



ONAGRI
TUNISIE

MICROFICHE N°

10799

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

Observatoire National de l'Agriculture
30, Rue Alain Savary - 1002 Tunis

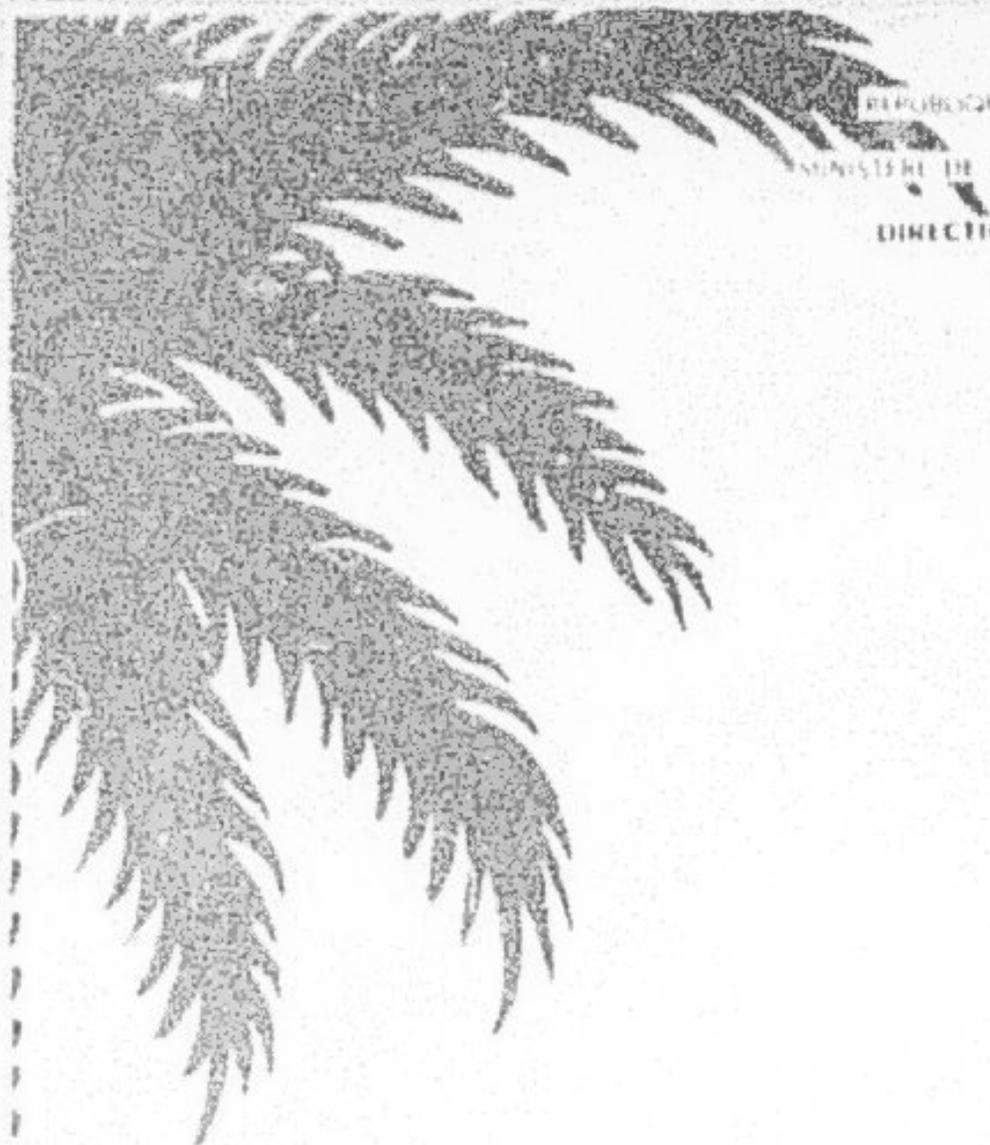
المركز الوطني للفلاحة
30 شارع آل سافاري 1002 تونس

F

1

ES 319

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DES SOUS



étude du ruissellement et de l'érosion
en zone montagneuse et de piemont du jbal Semmama
(Kasserine)

H. Ben Chaabane et A. Mtimet

2002

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION GENERALE DE L'AMENAGEMENT
ET DE LA PROTECTION DES TERRES AGRICOLES
DIRECTION DES SOLS

ETUDE DU RUISSELLEMENT ET DE L'EROSION
EN ZONE MONTAGNEUSE ET DE PIEMONT
DU JBAL SEMMAMA
(Kasserine)

Volume 1 : LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL, LES FACTEURS ET LES
EXPERIMENTATIONS D'ETUDE DU RUISSELLEMENT
ET DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LA REGION DE SEMMAMA

Par : H. Ben Chaâbane et A.Mtimet.

E. S. 319.

Janvier 2002

إن ظاهرة الانجراف المائي تنرج ضمن منظومة طبيعية واجتماعية واقتصادية وتنتشر كثيرا بسبب فدالية هذه العوامل وانماجها مع بعضها. يتطرق هذا الجزء الأول من الدراسة المتعمقة بالانجراف المائي في منطقة السمامة ولاية القصيرين اتونس الوسطى) لوضع هذه الظاهرة في اطارها الطبيعي والاجتماعي والاقتصادي المحلي والجهوي إذ تناولنا في المقدمة دراسة الأطر الجغرافية والجيولوجية والجيومورفولوجية والمناخية والبشرية. أما للباب الأول فقد تطرقنا فيه إلى تقديم نتائج التجارب الميدانية لمراسد الانجراف ووضعها في اطارها الطبيعي وتقديم أهدافها والطرق والإساليب التجريبية المعتمدة.

في الباب الثاني تناولنا بالنرس العوامل المناخية وخاصة الأمطار والعوامل البشرية والاقتصادية وكيفية الضغوط الممارسة على النظم البيئية الهشة.

Résumé

L'érosion hydrique se déclenche dans un contexte multi dimensionnel et met en exergue des facteurs et des paramètres interdépendants. Nous avons entrepris la présente étude dans la région de Semmama comme un exemple de cas. Elle constitue le premier volet d'un travail de recherche géomorphologique appliquée consacrée à l'étude du ruissellement et de l'érosion en zone montagneuse et de piémont du Jhal Semmama (Tunisie du Centre Ouest). La première partie a été réservée à la présentation des expérimentations et leur contexte environnemental (sites, sols, végétation, états de la surface du sol, protocoles expérimentaux et objectifs), et la deuxième partie s'est intéressée à l'analyse des facteurs de l'érosion hydrique, particulièrement les facteurs climatiques : irrégularité et variabilité des pluies ainsi que leurs paramètres énergétique intensités érosives, énergie cinétique et agressivité pluviale) et l'étude de la sécheresse. Il a été aussi question des facteurs socio-économiques et notamment l'intensité de l'emprise de la population rurale sur le milieu et l'importance de la charge pastorale qui sont de nature à accentuer la fragilisation des écosystèmes en place

Table des matières

INTRODUCTION	1
1. Objectif	2
2. Approche méthodologique	2
PREMIERE PARTIE : LES EXPERIMENTATIONS ET LEUR CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	4
CHAPITRE 1 : LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	4
I. LES CARACTERISTIQUES DU MILIEU PHYSIQUE	4
1. La position géographique	4
2. le cadre géologique	4
3. l'évolution géomorphologique	5
4. le climat et le bioclimat	7
4.1. Le climat	7
4.2. le bioclimat	9
II. LES ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES	10
1. population et peuplement	10
2. intensité de l'occupation de l'espace	11
3. importance de la charge pastorale	12
CHAPITRE 2 : LES EXPERIMENTATIONS : LES OBJECTIFS, LA METHODE LES DISPOSITIFS ET LES PROTOCOLES	12
I. LES OBJECTIFS ET LA METHODE EXPERIMENTALE	13
1. Les objectifs	13
2. la méthode expérimentale	15
II. SITES, DISPOSITIFS ET PROTOCOLES EXPERIMENTAUX DE LA ZONE MONTAGNEUSE	17
1. les sites	17
2. Les dispositifs et les protocoles expérimentaux	18
2.1. les dispositifs expérimentaux	18
2.2. Les protocoles expérimentaux	19
III. SITE, DISPOSITIFS ET PROTOCOLES EXPERIMENTAUX DE LA ZONE DE PIEMONT	20
1. Le site	20
2. Les dispositifs et les protocoles expérimentaux	23
2.1. Les dispositifs expérimentaux	23
2.2. Les protocoles des mesures	25
DEUXIEME PARTIE : LES FACTEURS DE L'EROSION HYDRIQUE	28
CHAPITRE 3 : LES FACTEURS CLIMATIQUES	28
I. ETUDE DE LA VARIABILITE ET DE L'IRREGULARITE DES PLUIES	30
1. Répartition et fréquence des totaux pluviométriques annuels	30
2. Analyse des totaux saisonniers et mensuels	31
3. Répartition et fréquence des pluies quotidiennes	40
4. Répartition et fréquence des jours et des épisodes pluvieux	42
5. Analyse des intensités pluviales quotidiennes	43
II. LES PARAMETRES ENERGETIQUES DE LA PLUIE	46
1. les intensités pluviales	46
2. énergie cinétique	49
3. l'indice d'agressivité ou d'érosivité	53
4. Répartition spatiale des flux énergétiques	55
	56

III. ETUDE DE LA SECHERESSE	
1. La répartition saisonnière des intervalles sèches	57
2. La déficience hydrique	59
CHAPITRE 4 : LES FACTEURS SOCIO - ECONOMIQUES	60
I. EMPRISE DE LA POPULATION RURALE SUR LE MILIEU	61
1. Evolution de la vie rurale	61
2. Répartition de la population rurale	61
3. Densités rurales	61
II. OCCUPATION ET EXPLOITATION DE L'ESPACE RURAL	62
1. Occupation de l'espace rural	62
2. Densité d'exploitation des terres arables	62
3. Pratiques culturales	63
III. LA CHARGE PASTORALE	64
1. Cheptel ovin et caprin	64
2. Le bilan fourrager	65
CONCLUSION	66

INTRODUCTION

Le présent travail est consacré à l'étude de l'érosion hydrique¹ dans la région de Semmama. Il tire sa raison d'être du fait que les problèmes de dégradation des terres sont devenus de plus en plus préoccupants. Les terres fertiles, à hautes potentialités, n'ont cessé de diminuer malgré les multiples efforts consentis en matière de protection et de conservation des eaux et des sols.

Le chiffre de 10 000 ha de terres perdues par an traduit bien la gravité de la situation, surtout si l'on tient compte de la croissance soutenue qui caractérise la démographie tunisienne.

Les rapports entre les modes d'exploitation et l'érosion des sols sont remarquablement étroits, notamment dans la région de Semmama où l'on constate une forte emprise de la population rurale sur le milieu, malgré des conditions sévères et des potentialités assez modestes, conduisant à une surexploitation des facteurs naturels.

Ce déséquilibre entre une assez grande stabilité interne de la démographie rurale et des potentialités de mise en valeur limitées par la géographie physique ne manque pas de poser de nombreux problèmes, dus notamment à une forte intensité de l'occupation des terres arables et des terres de parcours.

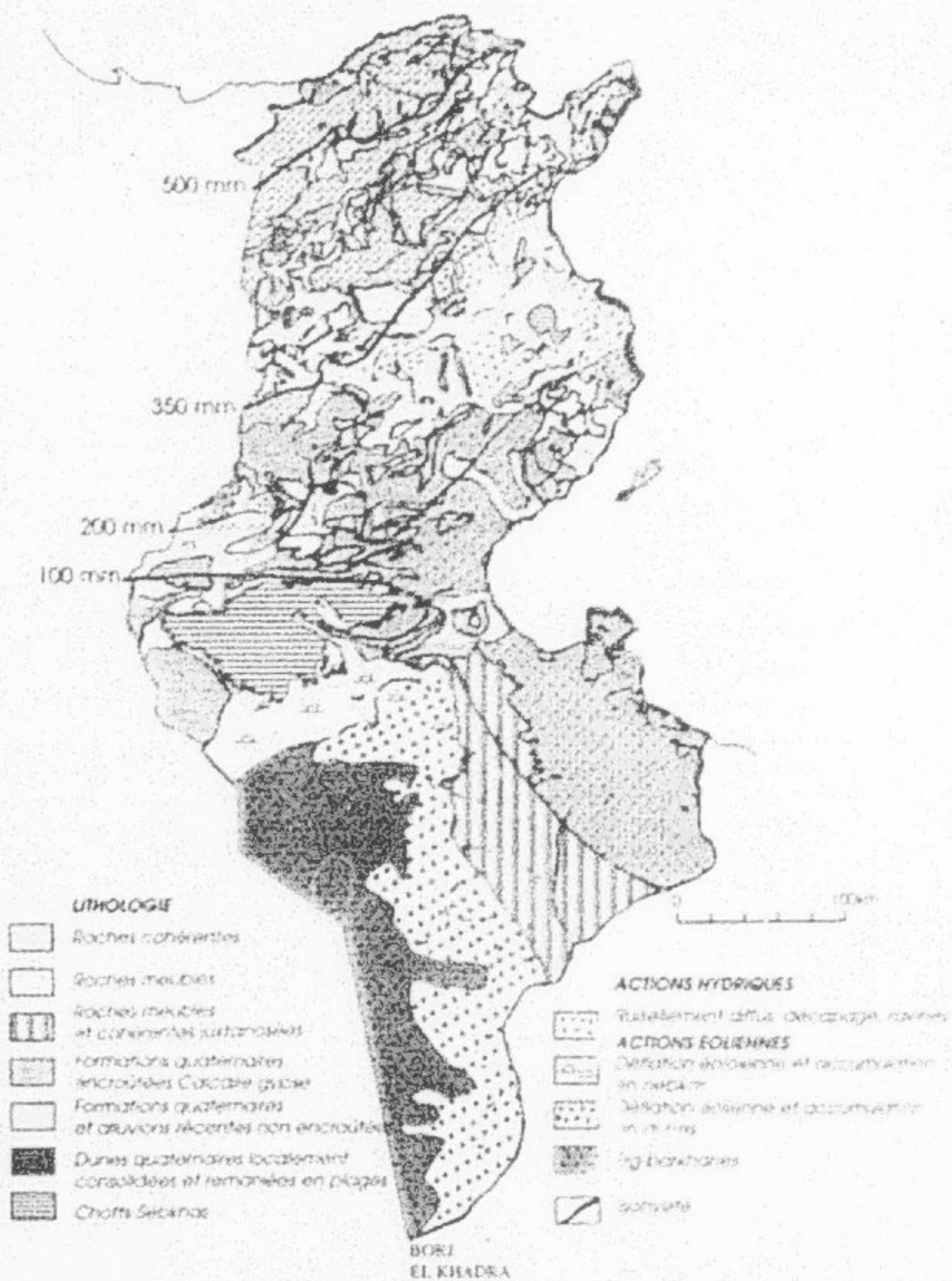
Cette situation potentiellement érosive s'inscrit dans un cadre environnemental caractérisé par sa forte sensibilité aux différentes formes de dégradation puisqu'il est soumis à des conditions bioclimatiques "agressives" à fortes variations irrégulières, défavorables à la couverture végétale, mais transmettant une grande quantité d'énergie ; et à une sécheresse persistante et diffuse qui diminue considérablement le pouvoir stabilisateur de la couverture végétale, surpâturée et affectée par le manque d'eau tout à la fois. Il est également caractérisé par l'extension des formations superficielles (à texture fine et grossière), non encroûtées, particulièrement sur les pentes, qui facilitent le travail des processus érosifs.

Ce travail de recherche sur l'érosion hydrique trouve sa pleine justification dans l'importance des manifestations érosives et particulièrement celles liées au ruissellement instable. En effet, la dynamique érosive qui affecte cette zone revêt des aspects variés dont l'un des plus manifestes est le ravinement. Cependant, certains phénomènes moins spectaculaires en apparence, échappant le plus souvent à l'observation, sont en réalité très graves et déterminantes pour la dynamique érosive. C'est le cas notamment du ruissellement instable ou diffus. Il modèle profondément le paysage puisqu'on le retrouve très souvent à la base de tous les autres types d'érosion.

Il est aussi justifié par le fait qu'il s'agit d'une recherche géomorphologique appliquée qui se fonde en se plaçant à l'échelle stationnelle, sur l'observation et la mesure précise des paramètres et des facteurs de l'érosion hydrique et particulièrement l'érosion instable. Il tire également partie, dans le but de situer les résultats obtenus dans leur contexte environnemental, des autres travaux et expérimentations entreprises dans la région par des chercheurs appartenant à des disciplines connexes (hydrologues, pédologues, ingénieurs en CÉS et en forêt).

¹ L'érosion hydrique est la dégradation du sol sous l'action de l'eau. L'entraînement de la terre par les eaux de ruissellement dépend de l'importance et du rythme de précipitations, de la structure du sol, de sa pente et de sa couverture végétale. Seules les précipitations intenses sont responsables de l'érosion, d'abord parce que la grosseur et la vitesse des gouttes d'eau provoquent un rebondissement de la terre lors de l'impact sur le sol, ensuite parce que le sol est saturé, car la vitesse d'infiltration de l'eau est insuffisante. Des eaux de ruissellement sont ainsi formées et s'écoulent sur le sol avec une vitesse proportionnelle à la pente. A leur passage, elles entraînent la terre vers les parties basses.

les aspects de la dégradation hydrique et éolienne



Carte de l'érosion établie par Bédard 1957 à 1/1000000
complétée par Mouton 1964 à 1/500000

1. OBJECTIF

L'objectif général de ce travail de recherche consiste en une étude approfondie des causes et des modalités de l'érosion hydrique dans la région de SEMMAMA (Tunisie du centre ouest). Il se base essentiellement sur les résultats des différents dispositifs expérimentaux installés aussi bien en zone montagneuse qu'en zone de piémont du Djebel Semmama et qui permettent d'étudier les conditions et les modalités du ruissellement et du transport solide, en vue d'une meilleure appréhension de la dynamique érosive en milieu semi aride et aride. De cet objectif général découlent les objectifs spécifiques suivants :

- i. Etude des facteurs et des paramètres de l'érosion hydrique
- ii. Etude et caractérisation des modalités du ruissellement et du transport solide
- iii. Etude de la dynamique érosive par le biais de l'analyse multi variée des relations qui régissent les facteurs et les paramètres de l'érosion hydrique. Une modélisation théorique rationnelle et cohérente de cette dynamique étant très difficile, compte du caractère complexe et aléatoire du phénomène érosif, nous allons recourir à des modélisations partielles.
- iv. Elaboration d'un "cadre conceptuel" qui permettrait d'approcher la dynamique érosive en tenant compte des différentes échelles d'analyse

2. APPROCHE METHODOLOGIQUE

L'étude des conditions et des modalités de l'érosion hydrique impose d'abord l'analyse des facteurs qui conditionnent le ruissellement et le transport solide. Ceci nous amène à caractériser en premier lieu les facteurs environnementaux en procédant à une analyse fréquentielle de la variabilité et de l'irrégularité des pluies et de la répartition des intervalles secs qui conditionnent, dans une large mesure, le bioclimat et particulièrement la couverture végétale et les états de surface des sols. Nous procéderons, en second lieu, à l'étude des conditions physiographiques et lithologiques en mettant l'accent sur l'établissement d'une carte des pentes (forme, intensité et longueur) et des formations superficielles en raison de leur rôle dans la morphogénèse.

On ne peut approcher correctement la dynamique érosive qu'en procédant à une analyse approfondie des facteurs anthropiques (les modes et les intensités d'occupation de l'espace rural) dont l'influence sur le ruissellement et le transport solide est capitale, notamment par la réduction du couvert végétal et la dégradation structurale des sols en modifiant leurs propriétés hydrodynamiques.

La dynamique érosive fait référence à un système morphogénique constitué d'un ensemble de processus qui façonnent le modèle. Ceci nous amène à étudier la dynamique des flux : flux de matières et flux d'énergie. On étudiera d'abord les processus de préparation en axant notre investigation sur l'analyse des propriétés énergétiques des pluies (intensités, énergie cinétique, agressivité) et leurs effets morphogéniques, notamment la désagrégation et le battage des sols. On abordera ensuite l'analyse du ruissellement en tant que processus de mobilisation - transport en procédant, entre autre, à une analyse fréquentielle des pluies ruisselantes et à une délimitation des averses - seuils de ruissellement.

L'analyse de la dynamique du ruissellement et du transport solide va être entreprise en tenant compte des différentes échelles expérimentales. On procédera d'abord à une caractérisation des relations qui existent entre le ruissellement et l'érosion et les propriétés énergétiques des pluies (intensité, énergie cinétique, agressivité) d'une part et les facteurs du milieu d'autre part. Cette démarche permet de délimiter l'influence respective de chaque facteur ou paramètre sur le comportement érosif des différents milieux expérimentaux.

Nous soumettons ensuite les résultats obtenus à l'analyse multi variée en vue d'une modélisation partielle du ruissellement et du transport solide. Laquelle modélisation aura pour but de rendre mieux compte de la complexité des relations et des inter relations qui caractérisent et rythment le processus érosif.

L'aboutissement de cette approche sera la définition d'un nouveau "cadre conceptuel" au sein duquel seront étudiés les phénomènes érosifs en se référant à la notion de "situation érosive" qui rendrait mieux compte de la complexité de leur évolution spatio temporelle.

C'est en tenant compte de la structuration de notre approche méthodologique et partant du fait que l'érosion hydrique se déclenche dans un contexte multi dimensionnel et met en exergue des facteurs et des paramètres interdépendants, que nous allons organiser le plan de ce travail en cinq parties.

La présente étude constitue *la première partie* de ce travail de recherche. Elle est structurée en deux parties :

1. LES EXPERIMENTATIONS ET LEUR CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL
2. ANALYSE DES FACTEURS DE L'EROSION HYDRIQUE

PREMIERE PARTIE : LES EXPERIMENTATIONS ET LEUR CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

CHAPITRE 1 : LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

I. LES CARACTERISTIQUES DU MILIEU PHYSIQUE

1. LA POSITION GEOGRAPHIQUE

Le Djebel SEMMAMA et ses piémonts s'intègrent dans le paysage général des hautes steppes, constitué par un ensemble de chaînons montagneux qui culminent à plus de 1300 mètres d'altitude (Djebel Chambi : 1544m, Djebel Selloum : 1378m, Djebel Semmama : 1314m) et présentent une orientation sud ouest - Nord Est. Ils dominent un système de glacis et de plaines alluviales façonnées durant le Quaternaire et qui sont particulièrement développés dans leurs piémonts sud et sud Est.

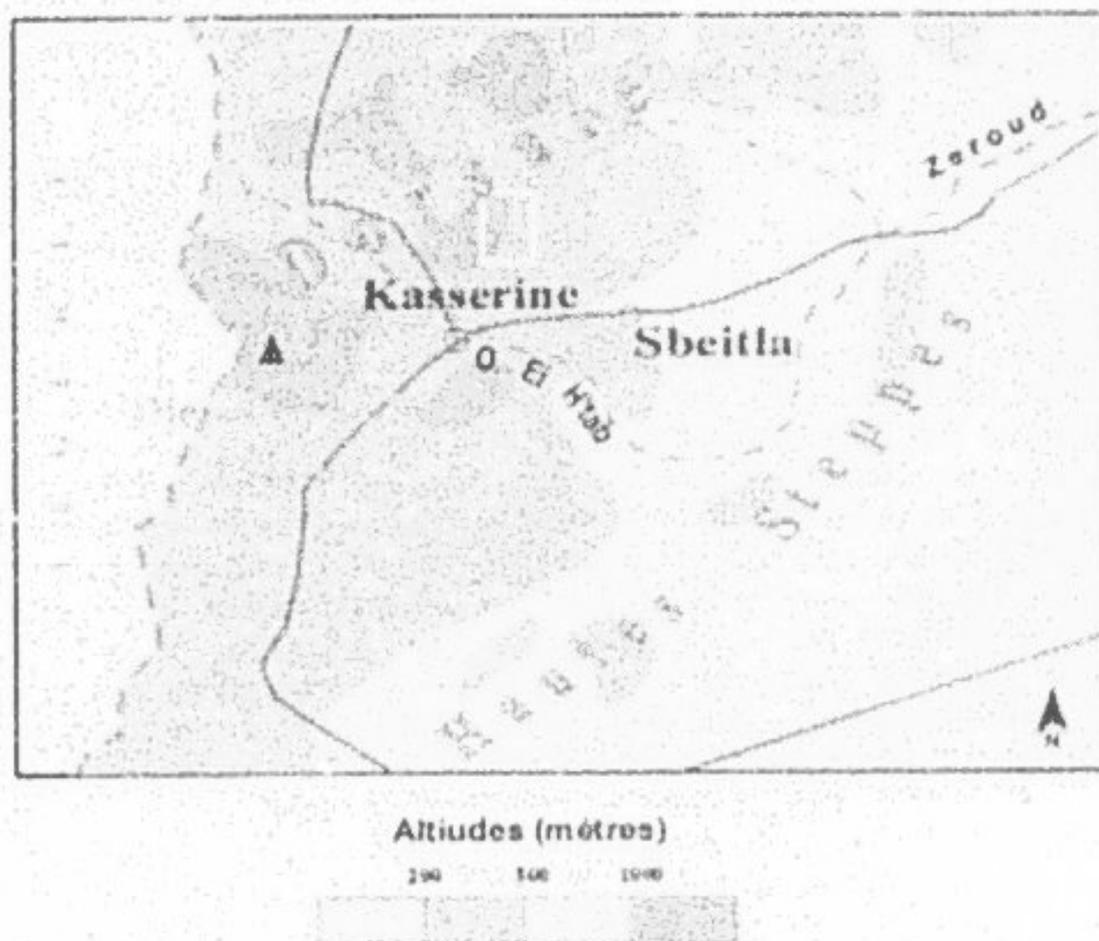


Figure 1 : Le cadre géographique

2. LE CADRE GEOLOGIQUE

L'évolution géologique dans les hautes steppes a permis de dégager un substrat constitué de formations antéquatérales et de formations quaternaires, témoins des différentes phases paléo-géographiques successives :

2.1. Les formations antéquatérales : Le relief actuel de la zone de Semmama est la résultante d'une importante phase de plissement et de surrection post-Oligocènes dont le paroxysme se situe au plio-Villafranchien (Castany G 1953). Les affleurements de la *zone montagneuse* sont constitués de dépôts néritiques datant du Crétacé inférieur. Il s'agit d'un complexe marno-calcaire avec quelques intercalations gréseuses et calcaires récifaux.

L'ossature de la zone montagneuse est constituée des roches les plus dures, à faciès dominant de calcaire récifal ou gréseux. Cependant, l'alternance de faciès durs et de faciès tendres favorise une érosion différentielle provoquant d'une part, la mise en relief des matériaux durs et compacts, sous forme de corniches et de barres et d'autre part, une intense érosion des argiles et des marnes.

2.2 Les dépôts quaternaires :

2.2.1 Les dépôts de la zone montagneuse : Dans cette zone, les dépôts de pente sont en général peu épais. Ils sont formés d'un matériel hétérométrique de cailloux et de blocs souvent associés à une matrice fine argilo - sableuse. On y distingue dans certains cas, des dépôts de grèze lités sur les versants, qui témoignent du rôle de la gélifraction, pendant les paroxysmes pluviaux, dans les hauts massifs de la région.

2.2.2. Les dépôts de la zone de piémont : Les piémonts portent un matériel essentiellement mio - pliocène présentant un faciès marin (puissant complexe marneux plus ou moins gréseux) et un faciès continental (dépôts détritiques ou conglomératiques). Le Quaternaire est constitué de dépôts continentaux (sables, calcaires, limons et argiles coiffés d'une puissante croûte du Quaternaire ancien), de croûtes et encroûtements calcaires variés du Quaternaire moyen ainsi que de dépôts éoliens et alluviaux du Quaternaire récent.

3. L'EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE

L'histoire paléo-climatique de la région révèle que le climat de la région a connu une intensification de l'aridité à partir du Villafranchien, mais il a été soumis à de fortes variations de température et de pluviosité lors des périodes pluviales et inter pluviales du Pléistocène, et par conséquent des variations morphodynamiques. La gélifraction était alors un processus important dans les djebels. Les eaux de fonte des neiges et des pluies transportaient les débris ainsi formés vers les plaines. Des glacis étendus se sont développés en piémonts, de faible inclinaison autour des montagnes. Ils résultent en partie de l'accumulation de matériaux mais aussi d'un processus de décapage des couches tendres sous jacentes (miocènes en dominance et triasiques par endroits). Ces périodes de grande activité morphogénétique finissaient par l'épuisement des débris en amont et le début de conditions climatiques plus arides. Finalement, des croûtes calcaires se formaient en surface ou à faible profondeur marquant ainsi le maximum d'aridité et d'inactivité morphogénétique. Elles sont particulièrement développées au pied des versants sud-est des djebels (elles résulteraient d'une évapotranspiration plus forte sur les versants exposés au sud, plus ensoleillés). La répétition de ces cycles serait à l'origine de la mise en place du système actuel de glacis.

La zone d'étude occupe le quart sud-est de la carte topographique au 1: 50.000 du Djebel Semmama. Elle présente deux unités géomorphologiques bien distinctes: la montagne structurale et le piémont.

3.1. Le secteur montagneux est formé d'un massif dissymétrique très faillé et entaillé par un réseau dense d'oueds intermittents. Les versants sont recouverts par un matériel colluvial discontinu. Les principales unités morphopédologiques déterminées dans la zone montagneuse, au niveau du Bassin versant de l'oued El Hissiane sont les suivantes².

² Barbery J et Delbosme JP, 1982

3.1.1. Les surfaces structurales : inclinées vers le sud - est, développant une pente régulière de 10 - 12%, elles ont une forme allongée et les bordures marquant leurs limites avec les versants correspondent soit à des corniches, soit à un raccord plus arrondi, à pente plus forte (12 - 20%). Ces surfaces se présentent le plus souvent sous forme d'un emboîtement ou étagement de quelques mètres de hauteur marquant des alternances de calcaire dur et des marnes ou calcaires marnaux.

3.1.2. Les versants : Les vallées, fortement encaissées, forment des versants ou les pentes, variant de 20 à 60%. Ces versants sont recouverts d'une couche de colluvions, d'épaisseur variable, recoupant les structures géologiques qui peuvent affleurer localement.

3.1.3. Le glacis d'érosion : Développé à l'est du bassin - versant, il s'agit d'un glacis d'érosion - accumulation qui recoupe le substrat marnaux. L'extension spatiale de ce glacis laisse apparaître des nuances en fonction de la lithologie et de l'épaisseur des formations superficielles.

3.2. Le piémont : Il représente plus de 50%, en projection verticale, de la zone étudiée. Il est développé dans les séries tertiaires arasées en un vaste système de glacis étages qui sont particulièrement bien représentés dans la partie sud - sud Est et portent une couverture détritique provenant du démantèlement du chaînon.

On peut distinguer trois niveaux de glacis qui sont numérotés de 1 à 3. Le glacis le plus ancien (1) dont la surface est scellée par une croûte calcaire bien développée et dure, le glacis intermédiaire (2) très étendu, porte une croûte tendre et relativement mince et le troisième glacis plus bas.

