., MAHR N ET HUMBERT J., 2007.** Quantification des précipitations. Application au nord ouest de l'Algérie - la méthode pluvia., *Géographie Technica*, No. 1, 2007. Pp.45-62.
- ☛ **MEDDI M., 1992.** Hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse Unique - Université Louis Pasteur, Strasbourg 320 p.
- ☛ **MEDDI M et ACHIIT M 2005 ;** variabilité spacio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi aride. Cas du bassin versant de l'Oued Mina (Nord Ouest Algérien). *Rev Scien de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 18, Numéro hors Série, 2005, Pp37-56.
- ☛ **MEDDI, M. (1999).** "Étude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie)." *Zeitschrift für Geomorphologie* 43(2): 167-183.
- ☛ **MIDDLETON HE, 1930.** Properties of soil which influence soil erosion. USDA Technical Bulletin No. 17.
- ☛ **MEGNOUNIF A, TERFOUS A, BOUANANI A, 2003.** Production et transport des matières solides en suspension dans le bassin versant de la haute Tafna. *Revue des sciences de l'eau* N° 16-3 Pp 369-380.
- ☛ **MEGNOUNIF A, TERFOUS A, ET BOUANANI A., 2000.** Etude du transport solide dans l'oued mouilah ouest Algérien. Colloque méditerranéen. Eau environnement Alger Pp128-138.
- ☛ **MILLIMAN J.D., MEADE R.H., 1983.** World-wide delivery of river sediment to the oceans, *J. Hydrology*, 91 (1), 1-21.
- ☛ **MORSLI B, MAZOUR M, MEDEDJEL N, HAMOUDI A, ROOSE E, 2004.** Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-Ouest de l'Algérie." *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Volume 15, Numéro 1, 96-104, JANVIER-FÉVRIER-MARS 2004, Note de recherche

- ☛ **MOORE, I. AND G. BURCH (1986)** Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society of America Journal, vol. 50, pp. 1294-1298.
- ☛ **MORTIER S 2007.** Interpolation et représentation 3D de données météorologiques en milieu urbain. Certificat de Géomatique - Mémoire de stage. projet LUCE (Lausanne Urban Canopy Experiment) sur le campus de l'EPFL de juillet 2006 à juin 2007. 51P.
- ☛ **ONTF., 1990.** Rapport pour le séminaire d'évaluation, Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina. ONTF, GTZ, IWK, SCG. sept, 1990. Sidi-M-Hammed Bénaouda, Relizane, Algérie.
- ☛ **PASCHEN, H., D. GOMER, ET AL. (1998).** "Management of watersheds with soils on marls in the Atlas Mountains of Algeria - A proposal for a non-conventional watershed development scheme." Advances in GeoEcologie 31: 1099-1106.
- ☛ **PROBST J.L., AMIOTTE SUCHET P., 1992.** Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). Hydrol. Sci. J., 37, 621-637.
- ☛ **POUQUET J. (1952)** -Les monts du Tessala (chaînes sud-telliennes d'Oranie), essai morphogénétique. Édit. SÉDES, Paris, 351 p.
- ☛ **RANGO A. & ARNOLDUS H.M.J. 1987.** Aménagement des bassins versants. Cahiers techniques de la FAO.
- ☛ **RAMPON A., 1987.** Sédimentation et barrage : érosion et transport, les dépôts dans les barrages. CEMAGREF, Groupe d'ANTONY. Division de mécanique des sols et génie civil. Mémoire n18. Paris.
- ☛ **REMINI, B. (1999).** "Quelques problèmes posés par l'envasement des barrages en Algérie." Algérie Équipement 31: 31-32.
- ☛ **REMINI B., 2010.** La problématique de l'eau en Algérie du nord. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46 © 2010 Tous droits réservés.
- ☛ **REMINI B et HALLOUCH W, 2003.** Les barrages du Maghreb face au phénomène de l'envasement. Vecteur environnement N° 36-6 Pp27-29.
- ☛ **RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K., YODER D.C. (1997):** Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703, United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Washington.
- ☛ **RENARD K.G, YODER D.C, LIGHTEL D.T ET DABNEY S.M, 2011.** Universel Soil loss equation and Revised Universel soil loss equation, In Handbook of Erosion Modelling Par Roy P. C. Morgan, Mark Nearing
- ☛ **ROOSE (EJ.), 1977.** Adaptation de méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socio-économiques de l'Afrique de l'Ouest. Agron. Trop. 32, 2 : 132-140.
- ☛ **ROOSE E, ARABI M, BRAHMIA K, CHEBBANI R, MAZOUR M, ET MORSLI B., 1993.** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cahiers ORSTOM, Série Pédologie N° 28-2 Pp289-308.

