

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE TUNISIE
DEPARTEMENT DE GENIE RURAL, EAUX ET FORETS

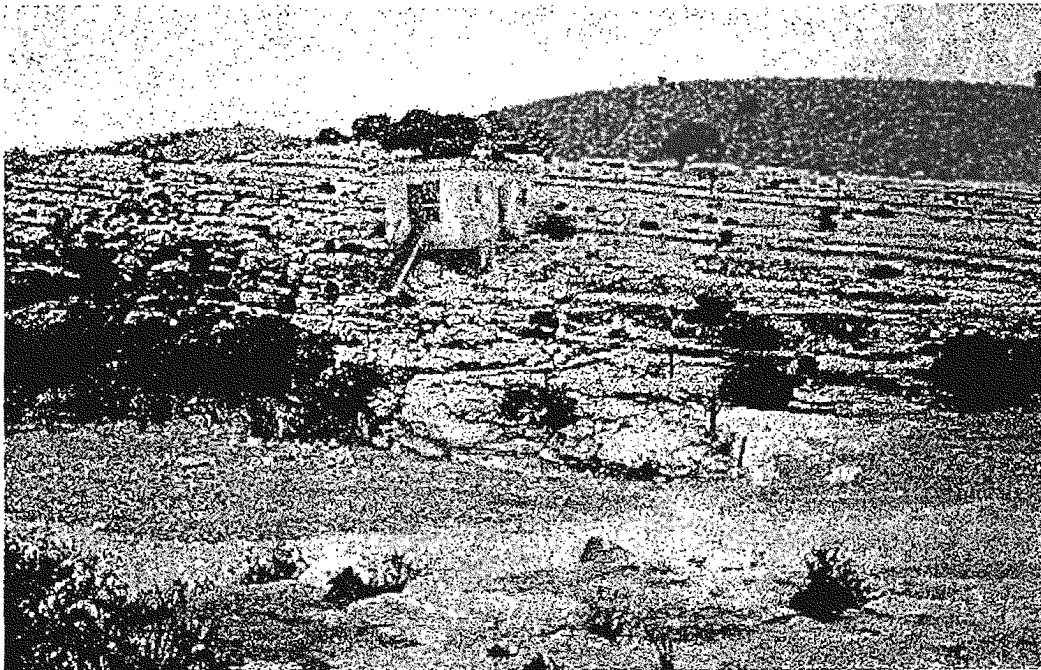
Option : Hydraulique & Aménagement Rural

PROJET DE FIN D'ETUDES DU CYCLE D'INGENIEURS

Présenté par : RABHI Jallel

Thème

***ETUDE HYDROLOGIQUE & AMENAGEMENTS
DU HAUT BASSIN VERSANT DU MERGUELLIL (CENTRE DE LA TUNISIE)***



Oued Merguellil à la station de Skhira Kef Labiodh

Cliché : P. Garetta 12/03/1996

Encadré par MM :

HABAIEB Hamadi
(INAT)

BOURGES Jacques
(ORSTOM)

Année Universitaire : 1997/98



**A ma mère, à mon père
A mes frères & soeurs**

**en témoignage de toute ma
reconnaissance
et mon profond amour,**

**A tous ceux qui me sont
chers,**

**Je dédie ce modeste
travail, ma seule manière
de leur exprimer mon
profond attachement
certes, il n'est pas à la
hauteur de leur sagesse.**

Rabhi Jalel

AVANT-PROPOS

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'un Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme National d'ingénieur en Hydraulique et Aménagement Rural à l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT). Comme l'indique son titre, ce travail porte sur l'étude du régime hydrologique et de la situation des aménagements en matière de conservation des eaux et des sols de la partie supérieure du bassin versant du Merguellil, partie la plus arrosée du bassin, sur proposition de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (Orstom), la Direction Générale des Ressources en Eaux (DGRE) et l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT).

Au terme de ce travail, je tiens à remercier très vivement et exprimer ma reconnaissance à tout ceux qui m'ont apporté, de loin ou de près, leur aide précieuse. Qu'ils trouvent, ici, l'assurance de ma grande reconnaissance. Mes remerciements vont :

aux Professeurs BEN HAMMOUDA Mohamed Habib et HARRABI Mohamed Moncef, ancien et actuel Directeur de l'INAT.

à M. CLAUDE Jacques, représentant de la Mission Orstom en Tunisie, pour m'avoir accueilli dans son établissement et pour avoir mis à ma disposition tout le matériel nécessaire pour l'accomplissement de ce travail.

à M. KALLEL Ridha pour avoir accepté que ce stage s'inscrive dans le cadre d'une convention entre la Direction Générale des Ressources en Eau dont il est le Directeur, l'Orstom et l'INAT.

Mes vifs remerciements s'adressent à mon encadreur HABAIEB Hamadi, Maître de conférences au Département de Génie Rural, Eaux et Forêt de l'INAT, qui a été attentif à ma formation et m'a donné le goût du travail en hydrologie. Ses précieux conseils et son soutien moral ont été très bénéfiques pour le bon déroulement de mon stage.

Je ne saurais trouver les mots nécessaires pour exprimer mes remerciements à celui qui a suivi quotidiennement le déroulement de ce travail, Monsieur BOURGES Jacques, Directeur de recherches à l'Orstom. En assurant, entre autres, l'encadrement scientifique et matériel quotidien de ce mémoire, il a contribué à plus d'un titre, à créer les conditions nécessaires et indispensables à la réalisation de ce travail, sa rigueur scientifique furent un apport non négligeable à l'avancement de ce projet.

Je ne peux qu'associer dans ces remerciements M. GARETTA Philippe qui m'a permis l'accès aux banques de données et a mis à ma disposition toutes les données nécessaires, sans lesquelles ce travail n'aurait pas été possible. Je lui suis reconnaissant pour sa disponibilité et ses excellentes qualités humaines.

Je souhaite exprimer mes plus vifs remerciements à tout le personnel de l'Orstom, pour leurs contributions diverses mais néanmoins importantes, en particulier, MM BEN YOUNES M., AYARI H. et M^{lle} JENHAOUI Z., ainsi qu'à mes collègues à l'Orstom

MANSOURI T., ASKRI B., et M^{elles} DRIDI B. et LARBI A. pour leurs encouragements permanents et leur aide quotidienne.

Nos remerciements et non des moindres, vont au personnel de la DGRE pour leur sollicitude à notre égard et leur serviabilité.

Nous ne pouvons terminer sans rendre un grand hommage à tous nos enseignants de l'INAT, qui n'ont cessé de nous fournir aucun effort pour nous former et de jouer un rôle très important dans l'accomplissement de notre vie universitaire.

Que l'ensemble des membres de jury trouvent, ici, l'expression de ma respectueuse gratitude pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce présent travail.

Enfin, à toi merci.



Jalel

RESUME

La zone du haut bassin versant du Merguellil, connu par son relief accidenté entaillé par un réseau hydrographique relativement dense, règne sous la dépendance d'un climat semi-aride supérieur à hiver frais.

L'étude de sa pluviométrie montre que cette dernière accuse des irrégularité importantes.

L'étude des écoulements montre que les crues contribuent pour plus des trois quarts pour l'apport annuel total. Elles sont surtout concentrées en automne connu par ses crues souvent sous forme d'orages brefs et violents, se produisant en fin d'après-midi.

L'étude des débits de base montre que ces derniers sont très irréguliers tant au fil des années qu'au cours de la même année.

Malgré les efforts déployés, en matière de conservation des eaux et des sols depuis les années 87, une tentative de l'étude de l'impact des aménagements entrepris sur le régime hydrologique du bassin, a montré une augmentation du coefficient de ruissellement. Cela peut être expliqué par plusieurs raisons qui sont en relations soit, avec l'occurrence des crues et leur fréquence, soit, à avec un défrichement et pacage du couvert végétal favorisant le ruissellement.

SOMMAIRE

	Page
Introduction générale	
I. Première partie : Etude du milieu physique de la région d'étude	
Introduction	2
I.1 Situation générale	2
I.2. Topographie	2
a. Relief	2
b. Répartition en altitudes et en pentes des superficies	4
c. Autres caractéristiques de forme et de relief du bassin	5
d. Réseau hydrographique	5
I.3. Géologie , pédologie et végétations	8
a. Géologie	8
b. Pédologie	8
c. Couverture végétale	10
I.4. Climat	10
Conclusion	11
II. Deuxième partie : Etude hydrologique de la région d'étude	
II.1. Introduction	13
II.2. Données disponibles	13
II.2.1. Pluviométrie	13
II.2.1.1. Choix des stations	13
II.2.1.2. Données disponibles	15
II.2.2. Hydrométrie	15
II.3. Présentation des deux logiciels de traitement des données hydrologiques	16
II.4. Etude de la pluviométrie	17
Introduction	17
II.4.1 Evolution de la pluviométrie annuelle	18
II.4.1.1. Aperçu sommaire sur le régime des pluies en Tunisie	18
II.4.1.2. Evolution de la pluviométrie sur une période longue durée	19
II.4.1.3. Etude de la représentativité de la série d'étude par rapport à une série longue durée	23
II.4.2. Etude de la pluviométrie moyenne au niveau du Merguellil à la station de la Skhira	24
II.4.2.1. Méthode de Thissen	24
II.4.2.2. Pluviométrie mensuelle et annuelle	25
II.4.2.3. Analyse du tableau des moyennes	25
II.4.3. Comparaison entre la pluviométrie à la station de Kesra et la précipitation moyenne sur le bassin	28
II.4.4. Distribution spatiale des précipitations au niveau du haut bassin du Merguellil	29

Conclusion	29
II.5. Etude des écoulements	31
II.5.1. Débits moyens mensuels et annuels	31
II.5.2 Etude des crues	33
II.5.2. 1. Occurrence saisonnière des crues	34
II.5.2.2. Occurrence horaire des crues	35
II.5.2.3. Caractéristiques des crues	36
II.5.3. Les volumes ruisselés	37
II.5.4. Les débits de base	38
II.5.5. Etude des débits maximaux	41
II.6. Etude de la relation entre les différents paramètres hydrologiques	42
II.6.1. Relation Pluie moyenne - Lamé ruisselée	43
II.6.2. Relation Lamé ruisselée-Débit maximum	46
II.6.3. Relation Pluie moyenne - Lamé ruisselée - Débit maximum	47
conclusion	48
III. Troisième partie : Etude des aménagements	
Introduction, Problématique de l'érosion	50
III.1. Généralités sur les travaux de conservation des eaux et des sols	51
III.1.1. Le traitement des versants agricoles	51
III.1.1.1. Les techniques mécaniques	51
III.1.1.1.1. Les banquettes	51
a. Caractéristiques physiques des banquettes	52
b. Conception des banquettes	52
i) Ecartement et longueur des banquettes	52
ii) Hauteur des banquettes	53
iii) Longueur du bourrelet par hectare	53
iv) Seuil déversoir	53
III.1.1.1.2. Les cordons en pierres sèches	54
Dimensionnement des cordons en pierres sèches	54
III.1.1.2. Les méthodes biologiques	55
III.1.2. Aménagement des cours d'eau	55
III.1.2.1. Introduction	55
III.1.2.2. Les lacs collinaires	55
III.1.2.3. Les seuils	57
III.1.2.3.1. Rôle des seuils	57
III.1.2.3.2. Types de seuils	57
a) Seuils en pierres sèches	57
b) Seuils en gabions et en maçonnerie	57
III.1.2.3.3. Dimensionnement des seuils	58
III.1.2.4. Les épis	58
III.2. Historique des plans d'aménagement dans le bassin du Merguellil	59
III.3. Types d'ouvrages installés sur le Haut Merguellil	61
Conclusion	63
Conclusion générale	

Références bibliographiques

Liste des figures

Liste des tableaux

Annexes

INTRODUCTION GENERALE

Depuis fort longtemps, l'oued Merguellil est connu par la rareté de ses ressources en eau et la violence redoutable de ses crues. Son régime hydrologique particulier a retenu l'attention de nombreux chercheurs, planificateurs, hydrologues et aménagistes. La plupart de leurs études avaient pour but une bonne maîtrise de l'eau en vue de sa conservation et la protection contre les risques qu'elle peut causer. Depuis quelques années, les projets de développement de la Tunisie centrale, en particulier sur le bassin versant du Merguellil, n'ont cessé de se multiplier. La nécessité d'obtenir des informations fiables sur l'hydrologie de cet oued se fait de plus en plus urgente. Dans cette optique, plusieurs stations de mesures ont été mises en place ce qui fait qu'aujourd'hui on dispose de suffisamment de données pour entamer une étude hydrologique de ce bassin méritant, de plus en plus, une intervention urgente en matière de conservation des eaux et des sols.

C'est dans ce cadre, essentiellement, que s'inscrit cette étude concernant le haut bassin versant du Merguellil, limité à la station située au verrou formé par Kef Labiodh et Djebel Skhira, la partie la plus arrosée du bassin. Elle a pour objectif d'étudier l'hydrologie de ce bassin dans le but de son aménagement.

En effet, toute tentative de conservation des eaux et des sols et le dimensionnement des ouvrages de CES est basée essentiellement sur l'étude hydrologique. Cependant, toute cette étude peut être décomposée en deux volets distincts pour leurs objectifs et leur mode d'estimation :

- L'étude des apports qui déterminent les conditions de remplissage des retenues dont le volume utile est fonction de l'apport moyen annuel.
- L'étude des crues qui détermine le dimensionnement des ouvrages en déterminant le débit de crue pour une période de retour T donnée.

Par ailleurs, pour effectuer l'étude hydrologique, il est indispensable de déterminer les caractéristiques physiographiques du bassin versant, ainsi que la pluviométrie puisque ces paramètres rentrent dans l'estimation des apports et des débits de crue.

Cette étude est conçue en trois principales parties :

❶ la première partie sera consacrée à l'étude du milieu physique et des facteurs conditionnant les régimes hydrologiques (morphologie, géologie, sols, couvert végétal, climat), elle s'intéressera à la présentation des données monographiques de la région étudiée.

❷ la deuxième partie portera sur l'étude hydrologique de la région en établissant la relation de corrélation entre les différents paramètres hydrologiques.

Un premier chapitre sera consacré à une étude pluviométrique à l'échelle mensuelle et annuelle qui aura permis de faire l'inventaire des archives disponibles et de dégager les grandes lignes du régime pluviométrique régnant sur le bassin étudié sans

détailler l'étude des pluies journalières, qui sont pourtant fondamentales pour une telle étude mais que l'état actuel des données non élaborées, surtout des dernières années, ne permettait pas d'aborder dans un délai convenable.

On étudiera dans un deuxième chapitre le régime des écoulements sur le bassin étudié.

Afin d'apprécier l'impact des travaux d'aménagement entrepris dans le bassin étudié sur le régime des écoulements au cours de la période d'observation (1974 - 1996), on a procédé à un essai de régression entre les différents paramètres hydrologiques. Nous avons pensé qu'il est plus judicieux de diviser la série des 22 années en deux périodes tout en supposant que la première correspond à une période sans aménagements. Les résultats établis feront l'objet du troisième chapitre de cette partie. On établira les relations de corrélation entre les différents paramètres hydrologiques à savoir la pluie moyenne relevée sur le bassin versant étudié, la lame ruisselée et le débit maximum atteint lors de crue, tant à l'échelle des crues qu'à l'échelle des saisons.

③ Dans la troisième partie, on étudiera les aménagements entrepris en matière de conservation des eaux et des sols.

Il est à noter que c'est surtout la deuxième partie qui reflète l'effort d'analyse et de conception et représente la contribution de cette étude.

***PREMIERE PARTIE :
ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE DE LA REGION
D'ETUDE***

Introduction

Le bassin versant de l'oued Merguellil, situé en Tunisie centrale, couvre une superficie de 1540 Km² au barrage d'El Houareb. Il est limité au Nord par la retombée Sud des djebels Bellouta et Serj, au Sud par djebel Touila et djebel Trozza, à l'Ouest par le djebel Barbrou et les plateaux de Makthar et à l'est par djebel Ousselat et la plaine de Kairouan qui constitue son exutoire naturel. La partie Nord Ouest du bassin versant est située dans la gouvernorat de Siliana, le reste se trouve entièrement dans le gouvernorat de Kairouan. La longueur totale du cours principal de l'Oued de Makthar jusqu'au Nord Ouest de la ville de Kairouan est d'environ 90 Km. La figure I.1 situe le bassin versant du Merguellil.

I. Présentation du bassin versant étudié

I.1. Situation générale

La zone d'étude est située à l'extrémité Ouest du bassin hydrographique de l'oued Merguellil constituée par le bassin versant de l'oued Bahloul (Figure I.1) ; les cours d'eau de tête du bassin prennent naissance sur le plateau de Makthar à quelques 950 mètres d'altitude et forment l'oued Bahloul qui, tout au long de son parcours à travers un relief très montagneux est renforcé par des affluents dont les plus importants descendent du plateau de la Kesra. A la traversée du verrou formé par Kef Labiodh et Djebel Skhira, l'oued change de nom pour devenir oued Skhira puis oued Kerd et finalement oued Merguellil, nom qu'il garde jusqu'à la traversée de la plaine de Kairouan. Pour la commodité de l'étude, nous désignerons sous le nom de Merguellil, l'oued principal quelles que soient ses appellations utilisées localement. Le bassin versant de l'oued Merguellil limité à la station hydrométrique Skhira-Kef Labiodh couvre une superficie de 188 Km² soit le sixième de la superficie du bassin total à El Houareb.

I.2. Topographie

a. Relief

Le relief est surtout montagneux, accidenté et profondément entaillé par un réseau hydrographique relativement dense. De nombreux affluents de l'oued étudié ont creusé leurs lits à travers des roches calcaires et marneuses relativement tendres, créant par endroits de véritables falaises. Les limites naturelles du bassin versant sont les suivantes (Figure I.1.) :

- . au Nord-est, les falaises bordant le plateau de la Kesra, elles culminent à la cote 1112.
- . au Nord, une série de collines atteignant la cote 900 m; leur autre versant fait partie du bassin de l'oued Ousafa.
- . à l'Ouest, un haut plateau : El Krizerane (930m).
- . au Sud Ouest, le versant Nord du djebel Barbrou, dont le sommet El Gouanna (1226m) constitue le point culminant du bassin.
- . au Sud, une suite de falaises, surmontées par quelques sommets dont Ras El Fedja (929m), Kef El Belda (875m), Kef El Abiod (720m).
- . à l'est, par le djebel Es Skhira.

Aux extrémités Nord-Est, au sommet des élévations, se situe une zone couvrant environ 25% du bassin versant constituée par un plateau en forme de croissant et formée de collines et de vallées légèrement accidentées. Cette zone constitue la majeure partie de la zone cultivée du bassin versant.

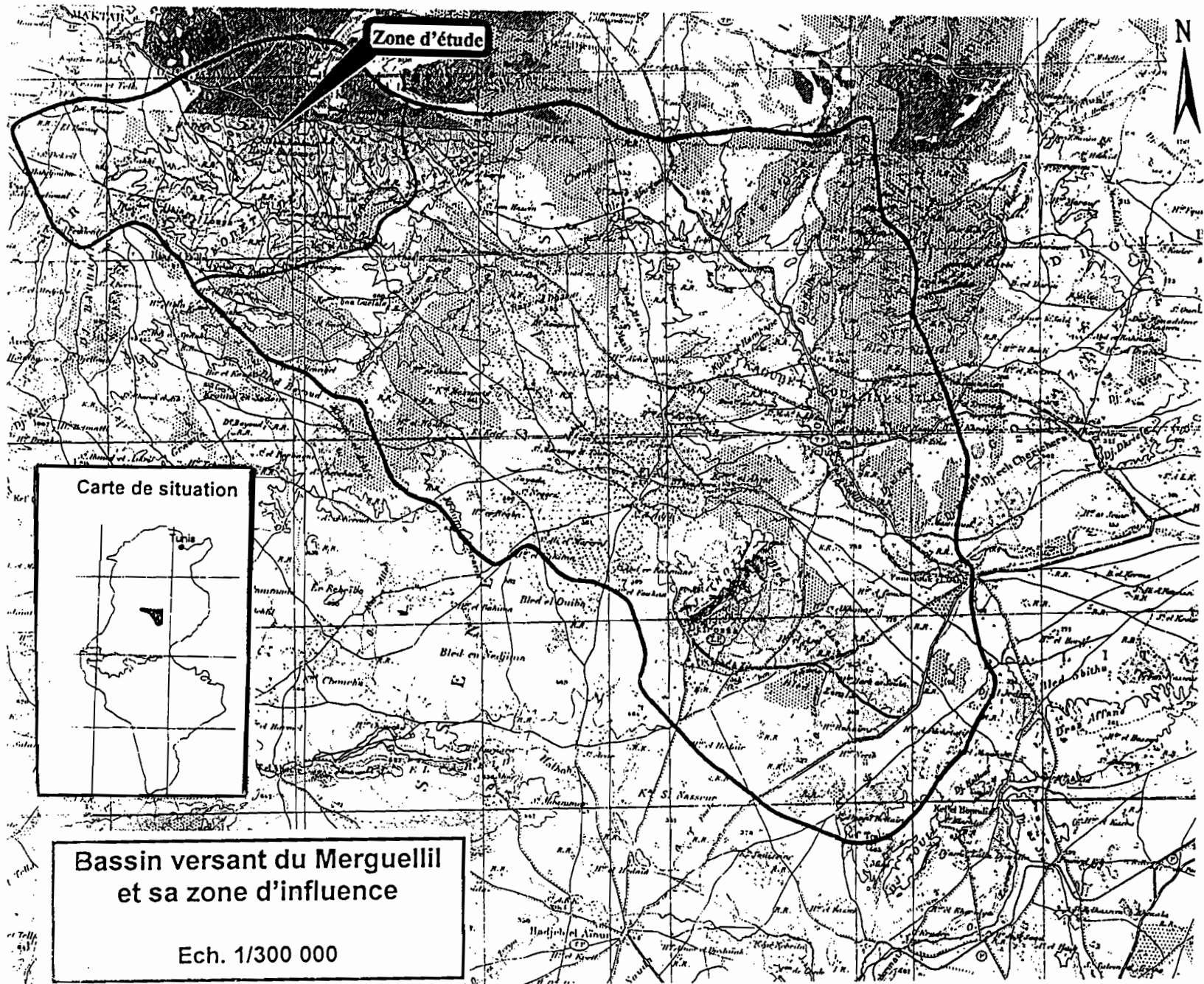


Figure I.1 : Carte de situation du bassin du Merguellil (O.T.C, 1987)

b. Répartition en altitudes et en pentes des superficies

La répartition en altitude est assez régulière. La pente est faible sauf aux altitudes élevées où le plateau de Kesra introduit une cassure, comme le montre la courbe hypsométrique représentée par la figure I.2. Elle donne la répartition des superficies en fonction des altitudes conformément au tableau suivant :

Tableau I.1. : Répartition en altitudes des superficies du bassin versant du Merguellil limité à Skhira (Bouzaiane et Lafforgue, 1986)

Altitude en m	1226	1000	900	850	800	750	700	650	590
Superficie en %	0	4.45	15.11	32.2	54	70.4	84.3	94.7	100

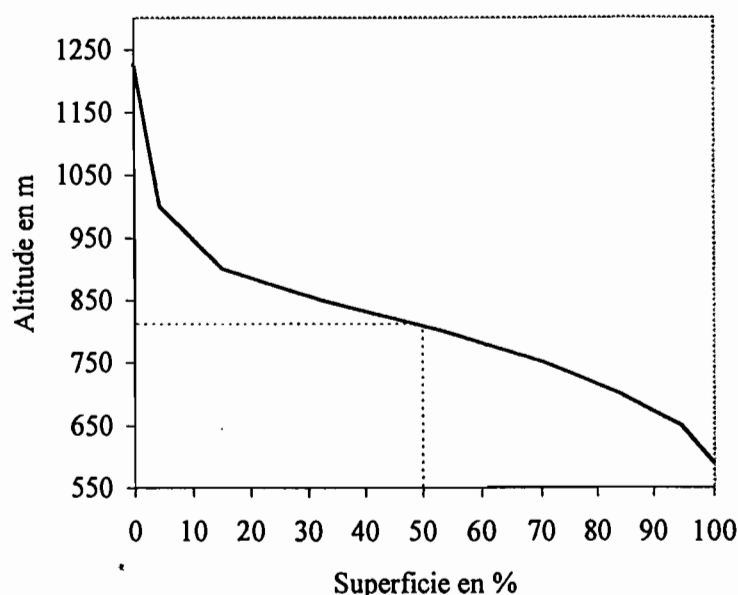


Figure I.2. : Courbe hypsométrique de l'oued Merguellil limité à la station Skhira-Kef Labiod

L'allure de la courbe hypsométrique apporte les précisions suivantes :

- Au dessous de 900 m d'altitude, l'allure régulière de la courbe hypsométrique dénote une certaine équipartition des surfaces sur les différentes tranches d'altitudes, 84% de la surface totale sont situés au dessous de 900 m, l'altitude médiane est de l'ordre de 820 m.
 - Tout le bassin est situé au-dessus de 590 m d'altitude et 54% sont au-dessus de 800m.
- La répartition en pentes des superficies est donnée par le tableau I.2.

Tableau I.2. : Répartition en pentes des superficies (Kingumbi, 1997)

Pente exprimée en (1/10°)	0	10	20	30	40	50	60	70	90	100	125	150	200	273
Pourcentage de la superficie	100	91.4	74.9	57.4	41.1	28.6	19.9	14.5	7.9	5.8	3.1	1.7	0.4	0

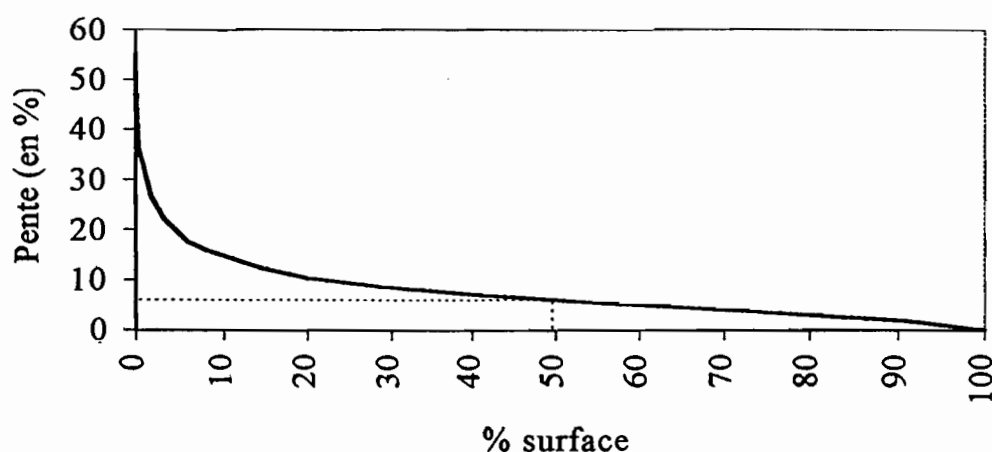


Figure I.3. : Courbe de répartition des pentes en fonction de la surface du bassin versant du Haut Merguellil

La figure I.3 montre bien que le haut bassin du Merguellil présente un fort relief. En effet, plus du quart du bassin versant présente une pente supérieure à 5° (soit une pente supérieure à 8.75%). La pente médiane est de l'ordre de 6 %.

c. Autres caractéristiques de forme et de relief du bassin

Les grandeurs suivantes sont obtenues à partir de la monographie des oueds de Merguellil et Zéroud (Bouzaiane et Lafforgue, 1986).

* Périmètre stylisé P :	58 Km
* Indice de forme ou le coefficient de compacité C :	1,18
* Longueur du rectangle équivalent L :	19,2 Km
* Largeur du rectangle équivalent l :	9,8 Km
* Altitude H_5 limitant 5 % de la surface les plus élevés :	985 m
* Altitude H_{95} limitant 95 % de la surface les plus bas :	650 m
* Dénivelée $D = H_5 - H_{95}$:	335 m
* Indice de pente global I_g :	17,5 m/Km
* Dénivelée spécifique D_s :	240 m
* Classe de relief d'après D_s R5 :	Assez fort
* Indice de pente de Roche I_p :	0,163

L'indice de compacité indique que le bassin a une forme assez ramassée apte à une concentration rapide des eaux de ruissellement.

d. Réseau hydrographique

Sa représentation en plan, au 1/100 000 ème, montre qu'il est constitué essentiellement d'un axe de drainage principal traversant tout le bassin étudié et gardant la même direction Nord Ouest-Sud Est. Plusieurs affluents dont les longueurs sont comprises entre quelques centaines de mètres et 10,5 Km (pour l'oued Medania) et de pentes moyennes variant de 3% à 11%, viennent s'y jeter (figure I.4); la pente maximale de la partie supérieure de certains oueds s'élève à 25% (Bouzaiane et Lafforgue, 1986).

