

may - 059. 41 - 3/04
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE FORESTERIE

THESE

Pour l'obtention du diplôme de magistère en foresterie

Option :

Gestion durable des zones de montagnes et développement durable

Présentée par :

M^{me} BOUGHALEM Née KASMI Montafia

THEME :

IMPACT DES MODES DE GESTION DES TERRES SUR
LA CONSERVATION DE L'EAU ET DES SOLS
SUR LES VERSANTS MARNEUX DE L'ISSER
TLEMCCEN - ALGERIE

Soutenue le : 28/10/2007 devant le jury composé de :

Mr. BOUHRAOUA R.T	Maître de conférences	Président	Université de Tlemcen
Mr. BOUAZZA M	Professeur	Examineur	Université de Tlemcen
Mr. BENABADJI N	Professeur	Examineur	Université de Tlemcen
Mr. MORSLI B	Chargé de recherche	Examineur	INRF de Tlemcen
Mr. MAZOUR M	Maître de conférences	Encadreur	Université de Tlemcen

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2006-2007

*Maîtriser l'érosion n'est que la première étape dans la reconstruction du pays;
La tâche la plus importante consiste à mettre en œuvre, pour
chaque région et chaque terre, un système de culture
assurant la conservation des sols.*

R.G.DOWES

Liste des tableaux

Page

Première partie

Tableau 1 : Exemple de parcelles de maïs sous culture pendant 5 ans.....	19
Tableau 2 : Efficacité de trois types de seuils sur le ravinement.....	33
Tableau 3 : Détermination de l'écartement entre les structures anti-érosives en fonction de la pente.....	33

Deuxième partie

Tableau 4 : Principales caractéristiques analytiques des sols de Bounakhla-Hériz et Sidi Ahmed Chérif.....	36
Tableau 5 : Précipitations moyennes mensuelles dans les stations climatiques Sidi Abdelli, Ouled Mimoun et Bounakhla 1990-2005.....	40
Tableau 6 : Précipitation moyennes annuelles (mm) dans les trois stations météorologiques	41
Tableau 7 : Précipitations saisonnières (1990-2005).....	42
Tableau 8 : Pluies journalières maximales pour les stations de Sidi Abdelli et Bounakhla (1999-2005) et pour la station de Ouled Mimoun (1990-2005).....	43
Tableau 9 : Températures moyennes annuelles de la station de Bounakhla période 1990-2005.....	44
Tableau 10 : Caractéristiques du bassin versant de l'Isser : Récapitulatif des résultats.....	46
Tableau 11 : Formations lithologiques par rapport à la surface totale du bassin versant de l'Isser.....	48
Tableau 12 : Présentation des différents types de sol dans le bassin versant des trois micobassins versant de S. A.Chérif, S. Bounakhla et Hriz.....	50
Tableau 13 : Distribution du couvert végétal dans le bassin versant de l'Oued Isser.....	54

Troisième partie

Tableau 14 : Répartition des surfaces en fonction des modes d'occupation du sol dans les micro bassins versants de Hériz, Sidi Bounakhla et Sidi Ahmed Cherif	55
---	----

Quatrième partie

Tableau 15 : Ecart des pluies annuelles par rapport aux moyennes annuelles déterminées sur trois périodes de mesures et les pluies maximales journalières.....	67
Tableau 16 : Précipitations moyennes annuelles dans la station de Hériz.....	68.
Tableau 17 : Evènement pluviométrique ayant engendrés des transports solides importants.....	69
Tableau 18 : Erosion et ruissellement sur parcelles expérimentales à Hériz -Bounakhla (1991-2005) Tlemcen.....	69

Tableau 19 : Erosion et ruissellement sur parcelles expérimentales à Sidi Ahmed Chérif A - Exposition sud-ouest (1991-2005) Tlemcen.....	70
Tableau 20 : Erosion et ruissellement sur parcelles expérimentales à Ahmed . Chérif B - Exposition nord-est (1991-2005) Tlemcen.....	71
Tableau 21 : Teneurs en carbone organique (C %) sur 10 cm de profondeur du sol brun calcaire argileux.....	72
Tableau 22 : Stocks en carbone (t/ha) sur 0-10 cm en fonction des systèmes de gestion des sols à Tlemcen.....	73
Tableau 23 : Perte en carbone par érosion superficielle sur système cultivé en 2000-2005 à Tlemcen.....	74
Tableau 24 : Influence du type de sol et de la pente sur le ruissellement et l'érosion sur une parcelle nue.....	77
Tableau 25 : Coefficient de ruissellement (K_{rmax} %) et érodibilité (K_{usle}) sur sols nus labourés dans le bassin versant de la Tafna.....	80
Tableau 26 : Influence du type de sol et de la pente (%) sur le ruissellement (%) et l'érosion (t/ha/an).....	82
Tableau 27 : Stocks totaux de carbone organique du sol (SOC) en (Pg C) et capacité moyenne de séquestration par grande zone agro- écologique (pour une profondeur de 30 cm et 1 m).....	85
Tableau 28 : Effet de l'exposition sur les teneurs en carbone organique sur sol nu, cultivé et parcours dans les monts de Tlemcen.....	86

Liste des photos

Page

Première partie

Photo 1	: Seuil de correction torrentielle en terre avec déversoir endommagé à Sidi Ahmed Chérif.....	34
Photo 2	: Correction torrentielle par les gabion.....	34
Photo 3	: Correction torrentielle en terre utilisée comme un point d'eau pour l'abreuvement du cheptel.....	34

Deuxième partie

Photo 4	: Zones de décapage et d'érosion sélective à Sidi Ahmed Chérif.....	52
Photo 5	: Ravinement en V sur formation marneuse.....	52
Photo 6	: Erosion en tunnel dans la région de Bounakhla (Formation marneuse).....	53
Photo 7	: Erosion en tunnel dans la région de Bounakhla (Formation marneuse).....	53
Photo 8	: Parcelle de quantification du ruissellement et de l'érosion à Sidi Abdelli.....	53
Photo 9	: Paysage caractéristique des terrains marneux à Sidi Abdelli.....	53
Photo 10	: Végétation en zones marneuses.....	55

Troisième partie

Photo 11	: Station de quantification d'érosion de Heriz.....	65
Photo 12	: Station de quantification d'érosion de Sidi Ahmed Chérif.....	66

Liste des *annexes*

	Page
Annexe 1 : Précipitations moyennes annuelles et moyennes mensuelles dans la station de Bounakhla (1990-2005), source ANRH Tlemcen.....	105
Annexe 2 : Moyennes des pluies journalières maximales et le nombre de jours des pluies par mois pour la station de Bounakhla (1999-2005)	105
Annexe 3 : Températures moyennes annuelles et moyennens mensuelles dans la station de Bounakhla (1995 -2005).....	106
Annexe 4 : Précipitations moyennes annuelles et moyennens mensuelles dans la station de Ouled Mimoune.....	107
Annexe 5 : Moyennes des pluies journalières maximales (1990-2000) et le nombres de jours des pluies par moins (1996 -2005) pour la stations de Ouled Mimoune source ANRH Tlemcen.	108
Annexe 6 : Précipitations moyennes annuelles et moyennens mensuelles dans la station de Sid Abdelli (1990 -2005)	109
Annexe 7 : Moyennes des pluies journalières maximales et le nombres de jours des pluies par mois pour la stations de Sidi Abdelli (1999 – 2005)	109

Liste des *acronymes*

CES	: Conservation de l'eau et des sols
CPCS	: Commission de pédologie et de cartographie des sols
DRS	: Défense et restauration des sols
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GCES	: Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols
INRF	: Institut national de recherche forestière
ISCO	: International Soil Conservation Organization
ORSTOM	: Organisme de recherche scientifique des terres d'outre Mer
RTM	: Restauration des terres de montagnes
SIG	: Système d'information géographique
USDA	: United States department of agriculture
USLE	: Universal Soil Loss Equation

REMERCIEMENTS :

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Mazour Mohamed, maître de conférence à l'université de Tlemcen, qui a bien voulu prendre la direction de ce mémoire malgré ses multiples occupations. Je lui suis très reconnaissante d'avoir supervisé ce travail et d'avoir patiemment relu toutes les parties de ce manuscrit. Les remarques et corrections minutieuses qu'il a prodiguées m'ont beaucoup aidée.

J'adresse mes remerciements à Monsieur Bouhraoua Tarek Rchid, Maître de conférence à l'université de Tlemcen qui a accepté de m'honorer par sa présence et de présider ce jury.

A Monsieur Bouazza Mohamed, Professeur à l'université de Tlemcen qui a accepté d'évaluer ce travail.

A Monsieur Benabadji Noury, Professeur à l'université de Tlemcen qui a accepté de faire parti du jury, j'exprime mes remerciements.

A Monsieur Morsli Boutkhil, Directeur de la station expérimentale de l'INRF de Tlemcen pour son intuition et ses nombreux conseils. Je tiens aussi à remercier le personnel de l' INRF.

Je voudrais témoigner ma sincère reconnaissance au Professeur Mederbal K qui m'a permis de travailler dans de bonnes conditions au sein du laboratoire de recherche scientifique sur les systèmes biologiques et la géomatique (LRSBG) du Centre universitaire M Stambouli de Mascara.

Je tiens à remercier Monsieur Hamimed A, chargé de cours au centre universitaire de Mascara, ainsi que tous les membres du laboratoire (LRSBG) Anteur D, Regagba M, Abid A pour leurs compétences, leurs explications enthousiastes et le temps qu'ils m'ont accordé pour la réalisation des cartes de ce travail.

Mes remerciements vont à Messieurs Razk Allah, Directeur et Hmahmi H, Chef du personnel des services agricoles de Tlemcen, pour leur aide et leur compréhension.

Je tiens aussi, à exprimer ma reconnaissance à Monsieur Houalef B, Directeur de l'Algérienne des eaux, de Tlemcen, et à Monsieur Oukili Ali, Ingénieur d'état à l'URBAT de Tlemcen.

D'autres personnes m'ont aussi aidée de différentes manières, je tiens à leur exprimer mes grâces.

Ces remerciements ne seraient pas complets sans mes pensées pour les êtres qui me sont les plus chers. Ainsi, je dédie ce modeste travail à :

- La mémoire de ma mère ;
- Mon père qui m'a toujours encouragée;
- Mon mari, Jawed qui, avec son dévouement et ses sacrifices, ce travail a pu voir le jour ;
- Mes filles : Nassima et Yousra pour le bonheur qu'elles me procurent.

Summary :

The analysis of the measurement results of the runoff and sheet erosion, obtained in experimental Wischmeier small watershed during 1991-2005 period help us to evaluate the impact of very frequent systems in the area catchment's of Isser river, on the water surface flow, the organic carbon and soil losses.

For the systems cultivated in clay soil zones, the coefficient of annual runoff (Kram) was modest. It varies from 2 to 10,8% on naked soil, from 2 to 8% on traditional cultural system and from 0,2 to 7,6% on improved cultural system, whereas the coefficient of maximum runoff (K_{rmax}) reached relatively high values: 38,6% on the cultivated soil. (Kram) the highest meets on the ground stripped and exposed to the various climatic risks.

The quantities of eroded sediments vary according to the mode of management of vegetable cover. They reach a maximum on naked ground (5,90 t/ha/an); enough high on traditional cultural system (0,10 to 3,95 t/ha/an) and reduced on improved system (0,10 to 2,50 t/ha/an). The concentration of organic carbon of the soil (C) is weak. They vary from 0,63 to 3,33% for 0 to 10 cm of depth and 0,6 to 1% for 0 to 30 cm of depth. Organic carbon stocks during the years of measures to the first 10 cm of the ground decreased by 10 to 25% for the naked grounds, of 8% on the traditional systems. On the other hand, the improved system stock of organic carbon increased by 5 to 28%.

The results show the moderating role of the vegetable cover with respect to the streaming and erosion. The carbon losses are negligible in the well covered mediums where they are easily compensated by the contribution of mulching.

Key words: Erosion - Runoff – Soil used Systems - Carbon – Soil Conservation - Management.

SOMMAIRE :

	Page
REMERCIEMENTS	1
RESUME	2
PROBLEMATIQUE	7
INTRODUCTION GENERALE	9
1^{ère} PARTIE: ASPECTS THEORIQUES	
1. Importance de la conservation de l'eau et du sol	12
1-1. Dans le monde	12
1-2. En Algérie	13
2. Processus de dégradation des sols par le phénomène d'érosion	14
2-1. Phénomène d'érosion hydrique	14
2-1-1. Définition	14
2-1-2. Origine et mécanisme.....	14
2-1-2-1. Impact de gouttes de pluies sur le sol.....	14
2-1-2-2. Ruissellement.....	15
2-1-2-3. Sédimentation.....	16
2-1-3. Différentes formes d'érosion.....	16
2-1-3-1. L'érosion géologique (geological erosion)	16
2-1-3-2. L'érosion accélérée ou contemporaine (Accelerated erosion).....	17
2-1-3-3. L'érosion mécanique sèche ou aratoire (ploughing erosion)	17
2-1-3-4. L'érosion hydrique (water erosion).....	17
2-1-3-4-1. L'érosion de rejaillissement (Splash erosion).....	17
2-1-3-4-2. L'érosion en nappe ou (sheet érosion).....	17
2-1-3-4-3. L'érosion linéaire.....	18
2-1-3-4-3-1. L'érosion en griffes (micro-channel ou Rill érosion).....	18
2-1-3-4-3-2. Les rigoles.....	18
2-1-3-4-3-3. L'érosion par ravinement (Gully érosion)	18
2-1-3-4-3-4. Les bad-lands.....	18
2-1-3-4-4. L'érosion par les mouvements de masse (Slump erosion).....	18
2-1-3-4-4-1. Les glissements de terrain.....	19
2-1-3-4-5. L'érosion des berges.....	19
2-1-4. Les facteurs de risque de l'érosion hydrique.....	19
2-1-4-1. Le climat et l'hydrologie.....	19
2-1-4-2. La morphologie du terrain.....	21
2-1-4-2-1. La pente.....	21
2-1-4-2-2. La longueur de la pente.....	21
2-1-4-3. Le sol.....	21
2-1-4-4. La végétation.....	22
2-1-4-5. L'homme.....	22
2-1-5. L'équation de Wischmeier USLE (Universal Soil Loss Equation).....	23
2-1-5-1. Analyse des principes du modèle.....	23

3. Techniques et stratégies de la Conservation de l'Eau et du Sol (CES)	24
3-1. Historique de la CES	24
3-2. Evolution des techniques	24
3-2-1. Stratégies traditionnelles	24
3-2-2. Stratégies modernes.....	25
3-2-2-1. Restauration des terres de montagne (RTM)	25
3-2-2-2. Conservation des eaux et des sols (CES).....	25
3-2-2-3. Défense et restauration des sols (DRS).....	25
3-3. Gestion Conservatoire de l'Eau et du Sol (GCES)	25
3-3-1. Définition	25
3-3-2. Applicabilité	27
4. Influence des systèmes de gestion sur la dégradation des terres	27
4-1. Influence du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion	27
4-1-1. Système agro-pastoral.....	28
4-1-2. Système cultivé	28
4-1-2-1. Céréaliculture traditionnelle	28
4-1-2-2. Céréaliculture intensive et utilisation des techniques de CES.....	29
4-1-2-3. Cultures en billon	29
4-1-2-4. Arboriculture et viticulture	29
5. Efficacité de certains aménagements en terrains marneux	30
5-1. Techniques de CES	30
5-2. Amélioration de l'infiltration	30
5-3. Travaux du sol	31
5-4. Matière organique.....	31
5-5. Structures d'aménagement anti-érosif.....	31
5-5-1. Correction torrentielle en gabions.....	32
5-5-2. Les seuils en pierres sèches.....	32
5-5-3. Les seuils en terre.....	32
5-6. La technique des terrasses	35

2^{ème} PARTIE: ETUDE DU MILIEU.

1. Situation géographique de la zone d'étude	36
2. Climatologie	37
2-1. Présentation des stations.....	39
2-2. Précipitations	40
2-2-2. Précipitations saisonnières moyennes.....	42
2-2-3. Les pluies journalières maximales.....	43
2-3. Température.....	44
2-4. Caractéristiques Morphologiques du bassin versant de l'Isser.....	45
2-4-1. Indice de compacité de Gravelius.....	45
2-4-2. Rectangle équivalent.....	45
3. Géomorphologie	46
3-1. Les versants.....	46
3-2. Les glacis.....	47

3-3. Les terrasses.....	47
- La terrasse Rharbienne.....	47
- La terrasse Soltanienne.....	47
4. Géologie.....	47
4-1. Les formations du quaternaire.....	47
4-2. Les formations du plioquaternaire.....	47
4-3. Le tertiaire.....	47
5. Pédologie.....	50
6. Lithologie.....	51
7. Les formes d'érosions rencontrées dans la zone d'étude.....	51
7-1. Erosion en nappe et rigole.....	51
7-2. Le ravinement	51
7-3. Les mouvements de masse.....	51
-La solifluxion.....	51
-Les glissements de terrain.....	52
-Les coulées boueuses.....	52
7.4- L'érosion mécanique sèche.....	52
8. Végétation.....	54
9. Aspects socio économiques.....	47 57
3^{ème} PARTIE: DEMARCHE EXPERIMENTALE	
1. Objectifs.....	68
2. Matériel d'étude.....	68
3. Méthodologie.....	63
3-1. Etude cartographique.....	63
3-2. Quantification de l'érosion et du ruissellement.....	65
4^{ème} PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	
1. Résultats.....	67
2. Discussion.....	75
3. Propositions d'améliorations.....	91
CONCLUSION GENERALE.....	94
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	96
ANNEXES.....	105

PROBLEMATIQUE :

La région Nord de l'Algérie est la plus productive sur le plan agricole, cependant, dans cette zone, les montagnes dominent par leur extension géographique et par l'importance de l'impluvium de leur bassin versant. Elles alimentent les barrages qui jouent un rôle important pour la production agricole et pour l'alimentation en eau potable des populations et des zones industrielles. Or, du fait de l'érosion qui touche 20 pourcent de leur surface, ces zones à la fois riches et fragiles sont de plus en plus menacées par la dégradation. Elles sont caractérisées d'une part par un relief jeune formé de roches tendres (argilites, schistes et marnes) alternant avec les grès et calcaire dur, et par des pentes de 5 à 30 pourcent favorables au transport des matériaux.

Le climat méditerranéen semi-aride offre des pluies fines, peu énergétiques mais saturantes pendant l'hiver frais et des averses orageuses dangereuses durant les mois torrides de l'été (Arabi, 1999).

La croissance démographique très importante qui caractérise la plus part des pays en développement dont l'Algérie exige une disponibilité toujours plus importante des produits alimentaires.

Au rythme de l'accroissement démographique actuel, la surface agricole utile (SAU) ne sera plus que de 0,1 hectares par habitant en 2010 : la SAU sur l'ensemble du territoire national est de 7,6 millions d'hectares ce qui ne présente que 3 pourcent du territoire (Heddadj, 1997).

Pour toutes ces raisons et bien d'autres, les besoins matériels ainsi que la dépendance vis-à-vis de la nature s'exacerbent, entraînant des pressions importantes sur les ressources naturelles. En même temps, les ressources en terre et en eau voient leur quantité et leur qualité diminuer (fortes demandes domestique, agricoles et industrielles) et les dégradations multiformes au niveau des bassins versants.

Les conditions climatiques précaires, et surtout l'exploitation excessive des ressources naturelles ont entraîné une disparition progressive de la végétation ainsi qu'une importante dégradation de la fertilité physique, chimique et biologique des sols ; on abouti souvent au pire, la perte complète du capital sol « la désertification » (Timizar , 2006, Lamotte , 1985 et Hutchinson, 2006) .

Sur les versants dégradés, le paysan pour subvenir à ses besoins de plus en plus croissants accentue ce phénomène de dégradation par des systèmes de cultures extensives, un travail du sol parfois inadapté, et un pâturage excessif, ce qui engendre de sérieuses et irréversibles dégradations de ces sols, et met en péril l'avenir de l'équilibre alimentaire de la planète. C'est là une condition de survie de l'humanité.

Ces bouleversements qui continuent de nos jours, prédisposent les sols des versants à l'érosion hydrique. En effet, six (06) millions d'hectares sont à restaurer où, d'une façon générale, la dégradation spécifique dépasse 2000 t/Km²/an. Ce sont donc en moyenne 120 millions de tonnes de sédiments qui sont arrachés aux bassins versants et emportés annuellement par les eaux de ruissellement (Mazour, 2004) et dont les conséquences se traduisent par:

- La diminution de la fertilité des sols et particulièrement la réduction du taux de matière organique.

- Les inondations des espaces agricoles et des agglomérations et la perte de surface cultivable.
- L'envasement des barrages et des canaux d'irrigation.
- L'altération des sites naturels et de l'environnement.

Face à ce problème de dégradation des sols qui est une contrainte économique et écologique majeure, les forestiers et les ingénieurs du génie civil ont appliqué depuis les années 40 des travaux de défense et restauration des sols (DRS) imposant le reboisement des hautes terres dégradées, la correction des torrents et des ravines et le terrassement des terres de cultures. Or, ces travaux n'ont pas abouti aux résultats escomptés.

Malgré 40 ans de lutte antiérosive dans les hauteurs des bassins versants, les sols continuent à se dégrader et les barrages à s'envaser à un rythme accéléré (Heusch, 1986).

Bien plus que les autres principaux facteurs qui régissent l'érosion accélérée des sols, les modes d'utilisation des terres exercent une grande influence sur le comportement hydrique à la surface du sol et sur la production des sédiments en régulant les eaux de ruissellement, réduisant par conséquent l'entraînement par les eaux des fertilisants naturels tels que les limons, les argiles et les matières organiques, qui sont des liants des sols fragiles.

Alors que les besoins alimentaires évoluent très vite dans notre pays, les systèmes de gestion des terres pratiqués dans le bassin versant de l'Isser vont-ils influencer le ruissellement de surface et les pertes en terre ?

INTRODUCTION GENERALE:

Les sols constituent une ressource naturelle et le support de l'ensemble des activités économiques. Leur rôle est particulièrement déterminant en agriculture. La dégradation des ressources en sol résulte des effets synergiques du climat, de l'agressivité de certaines conditions naturelles, et surtout des activités humaines exercées sur des sols généralement fragiles et peu fertiles.

Durant les 40 dernières années, la terre a perdu près du tiers de ces terres arables. Ces dernières prennent des milliers d'années avant de retrouver leur forme originale. Dans le monde, c'est plus de 10 millions d'hectares de terres arables par années qui disparaissent. (Mathieu, 2001).

Toute activité agricole, forestière et pastorale doit contribuer, afin d'assurer un développement durable, au maintien de ce capital naturel, à l'amélioration de sa productivité et à la préservation de l'environnement.

Sous une couverture protectrice d'herbes, d'arbres ou d'autres végétations à croissance dense, le taux d'enlèvement d'humus a toujours été extrêmement lent, pas plus rapide en général, que le taux normal de création d'humus.

Cet équilibre favorable qui règne dans les conditions naturelles s'est trouvé bouleversé presque au même moment où l'homme a commencé pour la première fois à cultiver la terre pour en tirer sa nourriture. Défrichant les futaies sauvages et brisant la surface du sol avec des instruments rudimentaires, le cultivateur primitif et ses successeurs ont, sans le vouloir, aggravé et accéléré le taux d'écoulement de l'humus. Mais selon toute probabilité, l'agriculture s'est déroulée pendant des siècles avant que l'érosion des sols n'ait constitué un problème dont les humains puissent prendre conscience. C'est seulement lorsque la pression de la population força l'homme à mettre en culture des terrains situés sur des pentes abruptes ou des sols instables, que l'humanité commença à prendre conscience d'une façon confuse que la terre pouvait se détériorer rapidement sous l'impact de la pluie et du vent (Bennett, 1950).

Par ailleurs, avec la croissance démographique, la mondialisation de l'économie et le réchauffement climatique, les ressources en eau et en terres fertiles sont, plus que jamais, considérées comme des ressources stratégiques pour le développement harmonieux des populations rurales et citadines. Leur mobilisation et la rationalisation de leur gestion constituent les éléments fondamentaux des politiques de développement agricole, en particulier, et de développement économique et social en général. Longtemps ces ressources abondantes ont été gaspillées par l'agriculture, l'industrie et les populations urbaines, créant localement des problèmes d'inondation ou de sécheresse, de pollution et d'érosion de la mince couche de sol dont la population tire sa subsistance.

En Algérie, les conséquences de l'érosion hydrique sont désastreuses et spectaculaires, offrant un paysage désolé et labouré par un ravinement intense, particulièrement dans les régions montagneuses à réseau d'écoulement insuffisant, menaçant l'envasement précoce des barrages en exploitation.

L'érosion est un phénomène très complexe, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables, évolutif aussi bien dans l'espace que dans le temps. Il affecte beaucoup les infrastructures hydro-agricoles, de telle sorte qu'il est parfois quasiment impossible d'y remédier.

Ce phénomène contribue également à la dégradation des eaux de surface en y créant des problèmes de turbidité, de sédimentation et d'apport de nutriments et de pesticides en

quantités excessives pour ce milieu. Il est d'autant plus dommageable qu'il n'est pas toujours facile à diagnostiquer, car les symptômes sont souvent masqués par les interventions agricoles répétitives, en particulier les labours.

Avec une érosion spécifique moyenne annuelle variant entre 2000 et 4000 t/km²/an, l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodables du monde (Demmak, 1982).

Actuellement, plus de 12 millions d'hectares sont soumis à l'érosion hydrique qui provoque :

- Des pertes en sol importantes entraînant l'envasement de barrages dont certains ont atteint un taux de 100%.
- Perte des éléments fins du sol (120 millions de tonnes de sédiments / An)), glissements de terrain et éboulements.
- Perte des ressources en eau par la non alimentation des nappes phréatiques, suite à la diminution de l'infiltration (Ghazi, 2004).

Aujourd'hui, dans le cadre de l'économie mondiale, on a pris conscience de la limite de ces deux ressources : l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF, 2007) signale que d'ici dix ans, une vingtaine de pays sub-arides vont manquer dramatiquement d'eau pour assurer à la fois le développement de l'irrigation, de l'industrie et l'alimentation de leur population.

En effet, l'eau est à la fois source de vie (irrigation, abreuvement, santé, résistance à la sécheresse) et source de catastrophes (érosion, glissement de terrain, inondations, pollutions, maladies...). Seule une gestion intégrée de l'eau et des sols peut apporter des solutions durables.

La conservation des sols est une question majeure en agriculture. C'est à la fois une science et une technique de l'utilisation et du traitement de la terre permettant de protéger le sol et d'augmenter en même temps sa productivité en conservant le sol proprement dit, ses éléments naturels de fertilité particulièrement la matière organique et les engrais qui ont été utilisés par l'homme, ainsi que toute l'humidité naturelle disponible.

La conservation du sol et ses eaux repose sur l'utilisation et le traitement des diverses catégories de terrains selon leur possibilité de rendement et leurs besoins particuliers.

Pour réussir, Bennett (1950) note qu'il faut d'abord comprendre parfaitement les principes fondamentaux de la conservation des sols et des eaux : il faut ensuite acquérir une connaissance de la technique et les méthodes permettant d'obtenir une production constante de la terre sans danger pour elle ; il faut enfin rechercher le plus rapidement possible les meilleurs moyens de mettre partout en pratique les principes de la conservation du sol et des eaux.

L'amélioration de la qualité du sol grâce aux modes de gestion des terres favorisant la conservation contribuera grandement à l'établissement d'un régime agricole durable.

Nous nous proposons dans le cadre de ce travail d'abord d'analyser les enjeux et la problématique de l'érosion hydrique en zones montagneuses algériennes dans une première partie et de montrer l'importance de la conservation de l'eau et du sol dans le monde et en algérie.

Une bonne connaissance du mécanisme, formes et facteurs de risque de l'érosion se révèle indispensable pour bien entreprendre la lutte anti-érosive.

Notre travail a été réalisé dans le bassin versant de l'Isser dans la wilaya de Tlemcen subissant ce phénomène d'érosion aux conséquences graves. Ce bassin hydrographique sera caractérisé dans une deuxième partie.

Vu la vocation agricole et l'intérêt économique de cette région, une étude de la végétation, des formes d'érosions rencontrées et de l'Aspect socio économique sera particulièrement développée dans cette partie.

Les troisième et quatrième parties sont consacrées à l'analyse des systèmes de gestion des terres dans deux sous bassins versants de L'Isser à partir d'observations, de mesures et d'autres données obtenues depuis 1991 dans la région. Seront ainsi analysés les résultats de l'érosion, du ruissellement et de la fertilité des sols obtenus à l'échelle des parcelles expérimentales type « Wischmeier » et enfin, des recommandations seront faites sur la base des résultats obtenus.

Première partie:
Aspects théoriques

1^{ère} PARTIE: ASPECTS THEORIQUES

Dans cette première partie, nous avons essayé de présenter succinctement les bases théoriques qui participent à la compréhension du phénomène de l'érosion hydrique, ainsi que l'importance de la conservation de l'eau et du sol dans le monde et en algérie.

Une bonne connaissance du mécanisme, formes et facteurs de risque de l'érosion se révèle indispensable pour bien entreprendre la lutte anti-érosive.

L'érosion est un vieux problème et l'homme s'est donc entraîné à en réduire les effets néfastes depuis longtemps, ce qui nous a amené à décrire l'évolution des techniques et stratégies de la Conservation de l'Eau et du Sol (CES).

L'érosion hydrique est due à l'action de plusieurs facteurs (climat, nature et pente du terrain, la couverture végétale et le mode de gestion des terres).

Le système de culture, défini comme la succession des cultures sur une parcelle et des techniques culturales qui leur sont appliquées, est le facteur important où l'homme peut intervenir pour modifier la sensibilité des sols à l'agressivité des pluies. Il nous a paru nécessaire de décrire l'influence de quelques systèmes de gestion sur la dégradation des terres.

Notre zone d'étude est constituée de marnes d'âge miocène, nous avons jugé utile d'étudier l'efficacité de certains aménagements anti-érosifs en terrains marneux.

1- Importance de la conservation de l'eau et du sol

Partout dans le monde, la nécessité d'ajuster l'agriculture au milieu physique se fait sentir de façon pressante, non seulement pour accroître le rendement des cultures vivrières de chaque hectare, mais aussi pour assurer le maintien d'une économie mondiale saine au cours des générations à venir.

La conservation du sol pratiquée par des conservateurs du sol qualifiés est à la fois une science et une technique de l'utilisation et du traitement de la terre permettant de protéger le sol et d'augmenter en même temps sa productivité en conservant le sol proprement dit, ses éléments naturels de fertilité et les engrais qui lui sont fournis par l'homme, ainsi qu'une quantité précieuse d'eau de pluie qui autrement se perdait. La conservation est d'importance primordiale, parce que sans elle la terre arable ne pourrait être protégée contre les éléments destructifs ni maintenue dans cet état de fertilité si nécessaire pour subvenir aux besoins des peuples. (Bennett, 1950)

1.1- Dans le monde

Il devient de plus en plus important de prendre soin des ressources en eau et en sols étant donné que les réserves de terres cultivables ne cessent de diminuer. L'obtention de bonnes récoltes, repose avant tout sur la fertilité des sols. Si nous laissons les sols agricoles se dégrader, il n'y aura plus de nouvelles terres pour les remplacer.

L'Erosion du sol, c'est à dire la disparition de la bonne terre par le vent et l'eau est un problème qui s'aggrave au niveau mondial (FAO, 2004). Avec l'accroissement de la population mondiale on demande à la terre de produire de plus en plus de nourriture, de combustibles et de matériaux de construction. Les arbres disparaissent pour faire plus de place aux cultures; souvent, on ne laisse pas la terre se reposer entre deux récoltes. La disparition

des arbres et des forêts a un effet direct sur les réserves d'eau. L'eau de pluie pénètre moins bien dans le sol et, à certains endroits, puits et sources s'assèchent. L'érosion de la terre arable entraîne aussi la diminution des rendements.