- ☛ **ROOSE E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Rome, Directeur de la division des publications, organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- ☛ **RULLAN-PERCHIRIN, F. (1989).** "Les mouvements de masse dans le bassin-versant du Rhumel constantinois: essai méthodologique." *Travaux de l'Institut de Géographie de Rheims* 69-70-71-72: 151-171.
- ☛ **SACHIN J 2005.** Prioritization of Micro-watersheds of UpperBhamaBasin on the Basis of Soil Erosion Risk Using Remote Sensing and GIS Technology A thesis submitted to the University of Pune For the Degree of Doctor of Philosophy in Geography. 248p.
- ☛ **SADIKIA., BOUHLASSA S., AUAJJAR J., FALLEH A. et MACAIRE J.-J. 2004.** Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental, Maroc ; cas du bassin versant de l'oued Boussouab, *Bulletin de l'Institut Scientifique Section Sciences de la Terre N°26 (2004)* p. 69-79.
- ☛ **SAHLI, Z 2003.** Les zones de montagne en Algérie: situation, contraintes et possibilités de mise en valeur.
- ☛ **SARI D, 1977.** L'homme et l'érosion dans l'ouarsenis (Algérie), SNED, Alger. 624P.
- ☛ **SHIRAZI, M.A., L. BOERSMA, AND C.B. JOHNSON. 2001.** Particle size distributions: comparing texture systems, adding rock, and predicting soil properties. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 65:300-310.
- ☛ **SINE L., 1970.** Note de cours d'aménagement des bassins versants. Faculté des sciences agronomiques de Gembloux. Belgique.
- ☛ **SOGREAH, 1969.** Etude générale sur les aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Algérie.
- ☛ **SMITH D.D. (1941):** Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering*, 22:173-175.
- ☛ **SMITH D.D., WHITT D.M. (1948):** Evaluating soil losses from field areas. *Agricultural Engineering*, 29:394-398
- ☛ **SOUTTER M, MERMOUD A, MUSY A., 2007.** Ingénierie des eaux et du sol: processus et aménagements. Presses polytechniques et universitaires Romandes 2007. ISBN 978-2-88074-724-4. Première édition Italie. 294p.
- ☛ **TERFOUS, A., MEGNOUIF A. ET BOUANANI A. 2001.** "Étude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien)." *Revue des sciences de l'eau* 14(2): 173-185
- ☛ **TERFOUS A., BOUANANI A., MEGNOUNIF A., 1999.** Évaluation du transport solide dans le bassin de Pisser (N-O Algérien) 2e séminaire maghrébin sur l'eau. Tizi Ouzou, 28-29 juin.

Références bibliographiques

- ☛ **TERFOUS A, MEGNOUNIF A et BOUANANI A, 2003.** Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins versants des régions méditerranéennes algériennes. Hydrology of die Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium field at Montpellier. Apri l 2003). IAH S Publ. no. 278, 2003.
- ☛ **TIHAY, J.P. 1976.** Dynamique des versants et milieux naturels. Annales de Géographie Pp. 257-280.
- ☛ **TIXERONT J .P, 1960.**Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie, IAHS n° 53, Pp26-42.
- ☛ **TOUAIBIA B., 2000.** Erosion-transport solide-ensablement de barrage. Cas du bassin versant de l'Oued Mina dans la Wilaya de Relizane., Thèse de doctorat d'Etat, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques (Ex - INA) El-Harrach Alger. 200P.
- ☛ **TOUIBIA B ET ACHIIT M., 2003.**Contribution a la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale., Journal des sciences hydrologiques (48)2, Pp235-242
- ☛ **TOUAIBIA B, BENLAOUKLI B, BOUHENICHE S. 2003.**Approche quantitative de l'ensablement au droit de 15 barrages en exploitation dans l'Alge du Nord. Conference Internationale « Hydrologie des régions mediterraneennes et semi-arides ». Montpellier : IRD, 2003.
- ☛ **TOUAIBIA B, DAUTREBANDE S, GOMER D, AIDAOUI A., 1999.**Approche quantitatif de l'érosion hydrique a différentes échelles spatiales : bassin-versant de l'Oued Mina. Hydrol Sci Journal 1999 ; 44 : 973-86.
- ☛ **TOUAÏBIA B, GOMER D, OUFFAR F, GEYER N., 1992.**Approche quantitative de l'érosion hydrique : Essais de simulations de pluie sur micro-bassins expérimentaux. Bassin versant de l'Oued Mina. W- Relizane Algeria. Réseau Erosion, Bull. no. 12, ORSTOM, Montpellier, France.
- ☛ **TOUAZI M et LBORDE J.P., 2004.** Modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle en Algérie du Nord. Revue des Sciences de l'eu rev.sci.eau 17/4. Pp503-516
- ☛ **TRIBAK A, EL GAROUANI, ABAHROUR M. 2009.,**Évaluation quantitative de l'érosion hydrique sur les terrains marneux du PréRif oriental (Maroc) : cas du sous-bassin de l'oued Tlata. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 20, Numéro 4, 333-7, octobre-novembre-décembre 2009, Article de recherche.
- ☛ **TRICART, J. ET KILIAN, J. (1979):** L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel, Paris, Maspéro, 326 p., 10 fig.
- ☛ **VAN DOREN, C.A., AND L.J. BARTELLI. 1956.**A method of forecasting soil losses. Agric. Eng. 37:335-341.
- ☛ **Van Remortel, R., M. Hamilton, and R. Hickey, 2001.**“Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevation data.” Cartography 30, 1, 2001, 27 - 35.
- ☛ **VAN REMORTELE R.D, MAICHLE R.W, ET HICKEY R.J. 2004 :**Computing the LS factor for the RevisedUniversal Soil Loss Equation through array-basedslope processing of digital elevation data using a C++ executable Computers & Geosciences 30 (2004) 1043-1053.