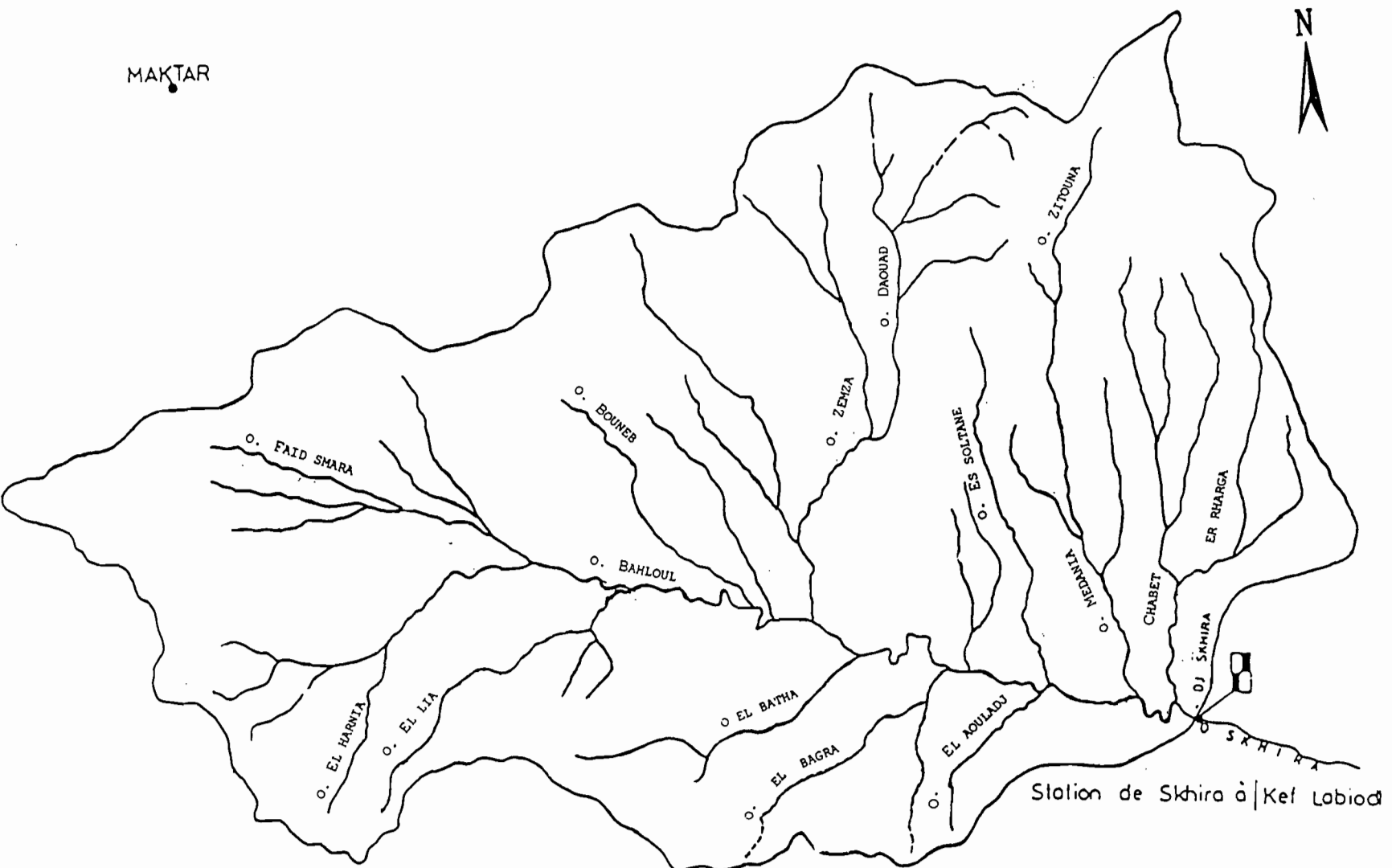


Figure I.4. : Réseau hydrographique du haut Merguellil limité à la station de Skhira
(Echelle : 1/100 000)

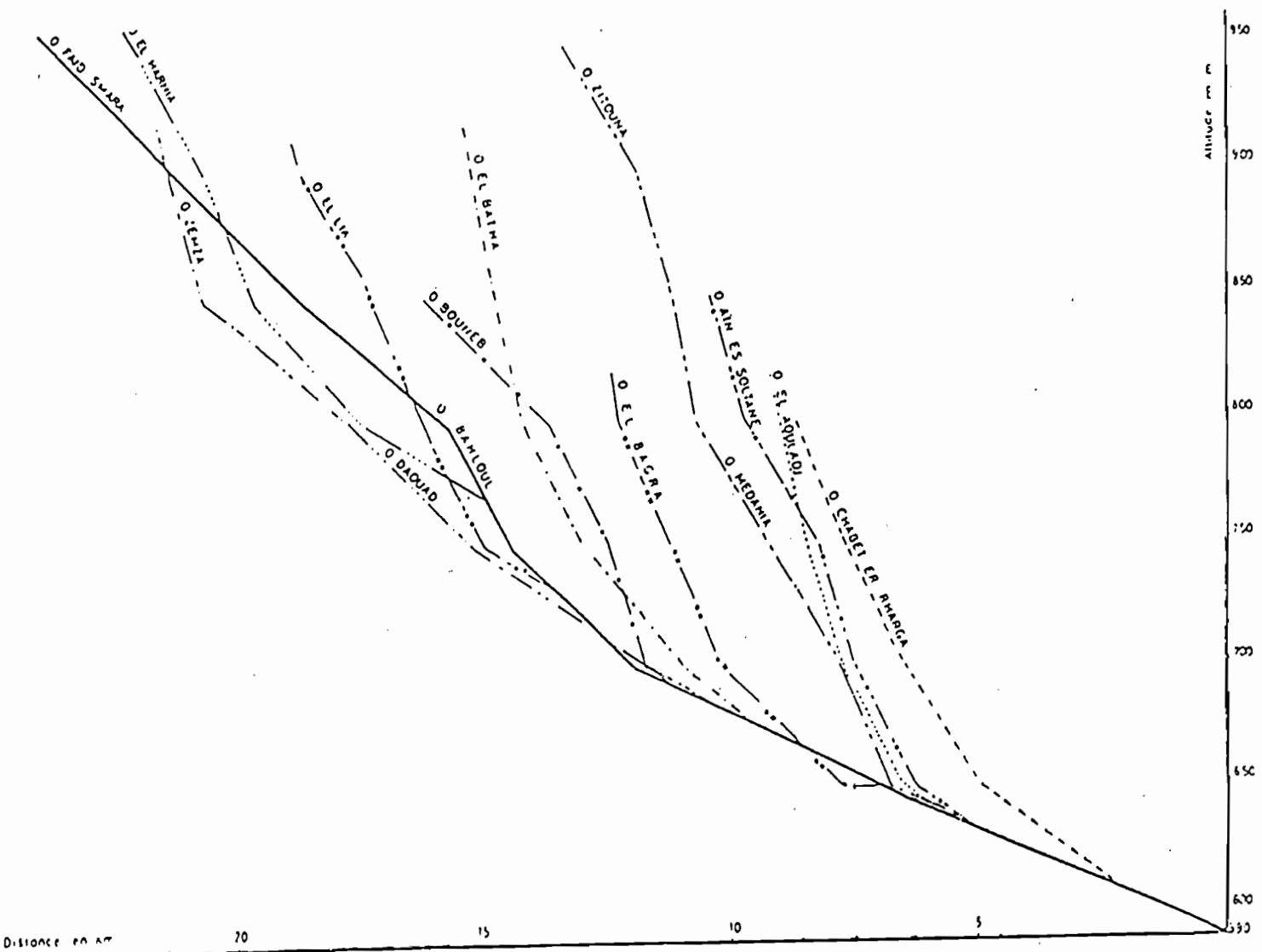


Figure I.5. : Profil en long de l'oued Merguellil limitée à la station de Skhira
(Bouzaiane et Lafforgue, 1986).

On remarque une dissymétrie entre les versants rive gauche et rive droite de l'oued. Le profil en long présenté sur la carte de la figure I.5, à la page précédente, montre que la pente du cours principal décroît régulièrement de l'amont où elle est de 17°/°° vers l'aval où elle devient 11°/°° au droit de la station. Cette disposition particulière du réseau hydrographique est très favorable à une concentration rapide des eaux de ruissellement.

I 3. Géologie, pédologie et végétations

Les travaux concernant le milieu naturel du bassin versant du Merguellil, poursuivis depuis plusieurs dizaines d'années, sont nombreux. Il conviendra de s'y reporter pour une approche plus détaillée de la géologie, pédologie et de la végétation; nous en donnons ici seulement une brève synthèse accompagnée de cartes schématiques des sols et de leur occupation permettant de faire ressortir les traits dominants de ce bassin.

a. Géologie

Le bassin étudié occupe une partie du plateau de Makthar, constitué par une série d'anticlinaux parallèles, de direction générale Nord-est/Sud-Ouest où prédominent les marnes et calcaires du Sénonien. Ces formations ont été entaillées par les crues des oueds, en particulier à proximité de la station de Skhira à l'amont de laquelle l'oued a formé sur plus de 700m de longueur, de véritables gorges, bordées de falaises, hautes de plus de 100m.

La couverture lithologique du haut bassin du Merguellil (Figure I.6.) a été tirée de la carte géologique de la Tunisie au 1/200 000. Les matériaux ont été classés au tableau I.3 selon leur nature.

Tableau I.3 : Matériaux géologiques (Kingumbi,1997)

Entité géologique	Symbole	Matériau
1	e ₁₁	Mésonumulitique (Marnes et lumachelles)
2	e ₇₋₈	Sénonien inférieur (Marno-calcaire)
3	c ₄₋₅	Cénomaniens (alternances marno-calcaires)
4	e ₁₁₁ ^a	Londinien Lutétien (calcaires et nummulites)
5	c ₉	Campanien (calcaire blanc)
6	c ₆	Turonien (calcaire)

b. Pédologie

La carte pédologique a été extraite à partir de cartes des ressources en sols de la Tunisie (feuille de Kairouan et Makthar). Dans le tableau I.3, nous avons les différentes entités pédologiques rencontrées dans le haut du Merguellil.

Tableau I.3 : Les entités de sols du haut bassin du Merguellil :

Classe	Groupe	sous-groupe	Famille	N°
Associations	Affleurements	Sols peu évolués calcimagnésiques	calcaire-grès	1
	Sols peu évolués calcimagnésiques	Affleurements	marnes-calcaires-grès	2
	calcimagnésiques	Affleurements	marnes-calcaires-grès	3
	calcimagnésiques	Affleurements de croûtes	Grès-marnes	4
Sols peu évolués	d'érosion	modaux ou tronqués	marnes-colluvions	5
calcimagnésiques	Rendzines	encroûtements-croûtes	croûtes calcaires	6
calcimagnésiques	Bruns calcaires	peu profonds	Eboulis	7

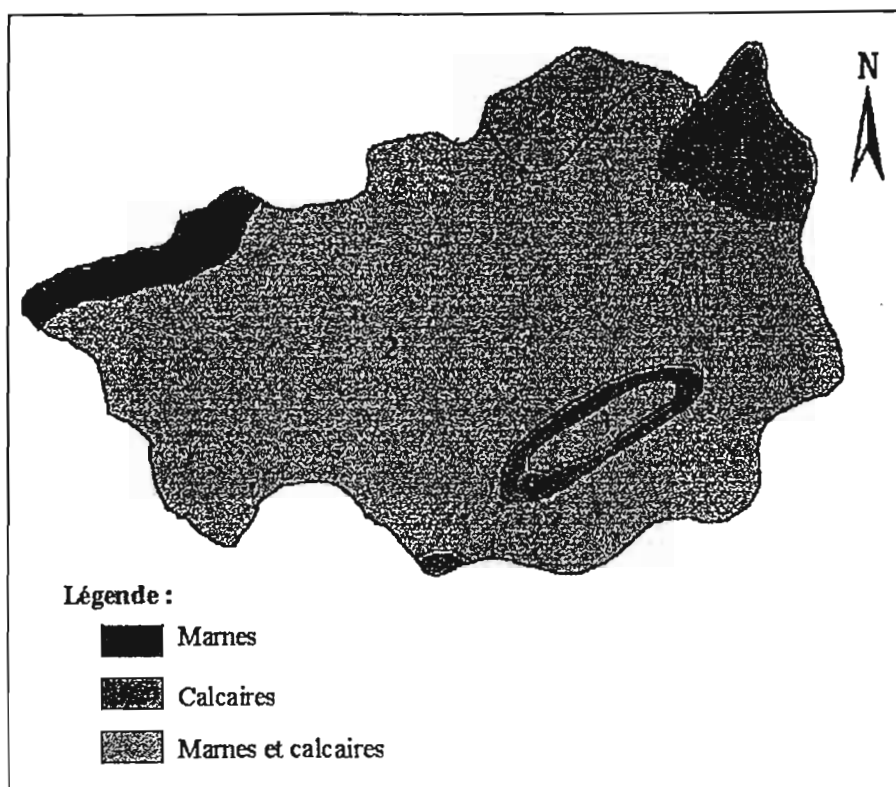


Figure I.6. : Carte géologique du haut bassin du Merguellil (1/200 000) (Kingumbi, 1997)

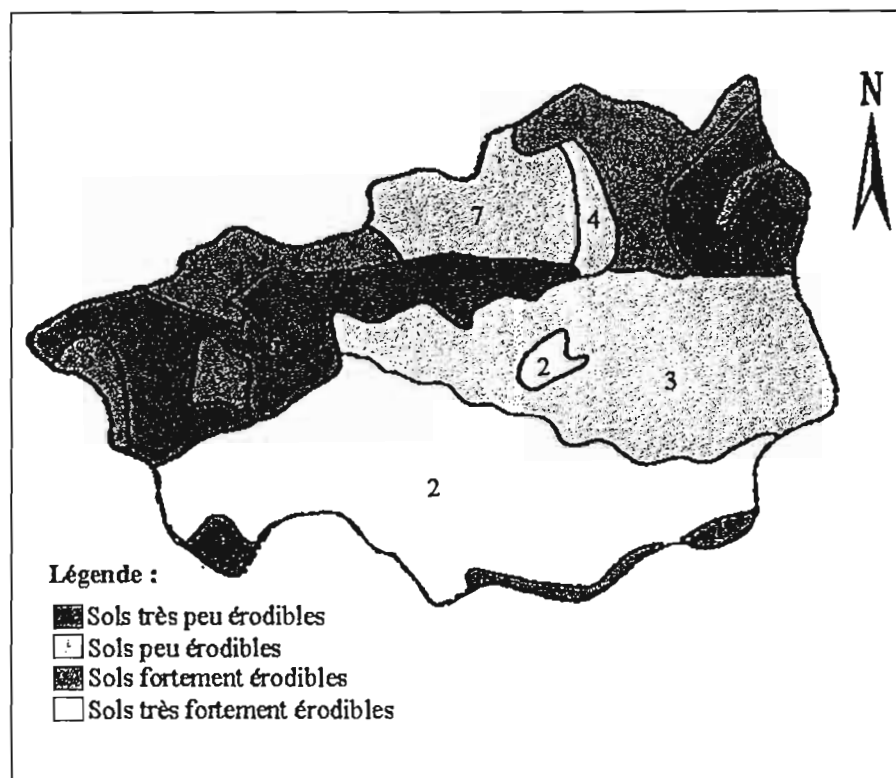


Figure I.7. : Carte de répartition des sols (1/200 000) (Mizouri & al., 1983 ; Babery & Mohdi, 1987)

c. Couverture végétale

L'occupation des sols du haut bassin du Merguellil a été obtenue à partir de deux cartes thématiques. D'une part d'une carte d'occupation des sols (Octobre 1996) élaborée par la Direction des forêts et la carte d'occupation des terres extraite à partir d'une étude de planification des aménagements de CES du gouvernorat de Kairouan faite par la Direction de CES (1996).

La distribution présentée sur la carte de la figure I.9 montre que plus que la moitié du bassin étudié est couvert par des forêts de pin d'Alep à recouvrement dense, le reste étant partagé entre des zones à recouvrements faibles (forêts dégradées, garrigues à romarin et steppes autres que l'Alep) et les cultures annuelles.

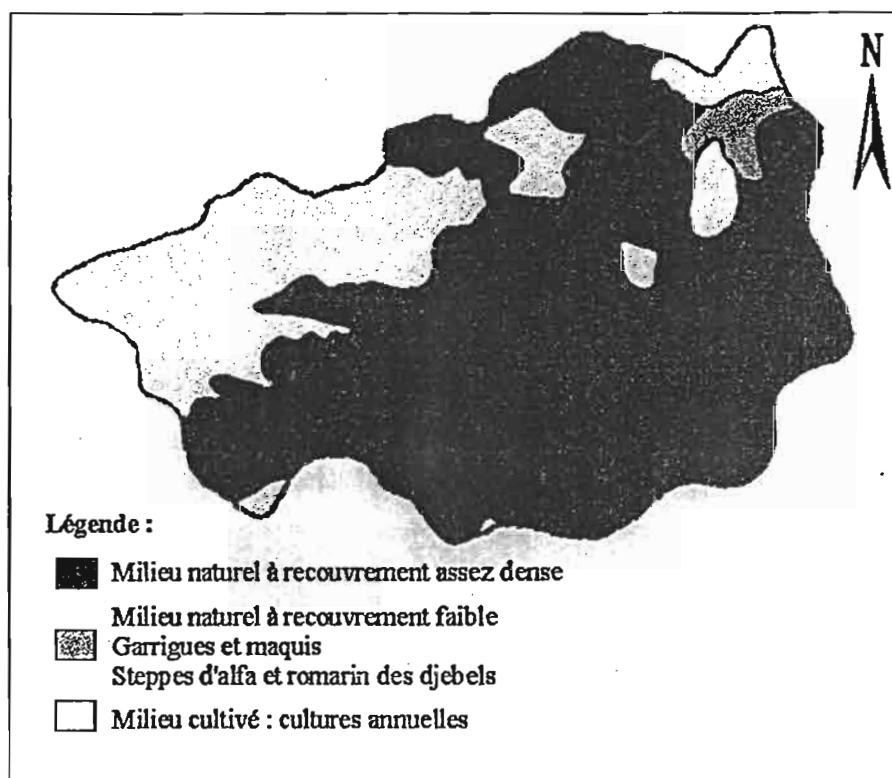


Figure I.8. : Carte d'occupation des sols (1/200 000) (Direction Générale des Forêts, 1996)

I.3. Climat

D'après la carte des étages bioclimatiques, donnée en annexe A, cette région est située dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur, caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers frais et humides.

La température est plus importante à l'est qu'à l'Ouest. A l'échelle mensuelle, les températures moyennes varient de moins de 10 °C en janvier à plus de 28 °C en juillet-août. La température minimale moyenne est de 5°C en janvier et peut descendre jusqu'au -5°C, la température maximale moyenne est de 37 °C et le sirocco, dont les effets se font sentir sur la végétation de la région peut apporter du sable fin et élève la température jusqu'au 49 °C. Les amplitudes thermiques sont d'environ 18°C.

Le vent dominant souffle du Nord et du Nord-Ouest en hiver et du Nord-est et du Sud en été.

Les relevés pluviométriques indiquent qu'environ 90% de la pluviométrie annuelle est enregistrée au cours d'une période de 9 mois de Septembre à Mai. Celle-ci présente des variations annuelles et saisonnières très importantes. Au cours du mois de Septembre 1995, d'énormes quantités de pluies se sont abattues sur ce bassin, soit 120 mm, ce qui représente trois fois et demie la normale mensuelle du mois de Septembre.

Conclusion

La zone d'étude qui s'étend sur environ 188 Km² est située à l'extrémité Ouest du bassin versant du Merguellil en Tunisie centrale. Limitée à la station située au verrou formé par Kef Labiodh et djebel Skhira, elle englobe le versant Nord du djebel Barbrou et le haut plateau de la Kesra.

Suite à des sorties sur terrain effectuées sur terrain, nous nous sommes aperçus que le modelé général de la région d'étude présente une morphologie variée à relief assez fort entaillé par un réseau hydrographique relativement dense drainant les djebels à travers une multitude d'affluents qui rejoignent l'oued Merguellil dans son cours principal. Ce bassin versant est constitué d'anticlinaux et de synclinaux orientés Nord Ouest - Sud Est formés essentiellement de marnes et de calcaires.

Les sols les plus fréquents sont des sols calcimagnésiques dégradés sur croûtes ou encroûtements calcaires et avec une proportion moindre des sols d'érosion associés à des sols calcimagnésiques.

La végétation est caractérisée par deux éléments essentiels : la forêt sur les massifs montagneux et les cultures annuelles dans la partie Ouest du bassin.

Ce bassin versant est sous la dépendance d'un climat semi-aride supérieur à hiver frais et humide.

***DEUXIEME PARTIE :
ETUDE HYDROLOGIQUE DE LA REGION
D'ETUDE***

II.1. Introduction

Avant les années soixante, le service hydrologique de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) n'était pas en mesure de répondre aux questions précises qui lui étaient posées car il ne possédait pas un réseau de mesure suffisamment développé (Kallel & al., 1975).

Depuis 1965, et surtout après les crues de 1969, la situation s'est heureusement améliorée. Mais la qualité et la quantité des données accumulées et archivées depuis ces années n'étaient pas encore suffisantes, pour permettre de cerner avec une précision suffisante les multiples aspects de ces régimes hydrologiques très capricieux. C'est depuis les années soixante dix, que le réseau de mesure a commencé à se développer en Tunisie centrale et en particulier sur le bassin versant du Merguellil, caractérisé par des régimes pluviométriques et hydrologiques très irréguliers.

Une étude hydrologique de la totalité du bassin versant de l'oued Merguellil, a été entreprise dans le cadre de la monographie de l'oued par Bouzaiane et Lafforgue en 1986. Cette étude n'a pris en compte que les données hydrologiques jusqu'à l'année 1982.

Le but de cette partie d'étude est donc de compléter les chroniques d'observations pluviométriques et hydrométriques pour les stations disposant de données exploitables. Ces séries de données seront accompagnées d'une analyse succincte des régimes pluviométriques et hydrologiques ainsi qu'une première interprétation.

II.2. Données disponibles

II.2.1. Pluviométrie

II.2.1.1. Choix des stations

Le problème du choix des postes pluviométriques s'est posé. Il nous a semblé judicieux de ne sélectionner que les postes appartenant au bassin versant proprement dit et ceux situés à proximité immédiate de ce dernier. On a retenu six stations

- . Makthar extérieur mais très proche de l'extrême amont du bassin versant étudié.
- . Guéria extérieur au bassin mais à proximité de la station Skhira.
- . Kesra au Nord du bassin versant (deux postes).
- . Tella au Nord Ouest du bassin.
- . Skhira représentant l'exutoire du bassin d'étude.

Une carte de localisation de ces différents postes pluviométriques est représentée sur la figure II.1.

Néanmoins, il importe de noter que le nombre de ces postes est très réduit, notamment sur la partie sud et sud ouest, pour pouvoir établir, avec certitude, une moyenne représentative du bassin étudié.

On trouvera ci-après les détails, station par station, des données disponibles.

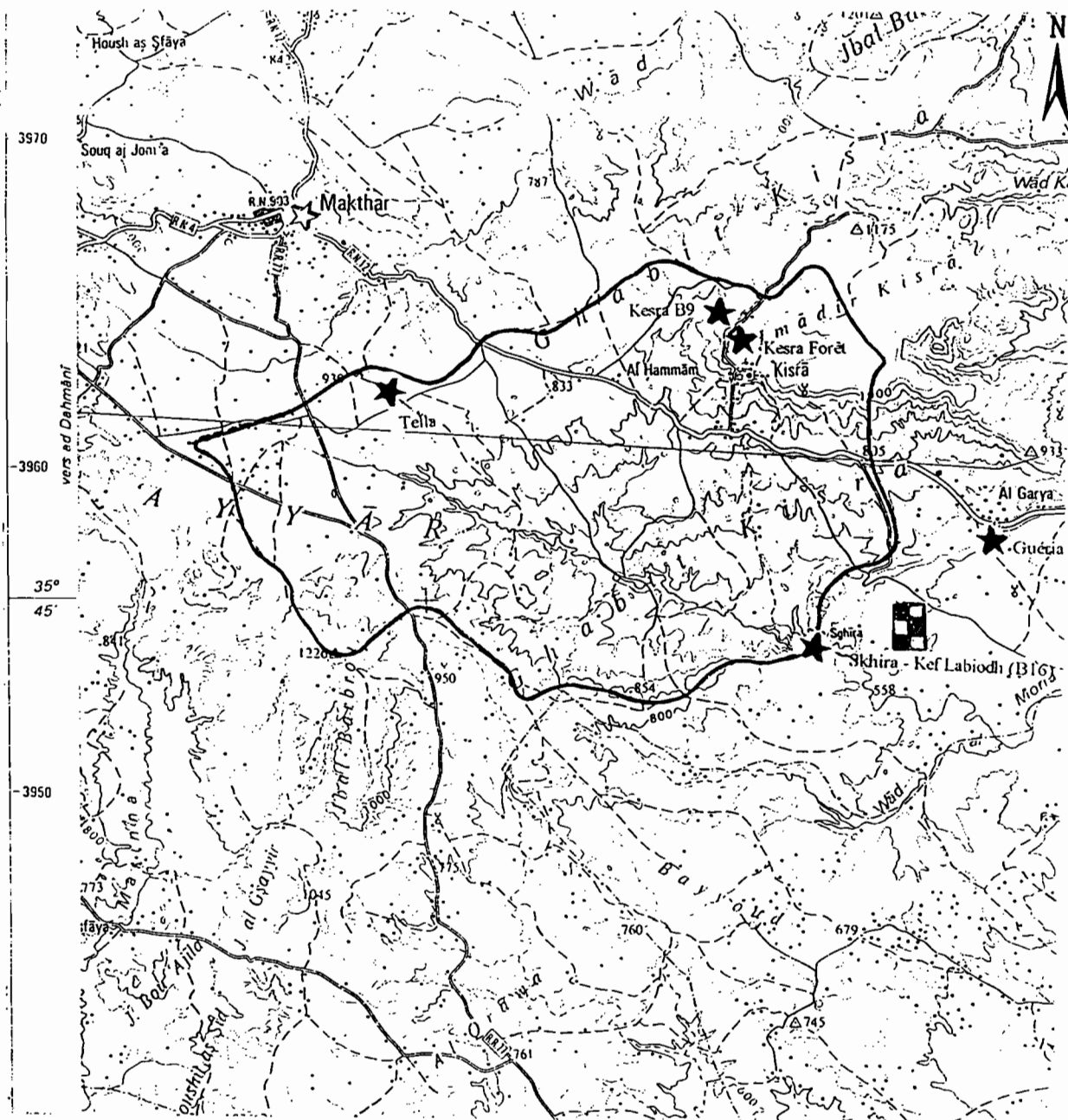


Figure II.1. : Localisation des différents postes pluviométriques

II.2.1.2. Données disponibles

*** Kesra : (Poste forestier)**

On dispose de nombreuses mesures :

1988 - 1890 complet ;

1914 - 1928 avec des valeurs manquant et en particulier pour l'année 1918/1919 ;

1951 - 1957 assez complet ;

1960 - 1963 très clairsemé ;

1966 à nos jours assez complet ;

*** Kesra B9 :** Bien qu'il soit très proche du poste forestier et qu'il lui soit corrélé, il a été pris en compte pour pallier à l'insuffisance des postes pluviométriques surtout durant la période de Septembre 1974 à Septembre 1979. Les mesures disponibles à ce poste pluviométrique sont :

1970 - 1971 assez complet ;

1971 - 1972 assez clairsemé

1972 - 1990 assez complet ;

1994 - 1996 assez complet ;

*** Guéria :** Bien qu'il soit situé en dehors du bassin étudié, mais à proximité de ce dernier, il nous est apparu intéressant de le tenir en considération pour pallier au nombre réduit de postes.

1967 .1973 assez complet ;

1974 . 1978 très clairsemé ;

1979 à nos jours assez complet ;

*** Tella :** Depuis sa création en janvier 1980 jusqu'au nos jours les mesures sont assez complètes .

*** Skhira :** Créé en Janvier 1974, et depuis Septembre 1974 jusqu'aux nos jours, les mesures sont assez complètes.

*** Makthar SM :** (station météorologique) Malgré sa proximité, cette station, importante par la durée de sa période d'observations (datant depuis 1898), n'a pas été retenue dans l'étude de l'évolution de la pluviométrie dans la région du haut Merguellil du fait que cette zone possède un régime pluviométrique différent et ne peut en aucun cas être représentative de la région étudiée. Cela paraît d'autant plus justifié que Makthar se trouve sur un versant (bassin d'Ousafa) plus pluvieux que celui de la Skhira, alors que le bassin du Merguellil est sous l'influence du vent de la dorsale.

Au cours de notre étude, nous avons pu disposer, pour les cinq stations choisies, des données pluviométriques de Septembre 1974 à Août 1996 (source DGRE / Orstom).

II.2.2. Hydrométrie

Dans le but de connaître et suivre le comportement hydrologique du haut bassin du Merguellil, et dans le cadre du projet Tuniso-Canadien de Kairouan, une station hydrométrique complète d'annonce des crues a été installée. Cette station est localisée, à la cote 590 m, au verrou naturel des djebels Skhira et Kef Labiod elle; contrôle les apports liquides et solides.

Cette station est équipée d'un téléphérique avec treuil électrique, d'un limnigraphe, d'une batterie d'échelle, ainsi que d'un poste radio pour l'annonce des crues. Ces équipements mis en place ainsi que les moyens matériels et humain (observateur résident en place) ont permis d'obtenir durant 22 années complètes des observations continues.

Deux autres stations jumelles ont été mises en place en Juillet 1965, à l'aval du lieu dit Sidi Bou Rehrissa, l'une sur l'oued Amara, l'autre sur l'oued Bouhassine, drainant deux petits bassins versants, respectivement de 2.06 Km² et 2.16 Km². Ces micro-bassins, contigus, sont situés tout à fait en tête du bassin du Merguellil, à environ 5 km au Sud de la ville de Makthar. Ces deux stations ont fonctionné avec d'assez nombreuses interruptions jusqu'au mois de Mars 1973, date à laquelle il a été décidé d'arrêter les observations.

Dans ce qui précède, nous nous sommes limités à une présentation des données disponibles. Avant leur analyse, on peut porter une appréciation sur leur fiabilité : Les données présentées dans notre étude ont été évidemment critiquées et traitées par les services hydrologiques de la DGRE puis revues et complétées dans le cadre du programme d'étude en cours, sur le Merguellil, entre la DGRE et l'Orstom. A cet effet, deux logiciels, assurant la gestion et l'exploitation des données hydrologiques, à savoir Pluviom (Boyer et al., 1994) et Hydrom (Boyer J. F. & al., 1994 ; Cochonneau, 1989) ont été utilisés.

II.3. : Présentation des deux logiciels de traitement des données hydrologiques

- **Pluviom**

C'est un logiciel qui assure la gestion et l'exploitation des données pluviométriques . Ces données sont divisées en deux grandes catégories :

- Données d'identification : Elles concerne principalement la localisation géographique du poste de mesure, les techniques utilisées à ce poste pour recueillir les données de pluie, l'historique des événements survenues à ce poste (arrêt des observations, mise en place d'un nouvel appareillage, ...) .

- Données de pluie : Ces données sont recueillies sur le terrain à l'aide d'appareils de mesure de diverses natures. Elles peuvent parvenir d'un pluviomètre, d'un pluviographe ou encore d'une centrale d'acquisition OEDIPE (pluviographe + support magnétique d'enregistrement des données). Dans le cas d'un pluviomètre, on parlera de pluviométrie journalière ; dans les autres cas, il s'agira de données pluviographiques acquises à pas de temps variable. A partir de ces données, on peut obtenir les pluies mensuelles et le cumul annuel.

- **Hydrom**

C'est un logiciel qui assure la gestion et le traitement des données hydrométriques (Cochonneau, 1989). Ce logiciel permet la gestion de :

- 3 fichiers de base :

- identification des stations hydrométriques
- dossiers de station
- cotes instantanés

- 4 fichiers élaborés :

- fichier des jaugeages, élaborés à partir des mesures sur le terrain (en général, mesures de vitesse)
- fichier des étalonnages, déterminés à partir des jaugeages

- fichier des débits instantanés, calculés de manière automatique avec les étalonnages et les cotes instantanées
 - fichier des débits moyens journaliers, calculés de manière automatique à partir des débits instantanés.
- (ces deux derniers fichiers peuvent aussi être alimentés par introduction directe des débits).

Grâce à ce logiciel, l'exploitation des observations n'a pas posé de gros problèmes tant pour les étiages que pour les crues. Une série de programmes de traitement automatique a permis d'établir, à partir de la limnimétrie, contrôlée et vérifiée, les informations suivantes présentées sous formes de tableau par année hydrologique :

- . L'ensemble de tous les débits instantanés issus de la limnimétrie introduite,
- . Un tableau des caractéristiques de toutes les crues observées,
- . Un tableau de l'ensemble des débits moyens journaliers avec les caractéristiques de l'écoulement annuel.

