

50377  
1993  
230

50377  
1993  
230

N° d'ordre: 1224 G

**UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE  
U.F.R. DE GEOGRAPHIE ET D'AMENAGEMENT SPATIAL**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE PLUVIO-HYDROLOGIQUE DU  
BASSIN-VERSANT DE L'OUED MELLOULOU  
(MAROC ORIENTAL)**

Thèse Présentée par:

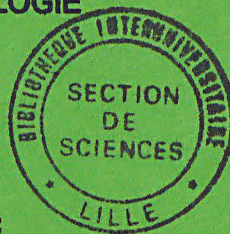
**MOUHDI Abdelhamid**

pour l'obtention du titre de: DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

en:

**ANALYSE GEOGRAPHIQUE DU MILIEU PHYSIQUE,  
RESSOURCES ET RISQUES NATURELS**

**SPECIALITE: HYDROLOGIE**



Sous la direction de:

**Melle DACHARRY Monique**

Soutenue le 08 Décembre 1993 devant le jury composé de:

**Président:** Mr A. SCHULÉ, Professeur à l'Université d'Angers

**Rapporteurs:** Mr R. LAMBERT, Professeur à l'Université de Toulouse-le-Mirail

Mr J-P. LABORDE, Professeur à l'Université de Nice

**Membres:** Melle M. DACHARRY, Professeur à l'Université de Lille I

Mr G. PETIT-RENAUD, Maître de conférences à l'Université de Lille I

SCD LILLE 1



D 030 299473 4



50377  
1993  
230

50377  
1993  
230

N° d'ordre: 1224 G

**UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE  
U.F.R. DE GEOGRAPHIE ET D'AMENAGEMENT SPATIAL**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE PLUVIO-HYDROLOGIQUE DU  
BASSIN-VERSANT DE L'OUED MELLOULOU  
(MAROC ORIENTAL)**

**Thèse Présentée par:**

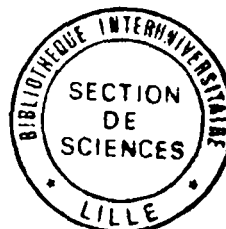
**MOUHDI Abdelhamid**

**pour l'obtention du titre de: DOCTEUR DE L'UNIVERSITE**

**en:**

**ANALYSE GEOGRAPHIQUE DU MILIEU PHYSIQUE,  
RESSOURCES ET RISQUES NATURELS**

**SPECIALITE: HYDROLOGIE**



**Sous la direction de:**

**Melle DACHARRY Monique**

**Soutenue le 08 Décembre 1993 devant le jury composé de:**

**Président:** Mr A. SCHULÉ, Professeur à l'Université d'Angers

**Rapporteurs:** Mr R. LAMBERT, Professeur à l'Université de Toulouse-le-Mirail

Mr J-P. LABORDE, Professeur à l'Université de Nice

**Membres:** Melle M. DACHARRY, Professeur à l'Université de Lille I

Mr G. PETIT-RENAUD, Maître de conférences à l'Université de Lille I

**RESUME**

L'oued Melloulou draine un bassin-versant de 2476 km<sup>2</sup>. C'est le plus important des affluents de la Moulouya car il lui fournit plus de 40% de son débit à Dar El Caïd. L'alimentation du Melloulou est essentiellement pluviale. Les apports souterrains, étant faibles et fonction des apports atmosphériques soutiennent moins son écoulement. La pluviométrie dans le bassin-versant est caractérisée par une inégalité spatiale très importante. La recherche des facteurs explicatifs de cette inégalité a permis de souligner la grande influence de la longitude et de l'altitude. L'étude de la variation temporelle des pluies a montré que celle-ci prend de l'ampleur au fur et à mesure que le pas de temps diminue. Les crues sont brutales et leurs volumes sont importants et très variables d'une crue à une autre. Pourtant, la sécheresse estivale est souvent longue et rude. En absence de ressources souterraines suffisantes et régulières, la grande variabilité de la pluviométrie est fortement ressentie dans l'écoulement du Melloulou. Ainsi les étiages sont très prononcés, amplifiés par un déficit naturel élevé et une exploitation humaine d'autant plus importante que la sécheresse est intense. Enfin l'étude des bilans a montré que le déficit de l'écoulement du Melloulou est très élevé: il est généralement supérieur à 70%.

**Mots clés:** Maroc oriental, oued Melloulou, pluviométrie, hydrologie, exploitation, étiages, tarissement, crues, bilan hydrologique

**ABSTRACT**

The wadi of Melloulou drains a basin of 2476 km<sup>2</sup>. It is the most important tributary of the Moulouya: 40% of its discharge at Dar El Caïd comes from the Melloulou. The feeding of Melloulou is essentially pluvial, the ground water yield being poor and depending on precipitation don't support enough its runoff. The rainfall in the Melloulou basin is characterised by a spatial inequality. The research of the explanatory factors of this inequality has permitted to underline the great influence of the longitude and the altitude. The study of the temporal variations of the rainfall has showed that this increases progressively as the working time interval decreases. The floods are rough and their volumes are important and variable from a flood to another. Though the summer drought is always long and severe. Because of the absence of regular and sufficient ground water resources the variability of rainfalls is felt through the flow of Melloulou. So the low flows are very marked increased by a high evapotranspiration and a human exploitation as high as the drought is intense. The study of the water balance has showed that the runoff deficit of the Melloulou is very high: it is generally above 70%.

**Key words:** Oriental Morocco, wadi of Melloulou, rainfall, hydrology, exploitation, low flows, depletion, floods, water balance.

**AVANT-PROPOS**

Il m'est difficile d'exposer le fruit de ces années de travail sur l'O. Melloulou et son bassin-versant, sans remercier tous ceux qui ont contribué à son élaboration. Ainsi je tiens à remercier:

Mademoiselle Monique DACHARRY, professeur et directeur du laboratoire de Climatologie et d'Hydrologie de Lille I qui m'a initié à l'hydrologie, qui a accepté de diriger ce travail et a guidé mes pas pour le mener à bien.

Monsieur Gérard PETIT-RENAUD, maître de conférences à l'U.F.R. de géographie de Lille I, qui m'a initié à la critique des données, aux statistiques, à l'informatique et qui a mis à ma disposition de multiples programmes informatiques qui m'ont épargné de nombreux calculs fastidieux.

Monsieur Claude KERGOMARD, maître de conférences à l'U.F.R. de géographie de Lille I, qui m'a aidé à analyser les situations atmosphériques.

Monsieur Bouchta EL FELLAH, maître assistant et chercheur à l'institut scientifique à Rabat, qui a accepté de m'accompagner sur le terrain et qui m'a fait profiter de sa connaissance de la région.

Messieurs BICHARA, LAHMOURI, BENCHERQUI ET EL MESSOUDI, respectivement chef de la D.R.E à Rabat, chef de la D.R.H d'Oujda, chef du service de l'hydrologie à l'administration de l'hydraulique à Rabat et chef du service de l'hydrologie à la D.R.H d'Oujda qui ont attaché un grand intérêt à cette étude et qui ont facilité l'accès aux données hydrométriques et climatiques ainsi que certains documents administratifs.

L'ensemble du personnel du service de la climatologie opérationnelle à Casablanca, les agents de l'annexe de la D.R.H d'Oujda à Guercif et les agents du service des eaux et forêts à Taza et à Guercif qui ont mis à ma disposition certains documents administratifs et dont la compagnie lors de leurs déplacements m'a permis de partager leur connaissance du terrain.

Enfin mes amis et mes camarades de laboratoire et de l'U.F.R. de Géographie: CARTON C., TISON I., ADOUK N., BAKAM V., EL OUAZGUITI M., KIDOU B., LAADOUA A., NACER M., OUAHMAN B., PAUL F. et SBAÏ A. avec qui j'ai travaillé dans une bonne ambiance et avec qui les échanges d'idées ont été souvent fructueux.



**TABLE DES MATIERES**

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
<b><u>PREMIERE PARTIE:</u></b>	
<b><u>COMPOSANTES DU PAYSAGE DU BASSIN-VERSANT DU MELLOULOU:</u></b>	
<b>CHAPITRE I: CONTEXTE DE L'ECOULEMENT DANS LE BASSIN-VERSANT DU MELLOULOU</b>	<b>4</b>
1- CADRE TOPOGRAPHIQUE	4
1-1 MORPHOMETRIE	4
1-2 REPARTITION DES ALTITUDES	8
2- CADRE GEOLOGIQUE	11
2-1 UNITES GEOLOGIQUES DU BASSIN	11
2-1-1 LE MOYEN ATLAS SEPTENTRIONAL PLISSE	11
2-1-2 LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE GUERCIF	14
2-2 LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE	14
2-2-1 LE PERMO-TRIAS	14
2-2-2 LE LIAS	14
2-2-3 LE DOGGER	16
2-2-4 LE MIOCENE	17
2-2-5 LE PLIO-VILLAFRANCHIEN	18
2-2-6 LE QUATERNAIRE	18
2-3 OROGENESE ET EVOLUTION STRUCTURALE	18
3- HYDROGEOLOGIE DU BASSIN-VERSANT: RAPPEL DES DIFFERENTS NIVEAUX AQUIFERES	19
3-1 LES NIVEAUX AQUIFERES ET NAPPES DU LIAS	20
3-1-1 LES NAPPES DES CALCAIRES DU LIAS	20
3-1-2 L'AQUIFERE TOARCIEEN	22
3-2 NAPPES ET NIVEAUX AQUIFERES DU DOGGER	22
3-2-1 NAPPES DES CALCAIRES DE L'AALENO-BAJOCIEEN	22
3-2-2 L'AQUIFERE BAJOCIEEN	22
3-3 LE SOUS-ECOULEMENT DU MELLOULOU ET DE SES AFFLUENTS (UNDERFLOW)	22
4- COUVERTURE VEGETALE	23
CONCLUSION	24
<b>CHAPITRE II: LA FORMATION ET L'ORGANISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU MELLOULOU</b>	<b>25</b>
1- LE COLLECTEUR PRINCIPAL	25
1-1 FORMATION	25

## IV

1-2 HYDROGRAPHIE	25
1-3 LE RESEAU D'AFFLUENTS DE L'O. MELLOULOU	28
1-3-1 LES AFFLUENTS DE LA RIVE DROITE	28
1-3-2 LES AFFLUENTS DE LA RIVE GAUCHE	30
2- L'OUED ZOBZIT	30
2-1 FORMATION	30
2-2 HYDROGRAPHIE	30
2-2-1 LE ZOBZIT EN AMONT DE SA CONFLUENCE AVEC LE SOUF OU LOUT ET LE SOUF BENI MANSOUR	31
2-2-2 LE ZOBZIT EN AVAL DE SA CONFLUENCE AVEC LE SOUF OU LOUT ET LE SOUF BENI MANSOUR	32
CONCLUSION	32

### ***DEUXIEME PARTIE:***

### **ETUDE DES PRINCIPAUX ASPECTS CLIMATIQUES DU BASSIN-VERSANT DU MELLOULOU**

<b>CHAPITRE III: QUALITE DU RESEAU D'OBSERVATION PLUVIOMETRIQUE</b>	<b>33</b>
1- LE RESEAU PLUVIOMETRIQUE DU BASSIN-VERSANT	33
1-1 HISTORIQUE	33
1-2 DENSITE ET REPARTITION	34
1-2-1 REPARTITION DANS L'ESPACE	34
1-2-2 REPARTITION EN FONCTION DE L'ALTITUDE	37
2- INVENTAIRE DES DONNEES	39
2-1 SOURCES DES DONNEES	39
2-2 ETAT ET DUREE DES SERIES D'OBSERVATION	39
3- RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES ET CONTROLE DE LA QUALITE DES SERIES D'OBSERVATION	39
3-1 ESTIMATION DES VALEURS MANQUANTES	41
3-2 CONTROLE DE LA QUALITE DES SERIES D'OBSERVATIONS	41
CONCLUSION	43
<b>CHAPITRE IV: VARIABILITE SPATIALE DES PRECIPITATIONS</b>	<b>47</b>
1- PRESENTATION DE QUELQUES TRAVAUX EXISTANTS	47
1-1 CARTE DE GAUSSEN H. ET ROUX G., (1957)	47
1-2 CARTE DE ZERYOUHI I., (1977)	47
1-3 CARTE DE LA D.R.P.E., (1987)	49
2- RECHERCHE DES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA VARIABILITE REGIONALE DES PRECIPITATIONS	49
2-1 METHODE UTILISEE	51
2-2 FACTEURS EXPLICATIFS	51



2-3 DISCUSSION DES RESULTATS DE LA REGRESSION SIMPLE	55
2-4 ETUDE DES RESIDUS	57
CONCLUSION	57
<b>CHAPITRE V: VARIATIONS TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS</b>	<b>61</b>
1- VARIATIONS INTERANNUELLES DES PRECIPITATIONS	61
1-1 ETUDE DES VARIATIONS DES PLUIES ANNUELLES	61
1-2 ETUDE FREQUENTIELLE DES PLUIES ANNUELLES	64
2- VARIATIONS MENSUELLES DES PRECIPITATIONS	70
2-1 REGIME PLUVIOMETRIQUE MENSUELS	70
2-1-1 REGIME PLUVIOMETRIQUE MOYEN	70
2-1-2 REGIME PLUVIOMETRIQUE PROBABLE	72
2-2 ETUDE DES VARIATIONS DES PLUIES MENSUELLES	75
3- PLUIES QUOTIDIENNES	77
3-1 NOMBRE DE JOURS PLUVIEUX	77
3-2 SEQUENCES PLUVIEUSES ET SEQUENCES SECHES	80
3-2-1 EPISODES PLUVIEUX	80
3-2-2 SEQUENCES SECHES	80
3-3 INTENSITES DES PLUIES	83
4- ENNEIGEMENT	88
CONCLUSION	89
<b>CHAPITRE VI: ETUDE DES TEMPERATURES ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION</b>	<b>91</b>
1- LES TEMPERATURES	91
1-1 CRITIQUE DES DONNEES THERMIQUES	91
1-1-1 INVENTAIRE ET ETAT DES DONNEES THERMIQUES	91
1-1-2 ESTIMATION DES DONNEES MANQUANTES	91
1-2 VARIATIONS TEMPORELLES DES TEMPERATURES	92
1-2-1 VARIATION DES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES	92
1-2-2 LE REGIME THERMIQUE MENSUEL ET SAISONNIER	94
2- L'EVAPOTRANSPIRATION	99
2-1 CHOIX DE LA METHODE DE L'EVALUATION DE L'E.T.P.	99
2-2 VARIATION DE L'E.T.P. DANS LE TEMPS	101
2-2-1 VARIATIONS ANNUELLES	103
2-2-2 VARIATIONS MENSUELLES ET SAISONNIERS	103
CONCLUSION	106

**TROISIEME PARTIE:**

**REGIME ET ELEMENTS DE FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE  
DE L'O. MELLOULOU**

<b>CHAPITRE VII: VARIATIONS TEMPORELLES DES APPORTS DE L'O. MELLOULOU</b>	<b>107</b>
1- LES STATIONS HYDROMETRIQUES ET LA QUALITE DE LEURS MESURES	107
1-1 LES STATIONS HYDROMETRIQUES	107
1-2 QUALITE DES OBSERVATIONS HYDROMETRIQUES	108
1-3 SOURCES ET DUREE DES OBSERVATIONS HYDROMETRIQUES	108
2- DEBITS ANNUELS	108
2-1 VARIATIONS INTERANNUELLES DU DEBIT DU MELLOULOU	108
2-2 ETUDE FREQUENTIELLE DES DEBITS MOYENS ANNUELS	109
3- DEBITS MENSUELS	113
3-1 REGIME HYDROMETRIQUE MENSUEL MOYEN	113
3-2 REGIME PROBABLE	116
4- DEBITS JOURNALIERS	116
4-1 EVOLUTION JOURNALIERE DU DEBIT	116
4-2 DEBITS JOURNALIERS CLASSES	118
CONCLUSION	120
<b>CHAPITRE VIII: EXPLOITATION DES EAUX DE L'O. MELLOULOU</b>	<b>121</b>
1- PERIMETRES IRRIGUES	121
1-1 A L'AMONT DE BELFARAH	121
1-2 A L'AVANT DE BELFARAH	123
2- CONSOMMATION EN EAU	130
2-1 A L'AMONT DE BELFARAH	130
2-2 A L'AVANT DE BELFARAH	130
CONCLUSION	134
<b>CHAPITRE IX: ETIAGES ET TARISSEMENTS DE L'O. MELLOULOU</b>	<b>135</b>
1- ETIAGES	135
1-1 PROBLEMES POSES PAR L'ETUDE DES ETIAGES ET METHODE ADOPTEE	135
1-2 CHOIX DU SEUIL ET DE LA STATION DE L'ETUDE	136
1-3 ETIAGES DE L'OUED MELLOULOU	137
1-3-1 DUREE DE LA PERIODE D'ETIAGE	137
1-3-2 ETUDE FREQUENCIELLE DES ETIAGES	140
2-TARISSEMENTS	143
2-1 REGIME DES TARISSEMENTS	143
2-2 ETUDE DU VOLUME DYNAMIQUE	146
CONCLUSION	148



<b>CHAPITRE X: ETUDE DES CRUES DE L'O. MELLOULOU</b>	<b>152</b>
1- DIFFICULTE D'ADOPTION D'UNE DEFINITION DE LA CRUE	152
2- FREQUENCES ET REPARTITION DES CRUES DANS LE TEMPS	153
3- CARACTERISTIQUES DES CRUES DE L'O. MELLOULOU	154
3-1 POINTES DE CRUES	157
3-2 MONTEES DE CRUES	158
3-3 LES DECRUES	159
4- ETUDE DE CAS PARTICULIERS DE CRUES	162
4-1 LES CRUES SECONDAIRES	162
4-1-1 CRUE D'OCTOBRE 1982	162
4-1-2 CRUE DE FEVRIER 1986	165
4-1-3 CRUE DE MARS 1986	169
4-2 LES CRUES PRINCIPALES	172
4-2-1 CRUE DE JANVIER 1970	172
4-2-2 CRUES DE MAI 1963	176
4-3 VOLUMES DES CRUES	180
5- ETUDE DES DEBITS MAXIMUM INSTANTANES ET MOYENS JOURNALIERS ANNUELS	182
5-1 VARIATION DES DEBITS MAXIMUM INSTANTANES ET MOYENS JOURNALIERS ANNUELS	182
5-2 ETUDE FREQUENTIELLE DES DEBITS MAXIMUM INSTANTANES ANNUELS	182
CONCLUSION	185
<b>CHAPITRE XI: ETUDE DE BILANS</b>	<b>188</b>
1- BILAN AVERSE-CRUE	188
1-1 CHOIX DES CRUES A ETUDIER	188
1-2 APPORTS PLUVIOMETRIQUES	188
1-2-1 TRACÉ DES CARTES ISOHYETES	188
1-2-2 LAME D'EAU PRECIPITEE, EVALUATION ET DISCUSSION	189
1-3 ECOULEMENT: DECOMPOSITION DE L'HYDROGRAMME DES CRUES, PRINCIPE, APPLICATION ET RESULTATS	189
2- BILAN GLOBAL	196
CONCLUSION	197
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>200</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX</b>	<b>206</b>
<b>TABLE DES PHOTOGRAPHIES</b>	<b>208</b>
<b>TABLE DES FIGURES</b>	<b>209</b>
<b>DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES</b>	<b>214</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>215</b>





## INTRODUCTION GENERALE

*" Affluent de la rive gauche de la Moulouya, Tissot (géographe de la province romaine d'Afrique) veut que cet oued soit le Flumen Amilo dont Pline (H. N. VIII. 2) rapporte qu'il coulait en Mauretanie et que les éléphants venaient s'y purifier solennellement à la nouvelle lune. Il n'y a rien d'impossible à ce que l'O. M'loulou soit ce fleuve Amilo: le débit apporté au confluent avec la Moulouya est aussi important que celui de la Moulouya elle même. De plus l'arrière-pays formant le bassin moyen du M'loulou était plus accessible aux Romains que celui formant le bassin moyen et supérieur de la Moulouya, et leur était par conséquent mieux connu. Il est d'autre part impossible que l'Amilo soit l'oued Amlil affluent de l'Innaouen." (Anonyme, 1919, p. 33)*

La Moulouya, pour le Maroc oriental, est ce qu'est le Nil pour l'Egypte: une grande partie de l'économie de la région dépend de ses apports. Elle draine une superficie d'environ 50000 km<sup>2</sup> en amont de Mechra Klila. Les principaux affluents de la Moulouya sont, de l'amont vers l'aval, l'O. Ansegmir, l'O. Melloulou, l'O. M'Soun et l'O. Za. Le bassin-versant de ce dernier est le plus grand de ceux des affluents de la Moulouya avec environ 18000 km<sup>2</sup>. Mais, le plus abondant est l'O. Melloulou avec un débit spécifique de 3,9 l/s/km<sup>2</sup> (1955-56/1985-86) suivi de l'O. Ansegmir avec 3,1 l/s/km<sup>2</sup> (1959-60/1985-86), d'où l'importance des apports de l'O. Melloulou, mais ces apports sont-ils aussi important que le signale l'auteur de la citation?

Le domaine du Maroc oriental est très vaste mais l'insuffisance des pluies (environ 300 mm/an) et leur grande variabilité dans le temps fait obstacle à l'évolution de l'exploitation agricole. D'où la nécessité d'exploiter les potentialités hydrauliques de la Moulouya en plus des réserves souterraines de la région pour pouvoir satisfaire les besoins en eau.

C'est pourquoi la présente étude veut être tout d'abord une contribution à la connaissance des véritables potentialités du Melloulou avec un souci de faciliter tout projet ultérieur d'aménagement ou de gestion de ses apports. Car les études sur le Melloulou et son bassin-versant sont très rares; en dehors des rapports et des études de projet réalisées par différentes administrations, le bassin-versant du Melloulou n'a jamais été étudié dans sa globalité. Les différents travaux de recherche réalisés ou en cours se sont intéressés partiellement au bassin-versant. Parmi ces travaux on peut citer: Colo G.,(1961), Raynal R.,(1961), Zeryouhi I.,(1970), Coletta B.,(1977), Peyre C.,(1979), Nabil L.,(1985), El Fellah B., (Thèse d'état en cours).

D'autre part, la recherche dans le domaine de l'hydrologie géographique au Maroc reste très pauvre en comparaison avec d'autres disciplines géographiques. Par conséquent, cette étude est aussi une participation à la recherche dans ce domaine à coté des travaux déjà

réalisées notamment par Loup J.,(1961), Afkir E.,(1985), Aghzaf A.,(1985), Aïchane M.,(1986), Gharbi S.,(1986), Dergal A.,(1988).

L'étude pluvio-hydrométrique du Melloulou s'est heurtée à de multiples problèmes. Le premier résulte de l'éloignement du terrain étudié par rapport au laboratoire d'accueil. Ainsi la durée des missions d'étude sur le terrain a été prolongée pour combler leur faible fréquence.

Une autre difficulté a pour cause le caractère montagneux du bassin-versant; le réseau routier est constitué exclusivement de pistes souvent impraticables après de fortes pluies, les zones de montagnes sont, donc, rarement accessibles pendant la période pluvieuse. A cela s'ajoute la carence des moyens de transport en commun. Cependant des tournées dans le bassin-versant ont été effectuées grâce à la coopération de certains services tel que le service des eaux et forêts de Taza et la D.R.H. d'Oujda et également grâce à la collaboration de Mr El Fellah B. (Maître assistant et chercheur à l'institut scientifique à Rabat) dont la connaissance de la région nous a été très bénéfique.

Comme signalé antérieurement, la majeure partie des études faites sur le bassin-versant sont des rapports ou des études de projets réalisées par différentes administrations et souvent à caractère confidentiel. D'où la difficulté d'accès à l'ensemble de cette documentation.

La réalisation de cette étude était confrontée également à des problèmes liés à l'état de l'information numérique (données météorologiques et hydrométriques). Ainsi à la faiblesse de la densité du réseau d'observation s'ajoute le nombre limité des éléments météorologiques mesurés: en dehors de la pluviométrie et, dans une moindre mesure, la température, les autres éléments sont rarement mesurés et les mesures disponibles sont de mauvaise qualité.

L'information de base utilisée dans ce travail est constituée des travaux déjà réalisés sur la région, de la documentation cartographique et de l'information numérique enrichis et complétés par l'étude sur le terrain.

La méthode de recherche adoptée est basée sur:

- la critique de l'information de base,
- la description et l'analyse des éléments et des phénomènes étudiés,
- l'interprétation des résultats et conclusions.

L'application de cette méthode de recherche a nécessité l'utilisation de plusieurs moyens et techniques notamment:

- La représentation cartographique de certains éléments telle que la répartition spatiale des pluies.
- l'utilisation de méthodes statistiques et formules mathématiques pour tester, compléter et analyser l'information numérique, pour prévoir les pluies et les débits en années de forte indigence ou de forte abondance ou encore

pour étudier la probabilité de réalisation de certains phénomènes tels que les très fortes crues.

Pour cerner le sujet, les thèmes abordés ont été traités en onze chapitres, groupés en trois parties.

La première partie, composée de deux chapitres, traite du contexte de l'écoulement de l'O. Melloulou. Ainsi, après la discussion des limites du bassin-versant et l'estimation de sa superficie, les facteurs explicatifs de l'écoulement et l'hydrographie du Melloulou sont étudiés.

Les principaux aspects du climat du bassin-versant du Melloulou sont traités dans la deuxième partie. En raison des données disponibles et leur état, les points étudiés sont:

- la variation spatiale des pluies avec recherche des facteurs explicatifs de cette variation,
- la variation temporelle de la pluviosité,
- l'évolution des températures et de l'évapotranspiration.

Les cinq derniers chapitres, regroupés dans la troisième partie, tendent à mettre en évidence les différents aspects de l'écoulement du Melloulou tout en mettant son comportement en relation avec les différents facteurs qui le conditionnent. Ainsi, les thèmes traités dans ces chapitres sont:

- les variations des débits du Melloulou à différentes échelles de temps,
- l'exploitation des apports du Melloulou,
- l'étude des étiages,
- l'étude des crues et de leurs caractéristiques,
- l'évaluation du bilan de l'écoulement à l'échelle des averses/crués et à l'échelle globale.



**PREMIERE PARTIE:**

**COMPOSANTES DU PAYSAGE DU BASSIN-VERSANT DU  
MELLOULOU**





**PREMIERE PARTIE**  
**COMPOSANTES DU PAYSAGE DU BASSIN-VERSANT DU MELLOULOU:**

Le Moyen Atlas est l'une des grandes chaînes montagneuses du Maroc. Il est limité au Nord par le couloir sud rifain, à l'Ouest par la Méséta marocaine, au Sud par le haut Atlas et à l'Est par la vallée de la Moulouya.

Le moyen Atlas est généralement subdivisé en deux parties:

-le moyen Atlas méridional accolé au haut Atlas.

-le moyen Atlas septentrional qui englobe le reste de la chaîne. Il est à son tour subdivisé en deux parties: les Causses moyen atlasiques et le moyen Atlas septentrional plissé.

L'O. Melloulou représente le plus important affluent de la rive gauche de l'un des plus grand oueds du Maroc: l'O. Moulouya (fig.1). Il draine la majeure partie du moyen Atlas septentrional plissé ainsi que la partie méridionale de la plaine de Guercif. Sous une forme triangulaire, son bassin versant s'allonge du SW au NE entre les latitudes 33°31'N, 34°13'N et les longitudes 3°22'W, 4°14'W, et s'ouvre sur le Maroc oriental.

**CHAPITRE I**  
**CONTEXTE DE L'ECOULEMENT DANS LE BASSIN-VERSANT DU MELLOULOU:**

**1- CADRE TOPOGRAPHIQUE**

**1-1 MORPHOMETRIE**

La délimitation d'un bassin-versant et la connaissance de son aire sont deux éléments fondamentaux pour toute étude pluvio-hydrologique. Le débit brut ou spécifique, l'étude des relations entre les débits et les pluies dépendent largement de ces deux éléments. Mais, il faut préciser tout d'abord que dans le présent travail seul le bassin versant topographique sera pris en considération. L'existence d'un apport souterrain, la présence de couches calcaires susceptibles de contenir un écoulement karstique, n'ont pas permis de connaître le bassin versant réel qui, dans notre cas, peut être plus vaste.

La consultation des documents dont nous disposons nous a révélé un désaccord assez visible sur la superficie du bassin. Selon l'annuaire hydrologique du Maroc, le Melloulou en amont de Guercif draine une superficie de 2724 km<sup>2</sup>. L'administration de l'hydraulique (1987) propose une surface de 2655 km<sup>2</sup>. Zeryouhi, I. (1971), quant à lui estime cette superficie à

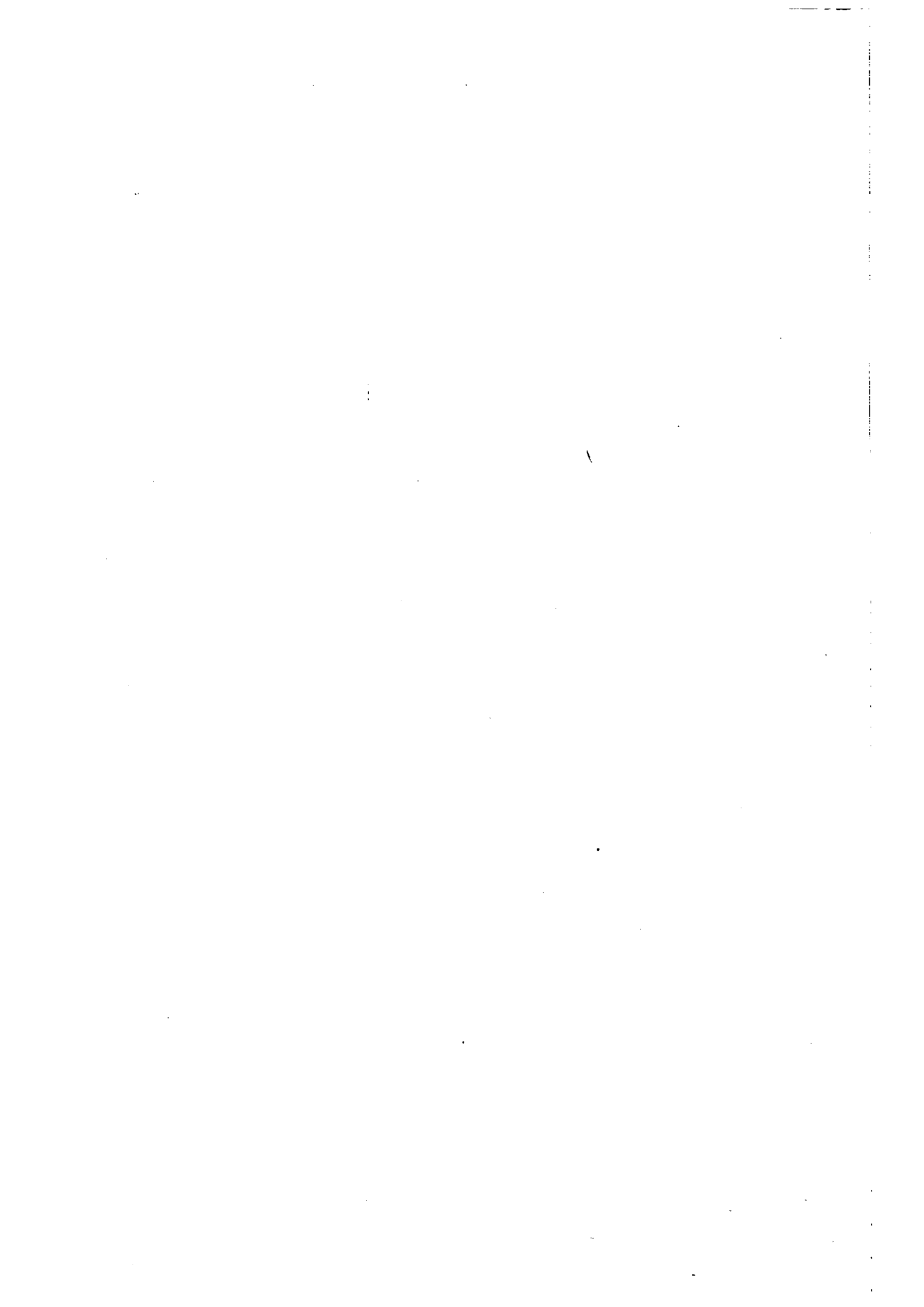
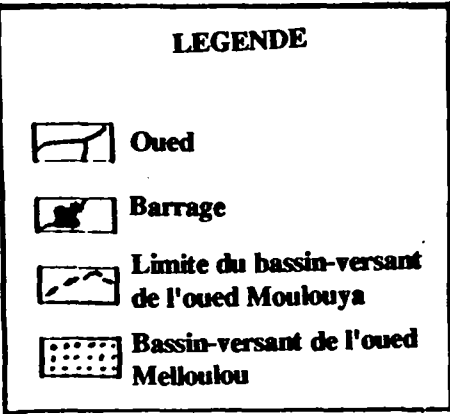
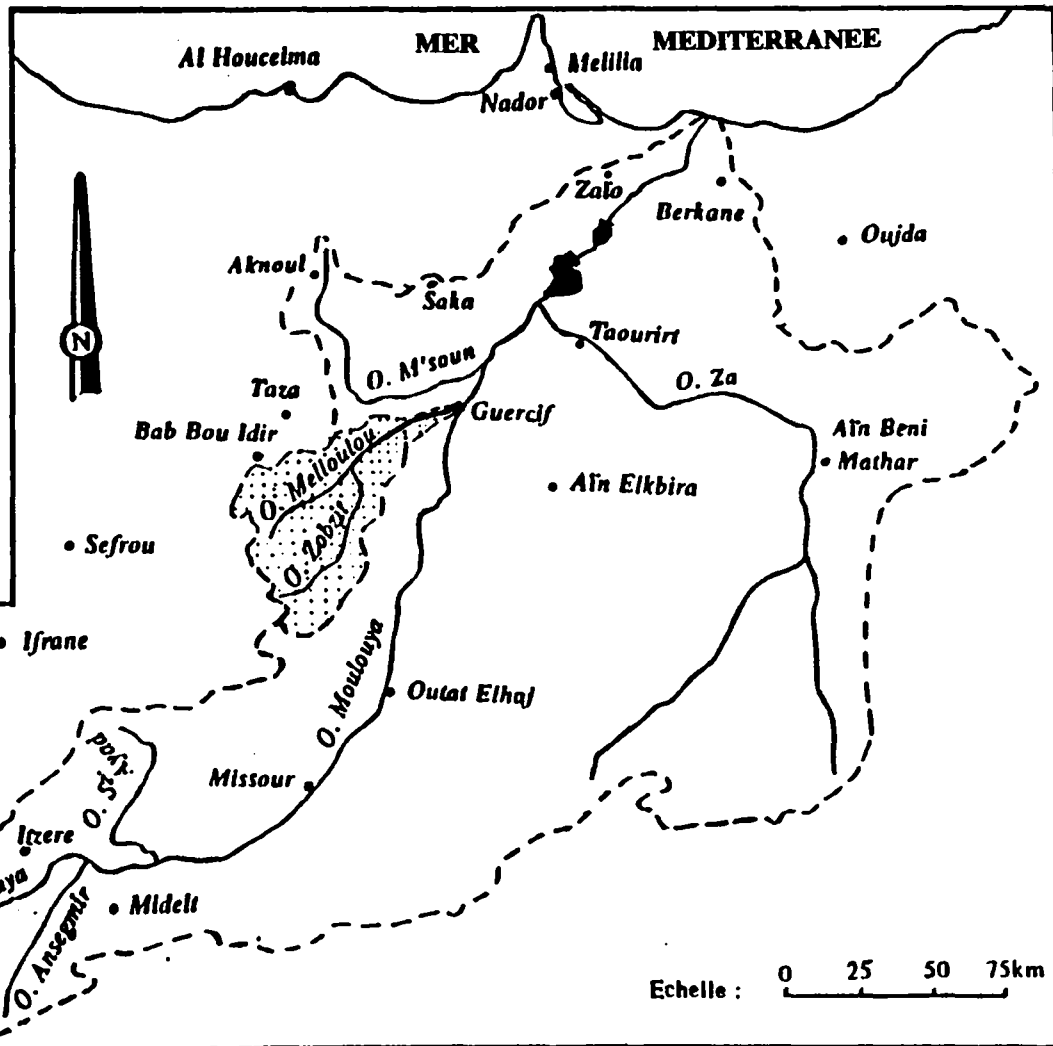
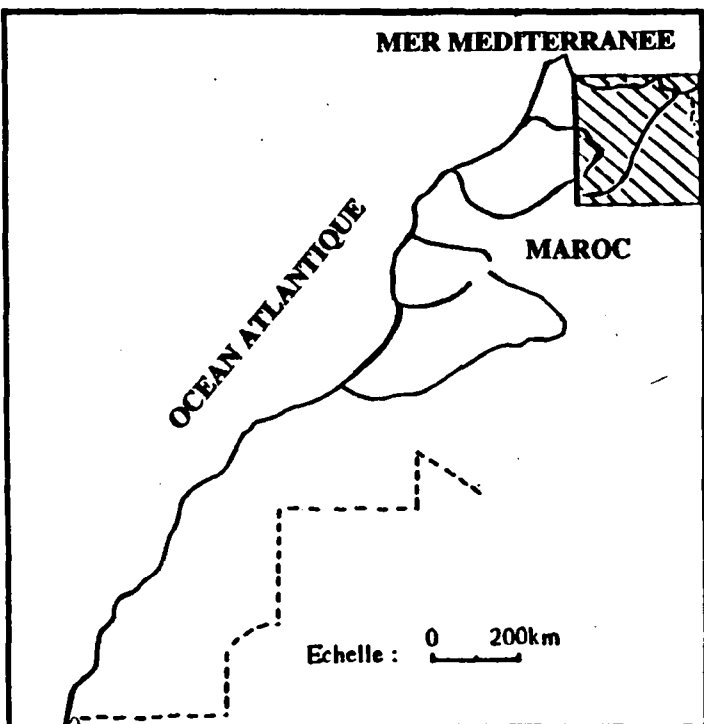


Fig. 1. - Carte de localisation des bassin-versant de l'oued Moulouya et de l'oued Melloulou



2598 km<sup>2</sup>. Ce désaccord serait-il dû à des problèmes de délimitation du bassin versant ou à un problème de planimétrie?

Zeryouhi n'a pas révélé sa source et par conséquent, on ne dispose pas de document cartographique pour pouvoir juger sa proposition.

Dans l'annuaire hydrologique, la carte du bassin proposée a été réalisée à partir d'une carte topographique au 1/500.000<sup>ème</sup> (feuille d'Oujda, fig.2).

L'administration de l'hydraulique, dans son étude du plan directeur du bassin de la Moulouya (1987), a présenté une carte du bassin au 1/500.000<sup>ème</sup> également, (fig.3). Son tracé est quasi similaire à celui du document précédent. Mais, le fait de se baser sur une carte d'une telle échelle ne serait-il pas un handicap pour avoir un tracé satisfaisant et, par la suite, diminuer le risque d'erreur du planimétrie?

En se basant sur des cartes au 1/100.000<sup>ème</sup>, une autre délimitation du bassin est faite. La confrontation de ce nouveau document avec les précédents nous révèle, malgré la similitude apparente, d'importantes différences notamment au niveau du cours supérieur de l'artère principale et la limite gauche en aval de la station Belfarah.

Pour les documents précédemment cités, le bassin-versant de Guelta Tamda (fig.8), qui représente 80 km<sup>2</sup> environ est drainé par le cours supérieur du Melloulou. La vérification de cela sur place n'était pas possible vu les difficultés d'accès à cette région. Mais, en se basant sur les cartes topographiques au 1/100.000<sup>ème</sup> et les photos aériennes au 1/17.500<sup>ème</sup>, on peut conclure à l'inexistence de liens superficiels entre Guelta Tamda et Le Melloulou, mais, cela n'exclut pas la possibilité de l'existence de contacts souterrains.

A partir d'une carte topographique insuffisamment détaillée, les auteurs des deux précédentes cartes du bassin ont choisi la limite gauche en aval de Belfarah à mi-chemin entre l'O. Melloulou et l'O. M'Soun (autre affluent de la Moulouya). Mais, en se référant aux données du terrain ainsi qu'à l'étude géomorphologique de Raynal R.,(1961), la limite se situe à environ 2 km au Nord du Melloulou. Cela représente 110 km<sup>2</sup> environ de moins.

Par conséquent, ce désaccord nous a obligé à planimétrer l'aire du bassin après une nouvelle délimitation. Cette opération a été réalisée à l'aide d'un planimètre. Elle a révélé une superficie de 2476 km<sup>2</sup>, soit une différence allant de 4,7 à 9% par rapport aux précédentes estimations.

On conclut donc que, malgré une probabilité d'erreur dans le planimétrie, liée soit à la méthode ou à l'instrument utilisé, les principales différences sont liées à un problème de délimitation du bassin. La surface retenue pour le présent travail, par conséquent, sera 2476 km<sup>2</sup>.



Fig. 2 . - Délimitation du bassin-versant d'après l'annuaire hydrologique

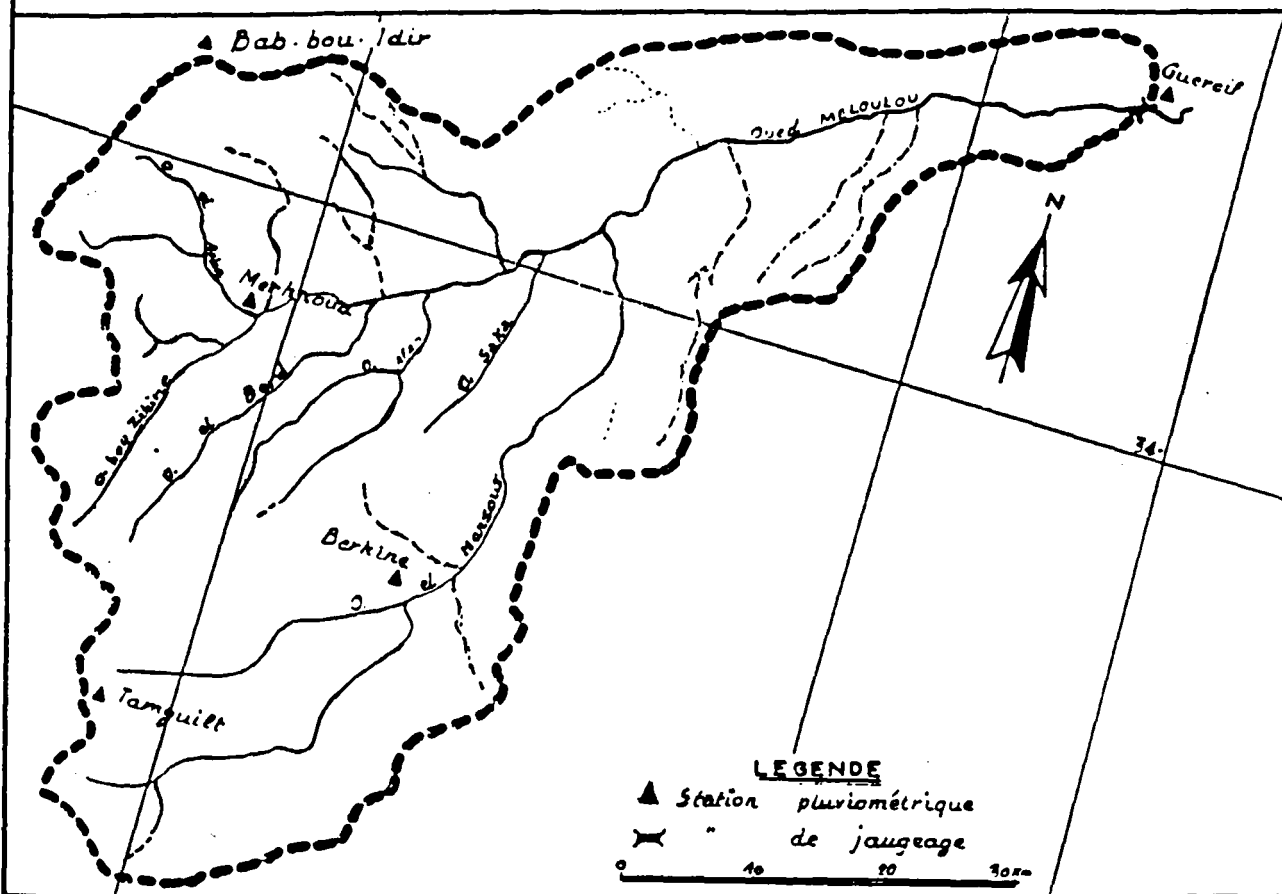
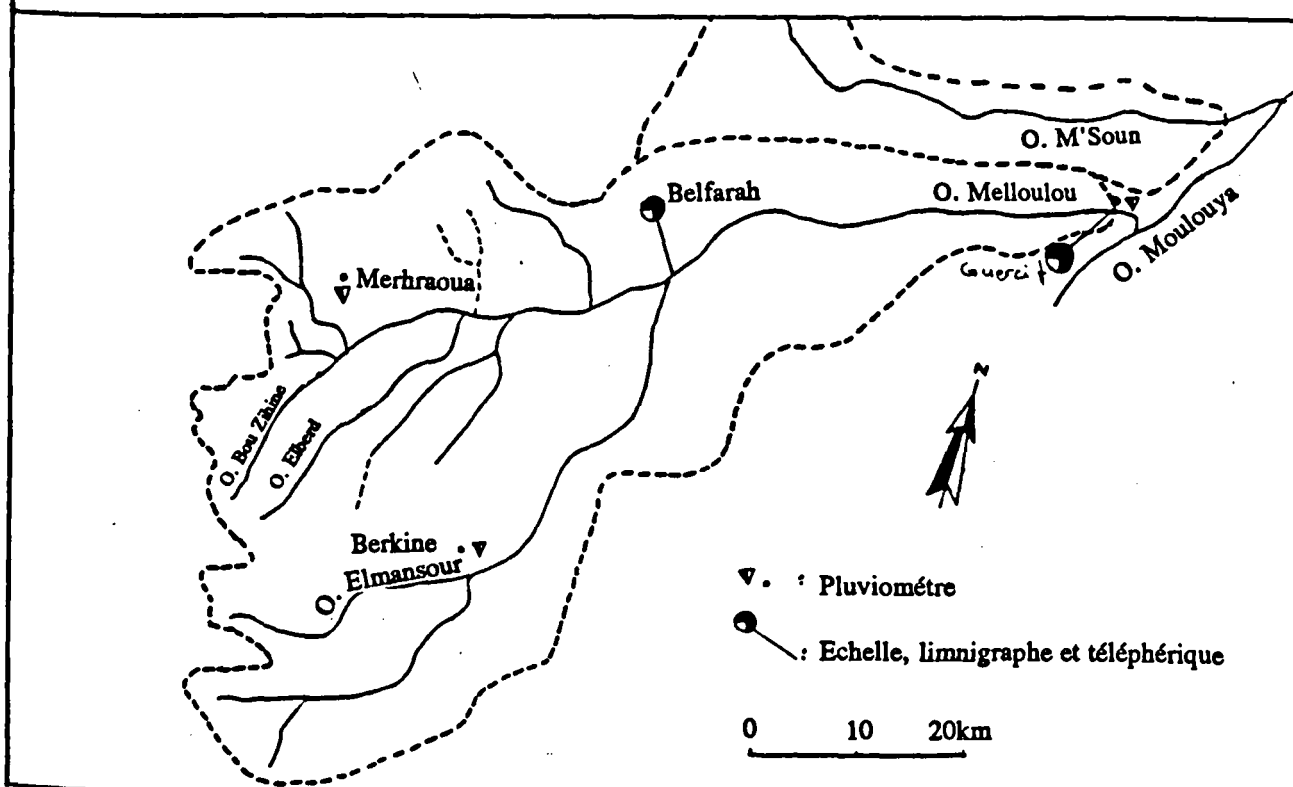


Fig. 3 . - Délimitation du bassin-versant d'après le rapport de l'administration de l'hydraulique



Guelta Tamda correspond au cours supérieur de l'O. Bou Zihine

## **1-2 REPARTITION DES ALTITUDES**

L'O. Melloulou draine un impluvium assez important. La diversité des régions que son réseau hydrographique parcourt lui a donné un aspect hypsométrique très varié. Les figures 4 et 5 et le tableau 1 résument l'essentiel de cet aspect pour l'ensemble du bassin. Ils ont été élaborés à partir des cartes topographiques au 1/100.000<sup>ème</sup>. Ces deux documents montrent que:

-Le bassin-versant du Melloulou est situé entre 360 m et 3326 m d'altitude. La dénivellation, par conséquent, est de 2966 m pour une distance d'environ 88 km à vol d'oiseau entre les deux altitudes extrêmes. L'altitude moyenne du bassin est à 1800 m, l'altitude de fréquence 50% se trouve à 1400 m et l'altitude la plus fréquente à 600 m.

-Les altitudes croissent du NE vers le SW. Les dénivellations prennent de l'importance vers l'amont et la montée de la courbe hypsométrique qui est quasi rectiligne jusqu'à l'altitude de 2000 m s'accélère au delà de ce niveau.

-La tranche d'altitude inférieure à 400 m n'occupe qu'une petite surface bordant les deux cotés de l'O. Melloulou sur une dizaine de kilomètres en amont de la station hydrométrique de Guercif située à environ 360 m d'altitude.

-Les surfaces comprises entre 400 m et 800 m représentent la plus grande fréquence 26,3%. Elles couvrent la totalité de la partie inférieure du bassin. Elles s'étendent jusqu'à la confluence de l'O. El berd avec le Melloulou. Dans leur partie amont, ces surfaces sont bien réparties de part et d'autre du Melloulou. En revanche, vers l'aval, le bassin s'élargit en rive droite au détriment d'une bande étroite variant d'un kilomètre à deux sur la rive opposée. La courbe 600 m partage cette tranche d'altitude en deux parties inégales dont la plus grande est située entre 600 m et 800 m et occupe 58%.

-La tranche suivante couvre 24,6% de la totalité du bassin. Elle se situe entre 800 m et 1200 m. Cette portion est très découpée par les cours d'eaux qui la traversent, ce qui lui donne un prolongement tout au long de ces cours comme c'est le cas en amont de la gorge d'Igli tout au long de l'O. Zobzit. La partie comprise entre 800 m et 1000 m, bien qu'elle ne représente que 9,7% de tout le bassin, est très importante; elle englobe la ligne de délimitation de deux domaines topographiques:

\*la plaine de Guercif couvrant environ 1/3 du bassin, elle est le lieu de confluence du Melloulou et ses différents émissaires.

\*le domaine du Moyen Atlas occupe la majorité du bassin et ses sommets dépassent 3000 m.