Références bibliographiques

- ☛ **VOGT T et VOGT H, 1996.**,Formations affleurantes et sols chap.3, Aménagement des zones marneuse dans les bassins versants des montagnes de l'Atlas Tellien semi aride. GTZ, Pp33-43.
- ☛ **WANG G., FANG S., SHINKAREVA S., GERTNER G., ANDERSON A (2002)**,Spatial uncertainty in prediction of the topographical factor for the revised universal soil loss equation (RUSLE). Transactions of the ASAE. 45(1): 109-118.
- ☛ **WALLING, D. E. (1984)**The sediment yields of African rivers Challenges in African Hydrology and Water Resources (Proceedings of the Harare Symposium, July 1984). IAHS Publ. no. 144.
- ☛ **WARREN S.D DIERSING V.E THOMPSON P.J AND GORAN W.D., 1989.**An erosion - based land classification system for military installations, environmental Management Vol.13 N° 2.P251-257.
- ☛ **WISCHMEIER W.H. ET SMITH D. D. 1958.***Rainfall energy* and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. Union 39: 285-291.
- ☛ **WISCHMEIER WH, JOHNSON CB and CROSS BV. 1971.**A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of soil and water conservation 26 : 189-192. topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, v.51, p. 427-433, 1996a.
- ☛ **WISCHMEIER W.H. (1959):**A rainfall erosion index for a universal soil - loss equation. Soil Science Society of America Proceedings, 23: 246-248.
- ☛ **WISCHMEIER W.H et SMITH D.D 1960.**A Universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7ème congrès AISS 1 USA
- ☛ **WISCHMEIER W.H et SMITH D.D 1962.**Evaluation of factor in the soil equation. Agriculture engineering 39 USA.
- ☛ **WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1965):**Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook No. 282, United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Washington.
- ☛ **WISCHMEIER, W. H., AND MANNERING, J. V. (1969).**Relation of soil properties to its erodibility. Soil Science Society of America Proceedings 33, 131-4.
- ☛ **WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1978):**Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. USDA Agriculture Handbook No. 537, United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Washington.
- ☛ **ZING A.W 1940.**,Degree and length of land slopes as it affects soil loss runoff. Agric. Eng. USA.



Annexes

Annexes

Annexe1 -tableau de synthèse litho-géologique du bassin versant de l'oued
Mina ANBT 2006 . Bassin : Oued Mina - Code : 05_19 - Superficie (Km2) : 4801.4.

Libellé dans la Légende	Superficie occupée	
Grand type		
Sous-type	Km²	%
Type détaillé		
Dépôts meubles à texture moyenne		
Dépôts meubles	558,42	11,83
(indéterminé)		
Dépôts meubles/texture moyenne		
Dépôts meubles à texture modérément grossière		
Dépôts meubles	53,59	1,12
(indéterminé)		
Dépôts meubles/texture modérément grossière		
Dépôts meubles à texture très grossière		
Dépôts meubles	4,27	0,09
(indéterminé)		
Dépôts meubles/Matériel très grossier		
Roche sédimentaires indifférenciées		
Roche sédimentaires	17,08	0,36
(indéterminé)		
(indéterminé)		
Roche sédimentaires indifférenciées		
Roche sédimentaires	15,96	0,33
Détritique		
(indéterminé)		
Brèche et conglomérats		
Roche sédimentaires	221,05	4,60
Détritique		
Conglomérats		
Grès et Grauwacke		
Roche sédimentaires	12,64	0,26
Détritique		
Grès et Grauwacke		
Grès calcaire ou marneux		
Roche sédimentaires	23,32	0,49
Détritique		
Grès calcaire ou marneux		
Roche sédimentaires indifférenciées		
Roche sédimentaires	3 414,53	71,12
Chimique et biogénique		
(indéterminé)		
Calcaire		
Roche sédimentaires	171,00	3,56
Chimique et biogénique		
Calcaire		
Marne		
Roche sédimentaires	221,94	4,62
Chimique et biogénique		
Marne		
Formations marno-calcaires		
Roche sédimentaires	221,05	4,60
Chimique et biogénique		
Formations marno-calcaires		
Formation marno-greseuses		
Roche sédimentaires	54,21	1,13
Chimique et biogénique		
Formation marno-greseuses		
Formations sédimentaires indifférenciées		
Roche sédimentaires	1,12	0,02
Chimique		
Tuf calcaire		

Annexes

Annexe 2 - Types de Socle Rocheux et de matériels meubles selon l'USDA - Texture générale et texture détaillée.

Grand type	Sous type	Type détaillé	Texture générale	Texture détaillée	
dépôt meuble	Indéterminé	Dépôt meuble à texture fine	Fine	A	
		Dépôt meuble à texture modérément fine	Fine	ALi	
		Dépôt meuble à texture moyenne	Modérément fine	LA	
		Dépôt meuble à texture modérément grossière	Modérément grossière	LS	
		dépôt meuble à texture grossière	Grossière	S	
		Dépôt meuble très grossier	très grossière	Gr	
		Dépôt meuble matériel organique	Organique	O	
		Indéterminé	Moyenne	L	
roche plutonique	roche plutonique	Indéterminé	modérément fine	LAS	
	Felsique	Indéterminé	modérément fine	LiLA	
		Granite	Modérément grossière	LS	
		Diorite quartzitique (tonalite)	modérément fine	LiLA	
		Syénite (mangérite)	Modérément grossière	LS	
	Intermédiaire	Granodiorite	Modérément grossière	LS	
		Monzodiorite et monzogabbro feldsp	Moyenne	LLi	
		(Indéterminé)	Modérément grossière	LS	
		Monzonite	Modérément grossière	LS	
		Diorite	Modérément grossière	LS	
	Mafique	(Indéterminé)	modérément fine	LiLA	
		Monzosyénite	modérément fine	LiLA	
		Gabbro	modérément fine	LiLA	
		Anorthosite	modérément fine	LiLA	