II.4. Etude de la pluviométrie

Introduction

Lors des travaux d'homogénéisation et d'extension des données de pluie entrepris par Lafforgue et Memi, le réseau pluviométrique de la Tunisie est divisé en 9 secteurs géographiques où l'on considère que les phénomènes pluviométriques observables présentent en principe, certains traits caractéristiques communs (Lafforgue & Memi, 1983). Le bassin du Merguellil est compris dans le bassin numéro 6 qui englobe également Zéroud et Nebhana. (Figure II.2)

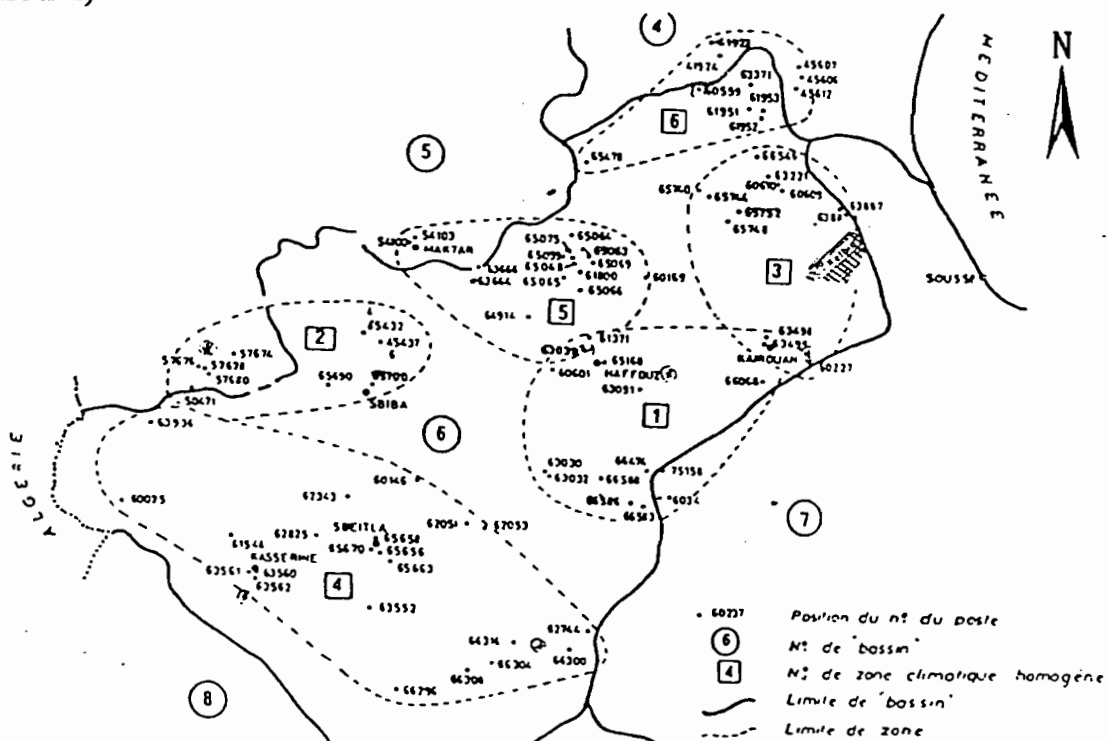


Figure II.2. : Localisation des différentes zones climatiques homogènes
(Lafforgue & Memi, 1983)

Nous n'avons pas jugé utile de donner, ici, une description détaillée et une historique du réseau, ce travail a fait l'objet de deux notes en 1974 et en 1976 (Camus, 1985).

Nous avons rassemblé dans le tableau suivant l'ensemble des postes retenus pour notre étude et nous donnons successivement le numéro de code du Bureau d'Inventaires et de Recherches Hydrologiques (BIRH), le nom de la station, sa latitude, sa longitude et l'année de sa mise en service.

Tableau II.1. : Caractéristiques des différents postes pluviométriques retenus pour l'étude :

Identification	Latitude en m	Longitude en m	Altitude en m	Année d'ouverture
Kesra Forêt	39.80 40	7.80 07	986	1888
Skhira B16	39.71 10	7.83 00	600	1974
Tella	39.78 80	7.66 40	861	1980
Kesra B9	39.81 10	7.79 40	1000	1970
Guéria	39.74 85	7.89 45	674	1966

II.4.1. Evolution de la pluviométrie moyenne annuelle

Le choix de la période des vingt deux dernières années pour cette étude a été fait, essentiellement, sur la base de la disponibilité des données hydrométriques pour notre bassin d'étude. Par ailleurs et afin de situer la pluviométrie tombée au cours de cette période, il serait utile de donner dans un premier chapitre un aperçu sommaire sur le régime des pluies en Tunisie.

II.4.1.1. Aperçu sommaire sur le régime des pluies en Tunisie

En Tunisie, on peut distinguer deux saisons pluviométriques :

- * une saison pluvieuse qui commence en Septembre et finit en Mai,
- * une saison sèche qui va de Juin à Août.

Le régime général des pluies en Tunisie est le régime méditerranéen mais il est loin d'y présenter un caractère uniforme. La Tunisie est placée sur une zone de discontinuité climatologique sur laquelle les moindres causes produisent des effets exagérés par rapport à la normale. Toute faible variation du régime des vents amène des effets exagérés dans la distribution des pluies. Nous pouvons distinguer pour la distribution des pluies sur l'ensemble du pays quatre zones pluviométriques différentes dont voici très brièvement les caractéristiques (Kallel, 1983) : (voir Annexe B)

☞ une zone très pluvieuse recevant plus de 750 mm/an avec 120 jours de pluies ; cette zone est limitée à la Kroumiri et aux régions côtières Nord Ouest,

☞ une zone pluvieuse recevant de 400 à 600 mm/an avec 60 à 100 jours pluvieux. Cette zone s'étend sur les hautes plaines, les vallées de la Medjerdah et de l'oued Miliane, le Cap-Bon et la région côtière du Golfe de Tunis,

☞ une zone peu pluvieuse avec une pluviométrie annuelle de 200 à 400 mm répartie sur 40 à 70 jours de pluie. Cette zone recouvre la dorsale tunisienne, l'ensemble du bassin du Zéroud et le Sahel,

☞ une zone très peu pluvieuse recevant moins de 200mm avec environ 30 jours de pluie et recouvrant le Sud et l'extrême Sud du pays, au-dessous d'une ligne passant par le Nord de Sfax et Sbeitla.

On constate, au vu de cette répartition spatiale des précipitations, un gradient négatif du Nord au Sud du pays, ceci s'explique par l'influence des vents et du relief qui présente, en Tunisie, deux aspects différents :

- * Au Nord et au Nord est, le pays est montagneux, alors qu'au centre et au Sud, il est caractérisé par des plaines étagées dont l'altitude diminue progressivement de 500 m au niveau de la mer.

- * L'ensemble des massifs montagneux de la Tunisie constitue une barrière dirigée du Sud Ouest au Nord Est au travers des vents du NNO - SSE, placée dans les meilleures conditions pour déterminer sur l'un ou l'autre de ses versants la condensation des masses de vapeur d'eau dont ces vents sont chargés.

Telles sont en général, les conditions du régime des précipitations en Tunisie, ces données d'ordre général permettent de mieux situer la pluviométrie de la région du Merguellil et principalement la partie de l'extrême Nord Ouest du Merguellil, située sur le flanc Sud Est de la dorsale Tunisienne qui appartient à la 3^{ème} zone (200 à 400 mm).



II.4.1.2. Evolution de la pluviométrie sur une période longue durée

Afin d'étudier l'évolution de la pluviométrie et sa tendance dans la région d'étude, il nous est apparu intéressant de choisir une ou des stations dont les observations s'étalent sur une longue durée. Parmi les stations que nous avons choisies, une, uniquement, dispose de série relativement de longue durée à savoir le poste forestier de Kesra. Il nous a fallu donc examiner la représentativité de cette station par rapport à la zone étudiée.

Comme nous l'avons signalé précédemment, la station de Kesra se trouve en zone montagneuse où les précipitations varient avec l'altitude. Plusieurs lacunes ont été enregistrées à cette station. Pour pallier à ces lacunes, on a alors recours aux travaux réalisés par Lafforgue et Memi (1983) sur l'homogénéisation et l'extension des données pluviométriques du centre de la Tunisie réalisés jusqu'à l'année hydrologique 1980/81. Ils ont contribué à la constitution d'un fichier pluviométrique opérationnel. Les hauteurs pluviométriques annuelles manquantes sur la période d'homogénéisation (soit par absence d'observations soit parce qu'elles sont éliminées après contrôle) ont été estimées à l'aide du vecteur régional des indices de précipitations et par application d'un programme de calcul automatique mis au point à l'Orstom par Y.BRUNET-MORET (1979) et adapté par la DGRE (1983) (Camus, 1985).

Afin de disposer d'une série pluviométrique de longue durée, il nous est apparu intéressant d'utiliser les valeurs de précipitations homogénéisées et étendues depuis 1925/26 jusqu'au 1981, lesquelles, on a complété par les valeurs réellement observées depuis 1981 jusqu'à 1995/96 puisque l'on dispose de données complètes depuis l'année hydrologique 1966/67. Nous avons groupé dans le tableau suivant les totaux annuels enregistrés au cours de la période considérée à la station de Kesra-forêt et extraits du fichier pluviométrique opérationnel.

Tableau II.2. : Totaux annuels de pluie dans la station Kesra- forêt

Année	1925/26	1926/27	1927/28	1928/29	1929/30	1930/31
Pluie (mm)	435,6**	251,2**	464,3 *	701,9 *	370,9 *	385,9 *
Année	1931/32	1932/33	1933/34	1934/35	1935/36	1936/37
Pluie (mm)	692,1 *	609,3 *	402,3 *	620,1 *	364,1 *	400,1 *
Année	1937/38	1938/39	1939/40	1940/41	1941/42	1942/43
Pluie (mm)	340,7 *	502,8 *	372,0 *	367,4 *	404,1 *	556,9 *
Année	1943/44	1944/45	1945/46	1946/47	1947/48	1948/49
Pluie (mm)	351,2 *	341,4 *	325,5 *	237,3 *	404,4 *	650,3 *
Année	1949/50	1950/51	1951/52	1952/53	1953/54	1954/55
Pluie (mm)	429,4 *	267,7 *	586,7**	636,4**	510,7 *	322,0 *
Année	1955/56	1956/57	1957/58	1958/59	1959/60	1960/61
Pluie (mm)	410,5 *	418,6 *	426,5 *	666,9 *	438,5 *	309,6 *
Année	1961/62	1962/63	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67
Pluie (mm)	423,5*	438,6*	420,1*	476,9*	405,3*	255,5**
Année	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72	1972/73
Pluie (mm)	496,5**	245,2**	880,4**	395,4**	543,7**	547,2**
Année	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79
Pluie (mm)	385,2**	366,3**	594,5**	412,8**	302,2**	300,4**
Année	1979/80	1980/81	 Données homogénéisées			
Pluie (mm)	370,5**	344,5**				
Données observées						
			1981/82	1982/83	1983/84	1984/85
			401,1	365,5	250,5	486,1
Année	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91
Pluie (mm)	389,0	378,4	303,5	342,5	571,5	396,0
Année	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	
Pluie (mm)	456,7	603,0	259,5	308,6	687,0	

xxxx * : Total non observé et obtenu par extension

xxxx** : Total observé et contrôlé par vecteur

On remarquer que sur les 56 stations-années issues du fichier pluviométrique opérationnel, 19 uniquement n'ont subi aucune correction.

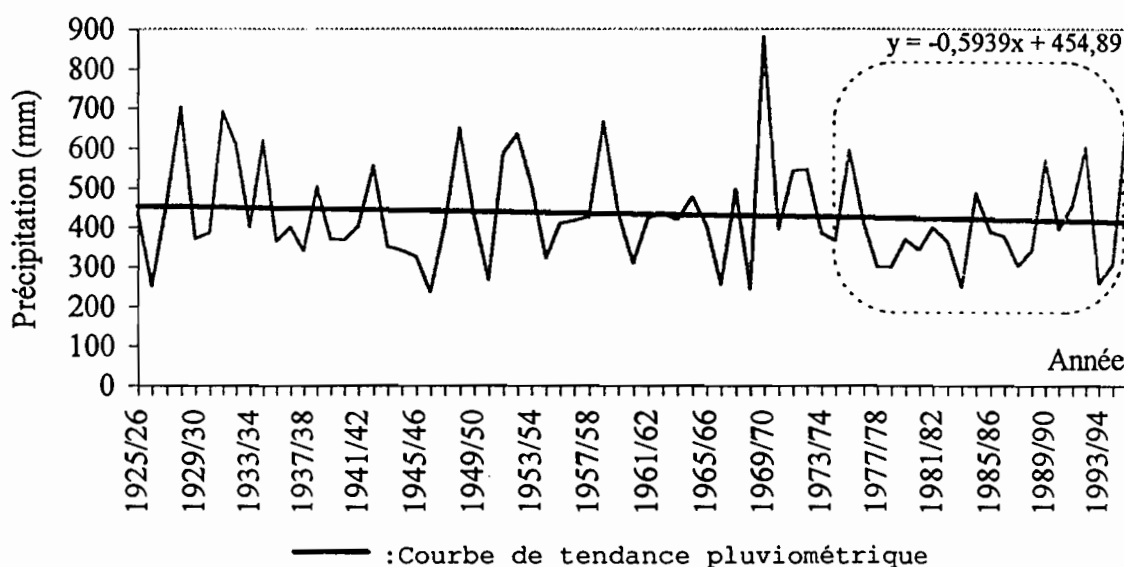
Quant à l'examen de la représentativité de la station de Kesra, il est à noter que cette dernière a été choisie comme représentative de la zone lors des travaux d'homogénéisation et d'extension entrepris par Lafforgue et Memi ; pour étayer ce choix, il nous a paru intéressant, d'étudier l'intercorrélation avec les autres postes pluviométriques retenus pour l'étude. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau II.3.

Tableau II.3. : Matrice de corrélation entre les différentes stations

	Skhira	Guéria	Tella	Kesra-Forêt
Skhira	1,000	0,644	0,817	0,852
Guéria	*	1,000	0,687	0,634
Tella	*	*	1,000	0,854
Kesra-Forêt	*	*	*	1,000

Ils nous ont permis de dégager l'idée principale suivante : Les stations sont bien corrélées entre elles et surtout la station de Kesra avec les autres stations avoisinantes. Les coefficients de corrélation liant cette station aux stations de Tella et Skhira sont respectivement 0,854 et 0,852.

Le graphique de la figure II.3. donne l'évolution de la pluviométrie annuelle au niveau de la station de Kesra-Forêt.

**Figure II.3. : Evolution de la pluviométrie annuelle au niveau de la station de Kesra**

La courbe de tendance figurant sur le graphique ci-dessus met en évidence une tendance pluviométrique générale vers une baisse qui se manifeste par une pente négative de la courbe de tendance.

Pour mieux figurer la pluviosité d'une année donnée, étudier son évolution dans le temps et situer la série de 22 années prise pour l'étude par rapport à une série longue durée, on a déterminé l'écart centré réduit correspondant. Il est égal, pour la précipitation P_i à une année i donnée, à la différence $(P_i - \text{moyenne})$ rapportée à l'écart type où moyenne et écart-type sont déterminés pour la série considérée. Il nous renseigne sur la variation des précipitations par rapport à la moyenne.

Nous donnons dans les graphiques II.4.a et II.4.b, la synthèse des résultats obtenus pour les deux séries : série d'observations de longue durée (71 années) et série d'étude (22 années).

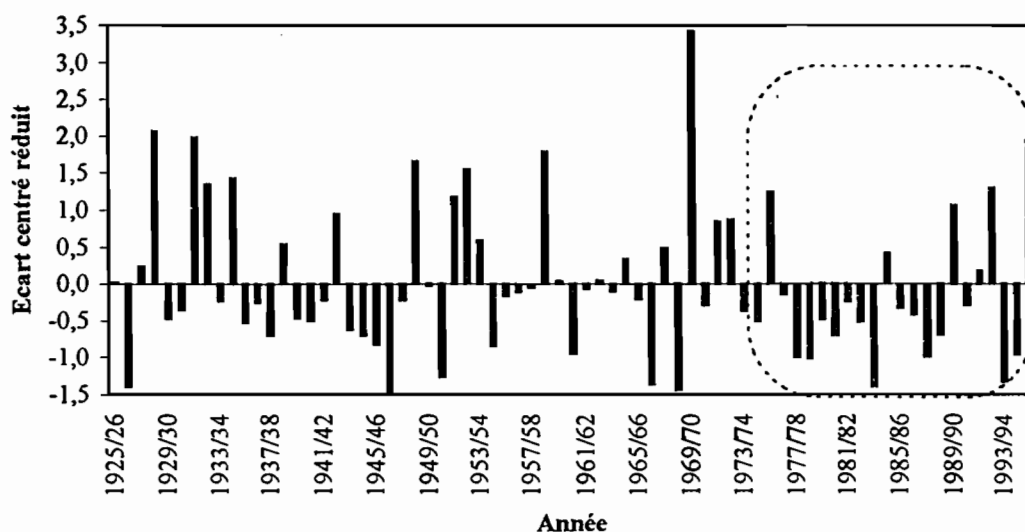


Figure II.4.a. : Variation de l'écart centré réduit pour la série des précipitations annuelles à la station de Kesra forêt (1925 - 1996)

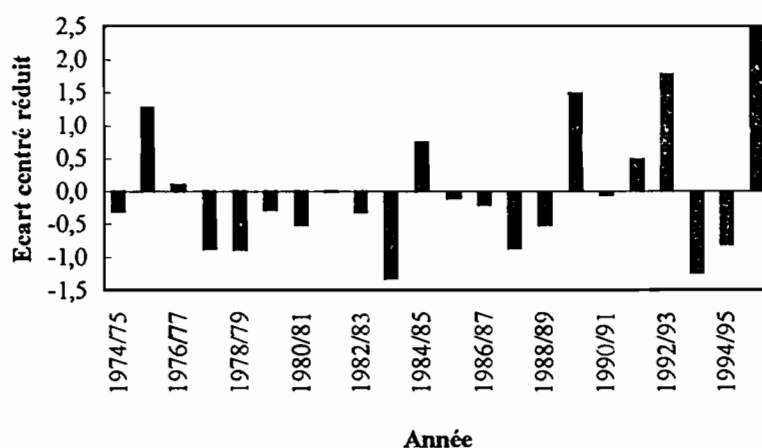


Figure II.4.b. : Variation de l'écart centré réduit pour la série des précipitations annuelles à la station de Kesra forêt (1974 - 1996)

Ces graphiques mettent en évidence la succession de périodes d'années sèches et d'années humides plus ou moins marquées.

- avant 1935/36, une phase à pluviométrie moyenne excédentaire.
- de 1935/36 à 1950/51 incluse, une phase de 16 années à faible pluviosité interrompue par deux années excédentaires (1942/43 ; 1948/49).
- une phase de trois années excédentaires (1951/52 - 1953/54).
- une phase allant de 1954/55 à 1968/69, à faible pluviométrie interrompue par l'année 1958/59 qui fut une année excédentaire.
- une phase excédentaire allant de 1969, qui fut l'année la plus pluvieuse, à 1975/76 incluse.

➤ à partir de 1976/77, une phase de 13 années successives à tendance nettement déficitaire. Les deux années 89/90 et 1992/93 sont à pluviométrie excédentaire séparées par deux années qui furent à pluviométrie moyenne.

➤ deux années déficitaires (1993/94 et 1994/95) suivies d'une année très pluvieuse.

Pour mieux détecter ces différentes périodes, on a procédé au calcul des moyennes mobiles d'ordre 5.

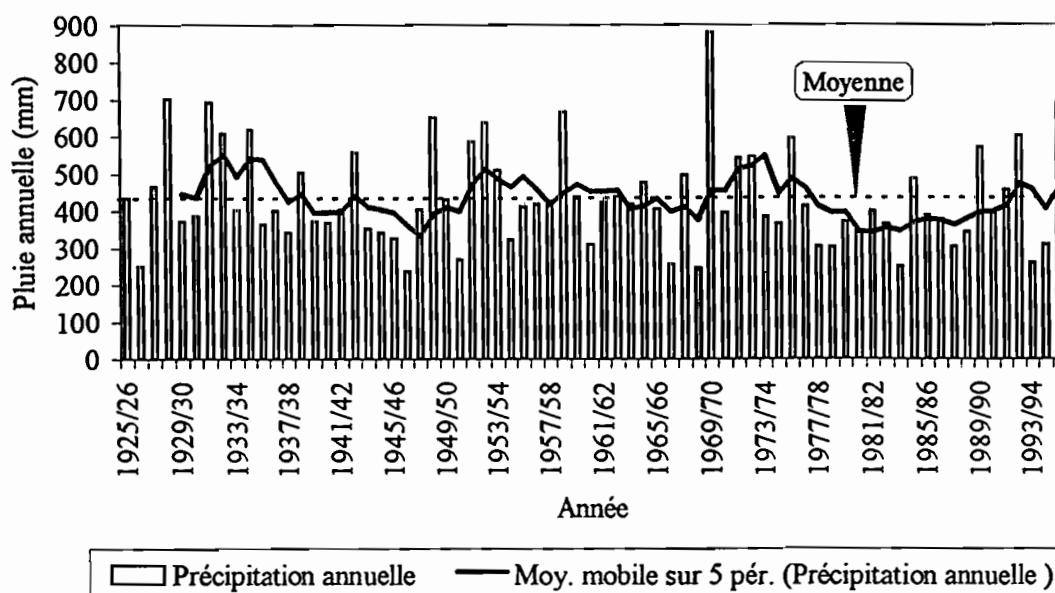


Figure II.5. : Variation de la pluviométrie moyenne annuelle au niveau de la station de Kesra

Dans son ensemble, la période peut être considérée comme une succession de phases sèches et humides, les deux dernières décennies correspondent à une déficience pluviométrique.

II.4.1.3. Etude de la représentativité de la série d'étude

Afin d'évaluer la représentativité de la période des 22 ans retenue pour l'étude, on a procédé à une répartition de la pluviosité au niveau de la station de Kesra, prise comme représentative de la région d'étude, suivant l'écart centré réduit précédemment calculé et à une étude statistique pour les deux séries chronologiques de pluie annuelle (1925/26-1995/96 et 1974/75-1995/96). Pour cette fin, on a supposé le classement conventionnel de la pluviosité comme suivant :

Ecart centré réduit	< -0,75	-0,75 à -0,25	-0,25 à +0,25	0,25 à 0,75	> 0,75
Pluviosité	très déficit.	déficitaire	normale	excédentaire	très excéd.

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau II.4. : Répartition de la pluviosité de la zone d'étude

	1 ^{ère} série (1925 - 1996)	2 ^{ème} série (1974 - 1996)
Pluviosité très excédentaire	18,6 %	18,2 %
Pluviosité excédentaire	11,4 %	9,1 %
Pluviosité normale	24,3 %	22,7 %
Pluviosité déficitaire	32,9 %	40,9 %
Pluviosité très déficitaire	12,9 %	9,1 %

Tableau II.5. : Etude statistique des deux séries

	1 ^{ère} série (1925 - 1996)	2 ^{ème} série (1974 - 1996)
Effectif	71	22
Moyenne arithmétique	433.45	401.83
Médiane	404.10	374.45
Ecart-type	130.77	114.37
Coefficient de variation	0.30	0.28

D'après le tableau II.4., il apparaît que la période choisie pour l'étude, comparée à la série longue durée (plus représentative), est relativement déficitaire. Cette remarque est confirmée par les résultats figurant dans le tableau II.5. ; en effet, la moyenne annuelle et la valeur médiane des précipitations sur la période 1925-1996 sont respectivement de 433 mm et 404 mm, elles ne sont que de 401mm et 374mm pour les deux dernières décennies. Par ailleurs, l'étude des tendances pluviométriques, entreprise par Lafforgue & Memi (1983), jusqu'à l'année 1980/81, montre que sur la période d'observation de l'Oued Merguellil limité à la station de Skhira, (1974-1981), une seule année (1975/76) est légèrement excédentaire, le reste de la période soit 7 ans est plutôt déficitaire (Bouzaiane, 1983).

Ainsi, on peut conclure que la période prise pour l'étude est représentative d'une période relativement sèche. Il sera donc à retenir que sur une période d'observation plus longue, donc plus significative, les moyennes pluviométriques et hydrométriques pourront être supérieures à celles établies sur la période des 22 années d'observation choisie pour notre étude.

II.4.2. Etude de la pluviométrie moyenne au niveau du Merguellil à la station de la Skhira

Comme signalé précédemment, les mesures de pluie dans les différentes stations prises pour l'étude ont été faites à des époques qui se recouvrent ou non ce qui rend délicat le calcul d'une moyenne sur le bassin versant d'étude. Pour ce faire, on a eu recours à la méthode de Thiessen, méthode la plus couramment utilisée, parce que son application est aisée et qu'elle donne les meilleurs résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas spatialement homogène, comme le cas du bassin versant étudié. Cette méthode sera explicitée dans le paragraphe suivant.

II.4.2.1. Méthode de Thiessen

La méthode du polygone de Thiessen permet de calculer une précipitation moyenne pondérée sur le bassin.

Cette méthode affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire est exprimée en % de la surface totale du bassin. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin versant sur une carte topographique de la façon suivante (Musy, 1992) : Les stations disponibles étant reportées sur une carte géographique, on trace une série de segments de droites reliant les stations adjacentes. On élève des perpendiculaires au centre de chacune des droites (médiatrices); les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones. Dans chaque polygone, la hauteur de précipitation choisie est celle

relevée à la station à l'intérieur de celui-ci. Les cotés des polygones et/ou la ligne de partage des eaux représentent les limites de l'aire (et du poids) accordée à chaque station. L'aire de chaque polygone A_i est déterminée par planimétrie. La précipitation moyenne pondérée \bar{P} pour le bassin, se calcule en effectuant la somme des précipitations P_i de chaque station, multipliées par le facteur de pondération (aire A_i); on divise alors la somme par la surface totale A du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$\bar{P} = \sum_{i=1} \frac{P_i A_i}{A}$$

où, \bar{P} : précipitation moyenne sur le bassin
 A : aire totale du bassin
 P_i : précipitation enregistrée pour la station i
 A_i : superficie du polygone associée à la station i

Si A_i est exprimée en pourcentage de l'aire du bassin, l'équation devient :

$$\bar{P} = \sum_{i=1} \frac{A_i P_i}{100}$$

D'autres critères pour la détermination du poids peuvent être adoptés. Ceux ci peuvent être fonction de l'averse, du relief, de la position géographique,...etc. (Musy, 1992). Ici encore l'expérience de l'hydrologue est déterminante. Sans une bonne expérience, la méthode de Thiessen reste la plus sûre. C'est la raison pour laquelle nous l'avons utilisé pour la détermination de la moyenne pluviométrique sur le bassin.

Pour nous résumer, nous avons donc, pour chaque station, dressé la fiche des pluies mensuelles et annuelles. Nous avons, ensuite, choisi pour chaque période les stations pour les quelles on dispose de données complètes. Puis on a établi les coefficients de Thiessen correspondant aux stations choisies pendant la période considérée. Ainsi, sur la période totale d'étude, (soit 22 ans), on calcule, pour chaque mois et chaque année, la moyenne sur le bassin. Quand on dispose de deux postes très proches, on choisit la station qui semble la meilleure (cas de la Kesra forêt et la Kesra B9) .

II.4.2.2. Pluviométrie mensuelle et annuelle

Afin de disposer d'une précipitation moyenne sur le bassin, sujet de notre étude, nous nous sommes limités à calculer les moyennes mensuelles et annuelles que nous groupons dans le tableau II.6.

Tableau II.6. : Moyennes pluviométriques mensuelles et annuelles sur le bassin versant du Merguellil à la station de la Skhira (exprimées en mm) (1974 - 1996)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Année
1974/75	38,71	32,41	15,77	19,54	8,26	131,95	16,21	40,17	25,48	1,12	3,10	43,70	376,42
1975/76	22,40	23,96	105,39	6,41	71,56	52,10	52,15	23,36	106,79	55,95	18,78	10,91	549,75
1976/77	15,90	29,52	49,90	15,77	79,02	11,44	70,06	41,64	38,62	21,12	47,15	27,66	447,80
1977/78	30,32	11,22	30,24	19,65	52,65	25,75	46,01	17,46	53,51	18,56	10,64	36,22	352,23
1978/79	2,91	20,26	19,07	6,36	6,32	35,35	67,60	52,59	17,96	6,61	0,00	26,21	261,25
1979/80	62,50	26,90	53,08	0,00	13,90	21,44	62,63	33,16	14,17	15,18	0,00	2,96	305,91
1980/81	9,38	11,09	14,47	55,48	36,16	34,63	18,65	8,40	38,67	8,68	0,00	7,24	242,86
1981/82	34,98	24,79	5,76	17,08	39,57	25,70	22,22	86,53	31,16	8,40	0,00	9,04	305,22
1982/83	52,79	56,22	74,75	25,80	26,07	0,00	26,57	1,06	18,99	19,00	0,00	0,11	301,36
1983/84	8,14	46,96	11,98	37,07	12,79	29,58	27,53	8,76	6,75	0,76	0,00	19,45	209,78
1984/85	23,83	49,38	14,29	45,45	33,69	23,07	49,71	26,67	54,91	1,60	2,65	0,00	325,24
1985/86	30,26	28,47	5,00	5,40	13,59	15,35	98,71	0,39	28,63	9,73	19,30	5,51	260,32
1986/87	23,11	49,66	19,59	12,12	9,34	18,29	70,18	36,00	10,36	2,08	7,01	12,39	270,14
1987/88	1,75	15,98	2,78	0,81	11,24	7,22	17,60	26,74	64,50	33,62	0,01	11,86	194,09
1988/89	18,83	4,86	28,05	20,81	15,02	21,38	17,78	20,41	11,37	45,60	14,19	43,91	262,22
1989/90	25,98	14,17	13,48	16,98	127,81	0,00	67,93	37,65	57,14	1,07	20,58	33,54	416,34
1990/91	41,87	54,84	40,01	39,51	58,38	50,83	103,77	38,91	8,28	2,71	0,03	10,25	449,41
1991/92	52,74	17,87	26,75	12,44	29,14	69,75	20,96	55,54	40,80	4,87	0,53	0,71	332,11
1992/93	52,33	32,72	84,23	79,70	12,65	32,42	50,78	17,21	35,74	6,34	5,70	6,77	416,59
1993/94	58,63	3,83	12,31	14,24	18,87	54,15	8,71	8,07	11,36	0,08	0,08	0,00	190,31
1994/95	46,43	69,51	14,05	0,65	29,19	0,10	23,91	20,30	2,15	52,28	0,57	45,64	304,79
1995/96	120,33	60,70	30,14	15,38	61,46	81,07	43,27	15,71	41,69	22,72	3,18	26,43	522,08
Moyenne	35,19	31,15	30,50	21,21	34,85	33,71	44,68	28,03	32,68	15,37	6,98	17,30	331,65

II.4.2.3. Analyse du tableau des moyennes

L'examen du tableau ci-dessus permet de constater que, globalement, la distribution pluviométrique marque une irrégularité importante tant à l'échelle annuelle qu'à l'échelle mensuelles.

Nous avons porté sur les graphiques ci-après la répartition annuelle et mensuelle ainsi que saisonnière de la pluviométrie.