D'après les récents travaux de géomorphologues tunisiens, un seul glacis datant du quaternaire moyen constituerait l'ossature du piémont du djebel Semmama (HENTATI A, 1977). Il correspondrait au glacis (2) sus-mentionné. Ce glacis a été étudié en détail par (BONVALLOT et DELHOUME JP, 1978). Les formations détritiques qui en tapissent la surface sont formées de la base vers le sommet, par des épandages sableux à limoneux, de couleur rosâtre à beige, à stratification entrecroisée. Ces formations ont une épaisseur de 1 à 4 mètres et reposent en discordance sur les sédiments sableux ou argileux du Mio - pliocène. Ils correspondent à des organismes fluviaux à chenaux divagants sur l'ensemble de la surface. Ça et là, sur les précédentes formations, des accumulations grossières, de la taille des galets et des blocs épais de 1 à 7 mètres révèlent, par leur profil en travers, une configuration en chenaux torrentiels parallèles et séparés les uns des autres par des distances variant de 40 à 100 mètres.

Les matériaux fins sont peu encroûtés par le calcaire alors que les matériaux grossiers, fortement cimentés dans la masse, sont voilés vers le haut par une croûte à feuilletés blanchâtres à rosâtres de 10 à 20 mètres d'épaisseur.

Le façonnement de ce glacis s'est effectué au cours des périodes pluviales du Quaternaire, lors des cycles pluvial - inter pluvial, par épandage de matériaux hétérogènes provenant des massifs sur un maténau géologique d'origine continentale (Mio - pliocène).

Plusieurs phases de carbonatation successives ont permis la formation d'accumulations calcaires continues et compactes, ce qui a favorisé la conservation de ces surfaces plus dures et leur mise en relief relatif lors des phases d'érosion intenses dans les matériaux plus tendres (érosion différentielle).



1. الأراضي الرطبة و شبه الرطبة

ترب هضاب الغابات الشمالية
الرمادية و المغسولة

ترب بنتة حمراء و جيرية

2. الأراضي الجافة و شبه الجافة

ترب رمادية فاتحة و جيرية

مع جبس

مع كلس

راندرينا

ترب مالحة

ملحية

صودية

ترب متغلقة نهريّة

ترب رسوبية

ترب البدائية الحبيبية

حجرية و رسوبية

3- الأراضي الصحراوية

رمال العرق و الظاهر

قشرة كلسية جسمية

-V=V

4. LE CLIMAT ET LE BIOCLIMAT

4.1. LE CLIMAT

Située au sud de la dorsale, la région est encadrée par les isohyètes de 400mm au nord et de 300mm au sud. L'évolution temporelle de la pluviosité est marquée par une irrégularité et une variabilité qui sont étroitement liées aux caractères de la circulation atmosphériques et à l'orographie.

En effet, d'après L'HENIA (1993) le niveau de pluviosité annuelle est très tributaire des caractères de la circulation atmosphérique, particulièrement les coulées polaires méridiennes. Les années où les advections d'air polaire vers le sud se font profondes et fréquentes correspondent à des périodes pluvieuses dans le pays. Les années où ces coulées d'air froid sont limitées en fréquence et en extension, constituent, par contre des périodes de faible pluviosité.

L'auteur constate aussi que les flux pluvieux de composante nord ou nord ouest, abondant de front les alignements montagneux du Tell et de la dorsale, arrosent d'avantages les versants septentrionaux. Ils subissent par contre un effet de foehn sur les versants sud, surtout sur ceux de la dorsale. Ceci est de nature à accélérer l'assèchement et la continentalisation des masses d'air venant du nord. Le caractère continental du climat est exagéré par l'effet de l'altitude.

Les pluies sont peu abondantes, rares mais orageuses (Bakdy, 1965). La pluviométrie annuelle moyenne de la zone se situe à 300 mm avec un maximum observé de 779 mm et un minimum observé de 118,7 mm ; ce qui traduit son extrême irrégularité et sa variabilité inter-annuelle. (la normale à kasserne est de 267mm).

Tableau 1. Précipitations annuelles moyennes et extrêmes

Station	Altitude(m)	P moy (mm)	méd (mm)	C.V	P Max (mm)	P Min (mm)
Sbeitla	533	299.5	290.0	0.40	779.0	127.0
Kasserne	657	295.8	280.0	0.37	699.6	104.9
Boufaroua	680	262.1	255.3	0.30	493.4	118.7
El Hissiane	1012	344.0	?	0.30	606.6	182.7

Cette variabilité est encore mieux exprimée à l'échelle mensuelle, comme par exemple, pour les mois d'octobre et de mars dans quelques stations de la région comme le montre le tableau (2) où l'on constate l'importance de l'étendue de la variation.

Tableau 2. Variabilité de la pluviométrie mensuelle

Station	Mois	Min Observé	Max Observé
Sbeitla	Octobre	0	194.5
	Mars	0	124.4
Kasserne	Octobre	0	120.1
	Mars	0	123.2
Boufaroua	Octobre	0	63.0
	Mars	1.8	104.4

L'évolution de la pluviométrie de la région permet de dégager un régime bi modal très net, laissant apparaître deux maxima et deux minima. Le premier maxima se place en automne et le deuxième au printemps. La pluviométrie du printemps prend ici la première place dans 50% des années mais elle peut céder sa place à celle de l'automne dans 32% des années.

Le maximum pluviométrique peut, bien que très rarement, se situer en hiver ou en été. Les minima se situent en hiver et en été. Celui de l'été est plus accusé que celui de l'hiver. Dans une année sur cinq le minimum pluviométrique peut se situer en automne. Les données du tableau (3) illustrent par la même occasion la relative stabilité de cette répartition bi modale, d'une année à l'autre.

Tableau 3. Contribution moyenne en (%) des pluies saisonnières dans la pluviométrie annuelle à Boufarous (1975 - 1997)

	Automne	Hiver	Printemps	Été
Moyenne	28.1	19.6	33.8	18.5
Médiane	28.7	19.1	34.8	13.5
Ecart Type	10.7	8.9	12.1	13.1
C.Variation	0.38	0.45	0.36	0.71
Minimum	8.8	3.0	17.6	5.2
Maximum	47.7	42.7	55.2	53.0
Etend Var.	38.9	39.0	38.2	47.8

Les températures moyennes annuelles sont en général élevées et expliquent bien le déficit hydrique. Elles varient en fonction de l'altitude et sont comprises entre 15° et 18°C. Les minima de janvier sont relativement bas avec 2°C alors que les maxima de juillet avoisinent les 34 - 37°C.

Le régime des vents est à dominante nord-ouest en hiver, sud, sud-est ou sud-ouest en été. Les vents générateurs de pluies sont le plus souvent du nord-ouest ou du nord-est. Le sirocco souffle en moyenne 30 à 40 jours par an surtout en été.

La distribution des intervalles secs permet de distinguer des séquences sèches plus ou moins longues, avec toutefois la distinction de la saison sèche estivale qui constitue environ 25% de la fréquence des périodes sèches supérieures à 20 jours secs successifs. C'est la saison sèche la plus nette et la plus stable puisqu'elle est présente chaque année et ne semble pas être fortement liée à la pluviosité annuelle. Il est aussi intéressant de constater la mobilité de la saison sèche qui ne présente pas de limites temporelles précises. Celle-ci peut parfois commencer dès le début du mois de mai comme elle peut se prolonger jusqu'au mois d'octobre en débordant de part et d'autre sur le printemps et l'automne dans des proportions respectives 14,3% et 10,7% de la fréquence.

Le caractère diffus de la sécheresse ressort de la répartition à peu près équivalente des séquences supérieures à 20 jours secs successifs entre l'automne, l'hiver et le printemps (entre 11 et 12% de la fréquence). D'après L.Hania (1993), 44% des années sont sans saison humide dans la région de Kassemne, et la durée de la saison sèche y varie entre un minimum de 6 mois et un maximum de 12 mois, avec une durée médiane de 10 mois.

L'aridité du climat est également illustrée par le bilan hydrique. Le tableau (4) montre que les quantités d'eau mises à la disposition de la végétation sont largement inférieures à ses besoins exprimés par l'évapotranspiration potentielle. Tous les mois, sans exception sont déficitaires, ce qui crée des conditions difficiles pour le développement de la couverture végétale.

Tableau 4 : Bilan hydrique moyen à Kasserine en mm

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Pluie	28.4	22.0	23.6	14.2	17.2	19.4	36.2	26.2	29.8	16.4	7.3	22.7	264.8
ETP ¹	157	107	72	58	53	64	60	115	161	198	234	219	1330
ETP-P	127.6	85.0	47.4	44.8	35.8	44.6	52.8	88.8	131.2	181.2	226.7	196.3	1265.2

(D'après L. HENRI, 1993)

4.2. LE BIOCLIMAT

Le bioclimat de la zone d'étude évolue de l'étage semi-aride supérieur à l'étage aride. Des nuances apparaissent du nord vers le sud, en fonction de l'exposition et de la position en altitude (Bakdy, 1965). D'une manière générale, l'état actuel de la végétation est largement conditionné par sa position altitudinale ainsi que par les diverses activités humaines (coupes, défrichements et mise en culture, surpâturage...). Les peuplements les mieux conservés occupent l'aire sommitale et, à mesure que l'on descend vers les plateaux et les plaines, la végétation présente des faciès de dégradation où l'on souligne la disparition progressive de la strate arborée au profit de formations basses à faible recouvrement qui sont remplacées elles-mêmes par les cultures.

- L'aire sommitale du massif appartient à l'étage semi-aride supérieur (400 à 600 mm). Les sols sont de type calcimorphes se développant sur les calcaires et les marnes en place, et la végétation est une forêt de pin d'Alep et de Chêne vert.

- Le versant fait partie de l'étage semi-aride inférieur (300 à 400 mm) et supporte des sols peu évolués, d'apports alluviaux. La végétation est formée de pin d'Alep et de genévrier de Phénicie très dégradé.

- Les plateaux s'intègrent dans l'étage aride supérieur passant vers le sud à l'étage aride inférieur (300 à 200 mm). Les sols qui s'y développent sont des rendzines et des sols bruns calcaires évoluant sur des matériaux Quaternaires (croûtes et encroûtements calcaires). La végétation se présente sous la forme d'une steppe d'alfa (*Stipa tenacissima*) avec des espèces compagnes de la forêt de pin d'Alep. Cependant, la dégradation de ce milieu, consécutive à sa mise en culture, a provoqué la disparition de la végétation naturelle et l'installation de formations steppiques dont les plus caractéristiques sont les groupements à base d'armoise champêtre (*Artemisia campestris*) ou d'armoise blanche (*Artemisia herba - melba*).

Grâce à sa densité et son système racinaire, particulièrement développé, l'alfa assure une bonne protection des sols, mais sa dégradation, comme celle du romarin, est très poussée et ces espèces naguères couvrantes, sont actuellement réduites dans la plupart des cas à des touffes rabougnes et espacées avec un taux de recouvrement inférieur à 50%. Le rôle protecteur est ainsi diminué et l'importance du décapage est telle que les touffes sont souvent déchaussées. Les sols sont érodés et laissent la croûte calcaire de plus en plus dénudée.

¹ ETP : Evapotranspiration potentielle. Elle désigne l'évapotranspiration maximale (ETM) d'une culture dont la végétation abondante et en pleine croissance, couvre totalement un sol largement pourvu en eau. Indépendante du type de végétation considéré, elle est surtout fonction du climat (température, vent, humidité, durée d'ensoleillement). On l'exprime, comme la pluie, en millimètres de hauteur d'eau. (LAROUSSE AGRICOLE)

Le rétrécissement et la diminution du couvert végétal peut être également à l'origine de la détérioration du stock de matière organique dans le sol ; ce qui se traduit par une moindre résistance mécanique du fait de l'affaiblissement de la stabilité structurale du sol. Le tableau(5) ci dessous permet de constater l'importance de la charge humaine et pastorale que subit la végétation naturelle, notamment en zone de piémont.

Tableau 5 : Répartition de la végétation naturelle selon les unités Physiographiques et le mode d'exploitation dans la zone d'étude⁴

	Unité physiographique	Unité végétale	Mode d'exploitation	Taux de recouv ^{mes} du sol (%)
Zone anticlinale	Zone montagneuse	Forêt couverte (Pin d'Alep)	Forestiere	-
		Steppe d'Aifa Avec Romarin	Forestiere, parcours et collecte extensive d'Aifa	+
Zone synclinale	Zone de piémont (Glacis) Surfaces coiffées d'une croûte calcaire ou encroûtées (750 à 700m d'altitude)	Steppe d'Aifa	Parcours et collecte extensive d'Aifa	20 - 40
		Steppe d'Aifa	Parcours et collecte extensive d'Aifa	<20
		Steppe d'Aifa sévèrement dégradée	Parcours et collecte extensive d'Aifa	<20
	Surfaces non encroûtées ou avec croûte érodée (700 à 630m d'altitude)	Céréales, plantes fourragères (<30%) steppe sans aifa (>70%)	Parcours et agriculture	.
Céréales, plantes fourragères (>70%) steppe sans aifa (<30%)		Parcours et agriculture	.	

(+) Données non disponibles

En conclusion, nous pouvons dire que la majorité du couvert végétal actuel provient de la dégradation de l'ancienne forêt de pin d'Alep. Cette dégradation va en s'accroissant depuis le haut des versants jusqu'aux plaines qui constituent le bas des piémonts et qui sont devenues le siège d'une steppe post-culturelle. En moyenne, le taux de recouvrement est peu élevé.

II. LES ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

1. POPULATION ET PEUPLEMENT

L'influence de l'homme dans la région de sbeitla remonte aux temps anciens (Paléolithique moyen)⁵. A l'époque romaine, la région jouissait d'une relative stabilité et d'une densité de population caractéristique d'une société paysanne (ATTIA, H. 1977)⁶. Cependant, c'est au cours de la période actuelle que l'intervention humaine se fait de plus en plus intense.

⁴ : D'après Jürgen Vogt, ITC JOURNAL, 1988 - 2

⁵ VERMEERSCH (P), 1973 : Résultat d'une prospection préhistorique dans le bassin de Kasserine, Tunisie steppique. Annales des Mines et de la Géologie, Tunis, N°26, pp. 607-620.

⁶ ATTIA (H), 1977 : Les hautes steppes tunisiennes... de la société pastorale à la société paysanne. Thèse de Doctorat d'état, Université de Paris VII.

La densité d'occupation a pratiquement doublé depuis l'indépendance au prix de transformations considérables dans les rapports et les modes de production ayant engendré une redistribution du peuplement dans l'espace régional. Aussi bien les indicateurs actuels que les perspectives d'évolution démographique montrent une croissance soutenue et forte de la population dans cette délégation comme le montrent les chiffres du tableau(6) où l'on constate un taux d'accroissement annuel qui se maintiendrait au-dessus du seuil de 3% jusqu'en 2004.

Tableau 6 : Accroissement comparé de la population

	Taux d'accroissement annuel (%)			
	75 - 84	84 - 94	94 - 99	99 - 2004
Sbeitia	2,74	3,2	3,08	3,12
G ^g Kasserine	2,5	2,6	2,6	2,9

(Source : INS, 1975 - 1984 - 1994 et Projections 1999 - 2004)

La population reste dans sa majorité rurale (71,8%) avec un taux de dispersion qui atteint 60,1%. Les densités rurales sont de loin supérieures aux valeurs moyennes du gouvernorat de kasserine (29,3 hab./km²) puisque celles enregistrées lors du dernier recensement de 1994 sont assez élevées (60,1hab./km²). Les densités brutes dans la délégation atteindraient le chiffre de 79 hab./km² en 2004, comme l'indiquent les données du tableau (7) ci dessous.

Tableau 7 : Evolution comparée des densités rurales (hab/km²)

	1966	1975	1984	1994
Sbeitia	14,5	26,5	43,3	60,1
G ^g Kasserine	20,0	23,4	25,6	29,3

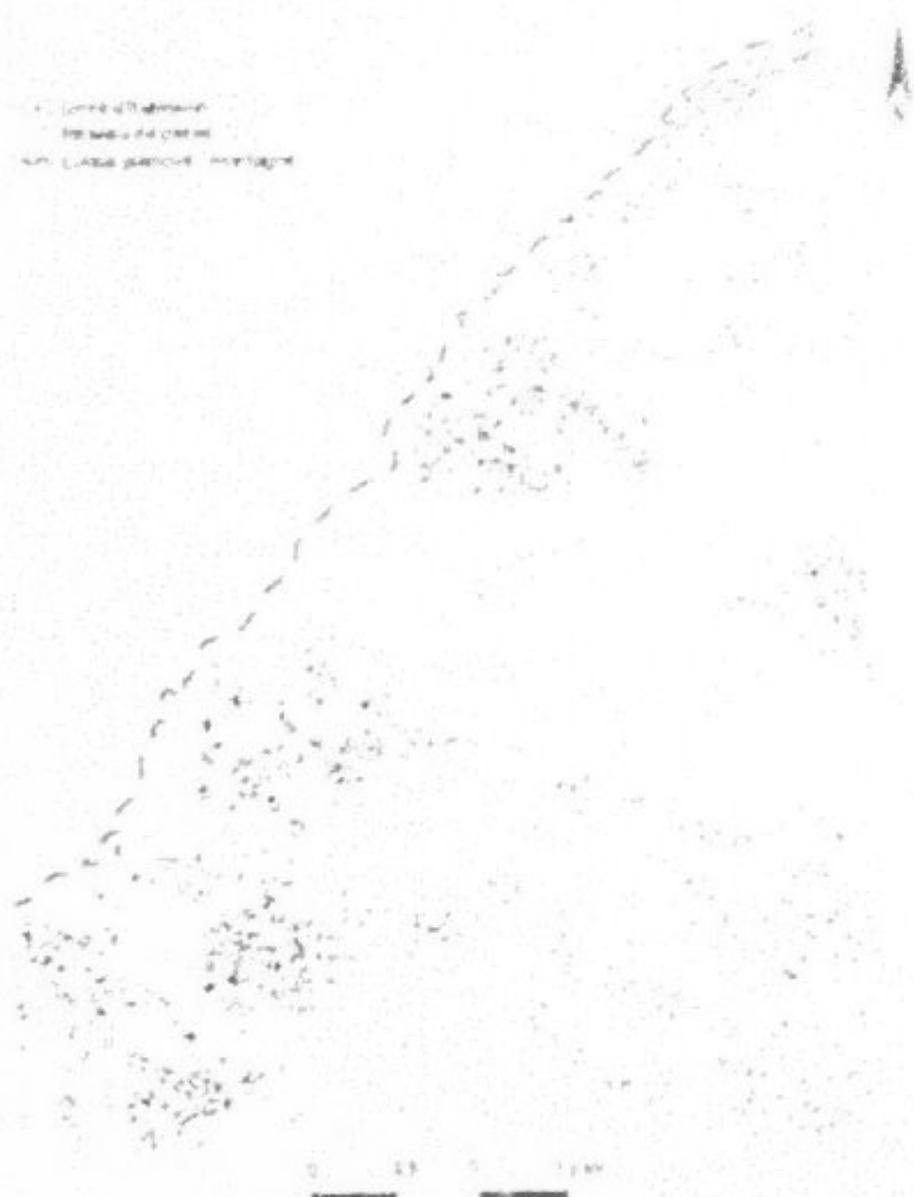
(Source : INS, 1975 - 1984 - 1994 et Projections 1999 - 2004)

D'autre part, si l'on compare les résultats des deux derniers recensements (1984 et 1994) nous constatons que, contrairement à la tendance qui se profile dans les délégations du sud du gouvernorat, les secteurs ruraux de sbeitia ont tous connus une augmentation de leur population résidente. Il en résulte un solde migratoire positif puisque les départs sont largement compensés par le croît naturel de la population.

2. INTENSITE DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE

Appropriation privée du sol, extension de l'arboriculture et de la céréaliculture ont été les faits marquants des mutations économiques qui se sont accélérées au cours des dernières décennies, sous l'effet de la modernisation du genre de vie et de la sédentarisation. Les potentialités limitées du milieu, son hétérogénéité ainsi que l'évolution du pastoralisme vers l'arboriculture, qui fixe la population là où elle peut s'approprier des terres cultivables sont d'autant de facteurs favorables à la dispersion. Les densités ont sensiblement augmenté dans les zones d'habitat dispersé comme dans les zones d'habitat aggloméré, quoique à un rythme plus faible. Ce fort taux de dispersion maintient et augmente, par la même occasion, l'emprise sur le milieu d'autant plus que le rapport de la superficie mise en culture à la superficie totale est relativement faible (10 à 20%) et que les densités dans les zones cultivées sont de plus en plus importantes, comme le montre le tableau ci dessous.

• Zone d'habitat
- Réseau de pistes
- Ligne générale montagne



Dispersion de l'habitat et densité du réseau de pistes dans le prémont S.S.E. du jbel Semmama

Tableau 8. Dispersion et intensité d'occupation du sol à Sebilla

	1975	1984	1994
Population dispersée en %	78,3	70	71,7
Tête arabe / hab. isolé (ha)	1,12	0,98	0,70
hab. isolé / km ² terre cultivée	86,2	97,8	133,3

1. IMPORTANCE DE LA CHARGE PASTORALE

Malgré les fluctuations que connaît la taille du cheptel d'une période à l'autre, la charge pastorale ovine reste élevée. La restriction des terres de parcours et leur faible production fourragère, ont entraîné une augmentation de la densité qui est de loin supérieure à l'optimum qui permettrait une bonne régénération de la végétation des parcours. En effet, rapportée à la superficie pâturée, cette densité est 2 têtes par hectare alors que la charge souhaitable par ATTJA (H) est de 1 tête pour 2 à 3 ha dans les parcours d'arrose et d'alfa.

En conclusion nous pouvons dire que la région se caractérise par :

- Une assez grande stabilité interne de la démographie, due notamment à la puissance des attaches sociales et un taux d'accroissement naturel élevé qui amortissent les effets des flux migratoires.
- Un taux de dispersion élevé, environ 70% de la population vivent dans un habitat isolé et des densités rurales et agricoles importantes qui maintiennent et accentuent l'emprise de l'homme sur le milieu mettant en danger l'équilibre fragile du milieu (forte intensité d'occupation des terres arables, surpâturage)

CHAPITRE 2 : LES EXPERIMENTATIONS : les objectifs, la méthode, les dispositifs et les protocoles

Historique

La recherche expérimentale sur l'érosion dans la zone de Semmama a été entamée au début des années 70, à la suite des inondations catastrophiques de l'automne 1969 et compte tenu de leurs conséquences morphogénétiques qui ont marqué les paysages de la région. Cet intérêt particulier qui a été porté à la connaissance du processus de l'érosion hydrique imposait la nécessité de doter cette recherche de dispositifs expérimentaux permettant une étude approfondie des causes et des modalités du ruissellement et de l'érosion et de quantifier leur importance. La mise en place des dispositifs expérimentaux s'est faite progressivement, en fonction de trois niveaux d'analyse :

- (a) Un niveau général, à l'échelle de tout un bassin versant de quelques km²
- (b) Un niveau intermédiaire, à l'échelle du micro bassin versant de quelques hectares.
- (c) Un niveau élémentaire, à l'échelle de la parcelle de quelques centaines à quelques milliers de m².

La présente recherche s'est occupée du niveau élémentaire en s'appuyant sur les résultats de deux générations de dispositifs expérimentaux.

i. La première génération a été installée en 1975 par une équipe pluridisciplinaire de la mission ORSTOM en Tunisie, en collaboration avec la Direction des Sols. Elle a fonctionné jusqu'en 1986. Le dispositif mis en place a été composé de :

i. a - Deux petites parcelles dites d'érosion, selon le modèle de Wischmeier (132m), en zone montagneuse, dans le sous bassin versant de l'oued Ed Diar (B.V. de l'oued El Hissiane).

i. b - Deux parcelles en zone de piémont, au lieu dit Boufarwa. Une grande parcelle dite "parcelle Topo séquence" (3000m²) a occupé la totalité d'un versant d'érosion et une petite parcelle (300m²) qui a été implantée à l'amont du même versant, là où la pente est la plus forte.

ii. La deuxième génération a débuté en 1981. Le dispositif expérimental qui a été réalisé par l'équipe du service de géomorphologie de la Direction des Sols est constitué de quatre parcelles :

ii. a - Une grande parcelle installée dans la partie aval du Bassin versant de l'oued El Hissiane. Elle a une superficie de 4500m².

ii. b - Trois parcelles en zone de piémont, au lieu Boufarwa. Elles occupent la majeure partie d'un versant d'érosion (ou versant de raccordement) et ont des superficies variables allant de 345 à 2800m².

I. LES OBJECTIFS ET LA METHODE EXPERIMENTALE

1. LES OBJECTIFS

La recherche sur l'érosion hydrique dans la région de Semmama s'appuie sur un ensemble de dispositifs expérimentaux répartis aussi bien en zone montagneuse qu'en zone de piémont. Ils ont un objectif commun qui consiste à étudier les conditions, les facteurs et les modalités du ruissellement et du transport solide, en vue d'une connaissance plus approfondie de la dynamique érosive qui prévaut dans un contexte environnemental soumis à de fortes contraintes anthropiques et pastorales. Cependant, chacun de ces dispositifs constitue un axe de recherche qui développe des objectifs spécifiques.

1.1. EN ZONE MONTAGNEUSE

1.1.1. Les parcelles de la zone intra-montagnaise

La mise en place des deux petites parcelles en milieu forestier où le ruissellement est largement conditionné par la densité et la structure de la couverture végétale avait pour objectif principal l'étude de cette influence. La réalisation de cet objectif se base sur l'observation et la comparaison des comportements respectifs des deux milieux en tenant compte de l'évolution spatio-temporelle de la végétation naturelle. De cet objectif principal découlent les objectifs suivants :

- (a) Etude de l'influence du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion.
- (b) Etude des mécanismes primaires du ruissellement
- (c) Quantification du ruissellement et de l'érosion
- (d) Estimation de l'effet de la mise en défens sur la dynamique du peuplement végétal.

1.1.2. La grande parcelle de la partie aval

La mise en place de cette parcelle est significative à plus d'un titre :

- i. Par sa position au contact de la montagne et du piémont, non loin des zones de peuplement, qui en fait un espace "ambigu", conflictuel, très convoité d'où son état de dégradation très avancé, témoignant de la forte intensité de la charge anthropique et pastorale.
- ii. Elle est représentative d'un état de dégradation qui ne cesse de prendre de l'ampleur eu égard à la grande extension de ces zones d'interférence dans les paysages montagneux de la Tunisie centrale.
- iii. Elle se situe au cœur du débat sur les stratégies et les techniques d'aménagement à mettre en œuvre pour la régénération du couvert végétal dans les zones forestières dégradées ou en dégradation.

En conséquence, l'on attend de cette expérimentation la réalisation des objectifs de recherche qui suivent :

- (a) Étude de l'influence de la mise en défens sur la régénération du couvert végétal naturel.
- (b) Étude de l'effet de la mise en défens sur le comportement érosif de la parcelle en suivant l'évolution temporelle des paramètres de ruissellement et de transport solide.
- (c) Étude de l'impact des aménagements anti-érosifs et de la mise en défens sur le ruissellement et l'érosion.

1.2. DANS LA ZONE DE PIÉMONT

La zone de piémont a connu la mise en place de deux expérimentations distinctes qui répondent à des objectifs de recherche spécifiques.

1.2.1. La première expérimentation

Elle repose sur un dispositif expérimental constitué d'une grande parcelle "Toposéquence" et d'une petite parcelle "Amont". Il revêt un intérêt particulier qui émane :

- i. de la représentativité du site, s'agissant d'un versant de raccordement caractéristique du paysage de la zone de piémont qui développe une topographie concave à pentes fortes à très fortes.
- ii. de sa position de zone de transit qui développe une dynamique active de flux, flux d'énergie et flux de matières.
- iii. de l'importance et de l'intensité des contraintes environnementales et socio-économiques.

Il s'agit en définitive d'une expérimentation qui résume toute la problématique de la dégradation des milieux en zone de piémont puisqu'elle s'insère dans un contexte environnemental soumis d'une part, au caractère excessif des facteurs naturels et d'autre part, à une intense occupation de l'espace, consécutive aux mutations profondes des modes et des systèmes de production.

En conséquence, les objectifs assignés à cette expérimentation ont trait à la caractérisation de la dynamique érosive qui affecte les versants et à ses effets morphogénétiques en procédant à :

- (a) La caractérisation de la dynamique des flux le long du versant dès la genèse du processus. Ceci conduit à l'étude des mécanismes et des modalités du ruissellement et à la quantification de l'érosion en tenant

compte des états de la surface du sol et des différents milieux qui constituent le versant.

- (b) L'étude de l'évolution du versant en décomposant le processus et en précisant le rôle de chaque pente. Ceci justifie par ailleurs, la mise en place de la petite parcelle dans la partie amont du même versant.
- (c) Etude de l'influence de l'intensité de la pente sur le ruissellement et l'érosion en comparant les résultats de la petite parcelle "Amont" et de la parcelle "Toposéquence".

1.2.2. La deuxième expérimentation

Elle s'appuie sur un dispositif formé de trois parcelles dont l'objectif principal est d'entreprendre une recherche expérimentale sur l'érosion hydrique, particulièrement la dynamique des flux sur les versants de raccordement et ce en étudiant les causes et les modalités du ruissellement et du transport des matériaux. Ceci revient à déterminer les seuils d'intervention des divers processus et à les corréler aux paramètres et aux facteurs qui les commandent, notamment l'énergie pluviale, la végétation, la pente, et la modification de l'état de surface du sol. Cet objectif principal va être désagrégé en objectifs spécifiques, comme suit :

- (a) Etude de l'influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion, en comparant les comportements des deux petites parcelles (témoin et traitée).
- (b) Evaluation de l'effet de la modification des conditions du milieu (défrichage, mise en culture) sur l'évolution de la surface du versant, notamment sa réaction, à l'échelle temporelle, vis à vis des paramètres qui commandent le processus érosif. L'étude de cet effet s'appuie sur les résultats de la petite parcelle traitée.
- (c) Etude de l'influence de la longueur de la pente sur la dynamique des flux le long du versant en analysant les résultats obtenus au niveau de la petite parcelle témoin et de la grande parcelle.
- (d) Etude de l'influence de l'intensité de la pente sur le ruissellement et l'érosion en comparant les résultats de la petite parcelle témoin et de la petite parcelle "amont".