La conservation du sol demande en général beaucoup de travail pour peu de résultats immédiatement visibles. Il faut parfois plusieurs années de conservation effective du sol avant de pouvoir en apprécier les résultats. La conservation du sol constitue rarement une priorité pour les agriculteurs pauvres ayant déjà du mal à produire assez de nourriture pour l'année en cours. Pourtant, sans la conservation de cette précieuse ressource qui est la terre pour les cultivateurs, l'avenir se présente plutôt mal.

La conservation du sol est rarement simple. Sans un système stable de la propriété foncière, peu de cultivateurs sont prêts à faire l'effort nécessaire pour préserver la terre pour les générations à venir.

Ce n'est pas d'aujourd'hui que l'on s'intéresse à la conservation du sol. De nombreux programmes mis en place par l'administration coloniale en Afrique au début de ce siècle ont connu peu de succès. De nombreuses leçons concernant le contrôle de l'érosion ont été tirées depuis lors (FAO, 2000). Bien que les méthodes développées soient différentes pour chaque culture, climat et pays, il y a quelques principes généraux à appliquer partout (Critchley W et Graham O, 2005).

Pour réussir, Bennett, 1950 note qu'il faut d'abord comprendre parfaitement les principes fondamentaux de la conservation des sols et des eaux : il faut ensuite acquérir une connaissance de la technique et les méthodes permettant d'obtenir une production constante de la terre sans danger pour elle ; il faut enfin rechercher le plus rapidement possible les meilleurs moyens de mettre partout en pratique les principes de la conservation du sol et des eaux.

La conservation est d'importance primordiale, parce que sans elle, le sol ne peut être protégé contre les éléments destructifs ni maintenue dans l'état de fertilité nécessaire pour subvenir aux besoins des populations.

1.2- En Algérie

Comme nous l'avons vu précédemment, la durabilité est progressivement devenue au cours des quinze dernières années l'un des principaux exemples du développement. Plus précisément, c'est le problème de l'utilisation et de la gestion des ressources qui est en cause, qu'il s'agisse des ressources naturelles ou humaines. Le monde méditerranéen n'a pas échappé à cette prise de conscience.

Néanmoins, la mise en oeuvre d'un processus de développement répondant à cette question de la durabilité dépend du contexte écologique et historique de chacun des Etats.

En Algérie, la surface totale utilisée pour des activités agricoles et pastorales recouvre 47 millions d'ha. Sur les huit millions d'ha cultivés, 1,4 million seulement sont considérés comme assez productifs (sur les plaines littorales et sub-littorales) cependant que 600 000 ha sont irrigués. Le potentiel de production de l'agriculture algérienne, situé pour l'essentiel dans des zones à climat aride et/ou semi aride, est confronté au fait que moins de 3 % de la SAU globale sont réservés aux superficies irriguées à forte intensité productive et que la part de la SAU par habitant est en réduction continue (0,75 hectare en 1962 à 0,25 hectare actuellement à cause du croît démographique, des pertes de terres agricoles, de l'érosion et de

la dégradation des sols compensées difficilement par une mise en valeur coûteuse et à effet différé).

Essentiellement pluviale et soumise de ce fait aux aléas du climat et à un déficit pluviométrique aujourd'hui considéré comme structurel, l'agriculture subit d'autres contraintes qui grèvent son potentiel de croissance et pèsent sur les équilibres écologiques des différentes régions naturelles.

Les réseaux d'irrigation et de drainage sont souvent dans un état médiocre et la lutte contre la salinisation semble peu efficace. Comme dans tous les pays du Maghreb, une forte érosion des sols et des processus graves de salinisation constituent des handicaps majeurs pour l'avenir. De ce fait, la désertification menace essentiellement les 32 millions d'hectares de terres de parcours et le couvert forestier de l'Algérie du Nord. On observe également une intense surexploitation des ressources hydriques souterraines. Les sols, de qualité médiocre, ont subi au cours de ces derniers siècles les agressions du milieu humain et de techniques de culture qui ont, d'une part, très largement entamé leur capital humique et, d'autre part, fragilisé certains écosystèmes.

Sur de vastes zones des hautes plaines, l'on assisterait à une véritable descente bioclimatique, les paysages présentant déjà des caractéristiques les reliant au climat sub-aride. (Dumont, *et al*, 1969).

2- Processus de dégradation des sols par le phénomène d'érosion

En Algérie, la généralisation et l'accélération de l'érosion révèlent des aspects de plus en plus inquiétants. Les zones de montagnes restent les plus touchées par ce phénomène. L'érosion est l'usure de la partie supérieure de l'écorce terrestre. Elle se définit comme le détachement et le transport de particules de sol de leur emplacement d'origine par différents agents (gravité, eau, vent) vers un lieu de dépôt. Il existe plusieurs types d'érosion. Dans notre étude, nous nous intéressons à l'érosion dont l'agent causal est l'eau.

2.1- Phénomène d'érosion hydrique

2.1.1- Définition

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt.

2.1.2- Origine et mécanisme

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage du transport et du dépôt de la terre enlevée.

L'arrachage est due à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement, et le transport est assuré par ces eaux.

2.1.2.1 - Impact de gouttes de pluies sur le sol

Les sols subissent un martèlement considérable causé par les gouttes de pluie.

Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément qu'il est meuble et que sa porosité est élevée.

Cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassement du sol.

Lorsque la couche superficielle s'humidifie, trois processus se développent simultanément (figure 1) :

- La dégradation de la structure
- la formation d'une pellicule de battance
- l'érosion par splash ou érosion par rejaillissement.

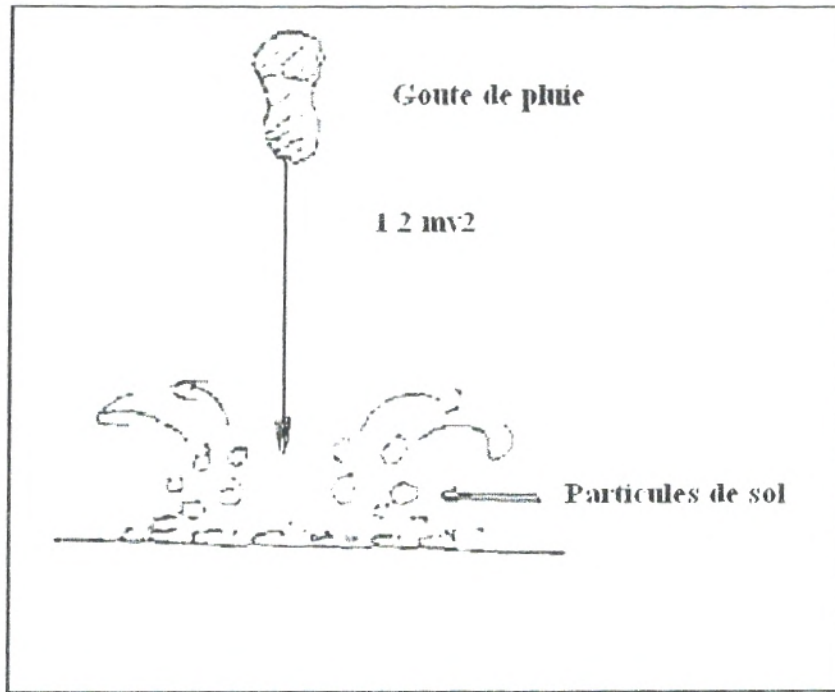


Figure n° 1 : Effet des gouttes de pluies « effet splash » (Touré M et al, 2004)

2.1.2.2 - Ruissellement

Le ruissellement peut être à l'origine d'une érosion parfois spectaculaire qui se traduit par le creusement de chenaux, de formes et de tailles diverses et s'accompagne de la mise en place de dépôts d'étendue et d'épaisseur très variables, l'érosion et le dépôt occasionnent des dégâts non négligeables aux cultures (Bolline, 1982).

Le ruissellement est la deuxième phase de l'érosion hydrique, la première phase étant la dégradation de l'état structurale.(Ellison ,1947) in Le Bissonnais (1990).

C'est l'écoulement dans les micro-réseaux hydrographiques, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel.

Il ne ferait donc qu'extérioriser (par un déplacement) un détachement dont il ne serait pas à priori responsable (Boiffin, 1984).

Horton, 1940 in (Roose, 1996), affirme que le ruissellement se développe lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol.

Comme les précipitations, le ruissellement agit sur le sol par des actions de détachement et de transport (figure 2).

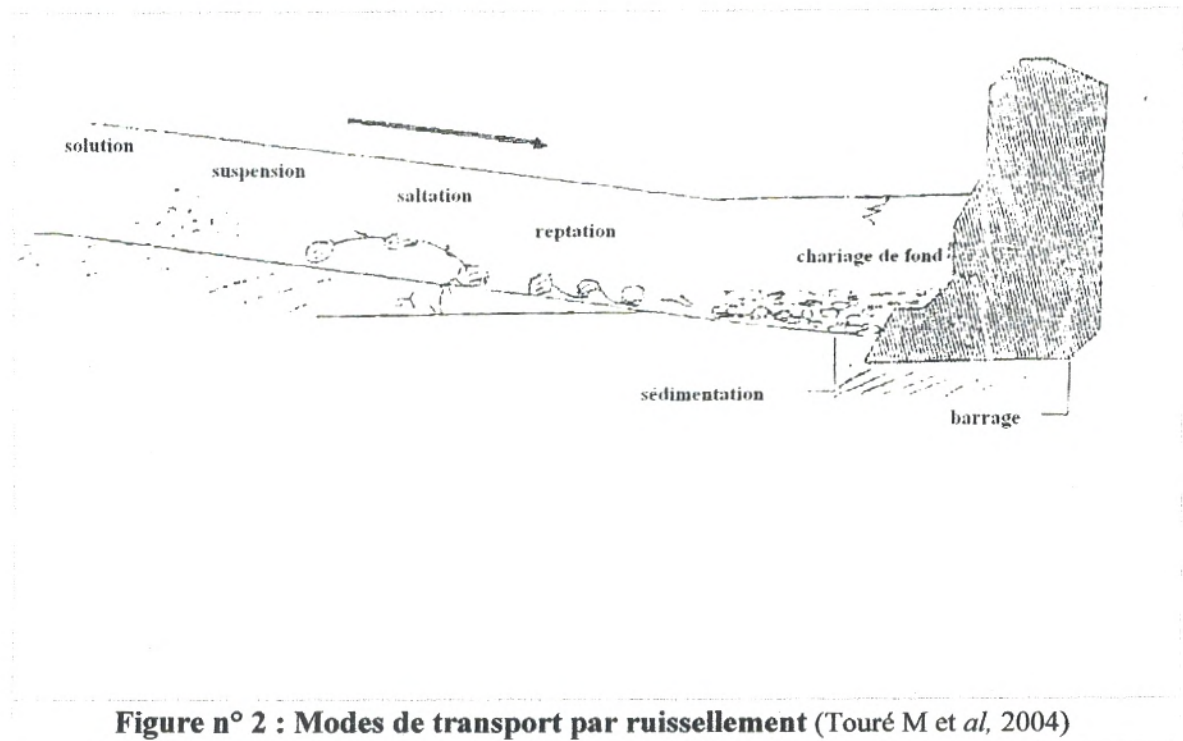


Figure n° 2 : Modes de transport par ruissellement (Touré M et al, 2004)

2.1.2.3 - La sédimentation

Les particules arrachées aux terres se déposent entre le lieu d'origine et les mers en fonction :

1. de leur dimension
2. de leur densité
3. de la capacité de transport du ruissellement ou de la rivière.

Les particules se déposent dans l'ordre suivant :

1. sable
2. sable fin
3. limon.

Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où il se dépose soit après évaporation de l'eau, soit après floculation.

2.1.3 - Différentes formes d'érosion

2.1.3.1- L'érosion géologique (geological erosion)

Appelée aussi érosion naturelle ou normale elle est due à des processus géologiques étalés sur de longues périodes géologiques aboutissant au cisèlement de la surface de la terre, à l'usure des roches. L'érosion est plus active et plus spectaculaire en montagne. Elle creuse de profondes ravines surtout sur des montagnes jeunes avec des roches tendres ou des pentes déboisées. C'est ce processus normal qui se traduit par une érosion sans l'influence de l'homme qui permet le développement d'une couverture pédologique issue de l'altération des roches en place et des apports alluviaux et colluviaux (pédogenèse) : dans ce cas on parle plutôt de l'érosion constructive.

Le revers de cette érosion est que dans des conditions déterminées, elle empêche le développement d'un profil plus profond et provoque l'apparition des éléments du matériel originel (morphogenèse) : ici on parle de l'érosion destructive. Par contre, lorsqu'il y a équilibre entre pédogenèse et morphogenèse, on dit que le paysage est stable.

2.1.3.2- L'érosion accélérée ou contemporaine (Accelerated erosion)

Cette érosion beaucoup plus accélérée que l'érosion géologique normale vient s'imbriquer à elle. Les profils qui s'étaient formés sous conditions naturelles seront tronqués plus ou moins profondément suivant l'importance des pressions aux quelles ils sont soumis.

Provoquée par une perturbation de l'équilibre naturel dont l'eau et le vent en sont les facteurs essentiels auxquels s'ajoute l'homme avec ses pratiques inappropriées qui serait le principale de la détérioration, au moins partielle, de 20 pour cent des sols cultivables du monde (Soltner, 1999).

2.1.3.3- L'érosion mécanique sèche ou aratoire (ploughing erosion)

Ce phénomène, très peu connu, très peu quantifié n'est pas dû à l'intervention de l'eau ni à celle du vent. C'est le résultat des pressions répétitives exercées par la simple poussée des instruments aratoires qui se solde par le décapage des horizons superficiels des hauts des pentes. Ce qui a pour effet de transporter des masses de terre vers l'aval des toposéquences où elles vont s'accumuler soit en talus en bordure des parcelles ou en colluvions concaves de texture peu différente des horizons d'origine.

Une simple structure perméable comme une bande enherbée, une ligne d'arbres, un cordon de pierres ou des murettes, permet de structurer un versant, de ralentir et de dissiper l'énergie du ruissellement (Roose. 1994).

2.1.3.4- L'érosion hydrique (water erosion)

Les phénomènes érosifs les plus gênants apparaissent plutôt provoqués par les forces développées par l'eau. Le principal facteur de cette érosion est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celle des précipitations et des caractéristiques de la surface du sol. La dynamique de l'érosion est fonction de l'influence des facteurs mis en jeu.

2.1.3.4.1- L'érosion de rejaillissement (Splash erosion)

C'est l'érosion élémentaire causée par le choc de la goutte d'eau douée d'une certaine énergie cinétique, d'une vitesse de chute fonction de la hauteur et de la vitesse du vent et par un certain poids fonction de son diamètre. (Lal, 1975 in Roose, 1994) Le vent peut augmenter l'énergie des gouttes de pluie de 20 à 50 %.

Leguedois, 2003, affirme que Chaque litre d'eau de pluie arrivant au sol détache environ dix grammes de sol par splash.

2.1.3.4.2 - L'érosion en nappe ou "sheet érosion"

L'érosion en nappe (figure 3) est liée à 2 mécanismes :

- Le détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies. (effet splash).

- Le ruissellement lorsque l'intensité de la pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration.

Cette forme d'érosion est caractéristique des sommets de bassin versant. Le martèlement des pluies (splash) détache les particules et les maintient en suspension par turbulence. Elle se traduit par un appauvrissement de l'horizon humifère et par un amincissement du sol.

Les horizons supérieurs qui en général sont de couleur plus foncée, sont érodés les premiers. Les horizons inférieurs, plus clairs apparaissent en surface. L'érosion en nappe est partout active là où les sols sont dénudés, même si les paysans n'en sont pas conscients (Roose et Sabir, 2002). Elle a un effet érosif maximal au sommet des versants ou à l'aval d'un obstacle. Au bas des versants, au contraire, il s'agit d'accumulation.

En Algérie, l'érosion en nappe et en rigole est modeste. Elles atteignent 2t/ha/an dans les parcelles. Les valeurs mesurées restent inférieures au seuil de tolérance et témoignent les résultats donnés par Heusch, (1970); Arabi & Roose (1989).

2.1.3.4.3 - L'érosion linéaire

2.1.3.4.3.1- L'érosion en griffes (micro-channel ou Rill érosion) : Elle se manifeste souvent après un ruissellement par des tracés fins qui se présentent dans les paysages comme des lignes parallèles le long des versants. Les griffes ont une largeur de 10 cm et moins de 10 cm de profondeur environ. Quant à la longueur elle est surtout fonction de l'action des eaux à creuser et de la longueur des versants. Les griffes sont la première manifestation d'une érosion linéaire.

2.1.3.4.3.2- Les rigoles : Les griffes évoluant en longueur deviennent des sillons de dimensions plus importantes et de largeur variable liée à la longueur de la pente. Une rigole est une dépression suffisamment petite pour pouvoir être supprimée par les façons culturales.

Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

2.1.3.4.3.3- L'érosion par ravinement (Gully érosion)

La ravine est une rigole approfondie où se concentrent les filets d'eau. La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires. Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion. Les ravines acquièrent des tailles impressionnantes lors d'événements exceptionnels (Castro et *al*, 2000). L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive).

A l'échelle de la ravine, Heusch (1982) a estimé que 70% du transport solide proviennent des sapements des berges. Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en "badlands"

2.1.3.4.3.4- Les bad-lands : Les ravines sont liées les unes aux autres par les crêtes. Les versants sont généralement dénudés. La roche mère affleure et c'est le stade ultime du ravinement où tous les aménagements sont difficiles.

2.1.3.4.4 - L'érosion par les mouvements de masse (Slump erosion)

L'eau agit cette fois non pas par décapage mais par détérioration des qualités physiques en profondeur et peut alors provoquer soit des glissements de terrain, soit des décrochements.

2.1.3.4.4.1- Les glissements de terrain

C'est la forme d'érosion en masse la plus courante et la plus connue du public due à son caractère catastrophique. Elle intervient surtout dans les zones à forte pression démographique s'accompagnant de dégâts importants sur les cultures, les infrastructures et les vies humaines. Les glissements de terrains peuvent être lents ou rapides.

✓ **Les glissement lents (creep) :** C'est un glissement plus ou moins lent des couches superficielles de la couverture pédologique, généralement sans décollement, qui s'observe assez généralement sur les pentes fortes grâce à la forme couchée des jeunes plants forestiers et à la forme en crosse de la base des arbres adultes.

✓ **Les glissements rapides :** Les glissements de terrain en planches des décollements d'une couche plus ou moins épaisse de sol, glissant sur un horizon plus compact, servant de plan de glissement.

2.1.3.4.5- L'érosion des berges

C'est une érosion verticale dont le mécanisme résulte de l'attaque par l'eau des berges des cours d'eau par déplacement latéral du lit par suite de l'affouillement des rives.

2.1.4- Les facteurs de risque de l'érosion hydrique:

Les différents facteurs de l'érosion hydrique sont :

- le climat et l'hydrologie
- la morphologie du site
- le sol
- la végétation
- l'homme.

2.1.5.1 - Le climat et l'hydrologie

Le climat est l'élément moteur de l'érosion. Sans précipitation atmosphérique il n'y a pas d'érosion hydrique. Les précipitations atmosphériques, principale cause de l'érosion hydrique, sont caractérisées par la hauteur de l'averse, son intensité et sa fréquence.

1. La hauteur des précipitations est peu liée à l'importance de l'érosion (tableau 1).

Tableau n° 1 : Exemple de parcelles de maïs sous culture pendant 5 ans Touré M et al (2004)

Saison des pluies	Pluie (mm)	Erosion (t/ha)	Ruissellement	
			mm	%
1 ère année	917	5,1	91	10
2 ème année	1130	1,2	57	5
3 ème année	908	3,4	50	5,5
4 ème année	962	5,7	71	7,4
5 ème année	697	3,4	52	7,4

2. L'intensité est le facteur principal de l'érosion. Plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé :



L'action de la pluie dépend d'avantage de son intensité que de sa hauteur. Soltner, 1999, signale qu'une pluie d'orage de 10 mm peut faire plus de dégâts qu'une pluie fine de 40 mm. Lorsque le sol est dépourvu de végétation, le climat prend un caractère agressif en provoquant une dégradation rapide des horizons superficiels ainsi que de forts ruissellements. Mazour, 1992, explique que cette agressivité du climat se traduit par deux types d'averses : les orages d'automne peu fréquents de courte durée, mais caractérisés par des intensités élevées (soit un maximum annuel de 10 mm atteignant 100 mm/heure). Ils peuvent provoquer du ruissellement sur des sols non saturés, et les longues averses peu énergétiques tombant sur un sol déjà saturé. Ce sont les averses saturantes d'hiver et de printemps. Elles sont peu intenses, et à l'origine de beaucoup de ruissellement.

WISCHMEIER définit un indice d'érosivité par la relation suivante :

$$R = 0,00059 \cdot I_{30} [(11,9 + \log I_i) h_i]$$

i : représente une pluviophase d'intensité sensiblement constante

I_i : l'intensité pluviométrique correspondante (mm/h)

h_i : hauteur pluviométrique correspondante (mm)

I_{30} : l'intensité maximale observée en 30 mm (mm/h)

L'érosivité d'une pluie est donc fonction de ses caractéristiques physiques :

- Le diamètre des gouttes
- La vitesse d'impact des gouttes.

2.1.5.2 - La morphologie du terrain :

2.1.5.2.1- La pente

La pente est un facteur important d'érosion. Le ruissellement et l'érosion commencent sur des pentes faibles (1 à 2 %). Plus la pente est raide, plus l'eau érodera le sol. Contrairement à l'opinion générale, l'inclinaison de la pente n'augmente pas forcément le ruissellement ni même l'érosion. La position topographique sur un versant peut être plus importante que la pente (Heusch, 1970).

2.1.5.2.2- La longueur de la pente

En principe, plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie et plus l'érosion s'intensifie. L'influence de la longueur de pente sur le ruissellement est encore moins nette. Elle est tantôt positive, tantôt négative ou tantôt nulle, en fonction de l'humidité préalable et de l'état de surface du sol (Wischmeier, 1966 in Roose, 1994).

2.1.5.3 - Le sol

L'érodibilité d'un sol représente la sensibilité de ce dernier à l'arrachement et au transport des particules qui le composent. C'est la mesure quantitative et qualitative de la susceptibilité des sols à l'érosion par l'eau et le vent (El Swaify et Rose, 1988)

L'érodibilité d'un sol est définie par 2 caractéristiques :

- la résistance au splash (battance)
- la résistance au cisaillement (lié au ruissellement)

Elle est fonction de plusieurs paramètres (Figure 3) :

- La capacité d'infiltration
- La stabilité structurale
- La texture
- La teneur en matière organique

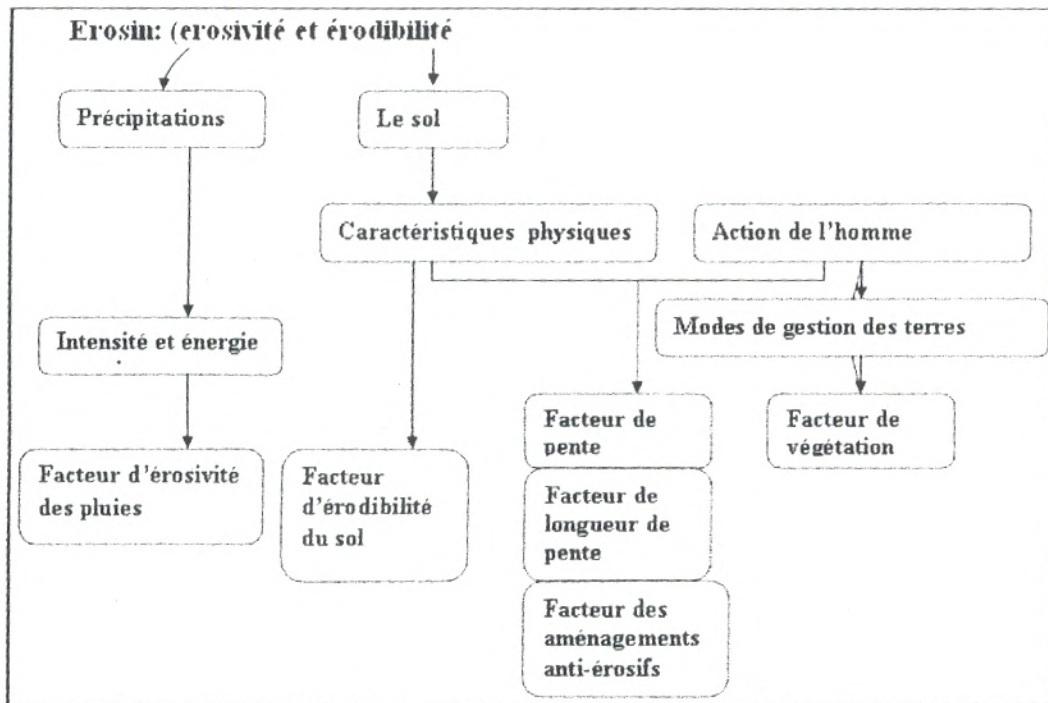


Figure n° 3 : Erosion et érodibilité

2.1.5.4 - La végétation

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. Le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal ou de résidus. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et de l'éclaboussement, tendent à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permettent une meilleure infiltration (Bonnet, 1983 et Martinez-Mena *et al*, 1999). L'action de la végétation est multiple :

- ✓ L'interception des gouttes des pluies permet la dissipation de l'énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash".
- ✓ Son système racinaire maintient le sol en place et y favorise l'infiltration.
- ✓ Accessoirement, l'évapotranspiration de la plante en asséchant le sol augmente sa capacité d'infiltration. Son développement en surface freine le ruissellement. L'apport en M.O améliore la structure du sol et sa cohésion.

Classement par ordre décroissant de protection des principaux types de végétation :

Forêts > herbacés (savane) > cultures > jachères nues.

2.1.5.5 - L'homme :

L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par les actions suivantes :

- Défrichage de la forêt
- Incendies et surpâturages
- Façons culturales

L'état de la surface du sol présente une importance majeure lorsque le couvert végétal n'assure plus une protection efficace du sol.

Le travail du sol a 2 effets antagonistes sur sa résistance à l'érosion :

Premier effet : le travail du sol augmente la perméabilité du sol et améliore l'enracinement des plantes.

Deuxième effet : le travail du sol peut :

- Diminuer la cohésion du sol et ainsi sa stabilité structurale.
- Diluer la M.O et accélérer sa dégradation.
- Compacter le sol en profondeur et créer des semelles de labour.

L'expérience montre que :

Le labour a un effet non négligeable sur l'infiltration des petites pluies ou dans la première phase des grosses pluies. Cet effet devient nul ou négatif en fin de grosses pluies ou après quelques événements pluvieux

2.1.6 - Equation universelle (modèle de WISCHMEIER)

C'est le modèle d'érosion USLE, mis au point par Wischmeier et Smith en 1958. L'équation universelle de pertes des terres est un modèle empirique basé sur l'analyse statistique de 100 parcelles expérimentales. Elle permet de prédéterminer les pertes en terre annuelles moyennes pour une parcelle donnée, dans des conditions bien définies.

L'objectif de Wischmeier et Smith (1960; 1978) était d'établir un modèle empirique de révision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production (Wischmeier et Smith, 1978).

Cette formule, appliquée à une région donnée, permet d'estimer les pertes en terre et de déterminer les mesures anti-érosives à mettre en œuvre pour ne pas dépasser un seuil de perte de terre au-delà duquel l'érosion devient dangereuse (Leblond et Guerin, 1984).

2.1.6.1- analyse des principes du modèle :

Selon ce modèle, l'érosion est une **fonction multiplicative de l'érosivité des pluies** (le facteur R, qui est égal à l'énergie potentielle) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend K (l'érodibilité du sol), S L (le facteur topographique), C (le couvert végétal et les pratiques culturales) et P (les pratiques antiérosives). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0.

Ce modèle de prévision de l'érosion est constitué d'un ensemble de **cinq sous modèles**:

$$E = R \times K \times S L \times C \times P$$

1° Tout d'abord, R, **l'indice d'érosivité des pluies** est égal à E. l'énergie cinétique des pluies, que multiplie I_{30} (l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure). Cet indice correspond aux risques érosifs potentiels dans une région donnée où se manifeste l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente.

2° **L'érodibilité des sols (K)** est fonction des matières organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil. Il varie de 70/100ème pour les sols les plus fragiles à 1/100ème sur les sols les plus stables. Il se mesure sur des parcelles nues de référence de 22,2 m de long sur des pentes de 9 % et sur un sol nu, travaillé dans le sens de la pente et qui n'a plus reçu de matières organiques depuis trois ans.

3° **SL, le facteur topographique**, dépend à la fois de la longueur de pente et de l'inclinaison de la pente. Il varie de 0,1 à 5 dans les situations les plus fréquentes de culture en Afrique de l'Ouest et peut atteindre 20 en montagne.

4° **C, le facteur couvert végétal**, est un simple rapport entre l'érosion sur sol nu et l'érosion observée sous un système de production. On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production et les techniques culturales qui y sont associées. Ce facteur varie de 1 sur sol nu à 1/1000ème sous forêt, 1/100ème sous prairies et plantes de couverture, 1 à 9/10ème sous cultures sarclées.

5° Enfin, P. est un facteur qui tient compte des **pratiques purement antiérosives** comme par exemple le labour en courbe de niveau ou le buttage, ou le billonnage en courbe de niveau. Il varie entre 1 sur un sol nu sans aucun aménagement antiérosif à 1/10ème environ, lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage cloisonné.

Tous les facteurs influençant l'érosion n'ont pas un poids égal. Etant donné qu'il s'agit d'une fonction multiplicative, comme le montre bien le modèle de Wischmeier, l'un s'annule, l'érosion devient négligeable. Ceci apparaît bien sous le couvert forestier fermé quels que soient le climat, le terrain ou la pente, l'érosion reste faible.

Le facteur le plus susceptible de varier est **le facteur C**. Entre une couverture végétale parfaite (forêt) et un sol nu, les pertes par érosion varient dans un rapport de 1 à 1000.

Ce modèle ne s'applique pas là où dominent les glissements de terrain ou le ravinement car ces processus font appel à d'autres sources d'énergie et d'autres facteurs de résistance.

3- Techniques et stratégies de la Conservation de l'Eau et du Sol (CES)

3.1- Historique de la CES

3.2- Evolution des techniques

Toutes les civilisations ont rencontré des problèmes d'érosion et de dégradation des terres. Pour y faire face, les hommes ont réagi selon les conditions socio-économiques de l'époque pour faire vivre des populations importantes concentrées dans des villes. Il a fallu organiser la gestion des eaux de surface, intensifier les cultures, étendre les défrichements et protéger les aménagements des catastrophes naturelles telles que les inondations, l'envasement des barrages, l'ensablement des canaux d'irrigation et des ports.

Devant des crises à la fois environnementales et socio-économiques, les hommes ont développé des approches successives :

3.2.1- Stratégies traditionnelles pour retenir la terre et gérer les eaux bien adaptées à des conditions écologiques et socio-économiques (ex : **la cultures itinérante sur brûlis** en

zone peu dense, **gradins méditerranéens**, cloisonnement du paysage et **association de l'élevage à l'agriculture**).

Plus récemment se sont développées des stratégies d'équipement rural en petite hydraulique :
Stratégies modernes :

3.2.2- Stratégies modernes :

3.2.2.1- Restauration des terres en montagne (RTM) développées en France vers 1850 par les forestiers pour revégétaliser les montagnes sur pâturées et maîtriser les torrents.

3.2.2.2- Conservation des eaux et des sols (CES) proposée aux paysans américains vers 1930 pour les aider à protéger leurs champs ainsi que la qualité des eaux.

3.2.2.3- Défense et restauration des sols (DRS) développée vers 1940-80 autour du bassin méditerranéen et qui associe les deux approches précédentes : la (RTM) et la (CES) . Le principal objectif était de retarder l'envasement des barrages et de protéger les terres et les équipements. Elle comprend :

- la reforestation des hautes vallées (800.000 ha depuis 1962, selon Mazour, 1992),
- la correction torrentielle dans les périmètres de protection des barrages,
- le terrassement des champs cultivés (350 000 ha de banquettes d'après Heusch, 1985).