-Les terrains situés entre 1200 m et 1600 m s'étalent sur une superficie aussi grande que la précédente (23,9%). Avec la tranche d'altitude suivante 1600 m à 2000 m (13,2%), ils englobent les versants des hautes montagnes du Moyen Atlas, ainsi que quelques

Fig. 4 . - Carte hypsométrique du bassin-versant de l'O.  
Melloulou

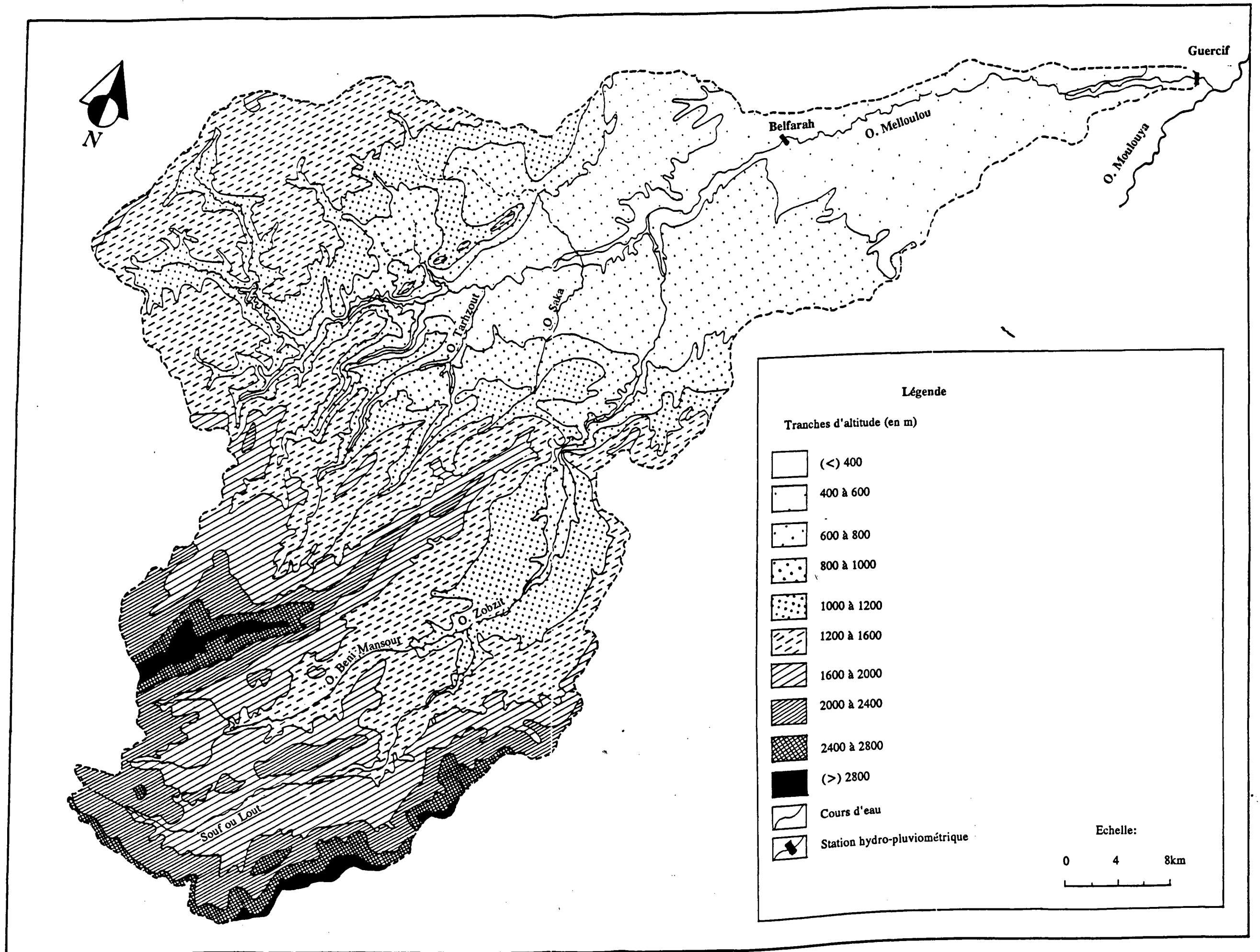
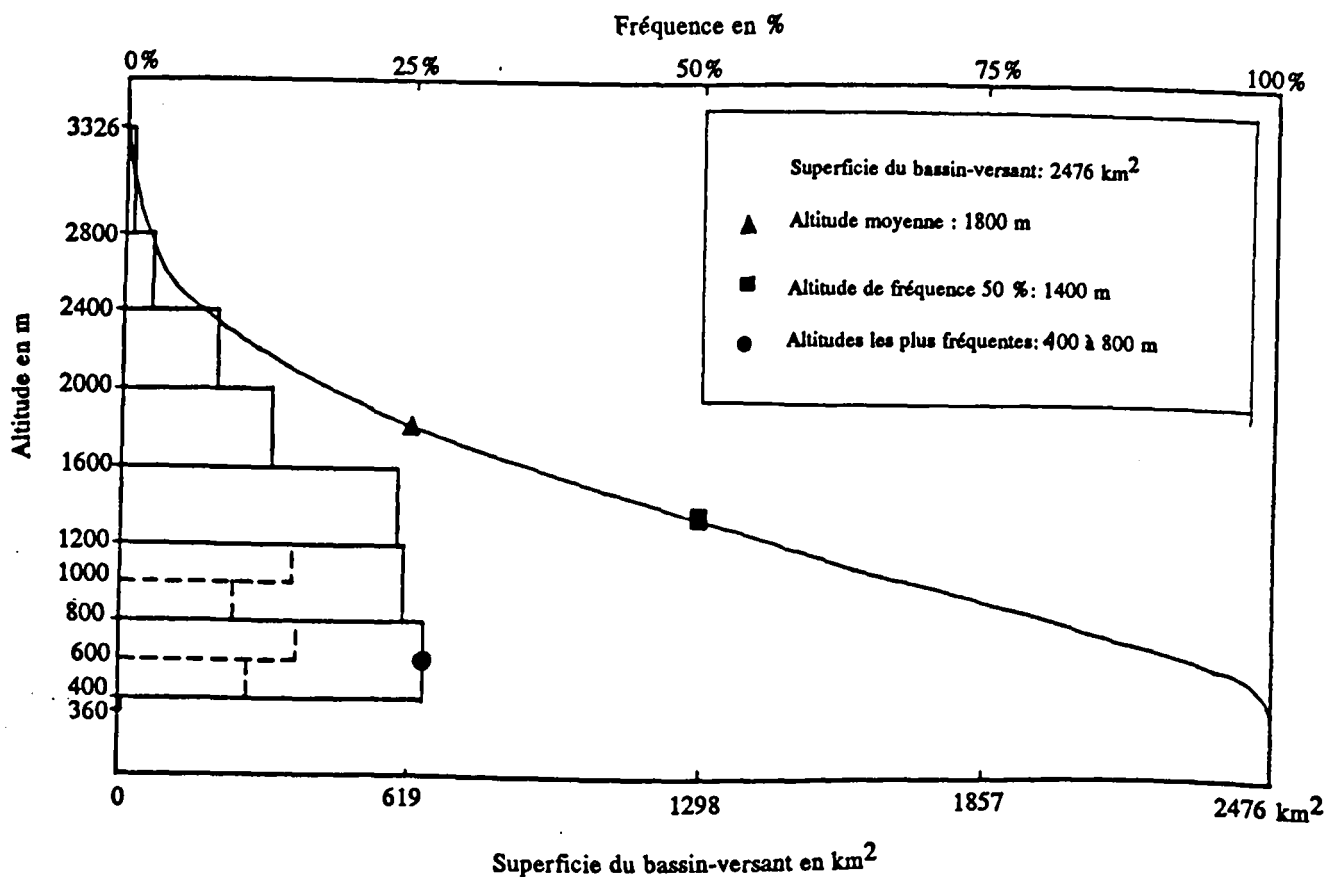


Fig. 5 . - Courbe hypsométrique et histogramme des fréquences altimétriques du bassin-versant du Melloulou à Guercif



Tabl. 1. - Répartition, en tranches d'altitudes, de la surface du bassin-versant du Melloulou à Guercif

		Tranches d'altitudes ( en m )									Total	
		( < )	400 à 800		800 à 1200		1200 à 1600	1600 à 2000	2000 à 2400	2400 à 2800		( > )
		400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1600	2000	2400	2800		2800
Surfaces	Km <sup>2</sup>	9	650		609		592	328	207	59	22	2476
	( % )	0.4	26.3		24.6		23.9	13.2	8.3	2.4	0.9	100
	% Cum.	100	99.6		73.3		48.7	24.8	11.6	3.3	0.9	---
			99.6	88.5	73.3	63.6						

basses montagnes telle que: J. Rouf ou Jellid (1946 m), J. Irhefker (1852 m), J. Azrou Ouassès (1750 m).

-Seulement 11,6% du bassin dépassent 2000 m, soit 288 km<sup>2</sup> dont 206,5 km<sup>2</sup> compris entre 2000 m et 2400 m. Cette portion du bassin est constituée des hautes montagnes. Elle englobe les points culminants non seulement du bassin mais aussi de toute la chaîne du Moyen Atlas: J. Bou Nasser ( 3326 m), J. Moussa ou Salah (3172 m), Adrar n'Siouane (3128 m), Adrar Tizdi (3055 m), J. Tanout (2974 m), J. Taounza (2711 m).

On peut donc noter une diversité topographique que nous ne saurions expliquer que par une longue évolution morpho-structurale.

## **2- CADRE GEOLOGIQUE**

Les grandes structures constituant le B.V. du Melloulou ont fait l'objet d'un certain nombre d'études géologiques. En effet notre but se limitera à un rappel des principaux aspects susceptible de nous aider à comprendre le comportement hydrologique du Melloulou.

### ***2-1 UNITES GEOLOGIQUES DU BASSIN:***

Le bassin versant de l'O. Melloulou est constitué de deux unités géologiques distinctes par leur structure ainsi que par leur lithologie (fig.6).

#### ***2-1-1 LE MOYEN ATLAS SEPTENTRIONAL PLISSE***

Il occupe la majorité de la surface du bassin. Du point de vue Stratigraphique, il est constitué de formations allant du Permo-Trias jusqu'au Jurassique supérieur. Son histoire tectonique lui a donné une structure très complexe. Pourtant, Colo G.,(1961) a distingué l'existence de quatre rides anticlinales parallèles qui se succèdent du NW au SE et qui sont séparées par des zones synclinales (fig.7).

Le bassin-versant est situé dans la partie septentrionale du Moyen Atlas plissé, entre la première de ces rides anticlinales et la quatrième. Les unités structurales les plus importantes dans ce bassin, du NW au SE, sont les suivantes:

-La première ride anticlinale borde le bassin au NW; elle est constituée de J. Hallouf et J. Azrou Ouassès. Du point de vue Lithologique, les formations du Lias inférieur prédominent.

-Les synclinaux de Bechine et Merhraoua forment la zone synclinale septentrionale du bassin. Leur structure est très faillée par rapport au reste du bassin-versant.

-La deuxième ride anticlinale est représentée par J. Ouarirt, J. Ahmar, J. Sahrij et Adrar Bou Mellal. Son flanc NW est affecté par l'accident moyen-atlasique.



Fig. 6 . - Croquis géologique du bassin-versant  
de l'O. Melloulou

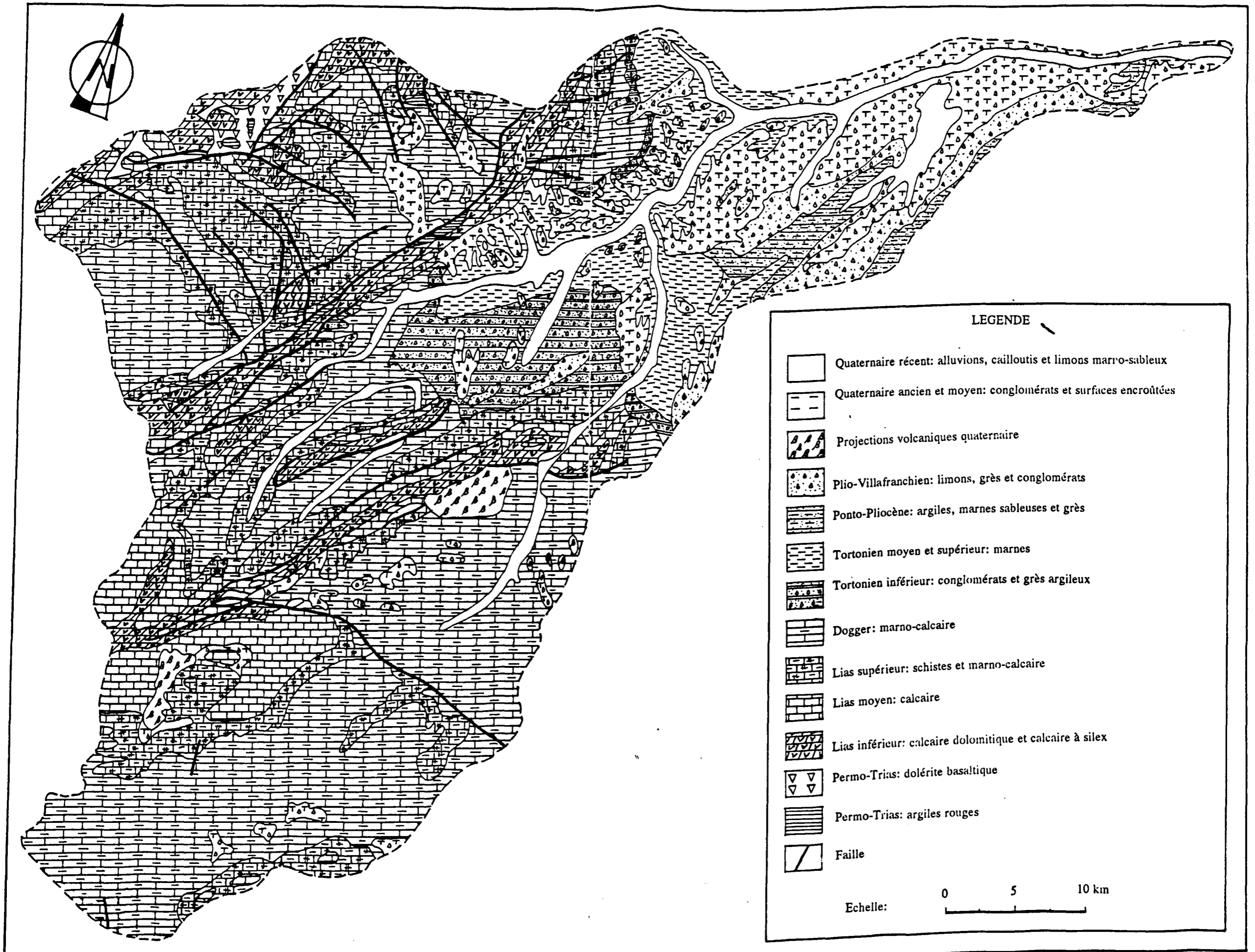
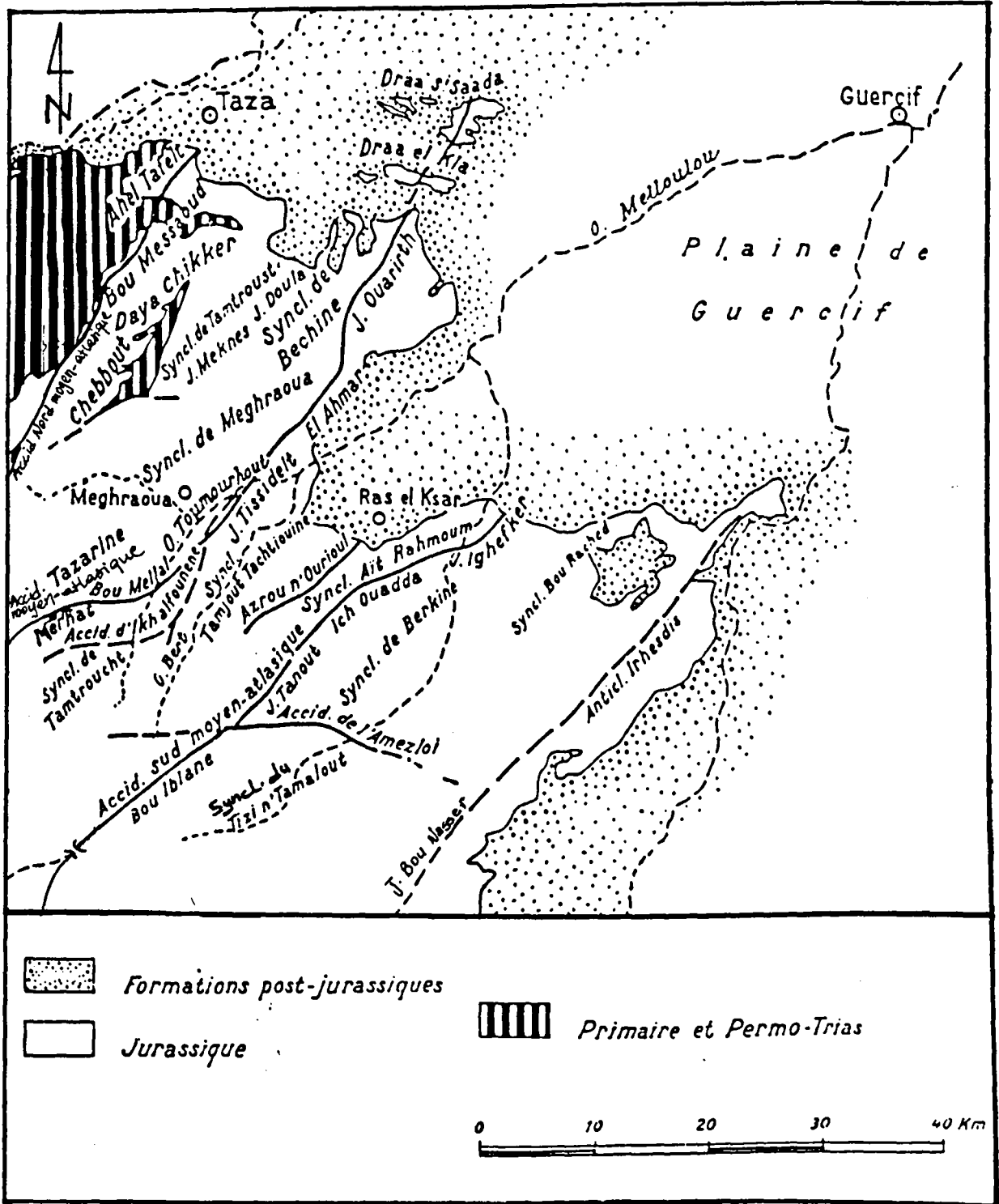


Fig. 7 . - Croquis structural du moyen-Atlas septentrional plissé



Source: Colo, G. (1961)

-Les synclinaux de Tamjout et Tamtroucht sont constitués de formations allant du Lias moyen au Bajocien. Ces formations s'enfoncent sous les formations miocènes de Ras El Ksar.

-La troisième ride anticlinale est constituée par J. Bou Iblane, J. Tanout, Ich Ouaziz, Ich Ouadda et J. Irhefker. Son flanc NW est affecté par l'accident sud moyen-atlasique.

-La zone synclinale méridionale représente un intérêt hydrologique très important car elle abrite l'essentiel des niveaux aquifères du bassin-versant. Elle est partagée par la faille d'Amezlout en deux synclinaux: au Nord le synclinal de Berkine et au Sud le synclinal de Tizi n'Tamalout (fig. 8).

-La quatrième ride anticlinale est représentée par J. Bou Nasser, Adrar n'Siouane et J. Taounza. Elle limite le bassin-versant vers le SE.

### ***2-1-2 LE BASSIN SEDIMENTAIRE DE GUERCIF***

C'est une cuvette à remplissage miocène, pliocène et quaternaire. Son substratum est constitué du prolongement des couches Jurassiques du Moyen Atlas plissé. Le bassin-versant se situe dans la partie méridionale de cette cuvette.

## ***2-2 LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE***

Les caractéristiques hydrologiques d'un bassin-versant et le comportement de son réseau hydrologique sont liés, pour une grande part, à la nature lithologique de ses terrains. D'où l'importance de connaître les différents faciès constituant le bassin du Melloulou et apprécier leur perméabilité.

### ***2-2-1 LE PERMO-TRIAS***

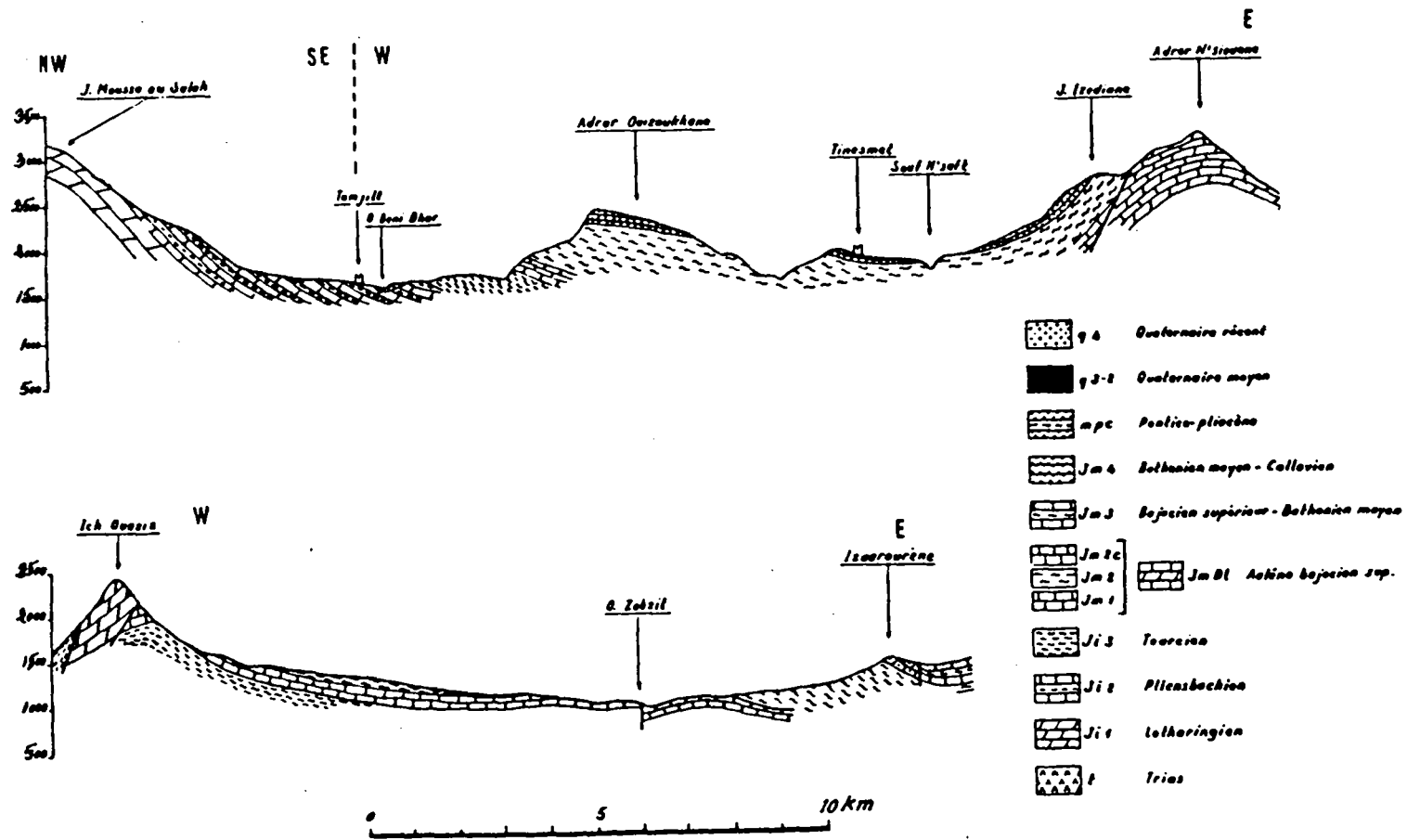
C'est une formation imperméable. Elle est constituée de niveaux de dolérite basaltique et parfois d'argiles rouges à gypse et sel gemme. Ses affleurements sont très localisés et se limitent aux grands accidents au cœur de la première ride anticlinale et de la deuxième.

### ***2-2-2 LE LIAS***

Les affleurements du lias représentent 30% du bassin du Melloulou dont 14% environ pour le Toarcien. A l'exception de ce dernier qui est peu perméable, les formations liasiques sont perméables.

-Le Lias inférieur est constitué de calcaires dolomitiques à la base, surmontés de calcaires à silex en gros bancs. A l'exception de l'axe anticlinal du Bou Nasser, ces formations

Fig. 8 . - Coupes géologiques à travers le bassin-versant de l'oued Zobzit entre la troisième et la quatrième ride anticlinale



Source: Zeryouhi I., (1977)

affleurent dans toutes les autres rides anticlinales. Leur puissance est très variable: de 70 à 85 m à la deuxième ride anticlinale, ils peuvent atteindre 120 m à la première ride.

-Le Lias moyen affleure dans tous les anticlinaux et forme le sommet du Bou Nasser. Son faciès est principalement calcaire et on peut distinguer:

\*Le Pliensbachien commence dans la série calcaire à silex du Lias inférieur. Il se poursuit par des calcaires noirs ou gris-noir avec parfois des intercalations marneuses ou schisteuses. A la deuxième ride anticlinale, leur épaisseur passe de 30 m au NE à 150 m au SW.

\*Le Domérien est représenté généralement par des calcaires avec des interlits marneux. Leur épaisseur est aussi variable que celle de la série Pliensbachienne: elle varie de 50 à 80 m à Adrar Bou Mellal et atteint 100 m à J. Bou Iblane.

-Le Lias supérieur (Toarcien) est représenté par une série très épaisse de schistes surmontée par un niveau marno-calcaire. Ces formations affleurent sur les bordures de tous les synclinaux et leur épaisseur dépasse 120 m.

### 2-2-3 LE DOGGER

Le Dogger affleure sur une très grande surface du bassin; environ 34%. Il représente également un grand intérêt hydrogéologique: Ses formations constituent les niveaux les plus aquifères du Moyen Atlas.

#### a) Le Bajocien:

Il couvre la majeure partie de la surface des synclinaux atlasiques du bassin-versant. Selon la nature lithologique des formations, on peut distinguer trois étages: l'Aaléno-Bajocien inférieur, le Bajocien moyen et le Bajocien moyen à supérieur. A l'exception des marnes du Bajocien moyen les autres formations sont d'une très bonne perméabilité.

-L'Aalénien à Bajocien inférieur est formé par un faciès calcaro-marneux fait d'une alternance de bancs de calcaire très minces et de lits de marnes qui s'épaississent au fur et à mesure qu'on remonte dans la série. Cette formation affleure dans tous les synclinaux et son épaisseur est variable: de 70 m au synclinal de Tamtroucht, elle atteint 150 m au synclinal de Merhraoua.

-Le Bajocien moyen est constitué d'une série marneuse nommée "marnes de Bouleman". Au synclinal de Berkine, elle est constituée de marnes gris-bleue, de schiste argileux et de calcaire marneux en minces bancs vers le sommet du faciès.

L'épaisseur des formations du Bajocien moyen varient de 100 m environ dans le synclinal de Bechine à 400 m au synclinal de Berkine.



-Le Bajocien moyen à supérieur présente un faciès de calcaire en gros bancs appelé "calcaire corniche". Son épaisseur et sa nature sont très variables dans le Moyen Atlas plissé.

#### **b) Le Bathonien:**

Son faciès est très variable; dans le synclinal de Merhraoua, il est représenté par des niveaux marno-calcaires. Vers le Nord, dans le synclinal de Bechine, les niveaux marno-calcaires sont accompagnés d'une série schisteuse avec des intercalations calcaires. Dans le synclinal de Berkine, le Bathonien est constitué de trois termes: Un niveau marno-calcaire d'environ 20 m, surmonté d'un niveau calcaire en bancs de 5 à 10 m d'épaisseur séparé par de minces interlits schisteux. Le tout est coiffé d'un deuxième niveau marno-calcaire d'une épaisseur de 15 à 20 m.

Malgré les quelques niveaux marneux, le Bathonien-Callovien est considéré comme une formation perméable.

### **2-2-4 LE MIOCENE**

Il correspond à une période transgressive. Le Moyen Atlas plissé, resté émergé, a été l'objet d'une érosion intensive. Le produit de cette érosion s'est accumulé dans le bassin sédimentaire de Guercif durant le Tortonien, et le tout a été couvert par des dépôts continentaux pendant le "Pontien" et le début du Pliocène.

L'ensemble de ces formations couvre 13% environ de la surface du bassin-versant. Elles affleurent dans la plaine de Guercif. Dans le Moyen Atlas, leurs affleurements sont très localisés.

-Le Tortonien inférieur affleure en abondance dans la région de Ras El Ksar d'où son nom "formation Ras El Ksar". Son épaisseur est importante, 800 m environ. C'est la seule formation perméable du Miocène. Elle est constituée d'un matériel détritique représenté par une série de conglomérats en gros bancs, couverte par des grès argileux jaunes.

-Le Tortonien moyen et supérieur est une formation à dominante marneuse. Elle débute par des grès suivis par des couches de marnes gris-bleue; le tout est couvert de passées gypsifères.

-Le Ponto-Pliocène affleure à l'Est de l'O. Mohand. Il est constitué d'une alternance d'argiles ou de marnes sableuses et de bancs de sable et de grès avec quelques interlits de calcaire lacustres.

### 2-2-5 LE PLIO-VILLAFRANCHIEN

C'est une formation qui affleure essentiellement sur les deux flancs de l'anticlinal de Kef Eddebah et sur le flanc Ouest de l'anticlinal de Koudiat Chouibir. Elle est constituée de matériaux détritiques.

### 2-2-6 LE QUATERNAIRE

Le Quaternaire s'étend sur 21% de la superficie du bassin du Melloulou. Il affleure dans la plaine de Guercif et à l'intérieur des synclinaux atlasiques sous forme de petites étendues. Sa nature lithologique lui permet une très bonne perméabilité.

-Le Quaternaire ancien et moyen: dans le Moyen Atlas, ils sont représentés par de petites surfaces caillouteuses à éléments rouges ainsi que des éboulis essentiellement calcaires en contre bas des corniches. Dans la plaine de Guercif, ils sont représentés par des niveaux de conglomérats et des surfaces encroûtées.

-Le Quaternaire récent est constitué:

\*de cailloutis et alluvions dans les lits actuels des cours d'eau.

\*d'épandages de limons marno-sableux et de terrasses limoneuses très exploitées par les agriculteurs.

Le Quaternaire est constitué aussi de roches volcaniques qui affleurent dans le Moyen Atlas plissé. On distingue ainsi les formations basaltiques et les cendres du volcan d'Ierfoud au Nord de Ich Ouaziz et le basalte du volcan de Tamjilt dans l'axe du massif de Bou Iblane.

## 2-3 OROGENESE ET EVOLUTION STRUCTURALE

La connaissance de l'évolution structurale dans un bassin-versant est très importante dans la mesure où elle peut nous rapporter des informations sur l'influence de la structure sur l'hydrologie.

*"Le Moyen Atlas septentrional est un vaste pli de fond, né sur l'emplacement d'un sillon allongé SW-NE, aux fonds mobiles et aux faciès extrêmement variables... Au point de vue orogénique, ce sont essentiellement les grands accidents longitudinaux, liés aux phases pyrénéennes, qui lui donnèrent son architecture d'ensemble."* (Colo G., 1961, p. 212).

La période antérieure aux phases orogéniques pyrénéennes représente la phase embryonnaire de la formation du Moyen Atlas septentrional plissé. Elle peut être résumée dans les phases suivants:

-Pendant le Primaire la région était couverte par la mer. Elle faisait partie d'une cuvette remplie par la suite par des dépôts secondaire.

-A la fin du Trias, on assiste à une phase orogénique qui a déformé les sédiments déjà déposés.

-Au cours du Lias inférieur et moyen la fosse subsidente du Moyen Atlas se forme. La profondeur maximale de cette fosse était atteinte à J. Ouarirt.

-Au Tortonien un régime de "vasière" s'instaure sur la totalité du Moyen Atlas. Les périodes ultérieures ont été caractérisées par une alternance de phases de régression et de transgression. Cela a entraîné, en effet, des périodes d'érosion et d'autres de sédimentation dans cette vasière.

Après cette phase embryonnaire se succèdent deux phases orogéniques ayant joué un rôle important dans la formation du Moyen Atlas:

-Les phases orogéniques pyrénéennes sont responsables en majeure partie de la formation de la charpente du Moyen Atlas; elles ont donné naissance aux grands accidents longeant les trois premières rides anticlinales: l'accident nord moyen-atlasique, l'accident moyen-atlasique et l'accident sud moyen-atlasique.

-Les phases alpines ont engendré la plupart des accidents obliques du Moyen Atlas septentrional; la majorité des accidents présents entre les deux premières rides anticlinales et la faille d'Amezlouy qui sépare les synclinaux de Tizi n'Tamalout et Berkine.

Tout au long de cette période, le bassin sédimentaire de Guercif stricto-sensu n'existait pas encore. Il s'est développé ultérieurement sur un substratum Jurassique qui constitue en même temps la charpente du Moyen Atlas plissé. Selon Coletta B., (1977), on peut distinguer trois phases d'évolution tectonique dans le bassin sédimentaire de Guercif:

-Une phase extensive qui a duré du Tortonien au Pliocène. Elle est associée à une faille sur la bordure méridionale du bassin.

-Une phase de compression du Pliocène supérieur au Quaternaire ancien. Elle a été accompagnée de quelques plis; anticlinal de Kef Eddebah au SE du douar Safsafat, ainsi que quelques failles.

-Une période post-quaternaire ancien. C'est une période modérément calme avec une tendance subsidente due à l'évolution des massifs bordiers et à l'affaissement du centre du bassin sédimentaire. Cette époque correspond également à une activité volcanique dans le Moyen Atlas septentrional.

### **3 HYDROGEOLOGIE DU BASSIN-VERSANT: RAPPEL DES DIFFERENTS**

#### **NIVEAUX AQUIFERES**

*"L'étude géologique du sol et du sous-sol a le plus souvent pour objet de classer ces derniers d'après leur plus ou moins grande perméabilité; celle-ci intervient au premier chef sur la rapidité de montée des crues et le soutien apporté aux débits d'étiages par les nappes souterraines." (Réméniéras G., 1986, p.173).*

Le bassin-versant du Melloulou est constitué de formations géologiques très variées. La nature lithologique et la structure de ces derniers a permis de distinguer des formations imperméables et d'autres plus ou moins perméables.

Les terrains perméables sont généralement de nature calcaire ou à dominante calcaire à l'exception des formations quaternaires dont la perméabilité est liée à la nature détritique des matériaux qui les constituent.

Les ressources en eau souterraines du bassin-versant du Melloulou se répartissent entre les niveaux aquifères du Lias et du Dogger. Le premier englobe les nappes des calcaires du Lias inférieur et moyen et l'aquifère du Toarcien, le second est constitué de la nappe de l'Aaléno-Bajocien et l'aquifère du Bajocien moyen.

### **3-1 LES NIVEAUX AQUIFERES ET NAPPES DU LIAS**

#### **3-1-1 LES NAPPES DES CALCAIRES DU LIAS**

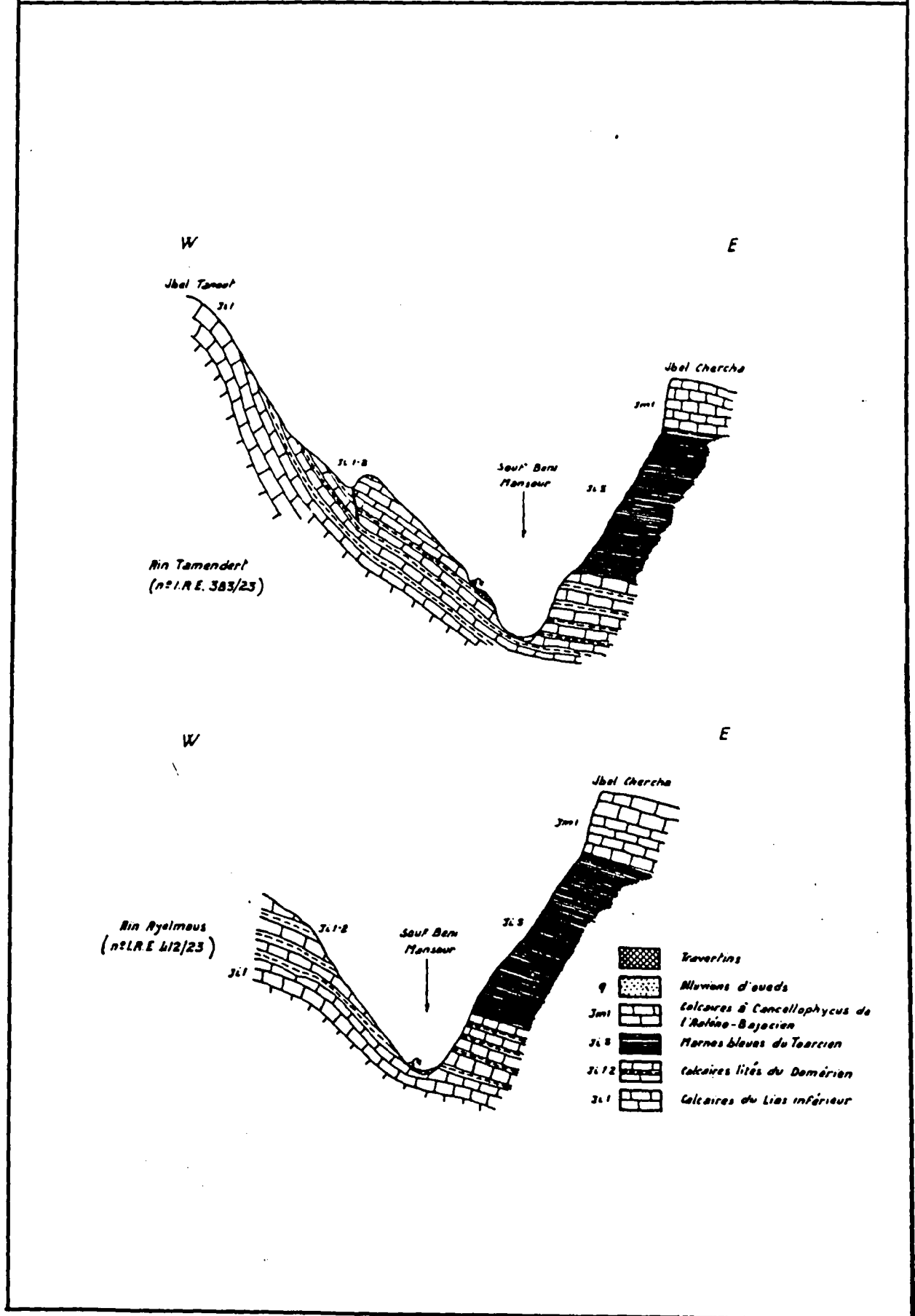
Les formations calcaires du Lias sont comptées pour les niveaux les plus aquifères du Moyen Atlas. Dans le bassin-versant du Melloulou ces formations recèlent deux nappes: la nappe des calcaires et dolomies en gros bancs du Lias inférieur et la nappe des calcaires lités du Domérien. Ces deux nappes sont en communication l'une avec l'autre. Elles sont reconnues seulement dans le synclinal de Tamjilt. Au nord de la faille d'Amezlouty ces nappes ne se manifestent pas: elles sont en charges sous la série des "marnes de Boulemane".

Les calcaires du Lias sont de nature fissurée et leur structure est moins complexe. Cela leur permet une grande perméabilité et assure une bonne circulation de l'eau qui est "*du type fissuré avec prédominance du régime turbulent bien qu'il ne s'agisse pas d'un véritable karst du point de vu morphologique.*" (Zeryouhi I.,1970).

L'origine de l'alimentation de cette nappe est l'infiltration des eaux pluviales et les eaux de la fusion nivale du massif du Bou Iblane. Le coefficient d'infiltration calculé par Zeryouhi I.,(1970) à partir des pluies moyennes et du débit des exutoires de la nappe est de 70%.

A l'exception des sources issues des niveaux inférieur du Domérien, les sources des calcaires du Lias inférieur et moyen sont abondantes. Parmi les plus importantes on distingue Aïn Tamendert (fig.9) avec un débit de 300 l/s, Aïn Ayelmous (fig.9) avec environ 20 l/s et Aïn Bou Hachime avec un débit de 17 l/s. En dépit de la variabilité des débits de ces sources leur apport est vital pour l'écoulement de l'O. Zobzit pendant la période des étiages.

Fig. 9 . - Quelques sources des nappes des calcaires du Lias



### **3-1-2 L'AQUIFERE DU TOARCIEN**

Le Toarcien est constitué de formations schisteuses et marno-calcaires dont la perméabilité est faible. Cet aquifère est alimenté par les eaux de la nappe du calcaire domérien. Le débit des sources sortant de ce niveau est très faible: en période d'abondance Aïn Tittaouine ne dépasse pas un débit de 80 l/s (seulement une dizaine de l/s en période d'indigence estivale).

## **3-2 NAPPES ET NIVEAUX AQUIFERES DU DOGGER**

### **3-2-1 NAPPES DES CALCAIRES DE L'AALENO-BAJOCIEN**

Elle circule dans des formations allant de l'Aalénien à l'Aaléno-Bajocien inférieur. Son faciès est constitué de marno-calcaires. L'alimentation de cette nappe provient de l'infiltration des eaux d'origine pluviale et nivale sur le massif du Bou Nasser. Le coefficient d'infiltration déduit des pluies moyennes et du débit aux exutoires de la nappe est d'environ 20% (Zeryouhi I., 1970). Malgré la nature fissurée assez développée des formations aaléno-bajociennes, l'hétérogénéité lithologique de leurs faciès n'a pas favorisé le développement d'une circulation karstique des eaux.

La nappe des calcaires de l'Aaléno-bajocien existe dans le synclinal de Berkine, Le synclinal de Merhraoua et dans la bordure occidentale du massif de Bou Nasseur. Mais étant donnée la faible étendue de la nappe dans les deux premières zones, le débit de la nappe est peu important. Par contre, à la bordure occidentale du Bou Nasseur la nappe est puissante: elle fournit des débits élevés. Les plus importantes sources qui drainent cette nappe sont Aïn Yazı et Aïn Tikhatabine qui fournissent un débit d'environ 100 l/s chacune.

### **3-2-2 L'AQUIFERE BAJOCIEN**

Cet aquifère est connu dans le synclinal de Berkine. Il siège dans la série des "marnes de Boulemane" où les niveaux calcaires intercalés dans cette série ont favorisé la circulation de l'eau. Les sources de ce niveau fournissent des débits très faibles: les plus importantes sont Aïn Amezri (4 l/s), Aïn Bou Chellane (3 l/s) et Aïn Sidi Ali (2 l/s).

## **3-3 LE SOUS-ÉCOULEMENT DU MELLOULOU ET DE SES AFFLUENTS (UNDERFLOW)**

L'existence d'alluvions et de formations détritiques quaternaires dans les vallées du Melloulou et de ses affluents a favorisé l'installation d'un sous-écoulement (underflow). Les plus connus sont ceux du Melloulou, du Souf Igli et de Tallet N'Yanjouria. Ces deux derniers suivent le tracé de la ligne de la faille d'Amzelouy, leur sous-écoulement sert de drain d'une

partie des eaux de la nappe des calcaires de l'Aaléno-Bajocien, mais leur débit est de faible importance.

Le sous-écoulement du Melloulou profite d'une épaisse couche d'alluvions. Il est connu en particulier dans la partie aval du bassin. Le substratum imperméable de ces alluvions est constitué de marnes miocènes. Les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère ne sont pas connues avec exactitude, mais la transmissivité semble bonne (D.P.E., 1985).

Les eaux de l'O. Melloulou sont la principale origine d'alimentation de cet aquifère. En effet, les prélèvements pour les périmètres irrigués de Taddert et de Guercif réduisent son alimentation surtout en été.

L'étude sur le terrain a permis de constater que l'eau de cet aquifère est exploitée grâce à des puits creusés à proximité du cours du Melloulou. La principale destination de cette eau est l'alimentation en eau potable des riverains.

#### **4- COUVERTURE VEGETALE**

Le bassin-versant du Melloulou n'a bénéficié que de rares études sur la végétation dont l'étendue est très limitée dans l'espace. Ainsi la présente étude est une description sommaire de la répartition des principales espèces végétales. Elle est basée sur les travaux de Peyre C., (1979) et Nabil I., (1985), ainsi que les observations faites sur le terrain.

La végétation dans le bassin-versant évolue des formations sèches dans la plaine du Jel à des formations humides vers les hautes montagnes.

Deux types de sols dominent dans la plaine du Jel; des sols squelettiques sur les cailloutis recouvrant les marnes miocènes et des sols bruns ou gris sur les limons. La roche mère de ces derniers est faite des croûtes calcaires formés à partir de limons et calcaires.

La végétation qui se développe sur ces sols est très pauvre et clairsemée. Elle est constituée de quelques épineux et quelques arbustes tel que le Jujubier.

Sur les marges ouest de la plaine, les formations d'alfa apparaissent. Mais leur étendue est très limitée sauf aux environs de J. Ouarirt où l'alfa occupe un grand espace.

Dans les zones de montagnes, la couverture végétale devient plus humide. Elle est constituée tout d'abord de genévrier de Phénicie et de thuya associés par endroit au chêne vert ou à l'alfa qui couvre une bonne partie du synclinal de Berkine et la partie est du synclinal de Tizi n'Tamalout.

En suite ces formations cèdent la place au pin d'Alep parfois mêlé au chêne vert.

Vers l'intérieur dans la zone de hautes montagnes et dans la partie ouest de Merhraoua, le genévrier de Phénicie, le thuya et pin d'Alep disparaissent. Ils laissent la place au chêne vert mêlé au pin maritime et au cèdre.

La densité de ces différentes formations est très variable. Les formations les plus denses sont celles situées dans les zones de production, exploitées par les eaux et forêts, dont les plus importantes se trouvent dans les régions de Tamjilt, Merhraoua et au sud-ouest de Ras Elksar.

### **CONCLUSION**

*En conclusion, on peut récapituler l'essentiel des facteurs qui conditionnent l'écoulement du Melloulou dans les points suivants:*

*-La délimitation du bassin-versant et l'estimation de sa surface a été l'objet d'un désaccord entre les différentes études. Une vérification des documents dont nous disposons, complétée par des observations sur le terrain, nous a conduit à estimer cette surface à 2476 km<sup>2</sup>.*

*-La topographie du bassin du Melloulou est assez variée. Elle est constituée à deux tiers de la chaîne montagneuse du Moyen Atlas et de ses plaines intérieures. Cela, en effet, peut jouer un rôle important dans les apports pluvio-niveaux du bassin.*

*-Deux unités géologiques se partagent la superficie du bassin du Melloulou:*

*\*le Moyen Atlas septentrional plissé et ses formations triasiques et jurassiques très accidentées où le Dogger prédomine avec ses faciès relativement perméables.*

*\*La partie méridionale du bassin sédimentaire de Guercif avec des formations généralement perméables.*

*-A l'exception des terrains quaternaires, les niveaux aquifères dans le bassin-versant sont liés aux formations calcaires ou à dominante calcaire du Lias et du Dogger. Mais, l'hétérogénéité de ces formations n'a pas favorisé l'installation d'une circulation du type karstique. Les débits fournis sont variables d'un aquifère à un autre et ils sont très sensibles aux variations des apports pluviométriques.*

*-L'évolution de la couverture végétale de formation sèches dans la plaine du Jel à des formations humides vers les hautes altitudes, reflète des nuances climatiques dont les grandes lignes seront tracées dans la partie suivante.*

*Quels seront, donc, les effets de ces différents aspects sur le climat et le comportement du Melloulou?*



**CHAPITRE II:**  
**LA FORMATION ET L'ORGANISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
**DU MELLOULOU:**

La géographie du B.V. du Melloulou joue un rôle important dans l'organisation de son réseau hydrographique: l'importance des apports, la densité du drainage et la géométrie de chaque affluent en dépendent énormément.

Par conséquent, on peut distinguer plusieurs catégories d'affluents distinctes par leur originalité et par leur ordre hiérarchique (fig.10, 11 et 12). L'O. Zobzit vient en tête de ces affluents par l'importance de son réseau hydrographique, sa surface drainée et ses ressources assez diverses. Un traitement à part de cette artère s'avère nécessaire.

**1- LE COLLECTEUR PRINCIPAL**

**1-1 FORMATION**

Le Melloulou parcourt la cuvette de Guercif; sa direction SW-NE en amont se transforme en une direction WSW-ENE vers l'aval. Sa naissance a eu lieu après les premiers mouvements orogéniques qui ont déformé les anciens terrains pliocènes et concentré l'écoulement dans cette zone.

En aval de la station Belfarah, le Melloulou s'enfonce dans le flanc Sud de la cuvette de Guercif à 2 km environ de son axe. Selon Raynal R.,(1961) seule la continuation de l'affaissement de la cuvette après la formation de l'Oued peut expliquer cette non conformité entre l'hydrographie et la structure.

**1-2 HYDROGRAPHIE**

Le Melloulou prend naissance dans le Moyen Atlas au nord de Guelta Tamda. Il parcourt une distance d'environ 96 km jusqu'à la station hydrométrique de Guercif, située à environ 2 km en amont de sa confluence avec la Moulouya. Il relie deux domaines topographiquement différents. Par conséquent, son comportement varie en fonction de chacun de ces domaines.

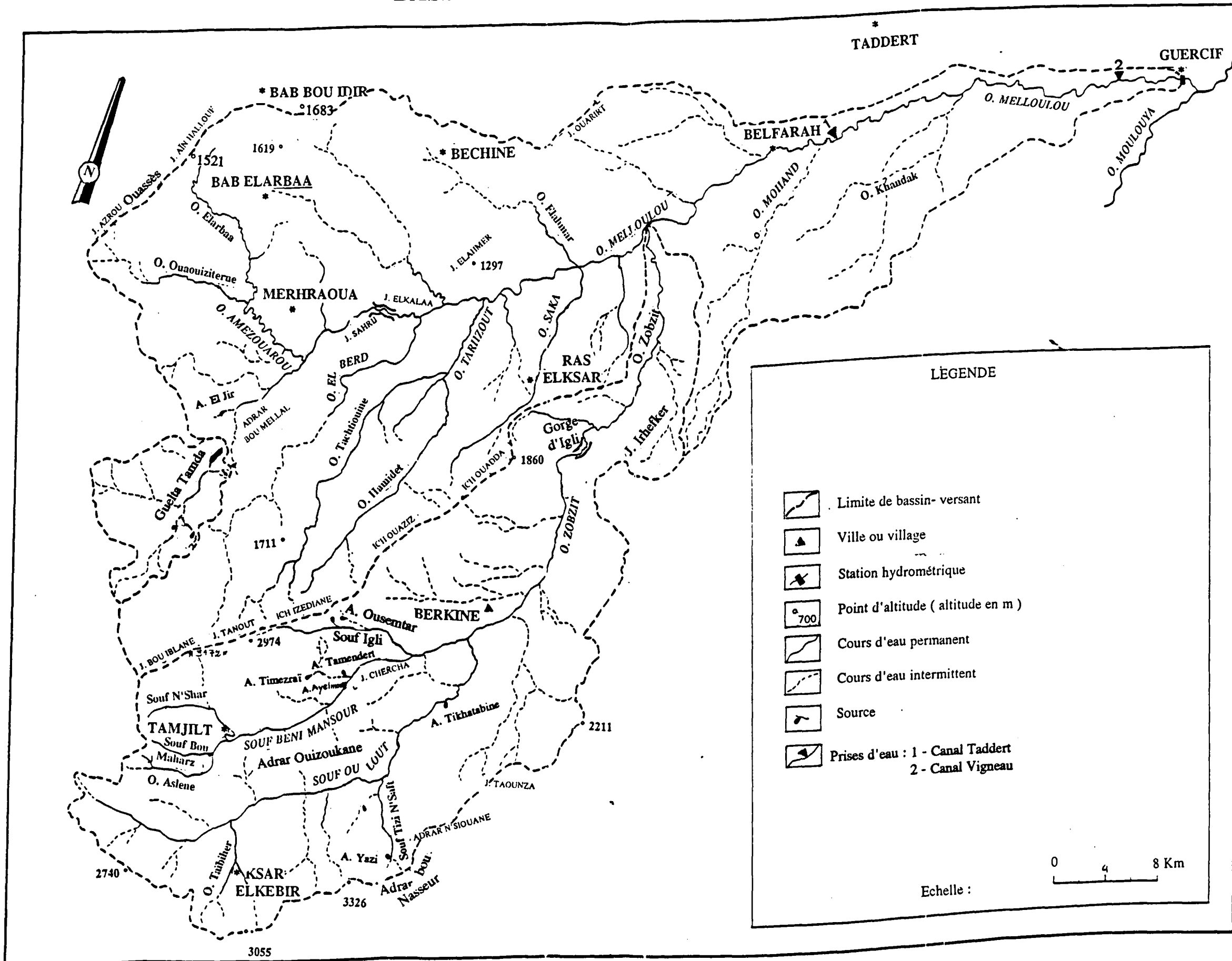
**a) Dans le domaine du Moyen Atlas:**

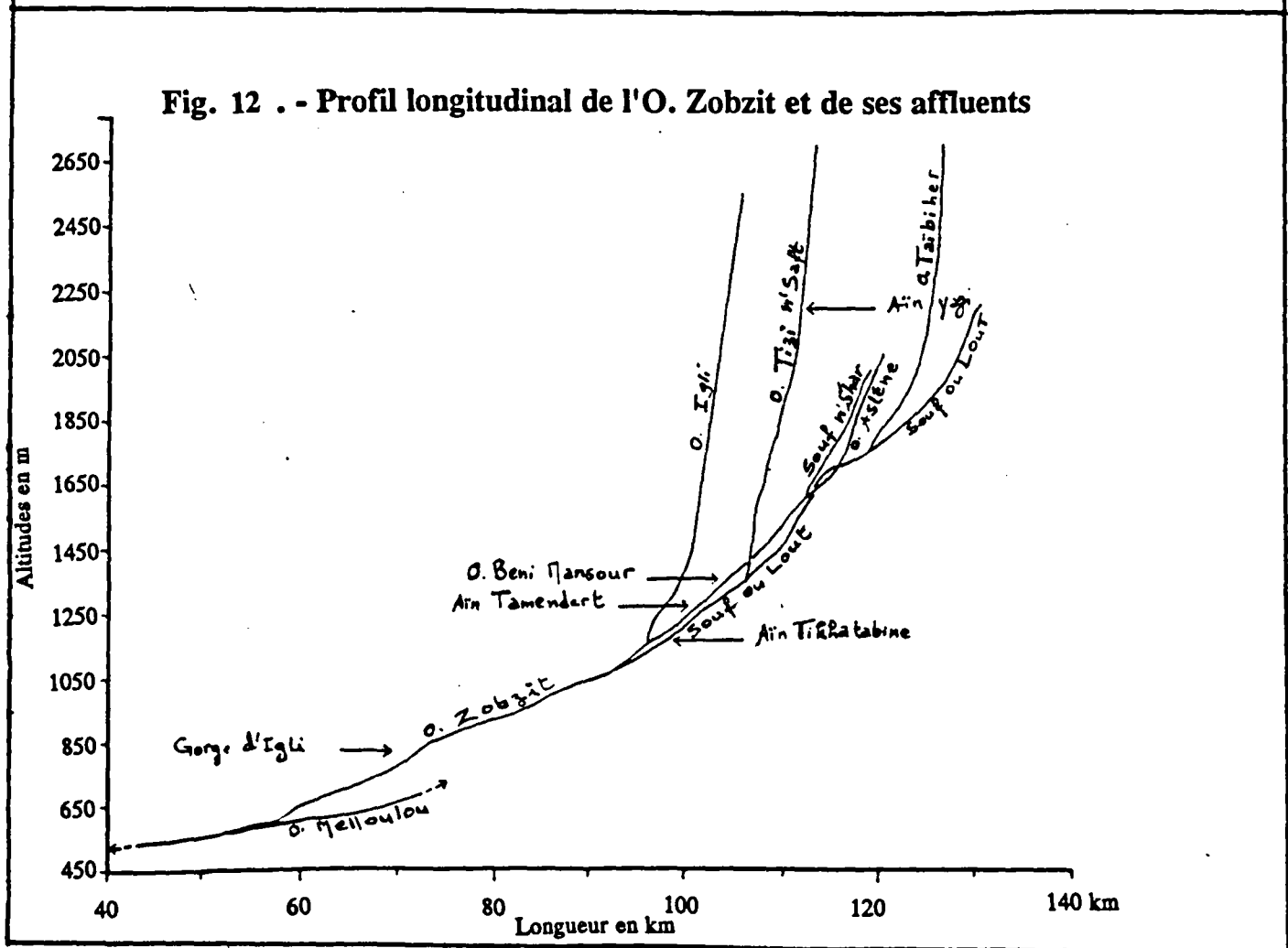
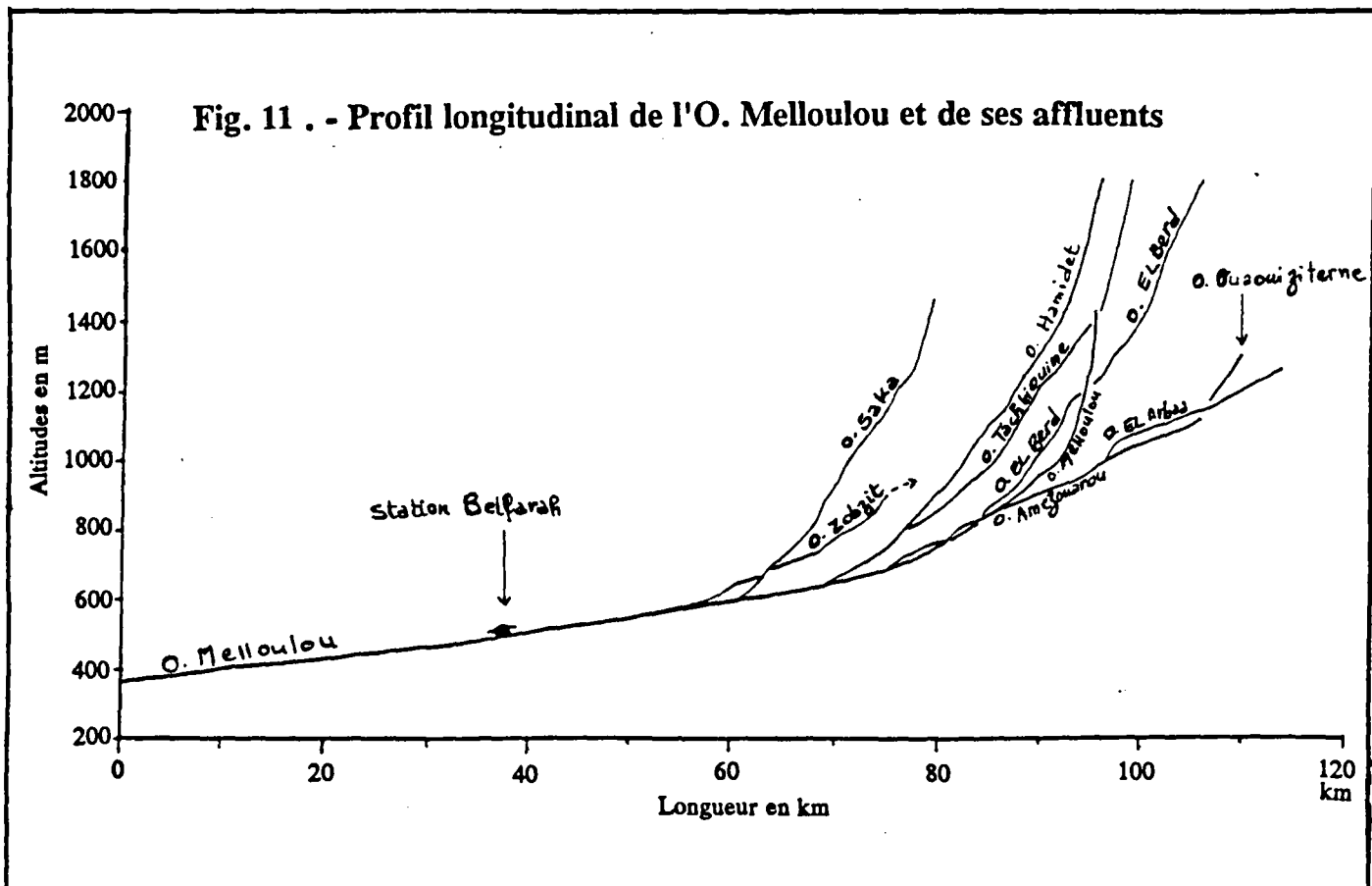
Le Melloulou s'enfonce dans le flanc occidental du deuxième axe anticlinal. Sa pente assez forte dans les premiers kilomètres; 13,8%, chute à 1,9% pour le reste du cours. Son orientation tout d'abord SSW-NNE devient SW-NE à sa percée de l'anticlinal au niveau de la gorge séparant J. Sahrij et J. El Kelaa.