Annexes

	Ultramafique	(indéterminé)	modérément fine	LiLA
		Dunite	modérément fine	LiLA
		Péridodite	modérément fine	LiLA
		Pyroxenite	modérément fine	LiLA
Roche Volcanique	(Indéterminé)	(Indéterminé)	modérément fine	LiLA
	Felsique	(Indéterminé)	Moyenne	L
		Rhyolite	modérément fine	LiLA
		Dacite	Modérément gros	LS
		Andésite Quartzitique	modérément fine	LiLA
		Obsidienne	Fine	Ali
	Pyroclastites	pierre ponce	Grossière	S
	Felsique	Trachyte	Modérément gros	LS
	Pyroclastites	Tuf pyroclastique (ignimbrite)	Modérément fine	LiLA
	Intermédiaire	(Indéterminé)	Moyenne	L
		Latite	Fine	AS
		Trachyandésite	Modérément gros	LS
		Andésite	Modérément fine	LiLA
	Mafique	(indéterminé)	Modérément fine	LiLA
		Basalte	Modérément fine	LiLA
		Phonolite	Modérément fine	LiLA
		Téphrite	Modérément fine	LiLA
	Pyroclastites	Scorie	Moyenne	LLi
		(indéterminé)	Modérément fine	LiLA
		Brèche volcanique	Modérément gros	LS
Roche sédimentaires	(Indéterminé)	(indéterminé)	Moyenne	L
	Détritique	(indéterminé)	Moyenne	L
		Brèche sédimentaire	Grossière	Gr
		Conglomérat	Modérément gros	LS
		Grès et Gauwacke	Grossière	SL
		Arkos	Modérément gros	LS
		pelite gréseuse	Modérément gros	LS
		Shale (schiste argileux)	Modérément fine	LA

Annexes

		Grès calcaire ou marneux	Grossière	SL	
		Flysch	Modérément grossière	LS	
		Molasse	Modérément grossière	LS	
	chimique et biogénique	Marnes gypseuses	Modérément fine	LA	
		(indéterminé)	Moyenne	L	
		Bauxite	Fine	A	
		Diatomite	Modérément fine	LA	
		Dolomie	Modérément fine	LA	
		Gypse	Modérément fine	LA	
		Halite	Modérément fine	LA	
		Calcaire	Fine	A	
		Marnes	Modérément fine	LA	
		Formation marno-calcaire	Modérément fine	LA	
		Formation calcaire/calcaire marneux	Fine	L	
		Formation marno-gréseuse	Modérément fine	LA	
		Evaporite (gypse et dolomie principal)	Modérément fine	LA	
		Silex et Chert	grossière	SL	
	Chimique	Tuf calcaire	fine	A	
	Roche métamorphique	(Indéterminé)	(indéterminé)	Moyenne	L
			Amphibolite	Modérément fine	LiLA
Gneiss			grossière	SL	
Marbre			fine	Ali	
Quartzite			grossière	SL	
Shiste			organique	LLi	
Serpentinite			modérément fine	LiLA	
Ardoise et phyllade			fine	Ali	

Annexes

Annexe n°3. Table des classes texturales détaillées des sols (USDA) et Shirazi et al, 2001.

texture générale	code de texture détaillée	Texture détaillée	sable très fin (%)	Sable (%)		Limon (%)		Argile (%)	
Fine	A	Argile	6	20	19.87	20	19.6	60	60.76
	Ali	Argile limoneuse	2	6	6.84	47	47.17	47	45.98
	AS	Argile Sableuse	5	51	51.84	5	7.21	44	40.95
Modérément fine	LA	Loam Argileux	11	33	32.5	33	34.6	34	32.94
	LiLA	Loam argilo-limoneux	4	10	10	56	57.06	34	32.9
	LAS	Loam argilo-sableux	9	60	60.11	13	13.54	27	26.36
Moyenne	Li	Limon	4	8	7.58	87	87.82	5	4.6
	LLi	Loam limoneux	9	20	21.64	65	65.9	15	12.45
	L	Loam	14	41	41.21	41	41.07	18	17.72
Modérément grossière	LS	Loam sableux	15	65	64.52	25	26.01	10	9.46
Grossière	SL	Sable loameux	10	82	81.53	12	13.17	6	5.3
	S	Sable	6	90	91.71	6	5.39	4	2.89
Très grossière	Gr	Gravier	2	20	-	2	-	0	-
organique	O	Organique	0	0	-	0	-	0	-

Shirazi

USDA

Annexes

Annexe n°04 : Caractéristique physico-chimique et comportement des types de sols dans la zone des marnes tertiaires - KOURI 1993.