2. LA METHODE EXPERIMENTALE

2.1. Le système de la parcelle

La méthode utilisée dans ce travail de recherche est le système de la parcelle. C'est un modèle statique, isolé dans l'espace par des limites arbitraires. Ainsi la parcelle présente des limites qui sont matérialisées par des tôles en éternit enfoncées dans le sol sur une profondeur de 40 centimètres environ et dépassent de 20 centimètres au dessus de la surface du sol. Ces tôles sont disposées à l'amont, sur les côtes latérales ainsi qu'à l'aval où elles sont placées en entonnoir pour limiter la parcelle. Etant ainsi séparée du milieu environnant, le seul apport d'eau venant de l'extérieur est l'eau pluviale. L'axe longitudinal de la parcelle est orienté dans le sens de la plus grande pente, les eaux de ruissellement superficiel qui transitent à partir de l'amont sont recueillies à l'aval de la parcelle, dans une fosse étanche en béton creusé dans le sol. La capacité de cette fosse a été prévue pour accueillir la totalité du ruissellement d'une pluie d'intensité et de durée importante. Il est toutefois important de noter que pour faire face aux pluies dites exceptionnelles, au cours desquelles

Il s'agit de comparer les résultats des deux petites parcelles pendant la période où les deux expérimentations ont lieu toutes en même temps.

des débordements peuvent se produire, un déversoir en forme de V a été installé à l'aval de la fosse.

Si le principe de la réalisation de la parcelle est très semblable d'un modèle à l'autre, la taille de la parcelle en revanche varie en fonction des objectifs de chaque expérimentation. Ainsi par exemple, la parcelle dite d'érosion, selon le modèle développé par Wischmeier, présente une taille standard (132 m²), comme c'est le cas des deux petites parcelles implantées en zone montagneuse, alors que la parcelle conçue selon le modèle dit ORSTOMIEN⁹ change de taille en fonction de l'étendue du champ expérimental. Elle varie dans notre étude de 300 m² à 4500 m².

2.2. Portée et limites

Ce modèle permet d'étudier les mécanismes de ruissellement et de l'érosion, à partir de la genèse du processus et sur une distance déterminée qui correspond à la longueur de la parcelle. Il permet de préciser l'influence d'une ou de quelques variables sur le ruissellement. Dans ce cadre, la parcelle dite d'érosion est conçue comme un modèle comparatif. Il permet d'étudier l'effet d'une seule variable sur le ruissellement. C'est la raison pour laquelle il a été adopté en zone montagneuse pour l'étude de l'influence de la densité et de la structure de la végétation sur le ruissellement. Dans le modèle ORSTOMIEN, la parcelle n'a pas une taille standard préalable. De ce fait, elle offre un champ expérimental plus ouvert qui s'adapte mieux aux préoccupations de recherche en permettant d'étudier l'influence de plus d'une variable sur le processus de ruissellement et d'érosion ou de décomposer l'effet d'une seule variable en fonction de la configuration du site expérimental. C'est en raison de cette "souplesse" méthodologique, que ce modèle a constitué l'ossature du dispositif expérimental mis en place pour la réalisation des objectifs de cette étude.

Cependant, nous tenons à préciser que cette méthode expérimentale basée sur les deux modèles ci-dessus présente des limites.

- i. Le fait que la parcelle soit systématiquement isolée de l'espace environnant entrave le jeu des processus cumulatifs, comme c'est généralement le cas du ruissellement.
- ii. Elle ne permet pas de tenir compte de la hiérarchisation du ruissellement puisqu'elle se limite à l'étude des premières phases du processus, au niveau des surfaces structurales. L'installation de dispositifs expérimentaux sur les versants, à pentes fortes étant techniquement difficile à réaliser, la méthode est inadaptée à un tel milieu.
- iii. La différence de dimension même relativement faible, entre le petit bassin versant et la parcelle introduit des différences qualitatives, sous forme d'abandons de matériel sur le versant lui-même et sous forme de colluvions à son pied.
- iv. les pertes en terres mesurées sur une parcelle située sur un versant ne peuvent pas être corrélées au débit solide du cours d'eau qui draine ce versant.

En conséquence, les résultats issus des différentes expérimentations doivent être strictement interprétés par rapport aux objectifs assignés à ces mêmes expérimentations. Toute tentative de généralisation de ces résultats comporte des risques certains et altère le caractère scientifique de cette recherche, même si ces résultats satisfont d'une manière ou d'une autre l'attente de l'administration.

⁹ C'est un modèle développé par les chercheurs appartenant à l'Office de Recherche Scientifique et Technique en Côte-Mère (ORSTOM).

II. SITES, DISPOSITIFS ET PROTOCOLES DES EXPERIMENTATIONS DE LA ZONE MONTAGNEUSE

1. LES SITES

Le site de ces parcelles est localisé dans le bassin versant de l'oued El Hissiane (secteur nord-est du versant du djebel senimama). Il correspond à un paysage formé de surfaces structurales de calcaire dur, de pente régulière variant entre 9 et 12% qui ont été incisées tout au long du Quaternaire par un réseau hydrographique dense. L'enfoncement progressif de ce réseau a provoqué la formation de vallées encaissées, dont les versants ont des pentes fortes (> 30%). Les deux parcelles dites d'érosion, selon le modèle de Wischmeyer sont situées dans le sous bassin versant de l'oued Ed Diar. Elles ont été installées sur une surface structurale exposée au sud-est qui culmine à 1000 mètres d'altitude et développe une pente régulière de 9 à 10%. La grande parcelle est située dans la partie aval du bassin versant de l'oued El Hissiane, à 800 mètres d'altitude. Elle est également installée sur une surface structurale exposée au sud-est, formée d'une dalle de calcaire dur qui développe une pente régulière de 12,5%.

1.1. Formations superficielles et sols

1.1.1. Dans les parcelles de la zone intra-montagnouse

Le sol de ces parcelles repose sur une dalle de calcaire dur surmontée d'éléments grossiers, graviers, cailloux et blocs de calcaire, de formes irrégulières à arêtes émoussées, non altérés. Dans la parcelle boisée, le sol est légèrement plus épais (40 à 45 cm) que dans la parcelle garrigue (35 à 40 cm). Ceci est à mettre en relation avec l'érosion en nappe plus intense dans cette dernière, par suite du faible recouvrement de la végétation. Il dérive génétiquement par décarbonatation du calcaire dur sous-jacent. Ce type de sol est monocyclique et est développé à partir de la fin du dernier pluvial (soltanien) au cours duquel les surfaces structurales ont été décapées de leur couverture pédologique constituée de sols fersialitiques méditerranéens.

1.1.2. Dans la grande parcelle de la zone aval

Le sol de la station se développe dans un matériau constitué d'éléments grossiers, de graviers, de cailloux et blocs calcaires de formes irrégulières à arêtes émoussées, non altérées. Ils surmontent, ca et là, une dalle de calcaire dure exposée au sud-est qui affleure dans plus de 40% de la surface. C'est un sol qui appartient au groupe des sols minéraux bruts d'érosion, de très faible épaisseur se développant sur une profondeur de 12cm.

1.2. Recouvrement végétal et états de la surface du sol

1.2.1. Dans les parcelles de la zone intra-montagnouse

1.2.1.1. Dans la parcelle boisée

La végétation de cette parcelle présente un taux de recouvrement global de 70 à 80% en projection verticale. Elle est formée par le groupement à *pinus halepensis* et *juniperus phoenicea* qui appartient à l'étage bioclimatique semi-aride inférieur. Il se présente sous la forme d'un taillis dense de pin d'Alep de 4 mètres de hauteur et d'une strate buissonnante (0-50 cm) peu dense formée de romarin et d'alfa. La surface de cette parcelle est couverte, à raison de 78% d'une litière assez épaisse, de 19% d'éléments grossiers et de 3% de sol nu. L'importante quantité de litière forme un milieu fortement hydrophile qui joue le rôle d'interface filtre entre l'atmosphère et le sol et qui favorise l'infiltration.

1.1.2.2. Dans la parcelle garrigue

La végétation de cette parcelle représente un état de dégradation du groupement précédant, suite à une forte pression anthropique et pastorale. Elle est constituée d'une végétation basse, de type garrigue, très ouverte qui couvre le sol à raison de 32% en projection verticale. Il s'agit d'une formation ligneuse basse formée de pin d'Alep, ciste du Liban, genêt cendrel, et globulaire. L'alfa est présente avec recouvrement assez faible. L'état de la surface du sol dans cette parcelle fait ressortir l'importance des éléments grossiers résultant du lent décapage de la surface du sol et du sol nu qui représentent à seuls 84%. La litière est peu développée (16%). Les éléments grossiers forment un véritable "mulch" qui protège le sol de l'impact des gouttes de pluies et de la destruction des agrégats de surface.

1.1.2.3. Dans la grande parcelle de la zone aval

Le taux de recouvrement global dans cette parcelle avoisine les 70%. La végétation est constituée de l'amont vers l'aval par le pin d'Alep(20%), genévrier(40%), quelques oléastres et environ 40% de romarin, alfa et autres espèces herbacées. La surface est constituée de 60% d'éléments grossiers et d'affleurements calcaires, de 27% de litière et de 16% de sol nu. Les éléments grossiers jouent le même rôle que dans la parcelle garrigue.

2. LES DISPOSITIFS ET LES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

2.1. LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

2.1.1. DANS LA PREMIERE EXPERIMENTATION

Les deux parcelles ont été implantées, à proximité l'une de l'autre et leurs limites ont été matérialisées par des tôles en éternit enfoncées verticalement dans le sol jusqu'au contact avec le banc calcaire dur sous-jacent, à 30-40 cm de profondeur environ. Ces tôles sont situées sur les côtés latéraux et à l'aval de chaque parcelle tandis que la partie amont a été protégée par une levée de terre. Celle-ci sert à évacuer latéralement les éventuelles arrivées d'eau de ruissellement. L'axe longitudinal de la parcelle est orienté dans le sens de la plus grande pente. Le tableau (9) ci-dessous récapitule les caractéristiques des deux parcelles.

Tableau 9. Caractéristiques de la grande parcelle

Localisation	Sous B V de l'Oued Ed Diar
Coordonnées (X,Y)	X = 7° 31, Y = 39° 25
Altitude en mètre	1000
Longueur en mètre	20
Largeur en mètre	6
Superficie en m ²	132
Pente en %	8.5% (P Garrigue) et 9.8% (P Boisée)
Fosse (m ³)	10
Equipements	Trois pluviomètres, un pluviographe, un abri météorologique, un évaporomètre Piche et un bac d'évaporation au sol

2.1.2. DANS LA DEUXIEME EXPERIMENTATION

La station de la zone montagneuse est installée sur une surface structurale orientée vers le sud-est, qui culmine à environ 864 mètres. Elle est constituée d'une seule parcelle implantée dans le sens de la pente sur 100 mètres de longueur et développe une pente régulière de 12.5%. Elle est isolée du milieu environnant par des tôles en éternit qui l'entourent de tous les côtés. Les caractéristiques de cette parcelle sont présentées dans le tableau(10) ci après.

Tableau 10 Caractéristiques de la grande parcelle

Localisation	H' El Eida B V de l'Oued Hassiane
Coordonnées (X, Y)	X = 7° 33, Y = 39° 23
Altitude en mètre	804
Longueur en mètre	100
Largeur en mètre	40
Superficie en m ²	4500
Pente en %	12,5
Fosse	L = 8m, l = 4m, P = 2m
Equipements	Un pluviomètre et un pluviographe

2.2. LES PROTOCOLE EXPERIMENTAUX

2.2.1. DANS LA PREMIERE EXPERIMENTATION

Les massifs de la Tunisie du centre ouest sont essentiellement des domaines forestiers où la dynamique érosive est largement conditionné par la densité de la couverture végétale. Pour étudier cette influence, il a été procédé à l'installation de deux parcelles classiques dites d'érosion (22 x 8 mètres) qui diffèrent uniquement par la densité et la structure de leur végétation. Tous les autres paramètres étant semblables, par ailleurs. Le choix de ces deux parcelles a été également dicté par le fait qu'elles représentent les deux situations les plus fréquentes dans ces zones montagneuses : d'une part la forêt de pin d'Alep, en équilibre avec le milieu, qui développe un taux de recouvrement supérieur à 70% et d'autre part, une végétation arbustive basse de type garrigue qui est un état de dégradation de la première permettant un recouvrement de l'ordre de 30%.

Les mesures ont concerné aussi bien le comportement des parcelles vis à vis du ruissellement et de l'érosion que l'évolution spatio-temporelle de la couverture végétale.

Tableau 11 Protocole d'intervention dans les deux petites parcelles

Période	Action	Interventions
1975 à 1979	Mise en défens durant 18 mois des deux parcelles. Le but étant de mesurer l'accroissement spatial de la végétation, surtout dans la parcelle dite "garrigue" et d'évaluer son influence sur le ruissellement.	Quatre relevés ont été effectués au cours des années 75 et 76 en vue d'évaluer l'influence de la mise en défens sur l'évolution temporelle de la végétation des deux parcelles en utilisant la méthode du sondage systématique par point quadrat le long d'une ligne. Mesure des quantités d'eau ruisselées et de transport solide en suspension lors de chaque événement pluvieux ayant provoqué un ruissellement.

2.2.2. DANS LA DEUXIEME EXPERIMENTATION

Le protocole établi dans cette expérimentation prévoit une mise en défens stricte de la parcelle en tant que technique qui serait suffisante, à long terme, pour la reconstitution d'un tapis végétal arbustif et herbacé à peu près continu. Lequel protocole a été renforcé par la mise en place d'aménagements anti érosifs. C'est ainsi que la construction d'une succession de murettes ou cordons en pierres sèches parallèles aux courbes de niveaux, à partir de 1988, avaient pour objectif la

constitution d'un sol d'apport derrière ces ouvrages. C'est sur ce sol que dix ans plus tard il a été possible d'entreprendre une tentative de reforestation en 1998, comme le montre le tableau (12) ci après.

Tableau 12 : Protocoles des interventions dans la station S1

Période	Interventions	Occupation
1981 - 1987	Mise en défens	
1987 - 1998	Installation de 10 lignes de cordons en pierres sèches parallèles aux courbes de niveaux, de l'amont vers l'aval de la parcelle	Il s'agit au départ, d'un milieu sévèrement dégradé ayant subi une forte charge anthropique et pastorale et un décapage superficiel important. Cependant, nous assistons, depuis sa mise en défens en 1981, à une régénération progressive du couvert végétal qui est constitué des compagnons habituels du pin d'Alep à savoir l'oléastre, le genévrier rouge, le romarin, l'armoise blanche et l'alfa
1998 - 2000	Plantation de pin d'Alep derrière les cordons en pierres sèches.	

III. SITE, DISPOSITIFS ET PROTOCOLES DES EXPERIMENTATIONS DE LA ZONE DE PIEMONT

1. LE SITE

Les parcelles sont installées sur deux versants de raccordement (ou versant d'érosion) situés à une altitude de 670 mètres. C'est une zone de transition entre le glacis, qui subsiste sous forme de buttes témoins de direction sud-sud-est, et les zones de cultures plus en aval. Ces versants développent une topographie concave à pente tantôt régulière (site des stations S1 et S11), tantôt variable (site de la parcelle Toposéquence)

1.1. Formations superficielles et sols

La répartition des formations superficielles et des sols se base sur la description faite par JP DELHOUME (1985)⁹ de l'un de ces versants de raccordement caractéristiques de la zone de piémont et reprise dans le tableau (1) ci après. Il en ressort que l'ensemble du versant est recouvert d'une formation colluviale peu épaisse provenant du démantèlement de la croûte calcaire supérieure et que les sols sont développés dans des formations alluvio-colluviales reposant en discordance sur les sables mi-pliocènes et dans les sables. Ainsi ils présentent une texture généralement limono-sableuse dans les horizons supérieurs passant rapidement à une texture sableuse à partir de 50 à 80 cm. La teneur en matière organique est importante dans les premiers 40 cm puisqu'elle présente des taux qui varient de 4 à 2%, mais décroît rapidement avec la profondeur, dès que les sables deviennent dominants

1.2. Recouvrement végétal et états de la surface du sol

1.2.1. Dans la première expérimentation

Etant installée sur toute la longueur du versant, cette station présente des taux de recouvrement végétal variables. En effet, comme le montre le tableau (13), la végétation naturelle du versant est constituée d'alfa, en majorité, et de nombreuses autres espèces accompagnatrices. Le taux recouvrement global de la surface du sol présente deux maximums (60 et 70%) situés à 25 et à 55 mètres du haut du versant.

⁹ JP DELHOUME (1985): Ruisselement et Erosion en zone de piémont de Tunisie centrale (Djebel Semmanat). Résultats de 1976 à 1981. F-S 224, Direction des Sols (Tunis)

De 65 à 115 mètres, le niveau de recouvrement varie peu puisqu'il se situe entre 40 et 50% alors qu'à partir de 120 mètres, il devient très faible (< 10%).

L'état de la surface du sol dans les 20 premiers mètres de l'amont montre la prédominance des éléments grossiers (graviers, cailloux, quelques blocs) et des affleurements de croûte calcaire. Ensuite, surtout à partir de 40 mètres, le sol nu constitue la majeure partie de la surface, et sa proportion augmente en allant vers l'aval où elle atteint 100% dans la zone cultivée. La litière est particulièrement abondante là où la végétation est la plus développée, c.à.d vers 25 à 55 mètres du haut du versant.

1.2.2. Dans la deuxième expérimentation

1.2.2.1. La petite parcelle témoin

La végétation naturelle dans cette parcelle est largement dominée par l'alfa (*stipa tenacissima*) accompagnée d'autres espèces dont l'armoïse blanche. Le recouvrement global de la végétation, toutes strates confondues, s'élève à plus de 60%. L'état de la surface du sol dans les 8 premiers mètres à partir de l'amont est constitué par les éléments grossiers (graviers, cailloux et pierres). Ensuite, à partir de 10 mètres apparaissent quelques plages de gravillons qui constituent une zone de transition instable vers le sol nu. Celui-ci occupe la majeure partie de la surface intercalaire et sa proportion augmente en allant vers l'aval. La litière est surtout abondante là où la végétation est la plus développée, c.à.d autour des touffes d'alfa.

1.2.2.2. Dans la petite parcelle traitée : Cette parcelle est constituée d'une jachère. La surface est constituée de 75% d'éléments grossiers, 20% de sol nu et 5% de litière.

1.2.2.3. Dans la grande parcelle : La végétation naturelle dans cette parcelle est identique à celle de la petite parcelle témoin. Elle est constituée en majorité d'alfa (*stipa tenacissima*) accompagnée d'autres espèces dont l'armoïse blanche. Le recouvrement global de la végétation, toutes strates confondues, s'élève à plus de 60%. Les 20 premiers mètres de l'amont sont constitués par les éléments grossiers (graviers, cailloux et blocs). Ensuite, à partir de 30 mètres apparaissent quelques plages de gravillons qui constituent une zone de transition instable vers le sol nu. Celui-ci occupe la majeure partie de la surface intercalaire et sa proportion augmente en allant vers l'aval. La litière est surtout abondante là où la végétation est la plus développée, c.à.d autour des touffes d'alfa.

Tableau 13 : Formations superficielles, sols, recouvrement végétal et état de la surface du sol du versant d'érosion ou de l'accordement (site des parcelles de la zone de piémont)

Unité phys.	Matériau	Sols	Recouvrement végétal	Etat de la surface du sol
Rebord du Glacis	Formation alluviale hétérogène épaisse (2 mètres) rayant le sable géologique sableux. La surface du glacis est protégée par une croûte calcaire compacte datant du Quaternaire moyen	Sol développé dans une épaisse formation alluviale épaisse apparaissant sous un recouvrement colluvial en surface. Texture sabio-limoneuse dans l'horizon supérieur jusqu'à 40cm de profondeur. Faible présence d'argile. La teneur en M O dans les premiers 40cm est comprise entre 4 et 13%.	La végétation naturelle, le long du versant est largement dominée par l'aita (slpa tenacissima) accompagnée de nombreuses autres espèces. Le recouvrement global de la végétation, toutes strates confondues, présente deux maximums (60 à 70%) situés à 25 et à 55 mètres à partir du haut du versant. De 65 à 115 mètres, le taux de recouvrement varie peu entre 40 et 50% alors qu'à partir de 120 mètres, il devient très faible (moins de 10%).	Les 20 premiers mètres de l'amont sont constitués par les éléments grossiers (graviers, cailloux, quelques blocs) et des affleurements de croûte calcaire qui occupent la surface du sol. Ensuite, surtout à partir de 40 mètres, le sol nu constitue la majeure partie de la surface et sa proportion augmente en allant vers l'aval, où elle atteint 100% dans la zone cultivée. La lièbre est surtout abondante là où la végétation est la plus développée, c.à.d entre 25 et 55 mètres du haut du versant.
Amont du Versant	Recouvrement colluvial Meuble et érodée reposant sur le substrat géologique sableux	Sol peu évolué d'érosion, régosolique développé dans le matériau sableux géologique avec un recouvrement colluvial en surface. Texture sabio-limoneuse dans l'horizon supérieur jusqu'à 40cm de profondeur. Faible présence d'argile. La teneur en M O dans les premiers 40cm est comprise entre 2,3 et 1,5%.		
Mi-versant	Recouvrement colluvial meuble et érodée reposant sur le substrat géologique sableux	Sol carbonaté, évolué, à profil calcaire très différencié, développé dans le sable géologique sous-jacent. Texture sabio-limoneuse dans l'horizon supérieur jusqu'à 40cm de profondeur. Faible présence d'argile. La teneur en M O dans les premiers 40cm est comprise entre 2,3 et 1,5%.		
Bas du versant	Formation colluviale reposant sur un matériau alluvial, d'âge plus récent. La redistribution du calcaire est limitée (absence de croûte-encroûtement)	Sol isorhumique développé dans un matériau colluvial en surface reposant sur matériau alluvial. Texture sabio-limoneuse dans l'horizon supérieur jusqu'à 40cm de profondeur. Faible présence d'argile. La teneur en M O dans les premiers 40cm est comprise 3 et 2,5%.		

2. LES DISPOSITIFS ET LES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

2.1. LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

2.1.1. Dans la première expérimentation

2.1.1.1. La parcelle "Toposéquence"

La première station de la zone de piémont est constituée de deux parcelles situées l'une à côté de l'autre. La grande parcelle occupe la totalité d'une topo - séquence, à partir de l'amont du versant, au contact de la croûte calcaire qui scelle la surface du glacis, sur environ 150 mètres de long. Elle développe une topographie concave, à différentes pentes et se présente, de l'amont vers l'aval, en deux zones : la première est couverte de végétation et la deuxième est cultivable. Les caractéristiques de cette parcelle sont récapitulées dans le tableau (14) ci dessous.

Tableau 14 : Caractéristiques de la parcelle "Toposéquence"

Localisation	Boufaroua, piémont sud-est (D), Semmama)
Coordonnées (X,Y)	X= 7° 94 Y= 39° 17
Altitude en mètre	675 ±20 mètres
Orientation	Nord-est - Sud-est
Longueur en mètre	150
Largeur en mètre	23
Superficie en m ²	3330
Pente en %	Amont(21%), zone médiane(11,5%), aval(5,5%)
Fosse	Long = 4.50 m, larg = 2.80 m et Profond = 2 m
Equipements	3 pluviomètres, 1 pluviographe et une station météorologique

2.1.1.2. La petite parcelle "Amont"

Elle a occupé la partie amont du versant, là où la pente est la plus forte (22,5%) et elle a été installée sur un sol peu évolué d'érosion, régosolique développé dans le matériau sableux géologique avec un recouvrement colluvial meuble, en surface. Le tableau (15) ci dessous résume les caractéristiques de cette parcelle

Tableau 15 : Caractéristiques de la petite parcelle "Amont"

Localisation	Boufaroua, piémont sud-est (D), Semmama)
Coordonnées (X,Y)	X= 7° 94 Y= 39° 17
Altitude en mètre	675 ±20 mètres
Orientation	Nord-est - Sud-est
Longueur en mètre	30
Largeur en mètre	9
Superficie en m ²	300
Pente en %	Régulière de 22%
Fosse	Long = 4.50 m, larg = 1.65 m et Profond = 2 m
Equipements	3 pluviomètres, 1 pluviographe et une station météorologique

2.1.2. Dans la deuxième expérimentation

2.1.2.1. Les deux petites parcelles "Témoin" et "Traitée"

La station [SII] est constituée de deux parcelles identiques du point de vue de la superficie et de la valeur de la pente mais qui diffèrent par le mode d'occupation et l'état de surface du sol. Le tableau ci après en récapitule les principales caractéristiques

Tableau 16. Caractéristiques des parcelles[S2]

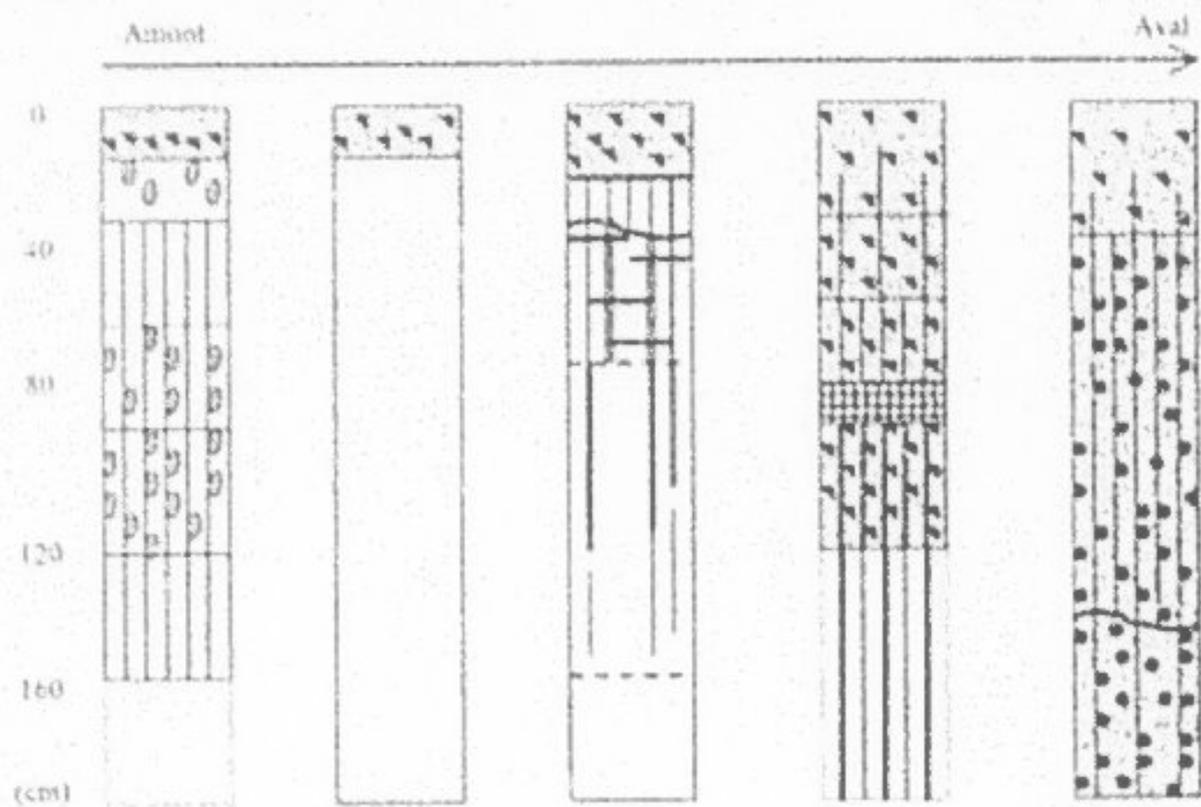
Localisation	Boufaroua (prémont sud-est)
Coordonnées (X, Y)	X= 7° 38, Y= 39° 21
Altitude en mètre	677
Longueur en mètre	30
Largeur en mètre	10
Superficie en m ²	345
Pente en %	5
Fosse(L, l, profondeur)	L= 3,96m, l= 1,96m, P= 2m
Equipements	1pluviomètre et 1pluviographe

2.1.2.2. La grande parcelle

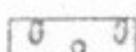
La station [SIII] est constituée de deux parcelles. Une grande parcelle mise en défens et couverte de végétation qui développe une topographie concave et une pente régulière de 5%. Elle ne diffère de la petite parcelle témoin de la station [S2], qui est en même temps la deuxième parcelle de la station S3], que par la superficie et la longueur de la pente. Le tableau ci après récapitule les principales caractéristiques des deux parcelles

Tableau 17. Caractéristiques de la grande parcelle

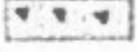
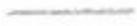
Localisation	Boufaroua (prémont sud-est)
Coordonnées (X, Y)	X= 7° 38, Y= 39° 21
Altitude en mètre	677
Longueur en mètre	122
Largeur en mètre	23
Superficie en m ²	2806
Pente en %	5
Fosse(L, l, profondeur)	L= 4,51m, l=2,47m, P=1,7m
Equipements	1pluviomètre et 1pluviographe