**b) Le Melloulou dans la plaine de Guercif:**

Sur une distance d'environ 70 km, le Melloulou parcourt la plaine de Guercif. Sa pente est quasi stable (0,5%). Orienté SW-NE, il prend une direction WSW-ENE en aval

FIG. 10. CARTE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN-VERSANT DE L'OUED MELLOULOU





de Douar Safsafat et s'enfonce dans le flanc du synclinal post-pliocène de la cuvette de Guercif dont l'axe est à quelques centaines de mètres de sa rive gauche. Son cours a été creusé dans les matériaux de remplissage tertiaire et quaternaire. Contrairement au domaine atlasique, la vallée du Melloulou dans la plaine de Guercif est moins encaissée et son lit s'élargit dépassant parfois 1 km et offrant ainsi, au riverains des terrains de culture (photo.1).

La diversité des terrains traversés par le Melloulou, la variation de leurs caractéristiques tectoniques et lithologiques ont joué un rôle capital dans la répartition et l'organisation de son réseau hydrographique de part et d'autre du cours principal.

### ***1-3 LE RESEAU D'AFFLUENTS DE L'O. MELLOULOU***

Les surfaces drainées sur la rive droite du Melloulou sont plus importantes: Les limites du bassin-versant sont très éloignées du cours principal et Le réseau hydrographique est plus développé surtout entre la troisième et la quatrième ride anticlinale.

Sur la rive gauche les surfaces drainées deviennent de plus en plus étroites: En aval de la station de Belfarah, les limites du bassin se situent à environ 2 km du cours principal. La densité du réseau hydrographique est très faible dans cette zone et se limite à des cours d'eau intermittents.

#### ***1-3-1 LES AFFLUENTS DE LA RIVE DROITE***

L'essentiel des affluents de la rive droite, mis à part le Zobzit, s'organise entre la deuxième et la troisième ride anticlinale. De l'Ouest vers l'Est, on distingue trois principaux affluents:

-O. El Berd: son cours s'étend sur 42 km environ. Il draine le flanc Ouest du J. Bou Iblane et de J. Tanout. Sa vallée est très encaissée surtout le long de ses dix derniers kilomètres. son lit a été creusé dans des formations jurassiques. Son débit est lié étroitement aux apports météoriques malgré l'existence de quelques sources dont le débit est très modeste.

-O. Tarhzout: il draine dans son cours supérieur le flanc occidental d'Ich Izediane et Ich Ouaziz. Il est constitué de deux principales artères: O. Hamidet et O. Tachtouine. Les vallées de ces derniers sont taillées dans des couches jurassiques. Leur confluence marque le passage du Tarhzout du domaine atlasique au domaine de la plaine de Guercif.

-O. Saka: son cours s'enfonce dans les formations du lias supérieur avant de traverser les terrains miocènes en amont de Ras El Ksar. Il draine le versant ouest de J. Ouadda. Sa longueur est d'environ 20 km et sa dénivellation est de 900 m d'où une pente de 4,5%. Privé d'une alimentation souterraine suffisante, l'écoulement du saka est soumis aux variations des apports pluviométriques.

### 1.3.2 LES AFFLUENTS DE LA RIVE GAUCHE

L'O. Amroukou représente l'affluent le plus important de la rive gauche. Par l'intermédiaire de ses deux principales affluents O. Ouassoum et O. El Arba, il draine le gradient de Merzouga et ses bouches nord et sud.

Son cours a été creusé dans des terrains jurassiques très érodés. Sa longueur est d'environ 30 km et sa pente est très variable: 1,2% - 1,7%.

La vallée de l'O. Amroukou est assez étroite et son fond est plat ou à peu près plat.

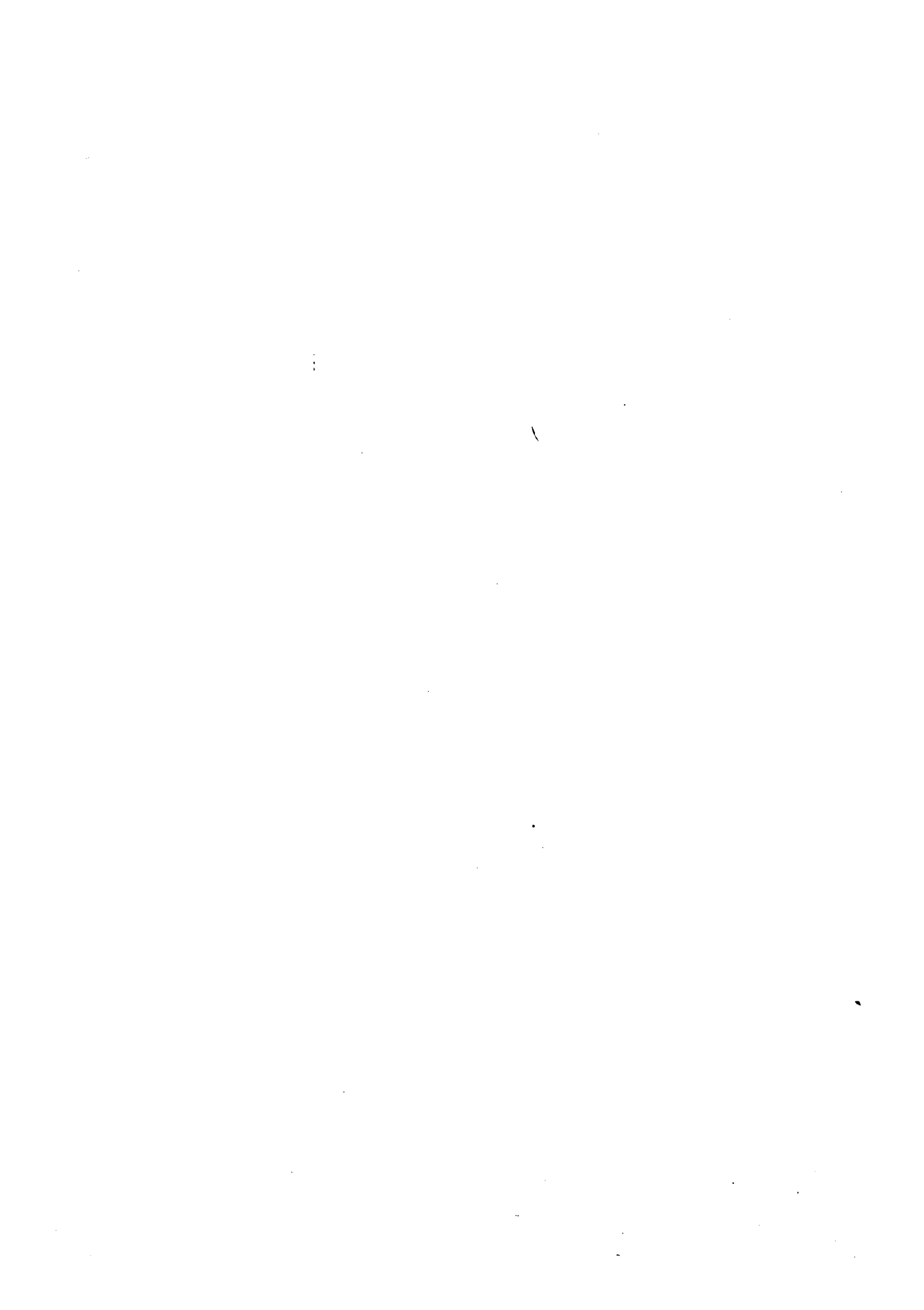
Le cours de l'O. Amroukou est très sinueux et ses bouches sont très écartées. La vallée de l'O. Amroukou est très étroite et son fond est plat ou à peu près plat.

**Photo. 1. - La vallée de l'oued Melloulou à Khmis Souihla**



**Le 20-09-1991**

**Vue de la vallée de l'oued Melloulou au niveau de douar Khmis Souihla (à l'amont immédiat de la station de Belfarah). La vallée du Melloulou est large (environ 1 km) et l'exploitation est importante**





### ***1-3-2 LES AFFLUENTS DE LA RIVE GAUCHE***

L'O. Amezouarou représente l'affluent le plus important de la rive gauche. Par l'intermédiaire de ses deux principales artères: O. Ouauizitern et O. El Arbaa, il draine le synclinal de Merhraoua et ses bordures nord et ouest.

Son cours a été creusé dans des terrains jurassiques très accidentés. Sa longueur est d'environ 30 km et sa pente est très modeste: 1,2%-1,7%.

La vallée de l'O. Amezouarou est assez encaissée et son tracé est sinueux tout au long de sa partie aval.

Le reste du réseau hydrographique de la rive gauche du Melloulou, est constitué d'affluents torrentiels. Leur rôle se limite à véhiculer le surplus pluviométrique du domaine semi-aride de la plaine du Jel et ses bordures.

### **2- L'OUED ZOBZIT**

L'O. Zobzit est le principal affluent de l'O. Melloulou. Il draine environ 36% de la superficie de ce dernier. Il est aussi le seul collecteur des eaux pluvio-nivales et souterraines des massifs du Bou Iblane et du Bou Nasser.

#### ***2-1 FORMATION***

La formation de l'O. Zobzit a commencé tout d'abord par l'installation de ses deux principales artères: Le Souf ou Lout et le Souf Beni Mansour.

Le premier prend sa naissance au pied du Bou Nasser, tandis que le deuxième s'enfonce dans le flanc SE du Bou Iblane le long de la corniche bajocienne de la cuesta de Ouizoukane. En amont de Berkine ces deux cours se rejoignent pour former le Zobzit.

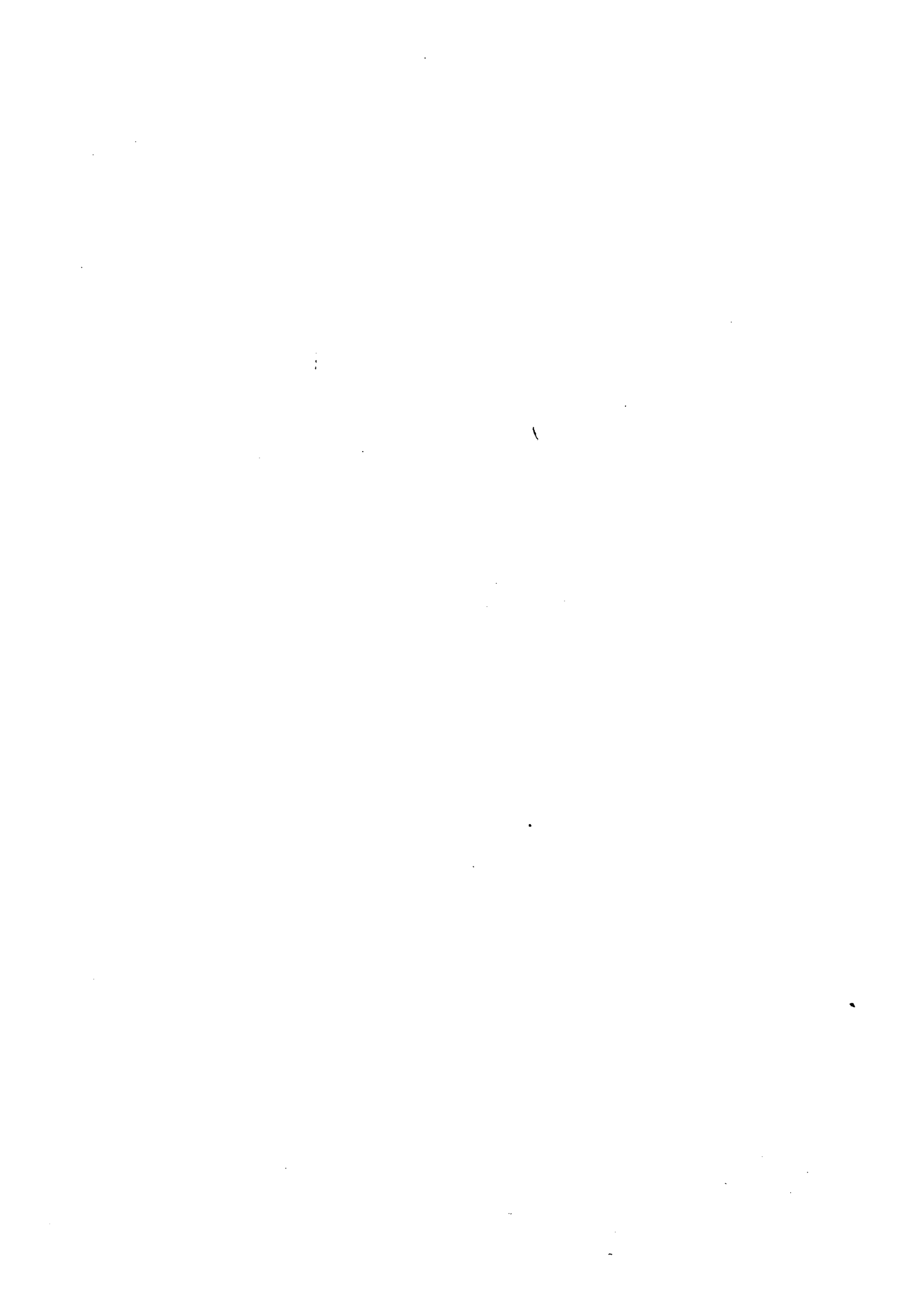
En se référant à Raynal R.,(1961), l'installation de ces deux cours d'eau remonte probablement à l'époque des premières déformations des terrains anté-miocènes.

Par contre, l'installation du Zobzit, n'a eu lieu qu'ultérieurement; les déformations orogéniques post-pliocènes de direction générale Nord-Sud, ont canalisé le ruissellement qui descend du versant Ouest du Bou Nasser et le versant Est du Bou Iblane. Le Zobzit est né ainsi, en s'enfonçant dans les terrains caillouteux pliocènes du synclinal de Berkine.

Le passage du Zobzit du domaine atlasique à la plaine de Guercif est marqué par la gorge d'Igli, où le Zobzit perce la terminaison Nord Orientale de la troisième ride anticlinale. Après la gorge d'Igli, le Zobzit rejoint le Melloulou après avoir creusé son cours dans les conglomérats pliocènes et les faciès miocènes sous-jacents.

#### ***2-2 HYDROGRAPHIE***

Les aspects topographiques et géologiques des terrains traversés par le Zobzit marquent profondément ses caractéristiques hydrographiques. Par conséquent, la subdivision du bassin en deux parties paraît nécessaire.





### **2-2-1 LE ZOBZIT EN AMONT DE SA CONFLUENCE AVEC LE SOUF OU LOUT ET LE SOUF BENI MANSOUR**

Le Zobzit dans cette région draine les terrains les plus élevés du bassin du Melloulou. Il est représenté par deux principaux affluents.

#### **a) Le Souf ou Lout**

Il draine le versant occidental du Bou Nasseur. Il parcourt 39 km environ. Sa pente atteint 3,6% en amont et ne dépasse pas 2,2% en aval.

Le Souf ou Lout a creusé son cours dans le revers de la cuesta de Ouizoukane où il s'enfonce dans les niveaux de marnes du Bajocien moyen. Il assure un apport important à l'O. Zobzit. Son débit est permanent; il est maintenu grâce à la diversité de ses ressources notamment:

-Les différentes sources du versant Ouest du Bou Nasser. Essentiellement: Aïn Tikhatatine et Aïn Yazî dont les débits atteignent 100 l/s pendant les périodes d'abondance (Zeryouhi I., 1970).

-L'importance des apports des précipitations, en partie sous forme solides pendant les mois d'hiver et à caractère orageux durant les mois du printemps et d'été.

Les plus importants émissaires que reçoit le Souf ou Lout se situent sur sa rive droite:

-O. Taïbiher: il coule au pied de l'escarpement des assises bathoniennes; sa direction est quasiment sud-nord. Il rejoint le Souf ou Lout après avoir parcouru environ 9 km. Sa pente est assez importante, elle atteint 11,2%.

-O. Tizi n'Saft: il draine les eaux d'importantes sources. Sa direction est SE-NW. Il est moins long que le précédent cours d'eau (7 km), mais sa pente est beaucoup plus importante (18,8%).

Le Souf ou Lout après sa confluence avec l'O. Tizi n'Saft s'engage dans une vallée très encaissée qui marque sa sortie du revers de la cuesta de Ouizoukane. Il continue son parcours ensuite entouré de falaises, surtout sur sa rive gauche, jusqu'aux environs d'Aïn Tikhatatine où il traverse la faille d'Amezlout pour rencontrer le Souf Beni Mansour 5 km après.

#### **b) Le Souf Beni Mansour**

Il est moins long que le précédent affluent; 20 km avec une pente de 2,7%. Il draine le versant oriental du Bou Iblane et de J. Tanout. Il a creusé son cours le long de la corniche bajocienne du Bou Iblane. Dans sa partie amont, il est relié à trois petites artères: Le Souf n'Shar, Souf Bou Maharz et l'O. Aslen. Leurs longueurs ne dépassent pas les 10 km, tandis que leurs pentes sont beaucoup plus importantes: 12,2% à Souf Bou Maharz. Ils bénéficient d'un apport souterrain légèrement faible, assuré par des sources dont le débits est lié étroitement aux variations des apports pluvio-niveaux.

Aux environs de Tamjilt, ces trois cours d'eau se rejoignent pour former le Souf Beni Mansour. Ce dernier prend une direction SW-NE avec un petit détour au pied de J.

Chercha. Sa traversée de la faille d'Amezlouy est marquée par un encaissement de sa vallée. les plus importants apports qu'il reçoit dans sa partie aval se limitent à:

-l'apport de Aïn Tamendert qui assure un débit très important surtout que la saison sèche est marquée par une absence d'écoulement dans le cours supérieur du Beni Mansour. Ces apports dépassent 300 l/s pendant les périodes d'abondance (Zeryouhi I., 1970).

-débit du Souf Igli qui draine le Ich Izediane et le J. Tanout, ainsi que les eaux jaillissantes de leurs flancs sous forme de sources. Le tracé de cet oued suit la ligne de faille d'Amezlouy. Sa longueur atteint les 10 km pour une dénivellation de 1400 m, soit une pente de 14%.

### **2-2-2 LE ZOBZIT EN AVAL DE SA CONFLUENCE AVEC LE SOUF OU LOUT ET LE SOUF BENI MANSOUR**

Le Zobzit parcourt une distance d'environ 40 km. En amont de la gorge d'Igلي, le réseau hydrographique se limite à un réseau de chenaux à écoulement saisonniers. Les quelques sources qui existent dans cette partie du bassin n'apportent qu'un faible débit.

Au delà de la gorge d'Igلي, le Zobzit entre dans la plaine de Guercif où l'aridité joue un rôle important. Ses apports, en effet, se limitent à l'excédent pluviométrique acheminé par des chenaux à écoulement torrentiel. Il s'enfonce dans les conglomérats pliocène et les niveaux miocènes sous-jacents. Sa direction est quasiment sud-nord et sa pente est assez faible (1,3%).

### **CONCLUSION**

*Le réseau hydrographique du Melloulou est relativement hétérogène. Ses aspects varient en fonction des caractéristiques géographiques et structurales de chaque partie du bassin-versant. L'étude détaillée de l'ensemble du réseau hydrographique nous a conduit à isoler le bassin versant de l'O. Zobzit comme unité distincte par rapport au reste du bassin.*

**DEUXIEME PARTIE:**

**ETUDE DES PRINCIPAUX ASPECTS CLIMATIQUES DU  
BASSIN-VERSANT DU MELLOULOU**

**DEUXIEME PARTIE**  
**ETUDE DES PRINCIPAUX ASPECTS CLIMATIQUES DU BASSIN-VERSANT**  
**DU MELLOULOU**

La seconde partie tend à mettre en évidence la répartition spatiale des pluies et à étudier leur variation ainsi que la variation des températures et de l'évapotranspiration à différentes échelle du temps. Une telle approche permettra de mesurer l'ampleur de l'influence de ces facteurs sur l'écoulement notamment le facteur pluviométrique dont le rôle était et sera démontré tout au long de cette étude.

**CHAPITRE III**  
**QUALITE DU RESEAU D'OBSERVATION PLUVIOMETRIQUE**

Le bassin-versant du Melloulou est doté d'un ensemble de stations très restreint. Compte tenu de l'inexistence de publications concernant l'historique des stations, cette partie de notre travail va se baser sur des observations et des conclusions faites pendant la consultation des bulletins d'observations originaux conservés dans les archives de la météorologie nationale (M.N.), de la division des ressources en eau (D.R.E.) et de la stations de recherches forestières.

**1- LE RESEAU PLUVIOMETRIQUE DU BASSIN-VERSANT**

C'est un réseau constitué d'un ensemble de stations gérées par différents services. Son état actuel résulte d'une évolution très perturbée.

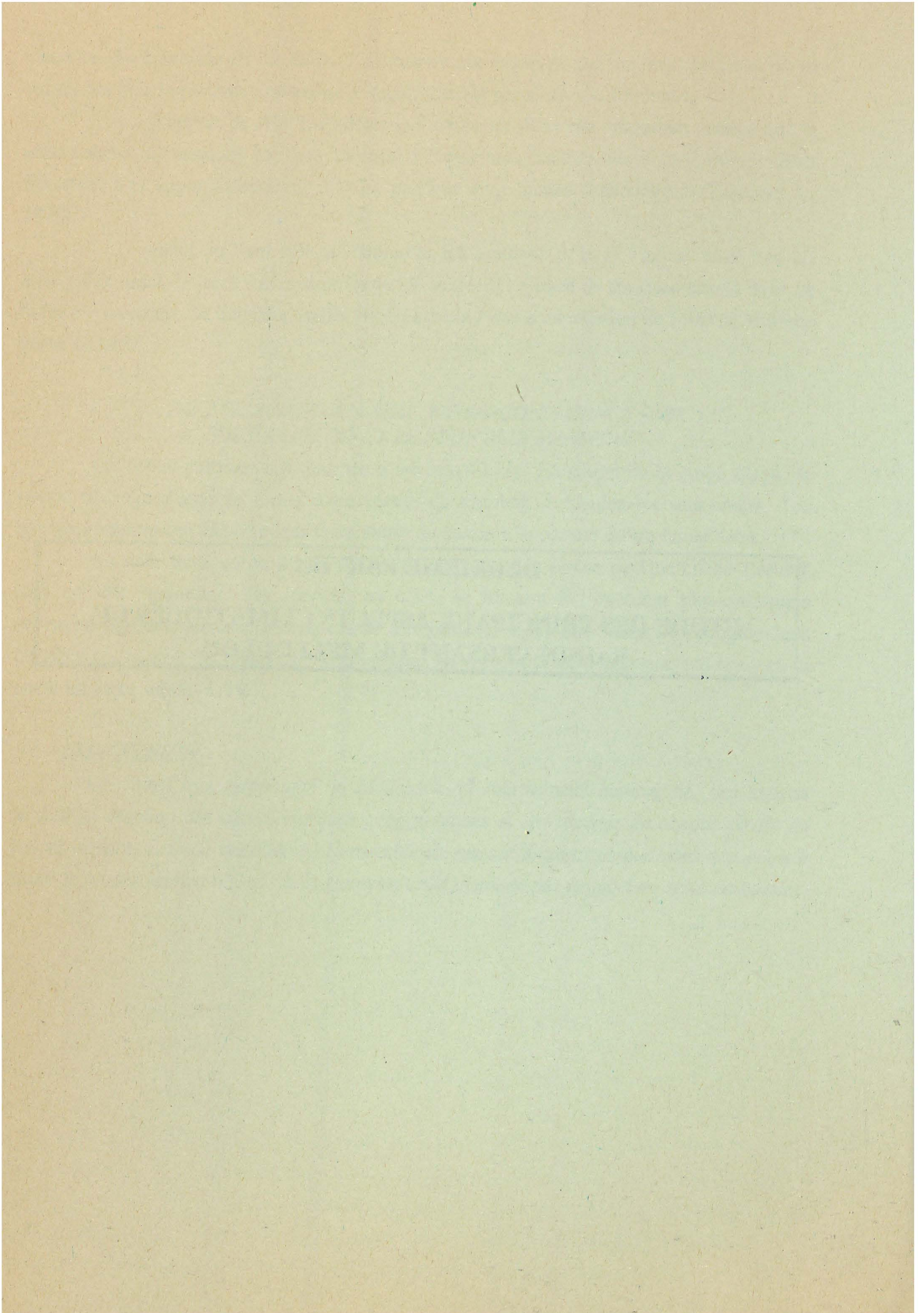
**1-1 HISTORIQUE**

L'installation de postes pluviométriques, dans le bassin-versant, et comme partout au Maroc, a commencé dès le début du protectorat français au Maroc avec un souci d'acquérir une bonne connaissance du climat de cette partie du pays. Ainsi, la première station a été mise en service à Guercif en 1920. Elle a été suivie par la station de Berkine en 1924, la station de Tamjilt en 1938, la station de Merhraoua en 1940 et la station de Bab Elarbaa en 1950. Mais cette dernière n'a pu fonctionner régulièrement qu'à partir de 1973.

Le début des années cinquante était une période très perturbée. Elle a précédé l'indépendance du Maroc en 1956. En conséquence, la station de Tamjilt a cessé de fonctionner en 1954 et celle de Bab Elarbaa en 1955.

La période post-protectorale a été marquée par:





-La remise en service d'anciennes stations: Bab Elarbaa en 1963 et Tamjilt en septembre 1973.

-La création de nouvelles stations; Ras Elksar en septembre 1973, Bechine en 1974 et Beni Bou Illoul en décembre 1977.

-L'équipement des stations hydrométriques de Belfarah et Guercif-Melloulou pour pouvoir faire des observations météorologiques.

## ***1-2 DENSITE ET REPARTITION***

Le bassin-versant du Melloulou est doté de 9 stations de mesure. La superficie du bassin-versant rapportée au nombre de postes de mesure, en effet, a révélé une densité d'un poste pour 275 km<sup>2</sup>. Mais cette densité, en plus de sa faiblesse, est loin d'être homogène sur tout le bassin-versant. La figure 13 et les tableaux 2 et 3 rendent compte de la répartition réelle du réseau des stations du bassin-versant dans l'espace et aussi en fonction de l'altitude.

### ***1-2-1 REPARTITION DANS L'ESPACE***

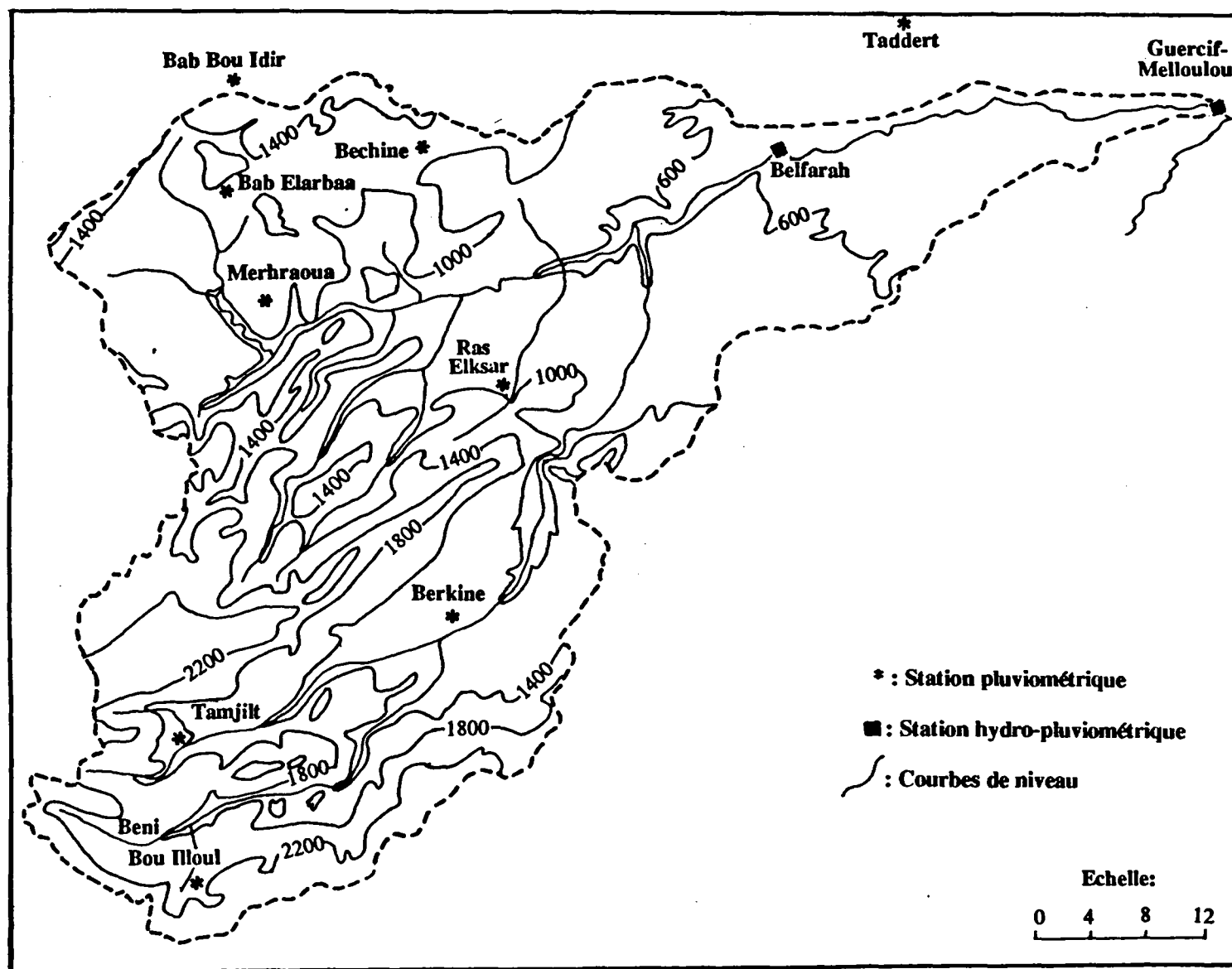
En se référant à la figure 13 et à la topographie du bassin versant (fig.4), on peut noter plusieurs observations:

-Dans la plaine de Guercif, on compte trois postes d'observation; il s'agit de Guercif-Melloulou, Belfarah et Ras Elksar. Les deux premiers sont situés sur le bord de l'O. Melloulou à environ 30 km, à vol d'oiseau, l'une de l'autre. Ils sont gérés par la D.R.E. et à l'origine, ils servaient seulement de stations hydrométriques. Le poste de Ras Elksar, quant à lui, est géré par les services des eaux et forêts. Il est situé sur la rive gauche de l'O. Saka dans la zone transitoire entre la plaine de Guercif et les montagnes du Moyen Atlas.

Il est à noter également l'existence d'un deuxième poste d'observation en plein centre ville de Guercif (Guercif C.T.). Mais cette station sera utilisée comme station complémentaire pour des raisons qui seront expliquées ultérieurement.

-Les régions montagneuses du bassin-versant abritent le reste des postes pluviométriques. Ces derniers se distinguent en deux groupes. Le premier groupe est situé au Nord-Ouest du bassin. Il est composé de trois stations: Merhraoua, Bechine et Bab Elarbaa. Les deux premières sont situées au coeur des deux synclinaux qui portent leurs noms, au Nord-Ouest de la ligne montagneuse: J. Ouarirt/J. Nerkibat. Le poste de Bab Elarbaa, quant à lui, est situé sur la bordure Sud-Ouest du synclinal de Bechine dans une zone assez accidentée. L'ensemble de ces postes est géré par les services des eaux et forêts. Le deuxième groupe de stations est situé dans le bassin-versant de l'O. Zobzit entre les deux lignes montagneuses: J. Bou Iblan/J. Tanout et J. Bou Nasser/Adrar n'Siouane. Il englobe les stations de Tamjilt, Beni Bou Illoul et Berkine. Les deux premières sont situées,

**Fig. 13 . - Répartition des stations d'observation pluviométrique et hydrométrique**



Tabl. 2 . - Répartition des stations pluviométriques en fonction des altitudes

	Tranches d'altitudes en ( m )						Total
	( < )	600	1000	1400	1800	( > )	
	600	à 1000	à 1400	à 1800	à 2200	2200	
Sup. du b.v (km <sup>2</sup> )	283	615	745	359	309	165	2476
Sup. du b.v (%)	11.4	24.8	30.1	14.5	12.5	6.7	100
Nbre de pluviomètres	2	1	4	1	1	0	9
Sup. pour 1 pluvio. (km <sup>2</sup> )	141.5	615	186.3	359	309	—	275

Tabl. 3. - Localisation des stations climatiques et pluviométriques et les organismes qui les exploitent

STATIONS	COORDONNEES			RESEAU
	X	Y	Z	
BAB ELARBA	619.750	379.100	1370	E.F
BECHINE	633.000	385.000	1050	E.F
BELFARAH	658.200	392.600	510	D.R.E
B.BOU ILLOUL	632.000	330.500	1800	E.F
BERKINE	643.600	353.000	1280	M.I
GUERCIF-MEL.	688.600	403.850	360	D.R.E
GUERCIF C.T	688.700	404.400	360	C.T
MERHRAOUA	624.800	371.600	1160	E.F
RAS ELKSAR	645.500	370.000	800	E.F
TAMJILT	666.900	409.200	1630	E.F
BAB BOUIDIR	628.900	340.100	1568	E.F
TADDERT	617.700	386.200	455	C.T
TAZA	628.500	403.200	509	M.N

- C.T : Centre des travaux agricoles  
 D.R.E : Division des ressources en eau  
 E.F : Service des eaux et forêts  
 M.I : Ministère de l'intérieur  
 M.N : Météorologie nationale



respectivement, sur la bordure N-W et S-E du synclinal de Tizi n'Tamalout. Elles font partie du réseau des eaux et forêts. La dernière, par contre, est située plus en aval dans le synclinal de Berkine à 3 km environ au Nord du point de confluence de souf ou Lout et souf beni Mansour. Elle est gérée par le ministère de l'intérieur.

En plus du réseau des stations du bassin versant du Melloulou, quelques stations voisines ont été utilisées pour contrôler la fiabilité des données disponibles ou pour améliorer notre connaissance de la répartition des pluies dans le bassin-versant. Il s'agit de:

-Taza: c'est une station du réseau de la météorologie nationale. Elle est gérée par un personnel compétent et spécialisé. Elle effectue des mesures des différents types d'éléments météorologiques.

-Taddert: elle est située sur la route reliant Taza à Guercif. C'est une station pluviométrique gérée par le centre des travaux agricoles (C.T.) de Taddert.

-Bab Bou Idir: c'est une station des eaux et forêts. Elle est située au S-W de la doline de Dayet Chiker.

-Guercif C.T.: c'est une station située au centre des travaux agricoles de Guercif. Durant sa période de fonctionnement elle a subi deux changements de site en 1960 et en 1978. Depuis cette dernière date, le pluviomètre est installé dans une cour entourée d'arbres assez élevés pour pouvoir influencer les mesures (photo.2).

### *1-2-2 REPARTITION EN FONCTION DE L'ALTITUDE*

La figure 13 reflète également la répartition des stations d'observation en fonction de l'altitude. Son examen nécessite plusieurs remarques:

-La station la plus basse du bassin-versant: Guercif-Melloulou, se trouve à 360 m d'altitude. Par contre, la station la plus élevée est à 1850 m, il s'agit de la station de Beni Bou Illoul, située à douar Ksar Elkebir.

-Le nombre de stations situées entre 360 m et 1000 m est de trois pour 900 km<sup>2</sup> soit une station pour 300 km<sup>2</sup>. Mais seule une station représente la tranche d'altitude 600 m à 1000 m d'où une densité d'une station pour 615 km<sup>2</sup>.

-La tranche d'altitude 1000 m à 2200 m englobe les six autres stations pour une surface de 1413 km<sup>2</sup> soit une station pour 235 km<sup>2</sup>. Mais cette densité est très variée: elle passe d'une station pour 186 km<sup>2</sup> entre 1000 m et 1400 à une station pour 359 km<sup>2</sup> entre 1400 m et 2200 m.

-Seules deux stations se trouvent au-dessus de l'altitude médiane 1400 m pour une surface de 830 km<sup>2</sup> environ. Mais à partir de 1850 m d'altitude le bassin-versant est dépourvu de tout poste d'observation.



## **2- INVENTAIRE DES DONNEES**

### **2-1 SOURCES DES DONNEES**

Les différentes données qui seront utilisées tout au long de cette partie, sont issues de trois sources principales:

- La météorologie nationale (M.N.).
- La division des ressources en eau (D.R.E.).
- La station de recherches forestières.

En plus de ces trois principales sources certaines données manquantes ont été complétées à la direction de la région hydraulique (D.R.H.) des bassin-versant du Nekor et de la Moulouya à Oujda et aussi par la visite des postes d'observation où les observateurs gardent généralement, des copies des bulletins d'observations.

### **2-2 ETAT ET DUREE DES SERIES D'OBSERVATION**

La figure 14 reflète l'état et la durée de l'information pluviométrique dont nous disposons et qui servira de base pour la recherche des caractéristiques de la pluviosité dans le bassin-versant. L'étude de ce graphique montre que les séries de précipitations sont d'une durée assez variée et la plupart du temps assez irrégulière. Ainsi la station de Tamjilt n'a pu fonctionner régulièrement qu'à partir d'octobre 1973 et la station de Merhraoua est beaucoup plus perturbée depuis sa remise en service en 1973 par rapport à la période antérieure à 1964.

## **3- RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES ET CONTROLE DE LA QUALITE DES SERIES D'OBSERVATION**

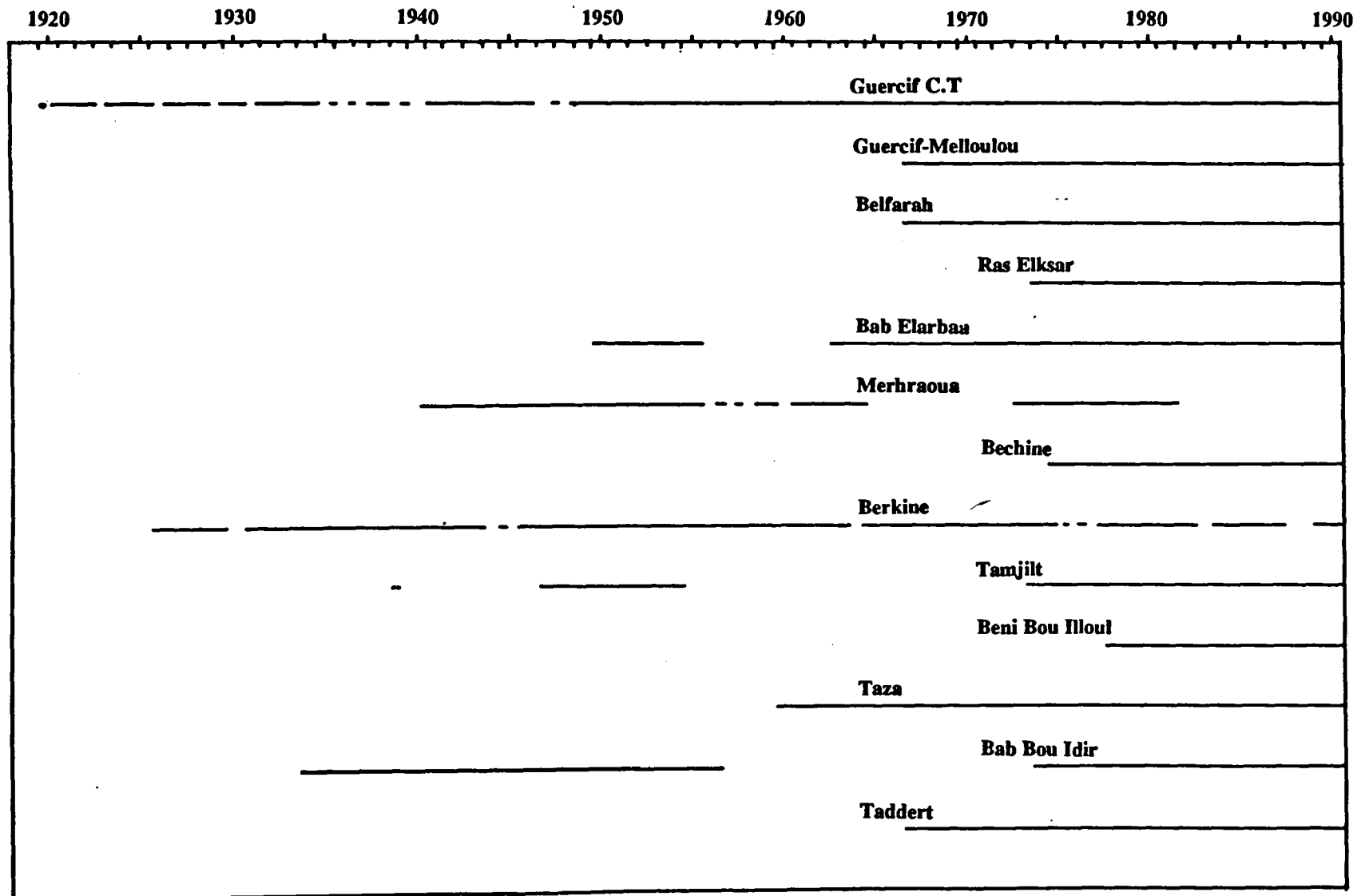
En plus de l'irrégularité du fonctionnement des postes d'observations, une grande partie des séries de mesures contient des lacunes. Les facteurs qui en sont responsables sont très divers. Les plus fréquents, qu'on a rencontrés, sont:

- Absence sans remplacement de l'observateur due généralement à des périodes de vacances. Le cas le plus fréquent est le congé annuel ayant lieu habituellement pendant la période d'été.

- Retard dans le remplacement des instruments de mesures défectueux dû à l'éloignement des postes de mesures et à la difficulté d'accès à cause du mauvais état des voies de communications essentiellement pendant la saison pluvieuse.

- Perte de certaines feuilles d'observations dans les archives des services responsables. Mais on a pu avoir certaines données mensuelles en consultant quelques rapports administratifs.

**Fig. 14 . - Etat et longueur des séries d'observations pluviométriques**



### **3-1 ESTIMATION DES VALEURS MANQUANTES**

La reconstitution des valeurs manquantes est une affaire très délicate. Mais, néanmoins, elle est nécessaire pour compléter l'information chiffrée. La méthode la plus utilisée pour résoudre ce problème est la méthode de la régression linéaire simple. Elle a permis d'estimer les différentes lacunes rencontrées dans les séries de précipitations mensuelles.

A cet effet, la première étape a consisté à chercher la meilleure corrélation entre la série lacunaire et les séries des postes voisins et appartenant au même domaine topographique. Mais quand la corrélation n'est pas satisfaisante on a cherché des corrélations avec des postes plus loins.

En suite, et pour tester la qualité de cette régression, "T" de Student a été calculé. Les résultats ont été comparés au "T" théorique lu dans la table de la loi de Student-Fisher à un seuil de probabilité de 95% et à (N-2) degrés de liberté.

L'ensemble des résultats de ces étapes figurent dans le tableau 4 où on peut remarquer que les coefficients de corrélations obtenus sont assez élevés sauf pour les mois d'été ou les précipitations ont généralement un caractère orageux et localisé. Le "T" de Student calculé est supérieur au "T" théorique sauf pour les mois d'août 1975 et 1976 à Bechine et le mois de février de 1988 à Berkine où le "T" calculé est inférieur au "T" lu sur la table. Mais suffit-il de prendre le coefficient de corrélation et le "T" de Student comme seuls critères pour juger une corrélation?

Pour mieux juger la qualité des valeurs estimées on a calculé les intervalles de confiance pour chaque corrélation à un seuil de probabilité de 90%. La figure 15 présente un exemple de l'estimation de l'intervalle de confiance de la valeur estimée du mois de février 1972 de Belfarah d'après Taddert. L'intervalle de confiance, à un seuil d'erreur de 10%, de la valeur estimée est de  $\pm 10$  mm. C'est une valeur importante mais son influence sur la moyenne de février, calculée sur la période 1967-68/1989-90, est faible, elle est de  $\pm 0,4$  mm.

Pour juger la fiabilité des données on a également comparé les données des stations voisines. Le tableau 5 représente les données qui ont soulevé un doute. Pour les remplacer on a suivi la même procédure adoptée pour la reconstitution des données manquantes.

### **3-2 CONTROLE DE LA QUALITE DES SERIES D'OBSERVATIONS**

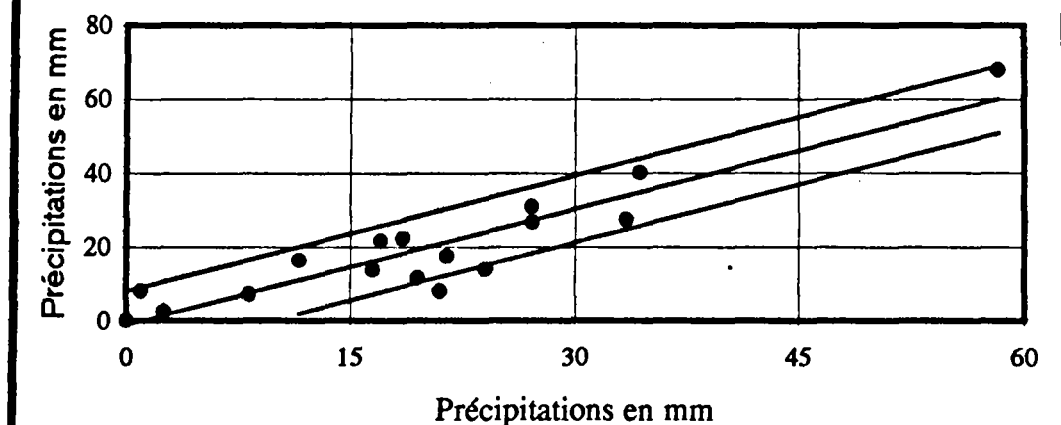
Le contrôle de l'homogénéité des séries d'observations est une étape essentielle devant précéder toute analyse de données météorologiques. Il permet de détecter les anomalies et les erreurs liées, généralement, aux changements d'observateurs veillant sur ces stations, d'appareils de mesures, de site ou d'environnement des stations.

En absence d'historique des stations établi par les organismes gestionnaires il est souvent difficile de juger la qualité des observations. D'où la nécessité d'avoir recours à un

Tabl.4. - Estimation des valeurs manquantes

Stations	Année	Mois	D'après	Période	NDL	R	T cal.	T th.
Bechine	1974	9	Taza	1975-1990	14	0.87	6.60	2.15
	1975	8	B. Elarba	1977-1988	10	0.13	0.42	2.23
	1976	8	B. Elarba	1977-1988	10	0.13	0.42	2.23
Belfarah	1970	1	Taddert	1971-1990	18	0.90	8.76	2.10
	1972	2	Taddert	1973-1990	16	0.93	10.12	2.12
B.b.Illoul	1989	5	Tamjilt	1978-1988	9	0.83	4.46	2.26
B. Elarba	1963	6	Taza	1966-1985	20	0.59	3.27	2.09
	1964	6	Taza	1966-1985	20	0.59	3.27	2.09
Berkine	1975	5	Taza	1960-1974	13	0.93	8.731	2.179
	1976	12	Taza	1960-1975	14	0.73	3.997	2.145
	1977	12	Taza	1960-1975	14	0.73	3.997	2.145
	1983	5	Taza	1960-1974	13	0.93	8.371	2.179
	1988	2	Taza	1960-1987	26	0.46	2.072	2.120

Fig.15. - Estimation de la valeur moyenne des pluies de février 1972 à Belfarah d'après Taddert (période commune: 1973/1990)



Tabl.5. - Estimation des valeurs douteuses

Station	Année	Mois	D'après	Période	NDL	R	T cal.	T th.
Bechine	1977	11	Taza	1978-1990	11	0.83	4.935	2.201
Belfarah	1969	4	Taddert	1970-1990	19	0.97	17.39	2.093
		12	Taddert	1970-1990	19	0.83	6.486	2.093

NDL : nombre de degrés de liberté  $NDL = N-2$  où  $N$  est le nombre d'années en commun.

R : coefficient de corrélation.

T cal.: le "T" de student calculé  $T = (R / \sqrt{1-R^2}) / (N-2)$

T th. : le "T" théorique de Student d'après la table de la loi de Student-Fisher à un seuil de probabilité de 95 %

test d'homogénéité. Parmi les tests existant, nous avons choisi le plus utilisé: le test du double cumul. C'est une méthode graphique. Elle est basée sur la comparaison des valeurs cumulées d'une série de référence, jugée homogène, et la série à tester. Les valeurs cumulées sont portées sur un graphique orthonormé. La série est dite homogène si les points sont linéairement distribués. Dans le cas échéant une ou plusieurs cassures apparaissent.

La station de Taza a été retenue comme station référence. Le test a été appliqué sur toute les stations utilisées dans la présente étude. Parmi les douze séries testées quatre ont représentée une certaine hétérogénéité. Il s'agit des stations de Guercif C.T. (fig.16A), Ras Elksar (fig.16B), Tamjilt (fig.16C) et Beni Bou Illoul (fig.16D). Mais, étant donné l'éloignement de la station référence de ces deux dernières et la différence des caractéristiques du site de chacune, on a procédé à leur comparaison (fig.16E). Le test n'a révélé aucune cassure.

Vue l'inexistence d'un historique des stations et les témoignages incomplets des observateurs fréquemment mutés, nous avons procédé à l'homogénéisation des séries en les ramenant aux périodes les plus longues.

La méthode d'homogénéisation consiste, tout d'abord, à calculer la pente de la droite avant et après la cassure. En suite calculer le coefficient de correction qui est le rapport de la valeur de la pente de la série référence à la valeur de la série à corriger par ce coefficient.

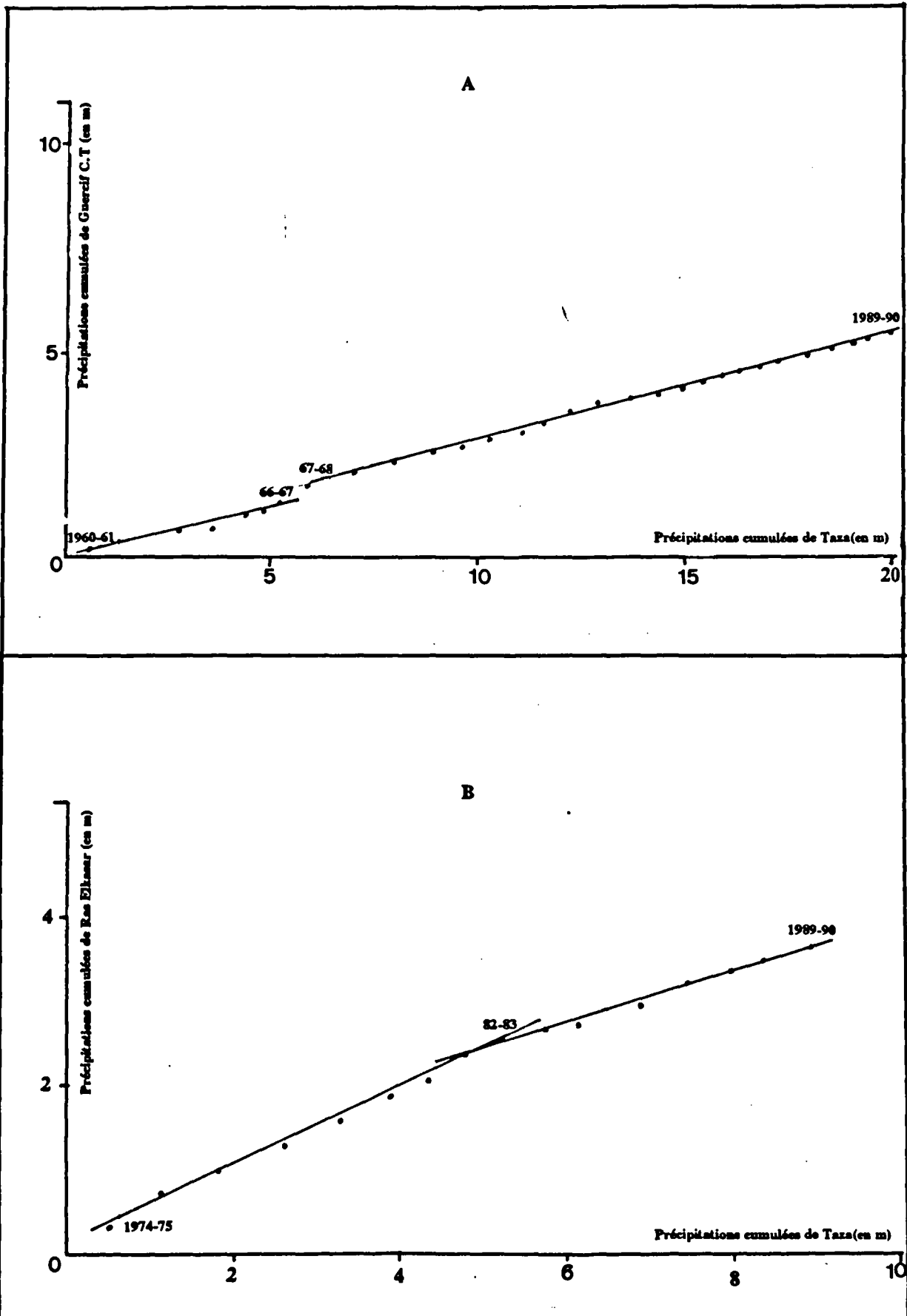
Cette correction a été appliquée à la série de Ras Elksar (fig.16B). La série à corriger est 1982-83/1989-90. Le coefficient de correction est de 1,427. La figure 16F représente la série après correction. La distribution des points est quasi linéaire. On peut conclure alors que la série de Ras Elksar a été homogénéisée.