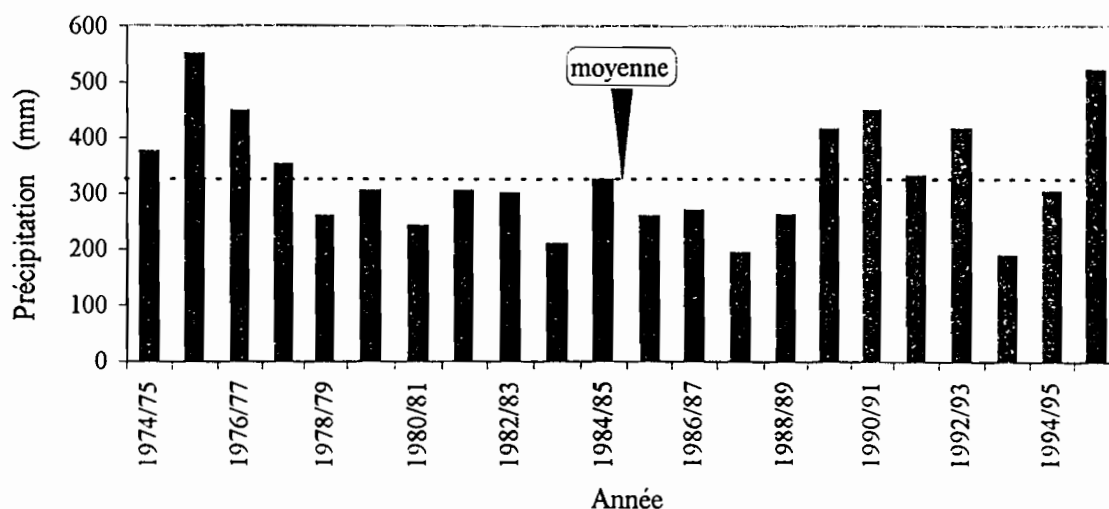


Figure II.6. : Précipitations annuelles sur le bassin du Merguellil limité à Skhira (1974-1996)

A l'échelle annuelle, Il convient de signaler l'extrême irrégularité du régime pluviométrique qui, d'une année à la suivante, peut varier entre 416 mm (1992/93) et 190 mm (1993/94).

Dans l'ensemble, les valeurs annuelles les plus faibles ont été observés entre 1978/79 et 1988/89, période correspondant à une phase de pluviosité très déficitaire, et les valeurs les plus fortes correspondent aux périodes de 1974/75 à 1976/77 et de 1990/91 à 1995/96 avec une interruption à l'année 1993/94 et trois pics marqués en 1975/76, 1990/91 et 1995/96.

L'écart entre les valeurs extrêmes (minima et maxima) est très variable; afin de mieux dégager cette variabilité, nous donnons dans le tableau II.6., les totaux annuels maximum et minimum enregistrés et le rapport à la moyenne correspondante. D'autre part, pour illustrer l'irrégularité inter-annuelle de la pluie, nous calculerons dans l'avant dernière colonne le rapport :

$$R3 = \text{Pluviométrie maxima} / \text{Pluviométrie minima.}$$

Tableau II.7. : Variabilité annuelle de la pluie au niveau du Merguellil à la Skhira

Moyenne inter-annuelle (mm)	Maximum observé (mm)	Rapport par rapport à la moyenne R1	Minimum observé (mm)	Rapport par rapport à la moyenne R2	R3 = R1/R2
331.65	549.75	1.66	190.31	0.57	2.89

A l'échelle mensuelle, on observe deux maximums qui sont, en général., en Septembre et Mars. D'autre part, on constate une diminution des pluies pendant les mois d'été, avec un minimum très net en Juillet.

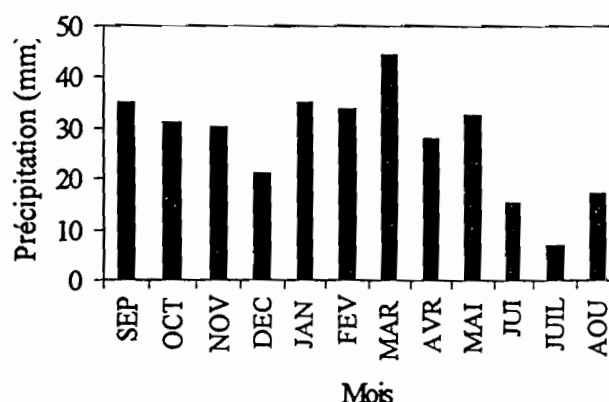


Figure II.7. : Précipitations mensuelles moyennes sur le bassin du Merguellil limité à Skhira (1974-1996)

La connaissance des pluies saisonnières est nécessaire surtout pour un régime pluviométrique connu par son irrégularité. En vue d'étudier la contribution saisonnière à l'apport pluviométrique annuel, nous avons calculé, pour chaque saison, le pourcentage de la moyenne saisonnière à la moyenne annuelle. Les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure II.8 suivante :

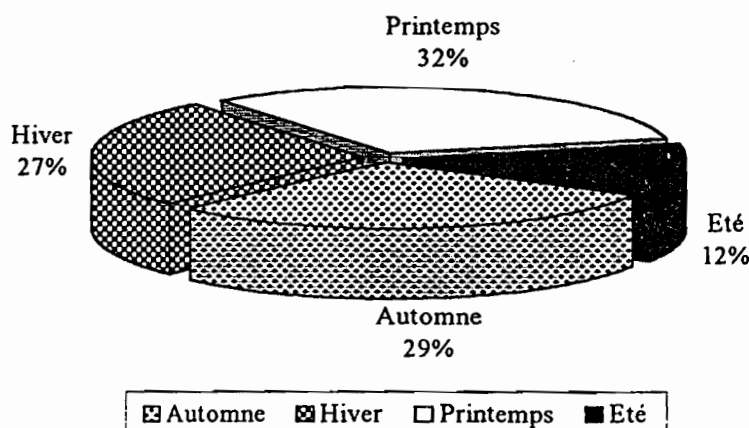


Figure II.8. : Répartition saisonnière de la pluviométrie sur le bassin du Merguellil à la Skhira

La distribution saisonnière des précipitations montre que la plus petite part est apportée l'été avec des contributions assez voisines pour les trois autres saisons.

II.4.3. Comparaison entre la pluviométrie à la station de Kesra et la précipitation moyenne sur le bassin

Afin de dégager une idée quant à la représentativité de la station de Kesra forêt de la pluviométrie, au niveau du bassin étudié, et de compléter ce que nous avons avancé précédemment, on a procédé à un essai de régression entre la pluie moyenne sur le haut bassin du Merguellil à la station de Skhira et celle relevée au poste forestier de Kesra.

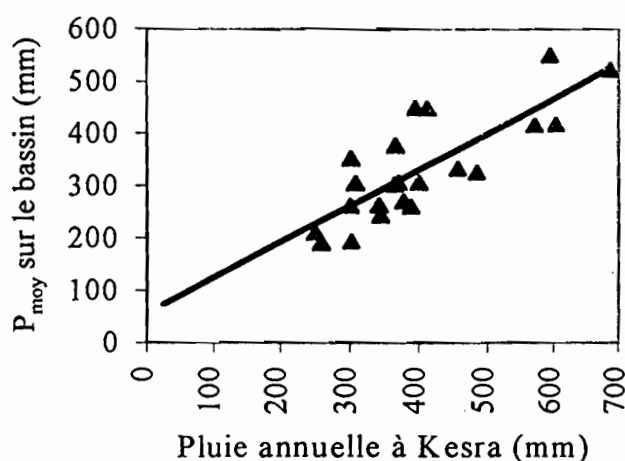


Figure II.9. : Essai de régression entre la précipitation moyenne sur le haut du Merguellil et celle relevée au poste forestier de Kesra

Bien que cette régression soit établie sur une période relativement réduite, le graphique de la figure II.9 montre que la pluviométrie enregistrée au poste forestier de Kesra est plus forte que la moyenne calculée sur le bassin versant étudié, avec un coefficient de corrélation, relativement bon, de l'ordre de 0,785. Cela s'explique, d'une part, par l'altitude du poste puisque les précipitations augmentent avec l'altitude, et d'autre part par l'exposition du versant sous l'influence des vents du Nord Ouest engendrant le plus souvent, de fortes pluies.

II.4.4. Distribution spatiale des précipitations au niveau du haut bassin du Merguellil

Dans le but d'étudier la distribution spatiale des précipitations au niveau du bassin étudié, nous avons établi la carte des isohyètes (Figure II.10 à l'échelle annuelle, sur une période de référence commune (1980/81 - 1992/93).

Cette carte montre que la répartition des précipitations est hétérogène sur le bassin ; elle augmente du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'est. La région de Kesra est la plus arrosée, quant à la région de Tella (extrême Nord Ouest du bassin), les précipitations sont relativement faibles.

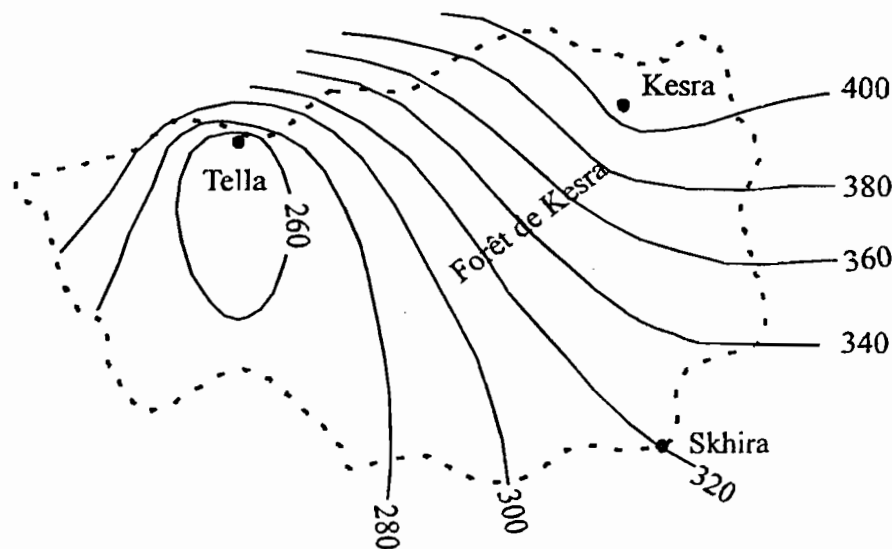


Figure II.10. : Bassin versant du Merguellil limité à la station de Skhira (au 1/200 000)
Carte des isohoyètes (1980/81 - 1992/93)

Conclusion

Situé dans la zone aride, le bassin du haut Merguellil est caractérisé par un régime pluviométrique très irrégulier.

Nous avons passé en revue et analysé la pluviométrie des deux dernières décennies d'étude. Cette analyse a concerné notamment les totaux de pluie annuelle et saisonnière.

L'étude de l'évolution de la pluviométrie au niveau de la station de Kesra forêt, considérée comme représentative de la région d'étude, sur une période de longue durée a mis en évidence une tendance générale vers une baisse.

Nous avons montré que la période prise pour notre étude correspond à une phase plutôt déficitaire, la moyenne calculée sur la période 1925-1996 est de 433 mm, elle n'est que 401 mm sur la période des deux dernières décennies. Il sera donc à retenir que sur une période

d'observation plus longue, donc beaucoup plus significative, les moyennes pluviométriques et hydrométriques pourront être supérieures à celles établies sur la période des 22 années d'observation choisie pour notre étude.

Par ailleurs, il importe de noter que le nombre des postes pluviométriques est relativement réduit, notamment sur la partie sud et sud ouest, pour pouvoir établir, avec certitude, une moyenne représentative du bassin étudié.

La répartition spatiale des précipitations montre que les précipitations sont surtout concentrées sur le haut plateau de Kesra, la zone la plus haute du bassin versant.

Nous avons essayé, en plus du calcul des moyennes en utilisant la méthode de Thiessen, de montrer le caractère irrégulier de la répartition, caractéristique générale de la pluviométrie du Merguellil. Les précipitations sont, en particulier abondantes en automne et en printemps.

II.5. Etude des écoulements

II.5.1. Débits moyens mensuels et annuels

Le tableau II. 3 ci-après rassemble les débits moyens mensuels et annuels exprimés en m^3/s tels qu'ils sont issus du fichier opérationnel de HYDROM : Ces débits ont été calculés à partir du fichier des débits instantanés, calculés à leur rôle, de manière automatique avec les étalonnages et les cotes instantanées.

Les quatre dernières lignes du tableau donnent les moyennes mensuelles, médianes, écarts types et coefficients de variation.

Tableau II.8. : Débits d'écoulement mensuels et annuels enregistrés sur le Merguellil limité à la station de Skhira (exprimés en m^3/s)

Année	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Annuel
1974/75	0,671	0,058	0,027	0,008	0,008	1,253	0,031	0,105	0,064	0,009	0,004	1,580	0,312
1975/76	0,287	0,035	0,871	0,011	0,422	0,067	0,168	0,115	0,728	1,120	0,437	0,097	0,363
1976/77	0,058	0,380	0,619	0,042	0,128	0,027	0,254	0,028	0,008	0,359	0,005	0,008	0,160
1977/78	0,141	0,181	0,146	0,003	0,004	0,030	0,033	0,028	0,175	0,021	0,003	0,191	0,080
1978/79	0,045	0,017	0,003	0,003	0,003	0,006	0,226	0,784	0,016	0,006	0,002	0,949	0,173
1979/80	0,276	0,268	0,728	0,004	0,003	0,037	0,596	0,036	0,023	0,190	0,002	0,002	0,180
1980/81	0,197	0,015	0,007	0,648	0,128	0,053	0,024	0,032	0,067	0,152	0,009	0,009	0,112
1981/82	0,177	0,151	0,002	0,004	0,154	0,010	0,049	0,924	0,440	0,155	0,002	0,002	0,172
1982/83	0,138	0,360	0,314	0,021	0,049	0,015	0,041	0,002	0,035	0,051	0,002	0,002	0,086
1983/84	0,002	0,127	0,004	0,002	0,002	0,016	0,005	0,002	0,004	0,002	0,001	0,003	0,014
1984/85	0,215	0,022	0,006	0,083	0,037	0,006	0,008	0,004	0,769	0,131	0,004	0,004	0,108
1985/86	0,361	0,006	0,005	0,007	0,004	0,006	0,465	0,002	0,668	0,210	0,585	0,186	0,211
1986/87	0,035	0,288	0,004	0,003	0,003	0,003	0,052	0,011	0,008	0,008	0,353	0,068	0,071
1987/88	0,006	0,165	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006	0,018	1,680	0,100	0,003	0,355	0,199
1988/89	0,234	0,015	0,142	0,024	0,005	0,009	0,011	0,056	0,119	0,209	0,093	0,272	0,099
1989/90	0,908	0,031	0,006	0,012	0,982	0,065	0,580	0,484	0,453	0,019	0,166	1,450	0,434
1990/91	0,332	0,105	0,116	0,646	0,137	0,179	0,405	0,587	0,046	0,018	0,004	0,003	0,215
1991/92	1,180	0,013	0,569	0,038	0,266	1,570	0,136	0,391	0,303	0,019	0,003	0,003	0,363
1992/93	1,550	0,157	0,902	0,476	0,065	0,251	0,305	0,039	0,265	0,008	0,004	0,018	0,334
1993/94	1,140	0,003	0,003	0,003	0,012	0,622	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,145
1994/95	0,350	0,663	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,737	0,005	0,292	0,174
1995/96	1,960	0,626	0,073	0,016	0,349	0,686	0,443	0,100	0,740	0,166	0,010	0,116	0,437
Moy.	0,466	0,168	0,207	0,094	0,126	0,224	0,175	0,171	0,301	0,168	0,077	0,255	0,202
Médiane	0,260	0,120	0,020	0,010	0,020	0,030	0,050	0,030	0,090	0,080	0,000	0,040	0,170
Eca. type	0,540	0,190	0,310	0,200	0,230	0,430	0,200	0,280	0,041	0,270	0,160	0,460	0,120
Coef. var	1,160	1,150	1,500	2,190	1,790	1,930	1,160	1,620	1,370	1,610	2,120	1,800	0,600

Un examen rapide de ce tableau permet de remarquer que :

➤ Les débits d'un même mois accusent des irrégularités sensibles notamment les mois de Décembre, Janvier, Février, Juillet et Août comme les montrent les coefficients de variation.

➤ Le débit moyen mensuel le plus important a été observé au cours du mois de Septembre 1995, année particulièrement importante de point de vue écoulement ($13,775$ millions de m^3). Au cours de ce mois, le débit moyen a atteint $1,96 m^3/s$ soit un volume mensuel de plus que $5 \cdot 10^6 m^3$.

➤ L'apport moyen annuel du Merguellil à la station Skhira sur la période 1974-1996 est de $6,37 \cdot 10^6 m^3$. Rapporté à la surface du bassin versant étudié, la lame moyenne annuelle écoulée est de $33,86 mm$.

Pour mieux dégager les caractéristiques de la distribution mensuelle et annuelle des apports du Merguellil à Skhira, nous avons porté sur les graphiques de la figure ci-après cette répartition :

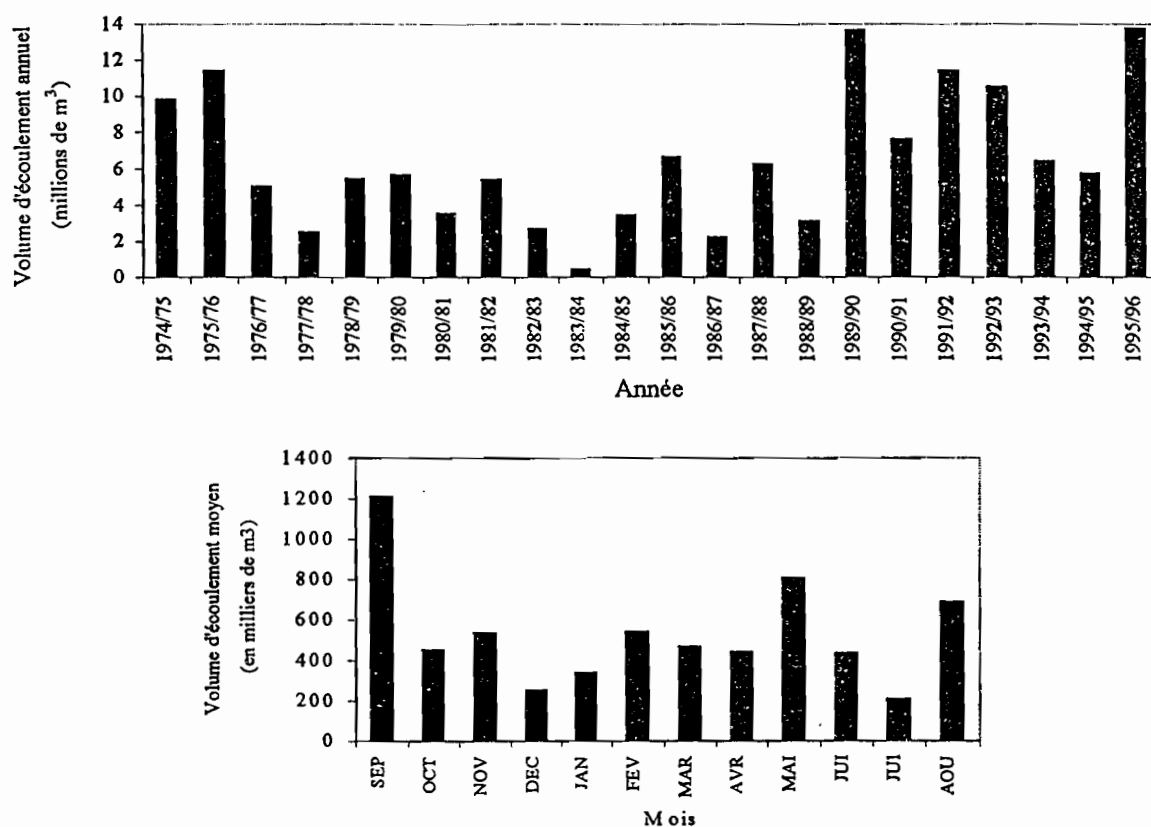


Figure II.11. : Répartition annuelle et mensuelle des apports sur le Merguellil limité à la station de Skhira

On remarque sur les graphiques de la figure II.11 que :

➤ la variabilité inter-annuelle des apports est très importante : le rapport entre les volumes maximum et minimum observé est supérieur à 30.

➤ la distribution des apports au cours de l'année marque un maximum atteint au mois de Septembre (19 %), Août (10,7 %) et Mai (12,6 %), ainsi, les deux premiers mois de l'automne à eux seuls 30 % de l'apport annuel, c'est pendant cette période que surviennent les plus importantes crues.

➤ les mois dont la contribution est la plus faible sont Juillet, Décembre et Janvier.

En vue de déterminer la contribution saisonnière à l'apport annuel, nous avons calculé, pour chaque saison, le pourcentage à la moyenne annuelle. Les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure suivante

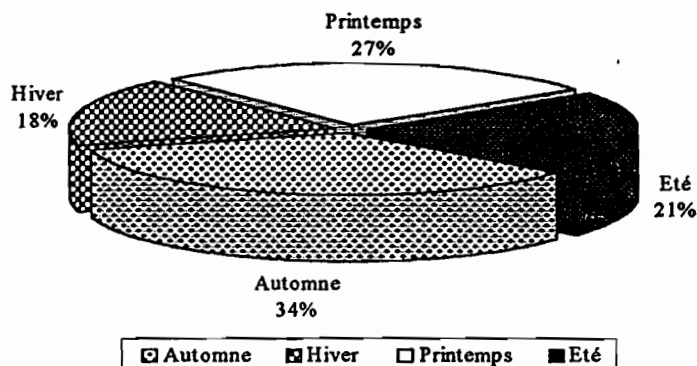


Figure II.12. : Répartition saisonnière des apports du Merguellil limité à la station de Skhira

Le graphique de la figure précédente montre que l'automne participe avec 34% des apports annuels. Les apports d'hiver sont, paradoxalement, inférieures aux apports d'été.

II.5.2. Etude des crues

Du fichier opérationnel des débits instantanés issus de **HYDROM**, on a extrait toutes les crues survenues et observées à la station de Skhira depuis Septembre 1974 jusqu'à Août 1996. Chaque crue est caractérisée par son hydrogramme.

Grâce au maniement du curseur, une crue peut être isolée à part et une simple touche permet d'affiche les caractéristiques de cette crue à savoir : (voir figure II.13.)

- la date et l'heure de début de la crue
- la date et l'heure de la fin de la crue
- la date et l'heure du maximum de la crue
- le débit initial (QI), le débit final (QF), le débit maximal (QM), le débit maximal ruisselé (QMR)
- le temps de montée (Tm) et le temps de base (Tb)
- le volume écoulé, le volume ruisselé, le volume résiduel
- enfin, si la superficie du bassin versant se trouve dans le fichier identification des stations :
 - la lame écoulée, la lame ruisselée
 - le débit spécifique

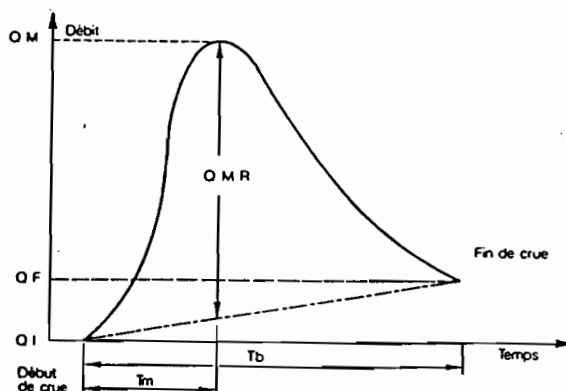


Figure II.13. : Caractéristiques d'une crue (Cochonneau, 1989)

II.5.2.1. Occurrence saisonnière des crues

Afin d'étudier les fréquences d'apparition des crues et leur occurrence, nous avons recensé, parmi les crues que nous avons extraites de HYDROM, toutes celles dont la lame ruisselée est supérieure ou égale à 1 mm.

Le décompte de ces crues, par année et par mois, est donnée par le tableau ci-après.

Tableau II.9. : Occurrence mensuelle et annuelle des crues ($L_r \geq 1$ mm) sur le Merguellil à la station de Skhira (1974-1996)

Année	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Total
1974/75	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	8
1975/76	1	0	2	0	2	0	0	0	2	3	2	0	12
1976/77	0	2	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	7
1977/78	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
1978/79	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	4
1979/80	0	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5
1980/81	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	4
1981/82	1	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	6
1982/83	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
1983/84	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1984/85	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	4
1985/86	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	1	1	7
1986/87	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1987/88	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	6
1988/89	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3
1989/90	1	0	0	0	3	0	3	1	1	0	1	2	12
1990/91	2	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	6
1991/92	4	0	1	0	1	1	0	2	1	0	0	0	10
1992/93	2	1	3	1	0	1	1	0	1	0	0	0	10
1993/94	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
1994/95	1	2	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	7
1995/96	4	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	10
Total	24	15	13	3	11	7	11	7	16	10	4	13	134
N crues /an	1,09	0,68	0,59	0,14	0,50	0,32	0,50	0,32	0,73	0,45	0,18	0,59	6,09
Moy %	17,9	11,2	9,7	2,2	8,2	5,2	8,2	5,2	11,9	7,5	3,0	9,7	100

➤ Le nombre moyen de crues par an, calculé sur 22 années d'observation, est un peu plus de 6. Leur répartition annuelle fait apparaître une occurrence très irrégulière d'une année à l'autre, avec un maximum de 12 en 1975/76 et 1989/90 et un minimum de 1 en 1986/87 et 1983/84.

➤ Tout en pouvant survenir durant presque tous les mois de l'année (sauf aux mois de Décembre et de Juillet), la plus grande fréquence d'apparition des crues se situe à cheval entre la fin de l'été et le début de l'automne : 40% des crues se produisent au cours des mois d'Août, Septembre et Octobre. Ce sont de fortes crues engendrant un fort ruissellement dû au

manque de végétation. D'autres maximums, mais plus petits et de même ordre de grandeur, apparaissent en Novembre, Janvier, Mars et Mai. Cette répartition reste non conforme au régime à deux maximums régnant sur l'ensemble des bassins de la Tunisie centrale : un maximum en automne et un autre en printemps (Bouzaiane & Lafforgue, 1986).

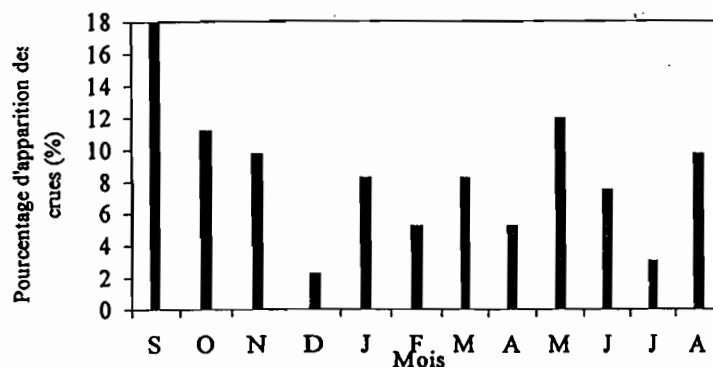


Figure II.14. : Occurrence mensuelle des crues sur le Merguellil à la station de Skhira

Néanmoins, les pourcentages mettent en relief certaines particularités du régime hydrologique qui caractérise la région du Haut Merguellil. En effet, au lieu d'observer un minimum de crues bien net de Novembre à Janvier comme sur la majeure partie du secteur Zéroud-Merguellil (Lafforgue, 1982), on constate une répartition plus ou moins régulière des crues, le mois de Janvier étant, en particulier, relativement propice à leur formation alors que dans les autres régions de la Tunisie centrale, les crues d'hiver sont beaucoup plus rares. Ce caractère particulier est évidemment lié au régime des pluies qui diffère sensiblement de celui qui règne sur le reste du bassin.

II.5.2.2 : Occurrence horaire des crues

On a reporté graphiquement sur la figure II.15 les fréquences d'apparition des crues dans la journée par tranches de deux heures de 0h00 à 24h00. Cet histogramme montre clairement que la plupart des crues se produisent en fin d'après-midi avec une fréquence maximale d'apparition autour de 17h00 (plus d'un cinquième de l'ensemble des crues commencent entre 16h00 et 18h00 et plus des trois quarts entre 12h00 et 22h00).

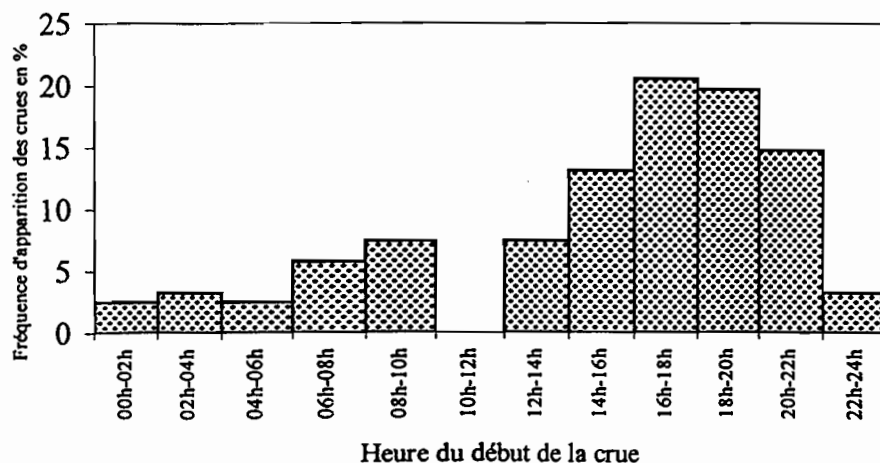


Figure II.15. : Répartition horaire des crues du Merguellil limitée à la station de Skhira (1974 -1996)

➤➤ Cette répartition s'explique en partie par la forte proportion de crues d'automne ayant une origine orageuse. En effet, si l'on fait une distinction entre la période d'Avril à Octobre inclus (été au sens large) et celle de Novembre à Mars (hiver), on constate, comme le montre le graphique de la figure II.16 que les crues d'été sont concentrées en fin d'après-midi alors que les crues d'hiver sont réparties beaucoup plus uniformément sur l'ensemble de la journée.

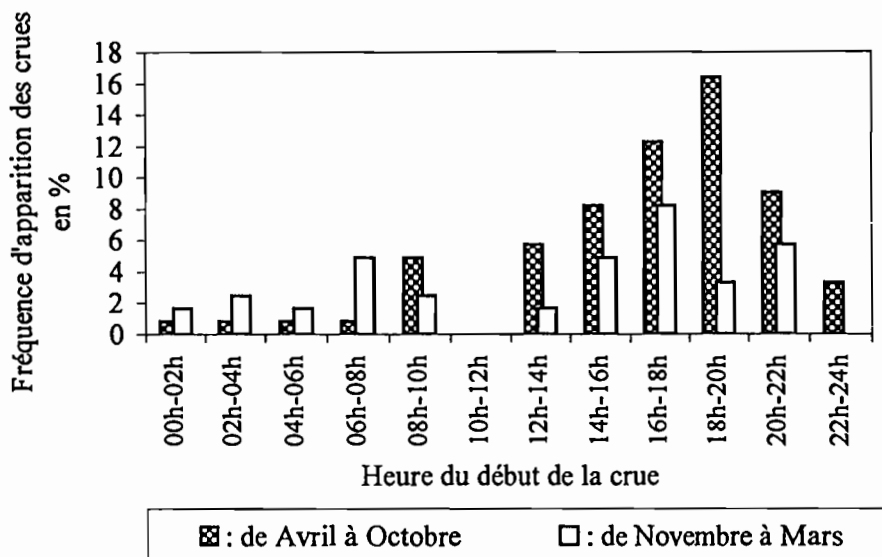


Figure II.16. : Répartition horaire saisonnière des crues du Merguellil à la station de Skhira (1974 - 1996)

II.5.2.3 Caractéristiques des crues

Afin d'étudier ces caractéristiques, on a procédé à la sélection des crues, ayant été déjà utilisées pour l'étude de leur occurrence ($L_{\text{ruis}} \geq 1 \text{ mm}$), et remplissant le critère suivant : les pluies ayant engendré ces crues doivent être tombées de façon homogène sur l'ensemble du bassin limité à la station. Pour cette fin, on a calculé la pluie journalière moyenne correspondant à la date de la crue, en utilisant la méthode de Thiessen déjà utilisée pour le calcul des moyennes mensuelles.