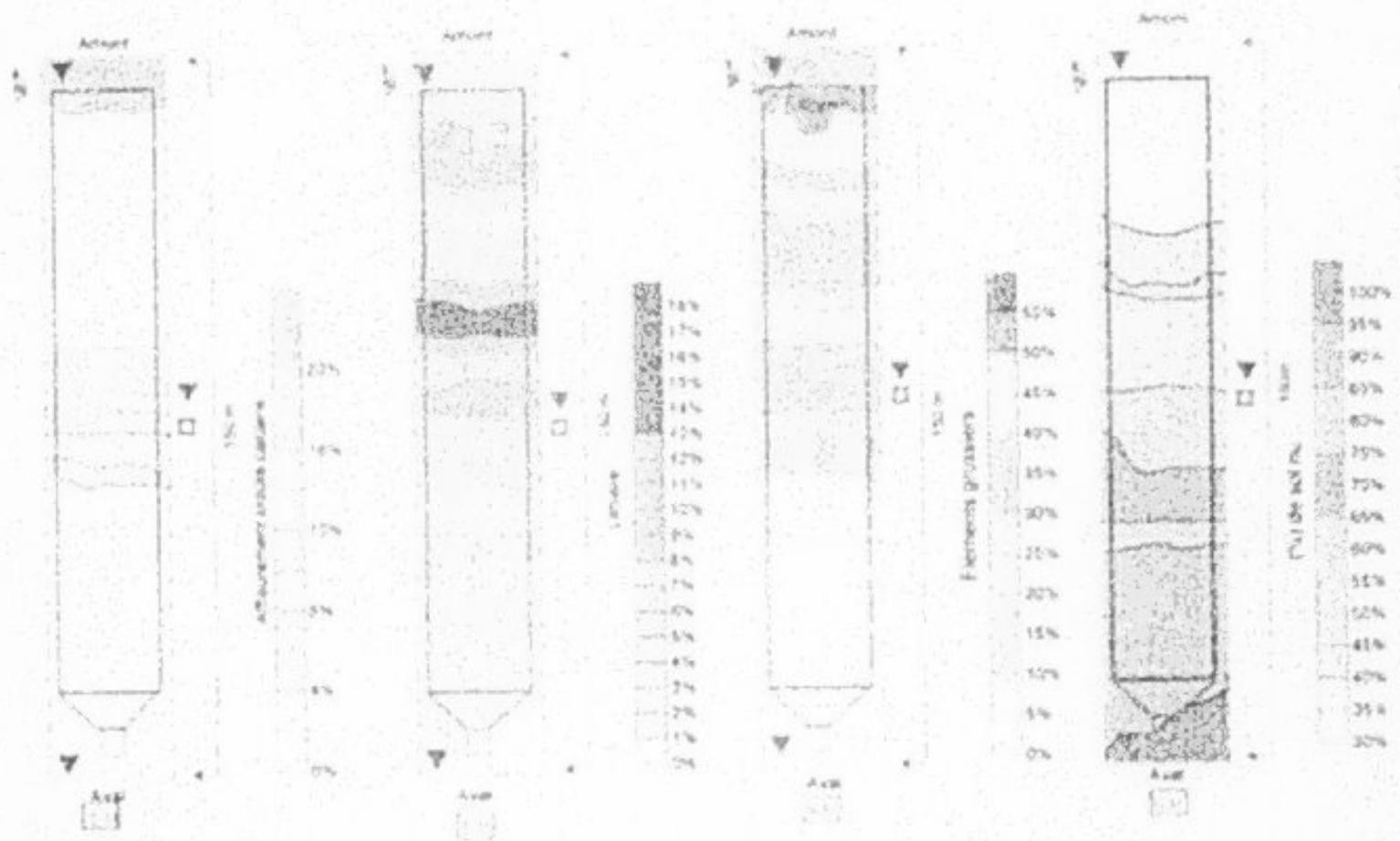
Accumulations calcaires

-  Croûte calcaire
-  Encroûtement
-  Accumulation diffuse
-  Anias, Tâches

Matériaux

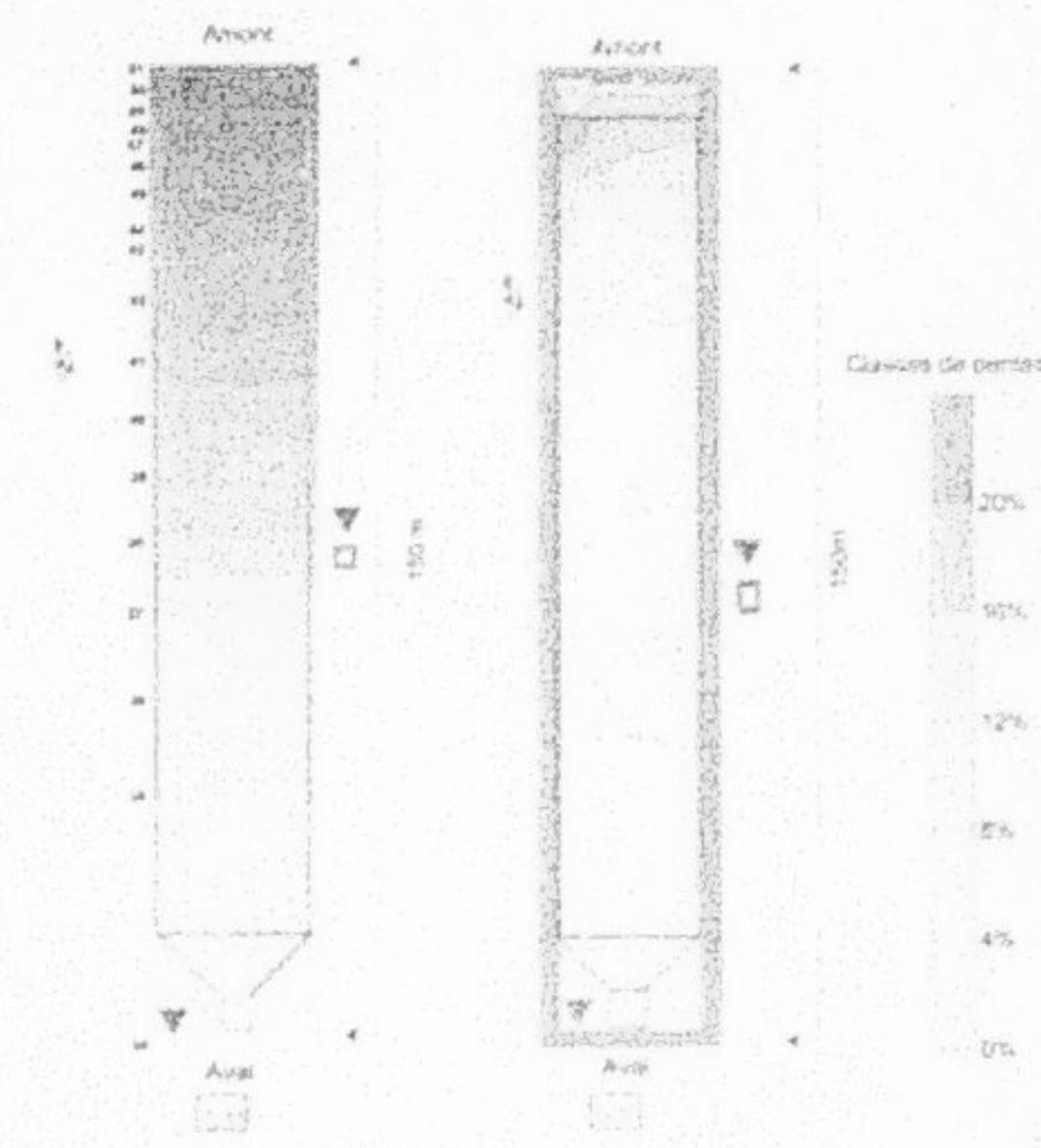
-  Colluvions
-  Alluvions
-  Sables mio - pliocènes
-  Transition nette
-  T. distincte & régulière
-  T. nette et ondulée

PROFILS PÉDOLOGIQUES SCHEMATIQUE DEL'AMONT VERS L'AVAL DE LA TOPOSEQUENCE (d'après Delhoume JP, 1985)



- ▼ Pneumètre
- Pneumatographe
- ▨ Sillon biceps

Coupe longitudinale de l'état de la surface
du sol dans la parcelle Toposéquence



- ▼ Pneumètre
- Pluviographe
- 0 10 20 30 40 50 60 70 80 Echelle Mètres
- 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
- Courbes de niveau et altitude en m

Hypsométrie et classes de pentes dans la parcelle Toposequence

2.1. LES PROTOCOLE DES MESURES

2.2.1. Dans la première expérimentation

Tableau 18. Occupation du sol et interventions dans les deux parcelles

Période	Occupation et traitements	
	Grande parcelle	Pente parcelle
1978 - 1981	<p>La parcelle se présente en deux zones. La première zone, qui occupe la majeure partie de la topo-séquence, a été mise défens durant toute l'expérimentation, alors que la deuxième zone, cultivable, a subi deux labours dans le sens de la pente.</p> <p>Mesure des quantités d'eau ruisselées et de transport solide en suspension lors de chaque événement pluvieux ayant provoqué un ruissellement.</p> <p>Des mesures de l'humidité du sol ont été effectuées durant les trois premières années de l'expérimentation.</p>	<p>Cette parcelle occupe la partie amont de la topo-séquence. Elle a été mise en défens durant toute l'expérimentation, sans aucune autre intervention.</p>

2.2.2. Dans la deuxième expérimentation

2.2.2.1. Dans les deux petites parcelles "Témoin et Traitée"

Tableau 19. Occupation du sol et interventions dans les deux petites parcelles

Période	Occupation et traitements	
	Parcelle traitée	Parcelle témoin
80-87	Défrichée	Elle est occupée par une végétation alfatière en dominance (<i>stipa tenacissima</i>) accompagnées de nombreuses autres espèces et mise en défens depuis son installation en 1980/81. Le recouvrement global de la végétation, toutes strates confondues est supérieure à 60%.
87-88	Labour sens de la pente et	
88-89	Jachère sens de la pente	
89-90	Jachère sens de la pente	
90-91	Labour sens de la pente	
91-92	Jachère sens de la pente	
92-93	Labour sens de la pente	
93-94	Jachère sens de la pente	
94-95	Jachère sens de la pente	
95-96	Labour contre la pente et blé	
96-2000	Jachère contre la pente	

2.2.2.2. Dans la grande parcelle¹⁰

Tableau 20. Interventions et occupation du sol dans la grande parcelle

Période	Interventions	Occupation
1990 - 91	Mise en défens	Elle est occupée par une végétation alfatière en dominance (<i>stipa tenacissima</i>) accompagnées de nombreuses autres espèces et mise en défens depuis son installation en 1980/81. Le recouvrement global de la végétation, toutes strates confondues est supérieure à 60%.
1991 - 92	Recépée	
1992 - 93	Pâturée	
1993 - 2000	Mise en défens	

¹⁰ La deuxième parcelle qui constitue la station [S1] est en fait la petite parcelle témoin de la station [S2] qui présente les mêmes caractéristiques de végétation, d'états de surface du sol et de valeur de la pente que la grande parcelle. Elle n'en diffère que par la longueur de la pente.

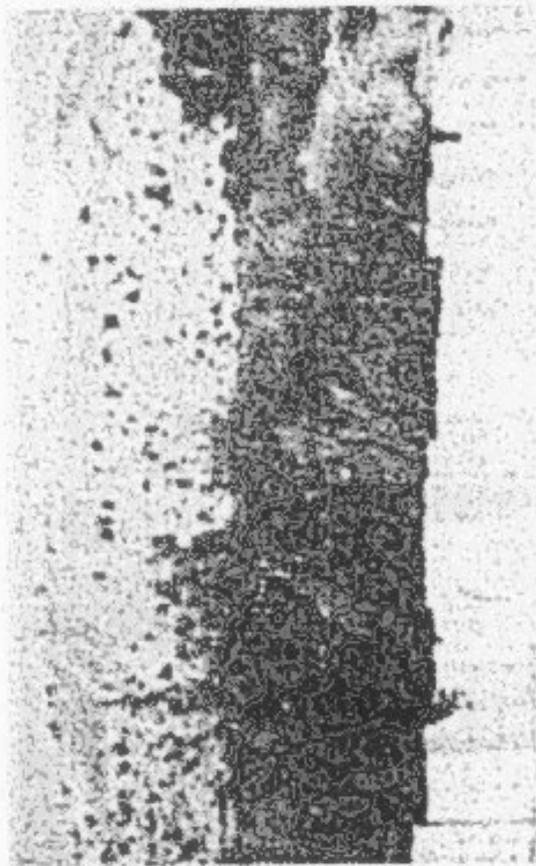


Photo 1 : La parcelle de la zone humide et son environnement



Photo 2 : Etat de la couverture végétale et sondages en pierres sèches

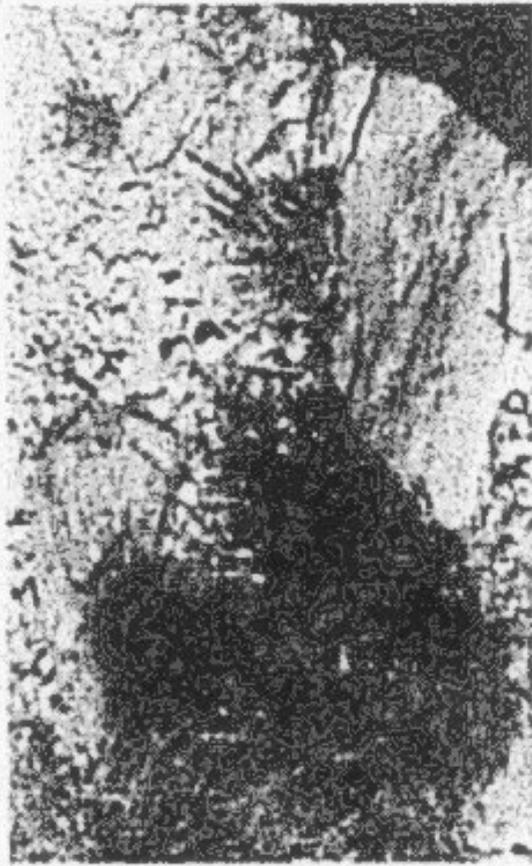


Photo 3 : Etat de la surface du sol de la parcelle (1)



Photo 4 : Etat de la surface du sol de la parcelle (2)



Photo 5 : Coupe transversale dans la surface structurale

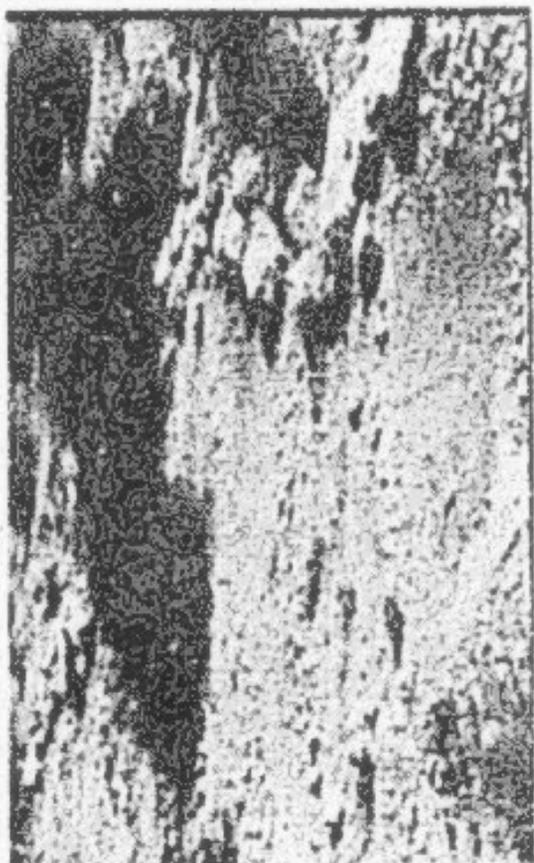


Photo 6 : Aménagement grillé érouf, cordons en pierres sèches

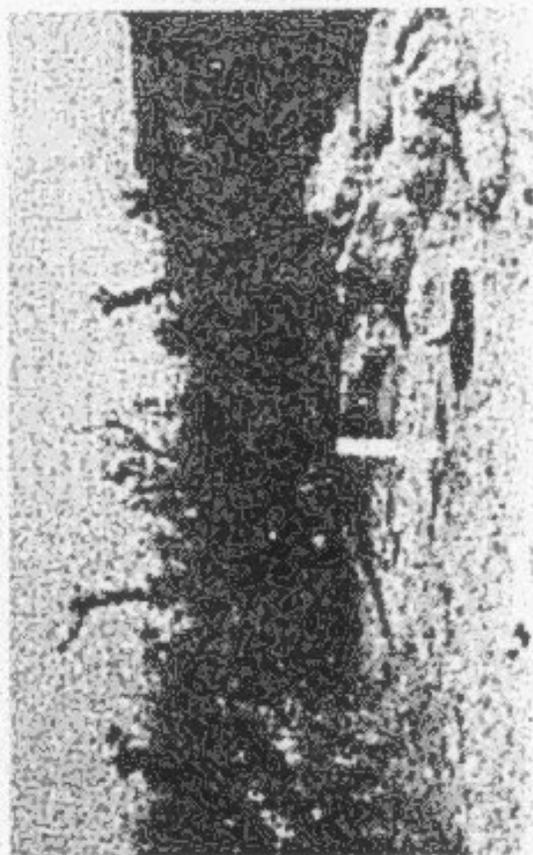


Photo 7 : Accumulation d'éléments fins derrière les cordons



Photo 8 : Vue d'ensemble de la station S11, site de Bonfarva



Photo 9 : La petite parcelle témoin, station SII



Photo 10 : La petite parcelle traitée, station SII



Photo 11 : Etat de la surface du sol, petite parcelle témoin



Photo 12 : Etat de la surface du sol, petite parcelle traitée

DEUXIEME PARTIE : LES FACTEURS DE L'EROSION HYDRIQUE

Nous réservons cette partie à l'étude des facteurs climatiques, notamment la pluie et la sécheresse qui conditionnent les processus d'érosion, et des facteurs socio-économiques qui accélèrent les processus et les mécanismes du phénomène.

CHAPITRE 3 : LES FACTEURS CLIMATIQUES

Avant d'aborder l'étude proprement dite de la variabilité et de l'irrégularité des pluies dans la zone de piémont du djebel Semmama, il est important de situer la pluviométrie de cette zone dans le contexte pluviométrique général de la région. En effet, l'étude de la pluviométrie de Kasserine et de Sbeitla situées respectivement au sud ouest et au sud est de la zone de piémont¹¹ a pu montrer, par le cumul des écarts pluviométriques par rapport à la moyenne, l'existence de deux périodes distinctes valables à l'échelle régionale : l'une de 1935-36 à 1955-56 considérée comme relativement sèche, l'autre de 1955-56 à 1975-76 comme relativement humide.

La question à laquelle nous devons répondre maintenant est celle de savoir, en utilisant la même approche, quelle serait la tendance de 1975-76 à nos jours ?

L'analyse des enregistrements pluviométriques dans la zone de Boufaroua (piémont sud sud - est du djebel Semmama) entre 1975 et 1997 a permis de caractériser un régime pluviométrique calqué sur celui de la région dans son ensemble. Il ne présente pas de saison humide nette. Nous pouvons, en revanche, distinguer une période plus ou moins longue où il peut pleuvoir. Elle s'étale sur dix mois, commençant à la deuxième moitié du mois d'août et finissant au cours de la première moitié du mois de juin. C'est à l'intérieur de cet intervalle que se manifestent le plus fréquemment les manifestations de l'action érosive des pluies, et qui va constituer notre période de référence pour l'analyse que nous allons adopter dans ce travail. Par contre, nous pouvons parler de saison franchement sèche, comme celle de l'été, qui est présente quel que soit le niveau de pluviosité d'une année à l'autre.

Le cumul des écarts par rapport à la moyenne des deux décennies s'élève à 65,4mm permettant la mise en évidence du caractère relativement humide de la pluviosité au cours de cette troisième période.

Cette tendance va t - elle être confirmée ou nuancée à l'échelle décennale et saisonnière ?

Tableau 21 : Cumul des écarts par rapport aux moyennes décennales (1975 - 1995)

Période	Ecart cumulé en mm		Ecart cumulé en mm			
	Décennie 1	Décennie 2	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Décennie 1	-96,9		122,7	-55,9	17,6	-152,7
Décennie 2		162,3	-93,5	46,7	69,4	141,2
Période (75-95)		65,4	29,4	-9,2	87,0	-12,3

A l'échelle saisonnière, le cumul des écarts par rapport à la moyenne révèle des variations d'une décennie à l'autre qui peuvent contrarier la tendance des deux décennies réunies. Ceci n'est cependant pas le cas pour l'automne, qui présente un cumul des écarts à la moyenne montrant un excédent de l'ordre de 29,4mm, en conformité avec la tendance générale des deux décennies (65,4).

¹¹ A. LaSarguet (1981) in Dehouane JP (1985) : "Ruissellement et Erosion en zone de piémont de Tunisie Centrale (Djebel Semmama)". E-S 224, Direction des sols - Ministère de l'Agriculture.

Toutefois, si l'on prend chaque décennie à part, nous constatons que le cumul des écarts à la moyenne pour l'automne permet de distinguer une première décennie (1975/76 - 1984/85) excédentaire permettant un cumul de 122,7mm, grâce notamment à trois saisons fortement excédentaires (75/76, 76/77 et 81/82) et une deuxième décennie (1985/86 - 1994/95) très largement déficitaire engendrant un cumul négatif de -93,5mm consécutif à l'avènement de quatre saisons particulièrement sèches ou fortement déficitaires (85/86, 88/89, 91/92 et 94/95).

Concernant l'hiver, le cumul des écarts à la moyenne permet de constater, pour les deux dernières décennies, un léger déficit de 9,2mm indiquant le caractère moyen du comportement de cette saison. Cependant, si nous considérons chaque décennie à part, nous constatons que la première décennie enregistre un fort déficit de l'ordre de 55,9mm alors que la deuxième décennie est largement excédentaire permettant un écart cumulé de 46,7mm.

La distribution pluviométrique décennale du printemps permet la mise en évidence d'une tendance moyenne à relativement excédentaire du comportement de cette saison. Cette tendance est amplement vérifiée par le cumul des écarts à la moyenne qui se situe à 87mm pour les deux décennies avec quand même une nette différence entre les écarts cumulés de la première et de la deuxième décennie soit respectivement 17,6mm et 69,4mm.

Pour l'été, le cumul des écarts par rapport à la moyenne montre une évolution légèrement déficitaire de la pluviométrie de cette saison au cours des deux décennies précédentes. Cependant, si nous considérons chaque décennie à part, nous constatons que la première décennie a été fortement déficitaire puisque l'écart cumulé se situe à -152,7mm. Ce comportement a été influencé par l'occurrence de sept étés fortement déficitaires. La pluviométrie de la deuxième décennie a enregistré un fort excédent puisque le cumul des écarts par rapport à la moyenne s'est situé à 141,2mm suite à l'occurrence de trois saisons "exceptionnellement" pluvieuses qui ont représenté environ 60% de la pluviométrie décennale et 38,7% de la pluviométrie totale des deux décennies.

Cette analyse a permis de rendre compte, déjà à ce pas de temps, de la variabilité de la pluviométrie puisque d'une décennie à l'autre, la distribution des valeurs aussi bien annuelles que saisonnières révèle des tendances controversées exception faite du printemps, qui dégage une tendance à la stabilité perceptible tant au niveau décennale que pluridécennale puisque les valeurs des écarts par rapport à la moyenne décennale ont été toujours positifs pour cette saison. Cette évolution permet également de dégager un "dualisme" caractéristique du régime pluviométrique de cette zone à savoir l'importance, à long terme, des pluies de printemps et des pluies d'automne.

Allons - nous pouvoir préciser, à des pas de temps plus courts, à la fois cette variabilité et ce caractère bi - modal du régime pluviométrique de la zone ?

I. ETUDE DE LA VARIABILITE ET DE L'IRREGULARITE DES PLUIES

A l'échelle micro régionale, la répartition moyenne des pluies montre une variation importante en fonction de la position en altitude (versant - piémont). Cependant, les valeurs de précipitations moyennes sont insuffisantes pour caractériser l'agressivité du climat car l'érosion hydrique semble surtout en relation avec les variabilités annuelles et saisonnières, et surtout avec l'intensité des pluies.

1. REPARTITION ET FREQUENCE DES TOTAUX PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

La figure (1) qui suit montre l'allure des variations inter annuelles de la pluviosité à Boufaroua de 1975 à 2000. On y distingue les tendances de la pluviométrie durant les deux décennies précédentes et particulièrement l'importance relative de la pluviosité depuis 1988. Cette allure permet aussi de relever les fortes oscillations autour de la moyenne, ce qui témoigne d'une grande variabilité temporelle des pluies. Les valeurs ont oscillés entre 118,7mm et 498mm. Ces oscillations permettent de définir une distribution qui se maintient, pour la plupart du temps, au dessous ou proche de la moyenne. Seules quelques années éparses, coïncidant avec des pluviosités exceptionnelles, enregistrent des totaux élevés.

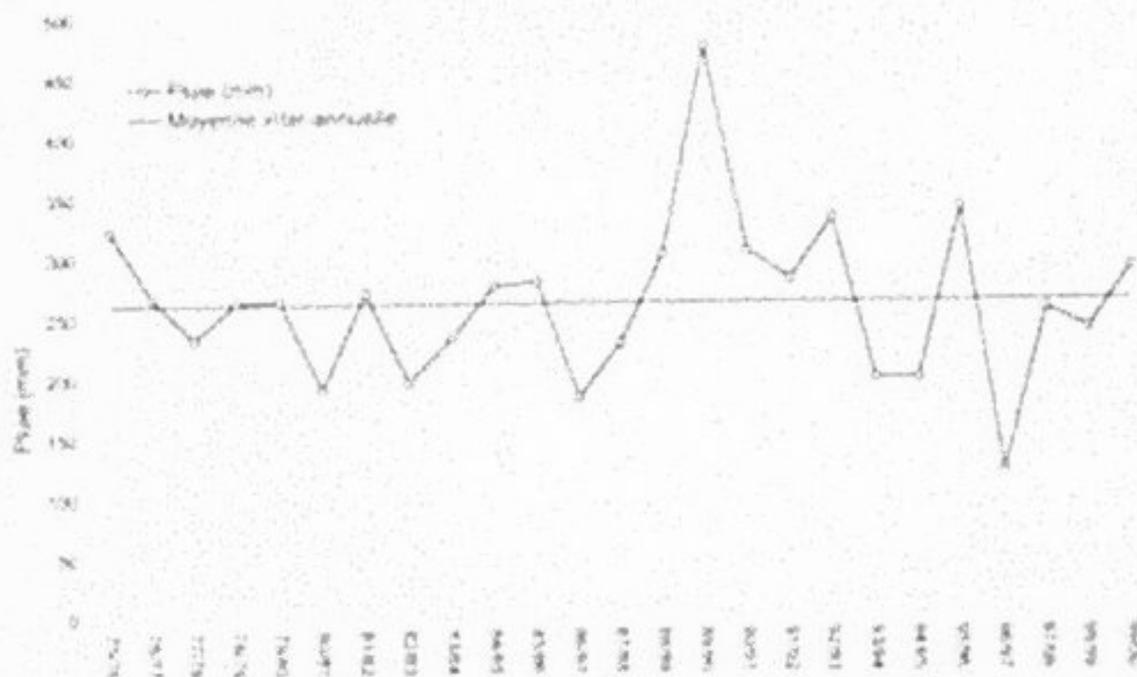


Figure 2. Variation des pluies annuelles par rapport à la moyenne interannuelle à Boufaroua (1975 - 2000)

L'ampleur des oscillations se traduit également par l'écart type qui varie dans cette région de 70mm à plus de 100mm comme le montre le tableau (22). Cependant, nous pouvons noter une relative atténuation des variations des totaux pluviométriques dans la zone de piémont qui, bien qu'importantes, n'atteignent pas les valeurs de la plaine (kasserine) particulièrement au niveau de l'écart type et du coefficient de variation.

Tableau 22 : Totaux pluviométriques annuels (mm)

	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	Ecart Type	Coëff. Variat.
Boufaroua	118.7	496.4	265.3	262.1	76.2	0.29
Kasserine ⁽²⁾	104.9	660.6	-	295.8	115.7	0.39

Cette évolution de la pluviométrie annuelle de la zone de piémont est exprimée autrement par la courbe des fréquences cumulées des pluies, représentées dans la figure (3). Celle-ci montre en effet, une allure relativement redressée dans sa partie inférieure du côté des valeurs se situant au dessous et autour de la moyenne. 30% de ces valeurs sont inférieures à la moyenne et environ 25% se trouvent au dessus, ce qui permet de décrire une distribution qui s'articule principalement autour des valeurs moyennes.

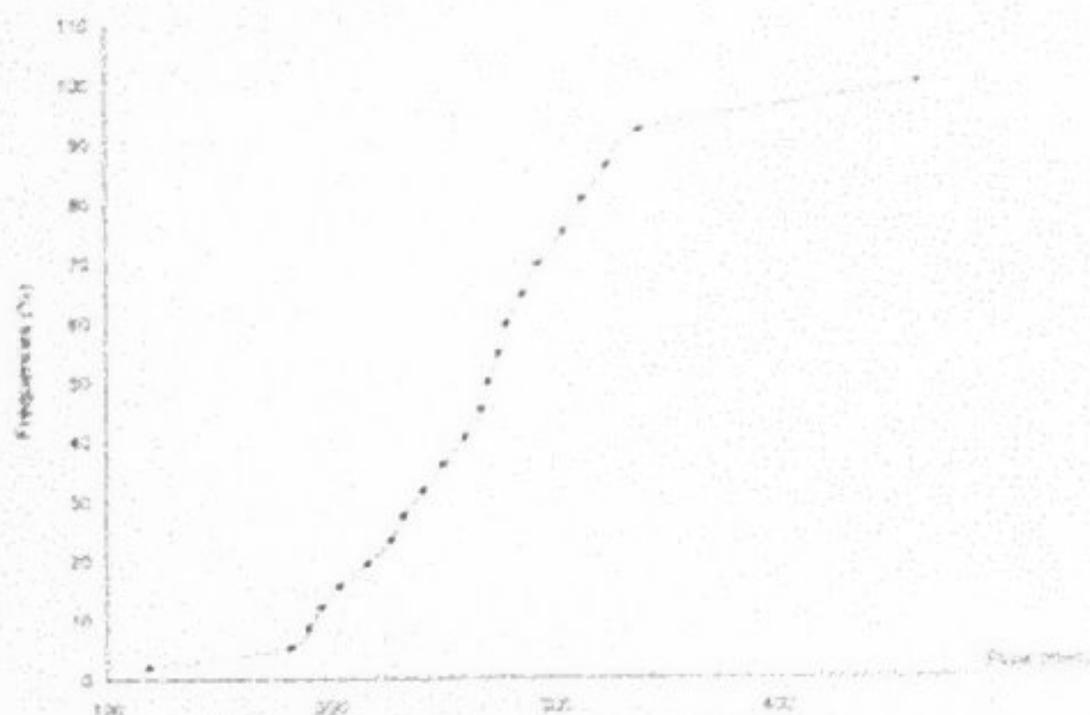


Figure 3 : Courbe des fréquences cumulées des pluies annuelles à Boufaroua (1975 - 1997)

En somme, cette analyse fréquentielle des totaux annuels si elle a permis de constater l'ampleur de l'irrégularité et de la variabilité des pluies, elle a également permis d'introduire des nuances au niveau de la zone de piémont. La question qui se pose à cette échelle d'analyse est d'abord celle de savoir si cette variabilité va se répercuter encore davantage au niveau des autres aspects de la pluviosité, notamment à l'échelle saisonnière et annuelle, et ensuite celle de vérifier s'il y a réellement une variabilité spécifique à la zone de piémont.

2. ANALYSE DES TOTAUX SAISONNIERS ET MENSUELS

2.1. Le régime pluviométrique saisonnier et mensuel

L'examen des moyennes pluviométriques saisonnières et mensuelles permet de définir un régime pluviométrique bi modal très net, laissant apparaître deux maxima et deux minima. Le premier maxima se place en automne et le deuxième au printemps. La pluviométrie du printemps prend ici la première place dans 50% des

⁽²⁾ Les données relatives à Kasserine sont tirées de la thèse de I. Houta "Climat et Bilan de l'Eau en Tunisie" Publication de l'Université de Tunis I, 1993.

années mais elle peut céder sa place à celle de l'automne dans 32% des années. Le maximum pluviométrique peut, bien que très rarement, se situer en hiver ou en été. Les minima se situent en hiver et en été, dans respectivement 60% et 27% des années. Celui de l'été est plus accusé que celui de l'hiver. Dans une année sur cinq le minimum pluviométrique peut se situer en automne.

Tableau 23 Contribution moyenne en (%) des pluies saisonnières dans la pluviométrie annuelle à Boufaroua (1975 - 1997)

	Automne	Hiver	Printemps	Été
Moyenne	28,1	19,6	33,8	18,5
Médiane	28,7	19,1	34,8	13,5
Ecart Type	10,7	8,9	12,1	13,1
C. Variation	0,38	0,45	0,36	0,71
Minimum	8,8	3,0	17,6	5,2
Maximum	47,7	42,7	55,8	53,0
Étend. Var	38,9	39,0	38,2	47,8

Le tableau (23) illustre la contribution moyenne en pourcentage des pluviomètres saisonnières dans la pluviométrie annuelle dans la zone de piémont entre 1975 et 1997. Ils confirment cette distribution bi modale de la pluviométrie en montrant la place prépondérante qu'occupent l'automne et le printemps dans le régime pluviométrique et soulignent par la même occasion la relative stabilité de cette répartition d'une année à l'autre.