### **CONCLUSION**

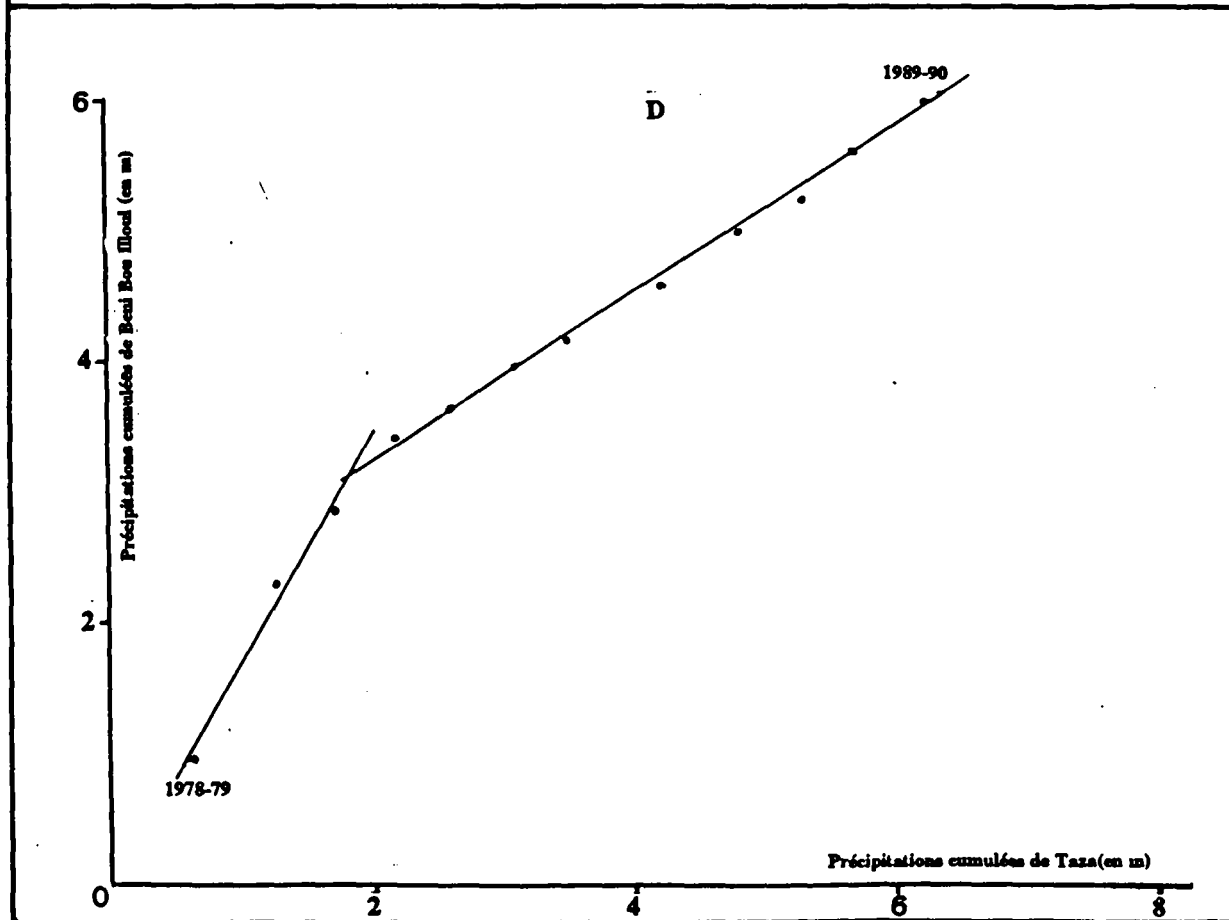
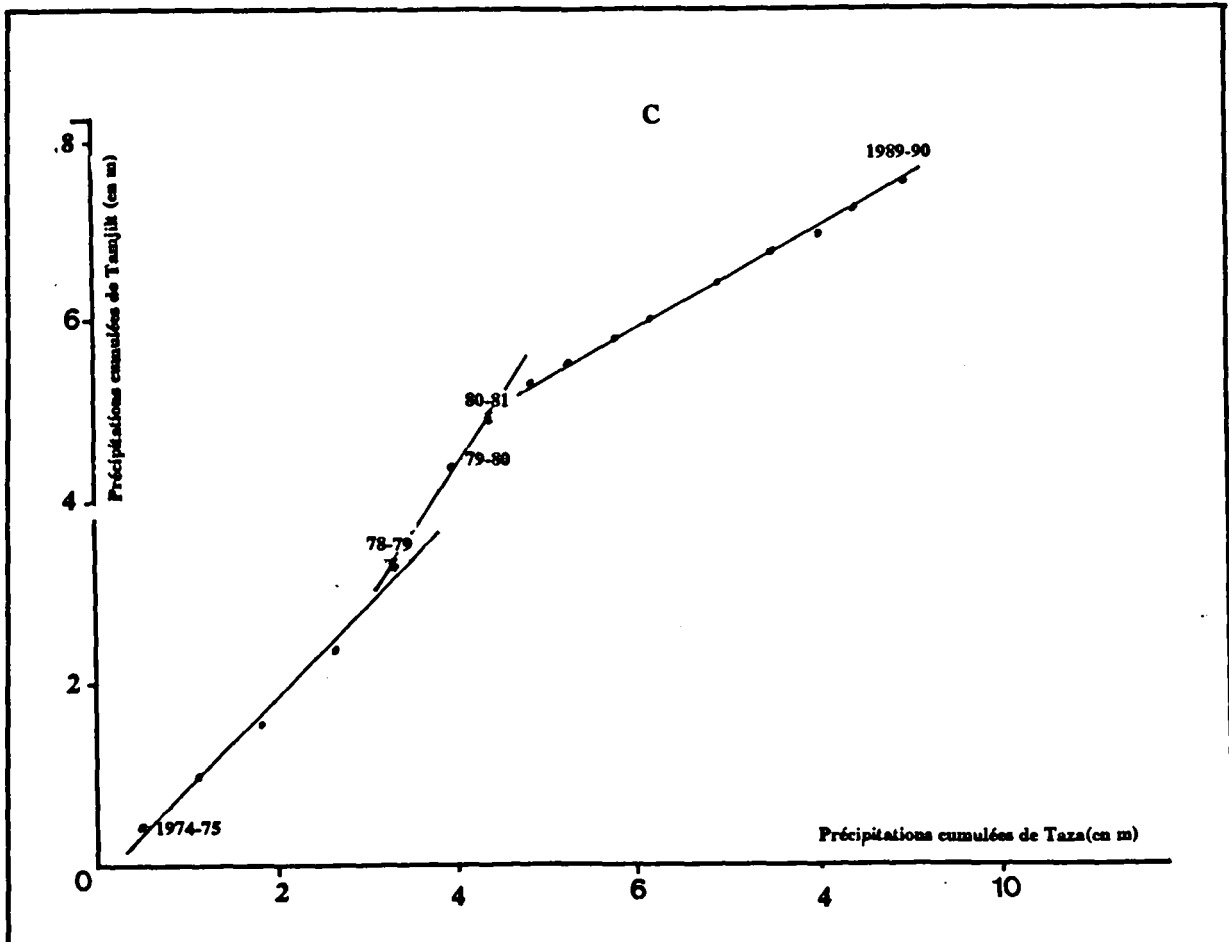
*On déduit de ce constat de l'état et de la qualité de l'information pluviométrique, l'existence de multiples contraintes pouvant faire obstacle à une étude suffisamment précise.*

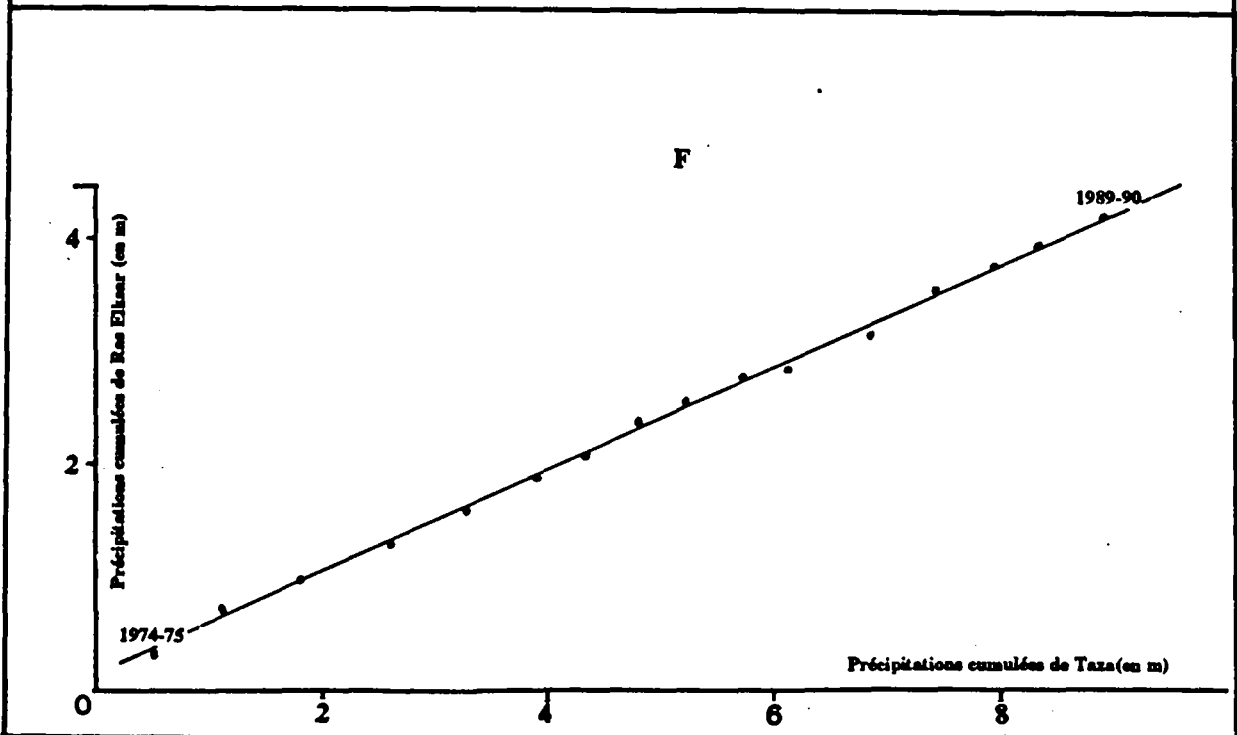
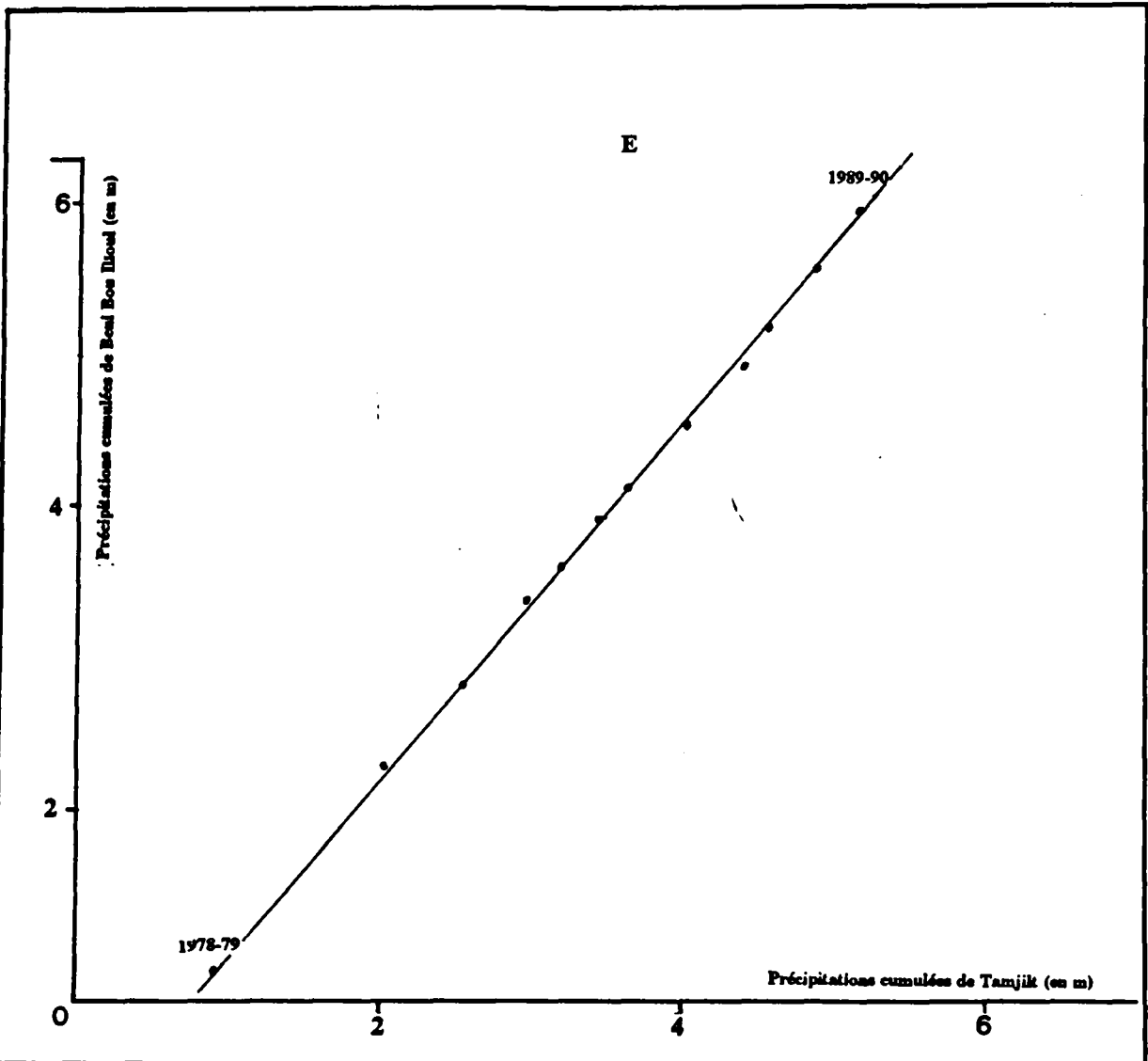
*La densité du réseau pluviométrique est assez lâche, or les deux tiers du bassin-versant sont constitués de montagnes. La répartition des postes d'observations en fonction de l'altitude et dans l'espace est inégale, en outre certaines régions ne disposent pas du tout de poste d'observation tel est le cas des synclinaux de Tamjout et Tamtroucht, ou elles disposent d'un poste mal entretenu et très irrégulier telle que la région de Meghraoua et Ras Elksar.*

Fig. 16 . - Contrôle de l'homogénéité des séries pluviométriques par le test du double cumul









## **CHAPITRE IV** **VARIABILITE SPATIALE DES PRECIPITATIONS**

La connaissance du champs pluviométrique d'un bassin-versant pour une période donnée est d'une utilité capitale pour l'hydrologue: elle est nécessaire pour l'étude des bilans à différentes échelles de temps. En effet, ce chapitre tend à présenter quelques documents cartographiques du champs pluviométrique déjà existants, ainsi qu'une recherche des facteurs explicatifs de la répartition spatiale des pluies dans le bassin-versant du Melloulou.

### **1- PRESENTATION DE QUELQUES TRAVAUX EXISTANTS**

#### ***1-1 CARTE DE GAUSSEN H. ET ROUX G., (1957)***

Cette carte a été élaborée à partir de moyennes pluviométriques calculées sur une période de 25 ans (1925/1949) (fig.17).

Le tracé des courbes isohyètes suit assez fidèlement les lignes du fond topographique utilisé. La répartition de la pluviométrie dans le bassin-versant permet de distinguer trois zones différentes:

-La plaine du Jel avec une pluviométrie très faible: elle reçoit une lame d'eau de 190 à 300 mm.

-La zone nord-ouest est la zone la plus pluvieuse: la hauteur de pluies peut dépasser 1500 mm.

-Le bassin-versant de l'O. Zobzit reçoit jusqu'à 1200 mm sur les sommets de Bou Iblane et Bou Nasseur où les altitudes dépassent 3000 m. L'aspect sec du synclinal de Berkine apparaît nettement et la dissymétrie entre le massif de Bou Iblane et du Bou Nasseur n'est pas assez marquée.

A priori l'extrapolation est bien réussie, mais comme on peut le remarquer, la carte isohyète est trop détaillée si l'on considère le nombre de stations prises en compte pour cette extrapolation: Guercif C.T., Berkine, Merhraoua et Bab Boudir comme station limitrophe.

#### ***1-2 CARTE DE ZERYOUHI I., (1977)***

Cette carte est issue de la carte des isohyètes du Moyen-Atlas plissée établi par Zeryouhi I., (1975). Elle a été réalisée à base de valeurs moyennes calculées sur une période de 31 ans (1933/1963) (fig.18). L'examen de cette carte a permis de faire quelques remarques.

La partie nord-ouest du bassin-versant est la plus arrosée: la pluviométrie y dépasse 1400 mm.

Fig. 17 . - Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou d'après:  
Gausson H. et Roux G., (1957)

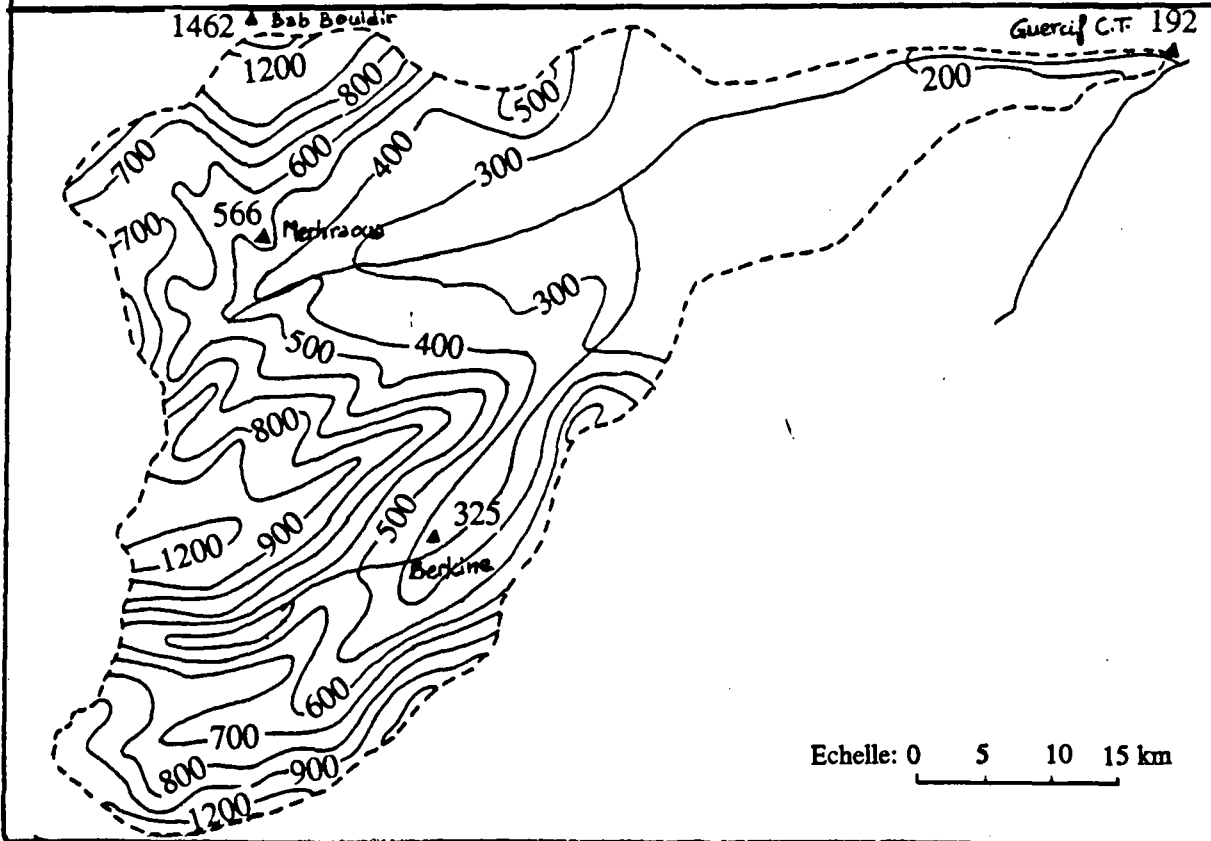
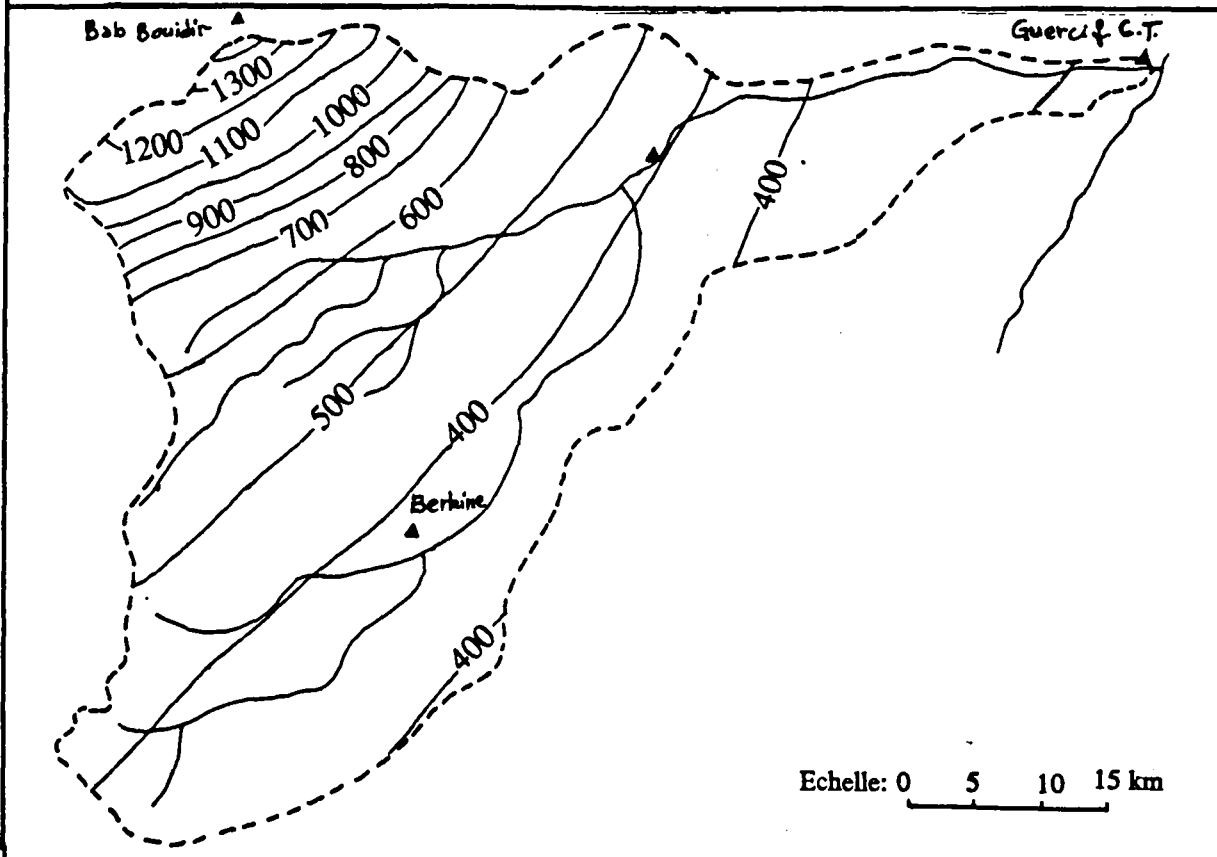


Fig. 18 . - Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou d'après:  
Zeryouhi I., (1977)



La carte reflète un gradient assez net du sud-est vers le nord-ouest avec une amplification de ce gradient vers le nord-ouest.

La structure du champ pluviométrique ne reflète aucune influence du relief. Pourtant, les deux tiers du bassin-versant se composent de zones de montagnes, dont plus de 15% dépasse 2000 m d'altitude.

### ***1-3 CARTE DE LA D.R.P.E.,(1987)***

Elle est extraite de la carte isohyète au 1/500 000<sup>ème</sup> du bassin-versant de la Moulouya (D.R.P.E.,1987) (fig.19). Elle a été élaborée à l'aide de valeurs moyennes de pluies calculées sur 53 ans (1931-32/1983-84). Les stations utilisées dans le bassin-versant sont: Guercif C.T., Merhraoua et Berkine comme stations de base et Tamjilt et Belfarah comme stations complémentaires.

Le tracé des courbes isohyètes reflète grossièrement les grandes lignes orographiques.

La région la plus arrosée est la zone nord-ouest. Le massif de Bou Iblane reçoit plus de pluies que le Bou Nasseur (plus de 700 mm). Contrairement à la carte de Gausson H. et Roux G.,(1957) la dissymétrie entre ces deux massifs est bien marquée.

La plaine du Jel est la moins arrosée, elle bénéficie seulement de 150 à 200 mm. Le gradient pluviométrique est négatif entre Belfarah et Guercif C.T.; cela est dû probablement à la différence de longueur des séries de ces deux stations.

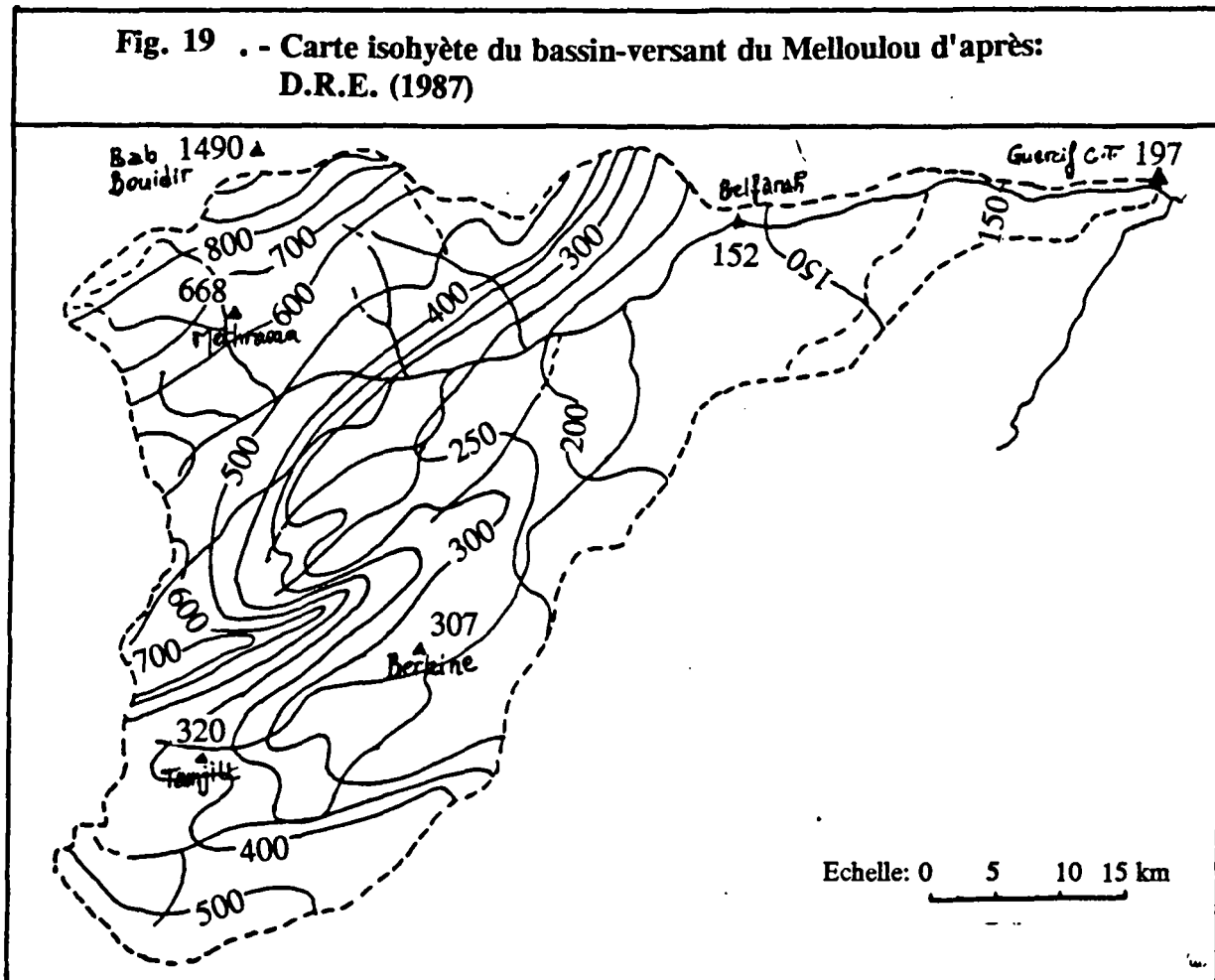
## **2- RECHERCHE DES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA VARIABILITE REGIONALE DES PRECIPITATIONS**

La hauteur des précipitations en un lieu donné est liée étroitement aux caractéristiques géographiques et aérologiques de son site. La recherche d'un modèle de variabilité spatiale des précipitations, par conséquent, consiste à mettre en évidence l'essentielle de ces caractéristiques sous forme d'une équation expliquant le mieux possible cette variabilité.

L'étude de la variabilité spatiale des précipitations dans le bassin-versant du Melloulou a été établie en utilisant les modules pluviométriques annuels calculé pour une période de seize ans (1974-75/1989-90). C'est la seule période commune pour tous les postes d'observation utilisés. Pour la station de Beni Bou Illoul, qui ne couvre que la période 1978-79/1989-90, nous avons eu recours, tout d'abord, à l'extension de la série après corrélation avec Tamjilt et ensuite, au calcul de la moyenne d'après la nouvelle série de seize ans.

En dehors des limites du bassin-versant seule la station de Taddert a été retenue pour cette étude compte tenu de l'inexistence d'obstacles topographiques pouvant l'isoler du reste du bassin.

Fig. 19 . - Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou d'après:  
D.R.E. (1987)



## **2-1 METHODE UTILISEE**

La connaissance de la lame d'eau précipitée est une préoccupation majeure pour les hydrologues. Ainsi, plusieurs méthodes ont été élaborées pour aboutir à une meilleure estimation de celle-ci, les plus connues sont: la méthode de Thiessen, la cartographie manuelle des isohyètes, la méthode M.T.H. "modèle triangulaire hydrologique" qui est une forme simplifiée de la méthode du krigeage (Bocquillon C.,1980; Önsoy H. et Bocquillon C.,1980) et plus récemment la méthode AURELHY "Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie" (Benichou P. et Le Breton O.,1987).

Pour réaliser la cartographie du champs pluviométrique du bassin-versant du Melloulou, la méthode utilisée est basée sur la régression linéaire simple. Elle est inspirée des travaux de Laborde J-P., (1984).

Le choix de cette méthode permet d'évaluer l'influence de chacun des facteurs choisis pour expliquer la variation spatiale des pluies. Elle permet également de faire ressortir les nuances régionales de l'influence de chaque facteur.

Dans un premier lieu, la régression linéaire est appliquée entre les modules pluviométriques et les facteurs explicatifs. La régression retenue est celle qui fournit le coefficient de corrélation le plus élevé. En suite les résidus sont calculés à partir de cette première corrélation et une nouvelle régression est appliquée entre les résidus et le reste des facteurs explicatifs et seulement la meilleure corrélation est retenue à chaque fois jusqu'à obtention d'une très faible variance résiduelle.

Tout au long de cette chaîne de corrélations le "T" du test de Student est calculé et seulement les corrélations jugées acceptables par ce test seront retenues.

Après ces différentes régressions, un maillage du bassin-versant est réalisé. Chacun des facteurs explicatifs retenus dans l'équation de régression finale est évalué pour chaque noeud de maille. Ainsi, l'application de l'équation de régression permettra d'évaluer la hauteur des pluies à chaque noeud et la carte isohyète est tracé par la suite. La même méthode a été appliquée sur le bassin Lorrain de la Meuse (Mentre-Hildenbrand A.,1986), elle a donné des résultats satisfaisants.

## **2-2 FACTEURS EXPLICATIFS**

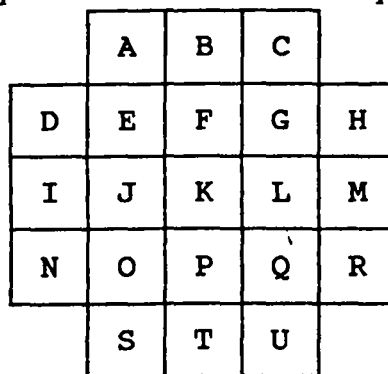
### **a) Les altitudes**

Il a été signalé dans l'étude de l'hypsométrie du bassin-versant que le relief est assez varié et les contrastes altimétriques sont importants. D'où la nécessité de prendre en compte l'altitude pour expliquer une part de la variabilité spatiale de la pluviométrie. Mais suffit-il de prendre uniquement l'altitude réelle du pluviomètre pour mettre en évidence cette influence? ou faut il tenir compte de l'altitude lissée?

La technique de l'altitude lissée est de plus en plus utilisée dans les études de la variabilité spatiale des précipitations. Elle suppose que la hauteur des précipitations en un

point quelconque est liée à l'altitude des sommets environnants plutôt qu'à son altitude réelle. Le principe du lissage, par conséquent, vise la suppression des creux topographiques de faibles tailles n'ayant aucune influence sur l'aérologie de la région étudiée. Scherer J-C.,(1971) a utilisé cette technique dans les Vosges. Il l'a définie de la façon suivante: "...(*dans le cas d'un lissage s'étendant à 2 km de part et d'autre du carré central*): L'altitude lissée  $x$  du point  $G$  est la plus forte valeur des 15 expressions arithmétiques suivantes:

$k, (b+t)/2, (f+p)/2, (b+2p)/3,$   
 $(2f+t)/3, (a+u)/2, (e+q)/2,$   
 $(d+r)/2, (i+m)/2, (j+1)2,$   
 $(i+2l)/3, (2j+m)/3, (n+h)/2,$   
 $(o+g)/2, (s+c)/2.$



( $a, b \dots, u$  sont les altitudes maximales des carrés A, B, ... U du carroyage kilométrique U.T.M.)."

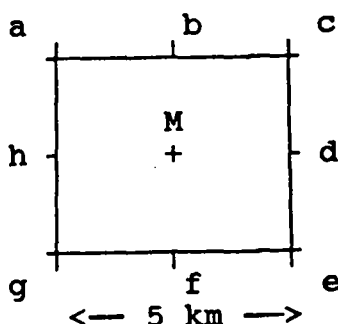
Laborde J-P.,(1984), qui a utilisé également ce principe, l'a définie différemment; C'est la valeur maximale parmi les expressions suivantes:

$$H1 = \frac{Ha + He}{2}$$

$$H2 = \frac{Hb + Hf}{2}$$

$$H3 = \frac{Hc + Hg}{2}$$

$$H4 = \frac{Hh + Hd}{2}$$



H1 (altitude lissée du point M) est la valeur maximale des cinq altitudes: Hr (altitude réelle), H1, H2, H3, H4.

L'utilisation de mailles carrées de 2,5 km de coté permet, après calcul de l'altitude lissée, d'éliminer les vallées d'une largeur inférieure à 5 km, dont l'effet sur la trajectoire des masses d'airs, est négligeable.

C'est cette dernière définition du lissage qui est utilisée dans le présent travail. Les altitudes ont été relevées sur des cartes au 1/100 000<sup>ème</sup> et exprimées en mètres.

Les résultats des corrélations entre modules pluviométriques annuels et les altitudes réelles puis lissées des postes pluviométriques (tabl.6), exprimées en mètres, sont représentées sur les figures 20 et 21 Les coefficients de corrélations obtenues sont respectivement 0,76 et 0,77. Cela nécessite deux remarques essentielles. La première est l'importance du coefficient obtenu et la deuxième est que l'utilisation de la notion d'altitudes lissées n'a apporté aucune amélioration de la qualité de la corrélation. Mais étant donné la taille faible de l'échantillon toute conclusion précipitée sera dangereuse.

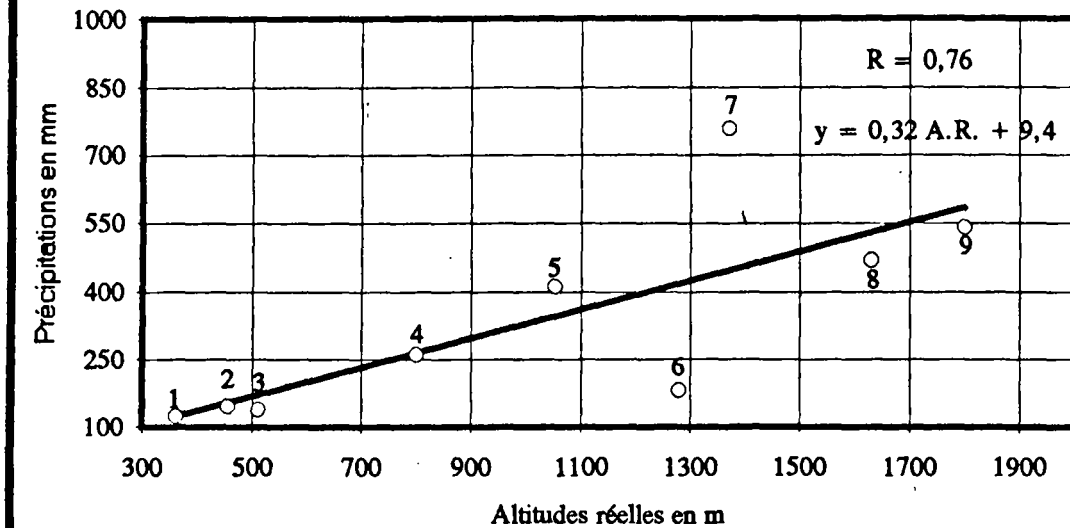


**Tabl. 6 . - Résultat des corrélations entre module pluviométrique et les facteurs explicatifs de la variabilité spatiale des pluies**

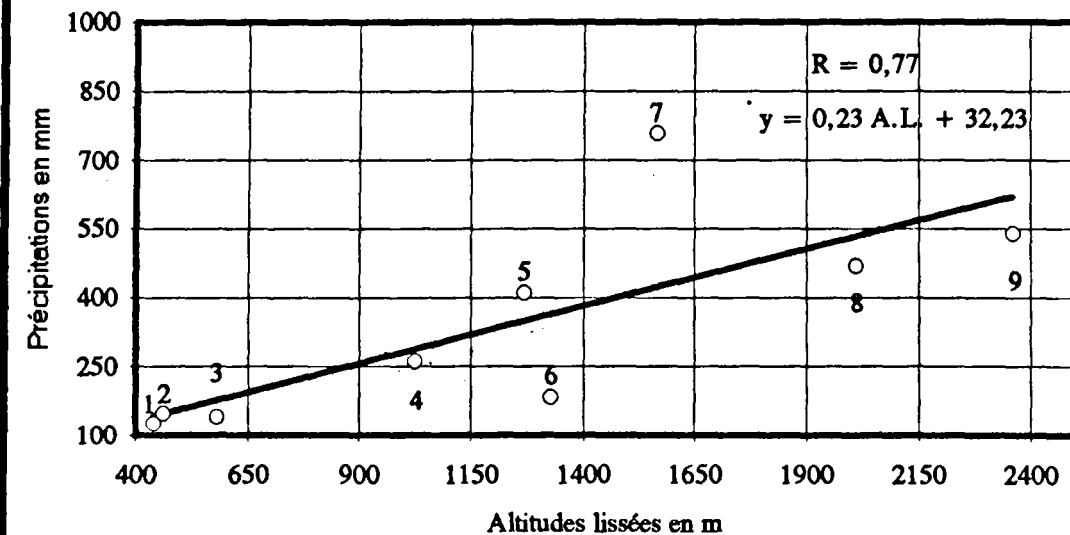
Facteurs explicatifs	Coefficient de corrélation	"T" calculé	"T" théorique	Equation de corrélation
<b>Corrélations entre les facteurs explicatifs et le modules pluviométrique</b>				
Altitudes réelles	0.76	3.12	2.37	$Y = 0.32 \text{ A.R.} + 9.4$
Altitudes lissées	0.77	3.14		$Y = 0.25 \text{ A.L.} + 32.23$
Latitudes	0.48	1.45		$Y = -3.84 \text{ Lat.} + 1771.72$
Longitudes	0.84	4.07		$Y = -8.56 \text{ Long.} + 5871.46$
<b>Corrélations entre les facteurs explicatifs et les résidues</b>				
Altitudes réelles	0.1	0.254	2.37	$Y = -0.22 \text{ A.R.} - 22.4$
Altitudes lissées	0.15	0.39		$Y = -0.03 \text{ A.L.} + 31.65$
Latitudes	0.15	0.39		$Y = 0.64 \text{ Lat.} - 238.5$

"T": le T du test de Student, il est calculé à un seuil de probabilité de 95%

**Fig.20. - Corrélation des modules pluviométriques annuels et des altitudes réelles (1974-75/1989-90)**



**Fig.21. - Corrélation des modules pluviométriques annuels et des altitudes lissées (1974-75/1989-90)**



1 : Guercif-Melloulou  
2 : Taddert  
3 : Belfarah

4 : Ras Elksar  
5 : Bechine  
6 : Berkine

7 : Bab Elarbaa  
8 : Tamjilt  
9 : Beni Bouilloul

### b) Les latitudes

La variation des précipitations en fonction de la latitude est représentée dans la figure 22 La pente de la droite de corrélation est négative. Les valeurs sont assez dispersées autour de la droite de régression. Le coefficient de corrélation obtenu (tabl.6) est de 0,45. En comparaison avec celui de la corrélation des précipitations et des altitudes, ce coefficient est assez faible et une fois de plus c'est les postes de Bab Elarbaa et Berkine qui s'écarte de la droite de régression.

### c) Les longitudes

La liaison entre les modules pluviométriques annuels et les longitudes est assez forte (fig.23 et tabl.6). La régression a fourni un coefficient de corrélation linéaire très élevé 0,84 soit 70% de la variance expliquée ( $R^2$ ). La dispersion des valeurs par rapport à la droite de régression est faible.

## 2-3 DISCUSSION DES RESULTATS DE LA CORRELATION SIMPLE

La variabilité régionale des précipitations est soumise à l'influence de plusieurs facteurs.

La longitude joue un rôle important dans la répartition spatiale des pluies. Les postes pluviométriques situés à l'ouest du bassin-versant sont plus arrosés que ceux situés à l'est. Les masses d'air d'origine atlantique constitue l'essentiel des précipitations dans le bassin après avoir abandonné une grande partie de leurs apports sur les versants occidentaux du Moyen Atlas.

L'altitude explique 59% de la variation spatiale des précipitations. Compte tenu de l'augmentation des altitudes de l'est vers l'ouest, la partie occidentale du bassin est la plus arrosée. Mais, vu que les pluies évoluent dans le même sens en fonction de la longitude on se demande s'il n'y a pas une part de la variance expliquée en même temps par ces deux facteurs?

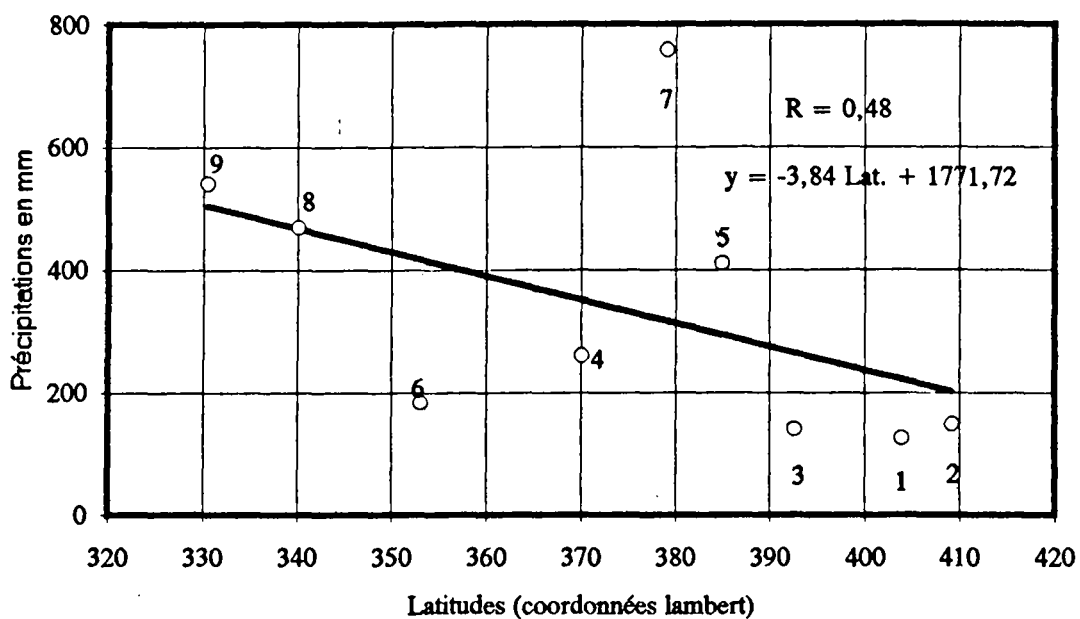
Etant donnée la faible étendue du bassin-versant la latitude n'explique qu'une part très faible de la variation spatiale des pluies (23%).

Pour juger la qualité de la corrélation le "T" de Student est calculé (tabl.6). Parmi les quatre corrélations, seulement celle des latitudes corrélées au modules pluviométriques peut être jugée mauvaise: le "T" de Student calculé est inférieur au "T" théorique à un seuil de probabilité fixé à 95%.

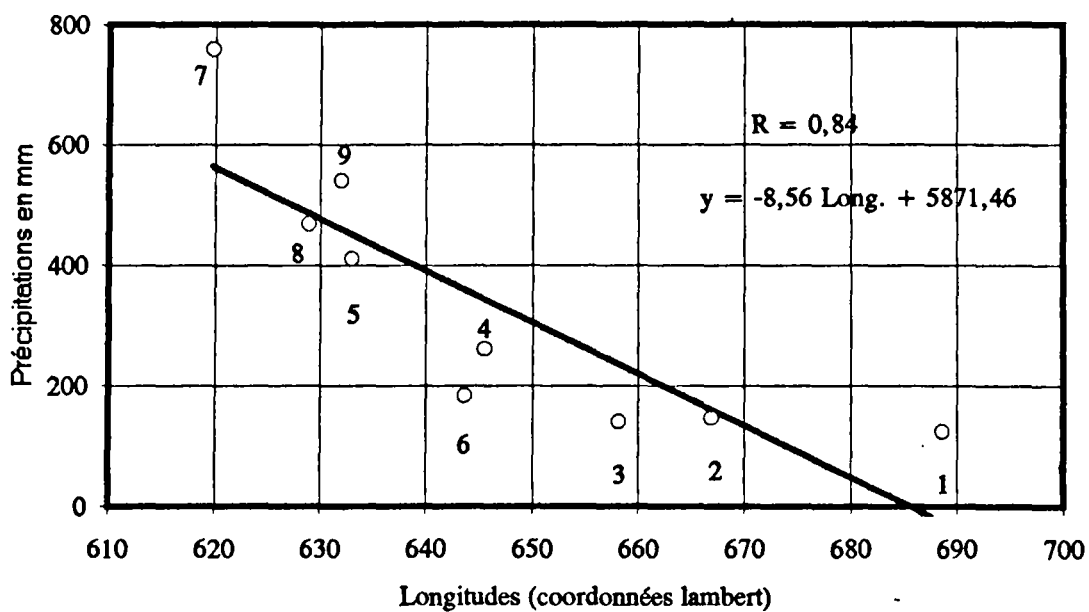
En résumé, la longitude joue un grand rôle dans l'explication de la variabilité spatiale des modules pluviométriques annuels, d'où la rétention de ce facteur pour estimer les pluies. L'équation de régression s'écrit donc:

$$\underline{\text{Module pluvio.} = -8,56 \text{ Long.} + 5871,5}$$

**Fig.22. - Corrélation des modules pluviométriques annuels et des latitudes (1974-75/1989-90)**



**Fig.23. - Corrélation des modules pluviométriques annuels et des longitudes (1974-75/1989-90)**



## ***2-4 ETUDE DES RESIDUS***

En calculant les résidus on se rend compte qu'une grande partie de la variation spatiale des pluies reste inexpliquée. Cependant, une étude des résidus de la régression s'avère nécessaire.

Pour expliquer la variance résiduelle, on a procédé de nouveau à une régression simple entre les résidus et le reste des facteurs explicatifs. Les résultats obtenus (fig.24, 25, 26 et tabl.6) ne sont pas encourageants et les coefficients de corrélation sont très faibles.

L'altitude lissée qui explique 59% de la variance des modules pluviométriques n'explique plus que 3% de la variance des résidus. Cela confirme l'hypothèse avancée ultérieurement; une grande partie de la variance est expliquée en commun par la longitude et l'altitude lissée. Cela est confirmé également par la régression linéaire multiple appliquée aux modules pluviométriques d'une part et les longitudes et les altitudes lissées d'autre part. Le coefficient de corrélation obtenu est de 0,85 soit 72% de la variance. L'équation de régression est donc:

$$\underline{\text{Module pluvio.} = -6,56 \text{ Long.} + 0,078 \text{ A.Lissée} + 4483,2}$$

Etant donnée la valeur élevée de la variance résiduelle, une interpolation des résidus par la méthode du krigeage a été envisagée. L'estimation de la valeur des résidus pour chaque noeud de maille permettra de combler la part non expliquée de la variance. Ainsi l'équation de régression finale serait:

$$\underline{\text{Module pluvio.} = -6,56 \text{ Long.} + 0,078 \text{ A.Lissée} + 4483,2 + \varepsilon_{mp}}$$

$\varepsilon_{mp}$  est la valeur de résidus interpolée

Mais vu que le nombre de postes pluviométrique dans le bassin-versant est très restreint, l'application de la méthode de krigeage n'aboutira pas à des résultats significatifs.

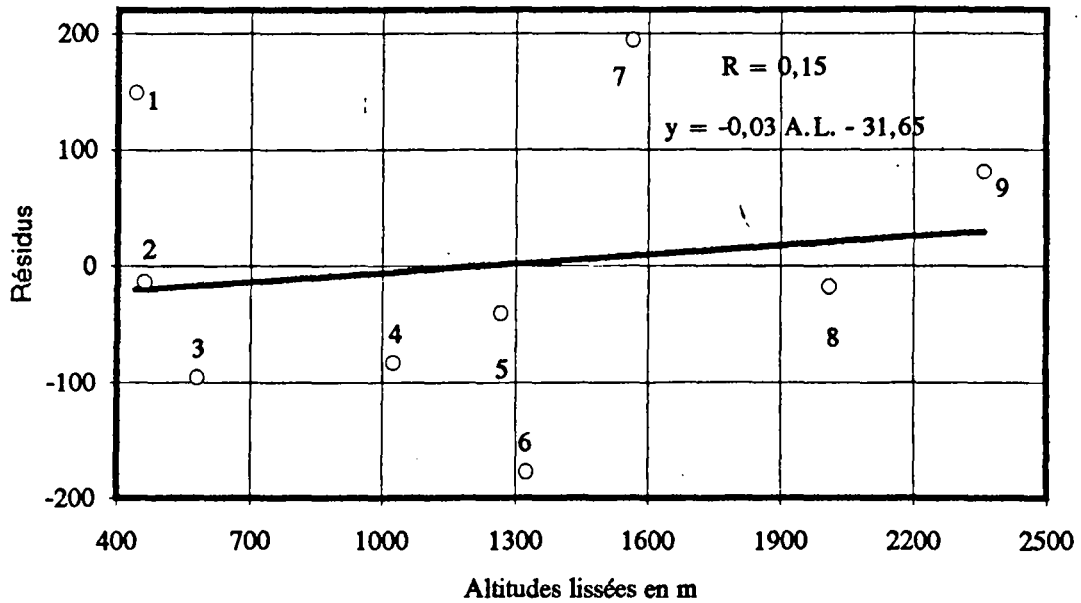
Face à ces différentes contraintes, l'application de cette méthode de cartographie est abandonnée. Mais vu la nécessité d'avoir une estimation de la lame d'eau écoulée pour l'étude de bilan (voir chapitre XI), la méthode utilisée sera la cartographie manuelle du champs pluviométrique car elle permet une meilleur approche de la réalité en intégrant la connaissance du terrain étudié.

