

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM



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

M. BEN CHETTOUH Ahmed

En vue de l'obtention du diplôme de Magistère

Spécialité : Sciences Agronomiques
Option : Gestion conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

Intitulé :

***" Etude des risques d'érosion hydrique du sol
au moyen du Système d'Information Géographique (SIG):
cas de la zone marneuse du bassin versant de l'Oued Mina- Algérie "***

Composition du jury de soutenance

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
Haddad Ahmed	M.C (A)	Président	U.M.A.B
Remaoun Mohamed	M.C (A)	Examineur	U.H.B.CHLEF
Boualem Abdelkader	M.C (B)	Examineur	U.M.A.B
Kouri Lakhdar	Professeur	Encadreur	U.M.A.B

Thème réalisé au Laboratoire Biodiversité et Conservation des Eaux et des Sols
Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem

Année universitaire : 2011/2012

Remerciements

*Je tiens à remercier le **Bon Dieu** qui m'a donné le courage pour accomplir ce modeste effort, ainsi que, toute personne ayant participé à la réalisation de mon mémoire, et notamment:*

J'aimerais adresser mes sincères remerciements à:

*M .**Ahmed HADDAD**, Maître de Conférences à l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Département Agronomie), d'avoir accepté de présider mon travail. Je suis profondément reconnaissant de sa participation à ce jury de mémoire.*

*M .**Mohamed REMAOUN**, Maître de Conférences à l'Université Hassiba Ben Bouali Chlef (Département Agronomie), d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*M .**Abdelkader BOUALEM**, Maître de Conférences à l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Département Agronomie), d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*M .**Lakhdar KOURI**, Professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Département Agronomie), qui a accepté d'encadrer mon travail et m'a apporté de précieux conseils pour la réalisation de ce mémoire.*

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin pour leur aide en particulier:

*M .**Hakiki**, Chef personnel de la conservation des forêts de la wilaya de Rélizane (Algérie).*

*M .**Fekir, Y.**, Enseignant Chercheur au Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique Université de Mascara (Algérie) pour sa disponibilité.*

*M .**Achite, M.** , Enseignant à l'Université Hassiba Ben Bouali, Chlef (Algerie).*

Merci à tous et à toutes.

M. Ben chettouh , A.

Résumé

La zone des marnes tertiaires du bassin versant de l'oued Mina est caractérisée par un climat semi-aride à écart thermique atteint parfois 41,2 °C entre juillet et janvier et des pluies rares et irrégulières. Ces dernières décennies, l'insécurité et l'exode rural laissent cette zone exposée à une sévère dégradation du sol. Les sédiments issus de l'érosion sont transportés et contribuent à l'envasement du barrage Es-Saada.

L'intégration des cartes thématiques des différents facteurs érosifs à base de l'équation universelle de pertes en sol (USLE) dans le Système d'Information Géographique (SIG), a permis de localiser les zones sources des sédiments.

Notre étude nous a permis l'évaluation du taux d'érosion en nappe à 5,1 t/ha/an et l'établissement d'une carte de répartition des degrés de vulnérabilité des marnes à l'érosion.

Selon l'impact de chaque facteur sur les pertes en sol, nous avons classé par ordre d'importance, la pente ($R^2 = 0,98$), le couvert végétal ($R^2 = 0,97$), l'érodibilité des sols ($R^2 = 0,91$), les pratiques culturales ($R^2 = 0,89$).

Mots clés: Oued Mina, Marnes, Erosion, Evaluation, Equation universelle de pertes en sol, Système d'Information Géographique.



Abstract

The area of tertiary marls of watershed of Oued Mina is characterized by a semi-arid climate with a temperature sometimes reaching the threshold of 41,2 °C between July and January, rare and irregular torrential rains. During the last decades, the insecurity and the rural exodus leaving the soils exposed to severe degradation of the soil. The sediments from this erosion were transported and contributed to silt up the dam of Es-Saada.

The integration of thematic maps on various factors of the universal soil loss equation (USLE) in the Geographic Information System (GIS) helped us to locate the source areas of sediments.

Our study has permitted us the evaluation of the rate of erosion at 5.1 t/ha/yr and the establishment of the distribution map for the vulnerability levels of the marls to sheet erosion. Depending on the impact of each factor on soil losses, we have ranked by their importance order, the slope ($R^2= 0,98$), the vegetation cover ($R^2= 0,97$), the soil erodibility ($R^2= 0,91$) and the cultural practices ($R^2= 0,89$).

Keywords: Oued Mina, Marls, Erosion, Evaluation, Universal Soil Loss Equation, Geographical Information System.

ملخص

تتميز منطقة الطين الترياسي التابعة لحوض الصب واد مينا بمناخ شبه جاف، وفارق حراري يصل أحيان 41,2° مئوية بين شهري جويلية وجانفي، مع أمطار قليلة وغير منتظمة. فمن المؤكد أن اللامن والهجرة الريفية خلال العشربات الأخيرة تركت هذه الأراضي عرضة للتدهور حيث أن الترسبات الطينية الناتجة عن الانجراف ساهمت في توحيد سد السعادة.

إن إدخال الخرائط الموضوعاتية لمختلف عوامل الحت المائي ضمن النظام المعلوماتي الجغرافي طبقا للمعادلة الدولية لانجراف التربة سمح لنا بمعرفة مختلف المناطق المدروسة مصدر هذه الترسبات. هذه الدراسة سمحت لنا أيضا بحساب نسبة الحت المائي السطحي والمقدرة بـ: 5,1 طن/هك/سنة والحصول على خارطة توضح المناطق الحساسة لظاهرة الحت المائي.

حسب تأثير كل عامل على ظاهرة الحت المائي، قمنا بترتيب هذه العوامل حسب الأهمية: درجة الانحدار ($R^2 = 0,98$)، الغطاء النباتي ($R^2 = 0,97$)، فيزيائية التربة ($R^2 = 0,91$) و تقنيات الزراعة ($R^2 = 0,89$).

الكلمات المفتاحية: واد مينا، الانجراف، الطين، حساب، المعادلة الدولية لانجراف التربة، النظام المعلوماتي الجغرافي.

Table des matières

Liste des abréviations :.....	i
Liste des figures :.....	ii
Liste des planches :.....	iii
Liste des tableaux :.....	iv

Introduction :.....	1
---------------------	---

Première partie: Analyse des caractères du milieu de la zone d'étude

Premier chapitre: Cadre physique et socio-économique du milieu

1.1- Introduction :.....	3
1.2- Localisation de la zone d'étude :.....	3
1.3- Cadre physique :.....	4
1.3.1- Géologie :.....	4
1.3.2- Stratigraphie :.....	5
1.3.3- Lithologie et types de sols :.....	6
1.3.4- Caractéristiques géomorphologiques :.....	7
1.3.4.1- Reliefs :.....	7
1.3.4.2- Hypsométrie :.....	9
1.3.4.3- Réseau hydrographique :.....	9
1.3.5- Analyses climatiques :.....	10
1.3.5.1- Pluies :.....	10
a- Les stations pluviométriques :.....	10
b- La pluviométrie moyenne interannuelle :.....	11
c- Coefficient d'abattement de la pluie K_1 :.....	12
d- Indice de Desfontaines modifié (1968) :.....	13
e- Variations interannuelles des précipitations (station: Oued El-Abtal) :.....	13
1.3.5.2- Températures :.....	14
1.3.5.3- Autres facteurs climatiques :.....	15
a- Le vent :.....	15
b- La gelée :.....	16
1.3.5.4- Synthèse bioclimatique :.....	16
a- Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger :.....	17
b- L'indice d'aridité climatique de De Martonne (1927) :.....	17
c- L'indice xérothermique :.....	18
d- Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) :.....	18
1.3.6- Le couvert végétal :.....	19
1.3.6.1- Couvert végétal permanent :.....	20
a- Les cultures pérennes :.....	20
b- Le couvert forestier :.....	20
c- Le reboisement :.....	20
d- La steppe :.....	20
1.3.6.2- Couvert végétal temporaire :.....	21
a- La céréaliculture :.....	21
b- Les cultures maraichères :.....	21
1.3.6.3- Les terrains nus :.....	21
1.4- Cadre socio-économique :.....	21
1.4.1- Présentation du milieu rural :.....	22
1.4.2- Choix des communes dans la zone d'étude :.....	24
1.4.3- Atouts et contraintes de développement de la zone d'étude :.....	24
1.4.3.1- Atouts du développement :.....	24
1.4.3.2- Contraintes de développement :.....	25

1.4.4- Contexte social :.....	26
1.4.4.1- La population :.....	26
1.4.4.2- Les effectifs animaux :.....	27
1.5- Conclusion :.....	28

Deuxième chapitre: Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique

2.1- Introduction :.....	30
2.2- L'érosion hydrique: Origine et mécanismes :.....	30
2.2.1- Le détachement :.....	30
2.2.1.1- L'humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies :.....	30
a- L'éclatement :.....	30
b- Le gonflement différentiel :.....	30
c- La dispersion physico-chimique :.....	30
d- La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie :.....	31
2.2.1.2- Le ruissellement :.....	32
2.2.2- Le transport des particules et la formation des croûtes de battance :.....	32
2.2.3- La sédimentation (dépôt) :.....	32
2.3- L'érosion en nappe «Sheet erosion» :.....	33
2.3.1- Méthode de quantification et de prévision des taux d'érosion hydrique :.....	34
2.3.1.1- Développements qui ont mené à l'USLE :.....	34
2.3.1.2- Le principe du modèle :.....	34
2.3.1.3- Utilisation de l'USLE et ses objectifs dans le monde :.....	35
2.3.1.4- Limites et intérêts de l'USLE :.....	35
a- Limites :.....	35
b- Intérêts :.....	36
2.3.2- Les facteurs de l'équation universelle de pertes en sol :.....	36
2.3.2.1- L'agressivité climatique: Facteur R :.....	36
2.3.2.2- L'érodibilité du sol: Facteur K :.....	39
2.3.2.3- La topographie: Facteur LS :.....	40
a- Degré de la pente: L'indice S :.....	40
b- Longueur de la pente: L'indice L :.....	41
2.3.2.4- Le couvert végétal: Facteur C :.....	42
2.3.2.5- Les pratiques antiérosives: Facteur P :.....	42
2.4- Conclusion :.....	43

Deuxième partie: Evaluation des risques d'érosion au moyen du Système d'Information Géographique

Troisième chapitre: Méthode adoptée

3.1- Introduction :.....	44
3.2- Matériel et Méthodes :.....	44
3.2.1- Matériel :.....	44
3.2.1.1- Données pluviométriques :.....	44
3.2.1.2- Cartes utilisées :.....	44
3.2.1.3- Fichier MNT :.....	44
3.2.1.4- Images satellitaires (mai, 2007) :.....	45
3.2.1.5- Supports de travail :.....	46
a- MapInfo Professionnel 10.0 :.....	46
b- Vertical Mapper 3.0 :.....	46
c- River Tools 2.4 :.....	47
3.2.2- Méthodes :.....	47
3.2.2.1- L'agressivité climatique: Facteur R :.....	47
3.2.2.2- L'érodibilité du sol: Facteur K :.....	48

3.2.2.2.1- Démarche de l'échantillonnage :.....	48
3.2.2.2.2- Mode opératoire :.....	49
a- La structure :.....	49
b- La perméabilité :.....	50
c- La granulométrie :.....	50
d- La matière organique (MO) :.....	51
e- La texture :.....	51
f- La sensibilité à la battance (l'indice de battance: IB) :.....	51
g- La stabilité structurale (l'indice: Is) :.....	52
3.2.2.3- La topographie: Facteur LS :.....	53
3.2.2.4- L'occupation du sol: Facteur C :.....	53
3.2.2.5- Les pratiques antiérosives: Facteur P :.....	54
3.2.2.6- Le croisement des cartes thématiques :.....	55

Quatrième chapitre: Résultats et discussions

4.1- Répartition spatiale des différents facteurs de l'USLE dans la zone d'étude :.....	56
4.1.1- L'agressivité climatique (R) :.....	56
4.1.2- L'érodibilité du sol (K) :.....	58
4.1.3- La topographie (LS) :.....	62
4.1.4- L'occupation du sol (C) :.....	63
4.1.5- Les pratiques antiérosives (P) :.....	64
4.2- Evaluation des pertes en sol :.....	65
4.2.1- Répartition des pertes en sol par rapport au seuil de tolérance :.....	66
4.2.2- Comparaison des pertes en sols avec les résultats des mesures bathymétriques :.....	67
4.2.3- Comparaison des pertes en sols avec celles enregistrées dans d'autres régions voisines	68
4.3- Influence de chaque facteur sur les pertes en sol :.....	68
4.3.1- Effet de l'agressivité climatique (R) :.....	69
4.3.2- Effet de l'érodibilité des sols (K) :.....	70
4.3.3- Effet de l'indice de longueur de pente (L) :.....	71
4.3.4- Effet de l'indice de pente (S) :.....	72
4.3.5- Effet de la topographie (LS) :.....	72
4.3.6- Effet du couvert végétal (C) :.....	73
4.3.7- Effet des pratiques antiérosives (P) :.....	74
4.4- Conclusion :.....	75

Cinquième chapitre: Proposition des techniques antiérosives dans la zone d'étude

5.1- Introduction :.....	76
5.2-Techniques combinées (biologiques et mécaniques) :.....	76
5.3-Techniques mécaniques (ouvrages spéciaux de protection) :.....	78
5.4- Conclusion :.....	78
Conclusion:.....	79

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations :.....i

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

CEC : Capacité d'Echange Cationique.

DSA : Direction des Services Agricoles.

Ec: Energie cinétique des pluies.

EGM96: Earth Gravitational Model 1996.

EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus.

FAO : Food and Agriculture Organization.

GDEM : Global Digital Elevation Map.

GPS : Global Positioning System.

GTZ : Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

H: Heure.

H_{am}: Hauteur de pluie annuelle moyenne.

HCDS: Haute Commissariat de Développements Steppique.

I₃₀: Intensité maximale des pluies en 30 minutes.

IDL : Interactif Data Language.

MC_(A): Maître de Conférences grade A.

MC_(B): Maître de Conférences grade B.

Mj: Mégajoules.

mm: millimètres.

Mm³ : Millions mètres cubes.

MNT30m : Modèle Numérique de Terrain, résolution 30 mètres.

ONS : Office National des Statistiques.

PPDRI: Plan de Proximité de Développements Rural Intégré.

Q_x/ha: Quintaux/hectare.

R_{am}: Agressivité annuelle moyenne.

SAT: Surface Agricole Totale.

SAU: Surface Agricole Utile.

SIG: Système d'Information Géographique.

t: tonnes.

UHB Chlef: Université de Hassiba Ben Bouali- Chlef.

UMAB: Université de Mostaganem- Abdelhamid Ibn Badis.

USDA : United States Department of Agriculture.

USLE : Universal Soil Loss Equation.

UTM : Universal Transverse Mercator.

WGS84: World Geodetic System 1984.

Liste des figures :	ii
Figure 1	Situation géographique de la zone d'étude :..... 4
Figure 2	Stratigraphie de la zone d'étude :..... 5
Figure 3	Lithologie de la zone d'étude :..... 6
Figure 4	Carte d'orientation du relief :..... 8
Figure 5	Carte hypsométrique :..... 9
Figure 6	Le réseau hydrographique :..... 10
Figure 7	Coefficient d'abattement (K_i) (1969/70 - 2005/06) :..... 12
Figure 8	L'indice de Desfontaines modifié (station de Sidi Mhamed Benaouda (1990/91-2005/06) :..... 13
Figure 9	Variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station d'oued El-Abtal (1969/70-2005/06) :..... 14
Figure 10	Régime thermique interannuel de la station de Rélizane (1969/70 - 2005/06) :. 15
Figure 11	Diagramme Ombrothermique (station d'Oued El-Abtal: 1969/70 -2005/06) :. 19
Figure 12	Les communes de la zone d'étude :..... 22
Figure 13	Les zones homogènes :..... 23
Figure 14	Réseau routier :..... 25
Figure 15	Modèle numérique du terrain (MNT30m) de la zone d'étude :..... 45
Figure 16	Localisation des prélèvements des échantillons :..... 48
Figure 17	Méthode de détermination de la texture des sols :..... 51
Figure 18	Approche méthodologique de l'étude :..... 55
Figure 19	Distribution des valeurs de l'agressivité climatique par classe :..... 56
Figure 20	Distribution des classes de l'indice R calculé d'après la formule de Rango et Arnoldus :..... 57
Figure 21	Distribution des classes d'érodibilité des sols et des marnes :..... 60
Figure 22	La stabilité structurale de sols et de marnes :..... 61
Figure 23	Distribution des classes de facteur topographique :..... 62
Figure 24	Carte d'occupation du sol :..... 63
Figure 25	Distribution des classes de l'occupation des sols :..... 64
Figure 26	Distribution des classes de pratiques antiérosives :..... 65
Figure 27	Carte des pertes en sol de la zone d'étude :..... 66
Figure 28	Distribution des pertes en sol par rapport au seuil de tolérance :..... 67
Figure 29	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'agressivité climatique :..... 69
Figure 30	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'érodibilité du sol :... 70
Figure 31	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction des longueurs de pente :. 71
Figure 32	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'indice des pentes :... 72
Figure 33	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de la topographie :..... 73
Figure 34	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction du couvert végétal :..... 74
Figure 35	Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'indice des pratiques antiérosives :..... 74
Figure 36	Carte des sites de protection des zones prioritaires :..... 78

Liste des planches :	iii
Planche 1 Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau «effet de splash» (Le Bissonnais <i>et al.</i> , 2002) :.....	31
Planche 2 L'érosion en nappe se manifeste en plein paysage (Le Bissonnais <i>et al.</i> , 2002):	33
Planche 3 Dispositif de mesure de la perméabilité sur échantillon remanié (d'après Guy, 1978):.....	50

Liste des tableaux :	iv
Tableau 1	Surface des orientations du relief :..... 8
Tableau 2	Caractéristiques des stations pluviométriques :..... 11
Tableau 3	Pluviométrie moyenne interannuelle (mm) (1969/70 - 2005/06) :..... 11
Tableau 4	Pluviométrie moyenne interannuelle de la zone d'étude (1969/70-2005/06) :..... 12
Tableau 5	Températures moyennes interannuelles (°C) de la station de Rélizane (1969/70 - 2005/06) :..... 14
Tableau 6	Direction et fréquence des vents (%) (d'après Touaibia, 2000) :..... 16
Tableau 7	Nombre de jours de sirocco/an (d'après Touaibia, 2000) :..... 16
Tableau 8	Nombre de jours de gelée/an (d'après Touaibia, 2000) :..... 16
Tableau 9	L'indice bioclimatique d'Emberger, L. (d'après Stewart, 1969) :..... 17
Tableau 10	L'indice de De Martonne :..... 18
Tableau 11	L'indice xérothermique :..... 18
Tableau 12	Répartition de la population (hab) :..... 26
Tableau 13	Le Cheptel selon la campagne: 2007-2008 :..... 27
Tableau 14	Codes des classes de structure (d'après: FAO, 1977) :..... 49
Tableau 15	Codes des classes de perméabilité :..... 50
Tableau 16	Classes de battance des sols :..... 52
Tableau 17	Différents indices de recouvrement de végétations forestières et pérennes: 53
Tableau 18	Méthode de détermination de l'indice C pour pâturage permanent et terrains non cultivés (d'après Wischmeier et Smith, 1978) :..... 44
Tableau 19	Le facteur des pratiques antiérosives en Amérique et en Afrique de l'ouest (Roose, 1977) :..... 55
Tableau 20	L'agressivité climatique R (Mj.mm/ha.H) :..... 56
Tableau 21	Valeurs du facteur R dans d'autres bassins versants :..... 57
Tableau 22	Evaluation des facteurs K et $K_{\text{ajusté}}$ des altérites de marnes tertiaires :..... 58
Tableau 23	Distribution des valeurs du facteur K :..... 62
Tableau 24	Valeurs du facteur C dans d'autres régions voisines :..... 64
Tableau 25	Répartition des pertes en sol dans la zone d'étude :..... 66
Tableau 26	Répartition des pertes en sol en fonction de l'agressivité climatique :..... 69
Tableau 27	Répartition des pertes en sol en fonction de l'érodibilité des sols :..... 70
Tableau 28	Répartition des pertes en sol en fonction de l'indice de longueurs des pentes :..... 71
Tableau 29	Répartition des pertes en sol en fonction de l'indice des pentes :..... 72
Tableau 30	Répartition des pertes en sol en fonction de la topographie :..... 72
Tableau 31	Répartition des pertes en sol en fonction d'occupation de sol :..... 73
Tableau 32	Répartition des pertes en sol en fonction des pratiques antiérosives :..... 74
Tableau 33	Coordonnées approximatives des limites des zones potentielles d'implantation des retenues collinaires et des ouvrages de capture dans les oueds :..... 77

I n t r o d u c t i o n

Introduction

La zone des marnes tertiaires est caractérisée par la prédominance de formations lithologiques friables. Elle est constituée de marnes avec intercalation de calcaires et des grès calcaires (Kouri, 1993).

Les terrains nus sur toute l'année représentent 50% du secteur étudié, et les restes sont protégés par une végétation à recouvrement faible. Durant ces dernières décennies l'exode rural s'est accéléré suite à la sévérité du climat, de la sécheresse et des problèmes sécuritaires. Les agriculteurs laissent leurs sols exposés aux différentes formes de dégradation (surpâturage des terres agricoles, forêts pâturées et bad-lands piétinés). Le barrage Es-Saada a été construit en 1978 à l'aval de cette zone, pour une capacité initiale à la cote normale de 235 Mm³. En 2006, le service du barrage fait un levé bathymétrique en estimant l'envasement à 81,3 Mm³; c'est-à-dire un apport annuel de sédiments de 3 127 000 m³. Kouri et *al.* (1997); Touaibia et Achite (2003) ont considéré que la zone des marnes tertiaires est menacée par une activité des processus d'érosion intense, donc, elle constitue la source majeure des sédiments déposés dans le lac de ce barrage.

Notre approche vise les objectifs suivants:

- rassembler et cartographier les différents facteurs de l'USLE intervenant dans le processus érosif en créant une base de données interactive qui englobe des données codifiées et structurées de ces facteurs.
- localiser les zones susceptibles de produire les sédiments et évaluer les pertes en sols par l'intégration du modèle USLE de Wischmeier & Smith (1978) dans le Système d'Information Géographique (SIG).

L'évaluation des risques d'érosion des sols de la zone d'étude nécessite la cartographie et l'analyse des nombreux facteurs intervenant dans le processus érosif: l'agressivité des précipitations, la pente et la longueur de pente, l'érodibilité des sols, le couvert végétal et les pratiques culturelles. On a abouti ainsi, à une multitude de données à cartographier, stocker, structurer et traiter de manière rationnelle dans le SIG.

Le SIG permet également de croiser des cartes aux thèmes différents, de fusionner leurs bases de données et d'appliquer des équations mathématiques sur les valeurs numériques des facteurs d'érosion qui y sont rangées.

L'équation de Wischmeier & Smith (1978) (Universal Soil Loss Equation: USLE) reste, de loin, le modèle le plus utilisé parmi les modèles mathématiques de prédiction de l'érosion

Introduction

en nappe. L'intégration des cartes thématiques des facteurs de ce modèle dans le SIG a permis de cerner l'impact de chaque facteur dans les pertes en sol, de classer par importance relative les zones d'érosion et de quantifier les pertes en sol.

Le présent travail s'articule autour de cinq chapitres:

I- Etude physique et socio-économique du milieu.

II- Aperçu bibliographique consacré à la présentation du phénomène d'érosion hydrique en nappe et sa modélisation.

III- Méthode adoptée basée sur le Système d'Information Géographique pour la modélisation des différents facteurs contrôlant l'érosion hydrique en nappe selon le modèle de Wischmeier et Smith.

IV- Evaluation des risques d'érosion et interprétation des résultats obtenus.

V- Proposition des techniques antiérosives.

Première partie

Analyse des caractères du milieu de la zone d'étude

Premier chapitre

Cadre physique et socio-économique du milieu

Chapitre I : Cadre physique et socio-économique du milieu**1.1- Introduction**

Le bassin versant de l'oued Mina, vu son importance stratégique et socio-économique, a connu l'installation de deux barrages. En amont; le barrage de Bekhadda et en aval, celui d'Es-Saada. Leurs mises en service dataient de 1940 et 1978 successivement. Le barrage Es-Saada a été depuis longtemps l'objet de plusieurs études soit à l'échelle des conventions effectuées par l'Etat algérien dans le cadre de la conservation des eaux et des sols, en citant les travaux de la coopération technique Algéro-Allemande GTZ en 1990 et Algéro-Canadienne TECSULT en 2006, soit au niveau des études de recherches scientifiques: thèses de doctorat, de magister, d'ingénieur (Kouri, 1993; Gomer, 1994; Mahieddine, 1997; Achite, 1999 et Touaibia, 2000), ou bien des études de publications (Touaibia *et al.*, 1995; Touaibia *et al.*, 2001; Touaibia et Achite, 2003). L'oued Mina draine une région dont l'activité principale est l'agriculture et l'élevage. En conséquence, la plupart des études effectuées ont été menées dans le cadre d'aménagement intégré du bassin versant en vue de la protection du barrage contre l'envasement.

1.2- Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude appelée zone des marnes est située dans la partie occidentale du bassin versant de l'oued Mina (figure 1). Elle est située entre la latitude 35° 18' 35" et 35° 34' 59" Nord et la longitude 0° 22' 15" et 0° 50' 4" Est.

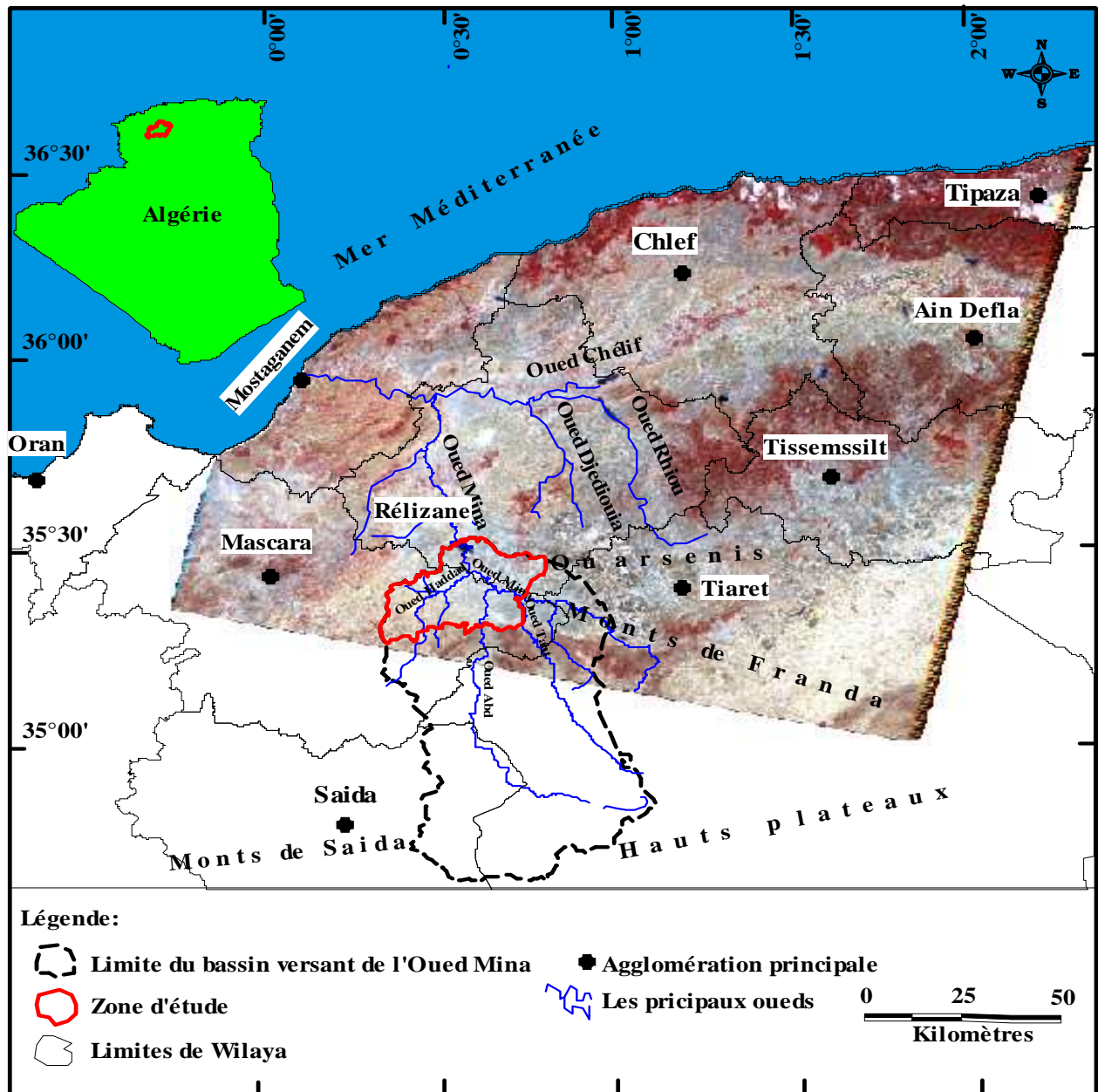


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude

1.3- Cadre physique

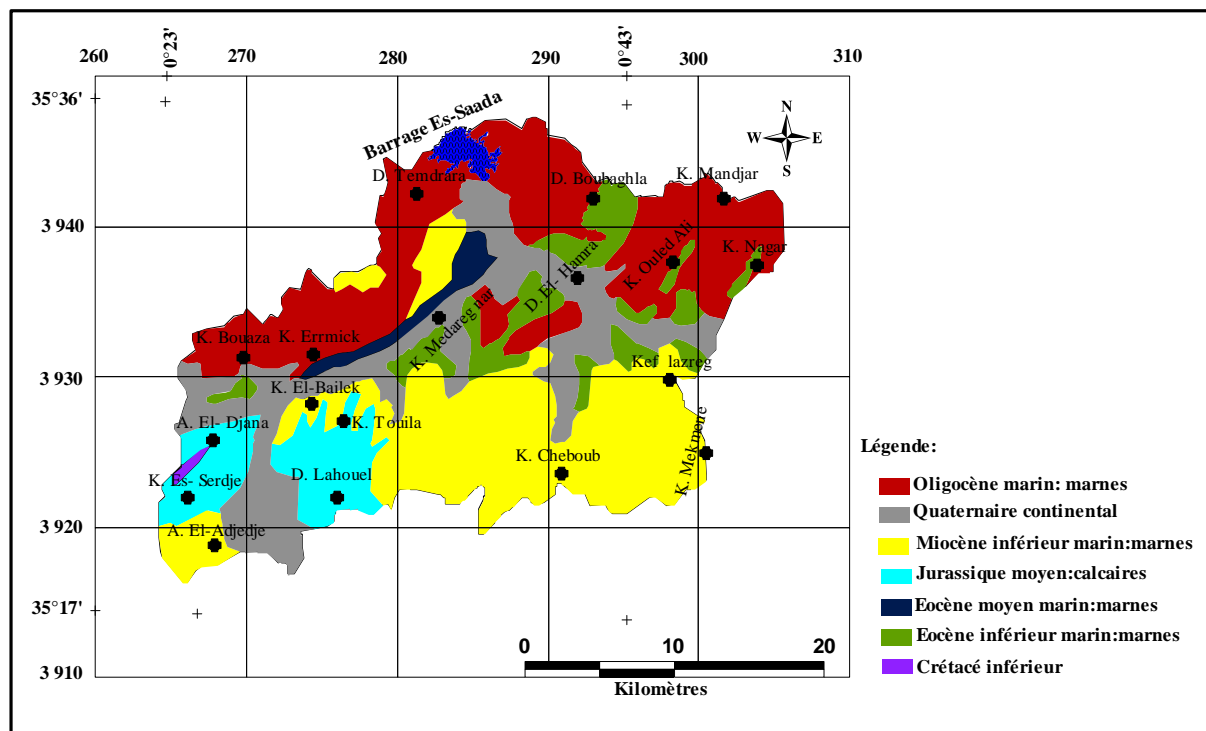
1.3.1- Géologie

La zone marneuse s'étend sur le domaine tellien. Ce dernier s'est mis en place depuis le crétacé supérieur avec une structure complexe constituée de marnes, de calcaire et de grès calcaire. Les marnes contiennent des lentilles de sel et de gypse très solubles. Les fonds de vallée sont occupés par des alluvions pléistocènes, le paysage du Tell reflète l'interaction entre orogénèse et érosion. Le contact entre la partie méridionale et celle septentrionale du bassin versant de l'oued Mina correspond à une zone de chevauchement exploitée par la vallée du cours moyen de l'oued Mina (Kouri, 1993).

1.3.2- Stratigraphie

La zone d'étude, comme le montre la figure 2 s'étend sur cinq principaux faciès stratigraphiques:

- l'Oligocène marin (marnes): il se trouve sur la rive droite de l'oued Mina, sur les monts de Djebel Boubaghla (556 m) au Nord et les Koudiates Mandjar (480 m), Ouled Ali (430 m) et Nagar (490 m) à l'est de la zone d'étude. Ainsi que, sur la rive gauche de l'oued Haddad du Djebel Temdrara (642 m) au Nord, jusqu'à Koudiate Bouaza (504 m) à l'Ouest de la zone d'étude avec quelques particularités dans les vallées au milieu du secteur étudié.
- le Miocène inférieur marin (marnes): est localisé dans le secteur Sud de la zone d'étude, il s'étend sur le Kef Lazreg (260 m), Koudiates Mekmene (517 m) et Cheboub (518 m) de l'Est vers les monts de Koudiate El-Bailek (427 m) et Koudiate Touila (413 m) à l'Ouest et sur les monts de l'Argoub El-Adjaje (585 m).
- l'Eocène inférieur marin (marnes): est localisé à l'intérieur de la zone d'étude sur les rives de l'oued Mina, où l'altitude ne dépasse pas 343 m.
- le Jurassique (sols calcaires): est localisé dans le secteur Sud-Ouest sur Koudiate Es- Serdje (505 m) jusqu'à Argoub El-Djana (500 m) Nord, ainsi que, sur le versant Nord de Djebel Lahouel (618 m) jusqu'à Koudiate Touila.
- les alluvions, regs et terrasses, se forment dans les vallées des oueds et leurs affluents.



Source: Kouri (1993)

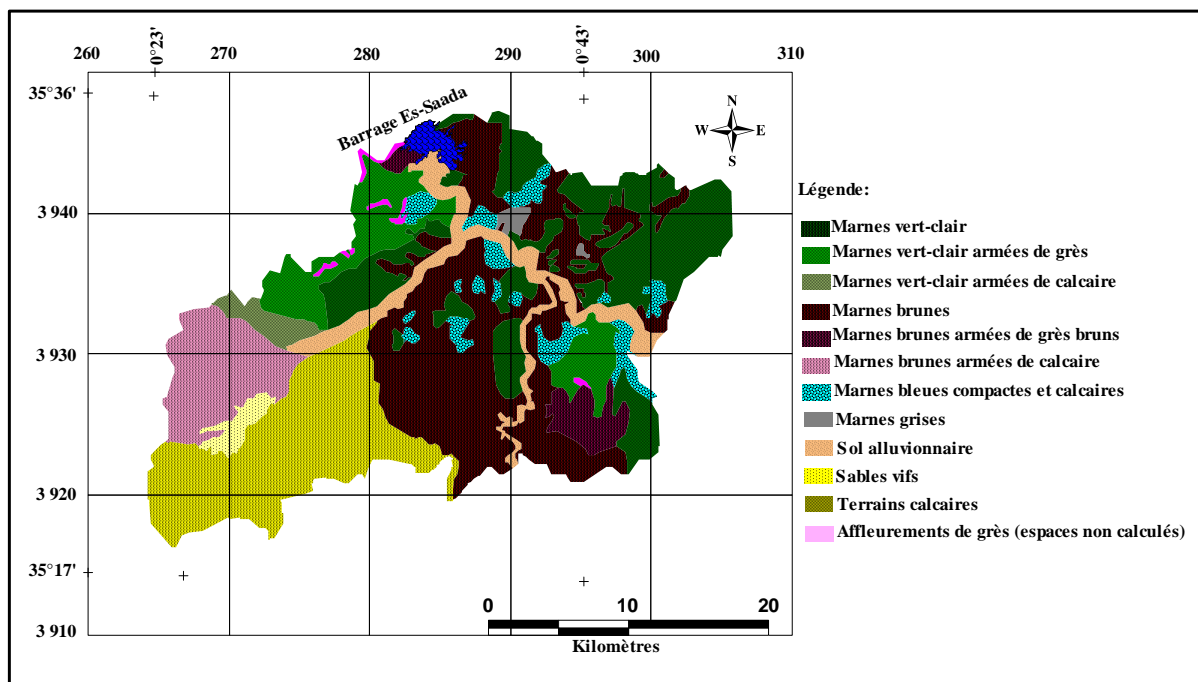
Figure 2: Stratigraphie de la zone d'étude

1.3.3- Lithologie et types de sols

Les marnes d'âge tertiaires (Eocène, Oligocène et Miocène) comportent, des blancs discontinus de grès et de calcaire. Kouri (1993) a identifié quatre types des marnes réparties dans la zone d'étude:

Les marnes vert-clair de l'Oligo-Miocène forment l'essentiel des terrains dans la partie aval du bassin versant de l'oued Haddad et dans le secteur occidental sur la rive droite de l'oued Mina.

- les marnes brunes miocènes affleurent très largement dans la partie orientale, et sur la rive gauche de l'oued Mina, dans les bassins versants de l'oued El-Abed et Taht. Ce sont des formations épaisses souvent remaniées par solifluxion.
- les marnes bleues compactes sont fréquentes dans la partie occidentale, mais n'affleurent que localement sur les interfluves, en association avec les calcaires du Crétacé.
- les marnes grises sont moins fréquentes et difficilement distinguables de marnes vert-clair dans la morphologie des paysages.



Source: Kouri (2010)

Figure 3: Lithologie de la zone d'étude

Selon les comportements physiques et l'érodibilité des sols marneux, Kouri (1993) a regroupé les types de sol en sept classes:

- les vertisols, profonds à texture argileuse (> 60% d'argile) ayant une faible sensibilité à la battance. Cette classe occupe 23% des terrains, et se trouve essentiellement sur

les plateaux du Nord-Ouest du secteur étudié dans les dépressions et sur les versants exposés au Nord.

- les sols argileux à charge caillouteuse présentent presque les mêmes caractéristiques que la classe précédente. Ils contiennent des cailloux et des blocs arrondis provenant des bancs des grès et de calcaire.
- les sols argilo-limoneux sont des sols bruns calcaires peu épais sur croûte. Leur structure sensible à la battance forme un secteur source de ruissellement.
- les sols limoneux à charge caillouteuse ont une structure instable et sensible à la battance. Les secteurs formés de ce type de sols sont des zones de forts ruissellements.
- les sols rouges sur croûte calcaire sont localisés sur la rive gauche de l'oued Mina et dans la partie amont du bassin de l'oued Haddad. Du fait de leur sensibilité à la battance, des encroûtements calcaires et des fortes pentes, ils forment une vaste zone source de ruissellement.
- les sols de la basse terrasse, sont des types peu évolués d'apport alluvial, à texture limoneuse à limono-argileuse, sont moyennement battants. La structure des horizons superficiels instables et l'aptitude à la fissuration faible à moyenne expriment leur sensibilité au ruissellement et à l'érosion.
- les sols salsodiques sont présents dans toute la zone des marnes. Ces sols sont excessivement salés à l'exception des plateaux. Ils sont profonds à texture argileuse à argilo-limoneuse et à structure dégradée.

1.3.4- Caractéristiques géomorphologiques

Les caractéristiques géomorphologiques d'une zone influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements des eaux de surface. Cette zone est caractérisée par sa surface, sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore, les caractéristiques du réseau hydrographique.

1.3.4.1- Reliefs

Le phénomène de l'érosion hydrique, en particulier l'érosion en nappe dans une zone varie d'un secteur à un autre, cette variabilité spatiale est liée beaucoup plus au facteur relief.

Le relief de la zone des marnes tertiaires de l'oued Mina est très morcelé. Les profondes entailles en V sont généralement plus raides en exposition Sud qu'en exposition Nord (Gomer, 1994). Cette asymétrie est due à des différences de pédogénèse, de météorisation et d'ablation selon l'exposition (Blum, 1989 in Gomer, 1994). D'autres processus géomorphologiques autres que l'érosion en nappe et/ou en ravines dans la zone des marnes

sont les glissements de terrains, liés aux sels et aux anhydrites inclus dans la composition minérale marneuse, et qui peuvent donner aux versants une forme en gradins.

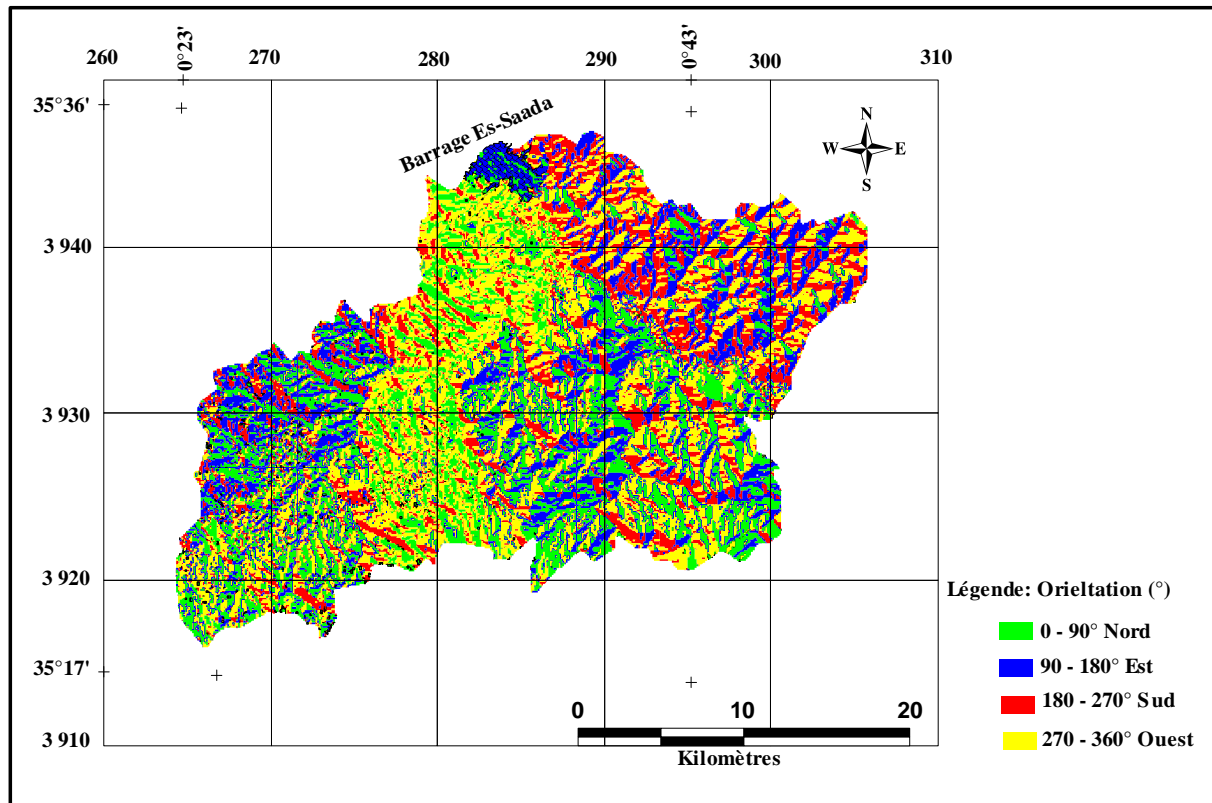


Figure 4 : Carte d'orientation du relief

L'influence de l'orientation des versants est déterminée par l'intermédiaire des facteurs tels que la durée d'ensoleillement, l'état hydrique du sol et la direction des vents (notamment ceux qui sont dominants). Quatre classes sont considérées (N, E, S, et W).