Mais en 1980, l'échec de cette approche technocratique d'équipement hydraulique des zones rurales, est évident. Malgré 40 années de DRS, les terres ne cessent de se dégrader, les paysans rejettent le système des terrasses de diversion et refusent de l'entretenir, la production de bois est restée faible et le taux d'envasement des barrages demeure très élevé. Le programme d'aménagement des banquettes fut abandonné pour des raisons économiques (Heusch, 1985). Depuis, les forestiers continuent la reforestation et la correction torrentielle des ravines, mais les fermiers ne reçoivent plus d'aide pour maîtriser l'érosion (Roose, 1987).

Enfin depuis les années 1987 se sont développées des stratégies de développement rural telles que la GCES (gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols) ou land husbandry qui tiennent mieux compte de la participation paysanne et de ses priorités.

Depuis les années 1980, les chercheurs ressentent le besoin de renouveler la lutte antiérosive que ce soit aux USA, en Europe ou dans les pays sous-développés.

L'analyse des échecs (75% des grands projets) et des réussites ont montré la nécessité de développer une nouvelle approche qui intègre mieux le développement rural à l'échelle locale (terroir ou vallée), de faire avec la population des choix qui répondent à leurs priorités : La GCES

3.3- Gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité du sol (GCES)

3.3.1- Définition

C'est une stratégie récente visant à favoriser le développement agricole à travers une bonne gestion de l'eau et du sol et l'élévation des revenus du paysan. Elle est testée par INRF (institut national de Recherche forestière) et l'ORSTOM (organisme de recherche

Scientifique des terres d'outre Mer) depuis une décennie, elle semble constituer pour l'avenir une réponse appropriée au problème de la dégradation et de la gestion de l'eau et des sols en montagnes (Morsli et Hammoudi 2001). Il s'agit d'une stratégie participative de développement rural et de gestion du terroir.

Les spécialistes ont proclamé depuis longtemps qu'il fallait conserver le sol pour maintenir la production des terres, « protéger le patrimoine foncier pour les générations futures »-(Titre de la cinquième conférence ISCO à Bangkok, 1988, in Mazour, 2004). C'est un devoir social et un investissement à long terme.

Devant l'importance des échecs des grands projets comprenant le volet de lutte anti-érosive, un groupe de chercheurs et praticiens a proposé une nouvelle approche tenant compte des leçons des échecs et des réussites du passé.

Cette approche est décrite dans une série de livres intitulées « Land husbandry » expression traduite par GCES : Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (Roose, 1994).

La GCES prend pour point de départ, la façon dont les paysans ressentent les problèmes de dégradation des sols et comporte trois phases :

1° **Des dialogues préparatoires** entre paysans, chercheurs et services techniques. Cette phase comprend **deux enquêtes** pour localiser les problèmes, évaluer leur importance, leurs causes et les facteurs sur lesquels on va pouvoir jouer pour réduire le ruissellement et l'érosion. Elle comporte aussi des "tours de terroir" avec la communauté villageoise pour développer leur sens de la responsabilité communautaire et découvrir la façon dont ils ressentent les problèmes de dégradation et les stratégies qu'ils mettent déjà en oeuvre pour améliorer l'usage de l'eau, entretenir la fertilité des sols, renouveler la couverture végétale et maîtriser la divagation du bétail. L'enquête porte aussi sur les contraintes socio-économiques, facteurs limitants, statut foncier, crédit, formation et disponibilité en main d'oeuvre.

2° **Des expérimentations sur les champs** sont mises en place chez les paysans pour quantifier et comparer les risques de ruissellement ou d'érosion et les gains de rendement sous différents types de mise en valeur ou de technique culturale améliorée. Il s'agit d'établir un référentiel et de vérifier la faisabilité, la rentabilité et l'efficacité des méthodes antiérosives préconisées: l'évaluation doit être faite conjointement par les paysans et les techniciens.

3° Enfin, **un plan d'aménagement global** doit être défini après 1 à 5 ans de dialogue pour intensifier rationnellement l'exploitation des terres productives, pour structurer le paysage et pour fixer les ravines, stabiliser les terres en privilégiant les méthodes biologiques simples et maîtrisables par les paysans eux-mêmes. Rien ne peut se faire sans l'accord préalable des paysans amenés à gérer l'ensemble de leur terroir.

En fonction des conditions socio-économiques locales (gros propriétaires à la pointe du progrès ou petits paysans luttant pour leur survie), les solutions seront bien différentes, même si le milieu physique est le même. Là, se trouve une différence majeure des approches développées jusqu'ici: la diversité des solutions en fonction des conditions humaines. (Roose, 1994).

Dans le cadre de la GCES, la nouveauté consiste à mieux gérer les terres productives, l'eau, la biomasse et les nutriments essentiels au développement harmonieux des cultures (Roose et De Noni, 2004).

3.3.2- Applicabilité

Cette stratégie de lutte antiérosive récemment développée pour valoriser au mieux la terre et le travail (GCES, voir ROOSE, 1994), est applicable pour lutter contre les différentes formes de dégradation de l'eau et du sol et restaurer la productivité des surfaces abandonnées à cause de l'érosion hydrique ravinante.

La GCES ne dispose que d'une dizaine d'années d'expérience, mais les résultats semblent prometteurs et présentent une importance dans la gestion des terres en moyenne montagne méditerranéenne d'Algérie. Elle attache beaucoup d'importance à l'amélioration de la production de biomasse et de la gestion judicieuse des matières organiques pour restituer rapidement au sol les nutriments indispensables à la production végétale. Le caractère d'applicabilité de la GCES est intéressant : c'est une démarche qui prend place progressivement dans les montagnes algérienne d'une manière inattendue. Elle traduit l'intérêt des paysans à augmenter la productivité agricole tout en agissant efficacement contre la dégradation des sols, des eaux et de l'environnement. La GCES est applicable même au-delà des espaces montagneux algériens et elle met l'objectif d'une meilleure production agricole comme un impératif à atteindre et dans le souci d'une gestion efficace et durable.

4- Influence des systèmes de Gestion sur la dégradation des terres

Le système de culture, défini comme la succession des cultures sur une parcelle et des techniques culturales qui leur sont appliquées, est le facteur important où l'homme peut intervenir pour modifier la sensibilité des sols à l'agressivité des pluies. Morsli et al, 2004 notent que toute opération culturale induit une modification de l'état structural du sol et de l'infiltration et par conséquent une diminution ou une augmentation du ruissellement et de l'érosion.

Au Maghreb, en zones semi-arides, les modes d'utilisation des terres sont en général influencés par les systèmes agraires ajoutés aux caractéristiques du milieu physique (pente, relief, lithologie...) et à l'action anthropique qui ensemble accentuent le processus de la dégradation des terres.

4.1- Influence du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion

L'activité végétale et le type de sol sont intimement liés et leurs actions combinées influencent singulièrement l'écoulement en surface. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une portion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement. A l'inverse, le sol nu est de faible capacité de rétention augmente le ruissellement. (korti, 2003).

Albergel, 1987 ; Collinet et Laffrogue, 1979 ; Collinet et Valentin, 1979 ; Chevallier et Valentin, 1984 ; Thebe, 1987 ; ont démontré l'influence déterminante du couvert végétal sur l'infiltration.

- le couvert végétal, d'une part protège contre la battance des pluies, donc prolonge la perméabilité du sol et réduit le volume ruisselé.

- Sa litière entretient la méso faune (laquelle creuse la microporosité) et absorbe une grande quantité d'énergie de ruissellement.

- La rugosité au sol dépend du nombre de tiges par m². C'est ainsi qu'une couverture végétale formée d'herbacées à tiges nombreuses est plus efficace pour protéger le sol contre le ruissellement que des arbres.(Mazour 2004)

La capacité de maîtriser l'érosion de toute culture, façon culturale ou couvert végétal dépend aussi de la protection disponible à diverses périodes de l'année en relation avec la quantité de précipitation à caractère érosif durant ces périodes. A cet égard, les plantes qui assurent un bon couvert végétal durant la majeure partie de l'année (luzerne et cultures hivernales), maîtrisent mieux l'érosion que les cultures qui laissent le sol nu durant une longue période (cultures en rangs), particulièrement pendant les périodes de précipitations très érosives (printemps et début de l'été). Toutefois, la majeure partie de l'érosion sur les cultures annuelles en rang peut être atténuée en semant une plante fourragère ou en laissant un couvert de résidus d'au moins 30 % après la récolte et pendant les mois d'hiver. (Arnold et al, 1989).

La litière et les végétations rampantes sont plus efficaces que la canopée des plantes dressées pour favoriser l'infiltration des pluies en protégeant la surface du sol contre la destruction des agrégats par l'énergie des gouttes de pluie (Roose, 1994).

4.1.1- système agro-pastoral

Les systèmes de culture traditionnels à jachère longue se trouvent contrariés et les paysans s'adaptent aux nouvelles conditions en modifiant leur modèle de production. Dans les systèmes de productions agro-pastoraux actuels, les relations agriculture-élevage restent limitées à la production de fumure et à la valorisation des résidus culturaux. Cette forme de complémentarité implique un accroissement et une sédentarisation du cheptel qui exerce alors une pression constante sur le milieu. La biomasse produite au cours de la saison des pluies est pratiquement consommée avant l'arrivée des pluies suivantes, laissant le sol nu. La non protection du sol par une couverture végétale suffisante entraîne une dégradation par érosion hydrique, contribuant à la régression du niveau de fertilité du sol. Ces évolutions engagent à la définition d'alternatives plus durables à la baisse de la fertilité du sol et à l'évolution régressive de l'environnement.

L'intégration de l'élevage à la culture: les parcelles laissées en jachère, sont pâturées par les moutons et chèvres qui exploitent les résidus des récoltes et déposent leur fumier.

Il apparaît aussi que le piétinement du bétail et la dégradation de la strate végétale modifient la structure du sol (fermeture des pores, tassement, etc.) en rendant plus aisé le ruissellement.

Le surpâturage se traduit par la réduction du couvert végétal des espèces vivaces (Le Houérou, 1969).

4.1.2- Système cultivé

L'augmentation actuelle de la population pousse généralement à raccourcir la durée de la jachère, au risque de l'épuisement des sols et de l'accentuation de l'érosion.

4.1.2.1- Céréaliculture traditionnelle

Elle reste encore largement appliquée dans la région de Sidi Abdelli situé non loin de la zone d'étude. Elle garantit tant bien que mal des rendements assez intéressants à la faveur des sols marneux à vocation céréalières mais néanmoins très fragiles.

Ces dernières années les rendements connaissent une certaine régression due à plusieurs facteurs notamment la dégradation de la fertilité à cause des problèmes d'érosion.

4.1.2.2- Céréaliculture intensive et utilisation des techniques de CES

Cette dernière est peu pratiquée principalement à cause des coûts élevés des intrants et le peu de bénéfice dans les rendements vu la bonne qualité des sols.

4.1.2.3- Cultures en billons

Du point de vue d'un développement durable, c'est-à-dire dans le respect des considérations environnementales, économiques et sociales, nul ne doute que les avantages de cette culture durable sont tous indiqués. Et dans le contexte actuel, si cette pratique est bien supportée, elle est destinée à se développer. En effet, contrairement aux méthodes conventionnelles, ce mode de culture « de conservation des sols » s'effectue sans opération de labour avec un travail minimum du sol. La FAO recommande l'adoption de ce genre de pratique considérant qu'il permet une plus grande rétention de carbone (séquestration).

Une des façons d'améliorer les quantités de matière organique et par conséquent les quantités de carbone dans les sols, consiste à pratiquer des méthodes de conservation, comme la culture sur billons. D'après une importante étude réalisée par le FAO, il a été démontré que la teneur en matière organique peut être rapidement augmentée après un changement de gestion de terres soit une culture sans labour ou avec labour réduit ou encore par la protection de la surface du sol avec une couverture de végétation.

Outre la séquestration du carbone, les bénéfices d'un changement de gestion incluent de meilleures récoltes et un accroissement de la sécurité alimentaire en particulier pour les années sèches, des coûts moindres et une meilleure distribution des travaux agricoles avec économie de temps au cours de l'année.

La pratique de la culture sur billon est une technique d'agriculture durable qui permet de réduire les gaz à effet de serre (utilise moins de carburant, technique de conservation des sols qui agissent comme puits de carbone) et régénère le sol. La culture sur billon est régénératrice du sol. Elle protège, développe et conserve les propriétés intrinsèques du sol à long terme. L'association de plusieurs cultures sur le même billon assure la stabilité du billon, une bonne couverture du sol et réduit l'érosion. On comprend dès lors, pourquoi les gros billons disposés dans le sens perpendiculaire de la pente résistent efficacement au ruissellement. (Goulet P, 2005).

4.1.2.4- Arboriculture et viticulture

Pour l'érosion de vignobles et de vergers, on peut distinguer deux principaux types de gestion des inter rangs qui correspondent à deux types de fonctionnement de l'érosion différents : Lorsque la vigne est désherbée chimiquement, le sol tassé et imperméabilisé est à l'origine de la formation du ruissellement qui, en se concentrant, peut provoquer des dégâts importants à l'aval ; lorsque les inter rangs sont travaillés, le ruissellement est moins fréquent, mais s'il intervient, l'érosion décape facilement le sol ameubli, d'autant plus que la pente est forte. Certains vignobles affectés depuis longtemps par l'érosion ont mis en place des stratégies de lutte qui limitent efficacement les dégâts (enherbement ou protection des inter rangs, fossé de collecte...).

5- Efficacité de certains aménagements en terrains marneux

5.1- Techniques de CES

Des techniques alternatives existent :

Les Techniques de Conservation de l'eau et du sol allient couverts végétaux et techniques culturales sans labour. Elles mettent au centre des pratiques de l'agriculture durable le respect du sol et de sa vie biologique : vers de terre, micro-organismes et plantes deviennent les alliés privilégiés de l'agriculteur, en se substituant à des degrés divers au travail mécanique.

Avec les techniques de conservation de l'eau et du sol, le sol et son fonctionnement naturel s'améliorent. Sa vie biologique s'enrichit, sa microfaune et sa macrofaune se développent et se diversifient. L'érosion est stoppée ainsi que le transfert par ruissellement des fertilisants minéraux et organiques ou des produits de protection des cultures.

5.2- Amélioration de l'infiltration

L'effet de la battance de la pluie sur la surface du sol, entraîne une diminution de l'infiltrabilité par la formation d'une pellicule de battance, d'où la naissance du ruissellement et de la dégradation du sol.

La capacité d'infiltration des sols est très variable en fonction des types de sols mais encore plus en fonction de leur aménagement et de l'évolution des états de surface au cours des pluies.

Améliorer l'infiltration de l'eau dans les parcelles, c'est garantir sa réserve utile et conserver les éléments (éléments nutritifs, pesticides, particules de sol...). C'est par conséquent réduire les phénomènes d'érosion, de ruissellement qui conduisent à des pollutions, des dégradations d'infrastructure et d'inondation.

Le taux d'érosion est d'autant plus important que l'infiltration est nulle ou presque en absence d'une couverture du sol faible. Ce taux ne commence à décroître que lorsque la couverture du sol est au moins à 30%. Il tend à être nul lorsque la couverture est à 100%. Ce qui suggère qu'une couverture du sol adéquate peut minimiser les pertes en terre et, par conséquent favoriser l'infiltration hydrique.

Dans de nombreux pays, des études ont montré que les apports de matière organique sous forme de fumier, de compost ou de paille ont été utilisés avec succès pour protéger le sol contre l'énergie des pluies et comme fertilisant organique pour maintenir le stock du sol, de sa structure et de sa capacité d'infiltration.

Les vers de terre améliorent très sérieusement la capacité d'infiltration des sols où ils creusent leurs galeries : en introduisant les rotations de culture, en maintenant la litière et en réduisant la séquence des labours et l'usage de pesticides et d'herbicides, les activités bénéfiques de la méso faune pourraient être mieux respectées.

La réduction du travail du sol et l'installation de couverts végétaux permettent de réduire la consommation d'humus et d'accélérer sa synthèse : en séquestrant le carbone, on améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, tout en participant à la réduction de l'effet de serre. En fonction des conditions et des objectifs il est possible de récolter une culture dérobée ou d'assurer un complément de fourrage pour le bétail.

En évitant de perturber le sol et en le couvrant de façon permanente on développe la biodiversité : l'équilibre biologique permet de réduire les consommations de pesticides et de se diriger vers la lutte intégrée.

5.3- Travaux du sol

D'une manière général, le travail du sol limite l'érosion car il augmente l'aération et la macroporosité, permet de maintenir une bonne rugosité à la surface du sol qui permet de stocker plus d'eau, améliore l'enracinement en enfouissant les résidus de récolte et améliore ainsi le statut organique. Néanmoins, le travail du sol présente aussi des dangers :

- ❖- Il améliore temporairement l'infiltration, mais réduit la cohésion du matériau et, de ce fait, accroît les risques d'érosion et de glissement;
- ❖- Il permet d'enfouir les matières organiques, mais expose les horizons profonds moins humifères à la battance des pluies
- ❖- Il accélère la dégradation des sols et la minéralisation des matières organiques
- ❖- Surtout, il accélère le creeping sec en déplaçant les mottes par les outils.

Brenda, 2006, signale que l'une des méthodes les plus recommandées de réduction des risques d'érosion est la diminution du travail du sol. Le travail du sol accroît les possibilités d'érosion, car il pulvérise les agrégats en particules assez petites pour être emportées par le vent ou l'eau. Il fait également disparaître les résidus de surface qui protègent le sol. Pour diminuer les effets du travail du sol, on réduit le nombre de passages de la charrue, la vitesse et la profondeur de travail des instruments aratoires.

Généralement, un sol cultivé présente moins de risques qu'un sol nu tassé. Le travail du sol et le billonnage sur les zones cultivées, de pente inférieure à 15 %, ont une influence très marquée sur le risque de ruissellement : ces techniques retardent le déclenchement du ruissellement et augmentent l'infiltration. (Morsli et al 2004).

5.4- Matière organique

Larouche (1983), Cline (1992), Frick et al (2006) et MacDonald (2005) ont montré les bienfaits de la matière organique (MO) sur le sol ; elle produit la plupart de l'azote, du phosphore et du soufre absorbés par les plantes; elle est une source de nourriture pour les organismes vivants du sol. Les matières organiques assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à la stabilité de la structure. Ceci est dû au grand nombre de liaisons électrostatiques et surtout de liaisons faibles que les matières organiques peuvent assurer (Boiffin et Fleury, 1974 in Balesdent, 1996). C'est ainsi que les matières organiques peuvent augmenter l'aération, la pénétration des racines, l'infiltration de l'eau, la résistance au compactage, diminuer la battance du sol, aider le sol à garder l'eau, et, surtout limiter les risques d'érosion voire de perte du sol.

Or, à court terme, la MO enfouie ne réduit nettement ni le ruissellement, ni l'érosion (Barthes et al, 1997). Mieux vaut la maintenir à la surface du sol, gérer les adventices et favoriser les activités de la méso faune, de manière à protéger efficacement la surface du sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement (Roose, 1994).

5.5- Structures d'aménagement anti- érosifs

Les eaux de ruissellement, après leur concentration, sont évacuées par une multitude d'effluents et d'exutoires qui donnent naissance par la suite au cours d'eau principal. L'aménagement d'un cours d'eau principal doit commencer par ses effluents. Ceci est réalisé par les ouvrages de petites hydrauliques, parmi ces ouvrages, on distingue les ouvrages de correction des lits d'oueds et de protection des berges tels que les seuils en pierres sèches, en

gabions, en terre, en fascines ou encore en sacs de terre agencés, en grillage ou même des pneus usagés.

5.5.1- Correction torrentielle en gabion

La correction d'un torrent comprend une succession de seuils destinés à réduire la pente. Les travaux doivent commencer de la tête de la ravine vers l'aval.

Soumis à des pressions et à des compressions, grâce à leur flexibilité intrinsèque, les gabions métalliques se plient mais ne se cassent pas, et leur structure conserve ainsi son efficacité. Le module étant déformable, il est à noter que tout changement dans la forme dû à un affaissement des fondations ou à une contrainte interne est un caractère fonctionnel et non un défaut. Il s'adapte donc à de légers mouvements de terrain et, en se déformant, il reste structurellement solide sans se fracturer.

La conception et la construction des ouvrages en gabions n'ont pas toujours été conformes aux normes, ce qui explique l'inefficacité partielle ou totale des ouvrages due à l'affaissement excessif des fondations et, plus souvent, à l'infiltration et à la fuite progressives de l'eau le long de l'interface entre les gabions et la terre et les fondations. C'est ainsi que parfois tout l'ouvrage se dégrade peu à peu. (FAO: Agriculture 21, 1998).

Souvent, pour dégager de l'espace et mettre la parcelle en culture, les paysans enlèvent les pierres présentes à la surface du sol. Celles-ci sont le plus souvent utilisées pour former des seuils en pierres sèches avec de réels effets antiérosifs.

5.5.2- Les seuils en pierres sèches

On appelle seuils, les ouvrages placés en travers des oueds ou ravins, qui permettent une correction de la pente du cours d'eau et ceci dans le but de réduire les vitesses d'écoulement au cours des crues (SOGETHA, 1968).

La construction des murs en pierres sèches est une solution esthétique peu coûteuse mais qui exige du temps et des personnels qualifiés pour la récolte des pierres et le montage des murs. Ce sont des ouvrages filtrants construits en enrochements dans les ravins et les petits cours d'eau pour stabiliser la pente.

Ce type d'ouvrage est à recommander lorsqu'on dispose de gros blocs d'enrochement pratiquement inutilisables pour les gabions. Ces ouvrages en enrochements peuvent être déversants et le seront nécessairement lorsqu'ils seront implantés en zone haute du bassin versant (Rabhi 1997).

5.5.3- Les seuils en terre

Le seuil en terre pour sa caractéristique de facilité d'adaptation et de simplicité d'exécution, est le premier type d'œuvre à prendre en considération lorsque on veut aménager un torrent (CRS, 1972).

Les raisons économiques qui conseillent l'adoption de ce type de seuil sont :

- La valeur des matériaux est pratiquement nulle puisqu'on utilise seulement le terrain agraire trouvable sur les mêmes lieux d'exécution du travail.
- La facilité de trouver les matériaux nécessaires à l'exécution du travail est le facteur le plus important qui influe sur le choix de ce type de seuil.

L'expérience faite en 1999 par (Roose et *al*) montre à travers le tableau suivant l'efficacité de divers types de seuils en Algérie:

Tableau n° 2 : Efficacité de trois types de seuils sur le ravinement.

Type de seuil	en terre	en gabion	en pierres sèches	en grillage
Capture de sédiments	Très rapide	Rapide	Assez rapide	Assez rapide
Durabilité	Durable	Durable	Peu durable	Peu durable
Efficacité	bonne	Assez bonne	moyenne	moyenne
Coût	Peu coûteux	Assez coûteux	Moins coûteux	Moins coûteux

Tableau n°3 : Détermination de l'écartement entre les structures anti-érosives en fonction de la pente. (Regis et Roy, 1999).

Pente	Ecartement conseillé
< 10 %	12 à 15 m
10 à 25 %	10 à 12 m
25 à 40 %	8 à 10 m
40 à 60 %	6 à 8 m
> 60 %	~ 5 m

Lors de notre prospection dans les micros bassin versants de Sidi Ahmed Chérif et Bounakhla, nous avons constaté que 75% des gabions construits ont été affouillés ou emportés et la plupart des seuils en terre présentaient beaucoup d'anomalies (rupture des digues, des talus...), (Photo n° 1).



Photo n° 1 : Seuil de correction torrentielle en terre avec déversoir endommagé à Sidi Ahmed Chérif



Photo n°2 : Correction torrentielle par le gabion



Photo n°3 : Correction torrentielle en terre utilisée comme un point d'eau pour l'abreuvement du cheptel.

*Deuxième partie:
Etude du milieu*

2^{ème} PARTIE: ETUDE DU MILIEU

1- Situation géographique de la zone d'étude (Figure n°4)

Notre zone d'étude d'une superficie de 2060 ha se compose de deux micros bassin versants.

- Le premier d'une superficie de 945 ha est celui de Sidi Ahmed Chérif.

- Le deuxième est celui de Bounakhla-Hériz, d'une superficie de 1115 ha.

Ces unités font partie d'une zone de collines à pentes douces constituées de marnes en alternance avec des bancs de grés d'âge miocène et situées au nord du grand bassin versant de l'Oued Isser. Elles occupent environ 2 % de la superficie total du bassin hydrographique.

Le bassin versant de l'Isser est parmi les bassins les plus érodés de l'Algérie du nord ouest. Il est situé à l'est de la wilaya de Tlemcen, légèrement au Nord (figure 4).

Couvrant une superficie de 1 140 km² et avec une altitude maximale de 1 625 m, il est limité par les coordonnées Lambert Nord Algérie suivantes:

Longitude : 177,3 Km <X < 126 Km et Latitude : 161,7 Km <Y < 214Km.

La longueur de son thalweg principal est de 81 km. La limite aval du bassin coïncide avec le barrage El Izdihar de Sidi Abdelli (mis en service en Janvier 1989). L'oued Isser, prend sa source au niveau d'Aïn Isser au Sud d'Ouled Mimoun. Sa confluence avec l'Oued Tafna a lieu dans la plaine de Remchi. Elle se situe au Nord-Ouest du bassin versant à 80 m d'altitude.

Les pentes varient en général entre 15 et 30%.

Tableau n° 4 : Principales caractéristiques analytiques des sols de Bounakhla-Hériz et Sidi Ahmed Chérif (Mazour, 2004)

Type de sol	Brun calcaire Argileux sur marne		
Profondeur (cm)	0-15	15-45	
Calcaire total %	19,6	24,5	
Argile %	57,1	57,2	
Limons totaux %	32,6	33,1	
Sables totaux %	10,1	9,1	
Densité apparente	1,3	1,5	
I.S	0,4 à 0,8	-	
MO %	2,00	1,85	
CO %	1,16	1,08	
C/N	10,50	10,80	
Azote total %	0,11	0,10	
P2O5 (olsen) ppm	13	6	
pH eau	8,2	8,1	
Complexe adsorbant Méq/100 de terre	Ca ⁺⁺	28,4	26,4
	Mg ⁺⁺	10,6	9,4
	K ⁺	1,1	1,0
	Na ⁺	0,2	0,2

5.6- La technique des terrasses :

Les terrasses sont des murs d'appui en pierres construits sur une pente, à l'amont desquels un remplissage de terre permet l'infiltration et une bonne réserve d'eau. Planhol et Rognon (1970), Mainguet (2003) indiquent qu'au dessus de 8°, commence généralement le domaine des terrasses pour décomposer des pentes considérées comme trop fortes ou lorsque le terrain devient vulnérable à l'érosion hydrique. Elles constituent aussi un moyen de concentrer le ruissellement permettant aux récoltes de franchir la saison sèche. Quand ce ruissellement est élevé, le trop-plein d'eau se déverse sur la terrasse sous-jacente. Elles sont en milieu sec un moyen efficace pour empêcher la fuite de l'eau et des sols. Favorisant l'infiltration de l'eau, elles améliorent l'humidité des sols donc le rendement agricole. Elles assurent aussi une recharge des puits sur les sites aménagés.

Trois facteurs naturels (la géologie, la pente et l'eau), déterminent la construction des terrasses, ils sont décrits par (M Léonard et C Dumas, 2002).

Conclusion

Les enjeux de l'érosion des bassins versants du Nord du pays sont très importants. Il s'agit d'un phénomène aux conséquences néfastes sur la fertilité des sols en zones de montagnes d'où la baisse continue de la production agricole, la diminution des revenus des agriculteurs et l'accroissement de l'exode rural.

Les terres arrachées annuellement des versants dénudés par les eaux de pluies entraînent une réduction progressive des superficies agricoles et un engorgement accéléré des barrages en aval.

- Les populations urbaines voient leur approvisionnement en eau potable diminuer.
- Les unités industrielles connaissent des réductions de fourniture d'eau dommageables à leur bon fonctionnement.

Les zones de montagnes qui constituent un enjeu socio-économique important pour le pays subissent des dégradations accélérées entraînant la détérioration des conditions de vie des populations.

Nous abordons ci-dessous l'analyse des caractéristiques du milieu naturel, siège de notre étude concernant l'influence des systèmes de gestion des terres sur la dégradation des eaux et des sols.

2- Climatologie

Le climat joue un rôle fondamental dans les différents processus de dégradation des terres et de l'érosion. On sait que les variations climatiques sont l'un des éléments essentiels qui concourent à la dégradation des sols. Jarraud M. 2005, signale qu'il est plus important de s'interroger sur le climat, une des causes profondes de la dégradation des sols, que de s'occuper uniquement des conséquences de cette dégradation, et qu'il faut connaître les ressources climatiques d'une région ainsi que le risque de perturbations naturelles liées au climat ou induites par celui-ci.

Le climat dans son ensemble au niveau du bassin versant de l'Isser est de type méditerranéen à étage bioclimatique semi aride à hiver doux marqué par une sécheresse estivale relativement sévère accompagnée habituellement de fortes températures diurnes.

Le climat général est particulièrement aggravé par des amplitudes thermiques et surtout pluviométriques importantes. C'est ainsi que ces fortes variations exposent les affleurements rocheux à une désagrégation mécanique.