## **CONCLUSION**

*Les zones les plus pluvieuses sont tout d'abord la zone nord-ouest, en suite la zone sud-ouest. Vers l'aval du bassin-versant, la pluviométrie devient plus faible. Cette grande disparité spatiale des pluies prend de l'ampleur au fur et à mesure que le pas de temps diminue. C'est pourquoi il était très difficile de maintenir la même échelle pour représenter la pluviométrie des différentes stations comme c'est le cas des figures 76, 79, 82, 85, 87.*

*Le nombre restreint de pluviomètres dans le bassin-versant a compromis la tentative de modélisation de la répartition spatiale des pluies. Mais, la recherche des*

**Fig.24. - Corrélation des résidus (pluies / longitudes) et des altitudes lissées (1974-75/1989-90)**



**Fig.25. - Corrélation des résidus (pluies / longitudes) et des latitudes (1974-75/1989-90)**

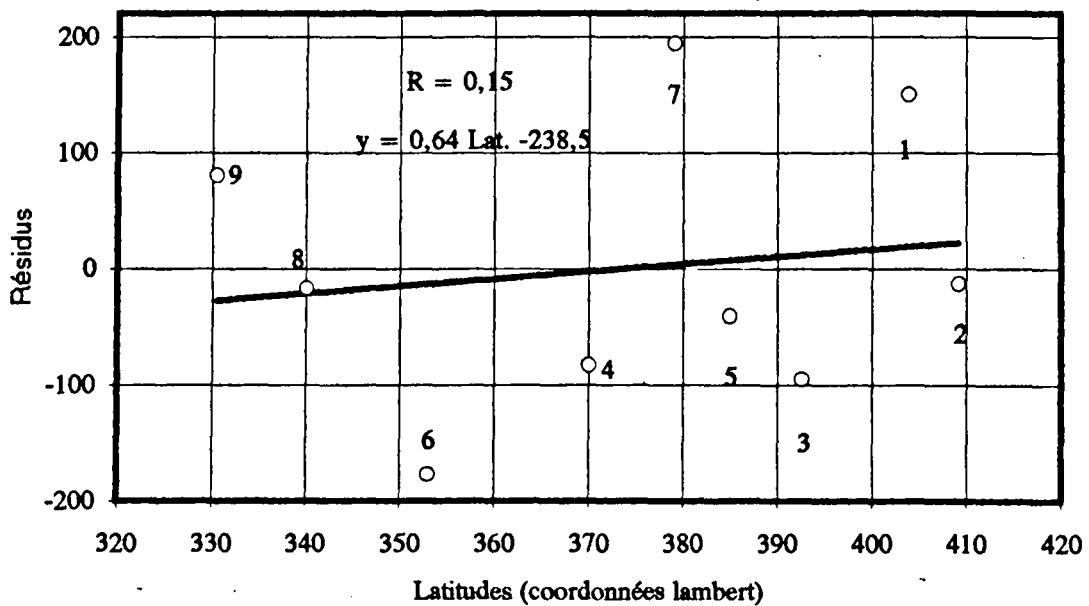
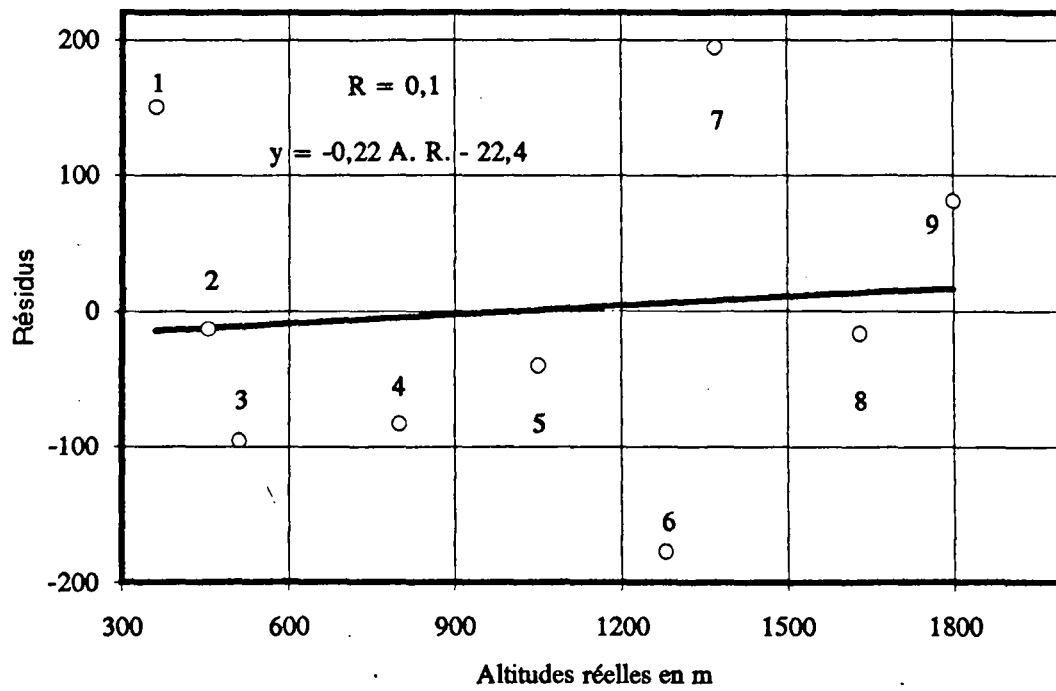


Fig.26. - Corrélation des résidus (pluies / longitudes) et des altitudes réelles (1974-75/1989-90)



*facteurs explicatifs de cette variabilité montre que celle-ci est soumise à l'influence de deux facteurs majeurs: la longitude et l'altitude (elles expliquent 72% de la variance).*



## **CHAPITRE V** **VARIATIONS TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS**

D'une façon directe ou indirecte, les pluies jouent un rôle déterminant dans l'écoulement des cours d'eau. L'étude de l'évolution temporelle de la pluviosité dans le bassin-versant, en conséquence, peut aider à comprendre le comportement hydrologique du Melloulou. Ainsi les pluies à différentes échelles de temps et l'enneigement ont été analysées. Les résultats seront exposés tout au long de ce chapitre.

### **1- VARIATIONS INTERANNUELLES DES PRECIPITATIONS**

#### ***1-1 ETUDE DES VARIATIONS DES PLUIES ANNUELLES***

La série de données pluviométrique de Berkine est la plus longue des séries retenues pour notre étude. Mais étant donné que l'homogénéité de celle-ci n'a pas été testée pour la période antérieure à 1960-61 (voir chapitre III), et pour cause, la station référence (Taza), n'a débuté qu'en 1960, seule la période ultérieure sera retenue.

##### **a) les longues séries**

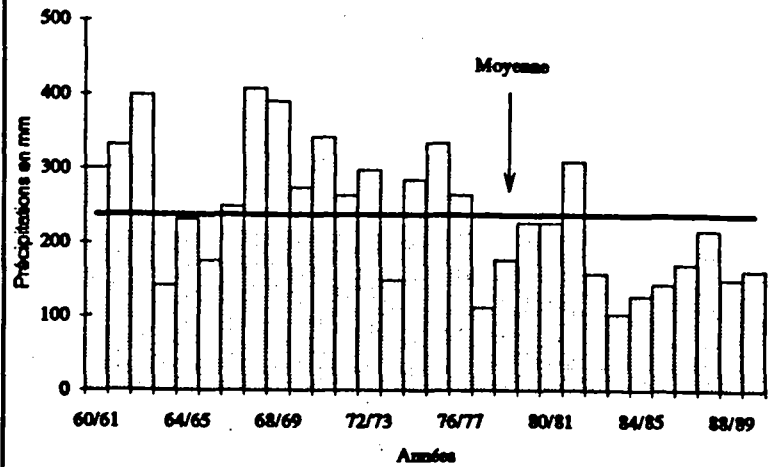
Les longues séries désignent l'ensemble des séries qui ont débuté avant ou dans les années soixante. Elles englobent les séries de Berkine, Bab Elarbaa, Belfarah et Guercif-Melloulou. Les figures 27, 28, 29 et 30 représentent l'évolution des pluies annuelles de ces différentes séries dont l'analyse a permis de constater une disparité importante entre les différentes stations.

Pour apprécier la pluviosité de chaque année l'écart à la moyenne a été calculé. Les résultats, représentés dans le tableau 7, ont permis de faire plusieurs remarques.

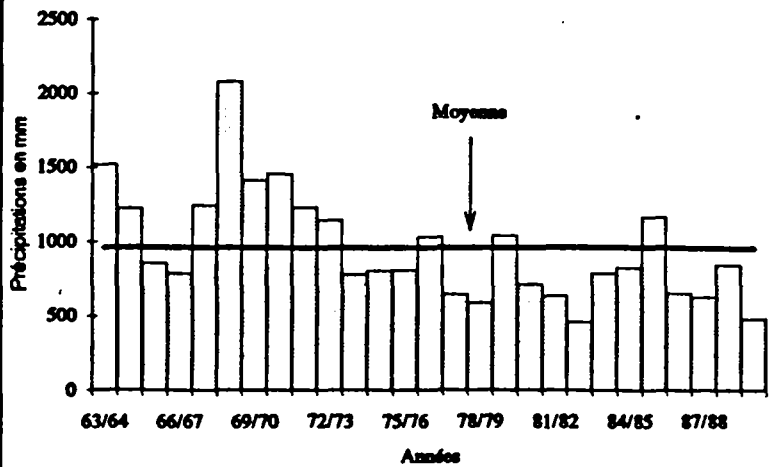
-Les années humides et sèches se regroupent sous forme de périodes pour Berkine et Bab Elarbaa. Ainsi, on peut remarquer qu'à Berkine l'année 1976-77 représente une année limite entre deux périodes opposées pour la série retenue: une période antérieure excédentaire interrompue par quelques années déficitaires: 1963-64, 1965-66 et 1973-74 et une période postérieure à 1976-77 globalement indigente où seule l'année 1981-82 dépasse le module pluviométrique. A Bab Elarbaa, l'année limite est 1972-73 et l'opposition entre les deux périodes est assez nette. Ainsi la période antérieure à cette année limite, à l'exception de 1965-66 et 1966-67, est pluvieuse pour la série considérée. La période postérieure est constituée d'une suite d'années plus ou moins déficitaires intercalées par des années légèrement excédentaires: 1976-77, 1979-80 et 1985-86.

A Belfarah et à Guercif-Melloulou, il est très difficile de parler de véritables périodes d'abondance ou d'indigence. Mais, néanmoins, on peut remarquer qu'à partir de 1976-77 les apports pluviométriques sont plus faibles.

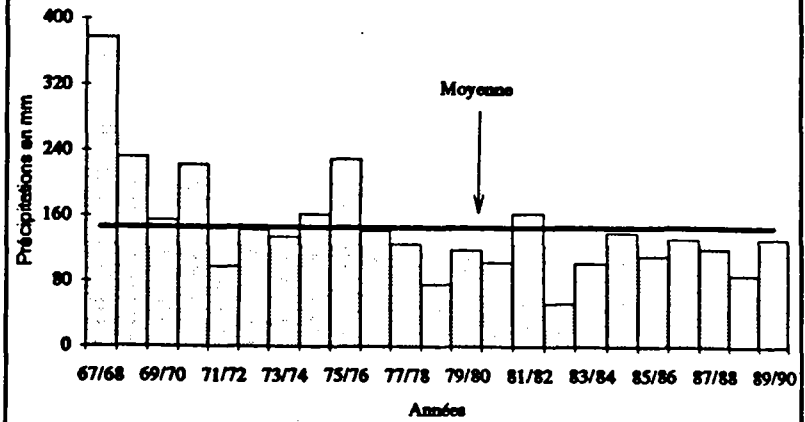
**Fig.27. - Variations interannuelles des précipitations à Berkine (1960-61/1989-90)**



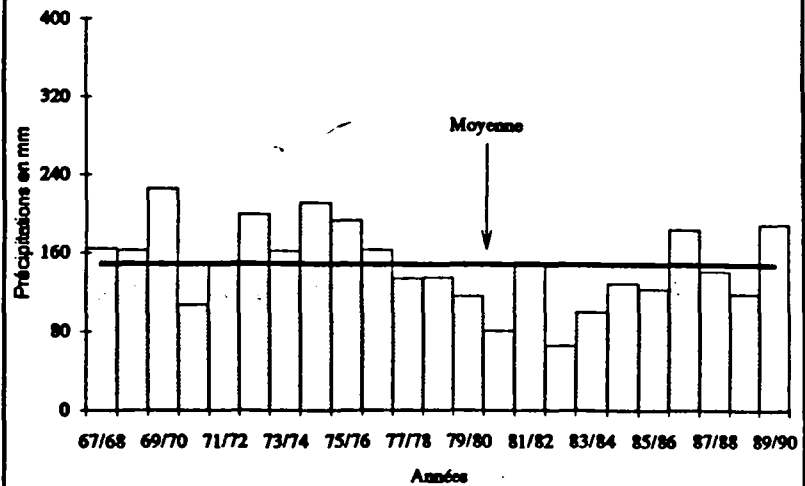
**Fig.28. - Variations interannuelles des précipitations à Bab Elarba (1963-64/1989-90)**



**Fig.29. - Variations interannuelles des précipitations à Guercif-Melloulou (1967-68/1989-90)**



**Fig.30. - Variations interannuelles des précipitations à Belfarah (1967-68/1989-90)**



Tabl.7. - Ecart des pluies annuelles au module pluviométrique (en %)

	Berkine	Bab Elarbaa	Guercif- Melloulou	Belfarah	Ras Elksar	Tamjilt	Beni Bou Illoul	Bechine
60/61	26.40							
61/62	39.39							
62/63	67.69							
63/64	-40.04	58.23						
64/65	-2.57	27.86						
65/66	-26.08	-10.83						
66/67	4.87	-18.12						
67/68	71.56	30.14	157.89	10.85				
68/69	64.54	117.21	58.94	9.64				
69/70	15.34	47.52	5.99	51.95				
70/71	43.97	51.90	52.25	-27.83				
71/72	11.09	28.78	-33.10	1.10				
72/73	25.30	19.94	-2.35	34.46				
73/74	-37.14	-18.55	-7.95	9.10				
74/75	19.96	-16.07	10.97	42.80	29.98	-12.42		9.16
75/76	40.99	-15.68	57.37	30.42	60.08	14.47		32.49
76/77	11.55	8.04	-2.83	10.18	1.98	24.58		28.14
77/78	-53.03	-32.26	-13.69	-9.46	24.82	67.21		34.90
78/79	-25.62	-38.31	-47.66	-8.93	20.82	90.91	83.09	9.16
79/80	-4.26	8.69	-18.75	-21.64	14.37	133.63	162.36	7.53
80/81	-4.59	-25.62	-29.34	-45.32	-10.32	8.74	3.82	-28.06
81/82	30.39	-33.71	11.79	1.70	44.38	-14.54	9.00	-17.57
82/83	-33.14	-52.21	-63.78	-55.67	-30.97	-51.66	-57.21	-29.62
83/84	-56.27	-17.92	-29.96	-32.33	-49.77	-49.23	-40.38	-22.51
84/85	-46.01	-14.09	-4.13	-13.03	-64.98	-54.93	-59.93	-26.63
85/86	-39.32	21.45	-24.42	-16.66	-11.29	-18.12	-20.58	21.81
86/87	-28.10	-31.48	-9.66	24.64	11.75	-9.63	-22.46	14.88
87/88	-8.80	-33.92	-18.07	-4.35	-16.41	-51.03	-45.69	-19.01
88/89	-36.51	-11.52	-39.87	-20.02	-22.58	-36.71	-1.84	-30.64
89/90	-31.54	-49.47	-9.59	28.47	-1.85	-41.28	-10.18	15.97

Le contraste entre les années de forte pluviosité et celles de forte sécheresse est très important. Ainsi le maximum est presque 3 fois supérieur au minimum pour Berkine et Bab Elarbaa et 6 fois pour Guercif-Melloulou, mais à Belfarah il n'est que de 2,5.

L'écart à la moyenne nous permet de distinguer l'année la plus déficitaire et l'année la plus excédentaire. Ainsi l'année 1967-68 est la plus excédentaire pour Berkine et Guercif-Melloulou avec respectivement +72% et +158% au-dessus du module, pour Bab Elarbaa et Belfarah c'est respectivement 1968-69 avec +117,2% et 1969-70 avec +52%. L'année la plus déficitaire est l'année 1982-83, sauf pour Berkine où c'est l'année 1983-84. Son écart à la moyenne est plus faible, il varie entre -50% et -65%.

Le coefficient de variation annuel (tabl.12) est assez important; Il est d'environ 0,4 pour les séries de Berkine et de Bab Elarbaa. Mais à Belfarah il descend à 0,28 et à Guercif-Melloulou il atteint 0,46.

#### **b) Les séries courtes**

Ce sont les séries des stations de Bechine, Ras Elksar, Tamjilt et Beni Bou Illoul. A l'exception de cette dernière qui a débuté en 1978-79 les trois autres commencent en 1974-75. Les figures 31, 32, 33 et 34 permettent de donner une idée de l'évolution interannuelle des précipitations de ces stations qu'on peut résumer dans les points suivants:

Les précipitations annuelles à Tamjilt et à Beni Bou Illoul présentent la même évolution. Ainsi de part et d'autre de l'année 1981-82 deux périodes différentes sont distinguées pour ces séries.

-Une période excédentaire avec un maximum en 1979-80 où les deux stations ont totalisé respectivement 1114 mm et 1353 mm, ce qui représente, par rapport à la moyenne, +134% et +162%.

-La période ultérieure à 1981-82 est déficitaire et l'année 1984-85 représente l'année la plus sèche avec un déficit de -55% pour Tamjilt et -60% pour Beni Bou Illoul.

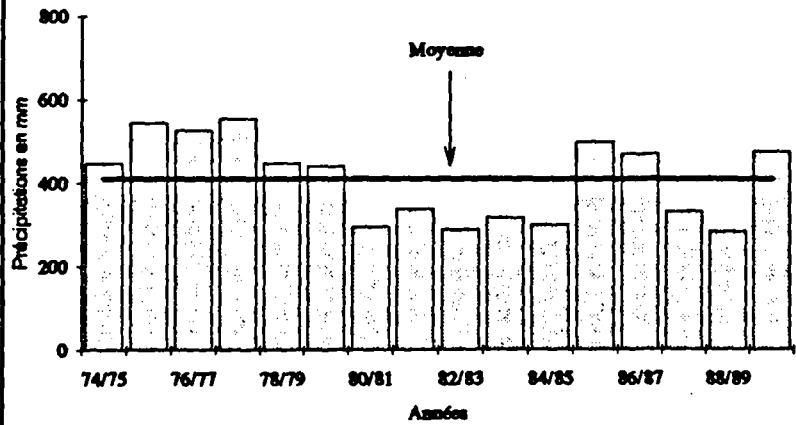
Les hauteurs d'eau précipitée chaque année à Bechine et à Ras Elksar sont très irrégulières d'une année à l'autre. Le maximum pluviométrique est enregistré en 1977-78 pour la première avec 35% au-dessus du module. Pour la deuxième il est de +60% en 1975-76. Par contre, le minimum pour les deux stations est situé respectivement en 1982-83 avec -30% et en 1984-85 avec -65%.

L'étude du coefficient de variation (tabl.12) montre un contraste très important: à Tamjilt et à Beni Bou Illoul le coefficient est très élevé: 0,55 et 0,64. A Ras Elksar et Bechine, en revanche, il est seulement de 0,33 et 0,24.

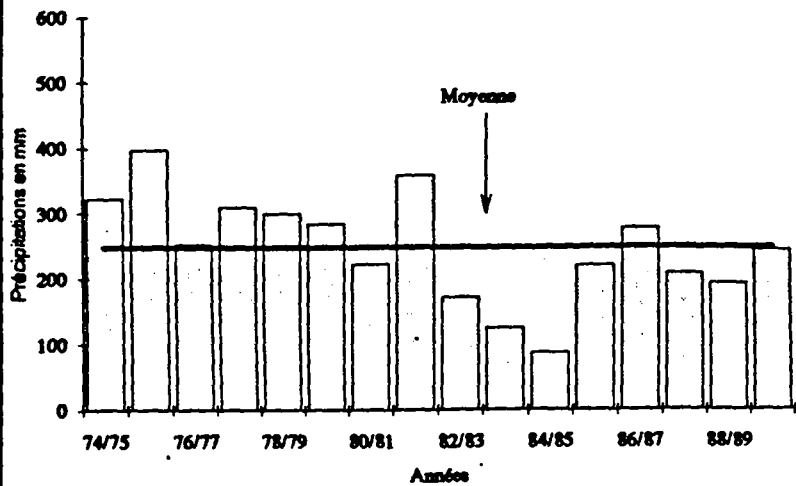
### **1-2 ETUDE FREQUENTIELLE DES PLUIES ANNUELLES**

Etant donnée la longueur des séries d'observation seulement quatre séries ont été utilisées pour cette étude fréquentielle des pluies annuelles: Berkine, Bab Elarbaa, Guercif-Melloulou et Belfarah.

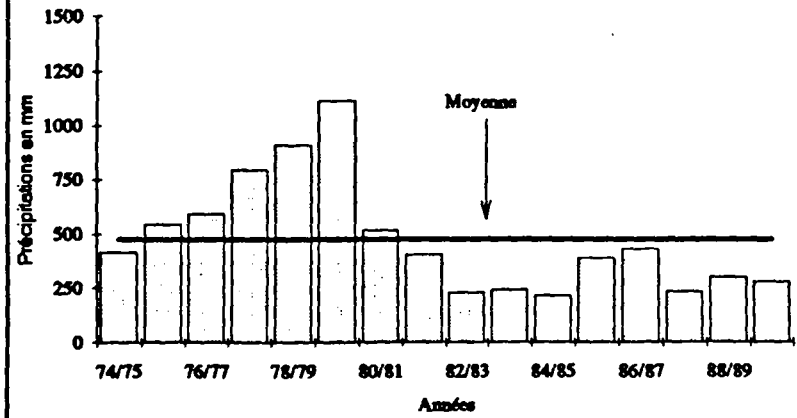
**Fig.31. - Variations interannuelles des précipitations à Bechine (1974-75/1989-90)**



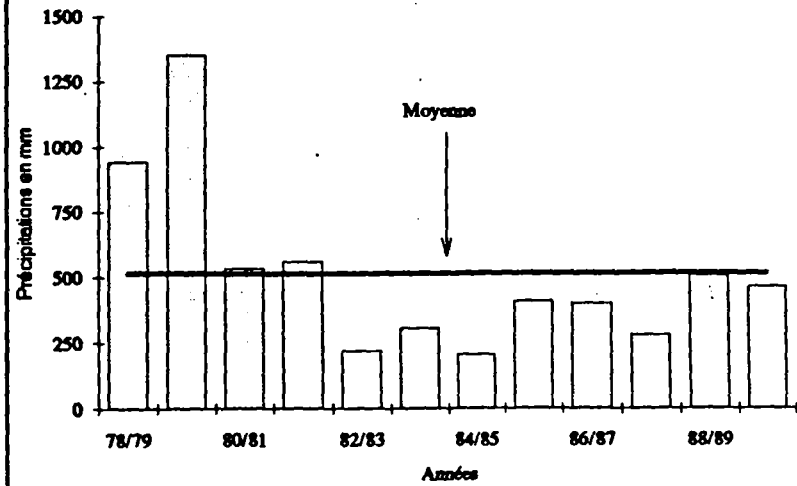
**Fig.32. - Variations interannuelles des précipitations à Ras Elksar (1974-75/1989-90)**



**Fig.33. - Variations interannuelles des précipitations à Tamjilt (1974-75/1989-90)**



**Fig.34. - Variations interannuelles des précipitations à Beul Bou Illoul (1978-79/1989-90)**



La méthode est basée sur la représentation des valeurs observées et leurs fréquences expérimentales sur un papier fonctionnel à échelle gaussique en ordonnée (figures 35) Les fréquences sont calculées par la formule suivante:

$$F = r - 0,5/N$$

r: est le rang de la valeur concernée après classement des données.

N: est la taille de l'échantillon.

La représentation graphique a l'avantage de permettre une appréciation visuelle et rapide de la qualité de l'ajustement.

Les valeurs extrêmes de pluies pour une période de retour donnée sont calculées par la formule suivante:

$$P_p = P + (U_p S)$$

P: est la moyenne des précipitations pour la période donnée

S: est l'écart type

$U_p$ : variable réduite de Gauss à un seuil de probabilité p correspondant à la période de retour choisie. Exemple: pour une période de 100 ans  $U_p = \pm 2,32$ .

Pour calculer l'intervalle de confiance des valeurs estimée à un risque d'erreur fixée la formule utilisée est:

$$I.C = \pm t (1-\alpha/2) (S/\sqrt{2N}) \sqrt{(U_p^2 + 2)}$$

I.C: intervalle de confiance à un seuil de probabilité Choisi. Exemple pour un I.C à 95%  $\alpha = 1,96$ .

Pour juger la qualité de l'ajustement, le test du khi 2 ( $X^2$ ) est utilisé. L'expression mathématique de ce test est:

$$X^2 = \sum_i^k (n_i - n_{pi})^2 / n_{pi}$$

$n_i$  et  $n_{pi}$  sont respectivement l'effectif observé et l'effectif théorique de la classe i  
K est le nombre de classes choisies.

Pour le calcul du nombre de degré de liberté v la formule utilisée est  $v = k - p - 1$ , p étant le nombre de paramètres de la loi théorique ( $p = 2$  pour la loi normale).

Les résultats de l'application de ce test (tabl.8) montre que le  $X^2$  calculé pour les quatre séries ajustées correspond à des probabilités comprise entre 0,9 et 0,1. D'où une adéquation assez satisfaisante de la loi normale aux quatre séries ajustées.

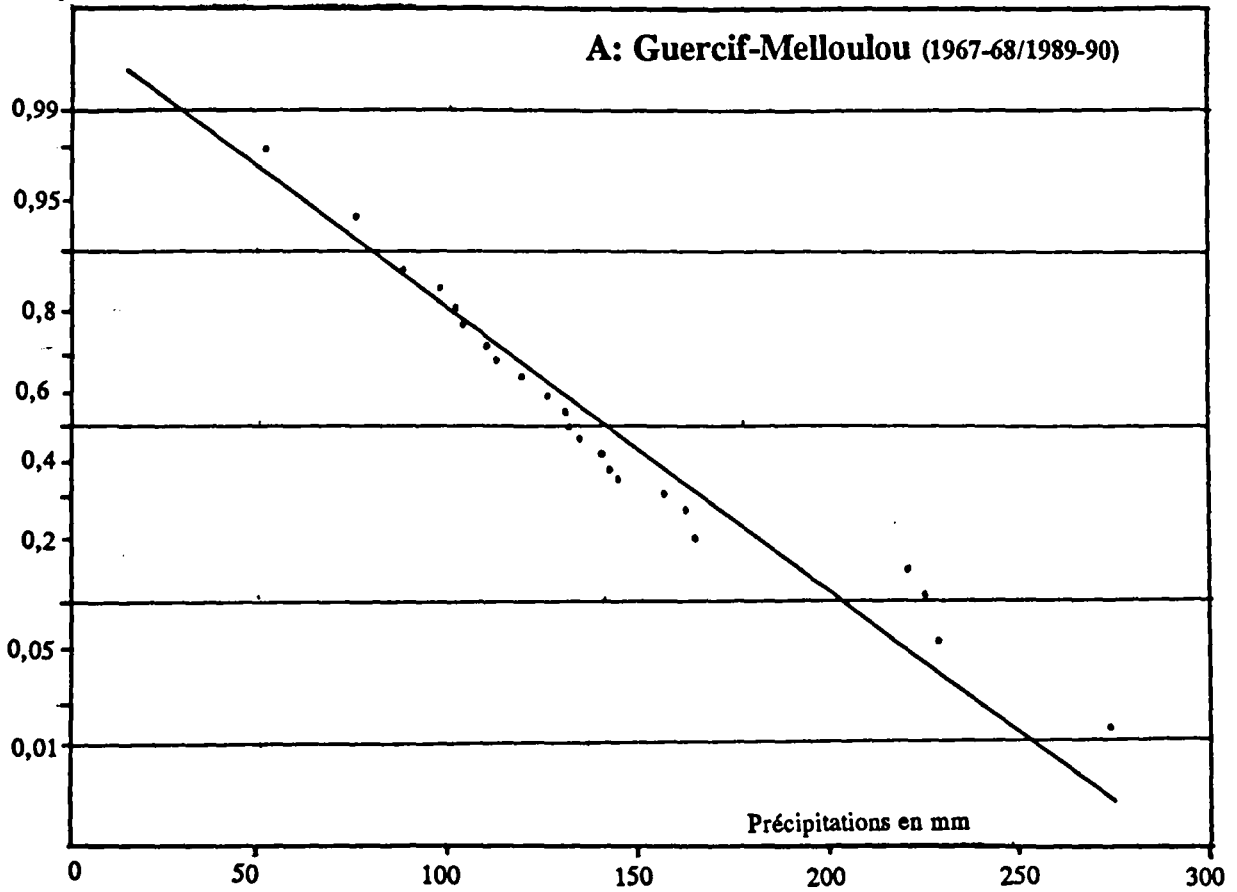
L'étude des quartiles, de la médiane et de leurs rapports à la moyenne (tabl.9) montre, également, plusieurs aspects de la distribution des observations.

L'écart entre la médiane et la moyenne est très faible. leur rapport varie de 0,9 à 1 sauf pour Bab Elarbaa où il est de 0,86.

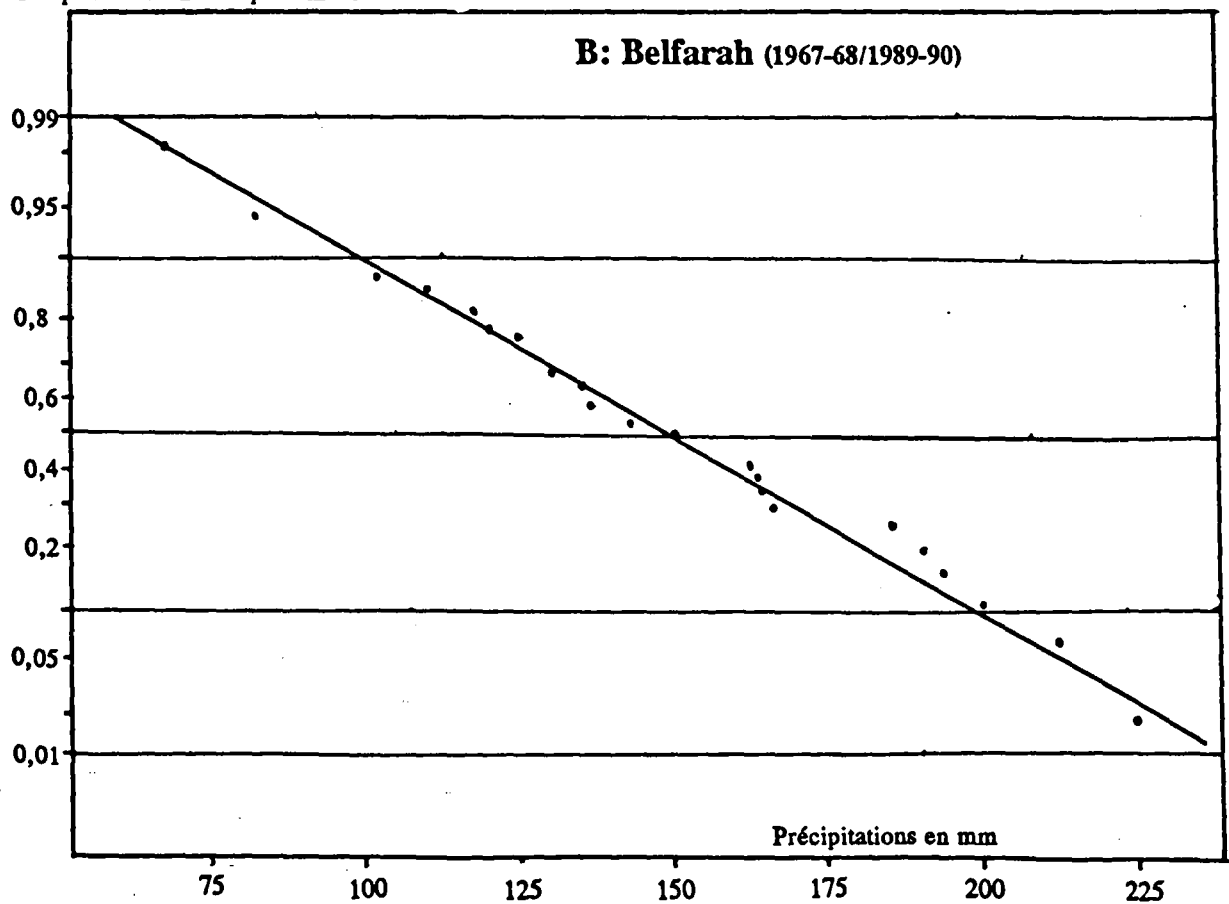
L'écart des quartiles inférieurs et supérieurs par rapport à la moyenne est presque égale. Mais la station de Bab Elarbaa se distingue une fois de plus des autres stations avec

Fig. 35 . - Ajustement des <sup>67</sup> pluies annuelles à la loi normale

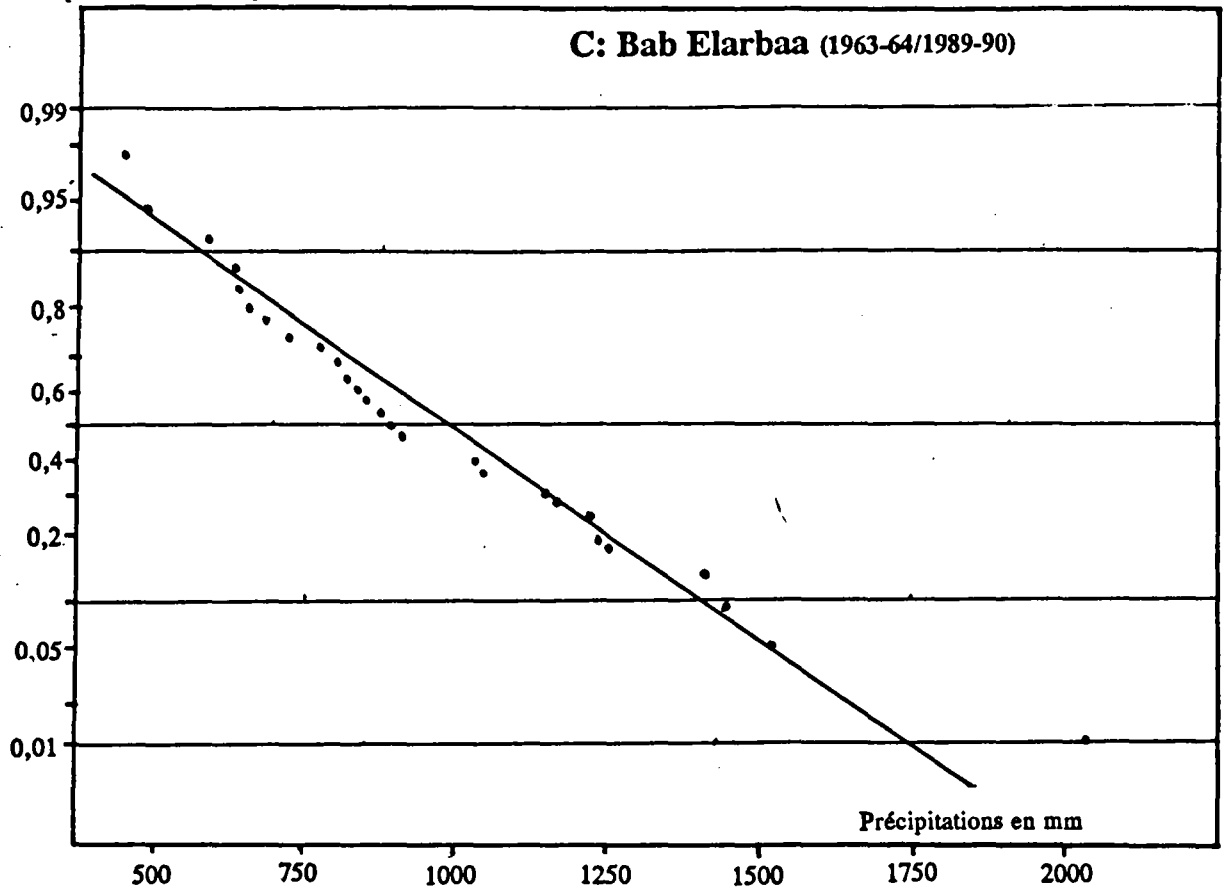
Fréquences au non dépassement



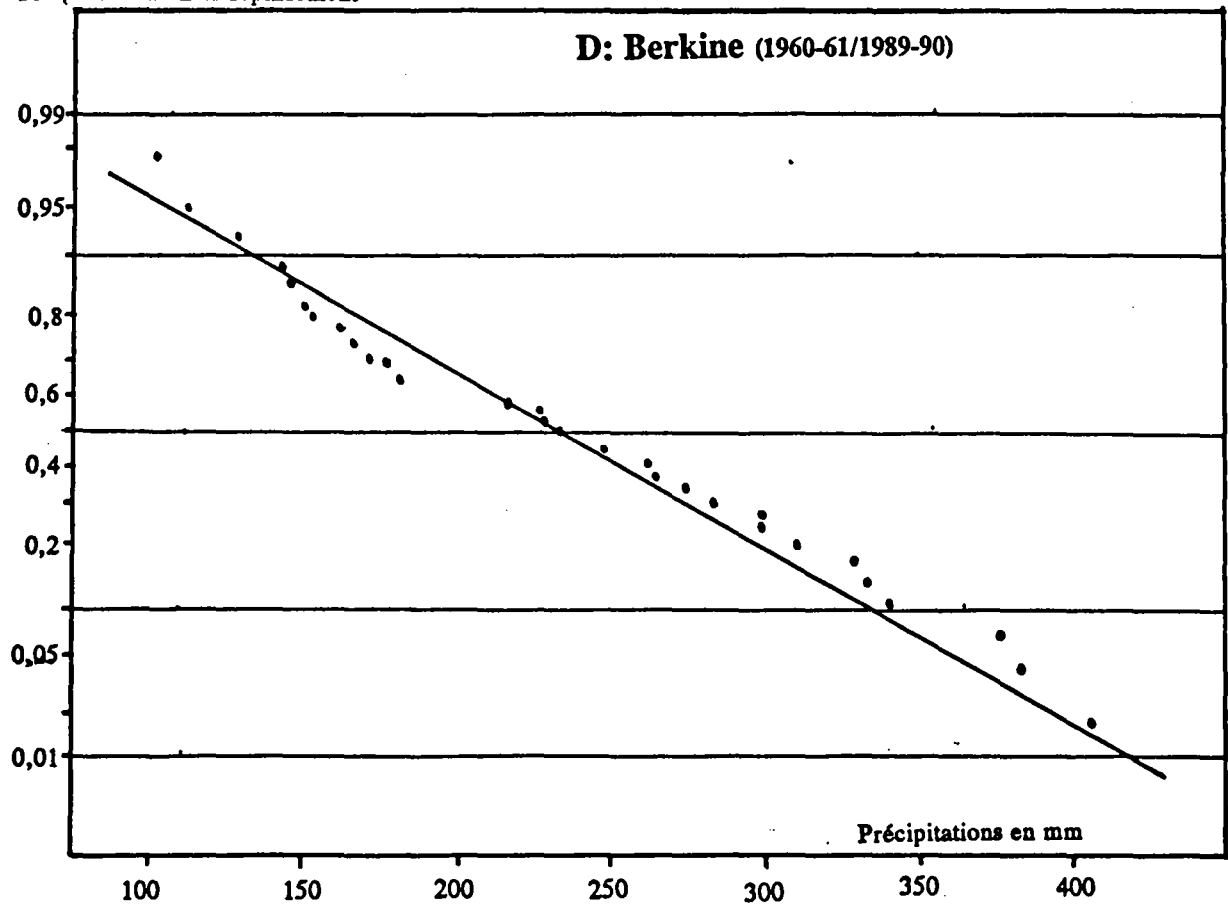
Fréquences au non dépassement



Fréquences au non dépassement



Fréquences au non dépassement





Tabl.8. - Application du test du Khi 2 aux ajustements des pluies annuelles de: Guercif-Melloulou, Belfarah, Bab Elarbaa et Berkine

Classes	ni	npi	(ni-npi) <sup>2</sup>	(ni-npi) <sup>2</sup> /npi
<b>Guercif-Melloulou (1967-68/1989-90)</b>				
(-) 101,6	6	5.75	0.06	0.011
101,6-146,3	8	5.75	5.06	0.880
146,3-191,1	5	5.75	0.56	0.098
(+) 191,1	4	5.75	3.06	0.533
<b>X<sup>2</sup></b>				1.522
<b>Belfarah (1967-68/1989-90)</b>				
(-) 121,8	7	5.75	1.5625	0.272
121,8-148,7	5	5.75	0.5625	0.098
148,7-175,5	4	5.75	3.0625	0.533
(+) 175,5	7	5.75	1.5625	0.272
<b>X<sup>2</sup></b>				1.174
<b>Bab Elarbaa (1963-64/1989-90)</b>				
(-) 712,4	7	6.75	0.0625	0.009
712,4-958,9	9	6.75	5.0625	0.750
958,9-1205,4	4	6.75	7.5625	1.120
(+) 1205,4	7	6.75	0.0625	0.009
<b>X<sup>2</sup></b>				1.889
<b>Berkine (1960-61/1989-90)</b>				
(-) 180,1	9	7.5	2.25	0.300
180,1-243,1	5	7.5	6.25	0.833
243,1-306,4	7	7.5	0.25	0.033
(+) 306,4	9	7.5	2.25	0.300
<b>X<sup>2</sup></b>				1.467

Tabl.9.- Etude des paramètres de dispersion et de leur rapport à la moyenne (valeurs en mm)

Stations et Période	Quartile inférieur (A)	Médiane (Méd.)	Quartile supérieur (B)	Moyenne (Moy.)	Méd./Moy.	Ecart de A à la moy.(%)	Ecart de B à la moy.(%)
<b>Berkine</b> 1960-61/1989-90	300.6	229.7	159	237.8	0.97	-31	31
<b>Bab Elarbaa</b> 1963-64/1989-90	1226	823.8	657	958.9	0.86	-49	20
<b>Belfarah</b> 1967-68/1989-90	185.3	150.3	118.9	148.7	1.01	-23	21
<b>Guercif-Mel.</b> 1967-68/1989-90	162.4	132.3	103.4	146.3	0.9	-23	22

un écart de 49% entre le quartile inférieur et la moyenne contre 20% pour le quartile supérieur.

Le tableau 10, représentant l'estimation des valeurs des précipitations pour des périodes de retours de 10, 20, 50 et 100 ans, mérite quelques observations.

L'écart de l'année excédentaire à la moyenne, pour les périodes de retours choisies, est beaucoup plus faible que l'écart en année sèche par rapport à la moyenne.

Ainsi les modules pluviométriques calculés pour des années sèches sont au moins 7 fois inférieurs à la moyenne, pour une période de 100 ans, à l'exception de Belfarah où il n'excède pas 3. Pour les modules pluviométriques en année humide les valeurs ne dépassent 2 fois la moyenne qu'à Guercif-Melloulou pour la période de retour centennale.

Par conséquent, on observe bien la grande variabilité des séries d'observations des stations étudiées ainsi que la dispersion des valeurs par rapport à la valeur centrale.

## **2- VARIATIONS MENSUELLES DES PRECIPITATIONS**

### ***2-1 REGIME PLUVIOMETRIQUE MENSUELS***

#### ***2-1-1 REGIME PLUVIOMETRIQUE MOYEN***

L'étude du régime pluviométrique des stations du bassin-versant (tabl.11) ont permis de distinguer trois groupes de stations:

-Le groupe nord-ouest, constitué des stations de Bab Elarbaa (fig.40) et Bechine (fig.36), a un régime pluviométrique caractérisé par un maximum en février de l'ordre de 76 mm à Bechine et 150 mm à Bab Elarbaa. Les mois de juin, juillet, août et septembre sont les mois les moins arrosés de l'année avec un minimum de moins de 3 mm en juillet pour Bab Elarbaa et en août pour Bechine.

-Le maximum pluviométrique des stations de Tamjilt (fig.42) et Beni Bou Illoul (fig.37) est situé au mois d'octobre. Le second maximum, en revanche, est représenté par le mois de février pour la première et le mois de novembre pour la deuxième. La vérification des totaux mensuels pour chaque année nous a révélé un épisode pluvieux exceptionnel enregistré dans les deux stations pendant le mois d'octobre de 1979 qui s'est étalé aussi sur le mois de novembre à la station de Beni Bou Illoul. D'où une influence très importante sur la moyenne mensuelle des pluies du mois d'octobre pour les deux stations et en novembre pour Beni Bou Illoul. Cependant, sans cette période exceptionnelle le maximum pluviométrique serait au mois de février. Le minimum pluviométrique pour ces deux stations est situé au mois de juillet. Il varie entre 10 et 15 mm. Les pluies orageuses d'été atténuent l'impact de la sécheresse des mois d'août et septembre. Leurs moyennes pluviométriques sont supérieures à 18 mm.

Tabl.10. - Pluies annuelles estimées après ajustement pour différentes périodes de retour (en mm)

Stations et Période	Moyenne		Période de retour en nombre d'années			
			100	50	20	10
Berkine 1960-61/1989-90	237.8	A *	31.6	55.6	92.1	124
		B **	444	420	384	352
Bab Elarbaa 1963-64/1989-90	958.9	A	95.6	196	349	483
		B	1822	1722	1569	1435
Belfarah 1967-68/1989-90	148.7	A	53	64.1	81	95.9
		B	244	233	216	201
Guercif-Mel. 1967-68/1989-90	142	A	19.3	33.6	55.2	74.26
		B	164	250	228.7	209.6

A \* Valeurs estimées pour une année sèche

B \*\* Valeurs estimées pour une année humide

Tabl.11. - Régimes pluviométriques moyens mensuels

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	M / m *
Séries (1967-68/1989-90)													
GUERCIF-MEL.	5.6	15	15	12	12	14	18	25	20	5.9	2.5	2.8	9.8
BELFARAH	4	15	15	10	17	21	16	26	17	5.7	0.8	1.9	32.1
B. ELARBAA	18	57	118	121	135	150	130	110	72	15	3.1	4.8	48.4
BERKINE	11	22	26	12	20	26	28	36	26	14	6.7	5	7.3
Séries (1974-75/1989-90)													
BECHINE	14	29	38	44	60	76	50	54	30	7.9	4.8	3.3	23
TAMJILT	30	79	28	33	50	77	42	49	37	25	10	19	7.9
B. BOU ILOUL	31	97	85	32	30	48	46	40	43	26	15	18	6.5

la moyenne de beni bou Illoul est calculée sur la période 1978-79/1989-90

\* : M : maximum pluviométrique      m : minimum pluviométrique

Fig.36. - Régime pluviométrique mensuel de Bechine (1974-75/1989-90)

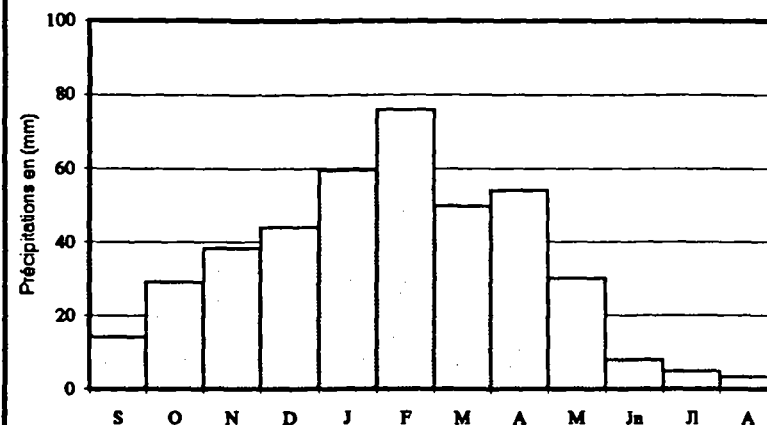
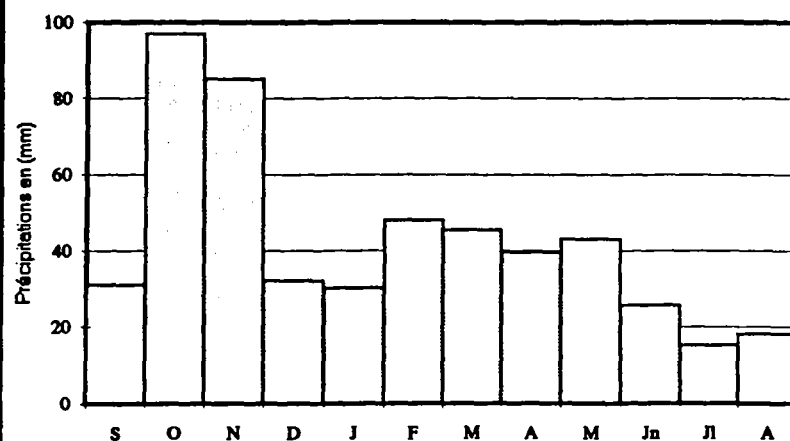


Fig.37. - Régime pluviométrique mensuel de Beni Bou Illoul (1978-79/1989-90)



-Le troisième groupe est constitué des stations de la partie aval du bassin-versant et la station de Berkine (fig.41). Celle-ci, même si elle est située au sud-ouest du bassin a un régime pluviométrique comparable à celui des stations de Belfarah (fig.39) et Guercif-Melloulou (fig.38). Le maximum pluviométrique pour ces stations est situé au mois d'avril. Il varie entre 25 et 36 mm. Un maximum pluviométrique secondaire se manifeste également au mois de novembre. On distingue également un troisième maximum en février à Belfarah. Les mois de juin, juillet, août et septembre sont déficitaires. L'apport pluviométrique de chacun de ces mois est très faible. Il ne dépasse le seuil de 5 mm qu'à Berkine où il atteint 10 mm. Le minimum pluviométrique, contrairement au maximum, est bien net. Il se manifeste au mois de juillet. Un minimum secondaire apparaît au mois de décembre et pour Belfarah un troisième minimum apparaît au mois de mars.

### **2-1-2 REGIME PLUVIOMETRIQUE PROBABLE**

L'étude du régime pluviométrique probable des stations du bassin-versant a été établie aux fréquences 25%, 50% et 75%.

La période choisie pour cette étude est celle de 1967-68/1989-90. C'est une période relativement longue qui englobe des stations appartenant à de différentes zones du bassin-versant et de là, il sera possible de comparer les résultats obtenus pour les différentes stations. Ainsi les stations retenues sont celles de Guercif-Melloulou (fig.38) et Belfarah (fig.39) pour la partie aval du bassin-versant, Bab Elarbaa (fig.40) pour la partie nord-ouest et Berkine (fig.41) pour le sud-ouest. Mais cette dernière station, étant située dans un synclinal abrité par de hautes montagnes, n'est pas assez représentative de cette partie du bassin-versant. Par conséquent, l'étude a été complétée par la série de Tamjilt (fig.42) bien qu'elle ne dépasse pas seize ans d'observation.

#### **a) Régime pluviométrique probable à la fréquence 50%**

L'étude des hauteurs des précipitations probables une année sur deux laisse apparaître des disparités entre les différentes stations. Pourtant, deux ensembles de stations s'individualisent.

L'ensemble des stations à régime bimodal: il englobe les stations de Guercif-Melloulou et Berkine. Leur régime est caractérisé par deux maximum; un maximum printanier en avril et un maximum automnal en novembre. Ils sont séparés par deux minima en juillet/août et en décembre ou janvier.

Le groupe de stations à régime trimodal: c'est le cas des stations de Belfarah, Bab Elarbaa et Tamjilt. Ils se distinguent par trois maximum: en février, avril et, selon les stations, un troisième maximum apparaît en octobre, novembre, ou décembre. Trois minimum séparent ces maxima, ils se manifestent pendant la saison sèche en juillet et août, en janvier ou en mars.

Fig.38. - Régime pluviométrique mensuel de Guercif-Melloulou (1967-68/1989-90)

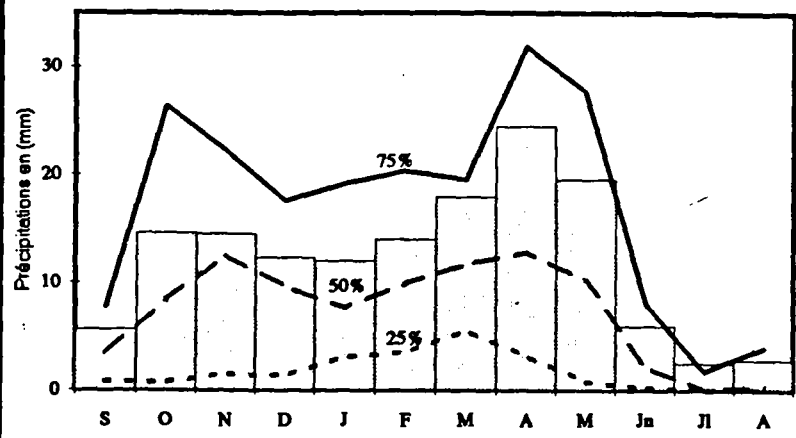


Fig.39. - Régime pluviométrique mensuel de Belfarah (1967-68/1989-90)

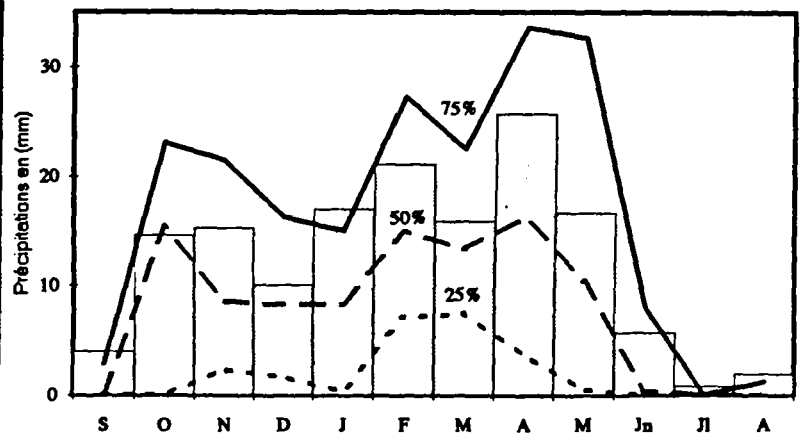


Fig.40. - Régime pluviométrique mensuel de Bab Elarbaa (1967-68/1989-90)

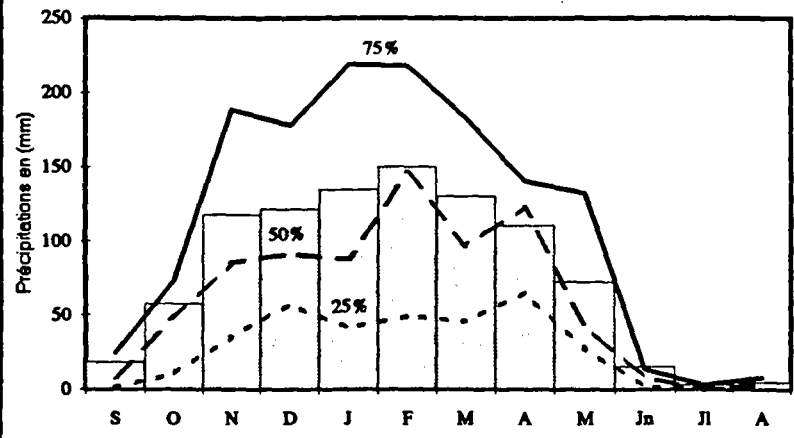


Fig.41. - Régime pluviométrique mensuel de Berkine (1967-68/1989-90)

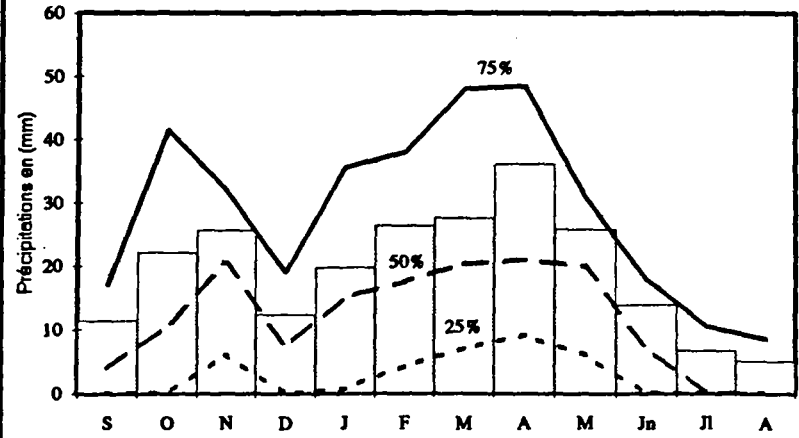
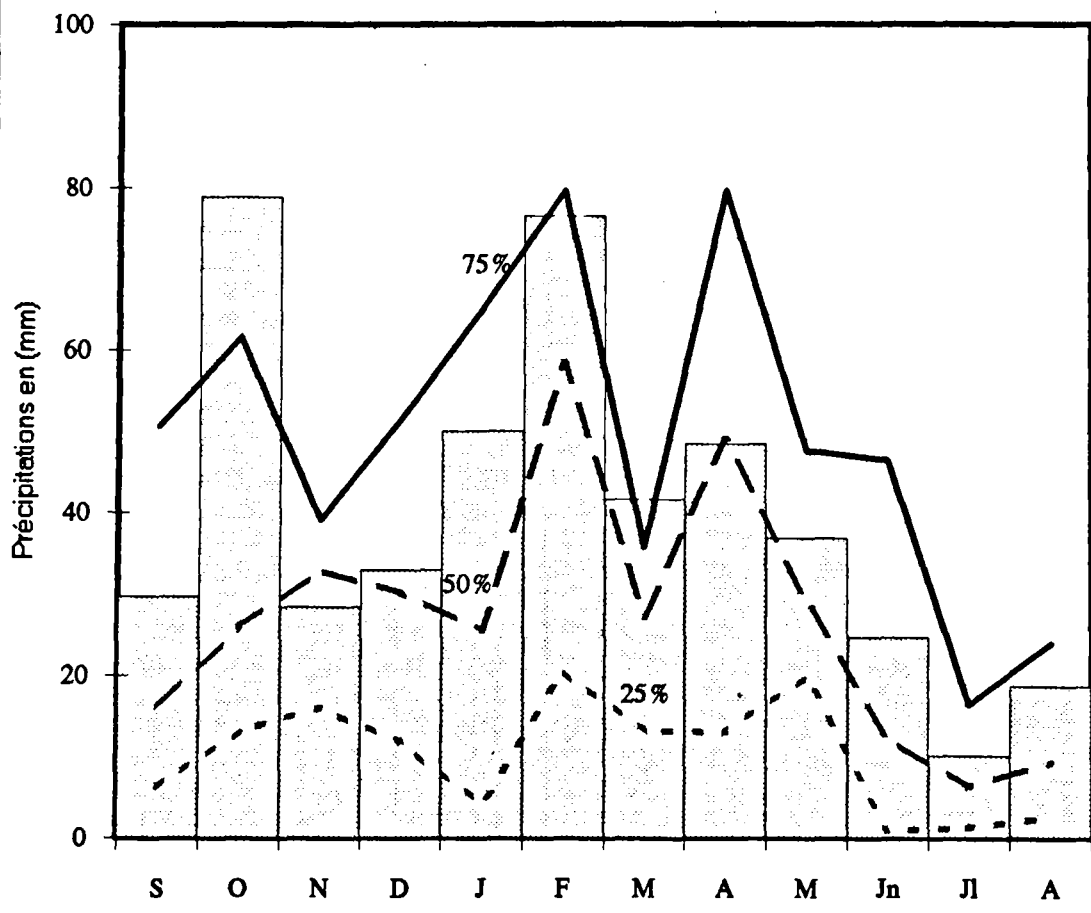


Fig.42. - Régime pluviométrique mensuel de Tamjilt (1974-75/1989-90)



Les écarts entre les maxima pluviométriques probables des différentes stations sont généralement faibles sauf pour les stations de Bab Elarbaa et Tamjilt où ils prennent de l'importance.