À l'échelle mensuelle, un premier maximum pluviométrique a lieu en octobre et un deuxième en mars, un premier minimum en décembre ou en janvier et un deuxième, plus marqué, en juillet.

2.2. Analyse fréquentielle des régimes pluviométriques

Dans les hautes steppes, la fréquence d'apparition du régime moyen n'intéresse nulle part 50% des années. Cependant, nous constatons que dans la zone de piémont ce régime moyen caractérise plus de 50% des années. Ce sont l'automne et le printemps qui occupent le premier rang presque avec la même fréquence. Mais dans une année sur cinq le maximum pluviométrique peut se situer en hiver ou en été. Dans le reste des années, la bi modalité qui caractérise ce régime moyen peut glisser d'un couple de saisons à l'autre avec une prédominance pour les couples hiver - printemps et printemps - été dans environ 23% des années.

2.3. Répartition et fréquence des totaux pluviométriques saisonniers

Les courbes de la figure (4) relatives aux fréquences cumulées des pluies saisonnières présentent des allures différentes selon les saisons. Celle de l'automne a une allure dissymétrique : raide à la base du côté des faibles valeurs, 70% des automnes n'arrivent pas à totaliser 100mm. Vers le haut, la courbe devient étalée. La courbe de l'hiver est plus redressée à la base que celle de l'automne et moins étalée au sommet. 50% des hivers sont inférieurs à 50mm. Cependant, la base de la distribution laisse apparaître que les deux saisons ont des totaux pluviométriques faibles. La courbe de l'été présente une allure très redressée. Cette saison est caractérisée par une certaine stabilité de l'aridité. Les pluies sont peu fréquentes et d'apports très faibles. La valeur faible de l'écart type (33,0mm) témoigne de la faible dispersion des totaux pluviométriques.

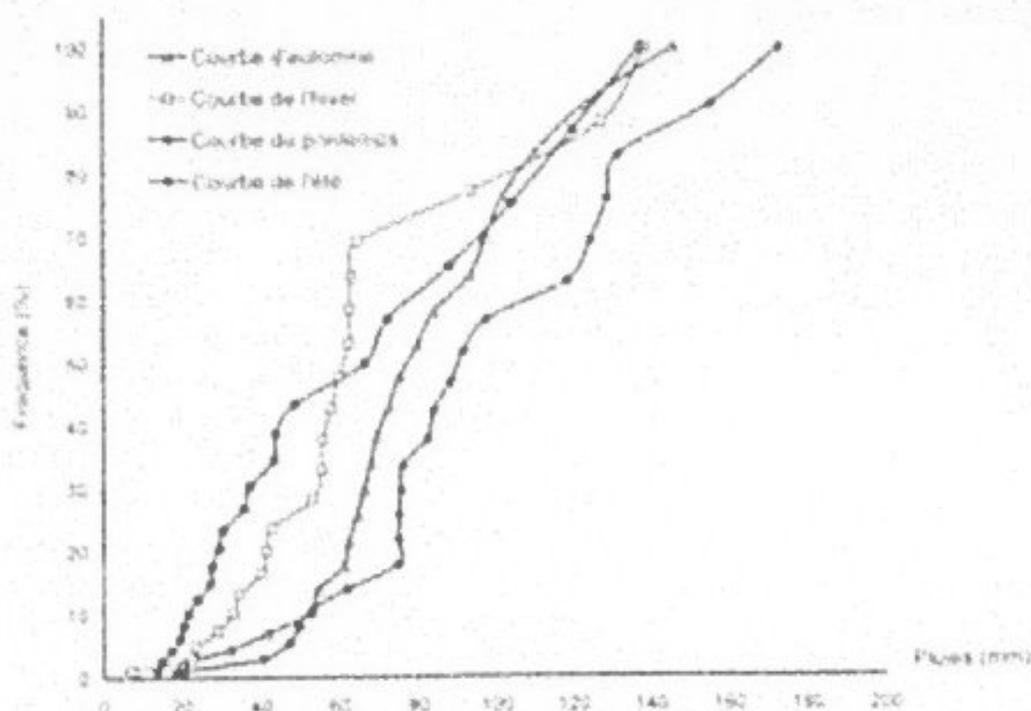


Figure 4. Fréquences cumulées des pluies saisonnières à Boufaroua (1975 - 1997)

La courbe relative au printemps se distingue nettement de celles des autres saisons. Elle est relativement plus évasée à la base que celle de l'automne, du côté des faibles valeurs. Elle dessine ensuite une allure plus redressée que celle de l'automne marquant ainsi l'importance des valeurs autour de la moyenne. Elle devient plus étalée au sommet soulignant l'existence de quelques totaux pluviométriques élevés.

Tableau 24. Totaux pluviométriques saisonniers (mm)

	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne	E.T	C.V
Automne	19.8	146.2	68.8	72.6	31.5	0.43
Hiver	5.9	138.9	54.4	53.4	33.1	0.62
Printemps	18.4	173.1	79.4	87.5	38.3	0.44
Eté	13.6	137.6	33.0	47.4	35.8	0.75

Les figures 5 à 8 présentent les courbes matérialisant la variation saisonnière de la pluviosité entre 1975 et 1997. Elles caractérisent une forte oscillation témoignant d'une grande variabilité. La courbe de l'automne (figure 5) montre que les fortes oscillations correspondent en gros soit, aux années dites " exceptionnelles " ou excédentaires¹¹¹ soit aux années de forte sécheresse ou fortement déficitaires. Elles exagèrent l'irrégularité des pluies automnales en représentant 32% des années au cours des deux dernières décennies.

¹¹¹ L'utilisation du terme "année exceptionnelle ou pluie exceptionnelle" peut soulever des controverses. C'est la raison pour laquelle nous préférons raisonner en termes d'excédent et de déficit en se situant par rapport à une moyenne plutôt que de recourir au terme d'exceptionnelle parce que ces événements pluviométriques font partie du comportement à long terme de la pluviosité de la zone puisqu'on les retrouve tout au long de "l'histoire" pluviométrique de la région.

Quoique les oscillations secondaires ne s'écartent pas beaucoup de la moyenne saisonnière, il n'en demeure pas moins qu'elles affirment le caractère persistant et permanent de l'irrégularité et de la variabilité de la pluviométrie de cette saison.

Ce caractère contrasté de la pluviométrie automnale est encore mis en évidence par l'étendue des variations qui a été de 69,1mm au cours de la première décennie¹³¹ et de 144,4mm au cours de la deuxième. Les oscillations de la première décennie ont été plutôt positives dans 60% des années alors que celles de la deuxième décennie ont été le plus souvent négatives¹³² caractérisant 70% des années. Les amplitudes des variations d'une année à l'autre ne sont pas forcément proportionnelles aux totaux pluviométriques annuels puisque le coefficient de corrélation entre les pluies annuelles et les pluies automnales n'est que de 0,31.

La courbe de la figure (6) montre que les fluctuations par rapport à la moyenne des pluies printanières sont dans une relative dépendance vis à vis de la pluviosité annuelle puisque le coefficient de corrélation qui exprime cette liaison atteint à peine 0,60. Les fortes oscillations constituent plus de 50% des amplitudes autour de la moyenne et l'étendue des variations a oscillé entre 74,8mm au cours de la première décennie et 154,7mm au cours de la deuxième décennie.

Les oscillations secondaires ne s'éloignent pas beaucoup de la moyenne saisonnière; elles sont assez proches les précédentes. Ceci indique non seulement l'irrégularité qui caractérise la pluviométrie de cette saison mais aussi son caractère excessif.

Le tableau (24) permet de constater que l'été et l'hiver enregistrent les coefficients de variation les plus élevés, soit respectivement 0,60 et 0,75. Nous constatons cependant que les valeurs minimales sont plus marquées en hiver qu'en été et que les valeurs maximales évoluent à des proportions équivalentes. Ce qui se traduit au niveau de l'étendue de la variation de ces valeurs par une étendue plus importante en hiver, soit 131,7mm contre 124,0mm.

La variation des totaux pluviométriques de l'hiver est en étroite relation avec l'évolution de la pluviosité inter annuelle, dégageant un coefficient de corrélation positif (0,80). En revanche, nous soulignons l'influence minime des totaux pluviométriques annuels sur la variation de la pluviométrie de l'été se traduisant par un faible coefficient de corrélation (0,42).

Ce qui permet de confirmer la stabilité¹³³ caractéristique de la période estivale, notamment le caractère très aléatoire de la pluviométrie d'une année à l'autre.

¹³¹ La première décennie commence avec le début des enregistrements dans cette zone, c'est à dire en 1975-76. Toutefois, elle s'insère parfaitement dans le découpage établi par les auteurs qui ont travaillé sur le climat de la région en général puisqu'ils situent la fin de la décennie d'avant à 1974-75.

¹³² Le caractère négatif ou positif des oscillations est évalué par rapport à la valeur moyenne de la pluviométrie saisonnière.

¹³³ Nous entendons par "stabilité" non pas le caractère peu variable de la pluviométrie de l'été mais son indépendance vis à vis de l'évolution de la pluviosité annuelle ainsi que la permanence et la persistance du caractère très aléatoire de cette saison et sa faible pluviosité qui se maintient le plus souvent très en dessous de la moyenne saisonnière, ce qui n'empêche pas pour autant l'occurrence de quelques totaux pluviométriques très élevés pouvant dépasser deux à trois fois cette moyenne et qui viennent ébranler cette stabilité et accentuer ainsi l'irrégularité de cette saison.

Au terme de cette analyse de la pluviométrie saisonnière, nous pouvons noter les caractères suivants qui définissent un régime très affecté par l'irrégularité pluviométrique :

- Une grande dispersion des totaux pluviométriques qui concerne toutes les saisons sans exception. Elles peuvent en effet enregistrer des minima très bas mais aussi des maxima très élevées. Ceci témoigne d'une répartition très contrastée dans le temps.
- La pluviosité du printemps est relativement moins affectée par la variabilité que celle de l'automne.
- Bien qu'étant le caractère commun à toutes les saisons, la variabilité des pluies paraît plus prononcée pour l'été et l'hiver avec des coefficients de variation qui s'élèvent à respectivement 0.75 et 0.62.
- Un décalage du maximum de variabilité saisonnière des pluies se traduisant par des coefficients de variation plus élevés en hiver et en été au lieu du printemps et de l'automne comme c'est le cas aux stations de Kasserine et de Sbeitla⁽⁶⁾.

Cette réorganisation de la variabilité saisonnière des pluies à Boufaroua pourrait - elle être liée à sa position altitudinale ? serait - elle en relation avec la différence dans la longueur des séries pluviométriques dans les deux types de stations (22 ans à Boufaroua et 65ans à Kasserine et Sbeitla) ? Ou encore permet - elle de nuancer l'évolution de la pluviométrie de la zone de piémont ?

⁽⁶⁾ Option citée

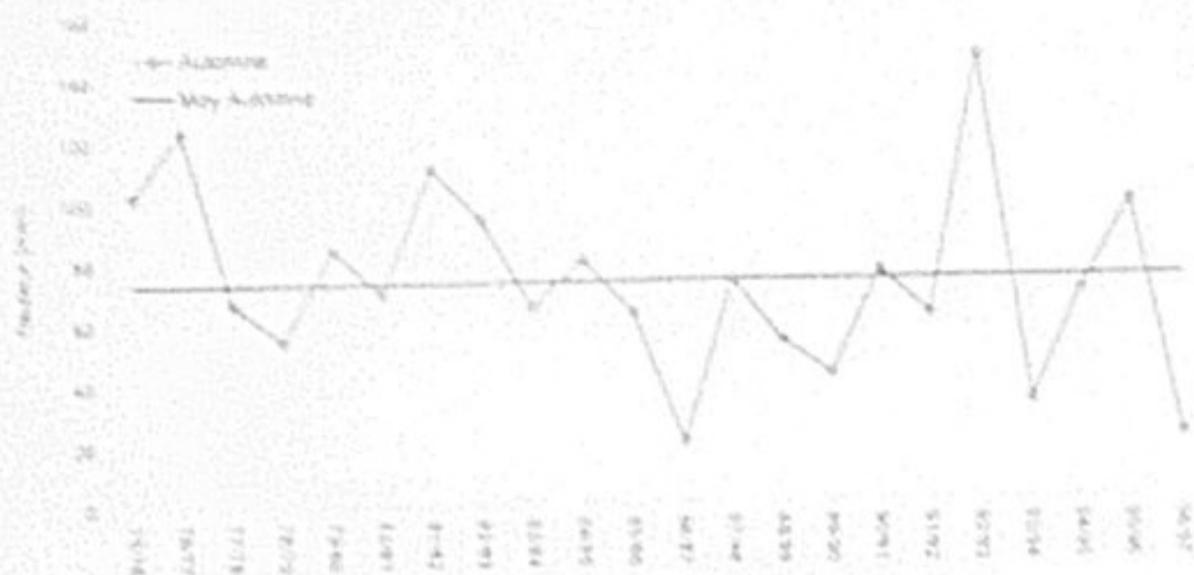


Figure 5. Variation de la pluviosité automnale par rapport à la moyenne saisonnière à Boufarouja (1975 - 1997)

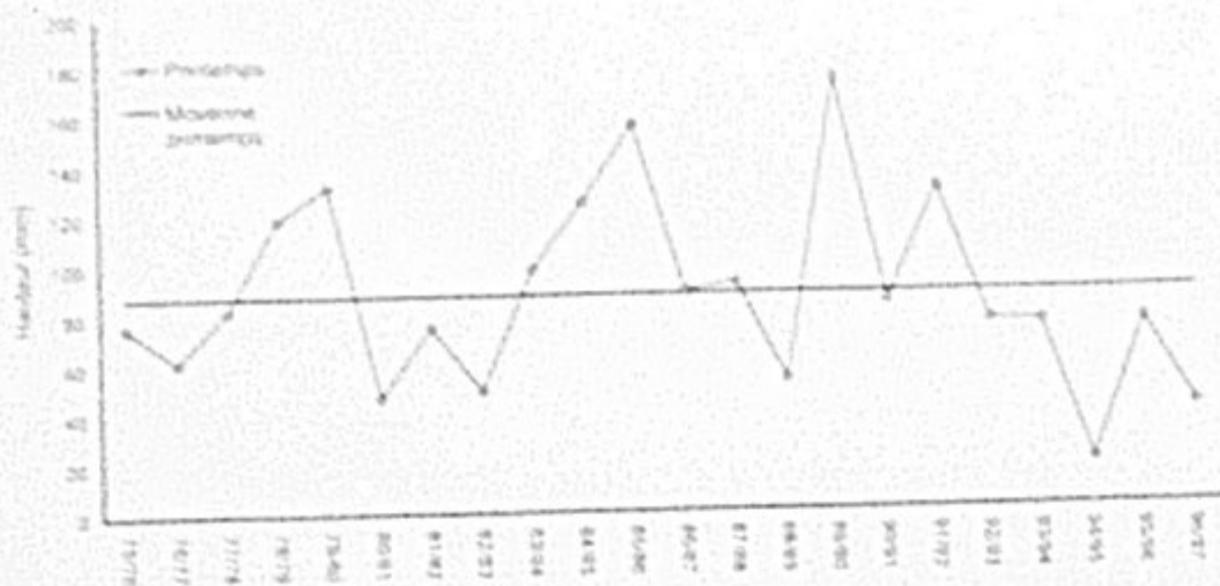


Figure 6. Variation de la pluviosité printanière par rapport à la moyenne saisonnière à Boufarouja (1975 - 1997)

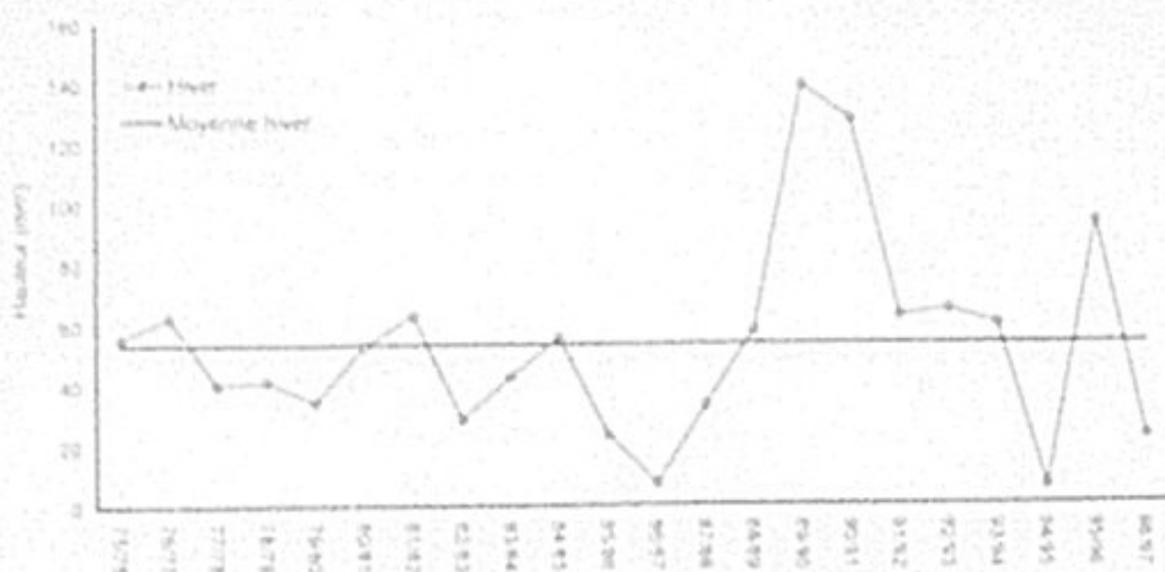


Figure 7. Variation de la pluviosité hivernale par rapport à la moyenne saisonnière à Boufarou (1975 - 1997)

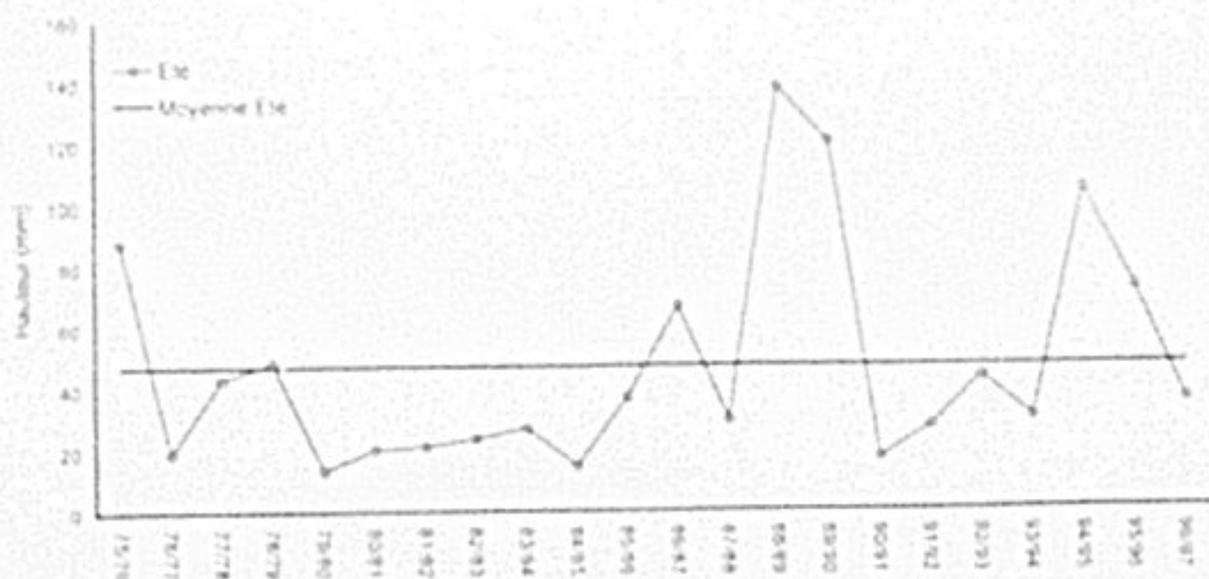


Figure 8. Variation de la pluviosité estivale par rapport à la moyenne saisonnière à Boufarou (1975 - 1997)

2.4. Répartition et fréquence des totaux pluviométriques mensuels

Les totaux mensuels se caractérisent par des distributions très dissymétriques. Les étendues de variation sont très importants d'un mois à l'autre. Tous les mois peuvent être totalement secs ou enregistrer des totaux très importants, comme le montre le tableau (25).

Tableau 25 : Variabilité de la pluviométrie mensuelle

Station	Mois	Min. Observé	Max. Observé
Sbeitia	Octobre	0	194.5
	Mars	0	124.4
Kasserine	Octobre	0	120.1
	Mars	0	123.2
Boufaroua	Octobre	0	63.0
	Mars	1.8	104.4

Les plus forts maximum mensuels se situent aussi bien en hiver qu'en été et au printemps. Ce sont d'abord les mois de janvier et de mars pour les saisons centrales, ensuite ceux d'août et de novembre pour les saisons intermédiaires qui détiennent les maximum les plus élevés. Les écarts entre les valeurs moyennes et les valeurs médianes, qui étaient très réduits dans les distributions saisonnières, deviennent assez importants à cette échelle d'analyse.

La figure (9) représente le régime mensuel moyen à Boufaroua. Il s'en dégage qu'aucun mois n'arrive à approcher, en moyenne, le seuil de 40mm de pluie sauf le mois de mars (37,8mm) et que 67% des mois ont une moyenne inférieure à 30mm et 33% se trouvent, en moyenne, au dessous du seuil de 20mm.

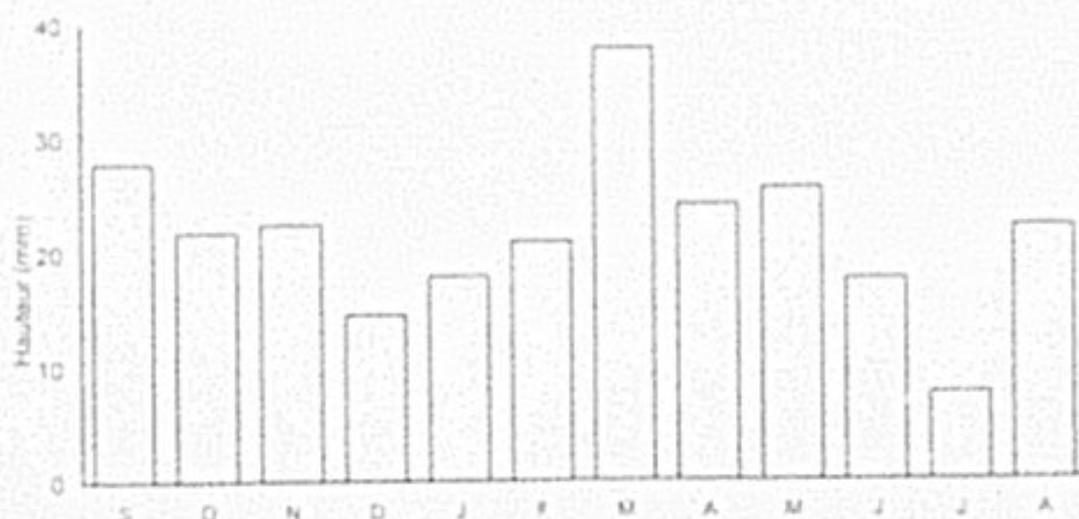


Figure 9 : Le régime pluviométrique mensuel moyen à Boufaroua (1975 - 1997)

Tous les mois sans exception sont marqués par une grande variabilité puisque les coefficients de variation ont tous des valeurs élevées et même très élevées. Plus de 41% des mois ont des taux qui dépassent l'unité.

Bien que développant une structure assez stable, les totaux mensuels de l'été et secondairement ceux de l'hiver dégagent les coefficients de variation, les plus élevés. Ceux ci varient de 1,0 à 1,5 en hiver et de 0,68 à 1,3 en été. Cependant, si l'on change d'échelle en considérant l'évolution de la pluviométrie mensuelle d'une année à l'autre, nous pouvons constater :

- Les moyennes et les régimes pluviométriques des mois de l'été et de l'hiver révèlent une constante faiblesse des totaux pluviométriques qui confirme une stabilité caractéristique de la pluviométrie de ces deux saisons. Le mois de juillet peut être totalement sec dans environ 30% des années.
- Les valeurs nulles des mois de l'automne sont aussi importantes que celles enregistrées durant les mois de l'été, ce qui accentue le caractère contrasté de cette saison.
- Dans tous les mois de l'année sans exception, les maximum des fréquences se situent en dessous du seuil de 20mm. Ils oscillent ainsi entre 40 et 70% des années pour les mois de l'automne et du printemps, et entre 70 et 95% pour les mois de l'hiver et de l'été. Cette faiblesse persistante de la pluviométrie mensuelle est davantage mise en évidence par l'importance des totaux inférieurs à 10mm puisque 50 à 70% de la pluviométrie de l'hiver et de l'été se situe en dessous de ce seuil.
- Au dessus du seuil de 50mm, les mois de l'automne et du printemps se distinguent par des fréquences relativement élevées qui peuvent se réaliser dans respectivement 30 et 45% des années.

D'autre part, nous constatons que les totaux mensuels se caractérisent par des distributions très dissymétriques. Les étendues de variation sont très importantes d'un mois à l'autre. Tous les mois peuvent être totalement secs ou enregistrer des totaux très importants. Les plus forts maximum mensuels se situent aussi bien en hiver qu'en été et au printemps. Ce sont d'abord les mois de janvier et de mars pour les saisons centrales, ensuite ceux d'août et de novembre pour les saisons intermédiaires qui détiennent les maximum les plus élevés. Les écarts entre les valeurs moyennes et les valeurs médianes, qui étaient très réduits dans les distributions saisonnières, deviennent assez importants à cette échelle d'analyse.

Tableau 26 : Distribution pluviométrique mensuelle à Boufaroua

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Minimum	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Maximum	79,8	63,0	97,7	65,6	128,2	56,7	107,4	66,2	74,7	61,4	40,2	110,7
Mediane	20,0	14,5	14,5	10,7	9,5	19,7	40,3	19,1	25,3	12,4	4,4	11,2
Moyenne	27,8	21,8	22,5	14,6	17,9	21,0	37,8	24,1	25,6	17,6	7,6	22,2
Ecart Type	20,4	19,1	24,9	15,9	27,2	16,5	29,3	20,2	17,2	15,3	10,1	27,4
C. Variat	0,73	0,87	1,10	1,0	1,51	0,78	0,77	0,83	0,67	0,88	1,32	1,32

Nous pouvons conclure cette analyse en affirmant, d'abord le caractère modeste de la pluviométrie saisonnière et mensuelle moyenne et, ensuite sa grande variabilité qui se traduit par une répartition contrastée dans le temps oscillant, selon les années, entre des totaux très faibles et des totaux très élevés. Cette analyse a laissé également apparaître une variabilité mensuelle encore plus accusée que celle observée à l'échelle saisonnière puisque tous les mois enregistrent des coefficients de variation très élevés.

L'histogramme de la figure (10) ci dessus permet de constater une grande dispersion des effectifs qui traduit la variabilité dans le temps de cette durée puisque les jours de pluie oscillent entre 30 et 73 jours à Boufaroua et entre 18 et 80 jours à kasserine. En revanche, la courbe de tendance de la figure (11) et les données du tableau (27) montrent une disproportionnalité entre l'ampleur de la variation des totaux pluviométriques annuels et le nombre de jours de pluies. Ceci est exprimé par la faible valeur du coefficient de détermination ainsi que par les chiffres présentés dans le tableau (27) qui montre bien le caractère quasi stable de l'évolution du nombre de jours de pluies à Boufaroua et sbeitla et ce, même, au cours des années à pluviosités dites exceptionnelles ou fortement excédentaires. Ainsi par exemple, les années 69/70 et 89/90, qui étaient excessivement pluvieuses, paraissent normales de par les nombres de leurs jours de pluie.

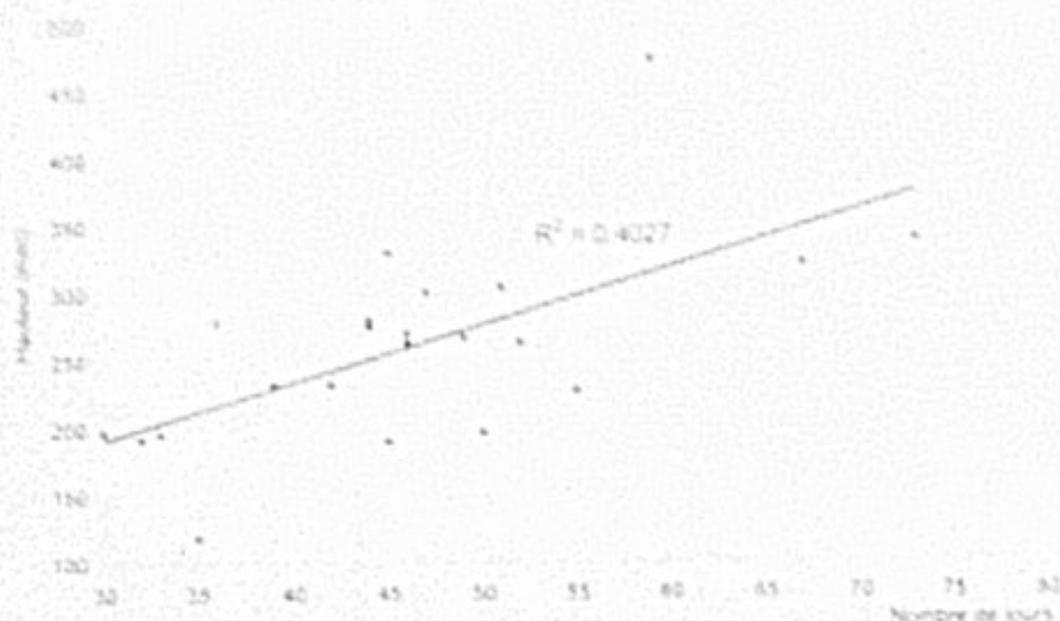


Figure 11 : Relation entre le nombre annuel de jours de pluie et la pluviométrie annuelle à Boufaroua (1975 - 1997)

Tableau 27 : Nombre de jours de pluie et pluviosité à Boufaroua¹²² et à Sbeitla

	Moy. annuelle (mm)	Nbre moyen de jours de pluie	Pluie 69/70 (mm)	Jours de pluie 69/70
Boufaroua	261.1	46	473.5	47
Sbeitla	308.0	47	779.0	48

Ces non proportionnalités entre les totaux pluviométriques annuels et les nombres annuels de jours de pluie nous incitent à approfondir l'analyse en essayant de comprendre la typologie des pluies, leur répartition séquentielle et son évolution dans le temps. Aussi allons nous aborder cet aspect par le biais de l'analyse fréquentielle des jours de pluie et des épisodes pluvieux à l'intérieur de la saison où il peut pleuvoir.