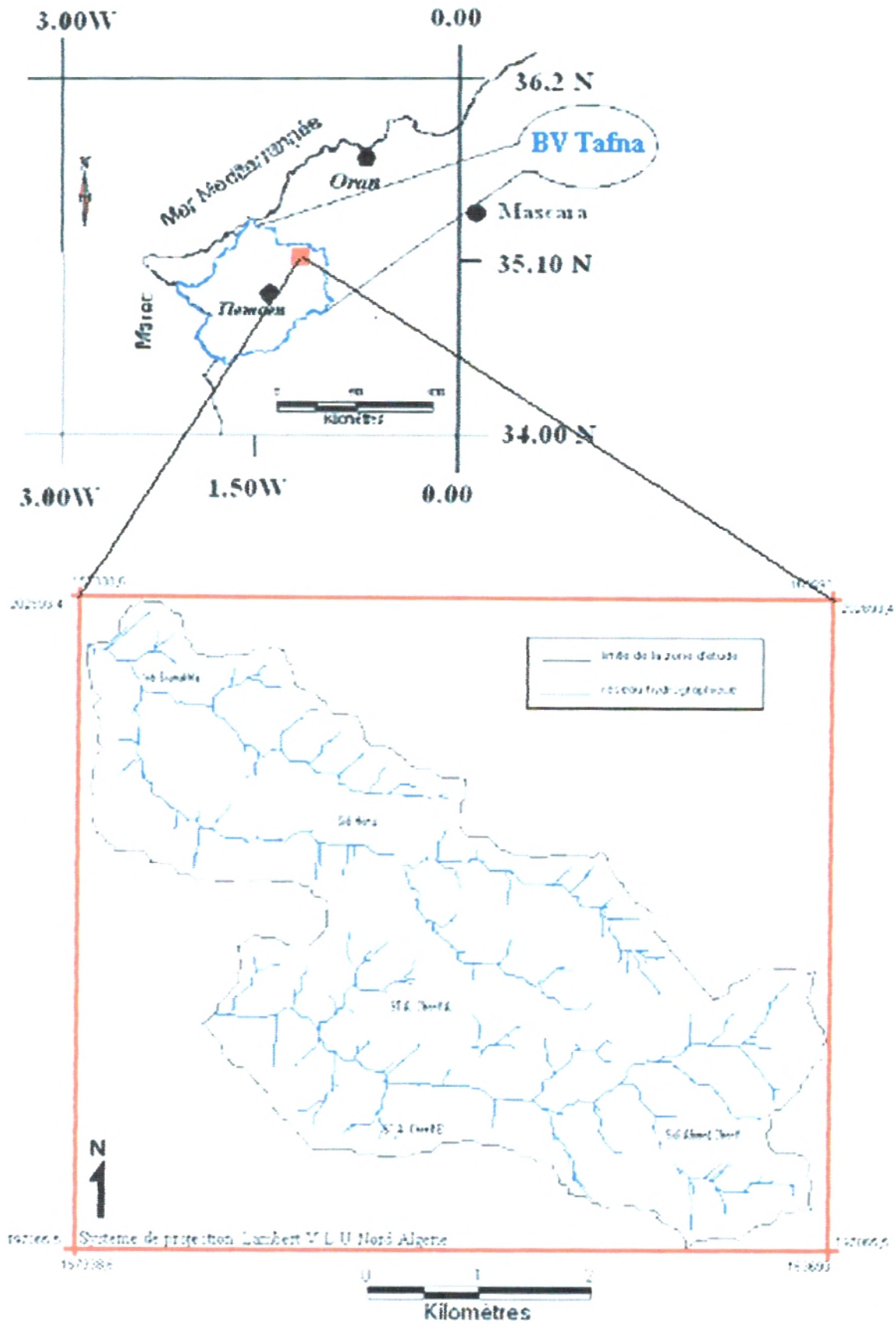


Figure n°4 : Carte de situation de la zone d'étude

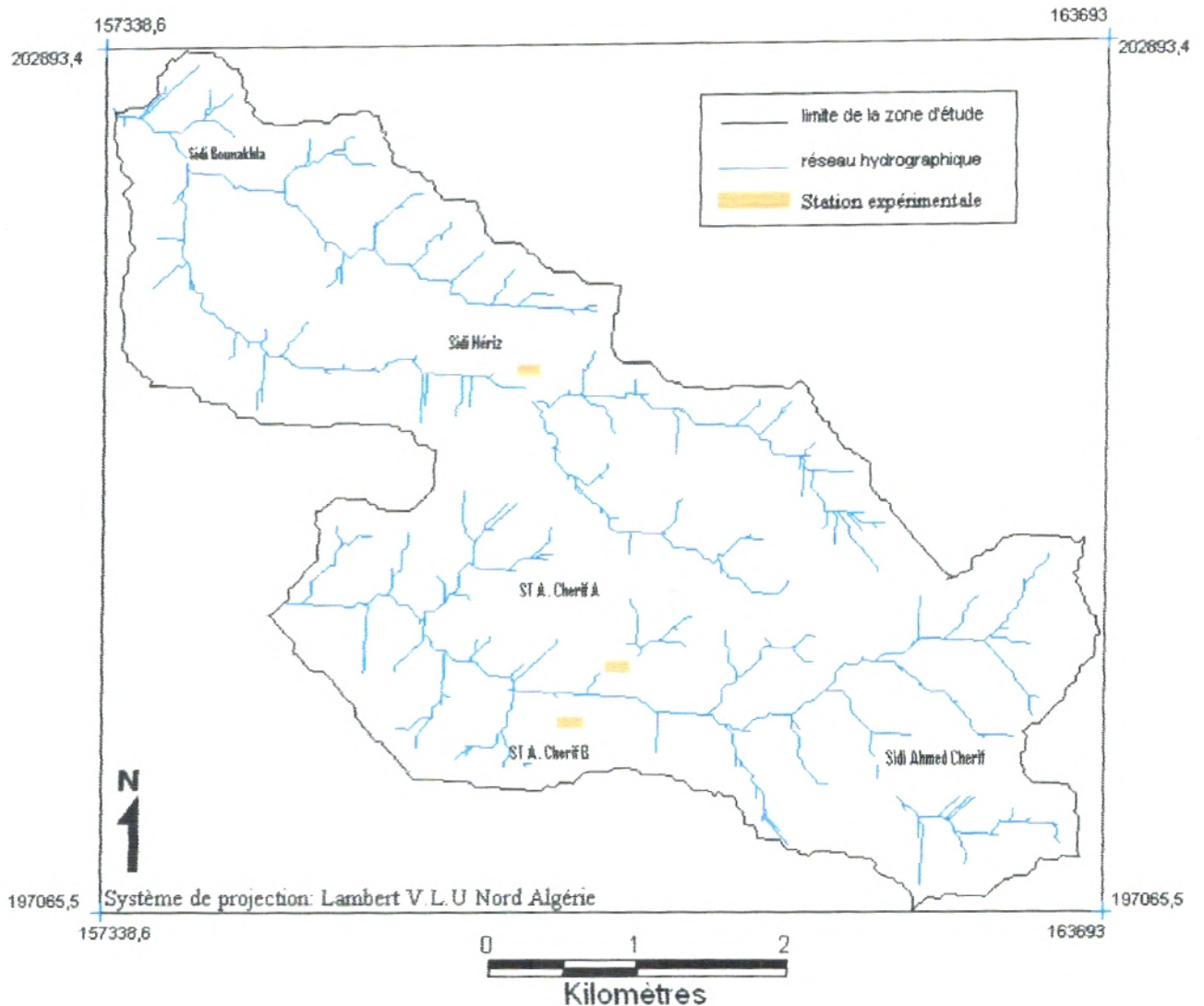


Figure n° 5: réseau hydrographique de la zone d'étude

2.1- Présentation des stations

Pour bien étudier le régime climatique, il est important de retenir les 03 stations d'observation (Sidi Hériz, Ouled Mimoun, Sidi Abdelli) les plus proches et les plus représentatives.

La station de Bounakhla à une altitude de 450 m est située au niveau même de la station de quantification de l'érosion dans le sous bassin versant de Bounakhla.

La station de Oued Mimoun à une altitude de 718 m est située au centre du bassin versant de l'Isser.

Et la station de Sidi Abdelli à une altitude de 323 m est située au niveau du barrage El Izdihar à l'extrême nord du bassin versant de l'Isser.

2.2- Précipitations

Les pluies sur des sols dénudés et fragile et sur forte pente, façonnent les reliefs et l'allure de l'hydrographie en laissant des cicatrices permanentes dans les paysages.

2.2.1- Les pluies moyennes annuelles et mensuelles :

Tableau n°5 : Précipitations moyennes mensuelles dans les stations climatiques Sidi Abdelli, Ouled Mimoun et Bounakhla 1991-2005, (ANRH).

mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
<i>Bounakhla</i>	15,17	23,83	43,89	38,56	48,77	45,29	40,86	30,65	34,67	7,39	1,97	8,04	339,09
<i>O. Mimoun</i>	12,7	28,5	40,4	40,2	56,6	33,8	22,1	33,4	27,4	3,9	0,0	6,1	305,2
<i>Sidi Abdelli</i>	20,6	26,8	55,4	47,2	53,8	54,9	41,5	32,6	33,4	3,1	2,0	5,6	376,9

Les données de 1913 - 1961 publiées dans la notice de la carte pluviométrique de l'Algérie septentrionale, établie par Chaumont et Paquin (1971), montrent que le climat régional est caractérisé par une tranche pluviométrique variant de 500 à 600 mm/an.

Or l'examen des régimes de précipitations annuelles moyennes pour la période récente 1990 - 2005, nous montre que les valeurs de ces dernières sont relativement faibles par rapport à celles citées plus haut par Chaumont (1972). Ceci est dû au fait que la période récente soit caractérisée par un déficit hydrique important.

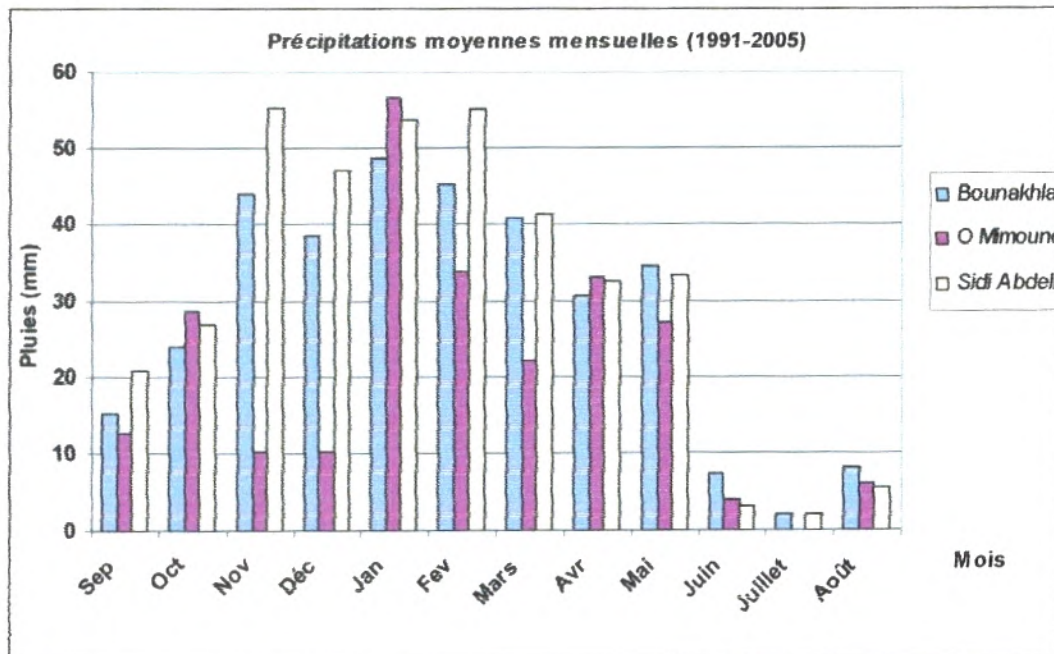


Figure n°6 : Précipitations moyennes mensuelles, période 1991 - 2005 (ANRH).

Nous pouvons remarquer de l'étude des données moyennes des précipitations des trois stations aux différentes périodes (Histogramme ; Figure 6) que le mois de novembre, décembre, janvier et février sont les mois les plus humides. Les mois de juin, juillet et Août sont les mois les plus secs pour les trois stations.

Tableau n°6 : Précipitation moyennes annuelles (mm) dans les trois stations météorologiques (ANRH).

Station/année	Bounakhla	Oueled Mimoun	Sidi Abdelli
1990-1991	419,7	384,5	445,3
1991-1992	370,6	235,3	282,7
1992-1993	243,2	254,6	327,8
1993-1994	267,7	242,0	324,0
1994-1995	255,8	401,2	381,8
1995-1996	541,5	470,8	532,4
1996-1997	259,2	207,8	305,3
1997-1998	349,5	310,8	401,0
1998-1999	258,3	247,7	282,0
1999-2000	253,5	239,9	275,3
2000-2001	413	364,0	470,2
2001-2002	405,6	360,1	421,4
2002-2003	367,2	380,9	416,1
2003-2004	320,6	372,5	380,1
2004-2005	247,6	293,4	307

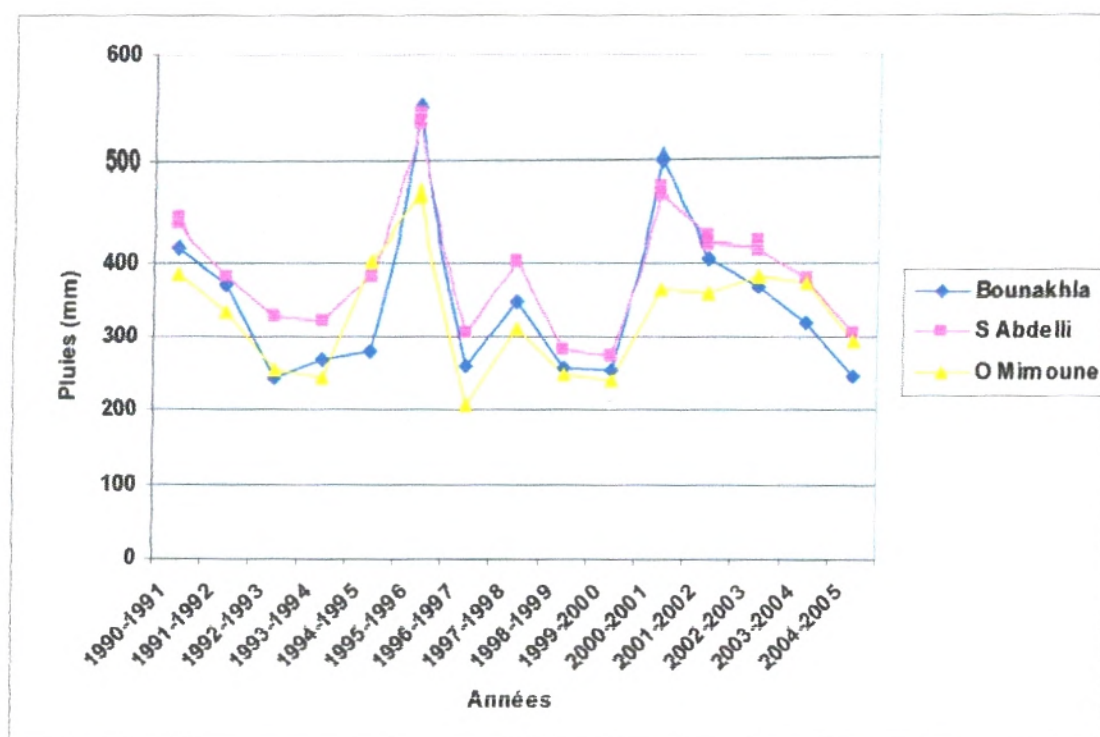


Figure n°7 : Répartition interannuelle des précipitations dans les trois stations de 1991 à 2005 (ANRH).

Il s'agit de marnes grises très fines avec des bancs de grès calcaires jaunâtres intercalés. A l'Est sont localisés des alluvions sur terrasse du pliocène. Dans la zone Nord, les versants sont constitués de substrats tendres (marne) avec intercalations gréseuses surtout dans la partie nord de Sidi Ahmed Chérif, ils ont une forme concavo-convexe et occupent la plus grande partie du relief.

Tableau n°11 : Formations lithologiques par rapport à la surface totale du bassin versant de l'Isser (Mazour, 1992)

Formations lithologiques	Pourcentage %
Calcaires et dolomies	38
Marnes avec grès intercalés	21
Alluvions limoneuses et caillouteuses en terrasses	19
Grès siliceux, grès calcaires et autres formations	22

5- Pédologie

Dans son étude pédologique, Chebbani (1996) a classé les sols du bassin versant de l'Isser en trois grands groupes. Ce sont les sols calcimagnésiques, les sols isohumiques et les sols peu évolués. Ils sont riches en calcaire, pauvres en matière organique, ils présentent une bonne stabilité structurale et une perméabilité moyenne à lente.

Dans le tableau qui suit, sont classées les différentes unités pédologiques selon les systèmes CPCS et USDA (Chebbani ,1996).

Tableau n°12 : Présentation des différents types de sol dans le bassin versant des trois micobassins versant de S. A.Chérif, S. Bounakhla et Hriz : Chebbani R (1996)

Unités pédologiques	Description 1- CPCS 2- USDA	Surface (ha)	% de surface	%cumule
Unité1	1: Sol peu évolué non climatique d'érosion lithosolique sur conglomérat 2:Lithic xerochrept thermic fine silt	169,11	7,34	
Unité2	1: Sol isohumique à complexe saturé en Ca évoluant sous pédoclimat frais pendant la saison pluvieuse 2: Typic calcixerotic xerochrept thermic	271,44	11,79	19,13
Unité3	1: Sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire vertique 2: vertic calcixerolic xerochrept thermic clayey	783,36	34,02	53,15
Unité4	1: Sol peu évolué non climatique d'apport alluvial 2: Typic xerochrept thermic clayey	72,00	3,13	56,28
Unité5	1: Sol calcimagnésique carbonaté à encroutement calcaire 2: Calcixerolique xerochrept thermic fine loamy	204,12	8,86	65,14
Unité6	1: Sol isohumique marron gris vertique 2:Vertique xerochrept thermique clayey	303,93	13,20	78,34
Unité7	1: Sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire modal 2:Typic calcixerolic xerochrept thermic fine silty	63,99	2,78	81,12
Unité8	1: Sol isohumique gris noirci vertique 2: Vertic xerochrept thermic clayey	7,74	0,34	81,45
Unité9	1: Sol calcimagnésique carbonaté brun vertique 2: Ultic xerochrept thermic clayey	77,31	3,36	84,81
Unité10	1: Sol minéral brut 2: Regosol	349,74	15,19	100,00



Photos n°6 : Erosion en tunnel dans la région de Bounakhla (Formation marneuse)

Photos n° 7 : Erosion en tunnel dans la région de Bounakhla (Formation marneuse)

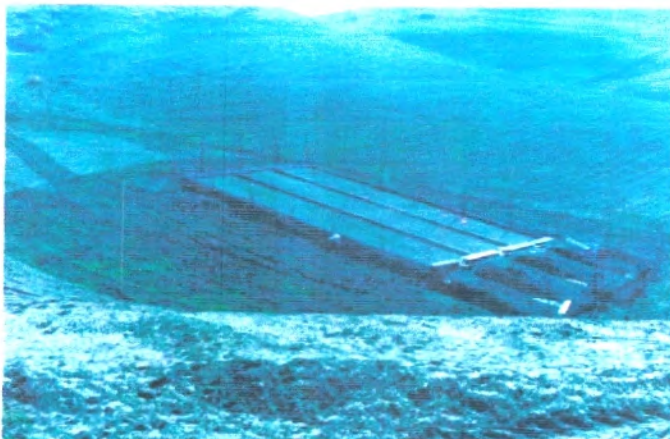


Photo n°8 : Parcelle de quantification du ruissellement et de l'érosion à Sidi Abdelli

Photo n°9 : Paysage caractéristique des terrains marneux à Sidi Abdelli



8- végétation

Le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal ou de résidus. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et de l'éclaboussement, tendent à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permettent une meilleure infiltration.

L'efficacité du couvert de végétation et de résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal. La végétation et les résidus combinés, couvrant complètement le sol, interceptent la pluie et sont le moyen le plus efficace pour réduire les pertes de sol (forêt et pâturages permanents). Les résidus partiellement incorporés et leurs racines ont aussi leur importance, parce qu'ils facilitent l'infiltration. (Collinet et Valentin 1979).

Le bassin de l'Isser est soumis à une forte dégradation due aux effets conjugués du climat et des activités anthropiques. En effet, de nombreux travaux réalisés dans la zone du bassin versant font apparaître une rapide progression des zones cultivées et des sols nus au détriment des formations végétales naturelles ajoutés à l'action du surpâturage qui détruit les jeunes plants et accentue l'effet de l'érosion et du ruissellement.

C'est la structure du couvert végétal et non sa composition floristique qui intervient sur les phénomènes d'infiltration (Casenave et Valentin, 1989).

Les sols occupant une grande partie du bassin sont utilisés par la céréaliculture qui couvre 83% de la surface totale du bassin versant (Fig 12). Le sol n'étant couvert qu'après la période des semis est exposé à l'effet des pluies particulièrement pendant les averses de l'automne et de l'été.

La végétation naturelle est dégradée et constituée principalement de : *Chamaerops humilis*, *Ziziphus lotus*, *Tamarix articulata*, *Calycotome spinosa*, *papaver rhoeas*, *Bromus rubens*...

La partie marneuse située au nord du grand bassin versant de l'Oued Isser est occupée par des zones céréalières à haut potentiel de production. Elles sont responsables de la plus grande partie du transport solide vers la cuvette du barrage El Izdihar. Ces zones sont donc à préserver car elles présentent un grand intérêt économique.

La distribution du couvert végétal (tableau 19), indique qu'au niveau du bassin de l'Isser, la superficie occupée par un couvert insuffisant (couvert forestier dégradé ou mort) s'élève à 44837 ha soit 39.34 % de la surface totale. Ce type de couvert végétal prolifère sur les terrains squelettiques parfois à forte pente (> 30%), localisés surtout au Sud.

Tableau n°13 : Distribution du couvert végétal dans le bassin versant de l'Oued Isser :
(Bouanani, 2004)

Occupation des sols	Surfaces (ha)	% des surfaces
Cultures extensives	42 369	37,19
Couvert forestier dégradé	38 888	34,12
Couvert forestier normal	15 307	13,43
Arboriculture	10 474	9,19
Couvert mort	5 949	5,22
Prairies et terrains de pacage	1 014	0,89

Une dégradation de l'environnement se traduit par la disparition d'espèce pérennes au profit d'espèces annuelles et peut conduire à des ruptures d'équilibre plus spectaculaires, dénudation du sol et apparition des rigoles et ravines.



Photo n°10: Végétation en zones marneuses où sont implantées les stations de Hériz et Sidi Ahmed cherif
Les zones en haut de collines sont blanchies par l'érosion

Tableau n° 14 : Répartition des surfaces en fonction des modes d'occupation du sol dans les micro bassins versants de Hériz, Sidi Bounakhla et Sidi Ahmed Cherif

Type du couvert végétal	Surface (ha)	% de surface	% cumulé
Cultures annuelles (Céréaliculture, légumes secs)	1912,95	83,07	
Végétation dégradée (Doum, jujubier)	320,94	13,94	97,01
Culture maraichère	68,85	2,99	100,00

(Source, Mededjel, 2005)

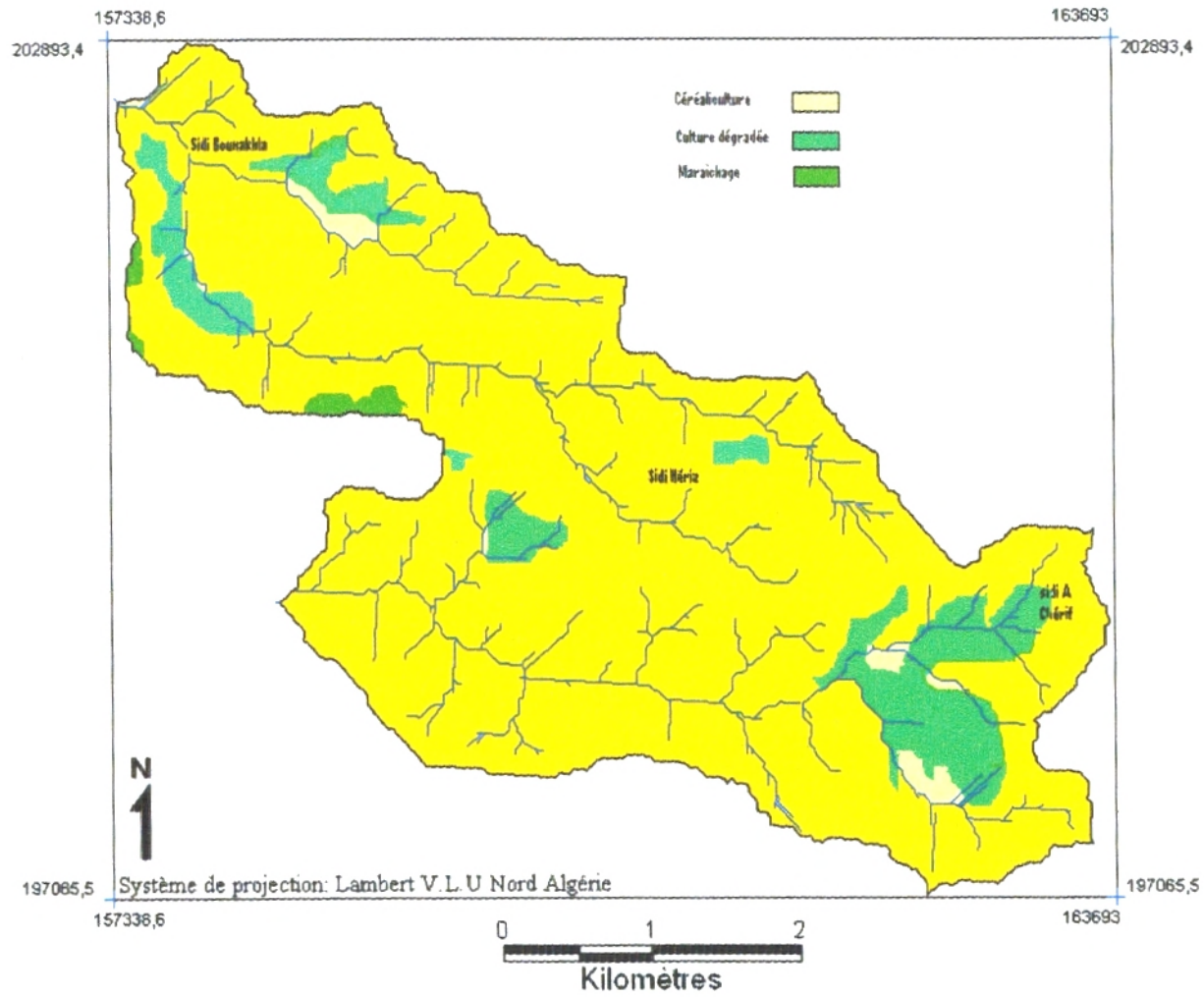


Figure n° 12 : Carte du couvert végétal de la zone d'étude

9- Aspects socio économiques

La question est complexe du fait même de l'essor économique trop important, et des différents handicaps de l'agriculture algérienne, un handicap naturel (spécificités climatiques), social (exploitation extensive des sols) et un handicap technique (intensification agricole sans pour autant parvenir à l'application de modèles techniques de référence pour les cultures ou l'élevage). Il en est de même de la mécanisation non performante qui a eu aussi pour conséquence l'extension des surfaces mises en culture. Les sols de qualité médiocre ont subi au cours du temps les agressions du milieu humain et de techniques de culture. Ceci a eu pour conséquence l'appauvrissement du capital humique et la dégradation des écosystèmes.

Tout revient aujourd'hui grâce aux orientations du PNDA et aux différents plans de soutien à reconstruire un territoire dégradé et fragilisé aussi bien dans le domaine forestier qu'agricole par de grandes lignes d'action comme

- La reconversion des sols
- Action de mise en valeur plus raisonnée
- le programme national de reboisement
- La protection et la mise en valeur des écosystèmes forestiers

Troisième partie:
Démarche expérimentale

3^{ème} PARTIE: DEMARCHE EXPERIMENTALE

1- Objectifs

Aujourd'hui, la dégradation des sols, caractérisée par une baisse de fertilité et conséquemment de celle des rendements des cultures, est devenue une contrainte majeure dans tous les écosystèmes et une préoccupation aussi bien des paysans que des autorités.

Morsli B et al, 2004 notent que toute opération culturale induit une modification de l'état structural du sol et de l'infiltration et par conséquent une diminution ou une augmentation du ruissellement et de l'érosion.

Le système de culture, défini comme la succession des cultures sur une parcelle et des techniques culturales qui leur sont appliquées, est le facteur important où l'homme peut intervenir pour modifier la résistance des sols à l'agressivité de l'érosion hydrique.

Dès lors, notre recherche sur l'érosion des sols au niveau des versants marneux de l'Isser a pour objectif d'analyser les modes de gestion des terres utilisés à Bounakhla et Sidi Ahmed Chérif, d'évaluer leur impact sur le ruissellement et l'érosion hydrique et donc connaître leur influence sur les dynamiques et le devenir du sol face aux événements érosifs. Ceci, afin de faire émerger des solutions de lutte anti-érosive adaptées aux situations locales à partir des résultats obtenus à l'échelle des parcelles expérimentales.

Par la suite, l'objectif est de pouvoir extrapoler à l'échelle du bassin versant les résultats obtenus en parcelle. Cette opération nécessite la plus grande prudence pour éviter l'amplification des erreurs, elle doit obligatoirement prendre en considération tous les paramètres expérimentaux et une évaluation objective des facteurs du milieu afin de tirer les meilleurs éléments d'appréciation des paramètres recherchés.

Il est évident que les cultures appliquées au niveau de la parcelle profitent le plus souvent de plus d'attention, ce qui engendre des erreurs dans l'extrapolation

2- Matériel d'étude

Situés au nord du grand bassin versant de l'Oued Isser, Les micro bassins de Sidi Bounakhla et Sidi Hériz constituent l'espace où se déroule notre recherche. Ils occupent environ 2 % de la superficie total du bassin hydrographique, et représentent un bon exemple du point de vue de la dégradation, de la fertilité et l'application de systèmes de gestion traditionnels caractéristiques du milieu montagnard en climat semi aride.

Le bassin versant de l'Isser est parmi les bassins les plus érodés de l'Algérie du nord ouest. Il est situé à l'est de la wilaya de Tlemcen, légèrement au Nord.

Un dispositif expérimental a été installé par Mazour depuis 1989, et qui comporte 17 parcelles expérimentales de 100 m² de type Wischmeier, parmi lesquelles 10 parcelles sur sol brun calcaire argileux sur marnes que nous avons étudié (Fig 14).

La parcelle d'érosion matérialise un petit bassin versant de 100m² avec une longueur de 22,13 m et une largeur de 4,52 m (Roose, 1968).

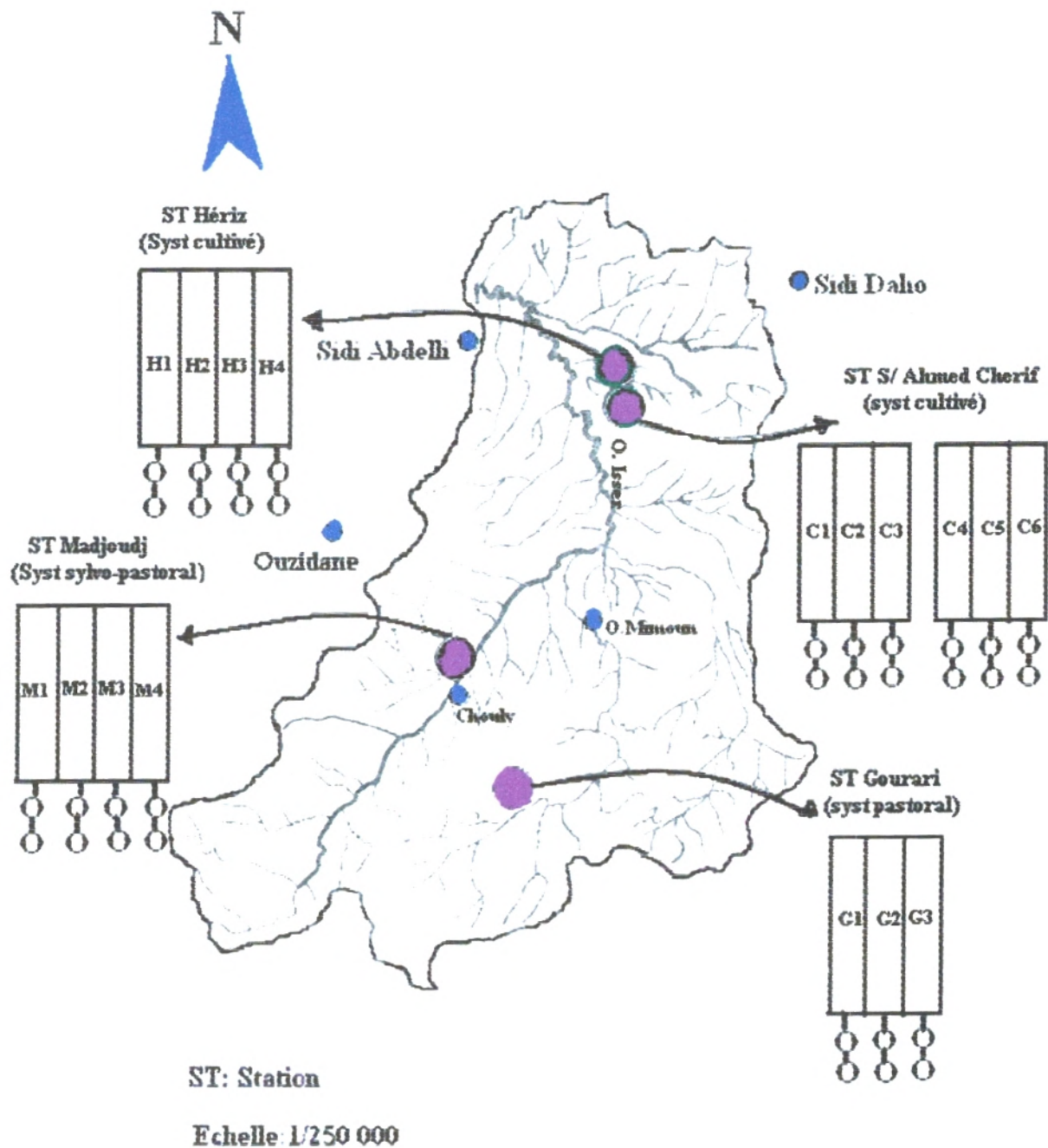


Figure N°13: Localisation du dispositif expérimental à travers le bassin versant de l'Isser (Mazour, 1992).