Les moyennes mensuelles des précipitations sont toujours supérieures aux valeurs probables une années sur deux. Ces derniers sont 2 à 3 fois inférieurs aux moyennes.

Le régime probable médian se conforme globalement au régime moyen. Pourtant, on peut déceler quelques irrégularités. Ainsi le maximum moyen de novembre à Belfarah se trouve en octobre en régime probable, le maximum principal d'octobre à Tamjilt laisse la place à un maximum moins important au mois de novembre et le régime pluviométrique moyen unimodal de Bab Elarbaa se transforme en un régime trimodal à la fréquence 50%.

#### **b) Régime pluviométrique probable à la fréquence 25% et 75%.**

Le régime probable à 25% reflète en gros les mêmes caractéristiques du régime médian. Pourtant, quelques irrégularités sont à noter: Les courbes de fréquence 25%, pour les stations de la zone aval du bassin-versant, Guercif-Melloulou et Belfarah, changent d'allure. Ainsi le régime bimodale de la première station se transforme en un régime unimodale avec un maximum en mars et la seconde station ne garde que deux maximum sur trois décalés par rapport à ceux du régime médian.

Pour la station de Tamjilt, bien qu'elle garde la même allure, le maximum d'avril est décalé vers mai.

A la fréquence 75% le régime probable est moins conforme au régime médian en comparaison avec le régime probable à 25%. Ainsi on peut déceler plusieurs irrégularités.

Au niveau de la structure du régime pluviométrique le régime médian bimodale de Guercif-Melloulou devient un régime trimodale, et le régime trimodale de Bab Elarbaa se transforme en régime bimodale avec un maximum en janvier et novembre.

Au niveau de la répartition des maxima pluviométriques on note le décalage du maximum de novembre à Berkine, à Guercif-Melloulou et Tamjilt vers octobre.

## **2-2 ETUDE DES VARIATIONS DES PLUIES MENSUELLES**

Pour étudier la variation temporelle des modules pluviométriques mensuels le coefficient de variation était calculé pour chaque mois (tabl.12) ainsi que le rapport entre les valeurs moyennes mensuelles extrêmes (tabl.11).

Pour toute les stations le coefficient de variation maximal apparaît au mois de juin ou juillet et, dans une moindre mesure, en août. Les seuls cas exceptionnels sont ceux de Tamjilt et Beni Bou Illoul où le maximum est observé au mois d'octobre; cela est dû à la forte pluviosité du mois d'octobre 1979 où les deux stations ont enregistré des valeurs supérieures à 700 mm.

En revanche, le minimum du coefficient de variation est très variable d'une station à l'autre. Il est situé en novembre pour Guercif-Melloulou, Berkine, Bechine et Tamjilt, en

Tabl.12. - Coefficients de variations des pluies moyennes mensuelles et annuelles

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	Année
<b>Séries (1967-68/1989-90)</b>													
<b>GUERCIF MEL.</b>	1.3	1.1	0.9	1	1	0.9	1.4	1.2	1.2	1.7	2	1.6	0.50
<b>BELFARAH</b>	2.2	1	1.3	1	1.5	1.1	0.7	1.1	1	1.8	2.8	2.3	0.30
<b>B. ELARBAA</b>	1.1	1.1	0.9	0.7	0.9	0.8	0.8	0.5	0.8	1.6	1.6	1.1	0.40
<b>BERKINE</b>	1.4	1.2	0.9	1.2	1	1.1	1	1	1.2	1.4	1.6	1.5	0.40
<b>Séries (1974-75/1989-90)</b>													
<b>BECHINE</b>	1.3	0.9	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	1.3	1.3	1.6	0.20
<b>TAMJILT</b>	1	2.3	0.6	0.7	1.2	1.3	1.2	0.7	0.7	1	1.1	1.3	0.54
<b>B.BOU ILOUL</b>	0.8	1.9	1.2	0.8	0.8	1.2	0.7	0.8	0.6	1.1	1.4	1.1	0.62

les coefficients de variations de beni bou Iloul sont calculés sur la période 1978-79/1989-90



mars pour Belfarah, en avril pour Bab Elarbaa et enfin en mai pour Beni Bou Illoul. L'écart entre les valeurs des coefficients de variation minimal des différentes stations est faible. Ils varient généralement de 0,5 à Bab Elarbaa à 0,9 à Berkine et Guercif-Melloulou. Par contre, l'écart du coefficient de variation maximal d'une station à l'autre est beaucoup plus important. Il oscille entre 1,6 et 2,8.

Au niveau du rapport des valeurs moyennes mensuelles extrêmes on peut distinguer deux ensembles de stations.

Le premier ensemble englobe les stations de Bechine, Bab Elarbaa et Belfarah où le rapport est très élevé, il est supérieur à 20. Le second ensemble regroupe les stations de Guercif-Melloulou, Berkine, Tamjilt et Beni Bou Illoul avec des valeurs faibles qui ne dépassent pas 10. En situant les stations dans le bassin-versant on remarque qu'à l'exception de Belfarah les valeurs les plus élevées sont celles des stations situées au NW du bassin-versant.

La comparaison Des valeurs des coefficients de variations mensuelles et annuelles montre une grande stabilité. Au niveau annuel: les valeurs varient de 0,2 à 0,6, alors qu'au niveau mensuels les valeurs sont plus élevées. La compensation qui existe entre les mois pluvieux et les mois déficitaires minimise l'irrégularité annuelle.

### **3- PLUIES QUOTIDIENNES**

A raison des lacunes existants dans les séries de données quotidiennes, le choix du nombre de stations et de la période d'étude était très limité. En effet, les seules stations retenues sont celles de Bab Elarbaa, Guercif-Melloulou, Belfarah et Tamjilt. La première représente la partie NW du bassin-versant, la seconde et la troisième couvrent la partie aval et la dernière la zone SW. D'après cette répartition on remarque que la partie centrale du bassin et le synclinal de Berkine ne sont pas représentés à cause de l'hétérogénéité de la station de Ras Elksar et le grand nombre de lacunes de la station de Berkine.

Pour pouvoir comparer entre les stations, une durée commune a été adoptée. Elle couvre une période de 16 ans (1974-75/1989-90).

#### **3-1 NOMBRE DE JOURS PLUVIEUX**

Cette étude est basée sur les observations ponctuelles. Par conséquent, la représentativité des résultats et leur pondération sur l'ensemble du bassin reste très compromise, surtout qu'un jour sec à une station donnée ne l'est pas forcément sur tout le bassin-versant.

Selon la carte de Gaussen H, (1958), réalisée pour la période 1925-1949, le nombre de jours pluvieux varie entre 40 et 50 pour la partie aval du bassin, entre 50 et 70 pour la zone montagneuse intermédiaire et plus de 70 jours en haute montagne qui englobe les régions de Beni Bou Illoul, Tamjilt et Bab Elarbaa.

Les résultats de la recherche du nombre de jours pluvieux sur la période 1974-75/1989-90 sont représentés ci-dessous:

Stations	Période	Pluies moyennes annuelles (A)	Nombre moyen de jours de pluies (B)		A / B
			en jours	en %	
Bab Elarbaa	1974-75 à	761 mm	63	17,3	12
Tamjilt		477 mm	55	15	8,7
G.-Melloulou	1989-90	125 mm	35	9,6	3,6
Belfarah		140 mm	31	8,5	4,5

Comme pour la carte de Gausson on remarque une augmentation du nombre de jours pluvieux en fonction de l'altitude. Mais les nombres de jours sont inférieurs à ceux trouvés par Gausson. Ainsi la zone des hautes montagnes représentée par Bab Elarbaa et Tamjilt ne connaît que 50 à 65 jours de pluies et la partie aval ne dispose que de 31 jours à Belfarah et 35 jours à Guercif-Melloulou.

L'étude du rapport des pluies moyennes annuelles aux jours pluvieux donne l'intensité moyenne des pluies à l'échelle annuelle. Ainsi l'intensité annuelle la plus élevée est détenue par Bab Elarbaa suivi par Tamjilt. A Belfarah et à Guercif-Melloulou, en revanche, les intensités sont faible.

La répartition mensuelle du nombre de jours pluvieux est représentée dans le tableau 13.

D'après ce document on remarque une variation très nette d'un mois à l'autre. Le nombre de jours pluvieux le plus élevé est celui de février qui enregistre 8,5 à Bab Elarbaa, 5,9 à Tamjilt, 4,6 à Guercif-Melloulou et 4,3 à Belfarah. Par contre, juillet est le mois qui détient le nombre le plus bas des jours pluvieux.

On peut également distinguer deux périodes différentes. La première s'étend d'octobre à mai. Elle est caractérisée par un nombre très élevé de jours pluvieux avec, en tête, Bab Elarbaa suivi de Tamjilt, Guercif-Melloulou et Belfarah. La seconde période dure de juin à septembre. Elle se distingue par un nombre faible de jours de pluies, mais contrairement à la période précédente c'est Tamjilt qui tient la tête grâce aux pluies orageuses de l'été très fréquentes dans cette région.

La comparaison du nombre mensuel de jours de pluies et de l'intensité moyennes des pluies mensuelles permet de dire qu'à l'exception de Bab Elarbaa, les mois où le nombre de jours pluvieux est le plus élevé ne sont pas forcément ceux qui ont les intensités les plus élevés. Ainsi à Tamjilt l'intensité des pluies du mois d'octobre est plus élevés que

Tabl.13. - Nombre moyen et intensités moyennes des jours pluvieux (1974-75/1989-90)

Stations		S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A
Bab Elarbaa	a	1.88	5.06	7	6.88	7.13	8.44	7	8.44	7.63	1.94	0.56	1.19
	b	18.7	61.7	91.7	85.8	94.6	124	93.6	99.5	71.6	12.1	1.8	4.2
	c	9.97	12.2	13.1	12.5	13.3	14.7	13.4	11.8	9.39	6.25	3.2	3.537
Tamjilt	a	4.88	4.31	4.50	5.38	5.25	5.94	4.63	5.44	5.75	3.13	2.56	3
	b	29.7	78.9	28.4	32.9	50.1	76.5	41.6	48.5	36.8	24.6	10.1	18.6
	c	6.09	18.3	6.31	6.12	9.54	12.9	8.99	8.92	6.4	7.87	3.94	6.20
Guercif Melloulou	a	1.50	3.56	4.31	3	3.38	4.63	3.63	4	4.06	1.63	0.63	1.19
	b	6.1	13.2	10.2	8.1	11.1	12.3	12.5	14.7	17.5	4.2	2.2	3.1
	c	4.07	3.71	2.37	2.70	3.29	2.66	3.45	3.68	4.31	2.58	3.52	2.61
Belfarah	a	0.81	3.19	3.25	2.94	2.88	4.31	2.88	3.88	4.13	1.13	0.56	1.06
	b	5.3	14.8	10.3	7.7	19.1	16.8	13.5	25.8	19.3	3.9	1.1	2.8
	c	6.52	4.64	3.17	2.62	6.64	3.90	4.70	6.66	4.68	3.47	1.96	2.64

- a: Nombre moyen de jours pluvieux  
b: Hauteur moyenne de précipitation  
c: b / a

celle de février, à Guercif-Melloulou c'est mai au lieu de février et à Belfarah c'est avril au lieu de mai.

Les mois dont le nombre des jours de pluie est le plus bas sont généralement ceux qui ont les intensités les plus faibles si l'on écarte Guercif-Melloulou où l'intensité est faible en novembre au lieu de juillet.

### ***3-2 SEQUENCES PLUVIEUSES ET SEQUENCES SECHES***

Comme on a vu ci-dessus l'étude du nombre de jours pluvieux, leur intensité et leur répartition mensuelle a aidé à souligner plusieurs aspects de la pluviométrie dans le bassin. Mais l'importance du raisonnement à base de jours pluvieux reste très pauvre en signification pour expliquer certains phénomènes hydrologiques. D'où l'utilité d'étudier les pluies quotidiennes en terme de séquences pluvieuses ou sèches.

#### ***3-2-1 EPISODES PLUVIEUX***

La recherche des épisodes pluvieux pour chaque station durant les 16 ans d'observation adoptés a permis de dégager certaines caractéristiques.

A l'échelle annuelle (tabl.14), on observe une domination totale des épisodes de courtes durées. Ainsi, 90% des épisodes pluvieux ont une durée d'au plus 2 jours pour Belfarah et Guercif-Melloulou, 3 jours pour Tamjilt et 4 jours pour Bab Elarbaa. Et à l'exception de cette dernière, aux autres stations 56% à 69% des épisodes pluvieux ont une durée de 1 jour.

A l'échelle mensuelle (tabl.15), le nombre maximal d'épisodes pluvieux est situé en avril ou mai sauf pour Guercif-Melloulou où c'est le mois de février. Le minimum, par contre, est enregistré en juillet ou parfois en juin.

Les épisodes pluvieux d'une durée record ne sont pas enregistrés toujours au même mois et n'ont pas la même durée pour toutes les stations.

Bab Elarbaa détient le maximum avec un épisode de 16 jours. Il était enregistré du 27 janvier au 11 février 1986.

A Tamjilt le record n'est que de 9 jours enregistré en septembre de l'année 1977.

Pour Guercif-Melloulou et Belfarah l'épisode le plus long a duré 5 jours pour la première enregistrés en novembre 1983 et février 1988, et 6 jours pour la deuxième enregistrés en février 1986.

#### ***3-2-2 SEQUENCES SECHES***

Il y a quelques années, les hydrologues donnaient une grande importance à l'étude des épisodes pluvieux pour comprendre mieux le phénomène "crue", considéré, dans les cas exceptionnels, comme aléa hydrologique majeur. Mais avec les sécheresses des deux dernières décennies, l'étude des séquences sèches a pris de plus en plus de l'importance,

Tabl.14. - Fréquences des épisodes pluvieux annuels (1974-75/1989-90)

Durées des séquences en jours	Nombre de séquences pluvieuse observées											
	Bab Elarbaa			Tamjilt			Guercif-Melloulou			Belfarah		
	Fréq.	%	%cum	Fréq.	%	%cum	Fréq.	%	%cum	Fréq.	%	%cum
1	193	43.57	43.57	283	56.15	56.15	268	68.19	68.19	235	68.91	68.91
2	119	26.86	70.43	128	25.40	81.55	87	22.14	90.33	71	20.82	89.73
3	54	12.19	82.62	51	10.12	91.67	28	7.12	97.45	25	7.33	97.06
4	39	8.80	91.43	24	4.76	96.43	8	2.04	99.49	7	2.05	99.12
5	14	3.16	94.59	15	2.98	99.40	2	0.51	100	2	0.59	99.70
6	4	0.90	95.49	1	0.20	99.60				1	0.29	100
7	11	2.48	97.97	0	0	99.60						
8	3	0.68	98.65	1	0.20	99.80						
9	3	0.68	99.33	1	0.20	100						
10	1	0.23	99.55									
11	0	0	99.55									
12	1	0.23	99.78									
13	0	0	99.78									
14	0	0	99.78									
15	0	0	99.78									
16	1	0.23	100									
<b>Total</b>	<b>443</b>			<b>504</b>			<b>393</b>			<b>341</b>		

Tabl.15. - Fréquences des épisodes pluvieux mensuels (1974-75/1989-90)

Durées des séquences en jours	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
<b>Bab Elarbaa</b>												
1	13	19	11	22	15	21	16	24	21	12	5	14
2	5	11	14	13	15	7	12	21	13	5	2	1
3	1	8	5	6	3	10	5	10	2	3		1
4	1	1	8	5	3	4	7	4	6			
5		1	1	2		2	1	3	4			
6			1		1	2						
7		1	1	2	3	1	1	1	1			
8			1				1		1			
9					1							
10									1			
11												
12					1							
13												
14												
15												
16					1							
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>50</b>	<b>43</b>	<b>47</b>	<b>43</b>	<b>63</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>16</b>
<b>Tamjilt</b>												
1	22	21	20	18	26	28	17	28	35	22	26	20
2	8	12	8	11	12	13	11	20	13	6	5	9
3	3	5	7	8	4	4	6	5	5	2		2
4	3	1	3	3	3	1	3	1	4	1		1
5		1	3	2	2	5	1				1	
6	1											
7												
8			1									
9	1											
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>47</b>	<b>51</b>	<b>38</b>	<b>54</b>	<b>57</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
<b>Guercif-Melloulou</b>												
1	16	18	27	21	22	35	27	29	34	18	8	13
2	4	9	6	12	9	8	11	11	9	4	1	3
3		7	7	1	2	2	3	3	3			
4			1		2	3		1	1			
5			1			1						
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>34</b>	<b>42</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>49</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>47</b>	<b>22</b>	<b>9</b>	<b>16</b>
<b>Belfarah</b>												
1	11	23	21	15	23	28	28	32	22	14	5	13
2	1	8	8	11	8	7	6	7	9	2	2	2
3		4	2	2	1	4	2	4	6			
4			1	1	1	1		1	2			
5			1			1						
6						1						
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>42</b>	<b>36</b>	<b>44</b>	<b>39</b>	<b>16</b>	<b>7</b>	<b>15</b>

étant donné le rôle qu'elles peuvent jouer en diminuant les apports des cours d'eau et, par conséquent, compromettre les besoins en eau et augmenter les risques d'altération de sa qualité.

Compte tenu de la durée courte des épisodes pluvieux on a pu étudier leurs variations en fonction des mois. Mais, en ce qui concerne les séquences sèches, la notion de variation mensuelle des durées des séquences n'a pas de sens vu qu'une séquence peut s'étaler sur plus d'un mois.

L'étude fréquentielle des séquences sèches, sur la période considérée (tabl.16), montre que les séquences d'une durée inférieure à 10 jours sont dominantes. Mais vue leur durée courte, leur impact sur la vie potamologique du Melloulou est très limité.

Le nombre de séquences dont la durée est comprise entre 11 et 60 jours est assez élevé. Ils représentent de 30 à 36% des séquences dénombrées.

L'effectif des séquences d'une durée de plus de 2 mois est très faible. Il varie d'environ 1% à Tamjilt à 4% à Belfarah.

Les séquences d'une durée record sont de 148 jours à Bab Elarbaa, 103 jours à Tamjilt, 94 jours à Guercif-Melloulou et 179 à Belfarah. Ils ont été enregistrées toutes en 1988 à l'exception de la séquence de Belfarah enregistrée en 1981.

Il apparait, donc, que la fréquence importante des séquences sèches ajoutée à un tarissement rapide des réserves souterraines (voir chapitre IX), participent à l'épuisement des apports du Melloulou voir même l'assèchement total de son débit.

### ***3-3 INTENSITES DES PLUIES***

L'intensité pluviométrique, en fonction des caractéristiques physiques du sol et du sous-sol et de la nature de la couverture végétale, exerce une influence nette sur le ruissellement et l'infiltration.

Faute de mesures pluviométriques à un pas de temps très fin, dans la présente étude seules les intensités de pluie d'une durée de 24 heures seront traitées.

L'analyse des résultats montre que l'intensité pluviométrique varie d'une station à l'autre et aussi selon les mois (fig.43, 44, 45 et 46) et (tabl.17).

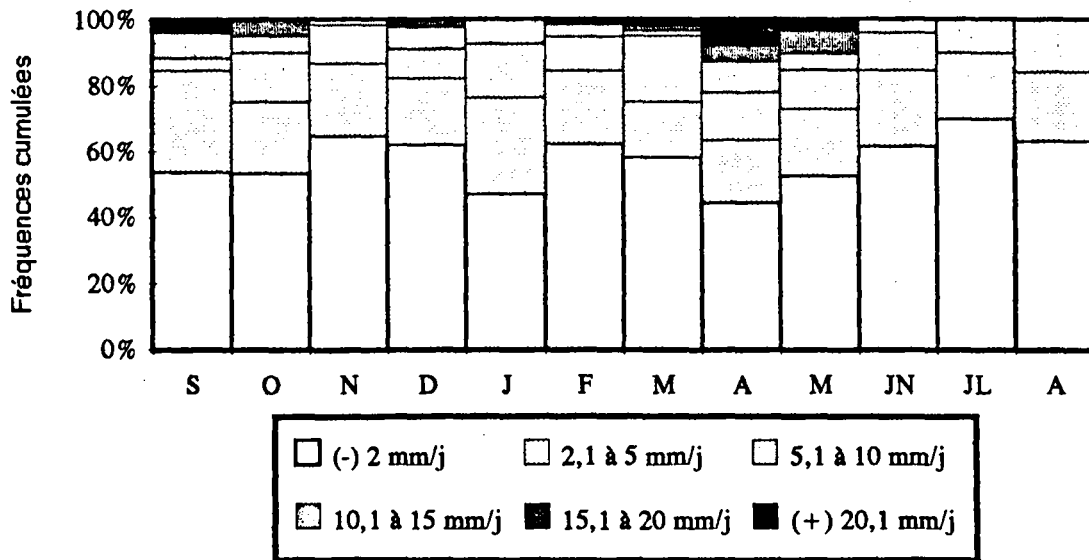
A Belfarah et Guercif-Melloulou, représentant l'aval du bassin-versant, les faibles intensités de pluies dominant. Ainsi 88% des jours pluvieux à la première et 91% à la seconde ont une intensité maximale de 10 mm par jour. Mais, dans le cas de Guercif-Melloulou, ce sont les intensités inférieures à 2,1 mm par jour qui sont prépondérantes avec plus de 60% des cas. A Belfarah, par contre, ce sont les intensités comprises entre 2,1 et 10 mm par jour qui prédominent. Au delà de 10 mm par jours l'effectif des classes s'affaiblit et seul 2,1% des jours pluvieux à Belfarah et 1,6% à Guercif-Melloulou totalisent plus de 20 mm.

Tabl.16.- Fréquences des séquences sèches annuelles (1974-75/1989-90)

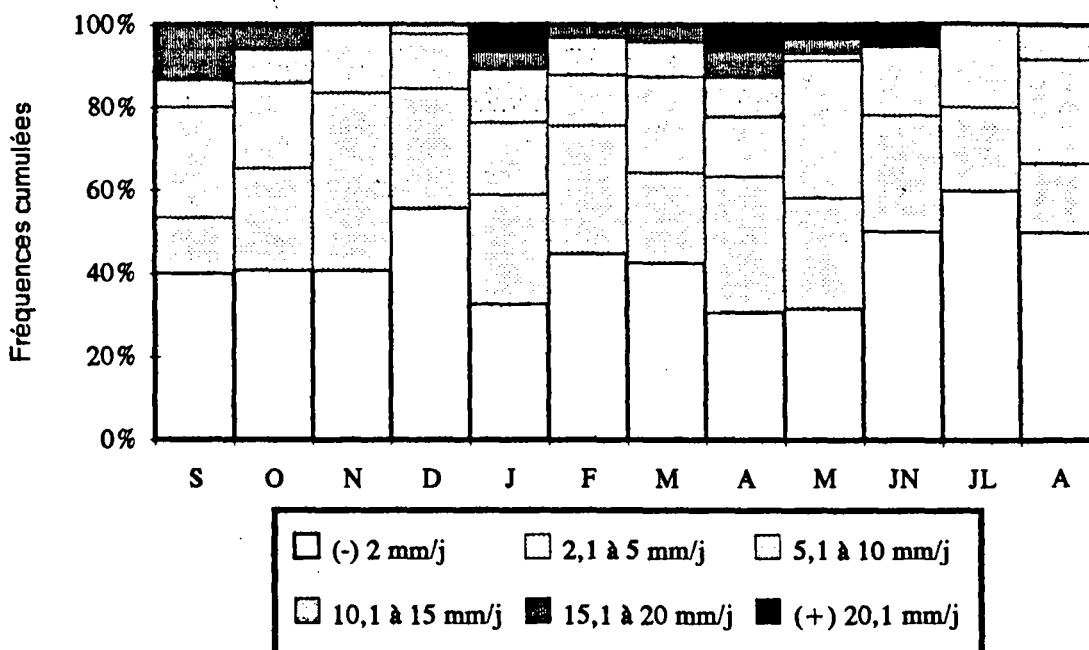
Classes de durées des séquences en jours	Nombre de séquences sèches observées											
	Bab Elarbaa			Tamjilt			Guercif-Melloulou			Belfarah		
	Fréq.	%	%cum	Fréq.	%	%cum	Fréq.	%	%cum	Fréq.	%	%cum
<= 10	305	68.85	68.85	342	67.86	67.86	241	61.32	61.32	208	61.00	61.00
11-20	77	17.38	86.23	102	20.24	88.10	62	15.78	77.10	58	17.01	78.01
21-30	28	6.32	92.55	35	6.94	95.04	44	11.20	88.29	29	8.50	86.51
31-60	21	4.74	97.29	21	4.17	99.21	37	9.41	97.71	33	9.68	96.19
61-90	8	1.81	99.10	3	0.60	99.80	8	2.04	99.74	5	1.47	97.65
91-120	2	0.45	99.55	1	0.20	100	1	0.25	100	3	0.88	98.53
121-150	2	0.45	100							2	0.59	99.12
151-180										3	0.88	100
<b>Total</b>	<b>443</b>	<b>100</b>		<b>504</b>	<b>100</b>		<b>393</b>	<b>100</b>		<b>341</b>	<b>100</b>	



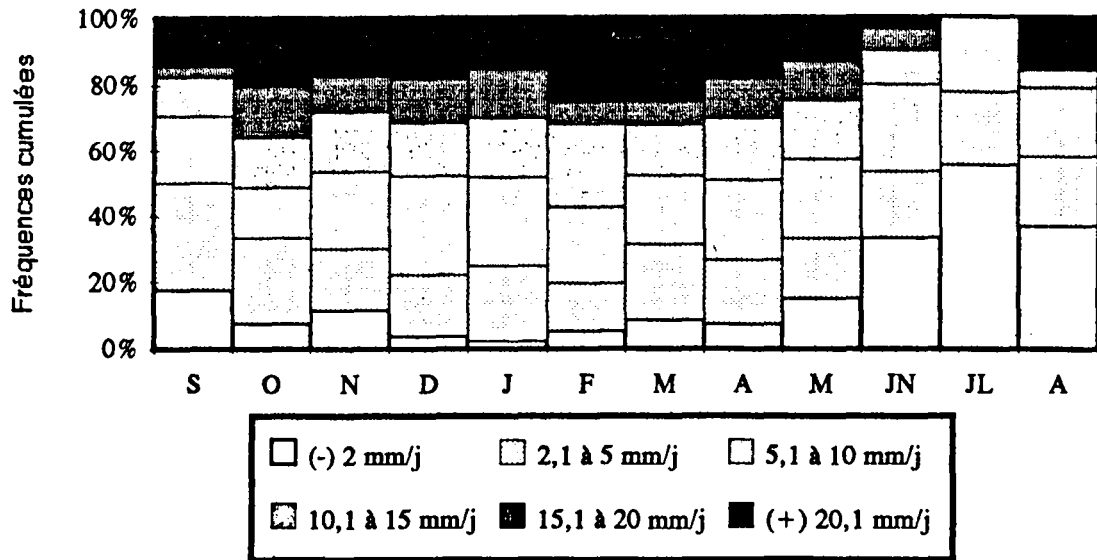
**Fig.43. - Intensité des pluies quotidiennes à Guercif-Melloulou (1974-75/1989-90)**



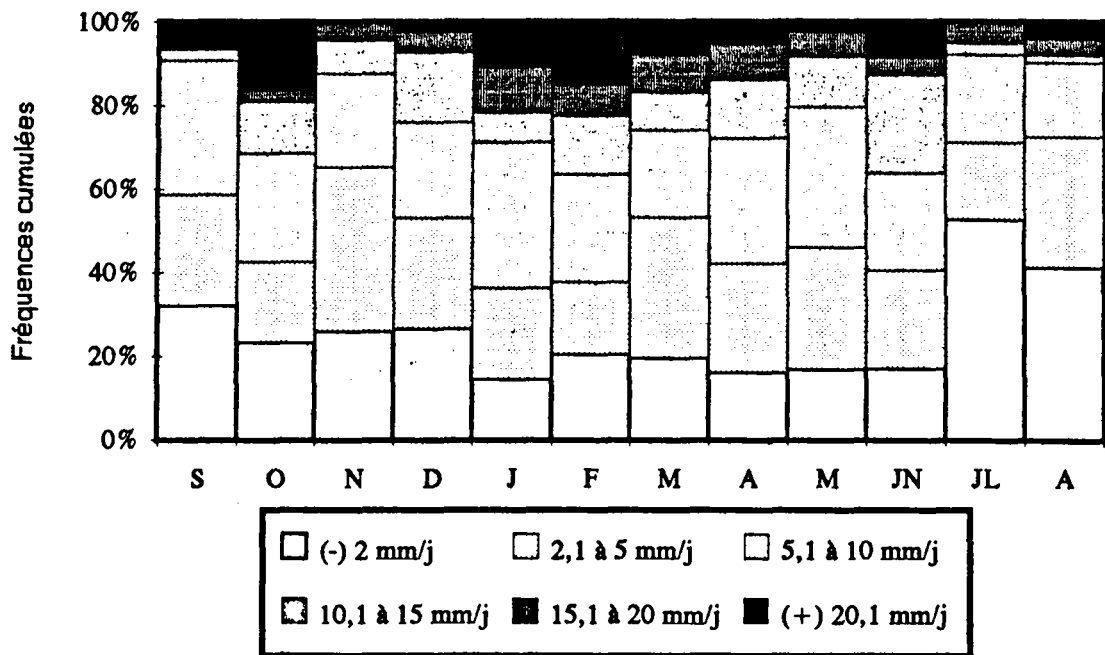
**Fig.44. - Intensité des pluies quotidiennes à Belfarah (1974-75/1989-90)**



**Fig.45. - Intensité des pluies quotidiennes à Bab Elarbaa (1974-75/1989-90)**



**Fig.46. - Intensité des pluies quotidiennes à Tamjilt (1974-75/1989-90)**



Tabl.17. - Fréquences des classes d'intensités pluviométriques en % (1974-75/1989-90)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	JN	JL	A	Année
<b>Belfarah</b>													
( $<$ ) 2	40	40.82	40.74	55.56	32.61	44.62	42.55	30.65	31.58	50	60	50	40.63
2,1-5	13.33	24.49	42.59	28.89	26.09	30.77	21.28	32.26	26.32	27.78	20	16.67	28.33
5,1-10	26.67	20.41	16.67	13.33	17.39	12.31	23.40	14.52	33.33	16.67	20	25	19.17
10,1-15	6.67	8.16	0	2.22	13.04	9.23	8.51	9.68	1.75	0	0	8.33	6.25
15,1-20	13.33	6.12	0	0	4.35	3.08	4.26	6.45	3.51	0	0	0	3.54
( $>$ )20,1	0	0	0	0	7	0	0	6.45	3.51	5.56	0	0	2.08
<b>Guercif-Melloulou</b>													
( $<$ ) 2	53.85	53.33	64.71	62.22	47.27	62.34	58.33	44.44	52.54	61.54	70	63.16	56.51
2,1-5	30.77	21.67	22.06	20	29.09	22.08	16.67	19.05	20.34	23.08	0	21.05	21.48
5,1-10	3.85	15.00	11.76	8.89	16.36	10.39	20	14.29	11.86	11.54	20	15.79	13.20
10,1-15	7.69	5	1.47	6.67	7.27	3.90	1.67	9.52	5.08	3.85	10	0	4.93
15,1-20	0	5	0	2.22	0	1.30	1.67	4.76	6.78	0	0	0	2.29
( $>$ )20,1	3.85	0	0	0	0	0	1.67	7.94	3.39	0	0	0	1.58
<b>Bab Elarbaa</b>													
( $<$ ) 2	17.65	7.69	11.67	3.85	2.46	5.22	8.70	7.58	15.18	33.33	55.56	36.84	9.81
2,1-5	32.35	25.64	18.33	18.27	22.13	14.18	22.61	18.94	17.86	20	22.22	21.05	19.92
5,1-10	20.59	15.38	23.33	29.81	27.05	23.13	20.87	24.24	24.11	26.67	22.22	21.05	23.69
10,1-15	11.76	15.38	18.33	16.35	18.03	25.37	15.65	18.94	17.86	10	0	5.26	17.64
15,1-20	2.94	15.38	10.83	13.46	14.75	6.72	6.96	12.12	11.61	6.67	0	0	10.51
( $>$ )20,1	14.71	20.51	17.50	18.27	15.57	25.37	25.22	18.18	13.39	3.33	0	15.79	18.43
<b>Tanjilt</b>													
( $<$ ) 2	32	23.29	25.84	26.51	14.46	20.43	19.48	16.13	16.87	17.02	52.63	41.18	23.73
2,1-5	26.67	19.18	39.33	26.51	21.69	17.20	33.77	25.81	28.92	23.4	18.42	31.37	26.33
5,1-10	32	26.03	22.47	22.89	34.94	25.81	20.78	30.11	33.73	23.4	21.05	17.65	26.55
10,1-15	2.67	12.33	7.87	16.87	7.23	13.98	9.09	13.98	12.05	23.4	2.63	1.96	10.62
15,1-20	0	2.74	4.49	4.82	10.84	7.53	9.09	8.60	6.02	4.26	5.26	3.92	5.88
( $>$ )20,1	6.67	16.44	0	2.41	10.84	15.05	7.79	5.38	2.41	8.51	0	3.92	6.89

A Tamjilt, le nombre de jours avec une intensité maximale de 2 mm reste important, mais la prédominance passe à la classe de 2,1 à 10 mm qui englobe 56,3% de l'effectif total. Les intensités de pluie supérieures à 10 mm prennent de l'ampleur par rapport aux stations de l'aval. Elles représentent 25% des cas observés.

Les fortes intensités dominent largement à Bab Elarbaa. Les intensités supérieures à 10 mm représentent 46,5% contre 9,8% pour celles inférieures à 2,1 mm et 43,6% pour celles comprise entre 2,1 et 10 mm par jours.

On peut, donc, observer une variation spatiale assez nette marquée par une dominance des intensités inférieures à 2,1 mm par jours à Guercif-Melloulou. A Belfarah et Tamjilt ce sont les intensités comprises entre 2,1 et 10 mm qui dominent, mais cette dominance est assez nette à Tamjilt. A Bab Elarbaa les intensités prépondérantes sont celles supérieures à 10 mm.

A l'échelle mensuelle, la variation des intensités est légèrement importante. Les plus faibles (moins de 2,1 mm par jours) apparaissent à n'importe quel mois de l'année et elles prédominent en juillet. Les intensités de plus de 20 mm apparaissent surtout au printemps à Guercif-Melloulou et à Belfarah. A Tamjilt et à Bab Elarbaa les fortes intensités (plus de 20 mm par jours) peuvent être observées en tout mois sauf en juillet pour les deux stations et en novembre pour la première.

Les pluies quotidiennes records enregistrées dans les quatre stations pour la période adoptée sont de: 210 mm le 28 octobre 1979 pour Tamjilt, 68 mm le 15 février 1975 à Bab Elarbaa, 35,2 mm le 7 mai 1976 à Belfarah et 32,5 mm le 29 septembre 1987 à Guercif-Melloulou.

Ces pluies records sont à prendre avec réserve étant données les erreurs de mesures possibles, mais néanmoins elles donnent l'ordre de grandeur que peut atteindre la hauteur d'un jour de pluie.

#### **4- ENNEIGEMENT**

Les apports de l'enneigement, quand ils sont importants, jouent un rôle considérable comme élément d'alimentation et de régulation des débits d'un cours d'eau. Mais l'étude de ce phénomène se heurte à un obstacle capital qui est l'absence de mesures. Dans le bassin-versant du Melloulou, comme dans la majorité des régions enneigées au Maroc, les mesures de neige sont rarement effectuées. Les seuls moyens d'études dont nous disposons sont les quelques travaux déjà réalisés, ainsi que les témoignages recueillis sur le terrain.

Comme nous l'avons signalé dans le premier chapitre, le contraste altimétrique dans le bassin du Melloulou est important. Par conséquent, son effet sur les températures et par la suite sur l'enneigement est important.

Les chutes de neige n'intéressent que les zones de montagne. D'après les observations de Peyron M., (1980) les chutes de neige peuvent avoir lieu de novembre jusqu'au début avril entre 1500 et 1700 m d'altitude et elles peuvent se prolonger à fin avril entre 2000 et 2500 m. De 2500 à 3000 m la période s'étend d'octobre à fin mai. A partir de 3000 m les chutes peuvent commencer dès la mi-septembre et durent jusqu'au début de juin.

Mais cette répartition est loin d'être homogène sur tout le bassin-versant. Ainsi les versants orientés vers le nord sont les plus enneigés et le manteau nival persiste très longtemps et à des altitudes basses. Sur les versants sud la neige subsiste à des altitudes élevées et vu sa faible épaisseur elle disparaît vite.

En plus de cette opposition nord-sud, l'enneigement diminue de l'ouest vers l'est. Elle diminue également dans les vallées, ainsi les hautes vallées du Zobzit et du Melloulou sont moins enneigées et la neige disparaît très vite. Et à raison des conditions aérologiques et de l'action éolienne on peut observer des inégalités sur le même versant.

Après une étude réalisée sur la période 1950-51/1979-80, Peyron M., (1980), a dégagé plusieurs scénarios pour décrire l'irrégularité interannuelles des chutes de neige.

Ainsi quand la neige tarde jusqu'à la fin de septembre elle tombe abondamment.

Les chutes de neige très importantes en automne peuvent être suivies d'une indigence de 1 ou 2 mois; C'était le cas de 1966-67 où l'accalmie a duré du mi-novembre à mi-février.

Quand le beau temps de la mi-hiver succède à de faibles chutes de neige, les chutes de fin de saison n'arrivent pas à combler le déficit. Par conséquent, l'année agricole est mauvaise et les réserves souterraines sont moins alimentées.

Enfin, quand il neige de trop, les terres cultivables restent couvertes longtemps et la saison agricole commence tard.

Le nombre de jours de neige moyen est de 35 à 45 jours, mais pendant les années records, ce nombre peut atteindre 70 à 75 jours.

### **CONCLUSION**

*Compte tenu de la précision assez faible et du caractère ponctuel des mesures, il serait difficile de prétendre avoir abouti à des résultats satisfaisants, et encore moins avoir donné une image de la pluviosité dans le bassin-versant dans ses particularités.*

*A l'échelle annuelle l'existence de longue séries a permis de détecter les années d'abondance et d'indigence. Mais l'inégalité de cette longueur entre les différentes stations n'a pas permis d'établir une comparaison.*

*Le régime pluviométrique mensuel est influencé par des épisodes pluvieux et d'autres secs de longueur et d'intensité différentes. En outre ils cachent des irrégularités presque aussi nombreuses que le nombre d'années d'observation.*

*L'étude des pluies quotidiennes a confirmé les caractéristiques de la pluviométrie décrites au niveau annuel et mensuel. La station de Bab Elarbaa qui représente la partie NW du bassin est la plus pluvieuse et la pluie y atteint des intensités importantes. La zone la moins arrosée est l'aval du bassin et les intensités les plus faibles y sont enregistrées.*

*L'enneigement est très variable dans le temps et dans l'espace, et l'absence de mesures n'a pas permis d'évaluer sa part dans la pluviosité du bassin-versant.*

**CHAPITRE VI:**  
**ETUDE DES TEMPERATURES ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION**

L'étude des températures est d'une grande importance pour l'hydrologie. Elle influence un grand nombre de facteurs qui conditionnent l'écoulement telle que la végétation, l'évapotranspiration, l'enneigement et sa durée etc...

Mais la carence de l'information thermique dans le bassin-versant du Melloulou ne permet pas une étude assez approfondie pour évaluer l'influence de ce facteur sur l'écoulement.

**1- LES TEMPERATURES**

**1-1 CRITIQUE DES DONNEES THERMIQUES**

**1-1-1 INVENTAIRE ET ETAT DES DONNEES THERMIQUES**

Les observations thermiques sont très rares dans le bassin-versant. Cinq séries d'observations sont disponibles dont seulement deux récentes. Il s'agit de la série de Guercif-Melloulou et celle de Belfarah. Leurs observations ont débuté à la fin des années soixante-dix. Mais, elles ne sont exploitables qu'à partir de 1980 pour la première station et à partir de 1983 pour la seconde.

Les trois autres séries d'observation sont plus anciennes. Il s'agit de celles de Guercif C.T. pour la période 1931/1961 et de Berkine pour la période 1929/1936 et 1950/1959.

En dehors du bassin-versant, la série de Bab Boudir (1936/1955) est retenue afin de donner une idée de la variation des températures dans la partie nord-ouest du bassin.

L'étude de l'état des séries d'observation disponibles a permis de constater la présence de lacunes. La période lacunaire peut atteindre dix mois comme c'est le cas de certaines années de la série de Bab Boudir. Cela a amené à garder seulement la période 1942/1951 pour cette station. Le même constat a été fait à propos de la série 1950/1959 de Berkine, par conséquent, seulement la série non lacunaire 1929/1936 est gardée pour cette station.

**1-1-2 ESTIMATION DES DONNEES MANQUANTES**

Contrairement aux données pluviométriques la méthode de la régression linéaire n'a pas pu être utilisée pour l'estimation des données manquantes, soit par manque de stations référence à proximité ou à cause de la durée courte de la période commune entre les deux stations.

La station la plus proche qui effectuait des mesures de températures est la station d'Oujda. Mais vu l'éloignement de cette station par rapport au bassin-versant, les corrélations avec les séries lacunaires sont de mauvaise qualité. Cependant, les lacunes ont été estimées de la manière suivante:

-Calcul de la moyenne et de l'écart type en utilisant seulement les valeurs en commun entre la série d'Oujda et la série lacunaire.

-Centrer et réduire la valeur observée de la série d'Oujda correspondant à une lacune dans la série à combler.

-Estimer la donnée manquante en supposant que la valeur centrée et réduite de cette donnée est égale à celle de la donnée de la série référence et que les deux séries varient de la même manière.

Cette méthode a été appliquée aux séries de données de températures moyennes minimales et moyennes maximales de Bab Boudir et Guercif C.T..

Etant donnée que l'ancienne série disponible d'Oujda couvre la période 1940/1951, les valeurs manquantes de Guercif C.T. avant 1940 et après 1951 n'ont pas pu être estimées et, par conséquent, la série gardée pour cette station est celle de 1940/1952 (l'année 1952 étant lacunaire).

Pour Guercif-Melloulou et Belfarah, la même méthode a été utilisée même si la station de Taza est assez proche. La courtesse des périodes communes entre ces stations (3 à 6 ans) ne rend pas les résultats des corrélations significatifs.

On déduit de ce constat que l'état des données thermiques est contestable. Mais la nécessité de donner une idée de la variation de la température dans le bassin-versant et par la suite, estimer de l'E.T.R., a poussé à l'exploitation de ces données ne serait ce qu'à titre indicatif.

## ***1-2 VARIATIONS TEMPORELLES DES TEMPERATURES***

Il est très difficile d'analyser les variations annuelles des températures moyennes sans pouvoir comparer les stations ni apprécier la variation spatiale des températures. Cependant, les résultats exposés tout au long de cette étude doivent être pris à titre indicatif.

### ***1-2-1 VARIATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES***

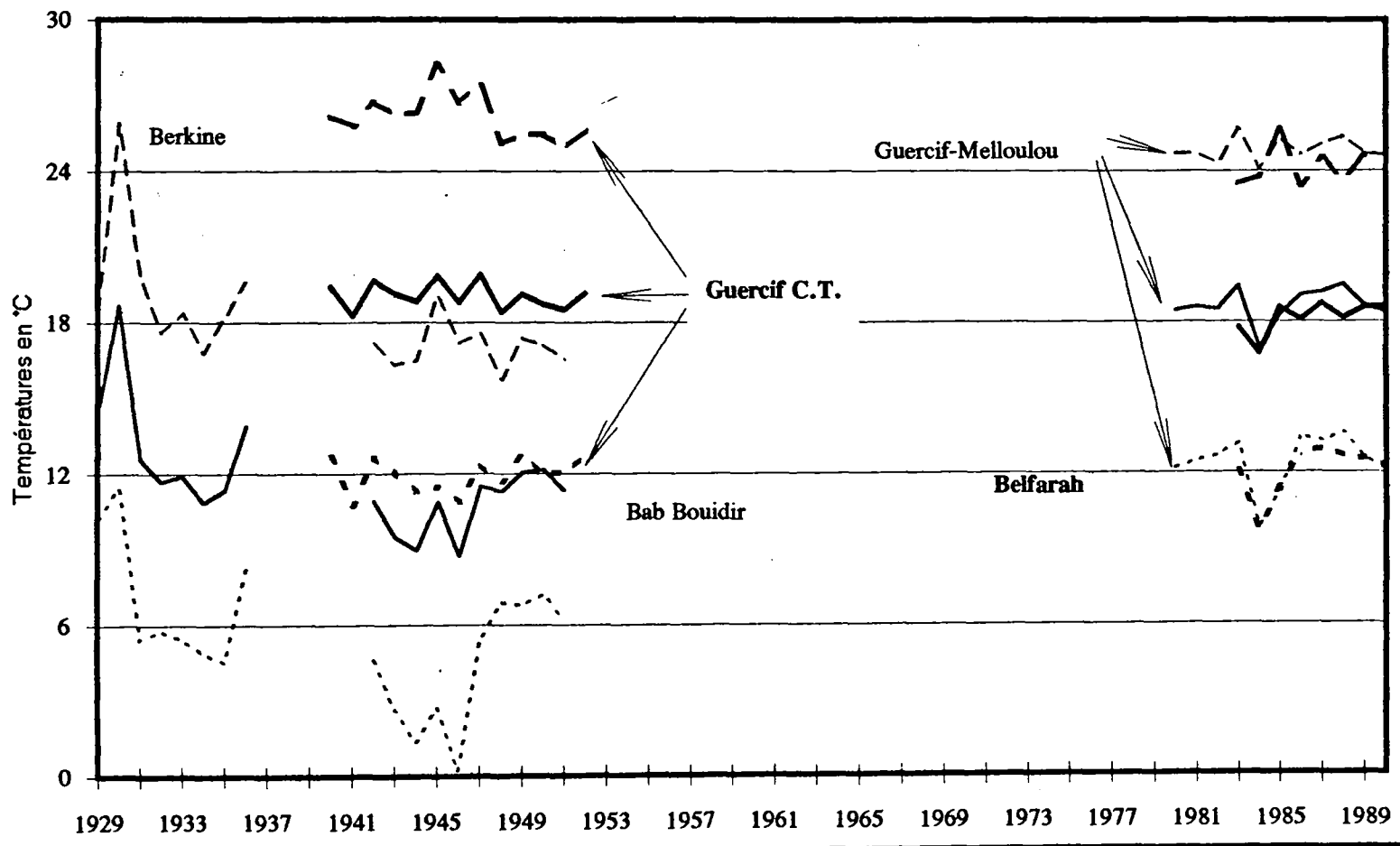
Les principales caractéristiques de la variation annuelle des températures moyennes sont regroupés dans la figure 47.

Le rapport entre les valeurs moyennes maximales et les valeurs moyennes minimales est élevé, il atteint en moyenne 3,9 à Bab Boudir, 2,8 à Berkine, 2 pour la série Guercif-Melloulou et 2,2 pour la série Guercif C.T.

L'étude des années les plus chaudes et des années les plus froides montre que l'année 1930 est l'année la plus chaude pour la série de Berkine (18,7°C), 1950 pour la



**Fig.47. - Variations annuelles des températures maximales, minimales et moyennes**



série de Bab Boudir (12,2°C), 1987 pour la série de Belfarah (18,7°C) et à Guercif c'est 1945 pour la série 1940/1952 avec 19,9°C et 1988 pour la série 1980/1990 avec 19,5°C. Les années les plus froides sont situées en 1934 à Berkine (10,9°C), 1946 à Bab Boudir (8,7°C), 1984 à Belfarah (16,7°C) et en 1941 pour la série de Guercif C.T. (18,3°C) et 1984 pour la série de Guercif-Melloulou (16,9°C).

Si l'on considère les températures moyennes maximales et minimales on constate, d'une manière générale, qu'au minimum des températures moyennes minimales ne correspond pas forcément un minimum de températures maximales, et cela est valable aussi pour les températures moyennes maximales.

L'analyse des coefficients de variation annuelles des différentes séries montre que les températures minimales annuelles varient plus par rapport aux températures maximales. Ainsi les coefficients de variation atteignent 0,57 à Bab Boudir, 0,38 à Berkine, 0,09 à Belfarah, 0,06 pour la série de Guercif C.T. et 0,09 pour la série de Guercif-Melloulou. Alors que pour les températures moyennes maximales annuelles ce coefficient ne dépasse 0,055 que pour la série de Berkine où il atteint 0,15.

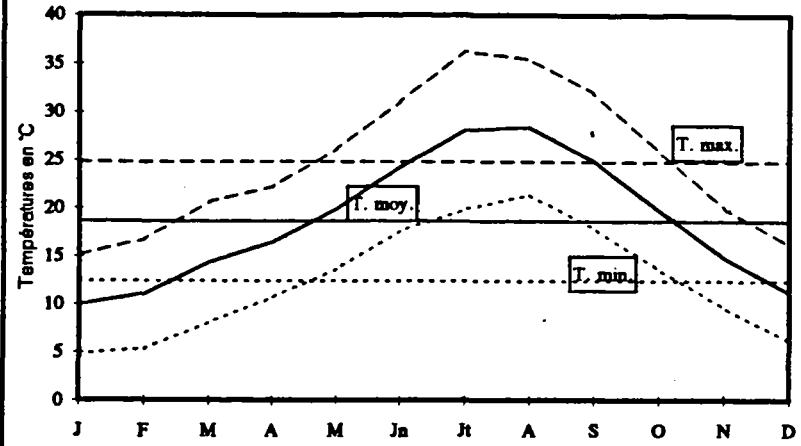
### *1-2-2 LE REGIME THERMIQUE MENSUEL ET SAISONNIER*

Le régime thermique moyen des différentes séries d'observations adoptées est illustré par les figures 48, 49, 50, 51 et 52. Il en sort une opposition, de part et d'autre de la moyenne, entre une saison chaude et une saison froide.

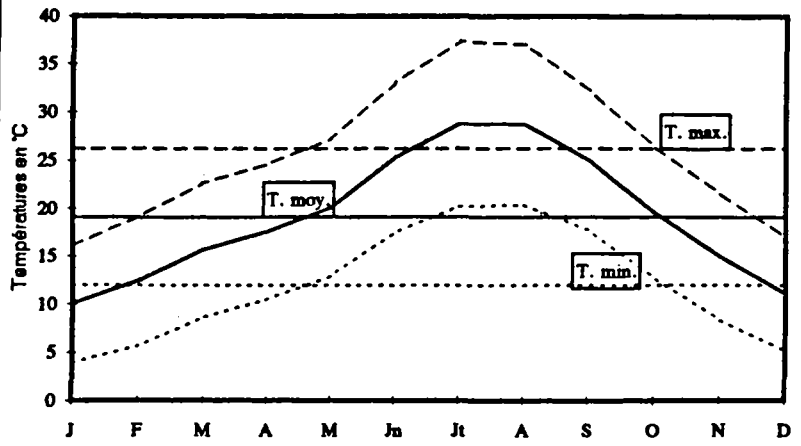
La saison chaude s'étend sur six mois: de mai jusqu'à octobre pour toute les stations à l'exception de Berkine où cette saison s'achève en septembre. Ce constat est valable aussi bien pour les valeurs moyennes minimales que pour les valeurs moyennes maximales. Mais l'absence d'une séries contemporaine à celle de Berkine n'a pas permis de faire de comparaison pour confirmer ou infirmer ce caractère.