Tableau 1 : Surface des orientations du relief

Orientations	Surface	
	en ha	en %
0-90° Nord (N)	20 320	27,2
90-180° Est (E)	13 370	17,9
180-270° Sud (S)	16 940	22,7
270-360° Ouest (W)	24 059	32,2
Surface totale	74 689	100

Les reliefs de la zone des marnes tertiaires présentent une légère asymétrie. En effet, les versants à exposition Nord ont un pourcentage de surface supérieur à ceux (27,2%) du Sud (22,7%), ainsi que les versants à exposition Ouest avec un pourcentage (32,2%) supérieur à celui exposition est (17,9%).

1.3.4.2- Hypsométrie

Elle consiste à joindre les points d'égales altitudes; dans le cas où elles sont rapprochées la pente est raide et lorsqu'elles sont éloignées, la pente est faible et le terrain a un aspect plat.

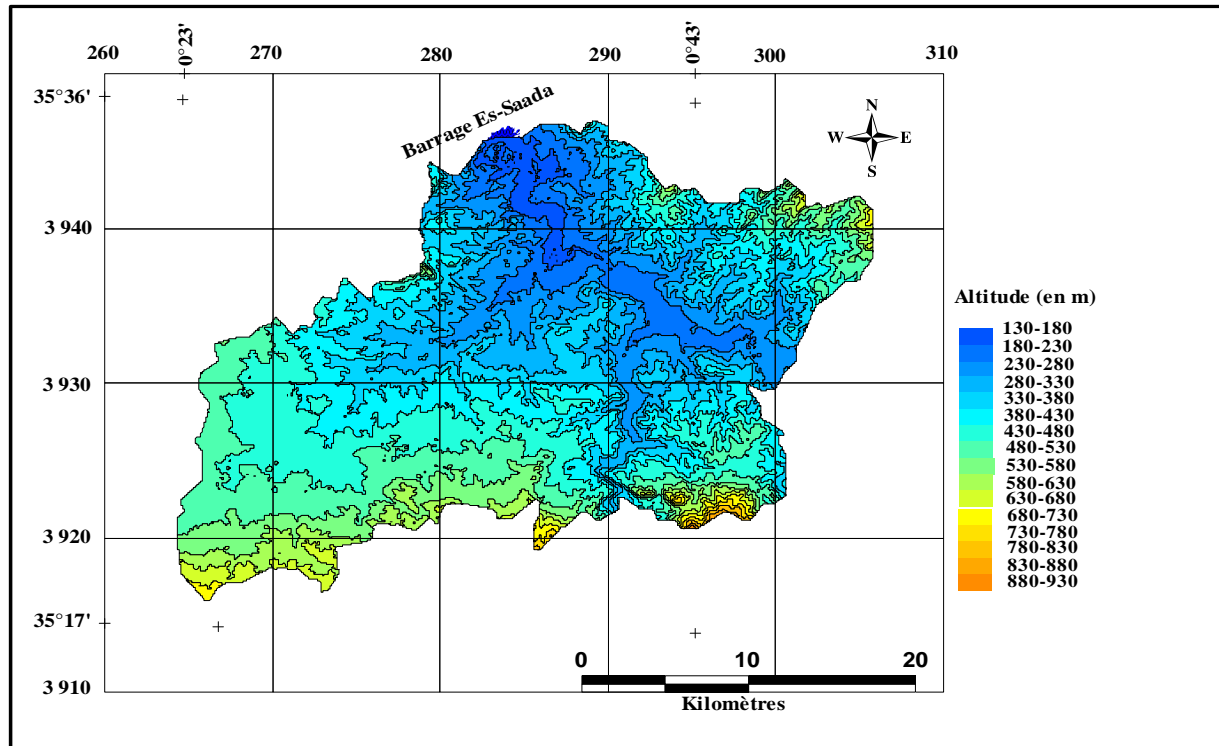


Figure 5 : Carte hypsométrique

A partir du MNT30 de notre zone d'étude, traité par le logiciel Vertical Mapper nous avons élaboré une carte hypsométrique avec des tranches d'altitude de 50 m, et ce pour faire bien ressortir les surfaces correspondantes et avoir une idée sur le degré de pente pour chaque tranche (tableau 1, annexe I).

Il en ressort que:

- une altitude moyenne de la zone d'étude de 397 m.
- une partie à faible pente qui correspond aux plaines de Tighennif-Griss, soit un pourcentage de 78,5 % de la surface de la zone, avec des altitudes variant entre 230 m et 530 m.
- les zones à altitude supérieure à 530 m ont des pentes raides et correspondent aux monts des Beni-Chougrane au Nord-Est et aux monts de Saïda au Sud de la zone d'étude.

1.3.4.3- Réseau hydrographique

L'oued Mina forme de loin, le cours d'eau le plus important de la zone avec ses principaux affluents:

Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques

N°	Stations	Code	Projection: UTM Zone 31, Northern Hemisphere (WGS 84)		Altitude (m)	Localisation	Nbr. d'obs. nterannl.
			X (m)	Y (m)			
1	Ain Amara	01.33.02	289 405	3 919 244	288	dans la zone	37ans
2	Kaf El-Mahboula	01.30.01	304 600	3 908 150	475	hors zone	37ans
3	Mechra Sfa	01.31.01	323 612	3 917 249	655	hors zone	37ans
4	Djilali Ben Amar	01.31.02	305 124	3 924 003	300	hors zone	37ans
5	Takhmaret	01.33.04	285 217	3 886 941	677	hors zone	37ans
6	Oued El-Abtal	01.33.05	290 673	3 925 843	354	dans la zone	37ans
7	Sidi AEK Djilali	01.34.01	281 627	3 928 670	225	dans la zone	37ans
8	El-Hachem	01.34.07	272 090	3 917 290	417	dans la zone	37ans
9	S.M.Benaouda	01.34.10	282 139	3 940 224	145	hors zone	37ans
10	Rélizane	01.35.11	278 700	3 952 000	75	hors zone	37ans
11	Aouf	11.14.04	246 100	3 913 000	631	hors zone	37ans

b- La pluviométrie moyenne interannuelle

Pour déterminer la pluviométrie interannuelle de la zone d'étude, nous avons d'abord choisi uniquement les stations pluviométriques qui sont au sein et à proximité de la zone d'étude (stations n°: 1, 4, 6, 7, 8, et 9), puis on a délimité la surface d'influence de chacune en calculant la précipitation moyenne interannuelle par la formule suivante:

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot P_i}{S}$$

Où: n : le nombre de stations pluviométriques.

S_i : surface d'influence de chaque station pluviométrique (km²).

P_i : pluviométrie moyenne interannuelle de chaque station (mm).

S : surface de la zone d'étude (km²).

Tableau 3 : Pluviométrie moyenne interannuelle (mm) (1969/70 - 2005/06)

N°	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.	Moy.
1	16,8	25,1	29,9	27,9	26,0	32,5	31,0	26,5	21,7	3,8	1,1	6,0	248,1
4	15,4	28,2	29,6	40,2	61,2	64,5	44,6	38,1	13,4	6,5	0,7	4,1	346,2
6	18,0	40,6	35,2	38,2	31,3	37,3	46,9	27,5	22,3	6,4	1,6	4,9	310,2
7	12,7	26,2	34,2	24,2	22,6	32,3	30,2	23,0	18,7	2,6	1,4	3,2	231,3
8	13,4	37,4	32,8	38,1	37,2	42,9	50,1	31,2	24,8	7,0	3,5	2,2	320,4
9	15,8	20,0	34,7	26,7	29,0	28,5	24,2	26,6	19,8	2,0	1,9	1,9	231,2

Les surfaces d'influence sont déterminées par la méthode des polygones de Thiessen (EPFL, 2003). Le résultat figure dans le tableau 4 et leur représentation est illustrée dans la figure 2, l'annexe I.

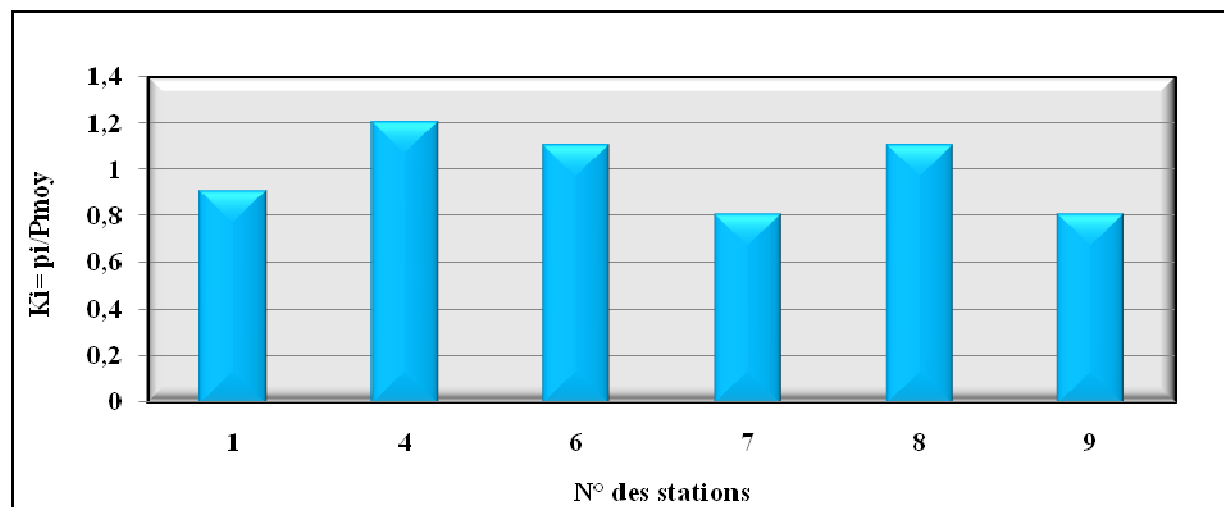
Tableau 4 : Pluviométrie moyenne interannuelle de la zone d'étude (1969/70 - 2005/06)

N°	Pluviométrie (Pi)	Surface d'influence	Pi .Si	P _{moy}
1	248,1	126,5	31 385	283,1mm
4	346,2	72,8	25 210	
6	310,2	121,2	37 596	
7	231,3	129,8	30 023	
8	320,4	208,9	66 922	
9	231,2	87,7	20 276	
		Somme = 746,89	Somme = 211 412	

La pluviométrie moyenne interannuelle sur l'ensemble de la zone d'étude est estimée à: $P_{moy} = 283,1$ mm. Cette valeur est proche de la pluviométrie moyenne interannuelle enregistrée dans la station de l'oued El-Abtal. Cette dernière sera prise en considération pour déterminer la variation interannuelle des précipitations et les différents indices climatiques.

c- Coefficient d'abattement de la pluie K_i

Cet indice a permis de sélectionner la station pluvieuse de celle qui l'est moins. C'est le rapport entre la pluie moyenne ponctuelle P_i d'une station et la pluie moyenne P_{moy} de la zone d'étude.

Figure 7: Coefficient d'abattement (K_i) (1969/70 - 2005/06)

D'après la figure 7, on remarque que la station la plus pluvieuse est celle de Djilali Ben Amar (notée 4), où le coefficient d'abattement est égal à 1,2.

d- Indice de Desfontaines modifié (1968)

Cet indice est utilisé à l'échelle mensuelle afin de classer les mois de l'année les plus agressifs. Il est donné par la formule suivante:

$$I = b \cdot c$$

Où: b: nombre moyen de jours de pluies du mois ≥ 20 mm/24 heures.

c : % de pluies mensuelles tombées sous forme de pluies journalières ≥ 20 mm.

Les résultats de mesure des débits liquides et solides pendant quatre années successives dans la zone d'étude montrent que, toutes les pluies journalières ≥ 20 mm ont provoqué un ruissellement et un transport solide en suspension mesuré à l'exutoire des petits bassins versants (Kouri, 1993). C'est pourquoi nous avons retenu un seuil de 20 mm de pluie pendant 24 heures pour calculer cet indice. La station de Sidi Mhamed Benaouda a été choisie en raison de la disponibilité de données pluviométriques.

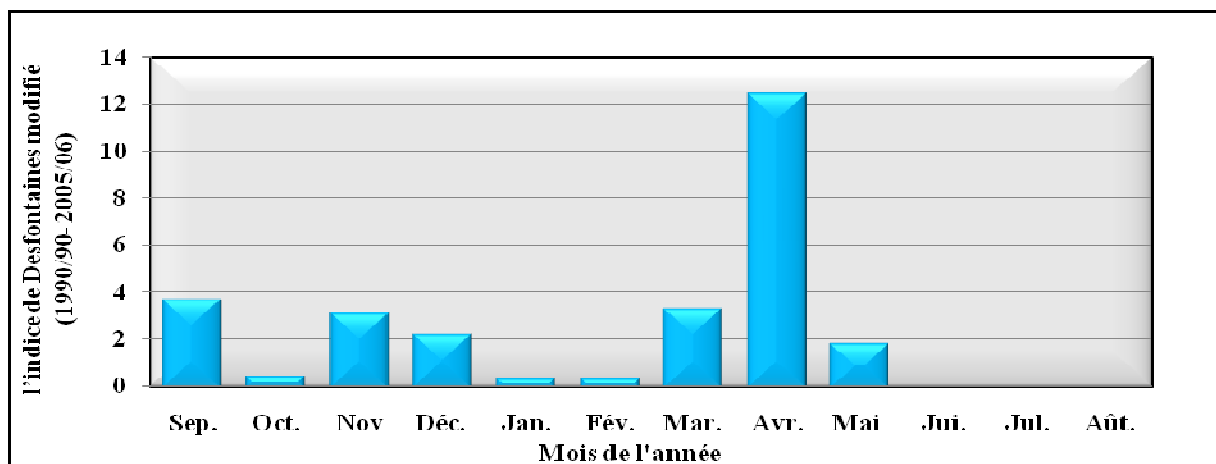


Figure 8 : L'indice de Desfontaines modifié (station de Sidi Mhamed Benaouda: 1990/91-2005/06)

La valeur de cet indice est élevée durant la saison du printemps (avril). Le risque d'érosion est atténué pendant cette saison, durant laquelle les sols sont couverts et surtout labourés (planches 1 et 2, annexe II).

e- Variations interannuelles des précipitations (station: Oued El-Abtal)

La hauteur des précipitations diffère d'une année à l'autre, car les précipitations sont très irrégulières. L'intérêt de cette étude est de montrer les fluctuations qu'a subies la station de la zone d'étude sur plusieurs années.

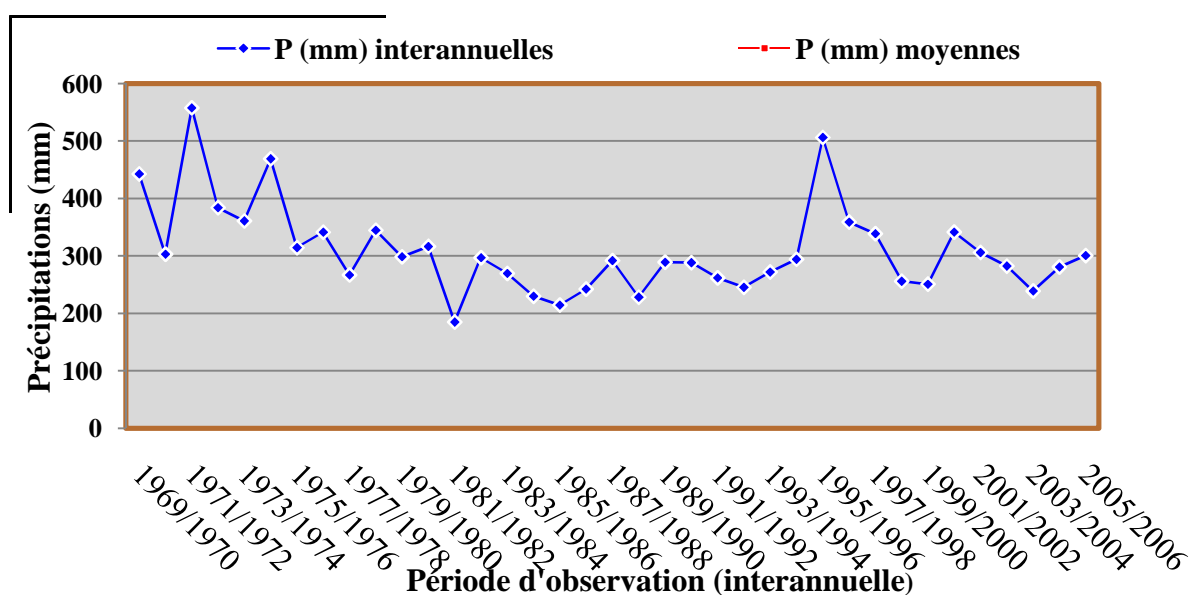


Figure 9: Variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station d'oued El-Abtal (1969/70-2005/06)

L'examen des régimes interannuels des précipitations sur une période de 37 ans d'observation montre que 24 années ont une pluviométrie inférieure à la moyenne générale (310,2 mm) et uniquement 13 années sont au dessus de cette moyenne.

1.3.5.2- Températures

Les températures agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

Vu l'absence des données de températures moyennes mensuelles et annuelles au niveau de la station d'oued El-Abtal, celle de Rélizane située à une vingtaine de kilomètres à l'aval du barrage Es-Saada a été prise en considération. Les températures enregistrées sur une période de 37 ans (1969/70 - 2005/06) sont données dans le tableau 5.

Tableau 5: Températures moyennes interannuelles (°C) de la station de Rélizane (1969/70 - 2005/06)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.	Moy.
Max.	32,4	27,4	22,1	18,3	17,0	18,9	21,9	23,6	29,6	34,6	38,8	38,4	26,9
Moy.	25,1	21,0	15,6	12,7	11,5	12,8	15,2	17,2	22,1	26,0	30,0	29,9	19,9
Min.	17,8	14,6	9,1	7,1	6,0	6,7	8,4	10,7	14,6	17,4	21,2	21,3	12,9
Apt.*	14,6	12,8	13,0	11,2	11,0	12,2	13,5	12,9	15,0	17,2	17,6	17,1	14,0

Apt.*: écart entre la valeur maximale et minimale

Source: ANRH de Rélizane, 2010

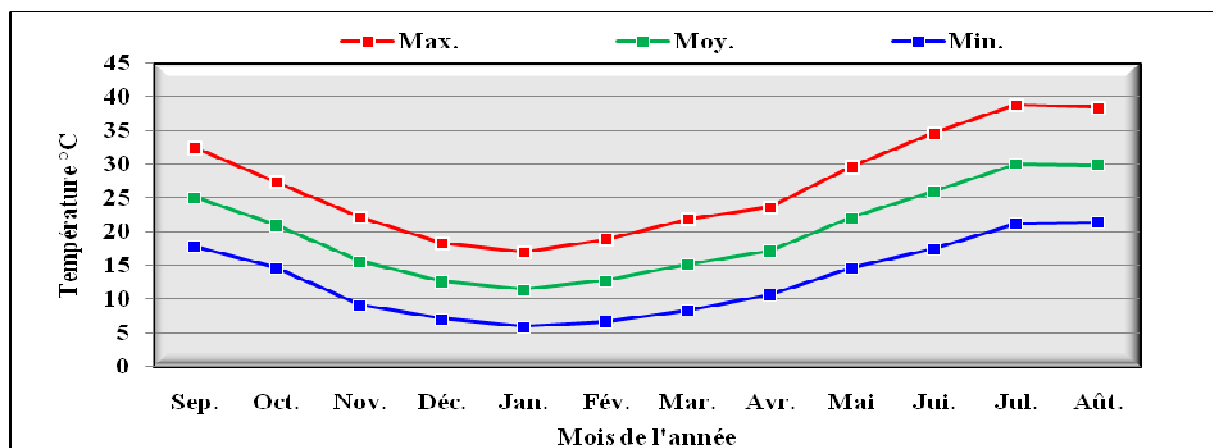
L'alternance des cycles humectation-dessiccation favorise le processus d'altération des marnes (Kouri, 1993).

Les températures moyennes mensuelles sont maximales au cours de la période de mai à octobre (saison chaude), et atteint leur maximum pendant le mois du juillet avec une valeur de 38,8°C. Les températures moyennes mensuelles sont minimales au cours de la période de mois de novembre à avril (saison froide) et atteint une valeur de 6 °C (janvier). Si on se réfère au mois de janvier de l'année 2005, le minimum est observé d'une manière répétée: sept jours froids dont quatre jours sont successifs avec un minimum de -2,4 °C (tableau 4, annexe I).

L'analyse de l'indice des écarts thermiques mensuels (M-m) met en relief des températures assez importantes pendant une période allant de mai à septembre. Cet indice moyen interannuel, appelé également l'indice de continentalité, permet de préciser l'influence maritime ou au contraire continentale d'une région donnée. Debrach (1953) définit quatre types de climats:

- climat insulaire: $M-m < 15^{\circ}\text{C}$.
- climat littoral: $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$.
- climat semi-continentale: $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$.
- climat continental: $M-m > 35^{\circ}\text{C}$.

L'indice de continentalité permet de situer notre zone dans un climat insulaire.



**Figure 10 : Régime thermique interannuel de la station de Rélizane
(1969/70 - 2005/06)**

1.3.5.3- Autres facteurs climatiques

a- Le vent

Le vent est un élément caractérisé par une fréquence et une direction données: étroitement lié aux reliefs. Dans notre étude, on s'est basé sur les travaux de Touaibia (2000),

à cause d'une absence totale de données pour ce facteur climatique dans la station d'oued El-Abtal. Le tableau suivant donne la direction et la fréquence des vents.

Tableau 6 : Direction et fréquence des vents (%) (d'après Touaibia, 2000)

Direction	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.	Moy.
N	23	19	11	11	14	11	20	16	20	25	25	22	18
NE	11	14	10	8	11	12	9	10	9	10	11	12	11
E	2	3	5	2	4	5	4	3	4	4	2	3	3
SE	3	3	3	4	3	4	2	3	2	2	2	2	3
S	12	14	16	16	12	12	10	12	10	8	7	9	12
SO	11	15	19	22	19	19	9	12	9	7	8	8	14
O	19	20	24	26	23	27	27	28	27	28	27	22	25
NO	18	14	13	12	13	14	18	15	18	16	18	23	16

Les vents du Nord et de l'Ouest apportent à la région une humidité très bénéfique, surtout pendant la période estivale. D'après le tableau 6, ces vents présentent une fréquence plus élevée aux mois de juin, juillet et août.

Tableau 7 : Nombre de jours de sirocco/an (d'après Touaibia, 2000)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.	Moy /an.
Nombre	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	5

La zone marneuse n'échappe pas au sirocco en été. C'est un vent très chaud et sec provoquant des fortes évaporations et exposant le sol à une grande érosion éolienne notamment en période estivale. Ce vent souffle en moyenne 5 fois/an.

b- La gelée

La station d'oued El-Abtal a fourni aussi les informations nécessaires sur le nombre de jours de gelée/ an. Ces données sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8: Nombre de jours de gelée/an (d'après Touaibia, 2000)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.	Moy/an.
Nombre	0	4	3	10	9	6	2	1	0	0	0	0	35

D'après le tableau 8, le territoire de la zone des marnes tertiaires est soumis au phénomène de la gelée qui dure en moyenne 35 jours/an.

1.3.5.4- Synthèse bioclimatique

La synthèse bioclimatique est une étape indispensable à tout projet relatif à l'environnement. Elle s'est faite à partir des travaux d'Emberger (1930, 1955); Bagnouls et Gaussen (1953); Thornthwaite (1946) et Sauvage (1963), pour ne citer que ces auteurs.

a- Le quotient pluviothermique et les étages bioclimatiques d'Emberger

L'emploi du quotient pluviothermique (Q_2) est spécifique au climat méditerranéen. Il a été utilisé avec succès en Afrique du Nord et en France méditerranéenne. En effet, ce quotient permet d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes. Les valeurs du Q_2 étant d'autant plus basses quand le climat est plus sec.

Cet indice est calculé par la formule suivante:

$$Q_2 = 1000 \cdot P / (M - m) [(M + m) / 2]$$

Où: P: précipitations moyennes annuelles (mm).

M: température moyenne des maxima du mois le plus chaud ($^{\circ}K$).

m: température moyenne des minima du mois le plus froid ($^{\circ}K$).

Cet auteur a mis au point un zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation.

On distingue le plus souvent les étages bioclimatiques: saharien, aride, semi-aride, sub-humide et humide. Chaque étage comprend une stratification verticale.

Ce coefficient a été modifié par Stewart (1969), la formule obtenue est la suivante:

$$Q_2 = 3,43 \cdot P / (M - m)$$

Tableau 9 : L'indice bioclimatique d'Emberger, L. (d'après Stewart, 1969)

Stations	P (mm)	M $^{\circ}C$	m $^{\circ}C$	Q_2
Oued El-Abtal	310,2	311,8	279	32,4

La valeur de Q_2 portée sur le climagramme en tenant compte de m, classe la station d'oued El-Abtal de la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver doux (figure 3, annexe I).

b- L'indice d'aridité climatique de De Martonne (1927)

En se basant sur le régime de précipitations moyennes interannuelles P (mm) et de températures moyennes interannuelles T ($^{\circ}C$), l'indice d'aridité est calculé par la formule suivante:

$$I = P / (10 + T)$$

Grille d'interprétation

$7,5 < I < 10$ climat steppique.

$10 < I < 30$ climat semi-aride.

$30 < I < 50$ climat tempéré.

Tableau 10 : L'indice de De Martonne

Stations	P (mm)	T (°C)	T+ 10 (°C)	I
Oued El-Abtal	310,2	19,9	29,9	10,4

D'après le tableau 10, la zone des marnes tertiaires est caractérisée par un climat semi-aride.

c- L'indice xérothermique

L'intensité et l'importance de la saison sèche en méditerranée ont amené Emberger (1942) à proposer un nouvel indice nommé: indice xérothermique.

L'auteur retient le total des précipitations estivales (en mm) et la moyenne des maxima de la même période (en °C) en signalant que cet indice ne dépasse pas 7 pour les stations non méditerranéennes.

$$I_s = P / M$$

Où: P: total des précipitations estivales en (mm).

M: moyenne des maxima thermiques estivaux en (°C).

En Oranie, une étude conduite par Alcaraz (1969) signale l'existence d'espèces végétales s'adaptant à un indice inférieur à 2. D'autres précisions ont été notées à ce sujet par Benabdelli (1983) qui indique que, ce même indice peut être inférieur à 1, ce chiffre suppose une sécheresse de la région dépassant la saison estivale.

Tableau 11 : L'indice xérothermique

Station	P (mm)	M (°C)	I
Oued El-Abtal	310,2	37,3	0,35

Du tableau ci-dessus, la valeur obtenue au niveau de la zone d'étude est de 0,35 traduisant un été sec et des pluies estivales qui se font de plus en plus rares. Cette valeur correspond au développement de certaines espèces méditerranéennes rencontrées dans notre zone d'étude, à savoir: *Tetraclinis articulata*, *Quercus ilex*, *Eucalyptus gamphocephala*, *Pistacia lentiscus*, *Artemesia herba alba*, *Olea europea* et *Cupressus sp.*

d- Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Les monts de la Mina ont un climat de type méditerranéen semi-aride caractérisé par une sécheresse estivale prononcée. Selon Bagnouls et Gaussen (1953), une période sèche est

définie comme étant celle durant laquelle la moyenne des précipitations (en mm) est inférieure au double de la moyenne des températures (en °C).

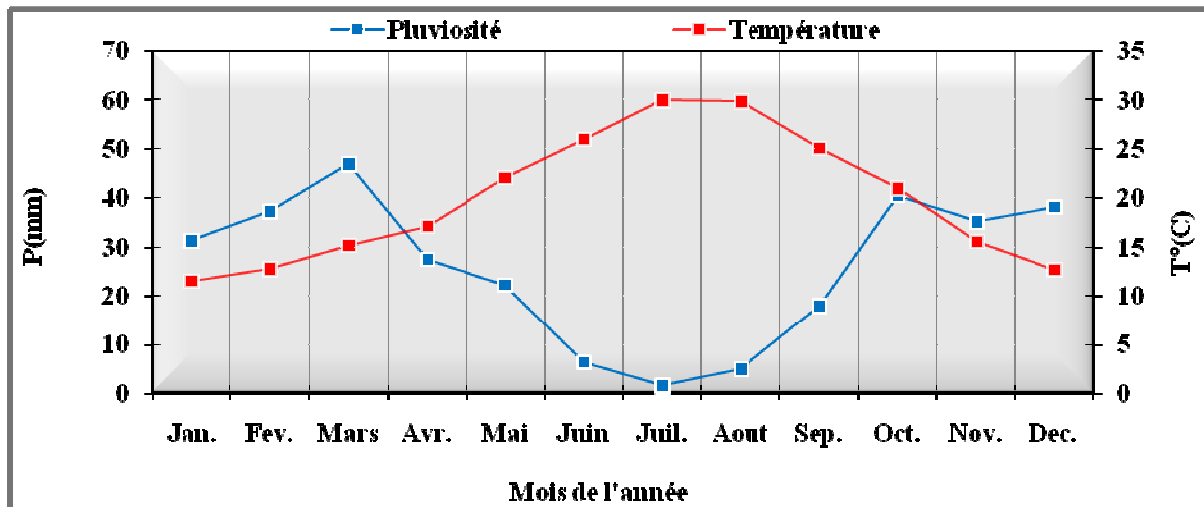


Figure 11 : Diagramme Ombrothermique (station d'Oued El-Abtal: 1969/70 - 2005/06)

Le diagramme Ombrothermique montre que, la zone des marnes tertiaires est caractérisée par une période sèche s'étalant sur six (6) mois.

1.3.6- Le couvert végétal

C'est un facteur conditionnel important des phénomènes d'érosion. Son influence se marque surtout à travers le degré de couverture du sol.

Roose (1977), considérant la couverture du sol, classe les couverts végétaux en Afrique de l'Ouest en trois groupes:

- les couverts complets toute l'année: forêt, 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 implantées tardivement ou encore à démarrer lent.

En s'inspirant de cette classification on décrit les types de couverts végétaux en précisant leur localisation et leur rôle protecteur du sol dans la zone d'étude.

1.3.6.1- Couvert végétal permanent

a- Les cultures pérennes

Les cultures pérennes (amandier, olivier, vigne, ... etc.) sont pratiquées exclusivement dans le bassin versant de l'oued Haddad au Sud-Ouest de la zone d'étude sur des sols rouges sur sables occupant un pourcentage de 10,6 % de la surface de la zone d'étude. Ce type de culture se trouve en association avec des cultures céréalières. Cette culture dont les arbres sont espacés a un recouvrement basal atteignant plus souvent 40 % et ne dépassant pas 4 mètres de hauteur.

b- Le couvert forestier

La végétation claire arborée est répartie sur deux faciès; l'un à *Quercus ilex* et *Pistacia lentiscus* et l'autre à *Tetraclinis articulata* le long de la limite Sud-Ouest. Les terrains occupés par cette végétation s'étendent dans la partie Miocène inférieur marin: marnes. Le cortège floristique est généralement réduit à des arbustes de *Tetraclinis articulata* et *Juniperus phoenicea* très espacés dont la taille est en moyenne de 3,5 à 4 mètres de hauteur, elle dépasse rarement 4,5 mètres, formant un couvert clair discontinu sur les sols à encroûtement calcaire recevant annuellement environ 320 mm de pluie. L'efficacité de ce type de couvert végétal est réduite à cause de son faible taux de recouvrement du sol (25 à 50%).

c- Le reboisement

Les escarpements marneux sont reboisés en *Pinus halpensis*, *Eucalyptus gamphocephala*, *Acacia cyanophylla* et *Atriplex halimus* recevant annuellement 231 mm de pluie. Ces reboisements se divisent en deux types; l'un sur des sols stériles des terrasses qui est clair et malvenant et l'autre sur des sols n'ayant subi aucun type d'aménagement. Ce dernier apparaît dense (planche 7, annexe II).

d- La steppe

Cette formation est localement présente dans la partie aval du bassin versant de l'oued Haddad sur des sols superficiels sur marnes vert-clair recevant moins de 230 mm de pluie par an. Le cortège floristique est dominé par *Artemesia herba alba* et *Artemesia compestris* et comporte également *Stipa tenacissima*, *Poa bulbosa* et *Ziziphus lotus*. Ces espèces sont broutées par le bétail. Le recouvrement du sol est nul et la hauteur ne dépasse pas 50 cm (planche 8, annexe II).

1.3.6.2- Couvert végétal temporaire

a- La céréaliculture

La céréaliculture est pratiquée sur les sommets de collines et des sols profonds (planche 1, annexe II) entre oued Taht et oued El-Abed ainsi que, sur les versants Ouest à pentes douces (planche 2, annexe II) aux plaines d'El-Hachem et sur toutes les vallées le long des oueds de la zone d'étude.

Les paysans cultivent généralement le blé tendre, le blé dur et l'orge. Les champs sont labourés au début de l'automne de chaque année. Les plantes atteignent une hauteur de 40 cm en avril (planche 3, annexe II). Ce dernier est considéré comme le mois le plus pluvieux de l'année.

b- Les cultures maraichères

Cette activité est très modeste sur toute la zone d'étude. Destinée à l'autoconsommation, elle ne représente qu'un pourcentage faible (1,2 %).

Les cultures maraichères occupent les secteurs irrigués situés dans les vallées à proximité des oueds d'âge quaternaire continental (planche 4, annexe II). Les espèces maraichères saisonnières exigeant des travaux de sarclage (pomme de terre, tomate, artichaut, oignons,... etc.) sont pratiquées en rotation avec la jachère. La couverture par ces cultures protège efficacement le sol, car les agriculteurs utilisent certaines techniques antiérosives (planche 5, annexe II).

1.3.6.3- Les terrains nus

Les terrains rocheux, les terres nues (parcours) et les bad-lands: ravinements généralisés, ravinements intenses (champs enclavés entre des ravins partiellement cultivés), se localisent exclusivement sur des marnes vert-clair et des marnes brunes se situant au droit du barrage Es-Saada (sur la rive gauche de l'oued Haddad et celle droite de l'oued Mina).

1.4- Cadre socio-économique

L'homme par des pratiques inadaptées sur les versants à terres fragiles, est le facteur principal conditionnant l'intensité de l'érosion. Les défrichements qu'il opère sur les forêts et les parcours naturels, le surpâturage, la mise en culture sans précaution des terres susceptibles à l'érosion en pente, les labours mécanisés dans le sens des grandes pentes et la non restitution au sol de ses éléments nutritifs enlevés par les cultures facilitent

le ruissellement et par conséquent l'érosion et ses effets indésirables pour l'environnement, le sol et l'économie locale.

L'érosion hydrique des sols résulte de l'interaction entre les facteurs statiques et ceux dynamiques. Les facteurs statiques sont reliés à la vulnérabilité des terrains qui est une caractéristique propre du milieu dépendante de la nature du terrain et indépendante des facteurs dynamiques. Ces derniers sont les agents de pression qui peuvent être naturels ou humains.

1.4.1- Présentation du milieu rural

La zone d'étude, occupant un territoire de 74 689 hectares, est administrativement étendue sur 10 communes réparties sur deux wilayas; Mascara au Sud-Ouest et Rélizane au Nord-est.

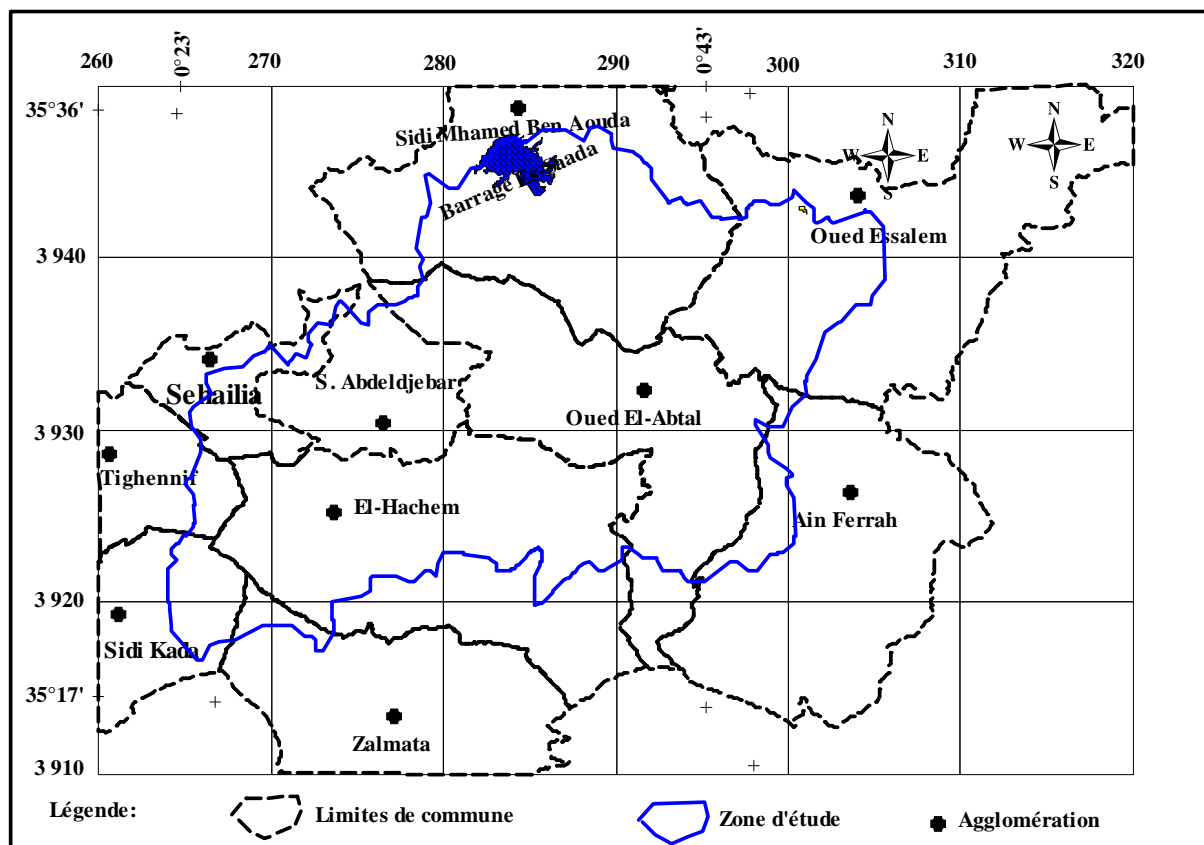


Figure 12 : Les communes de la zone d'étude

Cette zone connaît un grand mouvement de population, elle se vide d'année en année de ses habitants à cause de deux problèmes majeurs: l'un est la sévérité du climat et l'autre d'ordre sécuritaire, notamment durant la décennie: 1990-2000.

L'exode rural a fait perdre le contrôle des terres et par conséquent, a contribué d'une façon indirecte à la dégradation des sols qui restent livrés au surpâturage illicite sans présence des habitants locaux sauf El-Azaba.

Au plan de l'espace physique, ces communes sont réparties sur trois zones homogènes:

- au Nord, les monts des Béni-Chougrane forment une chaîne montagneuse continue dans laquelle, on trouve les douars de la commune de Sidi Mhamed Benaouda (Mesmoud, Es-Saadia et El-Ghlamnia) et ceux de la commune d'oued Essalem (Chaâchia, Ouled Hadj 1 et 2, ouled Smaine et Toumiat 1,2, et 3) (w. Rélizane), Sehailia, Sidi Abdeldjabar et oued El-Abtal (w. Mascara). Cette zone se caractérise par une pluviométrie inférieure à 231 mm/an et occupe une superficie de 47 095 hectares soit, 63% de la surface de la zone d'étude. La salinité des sols rend indispensable les travaux de drainage.