¹²² Pour Boufaroua, nous avons utilisé les données de 1989/90. Les données relatives à sbeitla sont tirées de la thèse de L.Henia, 1993. Option citée.

4. Répartition et fréquence des jours et des épisodes pluvieux

Comme nous pouvons le constater dans le tableau (28) et le graphique de la figure 12, la distribution mensuelle moyenne des jours de pluie et des épisodes pluvieux¹³ révèle d'abord le nombre peu important de jours de pluie et des épisodes pluvieux. Elle permet en second lieu de noter la constante infériorité numérique des épisodes pluvieux par rapport au nombre de jours de pluie. A l'échelle temporelle, cette répartition ne présente pas de variations significatives sauf celles qui sont en relation avec le caractère bi modal du régime pluviométrique de la zone.

Tableau 28 : Répartition mensuelle moyenne des jours et des épisodes pluvieux

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Nbre de jours	5,0	4,0	3,5	3,0	3,3	4,0	5,7	4,2	4,4	3,5	1,7	4,0
Nbre d'épisodes	3,0	2,7	2,3	2,3	2,0	2,6	3,0	3,0	3,4	2,5	1,7	3,0

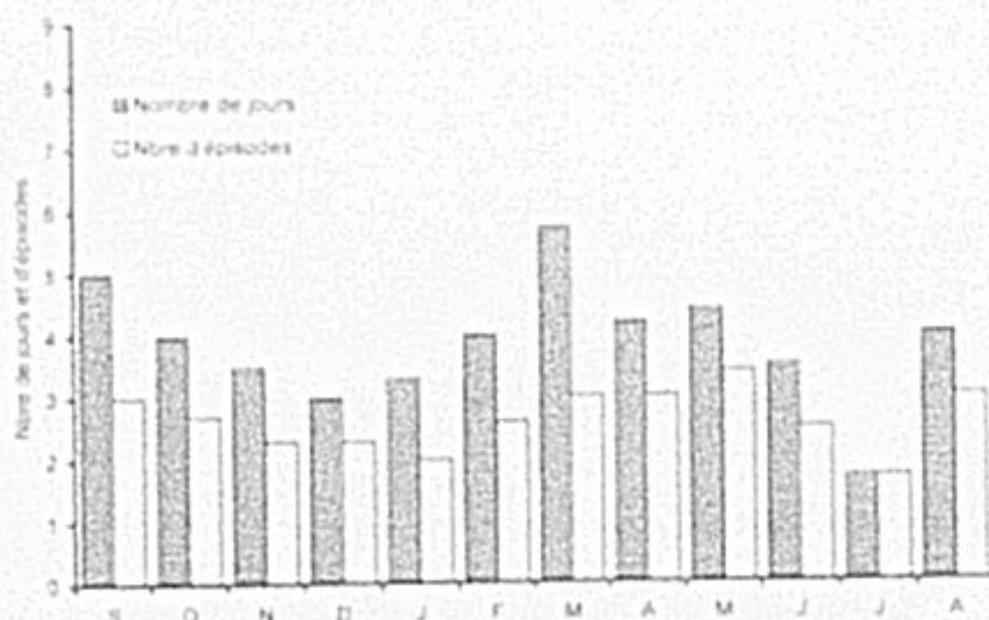


Figure 12 : Répartition mensuelle moyenne des jours et des épisodes pluvieux à Boufaroua (1975 - 1997)

Elle laisse en revanche, apparaître la prédominance des épisodes pluvieux de très courtes durées (tableau 29) puisque les séquences pluvieuses les plus fréquentes à l'intérieur de la saison des pluies ne dépassent pas un jour (68,2%). Les séquences de plusieurs jours pluvieux successifs sont très peu fréquentes dans cette zone. Celles supérieures à trois jours ne dépassent guère les 4% et celles supérieures à quatre jours représentent tout juste 1% alors que les séquences pluvieuses supérieures à 6 jours sont inexistantes.

Tableau 29 : Répartition des épisodes pluvieux à l'intérieur de la saison des pluies (1975 - 1997)

Durée (jours)	1	2	3	4	5	6	Total
Nombre de cas	404	131	38	12	6	2	593
Moyenne	18,4	6,0	1,7	0,5	0,3	0,09	27,0
(%)	68,2	22,0	6,4	2,0	1,0	0,3	100,0

¹³ Un épisode pluvieux désigne une séquence formée de n jours de pluies successifs

Au terme de cette analyse des jours et des épisodes pluvieux, nous pouvons faire les remarques suivantes :

- Variabilité inter annuelle de la durée de la saison où il peut pleuvoir. Cette durée varie entre 30 et 73 jours soit une variation de l'ordre de 23%.
- Courte durée de la saison où il peut pleuvoir. Elle atteint en moyenne 47 jours
- La variation de durée de la saison où il peut pleuvoir n'est pas forcément proportionnelle à l'ampleur des oscillations de la pluviosité annuelle.
- En moyenne, la variation du nombre de jours de pluie et des épisodes pluvieux est peu importante d'un mois à l'autre.
- Faiblesse du nombre de jours de pluie et des épisodes pluvieux à l'échelle mensuelle
- Importance des épisodes pluvieux de très courte durée (<1jour) qui représentent environ deux tiers du total des séquences pluvieuses

Les conclusions auxquelles nous avons aboutit nous incitent à accorder un intérêt particulier à l'étude des intensités pluviométriques quotidiennes. Elle nous permettra dans un premier temps, de caractériser les pluies par rapport à leurs intensités en 24 heures et de déterminer par la suite, leur répartition annuelle et saisonnière.

5. Analyse des intensités pluviales quotidiennes

Notre approche des intensités pluviales s'appuie sur la distinction entre deux types d'intensités quotidiennes. Nous évoquerons d'abord les intensités quotidiennes faibles, c.à.d celles qui sont inférieures à 5mm en 24 heures, ensuite nous aborderons l'analyse des intensités quotidiennes fortes, c.à.d celles qui sont supérieures à 10mm en 24 heures. On essaiera de connaître leur fréquence et leur variation à l'échelle annuelle et saisonnière ainsi que l'importance de ces jours pluvieux.

5.1. Les intensités quotidiennes faibles

L'examen du tableau (30) ci après présenté montre que les jours de pluie de faibles et de très faibles intensités constituent le maximum de fréquence à l'échelle annuelle, puisque nous constatons que les apports quotidiens inférieurs à 1mm concernent 20% des jours de pluie et que 65% des jours de pluie ont des totaux quotidiens inférieurs à 5mm.

Tableau 30 Répartition annuelle des pluies quotidiennes faibles (%)

	Pluie<1mm	Pluie<2mm	Pluie<5mm
Boufaroua	20,2	45,0	65,4
Kassenne	39,0	52,0	72,0

Il nous est également permis de constater que les pluies quotidiennes faibles et très faibles dégagent une répartition saisonnière qui ne présente pas de grandes variations. Elles se répartissent à peu près avec la même fréquence d'une saison à l'autre comme le montre le tableau (31)

Tableau 31 Répartition saisonnière des pluies quotidiennes faibles

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
	n(%)	h(%)	n(%)	h(%)	n(%)	h(%)	n(%)	h(%)
<1mm	19,1	1,9	24,2	2,4	18,9	1,7	19,6	2,1
<5mm	65,3	24,2	71,4	25,0	63,1	19,6	68,5	24,3

(n : nombre de pluies, h : hauteur des pluies)

A l'échelle temporelle, nous constatons que la contribution des pluies quotidiennes de faibles intensités permet la mise en évidence de deux tendances évolutives bien distinctes qui sont à mettre en relation avec la tendance générale qui caractérise l'évolution de la pluviométrie de la zone au cours des deux dernières décennies (figure 13).

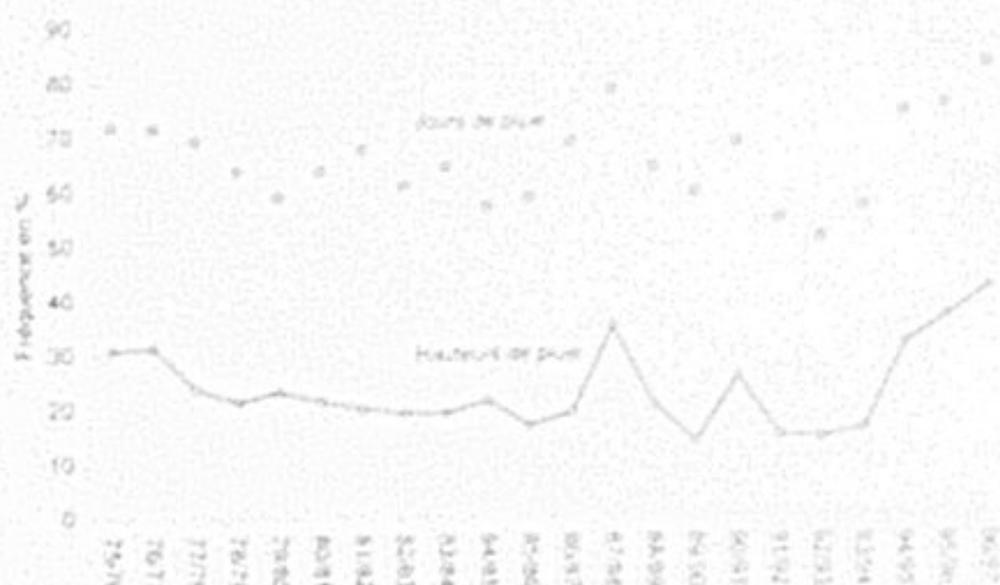


Figure 13 : Variation en % de la part des pluies inférieures à 5mm dans la pluviométrie annuelle

La première période qui va de 1975/76 à 1984/85 développe une variabilité peu marquée. Les amplitudes des variations sont peu importantes, particulièrement au niveau des hauteurs de pluies. En revanche, la deuxième décennie (1985/86 à 1994/95) a été caractérisée par une variabilité remarquable qui s'est traduite par des oscillations à fortes amplitudes aussi bien au niveau du nombre de jours de pluie qu'au niveau de hauteur de pluie.

5.2. Les intensités quotidiennes fortes

Il ressort de l'examen du tableau (32) que les jours à fortes et à très fortes intensités n'occupent pas une place importante dans l'ensemble des jours pluvieux (16%). Ils contribuent, en revanche, à plus de 50% de la pluviométrie annuelle.

Tableau 32 : Répartition annuelle des pluies quotidiennes fortes (%)

	10 < P < 30mm	30 < P < 40mm	P > 40mm
Boufaroua	14.2	1.2	0.6
Kasserine	15.0	3.0	1.0

Le tableau (33) permet de constater, comme pour les pluies à faibles intensités, que la distribution saisonnière présente des variations somme toute modérées puisque les fréquences aussi bien en nombre qu'en volumes précipités sont assez rapprochés.

Tableau 33 : Répartition saisonnière des pluies quotidiennes fortes

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Ete	
	n(%)	h(%)	n(%)	h(%)	n(%)	h(%)	n(%)	h(%)
10 < P < 30mm	14.4	41.4	9.5	31.4	17.9	45.8	14.7	47.5
30 < P < 40mm	1.4	8.8	1.3	8.9	1.5	8.9	0.5	3.5
P > 40mm	0.4	2.6	1.3	10.9	1.0	7.5	0.0	0.0

(n : nombre de pluies, h : hauteur des pluies)

La figure (14) montre qu'à l'échelle temporelle, la répartition des pluies quotidiennes fortes ont une évolution marquée par une grande variabilité qui accentue son caractère excessif et sa discontinuité.

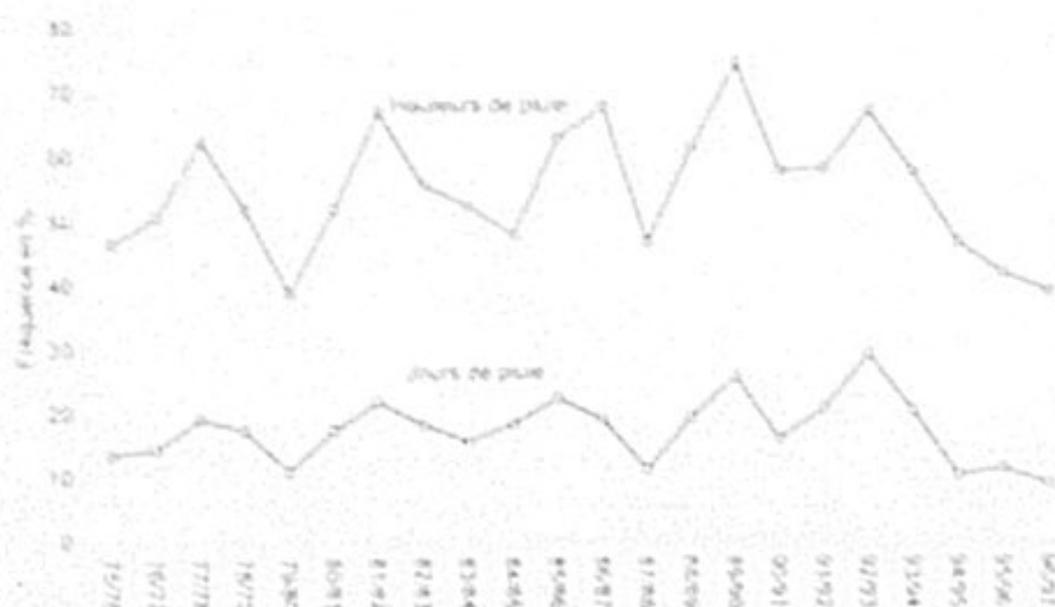


Figure 14 : Variation en % de la part des pluies supérieures à 10 mm dans la pluviométrie annuelle

Les pluies torrentielles (supérieures ou égales à 30mm en 24 heures) sont assez peu fréquentes, 2% seulement des événements pluvieux de la zone font partie de cette catégorie. Elles contribuent en revanche pour plus de 13% en moyenne dans le total pluviométrique annuel.

Tableau 34 : Répartition saisonnière des pluies torrentielles (%)

	Automne	Hiver	Printemps	Ete
Boufaroua	1.8	2.6	2.6	0.4
Kassenne	11.4	19.8	18.4	3.5

Cette répartition des pluies quotidiennes fortes permet de faire ressortir leur caractère sporadique et la discontinuité de leur occurrence dans le temps, ce qui en fait des événements assez rares mais fortement intenses et agressifs. Ce sont aussi des pluies particulièrement dangereuses puisqu'elles représentent plus de 16% des pluies automnales et plus de 15% des pluies de l'été.

Au terme de cette analyse, nous pouvons dire que la pluviométrie de la zone de piémont fait une place importante aux pluies de faibles intensités, qui en constituent le trait caractéristique, soit un "fonds pluviométrique de base" que l'on retrouve en

proportion équivalente d'une année à l'autre. Ainsi les pluies inférieures à 5mm représentent plus de 60% du nombre annuel moyen des pluies quotidiennes et environ 25% de la pluviométrie moyenne annuelle.

II. LES PARAMETRES ENERGETIQUES DE LA PLUIE

Le processus de transport, principalement le ruissellement, ne peut pas prendre en charge n'importe quel matériel. Son énergie ne produit un travail que si elle s'exerce sur un matériel "mobilisable". Pour qu'il soit mobilisé, il faut donc un acte préliminaire qui le réduise à des particules mobilisables. C'est ce que nous désignons dans cette étude par la préparation du matériel. Celle-ci résulte de l'action de certains paramètres que nous désignons, pour les besoins de cette étude, par "les paramètres énergétiques". Ils englobent les intensités pluviales, l'énergie cinétique des gouttes de pluie et la capacité érosive des pluies ou l'agressivité pluviale.

1. LES INTENSITES PLUVIALES

1.1. Définition

L'intensité traduit un très haut degré d'énergie, de force, de puissance atteint par quelque chose. L'intensité, c'est la hauteur de pluie tombée pendant un temps donné. C'est le facteur primordial de l'érosion. Toute l'importance de l'intensité pluviale comme facteur de l'érosion apparaît dans le fait que :

- i. Elle est en relation avec l'énergie cinétique des pluies qui détermine leur érosivité c'est à dire leur capacité à détruire la structure de la surface du sol, en premier lieu, et à provoquer la saturation de sa porosité entraînant un refus d'infiltration, en second lieu.
- ii. Elle provoque le ruissellement lorsqu'elle est supérieure à la capacité d'infiltration du sol dans le cas où celui-ci est en pente et non suffisamment protégé.
- iii. Elle est communément mesurée dans les stations météorologiques, alors que la mesure de l'énergie cinétique, directe ou indirecte, est pleine de difficultés.

1.2. Répartition mensuelle et saisonnière des intensités érosives

Avant d'aborder la question proprement dite des intensités érosives dans la zone de semmama, il est important de les situer dans le contexte pluviométrique général de la région. En effet, l'étude des intensités pluviales à la station de sbeitla a pu montrer, comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous, que 41% des pluies dont l'intensité est supérieure à 30mm/24heures ont lieu en automne. Celles-ci représentent 39% des pluies quotidiennes automnales. Soit une moyenne théorique de trois pluies "torrentielles" par an. Cette moyenne est de deux pluies au printemps et d'une pluie par an en été. L'hiver enregistre en moyenne trois pluies "torrentielles" tous les deux ans.

Tableau 35 : Répartition des très fortes pluies quotidiennes à sbeitla

Intensité en mm/24h	Automne		hiver		Printemps		Eté		Année	
	Nbre pluies	(%)								
30-40	96	26	48	19	68	16	34	18	246	20
>40	47	13	19	8	27	7	10	5	103	9
Total	143	39	67	27	95	23	44	23	349	29

(source : Sols de Tunisie, N°12, 1981)

Les très fortes pluies surviennent donc, en majorité, en automne et secondairement en été puisqu'elles représentent 53,6% du total des pluies dites "torrentielles" ; c'est à dire durant la période la plus critique de l'année. La couverture végétale étant appauvrie et clairsemée, ne peut pas intercepter ou dissiper l'énergie cinétique des gouttes de pluies.

Ceci renforce le processus de dégradation de la structure du sol qui devient imperméable sous l'effet du battage et le prépare au décapage superficiel sous l'action du ruissellement.

Toutefois, l'analyse des intensités pluviales dans leur relation avec l'érosion a permis de constater que l'intensité maximale érosive²² moyenne (IMEM) est de 60mm/heure dans la zone d'étude. L'intensité érosive moyenne de l'automne est d'environ 80mm/heure alors que celle du printemps avoisine les 45mm/heure.

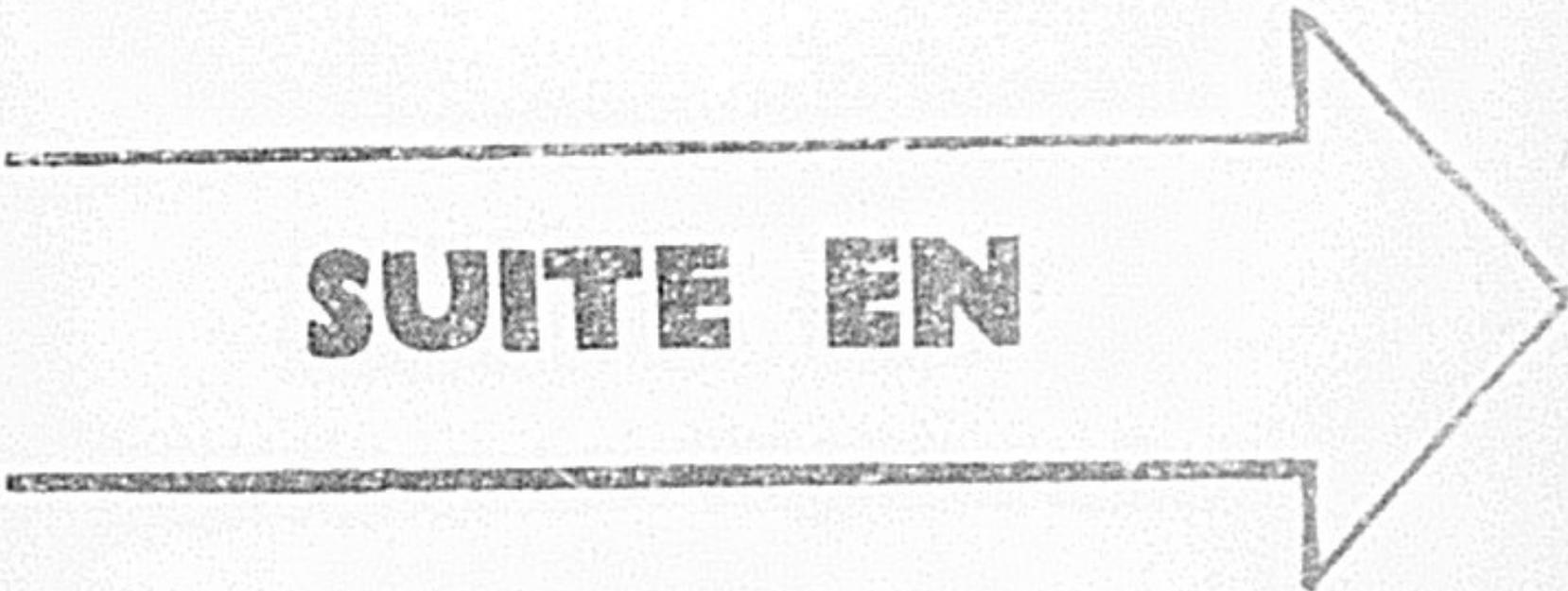
Toutefois nous constatons, comme le montre la figure(15) ci dessous, que ces intensités présentent de fortes variations d'un mois à l'autre, à l'intérieur des deux périodes²³ où l'activité morphogénique des pluies est la plus intense. L'ampleur des oscillations autour de la moyenne traduit une grande variabilité de ces intensités qui est non seulement liée aux caractères des averses et à leurs propriétés énergétiques mais aussi à d'autres paramètres, notamment l'état de la couverture végétale et l'humidité préalable des sols. Nous les évoquerons en détail dans le chapitre suivant. D'autre part, l'allure de la courbe de la moyenne et les informations contenues dans le tableau (36) montrent que les intensités érosives sont généralement plus élevées pour les pluies d'automne, aussi bien au niveau des intensités maximales que minimales. Elles montrent aussi qu'en moyenne les intensités érosives des pluies de printemps se situent le plus souvent au-dessous d'un seuil estimé à 50mm/heure. Les intensités maximales dépassent rarement les 100mm/h alors que les minimales sont le plus souvent inférieures à 20mm/heures.



Figure 15 : Variation mensuelle des intensités érosives par rapport à l'intensité mensuelle érosive moyenne à Boufaroua

²² L'intensité érosive est définie comme étant celle ayant provoqué un ruissellement et un transport solide significatifs

²³ Nous allons utiliser, pour les besoins de cette étude, un nouvel agencement des mois et des saisons à l'intérieur de la période où il peut pleuvoir en rangeant les mois d'août, septembre, octobre et novembre au sein d'une période désignée par "Automne érosif" et les mois de mars, avril, mai et juin à l'intérieur d'une autre période désignée par "Printemps érosif". Cette nouvelle réorganisation se base sur les observations faites sur le terrain. Elles montrent que l'action érosive des pluies se produit le plus fréquemment pendant les deux périodes définies plus haut.



SUITE EN

F 2



ONAGRI
TUNISIE

MICROFICHE N°

10799

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

Observatoire National de l'Agriculture
30, Rue Alain Savary - 1002 Tunis

المرصد الوطني للزراعة
30، شارع السافاري - 1002 تونس

F 2

Tableau 36 Variation des intensités érosives à Boufaroua

	intensité minimale érosive (mm/h)	intensité érosive moyenne (mm/h)	intensité érosive maximale (mm/h)
Acût	42	92.2	132
Septembre	36	51.2	75
Octobre	38	77.3	156
Novembre	10	55.7	105
Mars	18	45.4	86.4
Avril	8.3	59	156
Mai	12	42	86.4
Jun	6	35.4	54

Cette variabilité des intensités érosives ainsi que les nuances saisonnières qui s'en dégagent révèlent le caractère changeant de la dynamique érosive dans cette zone. Ceci est, en partie, tributaire du type d'événement pluvieux. L'importance des intensités érosives de l'automne découle de la nature même des averses qui sont de type orageux, souvent de courtes durées et de fortes intensités. Ce sont des averses à corps multiples, comme celle du 03/09/1976, survenant après une longue période sèche (fin de l'été-début de l'automne). Le premier épisode, peu intense et de faible volume, sert à humecter le sol. Le deuxième, plus intense, de courte durée, génère le ruissellement. Tandis que le caractère relativement peu prononcé des intensités érosives de printemps est à mettre en relation avec le caractère peu excessif des événements pluvieux qui sont des pluies de faibles intensités, de longues durées mais apportant un grand volume d'eau, comme celle du 14/05/1976. Les sols imbibés puis saturés en surface entraînent un ruissellement de volume important.

Le premier épisode, de faible intensité mais de volume relativement important, sert à humecter le sol. Le deuxième, plus intense, de courte durée, tombant sur un sol humide, provoque le ruissellement.

Tableau 37 Averses Types d'automne et de printemps

Averse		Durée mn	H (mm)	IM30	RUSA
14/05/76	Phase 1	430	23.1	7.6	3.57
	Phase 2	20	11.5	28.4	9.94
03/09/76	Phase 1	15	2.1	8.0	0.48
	Phase 2	15	11.2	42.0	20.16

Cependant, l'influence des intensités pluviales en tant que facteur primordial de l'érosion se situe au niveau de l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui constitue le fondement de l'érosivité²⁴ des pluies.

2. ENERGIE CINETIQUE

2.1. Définition et caractères

L'énergie cinétique est l'énergie acquise par les gouttes de pluie au cours de leur chute et libérée à leur contact avec le sol. Elle est fonction de la masse (de la granulométrie) et de la vitesse de chute des gouttes de pluie.

²⁴ L'érosivité de la pluie est considérée comme étant la quantité de matières solides que peut entraîner le millimètre d'eau ruisselé. Elle est fonction, principalement, de la quantité d'énergie produite par la pluie.

A un autre niveau, nous avons tenté d'établir une relation entre l'intensité instantanée maximale et l'énergie cinétique globale de l'averse en comparant des pluies de même hauteur mais ayant développé des intensités différentes. En effet, les résultats du traitement de 62 événements pluvieux ayant provoqué un ruissellement entre 1983 et 1992 dans la zone de Boufarwa sont fournis dans le tableau (38) ci dessous.

Tableau 38. Intensité instantanée maximale et énergie cinétique globale pour des pluies de mêmes hauteurs

Date	Pluie (mm)	Intensité Max (mm/heure)	E Cinétique (joules/m ²)
05/03/86	8.3	15.6	136.7
02/05/89	8.8	54	259
30/09/89	12	36	253
14/08/90	12	108	457
22/03/88	14.3	11.5	241
12/04/88	14.3	72	365.4
27/11/89	15.8	10	165.5
29/05/86	15.8	12	256
23/04/90	30.5	8.3	356
21/02/92	30.8	30	551.8
12/01/90	34.4	12.8	305.6
15/03/86	34.5	20.7	498

La lecture de ces informations permet de constater une forte liaison entre ces intensités et les énergies produites puisque celles ci augmentent ou diminuent de façon synchrone avec le changement de l'intensité, et ce dans toutes les classes de hauteurs de pluie. L'analyse des corrélations des averses érosives montre une très forte liaison entre l'énergie de l'averse et son intensité maximale instantanée puisque le coefficient qui décrit cette relation s'établit à $r = 0.99$ quelque soit la période considérée (printemps ou automne). D'un autre côté, nous observons que l'énergie cinétique présente également une forte liaison avec la hauteur de l'averse, de sorte qu'à des intensités similaires c'est le volume d'eau précipitée qui fait varier la valeur de l'énergie cinétique comme le montrent les exemples pris dans différentes classes d'intensités et présentés dans le tableau (39) ci dessous.

Tableau 39. Énergie cinétique en fonction de la hauteur pour des pluies de mêmes intensités instantanées maximales

Date	Intensité Max (mm/heure)	Pluie (mm)	E Cinétique (joules/m ²)
05/06/89	6.0	14.5	205.0
02/12/89	6.0	10.7	104.7
25/05/88	12.0	9.6	157.0
29/05/86	12.0	15.8	256.0
21/02/92	30.0	30.8	551.8
18/05/92	30.0	13.8	215.0
08/05/86	42.0	15.0	318.7
06/07/87	42.0	5.6	126.5
02/06/89	54.0	8.8	259.0
15/03/90	54.0	38.0	988.0
27/03/84	86.4	31.5	486.5
12/05/84	76.4	24.0	356.0
09/08/84	120.0	32.9	532.0
08/08/89	120.0	25.0	371.0
06/10/93	156.0	28.4	438.7
11/04/84	156.0	18.0	262.6

Dans la même zone d'étude, ZAHER Y (1997)³ a observé une forte liaison entre l'énergie cinétique et la hauteur de l'averse en dégagant un fort coefficient de corrélation ($r=0,98$) aussi bien en automne qu'au printemps. A l'échelle de notre expérience, nous constatons également ce fort lien entre énergie globale de l'averse et son hauteur, qui s'exprime sous la forme d'une fonction linéaire (figure 17).

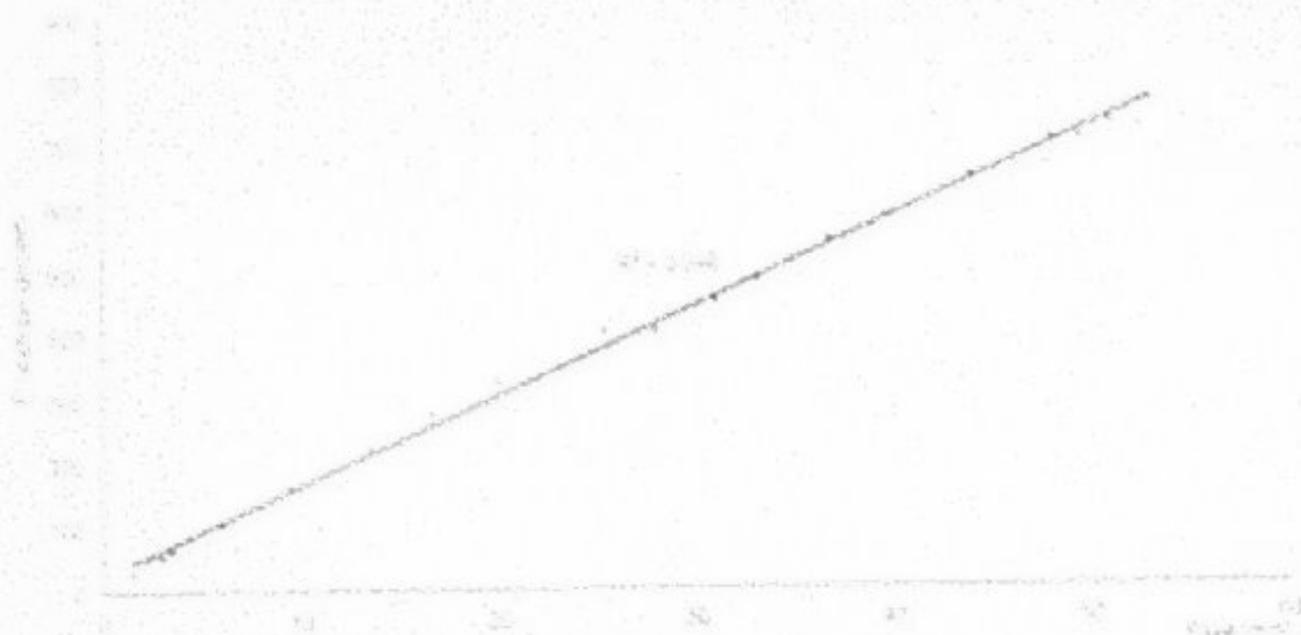


Figure 17 : Relation entre l'énergie cinétique et la hauteur de l'averse (Piemont du Dj Semstama)

2.2. Répartition saisonnière de l'énergie cinétique des pluies érosives

L'analyse des énergies pluviales dans leur relation avec l'érosion a permis de constater que l'énergie cinétique globale (E.C.G) des pluies érosives s'établit à environ 400 joules/m² dans la zone d'étude. L'E.C.G de l'automne est supérieure à 400 joules/m² alors que celle du printemps est de 360 joules/m². Cependant ces valeurs moyennes peuvent cacher de fortes variations de ces énergies, d'un mois à l'autre, à l'échelle inter annuelle.