profilspédologiques	profondeur	localisation Lambert Km	Texture	matièreorganiqu e	stabil
23a	0 - 50	x = 332,2	Argileuse	2,2	tr
23b	50 - 80	y = 251,4	Argileuse	1,6	tr
17a	0 - 12	x = 331,69	Argileuse	1	
17b	12 - 95	y = 240	Argileuse	0,6	
15a	0 - 12	x = 352,65	Argilo limoneuse		
15b	12 - 120	y = 240,10	Argileuse		
4a	0 - 16	x = 302,88	Limoneuse	1,2	I
		y = 239,1			
5a	0 - 10	x = 301,65	limono _ sableuse	0,9	
5b	10 - 39	y = 238,05	limono argilo sableuse	0,7	
27a	0 - 9	x = 344,67	limono argileuse	1,1	
27b	9 - 24	y = 250	limono argileuse	1	m
27c	24 - 60			0,8	
3a	0 - 23	x = 301,95	limono argilo sableuse	1,4	I
	0 - 12	y = 239,67			
2a	0 - 12	x = 318,32	Limoneuse	1	i
2b	12 - 30	y = 244,26		0,8	I
2c	30 - 71		limono _ sableuse	0,3	tr
2d	71 - 110		limono argilosableuse	0,5	
12a		x = 323,57	limono argileuse	-	I
12b		y = 242,02	Argileuse	-	
8a	0 - 30	x = 315,65	Argileuse	-	
8b	30 - 100	y = 245,63	Argileuse	-	
11a	0 - 14	x = 321,9	Argilo limoneuse	-	
11b	14 - 75	y = 241,62	Argileuse	-	
11c	75 - 100		Argileuse	-	
1a	0 - 9	x = 316,32	Argilo limoneuse	0,7	
1b	9 - 24	y = 245,26	limono argileux fins	-	
1c	24 - 100		Argilo limoneuse	-	
13 a	0 - 12	x = 232,95	limono argileuse	1	
13b	12 - 33	y = 242,88	Argileuse	0,9	
13c	33 - 57		Argileuse	-	
13d	57 - 150		Argileuse	-	
6a	0 - 18	x = 318,48	limono argileuse	-	
6b	18 - 59	y = 241,22	Argileuse	-	
6c	59 - 80		Argileuse	-	

Annexes

Annexe 5 - Facteur d'érodibilité des Sols K (RUSLE) en fonction de la texture du sol et du taux de la matière organique.

Unité lithologique	Texture générale	Texture détaillée	Facteur K à			Classe d'érodibilité
			0.2 % de Mo	1% de Mo	2% de Mo	
Calcaire marneux	fine	Argileuse à argilo limoneuse	0,231	0,229	0,229	Faible
Brèches et conglomérats	Modérément grossière	Laom sableux	0,194	0,192	0,191	Faible
Grès calcaire	Grossière	Sablo laomeux	0,103	0,102	0,101	Peu érodable
Dépôt meuble à texture grossière		Sableuse	0,060	0,060	0,059	
Marno _ gréseuse	Modérément fine	Laom argileux	0,381	0,379	0,378	Elevée
Marne calcaire gréseuse						
Marne calcaire						
Marne						
Roche sédimentaires indifférenciées	Moyenne	Limon	0,463	0,460	0,456	Très élevée
Dépôt meuble à texture moyenne		Laom argileux	0,381	0,379	0,378	Elevée