Les parcelles expérimentales sont isolées de l'extérieur par des tôles métalliques fichées dans le sol isolant ainsi la parcelle de tout écoulement ou infiltration de l'extérieur. A l'aval, un canal récepteur en béton dirige les eaux de ruissellement et les terres érodées vers un système

de stockage composé d'un piège à sédiments et de deux cuves de 1m³ reliées l'une à l'autre par un partiteur à 3 trous (Figure 14 et 15).

Tout le dispositif (cuve et canaux) est couvert d'un toit en tôles en vue d'éviter les erreurs par rebondissement des gouttes de pluie (effet splash). Il est réparti à travers les versants comme suit :

Un bloc (A) avec trois parcelles exposées sud et un bloc (B) avec aussi trois parcelles exposées nord, sur des sols marneux du miocène dans le micro bassin de Sidi Ahmed Cherif.

Un autre bloc (C) à quatre parcelles sur des sols bruns calcaires à caractère vertique (marneux) est situé dans le micro-bassin versant de sidi Bounakhla Hériz (10 km à l'est de Sidi Abdelli). C'est une région agro-pastorale, à vocation céréalière en systèmes traditionnel et intensif. Elle est considérée comme le grenier de la région où les rendements, en bonne année, peuvent atteindre 40 qx/ha, (Mazour, 2004).

Ces parcelles détiennent une pente variant de 8 à 34 % (fig 16)

Le paysage à relief arrondi, est fortement façonné par l'érosion dans toutes ses formes. On y observe des grandes surfaces éclaircies par les effets de l'érosion en nappe sélective. Le couvert végétal est très réduit notamment en dehors des périodes de culture (automne et une partie de l'hiver). Pendant ces périodes les averses sont les plus agressives.

Dans chaque bloc sont comparées :

■ **Un témoin international**, appelé aussi parcelle standard, ou parcelle de référence de Wischmeier. Cette parcelle doit être nue durant toute l'année, dépouillée de tous débris végétaux, sans engrais depuis trois ans et avec un binage à la houe sur 5 cm de profondeur (au maximum une fois par mois pluvieux), afin de casser les croûtes de surface ;

■ **Un témoin régional** avec des cultures traditionnelles représentées par une rotation céréale jachère et le travail du sol dans le sens de la pente dans les régions marneuses à vocation céréalière ;

■ **Un témoin régional** avec des cultures traditionnelles représentées par une rotation céréale-jachère pâturée et le travail du sol dans le sens de la pente, le parcours est simulé par des piétinements d'un mouton dans la parcelle de 100 m², dans les régions marneuses à vocation agro-pastorale.

■ **Un témoin régional** avec des cultures intensives représentées par une céréaliculture en blé dur et un travail du sol perpendiculairement à la pente dans les régions marneuses à vocation céréalière ; pour chaque région et système de production : agriculture intensive avec l'utilisation des engrais nécessaires et une rotation biennale appropriée blé vesce avoine et blé pois chiches.

Le dispositif nous permet de calculer les facteurs qui rentrent dans l'équation universelle de pertes en terre de Wischmeier expliquée plus haut.

Les documents de base utilisés sont :

- Les cartes topographiques et géologiques de Lamoricière et de Parmentier à l'échelle 1/50000.
- Les photos aériennes de la zone. Les études du bassins versants des oued Isser et Sikkak (CRS, 1972)

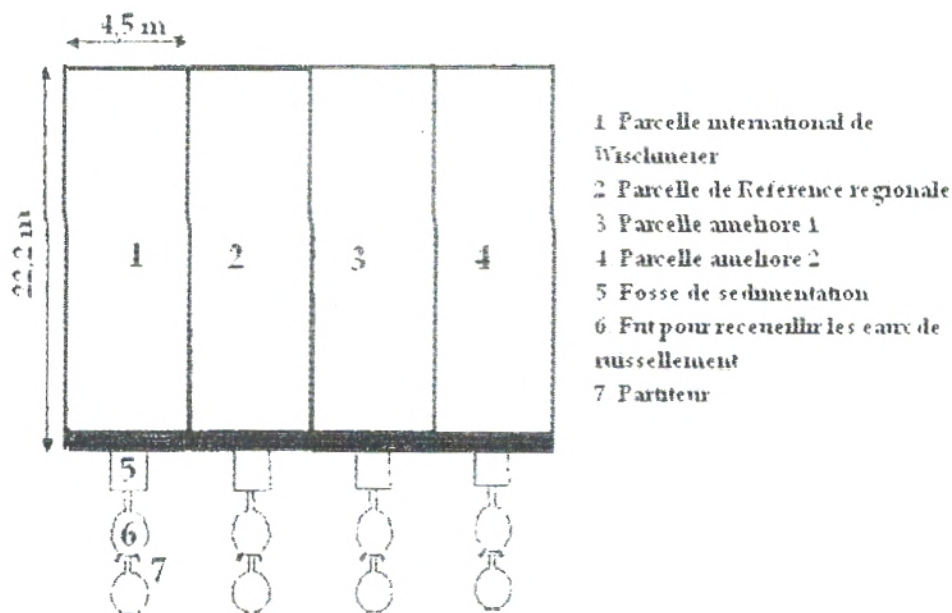


Figure n° 14 : Présentation des parcelles de quantification du ruissellement et de l'érosion à Hériz

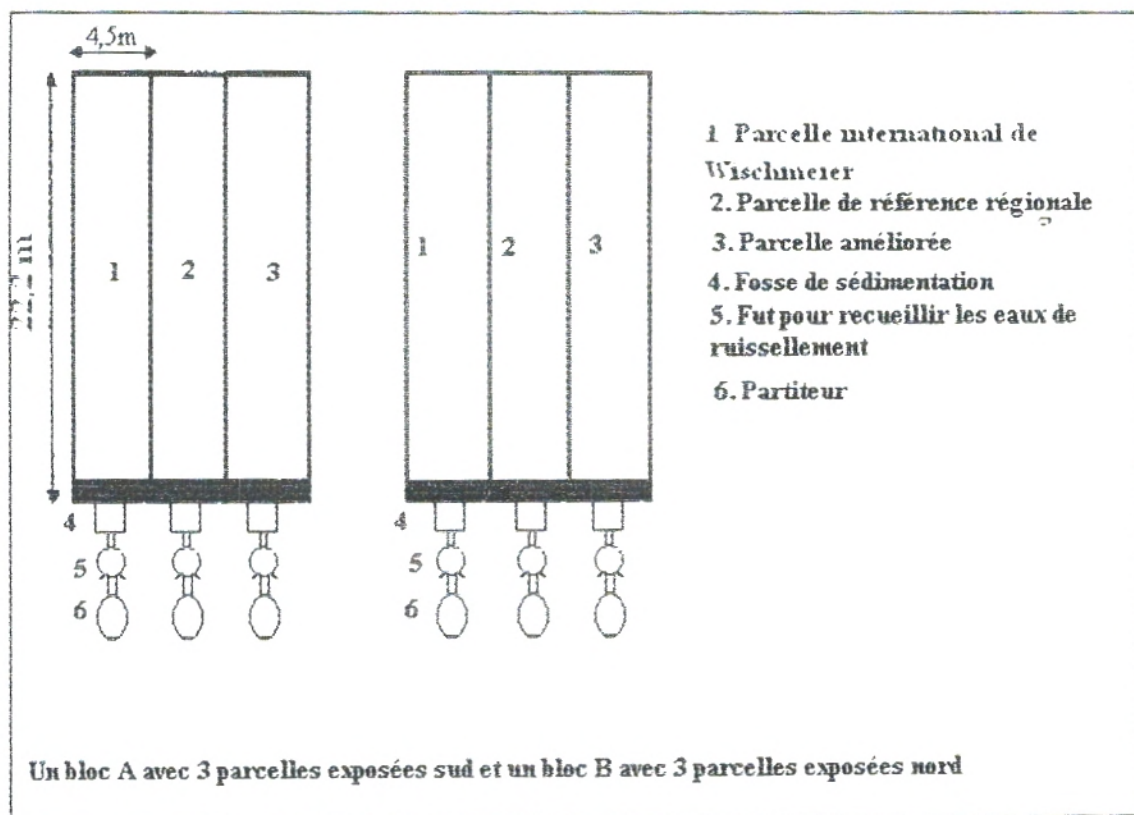


Figure n° 15: : Présentation des parcelles de quantification du ruissellement et de l'érosion à Sidi Ahmed Cherif

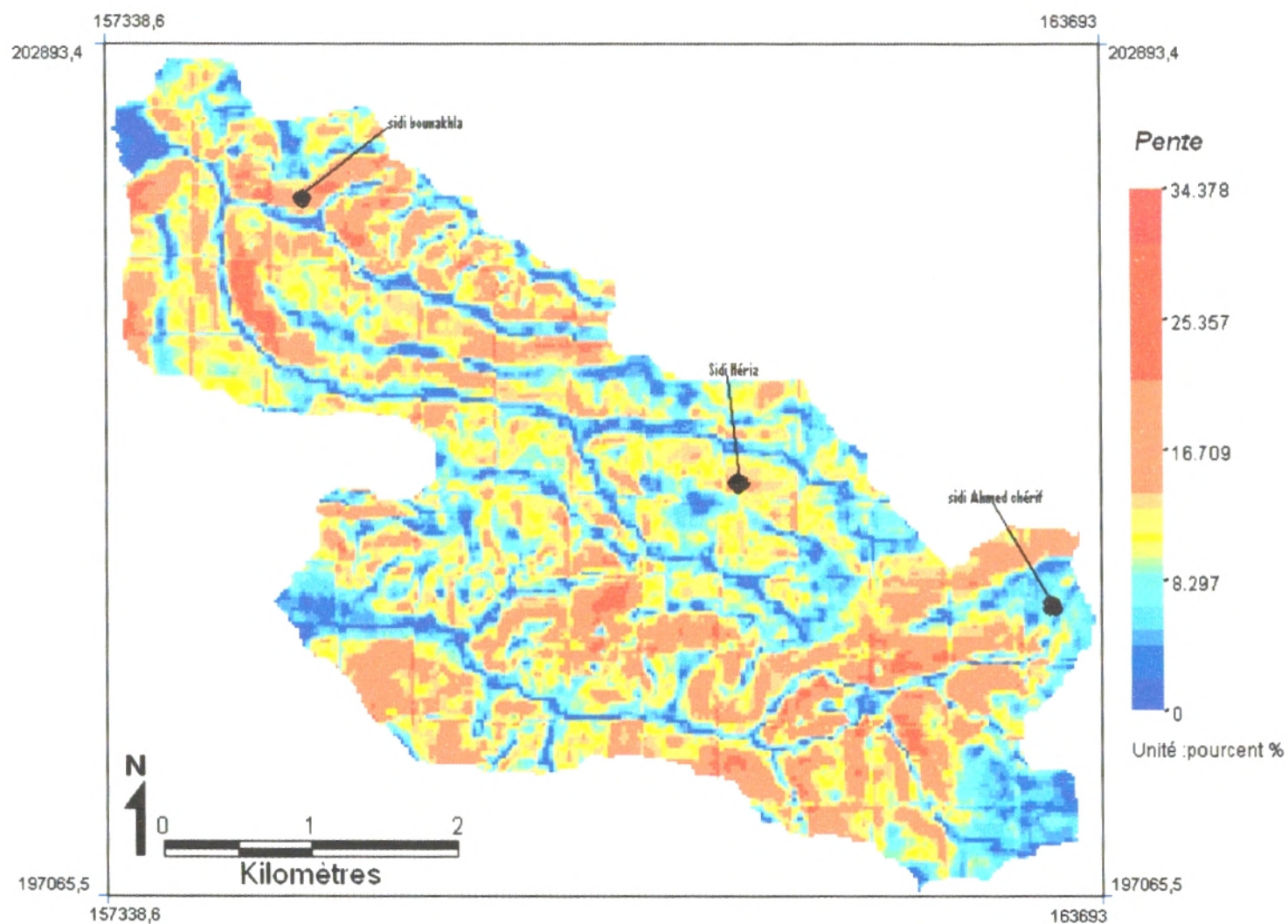


Figure n° 16: Carte des pentes de la zone d'étude

3- Méthodologie

L'érosion hydrique est un phénomène aux conséquences désastreuses sur la fertilité des sols entraînant une baisse de la production agricole et une forte diminution des revenus des population touchées.

Dans la région de l'Isser, d'importants dommages sont déclenchés chaque année par les crues et des inondations aggravées par les facteurs antropozoogènes.

Notre étude s'oriente vers une approche plus déterministe et se déroule en deux étapes :

3.1- Etude cartographique

Le fond cartographique est tiré de l'assemblage de la carte topographique de Lamoricière à l'échelle 1/50 000 (feuille n°271), et celle de Parmentier à la même échelle (feuille n°240).

Le logiciel utilisé est le MapInfo Professional 7.0 qui est un logiciel de SIG, système d'information géographique. Il s'agit d'un ensemble puissant d'outils pour rassembler, stocker, extraire à volonté et visualiser des données spatiales du monde réel pour un ensemble particulier d'objectifs (Burrough, 1986).

La réalisation cartographique se déroule en trois phases :

- La phase initiale consiste à scanner la carte topographique (1/50 000) en mode RVB avec une grande résolution (scanner Format A «3»),
- La seconde phase représente la définition des points de calage (3 minimums) de la carte pour intégrer les cartes scannées sur des données existantes,
- La troisième permet de digitaliser la carte scannée et calée (Fig n°: 17).

La zone d'étude d'une superficie de 2060 ha se compose de deux micro- bassin versants. Le premier est celui de Sidi Ahmed Chérif d'une superficie de 945 ha, moyennement érodé est dégradé.

Le deuxième, d'une superficie de 1115 ha est celui de Sidi Bounakhla Hériz , peu dégradé et dont le relief est moins accentué.

3.2- Quantification de l'érosion et du ruissellement

L'approche méthodologique repose sur l'analyse du ruissellement, de l'érosion et de la dynamique du carbone au niveau de 10 parcelles expérimentales de cent mètres carrés de type Wischmeier dont 6 à Sidi Ahmed Chérif et 4 à Sidi Bounakhla Hériz.

Le dispositif permet d'analyser l'effet des systèmes de gestion des terres les plus fréquents et les plus dominants dans la région : Sol nu, sol cultivé, sol en jachère et quelques améliorations sur les risques de ruissellement et d'érosion et sur la dynamique et la séquestration du carbone. Les sol de la zones d'étude sont bruns calcaires argileux (SBA), d'une grande capacité hydrique mais, assez pauvres en matière organique.

Les mesures du ruissellement et des pertes en terre (suspensions et sédiments lourds) ont été effectuées après chaque pluie, à l'aide des dispositifs de cuves installés en aval de chaque parcelle (trois cuves en série et partiteurs à 10 trous).

Les stocks de carbone organique ont été calculés sur la base de mesures de densité apparente (prélèvement au cylindre avec trois répétitions) et des prélèvements d'échantillons moyens du sol (8 pour chaque parcelle pour deux épaisseurs du sol 0-10 et 0-30 cm ont été effectués en fin d'été (septembre pour la détermination de la teneur en C). Le carbone est déterminé par la méthode de Anne (Anne P, 1945).

Les pertes en carbone par érosion ont été déterminées par des prélèvements sur les terres fines érodées, et sur les suspensions (MES) après chaque événement pluvieux pour la période 2005-2006.

Le carbone des éléments grossiers et solides n'a pas été pris en considération. Le C des terres érodées analysé regroupe celui des éléments fins de la fosse à sédiments et des suspensions (MES) dans les cuves. Pour les MES, un échantillon de un litre est prélevé des cuves, après homogénéisation de l'eau de ruissellement). La précision des mesures est de l'ordre de 10% pour la détermination du ruissellement et de l'érosion. La détermination du carbone organique est faite par la méthode de Anne et des éléments minéraux par la méthode internationale.



Photo 11 : Station de quantification d'érosion de Heriz (Cliché Morsli 2004)



Photo 12 : Station de quantification d'érosion de Sidi Ahmed Chérif (Cliché Morsli, 2004).

Quatrième partie: Résultats et discussion

4^{ème} PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

1- Résultats

Les résultats que nous allons présenter dans ce travail se rapportent d'une part aux observations et analyse des modes de gestion des terres au niveau des parcelles de quantification du ruissellement et de l'érosion pour la campagne (2005-2006), et d'autre part aux mesures et observations faites tout au long de la période 1991 – 2005 où furent suivi l'évolution des taux d'érosion, de ruissellement et du carbone organique ainsi que les hauteurs et intensités des pluies qui furent relativement déficitaires.

Les systèmes de gestion des terres de la région ont été d'une manière générale à l'origine des degrés de dégradation de l'eau, des sols et de la fertilité.

1.1- Précipitations :

P. Seltzer, (1946) a montré que la répartition des pluies obéit aux trois lois suivantes :

La hauteur de la pluie augmente avec l'altitude mais est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous le vent. Elle augmente de l'ouest à l'est et diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

Les pluies moyennes annuelles varient de 240 à 550 mm dans le Tell occidental algérien d'où une variabilité relativement importante durant les trois dernières décennies, un déficit chronique a été enregistré et atteint globalement plus de 50% par rapport à la moyenne calculée sur la période 1913-1971.

Le tableau 15 montre les écart exprimés en % entre les pluies annuelles de 1991 à 2001 et les valeurs moyennes annuelles des pluies déterminées sur deux périodes assez longues : 1913-1971, 1971-2001 et une période récente : 1990-2001. Il en ressort une diminution des moyennes pour la période récente à laquelle appartient notre période de mesure.

Tableau n°15 : Ecart des pluies annuelles par rapport aux moyennes annuelles déterminées sur trois périodes de mesures et les pluies maximales journalières.

Année		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Pluie max. Jour mm/24h	Tlemcen	30,6	44,7	26,1	35,1	41,9	33,8	25,1	35,7	20	26,6	
Pluie moyenne annuelle mm	Tlemcen	371	243	268	256	541	260	349	260	253	413	422
Ecart/moyenne (%) 1913-1971	Tlemcen : 496 mm $\sigma = 100$	-25	-51	-46	-48	+9	-48	-30	-48	-49	-17	-15
Ecart/moyenne (%) 1971-2001	Tlemcen : 347mm $\sigma = 110$	+7	-30	-23	-26	+56	-25	+1	-25	-27	+19	+22
Ecart/moyenne (%) 1990-2001	Tlemcen: 331 mm $\sigma = 100$	+12	-27	-19	-23	+63	-21	-5	-21	-24	+25	+27

L'indice Rusa de l'agressivité des pluies oscille entre 20 et 100 en moyenne, et le rapport Rusa/hauteur des pluies annuelles est de l'ordre de 0,10 à 0,12 (Mazour, 1992).

Tableau n°16 : Précipitations moyennes annuelles dans la station de Hériz

Années	Pluies (mm)	Années	Pluies (mm)	Années	Pluies (mm)	Moy
1991	371	1996	260	2001	422	336,69
1992	243	1997	349	2002	405,6	
1993	268	1998	260	2003	367,2	
1994	256	1999	253	2004	320,6	
1995	541	2000	413	2005	321	

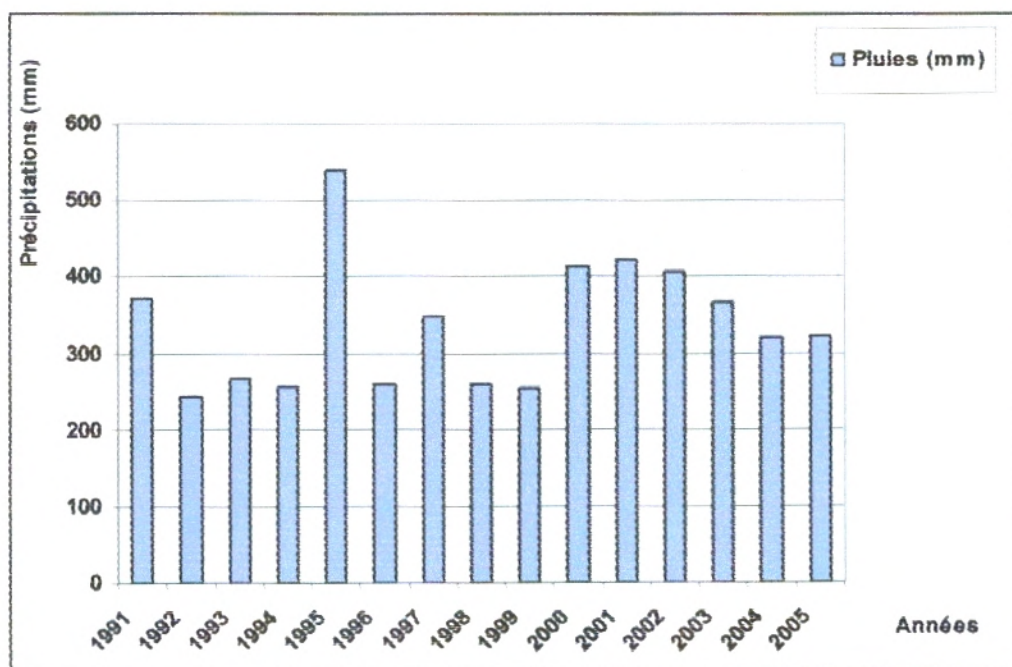


Figure n°18 : Précipitations moyennes annuelles dans la station de Hériz

La grande perte de terre et les plus forts ruissellements se rencontrent lors des pluies exceptionnelles et les orages d'automne et de printemps.

Le tableau 17 montre l'effet des pluies agressives pouvant déclencher du ruissellement.

Tableau 17: Evènement pluviométrique ayant engendrés des transports solides importants

Date	Sites	Averse (mm)	Kr (%)	Erosion (Kg/ha)
Mai-1993	Hériz	49	26,5	1621
Janvier-1994	Sidi Ahmed Cherif	22	12,5	651
Février-1994	Sidi Ahmed Cherif	4	2,0	70

(Source Chebbani, 1996)

1.2- Ruissellement et érosion

Dans les tableaux 19, 20 et 21 nous avons respectivement rapporté les mesures de l'érosion et du ruissellement des parcelles expérimentales de Hériz Bounakhla , Sidi Ahmed Cherif A et Sidi Ahmed Cherif B, durant 15ans (1991-2005).

Nous constatons que Les résultats du ruissellement et de perte en terre varient en fonction des modes de gestion des terres de la zone d'étude et que les ruissellements moyens sont en général assez modestes tout au long de la période de mesure : le coefficient de ruissellement moyen annuel (K_{ram}) sur sol nu varie de 2 à 10,8 % sur sol brun calcaire argileux en système agro-pastoral, de 2 à 8% sur parcelle traditionnelle et de 0,2 à 7,6% sur parcelle améliorée, alors que le coefficient de ruissellement maximum (K_{rmax}) a atteint des valeurs relativement élevées : 38,6 sur les sols cultivés (tableau 19, 20 et 21).

Le (K_{ram}) le plus élevé se rencontre sur le sol dénudé et exposé aux différents aléas climatiques.

Sur les parcelles "améliorées", le ruissellement annuel et surtout maximum est légèrement plus faible que sur les parcelles traditionnelles : cela s'explique par une nette augmentation de la biomasse (% couvert végétal) et une réduction des surfaces fermées par la battance.

Tableau n°18: Erosion et ruissellement sur parcelles expérimentales à Hériz Bounakhla (1991-2005) Tlemcen.

	Pluies (mm)	Parcelle Standard			Système Traditionnel			Système amélioré		
		Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t/ha/an)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t/ha/an)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t/ha/an)
1991	371	9,8	38,6	5,69	7,5	30,0	3,00	5,6	22,0	1,90
1992	243	6,8	27,1	2,27	6,1	13,0	0,90	2,2	09,0	0,40
1993	268	5,3	12,9	0,63	4,9	12,0	0,60	5,1	12,1	0,30
1994	256	6,0	12,1	0,82	5,0	10,8	0,70	4,9	11,0	0,40
1995	541	7,8	34,6	4,90	7,2	27,7	3,80	7,5	24,0	2,50
1996	260	4,2	08,7	0,48	4,8	12,8	0,30	4,5	12,0	0,20
1997	349	8,4	23,2	3,20	8,0	18,1	2,40	7,6	19,0	2,00
1998	260	3,8	10	0,62	3,9	10,0	0,50	2,2	08,0	0,20

1999	253	2,0	07,5	0,11	2,0	08,0	0,10	0,2	07,0	0,10
2000	413	6,6	26,8	1,64	5,5	20,2	1,10	5,6	19,0	0,90
2001	422	7,1	22,1	1,84	7,2	20,6	1,60	6,0	18,0	1,60
2002	405,6	6,0	19,6	2,10	4,4	18,5	1,00	4,8	16,0	0,98
2003	367,2	4,2	16,6	1,78	3,6	16,0	0,90	3,6	14,0	0,85
2004	320,6	5,0	17,1	1,80	4,2	19,0	1,00	4,0	16,2	0,80
2005	321	4,8	15,8	1,72	3,2	14,8	0,85	3,8	12,10	0,85
Moy	336,69	5.85	19.51	1.97	5,16	16,76	10,49	4,50	14,62	0,93
Ecart type	84,99	1,99	9,26	1,57	1,74	6,24	1,03	1,97	5,09	0,74

Les coordonnées de la station de mesure sont : X=161,12 Y=199,12 Z=524 m.

Les systèmes de gestion appliqués au niveau de ces parcelles sont :

- Sol nu sur parcelle nue labourée sarclée chaque mois
- Système traditionnel : blé-jachère traditionnelle, travail dans le sens de la pente.
- Système amélioré : blé intensif avec engrais (NP), travail perpendiculaire à la pente.

Les sols sont des sols à caractère vertique sur marnes. La pente est de 15% et les dimensions de la parcelle sont : L= 22,2 m, l= 4,5 m.

L'agressivité climatique est : RUSA = 33, $\sigma = 9,7$

Etat de surface : 7% de cailloux.

Tableau n°19 Erosion et ruissellement sur parcelles expérimentales à Sidi Ahmed Chérif A - Exposition sud-ouest (1991-2005) Tlemcen.

	Pluies	Parcelle Standard			Système Traditionnel			Système amélioré		
		Kram	Krmax	Erosion	Kram	Krmax	Erosion	Kram	Krmax	Erosion
		(mm)	(%)	(%)	(t/ha/an)	(%)	(%)	(t/ha/an)	(%)	(%)
1991	371	09,9	34,6	3,60	7,1	33,0	3,20	4,4	20,0	1,20
1992	243	08,8	26,5	2,22	6,1	12,7	0,87	2,8	08,1	0,40
1993	268	05,1	12,5	0,73	4,1	11,2	0,41	0,9	02,4	0,28
1994	256	09,2	13,1	0,99	7,5	12,8	1,00	3,9	06,0	0,40
1995	541	10,8	36,5	05,9	7,8	28,7	3,95	6,4	20,0	2,10
1996	260	05,5	09,8	1,68	5,2	12,8	1,20	3,5	07,0	0,30
1997	349	09,9	27,2	4,30	7,1	18,0	2,60	6,6	16,0	2,00
1998	260	04,3	08,6	1,52	4,6	09,0	1,60	2,6	08,9	0,60

1999	253	03,6	08,2	0,61	2,0	08,0	0,40	1,4	06,0	0,20
2000	413	07,5	29,8	3,24	6,5	26,0	2,30	5,0	15,6	0,72
2001	422	07,8	27,6	3,90	7,9	22,8	2,90	6,0	13,0	1,10
2002	405,6	06,8	16,6	2,80	4,2	18,8	1,20	3,4	16,0	0,92
2003	367,2	04,5	14,6	1,98	3,9	16,2	0,96	3,1	14,2	0,80
2004	320,6	05,2	16,1	2,21	4,8	18,7	1,24	3,2	16,1	0,80
2005	321	04,7	13,8	1,87	3,5	16,6	1,28	3,2	12,1	0,78
Moy	336,69	6,90	19,70	2,50	5,48	17,68	1,67	3,76	12,09	0,84
Ecart type	84,99	2,38	9,64	1,46	1,80	7,27	1,06	1,67	5,40	0,57

Les coordonnées de la station de mesure sont : X=161,11 Y=199,12 Z=512 m.

Les systèmes de gestion appliqués au niveau de ces parcelles sont :

- Sol nu sur parcelle nue labourée sarclée chaque mois
- Système traditionnel : blé-jachère traditionnelle, travail dans le sens de la pente.
- Système amélioré : blé intensif avec engrais (NP), travail perpendiculaire à la pente.

Les sols sont des sols à caractère vertique sur marnes. La pente est de 30% et les dimensions de la parcelle sont : L= 22,2 m, l= 4,5 m.

L'agressivité climatique est : RUSA = 33, $\sigma = 9,7$

Etat de surface : 5% de cailloux.

Tableau n°20 Erosion et ruissellement sur parcelles expérimentales à Ahmed Chérif B - Exposition nord-est (1991-2005) Tlemcen.

	Pluies (mm)	Parcelle Standard			Système Traditionnel			Système amélioré		
		Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t/ha/an)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t/ha/an)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t/ha/an)
1991	371	9,9	34,6	3,60	7,1	33,0	3,20	4,4	20,0	1,20
1992	243	8,3	25,0	2,20	6,0	13,1	0,92	2,2	08,7	0,37
1993	268	3,8	10,0	0,70	2,6	07,0	0,40	3,3	09,4	0,31
1994	256	6,0	11,1	0,92	5,5	12,8	1,00	3,9	07,0	0,41
1995	541	7,9	35,5	4,90	7,7	28,7	3,90	7,4	22,0	2,10
1996	260	4,5	09,7	1,28	5,6	13,8	0,80	3,5	08,0	0,30
1997	349	8,9	25,2	3,90	6,0	18,0	2,20	6,6	16,0	2,00
1998	260	4,0	08,0	1,22	3,6	07,0	0,90	2,2	08,1	0,30
1999	253	2,0	07,2	0,31	2,0	08,0	0,20	1,3	06,0	0,10
2000	413	6,8	28,8	2,64	5,5	20,0	1,30	5,0	15,0	0,90
2001	422	7,1	22,6	1,90	7,9	22,6	1,80	6,0	14,0	1,20
2002	405,6	6,6	14,2	2,20	4,0	15,8	1,10	3,3	12,0	0,80

2003	367,2	4,5	12,6	1,88	3,8	12,2	0,86	2,7	14,2	0,82
2004	320,6	5,0	15,1	2,11	4,7	12,7	1,14	2,4	11,1	0,76
2005	321	4,4	13,2	1,66	3,2	13,6	1,18	3,2	12,1	0,72
Moy	336,69	5,98	18,18	2,09	5,01	15,88	1,39	3,82	12,24	0,81

Les coordonnées de la station de mesure sont : X=161,11 Y=199,12 Z=512 m.

Les systèmes de gestion appliqués au niveau de ces parcelles sont :

- Sol nu sur parcelle nue labourée sarclée chaque mois
- Système traditionnel : blé-jachère traditionnelle, travail dans le sens de la pente.
- Système amélioré : blé intensif avec engrais (NP), travail perpendiculaire à la pente.

Les sols sont des sols à caractère vertique sur marnes. La pente est de 20% et les dimensions de la parcelle sont : L= 22,2 m, l= 4,5 m.

L'agressivité climatique est : RUSA = 33, $\sigma = 9,7$

Etat de surface : 4% de cailloux.

Les tableaux 18, 19 et 20 montrent clairement que l'érosion en nappe est modeste durant la période d'étude, et n'a jamais atteint le seuil de tolérance défini par Heusch comme étant 12t/ha/an. Cette forme d'érosion varie significativement selon les systèmes de culture et les types de sol. Les taux les plus élevés sont enregistrés en automne. Les pertes en terre sont plus élevées sur un sol nu que sur un sol cultivé.

1.3- Le carbone : Teneur, stock et pertes

• Les teneurs en carbone

Les teneurs en carbone organique dans les dix et trente premiers cm pour le type de sol étudié sont variables en fonction des systèmes de gestion (tableau 21). Elles varient en moyenne de 0,08 à 1,07 % sur système agropastoral.

Tableau n° 21: Teneurs en carbone organique (C %) sur 10 cm de profondeur du sol brun calcaire argileux (Mazour, 2004).