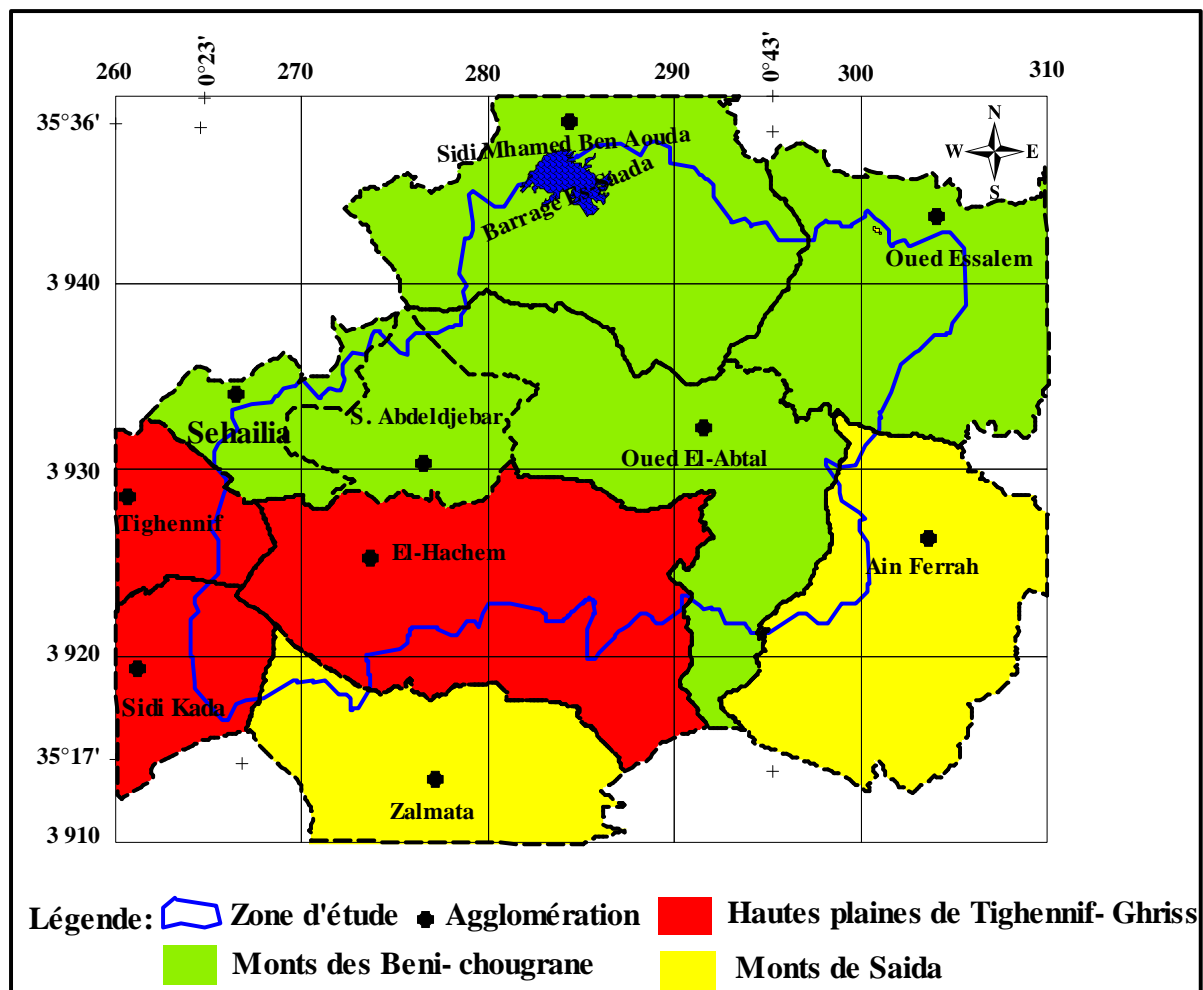


Figure 13 : Les zones homogènes

- au milieu, la haute plaine de Tighennif-Ghriss, où se situent les communes de Tighennif, Sidi Kada et El-Hachem. Ces communes s'étendent sur une surface de 22 243 hectares de la zone d'étude. Elle se caractérise par la richesse de son potentiel agricole.

Le climat est de type semi-aride, mais les précipitations sont plus élevées que pour la zone des Béni-Chougrane (320,4 mm /an à la station d'El-Hachem).

- au Sud, sur le versant Nord des monts de Saida se situent les communes de Zalmata et Ain Ferrah occupant une surface de 12 373 hectares soit 17% de la superficie de la zone d'étude. Cette partie se caractérise par des précipitations abondantes (346,2 mm/an à la station de Djilali Ben Amar).

1.4.2- Choix des communes dans la zone d'étude

Pour mieux cerner le facteur socio-économique vis-à-vis du phénomène d'érosion en nappe dans la zone des marnes tertiaires, il est apparu nécessaire de prendre en considération seulement les communes qui se trouvent à l'intérieur et à proximité de la zone d'étude.

1.4.3- Atouts et contraintes de développement de la zone d'étude

1.4.3.1- Atouts du développement

- grandes potentialités de développement hydro-agricoles favorisées par la disponibilité de ressources superficielles et par l'existence des plaines à fortes potentialités favorables au développement des cultures irriguées.

- un fort taux de surface agricole totale (SAT) estimé à 60,1 % et pouvant être porté à un niveau plus élevé si des actions de développement et d'équipement sont intégrées au profit des zones de montagnes et de piémonts.

- existence des terroirs naturels spécifiques, à réhabiliter et à développer (olives, agrumes, vignes de table et de cuve, maraîchage, oignons, pomme de terre, artichauts) pouvant couvrir une partie non négligeable du marché national et du marché extérieur.

- disponibilité des sites favorables à l'implantation de petits barrages.

- un potentiel forestier important, pouvant être rentabilisé à travers une exploitation rationnelle et disposant des perspectives de développement importantes.

- une position géographique stratégique, faisant de la zone d'étude un carrefour de l'ensemble de l'Ouest algérien en direction de l'ensemble des régions du pays favorisée par un maillage assez dense de différents réseaux routiers et ferroviaires (figure 14) reflétant immédiatement l'importance de son action socio-économique.

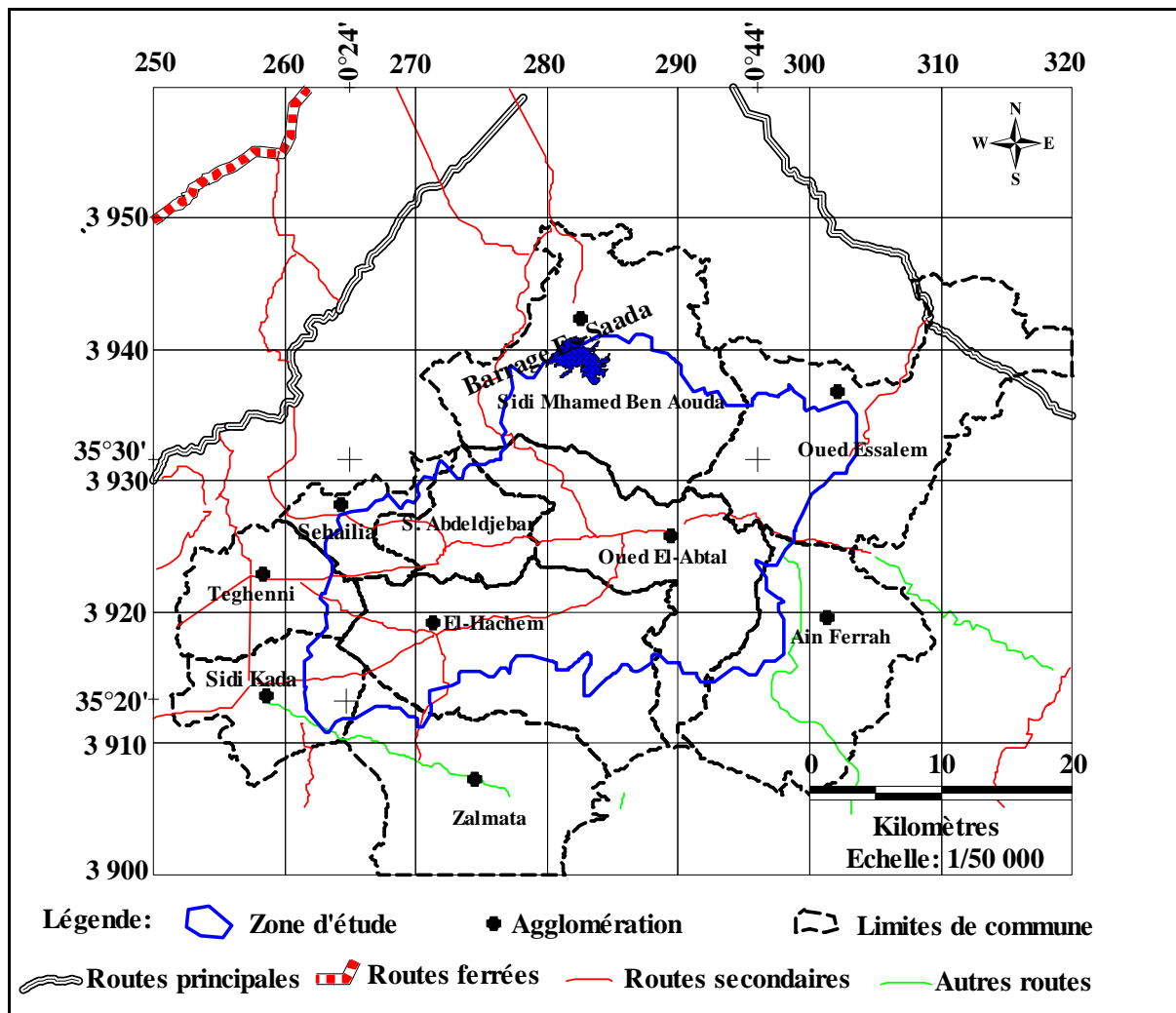


Figure 14 : Réseau routier

1.4.3.2- Contraintes de développement

La dynamique engagée se trouve confrontée à des contraintes majeures liées:

- au phénomène d'érosion chronique des sols particulièrement la chaîne montagneuse des Béni-Chougrane ayant entraîné la dégradation avancée du couvert végétal et par conséquent des potentialités pédologiques de la zone.
- au phénomène de sécheresse puisque la pluviométrie enregistrée sur les 37 dernières années n'atteint qu'une moyenne de 283 mm/an.
- au phénomène de salinité (remonté des sels) qui s'aggrave dans les terres agricoles.
- à l'envasement accéléré des barrages générant une diminution de leurs capacités de stockage.
- à la surexploitation des eaux souterraines aggravée par le phénomène de sécheresse. Cette dernière a eu pour effet le rabattement de la nappe de 32 mètres sur les 15 dernières

années provoquant des restrictions sur la mobilisation des eaux destinées à l'agriculture (Conservation des forêts de Mascara, 2008).

- à la saturation des périmètres urbanisables des principales agglomérations compromettant les actions de développement futur.

1.4.4- Contexte social

1.4.4.1- La population

Elle est estimée à 49 912 habitants selon l'Office National des Statistiques (ONS) (2008) répartie sur les douars et les communes de la zone d'étude.

Tableau 12: Répartition de la population (hab)

Commune	Population		Total	Surface de la commune (km ²)	Densité de la population (hab/km ²)	% population rurale/ population totale
	Urbaine	Rurale				
El-Hachem	12 405	4 440	16 845	178,9	94,2	26,4
Oued El-Abtal	15 772	4 427	20 199	180,2	112,1	21,9
Sehailia	1 687	3 001	4 688	25,4	184,5	64,0
S. Abdeldjebar	0,0	4 007	4 007	73,8	54,3	100
S.M.B.A	0,0	2 580	2 580	136,6	18,9	100
Oued Essalem	0,0	1 593	1 593	84,6	18,8	100
Total	29 853	20 059	49 912	679,6	73,4	40,2

Source: ONS d'Oran (2008)

Du tableau ci-dessus, on peut tirer les constatations suivantes:

- la zone d'étude a une densité moyenne de la population de 73,4 hab/km².
- la population des communes de Sidi Abdeldjebar, Sidi Mhamed Benaouda et oued Essalem, est exclusivement rurale (100%).
- pour les communes, oued El-Abtal, El-Hachem et Sehailia, la population rurale représente respectivement 21,9%, 26,4% et 64% de la population totale.

Sur le plan spatial, la zone d'étude présente une irrégularité dans la répartition de la population.

Les douars de la commune de Sidi Mhamed Benaouda et oued Essalem situés au Nord et à l'est de la zone d'étude ont une densité de 19 hab/km² environ. Leur activité agricole principale est la culture maraîchère.

Les communes de Sehailia, oued El-Abtal et El-Hachem dans les secteurs Sud et Ouest de la zone d'étude ont une densité élevée: 184,5 hab/km², 112,1 hab/km² et 94,2 hab/km²

respectivement. Ces secteurs reposent sur un sol à forte activité agricole. La topographie et le type du sol sont favorables aux cultures pérennes, maraichères et céréalières intensives.

1.4.4.2- Les effectifs animaux

L'espace pastoral s'amenuise suite au surpâturage. La diminution accrue de la couverture végétale laisse donc, des surfaces de sol importantes non protégées, et par la suite, plus exposées aux effets érosifs de la pluie et du ruissellement.

L'élevage dans la zone d'étude concerne principalement les ovins, les bovins et les caprins.

Tableau 13: Le Cheptel selon la campagne: 2007-2008

Communes	Terrains à usage agropastorale	Ovins (têtes)	Caprins (têtes)	Bovins (têtes)	Total (têtes)	%Ovins	%Caprins	%Bovins	Effectif ovins/100 ha	Effectif caprins/100 ha	Effectif bovins/100 ha	Effectif total/100 ha	Par secteur têtes/100 ha
El-Hachem	7 945	17 980	1 040	1 192	20 212	89,0	5,1	5,9	226	13	15	254	853
Oued El-Abtal	5 867	8 480	3 560	401	12 441	68,2	28,6	3,2	145	61	7	212	
Sehailia	503	12 039	1 256	281	13 576	88,7	9,3	2,1	2 393	250	56	2 699	
S. Abdeldjebar	6 086	12 426	2 228	322	14 976	83,0	14,9	2,2	204	37	5	246	
S.M.B.A.	10 244	6 350	712	250	7 312	86,8	9,7	3,4	62	7	2	71	66
Oued Essalem	6 774	3 221	698	201	4 120	78,2	16,9	4,9	48	10	3	61	
Total	37 419	60 496	9 494	2 647	72 637	83,3	13,1	3,6	162	25	7	194	459

Source: DSA de Mascara et DSA de Rélizane (2008)

Les ovins prédominent et représentent 83,3% de l'effectif global avec 60 496 têtes. L'élevage caprins vient en seconde position 13,1% soit: 9 494 têtes. L'effectif des bovins reste faible avec 2 647 têtes (3,6% de l'effectif global).

Dans la zone d'étude, il y a une spécialisation des zones agro-écologiques en matière d'élevage. Si on projette ces effectifs en unité de surface des terres à usage agropastoral: les terrains rocheux, les jachères, les matorrals, les steppes, les terres enclavées entre les ravins et abandonnées par les agriculteurs constituant des zones de pâturage, on trouvera dans 100 hectares:

- 162 têtes d'ovins.
- 25 têtes de caprins.
- 7 têtes de bovins.

Au total, 100 hectares supportent 194 têtes (ovines, caprines et bovines).

L'élevage reste cantonné dans le secteur Sud-Ouest et centre (Sehalia, El-Hchem, Sidi Abdeldjebar et oued El-Abtal) et atteint une moyenne de 853 têtes/ 100 hectares, tandis que, le secteur Nord-Est (Sidi Mhamed Benaouda et oued Essalem) a une faible moyenne en effectif animal soit 66 têtes/ 100 hectares. Cette situation agropastorale s'étend sur 9 mois, dès les premières gouttes de pluie et l'apparition d'un paysage automnal formé par un tapis végétal à base d'adventices (*Calendula arvensis* et crucifères) (planche 9, annexe II), jusqu'à la fin de la saison de la récolte céréalière fin de juillet. A partir du dernier mois, les chaumes et les aliments d'appoint (paille et orge) sont les seules sources d'alimentation. Les ravins, les oueds et les terrains marneux à fortes pentes sont utilisés pour le déplacement du bétail. Le phénomène de dessèchement des particules de sol est actif. Les températures estivales dépassent 38 °C et atteignent parfois un maximum journalier supérieur à 40 °C pendant plusieurs jours successifs. Les piétinements des parois favorisent les éboulements marneux (planches 10, annexe II).

1.5- Conclusion

L'étude physique et socio-économique menée sur la zone des marnes tertiaires révèle les observations suivantes:

- la pluviométrie moyenne interannuelle est estimée à 283 mm/an et présente une irrégularité dans le temps et dans l'espace. En effet, sur les 37 ans d'observation 13 ans sont humides et 24 ans sont secs.
- le coefficient d'abattement K_i montre que le secteur situé à l'Est est plus arrosé que celui situé à l'Ouest de la zone.
- l'indice de Desfontaines calculé sur 16 ans montre que le mois d'avril présente une plus forte érosivité des pluies.
- la zone des marnes tertiaires appartient à un étage bioclimatique de végétation semi-aride avec un hiver doux.
- la valeur de l'indice xérothermique obtenue ($I = 0,35$) correspond au développement de certaines espèces méditerranéennes rencontrées dans cette zone.
- une intensification de la céréaliculture sur des sommets à sols profonds et sur des versants à faible pente laisse le sol protégé pendant une période printanière contre l'érosion en nappe.

- une réduction de la surface occupée par des cultures pérennes, cultures maraichères et forêts, ainsi qu'une proportion importante des terres nues sont exposées à l'érosion hydrique en particulier l'érosion en nappe.
- l'insécurité et la sévérité du climat aboutissent à un exode rural flagrant, et par conséquent, une négligence des parcours de pâturage qui, par la suite, sont livrés au surpâturage illicite par El-Azaba.

Deuxième chapitre

Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique

Chapitre II : Aperçu bibliographique sur l'érosion hydrique

2.1- Introduction

L'érosion des sols par l'eau est un phénomène complexe qui résulte de divers processus (détachement, transport et dépôt) causé par l'action en général combinée de la pluie et du ruissellement et dont l'expression varie en fonction de la résistance du milieu (le sol, la topographie, le couvert végétal et les techniques culturales).

2.2- L'érosion hydrique: Origine et mécanismes

2.2.1- Le détachement

2.2.1.1- L'humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies

Les quatre processus qui peuvent être identifiés comme responsables de la désagrégation sont:

a- L'éclatement

Il se produit lorsque des agrégats secs sont immergés dans l'eau ou rapidement réhumectés (Emerson, 1967). Les sols argileux sont moins sujets à l'éclatement (Le Bissonnais, 1990).

Ce mécanisme produit des particules de taille $< 500 \mu\text{m}$. Un éclatement partiel peut intervenir lorsque les agrégats sont partiellement saturés ou que la vitesse d'humectation est lente. Dans ce cas, les particules produites sont plus grossières (Cerdan, 2001).

b- Le gonflement différentiel

Les phénomènes de gonflement-retrait qui interviennent lors des cycles d'humectation-dessiccation des sols argileux entraînent une microfissuration des agrégats (Le Bissonnais, 1990) et contribuent donc, à réduire leur diamètre moyen.

c- La dispersion physico-chimique

Cette dispersion est surtout liée à la présence de Na, alors que Ca, Mg et Fe favorisent plutôt la stabilité (Armand, 2009). La dispersion est le mécanisme de désagrégation le plus efficace, car il concerne les particules élémentaires et l'effet catalyseur sur les autres mécanismes (Bresson et Boiffin, 1990).

Le critère le plus important pour apprécier la résistance des sols à l'érosion est la stabilité structurale. Cette résistance reflète leur comportement à l'humectation lorsqu'ils sont soumis à l'impact des gouttes de pluie. La stabilité structurale est influencée par de nombreuses

caractéristiques des sols, dont les plus souvent évoqués sont la texture, la teneur en matière organique, la minéralogie des argiles, les cations et les oxydes de Fe, Al et le CaCO₃ (Bronick et Lal, 2005).

Parmi ces caractéristiques, trois ont un rôle prédominant. La première est le taux Na, on considère qu'à partir de 10 % de la CEC, les sols sont très sensibles à la dispersion, mais celle-ci peut intervenir dès 2 % (Kazman *et al.*, 1983). Le second est la teneur en oxydes et hydroxydes de Fe et Al. Ces derniers peuvent agir comme flocculants, en établissant des ponts entre argiles et polymères ou comme ciments après avoir précipité sous forme de gel sur les surfaces des argiles (Cerdan, 2001). La cohésion qui en résulte augmente la résistance à l'éclatement et à la désagrégation mécanique. Leurs effets dépendent du pH des sols, mais ils peuvent induire dans certains cas des agrégats très résistants (Amezketta *et al.*, 1996). Dans le cas général, c'est le plus souvent la matière organique qui est le paramètre déterminant la stabilité structurale (Hofstetter, 2008).

L'état hydrique et le mode d'assemblage des agrégats ont aussi une influence déterminante sur les processus de désagrégation. Attou *et al.* (1998) ont montré les rôles respectifs de la teneur en argile et du mode d'assemblage argile-limon sur la stabilité structurale d'agrégats.

d- La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie

L'énergie cinétique des gouttes n'est plus absorbée mais transformée en une force de cisaillement qui provoque le détachement et l'effet splash (Al-Durrah et Bradford, 1982). Les particules détachées par les gouttes sont généralement < 100 µm (Farres, 1987).



Planche 1: Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau «effet de splash» (Le Bissonnais *et al.*, 2002)

2.2.1.2- Le ruissellement

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît, soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement "Hortonien"), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par "saturation").

Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux.

Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace pouvant donner naissance à une érosion diffuse et /ou une érosion linéaire.

2.2.2- Le transport des particules et la formation des croûtes de battance

A la désagrégation et au déplacement par splash s'ajoutent des processus de réorganisation structurale par illuviation, par effondrement, par compactage sous l'impact des gouttes et de la succion exercée par la couche de subsurface et par sédimentation dans les microdépressions. Ces processus conduisent à la fermeture de la surface du sol et à la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance. La conséquence majeure est la réduction de la capacité d'infiltration à la surface du sol. Les fragments et les particules de dimension $< 100 \mu\text{m}$ réduisent la taille des pores présents à la surface du sol (Loch, 1994).

La question de l'infiltration dans les sols sensibles à la battance a été abordée presque uniquement dans le cas de surfaces planes et homogènes latéralement (Aboujaoudé *et al.*, 1991). Cependant, sur le terrain, on observe une variabilité importante en épaisseur et en conductivité hydraulique des croûtes à une échelle de quelques centimètres. Les croûtes sédimentaires se trouvent dans les dépressions et les croûtes structurales sur les reliefs. Cette variabilité spatiale influence le taux d'infiltration quand l'épaisseur de la lame d'eau à la surface augmente et qu'elle submerge des croûtes à conductivité hydraulique plus importante (Fox *et al.*, 1998). Le rôle des croûtes sédimentaires est donc accru pour les écoulements de faibles profondeurs.

2.2.3- La sédimentation (dépôt)

Roose (1991) a noté que, les particules arrachées du sol se déposent entre le lieu d'origine et l'aval en fonction de:

- leur dimension.

- leur densité.
- la capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau.

Elles se déposent dans l'ordre suivant:

- sable.
- sable fin.
- limon.

Les argiles et l'humus colloïdaux sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où il se dépose soit après évaporation de l'eau, soit après floculation (planche 11, annexe II).

Dans une étude de conservation des sols en zones méditerranéennes, Roose, (1991) a montré que, les sédiments qui envasent les barrages ne proviennent que pour une faible part des versants, l'analyse géomorphologique des formes d'érosion permet de prévoir les risques d'érosion des terrains:

- érosion en nappe = 1 t/ha/an.
- érosion en rigole = 10 t/ha/an.
- érosion en ravine = 100 t/ha/an.
- glissement de terrain = 1 000 t/ha/an.
- sapement des berges = 10 000 t/ha/an.

2.3- L'érosion en nappe «Sheet erosion»

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface, autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre.



Planche 2: L'érosion en nappe se manifeste en plein paysage
(Le Bissonnais *et al.*, 2002)

Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés. La remontée des cailloux en surface par les outils de travail du sol est un autre symptôme de l'érosion en nappe.

2.3.1- Méthode de quantification et de prévision des taux d'érosion hydrique

La formule empirique de calcul des taux d'érosion, la plus largement admise et utilisée aux Etats Unis dernièrement un peu partout dans le monde est celle de Wischmeier et Smith (1965) qui a été éditée une seconde fois en 1978 (Laflen et Moldenhauer, 2003). Ce modèle est plus connu par les initiales de son appellation en anglais USLE (Universal Soil Loss Equation).

2.3.1.1- Développements qui ont mené à l'USLE

Meyer (1984) a résumé l'évolution de l'USLE en distinguant plusieurs périodes. La première période (1890-1940) est caractérisée par la compréhension et la description, de manière qualitative, de la plupart des facteurs qui affectent l'érosion. On retrouve les études sur la pluie de Laws (1940) et les analyses de l'impact des gouttes de pluie rapportées par Ellison (1944, 1947). Pendant la période 1940-1954, le travail dans la « Corn Belt » des Etats-Unis a abouti à une procédure d'estimation des pertes en terre qui incorporait l'influence de la longueur et de l'intensité de la pente (Zingg, 1940), des pratiques de conservation (Smith et Whitt, 1947) et des pratiques culturales (Browning *et al.*, 1947). A partir de 1954, l'USLE a été développée par le département américain de l'agriculture (USDA).

Des études sur des petites parcelles sous pluies naturelles et simulées ont formé la base de données de l'USLE. Jusqu'au 1978, des résultats expérimentaux ont fourni des données supplémentaires pour, finalement, donner la forme définitive de l'USLE (Wischmeier et Smith, 1978).

2.3.1.2- Le principe du modèle

L'équation de perte en sol s'exprime par la formule suivante:

$$A = R. K. LS. C. P$$

Où : A : est le taux annuel de perte en sol en t/ha.

R : est le facteur de l'érosivité des pluies, il est exprimé en Mj.mm /ha.H.

K : est l'érodibilité des sols, il est exprimé en t. H/Mj.mm.

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

C et P: sont des facteurs sans dimension qui représentent respectivement l'effet de la couverture végétale et le rapport qui tient compte des techniques culturales antiérosives.

A l'origine, l'USLE était présentée en unité anglaise. La parcelle unitaire (c'est à dire où les facteurs LS, C et P sont égaux à 1) est définie comme un sol travaillé dans le sens de la plus grande pente avec une pente uniforme de 9 %. L'équation a été dérivée d'une très large base de données sur des parcelles de 22,13 m de long pour la plupart. Les observations majoritairement produites sous pluie naturelle couvrent une large gamme de situation (type de sol, pratique culturale et climat) représentative de l'est des Etats-Unis.

Les études plus récentes sur les processus de l'érosion ont notamment mis en avant la variabilité spatiale et temporelle des paramètres d'érodibilité. Pour pouvoir prendre en compte cette variabilité, les recherches en modélisation se sont tournées vers une approche plus déterministe basée sur la description des processus physiques au travers de modèles mathématiques.

2.3.1.3- Utilisation de l'USLE et ses objectifs dans le monde

L'équation universelle de perte en terre a été utilisée avec plus ou moins de succès surtout avec le développement de Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les possibilités de la cartographie et du calcul rapide qu'ils offrent.

Certains auteurs ont utilisé l'équation simplement pour quantifier l'érosion et d'autres ont adapté l'USLE pour résoudre des problématiques plus précises (Stauffer, 1994 in Sadiki, 2005) en Suisse par exemple, pour la problématique de l'exportation du phosphore.

2.3.1.4- Limites et intérêts de l'USLE

a- Limites

La plus importante critique émise à l'encontre à l'USLE a trait au type d'érosion qu'elle quantifie. Tous les auteurs disent qu'elle n'est pas applicable pour estimer les durées de vie des retenues de barrage car elle sous-estime les taux d'érosion: elle ne s'applique qu'à l'érosion par ruissellement en nappe et ne prend pas en compte l'érosion par l'écoulement concentré qui peut être particulièrement intense. Elle peut aussi surestimer l'érosion car elle ne tient pas compte des redistributions de particules (dépôt temporaire de versant ou fluviales qui peuvent être considérables et durer plusieurs milliers d'années) (Sogon, 1999 in Sadiki, 2005).

Pour Auzet *et al.*, 1995, le rôle de la pente ne peut être ramené à un critère simplificateur de l'inclinaison et de la longueur de pente car l'écoulement peut emprunter les moindres

micro-dépressions et sa vitesse et son énergie de détachement des particules serait variable dans l'espace.

Roose (1994) critique l'utilisation abusive de l'USLE dans des conditions autres que celles où elle a été élaborée. L'USLE a été élaborée dans des paysages de pénéplaines sur des pentes de moins de 20% où c'est surtout l'énergie cinétique des gouttes de pluies qui fait détacher les particules alors qu'en montagne sur des pentes supérieures à 40 % le ruissellement est une source d'énergie plus grande que la pluie.

b- Intérêts

L'équation de Wischmeier est très utilisée, à cause de sa relative simplicité et sa fiabilité (Desmet et Govers, 1996). Pour diminuer l'érosion A, une action peut être menée pour réduire:

- l'indice d'érodibilité K, en améliorant la structure et la perméabilité.
- le facteur C, en faisant en sorte que le sol soit couvert pendant les périodes de fortes pluies.
- le facteur P, en préconisant des cultures en courbes de niveau, ou en bandes alternées.

C'est seulement lorsqu'on aura épuisé ces trois possibilités de lutte qu'il sera nécessaire d'agir sur les facteurs de pente, par des travaux antiérosifs appropriés.

2.3.2- Les facteurs de l'équation universelle de pertes en sol

2.3.2.1- L'agressivité climatique: Facteur R

Wischmeier et Smith (1978) ont montré par le traitement statistique des résultats que l'érosion en nappe ou en rigoles est proportionnelle à l'agressivité des pluies. La valeur du facteur R est proportionnelle à deux caractéristiques de la pluie:

- l'énergie cinétique responsable du détachement des particules du sol sous le choc des gouttes de pluie **Ec**.
- l'intensité maximale des pluies en 30 minutes qui exprime l'effet du ruissellement **I₃₀**.

Le facteur R s'exprime par la relation:

$$\mathbf{R = Ec I_{30} / 100}$$

En Algérie, le calcul du facteur R par la méthode directe de Wischmeier et Smith ne peut s'appliquer que dans certaines régions qui sont équipées par un pluviographe qui enregistre instantanément les pluies. L'application de cette méthode a été faite pour la première fois dans

le constantinois par Sarab (1978) cité par Touaibia (2000), puis dans la station de l'INRF à Ouzera dans le Tell Blidéen (Arabi et Roose, 1989).

Dans le bassin versant de l'oued Mina, Kouri (1993) a calculé les différents indices d'érosivité des pluies; l'indice de Fournier (1960) et l'indice d'Arnoldus (1980), afin de comparer l'érosivité des pluies entre les différentes stations pluviométriques dans l'ensemble de la zone marneuse d'une part, et de déterminer les mois qui ont un risque d'érosion en utilisant l'indice de Desfontaines modifié (1968) d'autre part. Touaibia *et al.* (2001) ont appliqué cette méthode mais sur une très courte période (2 ans).

Dans le bassin versant de la Tafna à Tlemcen, cette méthode a été préconisée par Mazour et Roose (2002) sur des parcelles expérimentales.

La majorité des stations n'enregistrent que la moyenne mensuelle, annuelle ou bien journalière dans quelques stations, mais il y'a toujours des lacunes.

A l'échelle de l'Afrique occidentale et centrale, les travaux de Roose (1975 à 1981 in Zekri, 2003) compilation et analyse de 20 à 50 années de mesures ont abouti à la proposition des relations empiriques simples, liant l'indice R_{am} (agressivité annuelle moyenne) à la hauteur de pluie annuelle moyenne (H_{am}) mesurée sur la même période (5 à 10 ans sont nécessaires au minimum).

Les relations suivantes sont adoptées:

$$R_{am} = 0,50.H_{am} \pm 0,05$$

En fonction des régions étudiées, on distingue:

$$R_{am} = 0,35.H_{am} \pm 0,05, \text{ en région montagneuse.}$$

$$R_{am} = 0,60.H_{am} \pm 0,05, \text{ sur la frange côtière.}$$

$$R_{am} = 0,50.H_{am} \pm 0,05, \text{ pour les autres zones.}$$

A l'instar de ces formules empiriques et pour calculer le facteur R dans le bassin versant de la Tafna au Nord-Ouest de l'Algérie (Tlemcen), Zekri (2003) a établi les relations en fonction de l'altitude:

$$R_{ann} = 0,15 P_{ann} \pm 0,05 \text{ en zone montagneuse } (> 600m).$$

$$R_{ann} = 0,08 P_{ann} \pm 0,05 \text{ sur la frange côtière } (0 \text{ à } 400m).$$

$$R_{ann} = 0,10 P_{ann} \pm 0,05 \text{ pour les autres zones } (400 \text{ à } 600m).$$

Dans les Philippines ce facteur a été aussi estimé à partir du cumul annuel des précipitations par une formule empirique, en utilisant les données de 41 stations météorologiques où:

$$R = -10.551 + 10.259 X + 0.214 X^2$$

Où: X: cumul annuel des pluies en centimètres (D'Ortoli et Maurer, 2000 in Zekri, 2003).

Au Maroc, certains auteurs ont développé des formules alternatives qui se basent sur les données disponibles pour déterminer l'agressivité climatique. Fournier (1960) in Heusch (1970) a constaté qu'il existe une relation de type parabolique entre l'érosion spécifique globale et le facteur de l'agressivité climatique qu'il appelle C. Ce facteur est défini par la formule suivante:

$$C = P_i^2 / P$$

Où: P_i^2 : précipitations moyennes du mois le plus humide.

P : précipitations annuelles.

Kalman (1967) a travaillé sur le bassin de Sebou et a observé une corrélation linéaire entre le logarithme du produit $P \cdot p_{24}^2$, et a mis au point la formule suivante:

$$R = 143 \cdot \log (P \cdot p_{24}^2 \cdot 10^{-6}) + 89,7$$

Où: R : valeur moyenne de l'agressivité climatique en pied-tonne/acre.mm/1000heures.

P : moyenne des précipitations annuelles (mm/an).

p_{24} : moyennes des pluies maximales en 24 heures dans la période considérée (mm/jour).

Pour avoir R en Newton /heure, on multiplie par 0,6706.

Rango et Arnoldus, en 1987 ont modifié la formule d'Arnoldus (1980) qui est devenue:

$$\text{Log}R = 1,74 \cdot \text{Log} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1,29$$

R : agressivité climatique en Mj.mm/ha.H. P_i : précipitations moyennes mensuelles (mm) et P: précipitations annuelles (mm).

La majorité des auteurs qui ont utilisé le modèle de Wischmeier et Smith pour la quantification de l'érosion dans des zones semi-arides au Maroc ont adopté, pour le calcul du facteur de l'agressivité climatique, R, l'équation de Rango et Arnoldus (1987). Citons entre autres Benmoussa *et al.* (1993); Daghmoumi (1994); Diallo (2000); Al-Karkouri (2003); Sadiki (2005) et Sadiki *et al.* (2009).

2.3.2.2- L'érodibilité du sol: Facteur K

Le terme «érodibilité des sols» est différent du terme «érosion du sol». L'érosion du sol dans l'équation de Wischmeier est influencée par différents facteurs externes alors que l'érodibilité correspond au taux d'érosion due seulement aux propriétés inhérentes au sol lui-même (Sadiki, 2005). Certains sols s'érodent plus facilement que d'autres même si les autres facteurs de l'érosion sont constants (Wischmeier et Smith, 1978).

Le facteur qui témoigne de la cohésion et de la résistance des sols vis-à-vis de la mobilisation des particules du sol et leur dispersion provoquée par l'impact des gouttes de pluie et par le ruissellement, on l'appelle K. Il reflète la vulnérabilité et la susceptibilité d'un sol à l'érosion. Il est le taux d'érosion déterminé expérimentalement sous des conditions standards sous lesquelles des milliers de mesures des taux d'érosion ont été effectués aux Etats Unis et qui ont permis à Wischmeier et Smith de développer leur modèle. Les auteurs qui l'ont déterminé initialement aux Etats Unis ont fait en sorte que tous les facteurs qui contrôlent l'érosion soient égaux à 1 (LS, C et P) sauf l'agressivité climatique R.

Quand ces conditions sont réunies, l'expression de K devient:

$$K = A/R$$

K est calculé à partir de la charge solide des eaux de ruissellement recueilli à l'exutoire A et du facteur d'agressivité climatique R.

Pour Wischmeier et Smith (1978), les paramètres qui agissent sur l'érodibilité des sols sont:

- le pourcentage des limons + sables fins (2µm à 100 µm).
- le pourcentage d'argile (0 à 2µ).
- le pourcentage de la matière organique.
- la structure du sol.
- la perméabilité du sol.

La relation existante entre ces différents paramètres est:

$$100K = 2,1M^{1.14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5(c - 3)$$

Où: M = (% sable fin + limon) (100 - % argile).

a = % matière organique.

b = code de la perméabilité.

c = code de la structure.

Les valeurs de la perméabilité (b) et de la structure (c) sont exprimées en chiffres entiers naturels correspondants à des codes (tableaux 14 et 15).

Wischmeier *et al.* (1971) ont établi un nomographe qui facilite l'évaluation du facteur K (figure 4, annexe I).

En Tunisie, Dumas (1964) a trouvé une corrélation significative du facteur K avec les proportions de graviers et cailloux à la surface du sol. Il a envisagé un ajustement linéaire du facteur K trouvé pour tenir compte de l'influence des pourcentages des éléments supérieurs de 2 mm.

La présence des fragments de roches > 2 mm entraînent une surestimation du taux d'érosion (Merzouk, 1990 in Sadiki *et al.*, 2009). Il explique ce fait par le rôle de mulch (litière) que jouent ces fragments en interceptant les gouttes de pluie et inhibant l'effet « splash » et en s'opposant au ruissellement et diminuant son énergie.

En 1998 des chercheurs de l'USDA ont mis au point une formule qui corrige le facteur K en tenant compte des proportions des éléments grossiers à la surface du sol, cette formule est:

$$K_{\text{ajusté}} = K (0,983 - 0,0189 X + 0,0000973 X^2)$$

Où: X = pourcentage des éléments grossiers > 2 mm.

Selon la classification française, la sensibilité des sols à l'érosion hydrique est liée à l'érodibilité des sols (Dumas, 1964):

$K \leq 0,05$	sol très peu érodible.
$0,05 < K \leq 0,10$	sol faiblement érodible.
$0,10 < K \leq 0,20$	sol moyennement érodible.
$0,20 < K \leq 0,40$	sol fortement érodible.
$0,40 < K \leq 0,60$	sol très fortement érodible.

2.3.2.3- La topographie: Facteur LS

Le facteur topographique, dans la formule empirique de Wischmeier *et al.* (1971), implique les effets combinés du degré de la pente (S), de sa longueur (L) et de la forme des versants sur le taux d'érosion.

a- Degré de la pente: L'indice S

La pente influence l'érosion de deux manières: d'abord au moment de la percussion des gouttes de pluie sur le sol; les particules éjectées retombent sur le sol après un bond plus

long vers l'aval de la pente que vers l'amont (Roose, 1994), ensuite par l'énergie qu'elle communique aux eaux de ruissellement. Cette énergie est utilisée pour l'arrachement et le transport des particules du sol (Heusch, 1970).

Dans les expérimentations de Wischmeier, le taux de perte en terre augmente avec le degré de la pente. Le facteur S de Wischmeier est évalué par l'équation la plus utilisée après leur transformation en unité métrique:

$$S = 0,065 + 0,045\theta + 0,0065\theta^2$$

Où: θ : angle de pente en %.

b- Longueur de la pente: L'indice L

La longueur de la pente peut être définie comme la distance du point d'origine du ruissellement jusqu'au point où la diminution du degré de la pente marque le début de la sédimentation. Elle est mesurée selon la projection horizontale et non d'une façon parallèle à la surface du sol (Wischmeier et Smith, 1978). Selon les expériences de Wischmeier, le taux d'érosion augmente avec la longueur de pente. L'accumulation et l'accélération du ruissellement sur les plus longues pentes augmentent sa capacité au détachement et au transport des particules. Les données des parcelles expérimentales utilisées pour déduire l'effet des longueurs de pente ont montré que le taux d'érosion pour une longueur de pente λ varie selon la formule:

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

Où: λ : longueur de pente en mètre.

$m = 0,5$ si la pente $> 5\%$.

$m = 0,4$ si la pente est de $3,5$ à $4,5\%$.

$m = 0,3$ si la pente est de 1 à 3% .

$m = 0,2$ si la pente est $< 1\%$.

Grâce à plusieurs expérimentations sur des parcelles de pentes variant de 3 à 18% et de longueur de $9,15$ à $91,5$ m, Wischmeier et Smith ont établi comme facteur topographique le produit du facteur pente (S) pour une inclinaison de pente θ et du facteur longueur de pente (L) pour une longueur λ . La formule est la suivante:

$$LS = (\lambda/22,13)^m \cdot (0,065 + 0,045\theta + 0,0065\theta^2)$$

Pour la simplification de la détermination du facteur LS, Wischmeier *et al.* (1971) ont construit des tableaux et des abaques (tableaux 6 et 7 et figure 5, annexe II), qui permettent de

lire la valeur du facteur LS lorsqu'on connaît l'angle de la pente et la longueur de pente, mais pour des inclinaisons et des longueurs de pentes spécifiques.

2.3.2.4- Le couvert végétal: Facteur C

La végétation joue un rôle important dans la protection des sols contre l'érosion hydrique. Son action comme frein à l'érosion s'observe à différents niveaux:

- les feuilles et les branches interceptent les gouttes de pluie et atténuent leur énergie cinétique. Ce qui a pour effet de diminuer l'effet «splash» et d'annuler ou de retarder la formation de la croûte de battance.
- les racines, en fixant le sol, s'opposent au détachement des particules et à leur entraînement par les eaux du ruissellement et augmentent la porosité du sol en favorisant l'infiltration au détriment du ruissellement.
- la végétation agit aussi en fournissant la matière organique au sol. Cette matière organique évolue en humus qui favorise la structuration et la cohésion des particules et diminue l'érodibilité du sol.

Le facteur C reflète l'effet de la couverture végétale. C'est un rapport entre l'érosion sur sol nu et sur sol couvert par différents types de végétation. Il varie entre 1 sur sol nu et 1/1 000 sous une forêt touffue de feuillus. L'importance de ce facteur est grande puisque si on considère les autres facteurs comme constants, l'érosion est 1000 fois supérieure sur un terrain nu par rapport à un terrain bien protégé (Sadiki, 2005).

2.3.2.5- Les pratiques antiérosives: Facteur P

Les pratiques antiérosives sur des surfaces de sols cultivés sont les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage en courbes de niveau. Ces pratiques sont les plus efficaces dans la conservation des sols (Roose, 1977).

Le facteur P chiffre ces pratiques par des valeurs qui vont de 1 pour les sols où il n'y a aucune pratique antiérosive et de 1/10 pour un sol en pente faible où l'on pratique un billonnage cloisonné.