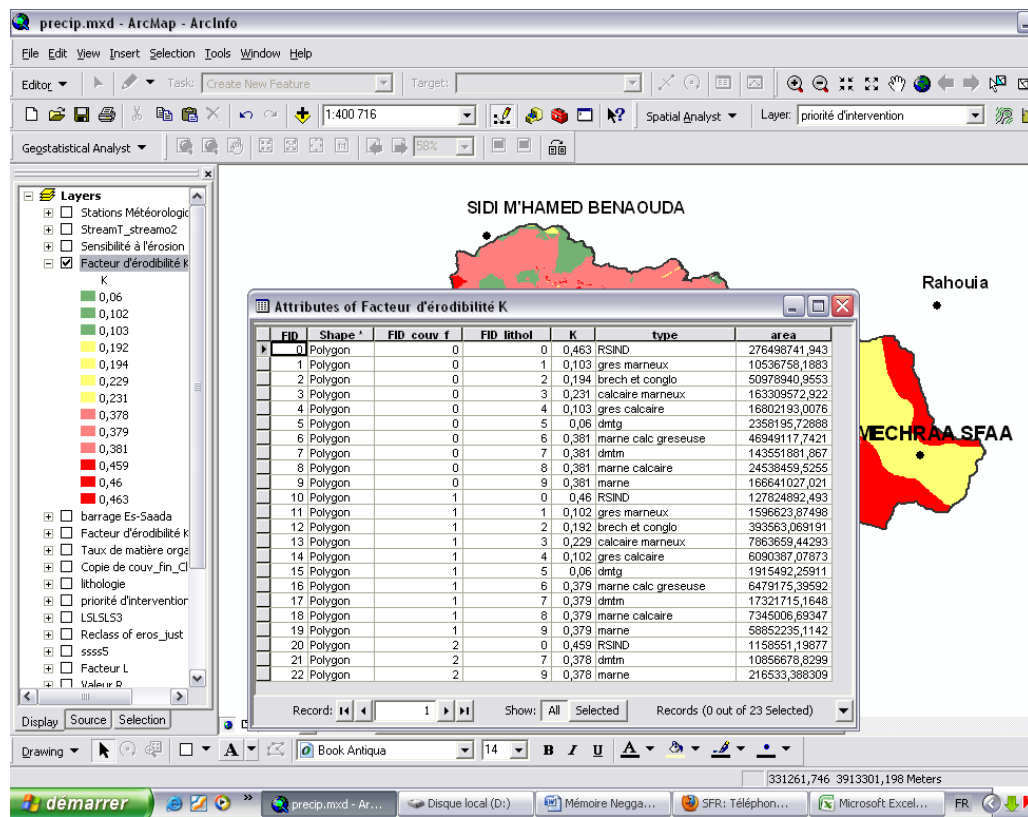
Annexes

**Annexe 06 - Table du coefficient de la couverture végétale (C de RUSLE)
en fonction du type de couvert végétale**

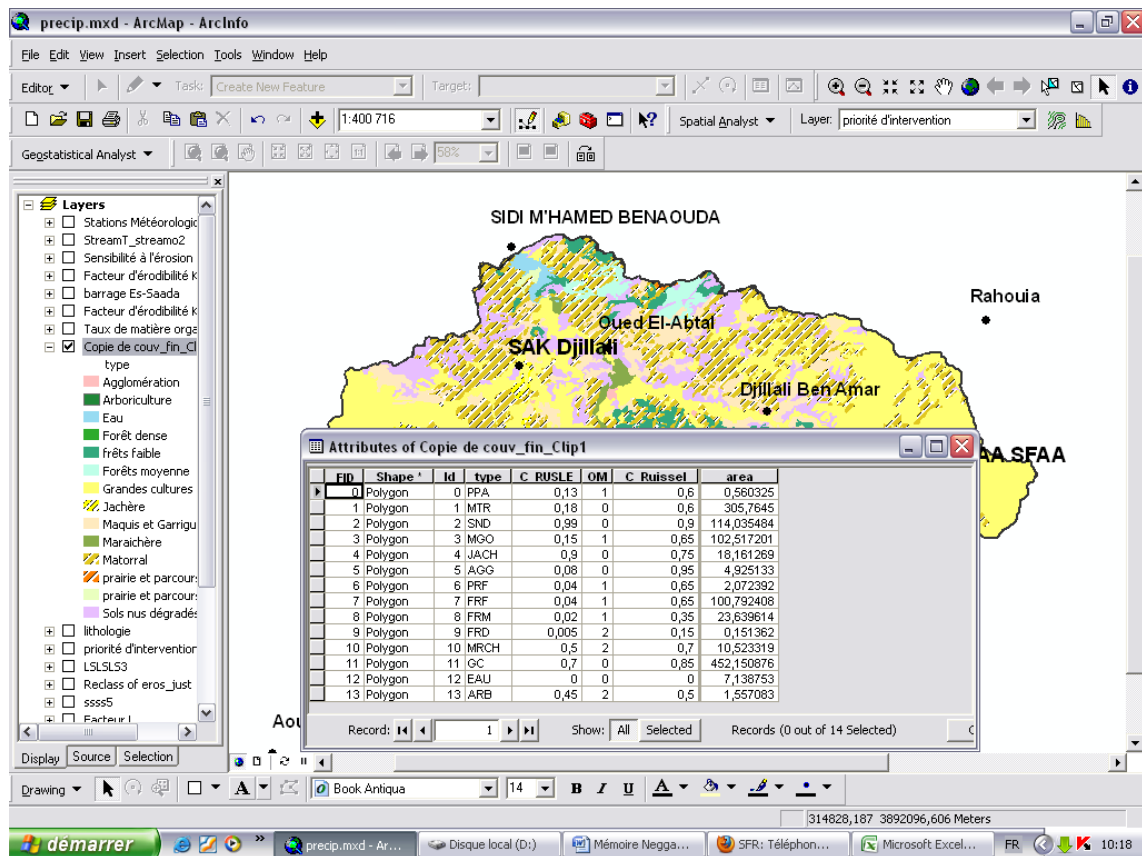
Grand type de couverture des terres	Sous type de couverture de terres	Facteur c	Taux probable de matière organique
Céréalière, fourragère et oléagineuse	Non différenciée	0.7	0.2
Agriculture maraichère (légume, tubercules)	En serre	0.1	2
	traditionnelle	0.5	2
Prairie et pâturage (parcours)	Naturelle	0.03	1
	Anthropique	0.05	1
Arboriculture	Non différenciée	0.4	2
matorral	Non différencié	0.07	0
Maquis et garrigue	Ouvert < 20% de couvert ligneux)	0.06	1
	Moyennement dense 20 - 60 %	0.03	1
	Dense > 60%	0.02	1
Plantation forestière résineuse	Faible densité < 50%	0.04	1
Forêt feuillue	Faible densité < 50%	0.04	1
Forêt feuillue	Moyennement dense 50 - 75 %	0.02	1
Forêts résineuse	Faible densité < 50%	0.04	1
	Moyennement dense 50 - 75 %	0.02	1
	dense > 75 %	0.005	2
Sans végétation	Sol nu dégradé	0.9	0.2
	Jachère	0.9	0.2
Agglomération	Peu à faiblement boisées	0.08	0.2