		Parcelle standard	Système traditionnel	Système amélioré
Années	Pluies (mm)	C (%)	C (%)	C (%)
1991	371	0,94	0,94	0,96
1992	243	0,85	0,08	0,95
1993	268	0,79	1,07	0,95
1994	256	0,80	0,99	0,98
1995	541	0,86	1,06	0,99
1996	260	0,77	1,05	1,01
1997	349	0,74	1,01	1,00
1998	260	0,77	0,94	1,00
1999	253	0,76	0,90	1,01
2000	413	0,83	1,01	1,03

2001	422	0,80	0,90	1,03
Moy	330,54	0,81	0,90	0,99

• **Les stocks en carbone**

Les stocks de carbone issus de l'analyse du système traditionnel actuel représentatif des régions montagneuses agricoles varient entre 11,25 et 14,04 t/ha/an mais avec une moyenne de **12,57 t/ha/an**. Ce système comporte la culture des céréales et fourrages (blé tendre et blé dur, orge, vesce- avoine ...) en rotation avec une jachère de courte durée. Les résultats montrent que les stocks de carbone ne présentent pas un déclin rapide mais une légère diminution sur une durée de 15 ans.

Pour ce qui est des systèmes intensifs (rotation blé/légumineuses et utilisation d'engrais), les stocks de carbone varient entre 11,61 et 13,60 t/ha/an avec une moyenne de **13 t/ha/an** (tableau 22).

Tableau n°22: Stocks en carbone (t/ha) sur 0-10 cm en fonction des systèmes de gestion des sols à Tlemcen

	Système cultivé (Heriz) Sols bruns calcaires			Système cultivé (Ahmed Chérif A) Sols bruns calcaires			Système cultivé (Ahmed Chérif B) Sols bruns calcaires		
	Sol nu	B/J tradit.	Blé intensif	Sol nu	B/J tradit.	Blé intensif	Sol nu	B/J tradit.	Blé intensif
1991	12,12	12,24	12,48	11,62	11,92	12,01	11,06	11,84	11,61
1992	11,04	14,04	12,36	11,48	13,84	12,19	11,54	13,02	13,36
1993	10,20	13,92	12,44	10,40	13,72	12,41	10,20	13,42	13,44
1994	10,44	12,87	12,80	10,11	11,87	12,42	10,44	12,27	12,78
1995	11,28	13,80	12,92	11,14	12,10	12,82	11,28	12,80	12,92
1996	10,12	13,68	13,14	11,12	12,68	13,14	10,52	12,88	13,16
1997	09,68	13,30	13,02	09,88	12,30	13,00	09,58	12,60	13,08
1998	10,12	12,24	13,01	10,32	12,14	12,11	10,04	12,66	13,01
1999	09,96	11,76	13,24	10,06	11,66	12,14	10,15	11,76	13,18
2000	10,80	13,20	13,48	10,80	12,82	13,08	09,56	12,78	13,48
2001	10,52	12,09	13,48	10,22	12,38	13,26	10,52	12,49	13,44
2002	09,70	12,12	13,50	09,78	11,25	12,50	10,50	12,50	13,20
2003	09,80	11,95	13,56	09,90	12,00	13,00	10,60	12,50	13,25
2004	09,66	12,02	13,52	09,80	11,90	12,90	10,10	12,80	13,20
2005	09,70	12,10	13,60	10,00	11,90	12,95	09,90	12,90	13,40
Moy.	10,34	12,80	13,10	10,44	12,29	12,66	10,39	12,62	13,10

sont redoutables, car elles provoquent localement des dégâts considérables. Le régime des pluies est très irrégulier et se concentre sur un nombre réduit de jours (Mazour,2004).

De nombreuses études ont recherché des relations possibles entre la dégradation spécifique des sols et l'abondance des précipitations saisonnières ou annuelles. En effet, il apparaît souvent qu'avec la même quantité de pluie, on enregistre des taux de dégradation de sols extrêmement variables, et il est désormais établi qu'en Afrique du nord, et particulièrement au Maghreb, ceux sont les fortes intensités de quelques orages rares d'automne, ou de printemps qui font l'essentiel de l'érosion.

Si les hauteurs de pluies annuelles, saisonnières, voir journalières ne peuvent expliquer à elles seules les phénomènes d'érosion, c'est parce qu'elles ont tendance à lisser les variabilités dans le temps de la pluviosité, et à masquer de ce fait les caractéristiques d'érosivité des averses.

Ces caractéristiques sont liées à l'énergie cinétique libérée par la pluie au contact du sol, et à son intensité (Masson, 1980). Cependant, il n'existe pas de relation, comme on pourrait le supposer, entre la hauteur des pluies, l'érosion et le ruissellement, les phénomènes étant en réalité plus complexes (Roose et Asseline, 1978).

La hauteur des pluies, combinée à leur intensité favorise le ruissellement et l'érosion en ravine. Les sols marneux, lorsqu'ils sont secs, restent non érodibles mais, dès qu'ils atteignent une certaine humidité, leur sensibilité à la détachabilité et au ruissellement augmente. En effet, au début de la phase d'imbibition, il y a désagrégation par l'effet de l'humectation et du gonflement des argiles et formation d'une croûte structurale qui, par ruissellement évolue vers une croûte d'érosion ou de dépôt.

Parmi les tentatives de formulation, l'indice d'érosivité des pluies R de Wischmeier semble aujourd'hui le plus universel et le plus connu. (Wischmeier et Smith, 1978). Cet indice tient compte de l'effet conjugué de la hauteur, de l'intensité et de la durée de la pluie. Il est égal au produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale en 30 min, et se calcule de la manière suivante:

$$R = E. I_{30} . 10 = [(89 \log I + 210,3) h] I_{\max 30} . 10$$

R: indice d'agressivité des pluies, nombre d'unité de l'indice d'érosivité.

E : énergie cinétique en 30 minutes

I_{max 30} : intensité maximale en 30 minutes

I : intensité de la pluviofase

h : hauteur de la pluviofase

Ainsi, l'index R est sans dimension, quand tous les autres facteurs sont maintenus constants, l'érosion hydrique lui est proportionnelle. Cet indice climatique se calcule, pour une averse, et se cumule par épisode, par mois, ou par saison.

D'après les études de Mazour et Zekri (2003), la détermination de cet indice pour la période allant de 1991 à 2005 au niveau du bassin versant de la Tafna est modeste et varie entre 20 et 100. Le rapport Rusa/module pluviométrique annuel est de l'ordre de 0,10 à 0,12 dans la région.

Pour ce qui est de notre zone d'étude, l'indice (**RUSA**) est assez modeste, et est égal à 33 (Mazour, 2004).

Pour les stations du bassin versant de l'Isser, l'intensité des pluies pour la période 1991-2005 n'a pas dépassé les 50 mm/h sauf pour quelques averses exceptionnelles notamment celle observée le 27/02/93 avec 98 mm/h.

• **Ruissellement et érosion**

Sur une parcelle de terrain, le ruissellement se forme lorsque la détention superficielle du sol est trop faible pour assurer le stockage de l'eau qui ne s'infiltré pas (Cosandey, 1983).

Les résultats montrent que le ruissellement annuel moyen (K_{ram} %) a été modeste durant la période 1991-2005. Toutefois, il a dépassé les 40% durant quelques averses exceptionnelles.

L'importance du ruissellement superficiel dépend de l'intensité des précipitations et de leur capacité à saturer rapidement les premiers centimètres du sol avant que l'infiltration et la percolation, phénomènes plus lents, ne soient prépondérants (Musy et Higy, 2000).

Généralement, le ruissellement démarre après 20 millimètres de pluie si le sol est sec et après 3 millimètres seulement si le sol est humide, encroûté ou compact. Ce seuil de hauteur de pluie donnant lieu à un ruissellement, dépend évidemment des caractéristiques de chaque averse (intensité, mais aussi capacité à saturer le sol), mais surtout de l'état de la surface du sol (humidité des dix premiers centimètres de sol, présence de fissures, de trous de vers, de croûtes de battance, de litière, de cailloux et de grosses mottes). Les ruissellements les plus abondants ne surviennent que quand toutes les conditions sont optimales, généralement entre, novembre et mars ou durant un orage exceptionnel de l'été (une fois en 5 ans) (Arabi et Roose, 1993).

Dans une étude expérimentale détaillée de la désagrégation, il a été montré que le type de mécanisme de désagrégation intervenant était étroitement lié à l'état hydrique initial et au mode de réhumectation des agrégats (Le Bissonnais, 1988).

Tableau 24 : Influence du type de sol et de la pente sur le ruissellement et l'érosion sur une parcelle nue (Mazour, 2004)

Type de sol	Pente (%)	Cailloux (%)	K_{ram} (%)	K_{rmax} (%)	Erosion (t/ha/an)
Sol vertique gris	15	7	6,20	38,6	2,00
Sol vertique gris	30	5	7,49	36,5	2,61
Sol vertique gris	20	4	6,29	35,5	2,14
Sol brun calcaire sur versant	21	46	3,90	42,1	3,55
Sol fersiallitique rouge	10	42	12,70	38,0	3,40
Sol brun calcaire colluvial*	25	15	10,20	56,0	8,1

* A Maghnia, à l'amont du barrage de Hammam Bouhrara, 2000-2001

Le (K_{ram} %) est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Il varie en fonction du couvert végétal: C'est de ce fait qu'il est modeste sur parcelle traditionnelle (2 à 8%) et sur parcelle améliorée (0,2 à 7,6%) alors qu'il a atteint 10,8 % sur sol nu, parcelle de référence labourée.

Le ruissellement maximum (k_{rmax} %) pour une grosse averse est surtout fonction du taux de couverture végétale. Il a atteint des valeurs relativement élevées : 38,6 % sur les sols nus, toutefois, il est encore modeste en comparaison avec celui obtenu par Mazour en 2002 (56% à Maghnia). Si le sol dénudé est tassé ou gorgé d'eau en hiver, le ruissellement peut dépasser 50 à 80 % sur marnes et sur sol fersialitique rouge (Roose, 1994).

Sur les parcelles « améliorées », le ruissellement annuel moyen (K_{ram} %) et le ruissellement maximum (k_{rmax} %) sont légèrement plus faibles que sur les parcelles traditionnelles: cela s'explique par une augmentation de la biomasse (% couvert végétal) et une réduction des surfaces fermées par la battance. Sur sol nu, par contre, le ruissellement est plus important que sur les autres parcelles. Cela s'explique par la battance des pluies qui tassent le sol et obture la porosité de l'horizon de surface (Figures 19, 20 et 21).

Dans des conditions de sol, de pente et de techniques culturales semblables, on observe que la couverture végétale, en particulier les techniques améliorées, ont réduit efficacement les risques d'érosion. Le niveau de couverture du sol serait un facteur déterminant dans la réduction du ruissellement.

Les pluies qui ont engendré du ruissellement sur la parcelle standard (PS) représentent 65% du nombre total des averses. Le ruissellement peut se déclencher même pour des pluies de hauteur ou d'intensité très faible, surtout lorsque les pluies sont consécutives (Mazour, 2004).

Tous les sols nus ou relativement décapés connaissent des ruissellements importants et peuvent être considérés comme source importante de la dégradation des terres situées en aval comme ils peuvent engendrer des crues importantes à l'origine de graves manifestations d'érosion par ravinement.

Pour les systèmes cultivés, les taux les plus élevés s'observent durant la période octobre-février où les conditions favorables du ruissellement sont réunies (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croûte de battance...) ainsi que lors de périodes fortement arrosées.

Parmi les pratiques culturales, le travail du sol et les apports (fumier, engrais) sont susceptibles d'influencer la sensibilité des terres au ruissellement et à l'érosion, appelée érodabilité (Roose, 1994).

Le labour profond et grossier augmente l'infiltration et réduit l'érosion temporairement durant les événements pluviométriques modérés. Mais lors des averses ou séries d'averses exceptionnelles, la capacité de stockage et d'infiltration en eau peut être dépassée par l'abondance des pluies et les risques d'érosion sont plus élevés sur les sols en pente et travaillés, car le labour a réduit leur cohésion.

Barthès et al/1997 signalent que malgré un ruissellement important dû au non travail, les pertes en terre sont minimales en semis direct, où la structure du sol est peu détruite.

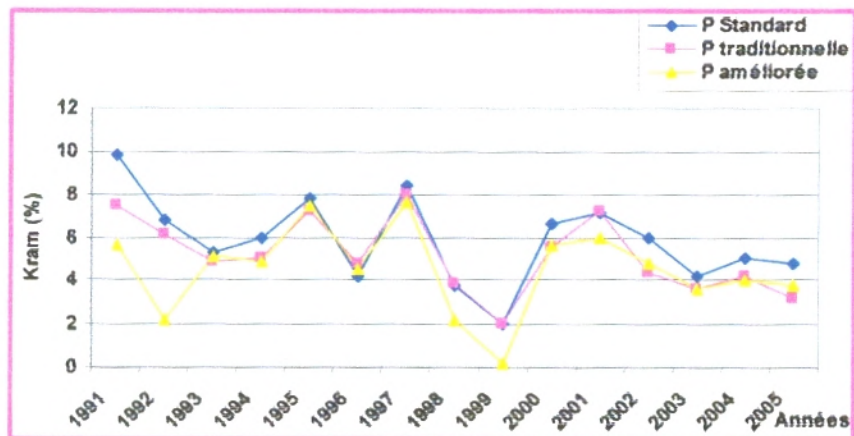


Figure n° 19 : Ruissellement annuel moyen en fonction des systèmes de gestion à Hériz (1991 – 2005)

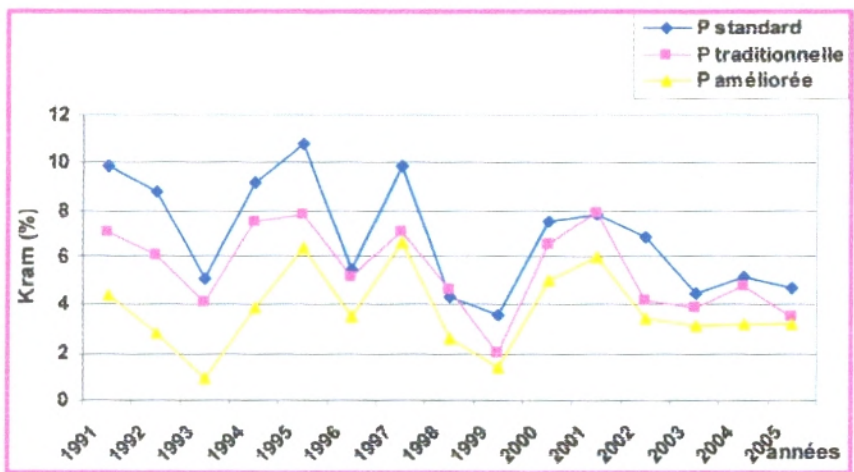


Figure n° 20 : Ruissellement annuel moyen en fonction des systèmes de gestion à Sidi Ahmed Chérif A. (1991 – 2005)

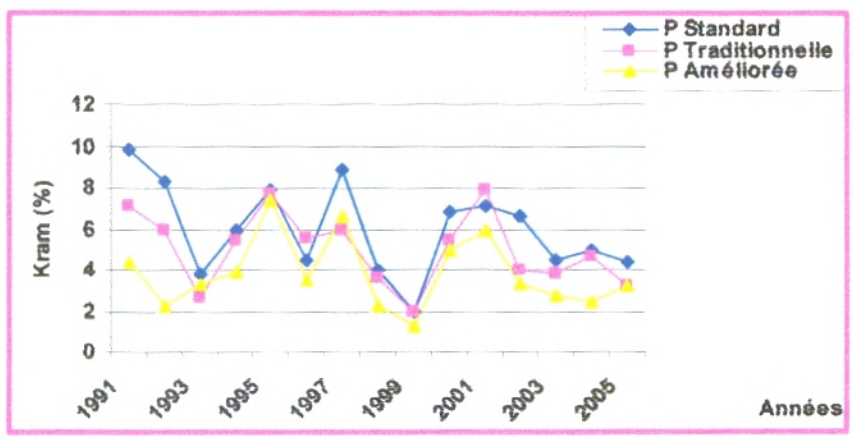


Figure n°21 : Ruissellement annuel moyen en fonction des systèmes de gestion à Sidi Ahmed Chérif B. (1991 – 2005)

Tableau 25. Coefficient de ruissellement (K_{rmax} %) et érodibilité (K_{usle}) sur sols nus labourés dans le bassin versant de la Tafna

Station	Pluie (mm)	Vertisol gris	Fersiallitique rouge	Calcaire brun
Heriz	350	38,6	/	/
Cherif A	350	36,5	/	/
Pluie d'imbibition (mm)		3 à 20	2 à 12	6 à 18
Erodibilité ($K_{usle} \times 1000$)		10 à 20	14 à 20	5 à 10

Les résultats obtenus montrent que les pertes en terre mesurées sur sol nu sont importantes (0,11 à 5,90 t/ha/an) (figure 22, 23 et 24). Sous cultures, l'érosion est plus faible : les valeurs sont comprises entre 0,10 et 3,95 t/ha/an sur parcelle traditionnelle et entre 0,10 et 2,50 t/ha/an sur parcelle améliorée. Ces valeurs d'érosion restent relativement modérées et ne dépassent pas le seuil de tolérance généralement admis (2 à 12 t/ha/an).

Ainsi, la protection de la surface assurée par une litière (mulch de paille) ou un couvert végétal bien développé permet de diminuer les pertes par ruissellement et de ralentir l'évolution des croûtes. Des résultats similaires ont été obtenus par (Arabi et Roose, 1993), (Mazour, 1992), (Bouchetata, 2006), (Gomer, 1992), (Chebbani, 1996), (Morsli, 1996) et (Roose, 1996) en Algérie, et par (Laouina et al, 2000) et (Mouffadal, 2002) au Maroc.

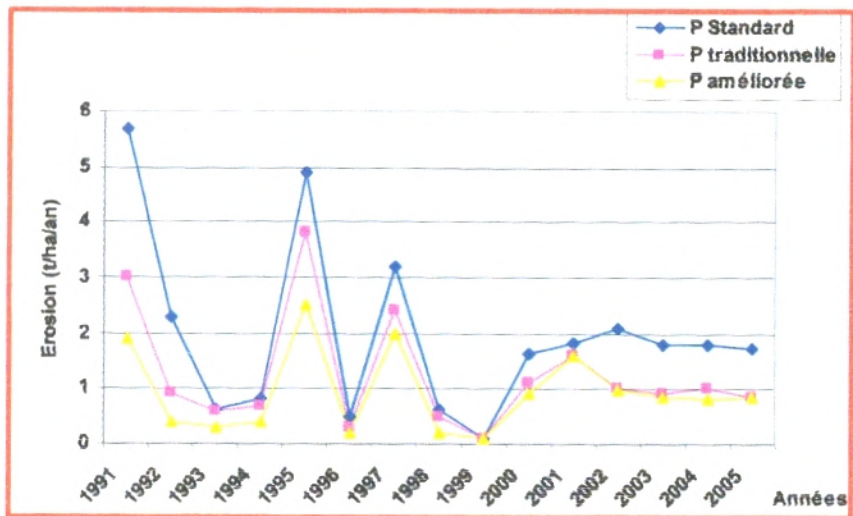


Figure n° 22 : Perte en terre en fonction des systèmes de gestion à Hériz

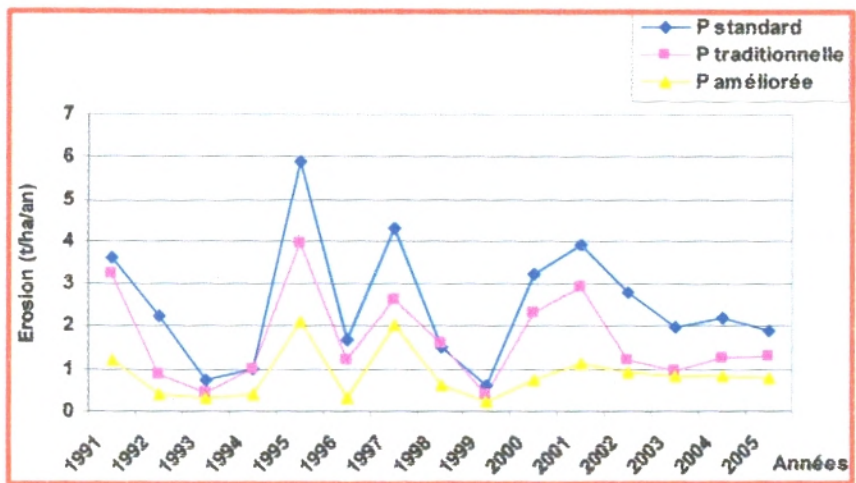


Figure n° 23 : Perte en terre en fonction des systèmes de gestion à Sidi Ahmed Chérif A

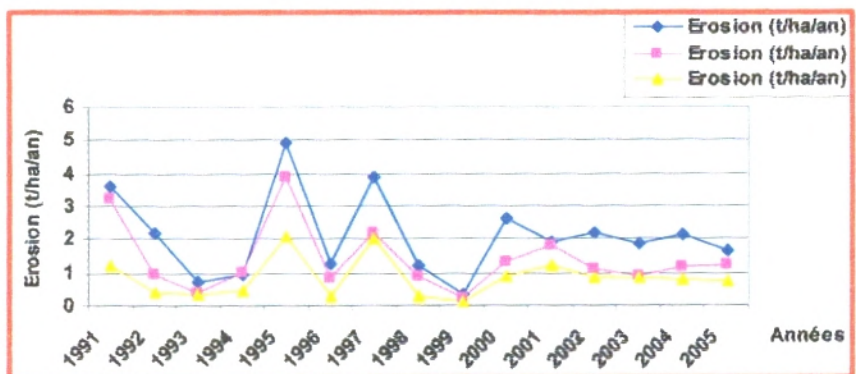


Figure n° 24 : Perte en terre en fonction des systèmes de gestion à Sidi Ahmed Chérif B

Les résultats obtenus durant les 15 années de mesures montrent des valeurs relativement modérées de l'érosion en nappe dans le nord ouest algérien. Celle-ci reste globalement inférieure à 6t/ha/an. Cependant si l'érosion en nappe est faible sur de petits champs bien isolés, elle évolue parfois en ravine sur de longs versants cultivés.

Expérimentalement, il a été prouvé que l'érosion en nappe évacue sélectivement les particules légères (matière organique, argiles et limon) et les nutriments, tandis que l'érosion en rigole décape non sélectivement le sol. Aussi, lorsque l'érosion en rigole se développe, elle décape généralement l'horizon humifère, surtout sur fortes pentes.

L'érosion en nappe, bien que sélective vis-à-vis des particules légères et des nutriments, ne semble pas être le processus le plus actif sur les versants méditerranéen. L'érosion en rigole et l'érosion sèche (par les instruments aratoires), qui ne sont pas sélectives, semblent bien plus actives dans l'évolution de la couverture pédologique des versants montagnards méditerranéens (Roose et al, 1993).

Il est difficile de commenter l'aptitude au ruissellement des sols, car les pentes varient en même temps que les types de sol. Par ailleurs, il semble clair que le ruissellement moyen annuel et le ruissellement maximum journalier décroissent lorsque les pentes augmentent, tout au moins sur les jachères nues.

Dans le tableau qui suit, sont reportées les valeurs du ruissellement et de l'érosion obtenues par Arabi et Roose dans la région de Médéa sur des jachères nues. Ces valeurs varient en fonction des pentes et des types de sol.

Tableau 26 : Influence du type de sol et de la pente (%) sur le ruissellement (%) et l'érosion (t/ha/an) (d'après Arabi et Roose, 1993).

	Couverture par les cailloux (%)	Pente(%)	KRAM %	KRMax %	Erosion t/ha/an
Sol brun calcaire	16	40	11	34	1,8
Sol brun calcaire colluvial	20	35	10	36	1,5
Sol rouge fersiallitique	0	30	16	50	9,0
Vertisol gris	4	12	18	86	2,7

Les ruissellements sont fréquents et abondants sous végétation naturelle dégradée (matorral dégradé), ceci peut s'expliquer d'une part par des états de surface caractérisés par une pierrosité élevée et une couverture végétale faible et d'autre part par des sols très peu profonds et fortement tassés par le pâturage.

Ceci bien sur n'est pas le cas des systèmes de gestion en cultivé sur les marnes de Sidi Ahmed Chérif et Bounakhla – Hériz où les sols sont plus profonds avec une capacité de rétention importante et régulièrement travaillée.

Sur les pentes affectées par le ruissellement, des techniques culturales adaptées aux conditions de pente et aux moyens économiques des paysans peuvent permettre la réduction des risques comme les billons par exemple qui par leur micro relief diminuent significativement le ruissellement

et permettent de piéger l'eau et améliorer l'infiltration. D'autre part les billons non entretenus peuvent accentuer le ruissellement : lors de pluies saturantes, les billons peuvent être rompus et le phénomène érosif peut s'accroître.

Quoi que les pertes en terre soient en général modérées par rapport aux seuils de tolérance admis (2 à 12 t/ha/an), Cette érosion en nappe devient dangereuse car non seulement elle décape l'horizon superficiel mais appauvrit surtout l'horizon humifère en réduisant ainsi le potentiel de fertilité des sols, le stock du carbone organique et le potentiel de séquestration de ce dernier. Ce fait accélère la dégradation physique, biologique et chimique des horizons superficiels des sols cultivés.

• **Le Carbone : stocks et pertes**

Dans tous les écosystèmes, le carbone organique du sol est un élément très dynamique, fortement influencé par l'utilisation des terres, les incendies de forêt et la coupe à blanc.

Les terres du Maghreb font l'objet de modifications majeures d'usage des sols (Coelho, 2002) et en particulier celles de l'Algérie. La teneur du carbone peut être fortement modifiée, dégradée ou améliorée par les changements d'utilisation du sol (Batjes, 1996).

Le sol constitue le plus grand réservoir superficiel du carbone et apparaît ainsi comme potentiellement important dans le contrôle des stocks et des flux du carbone. Par ailleurs, la conservation et/ou l'augmentation des stocks de carbone a des conséquences importantes sur la fertilité des sols (Feller et al, 1996). Les matières organiques du sol (MOS) jouent un rôle prépondérant dans la fertilité des sols et dans la réduction du gaz à effet de serre en tant que source ou puits de carbone vis à vis de l'atmosphère (Hien, 2002) et ont un grand impact sur le bilan hydrique.

Du bilan des apports et des pertes de carbone dans le sol, il ressort que la minéralisation des MO du sol est le facteur principal de la variation du stock de C dans le sol ; cependant la capacité de séquestration du C dans un sol dépend aussi des pertes en terre par érosion laquelle est fonction du taux de couverture de litière et de cailloux du sol et de la pente.

A l'échelle du bassin versant, il faut s'attendre à ce que les terres de fonds (90% de l'érosion) se déposent (colluvions) ne laissant partir dans la rivière que 10% des terres érodées, les plus riches en carbone (Blanchart E et al, 2002).

Dans cette étude, notre attention se porte davantage sur l'évaluation de l'influence des systèmes de gestion traditionnels et améliorés sur la dynamique du carbone.

• **Variabilité des teneurs en carbone dans le sol**

Il existe (Batjes, 1996) une grande variation des teneurs en carbone organique relativement aux types de sol.

Le changement du carbone organique dans le sol (COS) est un indice utile de la santé générale du sol et sert également à déterminer quelle quantité de dioxyde de carbone est captée dans l'atmosphère et séquestrée dans les sols agricoles (Mc Conkey B et al, 2001). Au niveau du globe, le carbone du sol constitue une réserve susceptible d'influer sur le taux de carbone atmosphérique.

L'évaluation des teneurs en carbone au niveau des versants étudiés montre qu'il existe une certaine variabilité spatiale du carbone organique du sol (SOC). Sa teneur sur les sols bruns calcaires argileux, varie de 0,08 à 1,07 % sur l'horizon de surface, mais celles-ci sont variées selon la texture, la minéralogie, la biomasse (aérienne ou souterraine) et surtout à la position

sur le versant : Les études de Morsli et al (2004), montre que sur les sols en pente, la teneur en carbone est de l'ordre de 1%, par contre dans les replats et les bas fonds où on peut parfois rencontrer des sols enfouis, la teneur en carbone est élevée et peut dépasser les 3%. Les propriétés physiques du sol telles que la stabilité structurale et la densité apparente (da) de l'horizon de surface sont liées au taux du carbone organique.

La teneur du sol en carbone dépend des principaux facteurs à long terme de la formation du sol, mais elle peut être fortement modifiée, dégradée ou améliorée par les changements d'utilisation du sol et la gestion du sol.

Une grande variété d'études comparatives de longue durée montrent que les systèmes organiques et durables améliorent la qualité des sols en augmentant les teneurs organiques des sols et en carbone avec un accroissement de l'activité microbologique: aux USA (Lockeretz et al., 1989; Wander et al., 1998; Peterson et al., 2000), en Allemagne (El Titi et Landes, 1990; Tebruegge, 2000), UK (Smith et al., 1998; Tilman, 1998), Scandinavie (Ketterer et Andren, 1999), Suisse (FiBL, 2000), et Nouvelle Zélande (Reganold et al., 1987).

Sur sols bruns calcaires, les résultats ont confirmé les faibles teneurs en carbone organique dans les 10 premiers cm qui ne dépassent pas en général les 2%. Ces faibles taux s'expliquent d'une part, par l'érosion, le surpâturage, la minéralisation rapide et l'exploitation minière des sols, et d'autre part par les faibles ou l'absence quasi-totale d'apports organiques pour restituer les pertes en C. La figure 28, montre que les systèmes de gestion des sols ont joué un rôle dans la variabilité et l'évolution des teneurs en carbone.

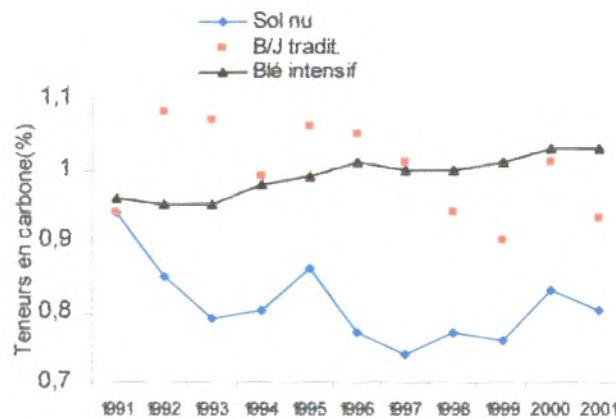


Figure 25 : Evolution des teneurs en carbone organique en fonction des différents systèmes de gestion à Hériz (Sol cultivé) 1991-2001

Dans un sol, les teneurs en carbone organique ne sont pas identiques dans toute l'épaisseur des horizons humifères : elles diminuent de la surface vers la profondeur en fonction des systèmes de gestion et des types de sols.

Il y a aussi (Batjes, 1999) de grandes variations dans la distribution du stock total de carbone selon les zones écologiques majeures (tableau 27). Ces zones montrent de grandes différences

dans la réserve de carbone organique, surtout par rapport à la température et aux précipitations.

Tableau 27 : Stocks totaux de carbone organique du sol (SOC) et capacité moyenne de séquestration par grande zone agro-écologique (pour une profondeur de 30 cm et 1 m)

Zone agro-écologique	Stocks de carbone (Pg C)		Densité moyenne de C (kg/m ³) ou capacité de stockage en carbone	
	30 cm profondeur	1 m profondeur	30 cm profondeur	1 m profondeur
Tropicale chaud et humide	92 - 95	176 - 182	5,2 - 5,4	10,0 - 10,4
Tropicale chaud saisonnièrement sec	62 - 67	122 - 129	3,6 - 3,8	7,0 - 7,3
Tropicale frais	23 - 21	56 - 59	4,4 - 4,7	3,4 - 3,9
Aride	49 - 55	91 - 100	2,0 - 2,2	3,7 - 4,1
Subtropicale avec pluies estivales	32 - 36	64 - 68	4,5 - 4,7	8,6 - 9,1
Subtropicale avec pluies hivernales	18 - 20	37 - 41	3,5 - 3,9	7,2 - 8,0
Tempérée océanique	20 - 22	40 - 44	5,8 - 6,4	11,7 - 12,9
Tempérée continentale	21 - 126	1 233 - 243	5,6 - 5,9	10,8 - 11,3
Boréale	202 - 210	478 - 435	9,8 - 10,2	23,1 - 24,0
Polaire et alpine (couches de glace évaluées)	57 - 63	167 - 188	7,0 - 7,8	20,6 - 23,8

Source : Batjes, 1999

A l'horizon C, les teneurs chutent jusqu'à 60%. Sur les sols limoneux, la diminution est assez brutale, le taux de carbone décroît très rapidement avec la profondeur, par contre dans les sols argileux, la diminution est progressive vers la base du profil. Ceci est dû au brassage constant des horizons par les mouvements vertiques. Les teneurs sont relativement plus élevées sur sol argileux que sur sol limoneux.