Le labour en courbes de niveau oriente la rugosité du sol perpendiculairement à la pente de telle sorte à ralentir le ruissellement. Le facteur P diminue jusqu'à 0.5 pour des pentes de 1 à 8%. Il augmente progressivement et tend vers 1 pour des pentes supérieures à 25%. Le billonnage en courbes de niveau est deux fois plus efficace que le labour en courbes de niveau (Sadiki, 2005).

Les cultures en bandes alternées isolées par des bandes d'arrêt enherbées peuvent réduire le ruissellement par l'infiltration plus importante des sols de bandes non cultivés. Cependant cette pratique est valable sous un climat tempéré ou la végétation herbacée des bandes non cultivées est dense et entrave le ruissellement.

2.4- Conclusion

Les travaux effectués par Touaibia *et al.* (2001); Mazour et Roose (2002); Morsli *et al.* (2007) et Kouri (2010) dans l'Ouest de l'Algérie, ont donné des résultats de pertes de terres à l'échelle des parcelles expérimentales non extrapolables à grande échelle.

De ce fait, la deuxième partie de notre travail consiste à spatialiser le modèle USLE sur notre zone d'étude. Les pertes en sol seront calculées par un traitement au moyen de System d'Information Géographique de différents facteurs du modèle précité.

Deuxième partie

**Evaluation des risques d'érosion au moyen
du Système d'Information Géographique**

Troisième chapitre
Méthode adoptée

Chapitre III- Méthode adoptée**3.1- Introduction**

L'application du modèle universel des pertes en sol dans la zone d'étude nécessite le calcul des différents facteurs de l'équation universelle sur toute la superficie en les représentant sous forme de cartes thématiques (l'agressivité climatique R, l'érodibilité des sols K, l'inclinaison et la longueur de pente LS, le couvert végétal C et les pratiques antiérosives P). L'intégration de ces cartes dans le Système d'Information Géographique SIG permet de les superposer et d'évaluer le taux d'érosion en appliquant la formule de Wischmeier et Smith (1978).

3.2- Matériel et Méthodes

Compte tenu du but poursuivi visant à cartographier le risque d'érosion dans la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina, on devra rassembler toutes les données dont on a besoin (pluviométrie, cartes topographiques et géologiques, fichier MNT de la zone d'étude, images satellitaires complétées par des visites de terrain, analyses descriptives et physico-chimiques du sol au laboratoire).

3.2.1- Matériel**3.2.1.1- Données pluviométriques**

Les moyennes pluviométriques mensuelles et interannuelles (en mm) utilisées concernent onze stations pluviométriques réparties à l'intérieur et à proximité de la zone d'étude. La formule de Rango et Arnoldus (1987) a été adoptée pour calculer R sur une période d'observation de 37 ans (1969/70 – 2005/2006).

3.2.1.2- Cartes utilisées

Les cartes utilisées ont été élaborées par des auteurs qui ont travaillé sur le bassin versant de l'oued Mina (Kouri, 1993 et Gomer, 1994) ainsi que, celles de TECSULT (2006). Ces cartes sont obtenues par des coupures au $1/50\ 000^{\text{ème}}$ des cartes d'Etat major d'Oued El-Abtal, Djilali Ben Amar et Rahouia (Kouri, 1993) couvrant toute la zone marneuse du bassin versant de l'oued Mina.

3.2.1.3- Fichier MNT

Le Modèle Numérique de Terrain, dont on dispose est un produit de la mission Aster GDEM Worldwide Elevation Data. Il a été téléchargé à partir du site web: <http://e0srp01u.ocs.nasa.gov/srtm/>.

Le MNT qui couvre notre zone d'étude présente les caractéristiques géographiques suivantes:

- données en Path/Row (p192/r044).
- résolution: 30 mètres.
- projection: UTM zone 31, hémisphère nord.
- ellipsoïde: WGS84 (horizontalement) WGS84 EGM96 geoid (verticalement).
- unité d'élévations: mètre.
- format du fichier: Geotiff (*.tif).

La figure ci-après montre un extrait du MNT30 utilisé.

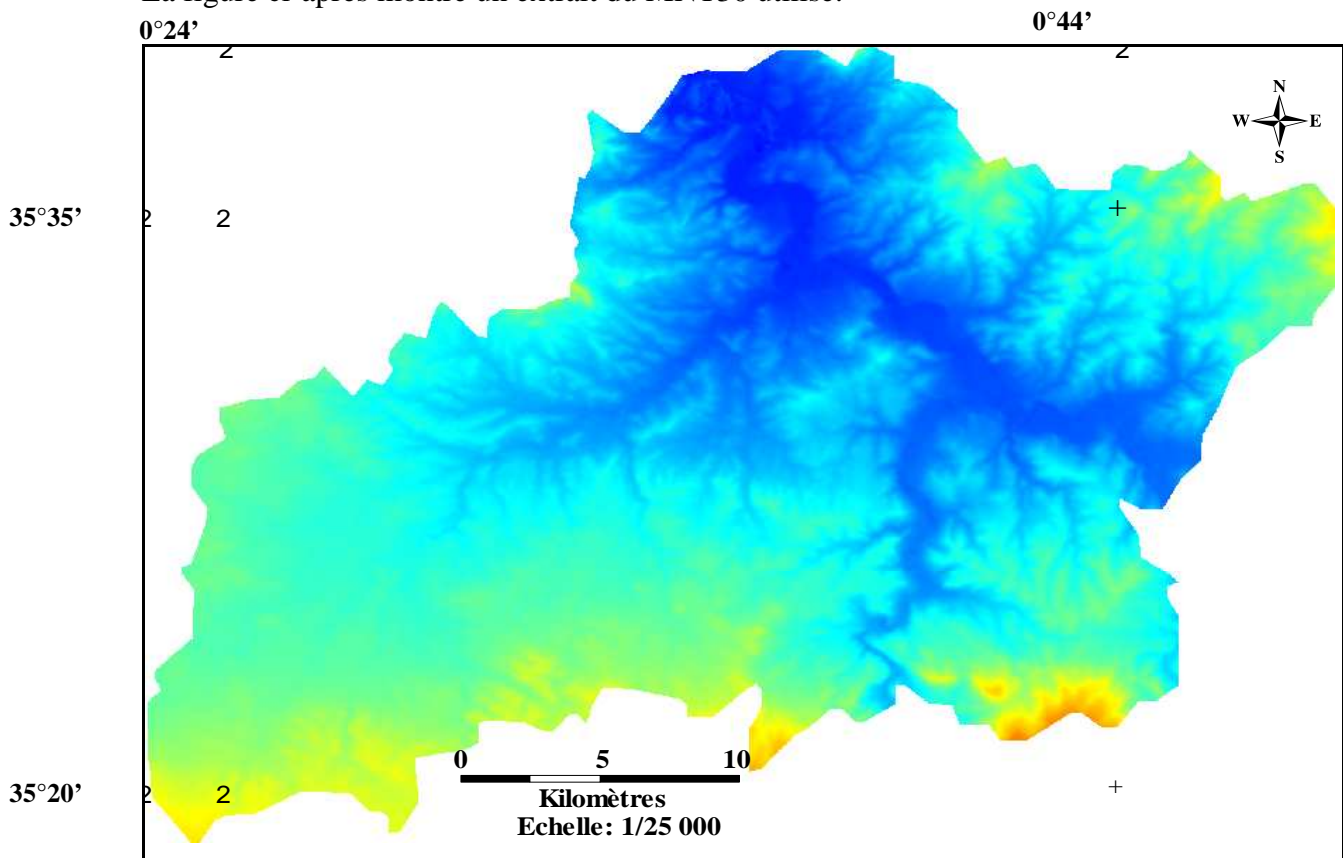


Figure 15 : Modèle numérique du terrain (MNT30m) de la zone d'étude

3.2.1.4- Images satellitaires (mai, 2007)

La télédétection offre une méthode sûre et efficace dans la collecte de l'information. Elle peut fournir l'information sur la végétation, l'infrastructure, l'eau, le sol nu ou couvert ainsi que, l'identification des types de sol. A cet effet, l'acquisition des données de l'occupation du sol se fait par l'exploitation de l'image satellitaire LANDSAT ETM+. Elle est téléchargée à partir du site web: <http://www.usgs.gov/pubprod/>.

3.2.1.5- Supports de travail

L'acquisition des données se fera par numérisation des cartes disponibles relatives à notre étude (Projection: UTM Zone 31, Northern Hemisphere (WGS 84)). Ces dernières nécessitent un traitement pour la réalisation des différentes couches d'information en les rendant exploitables en format numérique.

a- MapInfo Professionnel 10.0 : C'est un outil du Système d'Information Géographique qui sert à créer, traiter et à cartographier l'information géographique. Il compile, assemble et croise des données thématiques professionnelles avec des données génériques vecteurs ou raster (Barbier, 2002). Après avoir scannerisé les cartes d'Etat major précitées sur support papier, on est passé à l'étape de géoréférencement de ces fichiers à l'aide du logiciel MapInfo Professionnel 10.0. La technique permet de définir le système de projection et les points de calage afin de positionner chaque point dans le fichier raster. La rasterisation permet d'élaborer différents thèmes pour donner une caractérisation claire des milieux de la zone étudiée.

Les thèmes obtenus sous le logiciel MapInfo Professionnel 10.0 sont:

- carte stratigraphique.
- carte lithologique.
- carte des prélèvements des échantillons
- carte des stations pluviométriques.
- carte de l'occupation du sol.
- carte des pratiques antiérosives.

b- Vertical Mapper 3.0: C'est un logiciel complémentaire important de MapInfo. Les principaux apports de Vertical Mapper concernent la mise à disposition de nouvelles techniques d'analyse des informations localisées qui varient de manière continue dans l'espace; la capacité de comparaison et d'analyse sur de multiples couches de données; et des visualisations originales. Outre, les types de données connues sous MapInfo que sont les points, les polygones et les polylignes, Vertical Mapper introduit un nouveau type le Grid-file mieux adapté pour représenter des données qui varient de manière continue dans l'espace comme l'ensoleillement, la pollution, la température ou l'altitude (Barbier, 2002).

Les thèmes obtenus sous le Vertical Mapper sont:

- la carte de l'agressivité climatique.
- la carte des pentes, carte des longueurs de pentes et la carte topographique.

- la carte des pertes en sol.

c- River Tools 2.4: C'est un logiciel de traitement et d'analyse de Modèles Numériques de Terrains (MNT). Son interface flexible et facile à utiliser permet l'importation rapide des différents types de MNT et des données relatives aux réseaux hydrographiques. De plus, il inclut également le puissant langage de développement IDL (*interactif Data Language*) qui permet d'étendre ses fonctionnalités ou de créer ses propres routines. RiverTools import les MNT et nous conduit à l'extraction des réseaux hydrographique et des limites de bassins versants ainsi, d'effectuer différents types de mesures. Son menu général, construit de manière logique, nous guide aux différentes étapes de traitements des MNT.

3.2.2- Méthodes

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour une connaissance spatialisée des facteurs de différenciation de l'érosion et sur l'usage du SIG pour des opérations d'analyse et de modélisation des processus d'érosion.

3.2.2.1- L'agressivité climatique: Facteur R

La formule de Rango et Arnoldus (1987) a été utilisée pour calculer le facteur R et ceci pour plusieurs raisons:

- la méthode de Rango et Arnoldus (1987) est basée sur des données pluviométriques simples et faciles à collecter (les moyennes mensuelles et les cumuls interannuels).
- elle est utilisée largement pour cartographier des zones sensibles à l'érosion hydrique dans la rive sud de la Méditerranée (voir chapitre II, facteur de l'agressivité climatique: R).
- elle donne des résultats encourageants dans les régions de Rif oriental et central du Maroc (Sadiki, 2005 et Sadiki *et al.*, 2009). Ces régions montagneuses semblent avoir les mêmes caractéristiques pédologiques, climatiques et socio-économiques que notre zone d'étude.

Pour extrapoler les valeurs du facteur R à l'ensemble du bassin versant, des lignes de même agressivité climatique (isoerodent) ont été tracées selon le principe des isohyètes de Thiessen entre les stations pluviométriques.

Les valeurs du facteur R dans la zone d'étude sont à utiliser avec prudence car leur répartition est liée à la distribution des précipitations mensuelles selon le principe de Thiessen qui ne tient compte que de l'éloignement des stations et ne prend pas en considération l'effet des reliefs, de l'exposition des versants et du régime des précipitations qui peuvent être très violentes mais aussi très localisées dans le temps et dans l'espace.

3.2.2.2- L'érodibilité du sol: Facteur K

3.2.2.2.1- Démarche de l'échantillonnage

L'échantillonnage est l'ensemble des opérations qui ont pour objet de prélever dans un endroit précis des échantillons représentatifs, afin de découvrir un phénomène ou un comportement des éléments qui le constituent.

La spatialisation du facteur d'érodibilité du sol K, nécessite une carte des sols. Pour cela, notre étude s'est effectuée en deux étapes:

- dans le bureau, où nous avons déterminé sur la carte lithologique les différents types de sols et de marnes, en tenant compte des coordonnées géographiques de chaque type (onze types de marnes et de sols).
- sur le terrain et à l'aide de GPS, nous avons prélevé trente trois (33) échantillons couvrant presque la totalité de la zone d'étude en faisant trois échantillons pour chaque type de marnes et de sols (superficiellement) dans des endroits différents, tout en tenant compte de la stratigraphie. Les analyses ont été effectuées au laboratoire de sciences du sol de l'H.C.D.S. (Djelfa).

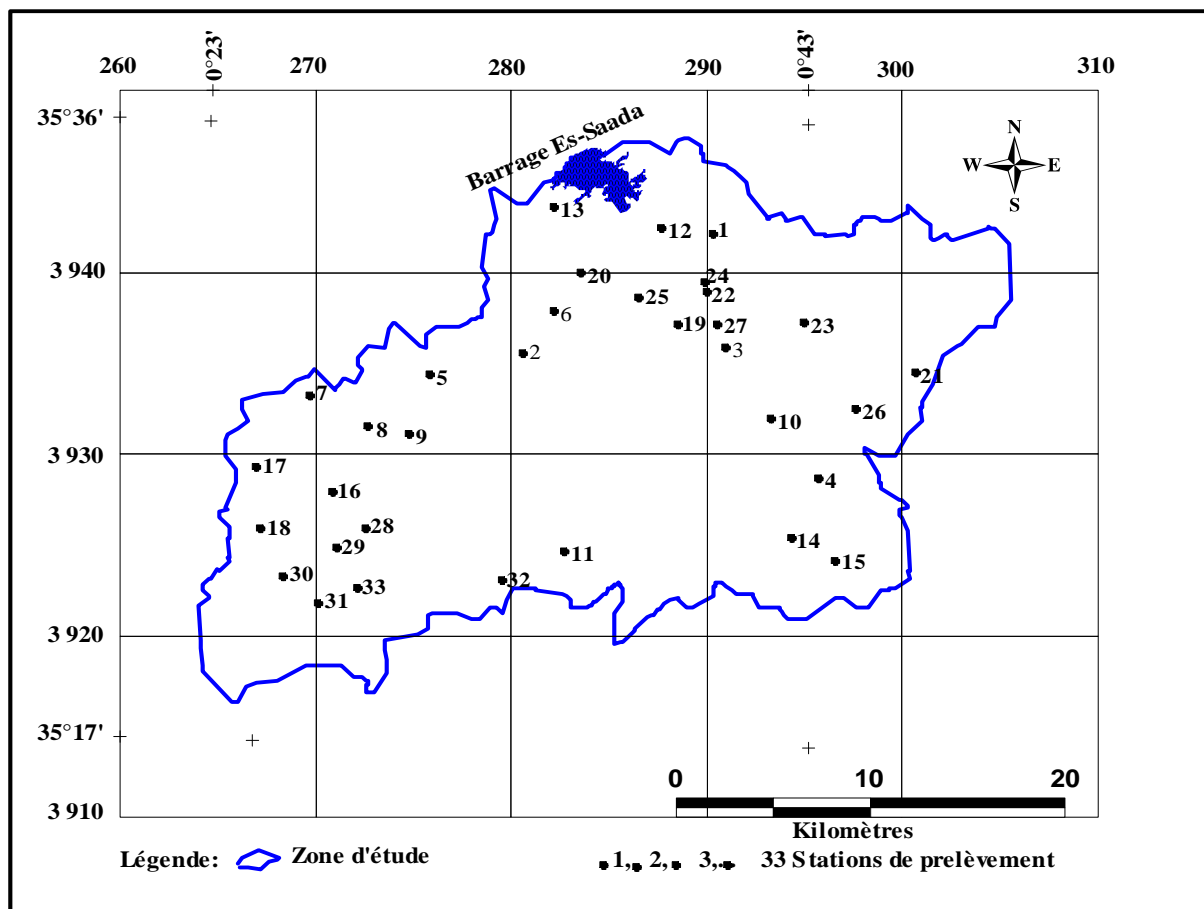


Figure 16 : Localisation des prélèvements des échantillons

3.2.2.2.2- Mode opératoire

a- La structure

Les principales causes de l'instabilité structurale sont d'une part, la texture du sol (la texture limoneuse présente des risques d'érosion diffuse si elle contient moins de 15% d'argile) et d'autre part, la diminution du taux de matière organique à des teneurs inférieures à 2% ou 3% qui va provoquer une diminution de la stabilité des agrégats à l'eau (Le Villio *et al.*, 2001 in Muriel, 2007). La structure est déterminée de visu en se basant sur le dimensionnement et la forme des agrégats. Si la classe de structure est granulaire très fine et grumeleuse très fine (diamètre < 1 mm), on lui attribue le code 1, si la classe de structure est lamellaire, prismatique, colonnaire, polyédrique et granulaire très grossier, on lui attribue le code 4 (tableau 14).

Tableau 14: Codes des classes de structure (d'après: FAO, 1977)

Code	Classe de structure
1	Granulaire très fine et grumeleuse très fine (< 1 mm)
2	Granulaire fine et grumeleuse fine (1 à 2 mm)
3	Granulaire moyenne à grossier (5 à 10 mm) et grumeleux moyen
4	Lamellaire, prismatique, colonnaire, polyédrique et granulaire très grossier

b- La perméabilité

La méthode consiste à mesurer le coefficient de perméabilité (K) de la formule de Darcy sur 50 g d'échantillon de sol séché à l'air, tamisé avec précaution à 2 mm, placé dans un tube cylindrique de 7 cm² de section et soumis à une charge constante de 35 cm d'eau (planche 3). Soit V, le volume d'eau recueilli au bout de la première heure de percolation, le coefficient K est donné par la formule:

$$K = (C.V)/(H.S) \text{ en cm/h}$$

C : hauteur en cm de la colonne de terre.

V : volume en ml de l'eau recueillie pendant une heure.

H : hauteur en cm de la charge d'eau.

S : section intérieure du tube en cm².



Planche 3: Dispositif de mesure de la perméabilité sur échantillon remanié (d'après Guy, 1978)

Tableau 15 : Codes des classes de perméabilité

Code	Classe de perméabilité	Valeur réelle
1	Drainage rapide	> 60 mm/h
2	Drainage modéré à rapide	20 – 60 mm/h
3	Drainage modéré	5 – 20 mm/h
4	Drainage lent à modéré	2 – 5 mm/h
5	Drainage lent	1 – 2 mm/h
6	Drainage très lent	< 1 mm/h

Source: Sadiki (2005)

c- La granulométrie

C'est la détermination des différentes classes de particules minérales identifiées par leur taille. L'échelle utilisée est celle d'Atterberg qui donne les classes suivantes:

- argile: 0 à 2 μm .
 - limon fin: 2 à 20 μm .
 - limon grossier: 20 à 50 μm .
 - sable fin: 50 à 200 μm .
 - sable grossier: 200 à 2000 μm .
 - gravier: > 2 mm.
- } éléments fins.

L'analyse granulométrique est une méthode physique ayant pour but de quantifier les particules minérales élémentaires cristallines groupées en classe et de définir la composition granulométrique des sols.

Cette méthode est basée sur la loi de Stokes. Pour une température donnée, la vitesse de sédimentation (V) est proportionnelle au carré du rayon de la particule. Elle permet de déterminer l'argile et les limons fins et grossiers.

En ce qui concerne le sable fin et le sable grossier, on opère par tamisage (Baise, 1988).

d- La matière organique (MO)

On a déterminé le taux de matière organique selon la formule suivante:

$$MO(\%) = (M_1 - M_2) \cdot 100 / M_1$$

M₁: la masse d'échantillon du sol séché à l'étuve 105°C.

M₂: la masse d'échantillon après calcination.

e- La texture

Elle est déterminée suite aux analyses granulométriques de marne et de sol. Les valeurs obtenues (en %) sont intégrées directement dans le logiciel du triangle textural qui a été téléchargé à partir du site internet: triangle-fox-fr (Fox et al., 2008). Ce triangle est le plus utilisé pour les sols de la région méditerranéenne (figure 17).

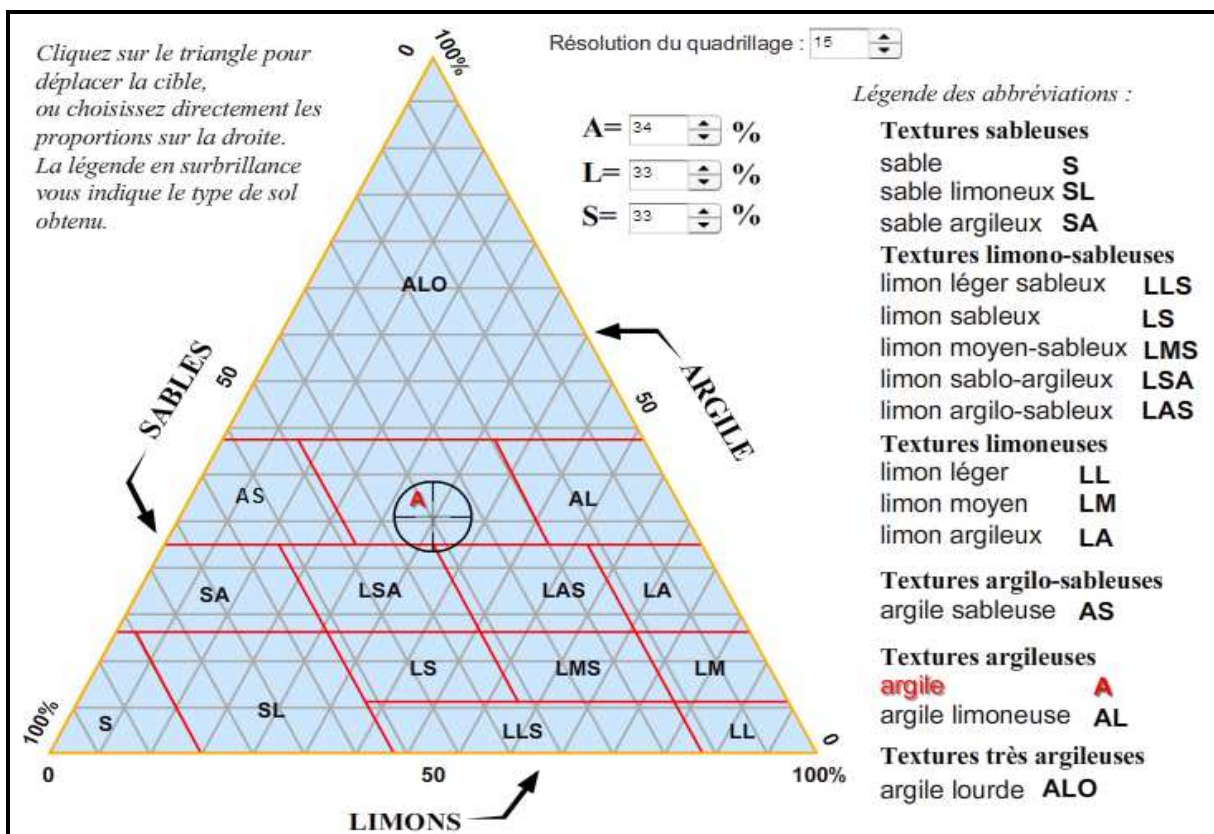


Figure 17: Méthode de détermination de la texture des sols

f- La sensibilité à la battance (l'indice de battance: IB)

La battance est la destruction des agrégats à la surface de certains sols sous l'impact des gouttes de pluie conduisant à la formation d'une mince croûte (0,5 à 5 mm) à structure litée, plus ou moins continue (Moyès, 2003). Cette croûte fait obstacle à l'infiltration de l'eau

dans le sol. Il en résulte la formation de flaques d'eau et souvent, du ruissellement; stade initial de l'érosion hydrique.

Les indices de battance sont calculés pour tous les sols au moyen de la formule adoptée par Douay et Lardieg (2010).

$$IB = [1,5. LF + 0,75. LG] / [A + 5. MO]$$

Où: IB : indice de battance.

LF : fractions de limons fins (%).

LG: fractions de limons grossiers (%).

A : fractions d'argile (%).

MO: taux de matière organique (%).

L'appréciation qualitative découle des valeurs prises par l'indice de battance, selon le tableau 16.

Les cinq classes de valeurs de l'indice de battance retenues par Douay et Lardieg (2010) sont utilisées.

Tableau 16: Classes de battance des sols

Classes	Indice de battance (IB)	Vulnérabilité
4	IB > 1,3	Très élevée
3	1,3 > IB > 1,2	Elevée
2	1,2 > IB > 1,1	Modérée
1	1,1 > IB > 1	Faible
0	IB < 1	Très faible

g- La stabilité structurale (l'indice: Is)

Saidi *et al.* (1999) dans une étude de sensibilité de la surface des sols des plaines du Chélif à la dégradation structurale montrent que, la meilleure méthode pour calculer l'indice de la stabilité structurale dans cette région est celle de Le Bissonais (1988, 1996) et Emerson (1967). Cet indice est défini par la formule suivante:

$$Is = (\% \text{ des particules } < 100 \mu\text{m}) / (\% \text{ d'agrégats } > 100 \mu\text{m})$$

Hénin *et al.* (1958) a donné un intervalle pour les valeurs de la stabilité structurale. Cet intervalle varie de 0,1 à 100. Les valeurs de 0,1 expriment une très bonne stabilité structurale, alors que, la très mauvaise stabilité structurale atteint une valeur de 100.

3.2.2.3- La topographie: Facteur LS

A partir du MNT30 de la zone d'étude (figure 15) et l'aide de Vertical Mapper nous avons obtenu la carte des longueurs de pentes (carte A) et celle des degrés de pente (carte B). Cartes dans lesquelles nous avons regroupé les valeurs en cinq classes.

La carte de LS est obtenue par la superposition des deux cartes (longueurs de pentes L et celle des degrés de pentes S) en appliquant la formule de Wischemeier et Smith (1978).

3.2.2.4- L'occupation du sol: Facteur C

Au nord-ouest de l'Algérie, malgré quelques travaux réalisés, parmi lesquels ceux Touaibia *et al.* (2001) et Mazour et Roose (2002), on constate toujours une absence des valeurs expérimentales du facteur C pour les différents types de formations végétales dans ce territoire.

Pour déterminer les valeurs du facteur C, on s'est donc basé sur:

- l'indice de recouvrement de la culture maraichère obtenue par Touaibia *et al.* (2001) dans la zone d'étude.
- les indices de recouvrement qui ont été attribués aux différentes plantations forestières et pérennes dans le bassin versant de Sahla (Rif central, Maroc) (Sadiki *et al.*, 2009) ainsi que, ceux du bassin versant de l'oued Boussouab (nord oriental, Maroc) (Sadiki, 2005) (tableau 17).
- l'indice obtenu expérimentalement en Tunisie par Cormary et Masson (1963) pour la céréaliculture.
- la méthode de Wischmeier et Smith (1978) (tableau 18) afin de déterminer l'indice de recouvrement de la végétation naturelle.

Tableau 17 : Différents indices de recouvrement de végétations forestières et pérennes

Région	Type de végétation	Indice de recouvrement (C)
Bassin versant de l'oued Sahla (Rif central, Maroc) (Sadiki, 2005)	Matorral clair arboré	0,29
	Cultures pérennes	0,32
	Matorral clair	0,34
	Reboisement très clair	0,37
Bassin versant de l'oued Boussouab (Nord oriental, Maroc) (Sadiki <i>et al.</i> , 2009)	Reboisement dense	0,13

Tableau 18 : Méthode de détermination de l'indice C pour pâturage permanent et terrains non cultivés (d'après Wischmeier et Smith, 1978)

Couvert végétal type et hauteur*	Indice de recouvrement (%)**	Type***	Recouvrement basal (% de la couverture herbacée et résidus végétales)					
			0	20	40	60	80	95 et +
Recouvrement non appréciable		G	0.45	0.20	0.10	0.042	0.003	0.003
		W	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
Hautes herbes ou basses broussaille Hauteur moyenne	25	G	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
		W	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011
	50	G	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
		W	0.26	0.16	0.11	0.076	0.039	0.01
	75	G	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
		W	0.17	0.12	0.09	0.068	0.038	0.011
Broussaille appréciable hauteur moyenne 2 m	25	G	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		W	0.40	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011
	50	G	0.34	0.16	0.08	0.038	0.012	0.003
		W	0.34	0.19	0.13	0.082	0.041	0.011
	75	G	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
		W	0.28	0.17	0.12	0.078	0.040	0.011
Arbres (broussaille non appréciable) Hauteur moyenne	25	G	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
		W	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
	50	G	0.39	0.18	0.09	0.04	0.013	0.003
		W	0.39	0.21	0.14	0.087	0.042	0.011
	75	G	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003
		W	0.36	0.20	0.13	0.084	0.041	0.011

* : la hauteur du couvert végétal, mesurée comme la moyenne de hauteur de chute des gouttes de pluies.

** : indice impliquant la hauteur du végétal et la densité, portion de la surface de sol recouvert par la végétation vue à partir d'une position verticale.

*** : G: couverture du sol par les plantes herbacées ou par les résidus de végétaux (litière).

W: surface pratiquement couverte par des herbacés à feuilles larges.

3.2.2.5- Les pratiques antiérosives: Facteur P

Dans la zone d'étude, la plus part des sols sont nus et définissent donc, une faible capacité de rétention en favorisant un ruissellement très rapide qui doit être considéré lors de l'évaluation d'un problème dû à l'érosion hydrique. En effet, les particules fines et la matière organique peuvent facilement être emportées lors de l'éclaboussement des gouttes de pluie et par le ruissellement des gouttes de pluies plus fortes (dissipant plus d'énergie) et un grand ruissellement seront nécessaires pour déplacer les plus grosses particules.

Les résultats des travaux de Roose (1977) en Amérique et en Afrique de l'ouest (tableau 19) ont été pris en considération pour déterminer les différentes valeurs de l'indice des pratiques antiérosives dans la zone d'étude.

Tableau 19 : Le facteur des pratiques antiérosives en Amérique et en Afrique de l'ouest (Roose, 1977)

Pratiques antiérosives	P
En Amérique	
Labour isohypse	0,75
Labour et billonnage isohypse	0,50
En Afrique de l'ouest	
Billonnage cloisonné	0,20 à 0,10
Bandes antiérosives de 2 à 4 m de large	0,30 à 0,10
Prairie temporaire ou plantes de couvertures	0,50 à 0,10

3.2.2.6- Le croisement des cartes thématiques

L'intégration de ces cartes dans le Système d'Information Géographique MapInfo 10.0 se fait par numérisation. Le croisement des cartes après leur transformation «données vectorielles» en format «Grid Raster» se fait par le module «Grid Calculator» du Vertical Mapper en appliquant des équations mathématiques du modèle de Wischmeier & Smith (1978), selon l'organigramme méthodologique (figure 18).

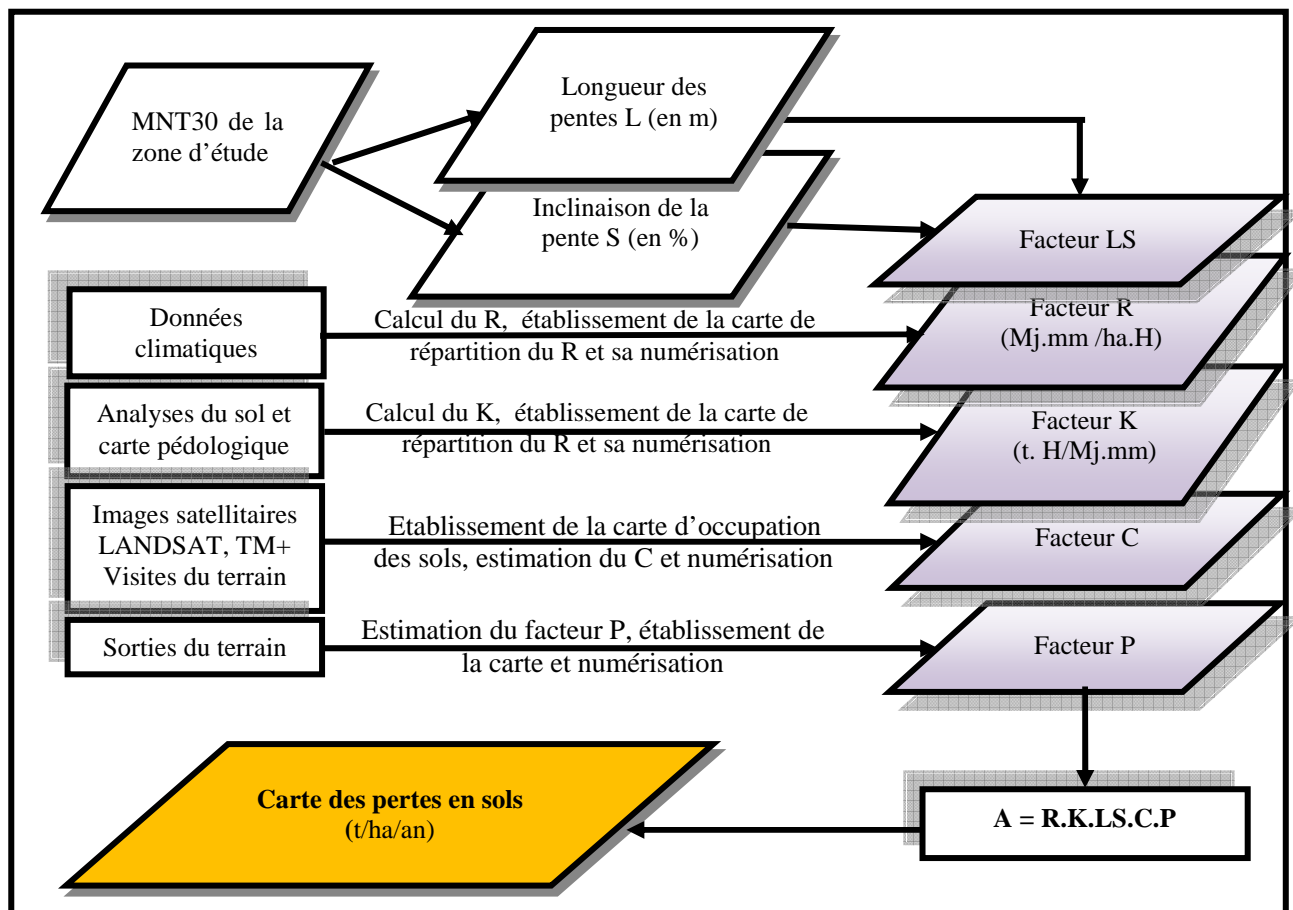


Figure 18 : Approche méthodologique de l'étude

Quatrième chapitre

Résultats et discussions

Chapitre IV: Résultats et discussions

4.1- Répartition spatiale des différents facteurs de l'USLE dans la zone d'étude

4.1.1- L'agressivité climatique (R)

Tableau 20: L'agressivité climatique R (Mj.mm/ha.H)

Stat.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.	Moy.	R
1	16,8	25,1	29,9	27,9	26,0	32,5	31,0	26,5	21,7	3,8	1,1	6,0	248,1	42,82
2	10,7	45,7	36,7	43,4	42,3	46,3	51,7	33,3	26,7	7,9	3,3	4,4	352,7	58,59
3	29,9	42,7	55,4	74,9	66,7	59,1	40,7	60,2	44,5	8,0	4,2	11,0	497,2	73,90
4	15,4	28,2	29,6	40,2	61,2	64,5	44,6	38,1	13,4	6,5	0,7	4,1	346,2	62,97
5	25,5	24,1	22,9	23,2	23,8	30,6	32,5	25,3	22,2	5,9	5,3	6,3	247,6	40,84
6	18,0	40,6	35,2	38,2	31,3	37,3	46,9	27,5	22,3	6,4	1,6	4,9	310,2	52,23
7	12,7	26,2	34,2	24,2	22,6	32,3	30,2	23,0	18,7	2,6	1,4	3,2	231,3	42,35
8	13,4	37,4	32,8	38,1	37,2	42,9	50,1	31,2	24,8	7,0	3,5	2,2	320,4	54,30
9	15,8	20,0	34,7	26,7	29,0	28,5	24,2	26,6	19,8	2,0	1,9	1,9	231,2	42,13
10	18,6	36,6	45,3	48,7	46,3	40,1	34,7	37,4	25,8	7,5	1,9	3,0	345,9	56,94
11	22,0	27,0	59,0	41,0	55,4	47,5	48,9	40,6	37,9	7,0	4,0	19,0	409,3	62,32

Les valeurs de R dans la zone marneuse de l'oued Mina varient entre 40,84 enregistrées à la station de Takhmaret au Sud (station n° 5) et 73,90 Mj.mm/ha.H à la station de Mechra Sfa (station n° 3) à l'Est de cette zone.

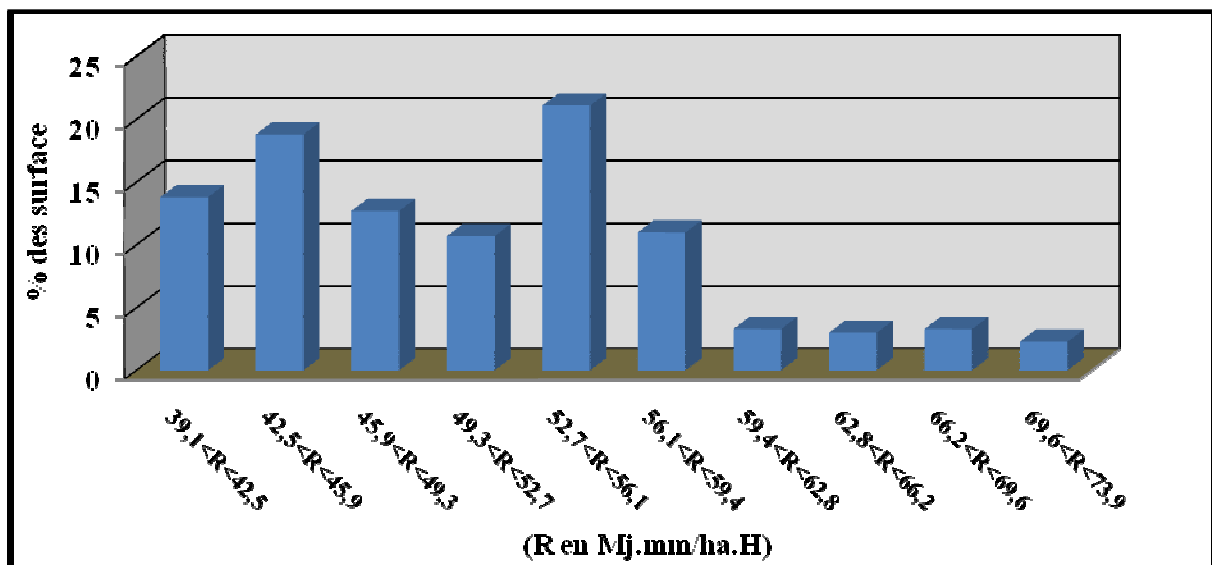


Figure 19: Distribution des valeurs de l'agressivité climatique par classe

De la figure 19, presque 88,1% de la superficie de la zone étudiée a subi au cours de la période considérée une agressivité climatique variant de 40 à 60 Mj.mm/ha.H, alors que 11,9% de la surface totale a subi une agressivité relativement forte.

Tableau 21: Valeurs du facteur R dans d'autres bassins versants

Pays	Région	Bassin	P (mm)	R	Méthode	Auteur
Algérie	Tlemcen	Tafna	255-515	21,9-39,8	Roose (1975)	Zekri (2003)
	Rélizane	Mina	325-375	43-61	Wischemeier & Smith (1978)	Gomer (1994)
	Tlemcen	Isser	321-555	36,1-80		Mazour (1992)
Maroc	Nord-Est	Tlata	381	56,3	Rango & Arnoldus (1987)	El-Garouani <i>et al.</i> 2008
	Nord oriental	Boussouab	187-336	38-56		Sadiki (2005)

(*) Ces différentes méthodes sont citées dans le chapitre II

Comparativement aux valeurs estimées pour des bassins versants voisins (tableau 21), nous constatons que, celles que nous avons trouvées dans notre zone d'étude ne présentent aucune différence remarquable malgré que les méthodes de calcul préconisées soient différentes d'un auteur à l'autre.