Annexes

Annexe 07 - Interface ARCGIS ettablesAttributaires

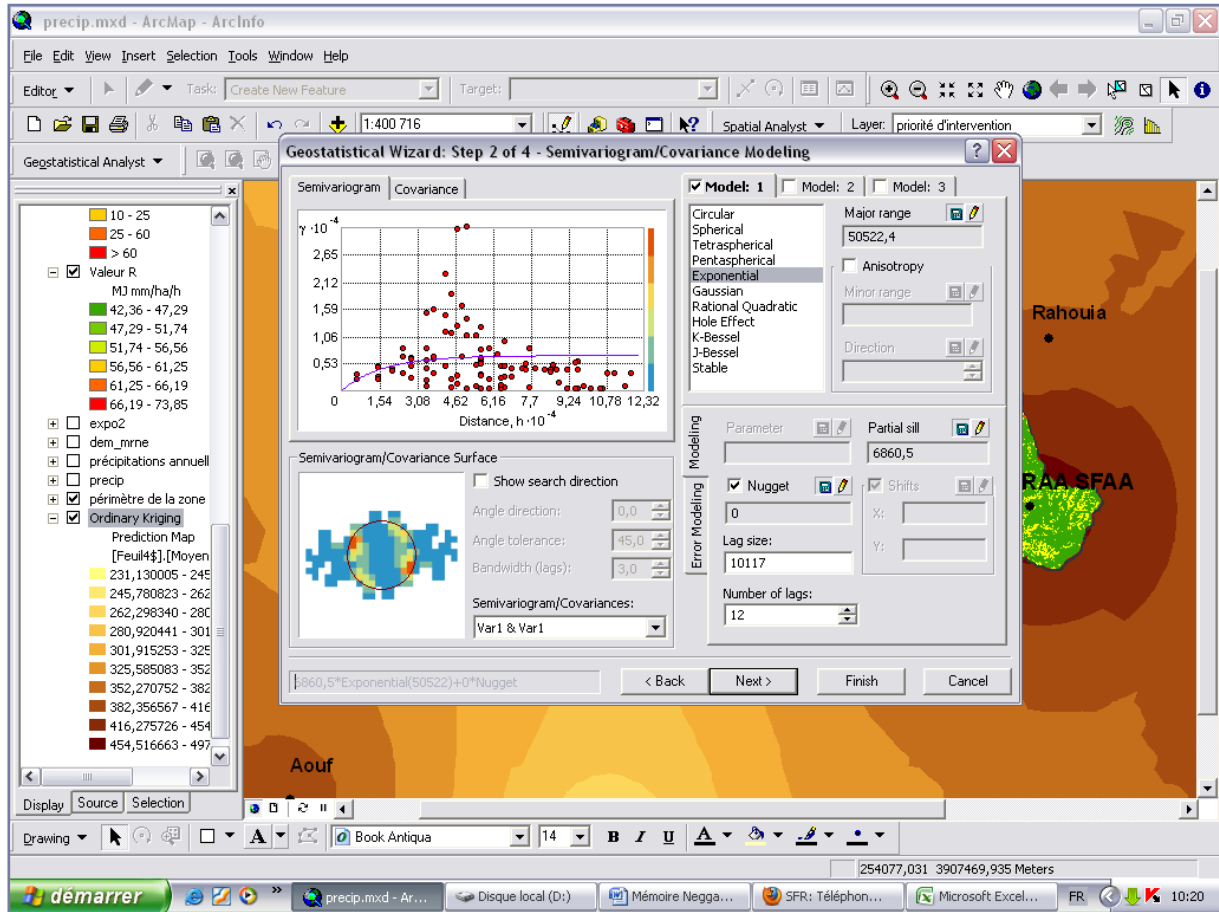


Capture d'écran 1 - Table attributaire du facteur K (Fid_couv : taux de Mo).

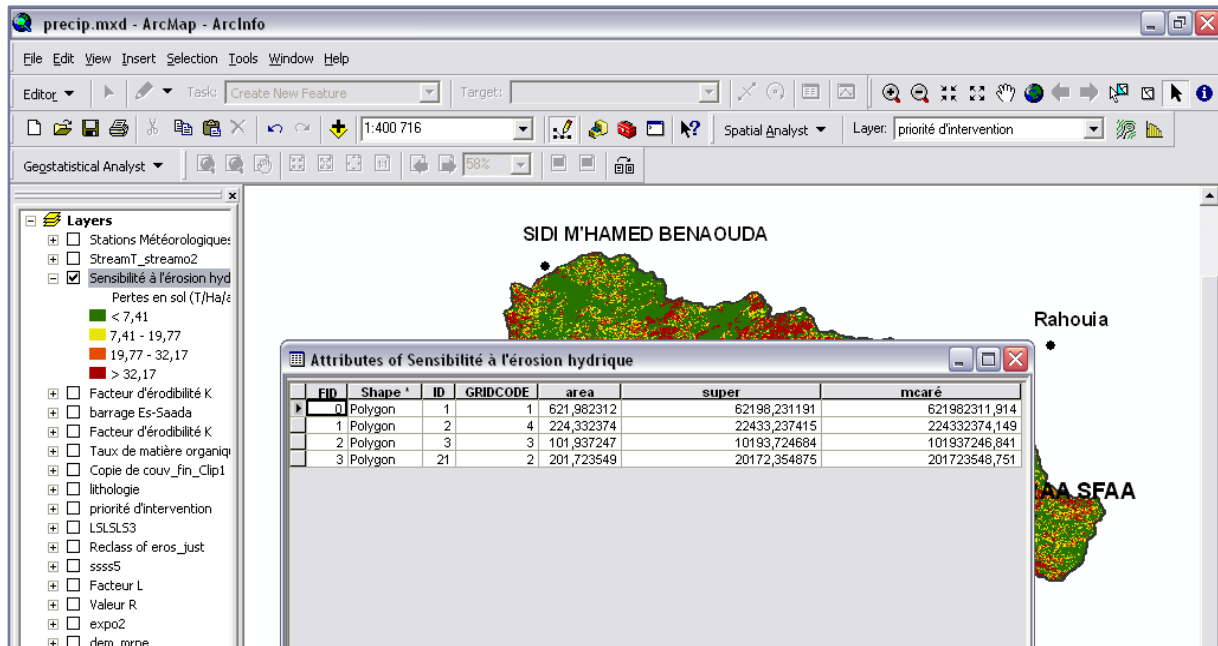


Capture d'écran 2 - Table attributaire du facteur C.