Sur les systèmes améliorés (intensification et mise en défens), les teneurs en carbone des sols en place ont remarquablement augmenté, ce qui laisse supposer une restitution de la matière organique issus de la biomasse au sol en présence d'une érosion superficielle modérée. Par contre sur les sols nus et les terrains de parcours, nous enregistrons une diminution de la teneur en carbone dû essentiellement au décapage en surface par l'érosion (figure 28).

L'exposition des versants semble aussi avoir un effet sur les taux de matière organique : les teneurs sur les versants nord sont relativement élevées et différent selon les systèmes d'utilisation des terres (tableau 28). Les versants sud les moins arrosés et les plus érodés sont exposés à des conditions favorables de minéralisation de la matière organique. La minéralisation des MOS est le facteur principal de la variation du stock du carbone dans le sol (Blanchart et al, 2002).

Tableau 28 : Effet de l'exposition sur les teneurs en carbone organique sur sol nu, cultivé et parcours dans les monts de Tlemcen

Exposition	sol nu	sol cultivé	Parcours
	teneur %	teneur %	teneur %
Exposition nord	1,2	2,1	2,8
	0,4*	0,5*	0,6*
Exposition sud	0,7	0,9	1,5
	0,5*	0,6*	0,6*
* : écart type			

Les stocks en carbone organique dans les dix premiers cm du sol ont diminué de 10 à 25% pour les sols nus, de 5 à 8% sur les systèmes traditionnels et de 16 à 22 % sur les matorrals et les jachères pâturés.

Par contre sur les systèmes améliorés (matorral et jachère en défens, blé intensif, cultures de légumineuses) les stocks ont augmenté de 5 à 28% (figure 20 et 21).

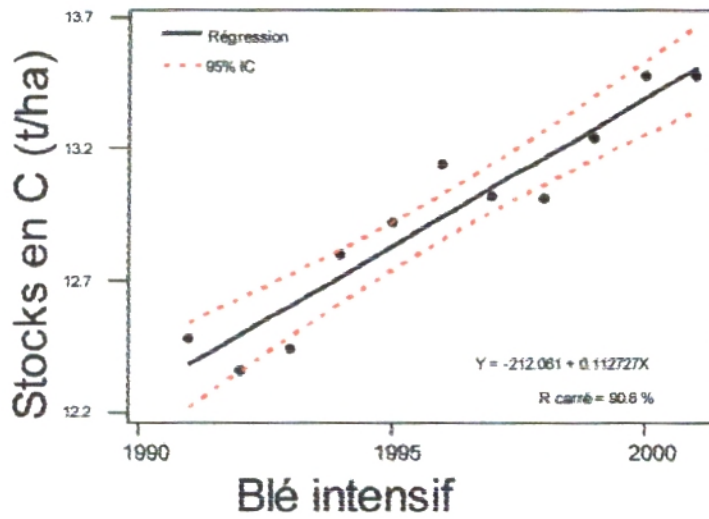
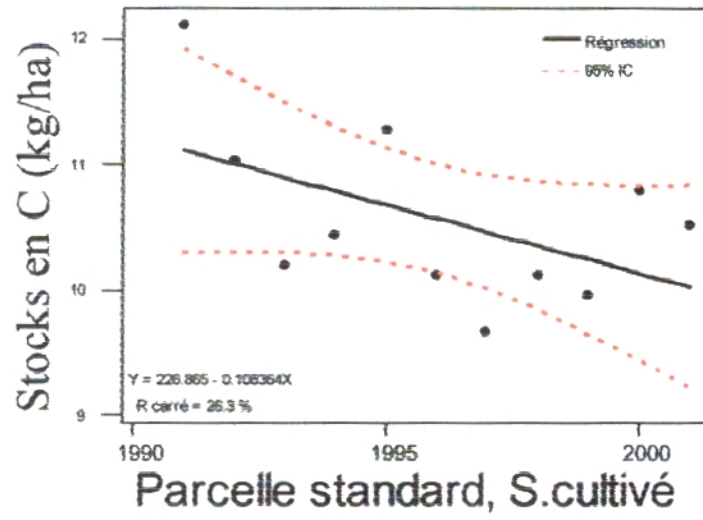


Figure 26 : Variation du stock de carbone durant les 10 dernières années en système cultivé, sur parcelle nue et parcelle améliorée (blé intensif)

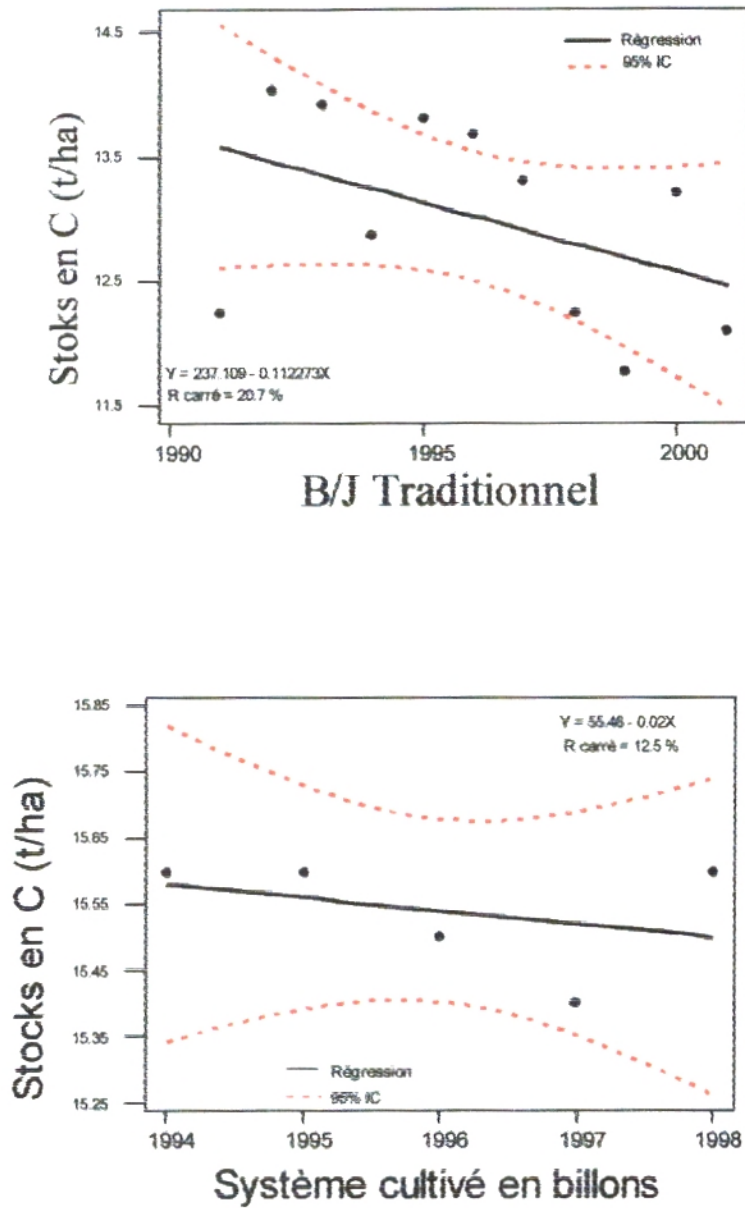


Figure 27 : Variation du stock de carbone durant les 10 dernières années en système cultivé, sur parcelle blé/jachère traditionnel et parcelle cultivé avec techniques culturales (billons)

La jachère non pâturée réduit l'érosion jusqu'à 80 % par rapport au sol nu et augmente les stocks en C de 22%. , cependant, elle ne reste pas sans effet négatif sur le ruissellement. La végétation naturelle (matorral) mise en défens a permis l'augmentation du stock en carbone du sol de 28%. Parfois il est possible, de restaurer les sols au moindre coût en laissant faire la nature mais tout en la contrôlant. Une technique, comme la mise en défens a donné des résultats positifs sur la régénération et la production de biomasse. Elle est très pratiquée, ces dernières années, à grande échelle dans les parcours semi- arides algériens (Mazour, 2004).

Le travail minimum du sol et le billonnage sur les zones cultivées, de pente inférieure à 20%, ont une influence très marquée sur le risque de dégradation, ils retardent le déclenchement du ruissellement, augmentent l'infiltration et maintiennent les stock du C. Mais, lors des fortes pluies et en fortes pentes, les billons peuvent être rompus et donnent naissance à des rigoles qui peuvent évoluer vers des ravineaux. Cette technique, si elle est bien menée et améliorée (billons isohypses, entrecoupes, micro-relief accentué....) peut diminuer considérablement le ruissellement et l'érosion et permet ainsi un bon stockage du carbone et de l'eau dans les inter billons. Le billonnage isohypse est une technique très efficace dans la lutte anti-érosive (Azontode, 1996).

Les sols nus et les jachères et les matorrals pâturés présentent un grand risque pour le ruissellement et les stocks en carbone. Les fortes diminutions dans le stock de carbone dans le sol (6 à 25%) sont dues en grande partie à l'érosion, à la minéralisation et à l'exploitation continue et irrationnelle des ressources naturelles.

Les pertes en carbone des sols par érosion et sélectivité

Les pertes de carbone dépendent beaucoup des sources d'énergie et du type d'érosion. Lorsque l'érosion en nappe dépend essentiellement de l'énergie de la battance des gouttes de pluies, le ruissellement a une faible compétence et ne transporte que les particules légères : l'érosion sera fortement sélective vis-à-vis des argiles et limons fins et à fortiori des matières organiques. Par contre, lorsque l'érosion évolue principalement en rigole, l'énergie de ruissellement linéaire est capable de déplacer les sables, agrégats et petits graviers et la sélectivité de l'érosion diminue.

Les pertes en carbone par l'érosion en nappe varient de 20 à 78 kg/ha/an et sont fonction des systèmes d'utilisation des terres. Ces pertes restent encore faibles par rapport aux stocks. Mais les pertes totales peuvent dépasser les 28% (érosion, minéralisation, exportation par les végétaux, volume des apports très faible et souvent nul). Dans la zone d'étude, la situation devient encore plus dangereuse car la majorité des sols de la région sont peu profonds.

En plus du décapage de l'horizon de surface, l'érosion entraîne des pertes sélectives en carbone et en éléments minéraux. Les pertes sélectives sont de 1 à 4 fois supérieures à celles auxquelles on pourrait s'attendre s'il n'y avait qu'un décapage du sol en place. La matière organique est la plus légère et par conséquent la première à être transportée en grande quantité par le ruissellement. De même, l'azote et le potassium sont perdus en quantités non négligeables. Le bilan est généralement sous estimé puisque on n'a pas pris en considération les éléments en solution.

L'indice de sélectivité du carbone (CER), se définit généralement comme le rapport entre le taux d'argile (ou de carbone) de l'ensemble des sédiments érodés (terre de fond +matières en

suspension) et celui de l'horizon superficiel du sol avant érosion. Il varie selon le mode de gestion de 1,08 à 1,55% sur un sol nu, de 1.86 à 2.0% sur un sol cultivé et de 1.44 à 2.13 sous matorral (tableau 12,13 et figure 8). Le carbone exporté par l'érosion est plus élevé sur les systèmes caractérisés par une richesse en matière organique à la surface du sol.

Les pertes de carbone sont négligeables dans les milieux bien couverts où elles sont facilement compensées par les aérosols et surtout par l'apport de litière : elles ont peu d'influence sur le stock de matières organiques du sol (Roose, 1980).

D'autre part le volume du carbone érodé est lié à la richesse en carbone du sol en place, lui-même lié au mode d'utilisation du sol. Les systèmes qui produisent beaucoup de biomasse et surtout de litière (jachère mise en défens, matorral protégé...) augmentent les stocks du sol en carbone mais les volumes du carbone érodé par l'érosion sont élevés à cause de la richesse du sol en matière organique.

Les résultats obtenus sur la plupart des parcelles montrent que la masse du carbone des terres érodées est liée positivement ($r > 0,50$) à la masse des terres érodées.

Par contre, une faible liaison ($r < 0,30$) a été obtenue entre la teneur en C des sédiments et la masse de terre érodée. Les pertes en carbone par érosion dépendent plus des volumes des terres érodées que des variations des teneurs au cours des saisons (Bep et al, 2002).

Généralement, les grandes pertes de C par érosion ont lieu surtout lors des grandes averses où les pertes en terre élevées, avec des teneurs moyennes à faibles en C font globalement des pertes en carbone importantes. Les fortes teneurs par contre, correspondent généralement aux pluies non agressives et aux faibles pertes en terre.

Plus le ruissellement et les pertes en terres sont modérés, plus l'érosion est sélective vis-à-vis des particules légères. Plus l'érosion est abondante, plus on observe du ruissellement et de l'érosion linéaire et plus le coefficient de sélectivité est faible.

En effet, lors d'averses importantes, les eaux de ruissellement caractérisées par des fortes énergies creusent le sol en profondeur et emportent les terres des horizons profonds pauvres en carbone ce qui donne des teneurs en carbone relativement faibles des terres érodées.

Par contre, les ruissellements moins importants découpent seulement les horizons superficiels généralement assez riches en matière organique, particulièrement au début de l'automne. Ils sont à l'origine d'une érosion plus sélective. Les terres érodées sont ainsi plus riches en carbone.

Les teneurs en carbone des terres érodées varient aussi en fonction des saisons :

Au début de l'automne, les teneurs en C des terres érodées sont élevées lors des premières pluies. Ceci est dû au balayage des matières organiques accumulées en surface.

De l'automne jusqu'au début de l'hiver, les ruissellements se distinguent par des concentrations élevées en terre et les teneurs en carbone sont moins élevées. En hiver l'érosion est plus sélective mais les flux totaux restent modérés par rapport à ceux de l'automne. Au printemps, l'érosion est moins importante et relativement moins sélectives par rapport à l'hiver particulièrement sur les sols cultivés. En automne, la plus part des systèmes de gestion favorisent l'érosion des sols avec un appauvrissement en surface d'éléments fins riches en C.

Les terres arrachées sont redistribuées dans les champs ou entraînées dans les talwegs. L'étude de la distribution des sols et des matières organiques (Morsli, 1996) a montré qu'une partie des matériaux érodés par l'érosion reste piégée dans le versant. La quantité de terre retenue dans le versant dépend des conditions topographiques et des modes de gestion des sols. Des dépôts importants sont observés dans les zones de ralentissement (replat, concavité...), l'érosion crée une redistribution de la fertilité des sols. D'après Lal (2002), une partie du C érodé au niveau des dépressions est protégée et séquestrée. Une hétérogénéité des rendements s'observe d'ailleurs le long des toposéquences. L'érosion apparaît donc, comme l'un des facteurs essentiels de la dynamique actuelle du carbone.

3- Propositions d'améliorations :

La zone d'étude connaît plusieurs contraintes naturelles, mais à celles-ci viennent s'ajouter des choix des systèmes de production et des techniques culturales qui ne correspondent pas aux conditions pédoclimatiques du milieu et financières des agriculteurs.

Le développement d'une céréaliculture durable avec de meilleurs rendements, dans la zone d'étude ne pourrait de ce fait être possible sans l'amélioration des revenus des agriculteurs.

Arabi et Roose (1989), signalent qu'on peut multiplier les revenus par dix pour les céréales si on passe au système intensif. En effet, La culture traditionnelle des céréales peut rapporter 2 500 dinars /ha/an. La rotation céréale légumineuse améliorée intensive rapporte 35 800 dinars et jusqu'à 42 à 65 000 dinars lorsque cette rotation est introduite entre les rangs des vignes ou des arbres fruitiers

Dans ces conditions, il est possible d'intéresser les agriculteurs à modifier leur système de culture en leur démontrant qu'il est possible d'avoir des niveaux de productivité élevés tout en améliorant progressivement le milieu rural.

L'amélioration du couvert végétal peut réduire le ruissellement et l'érosion au champ, et par conséquent, garantir la durabilité de la qualité des terres.

Pour parvenir à garantir une sécurité alimentaire durable, l'Algérie donne la priorité au développement agricole et rural en favorisant les investissements en amont du secteur agricole et l'utilisation des facteurs d'intensification afin d'améliorer les revenus en milieu rural.

Dans ce sens et depuis l'année 2002, le Plan National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) mis en oeuvre par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, favorise l'intensification agricole afin de sécuriser la production, augmenter le niveau de la productivité et les revenus des agriculteurs et limiter la facture des importations. Il prévoit la mise en place de systèmes de cultures en fonction des zones agro-écologiques.

Conclusion :

A l'échelle de la planète, les sols contiennent de l'ordre de 1 500 milliards de tonnes de carbone organique : une augmentation même minime de ce stock pourrait jouer un rôle significatif sur la limitation des flux nets de gaz à effet de serre vers l'atmosphère. Il est donc important de connaître le potentiel offert par ces puits, selon les sols, leurs usages et les pratiques associées.

L'amélioration du stock de carbone dans les sols passe par une gestion raisonnée des résidus végétaux (adventices, résidus de culture et litières) à la surface du sol ou par de courtes jachères à haut potentiel de production de biomasse (légumineuses fourragères ou plantes de couverture). Les techniques de semis direct sous litière permettent de réduire les pertes en

eaux, en terre et en carbone : elles réduisent en outre la vitesse de minéralisation des matières organiques du sol tout en maintenant une bonne infiltration des eaux de surface. Cela peut constituer un apport non négligeable à la lutte contre l'effet de serre dans le cadre du protocole de Kyoto et peut avoir, en plus, des effets bénéfiques pour l'environnement.

Dans le contexte de la croissance démographique actuelle, le recours à des jachères de longue durée n'est plus réalisable. Par ailleurs, les résidus de récolte susceptibles d'être restitués au sol sont très souvent utilisés pour l'alimentation des animaux, à des fins énergétiques (combustible) et comme matériaux de construction. Aussi, les efforts de recherche doivent-ils se porter sur d'autres solutions telles que, par exemple, les rotations de cultures à fort enracinement, les jachères de courtes durées ou les systèmes agroforestiers à production élevée en biomasse.

L'érosion réduit les agrégats stables et peut donc déprotéger le carbone de ces derniers. Cette destruction dépend de la teneur en carbone dans le sol et de l'importance du couvert végétal. En effet, plus il y a de carbone, plus les sols sont stables, et plus les sols sont couverts plus ils sont protégés.

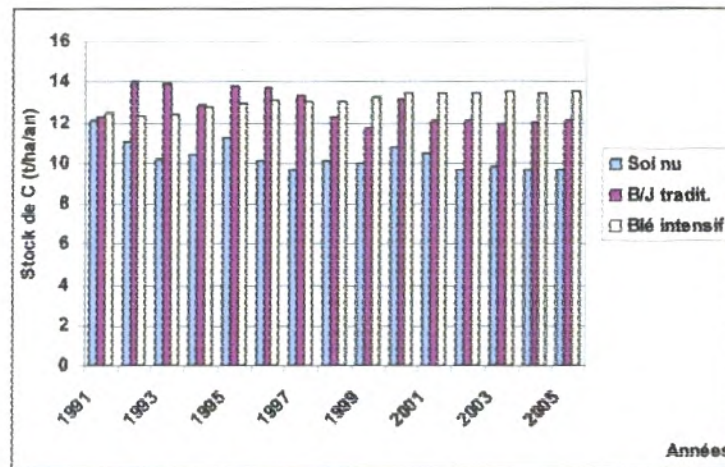


Figure n° 28 : Stocks en carbone (t/ha) sur 0-10 cm en fonction des systèmes de gestion des sols à Hériz (1991-2005)

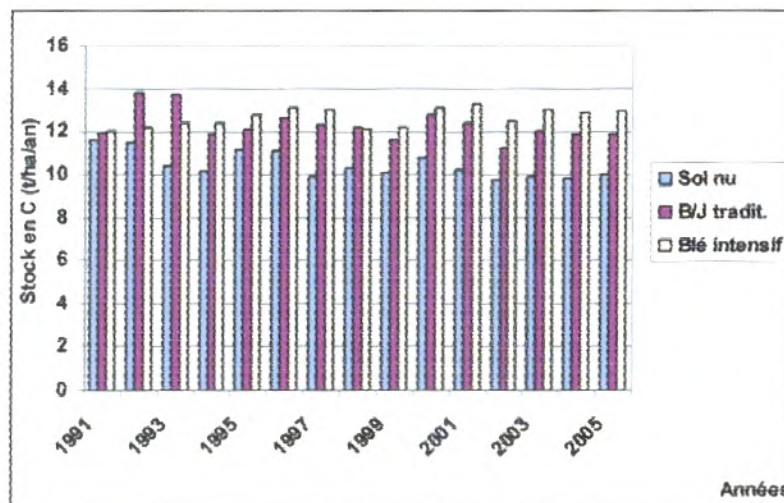


Figure n° 29 : Stocks en carbone (t/ha) sur 0-10 cm en fonction des systèmes de gestion des sols à S/Ahmed Cherif A (1991-2005)

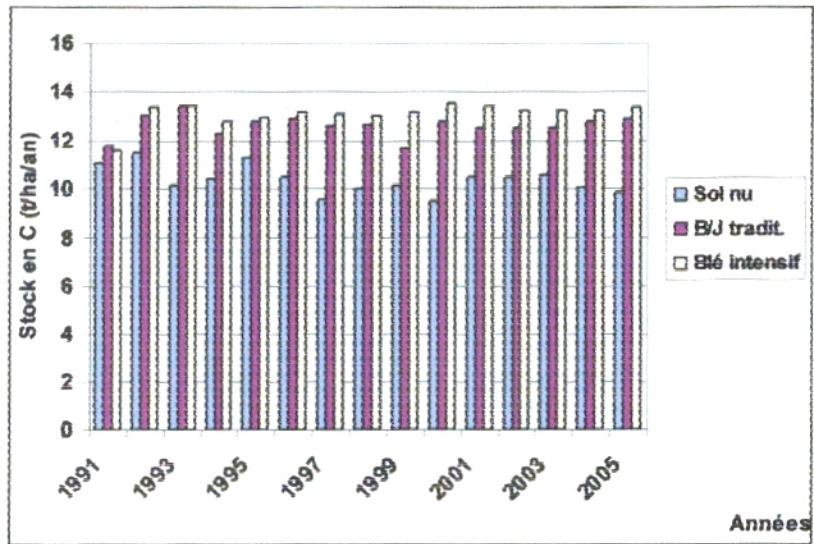


Figure n° 30 : Stocks en carbone (t/ha) sur 0-10 cm en fonction des systèmes de gestion des sols à S/Ahmed Cherif B (1991-2005)

Conclusion générale

aggravés par des systèmes de production et des outils de travail du sol non adaptés. Aussi, afin de contribuer à résoudre ces problèmes ou du moins les limiter, les grands projets nationaux de développement rural (PNDR) basés sur la logique de la GCES, celle du développement rural avec le lancement de bases solides qui réhabilitent la confiance des populations rurales dont la participation volontaire, responsable et consciente, constituent la condition sine qua non à toute réussite.

Les plantations arboricoles, l'amélioration des techniques culturales et l'utilisation rationnelle des eaux d'irrigation, l'agroforesterie et les parcours réglementés sont les actions les plus développées à l'échelle nationale.

Ces techniques simples telles que (l'amélioration de la gestion de l'eau, la production de la biomasse, avec le renforcement des techniques anti-érosives) apparaissent comme des alternatives à même de corriger l'impact négatif des systèmes de production adoptés par les agriculteurs. Elles arrivent à mieux contrôler l'érosion, stocker la matière organique, améliorer l'efficacité hydrique et restructurer le sol sous l'effet d'une meilleure activité biologique. La persistance de résidus végétaux en surface protège très bien la surface du sol.

Toutes les pratiques visant l'amélioration du stock de carbone dans les sols cultivés de façon permanente, auront un effet très satisfaisant sur la restauration de la fertilité des sols dégradés, la réduction de l'érosion et la séquestration du carbone.

Ces pratiques peuvent jouer un rôle significatif sur la limitation des flux nets de gaz à effet de serre vers l'atmosphère.

Enfin nous pouvons dire que l'agriculture, source inépuisable de vie, se doit d'être durable et d'assurer une sécurité alimentaire remplaçant progressivement les autres sources de revenus de notre pays.

Références bibliographiques

CONCLUSION GENERALE

La partie nord de l'Algérie est exposée au grave phénomène de perte de terre. L'érosion hydrique en réduisant la surface agricole utile, réduit la fertilité et la capacité de production des sols et pose des contraintes à l'augmentation de la production alimentaire.

Cette problématique est accentuée par une mauvaise pratique d'agriculture où la fertilité des sols est affectée par leur travail intensif, le faible retour organique et la faible activité biologique, aggravant ainsi la dégradation et la perte des sols.

Les cultures céréalières restent encore largement pratiquées dans la région de Sidi Abdelli située non loin de la zone d'étude. Elles garantissent tant bien que mal des rendements assez intéressants à la faveur surtout des sols marneux à vocation céréalières mais très fragiles.

Ces dernières années les rendements connaissent une certaine régression due à une baisse importante des stocks de carbone d'environ 14% par rapport à leur stock initial et donc à une perte de fertilité à cause des problèmes d'érosion et de conservation des sols.

Les résultats obtenus montrent que si l'érosion en nappe reste globalement modérée (2t/ha/an) par rapport au seuil de tolérance, elle est toutefois dangereuse. En effet, La pellicule organo-minérale de la surface du sol qui est la source essentielle de la fertilité reste continuellement en diminution par l'érosion sélective.

Par ailleurs, ces résultats montrent que les pertes en C, par érosion en nappe sont liées significativement à la masse des terres érodées et sont faibles par rapport aux stocks des dix premiers cm du sol.

Les systèmes de gestion traditionnels analysés montrent que l'utilisation continue des sols ne présente pas de grands risques comme pour les sols nus et/ou abandonnés. Et certaines pratiques culturales causent des pertes en terre appréciables sur sol nu travaillé dans le sens de la pente et sur monoculture (blé-jachère) travaillée également dans le sens de la pente. Ces pratiques peuvent être corrigées par des techniques culturales appropriées tenant compte des périodes à risque d'érosion maximum notamment en début d'automne au moment où les pluies sont plus agressives et le sol est nu, tassé et encroûté. Par ailleurs, Le changement des techniques culturales tels que les labours en sens des courbes de niveau, les cultures en billons réduit le ruissellement et le déplacement de la terre en bas des pentes.

D'autre part, il apparaît clairement que les améliorations et les innovations (fertilisants, semences sélectionnées, techniques culturales...) introduites dans les systèmes de production traditionnels, dans le cadre des travaux de GCES, en eu un effet appréciable sur la productivité. Ces systèmes ont permis une nette amélioration des rendements qui ont été multipliés par 2 et jusqu'à 4 fois sur parcelles améliorées, une augmentation des stocks de carbone (augmentation jusqu'à 28% des stocks) et une réduction de l'érosion par, entre autre, une meilleure couverture des sols.

En effet, la GCES traduit l'intérêt des paysans à augmenter la productivité agricole tout en agissant efficacement contre la dégradation des sols, des eaux et de l'environnement (Arabi et Roose, 1992 ; Hammoudi et al, 2000 ; Mazour, 2002 et Roose et al, 1996).

En Algérie, la dégradation et la perte des sols sont très avancées. Actuellement les systèmes de gestion connaissent des modifications importantes et chaque année des quantités importantes de sol sont perdues, emportées par les eaux et le vent. Ces phénomènes sont

Références bibliographiques :

Albergel J (1987) : Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface. Application aux petits bassins de Burkina Fasso. ORSTOM. Montpellier. pp 355-365.

Anne P (1945) : Dosage rapide du carbone organique des sols. Ann. Agron n°2, pp 161-172.

Arabi M. et Roose E (1993) : Influence de quatre systèmes de production sur l'érosion et le ruissellement en milieu montagnard méditerranéen ST. Ouzera. Ann Recherche Forestière de L'INRF, 65-80p.

Arabi M. et Roose E (1989) : Influence de quatre systèmes de production sur l'érosion et le ruissellement en région méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. Bull. Réseau Erosion. ORSTOM. Montpellier 9. pp 39-51.

Arabi M (1999) : La gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols dans l'approche actuelle de la lutte contre l'érosion.

Arabi M (1999) : Application de la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols en Algérie. Publication de l'INRF. pp 95-103.

Arnold J.B, Wall G, Moore N, Baldwin C.S, Shelton I.J (1989) : L'érosion du sol, Causes et effets. Direction de la gestion du sol et de l'eau/MAAO; Ontario. Canada.

AUF (2007) : Gestion intégrée des eaux et des sols : Ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains. Journées Scientifiques inter réseaux. AUF-Hanoi. Vietnam.

Azontode A (1996) : Dégradation et restauration des terres de barre au Bénin. Cah Orstom. Ser. Pédol. Volume XXVIII n°2 1992.17-226.

Balesdent J (1996) : Un point sur l'évolution des réserves organique des sols en France. INRA. Unité de science du sol. 78028. Versailles. Cedex. pp 245-260.

Barthès B, Albrecht A, De Noni G, Asseline J, Roose E, Viennot M. (1997) : Pratiques Culturelles et érodibilité du sol dans les Rougiers de Camarès (Aveyron, France), Soumis à Etudes et Gestion des Sols. Orléans.

Barthès B, De Noni, Guillem C, Roose E (1997) : pratiques culturelles et érosion hydrique dans les rougiers de camares (aveyron, france). Orstom bp5045 34032 Montpellier CDASA Maison de l'agriculture 12400 St Affrique pp 145-151.

Batjes N H (1996): Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European journal of soil science 47. pp151-163.

Batjes, N. H (1999): Management options for reducing CO2 concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. NRP report No. 410 200 031, Technical Paper 30, Wageningen, ISRIC.

Bennett H (1950) : Manuel de conservation du sol. Département de l'agriculture des états – unis. Publication T-C 292. Washington D.C.

Bep Z B, Boli Z B et Roose E (2002) : Perte de carbone par érosion hydrique et évolution des stocks de carbone sous rotation intensive coton / maïs sur des sols ferrugineux sableux du Nord Cameroun. Résumés des actes du Coll. Intern gestion de la Biomasse. Erosion et Séques du Carbone. Montpellier. p 9.

Blanchart E et al (2002) : Comparaison des pertes de carbone par érosion et drainage aux variations du stock de C du sol en deux années : Cas d'une rotation bananiers-cannes-ananas-sol nu sur un nitisol argileux sur cendres volcaniques de Martinique. . Bull. réseau-érosion n°22. Edit. IRD (ex-ORS TOM) .Montpellier. 133p.

Boiffin J (1984) : La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse doc. INA. Paris- Pignon. 320p

Bolline A (1982) : Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique. Thèse Université de Liège. 365p.

Bonnet D (1983) : Prise en compte des risques naturels en forêt de montagne : quelques réflexions dans le cas des forêts soumises des Alpes du nord. Grenoble : Cemagref. (Mémoire de 3^{ème} année ENITEF). 106p.

Bouanani A (2004) : Hydrologie, transport solide et modélisation : Etude de quelques bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen. 204 p.

Bouchetata A (2006) : Erosion hydrique en zone montagneuse et gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols. Thèse de Doctorat. Université de Sidi Bel-Abbès 339p.

Bouziane F (1992) : Contribution à l'étude de l'érosion dans le BV de l'Isser, érodibilité du sol. Mémoire. Ing. D'Etat. Fores. Univ. Tlemcen. 106 p.

Burrough P A (1986): Principe of geographical information system for land ressources. Assessment Clarendon Press Oxford. 193p.

Casenave A, Valentin C (1989) : Les états de surface de la zone sahélienne ; influence sur l'infiltration. Col. Didactique. Orstom. Paris.

Castro N, Auzet AV, Chevalier P et Leprun JG (2000): Influence of extreme rainfull events on a gully system typical of the basaltic plateau of southern Brazil. Int Symp «Gully erosion under global change Leuven. Belgium. Abstract. 44p.