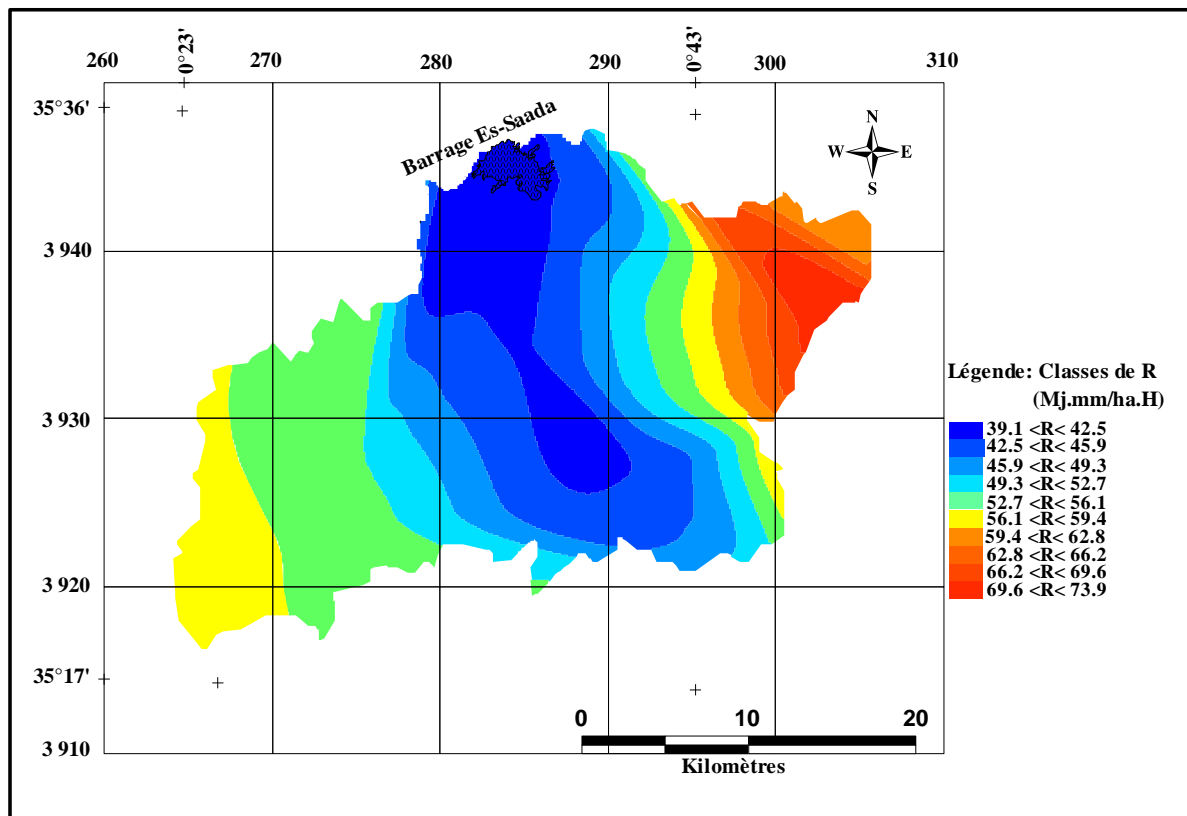


Figure 20: Distribution des classes de l'indice R calculé d'après la formule de Rango et Arnoldus

Le calcul de R par la formule de Rango et Arnoldus (1987) a donné des valeurs variant entre 40,84 et 73,90 Mj.mm/ha.H de l'Ouest vers l'Est de la zone d'étude.

4.1.2- L'érodibilité du sol (K)

Le résultat des analyses physico-chimiques et descriptives de constituants du sol est résumé dans le tableau 22.

Tableau 22 : Evaluation des facteurs K et K_{ajusté} des altérites de marnes tertiaires

Les types de marnes et de sols	n° de station de prélèvement	% Argile	% limons + sables fins	% Gravier	% MO	Code de structure	Code de perméabilité	K	K ajusté	K ajusté moyen	Grille d'érodibilité			
		0 - 2µm	2-100µm	> 2mm										
Marnes vert-clair	1	34	56,3	2,6	2,1	4	6	0,40	0,37	0,36	fortement érodible			
	2	36	56,4	2,5	3,1			0,37	0,34					
	3	39,7	54,4	1,1	2,0			0,37	0,36					
Marnes vert-clair armées de grés	4	35,5	53	7	2,2	4	6	0,37	0,32	0,34		fortement érodible		
	5	32,6	54,4	8,2	1,8			0,40	0,34					
	6	31,2	53	5,4	1,9			0,40	0,35					
Marnes vert-clair armées de calcaire	7	38	46,6	9,1	2,3	4	6	0,33	0,27	0,32			fortement érodible	
	8	34,8	53,8	4,7	2,5			0,37	0,34					
	9	39,2	53,2	3	2,0			0,37	0,34					
Marnes brunes	10	46,3	45,9	0,7	2,7	4	3	0,20	0,20	0,21				fortement érodible
	11	40,7	53	0,9	3,3			0,23	0,23					
	12	42,1	47,9	0,6	3,0			0,22	0,21					
Marnes brunes armées de grés bruns	13	46,7	42	2	3,3	4	3	0,18	0,17	0,21	fortement érodible			
	14	40,6	49	1,7	2,4			0,24	0,23					
	15	39,3	48,3	3,8	1,9			0,25	0,23					
Marnes brunes armées de calcaire	16	41,3	49,8	5,2	2,9	4	3	0,23	0,20	0,21		fortement érodible		
	17	37	50,4	3,6	2,0			0,26	0,24					
	18	36,7	45,9	6,8	2,6			0,23	0,20					
Marnes bleues compactes et calcaires	19	47	30	5,2	2,5	4	5	0,21	0,19	0,18			moyennement érodible	
	20	51	26,9	3,5	2,7			0,19	0,18					
	21	49,7	29,6	2,8	3,2			0,20	0,19					
Marnes grises	22	34,6	58,1	3,2	2,2	4	6	0,40	0,37	0,35				fortement érodible
	23	34	56,3	5,7	2,0			0,40	0,35					
	24	37,2	52,6	5,8	2,3			0,36	0,32					
Alluvion, rég et terrasse	25	26	58,4	4,9	3	2	4	0,30	0,27	0,28	fortement érodible			
	26	24,1	59,2	5	2,7			0,32	0,29					
	27	21	60,3	13,4	2			0,37	0,27					
Sables vifs	28	22,6	70,9	1,7	3,4	2	2	0,31	0,29	0,26		fortement érodible		
	29	35	57,4	3	2,1			0,22	0,20					
	30	24,7	67,8	2,9	2,8			0,30	0,28					
Terrains calcaires	31	31	60,1	4,9	1,9	1	3	0,26	0,24	0,25			fortement érodible	
	32	32	60,2	4,9	1,1			0,28	0,25					
	33	29,8	60,3	6	1,3			0,29	0,25					

Ces analyses montrent que:

- les marnes tertiaires en particulier les marnes bleues compactes et calcaires ont des teneurs élevées en argile atteignant 51%, tandis que les sols (alluvions, sables vifs et terrains calcaires) ont des valeurs qui ne dépassent pas 35%.

- les marnes tertiaires ont généralement de faibles teneurs en matière organique.

La structure est conçue du point de vue morphologique. La description minutieuse basée sur la forme des éléments structuraux, leur dimension et leur mode d'assemblage, nous permet d'obtenir deux types structuraux:

- structure grumeleuse, les particules à dimensions inférieures à 2 mm (sol d'apport alluvionnaire et sables vifs) et parfois inférieures à 1mm (terrains calcaires).

- structure polyédrique, c'est la forme de toutes les marnes de la zone d'étude, sauf les marnes bleues compactes et calcaires qui ont une forme lamellaire.

Concernant la perméabilité, les marnes ont un drainage très lent (marnes vertes et grises) et modéré (marnes brunes). Les sols (alluvionnaires et calcaires) ont généralement un drainage modéré.

Tableau 23 : Distribution des valeurs du facteur K

Classes de K	$K < 0,20$	$0,20 \leq K < 0,25$	$0,25 \leq K < 0,30$	$0,30 \leq K < 0,35$	$0,35 \leq K < 0,40$
Surface (ha)	4 407	28 531	19 494	7 693	14 564
Surface en %	5,9	38,2	26,1	10,3	19,5
Grille d'interprétation	Sols moy. érodibles= 5,9 %	Sols fortement érodibles= 94,1 %			

Le tableau 23 met en évidence deux classes de l'érodibilité (moyenne et forte). Les sols moyennement érodibles sont des marnes bleues compactes et calcaires qui affleurent sur les monts de Djebel Boubaghla au nord du secteur étudié et au long de la rive gauche de l'oued Mina (figure 21). Les sols et les marnes fortement érodibles sont des formations lithologiques occupant une surface de 94,1 % de la surface totale du secteur étudié.

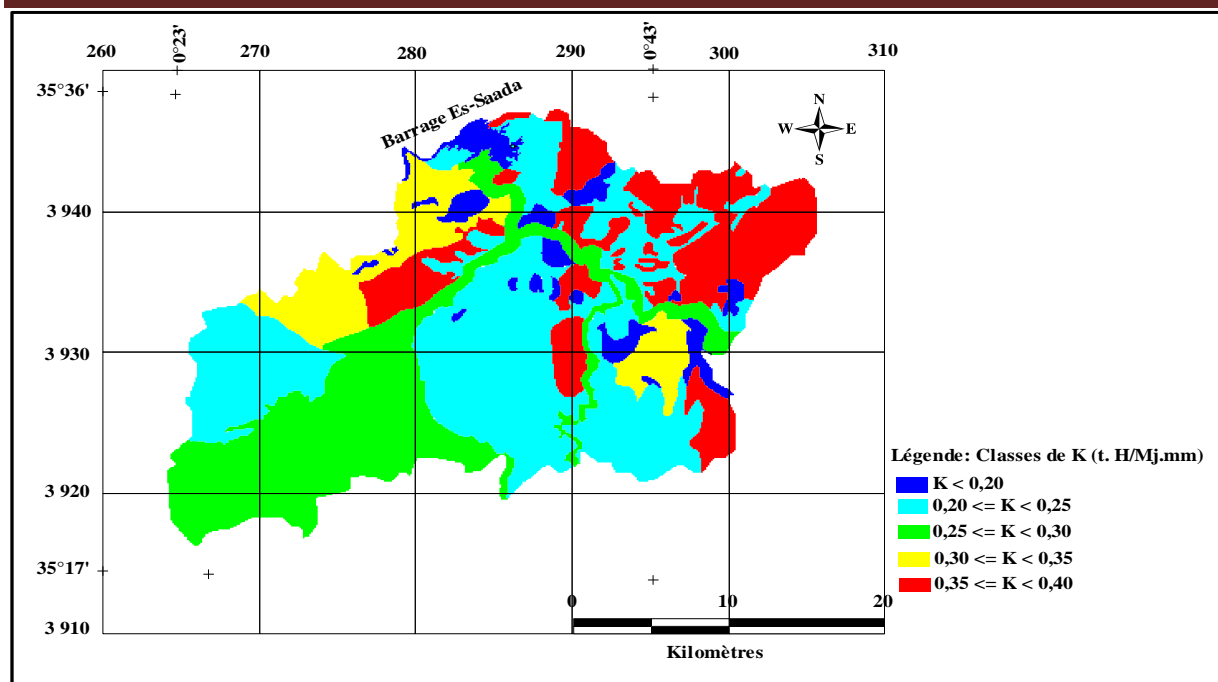


Figure 21: Distribution des classes d'érodibilité des sols et des marnes

Si on compare les valeurs de $K_{\text{ajusté}}$ avec celles obtenues dans des régions du Maghreb, on trouve:

- en Tunisie, Roose (1991) a noté que la plupart des sols sur matériaux calcaires sont caillouteux et assez résistants à l'érosion en nappe ($K = 0,05$ à $0,25$). Par contre, les sols sur marnes salées sont très fragiles ($K = 0,60$). Dans le même pays, Ben Cheikha et Moncef (2008) notent que dans le bassin versant de Jannet les valeurs de K sont comprises entre $0,044$ et $0,075$ (sur des sols rendzines sur roches dures calcaires et des sols peu évolués d'apport associés à des sols minéraux bruts).

- au nord-est du Maroc, El-Garouani *et al.* (2008) ont trouvé des valeurs de K variant entre $0,22$ (sol calcimagnésiques bruns calcaire vertique) et $0,46$ (sols fersiallitiques).

- au Rif central du Maroc, dans le bassin versant de l'oued Sahla, Sadiki *et al.* (2009) notent que des valeurs de K allant de $0,38$ (vertisol) à $0,44$ (sols peu évolués et minéraux bruts).

D'après les tableaux d'évaluation des facteurs K et $K_{\text{ajusté}}$ des altérites des marnes tertiaires de la zone d'étude (tableaux 8, 9 et 10, annexe D), les valeurs de l'indice de battance (IB) montrent que ces marnes ont une vulnérabilité faible à très faible sauf les terrains calcaires qui sont caractérisés par une vulnérabilité modérée. En effet, Kouri (1993) a effectué des analyses minérales sur des échantillons dans les petits bassins versants de l'oued Mina. Ces analyses montrent que les marnes tertiaires sont constituées par l'illite (30-35%),

le Chlorite (30-15%) et les Smectites (argiles Interstratifiées) atteignant une teneur de 85% pour les marnes vert-clair dans les horizons de 0-5cm. Selon Sadio (2007), les deux premiers types d'argile sont semi-gonflants, alors que les argiles interstratifiées (Smectites) sont des argiles gonflantes.

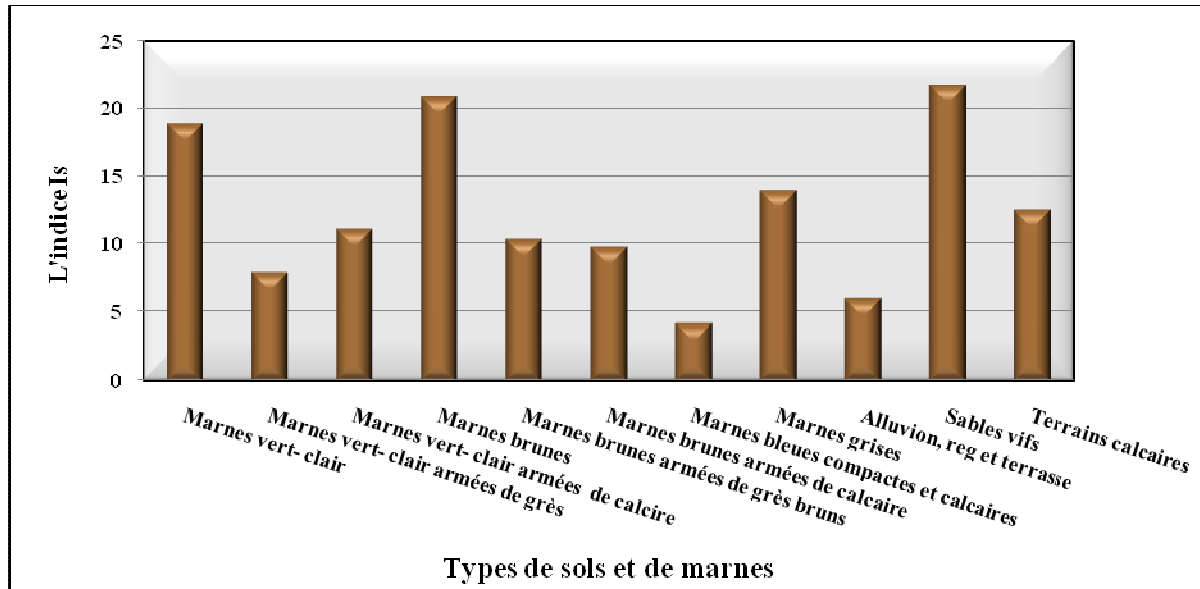


Figure 22 : La stabilité structurale de sols et de marnes

En examinant la figure 22, on remarque que, la basse valeur (4,1) est enregistrée pour les marnes bleues compactes et calcaires, alors que, la haute valeur (21,6) est enregistrée pour les sables vifs.

D'une manière générale, les marnes tertiaires ont une stabilité structurale bonne à moyennement bonne.

4.1.3- La topographie (LS)

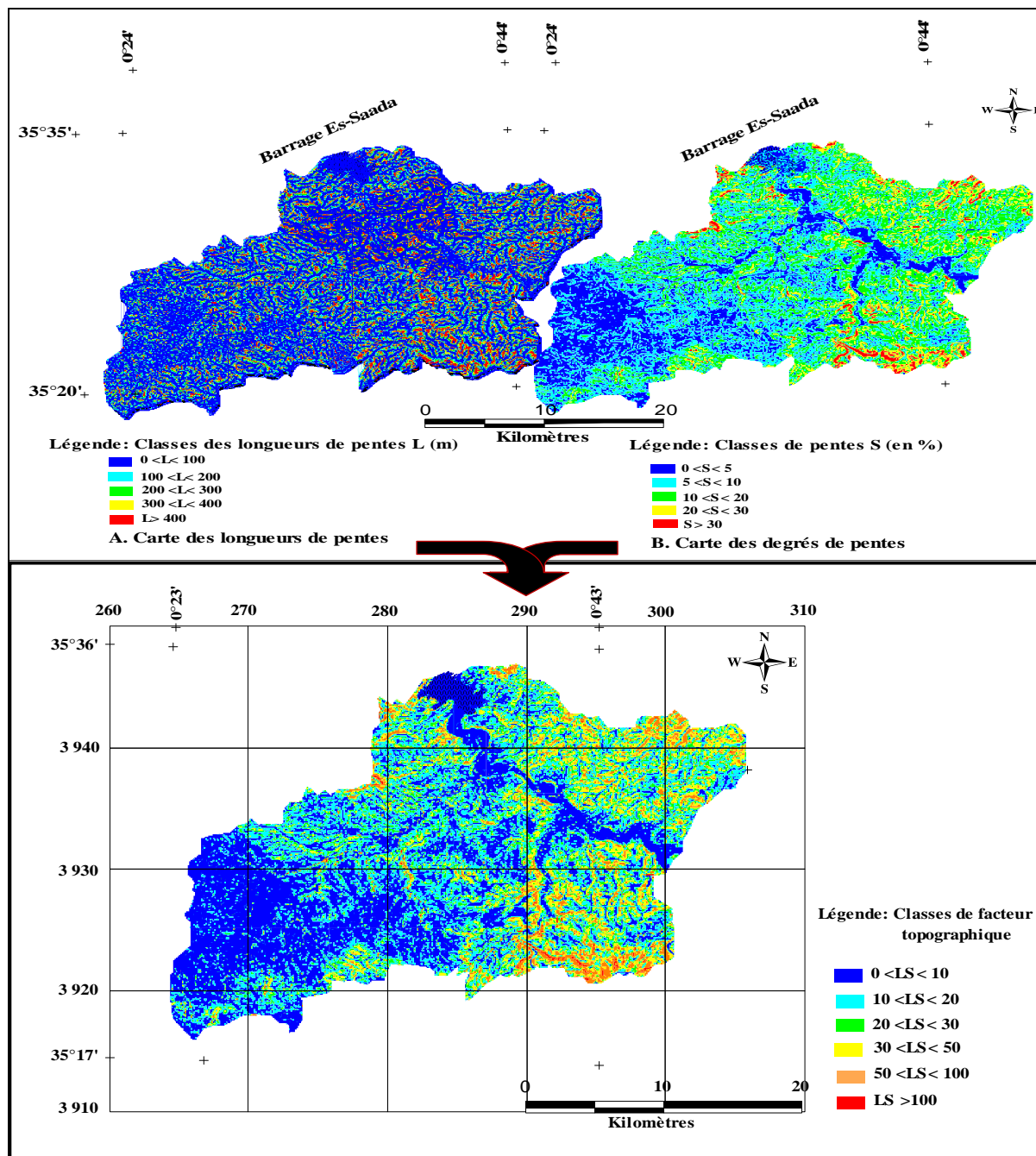


Figure 23: Distribution des classes de facteur topographique

La carte A montre que, les valeurs des longueurs de pentes inférieures à 100 mètres couvrent presque la moitié de la superficie du secteur étudié (53,1%) (tableau 28). Ces longueurs caractérisent les terrains relativement plats.

D’après la carte B, on constate que, la plus grande partie des terres de la zone d’étude (89,1%) est située dans les trois premières classes de pentes inférieures à 20% (tableau 29). La majorité de ces pentes dominant dans le secteur Sud-ouest et sur toutes les vallées des oueds de la zone d’étude.

La carte topographique obtenue montre que les valeurs de LS inférieures à 20 couvrent 67,4% de la zone d'étude, alors que les classes des valeurs supérieures de 50% ne représentent que 2,5% de la surface de la zone d'étude (tableau 30).

4.1.4- L'occupation du sol (C)

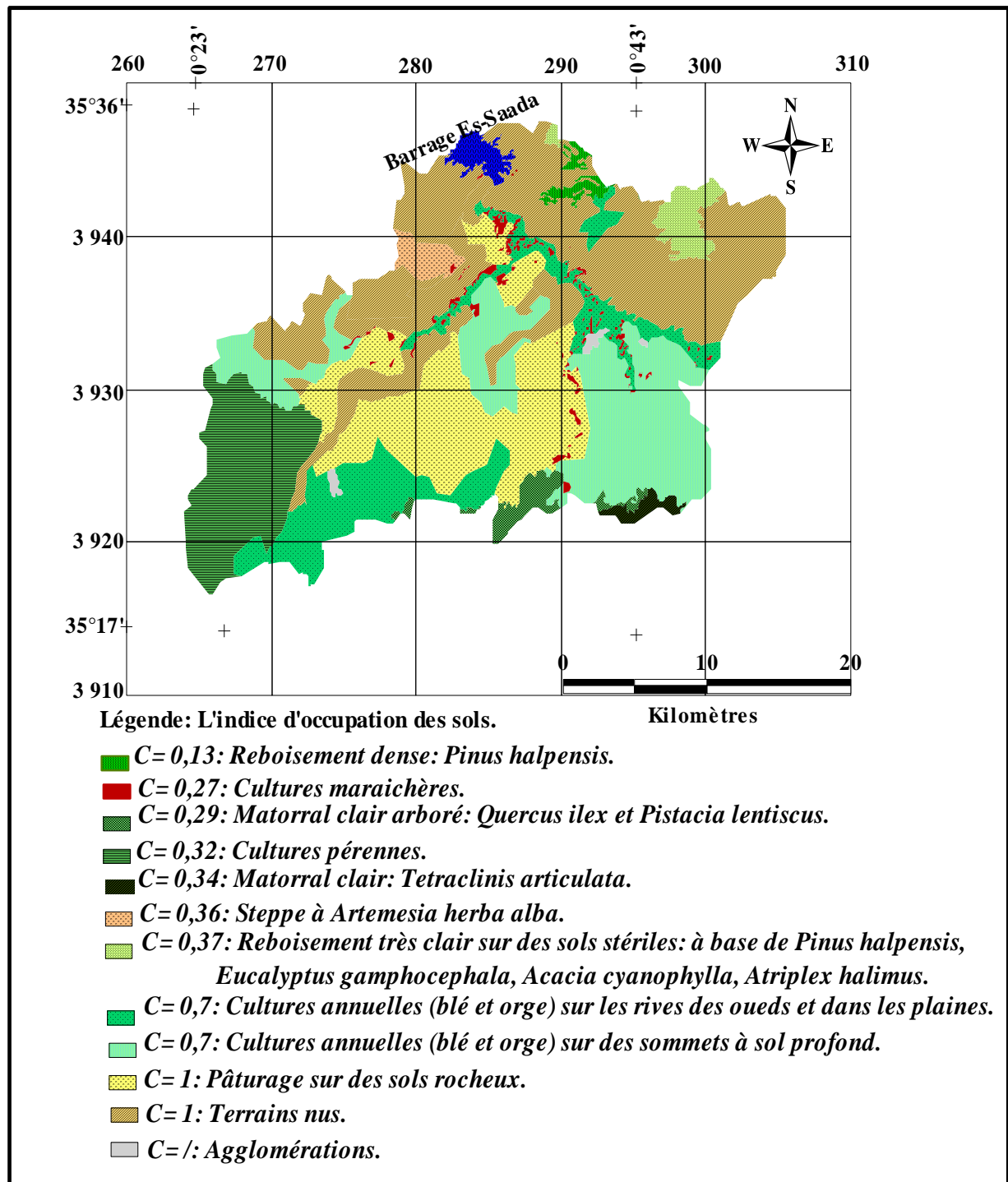


Figure 24 : Carte d'occupation du sol

Tableau 24: Valeurs du facteur C dans d'autres régions voisines

Pays	Région	Bassin versant	Type de végétation et l'indice C	Auteur
Maroc	Nord oriental	Oued Bous-souab	Reboisement clair, herbacée dense (C=0,2) Steppes à Alfa (C= 0,32) Terrains nus (C = 1)	Sadiki (2005)
	Rif central	Oued Sahla	Sol nus rocheux et lit d'oued (C= 1) Arboricultures sur banquettes (C= 0,33) Arboricultures aléatoires (C= 0,34)	Sadiki <i>et al.</i> (2009)

D'après la figure 24 et le tableau 24, on constate que les valeurs attribuées au facteur C sont proches de celles trouvées dans des régions du nord oriental et du Rif central marocain avec un écart +/- 0,01 à 0,07, à l'exception de celles du reboisement très clair (zone d'étude) et du reboisement clair avec des herbacées denses (région nord oriental du Maroc) qui ont un écart important (0,17).

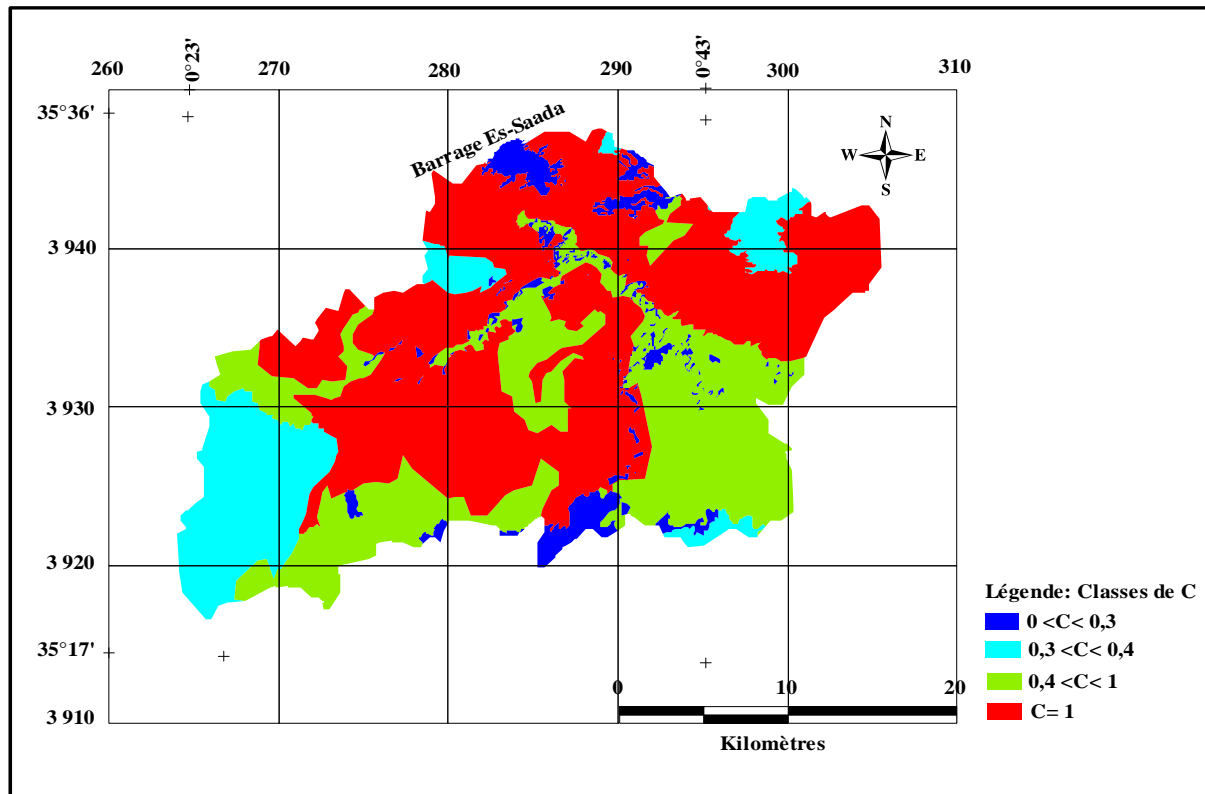


Figure 25: Distribution des classes de l'occupation des sols

4.1.5- Les pratiques antiérosives (P)

Les sorties du terrain et les images satellitaires de la zone d'étude nous permettent d'élaborer la carte des pratiques antiérosives.

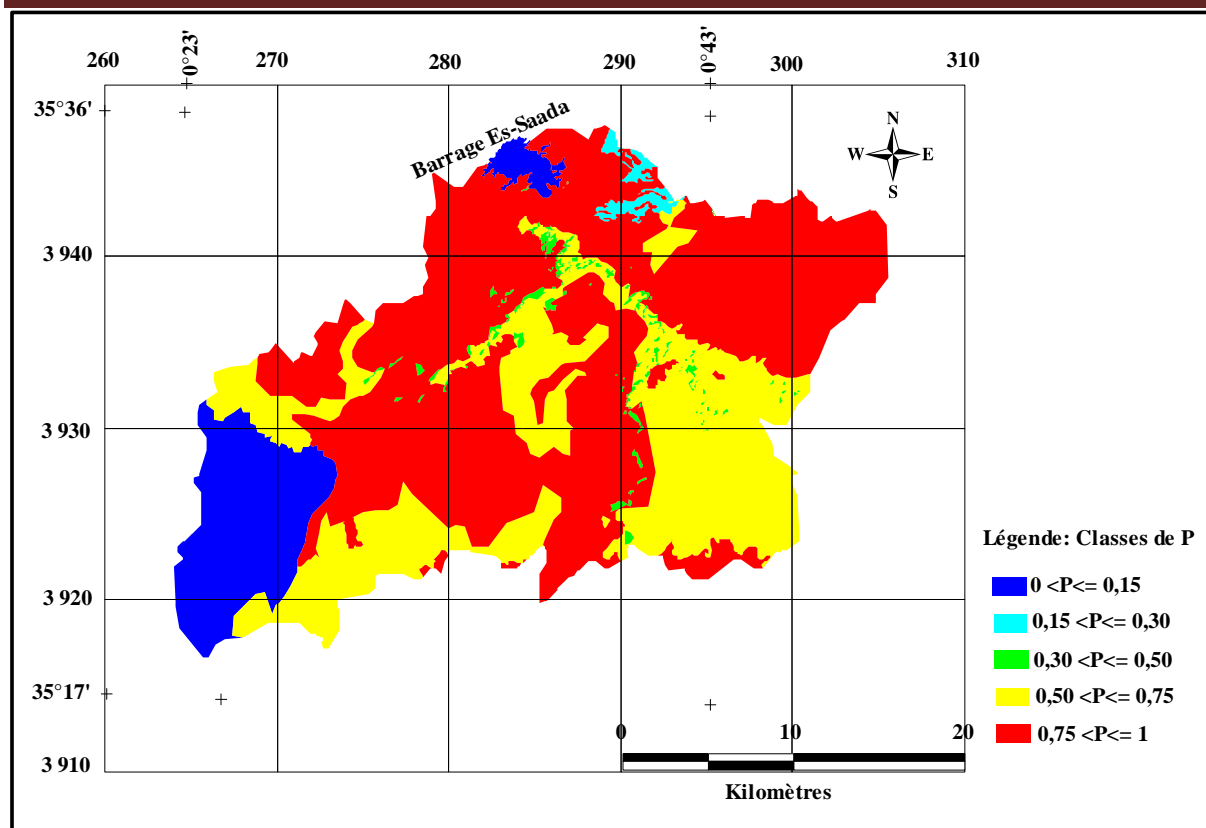


Figure 26: Distribution des classes de pratiques antiérosives

- un billonnage cloisonné sous cultures pérennes est utilisé afin de favoriser l'infiltration des eaux de ruissellement, ce type de pratique antiérosive se trouve sur une surface de 7 928 hectares.
- des travaux d'aménagement en terrasses afin de réduire la vitesse de ruissellement sont construits d'une largeur de 2 à 4 mètres (planche 6, annexe II) sur une surface de 105,3 hectares.
- des reboisements de pin d'Alep jouent le rôle des plantes de couvertures dans la protection des sols. Cette pratique se répartit sur une surface de 587,3 hectares .
- les agriculteurs utilisent le labour et le billonnage isohypse pour les cultures maraichères, sur une surface de 905,5 hectares et le labour isohypse pour toute la céréaliculture avec une surface de 225 46 hectares.

4.2- Evaluation des pertes en sol

L'évaluation des pertes en sol par l'érosion hydrique en nappe a été obtenue par la superposition des cartes thématiques avec leurs bases de données relatives aux facteurs de l'équation universelle (USLE) de Wischmeier et Smith (1978) au moyen du SIG. La perte moyenne en sol, par l'érosion en nappe est de 5,1t/ha/an. Les pertes totales annuelles de la zone d'étude sont de 381 636 tonnes pour une surface de 74 689 ha.

4.2.1- Répartition des pertes en sol par rapport au seuil de tolérance

Le taux d'érosion diffère d'une zone à l'autre selon l'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion. En Algérie, aucune classification des pertes en sol n'a été proposée par les auteurs qui ont travaillé sur ce phénomène. Nous avons donc choisi d'utiliser une classification américaine qui se base sur la tolérance des sols à l'érosion en nappe. Cette classification considère que les sols peuvent supporter une perte allant jusqu'à 7,41 t/ha/an en moyenne tout en soutenant durablement un niveau élevé de production agricole et que si les pertes sont de plus de 20 t/ha/an, elles peuvent devenir fortes et dangereuses (Sadiki *et al*, 2009).

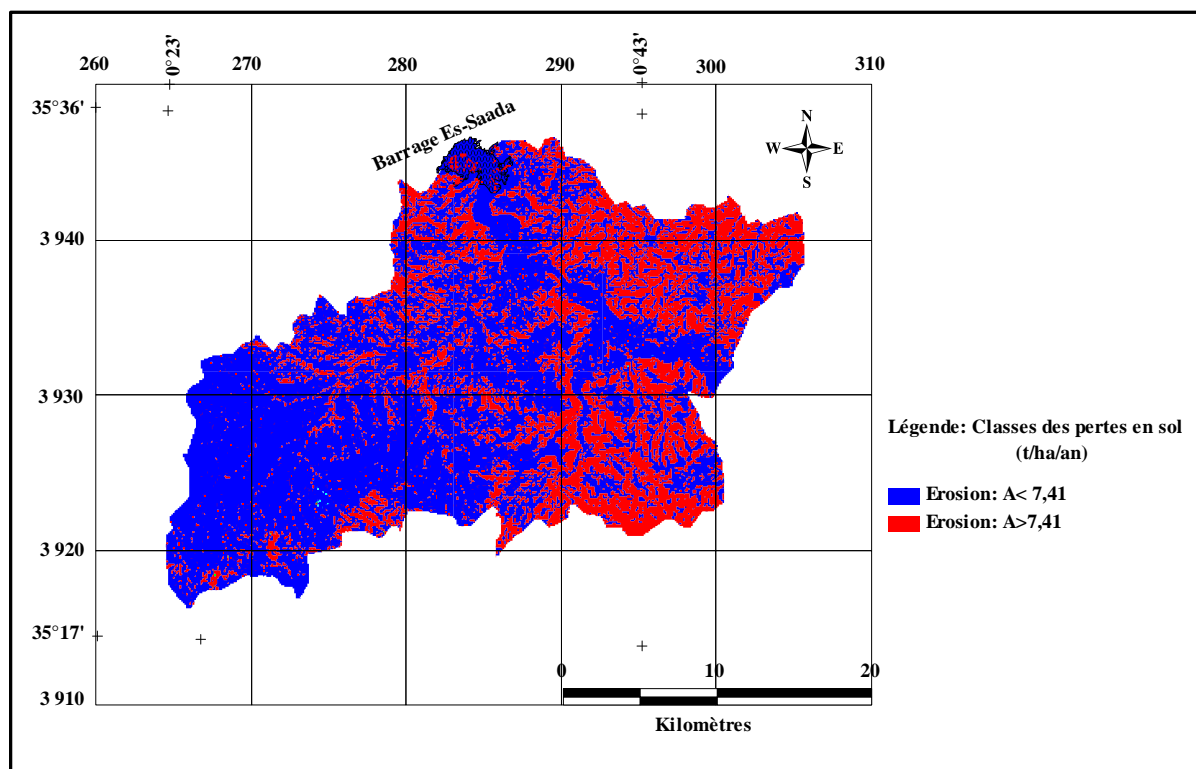


Figure 27: Carte des pertes en sol de la zone d'étude

La répartition des pertes en sol par classe dans la zone d'étude est représentée sur la carte, figure 27 et les proportions de chaque classe sont rangées dans le tableau 25.

Tableau 25 : Répartition des pertes en sol dans la zone d'étude

Classes des pertes (t/ha/an)	Pertes totales (t/an)	% des pertes	Surface (ha)	% de surface
A < 7,41	89 532	23,5	48 652	65,1
A > 7,41	292 104	76,5	26 037	34,9
Total	381 636	100	74 689	100

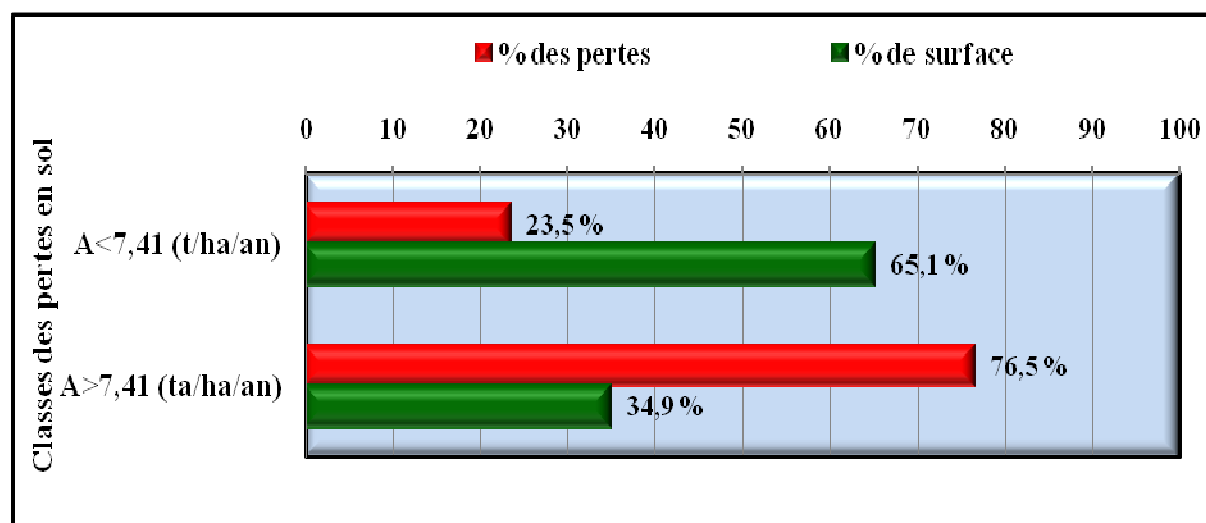


Figure 28 : Distribution des pertes en sol par rapport au seuil de tolérance

Le tableau 25 et la figure 28 font ressortir les constatations suivantes:

- la répartition des pertes en sol n'est pas proportionnelle aux surfaces; les terres qui perdent plus que le seuil de tolérance ne couvrent que 34,9 % de la zone des marnes tertiaires mais elles contribuent par 76,5% des pertes totales. Alors que, celles qui perdent moins que le seuil de tolérance occupent 65,1% et ne participent que par 23,5 % des pertes.
- d'après la classification américaine, les pertes moyennes 5,1 t/ha/an se trouvent dans la zone des pertes considérées comme tolérables.

4.2.2- Comparaison des pertes en sols avec les résultats des mesures bathymétriques

En 2006, le service du barrage a effectué un levé bathymétrique en trouvant un envasement qui correspond à un apport moyen annuel de 10,4 t/ha. Cette évolution de perte en sol s'est expliquée par plusieurs raisons à savoir:

- des terres agricoles abandonnées et laissées exposées aux différents types d'érosion hydrique pendant la décennie: 1990-2000.
- des événements pluviaux notamment l'année 1995/1996 qui est considérée comme une année exceptionnelle (figure 9) dès l'implantation du barrage Es- Saada en 1978 et qui peuvent apporter une quantité importante de sédiments dans une courte période.
- notre méthode peut sous-estimer le taux d'érosion puisqu'elle ne s'applique qu'à l'érosion par ruissellement en nappe et ne prend pas en compte l'érosion par l'écoulement concentré (ravins et rigoles) qui peut être particulièrement intense.

4.2.3- Comparaison des pertes en sols avec celles enregistrées dans d'autres régions voisines

Dans l'Ouest de l'Algérie et sur des parcelles expérimentales, cette méthode a été appliquée dans le bassin versant de la Tafna (région de Tlemcen). Dans ce bassin versant, l'érosion en nappe varie de 1,7 à 3,1 t/ha/an sur les sols vertiques et atteint à 6,3 t/ha/an sur les sols bruns calcaires argileux en fortes pentes sur jachères. Cette érosion ne dépasse pas 8,1 t/ha/an, malgré les fortes pentes. Ces valeurs restent relativement modérées et ne dépassent pas le seuil de tolérance généralement admis (2 à 12 t/ha/an) (Mazour et Roose, 2002).

Morsli *et al.* (2007) dans le nord-ouest semi-aride de l'Algérie ont trouvé des valeurs de perte en sol comprises entre 0,23 et 5,82 t/ha/an.

Dans le bassin versant de l'oued Mina, Touaibia *et al.* (2001) ont obtenu des valeurs de pertes en sol sur des terrains marneux allant de 2 à 12 t/ha.an.

4.3- Influence de chaque facteur sur les pertes en sol

Pour chercher les raisons de la distribution inégale des pertes en sol dans la zone marneuse de l'oued Mina, nous avons tenté de déterminer l'influence de chaque facteur dans le processus d'érosion en nappe. Nous avons donc confronté les résultats des pertes moyennes aux valeurs de chaque facteur.

Pour chaque facteur nous avons élaboré un tableau de valeurs réparties en classe. Pour chaque classe sont indiquées les pertes moyennes en sol, les surfaces correspondantes, les proportions de ces surfaces par rapport à la surface totale de la zone d'étude, les pertes totales et les proportions de pertes par rapport aux pertes totales. Des histogrammes mettent en évidence d'une façon schématique les variations des pertes moyennes en fonction des classes de chaque facteur érosif.