En annexe C, on récapitule les caractéristiques principales de ces crues homogènes ; on donne dans l'ordre:

- La date et l'heure du début de la crue
- La valeur du débit maximum Q_x de ruissellement en m^3/s atteint par la crue
- Le volume ruisselé de la crue V_r en millions de m^3
- La hauteur de la lame d'eau L_r correspondante
- Le temps de montée T_m en minutes
- Le temps de base T_b en minutes
- Une indication sur la forme simple ou complexe de la crue

Bien qu'une forte proportion des crues du Merguellil présentent des formes d'hydrogrammes simples, avec une seule pointe, il n'est pas possible d'isoler une forme type en raison probablement de l'hétérogénéité des averses. On peut seulement signaler que ces crues sont relativement brèves et violentes avec des temps de montée de l'ordre d'une à deux heures en moyenne et des temps de base compris entre cinq et quinze heures.

La crue la plus spectaculaire survenue sur le Merguellil à Skhira est celle de 30/09/1992, crue soudaine et violente : Le débit de ruissellement a atteint 410 m³/s, la lame ruisselée : 16 mm, le temps de montée : 45 mn et le temps de base : 285 mn.

II.5.3. : Les volumes ruisselés

Pour l'étude des volumes de ruissellement, on a procédé à l'addition des volumes issus de toutes les crues, déjà extraites du fichier des débits instantanés de HYDROM.

On a essayé, pour ce fait, de tenir en compte de toutes les crues quelle que soit leur importance et leur ordre de grandeur.

Tableau II.10. : Volumes mensuels et annuels de ruissellement enregistrés sur le Merguellil à la station de Skhira (1974-1996) (exprimés en milliers de m³)

Année	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Annuel
1974/75	1643,10	73,47	51,20	0,00	0,00	2259,15	0,00	131,91	69,34	0,00	0,00	3308,15	7536,32
1975/76	521,20	76,04	1780,20	0,00	824,90	0,00	0,00	0,00	1432,10	2391,47	839,27	177,29	8042,47
1976/77	144,12	737,67	1234,40	0,00	0,00	0,00	523,40	0,00	0,00	724,60	0,00	0,00	3364,19
1977/78	298,91	368,80	208,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	479,04	1354,85
1978/79	106,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	454,10	1620,70	0,00	0,00	0,00	2139,00	4320,00
1979/80	190,40	516,00	1504,20	0,00	0,00	0,00	1367,00	0,00	0,00	434,10	0,00	0,00	4011,70
1980/81	421,10	0,00	0,00	1429,00	207,50	0,00	0,00	51,30	115,30	345,10	0,00	0,00	2569,30
1981/82	406,33	374,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1895,60	821,80	208,60	0,00	0,00	3706,54
1982/83	238,40	862,70	560,00	0,00	58,96	0,00	90,48	0,00	79,80	122,00	0,00	0,00	2012,34
1983/84	0,00	301,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	303,51
1984/85	497,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1585,10	234,50	0,00	0,00	2317,00
1985/86	671,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1153,30	0,00	1567,50	0,00	1422,00	410,20	5224,60
1986/87	34,69	537,50	0,00	0,00	0,00	0,00	102,40	8,90	0,00	0,00	872,10	152,76	1708,35
1987/88	0,00	275,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4211,08	198,20	0,00	852,00	5536,78
1988/89	507,03	22,92	292,20	35,32	0,00	0,00	6,32	123,50	278,80	424,92	174,02	476,11	2341,14
1989/90	2182,37	0,00	0,00	0,00	1996,70	0,00	998,30	1028,00	1006,54	0,00	372,00	3462,29	11046,20
1990/91	716,70	149,80	177,50	1257,00	103,30	163,36	664,50	938,22	0,00	0,00	0,00	0,00	4170,38
1991/92	2759,30	0,00	1453,00	0,00	655,00	2734,00	0,00	840,10	632,70	0,00	0,00	0,00	9074,10
1992/93	3851,80	385,80	1539,40	923,10	0,00	484,20	654,00	70,57	626,73	0,00	0,00	27,37	8562,97
1993/94	2441,16	0,00	0,00	0,00	0,00	1197,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3638,16
1994/95	845,97	1528,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1557,63	0,00	618,99	4551,19
1995/96	3926,14	1454,52	122,70	0,00	665,00	1242,10	559,00	41,58	1542,60	295,31	12,39	250,87	10112,21
Moyenne	1018,36	348,42	405,59	165,66	205,06	367,26	298,76	306,84	635,05	315,29	167,81	561,55	4795,65

Du tableau II.10, on peut émettre les remarques suivantes :

- Sur le haut bassin versant du Merguellil, les crues contribuent à plus de 75 % de l'écoulement total. Elles apportent annuellement, en moyenne, $4,795 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, ce qui correspond à une lame ruisselée moyenne de 25,51 mm.
- La répartition annuelle des apports propres au ruissellement fait apparaître :

- un 1^{er} maximum au cours de la période allant d'Août à Novembre durant laquelle se produit en moyenne 50% du ruissellement annuel. A elles seules, les crues d'automne, qui sont les plus fréquentes, contribuent pour 39 % aux apports annuels moyens.
- un second maximum moins marqué apparaît au cours des mois de Février, Mars, Avril et Mai. Les apports minimums sont observés au cours des mois de Décembre, Janvier et Juillet.

➤ L'année 1989/90 a été, grâce aux crues importantes survenues au cours des mois de Septembre 1989 et Août 1990, l'année la plus « ruisselante » avec un volume de l'ordre de 11046 milliers de m^3 , alors que 1983/84 avec 303,5 milliers de m^3 est l'année la plus déficitaire.

➤ On remarque une grande variabilité dans la répartition des apports de ruissellement d'une année à l'autre : le coefficient de variation est de 0,63.

La répartition saisonnière de ruissellement est donnée par le graphique de la figure II.17. :

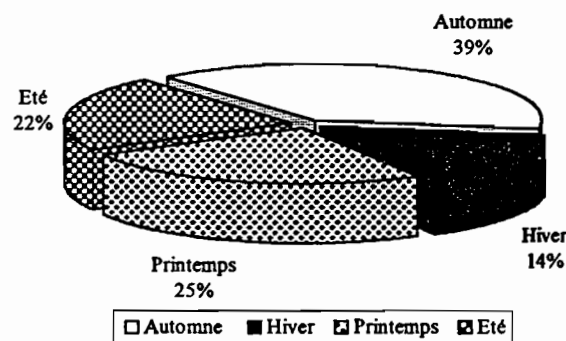


Figure II.17. : Répartition saisonnière des volumes de ruissellement sur le Haut Merguellil (1974 - 1996)

Bien que les précipitations du printemps et de l'hiver sont plus abondantes, respectivement, que celles de l'automne et de l'été, ces deux dernières saisons sont plus ruisselantes. Cela peut être amené à des raisons qui vont être explicitées plus tard.

II.5.4 : Les débits de base

Tout écoulement parvenant à l'exutoire est composé par la superposition de différents débits : débits de base, écoulement retardé ou hypodermique et ruissellement direct ou de surface.

Ces divers débits composant l'hydrogramme de crue obéissent à des régimes différents et complexes, analogues à des lois de vidange. L'hypothèse de base de la décomposition de l'hydrogramme est donc la différence de vitesse et de temps de réponse (Musy, 1992).

On admet que l'écoulement hypodermique possède une vitesse intermédiaire entre le ruissellement superficiel et l'écoulement de base (c.f figure II.18.), leur isolement dans l'hydrogramme reste cependant subjectif.

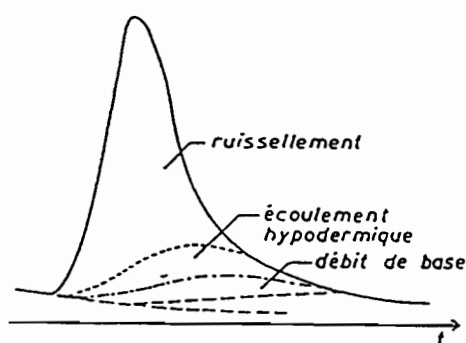


Figure II.18. : Les différents types d'écoulement constituant un hydrogramme de crue

Les volumes mensuels de base sont obtenus en soustrayant, des apports totaux d'écoulement, les volumes de ruissellement précédemment calculés. Convertis en débits, on a établi le tableau ci-après qui rassemble les débits moyens mensuels de base de 1974 à 1996 à la station de Skhira-Kef Labiod. Néanmoins, la certitude de ces débits reste liée à une bonne séparation des différentes formes d'écoulements au niveau des hydrogrammes de crues issus du fichier des débits instantanés de HYDROM.

Tableau II.11. : Débits de base mensuels et annuels sur le Merguellil limité à la station de Skhira (exprimés en l/s)

Année	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Annuel
1974/75	37,1	30,2	7,3	8,2	8,2	308,4	30,6	54,1	38,1	9,5	4,0	344,9	72,8
1975/76	85,9	6,2	184,2	11,4	114,0	64,3	168,0	115,0	193,3	197,4	123,7	31,2	108,0
1976/77	2,1	104,6	142,8	41,5	128,0	26,3	58,6	28,1	8,0	79,4	5,0	8,4	52,9
1977/78	25,7	43,3	65,7	3,0	4,0	29,3	32,6	27,6	175,0	21,4	3,0	12,1	37,1
1978/79	3,8	17,4	3,0	2,8	3,0	6,1	56,5	158,7	15,6	6,3	2,0	150,4	35,6
1979/80	202,5	75,3	147,7	4,0	2,5	35,4	85,6	36,3	23,3	22,5	2,0	2,0	53,0
1980/81	34,5	14,7	6,9	114,5	50,5	51,1	23,6	12,2	24,0	18,9	9,0	9,0	30,8
1981/82	20,2	11,3	2,0	4,4	154,0	9,7	49,4	192,7	133,2	74,5	2,0	2,0	54,8
1982/83	46,0	37,9	98,0	20,5	26,9	14,8	7,6	2,3	5,2	3,7	2,0	2,0	22,2
1983/84	2,0	14,3	3,7	2,0	2,0	15,0	5,3	2,0	3,6	1,9	1,2	2,5	4,6
1984/85	23,1	21,8	6,0	83,3	37,1	6,3	7,6	4,0	177,2	40,5	4,0	4,0	35,0
1985/86	101,9	6,2	4,7	7,1	4,0	6,2	34,4	2,5	82,8	210,0	54,1	32,8	45,5
1986/87	21,6	87,3	3,7	3,4	3,0	3,0	13,5	7,3	7,6	8,0	27,4	11,1	16,6
1987/88	6,0	62,1	4,0	4,0	4,0	4,0	6,1	18,1	107,8	23,5	2,8	36,9	23,6
1988/89	38,4	6,2	29,3	10,7	4,9	8,5	8,5	8,8	14,9	45,1	27,9	94,2	24,9
1989/90	66,0	31,0	6,1	11,6	236,5	63,1	207,3	87,4	77,2	19,2	27,1	157,3	83,2
1990/91	55,5	49,1	47,5	176,7	98,4	107,8	156,9	225,0	46,4	17,6	3,6	3,0	82,3
1991/92	115,5	13,0	8,4	38,0	21,5	424,7	136,0	66,9	66,8	19,1	3,0	3,0	74,9
1992/93	64,0	13,0	308,1	131,4	64,6	48,8	60,8	12,2	31,0	8,2	4,0	7,9	62,7
1993/94	198,2	3,4	3,0	3,0	11,8	122,8	3,0	3,0	3,1	3,0	3,0	3,0	29,4
1994/95	23,6	92,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	136,1	5,0	60,9	29,5
1995/96	445,3	82,9	25,8	15,6	100,7	166,3	234,3	83,5	164,1	52,1	5,1	22,3	116,2
Moy.	73,6	37,4	50,6	31,9	49,3	69,4	63,2	52,4	63,8	46,3	14,6	45,5	49,8

- Le débit moyen annuel de base est d'environ 50 l/s.
- Calculé sur l'ensemble de la période d'observation (soit 22 années), l'apport annuel moyen de base de l'oued Merguellil au niveau de Skhira est de $1,570 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ce qui correspond à une lame d'eau écoulée de 8,35 mm soit près du quart des écoulements totaux.
- L'examen tableau II.11. montre que les débits de base de l'oued Merguellil à la station de Skhira-Kef Labiod sont assez irréguliers et extrêmement variables d'une année à l'autre : pour une année sèche, comme 1983/84, la moyenne dépasse à peine 5 l/s alors qu'elle peut atteindre plus de 300 l/s pour des années comportant des épisodes pluvieux exceptionnels comme 1975/76 et 1995/96, pouvant être expliqués par les apports cumulés de fins de crues.

En régime d'étiage, les débits d'écoulement deviennent très faibles comme l'attestent les valeurs minimales consignées dans le tableau II.12 présentant les débits maximums et minimums (instantanés et journaliers) observés au cours de chaque année.

Tableau II.12. : Débits maximums et minimums (instantanés et journaliers) enregistrés sur la Merguellil à Skhira

Année	Min.in(m3/s)	Max.in(m3/s)	Min.jo(m3/s)	Max.jo(m3/s)
1974/75	0,003	207,00	0,003	24,60
1975/76	0,003	300,00	0,003	21,70
1976/77	0,003	125,00	0,003	9,60
1977/78	0,002	68,80	0,002	4,13
1978/79	0,002	431,00	0,002	25,20
1979/80	0,002	112,00	0,002	17,70
1980/81	0,001	87,30	0,001	13,50
1981/82	0,001	311,00	0,001	20,90
1982/83	0,002	125,00	0,002	10,20
1983/84	0,001	25,80	0,001	3,33
1984/85	0,002	98,70	0,002	15,80
1985/86	0,002	264,00	0,002	17,40
1986/87	0,003	166,00	0,003	10,60
1987/88	0,002	478,00	0,002	29,70
1988/89	0,002	137,00	0,002	6,42
1989/90	0,005	322,00	0,005	44,80
1990/91	0,003	264,00	0,003	28,80
1991/92	0,003	188,00	0,003	30,90
1992/93	0,003	410,00	0,003	35,70
1993/94	0,003	228,00	0,003	27,30
1994/95	0,003	300,00	0,003	21,10
1995/96	0,003	246,00	0,003	17,50
Moy.	0,002	222,48	0,002	19,86

- Les débits d'étiage sont pratiquement nuls. Leur moyenne annuelle est de l'ordre de 2 l/s.
- Quant aux maximums instantanés, ils sont très variables d'une année à l'autre, les valeurs extrêmes ont été atteintes en Mai 88 (478 m3/s) et en Août 79 (431 m3/s), la plus petite valeur a été enregistrée en 1983/84 (25,8 m3/s) correspondant à une année très sèche.

II.5.5. : Etude des débits maximaux

Un essai d'ajustement statistique a été entrepris sur l'échantillon des 22 valeurs de débits maximums instantanés observés sur la période des 22 années. Ces débits classés sont donnés dans le tableau ci-après en regard de leur fréquence expérimentale F au non-dépassement.

Tableau II.13. : Débits maximums de crues et fréquences au non dépassement

Rang ; r	Débit maximal en m ³ /s	Fréquence = $r-0.5/N$
1	25.8	0.02
2	68.8	0.07
3	87.3	0.11
4	98.7	0.16
5	112	0.20
6	125	0.25
7	125	0.30
8	137	0.34
9	166	0.39
10	188	0.43
11	207	0.48
12	228	0.52
13	246	0.57
14	264	0.61
15	264	0.66
16	300	0.7
17	300	0.75
18	311	0.8
19	322	0.84
20	410	0.89
21	421	0.93
22	478	0.98

Par application d'un logiciel d'ajustement des lois statistiques aux variables hydrologiques (Aled), on a déterminé les valeurs des débits maximums (m³/s) calculées pour différentes périodes de récurrence T par différentes lois.

Sans entrer dans les détails, les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant

Tableau II.14. : Résultats des essais d'ajustement statistique des débits instantanés maximaux

Loi ➡	Loi Log-Normale		Gamma-incomplète		Loi de Weibull		Loi de Gumbel	
T (ans)	moments ⁽¹⁾	Maxi. de vrai ⁽²⁾	moments ⁽²⁾	Maxi. de vrai ⁽²⁾	moments	Maxi. de vrai	moments ⁽²⁾	Maxi. de vrai ⁽²⁾
5	320,98	315,835	312,426	318,149	321,728	320,026	309,837	315,954
10	382,364	384,261	384,86	397,791	388,782	385,068	381,233	391,526
20	435,95	447,333	452,474	472,767	446,804	441,142	449,718	464,017
50	499,576	526,251	537,525	567,762	514,494	506,351	538,365	557,849
100	544,039	583,996	599,576	637,668	560,825	550,871	604,793	628,163

xxxx(*) (*) : nombre de paramètres de la loi, xxxx : méthode d'estimation des paramètres

Si on se permet de déterminer une moyenne de toutes les valeurs estimées par les différentes lois d'ajustement statistiques choisies, les débits instantanés maximaux correspondant aux différentes périodes de retour sont rassemblés dans le tableau suivant :

T (ans)	5	10	20	50	100
Débit max. (m ³ /s)	316,867	386,986	451,276	531,027	588,741

Bien que toutes les lois figurant dans le tableau II.12. s'ajustent relativement bien sur l'échantillon des débits maximums, ces essais d'ajustement statistique, montrent que la loi Gausso-logarithmique s'ajuste le mieux.

II.6. Etude de la relation entre les différents paramètres hydrologiques

Le but du présent chapitre est de rechercher les relations possibles entre les paramètres hydrologiques suivants :

- La précipitation moyenne sur le bassin versant P,
- La lame ruissellée L_r ,
- Le débit maximum de ruissellement atteint lors de la crue Q_{max} .

Afin de mettre en évidence ces relations, d'apprécier l'impact des travaux d'aménagement sur le régime des écoulements au cours de la période d'observation, et enfin dans le but de déterminer l'année où cet impact a commencé d'être appréciable, on a procédé à un essai de régression entre les lame d'eau ruisselée, tant à l'échelle des crues qu'à l'échelle saisonnière, et les pluviométries correspondant relevées sur l'ensemble du bassin étudié.

Nous avons pensé, alors, qu'il est plus judicieux de diviser la série des 22 années en deux périodes tout en supposant que la première correspond à une période sans aménagements, l'autre à une période où les travaux de CES se sont développés sur le bassin étudié.

Pour cette fin, on a supposé, que la dernière année d'observation en milieu « non perturbé » se situe dans les années 80 ; car, en fait, ce que nous connaissions d'avance c'est qu'au cours de ces années, que des aménagements de conservation des eaux et des sols ont été entrepris sur le bassin. Ces travaux sont basés essentiellement sur des banquettes, des cordons et des murettes en pierres sèches et sur des barrages également en pierres sèches dans les lits des oueds.

Grossomodo, à partir des années 85, comme on le verra dans la dernière partie de cette étude, les différentes réalisations de conservation des eaux et des sols ont bénéficié d'un suivi et d'un entretien aussi bien auprès du paysan que de la direction. A partir de ces années, la région a connu, par contre des années précédentes, un effort de réflexion sur les façons d'action et de sensibilisation des agriculteurs et les pouvoirs locaux sur l'érosion des sols.

Comme critère de comparaison entre les valeurs estimées et les valeurs observées, on utilise le coefficient de corrélation R ou souvent le terme R^2 , dit coefficient de détermination. Ce dernier varie entre 0 et 1 ; un coefficient de détermination égal à 1 indique une corrélation parfaite de l'échantillon. A l'inverse, un coefficient de détermination nul prouve que les paramètres sont indépendants.

En étudiant ces relations de corrélation, on s'est aperçu que lorsqu'on prend l'année 1986/87 comme limite séparant les deux périodes, bien qu'ils restent assez faibles, les coefficients de corrélation s'améliorent sensiblement, c'est la raison pour laquelle, le choix a été fait sur cette année comme limite de la première période.

II.6.1. Relation Pluie moyenne - lame ruisselée

On a essayé de déterminer une relation de la forme $L_r = a P + b$

où, L_r est la lame ruisselée exprimée en mm,

P est la pluie moyenne exprimée en mm,

a et b sont deux constantes d'ajustement à déterminer.

A l'échelle des crues : On ne travaille, ici, qu'avec les crues sélectionnées au chapitre II.6.3. c'est à dire les crues dont la lame ruisselée est supérieure à 1 mm et les pluies, les ayant engendré, sont réparties d'une façon homogène sur l'ensemble du bassin versant étudié. Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II.15. : Régression ente la pluie moyenne et la lame ruisselé (à l'échelle des crues)

Période	a	b	R
1974 - 1996	0,152	0,984	0,501
1974 - 1987	0,077	2,612	0,228
1987 - 1996	0,183	0,156	0,629

Les graphiques correspondant aux deux périodes sont en figure II .19.

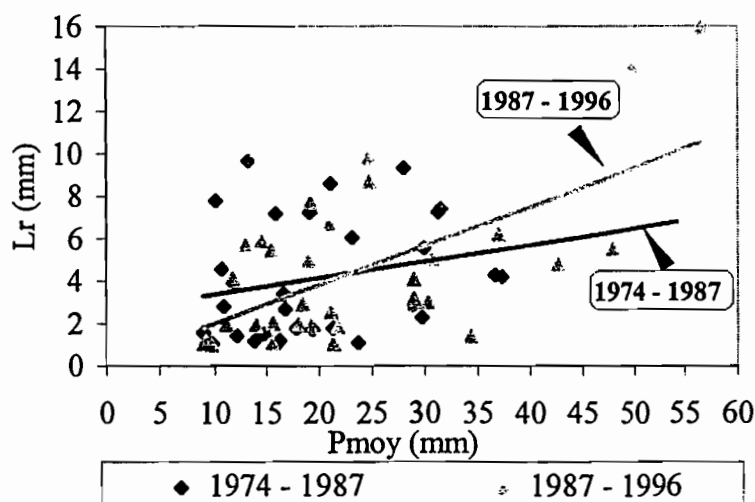


Figure II.19. : Relation lame ruisselée - Pluie moyenne à l'échelle des crues pour les deux périodes avant et après aménagements

A l'échelle saisonnière, les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II.16. : Régression ente la pluie moyenne et la lame ruisselé (à l'échelle saisonnière)

Saison	Période ►	1974 -1996	1974 -1987	1987 -1996
Automne ▼	a	0,117	0,075	0,132
	b	-1,940	-0,679	0,649
	R	0,700	0,761	0,768
Hiver	a	0,087	0,077	0,090
	b	-3,870	-4,700	-2,192
	R	0,703	0,756	0,749
Printemp	a	0,085	0,079	0,103
	b	-2,36	-3,079	-2,385
	R	0,575	0,59	0,707
Eté	a	0,105	0,111	0,106
	b	1,309	1,643	0,502
	R	0,526	0,491	0,588

Les graphiques correspondants sont en figure II.20.

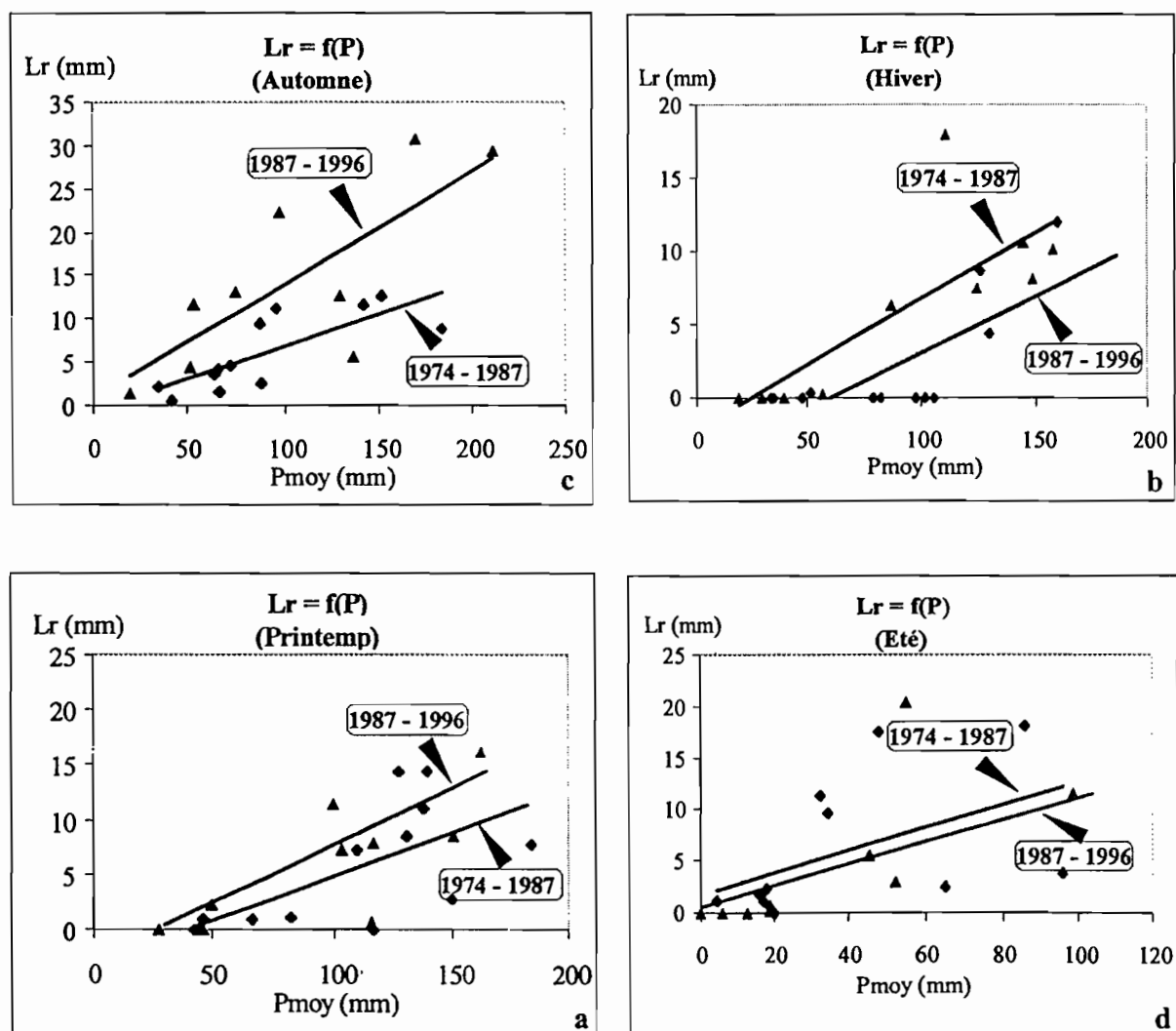


Figure II.20. : Variation saisonnière interannuelle de la relation pluie - lame ruisselée pour les deux périodes avant et après aménagements

Tant à l'échelle des crues qu'à l'échelle saisonnière, à l'exception de l'été, on remarque, comme le montre les graphiques des figures II.19. & II.20., que le terme a (pente de la droite $L_r = f(P)$), qui représente en réalité, le coefficient de ruissellement à un terme près, est plus grand au cours de la deuxième période. Autrement dit, la même pluie engendre un ruissellement plus important. Ça peut être lié

- soit par l'occurrence des crues qui est nettement plus élevée au cours de la deuxième période. En effet, au cours de cette période, et surtout aux années 1989/90, 1991/92, 1992/93 et 1995/96, les crues étaient nombreuses et successives (leur nombre a atteint 4 crues/mois) ce qui confère au sol un indice d'humidité, antérieure à la crue, plus grand engendrant un ruissellement important qui augmente avec l'état de saturation préalable du sol.

- soit à une dégradation de l'occupation des sols qui a accentué le phénomène de ruissellement. Néanmoins, cette supposition reste à discuter du fait que les cartes d'occupation des sols, que nous avons pu disposer de la Direction Générale de Forêts, ne sont pas actualisées et les renseignements, ayant été acquis et appuyés par des sorties sur terrain, ne nous ont pas permis d'avoir une idée sur la chronique des occupations du sol et leur évolution dans le temps.

- soit les deux ensemble.

Quant à l'impact des aménagements sur le régime hydrologique du bassin, il ne peut être apprécié qu'en condition d'occupation du sol et distribution des crues similaire pour les deux périodes considérées pour pouvoir disposer des mêmes conditions. On peut aller beaucoup plus loin en analysant la forme de l'hydrogramme de crue. Il faut que la pluie l'ayant engendrée soit, la même pour les deux périodes de comparaison et homogènement répartie sur le bassin pour inclure tous les travaux d'aménagement entrepris en matière de conservation des eaux et des sols. Nous avons tenté d'apprécier cet impact sans détailler l'étude à l'échelle d'une même crue, qui est pourtant fondamentale pour une telle étude.

En examinant le tableau II.9 de l'occurrence saisonnière des crues, on s'aperçoit qu'au cours de l'été, bien que les crues sont un peu plus abondantes mais espacées dans le temps d'au moins une journée avec des temps de montée et des temps de base très réduits (crues d'Août 75 et de Juin 76) au cours de la première période, on peut considérer qu'elles remplissent la condition de similarité de répartition car, en fait, au cours de cette saison, les crues sont brèves et l'indice d'humidité antérieure est négligeable et décroît très rapidement en climat semi-aride. Et si l'on suppose que les conditions d'occupation du sol sont les mêmes pour les deux périodes, l'examen de la figure II.20.(d) (été) montre qu'au cours de la deuxième période Les travaux d'aménagement, bien que leurs effets restent peu appréciables, ont permis de réduire le coefficient de ruissellement d'une valeur de l'ordre de 11 % à une valeur de 10 %.

Quant aux coefficients de corrélation R , ils sont relativement faibles.

A l'échelle saisonnière interannuelle, on remarque nettement, que la relation pluie moyenne - lame ruisselée diffère considérablement d'une saison à l'autre, la plus grande valeur de coefficient de ruissellement est observée en été et en automne (Figure II.21.). Cela est tout à fait normal puisque les orages survenus à cette saison sont brefs avec des temps de base très limités ce qui donne moins de temps à l'eau pour s'infiltrer et un coefficient de ruissellement plus élevé. Alors qu'en hiver et en printemps, les précipitations sont beaucoup plus réparties dans le temps et la végétation est plus dense jouant le rôle d'un frein naturel pour le ruissellement, ce qui favorise l'infiltration et fait diminuer le coefficient de ruissellement.