«CRS » Centro Studi Ricerche (1972 : Etude des bassins versants des oueds Isser et Sikkak. 3 rapports.

Chaumont M. et Paquin C (1971) : Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie septentrionale. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord. 24p + cartes 1/500 000.

- Chebbani R (1996) : Etudes à différentes échelles des risques d'érosion dans le BV de l'Isser. Thèse. Magis. INA. Alger. 135p.
- Chevallier R P et Valentin C (1984) : Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un sol de type Sahélien. Bulletin de GFHN 17. pp 9-22.
- Cline R.A (1992) : Gestion Des Sols De Vergers Et De Vignobles. Institut de recherches horticoles de l'Ontario; Maribeth Fitts - Direction des productions végétales, MAAO. Canada.
- Coelho C O A et al (2002): The dynamics of land use changes in Moroccan and Tunisian sub-humid and semi-arid regions and the impact on erosion rates and overland flow generation. Résumés des actes du coll. Intern gestion de la biomasse, Erosion et Séques. Du carbone. Montpellier. p 85.
- Collinet J et Valentin (1979) : Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle, nouvelle perspectives. Applications agronomiques. Cah.ORSTOM.ser. Pédol. XVII. n°4 : pp 283-328.
- Collinet J et Laffrogue C (1979) : Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute Volta. France. ORSTOM. 129p.
- Cosandey C (1983) : Recherches sur le bilan de l'eau dans l'ouest du massif Armoricaïn. Thèse de doctorat. Institut. Géographie. Paris. 515p.
- Critchley W et Graham O (2005) : La communauté face à la conservation du sol et de l'eau. London
- Demmak A (1982) : Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse Doct. Ing. Paris. 323p.
- Duchaufour P (2001) : Introduction à la science du sol. Edition. Dunod. Paris. 331p.
- Dumont R, Mezoyer P (1969) : Développement rural, développement durable : quelle gestion des ressources naturelles ? In Développement et socialisme. Editions du seuil. Paris.
- Ellison W D (1944): Studies of raindrop erosion. Agric. Eng 25. pp 131-181.
- El Swaify S.A et Roose C.W (1988): Analysis of erodibility of two soils tropical soils using a process model. Soil Sci. Soc. Am. J 52. pp 781-787.
- El Titi et Landes H (1990): Integrated farming system of Lautenbach: a practical contribution toward sustainable agriculture in Europe. In Edwards C et al (eds.). Sustainable Agricultural Systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny. Iowa.
- Fandi (2000) : Etude hydrologique des sous bassins versants de la Tafna (Isser, Sikkak et Lakhdar). Recherche d'un modèle pluie-débit. Mem. Ing. Hydrog. Univ. Tlemcen. 170p.
- FAO : Agriculture 21, (1998) : Les gabions métalliques dans la mise en valeur des eaux : Une technique simple pour la construction d'ouvrages hydrauliques peu coûteux et durables dans les pays en développement.

FAO (2000) : Travail de conservation du sol: la fin des labours? L'actualité. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Journée mondiale de l'environnement à la FAO

FAO. Département économique et social (2004) : Conférence d'une haute personnalité sur la sécurité alimentaire: "La révolution verte: un programme inconclus". Rapport de la 30ème session du Comité de la sécurité alimentaire mondiale Rome. pp 20 – 23.

Feller C, Albercht A and Tessier D (1996): Aggregation and organic matter storage in Kaolinitic tropical soils. C R C. Advances in Soil Science. pp 309-359.

FiBL (2000): Organic Farming Enhances Soil Fertility and Biodiversity. Results from a 21 year field trial. FiBL Dossier 1 (August.). Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Zurich.

Frick B, Bromm J et Beavers R (2006): Choix d'engrais verts pour les agriculteurs biologiques. Rapport intérimaire de recherche W2006-14. OACC. Canada.

Frick B. Ph.D (2006) : Réduire les risques d'érosion dans les fermes biologiques. Organic Agriculture Centre of Canada (OACC). Canada.

Ghazi A (2004) : la désertification en Algérie : aspects environnementaux et sécuritaires. 5ème conférence pan-européenne et 3ème conférence de afes-press gmoos sur : « la reconceptualisation de la securite dans le cadre de la mondialisation » ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. algerie.32p.

Gomer D (1992) : Ecoulement et érosion dans des bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. GTZ. ANRH 1992. 207p.

Goulet P (2005): Réviser, prioriser et soutenir l'agriculture durable : La culture sur billons, une solution pour faire du développement durable en grande culture. Mémoire présenté dans le cadre des consultations sur le Plan de développement durable du Québec. Québec.

Hammoudi A et Morsli B (2000) : Erosion et spécificité de l'agriculture de montagnes : réflexion sur la conservation et la gestion de l'eau et du sol au milieu montagneux. Revue la forêt algérienne. 2003. 12 (04) . pp18-25.

Heddadj (1997) : La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. réseau-érosion n°17. Edit. IRD (ex-ORS TOM) .Montpellier. pp 168-175.

Heusch B (1970) : L'érosion hydraulique dans le bassin de Sebou : une approche quantitative. Revue Géogr du maroc. 15. pp 109-128.

Heusch B. (1970) : L'érosion du pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du pré-Rif occidental. Annales de la recherche forestière au Maroc. Numéro spécial, Études sur l'érosion, 12. pp 9-176.

Heusch B (1982) : Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du nord. Projet RAB/80/04 PNUD.83 p.

Heusch B (1985) : Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord.Ch. ORSTOM. Vol XXII. N°2. pp153-162.

Heusch B (1986) : Cinquante années de banquette au Maghreb. In Cah. ORSTOM Pédol. 22. 2. pp 153-162.

Hien E (2002) : Effet de la déforestation et de l'érosion sur le statut organique du sol : Cas d'un sol ferrugineux tropical sableux du SO du Burkina Faso. Résumés des actes du coll. Inter gestion de la biomasse. Erosion et Séques. du carbone. Montpellier. 83p.

Hutchinson C (2006) : L'homme, principal acteur de la désertification. Futura-sciences. Unesco.

Jarraud M (2005) : Le climat et la dégradation des sols. Organisation météorologique mondiale. OMM-N° 989. ISBN 92-63-20989-8 Genève 2 – Suisse.

Ketterer T and Andrén O (1999): Long-term agricultural field experiments in N Europe: analysis of the influence of management on soil stocks using the ICBM model. Agric. Ecosys.and Environ. 72. pp165–179.

Korti N F (2003) : Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion dans le bassin versant de la Tafna . Mém de magistère.Université de Tlemcen 104 p.

Lamotte S (1985) : Erosion végétation dans la région de Médéa Beni Slimane, Algérie du Nord. Univ. Paris VII / INRF Alger, 60 p.

Laouina A (1998) : Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull. Réseau Erosion n° 18. pp 33-53.

Laouina A., Nafaa R.et Chaker M. (2000) : Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc. Bull. Réseau Erosion 19. 18 p.

Larouche A-R (1983) : la matière organique et ses décomposeurs. Projets pour une agriculture écologique. Collège Macdonald, université mcgill ste-anne-de-bellevue, Québec, canada h9x lco.

Lal R (2002) : Influence of soil erosion on carbon dynamics in the world. Résumés des actes du coll. Intern gestion de la biomasse. Erosion et Séques. Du carbone. Montpellier. p7.

Le Bissonnais Y (1988) : Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies . Thèse. Doc. Univ.Orléans. 225p.

Le Bissonnais Y (1990) : Expérimental study modelling of soil surface crusting processus. Catena Suppl.17.pp 13-23.

Leblond B et Guerin L (1984) : Travaux de conservation des sols : étude des projets et leur réalisation par des techniques à haute intensité de main d'œuvre. Ed PNUD-OIT/81/044. Genève.pp 4-26.

Leguedois S (2003) : Mécanismes de l'érosion diffuse des sols : modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse Université Orléans. INRA. 167p.

Le Houerou H.N (1969) : La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues du Maroc, de l'Algérie et de la Libye). Thèse doct. d'Etat et _Sci., Ann. Inst. Nat. Rech Agron. Tunis, 42 (5). pp 1-620.

Léonard M et Dumas C (2002) : Diversité et fonctionnalités des aménagements de versant : Exemple des terrasses Ardéchoises. Bull. réseau-érosion n° 21. Edit. IRD (ex-ORS TOM). Montpellier. pp 182-196.

Lockeretz W, Shearer G, Kohl, D.H (1989): Organic farming in the Corn Belt. Science 211. pp 540-547.

Mc Conkey B, Hutchinson J, Smith W, Grant B et Desjardins R (2001) : Supplément technique sur les indicateurs agro-environnementaux. Carbone organique du sol : Méthodologie. Agriculture et agroalimentaire. Canada.

MacDonald J (2005) : Faut-il déjà penser comment fertiliser le maïs en 2007? MAAARO et Bill Deen/Université de Guelph. Canada.

Mahamadou A (2004) :L'analyse des facteurs de risque de l'érosion et du ruissellement dans le bassin versant de l'Isser. Mem. Ing. Univ. Tlemcen. 104p.

Mainguet M (2003) : les sécheresses et le génie créateur de l'homme dans les milieux secs : nouvelle géographie de l'adaptation ? Université de Reims Champagne-Ardenne. France.

Margat J (1997) : Dictionnaire Français d'Hydrologie. Comité Nationale Français des Sciences Hydrologiques. Commission terminologie.

Martinez-Mena M, Rogel J A, Albaladejo J, Castillo V M, (1999): Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. *Catena*, vol. 38. pp. 175-190.

Masson, J. M. (1980) Mesure de l'agressivité des pluies en rapport avec l'érosion des sols. La météorologie VI (20). pp 327-324.

Mathieu A (2001) : L'agriculture revue et corrigée par Dame Nature. L'Agora : des idées des débats. La Planète agricole. vol.8.n° 3. p 11-14.

Mazour M (1992) : Analyse des facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'Isser -Tlemcen Bull. réseau-érosion n° 12 .pp 300-313.

Mazour M (2001) : Conservation des sols et lutte contre l'érosion : quelqueq résultats dans le bassin versant de la Tafna (Tlemcen). Comm. Sém. Theniet El Had. Tissemsilt. 4p.

Mazour M (2004) : Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en

nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser. Thèse de doctorat Université de Tlemcen. 184 p.

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. 2002 ; 21.pp 320-330.

Medejel N (2005) : La gestion de la matière organique et étude de ses effets sur la conservation du sol dans le nord-ouest de L'Algérie. Mém de magistère. Université de Tlemcen. 100 p.

Morsli B (1996) : Caractérisation, distribution et susceptibilité des sols à l'érosion (cas des montagnes de Beni- Chougrane). Thèse de Magistère. INA. Alger. 170p.

Morsli B et Hammoudi A (2001) : Erosion et spécificité de l'agriculture de montagne : Réflexion sur la conservation et la gestion de l'eau et du sol en milieu montagneux. INRF. 7p.

Morsli B, Mazour M, Medejel N, Hamoudi A et Roose E (2004) : Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. Sécheresse.15, 1.pp 96-104.

Mouffadal K (2002) : Les premiers résultats des parcelles de mesure des pertes en terre dans le bassin-versant de oued Nakhla dans le Rif occidental. Bull Réseau Erosion. 21 : 244-54.

Musy A., Higy C (2000): Hydrologie appliquée. Polycopié HYDRAM, EPFL, Lausanne

Petersen C, Drinkwater L A & Wagoner P (2000): The Rodale Institute's Farming Systems Trial. The First 15 Years. Rodale Institute. Penn.

Planhol de X et Rognon P (1970) :.Les zones tropicales arides et subtropicales. A. Colin. Paris. 487 p.

Rabhi J (1997) : Etude hydrologique et aménagements du haut bassin versant de Merguellil (centre de la tunisie). Mém d'ingénieur. I NA de Tunisie. 84 p.

Reganold J P, Elliott L F, Unger Y L (1987): Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. Nature pp330:370-372.

Regis G, Roy A (1999) : Efficacité de lutte antiérosive traditionnelle et moderne appliquées sur les versants en Haïti. Bul. Res. Eros 19. IRD. Montpellier. pp 274-285.

Roose E (1968) : Mesure de l'érodibilité d'un sol (K de Wischmeier) sur une parcelle de référence. Protocole standard et discussion. ORSTOM.Abidjan. 10 p.

Roose, E. (1976) : Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale. Etudes sur petites parcelles expérimentales de sol. Revue de géographie physique et de géologie dynamique. XVHI (4). pp 365-374.

Roose E (1980) : Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique gravillonnaire issu de granite sous culture et sous savane arbustive soudanienne du Nord de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM Pédol. 17,2 : pp81-118.

Roose E (1987) : Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale : Stratégies, anciennes et nouvelles. Communication au séminaire Gestion des eaux, des sols et des plantes. ICRISAT.Niamey. pp 44-72.

Roose E (1994) : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletins pédologiques de la FAO - 70. 420p.

Roose E (1994) : Quelques observations et propositions de lutte anti-érosive dans le cadre de l'étude du plan d'aménagement de l'oued Ouergha en amont du barrage de M'JARA (Maroc du Nord). Compte rendu de la mission de Eric Roose dans le Rif du 11 au 21 janvier 1994. 10p.

Roose E (1996) : Méthodes, mesures, des états de surface du sol et la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider un diagnostic de terrain de risques de ruissellement et l'érosion. .Bul. Res. Eros. IRD. Montpellier. 87-9.

Roose E et Asseline J (1978) : Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé : Les charges solides et solubles des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas. Cah. ORSTOM. Pédol. 16 (1). pp 43-72.

Roose E et Sarrailh J M (1989) : Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah.O.R.S.T.O.M.Sér. Péd. Vol XXV.1-2 .pp7-31.

Roose E, Arabi M, Brahmia K, Chebbani R, Mazour Met Morsli B (1993) : Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cah. Orstom. Sér. Pédol. Vol XXVIII. N° 2. 1993. pp 159-170.

Roose E, Chebbani R et Rougouaa L (1999) : Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, Quantification et réhabilitation. Bul. Res. Eros. N°19. IRD. Montpellier. pp122-134.

Roose E et Sabir M (2002) : Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. Bull.réseau-érosion n° 21 pp 33-34.

Roose E et De Noni G (2004) : La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES), une stratégie nouvelle pour faire face à un double défi du 21^{ème} siècle : la pression démographique et l'environnement rural. Bulletin.réseau érosion n° 23 pp 10-24.

Seltzer P (1946) : Le climat de l'Algérie. Inst. Météo. Univ. Alger. pp 129-155.

Smith P, Powlson D S, Glendenning A J, Smith J U (1998): Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. Global Change Biology 4: pp 679-685.

- SO.GE.T.H.A (1968) : Les ouvrages en gabions, techniques rurales en Afrique. 58p.
- Soltner D (1999) : Les bases de la production végétale. Tome II : Météorologie, pédologie, conservation des sols. Collect. Sciences et techn. Agricole. 320 p.
- Tebruegge F (2000): No-tillage visions – protection of soil, water and climate. Institute for Agricultural Engineering, Justus-Liebig University. Giessen. Germany.
- Thebe B (1987) : Hydrodynamique de quelques sols du nord Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelles. Thèse d'université. Université des sciences et techniques du Languedoc. Montpellier. 238p.
- Tilman D (1998): The greening of the green revolution. Nature 396, 211–212.
- Timizar A (2006) : La désertification en Algérie. Forum Algérie. 2 mai 2006.
- Touré M et al (2004) : Cours de CES pour les ingénieurs de l'équipement rural et de l'agronomie Ouagadougou Burkina Fasso.
- Vogt H (1991) : Quelques problèmes concernant les méthodes de recherche en érosion des sols. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger. pp 10-15.
- Wander M, Bidart M, Aref S (1998): Tillage experiments on depth distribution of total and particulate organic matter in 3 Illinois soils. Soil Sci.Soc.Am. 62. 1704–11.
- Will Critchley et Olivia Graham (1991) : Pour protéger nos terres : conservation des eaux et du sol en Afrique sub-saharienne. London 84p.
- Wischmeier W.H. et Smith. D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. Agricultural Hand book No. 537, U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. 58 p.
- Zahar Y (1994) : Modélisation spatiale et temporelle des précipitations extrêmes et érosives en Tunisie centrale, en vue de l'aménagement des petits bassins hydrologiques. Thèse de Doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice.
- Zekri N (2003) : Analyse du facteur de l'agressivité climatique et son influence sur l'érosion et le ruissellement dans le bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest Algérien). Mém de magistère.Université de Tlemcen 101p.

Annexes

Annexes

STATION DE BOUNAKHLA

ANNEXE 1: Précipitations moyennes annuelles et moyennes mensuelles dans la station de Bounakhla (1990-2005), source ANRH Tiemcen

1990-1991	10,2	11,2	42,9	67,9	39,2	67,8	157,4	2,9	17,8	1,5	0	0,9	419,7
1991-1992	5,4	43,4	36,8	13,6	36,5	9,1	95,1	51,8	58,9	10,3	9,7	0	370,6
1992-1993	0,9	6,6	18,3	13	0,8	72,8	17	57,6	54,3	1,2	0	0,7	243,2
1993-1994	8,2	9,4	56,3	10	76,2	44,5	2,9	39,7	13,8	0	6,7	0	267,7
1994-1995	22,7	21,6	26,4	23,7	28,4	36,4	74,7	15	0	4,1	0	28	281
1995-1996	16,4	11,1	8,3	91,3	86,2	111,5	55	39,5	40,2	75,1	0,2	6,7	541,5
1996-1997	25,1	8,8	0,2	29,2	93,4	0	0,1	53,1	12	0	1,7	35,6	259,2
1997-1998	51,6	22	64,9	36,8	16,5	37,3	21,4	21,9	68,2	0,3	0	8,6	349,5
1998-1999	5,5	2,9	34,6	3,9	72,5	57,5	79,9	0	1,5	0	0	0	258,3
1999-2000	18,7	23,1	61,5	73,6	0	0	1,8	39,3	34,5	0	0	1	253,5
2000-2001	34,3	81	66,9	20,9	102,3	87,8	4,5	5,5	98	0	0	0	501,2
2001-2002	17,4	38,1	123,7	31,6	1,1	3,9	34,2	91,7	48,5	0	0	15,4	405,6
2002-2003	1,2	25,6	63,5	12,4	110,1	80	21,6	20,3	12,8	4,1	1	14,6	367,2
2003-2004	6,1	24,8	23,4	73,3	45,1	38,8	17,8	10,3	57,7	14,1	0,1	9,1	320,6
2004-2005	3,9	27,8	30,7	77,2	23,3	32	29,5	11,2	1,8	0,1	10,1	0	247,6
Moy	15,17	23,82	43,89	38,56	48,77	45,29	40,86	30,65	34,66	7,38	1,96	8,04	339,09

ANNEXE 2 : Moyennes des pluies journalières maximales et le nombres de jours des pluies par mois pour la station de Bounakhla (1999-2005) source: ANRH, Tiemcen.

Année	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
1999-2000	16,0	21	17	20	27	28	31	11,8	11,6	0	0	0	24,75
2000-2001	14	5	1	1	2	10	16	17	2	0	0	1	10,15
2001-2002	26,0	18	20	22	37	37	2,0	2,3	6,6	0	0	0	20,2
2002-2003	1	7	20	1	10	1	1	1	1,8	10	1	0	10,6
2003-2004	25,0	16	22	21	27	23	21	16,2	12,5	6,1	1	10,2	19,15
2004-2005	1	4	11	1	15	13	7	19	3	1	1	1,2	10,15
Moy	15,2	12	16,0	16,0	24	27	27	11	12	1,8	0,2	2	12,15
Moy journ max	10	12	16	16	24	27	27	17,5	13,0	2,0	0,1	1,5	16,15

ANNEXE 3: Températures moyennes annuelles et moyennens mensuelles dans la station de Bounakhla (1995 -2005) source ANRH , Tlemcen.

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Moy.
1995-													
1996	21,4	20,1	16,3	13,4	12,9	10,1	12,7	14,7	17,3	23	25,3	24,6	17,65
1996-													
1997	21,1	17,2	14,1	12,9	12	12,2	13,8	16,5	18,7	22,1	24	25,7	17,53
1997-													
1998	24	20,5	15,2	11,8	11	12,7	13,4	14,6	16,9	23,4	27,2	27,9	18,22
1998-													
1999	24	17,6	13,6	10,2	10,7	9	13	15,5	20,5	23,6	26,7	28	17,7
1999-													
2000	23,2	20,6	12,5	10	8,6	12,2	13,4	14,8	19,9	24,4	27	27,8	17,87
2000-													
2001	23,2	17,4	13,6	12,6	10,9	11	15,2	14,8	17,7	24,9	26,6	28	17,99
2001-													
2002	23,8	21,8	13	10,9	10,7	11,9	13,7	14,9	18,3	24,5	25,6	25,4	17,88
2002-													
2003	22,8	19,2	14,4	13	8,9	10,1	14,2	14,7	19	25,6	28,1	28,1	18,18
2003-													
2004	23,3	19,3	14,2	11,2	10,7	12	12,4	13,7	16,4	23,7	27,7	28,3	17,74
2004-													
2005	24,7	21,2	12,6	10,1	7,4	7,9	12,7	14,3	20,4	24,4	27,4	26,8	17,49
Moyenne	23,15	19,49	13,95	11,61	10,38	10,91	13,45	14,85	18,51	23,96	26,56	27,06	

STATION DE OULED MIMOUNE

ANNEXE4: Précipitations moyennes annuelles et moyennens mensuelles dans la station de Ouled Mimoune (1990 -2005) source ANRH , Temcen.

1990-														
1991	22,1	9,5	30,3	61	33,6	55,1	152,1	3,5	10,7	5,9	0	0	32	383,8
1991-														
1992	3,4	44,5	113,6	10,9	13	0	0	43,2	81	25,7	0	0	27,9	335,3
1992-														
1993	0	10,6	20,2	31,8	0	64,7	12,7	55,7	58,4	0,5	0	0	21,2	254,6
1993-														
1994	0	7,9	25,3	16,4	73,8	28,5	1,3	43,2	20,2	0	22	3,4	20,2	242
1994-														
1995	54,8	52,7	44,9	26,5	39,9	53,5	79,5	32,7	2	6,4	2,4	5,9	33,4	401,2
1995-														
1996	16,8	30,3	27,9	51,8	66,1	103,4	68,5	48,6	29,2	23,0	0,0	5,2	29,1	58,2
1996-														
1997	8,3	14,8	0	19,7	47,5	1,2	4,1	53,0	19,6	1,4	12,9	24,7	7,4	14,8
1997-														
1998	49,0	19,5	35,7	30,4	21,6	59,0	28,2	7,6	54,3	0,0	0,0	5,5	27,6	55,2
1998-														
1999	6,6	2,3	35,6	4,9	49,1	54,5	90,3	0,0	3,1	0,0	0,0	1,3	19	37,9
1999-														
2000	38,0	18	79,1	60,9	0,0	0,0	5,4	17,6	20,9	0	0	0	19,4	97,1
2000-														
2001	25,9	81,9	54,6	21,2	94,2	60,5	4,4	6,9	5,4	0	0	9	30,3	364
2001-														
2002	22,5	48	93,6	24,8	1,2	4,9	17,7	80	44,4	3,5	0	19,5	30	360,1
2002-														
2003	0	33,4	62,7	19,5	129,5	69,4	8,4	32,5	9,2	10,8	0	5,5	31,7	380,9
2003-														
2004	9,3	33	38,2	67,4	38,4	27,9	40,5	29,2	76,9	9,3	0	2,4	31	372,5
2004-														
2005	18,7	20,9	44,8	68,1	19,8	40,3	61,3	18,3	1,2	0	0	0	24,5	293,4
Moy.	15,67	28,48	47,1	34,76	44,34	40,48	37,79	34,52	30,94	5,64	2,21	4,15	25,64	243,4

ANNEXE 5: Moyennes des pluies journalières maximales (1990-2000) et le nombres de jours des pluies par moins (1996 -2005) pour la stations de Ouled Mimoune source ANRH Tlemcen.

	SEPT	AOÛT	NOV	DEC	JANV	FÉV	MARS	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	MOY
1990-													
1991	6,4	5,5	8,5	15	11,6	13,6	51,9	3,5	11	5,9	0	0	14,2
1991-													
1992	3,4	28,2	13,6	9,2	2,6	0	0	12,8	21	11,5	0	0	8,9
1992-													
1993	0	8,3	11,2	14,5	0	32,3	8,6	20,8	48	0,3	0	0	12,3
1993-													
1994	0	7,9	11,1	7,5	30	11	1,1	17,3	12	0	19,5	2,9	10,3
1994-													
1995	32,3	30,5	18,1	17,5	23	24,1	30,4	16,5	1,2	3,2	2,4	1,7	16,7
1995-													
1996	11,3	11,5	16,6	14,2	11,2	20,6	28,4	13,2	17,2	15,3	0,0	5,2	14,1
1996-													
1997	6,2	12,4	6	9,3	17,6	1,0	4,1	11,5	15,4	1,3	6,8	12,5	6,2
1997-													
1997	2	2	0	5	5	2	1	10	3	2	2	4	48
1997-													
1997	18,6	8,5	15,2	10,7	9,1	18,6	8,5	7,5	16	0	0	5,5	9,0
1998	5	3	5	7	5	6	3	2	9	0	0	3	30
1998-													
1998	4,8	2,3	14,2	4,9	17,6	22,7	19,5	0	3,1	0	0	1,3	8,4
1998-													
1999	3	1	5	1	9	10	9	0	1	0	0	1	49
1999-													
1999	33,5	4,9	24,6	35,8	0	0	5,4	7,2	16	0	0	0	10,0
1999-													
2000	3	4	11	5	0	0	1	4	2	0	0	0	31
2000-													
2000	12,2	16,5	27,5	10,5	45,3	28,1	2,7	5,7	1,8	0	0	3,1	12,0
2000-													
2001	5	7	7	5	12	6	2	2	4	0	0	4	54
2001-													
2001	16,1	33,3	49,7	6,4	1,1	3,4	2,6	17	27	3,5	0	19,5	15,3
2001-													
2002	4	4	5	8	1	2	3	10	6	1	0	1	47
2002-													
2002	0	25,2	24,5	7	21,5	29,1	3,8	10	7,5	10,8	0	3,6	12,1
2002-													
2003	0	3	7	6	18	9	2	6	2	1	0	2	56
2003-													
2003	7,6	13,9	17,9	21,6	22,1	10,3	24,6	10,7	33	5,3	0	2,4	14,1
2003-													
2004	2	5	6	6	4	7	4	4	11	2	0	1	52
2004-													
2004	17,6	9,2	21,4	28,2	6,7	23,8	25	11,6	1,2	0	0	0	12,06
2004-													
2005	2	5	4	8	5	6	7	2	1	0	0	0	40

ملخص:

إن تحليل نتائج قياس جريان الماء و الانجراف الطبقي المتدمصل عليها في القطع التجريبية من نوع Wischmeier خلال الفترة 1991-2005 مكنتنا من تقييم الآثار المترتبة على بعض نظم التسيير الأكثر ممارسة في وادي يسر على الجريان و التربة المنجرفة و الكربون معامل الجري السنوي (Kram) في ما يخص الأنظمة المزروعة في المناطق الطينية كان متواضعا. إنه يختلف من 2-10.8% على الأرض العارية. من 2-8% على القطع التقليدية. و من 0.2-7.6% على القطع المحسنة. في حين أن معامل أقصى الجري (K_{max}) بلغ قيم مرتفعة نسبيا: 38.6% على الأراضي المزروعة ال (Kram) الجد مرتفع يتواجد على الأراضي العارية و المتعرضة لمختلف المخاطر المناخية. إن كمية الرواسب المنجرفة تختلف وفقا لأسلوب إدارة الغطاء النباتي. و هي تصل إلى حد أقصى على الأراضي العارية (5.90 طن/هكتار/سنة). عالية نوعا ما على القطع التقليدية (0.10-3.95 طن/هكتار/سنة). و منخفضة على القطع المحسنة (0.10-2.50 طن/هكتار/سنة). إن كميات الكربون العضوي من الأرض (C) ضعيفة و تتراوح بين 0.63-3.33% : 0-10 سم عمقا و 0.6-1% : 0-30 سم عمقا. مخزونات الكربون العضوي خلال سنوات القياس في العشر سنينمترات الأولى من الأرض قد انخفضت بمقدار 10-25% فوق الأرض العارية و 8% في النظم التقليدية. لكن بالنسبة للنظم المحسنة قد ارتفعت بمقدار 5-28%.

من الواضح أن الأراضي العارية أو المهجورة هي التي تؤدي إلى التدهور الكبير لخصوبة الأراضي (الأراضي العارية)

الكلمات المفتاحية: الانجراف، الجريان السطحي، أنظمة التسيير، الكربون، المحافظة على الأراضي، التهيئة.

Résumé : L'analyse des résultats de mesures du ruissellement et de l'érosion en nappe, obtenus en parcelles expérimentales de type Wischmeier durant la période 1991-2005 nous a permis d'évaluer l'impact de certains systèmes très fréquents dans le bassin versant de l'Isser, sur le ruissellement, les pertes en terre et en carbone. Pour les systèmes cultivés en zones marneuses, le coefficient de ruissellement annuel (K_{ram}) fut modeste. Il varie de 2 à 10,8% sur sol nu, de 2 à 8% sur parcelle traditionnelle et de 0,2 à 7,6% sur parcelle améliorée, alors que le coefficient de ruissellement maximum (K_{max}) a atteint des valeurs relativement élevées : 38,6% sur les sols cultivés. Le (K_{ram}) le plus élevé se rencontre sur le sol dénudé et exposé aux différents aléas climatiques. Les quantités de sédiments érodés varient selon le mode de gestion du couvert végétal. Elles plafonnent sur sol nu (5,90 t/ha/an) : assez élevées sur parcelles traditionnelles (0,10 à 3,95 t/ha/an) et réduites sur parcelles améliorées (0,10 à 2,50 t/ha/an). Les teneurs en carbone organique du sol (C) sont faibles. Elles varient de 0,63 à 3,33% : 0 à 10 cm de profondeur et de 0,6 à 1% : 0 à 30 cm de profondeur. Les stocks en carbone organique durant les années de mesures dans les 10 premiers cm du sol ont diminué de 10 à 25% pour les sols nus, de 8% sur les systèmes traditionnels. Par contre sur les systèmes améliorés les stocks ont augmenté de 5 à 28%. Il paraît clairement que ce sont les sols nus et/ou abandonnés qui contribuent à la dégradation majeure de la fertilité (sols nus).

Mots clés : Erosion, Ruissellement, Systèmes de gestion, Carbone, Conservation des sols, aménagement.

Summary : The analysis of the measurement results of the runoff and sheet erosion, obtained in experimental Wischmeier small watershed during 1991-2005 period help us to evaluate the impact of very frequent systems in the area catchment's of Isser river, on the water surface flow, the organic carbon and soil losses. For the systems cultivated in clay soil zones, the coefficient of annual runoff (K_{ram}) was modest. It varies from 2 to 10,8% on naked soil, from 2 to 8% on traditional cultural system and from 0,2 to 7,6% on improved cultural system, whereas the coefficient of maximum runoff (K_{max}) reached relatively high values: 38,6% on the cultivated soil. (K_{ram}) the highest meets on the ground stripped and exposed to the various climatic risks. The quantities of eroded sediments vary according to the mode of management of vegetable cover. They reach a maximum on naked ground (5,90 t/ha/an); enough high on traditional cultural system (0,10 to 3,95 t/ha/an) and reduced on improved system (0,10 to 2,50 t/ha/an). The concentration of organic carbon of the soil (C) is weak. They vary from 0,63 to 3,33% for 0 to 10 cm of depth and 0,6 to 1% for 0 to 30 cm of depth. Organic carbon stocks during the years of measures to the first 10 cm of the ground decreased by 10 to 25% for the naked grounds, of 8% on the traditional systems. On the other hand, the improved system stock of organic carbon increased by 5 to 28%. The results show the moderating role of the vegetable cover with respect to the streaming and erosion. The carbon losses are negligible in the well covered mediums where they are easily compensated by the contribution of mulching.

Key words: Erosion - Runoff - Soil used Systems - Carbon - Soil Conservation - Management.