4.3.1- Effet de l'agressivité climatique (R)

Tableau 26 : Répartition des pertes en sol en fonction de l'agressivité climatique

Classes de R (Mj.mm/ha.H)	39,1 <R< 42,5	42,5 <R< 45,9	45,9 <R< 49,3	49,3 <R< 52,7	52,7 <R< 56,1	56,1 <R< 59,4	59,4 <R< 62,8	62,8 <R< 66,2	66,2 <R< 69,6	69,6 <R< 73,9
Pertes moyennes (t/ha/an)	1,2	1,8	2,4	4	3,4	2,9	1,9	3	4,1	3,8
Surface (ha)	10 307	14 042	9 486	7 992	15 759	8 216	2 465	2 241	2 465	1 718
% de surface	13,8	18,8	12,7	10,7	21,1	11,0	3,3	3,0	3,3	2,3
Pertes totales (t/ha/an)	49 994	62 588	54 192	47 323	88 158	27 478	8 014	11 067	19 463	13 359
% des pertes	13,1	16,4	14,2	12,4	23,1	7,2	2,1	2,9	5,1	3,5

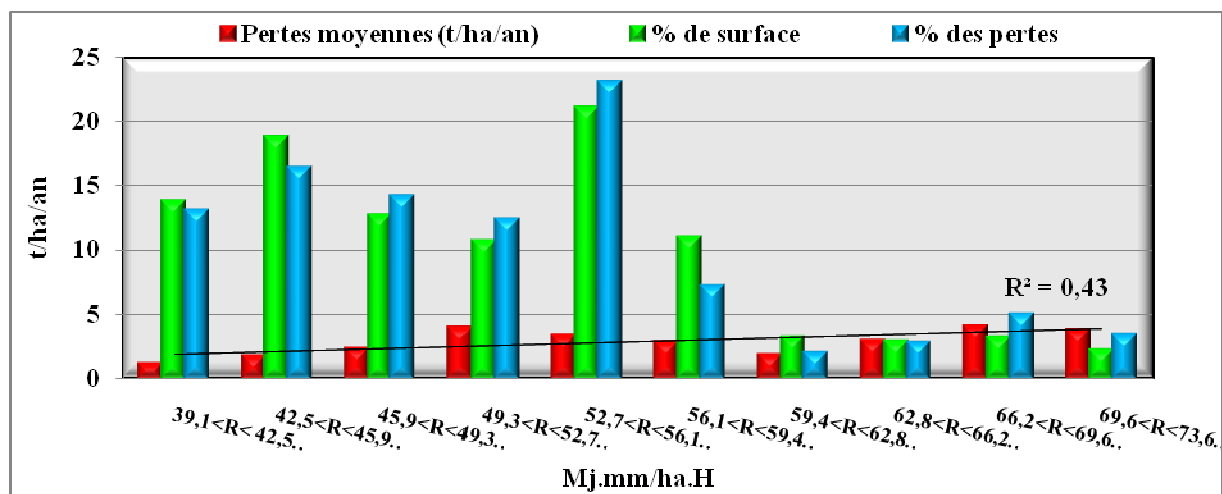


Figure 29: Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'agressivité climatique

La figure 29 montre que la corrélation entre les pertes moyennes en sol et les valeurs de l'agressivité climatique est très faible ($R^2 = 0,43$).

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces résultats:

- l'écart entre les valeurs extrêmes de R est faible.
- l'éloignement des stations d'enregistrement des précipitations.
- les précipitations peuvent parfois tomber sous forme d'averses localisées ravinant seulement une partie de ce secteur sans qu'elles soient enregistrées par aucune station.
- le principe de traçage des courbes isohyètes (méthode de Thiessen) ne reflète pas la réalité de répartition des précipitations. Elle ne tient pas compte des reliefs et des expositions des versants.

4.3.2- Effet de l'érodibilité des sols (K)

Tableau 27: Répartition des pertes en sol en fonction de l'érodibilité des sols

Classes de K (t.H/Mj.mm)	K<0,20	0,20≤K<0,25	0,25≤K<0,30	0,30≤K<0,35	0,35≤K<0,40
Pertes moyennes (t/ha/an)	0,7	3,4	6,5	8,6	8,4
Surface (ha)	4 407	28 531	19 494	7 693	14 564
% de surface	5,9	38,2	26,1	10,3	19,5
Pertes totales (t/ha/an)	382	9 159	18 700	92 738	260 657
% des pertes	0,1	2,4	4,9	24,3	68,3

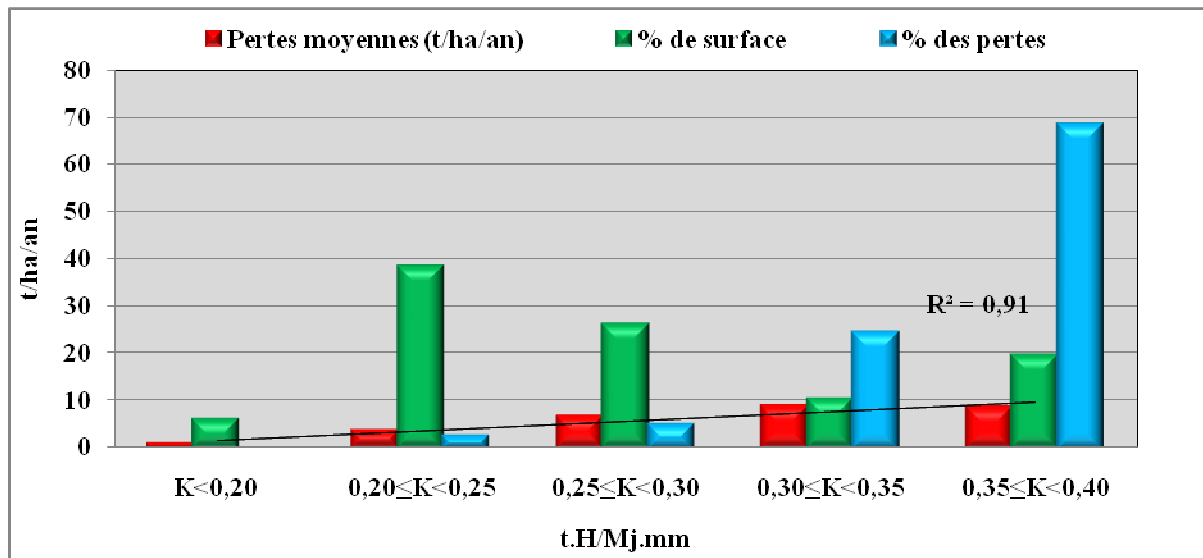


Figure 30 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'érodibilité du sol

Au niveau des pertes moyennes (tableau 27), on constate une certaine constance des pertes en sol dans les classes d'érodibilité des sols; $0,30 \leq K < 0,35$ et $0,35 \leq K < 0,40$, mais cette constance n'atténue pas la tendance générale qui est une évolution relativement proportionnelle à la variation des valeurs du facteur K. L'érodibilité des sols présente une bonne corrélation avec les pertes moyennes ($R^2 = 0,91$). Du tableau 27, on remarque qu'une évolution très nette des proportions de pertes en sol en fonction des valeurs de K. On peut donc conclure que le facteur K est aussi un facteur décisif dans le contrôle de l'érosion, mais a un moindre effet la pente.

4.3.3- Effet de l'indice de longueur de pente (L)

Tableau 28 : Répartition des pertes en sol en fonction de l'indice de longueurs des pentes

Classes de L (m)	0<L<100	100<L<200	200<L<300	300<L<400	L >400
Pertes moyennes (t/ha/an)	0,21	4,7	5,9	4,3	7,5
Surface (ha)	39 699	16 288	8 425	5 420	4 857
% de surface	53,2	21,8	11,3	7,3	6,5
Pertes totales (t/ha/an)	217 914	75 564	36 255	33 203	18 700
% des pertes	57,1	19,8	9,5	8,7	4,9

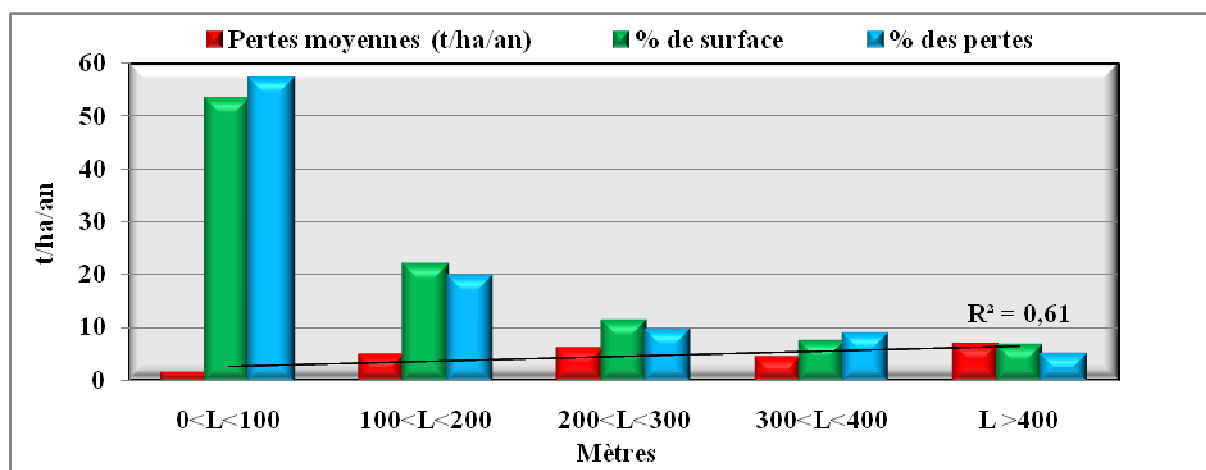


Figure 31 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction des longueurs de pente

Le coefficient de corrélation est faible ($R^2 = 0,61$). On observe une faible relation entre les pertes de terre et les longueurs de pente.

Au niveau des proportions de pertes, on remarque une variation parallèle à celle de la répartition des surfaces de différentes classes des longueurs de pentes, ce qui explique la neutralité de ce facteur dans le taux de pertes en sol.

La quasi-absence de l'action de la longueur de pente montre que l'effet accélérateur du courant du ruissellement en nappe pour des longueurs de plus en plus grandes n'aboutit pas à une ablation homogène sur une surface qui serait ressortie dans les calculs des pertes par l'équation de Wischmeier et Smith, mais il aboutie probablement surtout à une concentration plus poussée de l'écoulement. Plus la pente est longue plus le volume d'eau coulant est grand et plus le ruissellement se concentre et se transforme en écoulement à chenaux dans cette zone marneuse (planches 12, annexe II). Cela se manifeste surtout sur le type d'érosion qui se transforme en érosion linéaire telle que le ravinement. Il y a lieu de noter que les quantités de pertes de terre engendrées par le ravinement ne sont pas prises en considération par la formule empirique de Wischmeier et Smith (Auzet *et al.*, 1995).

4.3.4- Effet de l'indice de pente (S)

Tableau 29: Répartition des pertes en sol en fonction de l'indice des pentes

Classes de S (%)	0 <S< 5	5 <S< 10	10 <S< 20	20 <S< 30	S >30
Pertes moyennes (t/ha/an)	3,4	6,2	7,5	10,1	13,7
Surface (ha)	19 793	23 079	23 676	6 423	1 718
% de surface	26,5	30,9	31,7	8,6	2,3
Pertes totales (t/ha/an)	27 478	113 728	151 509	62 588	26 333
% des pertes	7,2	29,8	39,7	16,4	6,9

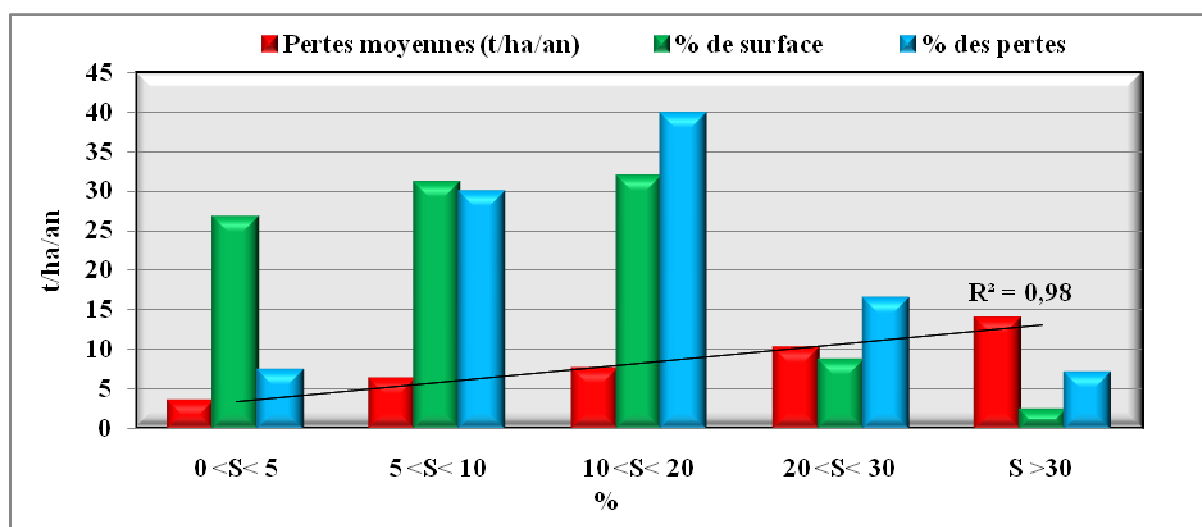


Figure 32 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l'indice des pentes

Du tableau 29 et la figure 32, on constate que les pertes moyennes augmentent proportionnellement avec l'inclinaison des pentes. Le coefficient de corrélation de cette évolution montre une très bonne corrélation ($R^2 = 0,98$) significative au seuil de 0,05.

Au vu des résultats obtenus, le degré de la pente apparaît comme l'un des facteurs qui jouent un rôle primordial dans le processus d'érosion en nappe dans la zone des marnes tertiaires de l'oued Mina.

4.3.5- Effet de la topographie (LS)

Tableau 30 : Répartition des pertes en sol en fonction de la topographie

Classes de LS	0<LS<10	10<LS<20	20<LS<30	30<LS<50	50<LS<100	LS>100
Pertes moyennes (t/ha/an)	1,7	4,3	3,3	7,8	8,5	11,9
Surfaces ha	31 668	18 672	20 465	2 016	1 419	449
% de surface	42,4	25,0	27,4	2,7	1,9	0,6
Pertes totales (t/ha/an)	1 527	4 198	5 725	68 694	120 979	180 513
% des pertes	0,4	1,1	1,5	18,0	31,7	47,3

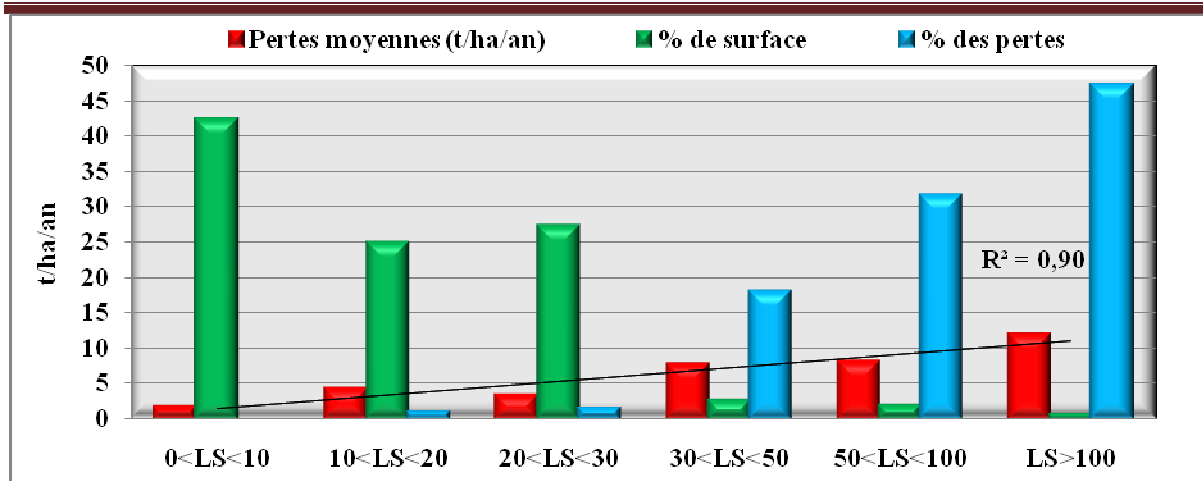


Figure 33 : Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de la topographie

Le tableau 30 montre que, la variation des pertes moyennes évolue dans le même sens que celle du facteur LS. Graphiquement (figure 33), la combinaison de la pente et de la longueur de pente par la formule de Wischmeier présente une bonne corrélation avec les pertes moyennes ($R^2 = 0.90$).

Cette corrélation est relativement moins bonne que celle des pertes avec les pentes (mais elle est toujours significative au seuil de 0,05) ce qui dénote que, dans le facteur topographique, les longueurs de pentes jouent un rôle secondaire dans les taux de pertes en terre par ruissellement en nappe. Ce sont surtout les inclinaisons de pente qui jouent le rôle le plus déterminant.

4.3.6- Effet du couvert végétal (C)

Tableau 31: Répartition des pertes en sol en fonction d'occupation de sol

Classes de C	0<C<0,3	0,3<C<0,4	0,4<C<1	C=1
Pertes moyennes (t/ha/an)	2,2	4,9	5,9	8,9
Surface (ha)	3 889	10 918	22 546	37 336
% de surface	5,2	14,6	30,2	50,0
Pertes totales (t/ha/an)	3 053	1 145	93 882	283 556
% des pertes	0,8	0,3	24,6	74,3

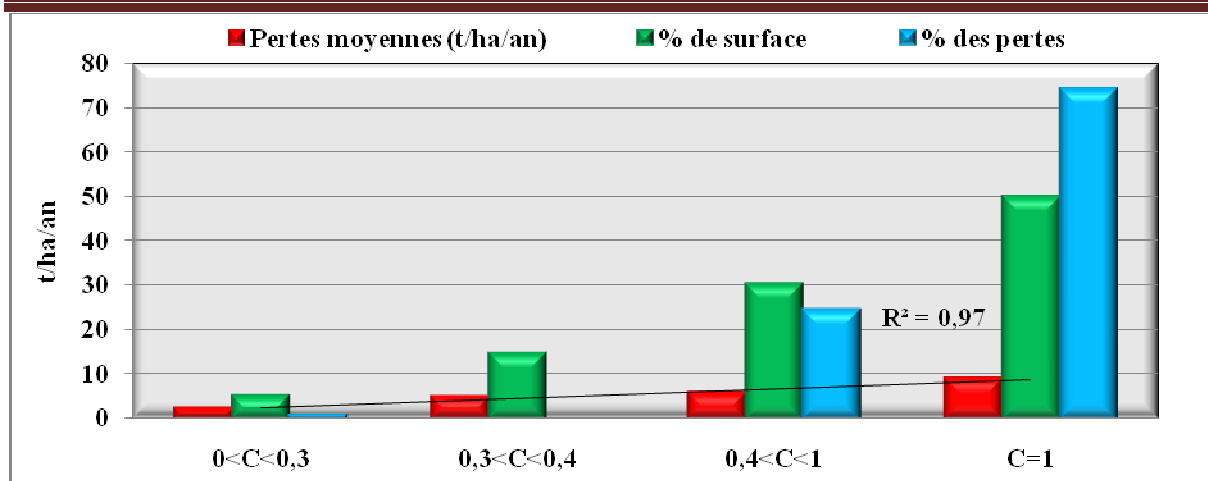


Figure 34: Distribution des pertes moyennes en sol en fonction du couvert végétal

D’une manière générale, le degré de protection végétale des sols se traduit au niveau des pertes moyennes qui varient en fonction des classes de valeurs de C. La valeur du coefficient de corrélation est de $R^2 = 0,97$.

4.3.7- Effet des pratiques antiérosives (P)

Tableau 32: Répartition des pertes en sol en fonction des pratiques antiérosives

Classes de P	0 < P ≤ 0,15	0,15 < P ≤ 0,30	0,30 < P ≤ 0,50	0,50 < P ≤ 0,75	0,75 < P ≤ 1
Pertes moyennes (t/ha/an)	2,3	2,7	6,7	7,2	8,2
Surface (ha)	7 928	692,6	905,5	22 546	42 617
% de surface	10,6	0,9	1,2	30,2	57,1
Pertes totales (t/ha/an)	382	2 290	3 816	15 647	359 501
% des pertes	0,1	0,6	1,0	4,1	94,2

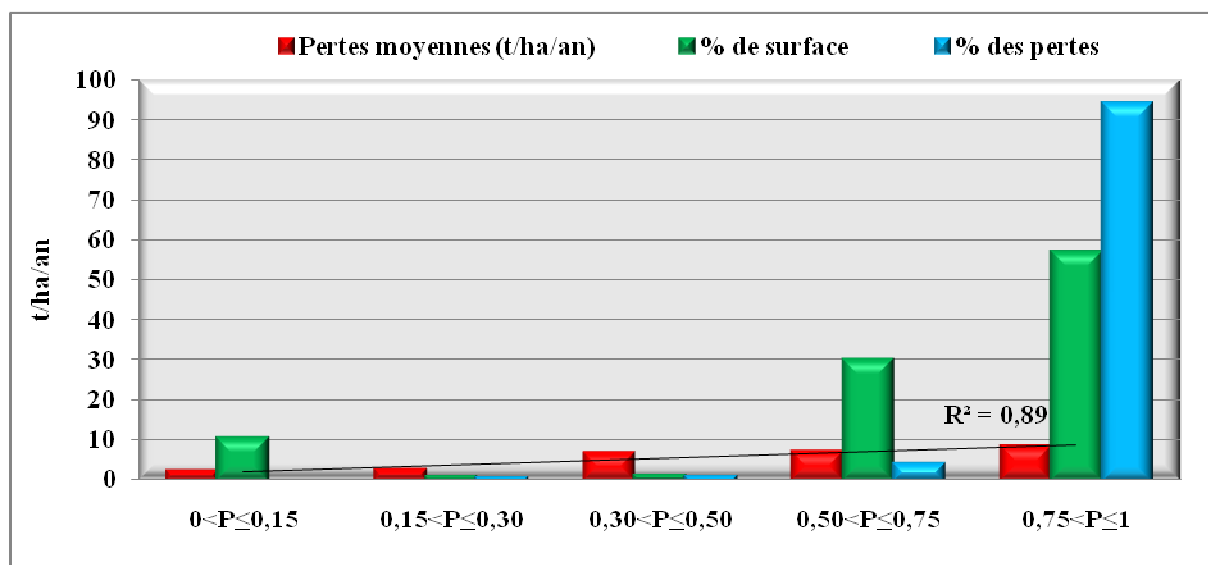


Figure 35: Distribution des pertes moyennes en sol en fonction de l’indice des pratiques antiérosives

Les pratiques antiérosives sont utilisées afin d'améliorer les propriétés physico-chimiques de surface des sols en améliorant l'infiltration des pluies, en assurant une certaine aération du sol, en augmentant le volume des terres arables et en permettant l'incorporation de la matière organique dans les horizons superficiels. Ce qui permet de réduire l'effet néfaste de l'érosion hydrique. On note une corrélation assez bonne ($R^2 = 0,89$) entre les valeurs des pratiques antiérosives et les pertes de terre.

4.4- Conclusion

L'intégration des cartes thématiques des facteurs de l'équation universelle des pertes en sol dans le Système d'Information Géographique (SIG), nous a permis de répondre à un certain nombre de questions relatives à:

- la classification multicritère des zones d'érosion.
- la contribution de chaque facteur dans l'explication des pertes en sol.

La superposition des cartes des facteurs de l'équation universelle (USLE) et le croisement multiple des bases de données nous a permis de démêler partiellement la complexité et l'interdépendance de ces facteurs dans l'analyse des risques d'érosion.

L'analyse statistique de ces résultats amènera certainement à plus d'éclaircissement et permettra de meilleures interprétations.

Cinquième chapitre

Proposition des techniques antiérosives dans la zone d'étude

Chapitre V : Proposition des techniques antiérosives dans la zone d'étude

5.1- Introduction

Dans ce cadre d'étude, des zones prioritaires avec une surface de 26 037 hectares au total, doivent recevoir une attention particulière en matière de mesures antiérosives et nécessitent des techniques pour lutter contre l'érosion en nappe et par conséquent, réduire l'envasement du barrage Es-Saada à court terme.

5.2- Techniques combinées (biologiques et mécaniques)

Si on projette, la carte finale des pertes en sol avec celle d'occupation des sols, dans le but de réduire l'effet des facteurs érosifs notamment les indices K, LS, C et P de l'équation universelle, les zones qui sont exposées aux risques d'érosion en nappe et nécessitant le plus d'intervention sont:

- les zones de matorral clair à base de *Tetraclinis articulata*, *Quercus ilex* et *Pistacia lentiscus* dans le secteur sud et des zones de reboisement à base de *Pinus halpensis* et *Eucalyptus gamphocephala*, *Acacia cyanophylla* et *Atriplex halimus* dans le secteur nord-est. Ainsi, les principales interventions préconisées sur ces zones sont: les plantations d'*Opuntia sp*; les reboisements; les plantations fruitières rustiques; la mise en place de cordons de pierre et de bourrelets. La surface proposée est estimée à 3 350 hectares environ.

- les sols agricoles sont le deuxième type d'occupation en importance, nécessitant des interventions. Ces zones situées dans le secteur sud-est sur des sommets à sols profonds entre l'oued Abed et oued Taht (céréalicultures) et dans les versants à expositions nord dans l'oued Abed (cultures maraichères), pour une surface 8 832 hectares. Les interventions sont principalement destinées à contrer l'érosion en nappe. Elles englobent la plantation d'*Opuntia sp*, d'arbres fruitiers, d'haies vives, la revégétalisation, le reboisement et l'installation des murettes et des bourrelets sur des sols légers à faible pente. Vu la vocation de ces terres, il est important de s'assurer que les agriculteurs adhèrent aux principes de protection des versants en utilisant des bonnes pratiques agricoles (labour isohypse et billonnage cloisonné).

- les steppes et les sols dégradés sont respectivement le troisième et quatrième type d'occupation du sol nécessitant des interventions antiérosives. Ils sont situés dans le secteur nord-ouest et couvrent respectivement 313 hectares et 1 842 hectares environ. Ces mesures antiérosives englobent la plantation d'arbustes fourragers et d'arbres fruitiers (sur les sols dégradés), la revégétalisation et le reboisement.

Finalement, les prairies, pâturage et les bad-lands occupent la majeure partie d'occupation des sols de la zone d'étude. Ils se localisent dans le secteur nord et le secteur méridional sur les versants à exposition est de l'oued Abed et ceux à exposition nord de l'oued Haddad, pour une surface d'intervention de 11 700 hectares. Ils nécessitent la plantation d'*Opuntia sp.*, la revégétalisation, le reboisement et la mise en place des seuils dans les ravines afin d'arrêter le déplacement des particules de sols arrachées lors de l'utilisation de ces dernières pour les déplacements des animaux pendant la saison estivale.

5.3- Techniques mécaniques (ouvrages spéciaux de protection)

La carte des sites de protection des zones à risque moyen (figure 36) présente un agrandissement de localisation des ouvrages spéciaux de protection sur les oueds pour la zone des marnes tertiaires. Selon cette carte, les mesures mécaniques de protection sont données dans le tableau 33.

Tableau 33 : Coordonnées approximatives des limites des zones potentielles d'implantation des retenues collinaires et des ouvrages de capture dans les oueds

Oued	Ouvrages	Localisation Coordonnées (UTM)	
		X (m)	Y (m)
Mina	Ouvrage de capture de sédiments dans	297 390	3 925 567
	Ouvrage de capture de sédiments dans	287 926	3 931 396
	Ouvrage de capture de sédiments dans	283 727	3 935 469
	Ouvrage de capture de sédiments dans	294 622	3 926 708
	Retenue collinaire	297 515	3 927 510
	Retenue collinaire	295 133	3 928 450
	Retenue collinaire	291 686	3 930 079
Abed	Ouvrage de capture de sédiments dans	288 876	3 923 576
	Retenue collinaire	289 138	3 918 492
Haddad	Ouvrage de capture de sédiments dans	277 164	3 924 328
	Ouvrage de capture de sédiments dans	283 843	3 931 113
	Retenue collinaire	272 652	3 924 569
	Retenue collinaire	274 998	3 925 772
	Retenue collinaire	280 895	3 929 202
	Retenue collinaire	282 339	3 927 758

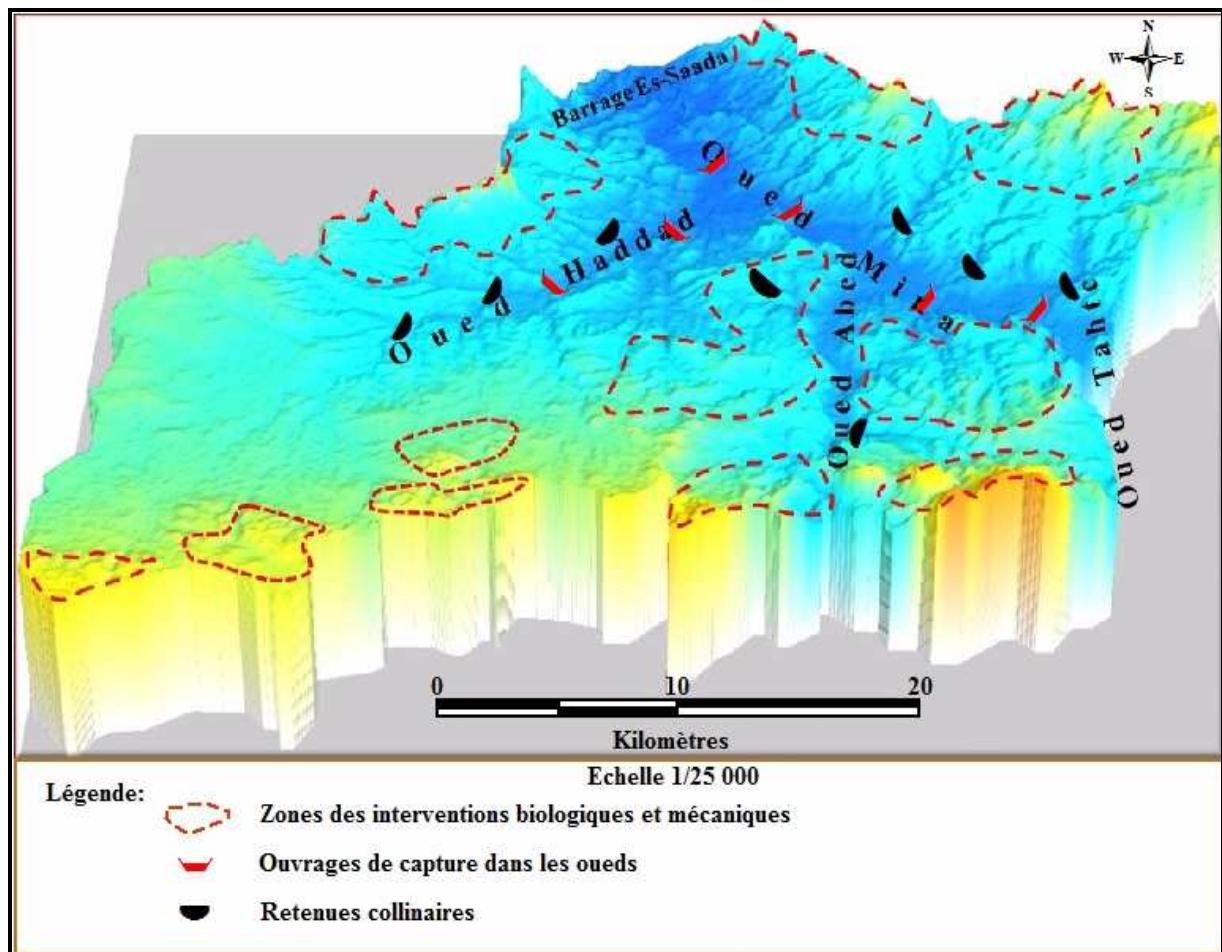


Figure 36 : Carte des sites de protection des zones prioritaires

Il est important de souligner que la faisabilité d'implantation de ces mesures ne pourra être établie qu'après des visites du terrain et de s'assurer que les agriculteurs adhèrent aux principes de protection de ces zones après leur sensibilisation et leur information sur les conséquences des problèmes d'érosion hydrique.

5.4. Conclusion

Afin de réduire le plus rapidement possible le taux de l'envasement du barrage Es-Saada, proposons la réalisation de cette stratégie des interventions dans une période de trois ans au maximum en orientant toutes les préoccupations des services concernés de la région par le programme de l'Etat (PPDRI) vers ces zones. Ainsi, la stratégie d'intervention doit également considérer la possibilité de mener des campagnes de sensibilisation et d'information sur les problèmes d'érosion et offrir, auprès des agriculteurs résidant dans les zones touchées par l'érosion, des activités de formation et de vulgarisation couvrant les pratiques agricoles antiérosives (posters, presse, TV, radio... etc.).

Conclusion

La zone des marnes tertiaires du bassin versant de l'oued Mina d'une surface de 74 689 hectares subit une perte moyenne de terre par l'érosion en nappe de 5,1 t/ha/an.

Cette zone fournit donc 381 636 t/an de sédiments provenant de l'érosion en nappe sur les interfluves, ce qui représente 7,6 % de la quantité totale de sédiments mesurée dans le lac du barrage Es-Saada.

L'analyse statistique met en évidence l'influence sur les pertes en sol de chaque facteur du modèle USLE, il en ressort que:

- l'indice de pente semble le plus déterminant sur les pertes en terre ($R^2= 0,98$).
- le couvert végétal est le deuxième facteur avec un coefficient de détermination de $R^2= 0,97$.
- l'érodibilité de sol et les pratiques antiérosives viennent respectivement en troisième et en quatrième position avec des valeurs du coefficient de détermination assez bonnes: $R^2= 0,91$ et $0,89$.
- le facteur de longueurs des pentes a un effet modéré sur l'érosion en nappe avec un coefficient de détermination de $R^2= 0,61$.
- l'agressivité climatique semble faiblement corrélée avec les pertes en terres ($R^2= 0,43$).

Sur le plan spatial, on constate que les terres où le seuil de tolérance de perte de terre est dépassé, couvrent 34,9 % de la zone des marnes tertiaires. Cet espace se répartit en trois secteurs à risque moyen: celui du nord-est où le sol est totalement nu et où l'agressivité climatique atteint son maximum 73,9 Mj.mm/ha.H, celui du sud entre l'oued Taht et l'oued Haddad où le couvert végétal est très dégradé et celui du nord formant les monts qui se situent au droit du barrage Es-Saada.

Selon la classification adoptée, ces trois secteurs sont considérés comme des zones sources de sédiments qui participent beaucoup plus à l'envasement du barrage avec un taux élevé de perte en terre (76,5 %). L'apport correspond à 23,5 % des pertes en terre provenant d'une surface constituant 65,1 % de la surface totale de la zone d'étude et se localisant exclusivement sur le secteur ouest et sur toutes les vallées des oueds.

Conclusion

Les limites à l'applicabilité du modèle empirique de Wischmeier et Smith (1978) dans des conditions différentes de celles où il a été élaboré, l'exposent à de nombreuses critiques: son application qu'à l'érosion en nappe et la non prise en compte des pertes de sol dues aux autres formes d'érosion (linéaire, solifluxion, sapement des berges, arrachement des particules par les piétinements des parois marneuses où l'alternance des cycles humectation-dessiccation est active,...etc.).

En général, si les mesures de terrain et les analyses de laboratoire sont rigoureusement respectées, ces limites étant admises. L'utilisation de ce modèle et surtout son intégration dans un SIG présente aussi beaucoup d'avantages, surtout ceux liés au grand nombre de résultats relatifs aux facteurs impliqués dans l'érosion. Cette intégration permet de gérer d'une façon rationnelle une quantité considérable de données quantitatives et qualitatives relatives aux différents facteurs de l'érosion hydrique, de démêler leur interdépendance par les croisements successifs des cartes thématiques et surtout d'établir une carte synthétique de quantification et de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion des différentes zones.

Bien que, la validité des pertes en terre soit sujette à discussion, la méthode apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion, notamment dans des zones où l'érosion en nappe est importante. Elle permet aussi de suivre l'impact de l'utilisation des terres dans un cadre de gestion conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aboujaoude A., Belleudy P., Vauclin M., 1991 - A numerical study of infiltration through crusted soils: flat and other surface configurations. *Soil Technology* 4: 1–18.
- Achite, M., 1999 - Analyse multivariée de la variable “transport solide”. Cas du bassin versant de l’oued Mina. Thèse de Magister, Ecole Nationale Supérieure de l’Hydraulique, Blida, Algérie, 203 p.
- Al-Karkouri, J., 2003 - Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif central-Maroc): analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale. Thèse d’Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Lett. Rabat, 392 p.
- Alcaraz, C., 1969 - Détermination de la limite méridionale de l’influence de la brise, son action marine sur la répartition de la végétation oranaise. *Bulletin. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 61, Pp. 1-2.
- Al-Durrah, M.M. et Bradford, J.M., 1982 - The mechanism of raindrop splash on soil surfaces. *Soil Science Society of America Journal*, 46, Pp. 836-840.
- Amezketta, E., Singer, M.J. et Le Bissonnais, Y., 1996 - Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America journal*, 60(3), Pp. 888-894.
- Arabi M. et Roose E., 1989 - Influence de quatre systèmes de production méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. *Bulletin Réseau Érosion*, 9, Pp. 39-5.
- Armand, R., 2009 - Etude des états des surfaces des sols et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Thèse de Doc. Univ. de Strasbourg, 197 p.
- Arnoldus, H.M.J., 1980 - Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, *Bulletin F.A.O.*, 34 p.
- Attou, F., Bruand, A. et Le Bissonnais, Y., 1998 - Effect of clay content and silt-clay fabric on stability of artificial aggregates. *European Journal of Soil Science*, 49: Pp. 569-577.
- Auzet, A.V., Boiffin, J. et Ludwig, B., 1995 - Concentrated flow erosion in cultivated catchments: influence of soil surface state. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20: 5 p.
- Bagnouls, F. et Gaussen, H., 1955 - Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 83: Pp. 193-239.
- Baise, D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie édition I.N.R.A Paris. 172 p.
- Barbier, P., 2002 - Cours Vertical Mapper V.2.6. Cours Tutoriaux. IGN- ENSG-CERSIG.
- Ben Cheikha, L. et Moncef, G., 2008 - Le bassin versant du Jannet (Tunisie): évaluation des risques d’érosion hydrique. Université de Tunisie El-Manar. M@ppmonde. 15 p.
- Benabdelli, K., 1983 - Mise au point d’une méthodologie d’appréciation de l’action anthropozoogène dans le massif forestier de Telagh. Thèse Doct. Spé. Univ. Aix–Marseille III.
- Benmoussa M., Elyamani M. et Saidi A. 1993 - Application de l’équation universelle de perte en sol au bassin versant de l’oued Tasrafet. *Géo observer*, Rabat, 3, Pp. 59-70.
- Bresson, L.M. et Boiffin, J., 1990 - Morphological characterisation of soil crust development stages on an experimental field. *Geoderma*, 47: Pp. 301-325.
- Bronick, C.J. et Lal, R., 2005 - Soil structure and management a review. *Geoderma* 124 (1-2): Pp. 3-22.

Références bibliographiques

- Browning, G.M., Parish, C.L. et Glass, J.A., 1947 - A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. Soil Science Society of America Proceedings, 23: Pp. 246-249.
- Cerdan, O., 2001- Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. Thèse de doctorat. Université d'Orléans, France, 186 p.
- Conservation des forêts de Mascara, 2008 - Annuaire statistique de la wilaya de Mascara de l'année 2008, 180 p.
- Cormary, Y. et Masson, J., 1963 - Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier. Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de recherches du génie rural de Tunisie, 26 p.
- Daghmoumi, R., 1994 - Apport de la géologie et du SIG à l'étude des bassins versants de l'Aoudour (Rif central). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 162 p.
- Debrach, J., 1953 - Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional. 32, Pp 12-34.
- De Martonne, E., 1927 - Traité de géographie physique, Vol. 1. Paris. A. Colin.
- Desfontaines, J.P., 1968 - Essais d'appréciation du danger d'érosion dans les versants de forte pente en moyen de Vivarais, Annales agronomiques 19(3). Pp. 349-363.
- Desmet, P.J.J. et Govers, G., 1996 - Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implication for predicting ephemeral gullies. International Journal of geographical Information Systems, 10: Pp. 311-331.
- Diallo, A.A., 2000 - Intégration du modèle USLE dans un SIG pour la cartographie de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Boufreh (Rif central). Mémoire de troisième cycle, Enfi. Salé.
- Douay, D. et Lardieg, E., 2010 - Délimitation des aires d'alimentation des captages prioritaires du bassin Adour Garonne. Méthodologie de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eau superficielle, 28 p.
- Dumas, J., 1964 - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques O.R.S.T.O.M. Tunis, sér. Pédologie, 3, Pp. 307-333.
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 2003 - Estimation à l'aide de MapInfo de la pluviométrie moyenne interannuelle selon différentes méthodes-Application au bassin versant de la Broye à Payerne (VD, Suisse). Exercice n° HG 0302- Corrigé, 6 p.
- El-Garouani, A., Chen, H., Lewis, L., Tribak, A. et Abahrour, M., 2008 - 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. Revue Télédétection, vol. 8, n° 3, Pp. 193-201.
- Ellison, W.D., 1944 - Studies of raindrop erosion. Agricultural Engineering, 25: Pp. 131-136.
- Ellison, W.D., 1947 - Soil erosion. Soil Science Society Proceedings: Pp. 479-484.
- Emberger, L., 1930 - La végétation de la région méditerranéenne: essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Gen. Bot. 42: 641-662, Pp. 705-721.
- Emberger, L., 1939 - Aperçu général sur la végétation du Maroc. Verof. Geobot. Inst. Rübel Zurich, 14, Pp. 40-137.
- Emberger, L., 1942 - Un projet de classification des climats du point de vue phytoécologique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse. 77: Pp. 97-124.
- Emberger, L., 1955 - Une classification biogéographique des climats. Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sci. Serv. Bot. Montpellier. 7: Pp. 3-43.