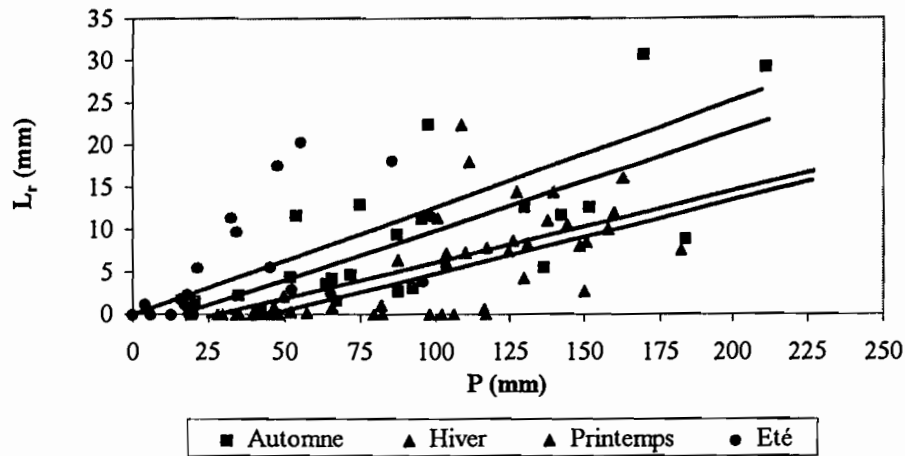


Figure II.21. : Relation lame ruisselée - Pluie moyenne à l'échelle saisonnière interannuelle

Les nuages de points en figure II.21. montrent qu'en été et en automne, de faibles pluies peuvent engendrer un fort ruissellement, alors qu'en hiver, d'importantes pluies ne peuvent engendrer qu'un ruissellement très faible.

II.6.2. Relation Lame ruisselée - Débit maximum

On procédera, ici, de la même manière mais en travaillant, cette fois-ci, sur les 134 crues de lame ruisselée supérieure à 1 mm.

On cherchera une relation de la forme $L_r = \alpha Q_{\max} + \beta$,

où L_r étant la lame ruisselée exprimée en mm,

Q_{\max} le débit maximum de ruissellement atteint au cours de la crue, exprimé en m^3/s ,

α et β deux coefficients d'ajustement à déterminer. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II.17. : Régression ente la pluie moyenne et le débit maximum (à l'échelle des crues)

Période	α	β	R
1974 - 1996	0.028	1.315	0.798
1974 - 1987	0.027	1.178	0.798
1987 - 1996	0.026	1.500	0.797

En établissant la relation de corrélation entre la lame ruisselée et le débit maximum de crue, les coefficient de détermination se sont améliorés.

Pour les deux périodes, on obtient, pratiquement, les mêmes coefficients de détermination et les mêmes pentes α , comme le montre le graphique de la figure II.22.

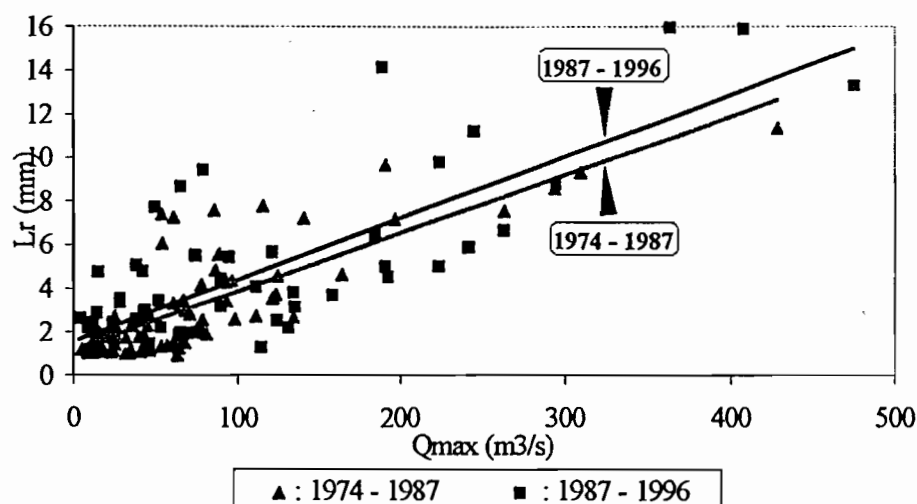


Figure II.22. : Relation lame ruisselée - Débit maximum de ruissellement à l'échelle des crues

II.6.3. Relation Pluie moyenne - Lame ruisselée - Débit maximum

On essaiera de trouver une relation de la forme $Lr = \delta P_{moy} + \varepsilon Q_{max} + \gamma$

où, Lr est lame ruisselée exprimée en mm,

P_{moy} la pluie moyenne exprimée en mm,

Q_{max} le débit maximum de ruissellement exprimé en m^3/s ,

δ , ε et γ sont des coefficients d'ajustement à déterminer.

On travaillera, ici, sur les crues ayant été utilisées dans II.8.1.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant

Tableau II.18. : Régression ente la lame ruisselée, la pluie moyenne et le débit maximum et (à l'échelle des crues)

Période	δ	ε	γ	R
1974 - 1996	0.094	0.026	- 0.083	0.833
1974 - 1987	0.058	0.028	0.584	0.810
1987 - 1996	0.115	0.024	- 0.479	0.852

On remarque qu'en établissant les relation de corrélation double entre la lame ruisselée, la pluie moyenne et le débit maximum atteint lors de crue, pour les trois périodes de référence, les coefficients de corrélation se sont encore améliorés.

Conclusion

Pour le bassin de l'oued du Merguellil limité à la station de Skhira-Kef Labiod, on a pu mettre en évidence les principales caractéristiques hydrologiques suivantes :

- Pour une pluviométrie moyenne annuelle, calculée sur 22 années, d'environ 330 mm, la hauteur de la lame écoulée a une valeur de 34 mm. La lame ruisselée est de 25 mm ce qui représente un coefficient de ruissellement de l'ordre de 7,69 % et un débit spécifique de 0,81 l/s/Km².
- Les crues, au nombre de 6 par an en moyenne, sont assez brèves et parfois violentes (temps de montée inférieure à une demi-heure et temps de base de l'ordre d'une heure et demie). Elles contribuent pour plus de 75% de l'apport annuel total.
- L'étude de leur répartition annuelle, sur la période d'observation, fait apparaître une distribution irrégulière d'une année à l'autre.
- Tout en pouvant survenir durant presque tous les mois de l'année, les crues sont, surtout, concentrées en Automne : 40% des crues se produisent au cours des mois d'Août, Septembre et Octobre. Les crues d'automne surviennent sous forme d'orages engendrant un fort ruissellement : à elles seules, ces crues contribuent pour 40% de l'apport annuel moyen.
- L'étude de leur distribution dans la journée fait apparaître que leur plupart se produisent en fin d'après-midi avec une fréquence maximale d'apparition autour de 17h00. Cette répartition s'explique en partie par la forte proportion de crues d'automne, déjà signalée, ayant pour origine orageuse.
- L'apport annuel de base est de 1,570 millions de mètres cubes. Il est extrêmement variable d'une année à l'autre : pour une année sèche, la moyenne dépasse à peine 5l/s. Alors qu'elle peut atteindre plus de 100 l/s pour les années exceptionnellement pluvieuses.
- En régime d'étiage, les débits sont faibles, leur moyenne est de l'ordre de 2l/s.

Dans le but d'apprécier l'impact des aménagements de CES sur le bassin versant étudié, nous avons pensé à diviser la série des 22 années en deux périodes tout en supposant que la première correspond à une période sans aménagements, l'autre à une période avec aménagements. Tant à l'échelle saisonnière qu'à l'échelle des crues, la relation pluie lame ruisselée indique que cet impact reste inappréciable. Les résultats montrent, dans leur ensemble, que le comportement hydrologique du bassin versant a changé au fil des années : La même pluie engendre un ruissellement plus fort. Une analyse beaucoup plus fine du problème reste indispensable pour répondre à une telle question.

L'établissement de l'expression de la lame ruisselée en fonction des deux paramètres hydro-climatiques facilement mesurables, à savoir la pluie et le débit maximum atteint lors de crue, prouve que les coefficients de corrélation s'améliorent très sensiblement lorsqu'on établit une régression double de la forme : $L_r = a P_{mo} + b Q_{max} + c$ où a , b et c sont des paramètres d'ajustement.

***TROISIEME PARTIE :
ETUDE DES AMENAGEMENTS***

Introduction, Problématique de l'érosion

Pendant des siècles, la région du Merguellil a été certainement soumise à un pacage et une exploitation excessive. Le défrichement et le surpâturage des terres forestières, liés à un relief accidenté ont sévèrement affecté la végétation spontanée. Par conséquence, ils ont été les causes de l'intensification de l'érosion qui se présente sous plusieurs formes.

Des études pédologiques et géomorphologiques ainsi que la carte de l'érosion du Nord et du centre de la Tunisie établie en 1980, montrent que les sols Tunisiens sont particulièrement vulnérables à l'érosion hydrique dont les formes les plus répandues sont les suivantes (Snoussi, 1993) cité par (Kingumbi, 1997) :

- L'érosion en nappe qui provoque un décapage superficiel du sol. Cette érosion, par une fine pellicule d'eau coulant à la surface du sol, décape la couche superficielle arable et riche en matière organique. Elle s'amplifie avec l'intensité des pluies, la raideur des pentes, le manque de couvert végétal et la vulnérabilité des sols.

- L'érosion en griffes ou rigoles : Elle constitue une évolution de l'érosion en nappe. En effet, le ruissellement se concentre en petites rigoles ou griffes peu encaissées, parallèles entre elles et sont perpendiculaires aux courbes de niveau. Elle se manifeste par le transport progressif de la couche arable et par conséquent une diminution de la productivité des terres.

- L'érosion en ravines : Il s'agit de l'érosion en rigoles plus poussée. Elle se présente par des ravins profonds striant le versant.

- L'érosion en ravins ou ravinement : C'est le stade le plus poussé du phénomène de ravinement. Le creusement de ravins dissèque le versant et engendre une érosion remontée appelée tête de ravins. Cette érosion peut s'intensifier jusqu'à l'aboutissement aux "bad lands".

- Le sapement des berges : Ce phénomène apparaît lors des crues. Les oueds affouillent la base des berges qui s'écroulent. Il permet la création de méandres avec les sédiments arrachés sur les rives concaves qui se déposent sur les rives convexes. Mais la plus grande partie de ces sédiments s'achemine vers l'exutoire.

- L'érosion par solifluxion : Elle se manifeste par le glissement des masses de terres. Ces glissements se manifestent sur des versants constitués de roches meubles ou d'alternance meubles - résistantes. L'infiltration de l'eau dans ces roches augmente leur poids et on assiste à leur glissement dans le sens de la pente (Chérif & al., 1995).

Il faut signaler que l'importance de l'érosion ne réside pas dans ses formes, mais plutôt à travers l'activité et l'intensité de ses facteurs. Donc, il faut déterminer l'activité de chacun et la relation entre les différents facteurs dans le contexte de l'érosion de la zone étudiée.

Le bassin versant de l'oued Merguellil est parmi les régions les plus érodées de la Tunisie. Pour la partie du bassin versant limité à la station de Skhira - Kef El Abiod, la concentration moyenne en suspension est estimée à 43 g/l, l'érosion spécifique est de 1494 tonnes/Km²/an et l'apport solide total est de 0,281 millions de tonnes par an (Bouzaiane & Lafforgue, 1986)

De ces chiffres, on s'aperçoit très nettement le risque d'un appauvrissement du patrimoine sol, très menacé par l'érosion sur des terres en pente, consécutif à l'agressivité des précipitations orageuses fréquentes en climat méditerranéen. Là où les phénomènes d'érosion

sont extrêmement importants, comme le témoignent des marques très nombreuses et visibles dans la zone du Merguellil.

Pour pallier à ce problème d'érosion, des traitements sous forme de terrasses à rétention soit totale soit partielle et des gradins individuels de plantations ont été entrepris, mais le manque d'entretien et de suivi de ces ouvrages ont fait que la quasi totalité de ces aménagements ne sont plus fonctionnels et nécessitent en conséquence une intervention appropriée. C'est dans ce cadre, que les projets d'aménagement n'ont cessé d'être programmés afin de conserver le patrimoine sol dans ce bassin versant choisi comme étant une zone prioritaire (C.E.S, 1986).

Il convient, dans ce qui suit, de donner une idée même grossière sur les techniques les plus généralement utilisées en matière CES, avant d'aborder l'historique des aménagements sur le Merguellil pour parler enfin des aménagements et de leur situation actuelle sur le haut bassin du Merguellil en établissant une carte d'aménagement.

III.1. Généralités sur les travaux de conservation des eaux et des sols

III.1.1. Le traitement des versants agricoles

Un des aménagements majeurs des terres en pente consiste en la modification de leurs états de surface afin d'améliorer le taux d'infiltration des pluies et de réduire les transports solides.

On distingue, généralement, deux grands types d'intervention complémentaires ; l'un fait appel à des techniques dites **mécaniques** et propose la seule modification du modelé de surface, l'autre s'appuie sur des méthodes dites **biologiques** et consiste à l'installation de couverts végétaux, le plus souvent pérennes, qui accroissent la rugosité de surface et freinent le ruissellement.

II.1.1.1. Les techniques mécaniques

II.1.1.1.1. Les banquettes

Une des interventions les plus lourdes consiste à édifier des banquettes par terrassement en suivant les courbes de niveau principalement sur les terres agricoles à sols profonds et pente faible.

Une banquette peut être définie comme étant une bande de terre avec un fossé très évasé et un bourrelet de largeur réduite et constante. Elle est installée sur les versants et les piémonts et délimite une bande de culture. Les conditions d'implantation d'un tel ouvrage sont (Pontanier & Le Floch, 1980)

- La pente du terrain allant de 2 à 15%.
- Les sols limono-sableux manquent de cohésion, ceux qui sont chargés d'argile (cas des marnes) ont tendance de glisser. En outre, les possibilités de rupture sont aggravées lorsque les sols sont peu profonds.

D'après une étude ayant été menée par M^{me} Ghazel en 1988 sur la zone de Mazreg Echems dans la région de Siliana, il s'est montré que les banquettes contribuent à écrêter le débit de 85 à 93% et à limiter le ruissellement de 85 à 95 % et l'érosion de 90 à 95%.

a. Caractéristiques physiques des banquettes

Leur conception technique se fait à partir de certaines lois hydrologiques de l'écoulement des eaux de surface. Elles peuvent être construites soit en courbes de niveau, soit à pente uniforme ou variable. Les banquettes construites avec des pente longitudinales uniformes ou variable s'appellent des banquettes d'écoulement, alors que celles construites en courbes de niveau s'appellent des banquettes de rétention. On s'intéressera dans cette étude au premier type de banquettes, lequel est le plus utilisé dans la région du Merguellil.

Elles ont pour objectif de retenir les eaux de ruissellement en leur permettant de s'infiltrer, ce qui permet d'augmenter les réserves d'eau dans le sol. La rétention d'eau peut être totale ou partielle.

* Les banquettes à rétention totale

Elles sont réalisées dans les conditions suivantes (Chérif & al., 1995) :

- une pluviométrie annuelle moyenne (300 à 400 mm),
- une faible intensité des pluies,
- un sol à texture légère à moyenne (moins de 35 % d'argile), riche en humus et ayant une profondeur minimale de la couche supérieure de 1,5 m avec une pente douce (4 à 6 %).

* Les banquettes à rétention partielle

Elles permettent une évacuation lente de l'eau de ruissellement. Elles sont recommandées lorsque (Chérif & al., 1995) :

- la pluie annuelle est moyenne à faible (250 à 400mm),
- l'intensité de la pluie est élevée,
- la capacité d'absorption du sol est insuffisante,
- les sols ont tendance à former une croûte en surface et les pentes dépassent les 6 %.

Pour ce type de banquettes, il faut prévoir des exutoires aménagés en pierres sèches pour évacuer le surplus des eaux de ruissellement. Ils sont implantés entre les extrémités des banquettes.

b. Conception des banquettes

i) Ecartement et longueur des banquettes

Plusieurs formules ont été établies pour calculer l'écartement inter-banquettes. Les plus utilisées en Tunisie sont celles de Bugeat et de Saccardi. Elle ne tiennent compte que de la pente I exprimée en %.

① Formule de Bugeat

- La dénivelée (H), exprimée en m, entre deux banquettes est donnée par la formule suivante :

$$H = 8 I + 2.2$$

- L'écartement inter-banquettes (E), exprimé en m, est donné par la relation :

$$E = H/I$$

② Formule de Saccardi

- La dénivelé (H), exprimée en m, entre deux banquettes est donnée par la relation

$$H^3 = 260 I$$

- L'écartement inter-banquettes (E), exprimée en m, est donnée par la relation

$$E = H/I \quad \text{d'où} \quad E = 6,38 (1/I)^{4/3} \quad (\text{m})$$

ii) Hauteur des banquettes

La capacité de rétention des banquettes à rétention est calculée en fonction de l'intensité des pluies et de la pente du terrain.

L'abaque donné en annexe D, qui est basé sur l'écartement calculée avec la formule de Bugeat, peut être utilisé. Il donne la hauteur utile de la banquette en fonction de l'intensité des pluies et la pente du terrain. L'intensité de pluie, qui a été utilisée pour l'établissement de cet abaque, est l'intensité maximale d'une durée de 24 heures pour une période de retour de 10 ans. (Chérif & al., 1995)

L'intensité de la pluie est déterminée à partir des courbes Intensité-Durée-Fréquence de la station pluviographique la plus proche de la zone à aménager. On donne en annexe E les courbes IDF pour quelques stations de part et d'autre du bassin du Merguellil. A la hauteur utile (H_u) on ajoute 20 % de sa valeur pour compenser le tassement, puis on ajoute 0,30 m pour obtenir la hauteur de construction.

Si l'écartement calculé est diminué afin de mieux répartir l'infiltration, la hauteur donnée pour l'abaque peut être réduite proportionnellement.

iii) Longueur du bourrelet par hectare

La longueur des banquettes par hectare dépend de l'écartement (donc de la pente). La longueur L est déterminée pour une pente moyenne du terrain aménagé suivant la formule suivante (Abdellaoui, 1994)

$$L = 10^4/E \quad (\text{m})$$

E Ecartement entre banquette pour une pente moyenne (m)

iv) Seuil déversoir

Ces seuils sont propres aux banquettes à rétention partielle qui sont réalisées dans les zones à forte pluviométrie (Thierno, 1990).

La hauteur du seuil par rapport au terrain naturel est de quelques dizaines de centimètres à plus de 1 mètre. Elle n'est pas fixe et varie suivant les conditions climatiques et physiques de la zone (Abdellaoui, 1994).

v) Digue de dérivation

Elle permet le détournement des eaux provenant de l'amont et qui sont en mesure de causer des dégâts aux banquettes. Ces eaux doivent pouvoir se déverser sans contraintes, dans un chenal d'écoulement ou vers un exutoire aménagé ou pas.

III.1.1.1.2 Les cordons en pierres sèches

Sur les pentes moyennes à fortes, notamment sur terrains marneux, et à condition que les matériaux existent à proximité, on procède à l'édification de cordons et murettes en pierres sèches utilisées également pour stabiliser les seuils des ravins et réaliser les déversoirs du réseau de banquettes (Figure III.1)

Les cordons en pierres sèches sont, alors, des obstacles d'accumulation des pierres sèches déposées en lignes suivant les courbes de niveau, dans des terres caillouteuses qui ne se prêtent pas pour la construction des banquettes.

Ces ouvrages permettent à la fois de ralentir le ruissellement de l'eau sur les terrains en pente et de retenir les matériaux entraînés par l'eau. Progressivement, ces cordons se colmatent jusqu'à leur sommet, formant ainsi des terrasses qui favorisent le développement du couvert végétal.

Ce sont généralement les parcours dégradés en terrain pierreux qui sont les plus aménagés en cordons de pierres sèches.

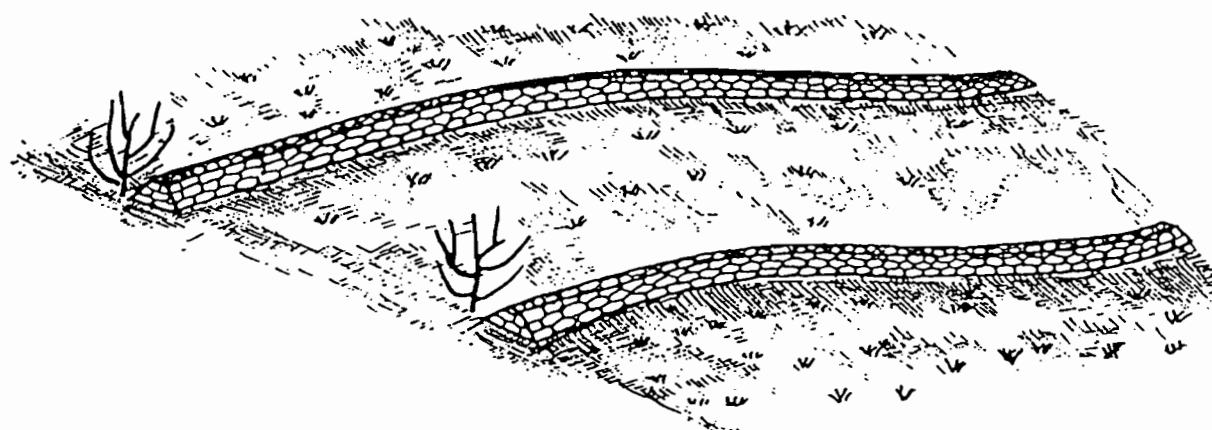


Figure III.1. : Cordons en pierres sèches

Dimensionnement des cordons en pierres sèches

Le cordon ne doit pas dépasser une certaine hauteur ; 60 cm pour le petit type et 1 m pour le grand type (Chérif. & al., 1995) (Figure III.2.).

La paroi aval du cordon doit être inclinée vers l'avant, en ayant un fruit de 20 à 50 %. Les pierres doivent être disposées selon une pente inverse de celle du terrain afin d'éviter leur glissement sous la poussée des terres déposées en amont. La fondation du cordon doit aussi présenter une contre-pente vers l'amont d'environ 10 %.

L'écartement entre les cordons dépend de la pente du terrain et doit être convenable, de façon que les plus fortes pluies n'engendrent qu'un ruissellement tolérable entre les cordons. Cet écartement peut être calculé par la formule de Bugeat qui donne la distance inter-banquette. Souvent, il est amené à la moitié de cette distance (Chérif & al., 1995).

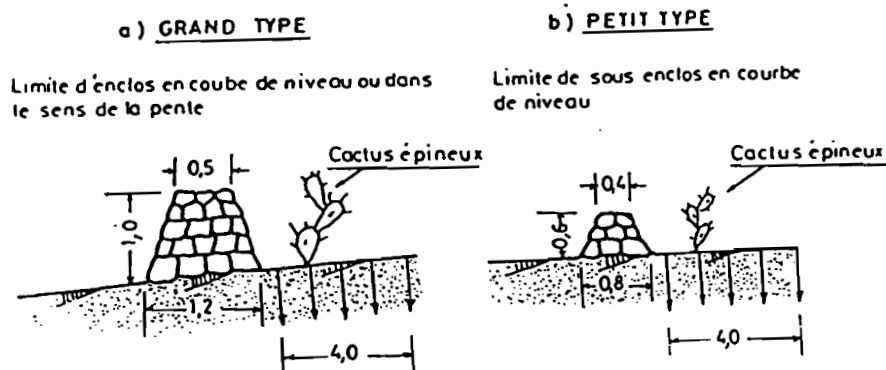


Figure III.2. : Types de cordons en pierres sèches

III.1.1.2. Les méthodes biologiques

Tous les ouvrages précédents verront leur efficacité et pérennité accrues s'ils sont stabilisés et consolidés par une protection végétale. Cette opération manuelle d'embocagement du paysage est toutefois très délicate à concevoir et à réaliser quand on veut tenir compte de la multiplicité des fonctions assumées, des perturbations apportées aux systèmes traditionnels d'exploitation et surtout d'une volonté d'acceptation et de respect par les paysans.

Les travaux de végétalisation utilisent trois principales espèces *Acacia saligna* (ex. *Cyanophylla*), les cactus et les *Atriplex* aux multiples variétés et plus exceptionnellement les *Médicago* pérennes dont la variété *arborea* est pourtant prometteuse.

III.1.2. Aménagement des cours d'eau

III.1.2.1. Introduction

Les eaux de ruissellement, après leur concentration, sont évacuées par une multitude d'affluents et d'exutoires qui donnent naissance par la suite au cours d'eau principal.

L'aménagement d'un cours d'eau principal doit commencer par ses affluents. Ceci est réalisé par les ouvrages de petites hydrauliques, parmi ces ouvrages, on distingue les lacs collinaires et les ouvrages de correction des lits d'oueds et de protection des berges tels que les seuils en pierres sèches ou en gabions.

III.1.2.2. Les lacs collinaires

C'est une opération d'aménagement de moyenne hydraulique susceptible de répondre au double objectif de lutte contre l'envasement des grands barrages et de maîtrise des eaux de surface (Talineau & al., 1994).

L'élément essentiel d'un lac collinaire est un petit barrage en terre compactée dont l'amont est recouvert d'un parement de pierre et l'aval protégé par des arbustes de fixation tels que

l'Accacia ou l'Atriplex ou par des légumineuses comme *Hedysarum carnosum*. La hauteur de la digue varie de 5 à 12 mètres et sa longueur est de l'ordre de 100 à 300 mètres. Les retenues contiennent de quelques dizaines de milliers à 250 000 m³ d'eau pour des bassins versants d'une superficie allant de quelques centaines à un ou deux milliers d'hectares.

Un évacuateur de crues, pour la sécurité, est exécuté à la cote de -1 à -2 m par rapport à la crête de la digue avec un revêtement de pierres sèches en escalier.

Enfin, une conduite souterraine de chasse et de prélèvement, branchée au droit d'une tour de prise, traverse la digue et, munie d'une vanne, débouche dans un réservoir de petite taille ou dans un abreuvoir.

Un lac collinaire est un ouvrage destiné à améliorer une agriculture annuelle existante par l'irrigation de petits périmètres (quelques dizaines d'hectares) que la grande hydraulique ne peut atteindre et par conséquent accroître la superficie irriguée dans la région. Il peut avoir d'autres objectifs tels que :

- . la satisfaction des besoins en eau potable des petites agglomérations rurales.
- . la satisfaction en eau du cheptel.
- . l'amélioration du niveau des ressources en eau de surface.
- . la fixation des populations rurales.
- . l'amélioration du revenu.
- . la satisfaction locale et à moindre coût en eau.

Critères des choix du site d'un lac collinaire

Il convient de rappeler que les principaux critères de choix pour un site de retenue collinaire, sont liés à (PNUD / OPE, 1987)

- des conditions physiques topographie, géologie et géothermie, hydrologie, disponibilité et proximité des périmètres d'irrigation (et/ou de petites agglomérations rurales).
- des impératifs économiques.

a) Critères topographiques

La topographie est un caractère essentiel dans le choix de l'implantation de la future retenue collinaire. L'ouvrage sera implanté au droit de vallonnement à pente douce (de l'ordre de 3 à 8%, rarement supérieur à 8%) et ce dans le but d'obtenir un volume maximal de réserve pour un volume minimal de la digue. La pente de la vallée ne doit pas être ni trop raide (coût élevé de la digue) ni trop faible (surface noyée importante par rapport au volume de la digue).

b) Critères géologiques et géotechniques

La nature géologique du site du barrage et de la cuvette joue également un rôle important puisqu'elle conditionne la valeur des appuis et de la fondation, l'étanchéité de la cuvette et de l'emprise de la digue, la stabilité des versants, la qualité des matériaux d'emprunt pour la digue.

c) Critères hydrologiques

Le bassin versant de la retenue recueillant l'eau doit être assez grand pour permettre le remplissage de la retenue, mais aussi petite que possible pour éviter l'envasement rapide de la réserve et les débits de crues très élevés qui nécessiteraient des ouvrages d'évacuation importants d'un coût élevé.

d) Proximité des lieux d'utilisation

La disponibilité des terres est également un critère de choix. On s'efforcera de placer la retenue le plus près possible des terres à irriguer afin de diminuer la longueur de la tête morte, par conséquent le coût de l'adduction.

Une proximité analogue sera recherchée dans l'utilisation de la retenue pour des besoins domestiques.

e) Critères économiques

Un site correct est celui qui, tout en assurant la sécurité de l'ouvrage, permet sa réalisation à un coût raisonnable.

Le coefficient d'efficacité (Abdellaoui, 1994)

$$E = \text{Volume utile de la retenue} / \text{Volume de la digue},$$

permet d'établir le rendement du site et d'apprécier l'intérêt économique du projet. La valeur de E doit être supérieure à 5. (PNUD / OPE, 1987).

III.1.2.3. Les seuils

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

Nous présentons ci-dessous le schéma d'un seuil type.

III.1.2.3.1. Rôle des seuils

On réalise une succession de seuils peu élevés, de façon à briser et tronçonner le profil en long des thalwegs, en paliers à faible pente, sur lesquels les eaux auront tendance à décanter jusqu'à la réalisation d'un profil moins abrupt.

Le rôle des seuils est multiple :

- * réduction des vitesses d'écoulement et dissipation de l'énergie de l'eau,
- * stabilisation du profil en long,
- * protection éventuelle d'ouvrages situés en amont contre l'envasement ce qui prolonge leurs durée de vie.

III.1.2.3.2. Types de seuils**a) Seuils en pierres sèches**

Ce sont des ouvrages filtrants construits en enrochements dans les ravins et les petits cours d'eau pour stabiliser la pente.

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

b) Seuils en gabions et en maçonnerie

Ces ouvrages se composent essentiellement d'une série de gradins qu'on peut éventuellement incliner pour compenser la pente. En aménageant deux tranchées latérales sur les rives du

thalweg, on peut ancrer efficacement ces gradins. Ceux-ci peuvent présenter l'avantage de réduire le volume des matériaux mis en oeuvre, de répondre à des formes plus géométriques et de s'adapter aux tassements des terrains d'assises.

Le rôle de ces ouvrages est double, fixer certains ravinements et assurent ainsi, la sédimentation de leurs retenues tout en permettant la régularisation de la pente d'écoulement, et irriguer, par épandage des eaux de crues, des terres situées de part et d'autre du ravin.

III.1.2.3.3. Dimensionnement des seuils

La longueur en travers et la hauteur des seuils dépendent de celles du cours d'eau à aménager.

Les valeurs qu'il convient de donner aux pentes artificielles dépendent de la nature des sols dans lequel se creusent les thalwegs.

Le nombre de seuils est en fonction de la pente naturelle du cours d'eau.

L'écartement (E) entre les seuils, exprimé en m, est donné par la relation suivante (Chérif & al., 1995)

$$E = \frac{H * 100}{P - P'}$$

où,

H : Hauteur du seuil (m)

P : Pente moyenne du thalweg

P' : Pente qu'on veut atteindre (pente artificielle)

Dans la pratique, on prend $P' = 0,1 \%$.

Le nombre de seuils est alors égal à L/E .

L Etant la longueur du profil au long du thalweg.

Heede et Mufich (FAO, 1986) proposent pour le calcul de l'écartement (E) des seuils en pierres sèches, la formule suivante

$$E = \frac{He}{K * \sin \alpha}$$

He Hauteur effective du seuil au niveau de l'évacuateur

α angle correspondant à la pente du ravin

K constante dont on peut adapter les valeurs suivantes

$K = 0,3$ pour $\text{tg} \alpha \leq 0,20$

$K = 0,5$ pour $\text{tg} \alpha > 0,20$

L'abaque figuré dans l'annexe F donne l'écartement entre les seuils en fonction de leur hauteur et de la pente du ravin.