La position du maximum des températures de la saison chaude est assez flou: il est situé en juillet ou en août mais souvent les températures de ces deux mois sont très proches et parfois égales. Cela rend difficile d'avantager l'un des deux mois. Les températures moyennes enregistrées pendant ces deux mois sont de l'ordre de 29°C à Guercif pour les deux séries, 27°C à Belfarah, 24°C à Berkine et 21°C à Bab Boudir. D'où une augmentation des températures du nord-ouest et du sud-ouest du bassin-versant vers le domaine semi-aride de la plaine du Jel. Ce caractère est aussi confirmé par la répartition spatiale des espèces végétales dans le bassin-versant (voir chapitre I). L'examen des températures moyennes extrêmes confirme ce caractère, ainsi le maximum des températures moyennes maximales atteint 37°C à Guercif et 36°C à Belfarah, alors qu'à Berkine il est de 33°C et à Bab Boudir 29°C. Au niveau des températures moyennes minimales le maximum à Guercif et à Belfarah est d'environ 20°C alors qu'à Berkine et à Bab Boudir il ne dépasse pas 15°C.

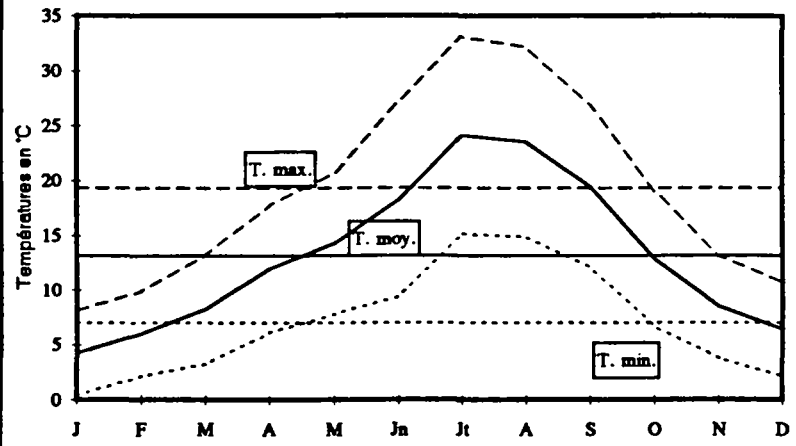
**Fig.48. - Régime des températures mensuelles de Guercif-Melloulou (1980/1990)**



**Fig.49. - Régime des températures mensuelles de Guercif C.T. (1940/1952)**



**Fig.50. - Régime des températures mensuelles de Berkine (1929/1936)**



**Fig.51. - Régime des températures mensuelles de Bab Boudir (1942/1951)**

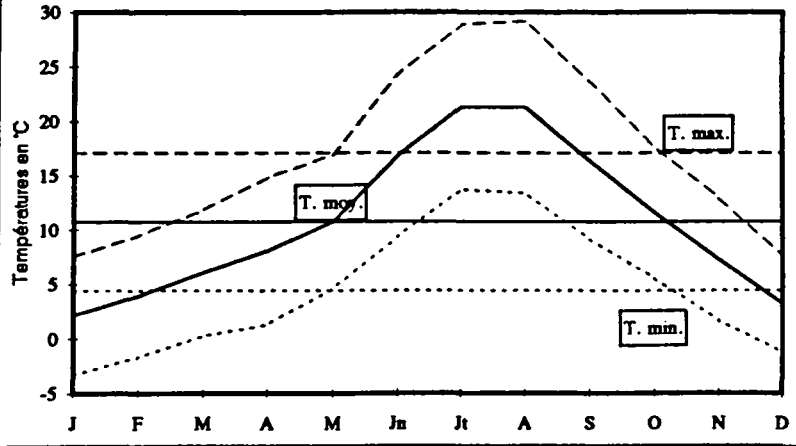
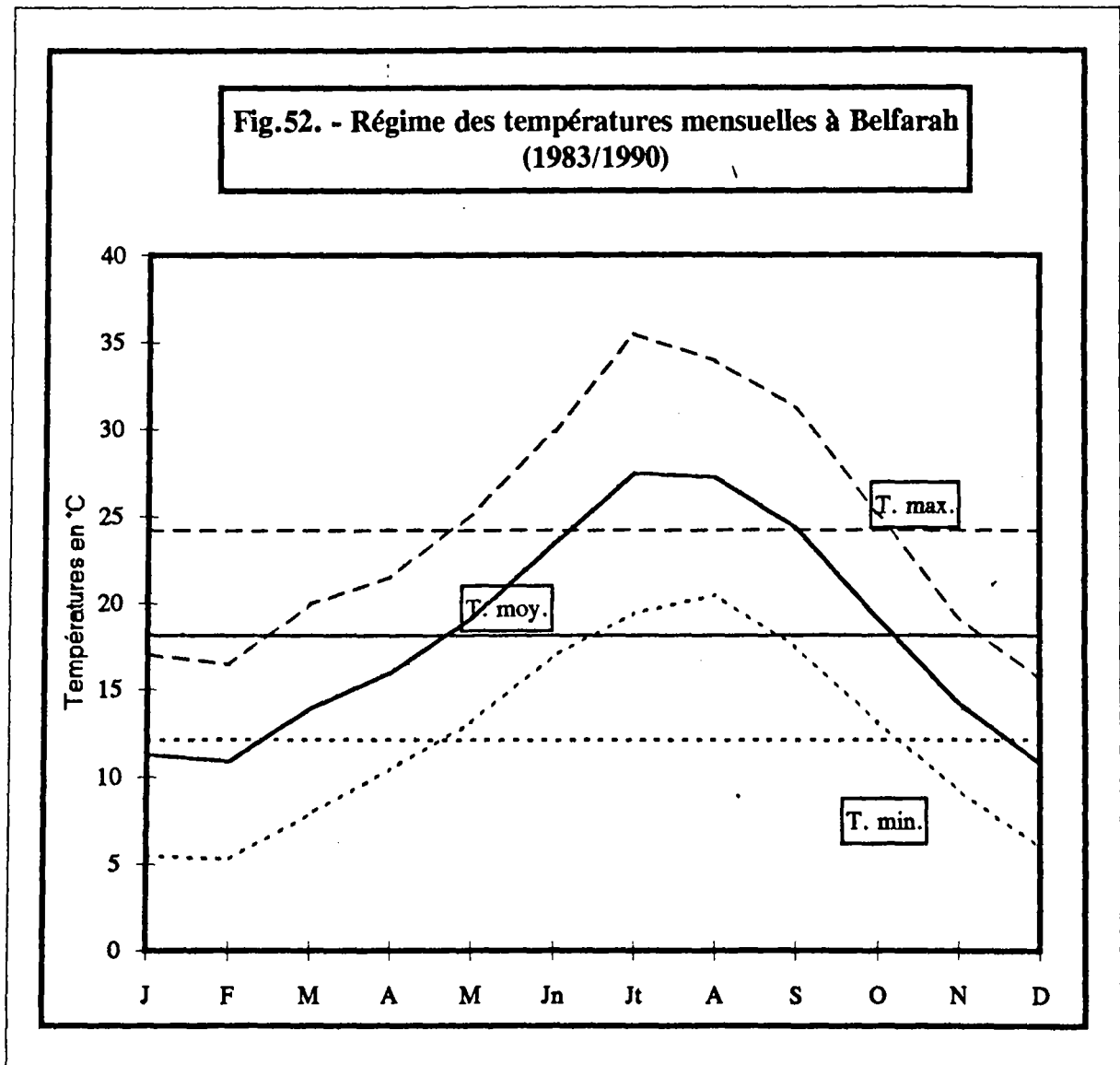


Fig.52. - Régime des températures mensuelles à Belfarah  
(1983/1990)



A l'exception de Berkine la saison froide commence généralement en novembre par une chute assez nette des températures par rapport au mois précédent. Elle s'achève en avril après une durée de six mois. Contrairement au maximum de la saison chaude, le minimum de la saison froide est assez marqué. Il est situé en janvier sauf pour Belfarah où c'est en février. La température tombe pendant ce mois à 11°C à Belfarah, 10°C à Guercif, 4,3°C à Berkine et 2,1°C à Bab Boudir.

Le minimum des températures moyennes minimales est atteint également en janvier sauf à Belfarah. Les températures observées sont d'environ 5°C à Belfarah, 4°C à Guercif, 0,4°C à Berkine et -3,3°C à Bab Boudir. Une fois de plus ces deux dernières stations se distinguent par rapport à celles de Guercif et Belfarah. Si l'on examine les températures moyennes minimales de la saison froide des différentes années on constate que les températures négatives sont souvent fréquentes à Bab Boudir de novembre à avril. A Berkine les températures moyennes minimales négatives sont moins fréquentes, mais les valeurs comprises entre 0°C et 1°C dominant en janvier et en février.

L'étude du coefficient de variation des valeurs mensuelles de températures (tabl.18) permet de constater que les mois de la saison froide varient beaucoup d'une année à l'autre avec un maximum situé généralement en janvier ou février. Le minimum, par contre, est observé pendant la saison chaude et est situé, selon les stations, en juillet, août ou septembre.

La comparaison des coefficients de variations des températures mensuelles moyennes maximales et minimales montre que ces dernières varient plus surtout pour Bab Boudir et Berkine où ce coefficient peut atteindre respectivement 14 et 6,33 alors que pour les températures mensuelles moyennes maximales le coefficient de variation ne dépasse pas 0,28 à Bab Boudir et 0,36 à Berkine.

Pour mettre en évidence l'irrégularité des variations des températures, l'amplitude thermique est calculée à partir des valeurs mensuelles moyennes. Les résultats sont présentés ci-dessous:

Stations	Maximum (°C)	Minimum (°C)	Amplitude (°C)
Guercif-Melloulou	28	9,9	18,1
Guercif C.T.	29	10	19
Belfarah	27,4	10,8	16,6
Berkine	24	4,3	19,7
Bab Boudir	21	2,1	18,9

D'après ce tableau, les amplitudes thermiques des différentes stations varie entre 16,6 et 19,7 enregistrées successivement à Guercif-Melloulou et à Berkine. Cela met en évidence le caractère continental du régime thermique de Berkine renforcé par une situation

Tabl.18. - Coefficients de variation des températures mensuelles minimales, moyennes et maximales

	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D
<b>Berkine (1929/1936)</b>												
Temp. Min.	6.33	2.23	1.30	0.71	0.68	0.50	0.15	0.13	0.28	0.49	0.70	1.35
Temp. Max.	0.32	0.36	0.23	0.06	0.21	0.15	0.13	0.18	0.22	0.18	0.22	0.33
Temp. Moy.	0.54	0.65	0.42	0.21	0.33	0.19	0.10	0.15	0.20	0.22	0.32	0.49
<b>Bab Boudir (1942/1951)</b>												
Temp. Min.	-1.10	-2.36	14.15	2.68	0.43	0.33	0.23	0.24	0.36	0.62	2.52	-2.57
Temp. Max.	0.23	0.28	0.13	0.18	0.16	0.09	0.07	0.03	0.13	0.13	0.20	0.28
Temp. Moy.	1.01	0.60	0.38	0.30	0.18	0.14	0.10	0.09	0.17	0.20	0.39	0.63
<b>Guercif C.T. (1940/1952)</b>												
Temp. Min.	0.34	0.32	0.18	0.10	0.11	0.08	0.04	0.05	0.07	0.09	0.15	0.31
Temp. Max.	0.09	0.09	0.08	0.11	0.10	0.06	0.05	0.04	0.06	0.08	0.08	0.07
Temp. Moy.	0.11	0.12	0.09	0.08	0.09	0.05	0.04	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10
<b>Guercif-Melloulou (1980/1990)</b>												
Temp. Min.	0.34	0.66	0.39	0.12	0.12	0.08	0.07	0.06	0.05	0.12	0.13	0.36
Temp. Max.	0.10	0.09	0.08	0.10	0.08	0.04	0.05	0.05	0.04	0.06	0.06	0.08
Temp. Moy.	0.13	0.17	0.16	0.08	0.09	0.04	0.04	0.04	0.03	0.07	0.07	0.15
<b>Belfarah (1983/1990)</b>												
Temp. Min.	0.58	0.45	0.29	0.15	0.16	0.09	0.07	0.10	0.06	0.07	0.09	0.34
Temp. Max.	0.18	0.06	0.06	0.13	0.11	0.05	0.05	0.09	0.05	0.03	0.04	0.08
Temp. Moy.	0.22	0.12	0.12	0.10	0.12	0.05	0.04	0.06	0.04	0.04	0.05	0.14

d'abri entre le Bou Nasseur au sud et le Bou Iblane au nord. Par contre, Guercif, Belfarah et Bab Boudir se trouvent dans le couloir de Taza/Taourirt. Par conséquent elles sont concernées par les flux d'air maritime provenant de l'atlantique ou/et de la Méditerranée.

## **2- L'EVAPOTRANSPIRATION**

" Le terme "évapotranspiration" désigne la quantité de vapeur d'eau rejetée dans l'atmosphère tant par évaporation directe au niveau du sol lui-même que par transpiration des organes aériens des plantes." (Brochet P. et Gerbier N., 1975, p.3).

L'évapotranspiration est un élément climatique complexe. Elle est conditionnée par plusieurs facteurs notamment; la nature du tapis végétal et les caractéristiques du sol.

La valeur de l'évapotranspiration peut être obtenue de deux manières:

-par mesure directe à l'aide d'instruments tel que l'évapomètre Piche et les bacs d'évaporation type A et Colorado, souvent faisant partie de l'équipement des stations d'observation au Maroc.

-à l'aide de formules proposées par différents auteurs, les plus répondues sont celles de Thornthwaite, Turc et Penman qui calculent l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.), d'où l'on déduit l'évapotranspiration réelle (E.T.R.).

La formule de Thornthwaite tient compte uniquement de la température de l'air pour calculer l'E.T.P.

Turc a élaboré deux formules pour calculer l'E.T.R.; la première en 1953 et la seconde en 1960. Il a pris en compte, en plus de la température de l'air, la radiation solaire globale.

La formule de Penman prend en considération davantage d'éléments climatiques pour estimer l'E.T.P., ainsi sont utilisés dans la formule la température de l'air, la radiation, l'humidité et la vitesse du vent. Par conséquent, la formule de Penman est la seule qui prend un maximum de paramètres climatiques.

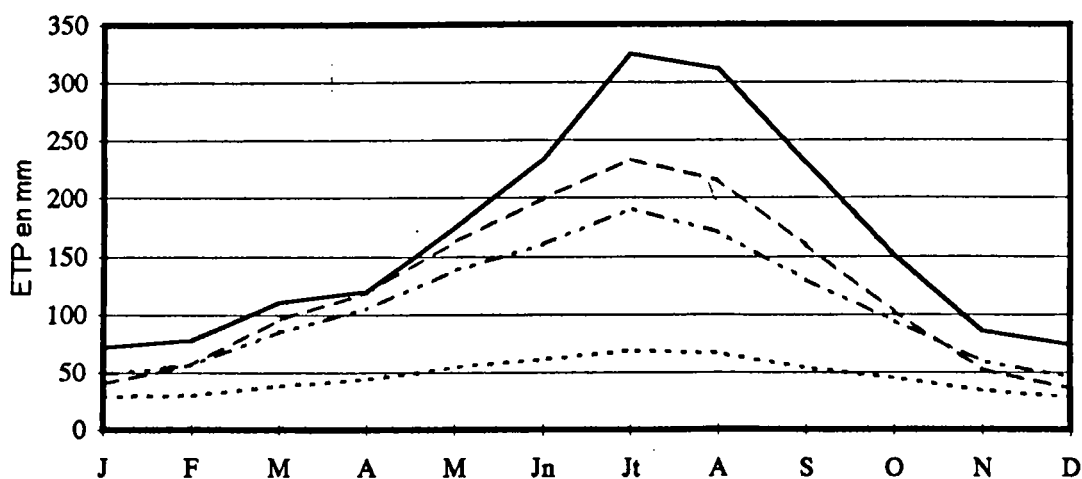
### **2-1 CHOIX DE LA METHODE D'EVALUATION DE L'E.T.P.**

Il est très difficile d'avantager l'une des formules au détriment de l'autre, chacune a ses avantages et ses limites d'application en fonction des caractéristiques climatiques de chaque région.

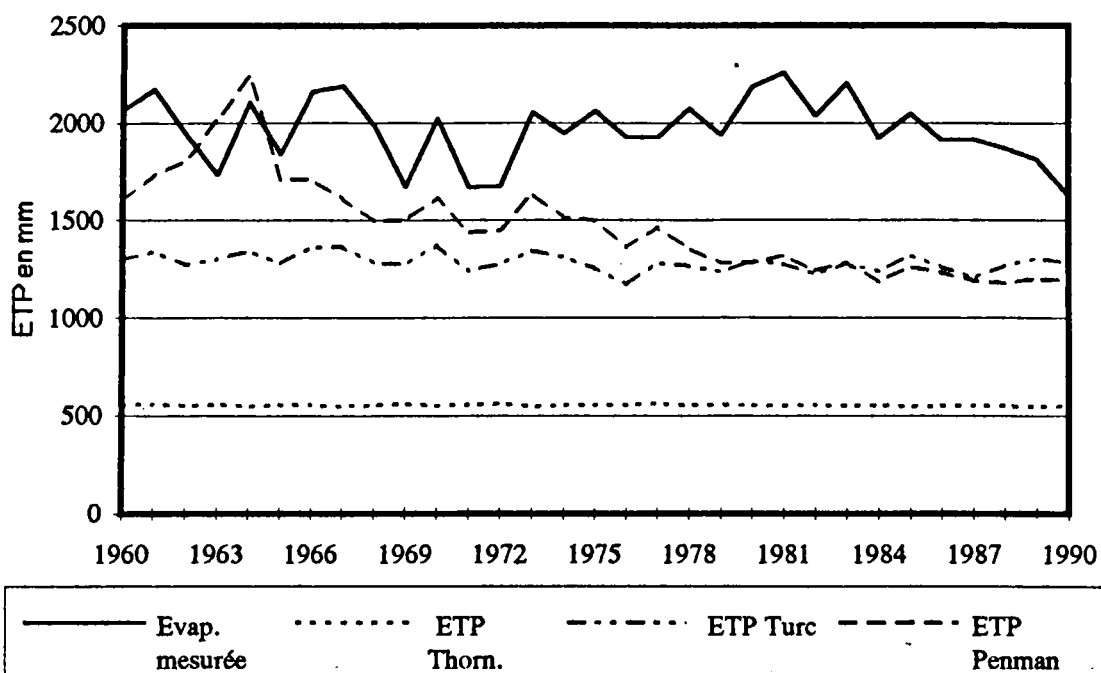
Pour choisir entre ces méthodes d'estimation, une comparaison est établie entre les valeurs de l'évapotranspiration mesurée par l'évapomètre Piche et les valeurs de l'E.T.P. calculé selon Thornthwaite, Turc et Penman pour la station de Taza à l'échelle annuelle et mensuelle (fig.53 et 54). Il en sort que les valeurs estimées de l'E.T.P. sont sans exception inférieures aux valeurs de l'évapotranspiration mesurée, les estimation les plus proches de celle-ci sont dans l'ordre celles de Penman, Turc et Thornthwaite. Le calcul du rapport entre l'évapotranspiration mesurée et l'E.T.P. estimé montre à l'échelle mensuelle (tabl.19)



**Fig.53. - Comparaison de l'évapotranspiration mensuelle mesurée et de l'ETP mensuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza (1960/1990)**



**Fig.54. - Comparaison de l'évapotranspiration annuelle mesurée et l'ETP annuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza**





que celui-ci varie de 4,71 en juillet à 2,51 en janvier pour Thornthwaite, de 1,83 en août à 1,14 en avril pour Turc et de 2,07 en décembre à 1,01 en avril pour Penman. A l'échelle annuelle (tabl.20), ce rapport varie de 4,09 en 1990 à 2,97 en 1981 pour Thornthwaite, de 1,77 en 1981 à 1,27 en 1990 pour Turc et de 1,71 en 1981 et 1983 à 1,07 en 1965 pour Penman.

En se référant aux résultats exposés ci-dessus on peut prétendre que la meilleure estimation est celle de la formule de Penman même si celle-ci sous estime relativement l'E.T.P. surtout pendant la saison sèche.

Pour toute les stations où des mesures de températures sont disponibles aucun autre paramètre climatique n'est mesuré. La station de Belfarah et Guercif-Melloulou font exception; des mesures de l'humidité de l'air, de l'évaporation et du vent sont disponibles, mais vu l'état du matériel, les séries très lacunaires, le personnel pas assez qualifié pour effectuer ce type de mesures et la présence d'un plan d'eau à proximité (l'O. Melloulou) qui peut influencer les observations de l'humidité et de l'évaporation, la seule formule pouvant être appliqué est celle de Thornthwaite. Mais pour les raisons exposées ci-dessus, les valeurs de l'E.T.P. risquent d'être très sous-estimées. Cela a conduit à l'utilisation de la formule de Turc en adoptant les données de l'insolation de la station la plus proche qui est Taza. Mais, puisque les mesures d'insolation ont commencé en 1960, l'application de la formule de Turc n'était possible que pour les séries de Guercif-Melloulou (1980/1990) et Belfarah (1983/1990).

En dépit du caractère contestable des valeurs de l'humidité mesurée à Guercif-Melloulou et Belfarah, elles ne sont que rarement inférieures à 50%, par conséquent, la formule utilisée pour les calculs est la suivante (in Brochet P. et Gerbier N., 1975):

$$E.T.P_{mm} = 0,013 n (t/t+15) (R_g + 50)$$

n : le nombre de jours de la période considéré

t : la température moyenne mesurée de l'air

R<sub>g</sub> : la radiation solaire globale, elle est calculée par la formule suivante:

$$R_g = I_{ga} (0,18 + 0,62 (h/H))$$

h : la durée réelle moyenne d'insolation

H : la durée astronomique moyenne du jour

I<sub>ga</sub>: la radiation solaire direct moyenne en l'absence de l'atmosphère

## **2-2 VARIATION DE L'E.T.P. DANS LE TEMPS**

Avant d'entreprendre cette étude, il est important de noter d'une part, que la période étudiée est une période sèche et d'autre part, que les stations à partir desquelles l'E.T.P. est estimé (Belfarah et Guercif-Melloulou) sont des stations représentatives de la plaine du Jel. Par conséquent, les résultats obtenus et les conclusions qui en découlent ne peuvent pas être extrapolés dans le temps et ne représentent pas la partie montagneuse du bassin-versant qui couvre environ les deux tiers du bassin-versant.

Tabl.19. - Comparaison de l'évapotranspiration mensuelle mesurée et l'ETP mensuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza (1960/1990)

	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D
Evap.	71.67	77.74	110.4	119.8	174.5	233.1	324.8	311.8	230.3	150.7	85.95	73.86
Etp Thorn.	28.58	29.71	38.10	43.68	54.52	61.26	68.90	66.39	54.29	45.10	33.81	28.39
Etp Turc	48.71	56.65	85.29	105.1	137.8	160.4	190.5	170.8	129.8	94.42	59.58	46.16
Etp Pen.	39.81	56.81	95.71	118.8	162.5	199.1	233.1	215.0	159.7	102.4	52.48	35.71
Evap./Thorn.	0.60	0.62	0.65	0.64	0.69	0.74	0.79	0.79	0.76	0.70	0.61	0.62
Evap./Turc	0.32	0.27	0.23	0.12	0.21	0.31	0.41	0.45	0.44	0.37	0.31	0.38
Evap./Pen.	0.44	0.27	0.13	0.01	0.07	0.15	0.28	0.31	0.31	0.32	0.39	0.52

Tabl.20. - Comparaison de l'évapotranspiration annuelle mesurée et l'ETP annuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza

	Evap.Mesurée	ETP Thorn.	ETP Turc	ETP Penman	Evap.mes./Thorn.	Evap.mes./Turc	Evap.mes./Penman
1960	2064.6	554	1299	1601	0.73	0.37	0.22
1961	2167.8	559	1339	1730	0.74	0.38	0.20
1962	1941.3	549	1274	1805	0.72	0.34	0.07
1963	1732.6	556	1301	2020	0.68	0.25	-0.17
1964	2102	548	1345	2238	0.74	0.36	-0.06
1965	1837.4	555	1280	1710	0.70	0.30	0.07
1966	2155.2	553	1362	1707	0.74	0.37	0.21
1967	2185.7	549	1366	1611	0.75	0.38	0.26
1968	1983.4	553	1285	1498	0.72	0.35	0.24
1969	1671.6	557	1275	1501	0.67	0.24	0.10
1970	2022	552	1373	1613	0.73	0.32	0.20
1971	1668.7	556	1242	1438	0.67	0.26	0.14
1972	1675.5	561	1277	1452	0.67	0.24	0.13
1973	2052.2	548	1345	1634	0.73	0.34	0.20
1974	1946.1	553	1313	1516	0.72	0.33	0.22
1975	2058.3	555	1255	1500	0.73	0.39	0.27
1976	1926.4	553	1172	1362	0.71	0.39	0.29
1977	1927.1	561	1282	1463	0.71	0.33	0.24
1978	2071.7	554	1267	1356	0.73	0.39	0.35
1979	1937.9	554	1236	1280	0.71	0.36	0.34
1980	2183.4	552	1290	1281	0.75	0.41	0.41
1981	2255.3	552	1276	1320	0.76	0.43	0.41
1982	2036.9	553	1222	1240	0.73	0.40	0.39
1983	2202.1	551	1281	1286	0.75	0.42	0.42
1984	1922.5	552	1239	1186	0.71	0.36	0.38
1985	2046.2	547	1321	1260	0.73	0.35	0.38
1986	1912.1	550	1262	1232	0.71	0.34	0.36
1987	1914.6	552	1206	1192	0.71	0.37	0.38
1988	1867.2	550	1267	1179	0.71	0.32	0.37
1989	1811.2	547	1306	1201	0.70	0.28	0.34
1990	1627.8	548	1281	1190	0.66	0.21	0.27
Moy.	1964.74	552.71	1285.13	1471.03	0.72	0.35	0.25

### 2-2-1 VARIATIONS ANNUELLES

L'évolution des moyennes annuelles de l'E.T.P. à Belfarah et à Guercif-Melloulou est représentée dans le tableau 21 L'étude de ce document nécessite quelques remarques.

L'écart entre les valeurs de l'E.T.P. calculées selon la formule de Thornthwaite et celle de Turc (tabl.21) est très important. Le rapport entre ces deux valeurs est supérieur à 2 pour toute la période étudiée aux deux stations.

La valeur minimale de l'évapotranspiration est enregistrée en 1984 pour les deux stations avec 1209 mm à Guercif-Melloulou et 1210 mm à Belfarah. Par contre, le maximum est enregistré en 1983 à Guercif-Melloulou (1309 mm) et en 1985 à Belfarah (1986 mm).

La moyenne annuelle de l'E.T.P. selon la formule de Turc, pour les deux périodes adoptées, est de 1264 mm à Guercif-Melloulou et 1244 mm à Belfarah. La variation de cette valeur d'une année à l'autre est faible, le coefficient de variation calculé est de 0,025 à la première station et de 0,02 à la seconde.

Le tableau représente également les valeurs calculées de l'évapotranspiration réelle (E.T.R.). Pour le calcul de ce paramètre il est nécessaire de connaître la réserve utile (R.U.), mais puisqu'on ne connaît pas celle-ci on a calculé l'E.T.R. tout d'abord avec une R.U. de 100 mm puis 50 mm. Les résultats du calcul de l'E.T.R. n'ont pas changé vu que les valeurs très élevées de l'E.T.P. (formule Turc) n'ont pas permis la reconstitution de la R.U..

Etant données les valeurs très élevées de l'E.T.P. calculé aux deux stations par rapport aux précipitations, l'E.T.R. calculé est égale aux quantités précipitées. Par conséquent, les pluies efficaces ( $P - E.T.R.$ ) sont absentes dans la plaine du Jel à l'échelle annuelle pour la période adoptée.

### 2-2-2 VARIATIONS MENSUELLES ET SAISONNIERES

Si l'on prend en considération la valeur moyenne des moyennes mensuelles de l'E.T.P. (fig.55 et 56), on distingue deux saisons opposées; une saisons sèche s'étendant d'avril à septembre et une saison humide d'octobre à mai.

Ce rythme mensuel de l'E.T.P est caractérisé par une quasi stabilité de novembre à février, où l'E.T.P. varie de 49 mm en décembre à 59,4 en novembre à Guercif-Melloulou et 47,1 mm en décembre à 54 mm en février à Belfarah. Cette période est suivie d'une montée très marquée jusqu'en juillet puis une descente aussi nette que la montée.

Comme pour l'E.T.P. annuelle, l'écart des valeurs calculées d'après la formule de Thornthwaite est très faible en comparaison avec celui des valeurs calculées d'après la formule de Turc: le rapport entre ces deux valeurs est supérieur à 2 de mars à octobre à Guercif-Melloulou et de janvier à novembre à Belfarah.

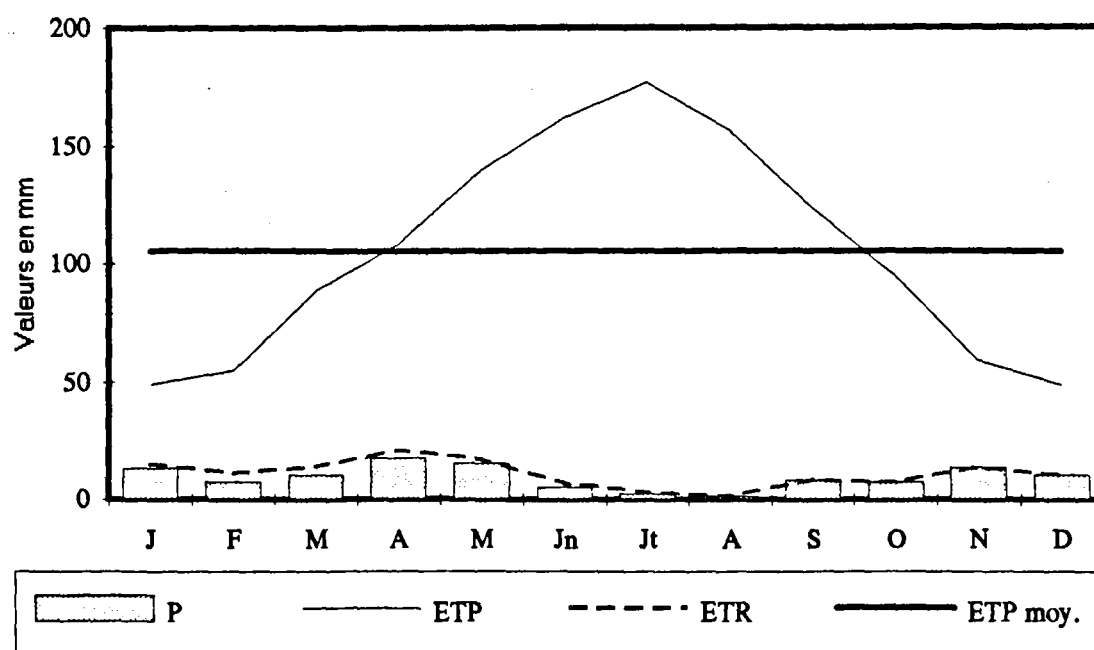
Tabl.21. - Variations annuelles de l'ETP, l'ETR et les précipitations à Guercif-Melloulou et à Belfarah

	Etp Thornthwaite en (mm) "1"	Etp Turc en (mm) "2"	(2) / (1)	ETR. Turc en (mm)	P (mm)
<b>Guercif-Melloulou</b>					
1980	549	1285	2.34	60	63
1981	549	1289	2.35	79	79
1982	551	1249	2.27	180	180
1983	550	1309	2.38	70	70
1984	548	1209	2.21	78	78
1985	549	1272	2.32	172	173
1986	546	1280	2.34	130	130
1987	551	1223	2.22	141	141
1988	547	1293	2.36	73	73
1989	548	1253	2.29	120	120
1990	549	1241	2.26	141	141
Moy.	548.82	1263.91	2.30	122.18	113.45
Min.	546	1209	2.21	70	63
Max.	551	1309	2.38	180	180
C.Var	0.003	0.025	0.026	0.337	0.377
<b>Belfarah</b>					
1983	558	1256	2.25	65	65
1984	556	1210	2.18	81	81
1985	550	1286	2.34	165	165
1986	550	1251	2.27	136	136
1987	552	1211	2.19	95	95
1988	549	1250	2.28	135	135
1989	549	1245	2.27	159	159
1990	548	1244	2.27	210	230
Moy.	551.5	1244.13	2.26	130.75	133.25
Min.	548	1210	2.18	65	65
Max.	558	1286	2.34	210	230
C.Var	0.007	0.02	0.023	0.370	0.4

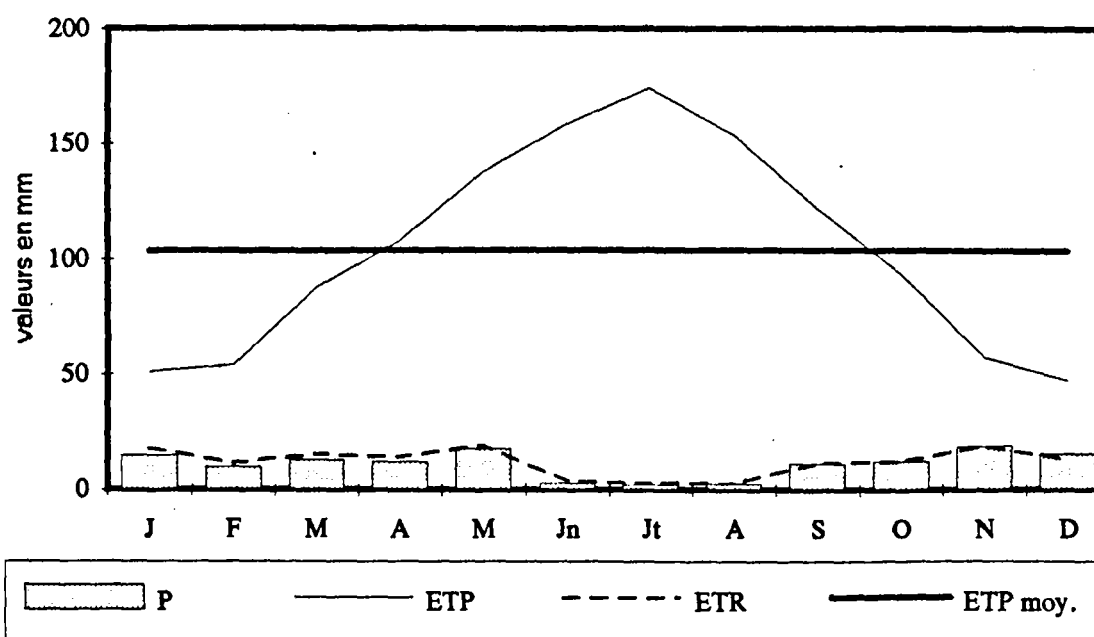
Tabl.22. - Variations mensuelles de l'ETP, l'ETR et des précipitations à Guercif-Melloulou et à Belfarah

		J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D
<b>Guercif-Melloulou (1980/1990)</b>													
	<b>P</b>	13.2	7.5	10.4	17.6	15.4	5.4	2.4	1.5	8.4	7.5	13.9	10.5
<b>Thorn.</b>	<b>ETP</b>	27.3	28.1	38.7	44.7	54.7	61.5	67.8	65.5	53.6	44.5	33.7	28.5
	<b>ETR</b>	12.2	9.0	11.8	15.3	17.4	7.7	4.4	2.8	9.2	8.0	14.1	9.6
	<b>P</b>	13.2	7.5	10.4	17.6	15.4	5.4	2.4	1.5	8.4	7.5	13.9	10.5
<b>Turc</b>	<b>ETP</b>	49.2	54.8	88.7	108	140	162	177	157	124	94.6	59.4	49.0
	<b>C.Var.(ETP)</b>	0.08	0.11	0.10	0.08	0.08	0.04	0.06	0.14	0.05	0.06	0.05	0.09
	<b>ETR</b>	15.2	11.4	14.0	21.0	17.5	7.0	3.2	1.7	8.5	7.5	13.9	10.5
	<b>P - ETR</b>	-2.0	-3.9	-3.6	-3.4	-2.1	-1.6	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
<b>Etp Turc/Etp Thorn.</b>		1.8	2.0	2.3	2.4	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	2.1	1.8	1.7
<b>Belfarah (1983/1990)</b>													
	<b>P</b>	14.9	9.9	13.0	12.0	17.8	2.8	2.3	2.5	11.4	12.4	19.0	15.5
<b>Thorn.</b>	<b>ETP</b>	25.1	25.4	33.8	39.6	48.0	53.6	59.6	57.1	46.9	39.1	29.5	25.3
	<b>ETR</b>	14.8	11.5	14.4	14.1	19.4	4.8	3.8	3.5	12.0	12.8	19.0	11.4
	<b>P</b>	14.9	9.9	13.0	12.0	17.8	2.8	2.3	2.5	11.4	12.4	19.0	15.5
<b>Turc</b>	<b>ETP</b>	51.3	54.0	87.8	108	137	158	174	153	122	93.6	57.6	47.1
	<b>C.Var.(ETP)</b>	0.13	0.08	0.08	0.10	0.11	0.05	0.08	0.19	0.06	0.07	0.03	0.09
	<b>ETR</b>	18.1	11.5	15.4	14.1	19.3	3.6	2.8	2.6	11.5	12.4	19.0	13.0
	<b>P - ETR</b>	-3.3	-1.6	-2.4	-2.1	-1.5	-0.9	-0.5	-0.1	-0.1	0.0	0.0	2.5
<b>Etp Turc/Etp Thorn.</b>		2.0	2.1	2.6	2.7	2.9	2.9	2.9	2.7	2.6	2.4	2.0	1.9

**Fig.55. - Bilan hydrique mensuel d'après la méthode Turc à Guercif-Melloulou (1980/1990)**



**Fig.56. - Bilan hydrique mensuel d'après la méthode Turc à Belfarah (1983/1990)**



L'étude de la variation mensuelle de l'E.T.P. (tabl.22) montre une différence assez importante entre des mois plus ou moins variables. Ainsi à Guercif-Melloulou le coefficient de variation de février, mars et avril dépasse 0,1 avec un maximum de 0,142 en août, pour les autres mois ce coefficient est relativement faible; il varie de 0,043 en juin à 0,09 en décembre. A Belfarah, le coefficient de variation dépasse 0,1 quatre mois par an (janvier, avril, mai et août) et le maximum est situé en août (0,19), le reste de l'année, il varie de 0,032 en novembre à 0,09 en décembre.

Les pluies efficaces (P - E.T.R.) calculées pour les deux stations montrent que celles-ci sont absentes toute l'année sauf à Belfarah où on remarque un excédent de 2,5 mm en décembre.

### CONCLUSION

*L'essentiel des caractéristiques des températures et de l'évapotranspiration dans le bassin-versant peuvent être résumés dans les points suivants:*

*-L'inéxistence d'une période commune et assez longue de températures annuelles moyennes, n'a pas permis de distinguer les années les plus froides et les années les plus chaudes dans le bassin-versant. Mais, l'étude des coefficients de variation montre leur faible variation d'une années à l'autre.*

*-Les données thermiques sont très rares et d'une qualité médiocre. Pourtant, leur étude montre que le régime thermique est marqué, généralement, par l'existence de deux saisons: une saison chaude qui dure de mai à octobre avec un maximum en juillet ou août, et une saison froide qui s'étale de novembre à avril avec un minimum généralement en janvier.*

*-Face à l'absence de mesures directes de l'évapotranspiration on a eu recours à l'utilisation de formules pour calculer l'E.T.P. La formule qui permet une assez bonne estimation de l'E.T.P. est la formule de Penman. Mais, étant donné le nombre d'éléments climatiques et la qualité des mesures, seule la formule de Turc a été utilisée et elle a été appliquée uniquement aux données mensuelles des stations de Belfarah et Guercif-Melloulou. Les séries étudiées coïncident avec la période de sécheresse des années quatre-vingt, par conséquent, les valeurs de l'E.T.P. trouvées sont très élevées par rapport aux précipitations d'où l'absence de pluies efficaces à l'échelle annuelle aussi bien qu'à l'échelle mensuelle et saisonnière.*



**TROISIEME PARTIE:**

**REGIME ET ELEMENTS DE FONCTIONNEMENT  
HYDRODYNAMIQUE DE L'O. MELLOULOU**

**TROISIEME PARTIE**  
**REGIME ET ELEMENTS DE FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE**  
**DE L'O. MELLOULOU**

*"La complexité de la vie d'un fleuve est due à l'interférence de traits nombreux et variés, reflet eux même de la diversité des facteurs de l'écoulement. Parmi les variations du débit, les unes sont en liaison étroite avec le cadre morphologique et géologique du bassin, d'autres avec les oscillations et les répétitions régulières de certaines composantes du climat; d'autres variations enfin sont, au contraire, apparemment fortuites, imprévisibles, exceptionnelles. La définition du régime doit discerner ce qui est durable, constant, attendu, de ce qui est occasionnel, accidentel, aberrant; et cela à l'échelle des saisons comme à l'échelle des mois et des jours." (Dacharry M.,(1974,p.87).*

Dans cette partie, donc, les divers aspects de l'écoulement sont mis en évidence à différentes échelles de temps. L'influence des caractéristiques climatiques et physiques du bassin-versant ainsi que l'intervention humaine sont utilisés pour expliquer le comportement du Melloulou et ses manifestations en période de carence et d'abondance hydrologique.

**CHAPITRE VII**  
**VARIATIONS TEMPORELLES DES APPORTS DE L'O. MELLOULOU**

**1- LES STATIONS HYDROMETRIQUES ET LA QUALITE DE LEURS MESURES**

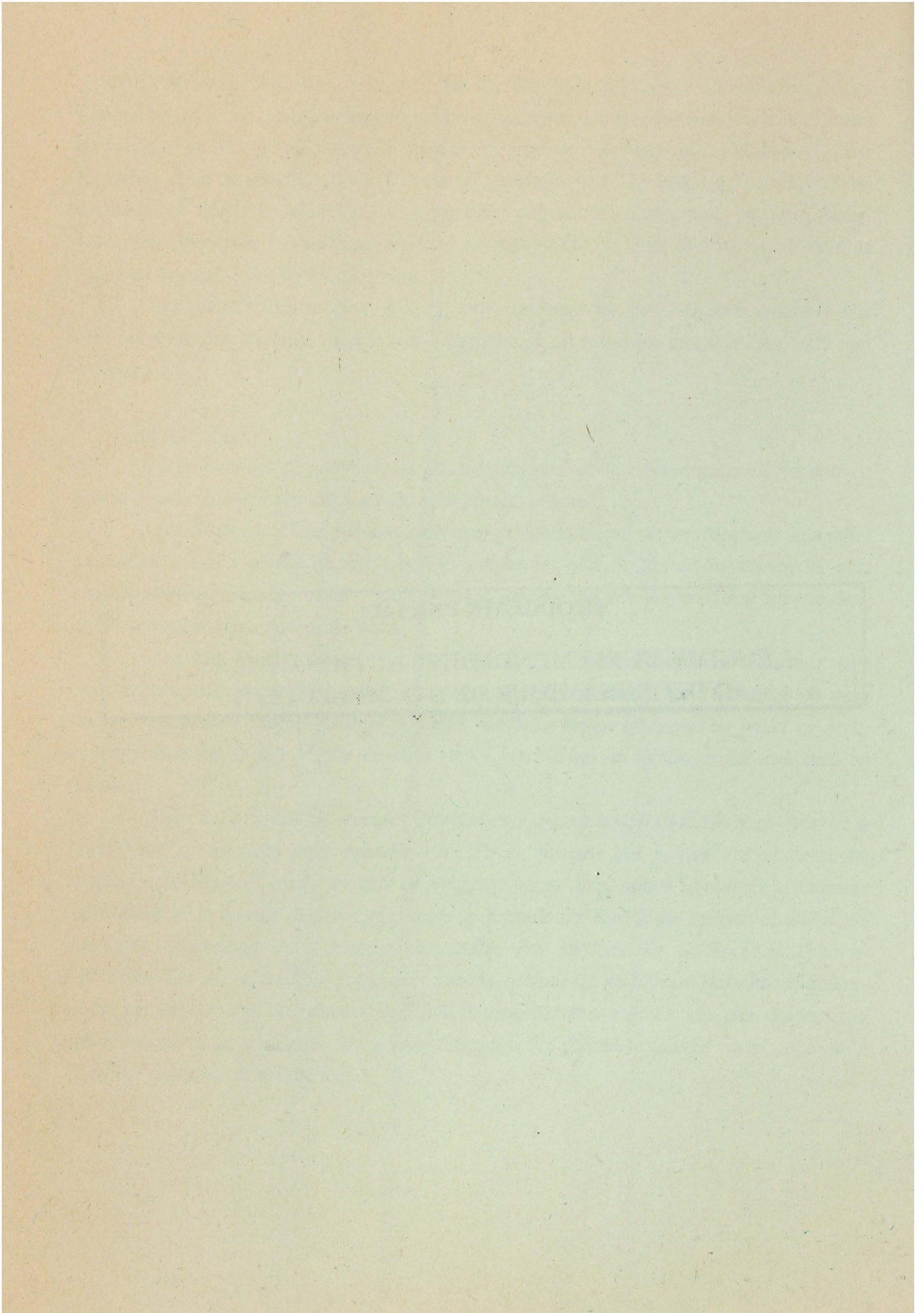
**1-1 LES STATIONS HYDROMETRIQUES**

Grâce à un réseau hydrographique bien développé, l'O. Melloulou draine une zone vaste caractérisée par une grande diversité de paysages. Pourtant, son débit n'est mesuré qu'en deux stations situées dans la plaine de Guercif: Belfarah et Guercif-Melloulou (fig.13).

La station de Guercif-Melloulou, à l'origine, était installée par le service des Travaux Publics en 1927. A cette époque elle ne disposait que d'un limnigraphe et d'une station de mesure au flotteur. En 1952, une station de mesure à câble a été installée puis reconstruite en 1956. Actuellement, la station est gérée par la D.R.H d'Oujda et ses mesures sont publiées dans l'annuaire hydrologique du Maroc depuis octobre 1952.

La station de Belfarah était au début une station d'annonce de crues. Installée en 1961, elle n'a pu faire des observations hydrométriques régulièrement qu'à partir de 1971.





### ***1-2 QUALITE DES OBSERVATIONS HYDROMETRIQUES***

En général, les débits comportent une marge d'erreur plus ou moins importante due à l'imprécision des jaugeages. Pour l'O. Melloulou d'autres problèmes s'ajoutent à cela.

Le niveau d'eau de l'O. Moulouya exerce une influence sur celui de l'O. Melloulou au niveau de Guercif, particulièrement au moment des crues. Ainsi l'importance de la crue exceptionnelle du Melloulou de 1963 est due en partie à cette influence.

L'importance de l'épaisseur des alluvions dans le lit de l'O. Melloulou a favorisé l'installation d'un sous-écoulement "underflow". Par conséquent, une partie des apports du Melloulou échappe aux différents jaugeages.

L'instabilité du lit du Melloulou qui influence les différentes mesures surtout en période de basses eaux où l'écoulement se réduit à quelques chenaux instables.

### ***1-3 SOURCES ET DUREE DES OBSERVATIONS HYDROMETRIQUES***

Les différentes mesures effectuées dans l'O. Melloulou sont traitées et dépouillées à la D.R.H d'Oujda puis archivées dans une banque de données à la D.R.E. à Rabat. Les observations dont on dispose sont issues de ce dernier service. Elles nous ont été fournies sur listing. La comparaison de ces données avec ceux publiées dans l'annuaire hydrologique révèle une différence assez marquée entre les deux documents, et une grande partie des observations figurant dans les annuaires n'était pas retenue. Cela est dû au fait que les données ont été vérifiées et corrigées après l'informatisation des calculs des débits.

Seulement deux séries de débits moyens journaliers sont disponibles. La série de Guercif-Melloulou et celle de Belfarah. La première débute en 1954 et la seconde en 1961. Mais dans cette étude les périodes retenues pour ces deux séries sont 1955-56/1985-86 pour Guercif-Melloulou et 1975-76/1986-87 pour Belfarah. L'existence de lacunes, plus ou moins longues, n'a pas permis l'adoption d'une durée plus longue pour l'étude des variations temporelles du débit du Melloulou.

## **2- DEBITS ANNUELS**

### ***2-1 VARIATIONS INTERANNUELLES DU DEBIT DU MELLOULOU***

Le module de l'O. Melloulou calculé sur une période de 31 ans: 1955-56/1985-86, est de  $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une superficie de  $2476 \text{ km}^2$  soit un débit spécifique de  $3,87 \text{ l/s/km}^2$ . Le module de la Moulouya à Dar El Caïd (située à 2 km en aval de la confluence du Melloulou et de la Moulouya) est de  $21,4 \text{ m}^3/\text{s}$  pour la période 1960-61/1985-86 pour une surface de  $24422 \text{ km}^2$  ( $0,88 \text{ l/s/km}^2$ ), pour la même période le module du Melloulou est de  $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $3,7 \text{ l/s/km}^2$ ). Par conséquent, le Melloulou fournit environ 43% du débit de la Moulouya à cette station. Mais en comparaison avec d'autres émissaires du Moyen-Atlas; l'O. Sebou à Timedrine ( $4,9 \text{ l/s/km}^2$  pour la période 1930-1970) et l'O. Oum Rbia à Kasba

Zidania ( $5,2 \text{ l/s/km}^2$  calculé sur la période 1938-39/1955-56), le module du Melloulou est sensiblement faible. Mais, l'orientation vers l'ouest de ces deux derniers explique en grande partie la supériorité de leurs débits.

L'étude de la variation de l'hydraulicité du Melloulou (fig.57) permet de dégager plusieurs caractéristiques.

La variabilité du débit moyen annuel de l'O. Melloulou est importante. Durant les 31 ans d'observation à Guercif-Melloulou, ce débit oscille entre  $25,9 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1962-63 et  $1,59 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1965-66, soit un coefficient d'irrégularité de 16,3. Ce coefficient est comparable à celui de la Moulouya à Dar El Caïd (16,8). Mais, il est largement supérieur à celui d'Oum Rbia à Kasba Zidania (4,7), et il est moins important que celui de l'O. N'Fis à Lalla Takerkoust (24,3).

L'année hydrologique 1962-63 est l'année la plus excédentaire. Elle correspond à une année exceptionnellement pluvieuse sur la totalité du Maroc. Pour l'O. Melloulou à Guercif, le débit moyen annuel de cette année a atteint  $25,9 \text{ m}^3/\text{s}$  soit 2,7 fois le module et le débit maximum instantané  $1340 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'année la plus indigente est l'année 1965-66. Le débit du Melloulou à Guercif est descendu à  $1,59 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit 6 fois inférieur au module normal (30 ans).

L'irrégularité du débit moyen annuel est assez accusée. Pourtant on peut distinguer deux périodes de part et d'autre de l'année 1968-1969: une période antérieure caractérisée par une grande oscillation des débits par rapport au module et une période postérieure marquée par une tendance à l'assèchement avec un minimum de  $1,74 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1983-84.

La valeur du coefficient de variation pour le Melloulou à Guercif est de 0,62. En comparaison avec les séries pluviométriques, ce coefficient est bien supérieur à celui des longues séries qui varie entre 0,27 et 0,46.

Cette grande variation est confirmée aussi par l'importance de la dispersion des valeurs annuelles. Ainsi sur 31 ans d'observation le débit a dépassé le seuil de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  5 fois et a descendu en dessous de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  8 fois.

## ***2-2 ETUDE FREQUENTIELLE DES DEBITS MOYENS ANNUELS***

Le but de l'étude fréquentielle des débits annuels est d'estimer les valeurs de débit pouvant être atteintes pour différentes périodes de retour. Cela permet, en effet, une connaissance et une bonne gestion des ressources en eaux.

Comme pour les totaux annuels de pluies, les débits annuels ont été, à leur tour, ajustés à une loi normale. La représentation graphique de cet ajustement (fig.58) montre un mauvais alignement des points et, par conséquent, la loi de Gauss s'applique moins bien à la répartition des débits du Melloulou à Guercif qu'à la répartition des pluies.