La figure(18) ci dessous montre qu'à l'intérieur des deux périodes délimitées plus haut, tous les mois sans exception présentent de fortes oscillations autour de la moyenne. Elles traduisent une grande variabilité de ces énergies qui est non seulement liée aux intensités des averses mais aussi à l'irrégularité intra et inter annuelle des pluies.

³ YAZ, ZAHER, 1997. Elements d'hydrologie pour l'aménagement. Modélisation spatiale et temporelle des précipitations extrêmes et érosives en Tunisie centrale. Université de Tunis I.

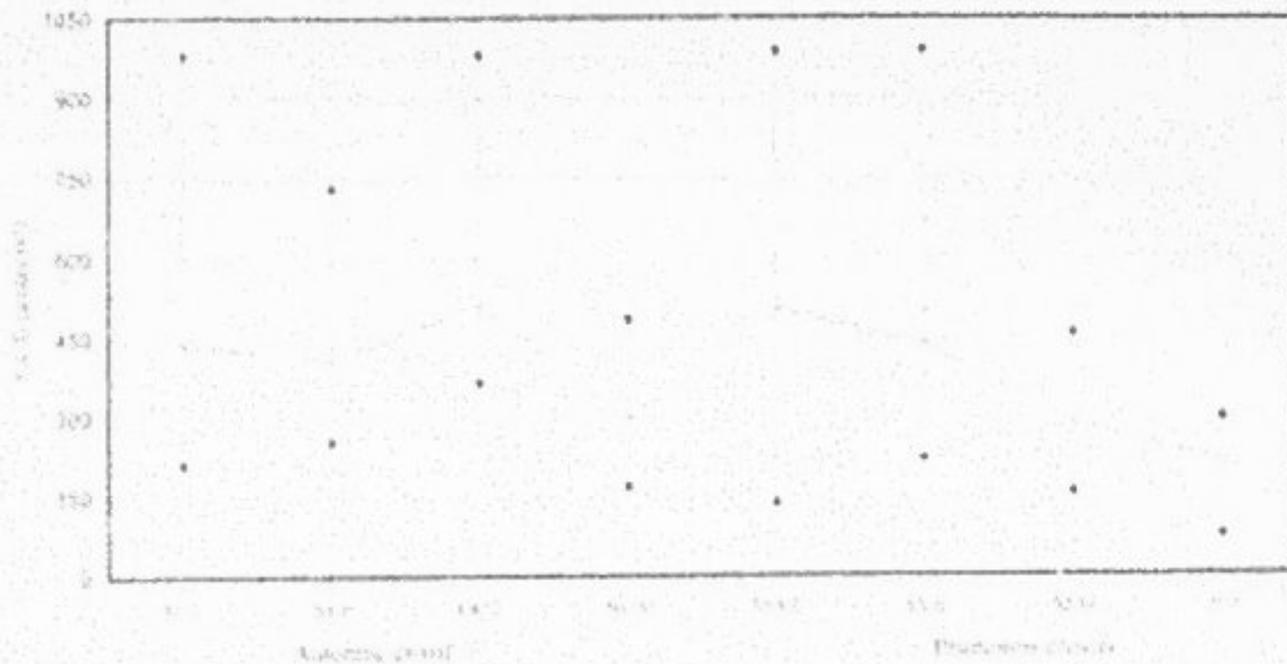


Figure 18 : Variation mensuelle de l'énergie cinétique globale des averses érosives à Boufaroua

D'autre part, l'allure de la courbe de la moyenne dans le graphique de la figure(18) et les informations fournies dans le tableau (40) montrent que les E.C.G des averses érosives sont plus élevées en automne, au niveau des valeurs minimales tandis qu'au niveau des valeurs maximales, les averses érosives de printemps sont plus énergétiques.

Tableau 40 : Variation des E.C.G des pluies érosives (joules/m²)

	Energie cinétique globale minimale	Energie cinétique globale moyenne	Energie cinétique globale maximale
Acût	212	438.7	980.6
Septembre	253	408.5	732
Octobre	365.4	513	982
Novembre	159.5	298	485.3
Mars	138.7	506	988
Avril	221	439	990
Mai	157	287	456.6
Juin	75.7	214	297

Cette fluctuation des énergies cinétiques globales révèle le caractère variable, à l'échelle temporelle, du potentiel énergétique dans cette zone. L'importance énergétique des flux de l'automne découle des intensités, généralement fortes des événements pluvieux. Tandis que le fort potentiel énergétique des flux de printemps exprime une relation plus étroite avec le caractère pluvieux et relativement peu intense des averses.

Cependant, lorsqu'on considère le mécanisme de l'érosion hydrique, on constate que l'une des actions essentielles exercées par la pluie consiste en la formation des éléments fins, susceptibles d'être entraînés par l'eau. C'est le phénomène de détachement des particules du sol qui résulte de l'impact des gouttes de pluie à leur contact avec les agrégats du sol.

La deuxième partie de ce chapitre a été consacrée à la définition et à la caractérisation des paramètres énergétiques qui conditionnent la capacité érosive de la pluie. En fait, l'intensité maximale et l'énergie cinétique de la pluie constituent le fondement de l'érosion hydrique eu égard au rôle primordial qu'ils jouent dans la phase de préparation du matériel. Toutefois, ces paramètres qui s'imbriquent l'un dans l'autre, comme nous venons de le voir ci-dessus, permettent en définitive de définir un indice d'agressivité ou d'érosivité des pluies qui exprime leurs risques érosifs potentiels, car il s'agit bien de potentialités érosives et non pas de capacités érosives réelles puisque celles-ci dépendent des autres facteurs du milieu.

3. L'INDICE D'AGRESSIVITE OU D'EROSIVITE

Cet indice qui correspond au potentiel érosif de la pluie, est en fait la combinaison de l'énergie cinétique de l'averse et de son intensité maximale en 30 minutes exprimée en mm/heure. Ce potentiel érosif tient donc compte de trois conditions à savoir : l'énergie, l'intensité et la durée de la pluie. L'élaboration de cet indice remonte à la fin des années 50 lorsque Wischmeier et Smith ont établi leur modèle empirique de prévision de l'érosion connu sous le nom de "USLE"²⁸. Ils effectuèrent des corrélations entre l'érosion et un index pluie R défini comme le produit de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité maximale en 30 minutes (IM₃₀) qui est la hauteur maximale tombée pendant 30 minutes consécutives. IM₃₀ se détermine sur le pluviogramme. Cet index qui caractérise l'agressivité d'une pluie, s'écrit :

$$R = \frac{EG * IM_{30}}{1735,6}$$

R est l'indice d'agressivité ou d'érosivité de la pluie

EG est l'énergie cinétique globale de l'averse exprimée en joules/m²

IM₃₀ est l'intensité maximale en 30 minutes exprimée en mm/heure

L'intérêt de cet indice réside dans le fait qu'il s'applique à l'érosion diffuse ou instable puisque la source d'énergie est la pluie. D'autre part, il est admis et établi par plusieurs chercheurs que la pluie est l'agent causal principal de l'érosion tant que l'intensité de la pente est inférieure à une valeur seuil de 16%. L'énergie du ruissellement prend le dessus au delà de ce seuil²⁹. Or dans notre terrain d'étude, les pentes sont plutôt modérées et restent dans des proportions moyennes (elles varient de 5 à 12%). D'autre part, la dégradation du couvert végétal et la fragilisation des sols résultant de l'aridité du climat et de la pression anthropique renforcent davantage la relation directe de cause à effet entre l'énergie pluviale et l'érosion. Cependant, l'application de cette équation a donné des résultats mitigés car il a été constaté d'importants écarts entre l'érosion diffuse ou instable et l'agressivité des pluies. En effet, les pluies érosives peuvent être, comme on l'a constaté plus haut, des pluies orageuses, très énergétiques de fin d'été et de début d'automne ou encore de longues averses de fines pluies saturantes, peu énergétiques tombant sur un sol détrempé de fin d'hiver ou de début de printemps. Dans ce dernier cas, l'érosion a pour origine bien plus l'énergie de ruissellement que l'énergie des gouttes de pluie, elles mêmes, comme c'est le cas dans la zone de semmama qui développe un régime pluviométrique bi modal qui fait une large place aux pluies de printemps.

²⁸ USLE : Universal Soil Loss Equation (1960, 1978)

²⁹ RPC MORGAN (1986), CM WOODRUFF (1984) in YADH ZAHER, 1997

Les résultats obtenus en méditerranée du sud³⁰ (Tunisie, Algérie, Maroc) ont permis d'établir un indice d'érosivité annuel moyen qui varie de 50 à 300. Toutefois ces valeurs moyennes paraissent assez élevées puisqu'elles concernent l'ensemble des pluies tombées dans une zone donnée, à l'échelle annuelle. Elles ne peuvent de ce fait rendre compte des capacités érosives réelles des pluies et masquent, d'autre part, la variabilité intra annuelle de l'agressivité des pluies. En effet, si l'on tient compte des averses ou pluies érosives à l'échelle inter annuelle, on constate d'abord que cet indice s'établit en moyenne à 20 et qu'ensuite il présente une forte variabilité étant donné l'ampleur de la variation entre les valeurs moyennes minimales (7,2) et maximales (103,0).

Par ailleurs, le graphique de la figure (19) révèle de très fortes oscillations de l'indice d'érosivité à l'échelle mensuelle, au cours des deux périodes où l'érosion est la plus active.



Figure 19. Variation mensuelle de l'indice d'agressivité des pluies à Boufaroua

Ceci permet de constater que l'érosivité des pluies ne dépend pas plus de leur valeur énergétique que des conditions du milieu dans leq. il se déclenche les processus de ruissellement et d'érosion. Autrement dit, la quantité d'énergie potentielle que peut libérer une pluie ne peut pas déterminer à elle seule son érosivité puisque nous observons que des averses peu érosives peuvent être à l'origine de ruissellement et d'érosion, si bien que la relation entre l'indice R et les pertes en terre au niveau de la parcelle n'est significative que pour les très fortes valeurs d'érosion ou paroxysmes érosifs ($r = 0,59$). Là encore, il faut s'armer de vigilance car cette forte relation ne peut pas être expliquée uniquement par l'énergie de la pluie. L'énergie du ruissellement joue un rôle aussi important sinon plus, et il est difficile de faire la part des choses.

Dans le cas des faibles taux d'érosion et dans des conditions spécifiques du milieu, il n'est pas possible d'établir une liaison significative entre cet indice et les pertes en terre ($r = 0,35$) puisque des pluies qui sont potentiellement érosives ($R > 5$) n'engendrent que de faibles quantités de matériaux transportés.

³⁰ Masson JM en Tunisie (1971), Katmann R et Housch B au Maroc (1967 et 1970) et Arabi en Algérie (1991)

Cette déconcordance au niveau des faibles valeurs de l'érosion nous incite à être très prudent quant à l'utilisation de cet indice car le processus érosif est en réalité un processus cumulatif qui alternerait une érosion dite "rampante" plus durable à laquelle on attribuerait une redistribution sélective des matériaux au sein du système parcelle ou du système topo-séquence, et une érosion dite "paroxysmique" qui se manifeste de façon violente et à la quelle on attribue la responsabilité d'une ablation et d'un décapage importants des matériaux hors du système (figure 20).

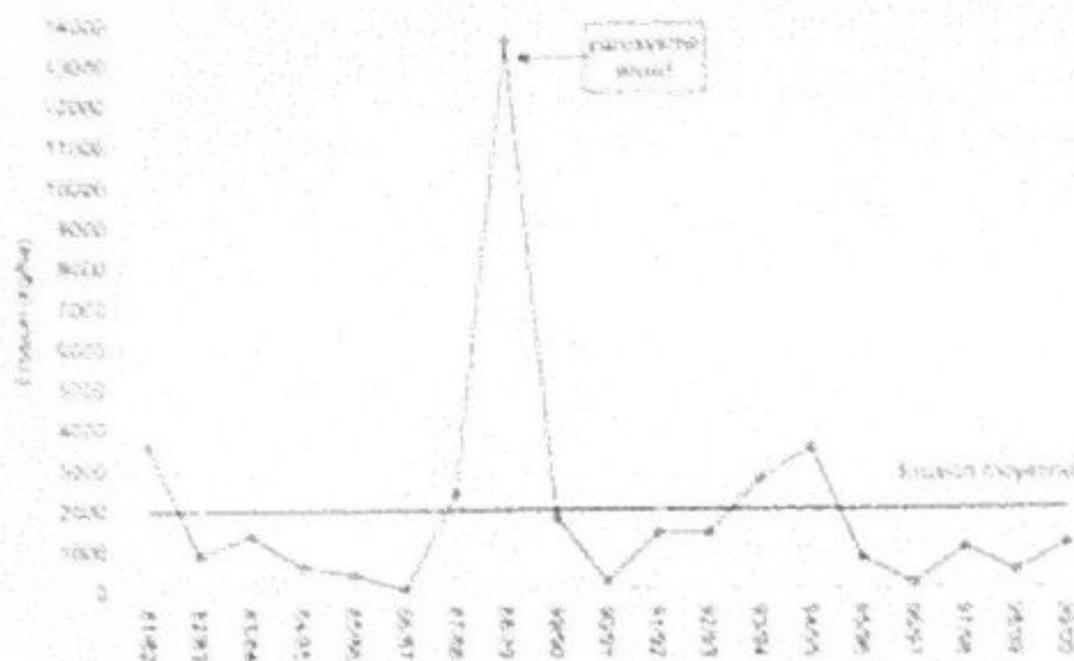


Figure 20 - Variation de l'érosion annuelle par rapport à l'érosion moyenne dans la petite parcelle tracée (1981 - 2000)

La faible corrélation entre le nombre de pluies potentiellement érosives et les pertes en terre nous amène, d'un autre côté, à réfléchir sur le caractère érosif des pluies et notamment leurs capacités érosives potentielles et réelles.

4. REPARTITION SPATIALE DES FLUX ENERGETIQUES

La variabilité temporelle des paramètres énergétiques est doublée d'une variabilité à l'échelle spatiale, selon un gradient altitudinal : piémont -- montagne. Les versants de la zone montagneuse sont plus arrosés. Ils reçoivent jusqu'à 55% de précipitation de plus que la zone de piémont. Soit un gradient pluviométrique annuel moyen supérieur à 40mm pour 100m de dénivellée. Cette opposition piémont - montagne se répercute de façon plus évidente sur les propriétés énergétiques des pluies ou averses ruisselantes, exprimées par les paramètres d'intensité, d'énergie cinétique et d'indice d'agressivité ou d'érosivité pluviale.

A titre d'exemple, de 1976 à 1978, nous avons enregistré 41 pluies ruisselantes en zone montagneuse ayant totalisé 641,5mm et seulement 9 pluies ruisselantes en zone de piémont pour un total de 156,5mm. Cette supériorité aussi bien en nombre qu'en quantité des pluies ruisselantes en zone montagneuse est sévèrement mise en question quand on se place du côté des intensités maximales en 30 minutes [IM_{30}] et de l'énergie cinétique globale [EG], surtout en ce qui concerne les valeurs minimales. Le tableau(41) ci dessous montre, pour l'année 1976 par exemple, que la valeur minimale de l' [IM_{30}] dans la zone de piémont est 3,2 fois plus importante que celle de la zone montagneuse, alors que la valeur minimale de l'énergie cinétique est 4,8 fois plus importante dans la zone de piémont.

Tableau 41 : Propriétés énergétiques des pluies ruisselantes en 1976

Situation	Nbre pluies ruisselantes	IM ₂₀ en mm/h		EG en joules/m ²		RUSA	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Montagne	18	6.0	33.0	112.0	696.0	0.42	8.85
Piémont	6	10.6	46.0	540.0	820.0	0.47	30.82

S'agissant des valeurs maximales, nous constatons que l'opposition piémont - montagne présente une variation plus atténuée soit 1,4 fois pour les intensités maximales [IM₂₀] et 1,2 fois pour l'énergie cinétique globale [EG] en faveur de la zone de piémont.

Par ailleurs, l'indice d'agressivité pluviale [RUSA] présente une opposition piémont - montagne aussi importante au niveau des valeurs minimales que maximales. Nous constatons à titre d'exemple, que le minimum de la zone de piémont est très largement supérieur (15,4 fois) à celui de la zone montagneuse et que le maxima de la zone de piémont est 3,5 fois plus important que celui de la zone montagneuse.

Il en résulte une entrée plus grande de flux énergétiques dans la zone de piémont qui pourrait entraîner une dynamique érosive plus active et un accroissement de l'instabilité du milieu d'autant plus que cette zone est soumise à une charge anthropique et pastorale importante, comme nous venons de le constater dans le chapitre précédent.

On ne peut clore définitivement cette analyse des pluies et de leur paramètres énergétiques sans évoquer l'importance des intervalles secs et leur répartition fréquentielle aussi bien à l'échelle saisonnière, inter saisonnière et à l'intérieur de la saison des pluies.

III. ETUDE DE LA SECHERESSE

L'analyse de la sécheresse qui caractérise le climat de la région permet de faire trois remarques fondamentales :

- Importance du nombre de jours secs¹¹ et des séquences sèches¹² supérieures à 20 jours successifs à l'intérieur de la saison où il peut pleuvoir.
- Le chevauchement de la saison sèche estivale qui, bien que centrée sur l'été, peut balancer de part et d'autre en empiétant sur l'automne ou sur le printemps.
- La mobilité de la saison sèche qui ne présente pas de limites temporelles précises. Elle est susceptible de se produire à n'importe quelle période de l'année, ce qui accentue le caractère persistant et diffus de la sécheresse.

1. LA REPARTITION SAISONNIERE DES INTERVALLES SECHES

La distribution des intervalles secs permet de constater que toutes les saisons présentent des séquences sèches plus ou moins longues, avec toutefois la distinction de la saison sèche estivale qui constitue environ 25% de la fréquence des séquences sèches supérieures à 20 jours secs successifs.

¹¹ Un jour sec est défini comme étant un jour sans pluie ou ayant enregistré une quantité de pluie inférieure à 1 millimètre.

¹² On entend par séquence sèche une période plus ou moins longue formée de n jours secs successifs.

C'est la saison sèche la plus nette et la plus stable puisqu'elle est présente chaque année et ne semble pas être liée à la pluviosité annuelle de la zone comme le montre la courbe de tendance de la figure(), particulièrement la faible valeur du coefficient de détermination.



Figure 21 Relation entre la sécheresse estivale et la pluviosité annuelle à Boufaroua (1975-1997)

Le caractère diffus de la sécheresse ressort de la répartition à peu près équivalente des séquences supérieures à 20 jours secs successifs entre l'automne, l'hiver et le printemps (entre 11 et 12% de la fréquence), et de l'excessivité de la période sèche estivale qui déborde de part et d'autre sur le printemps et l'automne dans des proportions respectives de 14,3% et 10,7% de la fréquence. Ce caractère diffus ou permanent de la sécheresse est également mis en évidence par l'importance de la répartition inter saisonnière des séquences sèches supérieures à 20 jours secs successifs qui représente 41% de la fréquence témoignant ainsi du balancement des périodes sèches.

1.1. Les périodes sèches supérieures à 20 jours

La permanence ou la persistance de la sécheresse est mieux perçue en considérant d'une part la distribution des jours secs à l'intérieur de la saison où il peut pleuvoir comme le montre l'histogramme de la figure (22) et d'autre part, la fréquence des séquences sèches à l'intérieur de la saison des pluies. En effet, le tableau (42) ci après montre que les périodes supérieures à 20 jours successifs sans pluie représentent 67,3% du nombre total des périodes sèches de même longueur à l'échelle inter annuelle. Ceci permet de mettre en évidence l'importance des intervalles secs dans la caractérisation du climat de la zone en général, ainsi que leur rôle présumé dans le déclenchement du processus érosif.

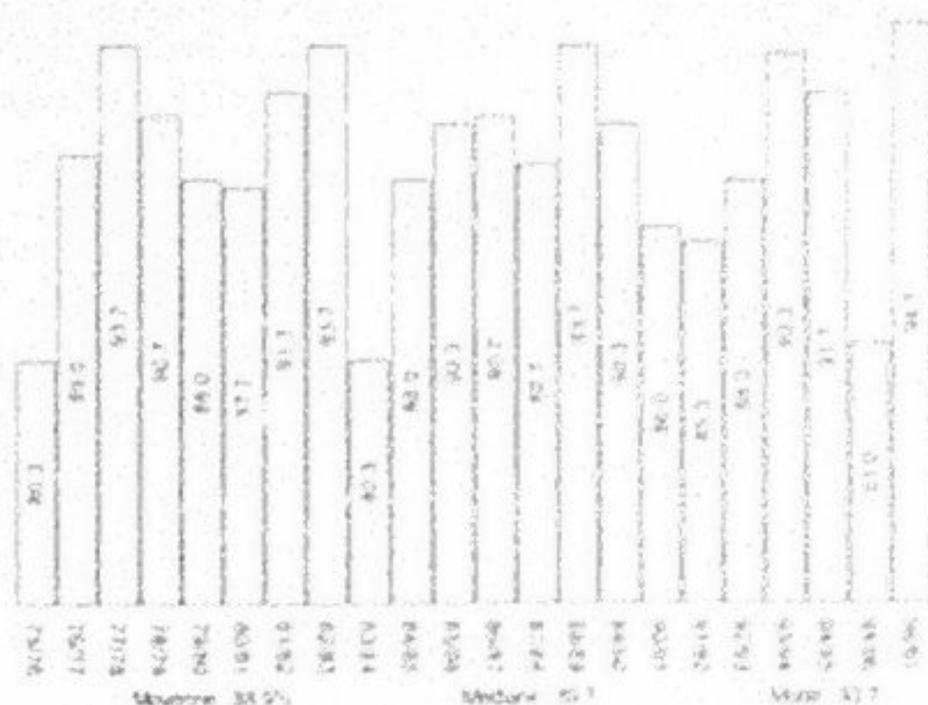


Figure 22 Répartition en (%) du nombre de jours secs à l'intérieur de la saison des pluies

Tableau 42 Les séquences sèches > 20 jours à l'intérieur de la saison des pluies (1975 - 97)

Séquence	Aut.	Hiv.	Automne - Hiver	Print.	Hiver - Print.	Total [1]	% du Total [1]	Moy. jours	Total [2]	% de Total [2]
20 < P < 25 jrs	4	9	0	9	0	22	29.7	1	29	76.0
25 < P < 30 jrs	6	7	2	1	4	20	27.0	0.6	25	64.0
30 < P < 35 jrs	4	3	0	5	1	13	17.6	0.6	22	56.0
35 < P < 40 jrs	2	1	2	1	0	6	8.0	0.3	12	30.0
40 < P < 45 jrs	0	1	2	1	1	5	6.8	0.2	8	62.5
45 < P < 50 jrs	0	1	0	0	0	1	1.4	0.05	2	50.0
50 < P < 60 jrs	1	0	1	0	1	3	4.0	0.14	6	50.0
60 < P < 70 jrs	0	0	1	0	0	1	1.4	0.05	1	100.0
70 < P < 80 jrs	0	0	1	0	0	1	1.4	0.05	3	33.3
> 80 jrs	3	0	1	0	1	2	2.7	0.09	3	100.0
TOTAL	17	22	10	17	8	74	100.0		110	67.3

Total [1] : Total des séquences sèches supérieures à 20 jours à l'intérieur de la saison des pluies

Total [2] : Total des séquences sèches supérieures à 20 jours à l'échelle inter-annuelle

1.2. Les périodes sèches les plus longues

Les périodes sèches les plus longues (supérieures à 50 jours secs successifs) sont, a priori, celles de l'été et de début de l'automne qui oscillent entre 55 et 78 jours secs successifs et représentent 37,5% de la fréquence spécifique. Cependant, si la permanence ou la persistance de la période sèche estivale est définitivement établie, l'analyse nous permet de mettre en évidence que la longueur de la saison sèche n'obéit guère à une répartition prédéfinie puisque nous nous rendons compte que celle-ci peut caractériser d'autres saisons et présenter une fréquence semblable. A cet effet, nous constatons que des périodes sèches inter-saisonniers ou intra-saisonniers peuvent varier de 50 à 64 jours secs successifs.

Il s'agit notamment des périodes se situant entre l'automne et l'hiver avec 37,5% de la fréquence spécifique ; et des périodes intra-saisonniers (automne et printemps)

avec 12,5% de la fréquence spécifique. Cependant l'importance des effets morphogéniques de ces séquences sèches inter saisonnière n'est pas toujours la même. Elle est en effet, liée aux caractéristiques des averses, notamment l'intensité et l'agressivité et aux états de surface des sols.

2. LA DEFICIENCE HYDRIQUE

Cette sécheresse diffuse et persistante affecte considérablement les réserves en eau du sol en créant un état de déficit hydrique permanent qui entrave le développement de la couverture végétale (figure 23).

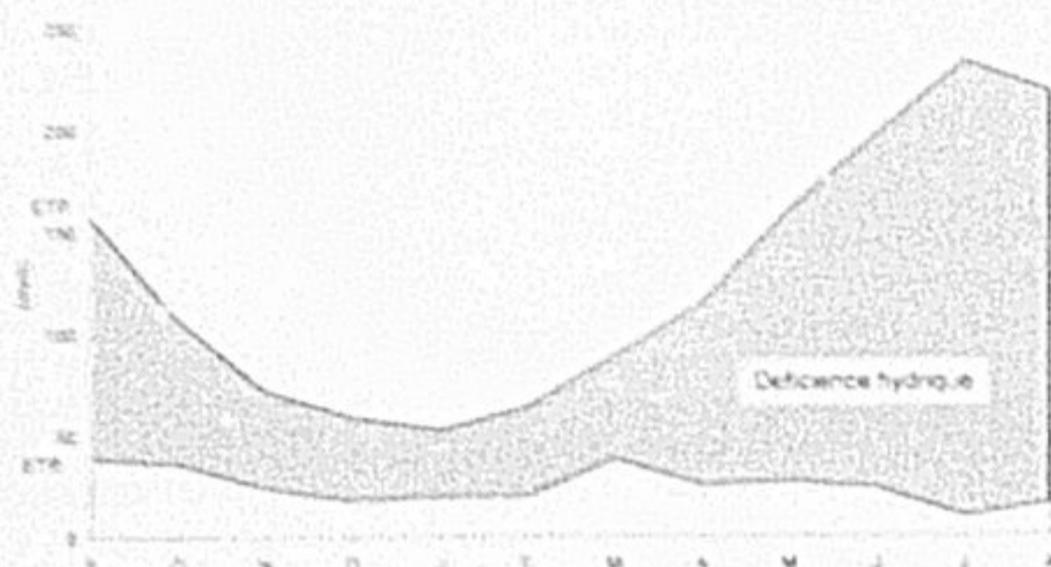


Figure 23. Deficience hydrique à Kassenne

Le tableau (43) ci dessus permet de rendre encore mieux compte de l'aridité du bioclimat et de la déficience hydrique puisque les quantités d'eau mises à la disposition de la végétation sont largement inférieures à ses besoins exprimés par l'évapotranspiration potentielle. Nous constatons en effet, une aridité mensuelle importante.

Tableau 43 : Bilan hydrique moyen et déficience hydrique à Kassenne (mm)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Pluie	29,4	22,0	23,6	14,2	17,2	19,4	36,2	26,2	29,8	16,4	7,3	22,7	264,8
ETP	157	107	72	59	53	64	89	115	161	198	234	219	1528
ETR ¹⁰	18	30	26	18	21	20	25	15	9	2	0,4	1	185
ETP-ETR	139	77	46	41	32	44	64	100	152	196	234	218	1343
ETR/ETP	0,11	0,28	0,36	0,31	0,40	0,31	0,28	0,13	0,06	0,01	0,00	0,00	

(Source : L. Henia, 1993, *op. citée*)

Tous les mois, sans exception développent des coefficients ETR/ETP inférieures à 0,5 et un déficit important de l'ETR par rapport à l'ETP ; ce qui crée des conditions difficiles pour le développement de la couverture végétale.

¹⁰ Il s'agit des valeurs moyennes de l'ETR calculée. L'ETR (Evapotranspiration réelle) représente la quantité d'eau effectivement perdue par une surface cultivée donnée au cours d'une certaine période.