III.1.2.4. Les épis

Ce sont des ouvrages construits pour protéger les berges d'un oued, contre la force érosive des crues de manière à éviter la concentration des crues le long des parois par déflexion vers le milieu du lit, créer les conditions favorables pour l'implantation de la végétation permettant de stabiliser en permanence les berges érodées.

Espacement entre les épis

L'espacement entre les ouvrages est fonction de l'importance du virage et de la longueur effective des gabions. La longueur effective d'un épi est celle de la partie qui émerge dans la lit de l'oued.

En règle générale, un épi protège un tronçon de la berge de 3 fois sa longueur effective (Chérif et al., 1995). L'espacement réel entre les épis est influencé par la longueur totale du tronçon à protéger, les différences d'intensité d'érosion qui peuvent exister le long d'un tronçon. Plus que le virage est abrupt plus les ouvrages doivent être rapprochés.

Pour garantir la protection par les épis, l'espacement des épis calculé en fonction de la longueur à protéger doit être réduit afin d'avoir un chevauchement des sections protégées par deux épis successifs.

III.2. Historique des plans d'aménagement dans le bassin du Merguellil

Le bassin versant du Merguellil a connu plusieurs expériences d'aménagement de CES entreprises depuis longtemps jusqu'à nos jours :

➤ durant la colonisation Française, les colons qui contrôlaient et exploitaient les meilleures terres en Tunisie ont poussé l'administration coloniale à chercher de nouvelles terres dans le domaine forestier. D'autre part, l'occupation des plaines par les colons a eu pour effet le refoulement de la population paysanne vers les piémonts et les terres marginales en pente. Par conséquence, le milieu naturel a été gravement dégradé et pour faire face à cette situation, le protectorat a entamé, vers les années 40 (Chérif. & al., 1995), un programme de protection des terres agricoles. Mais ce programme n'était pas en mesure de contrôler l'érosion qui a dévasté le terrain.

➤ de 1956 à 1962, des travaux de reboisement et des tabias ont été exécutés pour aider à résoudre le problème du chômage en envisageant l'utilisation d'une grande partie de la main d'oeuvre pour l'établissement des mesures de conservation des eaux et des sols. A cette époque, beaucoup de tabias, faites à la main, avaient été construites à travers tout le bassin versant. Aucune considération n'a été accordée au choix de sites. Comme ils avaient été construites sur toutes les pentes et les types de sols.

➤ De 1962 à 1972, un plan de mise en valeur des sols et des ressources hydrauliques de la partie supérieure du bassin versant, a été mis au point par les techniciens du département américain de l'agriculture, service de conservation des sols en collaboration avec leurs homologues et responsables de l'administration tunisienne sous les auspices de l'agence américaine pour le développement international.

Signé le 21 mai 1962, et démarré effectivement en 1964, le projet avait pour but de conserver le patrimoine sol, limiter les débits de crue et l'apport solide, procurer la plus grande quantité d'eau possible pour l'irrigation, améliorer le mode de vie de la population du bassin, contribuer à la stabilité économique de la Tunisie et démontrer qu'une utilisation et un traitement appropriés des sols peuvent améliorer le niveau de vie de la communauté.

Ce projet prévoyait

❶ l'utilisation des terres en fonction de leur vocation (culture arbustives ou forestières, cultures annuelles, pâturages permanents ...etc.),

② des méthodes structurales de conservation des eaux et des sols par construction des banquettes à rétention partielle ou des tabias à rétention totale suivant la perméabilité des sols en place, correction des ravins, aménagement de exutoires ...etc.,

③ des méthodes agronomiques de conservation des eaux et des sols : cultures en courbes de niveau, cultures en billons, assolement en bandes alternées, développement des pâturages,...etc.,

En outre, ce projet prévoyait la construction de 39 lacs collinaires à buts multiples pour retarder les crues et aménager les eaux.

Cependant, il importe de noter que les paramètres hydrauliques ont été établis sur la base de formules empiriques américaines ayant été déterminées dans certaines régions des USA ayant un sol et des conditions climatologiques vaguement similaires à celles de l'oued Merguellil. Malheureusement, ces formules ont été mal adaptées à la zone d'étude.

Une étude technique des lieux érodés basée essentiellement sur la sensibilité des sols à l'érosion dans le bassin versant de l'oued Merguellil a fait sortir dix sous-bassins versants comme zones prioritaires dans le cadre du projet (CES, 1986).

La première partie du bassin versant concernée par l'aménagement est la partie supérieure du bassin versant du Merguellil, le bassin de Skhira avec une superficie à aménager de l'ordre de 17 076 hectares soit plus de 37 % de la superficie programmée comme étant prioritaire dans le cadre du projet.

Jusqu'à la fin de 1972, 25 lacs collinaires ont été implantés dont 13 dans la délégation de Makthar (partie supérieure du bassin El Garia, oued Skhira).

➤ de 1973 à 1984, le domaine d'action était les terres domaniales et forestières. les aménagements, entreprises pendant cette période, étaient de type reboisement, sauvegarde du domaine forestier, terrassements manuels, lacs collinaires, plantations pastorales, entretien des pistes et aménagements des voies d'eau.

➤ De 1985 à 1989, une nouvelle approche anti-érosive a été mise au point dans la région. Elle préconise la conception d'un projet d'aménagement intégré du bassin versant du Merguellil qui, en plus de son objectif de protection, accorde une grande importance à la production agricole. Ce projet a été financé par le budget national et décidé avec la mise en route de la construction du barrage d'El Haoureb, retenant les mêmes zones prioritaires que celles du projet américain. Le projet avait pour but de prolonger la durée de vie du barrage d'El Haoureb, diminuer les dégâts causés par l'érosion hydrique et les pertes en eau et en sol en réduisant le ruissellement, augmenter la recharge de la nappe souterraine, améliorer le niveau de vie de la population locale,...etc.

Ce projet prévoyait

① des terrassements optant à l'aménagement des terres en pente, matérialisés par des banquettes et des cordons en pierres sèches,

② l'aménagement des parcours visant leur amélioration par plant d'espèces pastorales dont l'Accacia, le cactus et l'Atriplex avaient été les plus recommandées dans le cadre du projet,

③ la consolidation des ouvrages de CES, afin de prolonger leur durée de vie, par plantations pastorales (Accacia, cactus) et fruitières (amandier, olivier),

④ des plantations fruitières conférant au projet l'aspect productif, les principales espèces fruitières retenues par le projet étaient amandier, olivier, abricotier et pistachier totalisant une superficie de 2960 ha (CES, 1986).

⑤ la correction des ravins visant à ralentir la vitesse et la violence des écoulements et par conséquent limiter l'apport solide. Ces travaux sont de types seuils déversoirs en pierres sèches, en gabions, en maçonnerie et des actions de végétalisation.

⑥ l'aménagement des voies d'eau consistant essentiellement en la correction du profil de charriage de fond de façon à provoquer l'accumulation des sédiments en amont des ouvrages érigés à cet effet. Ces travaux sont de type filtrant en gabions placés en travers des zones d'écoulement des eaux.

⑦ l'implantation des lacs collinaires.

Dans la partie supérieure du bassin versant, des traitements sous formes de terrasses à rétention totale et des gradins individuels de plantation ont été entrepris.

A partir de cette période, Les différentes réalisations ont bénéficié d'un suivi et d'un entretien aussi bien auprès du paysan que de la direction, ce qui a amélioré le rendement des cultures et des plantations.

Cependant, il est à noter que malgré les importantes réalisations enregistrées pendant cette période, les efforts fournis demeurent insuffisants pour écarter la menace de l'érosion et contrôler les eaux de ruissellement. C'est dans ce contexte et dans l'objectif de consolider davantage les efforts déployés dans le passé, qu'une stratégie nationale de conservation des eaux et des sols a été élaborée.

➡ A partir de 1990, la Tunisie s'est engagée dans une politique de maîtrise des eaux de surface et de sauvegarde des terres en pente. A cet effet, le Ministère de l'Agriculture, par l'intermédiaire de sa Direction de la Conservation des Eaux et des Sols a conçu une stratégie décennale (1991 - 2000) concentrée essentiellement sur le traitement des versants, la réalisation des lacs collinaires et l'épandage des eaux de crues.

Au niveau du Merguellil, les services locaux ont renforcé davantage leur lutte contre l'érosion et la mobilisation des ressources en eaux. Les principales réalisations, en cette période, se composent essentiellement de terrassements mécaniques et manuels, de seuils en pierres sèches, de fixations biologiques, de plantations pastorales, de corrections de ravins et de lacs collinaires.

III.3. Types d'ouvrages installés sur le Haut Merguellil

Le haut bassin du Merguellil est dominée, comme nous l'avons signalé précédemment, par une végétation naturelle caractérisée surtout par la présence de la forêt sur les massifs montagneux. Par endroits, le sol est dégradé et caractérisé par des taux de ruissellement et d'érosion relativement forts, essentiellement à l'amont de la station de Skhira, où la forêt (Pin d'Alep) est dégradée sur assise à dominance marneuse.

Pour situer ces différents travaux de conservation des eaux et des sols, on s'est basé sur les documents, essentiellement la carte des aménagements du bassin du Merguellil au 1/100 000 élaborée par la Direction de CES en fin Décembre 1995, et les informations nous ayant été fournies par les responsables de la région.

Les renseignements acquis ont été appuyés par des sorties sur terrain effectuées, soit par nous-mêmes, soit par nos collègues, en compagnie des techniciens de CES et des hydrologues de la mission Orstom en Tunisie. Ces tournées étaient l'occasion de voir, de près, les différents aménagements qui ont marqué la région et qui visent à protéger les versants : tabias, banquettes, gabions, cordons en pierres sèches,...etc., et de situer les lacs collinaires dans le bassin étudié.

L'emplacement des différents travaux ainsi que leurs types et la période de leur mise en place, sont représentés sur la carte de l'annexe G, extraite de la carte des aménagements du bassin du Merguellil au 1/100000^{ème} (Fin Décembre 1995) (Direction de CES).

Néanmoins, il importe de remarquer que les données fournies par cette carte restent incertaines et leur fiabilité reste discutable : les superficies figurant ne correspondent pas, dans la plupart des cas, à celles fournies par les techniciens de CES.

Les lacs collinaires aménagés sur le bassin versant étudié, sont au nombre de 11 lacs dont 9 dans la délégation de Makthar et 2 dans la délégation de Kesra (Annexe H). D'après les responsables de CES, la superficie contrôlée par ces lacs est tout autour de 20 Km² soit à peu près 11% de la superficie totale du bassin étudié. Néanmoins, tous ces lacs font partie du projet américain pour l'aménagement du bassin versant du Merguellil dans les années soixante, et les crues de 1969 ont contribué à un taux non négligeable de leur envasement.

Les travaux entrepris en matière de conservation des eaux et des sols consistent à des travaux de reboisement et de tabias. On trouve essentiellement des banquettes mécaniques et manuels consolidés, des cordons et des seuils en pierres sèches, des corrections de ravins, des plantations pastorales, des fixations biologiques et des seuils déversoirs.

D'après la carte des aménagements de CES, les superficies concernées par les différentes réalisations sont de l'ordre de 4004 ha pour les terrassements consolidés et de 225 ha de plantations pastorales. Néanmoins, la fiabilité de ces superficies reste moyenne du fait que les limites des terrains aménagés sont données approximativement et des cartes d'aménagements sont non actualisées.

D'après la même carte, les réalisations, les plus récentes, en matière de conservation des eaux et des sols datent depuis 1987, ce qui justifie notre choix sur cette année pour être l'année limite de la période considérée sans aménagements.

Les banquettes sont consignées suivant la formule de Bugeat. Leur hauteur varie de 0,80 m à 1,20 m, la distance inter-banquettes est de 15 à 25 m. L'état des banquettes est moyen à bon. La surface inter-banquettes est généralement cultivée en céréales et quelques autres plantations.

La partie Nord Ouest du bassin (Tella/Krizerane) est occupée par de la céréaculture et quelques vergers d'arboriculture. Un peu à l'aval La forêt de Kesra est occupée de 70 à 80 % de Pin d'Alep et de Quercus avec un peu partout l'existence de quelques poches de céréalicultures.

Conclusion

Le bassin versant étudié a connu plusieurs expériences d'aménagement entrepris depuis longtemps jusqu'aux nos jours. Il a été considéré comme une zone d'intervention prioritaire. Néanmoins, il importe de noter que ce n'est qu'à partir des années postérieures à 1985, que les différentes réalisations ont commencé à présenter un état correct, et ont bénéficié d'un suivi et d'un entretien aussi bien auprès du paysan que de la direction. Avant ces années, les réalisations sont ponctuelles et ne remplissent pas leur rôle de conservation des eaux et des sols. L'application des pratiques, qui s'adaptent mal aux conditions locales, et le manque des données pluviométriques et hydrologiques pour le dimensionnement des ouvrages ont, tous, contribué à la perte presque totale de ces réalisations.

Les travaux entrepris en matière de conservation des eaux et des sols, dans le haut bassin versant du Merguellil, consistent, essentiellement à des banquettes, des cordons et des seuils en pierres sèches, des corrections de ravins, des plantations pastorales, des fixations biologiques, des seuils déversoirs et des lacs collinaires.

D'après la carte des aménagements de CES, les superficies concernées par les différentes réalisations sont de l'ordre de 4000 ha. Néanmoins, la fiabilité de ces superficies reste moyenne du fait que les limites des terrains aménagés sont données approximativement et les cartes d'aménagements sont non actualisées.

- CONCLUSION GENERALE -

CONCLUSION GENERALE

Le haut bassin versant du Merguellil, limité à la station de Skhira Kef Labiodh totalisant une superficie de l'ordre de 188 Km² est caractérisé par un relief accidenté profondément incisé par un réseau hydrographique assez dense et une lithologie formée globalement de marnes et de calcaires.

La zone étudiée est sous la dépendance d'un climat semi-aride supérieur à hiver frais. Calculée sur la période 1974-1975, la moyenne pluviométrique annuelle est de l'ordre de 330 mm. Néanmoins, l'étude des tendances pluviométriques sur une période longue durée, a révélé une tendance générale vers la baisse, et a montré que les deux dernières décennies correspondent à une période plutôt déficitaire. Sur une période d'observations plus longue, donc plus significative, les moyennes pluviométriques et hydrométriques, que nous avons établies, pourront alors être supérieures. A la lumière de l'étude de la pluviométrie que nous avons faite, nous pouvons émettre les conclusions suivantes :

- Le régime pluviométrique régnant sur le haut bassin versant du Merguellil est irrégulier, caractéristique générale de la pluviométrie du Merguellil. Les pluies accusent des irrégularités tant d'une année à l'autre que sur la même année. Elles sont plus abondantes en printemps et en automne.
- L'étude de la répartition de la pluviométrie dans la zone étudiée a montré que les précipitations sont beaucoup plus concentrées sur le haut plateau de Kesra, là où la moyenne pluviométrique annuelle dépasse 400 mm. Elle décroît progressivement vers le sud et l'ouest.

L'étude des écoulements dans le haut bassin versant du Merguellil a pu mettre en évidence les caractéristiques hydrologiques suivantes :

- La lame ruisselée est de l'ordre de 25 mm ce qui correspond à un coefficient de ruissellement de l'ordre de 7,7%.
- Les crues, au nombre de 6 par an, sont assez brèves et parfois violentes contribuant à plus de 75 % pour l'apport annuel total.
- Elles sont surtout concentrées en automne (40% du nombre total des crues) : à elles seules, ces crues contribuent pour plus de 40% de l'apport annuel total.
- A l'échelle saisonnière, bien que 32% de la moyenne de pluie tombe en printemps et 29% en automne, la comparaison des contributions de chacune de ces deux saisons pour l'apport annuel total, montre que la deuxième contribue pour 40%, comme signalé précédemment, alors que le printemps contribue pour 25% uniquement. Cela est lié, d'une part, à la nature de pluie, qui tombe souvent sous forme d'orages brefs et violents en automne, alors qu'elle est plus répartie dans le temps au printemps, et à la couverture végétale et la rugosité du sol d'autre part, qui jouent le rôle de frein naturel pour le ruissellement favorisant ainsi l'infiltration et diminuant le coefficient de ruissellement.
- L'étude de la distribution des crues dans la journée a montré que la plupart des crues se produisent en fin d'après-midi, avec une fréquence maximale d'apparition autour de 17h00.

➤ L'apport annuel de base est de l'ordre de 1,570 millions de mètres cubes. Extrêmement variables, les débits de base peuvent atteindre, en périodes exceptionnellement pluvieuses, des valeurs très importantes. Cela est dû au débits hypodermiques de fin de crues.

Un essai de régression a été tenté entre les différents paramètres hydro-climatiques afin d'établir une relation liant la lame ruisselée aux autres paramètres facilement mesurables à savoir la pluie moyenne relevée sur le bassin étudié et le débit maximum de ruissellement atteint lors de crues. Il a été montré que les coefficients de détermination s'améliorent très sensiblement lorsqu'on établit une relation de corrélation double entre la lame ruisselée et les deux autres paramètres.

Dans le but d'apprécier l'impact des aménagements sur le régime hydrologique du haut bassin versant du Merguellil, on a pensé à diviser la série des 22 années d'étude en deux périodes tout en supposant que la première correspond à une phase sans aménagements et l'autre à une période où les travaux d'aménagements se sont effectués.

Tant à l'échelle des crues qu'à l'échelle saisonnière, la même pluie engendre un ruissellement plus fort au cours de la deuxième période. Cela peut être lié

⇒ soit, à l'occurrence des crues qui est plus élevée au cours de la deuxième période. En effet, au cours de cette dernière, et surtout aux années 1989/90, 1991/92, 1992/93 et 1995/96, les crues sont nombreuses et consécutives (leur nombre peut atteindre 4 crues/mois) ce qui confère au sol un indice d'humidité plus grand engendrant un ruissellement important qui augmente avec l'état de saturation préalable du sol.

⇒ soit, à un défrichement du couvert végétal et une dégradation progressive de l'occupation des sols. Néanmoins, cette supposition reste à discuter du fait que les renseignements que nous avons pu disposer de la Direction des Forêts, appuyés par des sorties sur terrain, n'étaient pas à la mesure de nous donner une idée précise sur l'évolution de l'occupation des sols dans le temps.

Pour répondre à cette question, une étude encore plus fine sera indispensable.

L'étude des aménagements révèle que le bassin versant étudié a connu plusieurs expériences d'aménagement entrepris depuis longtemps jusqu'à nos jours. Il a été considérée comme une zone d'intervention prioritaire. Néanmoins, il importe de noter que c'est surtout après les années 85, que les différentes réalisations ont commencé à prendre un état correct et on bénéficié d'un suivi et d'un entretien aussi bien auprès du paysan que de la direction.

Les travaux entrepris en matière de conservation des eaux et des sols consistent, essentiellement à des banquettes, des cordons et des seuils en pierres sèches, des corrections de ravins, des plantations pastorales, des fixations biologiques, des seuils déversoirs et des lacs collinaires.

Nous signalons, pour terminer, que l'étude que nous avons faite, pourra aider les responsables concernés et servir d'élément de base pour un projet d'aménagement. C'est vrai qu'elle ne contribue pas à un système d'aménagement de la région étudiée, puisque cela ne constitue pas son objectif. Néanmoins, elle donne une idée sur l'hydrologie du bassin étudié, facteur sur lequel est basée toute tentative d'aménagement.

- Références bibliographiques -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdellaoui, H. 1994 Système d'aménagement du bassin versant de l'oued Bouhaya. Mémoire de fin d'études du cycle de spécialisation. INAT, 1994, 121p ;
2. Bouzaiane S., 1983 Etude hydrologique de l'oued Bahloul à la station de Skhira - Kef Labiodh (Haut Merguellil), Rapport interne DGRE ;
3. Bouzaiane S. & Lafforgue A., 1986 Monographie hydrologique des oueds Zéroud et Merguellil. Direction Générale des Ressources en Eau - Ministère de l'Agriculture - Tunisie; Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (Orstom) ;
4. Boyer J. F. & al, 1991 Pluviom. Logiciel de gestion des données pluviométriques. Manuel d'utilisation. Laboratoire d'hydrologie Orstom ;
5. Boyer J. F. & al, 1994 Hydrom. Gestion et traitements des données hydrométriques. Laboratoire d'hydrologie Orstom ;
6. Camus, 1985 Etude pluviométrique des bassins versants des oueds Zéroud et Merguellil. Direction des ressources en eau (DGRE) / Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (Orstom) ;
7. Chérif B. & al., 1995 Guide de conservation des eaux et des sols. Ministère de l'Agriculture, Direction de CES ;
8. Cochonneau G., 1989 Hydrom. Logiciel de banque de données hydrométriques. Manuel de l'utilisateur. Laboratoire d'hydrologie Orstom.
9. Direction de CES, 1986 Aménagement intégré du bassin versant de l'oued Merguellil. Direction de la Conservation des Eaux et du Sol - Ministère de l'Agriculture - Tunisie ;
10. Direction de CES, 1990 Aménagement des voies d'eau du bassin versant de l'oued Merguellil. Protection du barrage El Houareb et alimentation de la nappe de Bouhefna, Février 1990 ;
11. FAO, 1986 Watershed management Field Manual : gully control, FAO conservation guide n°13/2 ;
12. Kallel M. R., 1983 Pluviométrie de la Tunisie, 1968 - 1978. Direction des Ressources en Eau DRE - Ministère de l'Agriculture - Tunisie ;
13. Kallel M. R. & al, 1975 Etude hydrologique préliminaire des oueds Zéroud et Merguellil. Direction des Ressources en Eau et en Sols - Ministère de l'Agriculture - Tunisie ; Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ;

14. Kingumbi A., 1997 Caractérisation morphométrique du bassin versant du Merguellil. Application à la simulation des écoulements de surface et à l'érosion. Projet de fin d'études d'ingénieurs. ESIER, 1997 ;
15. Lafforgue A., 1982 Note sur l'exploitation des mesures hydrologiques réalisées sur les oueds Amara et Bou Hassine. Bassin versant du Merguellil. Bureau de l'inventaire et des Recherches Hydrologiques ;
16. Lafforgue A. & Memi, 1983 Homogénéisation des données pluviométriques du centre de la Tunisie. Bureau de l'inventaire et des Recherches Hydrologiques ;
17. Musy A., 1992 Hydrologie générale, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ; Section de Génie Rural et Environnement ;
18. PNUD / OPE, 1987 Ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord. Guide Maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires. Algérie-Maroc-Tunisie. Projet RAB 80/011-Tunis, 1987, 191p ;
19. Pontanier & Le Floch, 1980 Maîtrise et utilisation des eaux de ruissellement en zones arides (synthèse bibliographique sélective : Projet RAB/84/025) ;
20. Snoussi J., 1993 Quantification de l'érosion hydrique à l'échelle d'un petit bassin versant (cas de l'oued Mrichet El Anze). Mémoire de fin d'études d'ingénieurs, ESIER/Orstom ;
21. SOGETHA, 1968 Les ouvrages en gabions, techniques rurales en Afrique. 58p. ;
22. Talineau J. C., Selmi S., Alaya K. 1994 Lacs collinaires en Tunisie semi-aride pour un choix plus pertinent des sites à aménager. Revue Secheresse ; p. : 251-256 ;
23. Thierno, 1990 Rapport de fin de stage en Tunisie du 1^{er} au 30 Juillet 1990. DCES/DGR, 1990, 64 p., annexes ;

Références des cartes thématiques utilisées

- Barbery J. & Mohdi M., 1987 Carte des ressources en sols de la Tunisie, 1/200 000, feuille de Kairouan, ES 202, Ministère de l'Agriculture, Direction des sols ;
- Direction Générale des Forêts, 1996 Carte d'occupation du sol, bassin versant du Merguellil, Ministère de l'Agriculture, Octobre 1996 ;
- Misouri M. & Al., 1983 Carte des ressources en sol de la Tunisie, 1/200 000, feuille de Makthar, ES 202, Ministère de l'Agriculture, Direction des sols ;

Références des cartes topographiques utilisées

O.T.C., 1987 Carte d'Etat Major de la Tunisie, 1/200 000, feuille de Makthar (NI-32-XXII). Office de la Topographie et de la Cartographie (OTC), Cité Olympique - Menzah ;

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure I.1	Carte de situation du bassin du Merguellil	3
Figure I.2	Courbe hypsométrique de l'oued Merguellil à la station de la Skhira Kef Labiod	4
Figure I.3	Courbe de répartition des pentes en fonction de la surface du bassin versant	5
Figure I.4	Réseau hydrographique	6
Figure I.5	Profil en long de l'oued Merguellil à la station de Skhira	7
Figure I.6	Carte géologique	9
Figure I.7	Carte de répartition des sols	9
Figure I.8	Carte d'occupation des sols	10
Figure II.1	Localisation des différents postes pluviométriques	14
Figure II.2	Localisation des différents zones pluviométriques	17
Figure II.3	Evolution de la pluviométrie annuelle au niveau de la station de Kesra	21
Figure II.4	Variation de l'écart centré réduit pour la série des précipitations annuelles au niveau de la station de Kesra forêt	22
Figure II.5	Variation de la pluviométrie moyenne annuelle au niveau de la station de Kesra	23
Figure II.6	Précipitations annuelles au niveau du Merguellil limité à Skhira (1974-1996)	26
Figure II.7	Précipitations mensuelles au niveau du Merguellil limité à Skhira (1974-1996)	27
Figure II.8	Répartition saisonnière de la pluviométrie au niveau du Merguellil à la Skhira	28
Figure II.9	Essai de régression entre la précipitation moyenne sur le haut du Merguellil et celle relevée au poste forestier de Kesra	28
Figure II.10	Bassin versant du Merguellil limité à la station de Skhira. Courbe des isohyètes (1980/81 - 1992/93)	29
Figure II.11	Répartition mensuelle et annuelle des apports sur le Merguellil à la station de Skhira	32
Figure II.12	Répartition saisonnières des apports du Merguellil à la station de Skhira	33
Figure II.13	Caractéristiques d'une crue	33
Figure II.14	Occurrence mensuelle des crues sur le Merguellil à la station de Skhira	35
Figure II.15	Répartition horaire des crues du Merguellil à la station de la Skhira	35
Figure II.16	Répartition horaire saisonnière des crues du Merguellil à la station de la Skhira	36
Figure II.17	Répartition saisonnière des volumes de ruissellement sur le Merguellil à la station de la Skhira	38
Figure II.18	Les différents types d'écoulement constituant un hydrogramme de crue	39
Figure II.19	Relation lame ruisselée - Pluie moyenne à l'échelle des crues pour les deux périodes avant et après aménagements	43
Figure II.20	Variation saisonnière interannuelle de la relation pluie - lame ruisselée pour les deux périodes avant et après aménagements	44
Figure II.21	Relation lame ruisselée - Pluie moyenne à l'échelle saisonnière interannuelle	46
Figure II.22	Relation lame ruisselée - Débit maximum de ruissellement à l'échelle des crues	47
Figure III.1	Cordons en pierres sèches	54
Figure III.2	Types de cordons en pierres sèches	55

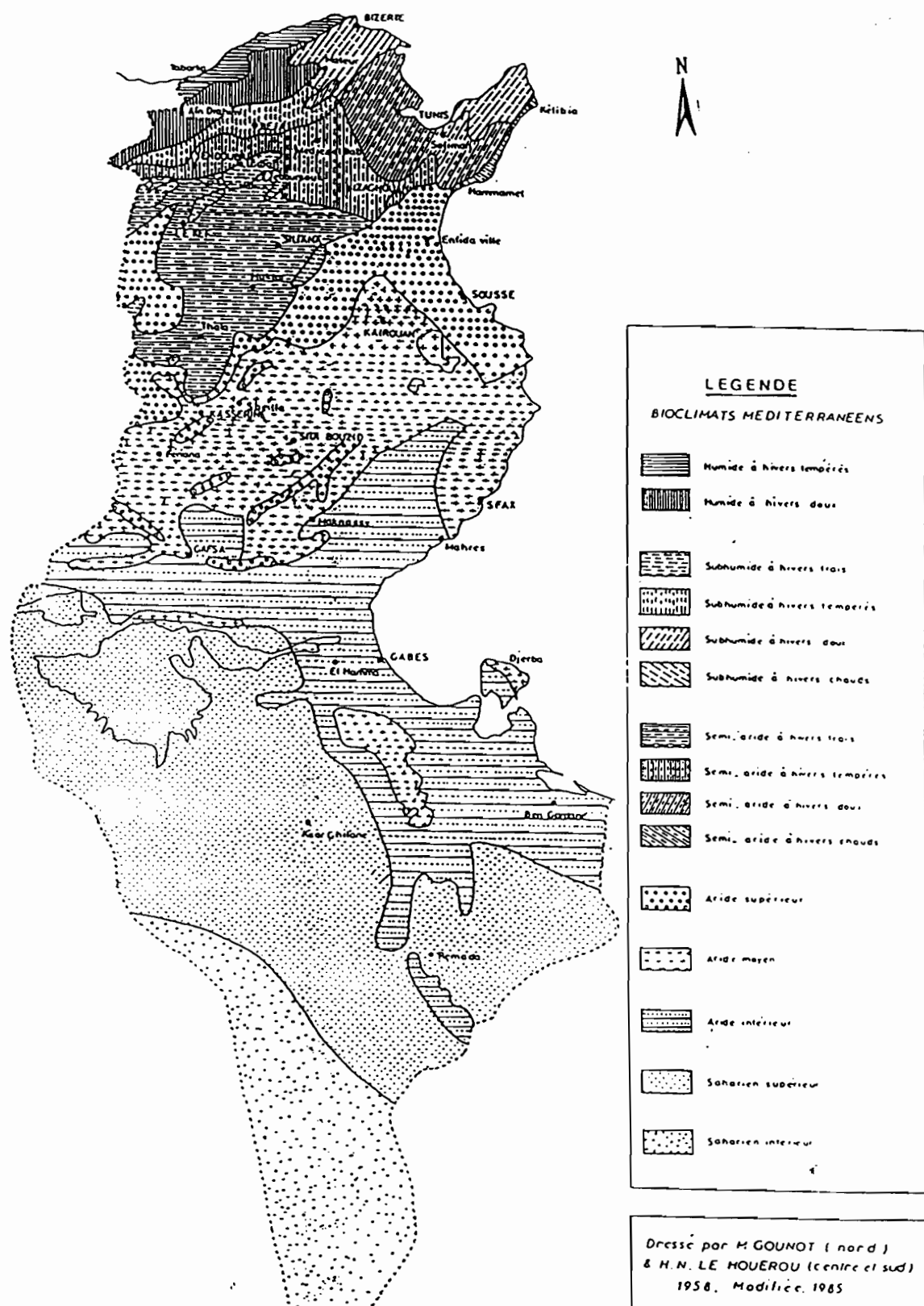
Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I.1	Répartition en altitudes des superficies du bassin versant du Merguellil limité à Skhira	4
Tableau I.2	Répartition en pentes des superficies	4
Tableau I.3	Matériaux géologiques du haut bassin du Merguellil	8
Tableau I.4	Les entités de sols du haut bassin du Merguellil	8
Tableau II.1	Caractéristiques des différents postes pluviométriques retenus pour l'étude	18
Tableau II.2	Totaux annuels de pluie dans la station de Kesra - forêt	20
Tableau II.3	Matrice de corrélation entre les différentes stations	21
Tableau II.4	Répartition de la pluviosité de la zone d'étude	23
Tableau II.5	Etude statistique des deux séries	24
Tableau II.6	Moyennes pluviométriques mensuelles et annuelles sur le bassin versant du Merguellil à la station de la Skhira	26
Tableau II.7	Variabilité annuelle de la pluie au niveau du Merguellil à la Skhira	27
Tableau II.8	Débits d'écoulement mensuels et annuels sur le Merguellil à la Skhira	31
Tableau II.9	Occurrence mensuelle et annuelle des crues sur le Merguellil à la station de la Skhira.	34
Tableau II.10	Volumes mensuels et annuels de ruissellement enregistrés sur le Merguellil à la station de Skhira	37
Tableau II.11	Débits d'écoulement de base mensuels et annuels enregistrés sur le Merguellil à la station de la Skhira	39
Tableau II.12	Débits maximums et minimums (instantanés et journaliers) enregistrés sur la Merguellil à la Skhira	40
Tableau II.13	Débits maximums de crues et fréquences de non dépassement	41
Tableau II.14	Résultats des essais d'ajustement statistique des débits instantanés maximaux	41
Tableau II.15	Régression ente la pluie moyenne et la lame ruisselé (à l'échelle des crues)	43
Tableau II.16	Régression ente la pluie moyenne et la lame ruisselé (à l'échelle saisonnière)	44
Tableau II.17	Régression ente la pluie moyenne et le débit maximum (à l'échelle des crues)	46
Tableau II.18	Régression ente la lame ruisselée, la pluie moyenne et le débit maximum et (à l'échelle des crues)	47