Références bibliographiques

- Emerson, W.W., 1967 - A classification of soil aggregates based on their coherence in water. Australian Journal of Soil Research, 5: Pp. 47-57.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 1977 - Assessing soil degradation. Soils bulletin 34.
- Farres, P.J., 1987 - The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. Soil Science Society of America Journal, 14: Pp. 119-130.
- Fournier, F., 1960 - Climat et érosion: relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses universitaires de France. Paris, 201 p.
- Fox, D., Carrega, P., Morschel, J. et Emsellem, K., 2008 - Dégradation des sols dans le monde, site Web: triangle-fox.fr, date de consultation: 27/08/2010
- Fox, D.M., Le Bissonnais, Y. et Bruand, A., 1998 - The effect of ponding depth on infiltration in a crusted surface depression. Catena, 32: Pp. 97-100.
- Gomer, D., 1994 - Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Thèse de Doctorat. Université de Wasserbau (en Allemand) Karlsruhe. Allemagne. 207 p.
- GTZ., 1990 - Rapport d'évaluation Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued Mina ORDF, Sidi Mhamed Benaouda. Rélizane. Algérie.
- Guy, A., 1978 - Méthodes d'analyse des sols, centre national de documentation pédologique, centre régional de documentation de Marseille, 191p.
- Hénin, S., Monnier, G. et Combeau, A., 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Annales Agronomiques, 9: Pp. 73-92.
- Heusch, B., 1970 - L'érosion de PréRif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du PréRif occidental. Annales de recherche forestière au Maroc. Numéro spécial étude sur l'érosion; 12. Rabat, 9- 176 p.
- Hofstetter, E., 2008 - Sensibilité d'un outil de modélisation du ruissellement et de l'érosion à la qualité des données sols. Mémoire de fin d'étude master ii géosciences, environnement et risques spécialité risques naturels. Univ. Louis Pasteur Strasbourg. 107 p.
- Kalman, R., 1967 - Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou. Projet Sebou, Rapp. Inédit, 40 p.
- Kazman, Z., Shainberg, I. et Gal, M., 1983 - Effect of low level of exchangeable sodium and applied phosphogypsum on the infiltration rate of various soils. Soil Science, 135: Pp. 184-192.
- Kouri, L., 1993- L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 237 p.
- Kouri, L., Vogt, T. et Gomer, D., 1997- Analyse des processus d'érosion hydrique linéaire en terrain marneux. Bassin versant de l'oued Mina. Tell. Oranais. Algérie. Bull. Réseau Erosion, ORSTOM. Montpellier, 17: Pp. 64 -73.
- Kouri, L., 2010- Analyse des processus de ravinement et détermination de la sensibilité des terrains marneux dans le Tell oranais (Algérie), Sécheresse, 2010, Volume 21, Numéro 4. Pp:257- 65.
- Lafren J. M. et Moldenhauer. W. C., 2003 - Pioneering soil erosion prediction: the USLE story, World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Special Publication, no 1, 54 p

Références bibliographiques

- Laws, J.O., 1940 - Recent studies in raindrops and erosion. *Agric. Engr.*, 21: Pp. 431-433.
- Le Bissonnais, Y., 1988 - Analyse des mécanismes de dégradation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, Université, Orléans, 196 p.
- Le Bissonnais, Y., 1990 - Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. In: R.B. Bryan (Editor), *Soil erosion - experiments and models*, Pp. 13-28.
- Le Bissonnais, Y., 1996 - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47: Pp. 425-437.
- Le Bissonnais, Y., Thorette, J. et Daroussin, J., 2002 - L'érosion hydrique des sols en France, IFEN- INRA, 106 p.
- Loch, R.J., 1994 - A method for measuring aggregate water stability with relevance to surface seal development. *Australian Journal of soil Science*, (32) Pp. 687-700.
- Mahieddine, M., 1997 - Quantification et variabilité parcellaires sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'oued Mina. Thèse de Magister, INA, El-Harrach, Algérie. 120 p.
- Mazour, M., 1992 - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin-versant de l'Oued Isser Tlemcen, Algérie *Bull Réseau Erosion*, 12 : 300-13
- Mazour, M. et Roose, E., 2002 - Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans les bassins versants du nord-ouest de l'Algérie *Bull Réseau Erosion*; 21 ·320-30.
- Meyer, L.D., 1984 - Evolution of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 39(2): Pp. 99-104.
- Morsli, B., Habi, M., et Hamoudi, A., 2007 - Contraintes et perspectives des aménagements hydroagricoles et antiérosifs en Algérie. Acte des JSIRAUF, Hanoi, Pp. 6-9.
- Moyès, J., 2003 - Description et désignation des sols de la Somme à la tarière. Adaptation d'une méthode de désignation des sols au contexte pédologique et géologique du département. Évaluation de la pertinence des données géologiques et topographiques pour la préparation de travaux de cartographie des sols. ISA Lille. Mémoire de fin d'études, 143 p.
- Muriel, F., 2007 - Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en région Wallonne: avantages agronomiques, avantages environnementaux et séquestration du carbone. Univ. Libre de Bruxelles. En vue de l'obtention du grade académique de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, 102 p.
- Officie National des Statistiques d'Oran (O.N.S.) 2008 - 5^{ème} Recensement Général de la Population et de l'Habitat- 2008.
- Rango, A. et Arnoldus, H.M.J., 1987 - Aménagement des bassins versants. Cahiers techniques de la FAO.
- Roose, E., 1977 - Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest: vingt années de mesures. In *Trav. et Dot. ORSTOM Paris*, no 78; 108 p.
- Roose, E., 1991 - Conservation des sols en zones méditerranéennes, Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive: la GCES, Pédologue à l'Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVI, no 2, 1991: Pp 145-181.
- Roose, E., 1994 - Introduction à la GCES. *Bulletin des sols FAO Rome*:(70):420 p.

Références bibliographiques

- Sadiki, A., 2005- Estimation des taux d'érosion et de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental: application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope ^{137}Cs et de la susceptibilité magnétique. Thèse de doctorat d'Etat. Université Mohamed Premier, Oujda, 320 p.
- Sadiki, A., Faleh, A., Zézere, J.L. et Mastass, H., 2009 - Quantification de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'Oued Sahla Rif central Maroc. Cahiers géographiques - N°6/2009. Pp. 59-70.
- Sadio, S., 2007 - Techniques de conservation des sols et de gestion intégrée de la fertilité en appui au programme de sécurité alimentaire. Guide pratique de terrain, 96 p.
- Saidi, D., Douadi, A., Le Bissonnais, Y. et Walter, C., 1999 - Sensibilité de la surface des sols des plaines du Chélif à la dégradation structurale. Etude et gestion des sols, 6, 1. Pp. 15-25.
- Sauvage, Ch., 1963 - Etages bioclimatiques. Notice et carte au $1/200\ 000$ ^{ème}. Atlas du Maroc Sect. II. P I. 6b. Comité Géographie Maroc. Rabat.
- Smith, D.D. et Whitt, D.M., 1947 - Estimating soil losses from field areas of claypan soils. Soil Science Society of America Proceedings, 12: Pp 485-490.
- Stewart, P., 1969 - Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Bull Soc Hist Nat Afri Nord; 59 : Pp. 23-36.
- TECSULT, 2006 - Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'avant projet détaillé (lots n° 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (lots n° 5 et 6). Phase III. Mesures de protection antiérosive lot n° 5 : Barrages Gargar et S.M. Benaouda. Version définitive, 122 p.
- Thornthwaite C., 1946 - Approach towards rational classification of climate. Geogr. Rev. 38 (1) Pp. 55-94.
- Touaibia, B., Dautrebande, S., Gomer, D. et Mostefaoui M., 1995 - Quantification de l'érosion à partir d'implantation de quatre retenues collinaires dans la zone des marnes. w. Rélizane. Algérie. P. Pp. 408-417.
- Touaibia, B., 2000 - Erosion-Transport Solide-Envasement de barrage. Cas du bassin versant de l'Oued Mina - Wilaya de Relizane. Thèse de doctorat d'Etat, Institut Nationale Agronomique, Alger, 200 p.
- Touaibia, B., Gomer, D., Aïdaoui, A. et Achite, M., 2001 - Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord. Journal des sciences hydrologiques 46 (1), Pp. 41-53.
- Touaibia, B. et Achite, M., 2003 - Contribution à 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). Pp. 235-242.
- United States Department of Agriculture (USDA), 1954 - Annual report southern forest experiment station of USA department of agriculture. 102 p.
- United States Department of Agriculture (USDA), 1998 - Keys to soil taxonomy, 8^{ème} édition.
- Web: <http://www.usgs.gov/pubprod>, date de consultation 13/03/2010.
- Web: <http://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm>, date de consultation 15/03/2010.
- Web: <http://www.Pratique-des-sciences-sociales.net>, date de consultation 27/02/2011.

Références bibliographiques

- Wischmeier, W.H. et Smith, D.D., 1965 - Prediction rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: a guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S.D.A. Agric. Handbook, 282 p.
- Wischmeier W.H., Jonhson C.B. et Cross B.V., 1971 - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Water Conservation 26(5): Pp. 189-192.
- Wischmeier, W.H. et Smith, D.D. 1978 - Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science. U.S. Dept. Agriculture. Agric. Handbook, 537, 60 p.
- Zekri, N., 2003 - Analyse du facteur de l'agressivité climatique dans le Tafna, Nord ouest Algérien. Thèse de Magister, Université de Tlemcen, Algérie, 110 p.
- Zingg, R.W., 1940 - Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agric.Engr.,21:Pp.59-64.

Annexes

Annexe I : Tableaux et figures

Tableau 1: Répartition des pourcentages des surfaces (km²) par tranche d'altitude (m)

Tranche Altitude (m)	$H_i = (H_{n-1} + H_n) / 2$ (m)	Surfaces partielles (S_i) (km ²)	Surfaces partielles (S_i) (%)	$H_i \cdot S_i$	$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot S_i}{S}$
130-180	155	17,23	2,31	2 671,04	
180-230	205	49,36	6,61	10 119,31	
230-280	255	75,32	10,08	19 207,24	
280-330	305	90,42	12,11	27 578,86	
330-380	355	103,58	13,87	36 771,79	
380-430	405	103,18	13,81	41 788,91	
430-480	455	117,28	15,70	53 363,54	
480-530	505	96,64	12,94	48 804,46	
530-580	555	44,93	6,02	24 937,54	
580-630	605	27,34	3,66	16 542,21	
630-680	655	13,07	1,75	8 562,49	
680-730	705	4,49	0,60	3 167,21	
730-780	755	2,14	0,29	1 617,59	
780-830	805	1,17	0,16	943,86	
830-880	855	0,56	0,1	480,94	
880-930	905	0,14	0,02	128,96	
		746,89	100	296 685,95	397 m

H_{moy} : Altitude moyenne de la zone d'étude.

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en m.

S_i : surface partielle comprise entre deux courbes de niveau consécutives n-1 et n en km².

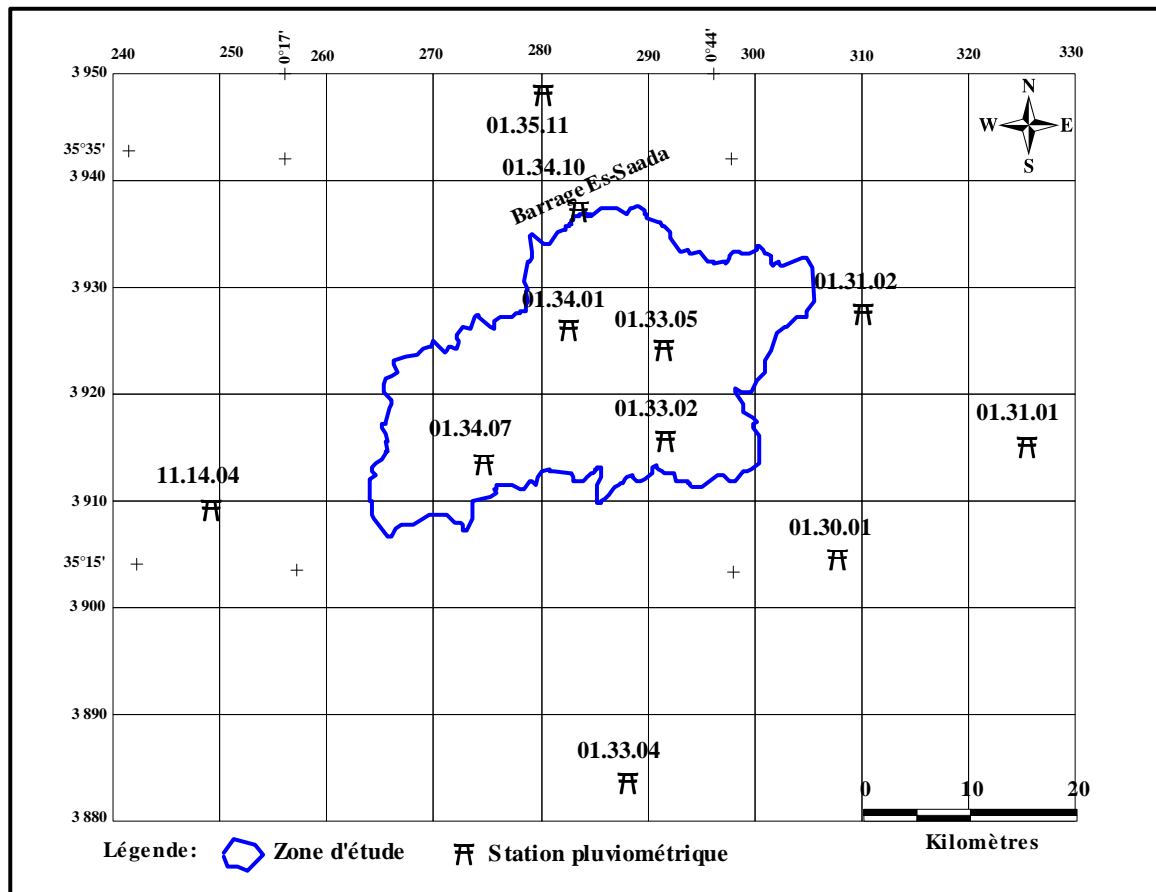


Figure 1: Implantation des stations pluviométriques de la zone d'étude

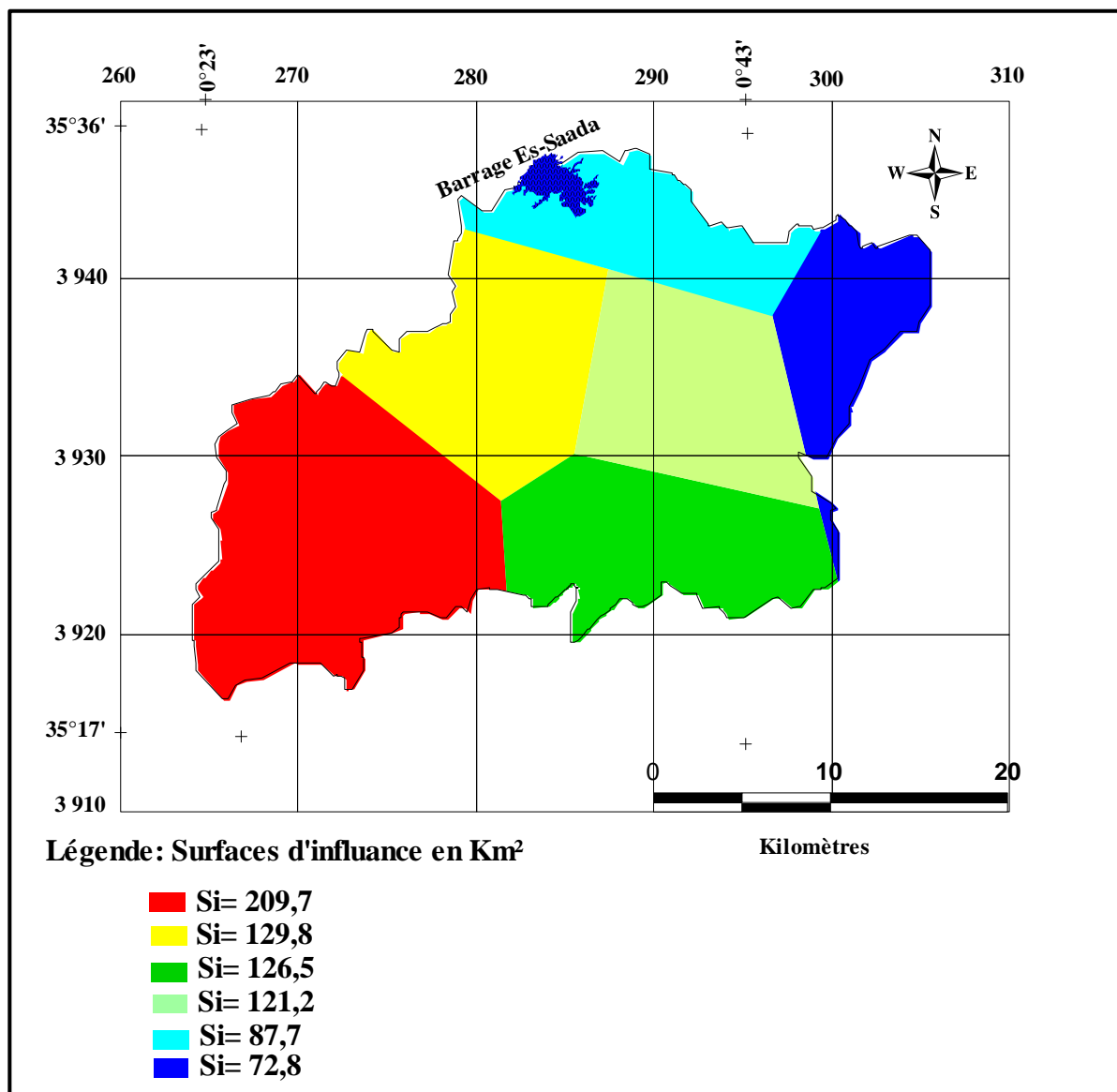


Figure 2: Surfaces d'influence des stations pluviométriques déterminées selon la méthode des polygones de Thiessen

Tableau 2: Données pluviométriques mensuelles (station de Sidi Mhamed Benaouda)
(1990/91- 2008/09)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aût.
1990/1991	14,6	2,8	0,0	8,2	3,5	8,2	17,5	0,9	4,2	1,9	0,9	4,3
1991/1992	0,4	11,3	12,8	2,9	8,0	6,1	17,0	12,6	10,1	6,6	1,2	0,0
1992/1993	0,0	3,8	7,4	2,9	0,0	4,2	3,4	28,5	2,6	0,0	0,0	0,0
1993/1994	10,4	9,0	9,0	6,0	7,8	11,0	0,0	4,5	3,1	0,0	0,0	0,0
1994/1995	2,6	14,0	16,0	8,2	7,5	9,1	28,6	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0
1995/1996	22,0	18,2	3,8	19,2	19,1	30,4	23,8	20,6	3,2	0,0	0,0	0,0
1996/1997	12,5	5,9	2,3	4,3	8,9	4,2	0,0	43,8	4,9	0,0	0,0	2,9
1997/1998	12,2	12,3	23,9	8,1	6,3	2,8	4,8	7,7	13,7	0,0	0,0	1,4
1998/1999	2,2	1,6	2,0	25,5	28,6	10,1	13,1	21,7	3,7	0,0	0,0	0,0
1999/2000	22,0	7,0	11,6	13,0	0,3	0,0	8,4	2,3	11,4	0,0	0,0	0,0
2000/2001	21,0	32,6	20,5	8,6	4,8	13,2	1,0	23,1	10,0	0,0	0,0	0,0
2001/2002	4,5	4,3	37,4	10,6	3,3	0,0	16,5	16,3	32,6	0,0	0,0	6,1
2002/2003	0,0	15,4	6,0	0,0	4,8	6,0	1,1	11,5	10,2	3,2	0,0	7,8
2003/2004	6,1	4,9	14,5	25,0	6,5	9,4	7,6	6,0	29,3	4,9	0,0	0,0
2004/2005	8,9	11,4	19,1	19,5	5,2	12,8	6,9	4,6	0,0	2,1	0,0	0,0
2005/2006	5,5	8,4	19,6	5,4	15,5	10,4	5,2	5,0	13,5	1,4	0,0	0,0
2006/2007	4,4	0,0	0,0	36,3	15,7	8,7	20,5	25,2	4,7	0,0	0,0	0,0
2007/2008	4,0	11,5	20,5	1,4	4,2	8,9	6,2	11,1	10,5	5,3	3,5	0,0
2008/2009	7,0	6,5	14,0	16,0	8,0	8,0	10,5	25,0	4,3	0,0	0,0	2,1

Tableau 3: Températures journalières (max- min) (station météorologique de Rélizane: année 2004)

Mois	Jan.			Fév.			Mar.			Avr.			Mai			Jui.			Jul.			Aût.			Sep.			Oct.			Nov.			Déc.		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy			
1	20,0	5,0	12,5	16,5	6,4	11,5	12,3	4,6	8,45	26,1	4,2	15,15	26,2	10,6	18,4	37,1	16,6	26,85	44,2	19,6	31,9	41,0	21,2	31,1	37,3	26,0	31,7	32,2	14,6	23,4	18,8	11,4	15,1	24,4	14,5	19,5
2	17,0	3,9	10,5	18,7	5,0	11,9	14,0	-1,0	6,5	18,7	7,9	13,3	28,2	7,2	17,7	37,4	17,6	27,5	39,0	19,4	29,2	37,1	24,0	30,55	33,6	21,4	27,5	34,2	14,4	24,3	21,0	10,8	15,9	20,6	12,0	16,3
3	15,3	0,0	7,7	20,9	5,0	12,95	12,2	2,5	7,35	21,0	7,0	14,0	22,6	12,9	17,75	36,0	18,1	27,05	36,0	15,5	25,75	38,0	21,4	29,7	36,5	22,7	29,6	33,0	19,4	26,2	22,1	8,5	15,3	22,5	7,0	14,8
4	14,4	0,0	7,2	15,9	7,6	11,75	17,3	-0,4	8,45	26,2	3,0	14,6	18,4	12,5	15,45	34,2	17,6	25,9	39,6	21,4	30,5	35,6	23,6	29,6	43,5	21,4	32,5	35,2	20,4	27,8	22,6	10,4	16,5	19,4	6,6	13,0
5	16,6	0,1	8,35	17,1	11,2	14,15	25,6	5,1	15,35	27,9	5,2	16,55	21,5	13,5	17,5	35,0	15,5	25,25	41,3	21,5	31,4	37,2	19,6	28,4	40,3	23,0	31,7	35,0	19,0	27,0	23,2	13,5	18,4	19,0	4,4	11,7
6	17,3	-1,1	8,1	16,2	9,2	12,7	23,6	12,1	17,85	28,3	3,8	16,05	21,9	10,6	16,25	37,0	16,8	26,9	42,6	22,8	32,7	41,2	21,4	31,3	34,6	21,5	28,1	34,0	22,4	28,2	26,1	10,5	18,3	17,4	4,4	10,9
7	15,5	-0,5	7,5	18,6	5,7	12,15	20,8	10,2	15,5	30,8	5,6	18,2	21,0	14,8	17,9	32,4	19,6	26,0	33,8	25,6	29,7	43,2	28,4	35,8	40,0	20,6	30,3	37,0	18,4	27,7	23,2	12,2	17,7	16,0	7,3	11,7
8	14,8	0,2	7,5	14,1	6,1	10,1	22,0	3,1	12,55	30,1	9,2	19,65	21,3	14,2	17,75	28,0	19,0	23,5	22,1	19,6	20,85	41,4	27,5	34,45	41,7	24,4	33,1	39,2	24,0	31,6	22,9	11,2	17,1	13,4	9,6	11,5
9	13,7	0,4	7,05	17,1	10,2	13,65	21,5	4,6	13,05	20,3	10,0	15,15	26,2	5,1	15,65	28,6	17,5	23,1	36,5	15,9	26,2	36,4	22,4	29,4	39,3	22,2	30,8	22,4	19,1	20,8	23,5	11,0	17,3	14,6	10,3	12,5
10	20,9	0,3	10,6	19,0	4,0	11,5	20,6	4,7	12,65	18,2	9,7	14,0	24,2	9,2	16,7	29,4	18,6	24,0	34,4	20,6	27,5	36,0	23,6	29,8	39,0	22,2	30,6	25,2	18,4	21,8	19,6	12,4	16,0	14,2	11,0	12,6
11	18,5	0,6	9,55	18,9	5,0	11,95	26,4	11,4	18,9	12,0	7,4	9,7	16,6	9,8	13,2	33,0	16,0	24,5	32,1	22,1	27,1	37,0	22,2	29,6	40,0	23,5	31,8	25,0	16,1	20,6	14,5	8,2	11,4	17,1	10,8	14,0
12	21,8	0,3	11,05	18,8	11,6	15,2	27,0	5,6	16,3	19,2	5,6	12,4	18,2	10,5	14,35	33,0	14,4	23,7	31,6	18,2	24,9	37,5	21,9	29,7	39,5	22,4	31,0	24,4	12,4	18,4	16,0	6,0	11,0	18,6	6,6	12,6
13	20	0,36	10,18	20,0	8,0	14	20,2	8,7	14,45	22,0	1,9	12,0	24,2	6,5	15,35	33,5	14,3	23,9	36,5	18,9	27,7	38,6	22,0	30,3	35,2	23,2	29,2	27,0	13,1	20,1	14,0	9,4	11,7	22,0	6,3	14,2
14	21	4,2	12,6	20,0	15,0	17,5	18,4	10,4	14,4	24,5	6,2	15,35	23,7	8,9	16,3	33,4	16,6	25,0	37,4	17,6	27,5	41,2	23,0	32,1	34,0	18,6	26,3	27,0	12,4	19,7	18,2	10,0	14,1	18,4	7,4	12,9
15	20,5	3,7	12,1	17,6	9,6	13,6	23,6	11,4	17,5	26,6	10,3	18,45	26,2	10,7	18,45	27,5	15,0	21,25	37,5	17,5	27,5	39,0	23,4	31,2	31,4	20,0	25,7	24,8	15,0	19,9	15,2	10,0	12,6	14,6	11,0	12,8
16	20,1	2,8	11,45	19,9	7,0	13,45	22,6	12,0	17,3	20,4	10,4	15,4	27,4	11,0	19,2	25,4	12,2	18,8	41,0	20,6	30,8	38,6	23,0	30,8	33,0	19,2	26,1	26,0	15,0	20,5	15,6	3,4	9,5	16,5	9,9	13,2
17	19,9	3,5	11,7	18,6	2,6	10,6	21,1	9,5	15,3	24,0	11,3	17,65	27,6	9,6	18,6	33,0	12,9	23,0	35,2	23,2	29,2	27,2	21,0	24,1	32,0	18,0	25,0	27,4	10,0	18,7	16,4	3,8	10,1	17,2	6,8	12,0
18	13,2	6,8	10	18,2	0,8	9,5	23,0	11,0	17,0	20,4	11,0	15,7	28,6	10,6	19,6	37,6	14,6	26,1	34,4	22,6	28,5	39,0	19,5	29,25	31,0	14,2	22,6	33,7	11,9	22,8	19,5	4,4	12,0	18,0	8,8	13,4
19	12,6	0,9	6,75	19,2	10,6	14,9	17,2	10,2	13,7	19,0	13,2	16,1	28,9	12,3	20,6	32,2	20,7	26,45	35,2	21,6	28,4	38,6	23,2	30,9	32,6	14,4	23,5	32,0	16,7	24,4	19,5	4,4	12,0	20,5	6,8	13,7
20	13,0	2,3	7,65	22,0	12,3	17,15	20,7	6,1	13,4	24,4	8,6	16,5	29,2	13,5	21,35	30,8	7,0	18,9	42,0	20,4	31,2	36,5	24,1	30,3	35,6	15,4	25,5	34,4	16,2	25,3	18,2	4,4	11,3	17,8	12,7	15,3
21	15,3	9,0	12,15	25,2	15,8	20,5	27,0	5,4	16,2	28,0	6,5	17,25	28,0	14,0	21,0	33,1	14,6	23,85	45,1	23,6	34,35	37,5	22,7	30,1	36,3	16,0	26,2	33,3	18,4	25,9	17,2	4,5	10,9	17,1	8,0	12,6
22	10,5	2,2	6,35	18,0	13,5	15,75	22,0	9,4	15,7	23,5	11,0	17,25	25,5	15,1	20,3	37,6	15,6	26,6	45,6	23,6	34,6	43,2	22,4	32,8	34,0	17,2	25,6	35,9	17,3	26,6	21,2	5,0	13,1	16,7	4,6	10,7
23	10,6	4,9	7,75	22,0	8,0	15,0	18,6	3,1	10,85	22,3	6,2	14,25	26,1	13,9	20,0	37,7	16,7	27,2	43,0	23,4	33,2	44,6	23,4	34,0	35,4	16,0	25,7	33,2	17,8	25,5	17,2	8,0	12,6	15,6	4,0	9,8
24	19,5	2,9	11,2	25,1	5,6	15,35	22,7	1,0	11,9	26,2	5,9	16,05	18,4	15,5	17,0	38,4	16,6	27,5	43,0	26,4	34,7	47,0	27,0	37,0	35,0	18,4	26,7	38,7	19,6	29,2	18,0	8,4	13,2	15,6	0,6	8,1
25	20,2	6	13,1	22,5	8,6	15,55	20,2	6,3	13,3	29,0	7,8	18,4	22,6	11,2	16,9	38,2	18,9	28,55	40,5	23,0	31,75	45,0	26,4	35,7	29,0	21,3	25,2	39,5	16,2	27,9	18,1	7,5	12,8	12,6	7,1	9,9
26	19,0	8,0	13,5	25,2	15,8	20,5	20,6	9,4	15,0	29,7	7,4	18,55	24,2	10,5	17,35	38,6	19,4	29,0	38,5	23,4	31,0	35,6	23,3	29,45	28,0	13,6	20,8	24,0	16,2	20,1	21,0	4,6	12,8	8,6	3,4	6,0
27	19,2	12,2	15,7	15,9	10,0	13,0	24,2	4,6	14,4	32,6	7,4	20,0	24,4	10,0	17,2	40,1	20,5	30,3	39,2	21,5	30,35	35,2	24,2	29,7	29,1	12,0	20,6	27,7	10,4	19,1	23,2	5,0	14,1	8,4	2,8	5,6
28	14,8	11,8	13,3	14,7	7,2	11,0	24,0	8,8	16,4	22,8	15,2	19,0	28,5	9,2	18,85	37,6	20,6	29,1	40,6	20,4	30,5	38,6	24,0	31,3	30,4	13,4	21,9	26,0	19,2	22,6	23,4	6,2	14,8	11,7	1,7	6,7
29	19,5	2,9	11,2	14,5	3,1	8,8	23,4	12,5	18,0	29,7	10,0	19,85	31,7	12,2	22,0	37,6	21,1	29,35	38,0	23,5	30,75	36,6	21,4	29,0	33,3	13,9	23,6	22,5	15,0	18,8	22,0	11,1	16,6	14,4	6,7	10,6
30	18,7	5,0	11,85	/	/	/	21,7	6,6	14,2	22,6	12,5	17,55	33,2	14,0	23,6	39,8	19,4	29,6	36,6	21,2	28,9	36,6	19,6	28,1	32,0	14,4	23,2	15,7	13,8	14,8	18,5	19,0	18,8	13,5	3,6	8,6
31	18,6	2,5	10,55	/	/	/	20,9	7,9	14,4	/	/	/	34,2	14,6	24,4	/	/	/	39,5	21,2	30,35	39,4	21,6	30,5	/	/	/	18,7	11,9	15,3	/	/	/	15,0	4,0	9,5
Moy.	17,2	3,3	10,2	19,0	8,3	13,6	21,1	7,0	14,1	24,22	8,047	16,13	25,1	11,4	18,3	34,44	16,8	25,62	38,1	21,2	29,6	38,7	23,0	30,8	35,09	19,02	27,05	29,8	16,3	23,0	19,66	8,507	14,09	16,5	7,1	11,8

Tableau4 : Températures journalières (max- min) (station météorologique de Rélizane: année 2005)

Mois	Jan.			Fév.			Mar.			Avr.			Mai			Jui.			Jul.			Aût.			Sep.			Oct.			Nov.			Déc.		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
1	17,1	2,9	10,0	13,0	-2,1	5,5	10,9	8,1	9,5	28,1	5,6	16,9	34,4	15,4	24,9	28,1	19,5	23,8	37,1	26,0	31,6	33,6	25,2	29,4	38,2	20,5	29,4	31,0	14,5	22,8	25,0	14,4	19,7	15,0	6,9	11,0
2	14,5	1,4	8,0	13,6	-0,6	6,5	13,8	6,8	10,3	21,1	13,3	17,2	29,1	16,0	22,6	28,2	16,6	22,4	41,6	20,5	31,1	33,6	22,6	28,1	38,0	22,4	30,2	31,7	14,4	23,1	32,2	12,4	22,3	20,4	6,4	13,4
3	15,1	5,1	10,1	13,6	-1,1	6,3	14,0	1,8	7,9	20,5	7,2	13,9	33,0	16,4	24,7	29,2	16,3	22,8	43,0	22,0	32,5	37,3	22,6	30,0	35,4	22,4	28,9	28,1	10,5	19,3	29,0	13,5	21,3	21,3	11,5	16,4
4	16,2	1,8	9,0	15,4	0,0	7,7	12,0	8,6	10,3	19,3	6,6	13,0	31,7	12,9	22,3	34,6	14,6	24,6	33,4	24,0	28,7	38,9	19,5	29,2	36,6	20,0	28,3	27,5	13,2	20,4	25,4	12,0	18,7	20,6	11,2	15,9
5	18,4	3,0	10,7	17,0	-0,1	8,5	13,6	6,5	10,1	21,4	3,4	12,4	25,5	14,4	20,0	36,7	15,0	25,9	36,6	18,6	27,6	38,5	17,6	28,1	39,0	19,1	29,1	28,5	10,2	19,4	21,6	12,2	16,9	20,1	11,3	15,7
6	15,0	-0,9	7,1	14,6	6,6	10,6	16,0	3,8	9,9	26,0	4,1	15,1	28,2	9,4	18,8	37,0	18,8	27,9	38,6	26,0	32,3	38,6	17,7	28,2	32,5	24,4	28,5	29,4	8,6	19,0	21,2	9,6	15,4	19,8	13,0	16,4
7	14,4	-2,4	6,0	19,0	4,8	11,9	11,2	5,7	8,5	30,0	9,4	19,7	33,5	8,0	20,8	35,3	18,6	27,0	39,5	21,6	30,6	41,4	18,6	30,0	25,9	20,4	23,2	30,9	10,3	20,6	24,0	6,6	15,3	18,0	7,3	12,7
8	15,0	-2,1	6,5	12,4	5,3	8,9	14,0	-1,4	6,3	23,0	12,3	17,7	34,2	11,1	22,7	36,0	18,2	27,1	35,2	23,2	29,2	44,4	21,0	32,7	30,4	15,4	22,9	32,0	16,2	24,1	26,0	8,6	17,3	18,0	5,2	11,6
9	14,5	-0,1	7,2	14,4	6,3	10,4	17,2	1,5	9,4	15,2	10,4	12,8	36,6	15,2	25,9	33,5	14,0	23,8	35,5	22,5	29,0	45,6	23,6	34,6	33,0	15,0	24,0	31,7	15,8	23,8	21,3	12,1	16,7	15,8	7,0	11,4
10	13,9	1,0	7,5	16,0	3,0	9,5	18,4	1,0	9,7	15,0	3,2	9,1	34,0	15,1	24,6	37,6	14,0	25,8	35,6	22,4	29,0	22,3	23,0	22,7	32,4	16,6	24,5	30,4	16,6	23,5	17,4	9,9	13,7	14,4	2,4	8,4
11	14,2	0,4	7,3	16,0	1,0	8,5	17,0	5,1	11,1	19,0	0,2	9,6	33,4	14,9	24,2	38,1	16,0	27,1	37,5	21,6	29,6	34,5	23,6	29,1	31,0	18,3	24,7	30,1	18,2	24,2	12,8	4,7	8,8	13,9	5,5	9,7
12	13,9	0,5	7,2	18,4	0,8	9,6	21,0	5,4	13,2	22,0	0,2	11,1	28,1	15,9	22,0	35,2	21,6	28,4	38,0	18,5	28,3	36,0	16,8	26,4	30,2	16,4	23,3	30,2	19,8	25,0	16,6	10,6	13,6	11,4	5,6	8,5
13	14,0	0,4	7,2	20,3	2,1	11,2	22,0	8,6	15,3	25,6	3,6	14,6	30,2	12,4	21,3	27,0	18,3	22,7	42,3	18,8	30,5	38,1	20,8	29,5	31,4	17,3	24,4	24,2	17,0	20,6	16,7	10,5	13,6	10,6	3,6	7,1
14	14,8	0,6	7,7	14,2	10,2	12,2	20,4	9,3	14,9	26,5	6,9	16,7	27,1	16,4	21,8	30,5	17,2	23,9	43,4	23,4	33,4	38,3	23,3	30,8	31,5	21,4	26,5	18,8	8,0	13,4	18,3	11,0	14,7	14,5	7,4	11,0
15	17,4	0,6	9,0	13,9	2,3	8,1	18,9	13,1	16,0	21,5	9,2	15,4	28,6	10,6	19,6	34,0	12,9	23,5	43,6	24,4	34,0	41,0	22,7	31,9	39,4	20,0	29,7	24,6	14,0	19,3	18,4	5,5	12,0	13,6	0,9	7,3
16	17,5	1,7	9,6	11,4	3,1	7,3	19,2	13,2	16,2	20,0	1,2	10,6	28,8	12,0	20,4	36,0	17,2	26,6	44,5	26,4	35,5	40,7	23,1	31,9	30,6	18,8	24,7	30,4	15,4	22,9	15,0	9,6	12,3	13,5	1,0	7,3
17	16,4	0,8	8,6	11,8	-3,1	4,4	18,2	12,9	15,6	24,0	5,6	14,8	23,5	16,4	20,0	33,1	17,6	25,4	44,5	25,0	34,8	36,4	22,4	29,4	27,0	18,8	22,9	31,8	17,0	24,4	19,6	9,0	14,3	15,2	2,0	8,6
18	15,3	2,0	8,7	13,0	-1,4	5,8	22,4	12,2	17,3	25,0	8,5	16,8	29,0	9,5	19,3	34,2	16,0	25,1	40,5	26,4	33,5	34,2	22,1	28,2	26,0	18,5	22,3	24,2	19,0	21,6	18,4	8,0	13,2	14,4	5,0	9,7
19	15,2	4,4	9,8	15,0	-1,2	6,9	24,6	9,3	17,0	23,0	12,2	17,6	33,5	7,6	20,6	36,2	17,1	26,7	42,5	22,8	32,7	38,0	20,5	29,3	29,0	10,8	19,9	26,0	17,4	21,7	21,0	9,3	15,2	19,0	2,4	10,7
20	17,3	6,5	11,9	17,4	0,6	9,0	26,0	12,4	19,2	24,2	6,8	15,5	36,3	10,6	23,5	36,0	17,4	26,7	40,6	24,0	32,3	35,1	22,6	28,9	29,6	10,4	20,0	26,4	14,4	20,4	24,6	8,1	16,4	15,6	4,6	10,1
21	20,0	4,2	12,1	13,0	5,4	9,2	25,5	13,0	19,3	27,0	8,8	17,9	34,6	15,4	25,0	35,1	19,2	27,2	40,5	23,0	31,8	33,2	21,0	27,1	32,0	13,6	22,8	27,6	13,1	20,4	26,3	16,7	21,5	16,0	6,1	11,1
22	20,5	3,0	11,8	14,0	1,6	7,8	24,6	11,4	18,0	30,6	9,1	19,9	31,1	13,7	22,4	40,4	18,1	29,3	40,6	21,4	31,0	33,3	15,1	24,2	32,6	12,4	22,5	18,0	13,0	15,5	22,4	15,4	18,9	16,5	2,6	9,6
23	18,5	2,6	10,6	16,3	3,3	9,8	26,1	13,0	19,6	30,4	9,5	20,0	32,5	13,6	23,1	42,0	20,5	31,3	39,7	16,6	28,2	35,6	13,7	24,7	29,0	13,9	21,5	27,0	14,2	20,6	17,0	9,5	13,3	18,5	1,6	10,1
24	17,0	2,0	9,5	13,4	2,4	7,9	24,4	14,2	19,3	28,0	12,7	20,4	35,4	15,6	25,5	35,6	22,6	29,1	40,2	20,2	30,2	37,6	15,5	26,6	30,0	13,4	21,7	26,2	13,0	19,6	15,5	4,2	9,9	16,2	2,6	9,4
25	9,2	4,5	6,9	15,5	5,4	10,5	22,2	12,0	17,1	27,0	11,2	19,1	32,6	17,0	24,8	38,7	19,5	29,1	36,8	21,6	29,2	39,5	16,4	28,0	30,1	16,0	23,1	26,0	10,0	18,0	18,5	4,5	11,5	16,2	4,5	10,4
26	9,0	0,0	4,5	15,4	5,6	10,5	23,6	11,2	17,4	29,0	9,0	19,0	32,1	17,4	24,8	39,2	23,2	31,2	37,4	26,0	31,7	40,1	18,3	29,2	30,4	15,4	22,9	31,2	10,6	20,9	14,6	9,9	12,3	19,6	8,6	14,1
27	6,4	-1,2	2,6	13,0	3,3	8,2	20,5	9,0	14,8	23,0	14,4	18,7	32,5	16,6	24,6	43,9	23,1	33,5	36,5	22,1	29,3	38,0	18,9	28,5	31,3	11,1	21,2	33,2	21,9	27,6	13,3	7,3	10,3	18,8	13,0	15,9
28	8,6	-1,5	3,6	10,4	7,1	8,8	20,4	8,6	14,5	20,9	15,1	18,0	36,0	15,6	25,8	35,0	23,0	29,0	37,0	21,6	29,3	38,0	17,8	27,9	32,8	15,6	24,2	32,4	14,4	23,4	15,7	6,6	11,2	18,0	9,5	13,8
29	10,5	2,2	6,4	/	/	/	23,0	7,9	15,5	30,0	12,0	21,0	33,0	17,6	25,3	35,2	19,5	27,4	35,0	24,0	29,5	36,5	18,5	27,5	32,0	16,3	24,2	34,0	18,3	26,2	11,2	6,6	8,9	13,7	8,6	11,2
30	10,6	4,9	7,8	/	/	/	24,2	7,4	15,8	27,6	16,0	21,8	29,5	19,1	24,3	36,2	19,4	27,8	37,0	20,2	28,6	34,6	18,4	26,5	31,0	15,2	23,1	36,4	16,4	26,4	14,6	9,2	11,9	15,8	3,9	9,9
31	11,2	-1,4	4,9	/	/	/	26,1	6,9	16,5	/	/	/	30,6	19,0	24,8	/	/	/	35,5	22,1	28,8	36,6	18,9	27,8	/	/	/	28,0	18,9	23,5	/	/	/	18,0	11,8	14,9
Moy.	14,6	1,5	8,0	14,7	2,5	8,6	19,7	8,3	14,0	24,1	8,3	16,2	31,6	14,2	22,9	35,3	18,2	26,7	39,0	22,5	30,8	37,1	20,1	28,6	31,9	17,0	24,5	28,6	14,7	21,6	19,8	9,6	14,7	16,5	6,2	11,4

Tableau 5: Températures journalières (max- min) (station météorologique de Rélizane: année 2006).