CONCLUSION

Nous pouvons conclure cette analyse en mettant l'accent sur les points suivants qui rendent compte de l'ampleur de la variabilité et l'irrégularité pluviométrique de cette zone :

- Cette analyse a permis de rendre compte, déjà à l'échelle pluri-décennale, de l'irrégularité de la pluviométrie puisque d'une décennie à l'autre, la distribution des valeurs aussi bien annuelles que saisonnières révèle des tendances controversées exception faite du printemps qui dégage une tendance à la stabilité perceptible tant au niveau décennale que pluri-décennale puisque les valeurs des écarts par rapport à la moyenne ont été toujours positifs pour cette saison.
- L'analyse fréquentielle des totaux pluviométriques annuels a permis de constater l'ampleur de l'irrégularité inter annuelle des pluies. Elle a également permis de nuancer la variabilité de la zone de piémont.
- La pluviométrie saisonnière montre une grande dispersion des totaux pluviométriques qui concerne toutes les saisons sans exception.
- Elle peuvent en effet, enregistrer des minimas très bas mais aussi des maxima très élevés. Ceci témoigne d'une répartition très contrastée dans le temps.
- Le caractère modeste de la pluviométrie saisonnière et mensuelle et sa grande variabilité qui se traduit par une répartition contrastée dans le temps oscillant, selon les années, entre les totaux très faibles et les totaux très élevés.
- Variabilité inter annuelle de la durée effective de la saison où il peut pleuvoir. Cette durée varie entre 30 et 73 jours soit une variation de l'ordre de 23%.
- En moyenne, la variation du nombre de jours de pluie et des épisodes pluvieux est peu importante d'un mois à l'autre.
- La pluviométrie de la zone de piémont fait une place importante aux pluies de faibles intensités qui en constituent le trait caractéristique. Ainsi les pluies inférieures à 5mm représentent plus de 60% du nombre annuel moyen des pluies quotidiennes et environ 25% de la pluviométrie moyenne annuelle.
- La répartition des pluies quotidiennes fortes et très fortes permet de faire ressortir leur caractère sporadique et la discontinuité de leur occurrence dans le temps, ce qui en fait des événements assez rares mais fortement agressifs. Ce sont aussi des pluies particulièrement dangereuses puisqu'elles représentent plus de 16% des pluies automnales et plus de 15% des pluies de l'été.
- Variabilité temporelle et spatiale des paramètres énergétiques des pluies étant donnée l'importance des flux énergétiques dans la zone de piémont, ce qui pourrait être à l'origine d'un accroissement de l'instabilité du milieu d'autant plus que cette zone est soumise à une charge anthropique et pastorale importante, comme nous allons le constater dans le chapitre suivant.
- L'analyse fréquentielle des périodes sans pluies permet de rendre compte du caractère persistant et diffus de la sécheresse qui marque toutes les saisons sans exception et particulièrement à l'intérieur de la saison des pluies. Les séquences supérieures à 20 jours secs successifs y représentent environ 70% de l'ensemble des séquences sèches.
- Un bilan hydrique largement déficitaire, matérialisé par un déficit chronique de l'ETR par rapport à l'ETP. Ceci entrave le développement de la couverture végétale et accentue, par la même occasion, la vulnérabilité du milieu.

Cette situation est d'autant plus critique que les fortes amplitudes thermiques* des mois de l'été contribuent à désagréger le sol et à le préparer au décapage et à l'érosion sous l'action des flux pluviaux de l'automne, particulièrement intenses et développant des potentialités érosives importantes.

CHAPITRE 4 : LES FACTEURS SOCIO - ECONOMIQUES

Les facteurs socio - économiques contribuent largement à l'accélération du processus de dégradation des sols. L'action morphogénétique des pluies est "exagérée" par l'intervention de l'homme (érosion d'origine anthropique) et l'on est parfois tenté d'utiliser le terme d'érosion "accélérée" lorsque nous évoquons l'influence de l'homme, notamment la réduction du couvert végétal et les modifications des paysages agricoles.

I. EMPRISE DE LA POPULATION RURALE SUR LE MILIEU

1. EVOLUTION DE LA VIE RURALE

Ancienne terre de parcours des grandes confédérations de pasteurs "Frachiches" et Madjeurs, la région du Centre Ouest a connu une transformation presque complète de son paysage en moins d'un siècle. Celle-ci est caractérisée par l'extension de la céréaliculture et de l'arboriculture et par l'appropriation privée des terres cultivables. Ces mutations ont été provoquées par la colonisation, mais se sont poursuivies voire accélérées au cours des dernières décennies, sous l'effet de la modernisation du genre de vie et de la sédentarisation.

La restriction des terres de parcours, puis la réduction progressive des migrations vers les zones céréalières de la dorsale ont peu à peu contraint les éleveurs à s'adonner à la céréaliculture dans la steppe, dans des conditions écologiques de moins en moins favorables, avec des rendements souvent très bas. Cette évolution forcée vers la sédentarisation n'a pas coïncidé avec un progrès économique et social, mais au contraire a constitué un pis-aller, responsable de l'appauvrissement et de la dispersion d'une partie importante de la population. "L'extension de la céréaliculture, interprétée comme le signe de la sédentarisation et du progrès est en réalité la conséquence directe de la crise profonde de la société pastorale" (ATTIA.H, 1977). En outre la céréaliculture, dont l'extension a été particulièrement rapide entre 1930 et 1956 était tournée vers l'autoconsommation, au contraire de la production pastorale. Elle aurait contribué à une diminution des échanges avec l'extérieur et à un "repliement de" l'économie régionale sur elle-même. Cette mutation forcée va avoir des répercussions importantes sur le mode d'occupation de l'espace rural.

2. REPARTITION DE LA POPULATION RURALE

Les potentialités limitées du milieu, son hétérogénéité ainsi que l'évolution du pastoralisme vers l'arboriculture, qui fixe la population là où elle peut s'approprier des terres cultivables sont d'autant de facteurs favorables à la dispersion : En 1994, la population dispersée représente plus de 70% la population totale de la délégation de sbeitla malgré une légère régression par rapport à la situation en 1975 comme le montre le tableau(38) ci dessous.

* L'amplitude thermique du mois de juillet à sbeitla s'élève à 20,4°C. Ainsi, l'intense réchauffement diurne des sols succédant aux basses températures nocturnes entraîne une intense évapotranspiration potentielle et contribue à désagréger le sol et à le préparer au décapage et à l'érosion (ouverture des fentes de dessiccation qui seront ensuite exploitées par le ruissellement)

Tableau 44 Population dispersée en % entre 1975 et 1994

	1975	1984	1994
Sbeitia	78,5	70	71,7
G ^g Kasserine	76,3	61,2	62,5

L'augmentation des densités s'observe dans les zones dispersées comme dans les zones agglomérées (quoique à un rythme plus faible dans celles-ci). Ce fort taux de dispersion entraîne d'importantes disparités des niveaux et surtout des modes de vie. Elle maintient et augmente, par la même occasion, l'emprise de la population rurale sur le milieu.

3. DENSITES RURALES

La population reste dans sa majorité rurale (71,6%) avec un taux de dispersion qui atteint 92,8% (65% dans le gouvernorat de Kasserine). Les densités rurales sont de loin supérieures aux valeurs moyennes (60,1 habitants/km² contre 29,3 habitants/km² dans le reste du gouvernorat). D'autre part, si l'on compare les résultats des deux derniers recensements (1984 et 1994) on constate que contrairement à la tendance qui se profile dans les délégations du sud du gouvernorat, les secteurs ruraux de Sbeitia ont tous connu une augmentation de leur population résidente.

Il en résulte un solde migratoire positif puisque les départs sont largement compensés par le croît naturel de la population.

Tableau 45 Evolution des densités rurales (hab/km²)

	1966	1975	1984	1994
Sbeitia	14,5	26,5	43,3	60,1
G ^g Kasserine	20	23,4	25,6	29,3

(Source : INS, 1966 - 1975 - 1984 - 1994)

En réalité, les densités rurales sont plus élevées du fait de l'absence d'habitations dans les zones montagneuses et que la population se localise plus densément dans les zones de piémont. A cela s'ajoute la relative faiblesse des superficies mises en culture par rapport à la superficie totale de la délégation (30% seulement).

II. OCCUPATION ET EXPLOITATION DE L'ESPACE RURAL

La densité d'occupation a pratiquement doublé depuis l'indépendance au prix de transformations considérables dans les rapports de l'homme avec le milieu et d'une redistribution du peuplement dans l'espace régional.

1. OCCUPATION DE L'ESPACE RURAL

La rapide croissance de la population dans un territoire dont les potentialités de mise en valeur sont limitées ne manque pas de poser de nombreux problèmes, notamment la surexploitation des facteurs naturels. En effet, les cultures en sec ou en irrigué ne cessent de s'étendre sur des sols de moins en moins propices.

Les sols à hautes potentialités productives ne représentent que le 1/3 des sols cultivables. Le tableau(46) ci dessous permet de constater que les superficies mises en culture sont supérieures aux potentialités et indiquent, par la même occasion, l'amorce d'une redistribution de l'espace rural aux dépens des superficies réservées aux parcours et à l'alfa.

Tableau 46 : Surface agricole potentielle et surface exploitée (ha)

Spéculation	Superficie potentielle	Superficie occupée
Arboriculture	16445	17211
C. Annuelles	17332	17450
Total arable	33777	34661
Parcours	33034	37894
Alfa	18592	18592
Forêt	15853	15853
Total	101256	106800

Les surfaces occupées par l'arboriculture et la céréaliculture ont dépassé les surfaces potentielles et se sont installées sur des sols de moins en moins propices quoique l'étendue de cette dernière spéculation, c.à.d la céréaliculture, varie d'une année à l'autre en fonction de la répartition et de l'importance des pluies. D'autre part, l'on constate que les aires occupées par les parcours (37894 ha) sont supérieures aux potentialités (33034 ha). Ceci indique une transgression des parcours sur le domaine alfatier. Cette évolution de l'occupation des sols qui s'oriente vers l'intensification est de nature à perturber l'équilibre fragile d'un milieu particulièrement sensible en raison de l'importance des héritages.

2. DENSITE D'EXPLOITATION DES TERRES ARABLES

La pression de plus en plus croissante sur les terres agricoles est mieux perceptible en considérant les indicateurs qui traduisent l'emprise de la population rurale sur l'espace. Les structures agraires dans la délégation de sbetla font une place importante à la petite exploitation et à l'appropriation privée des terres cultivables puisque les statistiques agricoles montrent que 78% des exploitations ont une superficie inférieure à 10 ha et que le nombre des exploitants s'élève à 4714, soit environ 50% de la population active en milieu rural et 44,6% des actifs ruraux. Les terres privées totalisent 64194 ha soit plus de 60% de la superficie agricole potentielle ; ce qui met la délégation de sbetla au 1^{er} rang à l'échelle du gouvernorat. Par ailleurs, la mutation rapide des structures économiques de la région au cours des deux dernières décennies n'a que peu altéré la répartition par catégorie socio-professionnelle de la population active puisque les emplois agricoles représentent encore une proportion importante du nombre d'actifs dans la délégation. Le tableau (47) ci dessous montre que l'agriculture occupe environ 50% de la population rurale et que le nombre d'actifs agricoles représente une part importante dans le total des actifs de la délégation (44,3%).

Tableau 47 : Population active à sbetla par milieu en 1966 et 1984

Année	Totale	Urbaine	Rurale	Emploi agricole	Actifs	(%)
1966	11488	1277	10211	8045	9190	87,5
1984	13110	3500	9610	4680	10570	44,3

(Source INSS : 1966, 1984, 1994)

La superficie mise en culture ne représente que 30% de la superficie totale. Il en résulte une densité importante dans les zones cultivées malgré une diminution de la population rurale. Ces densités sont d'autant plus élevées dans les zones agricoles du fait de l'absence de peuplement dans les zones montagneuses et que la population se localise plus densément dans les zones de piémont. Le tableau ci dessous montre le fort lien qui s'est établi entre la dispersion de la population et son emprise sur l'espace agricole.

Cette relation s'est traduite d'une part, par la régression de la superficie de terre arable par habitant isolé puisqu'elle passe de 1,12 ha en 1975 à 0,7 ha en 1994 ; et d'autre part, par l'augmentation des densités dans les terres cultivées qui ont dépassé les 130 habitants isolés au km² en 1994.

Tableau 48 : Dispersion et intensité d'occupation du sol à Sbeitla

	1975	1984	1994
Population dispersée en %	78,5	70	71,7
Terre arable / hab. isolé (Ha)	1,12	0,98	0,70
Hab. isolé / km ² terre cultivée	86,2	97,8	133,5

3. PRATIQUES CULTURALES

Le système de culture dans la zone de Semmama est basé sur les cultures céréalières et la jachère traditionnelle en un assolement biennal. Leur étendue ainsi que leur localisation à l'échelle inter-annuelle varient en fonction de la pluviosité. La céréaliculture (blé et orge) se pratique de plus en plus au détriment des terres de parcours et de l'alfa, et bien qu'elle soit soumise aux aléas du climat, elle demeure l'activité agricole dominante. Elle occupe les piémonts, les couloirs alluvionnaires et les glacis sablo-limoneux qui sont exploités intensivement.

Or l'expérimentation réalisée par KAABIA () a montré que ces pratiques culturales peuvent être à l'origine d'une érosion importante. L'exemple de la jachère traditionnelle est édifiant puisque celle-ci présente des taux de ruissellement et d'érosion plus élevés que le reste des cultures. En effet, l'orge qui est considérée, à priori, comme une culture non érosive par rapport au blé, en raison de l'importance de son pouvoir de tallage, peut développer des potentialités érosives très marquées si elle est utilisée à double vocation, comme c'est le cas dans la région de Semmama, c.à.d pâturée au printemps. Cette pratique engendre une diminution de la couverture végétale et un remaniement de la couche superficielle du sol sous l'effet du piétinement. Ceci se traduit par l'augmentation de la densité apparente¹⁷ la diminution de la porosité à l'air et de la perméabilité à l'eau.

De plus, les pratiques culturales inadéquates, notamment l'utilisation des engins à poly disques, ont des effets néfastes : disparition de la couverture végétale, modification des propriétés hydrodynamiques des sols et ameublissement des horizons superficiels, les préparant aux actions érosives des agents météoriques. Ceci est d'autant plus vrai que les surfaces labourées au tracteur dans la délégation dépassent 80% de l'ensemble des surfaces emblavées et que les labours se font le plus souvent, le long des pentes.

En conclusion, nous pouvons dire que la région se caractérise par :

- Une mutation profonde des structures socio-économiques qui a engendré une emprise de plus en plus intense de la population sur l'espace. Le taux de dispersion dépasse les 70% et les densités rurales sont particulièrement importantes malgré des potentialités assez modestes.

- L'évolution des structures agraires fait une place importante à la petite exploitation et à l'appropriation privée des terres arables. Plus des deux tiers des exploitations ont une superficie inférieure à 10 ha. Les terres privées représentent plus de 60% de la superficie agricole potentielle.

¹⁷ On appelle " densité apparente " d'un sol, le poids de l'unité de volume du sol en place.

- Des pratiques culturales érosives inhérentes à l'évolution du système de culture et à l'utilisation à outrance de la mécanisation sur des sols particulièrement fragiles. Les surfaces labourées au tracteur dans la délégation dépassent 80% de l'ensemble des surfaces emblavées. Ceci est d'autant plus grave que la fréquence d'utilisation de la traction mécanique dans le travail du sol devient de plus en plus élevée (2 à 4 labours par an en arboriculture, par exemple).

- L'occupation des sols montre que les cultures ne cessent de s'étendre sur des terres qui leur sont de moins en moins favorables et que la densité dans les terres arables est très élevée puisqu'elle atteint 133,5 habitants isolés/km².

Cette réorganisation de l'utilisation de l'espace rural va avoir des répercussions importantes sur l'activité pastorale qui continue d'être une composante principale de l'économie rurale et régionale.

III. LA CHARGE PASTORALE

1. CHEPTEL OVIN ET CAPRIN

L'élevage a été et demeure la principale richesse agricole de la région malgré l'extension de l'arboriculture fruitière. La taille du cheptel est variable. Elle fluctue d'une campagne à l'autre en fonction de l'extension des emblavures céréalières. Le tableau(49) ci dessous montre l'importance de la place qu'occupent les ovins dans le cheptel et permet de constater aussi que le nombre d'ovins est en augmentation malgré les fluctuations conjoncturelles.

Tableau 49 : Elevage et parcours dans la délégation de Sbeitla (têtes)

	Cheptel	Ovins	Ovins / cheptel	Ha/ tête
1985/86	52000	40000	77%	0.72
1990/91		72382		0.49
1994/95		56400		0.62

D'autre part, malgré les fluctuations de la charge pastorale ovine, celle ci reste élevée. En effet, rapportée au nombre de têtes, la superficie disponible par tête ovine est de 0,62 hectares par tête. Elle peut même descendre plus bas, comme en 1990/91 alors que la charge souhaitable par ATTIA. H est de 1 tête pour 2 à 5 ha dans les parcours d'armoise et d'alfa.

2. LE BILAN FOURRAGER

Les terres à vocation pastorale stricto-sensu s'élèvent à 8290 ha, permettant de dire que la superficie restante représente en réalité des parcours "nus" dont la superficie est variable et le rendement fourrager est médiocre. Le tableau(50) ci dessous révèle une faible production fourragère à l'hectare.

Elle atteint à peine 360 UF/ha¹⁸ dégageant ainsi un bilan fourrager déficitaire en permanence. Les besoins étant toujours supérieurs aux productions.

¹⁸ U.F (Unité fourragère) : C'est la quantité d'énergie utilisable par l'animal pour ces besoins énergétiques. La base de son calcul est la quantité d'énergie utile renfermée dans un kilogramme d'orge moyenne de bonne qualité.

¹⁹ La stabilité structurale est définie comme étant la résistance de la structure du sol aux agents de dégradation. Elle dépend de la résistance mécanique des agrégats du sol aux agents de dégradation (l'eau et certaines pratiques culturales inadéquates).

²⁰ Le surpâturage se traduit, d'une part, par une modification de la composition spécifique des pâtures, les animaux consommant les plantes plus vite qu'elles ne poussent et se multiplient ; d'autre part, le surpâturage fait apparaître des plages de sol nu, par dégradation de la couverture végétale, et le piétinement tasse le sol. Sa porosité diminue, ce qui entrave les processus aérobie, comme la nitrification et l'infiltration.

Tableau 50. Evolution des bilans fourragers à Scedfa (million d'UF)

Campagne	Parcours (ha)	UF produites	Besoins en UF	Solde (UF)
1985/86	37894	13,6	24,8	-11,2
1990/91	95647	12,5	34,5	-21,9
1994/95	34958	12,2	26,9	-14,7

Au terme de cette analyse, nous constatons que l'augmentation de la charge pastorale, suite au rétrécissement des superficies réservées aux pâturages, et l'amplification du déficit fourrager, résultant des faibles rendements fourragers des parcours de la région, sont susceptibles d'entraîner une dégradation plus accentuée du couvert végétal et de la stabilité structurale des sols sous l'effet, du piétinement, créant ainsi les conditions favorables au ruissellement et au transport.

Nous pouvons clore ce chapitre, en retenant les points suivants :

- Une emprise de plus en plus intense de la population sur l'espace rural suite aux profondes mutations des structures socio-économiques, notamment la sédentarisation et l'extension de la céréaliculture et de l'arboriculture qui se sont accompagnées d'une restructuration de la propriété. D'où un très fort recul de l'appropriation collective des terres arables au profit de l'appropriation individuelle. plus des 2/3 de la superficie agricole potentielle sont des terres privées. Cette évolution a été favorable à la dispersion (+de 70% de la population rurale vivent isolés) et à l'augmentation des densités rurales (71,7 hab./km²) et agricoles (133,5 hab./km² de terre cultivée).
- Augmentation des potentialités érosives par le biais d'une fragilisation de plus en plus poussée des sols. En effet, les cultures ne cessent de s'étendre sur des terres qui leur sont de moins en moins favorables d'où une redistribution de l'espace rural aux dépens des superficies réservées aux parcours et à l'alfa. D'autre part, l'évolution du système de culture (extension de la céréaliculture et de l'arboriculture) a multiplié les pratiques culturales érosives telles que l'utilisation de la traction mécanique sur des sols particulièrement fragiles. Les surfaces labourées au tracteur dans la délégation dépassent 80% de l'ensemble des surfaces emblavées. Cette pratique est d'autant plus dangereuse que la fréquence d'utilisation de la traction mécanique dans le travail du sol devient de plus en plus élevée (2 à 4 labours par an en arboriculture, par exemple).
- Cette réorganisation de l'utilisation de l'espace rural va avoir des répercussions importantes sur l'activité pastorale, notamment la restriction des terres de parcours qui représentent actuellement moins de 20% de la superficie exploitée. Cette restriction a eu des effets particulièrement négatifs. En effet, la surcharge des parcours consécutive à l'extension des zones de cultures et à l'augmentation de la taille du cheptel, et les faibles rendements fourragers constituent autant de facteurs favorables à la dégradation du milieu. La réduction du couvert végétal et la détérioration des propriétés structurales des sols facilite et accélèrent le travail morphogénétique des pluies, notamment par la modification des conditions d'infiltration et de ruissellement.

CONCLUSION

Ce premier volume ayant été consacré à la présentation des expérimentations, de leurs objectifs et de leur contexte environnemental ainsi qu' à l'étude des facteurs de l'érosion hydraulique dans la région de Semmama, nous allons réserver le deuxième volume de ce travail à la présentation des résultats de nos recherches en procédant à l'analyse de la dynamique érosive qui prévaut dans la région de Semmama. Il s'agira en fait, de caractériser le processus de mobilisation - transport en étudiant les relations qui existent entre le ruissellement et l'érosion et les propriétés énergétiques des pâtes d'une part et les facteurs du milieu d'autre part. Cette démarche permettra de délimiter l'influence respective de chaque facteur ou paramètre sur le comportement érosif des différents milieux expérimentaux étudiés.

Nous soumettrons ensuite les résultats obtenus à l'analyse multi variée en vue d'une modélisation partielle du ruissellement et du transport solide. Laquelle modélisation aura pour but de rendre mieux compte de la complexité des relations et des inter relations qui caractérisent et rythment le processus érosif.

Références Bibliographiques

- Bannour, H.* Les manifestations de l'érosion hydrique dans la région de Kasserine, in *Sols de Tunisie, Bulletin N°17*, (1982)
- Bulletin de la Direction des Sols (N°11)*, Carte de l'érosion du nord et du centre de la Tunisie au 1/200.000^e, Direction des Sols, (1980)
- Delhoume, JP.* Etudes en milieu Méditerranéen semi aride. Ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale (dj. Semmama). Résultats de 1975 à 1979, Direction des Sols, (1981)
- Delhoume, JP.* Etudes en milieu Méditerranéen semi aride. Ruissellement et érosion en zone de piémont de Tunisie centrale (dj. Semmama). Résultats de 1975 à 1981, Direction des Sols, E.S. 224, (1981)
- Habib Attia.* Les hautes steppes tunisiennes, de la société pastorale à la société paysanne. Paris. Thèse de Doctorat d'état, 3 vol. Univ. De Paris VII, (1977)
- H. Ben Chaâbane et al.* Analyse des résultats de suivi de l'érosion hydrique dans la région de Semmama, Observatoire de l'érosion, Tunisie Centrale. Direction des Sols, E.S. 306, (1999)
- H. Ben Chaâbane.* Analyse des résultats de suivi de l'érosion hydrique dans la région de Semmama. Pluies et Intensités pluviales à Boufaroua, Observatoire de l'érosion, Tunisie Centrale. Direction des Sols, E.S. 312, (2000)
- Institut National de Statistiques (INS).* Recensement général de la population et de l'habitat, (1975)
- Institut National de Statistiques (INS).* Recensement général de la population et de l'habitat, (1984)
- Institut National de Statistiques (INS).* Recensement général de la population et de l'habitat, (1994)
- Institut National de Statistiques (INS).* Perspectives d'évolution de la population. Fasc. 2 : Projections régionales de la population 1971-1986, (1972)
- Jürgen Vogt.* Monitoring the halfa steppes of central Tunisia using Landsat MSS, in *ITC JOURNAL*, (1988 - 2)
- L. Hénia.* Climat et Bilans de l'eau en Tunisie, Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Publications de l'Université de Tunis I (1993)
- Ministère de l'agriculture.* Office de Développement de la Tunisie Centrale (ODTC), Etude d'un programme de développement intégré dans la le gouvernorat de Kasserine, Tunis, SCET, (1986)
- M'timet, A.* Atlas des sols tunisiens, Tunis, (1999)
- M'timet, A, B. Hamdi, S. Agrebaoui.* Diagnostic des états de dégradation des sols des régions arides et semi-aride (Kasserine et Zaghuan). Séminaire maghrébin de CES, Kairouan - Tunisie, (1994)
- M'timet, A, Ch. Derouiche.* base de données géographiques des sols (la carte pédologique - Tunisie), Direction des Sols, ES 318, (2001)
- P. Vermeersch.* Résultat d'une prospection préhistorique dans le bassin de Kasserine, Tunisie steppique. *Annales des Mines et de la Géologie, Tunis*, N°26, pp. 607-620, (1973)
- Raymond Gervais.* La population et l'eau en Tunisie Centrale. Clark University & Institute for Development Anthropology, (1987)
- Sols de Tunisie - Bulletin N°17*, Actes du séminaire de Kairouan : Etude et recherche sur l'érosion hydrique, Tunis, (1994)
- Y. Zaher.* Eléments d'hydrologie pour l'aménagement, modélisation spatiale et temporelle des précipitations extrêmes et érosives en Tunisie centrale, Université de Tunis I, (1997).

Liste des tableaux

Tableau 1	Précipitations annuelles moyennes et extrêmes	7
Tableau 2	Variabilité de la pluviométrie mensuelle	7
Tableau 3	Contribution moyenne en (%) des pluies saisonnières dans la pluviométrie annuelle à Boufarwa	8
Tableau 4	Bilan hydrique moyen à Kasserine en mm	9
Tableau 5	Répartition de la végétation naturelle selon les unités physiographiques et son mode d'exploitation	10
Tableau 6	Accroissement comparé de la population	11
Tableau 7	Evolution comparée des densités rurales (hab/km ²)	11
Tableau 8	Dispersion et intensité d'occupation du sol à Sbeitla	12
Tableau 9	Caractéristiques de la grande parcelle	18
Tableau 10	Caractéristiques de la grande parcelle	19
Tableau 11	Protocole d'intervention dans les deux petites parcelles	19
Tableau 12	Protocole des interventions dans la station S1	20
Tableau 13	Formations superficielles, sols, recouvrement végétal et état de la surface du sol	22
Tableau 14	Caractéristiques de la parcelle "Toposéquence"	23
Tableau 15	Caractéristiques de la petite parcelle "Armont"	23
Tableau 16	Caractéristiques des parcelles[S2]	24
Tableau 17	Caractéristiques de la grande parcelle	24
Tableau 18	Occupation du sol et interventions dans les deux parcelles	25
Tableau 19	Occupation du sol et interventions dans les deux petites parcelles	25
Tableau 20	Interventions et occupation du sol dans la grande parcelle	25
Tableau 21	Cumul des écarts par rapport aux moyennes décennales	28
Tableau 22	Totaux pluviométriques annuels (mm)	31
Tableau 23	Contribution moyenne en (%) des pluies saisonnières dans la pluviométrie annuelle à Boufarwa (1975 - 1997)	32
Tableau 24	Totaux pluviométriques saisonniers (mm)	33
Tableau 25	Variabilité de la pluviométrie mensuelle	38
Tableau 26	Distribution pluviométrique mensuelle à Boufaroua	39
Tableau 27	Nombre de jours de pluie et pluviosité à Boufaroua et à Sbeitla	41
Tableau 28	Répartition mensuelle moyenne des jours et des épisodes pluvieux	42
Tableau 29	Répartition des épisodes pluvieux à l'intérieur de la saison des pluies (1975 - 1997)	42
Tableau 30	Répartition annuelle des pluies quotidiennes faibles (%)	43
Tableau 31	Répartition saisonnière des pluies quotidiennes faibles	43
Tableau 32	Répartition annuelle des pluies quotidiennes fortes (%)	44
Tableau 33	Répartition saisonnière des pluies quotidiennes fortes	45
Tableau 34	Répartition saisonnière des pluies torrentielles (%)	45
Tableau 35	Répartition des très fortes pluies quotidiennes à Sbeitla	46
Tableau 36	Variation des intensités érosives à Boufaroua	48
Tableau 37	Averses Types d'automne et de printemps	48
Tableau 38	Intensité instantanée maximale et énergie cinétique globale pour des pluies de mêmes hauteurs	50
Tableau 39	Energie cinétique en fonction de la hauteur pour des pluies de mêmes intensités instantanées maximales	50
Tableau 40	Variation des E.C.G des pluies érosives (joules/m ²)	52
Tableau 41	Propriétés énergétiques des pluies ruisselantes en 1976	56
Tableau 42	Les séquences sèches > 20 jours à l'intérieur de la saison des pluies (1975 - 97)	58
Tableau 43	Bilan hydrique moyen et déficience hydrique à Kasserine (mm)	60
Tableau 44	Population dispersée en % entre 1975 et 1994	62
Tableau 45	Evolution des densités rurales (hab/km ²)	62

Tableau 46	Surface agricole potentielle et surface exploitée (ha)	63
Tableau 47	Population active à Sbeitla par milieu en 1966 et en 1994	63
Tableau 48	Dispersion et intensité d'occupation du sol à Sbeitla	64
Tableau 49	Elevage et parcours dans la délégation de Sbeitla (têtes)	65
Tableau 50	Evolution des bilans fourragers à Sbeitla (million d'UF)	66

Liste des figures et des photos

Figure 1	Le cadre géographique	4
Figure 2	Variation des pluies annuelles à Boufarwa (1975 - 2000)	30
Figure 3	Courbe des fréquences cumulées des pluies annuelles (1975-00)	31
Figure 4	Fréquences cumulées des pluies saisonnières (1975 - 1997)	33
Figure 5	Variation de la pluviosité automnale à Boufarwa (1975 - 1997)	36
Figure 6	Variation de la pluviosité printanière à Boufarwa (1975 - 1997)	36
Figure 7	Variation de la pluviosité hivernale à Boufarwa (1975 - 1997)	37
Figure 8	Variation de la pluviosité estivale à Boufarwa (1975 - 1997)	37
Figure 9	Le régime pluviométrique mensuel moyen à Boufarwa (1975 - 97)	38
Figure 10	Histogramme du nombre annuel des jours de pluie à Boufarwa	40
Figure 11	Relation entre le nombre annuel de jours de pluie et la pluviosité	41
Figure 12	Répartition mensuelle moyenne des jours et des épisodes pluvieux	42
Figure 13	Variation en % de la part des pluies inférieures à 5mm dans la pluviométrie annuelle	44
Figure 14	Variation en % de la part des pluies supérieures à 10mm dans la pluviométrie annuelle	45
Figure 15	Variation mensuelle des intensités érosives à Boufarwa	46
Figure 16	Energie cinétique des pluies en fonction de leur intensité	50
Figure 17	Relation entre l'énergie cinétique et la hauteur de l'averse	51
Figure 18	Variation mensuelle de l'énergie cinétique globale des averses	52
Figure 19	Variation mensuelle de l'indice d'agressivité des pluies à Boufarwa	54
Figure 20	Variation de l'érosion annuelle dans la petite parcelle traitée	55
Figure 21	Relation entre la sécheresse estivale et la pluviosité annuelle	57
Figure 22	Répartition en (%) du nombre de jours secs à l'intérieur de la saison des pluies	58
Figure 23	Déficience hydrique à Kassenne	59
Photo 1	La parcelle de la zone montagneuse et son environnement	26
Photo 2	Etat de la couverture végétale et cordons en pierres sèches	26
Photo 3	Etat de la surface du sol de la parcelle (1)	26
Photo 4	Etat de la surface du sol de la parcelle (2)	
Photo 5	Coupe transversale dans la surface structurale	27
Photo 6	Aménagement anti-érosif, cordons en pierres sèches	27
Photo 7	Accumulation d'éléments fins derrière les cordons	27
Photo 8	Vue d'ensemble de la station SII, site de Boufarwa	27
Photo 9	La petite parcelle témoin, station SII	28
Photo 10	La petite parcelle traitée, station SII	28
Photo 11	Etat de la surface du sol, petite parcelle témoin	28
Photo 12	Etat de la surface du sol, petite parcelle traitée	28

FIN

81

VUES