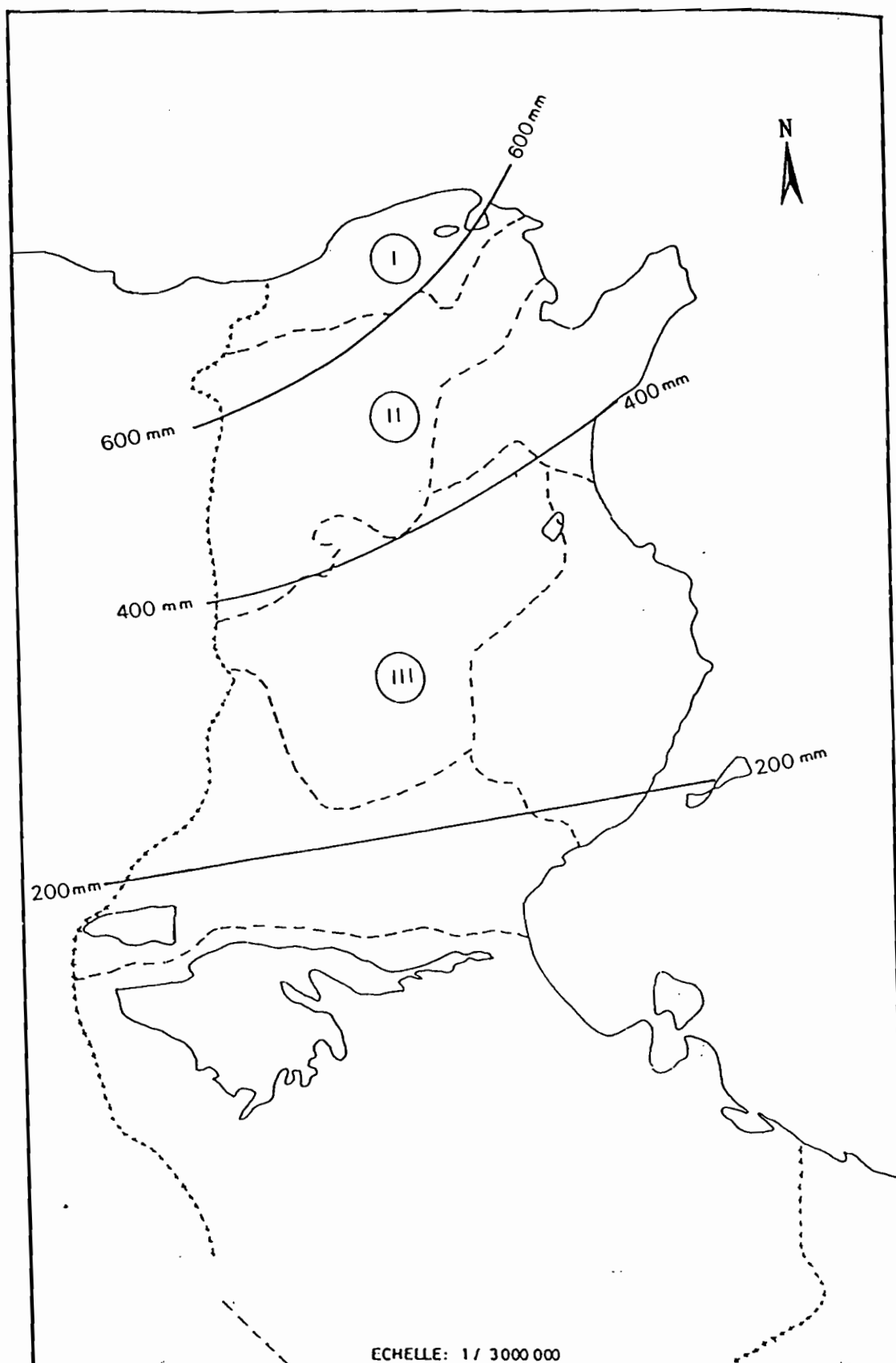
- ANNEXES -

Listes des annexes

- Annexe A :** Carte des étages bioclimatiques de la Tunisie
- Annexe B :** Carte de répartition des quatre zones climatiques
- Annexe C :** Caractéristiques de certaines crues observées sur le Merguellil limité à la station de Skhira (1974 - 1996)
- Annexe D :** Hauteur utile des banquettes de rétention en fonction de l'intensité des pluies pour différentes pentes du terrain
- Annexe E :** Courbes Intensité-Durée-Fréquence
- Annexe F :** Ecartement des seuils en pierres sèches en fonction de leur hauteur et la pente du ravin
- Annexe G :** Carte des aménagements du haut bassin versant du Merguellil
- Annexe H :** Inventaire des lacs collinaires dans le haut du Merguellil



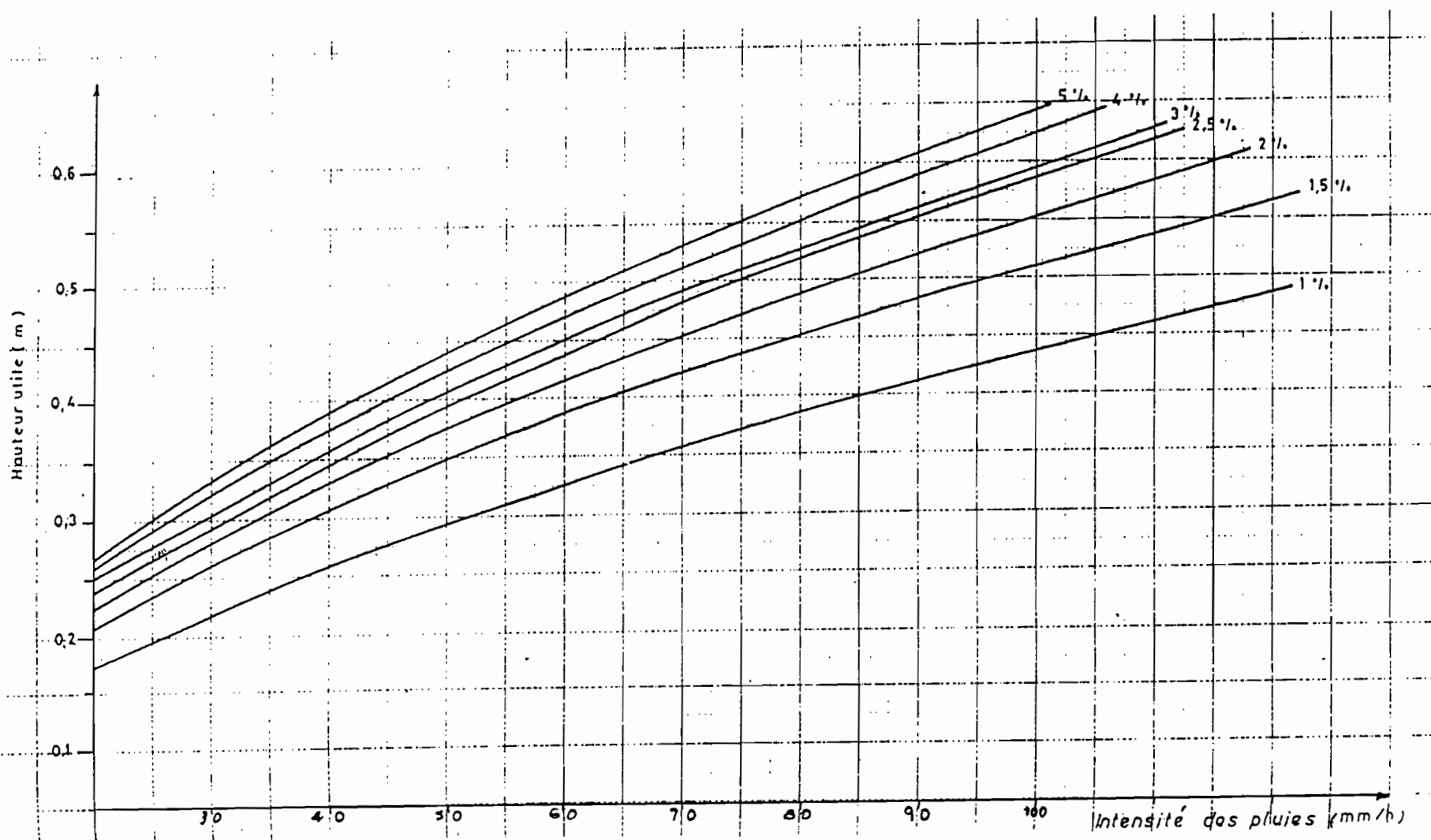
Carte des étages bioclimatiques de la Tunisie (Chérif & al., 1995)



Carte de répartition des quatre zones climatiques (Kallel, 1983)

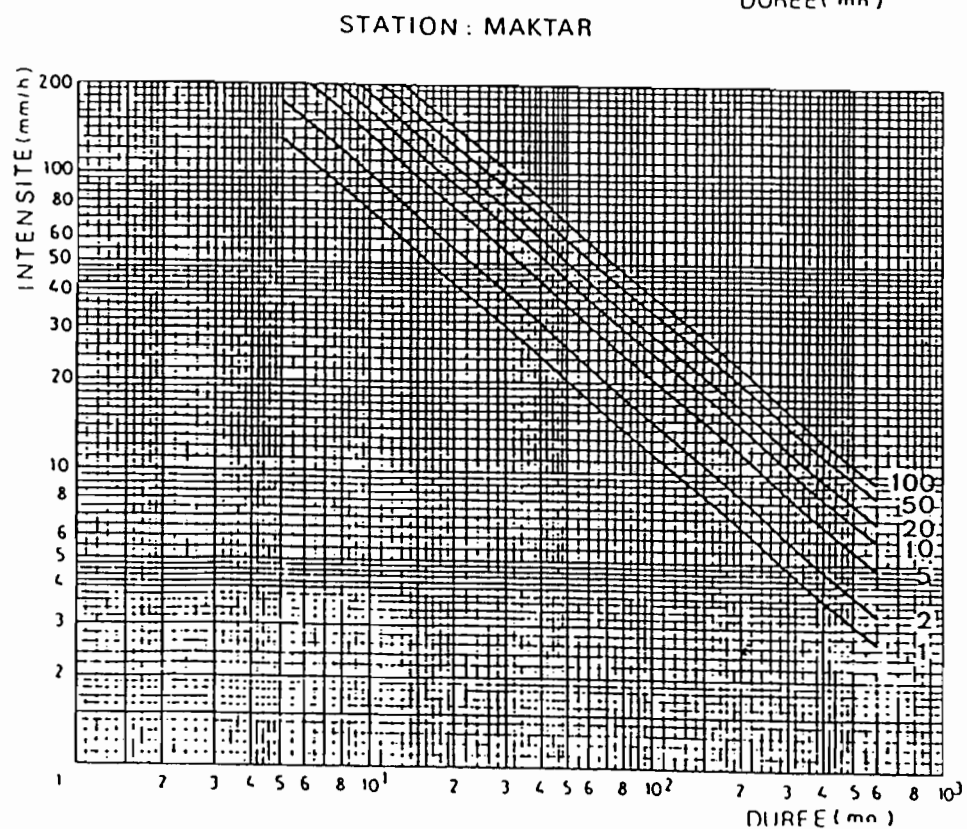
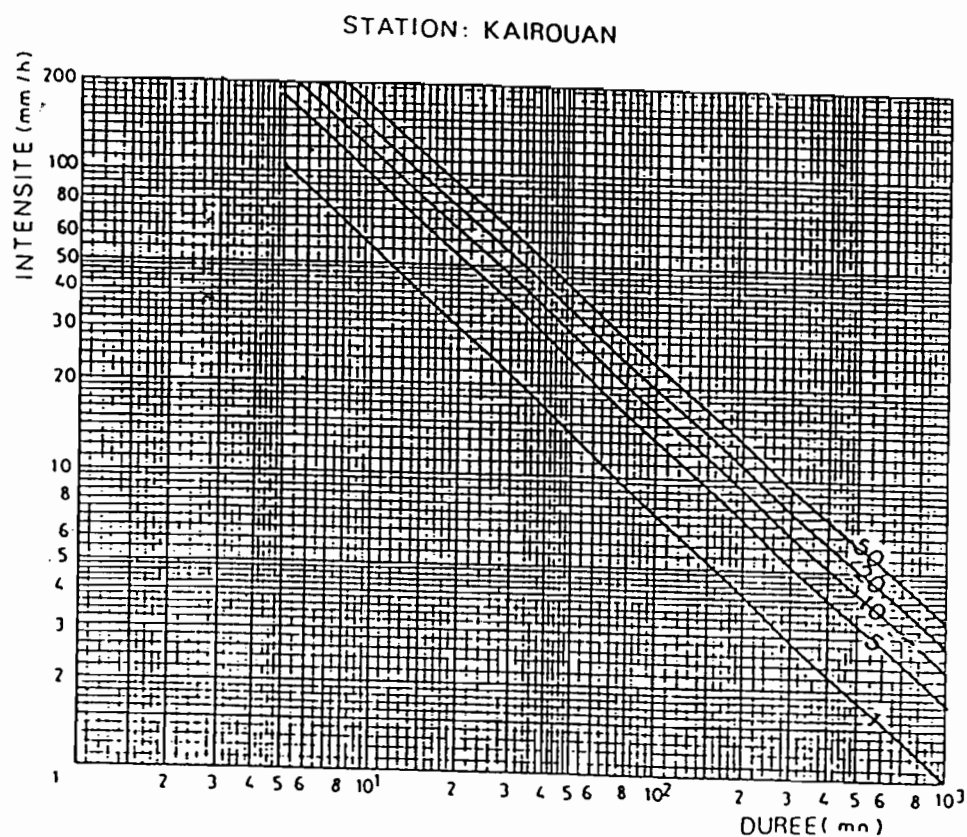
Caractéristiques de certaines crues observées sur le Merguellil
à la station de Skhira (1974 - 1996) :

Date de crue	Heure	Q _{z,r} (m ³ /s)	V _r (103m ³)	L _r (mm)	T _m (mn)	T _b (mn)	Forme
29/09/74	20:30	116	1507	7,81	120	420	simple
04/02/75	14:30	78,4	810,3	4,2	135	420	simple
16/08/75	18:30	191	1865	9,66	117	451	complexe
04/11/75	04:00	54,7	1432	7,42	435	960	complexe
16/01/75	21:30	44	295	1,53	75	390	simple
29/06/76	16:30	294	1664	8,62	60	240	simple
18/11/76	18:00	35,5	442,7	2,29	285	1020	complexe
15/04/79	07:00	141	1396	7,23	225	510	simple
04/11/79	06:00	55	1170	6,06	240	1260	complexe
08/06/80	09:00	15,2	299	1,59	660	1380	simple
01/04/82	15:00	93,5	643	3,42	75	600	complexe
21/10/82	12:00	125	862,7	4,59	45	420	simple
04/10/83	08:15	25,2	268	1,43	120	555	simple
08/05/86	09:00	24,3	219,5	1,17	45	660	simple
20/05/88	19:30	135	716,1	3,84	60	210	simple
08/06/88	01:00	8,45	198,2	1,05	165	991	simple
22/01/90	02:15	14,5	553,7	2,87	60	1350	complexe
17/03/90	17:30	9,12	191,5	1,02	150	810	simple
02/04/90	17:45	95,2	1028	5,47	175	795	complexe
27/09/90	19:00	70,4	362	1,93	50	465	simple
17/04/91	18:00	122	1098	5,69	120	300	simple
23/11/91	16:00	50,5	1453	7,73	240	960	simple
30/09/92	17:15	409	2995	15,93	45	285	simple
03/11/92	21:43	25,1	271,2	1,41	202	857	complexe
17/12/92	12:00	15,3	923,1	4,78	1440	1665	complexe
22/03/93	16:00	23	352,9	1,88	200	960	simple
14/09/93	16:00	225	1897	9,83	130	360	simple
11/10/94	14:30	65,4	350	1,86	15	330	simple
16/09/95	20:00	66	1672	8,66	600	1320	simple
18/10/95	22:45	11,7	193,3	1	135	555	complexe

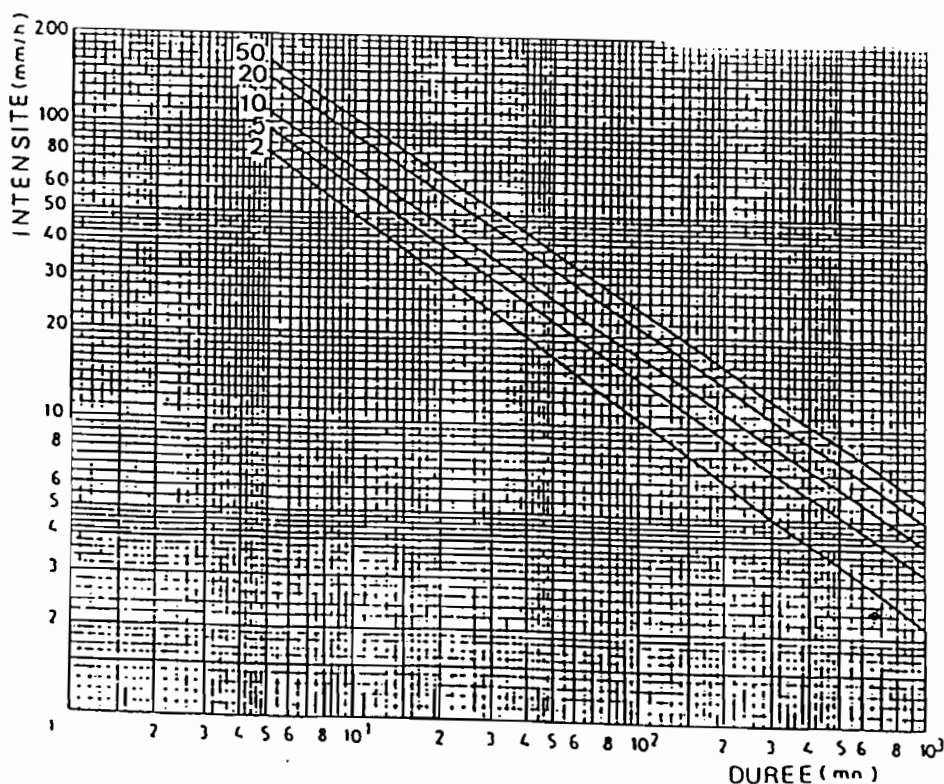
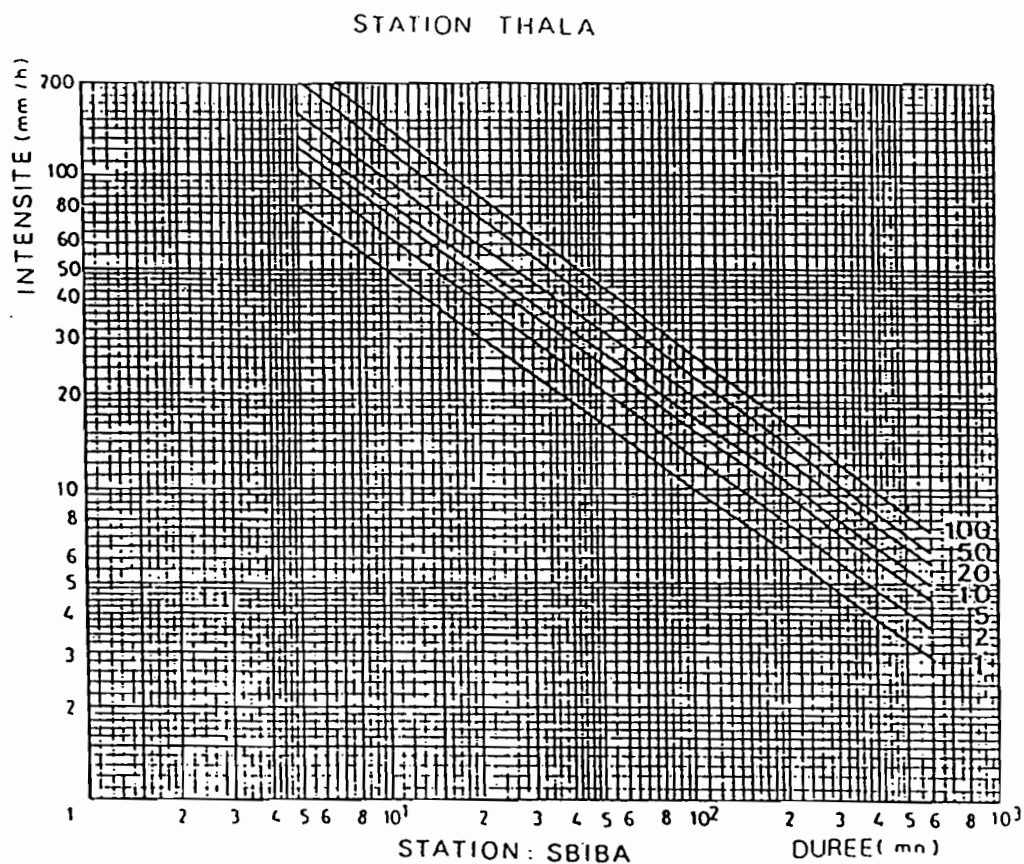


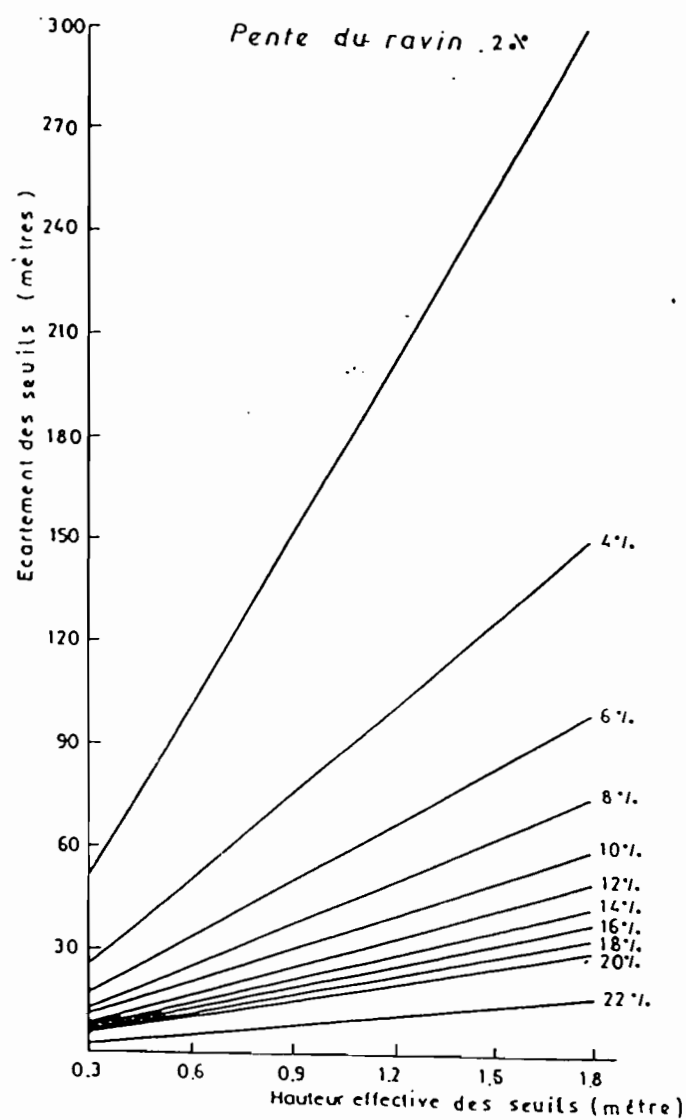
Hauteur utile des banquettes de rétention en fonction de l'intensité des pluies pour différentes pentes du terrain (Chérif & al. 1995)

Courbes Intensité-Durée-Fréquence



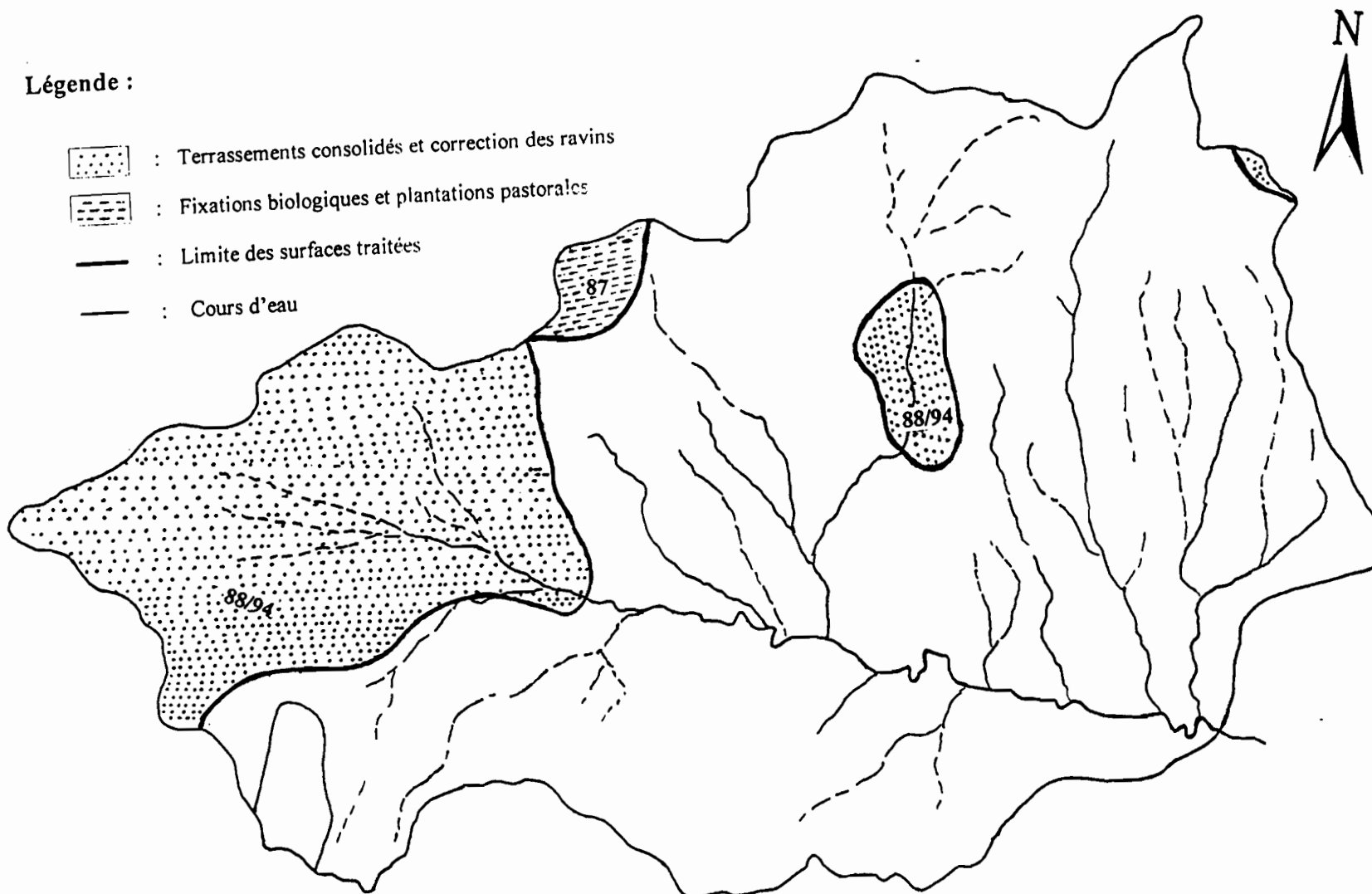
Courbes Intensité-Durée-Fréquence





Ecartement des seuils en pierres sèches en fonction de leur hauteur et la pente du ravin
(Chérif & al. 1995)

Légende :



Carte des aménagements du haut bassin versant du Merguellil

(Extraite de la carte des aménagements de CES bassin versant du Merguellil au 1/100 000, fin Décembre 1995, Direction de CES)

Nom du lac	Délégation	Longitude (°)	Latitude (°)	S. du B.V en ha	Cap.de la retenue en 10 3 m3	Observations
Bouchiha 1	Kesra	9° 21' 59"	35° 48' 59"	20	8	Petite retenue en zone forestière, conçue pour irriguer les oliviers
Bouchiha 2	Kesra	9° 21' 54"	35° 48' 00"	34	15	A sec, couche calcaire fissurée, l'infiltration est de 90%
Wad Thawed	Makthar	9° 19' 58"	35° 49' 12"	307	52	Petite retenue dans la forêt de Kesra, existent un motopompe et des vergers
Fidh Serwi	Makthar	9° 17' 40"	35° 48' 25"	150	79	ensasé à 60 %
El Hinchir	Makthar	9° 16' 54"	35° 48' 24"	157	38	ensasé à moitié , il existe peu d'eau, plantations de cactus
Oule M'rabet	Makthar	9° 16' 49"	35° 48' 06"	211	181	ensasé à 80%, il existe peu d'eau,
El Mkebrta	Makthar	9° 16' 39"	35° 47' 42"	474	120	bien exploité, il y a des vergers
El Hfaya	Makthar	9° 16' 28"	35° 47' 18"	266	60	il existe de l'eau
Bou Haasine	Makthar	9° 13' 55"	35° 47' 40"	148	160	il existe de l'eau
Fidh Smara	Makthar	9° 13' 11"	35° 47' 30"	183		il existe de l'eau
Fidh Grawa	Makthar	9° 13' 14"	35° 47' 07"			il existe un motopompe

Inventaire des lacs collinaires dans le haut bassin versant du Merguellil

(Inventaire de M^{elle} Dridi B, 1997)