Annexes



Capture d'écran 3-Semi variogramme du calcul du facteur R



Capture d'écran 4 - Table attributaire de la carte du risque de l'érosion hydrique.

Annexes

Annexe 8 – photographie de la zone d'étude



Photo 1. Terrasses anciennes dénudées



Photo 2. Versant raviné.



Photo 3. Paysage à côté du barrage Es-Saada - 1



Photo 4. Paysage à côté du barrage Es-Saada - 2.

Annexes



Photo 5. Barrage Es-Saada



Photo 6. Faible couvert végétal.

Annexes



Photo 7. Terrain dégradé et affleurement rocheux.



Photo 8. Forêt résineuse Dense.

Résumé -, L'érosion des bassins versants en amont sous toutes ses formes, est considérée comme un problème crucial en Algérie. Elle est à l'origine de l'envasement des ouvrages hydrauliques et la perte de leur capacité. Dans le bassin versant de l'oued Mina, la zone marneuse est un exemple typique, elle constitue un domaine particulièrement riche en formes d'érosion, elle est de loin le plus grand fournisseur de sédiments pour le barrage Es-Saada. Selon les études effectuées sur cette zone objet de nos travaux, on a constaté une complexité du phénomène de l'érosion hydrique, une importante hétérogénéité des sols, un couvert végétal très éparse ou inexistant et une pluviométrie mal répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps. Des éventuelles interventions d'aménagement antiérosif s'imposent, afin de préserver le périmètre d'irrigation en aval et le barrage Es-Saada qui commence à s'ensabler à un rythme très rapide ces dernières années.

L'objectif de notre étude, consiste a priori, de spatialiser un modèle ponctuel d'évaluation de l'érosion USLE, en utilisant le Système d'information géographique (SIG) en vue de cartographier et évaluer quantitativement l'érosion hydrique et localiser les secteurs, sources de sédiments. L'équation universelle de perte en sols (USLE) a été appliquée sous sa version révisée RUSLE de manière interactive avec le SIG. Les calculs résultent d'une modélisation des principaux facteurs impliqués dans l'érosion hydrique.

L'indice d'érosivité **R** a été calculé sur la base de la formule de **Rango et Arnoldus 1987**, il varie de **42.15 à 73.86**. Les valeurs du facteur d'érodibilité des sols **K** sont comprises entre **0.5 et 0.46**. Un DEM à résolution de 30m nous a servi pour générer le facteur topographique **LS**, les calculs ont été fait sur la base de la méthode proposée par **Hicky, 2004**. Les valeurs des facteurs C et P, qui représentent la couverture végétale et les pratiques antiérosives respectivement ont été tirées directement de la carte du couvert végétal et des images satellitaires Google earth. Finalement la carte des pertes en sol a été réalisée suite au croisement des différentes cartes thématiques à travers le SIG. Les résultats obtenus montrent que l'intensité de l'érosion et les quantités de sédiments produites, varient essentiellement en fonction de l'occupation actuelle des sols ainsi qu'à la nature des terrains et leur pentes. Les priorités en matière de pratiques de gestion ont été fixées sur la base du risque d'érosion des sols, et du transport de sédiments en aval du bassin versant de l'oued Mina.

Mots clés : bassin versant, oued Mina, marnes, érosion hydrique, Système d'information géographique, modèle universelle de pertes en sol révisé RUSLE, quantification.

Abstract - The erosion of upstream watersheds in all its forms is considered a crucial problem in Algeria. It is the source of the siltation of hydraulic structures and loss of capacity. In the watershed of Wadi Mina, marly zone is a typical example, it is an area particularly rich in forms of erosion, it is the largest supplier of sediment to the dam-Es Saada. According to studies done on this subject area of our work, there was a complex phenomenon of erosion, a significant heterogeneity of soils, vegetation cover very sparse or no rainfall and poorly distributed both in space in time. Of any anti-erosion management interventions required to maintain the irrigation scheme and dam downstream Es-Saada beginning to silt up at a rapid pace in recent years.

The aim of our study is a priori, one-time spatialized model for assessing erosion USLE, the Geographic Information System (GIS) to map and quantify water erosion and locate the areas, sources of sediment. The universal equation of soil loss (USLE) was applied in RUSLE revised interactively with the GIS. The calculations are the result of modeling of the main factors involved in water erosion.

The erosivity index R was calculated on the basis of the formula Arnoldus and Rango 1987, it ranged from 42.15 to 73.86. The values of soil erodibility factor K is between **0.5 and 0.46**. A 30m resolution DEM has been used to generate the topographic factor LS, calculations were made on the basis of the method proposed by Hicky, 2004. The values of C and P factors, which represent the vegetation cover and erosion control practices, respectively, were taken directly from the card cover and satellite images Google earth. Finally the map of soil loss was carried out following the crossing of different thematic maps through the GIS. The results show that the intensity of erosion and sediment loads produced vary substantially according to the present land use and the nature of the terrain and slopes. Priorities of management practices have been established on the basis of the risk of soil erosion and sediment transport downstream of the watershed of the Oued Mina.

Keywords: watershed, Wadi Mina, marls, erosion, Geographic Information System, revised model universal soil loss RUSLE, quantification.