Mois	Jan.			Fév.			Mar.			Avr.			Mai			Jui.			Jul.			Aût.			Sep.			Oct.			Nov.			Déc.		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
1	15,5	12,3	13,9	16,0	10,4	13,2	19,0	10,9	15,0	30,6	10,8	20,7	33,4	12,3	22,9	33,4	12,3	22,9	27,5	16,8	22,2	36,1	25,0	30,6	40,5	23,0	31,8	38,4	21,1	29,8	34,0	16,4	25,2	22,4	7,0	14,7
2	16,0	9,0	12,5	17,4	5,1	11,3	16,8	8,8	12,8	30,0	10,8	20,4	36,3	15,2	25,8	36,3	15,2	25,8	29,5	9,6	19,6	42,0	20,4	31,2	41,0	20,1	30,6	40,4	20,2	30,3	41,4	18,4	29,9	24,2	14,0	19,1
3	15,6	9,0	12,3	19,0	4,9	12,0	16,6	6,6	11,6	31,2	10,5	20,9	23,4	17,2	20,3	23,4	17,2	20,3	30,5	12,0	21,3	38,0	20,5	29,3	40,2	21,0	30,6	39,1	21,5	30,3	34,4	18,9	26,7	20,4	13,2	16,8
4	13,6	0,6	7,1	12,2	9,2	10,7	20,6	9,0	14,8	34,4	13,1	23,8	17,3	14,9	16,1	17,3	14,9	16,1	31,4	12,0	21,7	38,2	23,0	30,6	37,2	18,9	28,1	36,2	21,4	28,8	26,3	21,0	23,7	20,8	10,9	15,9
5	15,0	0,2	7,6	15,6	7,9	11,8	15,0	9,2	12,1	24,4	15,2	19,8	18,4	14,5	16,5	18,4	14,5	16,5	33,0	12,8	22,9	36,0	22,6	29,3	38,5	22,2	30,4	34,1	20,5	27,3	27,2	16,5	21,9	23,4	7,5	15,5
6	17,6	2,3	10,0	15,2	4,6	9,9	14,4	6,6	10,5	24,1	13,2	18,7	24,1	15,6	19,9	24,1	15,6	19,9	37,0	16,2	26,6	36,4	21,6	29,0	40,6	21,2	30,9	37,4	23,2	30,3	27,0	12,6	19,8	17,0	12,3	14,7
7	15,6	6,1	10,9	14,2	1,0	7,6	17,0	6,8	11,9	25,4	11,0	18,2	29,2	12,4	20,8	29,2	12,4	20,8	39,0	15,1	27,1	37,4	20,8	29,1	39,6	22,0	30,8	36,5	23,9	30,2	29,6	12,0	20,8	19,4	7,1	13,3
8	14,1	2,0	8,1	16,2	2,6	9,4	22,5	5,2	13,9	29,4	8,3	18,9	29,3	13,9	21,6	29,3	13,9	21,6	43,0	19,6	31,3	39,1	20,6	29,9	39,5	21,4	30,5	36,1	20,4	28,3	33,2	12,4	22,8	20,1	13,9	17,0
9	14,2	6,6	10,4	18,6	2,4	10,5	23,1	6,3	14,7	32,1	10,2	21,2	30,8	12,2	21,5	30,8	12,2	21,5	37,6	21,9	29,8	44,3	20,5	32,4	35,0	19,4	27,2	36,0	19,4	27,7	31,8	14,0	22,9	17,0	10,0	13,5
10	15,9	8,2	12,1	20,4	6,5	13,5	20,0	9,0	14,5	24,4	16,0	20,2	33,5	13,2	23,4	33,5	13,3	23,4	27,0	21,2	24,1	43,0	22,6	32,8	38,6	19,0	28,8	35,5	21,4	28,5	33,0	15,2	24,1	14,6	10,0	12,3
11	15,5	2,6	9,1	14,3	6,1	10,2	21,0	8,5	14,8	24,5	15,4	20,0	32,2	16,8	24,5	32,2	16,8	24,5	36,2	17,0	26,6	41,6	22,8	32,2	39,7	20,0	29,9	33,3	19,0	26,2	29,3	19,5	24,4	19,2	5,2	12,2
12	15,0	1,0	8,0	16,4	7,4	11,9	21,5	6,5	14,0	21,7	11,0	16,4	31,0	17,7	24,4	31,0	17,7	24,4	30,6	20,2	25,4	40,2	21,2	30,7	38,3	22,4	30,4	30,4	18,0	24,2	29,3	14,2	21,8	16,2	9,9	13,1
13	14,6	1,2	7,9	14,4	1,0	7,7	22,9	4,5	13,7	25,7	9,0	17,4	35,2	17,7	26,5	35,2	17,7	26,5	39,1	22,2	30,7	39,5	22,1	30,8	36,5	23,0	29,8	31,1	19,0	25,1	27,2	14,0	20,6	14,4	9,4	11,9
14	13,8	0,5	7,2	17,0	2,0	9,5	23,2	4,5	13,9	32,9	8,0	20,5	35,0	18,6	26,8	35,0	18,6	26,8	39,6	22,8	31,2	40,0	22,4	31,2	35,7	21,0	28,4	28,6	17,2	22,9	26,0	13,4	19,7	15,0	9,5	12,3
15	20,0	2,4	11,2	18,1	2,9	10,5	22,5	4,4	13,5	38,0	16,5	27,3	35,0	18,4	26,7	35,0	18,4	26,7	29,0	20,0	24,5	39,0	24,6	31,8	33,6	21,5	27,6	23,1	17,0	20,1	28,2	12,4	20,3	16,0	10,6	13,3
16	14,6	0,4	7,5	18,4	5,0	11,7	23,2	4,0	13,6	26,0	18,0	22,0	39,6	17,0	28,3	39,6	17,0	28,3	31,6	17,6	24,6	40,6	22,5	31,6	31,5	19,1	25,3	24,4	16,2	20,3	24,4	13,3	18,9	16,4	9,5	13,0
17	18,2	6,5	12,4	18,9	11,5	15,2	25,2	5,3	15,3	22,4	15,0	18,7	41,5	18,8	30,2	41,5	18,8	30,2	31,0	16,0	23,5	39,3	21,3	30,3	36,0	21,0	28,5	30,2	12,1	21,2	28,7	16,9	22,8	17,1	9,2	13,2
18	16,1	1,4	8,8	17,6	10,1	13,9	18,2	13,6	15,9	22,1	10,1	16,1	43,6	22,0	32,8	43,6	22,0	32,8	31,4	17,4	24,4	39,5	22,0	30,8	31,9	19,5	25,7	32,5	13,1	22,8	27,0	17,4	22,2	17,0	5,4	11,2
19	10,3	4,6	7,5	19,8	6,4	13,1	23,4	6,2	14,8	22,6	9,5	16,1	34,5	19,6	27,1	34,5	19,6	27,1	28,0	20,4	24,2	44,5	23,0	33,8	32,0	18,2	25,1	33,6	14,0	23,8	28,6	16,5	22,6	17,1	10,4	13,8
20	14,1	8,4	11,3	15,2	6,6	10,9	23,6	8,2	15,9	26,1	9,1	17,6	33,1	16,6	24,9	33,1	16,6	24,9	31,0	19,6	25,3	40,6	24,2	32,4	34,2	20,0	27,1	32,6	16,6	24,6	29,4	17,1	23,3	13,2	8,4	10,8
21	16,2	9,5	12,9	14,6	6,1	10,4	16,2	9,5	12,9	28,8	3,4	16,1	36,0	17,6	26,8	36,0	17,6	26,8	35,0	18,0	26,5	42,0	23,0	32,5	37,7	22,6	30,2	39,0	20,1	29,6	30,3	16,0	23,2	11,2	6,5	8,9
22	16,3	3,1	9,7	12,3	3,5	7,9	19,4	10,0	14,7	27,3	15,0	21,2	34,0	19,2	26,6	34,0	19,2	26,6	40,4	18,6	29,5	39,2	23,4	31,3	38,6	23,0	30,8	33,4	20,4	26,9	30,0	15,5	22,8	10,5	8,8	9,7
23	16,4	7,0	11,7	11,4	6,6	9,0	23,8	9,2	16,5	35,6	12,0	23,8	28,6	17,6	23,1	28,6	17,6	23,1	37,2	21,0	29,1	41,0	20,9	31,0	37,3	21,9	29,6	29,5	18,3	23,9	35,3	14,5	24,9	14,1	4,5	9,3
24	16,1	0,6	8,4	12,6	5,6	9,1	22,8	9,0	15,9	35,3	12,0	23,7	26,0	17,6	21,8	26,0	17,6	21,8	35,4	21,6	28,5	40,2	22,4	31,3	34,3	22,0	28,2	37,5	18,6	28,1	32,0	17,2	24,6	13,5	8,6	11,1
25	15,6	2,4	9,0	14,0	4,6	9,3	25,0	10,4	17,7	20,5	15,6	18,1	19,6	15,8	17,7	19,6	15,8	17,7	34,4	20,3	27,4	38,7	22,3	30,5	35,1	21,0	28,1	28,9	17,2	23,1	36,5	14,0	25,3	13,0	10,1	11,6
26	11,5	7,5	9,5	17,7	6,2	12,0	32,2	7,4	19,8	23,9	16,0	20,0	31,4	14,5	23,0	31,4	14,5	23,0	34,6	20,2	27,4	41,2	18,8	30,0	36,7	16,0	26,4	30,5	16,0	23,3	30,0	14,5	22,3	14,6	9,6	12,1
27	19,6	3,5	11,6	12,0	9,0	10,5	33,0	10,0	21,5	28,2	9,4	18,8	32,3	18,4	25,4	31,5	19,5	25,5	43,6	20,0	31,8	36,6	20,8	28,7	31,7	14,0	22,9	26,5	18,6	22,6	21,6	12,4	17,0	17,7	5,5	11,6
28	20,6	13,2	16,9	19,5	2,4	11,0	25,5	14,1	19,8	21,9	14,6	18,3	37,4	19,0	28,2	30,6	19,2	24,9	40,2	24,2	32,2	37,1	18,5	27,8	31,3	16,5	23,9	32,5	16,0	24,3	23,2	8,2	15,7	19,0	11,0	15,0
29	13,9	7,5	10,7	/	/	/	26,0	8,0	17,0	25,7	12,4	19,1	39,0	18,6	28,8	32,1	16,1	24,1	40,0	20,5	30,3	39,6	20,2	29,9	30,0	19,0	24,5	31,0	13,0	22,0	20,2	12,0	16,1	18,0	10,1	14,1
30	14,0	0,3	7,2	/	/	/	29,4	7,0	18,2	29,0	9,5	19,3	31,3	17,6	24,5	36,4	17,5	27,0	42,0	21,3	31,7	40,9	18,5	29,7	33,6	15,4	24,5	33,5	12,0	22,8	20,5	8,7	14,6	17,3	6,3	11,8
31	13,2	8,0	10,6	/	/	/	32,0	7,3	19,7	/	/	/	25,4	18,4	21,9	/	/	/	41,4	22,5	32,0	40,6	20,0	30,3	/	/	/	32,5	13,0	22,8	/	/	/	17,1	4,8	11,0
loy.	15,4	4,8	10,1	16,0	5,6	10,8	22,4	7,9	15,2	27,5	12,0	19,7	31,5	16,7	24,1	31,4	16,6	24,0	35,1	18,7	26,9	39,8	21,7	30,7	36,2	20,2	28,2	33,0	18,0	25,5	29,2	14,8	22,0	17,0	9,0	13,0

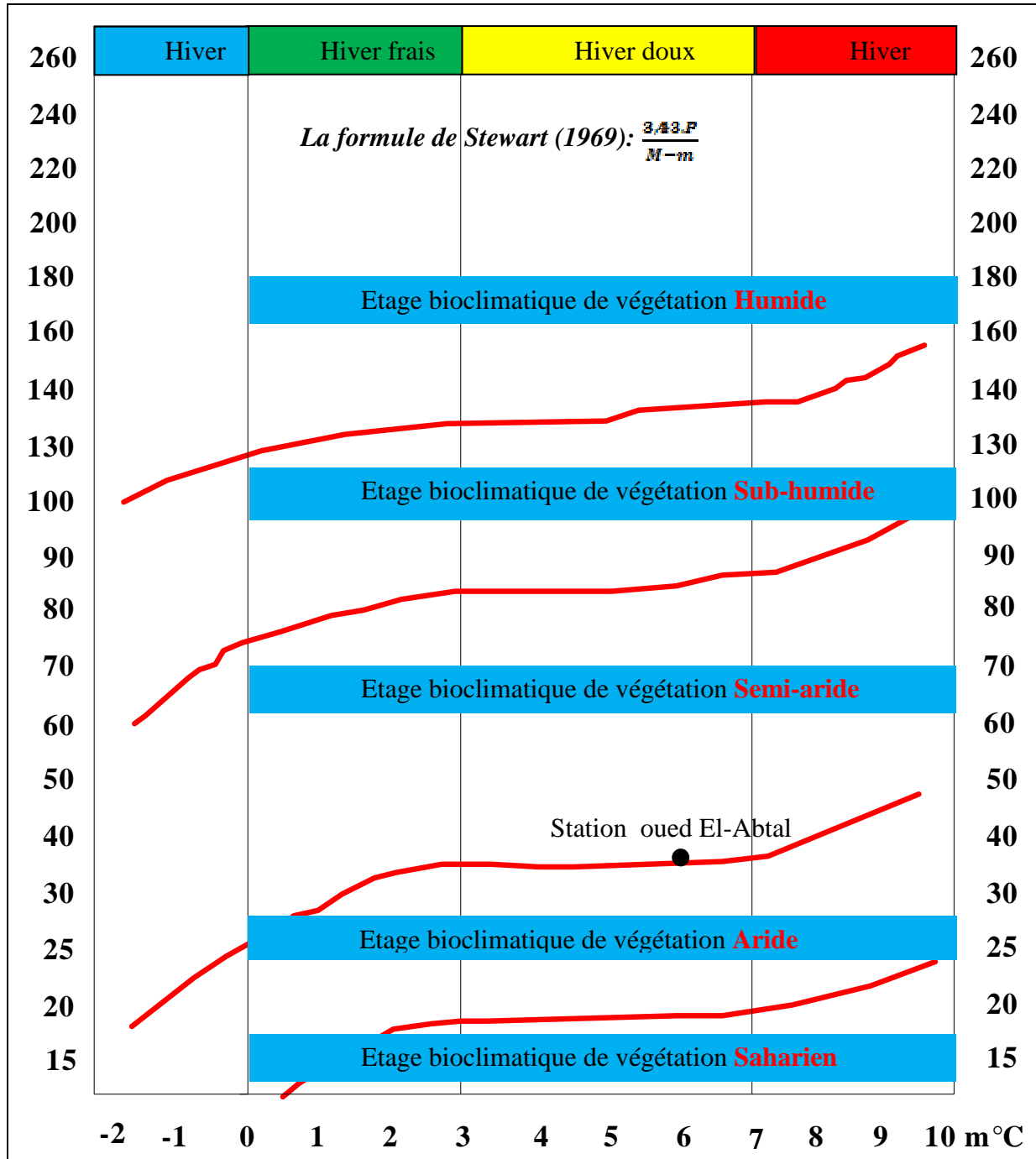


Figure 3: Climagramme d'Emberger (station oued El-Abtal: 1969/70 - 2005/06)

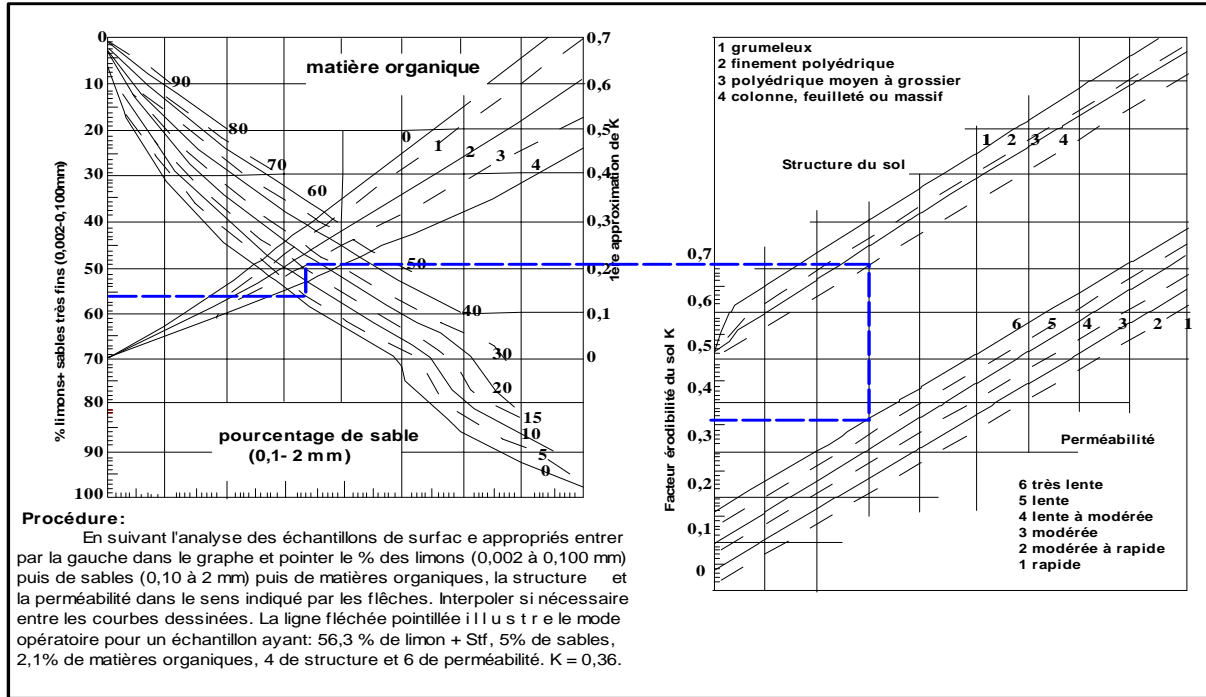


Figure 4: Nomogramme permettant l'évaluation rapide du facteur K de l'érodibilité des sols (d'après Wischmeier et al. 1971)

Tableau 6: Valeurs de LS pour des inclinaisons et des longueurs de pentes spécifiques

Pente en %	Longueur de pente (en pied)											
	25	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
0,2	0,060	0,069	0,083	0,080	0,096	0,113	0,201	0,287	0,400	0,536	0,673	0,992
0,5	0,073	0,098	0,163	1,37	1,80	2,30	2,84	3,43	4,08	0,086	0,104	0,123
0,8	0,086	0,233	0,303	0,227	0,325	0,471	0,656	0,824	1,21	1,68	2,21	2,81
2	0,133	0,307	0,476	3,48	4,21	5,00	0,092	0,110	0,130	0,248	0,354	0,528
3	0,190	0,701	0,968	0,759	0,952	1,41	1,94	2,55	3,25	4,01	3,86	5,77
4	0,230	1,28	1,62	0,099	0,119	0,141	0,280	0,400	0,621	0,928	1,17	1,72
5	0,268	2,01	2,43	2,37	3,13	3,98	4,92	5,95	7,07	0,105	0,126	0,149
6	0,336	2,88	0,075	0,305	0,437	0,697	1,07	1,35	1,98	2,74	3,61	4,59
8	0,496	0,90	0,107	5,68	6,87	8,16	0,110	0,132	0,156	0,466	0,326	0,762
10	0,685	0,185	0,264	1,20	1,50	2,22	0,06	4,04	5,13	6,35	7,68	9,12
12	0,903	0,357	0,464	0,114	0,137	0,162	0,344	0,492	0,820	1,31	1,65	2,43
14	1,15	0,583	0,859	3,36	4,42	5,62	6,95	8,41	10,00	0,121	0,145	0,171
16	1,42	1,19	1,56	0,376	0,536	0,920	1,52	1,90	2,81	3,87	5,11	6,49
18	1,72	1,99	2,46	8,03	9,71	11,5	0,126	0,152	0,179	0,402	0,573	1,01
20	2,04	2,97	3,53	1,69	2,13	3,14	4,33	5,71	7,26	8,98	10,9	12,9

Tableau 7 : Estimation de perte en terre pour des segments successifs de même longueur sur une pente uniforme

Nbr. de segments	Suite de segments	Rapport des pertes en terre par segment par rapport aux pertes totales de la pente Ai/A		
		m = 0.5 m	m = 0.4	m = 0.3
1	1	0,35	0,38	0,41
	2	0,65	0,62	0,59
2	1	0,19	0,22	0,24
	2	0,35	0,35	0,35
	3	0,46	0,43	0,41
3	1	0,12	0,14	0,17
	2	0,23	0,24	0,24
	3	0,30	0,29	0,28
	4	0,35	0,33	0,31
4	1	0,09	0,11	0,12
	2	0,16	0,17	0,18
	3	0,21	0,21	0,21
	4	0,25	0,24	0,23
	5	0,28	0,27	0,25

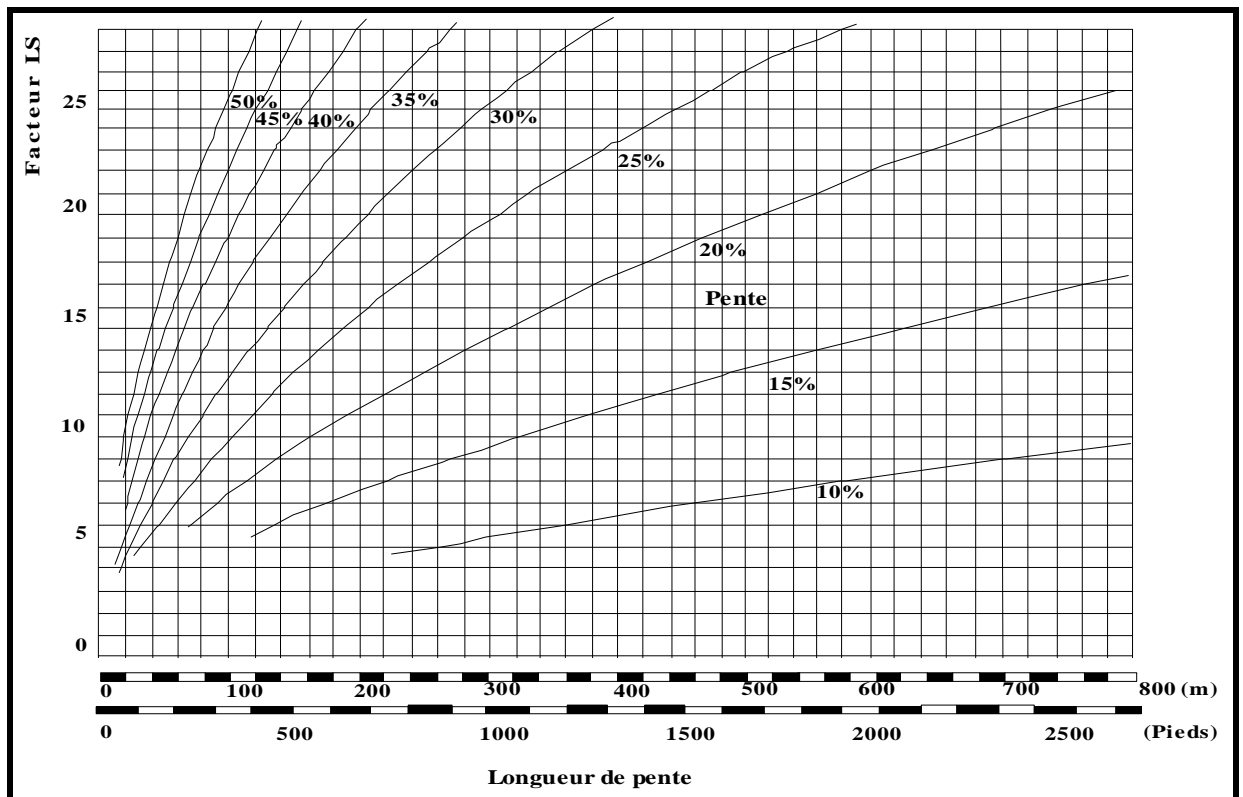


Figure 5: Abaque d'estimation du facteur topographique LS

Tableau 8: Résultats des analyses physico-chimiques des altérites de marnes tertiaires de la zone d'étude

Les types de marnes et de sols	n° de station de prélèvement	Localisation		Stratigraphie	% Argile	% limon			% Sables		% Gravi. > 2mm	% élémts fins 0- 50µ	% MO	Texture	ndice de battanc (IB)	ndice de stabilité structurale (Is)	Structure	Perméabilité			
		Projection: UTM Zone 31, Northern Hemisphere (WGS 84)				0 - 2µm	2 - 20µm	20 - 50µm	50 - 100µm	100 - 2000µm											
		X (m)	Y (m)																		
Marnes vert- clair	1	288 305,2	3 935 774,0	Oligocène marin: marnes	34	33	4,4	18,9	5	2,6	71,4	2,1	A	0,8	11,9	polyédrique et granulaire très grossier	Très lente				
	2	278 394,2	3 929 457,3	Oligocène marin: marnes	36	37	2,1	17,3	2	2,5	75,1	3,1	AL	0,9	20,5						
	3	288 751,4	3 929 488,3	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	39,7	33,7	2,7	18	2,8	1,1	76,1	2,0	A	0,9	24,1						
Marnes vert- clair armées de grés	4	293 355,4	3 922 199,1	Miocène inférieur: marnes	35,5	38,1	1,9	13	2,3	7	75,5	2,2	AL	0,8	9,5			polyédrique et granulaire très grossier	Très lente		
	5	273 542,6	3 928 390,2	Oligocène marin: marnes	32,6	39	2,2	13,2	3	8,2	73,8	1,8	AL	0,7	7,8						
	6	279 986,0	3 931 702,8	Miocène inférieur: marnes	31,2	32	8,7	12,3	8,5	5,4	71,9	1,9	A	0,7	6,1						
Marnes vert- clair armées de calcaire	7	267 442,5	3 927 337,1	Oligocène marin: marnes	38	27,9	4,7	14	4	9,1	70,6	2,3	ALO	1,1	6,5					polyédrique et granulaire très grossier	Très lente
	8	270 359,5	3 925 623,7	Oligocène marin: marnes	34,8	38,7	6,1	9	4,2	4,7	79,6	2,5	AL	0,8	10,0						
	9	272 469,9	3 925 096,5	Eocène moyen marin : marnes	39,2	30,8	4,3	18,1	2,6	3	74,3	2,0	A	1,0	16,5						
Marnes brunes	10	291 052,5	3 925 484,3	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	46,3	40,3	1,2	4,4	4,4	0,7	87,8	2,7	ALO	1,0	18,1	Modérée					
	11	280 286,1	3 918 503,9	Miocène inférieur: marnes	40,7	42	3,1	7,9	2,1	0,9	85,8	3,3	AL	0,9	31,2						
	12	285 684,9	3 936 122,1	Oligocène marin: marnes	42,1	42,6	1,9	3,4	6,4	0,6	86,6	3,0	AL	0,9	12,9						

Tableau 9: Résultats des analyses physico-chimiques des altérites de marnes tertiaires de la zone d'étude

Les types de marnes et de sols	n° de station de prélèvement	Localisation		Stratigraphie	% Argile	% limon			% Sables		% Gravi. > 2mm	% élémts fins 0- 50µ	% MO	Texture	Indice de battance (IB)	Indice de stabilité structurale Is	Structure	Perméabilité	
		Projection: UTM Zone 31, Northern Hemisphere (WGS 84)				%	%	%	%	%									
		X (m)	X (m)																
Marnes brunes armées de grés bruns	13	280 206,0	3 937 395,6	Oligocène marin: marnes	46,7	31	3	8	6	2	80,7	3,3	ALO	1,3	11,1	polyédrique et granulaire très grossier	Modérée		
	14	291 940,6	3 918 991,5	Miocène inférieur: marnes	40,6	40,1	1,3	7,6	6,3	1,7	82	2,4	AL	0,9	11,2				
	15	294 125,8	3 917 648,0	Miocène inférieur: marnes	39,3	41	2	5,3	6,7	3,8	82,3	1,9	AL	0,8	8,3				
Marnes brunes armées de calcaire	16	268 420,7	3 922 064,4	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	41,3	40,3	3,7	5,8	0,8	5,2	85,3	2,9	ALO	0,9	15,2		polyédrique et granulaire très grossier	Modérée	
	17	264 512,3	3 923 568,1	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	37	41,4	5	4	7	3,6	83,4	2,0	AL	0,7	8,2				
	18	264 702,3	3 920 176,2	Jurassique moyen: calcaires	36,7	37,6	2	6,3	8	6,8	76,3	2,6	ALO	0,9	5,6				
Marnes bleues compactes et calcaires	19	286 336,6	3 930 797,7	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	47	26,7	1,3	2	15,3	5,2	75	2,5	ALO	1,5	3,8			polyédrique et granulaire très grossier	Lente
	20	281 484,8	3 933 735,6	Miocène inférieur: marnes	51	19,9	3	4	15,9	3,5	73,9	2,7	ALO	2,0	4,0				
	21	298 451,6	3 927 907,4	Oligocène marin: marnes	49,7	23,1	0,9	5,6	14,7	2,8	73,7	3,2	ALO	1,9	4,5				
Marnes grises	22	287 861,5	3 932 607,6	Eocène inférieur marin : marnes	34,6	36	2,7	19,4	1,9	3,2	73,3	2,2	A	0,8	18,2	polyédrique et granulaire très grossier			Très lente
	23	292 819,2	3 930 774,9	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	34	40,3	1,8	14,2	2	5,7	76,1	2,0	AL	0,7	11,7				
	24	287 750,9	3 933 099,0	Oligocène marin: marnes	37,2	35,8	2,3	14,5	2,1	5,8	75,3	2,3	AL	0,9	11,4				

Tableau 10: Résultats des analyses physico-chimiques des altérites de marnes tertiaires de la zone d'étude

Les types de sols marnes et de terrasses	N° de station de prélèvement	Localisation		Stratigraphie	% Argile	% Limon			% Sables		% Gravi. > 2mm	% élémts fins 0- 50µ	% MO	Texture	Indice de battance (IB)	Indice de stabilité structurelle Is	Structure	Perméabilité
		Projection: UTM Zone 31, Northern Hemisphere (WGS 84)				0 - 2µm	2 - 20µm	20 - 50µm	50 - 100µm	100 - 2000µm								
		X (m)	X (m)															
Alluvion, reg et terrasse	25	284 424,6	3 932 326,7	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	26	19,5	16,6	22,3	7,7	4,9	62,1	3	A	1,0	6,7	Granulaire fin et grumeuse fine (1 à 2 mm)	Lente à modérée	
	26	295 370,3	3 925 926,1	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	24,1	18	14,6	26,6	9	5	56,7	2,7	A	1,0	6,0			
	27	288 361,5	3 930 705,7	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	21	21	16,3	23	3,3	13,4	58,3	2	A	0,7	4,9			
Sable vif	28	270 031,1	3 920 051,2	Miocène inférieur marin: marnes	22,6	15	18,7	37,2	1,6	1,7	56,3	3,4	LAS	1,1	28,3	Granulaire fin et grumeuse fine (1 à 2 mm)	Modérée à rapide	
	29	268 603,4	3 918 971,5	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	35	14	27	16,4	2,5	3	76	2,1	AL	1,1	16,8			
	30	265 765,9	3 917 436,5	Jurassique moyen: calcaires	24,7	20,3	3,5	44	1,8	2,9	48,5	2,8	LSA	1,2	19,7			
Terrains calcaires	31	267 579,2	3 915 944,4	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	31	21,1	4,4	34,6	2,1	4,9	56,5	1,9	LSA	1,2	13,0	Granulaire très fine et grumeuse très fin (< 1 mm)	Modérée	
	32	276 989,2	3 916 971,6	Miocène inférieur marin: marnes	32	17,1	6,6	36,5	1,8	4,9	55,7	1,1	A	1,2	13,8			
	33	269 528,3	3 916 721,6	Quaternaire continental: alluvion, regs et terrasses	29,8	16,4	7	36,9	2,6	6	53,2	1,3	A	1,2	10,5			

Tableau 11: Distribution des valeurs du facteur C dans la zone d'étude

Type de vegetation	C	Surface	
		(ha)	(%)
Reboisement dense: à base de <i>Pinus halpensis</i> .	0,13	587,3	0,8
Cultures maraichères.	0,27	905,5	1,2
Matorral clair arboré: <i>Quercus ilex</i> et <i>Pistacia lentiscus</i> .	0,29	1 299	1,7
Cultures pérennes.	0,32	7 928	10,6
Matorral clair: <i>Tetraclinis articulata</i> .	0,34	492,1	0,7
Steppe à <i>Artemesia herba alba</i> .	0,36	939,1	1,3
Reboisement très clair sur des sols stériles: à base de <i>Pinus halpensis</i> , <i>Eucalyptus gamphocephala</i> , <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Atriplex halimus</i> .	0,37	1 559	2,1
Cultures annuelles (blé et orge) sur les plaines des vallées au long des oueds et sur des sommets à sol profond.	0,7	22 546	30,2
Bad-lands (sol nu et largement nu: ravinement intense et généralisé) + pâturage sur des sols rocheux+ terrains nus.	1	37 336	50,0
Agglomérations + surfaces d'eau.	/	1 096,9	1,5
Total		74 689	100

Tableau 12: les travaux antiérosifs et les valeurs de l'indice P

Travaux antiérosifs	P	Surfaces	
		en ha	en %
Un billonnage cloisonné	0,15	7 928	10,6
Travaux d'aménagement des terrasses	0,20	105,3	0,1
Reboisement de pin d'Alep (plantes de couverture)	0,30	587,3	0,8
Labour et billonnage isohypse	0,50	905,5	1,2
Labour isohypse	0,75	22 546	30,2
Surface totale subie aux travaux antiérosifs		32 072	42,9
Surface de la zone d'étude		74 689	100%

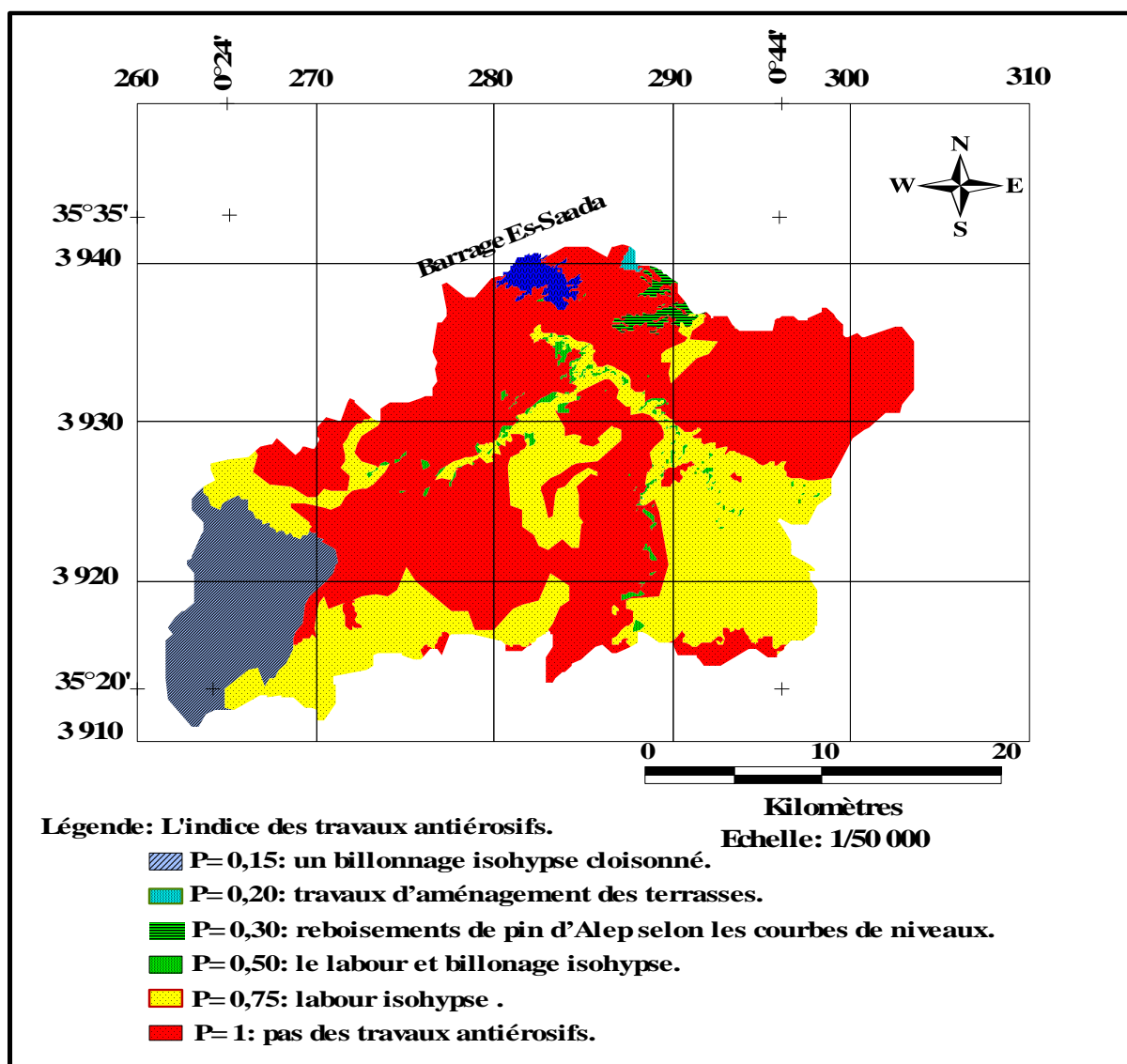


Figure 6: Carte des pratiques antiérosives

Tableau 13: Valeurs critiques du Coefficient de corrélation de Pearson à DDL= $n-2$.

(Critical Values of the Pearson Product-Moment Correlation Coefficient at $df= n-2$)

Level of Significance p (two-tailed)				
df	0.10	0.05	0.02	0.01
1	.988	.997	.9995	.9999
2	.900	.950	.980	.990
3	.805	.878	.934	.959
4	.729	.811	.882	.917
5	.669	.754	.833	.874
6	.622	.707	.789	.834
7	.582	.666	.750	.798
8	.549	.632	.716	.765
9	.521	.602	.685	.735
10	.497	.576	.658	.708
11	.476	.553	.634	.684
12	.458	.532	.612	.661
13	.441	.514	.592	.641
14	.426	.497	.574	.623
15	.412	.482	.558	.606
16	.400	.468	.542	.590
17	.389	.456	.528	.575
18	.378	.444	.516	.561
19	.369	.433	.503	.549
20	.360	.423	.492	.537
21	.352	.413	.482	.526
22	.344	.404	.472	.515
23	.337	.396	.462	.505
24	.330	.388	.453	.496
25	.323	.381	.445	.487
26	.317	.374	.437	.479
27	.311	.367	.430	.471
28	.306	.361	.423	.463
29	.301	.355	.416	.456
30	.296	.349	.409	.449
35	.275	.325	.381	.418
40	.257	.304	.358	.393
45	.243	.288	.338	.372
50	.231	.273	.322	.354
60	.211	.250	.295	.325
70	.195	.232	.274	.303
80	.183	.217	.256	.283
90	.173	.205	.242	.267
100	.164	.195	.230	.254

Source web: [http://www. Pratique des sciences sociales.net](http://www.Pratique des sciences sociales.net)

Annexe II : Planches photographiques



Planche 1: Céréaliculture sur les sommets des collines
(Original: avril, 2010)



Planche 2: Céréaliculture dans les vallées des oueds et sur des versants à pente douce (Original: avril, 2010)



Planche 3: Hauteur et recouvrement de céréaliculture dans les vallées des oueds (Original: avril, 2010)



Planche 4: Parcelles de cultures maraichères dans un périmètre irrigué (Original: avril, 2010)



Planche 5: Parcelles des cultures maraichères labourées suivant les courbes de niveau (Original: avril, 2010)



Planche 6: Travaux d'aménagement des terrasses (Original: mai, 2010)



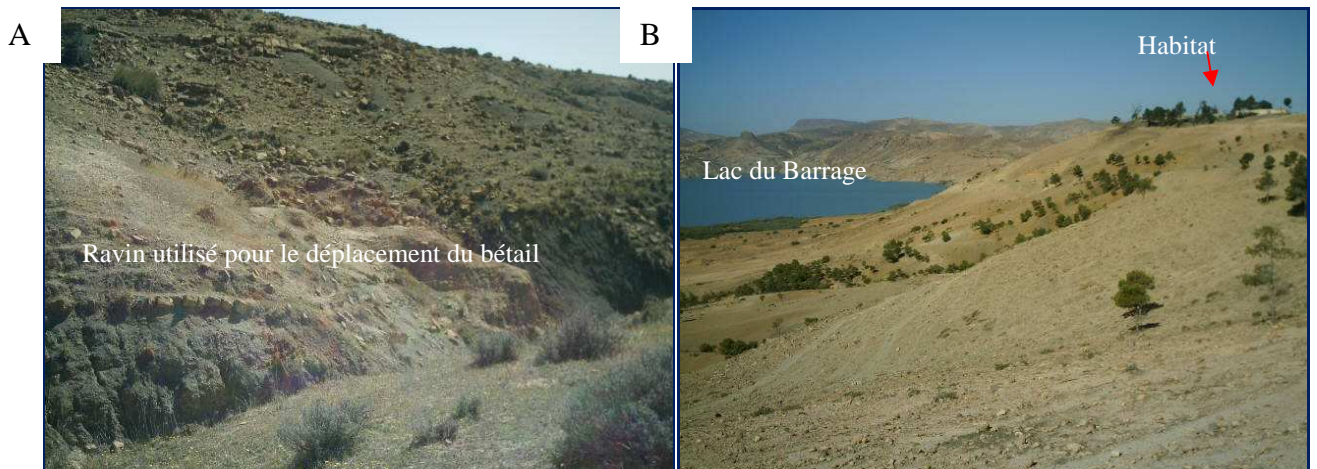
Planche 7: Reboisement de *Pinus halpensis* sur des escarpements marneux (Original: mai, 2010)



Planche 8: *Stipa tenacissima* sur des affleurements marneux dans le secteur N/W (Original: mai, 2010)



Planche 9: Un paysage automnal formé par un tapis végétal à base d'adventices (Original: mars, 2011)



Planches 10 (A et B): Le phénomène de piétinements des parois de sols marneux (Original: mai,2010)



**Planche 11: Particules fines floculées dans un cours d'eau
(Oued Abed: douar Ouled Bali) (Original: mars, 2011)**



Planches 12 (A.B.C): Le ruissellement se concentre et se transforme en écoulement à chenaux sur des versants de l'oued Mina(Original, Avril 2010)