L'importance de la valeur du coefficient de variation 0,62 et l'alignement des points sous forme d'une courbe concave, laisse prévoir un bon ajustement à une loi

**Fig.57. - Variations interannuelles du débit de l'O. Melloulou à Guercif**

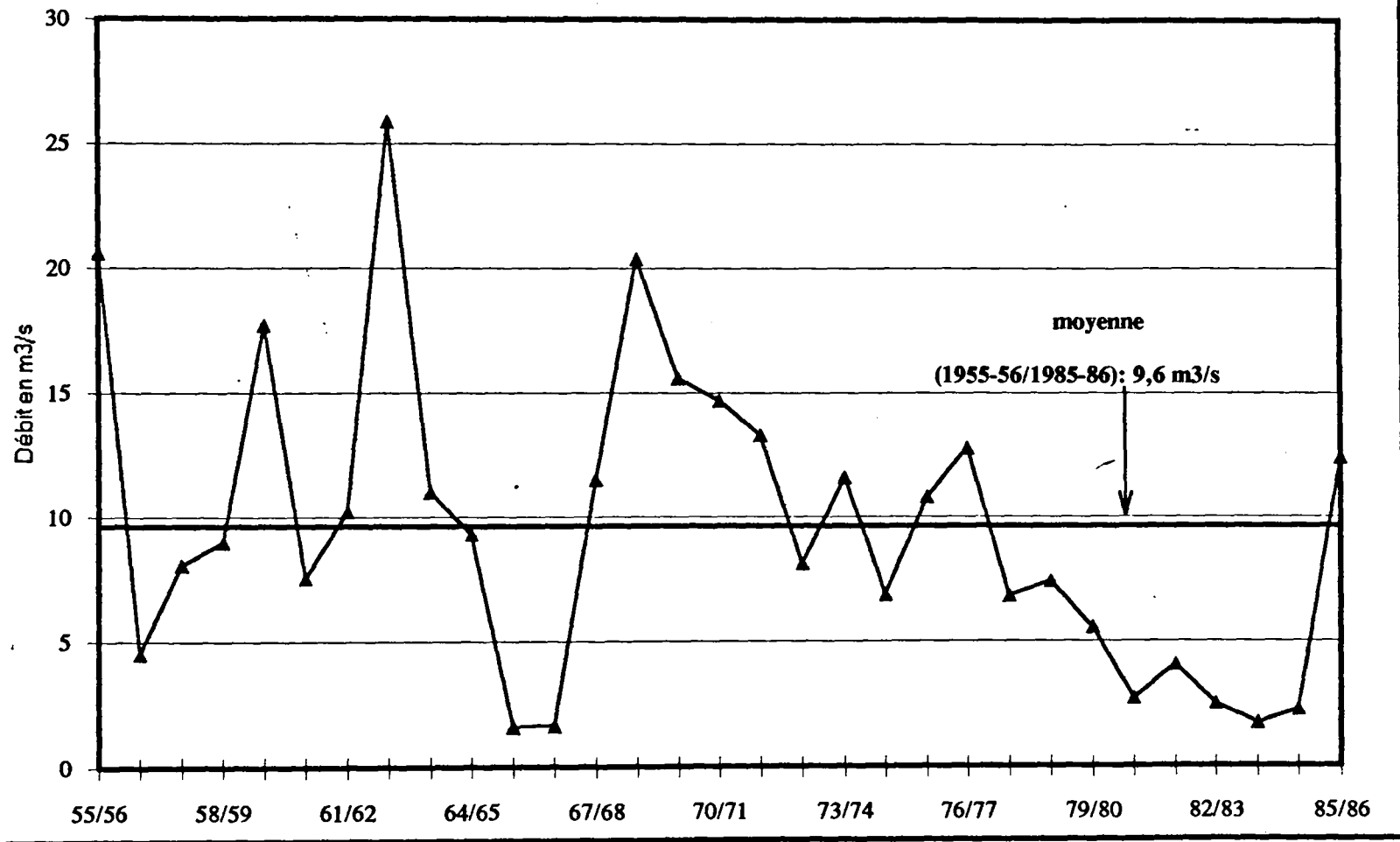
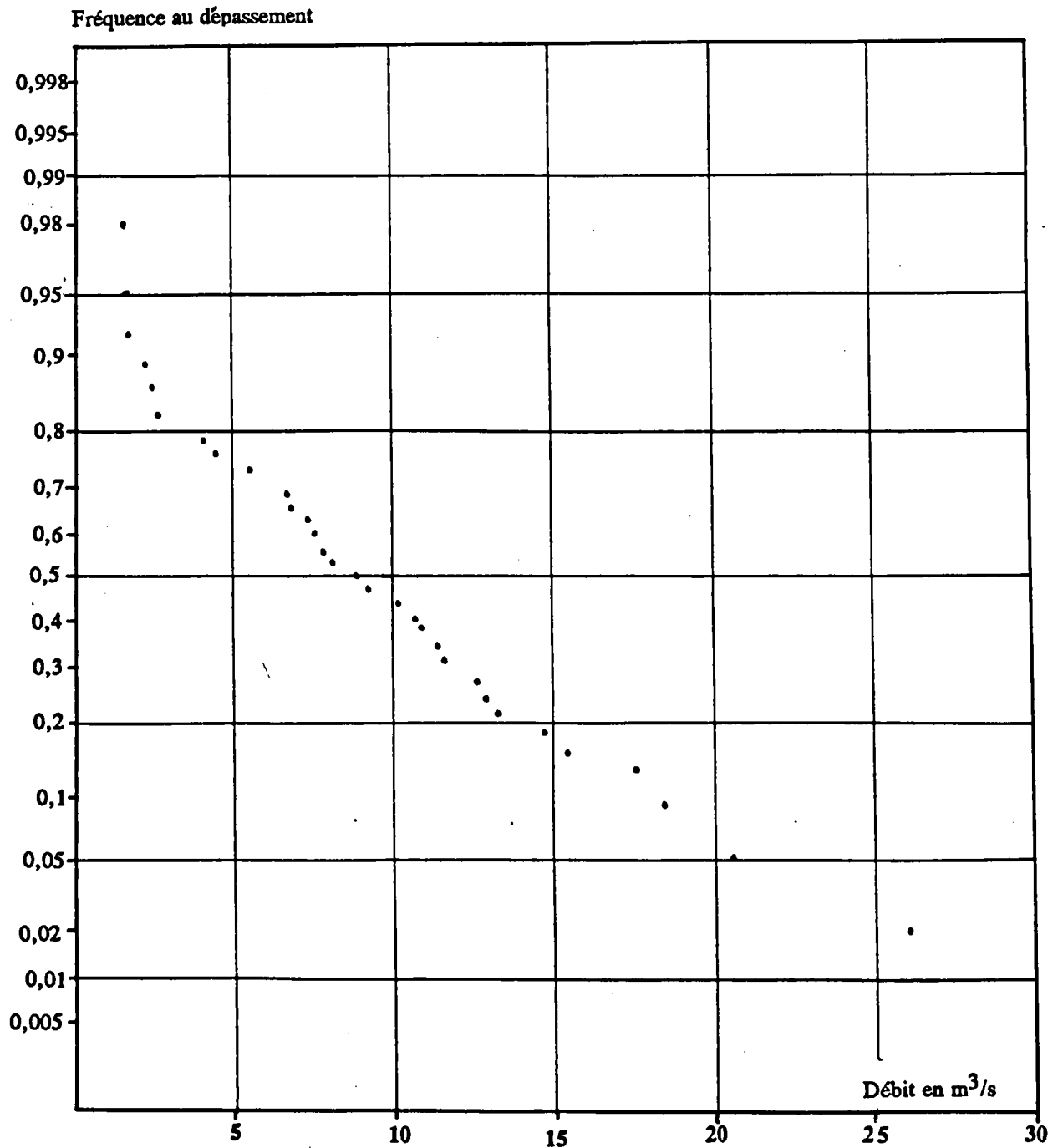


Fig. 58. - Ajustement des débits moyens annuels du Melloulou à Guercif à la loi normale (1955-56/1985-86)



hypergaussique. D'où la choix de la loi de Galton. C'est une loi souvent utilisée pour ajuster les valeurs hydrométriques annuelles des cours d'eau à régime très irrégulier tels que les cours d'eau de la zone méditerranéenne et des régions arides et semi-arides.

Pour parvenir à cet ajustement, on a procédé, tout d'abord, à la représentation graphique de l'ajustement en utilisant une échelle gaussique pour les fréquences expérimentales des observations  $(r-0,5/N)$  et une échelle logarithmique pour les observations.

En suite la droite de l'ajustement a été calculée à l'aide des équations suivantes (in Dubreuil P., 1974):

$$a = 1,517\sqrt{[\text{Log}(1 + (S^2/Q-Q_0^2))]} \quad b = (1,1513/a) - a \text{Log}(\bar{Q}-Q_0)$$

$S^2$ : variance

$\bar{Q}$ : moyenne

$Q_0$ : c'est le paramètres de position qui représente la borne inférieure de la variable d'origine. Ce paramètre peut être varié de telle manière à avoir un bon ajustement.

L'estimation de l'intervalle de confiance de la moyenne est calculée de la manière suivante:

$$I.C = \bar{Q} \pm t(1-\alpha/2) (S/\sqrt{2N}) \sqrt{(U^2p+2)}$$

$$\text{Avec } U_p = (\bar{Q}-Q_i)/S \quad Q_i = \text{Log}(\bar{Q}-Q_0)$$

t: variable réduite de Gauss

$\alpha$ : degré de confiance choisie

S: écart type

N: taille de l'échantillon

Enfin Les débits pouvant être atteints pour des périodes de récurrence choisie à l'aide de l'équation suivante:

$$\text{Log}(\bar{Q}-Q_0) = 1/a (U-b)$$

U est la variable réduite de Gauss.

Pour juger l'adéquation de la loi de Galton à l'ajustement des modules annuels de l'O. Melloulou, le test du  $X^2$  est appliqué. Les résultats sont exposés dans le tableau suivant:

Classes	$n_j$	$n_{Dj}$	$(n_j - n_{Dj})^2$	$(n_j - n_{Dj})^2 / n_{Dj}$
(-) 4,45	7	6,2	0,64	0,103
4,45-7,1	4	6,2	4,84	0,781
7,1-9,9	6	6,2	0,04	0,006
9,9-14,1	8	6,2	3,24	0,523
(+)14,1	6	6,2	0,04	0,006
			$X^2$	1,419

La valeur calculée du  $X^2$  comparée aux valeurs lues dans la table (loi de K. Pearson) à 1 degré de liberté, (le nombre de paramètres pour la loi de Galton est de 3), montre qu'elle correspond à une probabilité comprise entre 0,9 et 0,1.

L'estimation du module de l'O. Melloulou à un risque d'erreur de 90% est de  $\pm 1,94 \text{ m}^3/\text{s}$  d'où  $7,68 \text{ m}^3/\text{s} \leq \bar{Q} \leq 11,56 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La figure 59 représente l'ajustement des débits du Melloulou à la loi de Galton. Les courbes 1, 2 et 3 représentent respectivement l'ajustement des valeurs observées et des valeurs corrigées avec  $Q_0 = -3$  et  $Q_0 = -7$ .

La courbe n°3 représente le meilleur ajustement; L'alignement des points est satisfaisant. Par conséquent, l'équation de la droite d'ajustement est:  $U = 6,57 \text{Log}(Q+7) - 7,84$ .

Les estimations des valeurs de débit atteint pour une durée de récurrence de 5, 10, 20 et 50 ans sont représentées ci-dessous:

	Période de retour en nombre d'années							
	Année déficitaire				Année excédentaire			
	50	20	10	5	5	10	20	50
Q. estimés $\text{m}^3/\text{s}$	0,6	1,8	3	4,6	14	17,5	20,8	25,1
Q. est./module	16	5,3	3,21	2,1	1,45	1,82	2,16	2,61

Le tableau reflète l'extrême faiblesse des valeurs de débit estimé pour une année sèche et qui, pour une période de retour de 50 ans, peuvent être 16 fois plus faibles que la moyenne. En revanche, l'écart des valeurs estimées pour des années excédentaires est moins important; il ne dépasse pas 2,6 fois la moyenne.

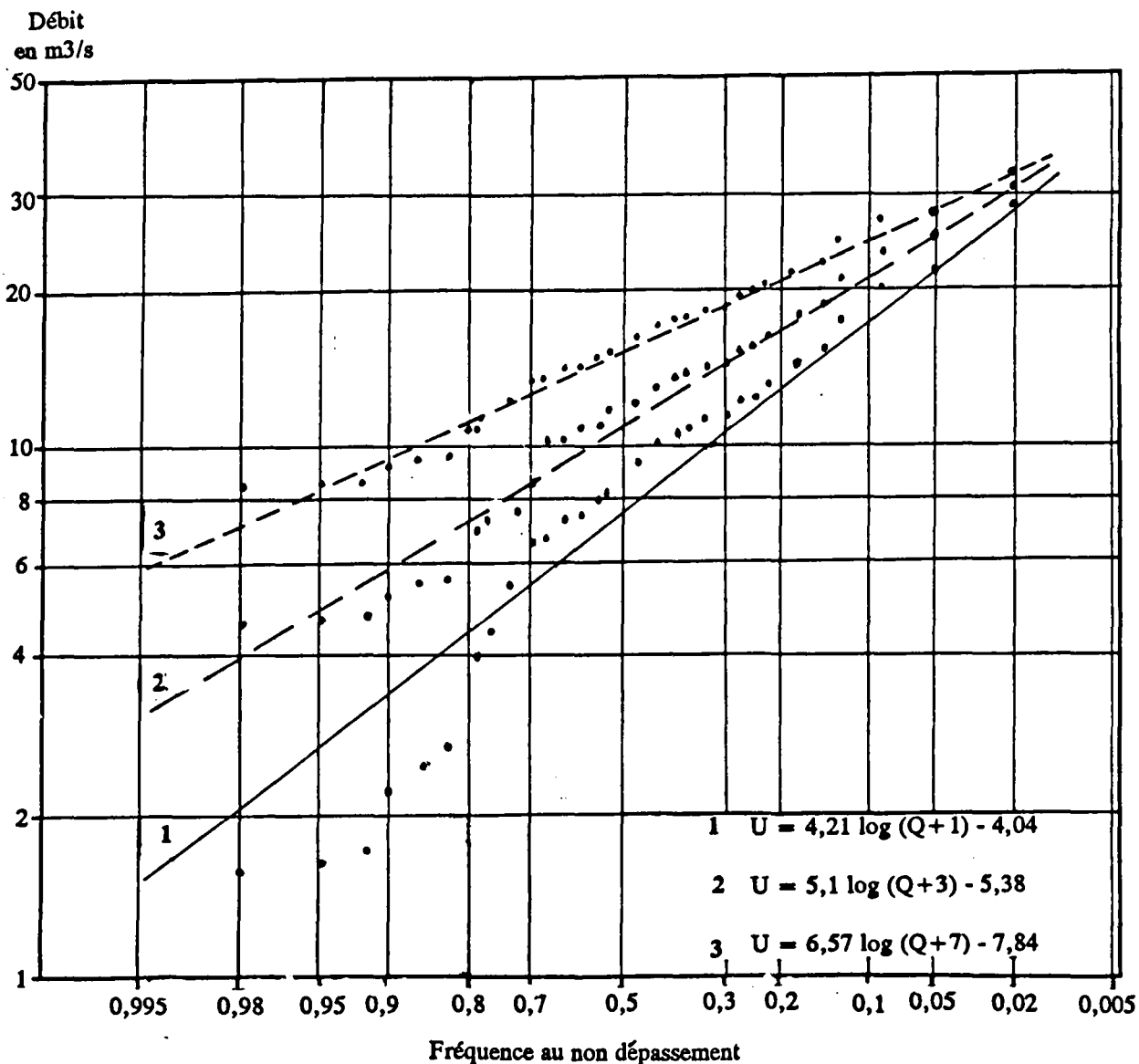
### **3-DEBITS MENSUELS**

#### **3-1 REGIME HYDROMETRIQUE MENSUEL MOYEN**

Le régime de l'O. Melloulou est un régime méditerranéen méridional. Il est caractérisé par un maximum et un minimum uniques. Le coefficient de débit du mois le plus abondant: le mois d'avril (tabl.23), est de 2,26 suivi de près par le mois de mars 1,99 et le mois de mai 1,73. Le mois le plus sec est août avec un coefficient de 0,14 à peine inférieur à celui de septembre qui est de 0,15.

Mais cet état moyen est loin de caractériser les variations interannuelles des débits. Le tableau ci-dessous représente le nombre de fois où le maximum ou le minimum a été atteint en un mois donné.

Fig.59 . - Ajustement des débits moyens annuels du Melloulou à Guercif à la loi de Galton (1955-56/1985-86)



Tabl.23.- Régime moyen et régime probable du Melloulou à Guercif (1955-56/1985-86)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A
Maximum	6.65	10.1	23.4	34.2	99.3	59	48.3	72.9	77.2	33.3	15.4	6.63
10%	3.14	5.96	10.3	27.6	44.4	40.9	41.3	40.2	39.6	15.5	7.39	2.99
25%	2.22	3.5	4.59	13.8	20.5	17.7	25.7	30.2	17	11.1	3.89	2.24
50%	1.2	1.58	2.16	3.44	4.99	11.9	17.3	16.6	10.8	4.77	1.85	0.68
75%	0.37	0.35	1.42	1.88	1.97	3.75	5.29	11.8	6.52	2.95	0.64	0.18
90%	0.12	0.04	0.18	0.74	0.26	1.43	2.9	2.3	1.67	0.38	0.02	0
Minimum	0	0	0.11	0.12	0	0	0.61	1.85	0.05	0.34	0.01	0
Moyenne	1.5	2.3	3.9	8.0	14.9	15.4	19.1	21.8	16.7	7.4	2.8	1.3
Coef. Débit	0.15	0.24	0.41	0.83	1.55	1.60	1.99	2.26	1.73	0.77	0.29	0.14
Moy. / Méd.	1.24	1.45	1.82	2.33	2.98	1.30	1.10	1.31	1.54	1.55	1.51	1.96

Méd.: médiane (50%)

Moy.: moyenne



	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A
Max.	0	2	1	2	6	4	4	10	3	0	0	0
Min.	4	7	3	0	2	1	0	0	0	0	2	12

Ainsi le débit moyen mensuel maximum d'avril n'a été atteint que 10 fois en 31 ans suivi par janvier avec 6 fois, le mois de mars ne vient qu'en troisième place accompagné de février avec 4 fois.

Le minimum des débits mensuels moyen a été atteint en août 12 fois en 31 ans suivi par octobre 9 fois et septembre 5 fois. Mais, ce minimum peut être atteint en saison sèche aussi bien qu'en saison habituellement pluvieuse. Ainsi en 1961-62 le minimum a été atteint en février et en 1966-67 et en 1974-75 il a été atteint en janvier.

Les coefficients mensuels de débit (tabl.23) mettent en évidence également l'existence de deux grandes saisons hydrologiques.

La saison d'abondance potamologique: elle dure de janvier jusqu'à mai. Le débit moyen mensuel du Melloulou à Guercif dépasse 15 m<sup>3</sup>/s. L'ensemble des apports du Melloulou pendant cette saison représente 76,4% de l'apport global annuel et pendant le mois d'avril, à lui seul, le Melloulou écoule 19% du débit annuel.

La saison d'indigence potamologique: elle s'étend sur 7 mois. A l'exception des mois de juin et décembre qui sont considérés comme des mois transitoires, le débit des autres mois; de juillet à novembre, ne dépasse pas 4 m<sup>3</sup>/s.

Le rapport entre les deux débits moyens mensuels extrêmes est très élevé: 16,8. Il reflète, en plus de l'irrégularité de l'écoulement du Melloulou en tant que cours d'eau du domaine méditerranéen, l'influence que peut exercer l'être humain sur l'écoulement surtout pendant la période des basses eaux. Cette influence s'amplifie au fur et à mesure que l'indigence potamologique est prononcée (voir chapitre VIII).

La grande variabilité des débits moyens mensuels du Melloulou est reflétée également par l'importance des valeurs des coefficients de variations mensuels représentées dans le tableau suivant:

S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	Année
1	1,2	1,2	1,2	1,4	1	0,7	0,7	1	0,9	1,1	1,2	0,6

Les mois de mars, avril et juin sont les seuls à avoir un coefficient inférieur à 1. Les autres mois ont un coefficient très élevé avec un maximum en janvier.

Cela peut être considéré comme un indice d'absence d'importants réservoirs souterrains pouvant assurer la régularisation de l'écoulement du Melloulou. Par conséquent, ce dernier reste très sensible aux apports atmosphériques et à leur grande variation.

### ***3-2 REGIME PROBABLE***

Par compensation d'années excédentaires et d'années déficitaires, le régime mensuel moyen ne donne qu'une image partielle du régime réel. D'où l'importance de procéder à une étude fréquentielle des valeurs mensuelles surtout pour un cours d'eau à régime très irrégulier tel que le Melloulou.

L'analyse du régime probable à 90%, 75%, 50%, 25%, et 10% (fig.60) et (tabl.23) a permis de dégager plusieurs aspects du régime du Melloulou.

Les valeurs mensuelles moyennes sont supérieures aux valeurs médianes. Le calcul du rapport de ces deux valeurs pour chaque mois a révélé des valeurs très significatives. Ainsi les valeurs les plus élevées sont atteintes en janvier, novembre et décembre avec, respectivement, 3, 2,3 et 2,3. Ces mêmes mois sont aussi les mois qui ont des coefficients de variation très élevés. Les plus faibles écart entre les valeurs moyennes et médianes sont ceux des mois de mars, septembre et février avec respectivement 1,1, 1,24, et 1,3.

Les valeurs mensuelles décennales (10%) en année abondante atteignent ou dépassent  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  de janvier à mai avec un maximum en janvier. La position des maxima hydrométriques est assez variable d'une fréquence à l'autre. En revanche, au niveau des minima le mois d'août est le mois le plus indigent de l'année avec une probabilité d'assèchement d'une année sur six.

Les maxima mensuels moyens sont très élevés. Ainsi, le Melloulou a enregistré  $99,3 \text{ m}^3/\text{s}$  en janvier 1970,  $77,2$  en mai 1963 et  $72,9 \text{ m}^3/\text{s}$  en avril 1955-56. Par contre les minima mensuels moyens ne dépassent le seuil de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  qu'en avril. Pour les autres mois ils varient entre 0 et  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## **4-DEBITS JOURNALIERS**

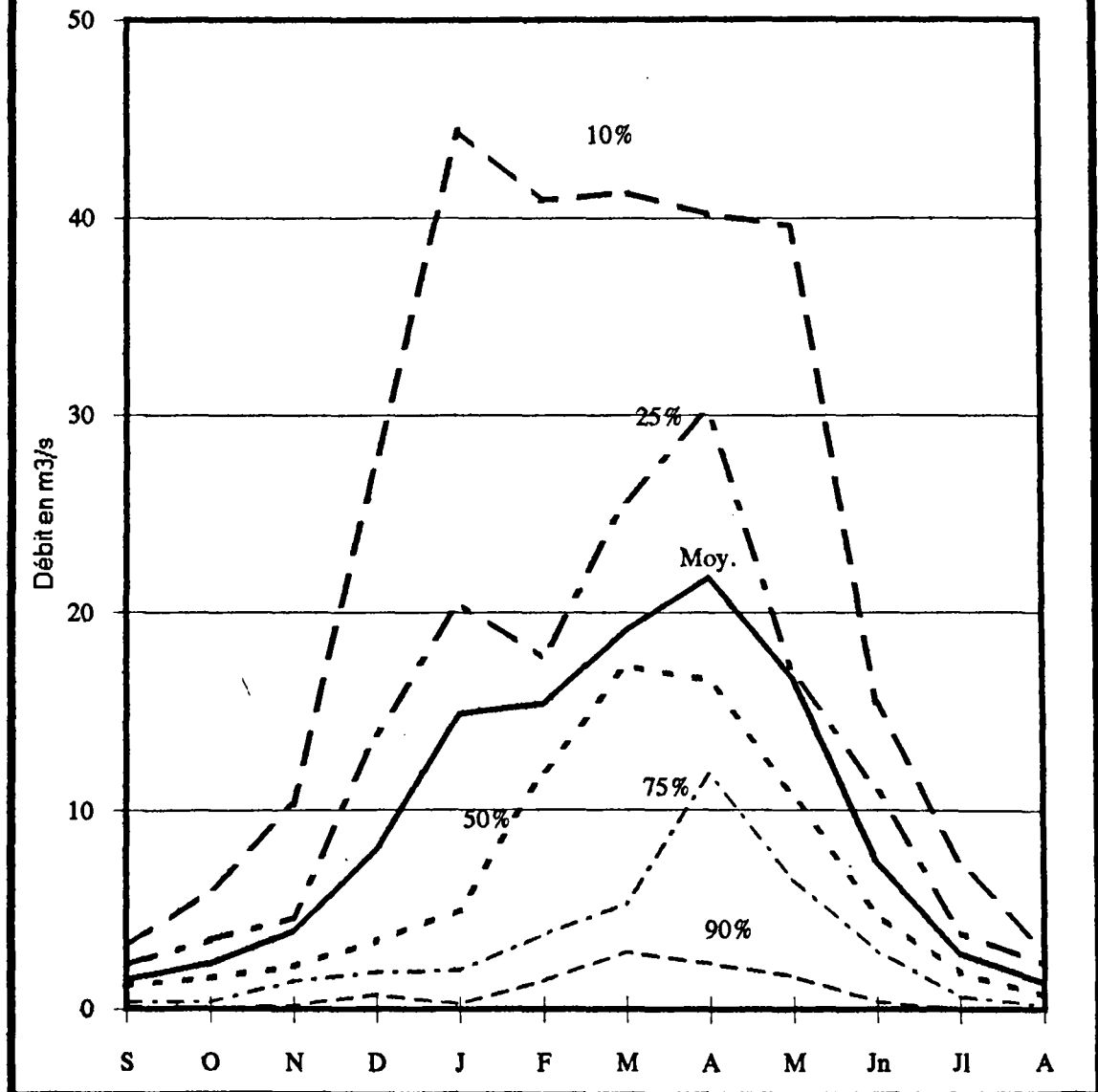
### ***4-1 EVOLUTION JOURNALIERE DU DEBIT***

Au niveau journalier les variations sont beaucoup plus accusées qu'au niveau mensuel. Ainsi, on peut remarquer un contraste entre des jours de forte hydraulité et d'autres de faible hydraulité qui ont conduit souvent au cours des années fort déficitaires, à un assèchement complet du cours du Melloulou au niveau des deux stations hydrométriques.

La vie potamologique du Melloulou est également très variable d'une année à l'autre.

La période des hautes eaux est généralement l'hiver et le printemps. Mais elle peut commencer dès l'automne. Les variations du débit du Melloulou sont très influencées par les variations pluviométriques. Cela explique les montées brutales de son débit ainsi que les décrues rapides dès la fin des épisodes pluvieux.

**Fig.60. - Variations et fréquences des débits moyens mensuels du Melloulou à Guercif (1955-56/1985-86)**



La période des basses eaux s'étend généralement sur les trois mois d'été: juillet, août et septembre. En absence de pluies efficaces, cette période peut se prolonger jusqu'au mois de novembre.

#### **4-2 DEBITS JOURNALIERS CLASSES**

La courbe des débits classés est un outil qui a été utilisé par les hydrologues depuis longtemps. Elle permet de connaître les valeurs de débit atteintes ou dépassées pendant n jours.

Sur courbe les hydrologues ont défini certain points essentiels nommés débits caractéristiques tel que: le DCC (débit caractéristique de crues) , DC1 (débit dépassé 1 mois par an)...

Les débits classés et les débits caractéristiques du Melloulou à Guercif et à Belfarah ont été calculés pour la période adoptée et aussi pour les deux années de forte et de faible hydraulité. Les résultats présentés dans les figures 61, 62 et dans le tableau 24, montrent plusieurs aspects.

La pente des courbes des débits classés est assez importante. Elle reflète:

\*le nombre réduit des valeurs élevées. Ainsi environ 60% des valeurs journalières ne dépassent pas  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  et seul 3% des valeurs à Guercif et 1,6% à Belfarah dépassent  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

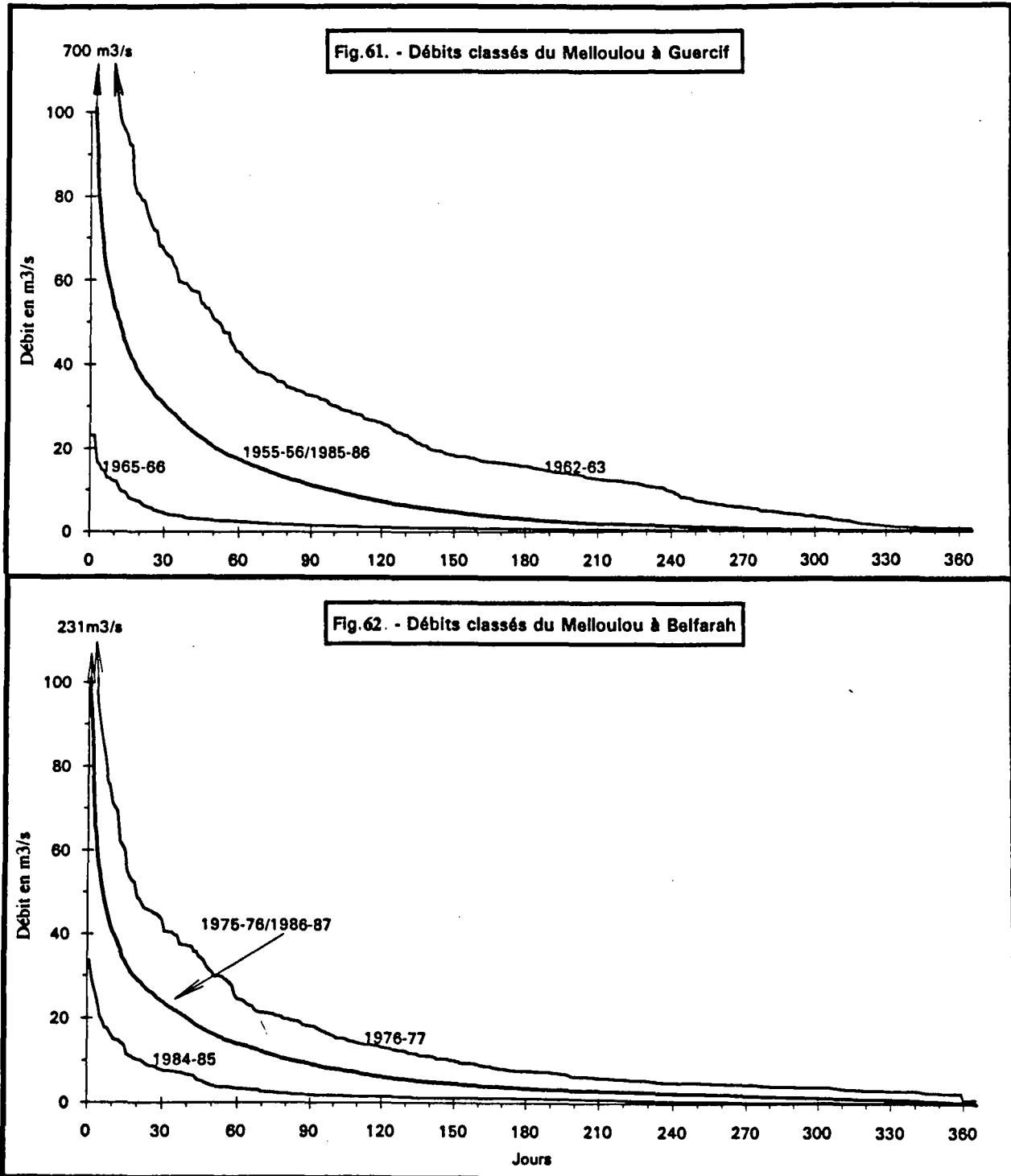
\*La vidange assez rapide des réservoirs souterrains qui ne permet pas de maintenir le débit du Melloulou suffisamment élevé. Par conséquent, en dehors des épisodes pluvieux, le débit du Melloulou est très faible.

Le débit moyen journalier maximum maximum est très élevé. Pour les périodes considérées, ce débit atteint  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  à Guercif et  $231 \text{ m}^3/\text{s}$  à Belfarah. Par contre, le débit moyen journalier minimum minimum est  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le module du Melloulou à Guercif et à Belfarah est très élevé. Il dépasse 2 à 3 fois la médiane. Cela reflète clairement la dominance des petites valeurs de débits.

Les débits importants du Melloulou sont dus à des apports atmosphériques aussi irréguliers dans le temps que dans l'espace. Quand ils sont importants, ces apports permettent de gonfler les débits du Melloulou et alimentent les réserves souterraines dont la vidange rapide prive l'O. Melloulou d'un régulateur naturel de l'écoulement.

Le débit du Melloulou s'annule à Guercif à partir du DC11 en année moyenne et en année sèche. A Belfarah l'assèchement total n'a eu lieu que 3 fois durant les 12 années d'observation retenues. Les prélèvements à eux seuls expliquent cette différence entre les deux stations.



**Tabl.24. - Débits caractéristiques du Melloulou à Belfarah et à Guercif**

	Belfarah			Guercif		
	1976-77	1975-76/1986-87	1984-85	1962-63	1955-56/1985-86	1965-66
Max	231	231	33.7	700	700	23.1
DCC	71.2	40.6	15.6	112	53.3	12
DC1	43.5	24	7.8	66.9	30.5	4.5
DC3	18.3	9.3	1.9	32.6	11.1	1.6
Moy.	15.6	8.34	2.42	25.9	9.6	1.59
DC6 (Méd.)	7.7	3.5	1.1	15.6	3	0.7
Moy./Méd.	2.0	2.4	2.2	1.7	3.2	2.3
DC9	4.6	2	0.4	5.8	0.7	0.1
DC11	3	1.1	0.3	1.2	0	0
DCE	2.5	0.5	0.2	0.7	0	0
Min	1	0	0.042	0.5	0	0

Le débit caractéristique d'étiage DCE est très bas, il correspond à  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  à Belfarah et à un débit nul à Guercif. Le débit caractéristique de crue (DCC), en revanche, atteint  $40,6 \text{ m}^3/\text{s}$  à Belfarah et  $53,3 \text{ m}^3/\text{s}$  à Guercif.

### CONCLUSION

*La qualité de l'information hydrométrique, contrairement à l'information pluviométrique, est assez satisfaisante. Mais le nombre de stations limité à deux s'oppose à toute tentative d'étudier les variations spatiales des apports du Melloulou: Les deux stations se trouvent à environ 30 km l'une de l'autre et l'absence d'apport important entre ces deux stations limitera l'utilité de celle de l'amont.*

*De l'étude des variations des apports hydrologiques du Melloulou on peut retenir deux points essentiels dont l'importance apparaîtra au moment de l'étude des étiages et des crues.*

*Le débit du Melloulou est assez irrégulier. Il est influencé par une pluviosité très variable dans le temps. L'importance de cette influence s'amplifie au fur et à mesure que le pas de temps utilisé est faible.*

*Les réservoirs souterrains et les apports nivaux contribuent faiblement à régulariser l'écoulement du Melloulou.*

## **CHAPITRE VIII** **EXPLOITATION DES EAUX DE L'O. MELLOULOU**

Le bassin-versant du Melloulou est constitué d'un ensemble de régions à activité agricole prédominante. En effet, la plupart des déviations des eaux de l'O. Melloulou sont destinées à l'irrigation ou aux Moulins à grains. Mais, étant donné que l'eau utilisée pour faire fonctionner ces derniers retourne à l'oued, les véritables prélèvements sont ceux de l'irrigation.

L'essentiel des cultures pratiquées dans le bassin-versant du Melloulou et les périmètres de Guercif et Taddert, est axé sur les céréales notamment l'orge, le blé et le maïs. En parallèle, d'autres cultures sont pratiquées telle que les arbres fruitiers, les oliviers, les vignes à raisins, la luzerne ainsi que quelques cultures maraîchères pour l'auto-consommation.

Les études qui ont été consacrées aux prélèvements dans l'O. Melloulou sont rares. Les plus importantes sont:

- Le rapport de la SOMET (1971) qui a étudié les besoins et les ressources en eau de l'O. Moulouya et ses différents affluents.

- L'étude de MARTIN J.,(1975) qui a eu pour but l'évaluation des prélèvements d'eau dans l'O. Melloulou pour l'irrigation des périmètres de Guercif et de Taddert de 1952 à 1974.

- L'étude de la D.R.H. d'Oujda (1985) sur l'exploitation des eaux de l'O. Melloulou d'après les différents jaugeages effectués durant les années 1982-83, 1983-84 et 1984-85 et l'enquête effectuée pendant l'année 1983-84.

### **1- PERIMETRES IRRIGUES**

Pour mieux cerner les prélèvements pour l'irrigation, le bassin-versant a été découpé en deux parties séparées par la station hydrométrique de Belfarah.

#### **1-1 A L'AMONT DE BELFARAH**

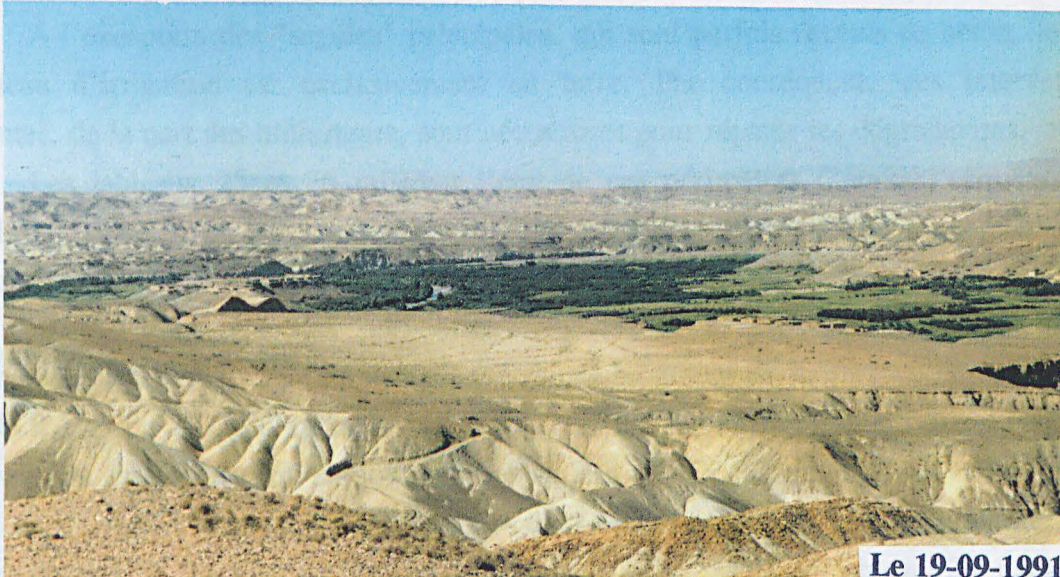
A l'amont de Belfarah, la majeure partie de la surface du bassin-versant appartient à une zone montagneuse très contrastée. Cela laisse prévoir des possibilités d'activité culturale très limitées. Ainsi l'ensemble des terres irriguées ne dépasse pas 3000 ha réparti entre le bassin du Zobzit et celui du cours supérieur du Melloulou à l'amont de Belfarah. La majeure partie de ces terres est située à proximité de la confluence de ces deux oueds (photo.3).

L'irrigation est assurée, en général, par les eaux de surface dérivées au fil du lit de l'oued par des seuils construits traditionnellement à partir de matériaux trouvés sur place (photo.4). La fragilité de ces édifices nécessite leur reconstruction après chaque crue.





**Photo. 3. - Secteur irrigué de Stah Lemghassel**



Le 19-09-1991

Situé à la confluence de l'oued Melloulou et l'oued Zobzit. Vallée large et, de part et d'autre du cours d'eau, ravins creusés dans les marnes miocènes

**Photo. 4. - L'oued Zobzit à douar Aït M'Khaled**



Le 19-09-1991

Douar Aït M'Khaled est à environ 9 km au NE de Ras Elksar. L'écoulement du Zobzit se réduit à un chenal très étroit. En bas de la falaise un canal de déviation des eaux du Melloulou par gravitation pour l'irrigation.





En plus des eaux de surface l'irrigation est assurée également, et dans une moindre mesure, par les eaux de quelques sources captée dans des bassins construits la plupart du temps en terre.

A l'exception des "seguias" principales, qui sont parfois revêtus de béton, le reste du réseau d'irrigation est exclusivement en terre. Par conséquent, des interventions fréquentes, de la part des utilisateurs, sont nécessaires pour réparer les dégradations.

Les tableaux 25 et 26 reflètent l'état de ces périmètres d'après l'enquête de la D.R.H. en 1983-84 et l'étude de la SOMET en 1971. Ainsi on peut noter plusieurs remarques:

-La surface des périmètres irrigués du bassin-versant de l'O. Zobzit représente 61% de l'ensemble de la surface irriguée en amont de Belfarah d'après l'enquête de la D.R.H.. En 1971, d'après la SOMET, cette surface ne représentait que 43%. D'ou une évolution assez nette de l'exploitation des vallées de l'O. Zobzit et de ses affluents.

-En comparant les résultats des deux études on remarque une diminution de la surface irriguée à l'amont de Belfarah d'environ 17%. Mais le tableau 25 permet de constater que la surface irriguée dans la vallée de l'O. Zobzit a augmenté de 20% et que seul le reste des surfaces irriguées en amont de Belfarah a diminué et de 40%.

-La plupart des périmètres irrigués s'étendent sur des superficies très limitées. Ainsi les périmètres dont la superficie est inférieure ou égale à 40 ha, constituent 86% selon la SOMET et 70% selon la D.R.H.. Par contre, le nombre de périmètres relativement grand est restreint. Ils sont situés, dans leur majorité, à proximité de la confluence de l'O. Melloulou et l'O. Zobzit, vu l'aspect faiblement accidenté de la topographie.

-Le nombre de périmètres a diminué entre les deux études de 103 à 65. Mais en étudiant le nombre de périmètres relatif à chaque partie du bassin-versant à l'amont de Belfarah, on remarque une augmentation du nombre des périmètres dans le bassin de Zobzit qui est passé de 31 à 42.

### **1-2 A L'AVAL DE BELFARAH**

L'hostilité du climat et l'absence de ressources aquifères souterraines importantes ont fait des apports de l'O. Melloulou une force motrice de l'activité agricole dans la partie méridionale de la plaine du Jel.

Actuellement les eaux du Melloulou sont à l'origine de l'irrigation de deux grands périmètres: Guercif et Taddert, ainsi qu'à un bon nombre de petits périmètres à l'aval de Belfarah.

#### **a) Le périmètre de Guercif:**

Le périmètre de Guercif (fig.63) est situé immédiatement au nord de la ville de Guercif. Il est encadré au nord par l'O. M'Soun, à l'est par l'O. Moulouya et au sud par l'O. Melloulou.

Tabl.25. - Périmètres irrigués du bassin-versant de l'O. Melloulou

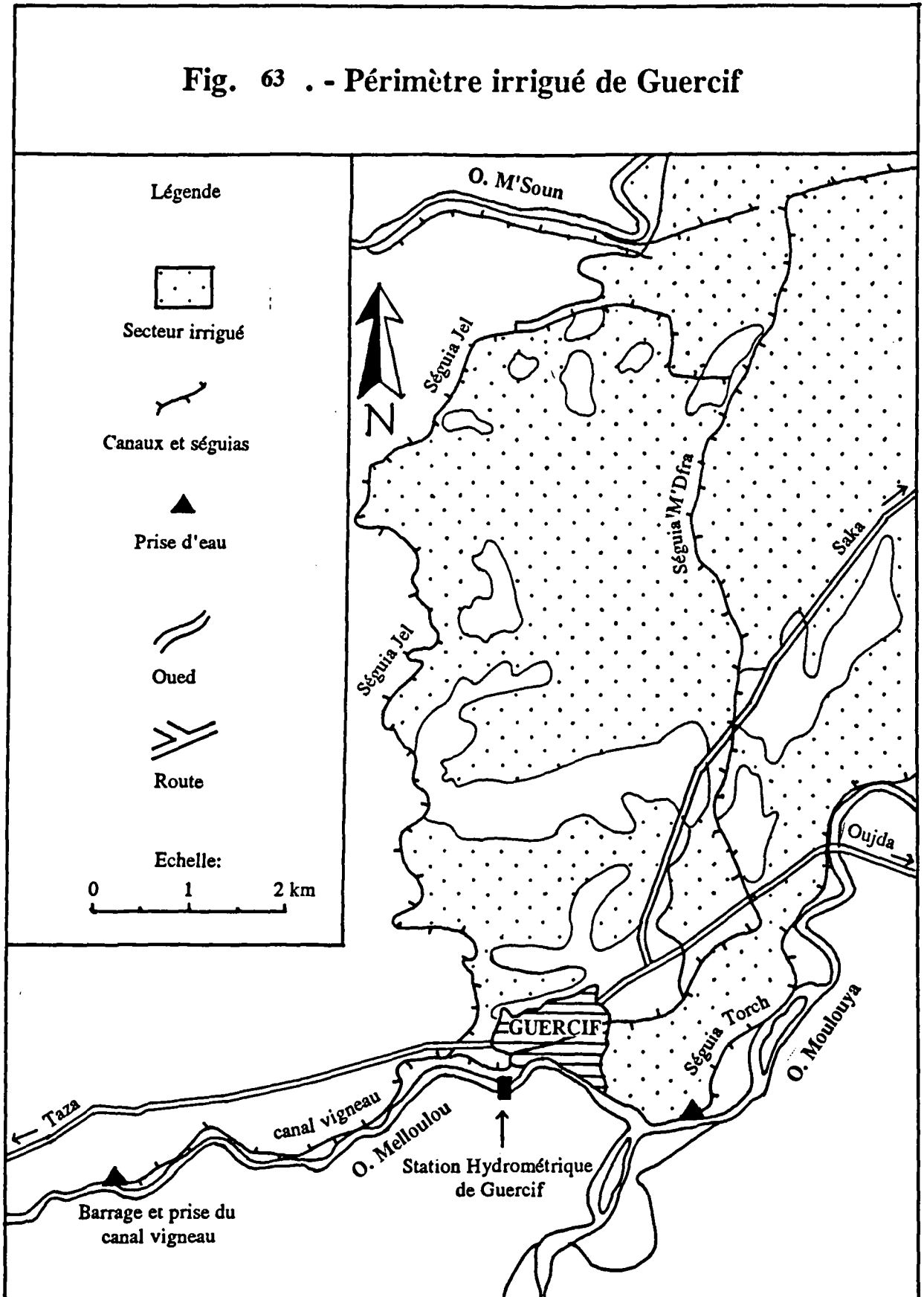
Périmètres			Irrigation pérenne		Irrigation occasionnelle		Total en ha
			en ha	en %	en ha	en %	
Aval de Belfarah	Guercif	SOMET	1350	40.3	2000	59.7	3350
		D.R.H	0	0	2000	100	2000
	Taddert	SOMET	0	0	2900	100	2900
		D.R.H	0	0	2920	100	2920
	Total	SOMET	1350	21.6	4900	78.4	6250
		D.R.H	0	0	4920	100	4920
	Petits Périmètres	SOMET	329	94.3	20	5.7	349
		D.R.H	54	27.3	144	72.7	198
Amont de Belfarah	B - V	SOMET	893	72.3	342	27.7	1235
	Zobzit	D.R.H	1483	100	0	0	1483
	Reste du B - V	SOMET	1215	75.3	399	24.7	1614
		D.R.H	964	100	0	0	964
	Total	SOMET	2108	74	741	26	2849
		D.R.H	2447	100	0	0	2447

Tabl.26. - Fréquences des périmètres irrigués classés selon leurs tailles

				Classes de périmètres (ha)													Total	
				< 10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-150	151-200	201-250		251-300
Aval de Belfarah*	SOMET	Nbre	17	4	2		2				1						26	
		%	65.38	15.38	7.69		7.69				3.85							100
	D.R.H	Nbre	24	2	2													28
		%	85.71	7.14	7.14													100
Amont de Belfarah	B - V	SOMET	Nbre	8	12	3	4						1	1		1	1	31
			%	25.81	38.71	9.68	12.90							3.23	3.23		3.23	3.23
	Zobzit	D.R.H	Nbre	23	6	3	1		2		1	1	2	3				42
			%	54.76	14.29	7.14	2.38		4.76		2.38	2.38	4.76	7.14				
Reste du B - V	SOMET	Nbre	30	14	11	7		3	2	2	1		2				72	
		%	41.67	19.44	15.28	9.72		4.17	2.78	2.78	1.39		2.78					100
	D.R.H	Nbre	3	5	2	2	3	2	2	3		1						23
		%	13.04	21.74	8.70	8.70	13.04	8.70	8.70	13.04		4.35						
Total	SOMET	Nbre	55	30	16	11	2	3	2	3	1	1	3		1	1	129	
		%	42.64	23.26	12.40	8.53	1.55	2.33	1.55	2.33	0.78	0.78	2.33		0.78	0.78		100
	D.R.H	Nbre	50	13	7	3	3	4	2	4	1	3	3					93
		%	53.76	13.98	7.53	3.23	3.23	4.30	2.15	4.30	1.08	3.23	3.23					100

\*: Les périmètres de Guercif et Taddert sont exclus

Fig. 63 . - Périmètre irrigué de Guercif



Source: Martin J., (1975)

Depuis sa création en 1930 sa superficie est restée quasi stable: environ 3000 ha, dont seul le tiers est irrigué d'une manière pérenne.

L'alimentation de ce périmètre est assurée par les eaux de l'O. Melloulou dérivée par un barrage en béton et acheminées jusqu'au périmètre grâce à un canal d'une capacité de 1,3 m<sup>3</sup>/s nommé canal Vigneau. Sa longueur est de 4 km dont 3 km en galerie. L'ensemble de ses canalisations était installé entre 1931 et 1933.

En plus de l'O. Melloulou l'alimentation en eau du périmètre de Guercif est assurée également, et dans une moindre mesure, par l'O. Moulouya grâce à la seguia Torch, par l'O. M'Soun et aussi par les eaux souterraines qui, vu leurs faibles potentialités, participent par un débit très modeste.

#### **b) Le périmètre de Taddert (fig.64):**

Il est situé à environ 20 km à l'ouest de la ville de Guercif de part et d'autre de la route nationale n°1. Il est encadré par l'O. M'Soun au nord et l'O. Melloulou au sud. Sa création remonte à 1949. Sa superficie actuellement dépasse les 2800 ha. Mais l'évolution de cette superficie suscite un désaccord entre les différentes sources et selon Martin J. (1975), également confirmé par le service d'équipement rural à Guercif, le périmètre de Taddert a été réalisé en 4 tranches:

1ère Tranche en	1954	d'une superficie de	125 ha
2ème	..... 1961	.....	1000 ha
3ème	..... 1973	.....	1000 ha
4ème	..... 1975	.....	600 ha

L'irrigation de ce périmètre est assurée par les eaux de l'O. Melloulou dérivées à l'amont de douar Safsafat par un seuil traditionnel. Elles sont conduites ensuite jusqu'au périmètre par un canal d'irrigation construit en 1953. Les trois premiers kilomètres de ce canal sont en galerie.

Contrairement au seuil de dérivation, l'ensemble du réseau d'irrigation est moderne et la capacité du canal principal a été portée de 1,2 m<sup>3</sup>/s à 1,5 m<sup>3</sup>/s en 1974.

#### **c) Les petits périmètres en aval de Belfarah:**

Ce sont généralement des petits périmètres situés de part et d'autre du cours du Melloulou (photo.5). Ils sont alimentés grâce à un réseau de canaux traditionnels. L'ensemble de leur superficie (tabl.25), selon la SOMET est de 349 ha dont 329 ha sont irrigués en permanence. Mais selon l'étude D.R.H., qui est plus récente, cette superficie est de 198 ha dont seul 27% environ est irrigué en permanence. Cette différence est assez importante pour être justifiée par une erreur d'estimation. Par conséquent, il est très probable que ce soit l'un des impacts de la sécheresse du début des années 80 qui a réduit la surface des périmètres pouvant bénéficier des eaux du Melloulou.

Le classement des périmètres selon leurs tailles (tabl.26) permet de remarquer la grande part des petits périmètres. Ainsi plus des deux tiers des périmètres ont une superficie inférieure à 10 ha, et selon la D.R.H., l'ensemble des périmètres ont une superficie





**Photo. 5. - Secteur irrigué de Safsafat Kissaria**

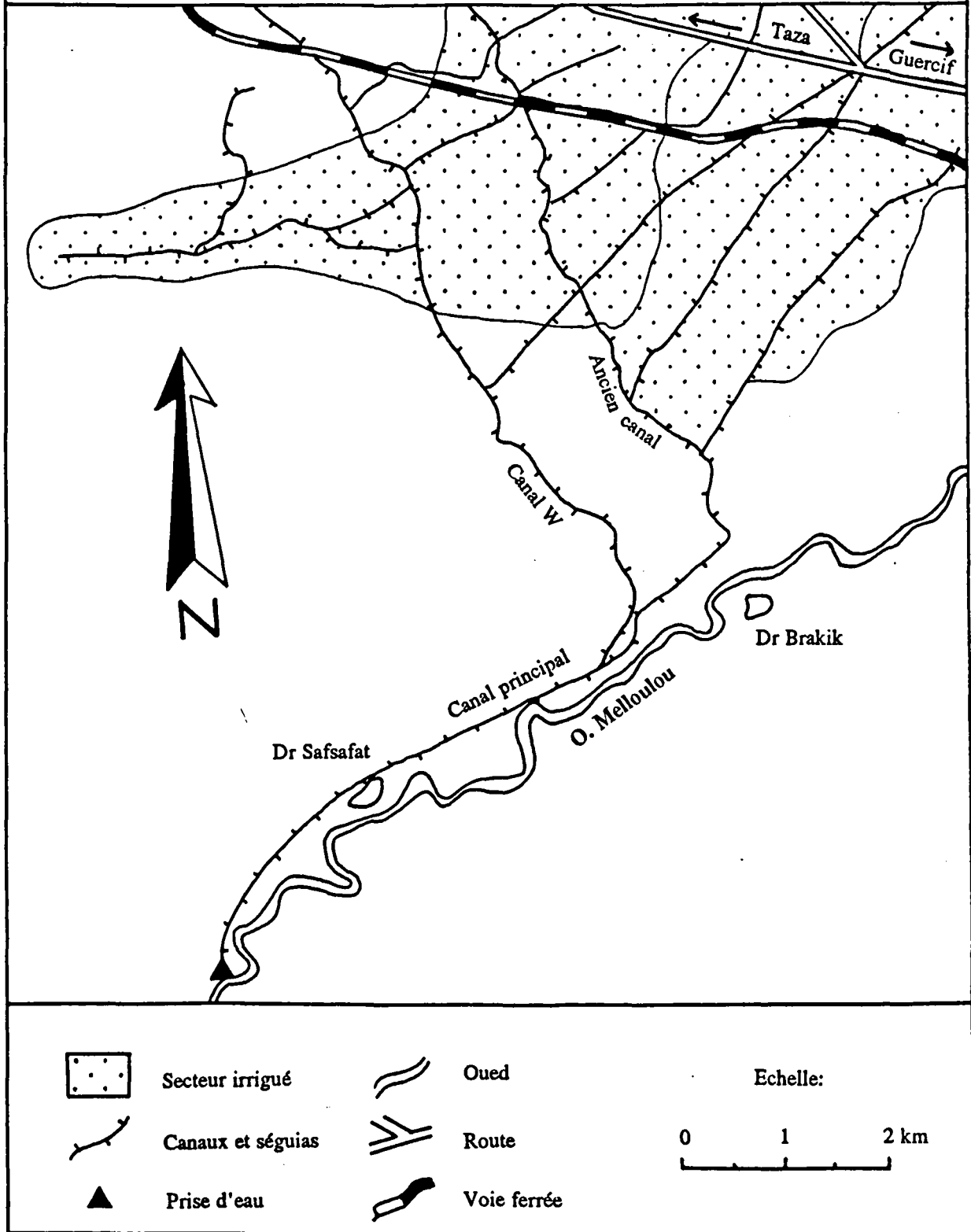


**Le 20-09-1991**

**Il est situé à environ 15 km à l'aval de la station de Belfarah. Sa superficie est d'environ 30 ha. Les cultures pratiquées sont constituées essentiellement d'oliviers, d'arbres fruitiers tels que les grenadiers, les cognassiers, les vignes à raisin. Les champs sont couverts de maïs grâce à l'irrigation.**



Fig. 64 . - Périmètre irrigué de Taddert



Source: Martin J., (1975)

inférieure à 30 ha. Quant à l'étude de la SOMET, seul 3 périmètres sur 26 dépassent cette superficie.

## **2- CONSOMMATION EN EAU**

### **2-1 A L'AMONT DE BELFARAH**

L'essentiel de l'écoulement de l'O. Melloulou a pour origine les régions montagneuses du Moyen-Atlas. La plaine du Jel, étant moins arrosée que le reste du bassin-versant, est surtout une région déficitaire. De ce fait, les apports naturels du Melloulou modérément importants, diminuent au fur et à mesure que le Melloulou s'approche de sa confluence avec la Moulouya. Ainsi les besoins en eau pour l'irrigation sont souvent satisfaits et les prélèvements n'affectent sérieusement les débits du Melloulou à l'aval de Belfarah que pendant les années de forte sécheresse.

Les seules estimations disponibles pour la consommation en eau à l'amont de Belfarah sont celles de la SOMET (1971) et les résultats de l'enquête de la D.R.H. en septembre 1984.

Les résultats de l'estimation de la SOMET sont représentés ci-dessous:

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	Année
Q l/s	77	270	39	0	0	0	193	232	386	270	77	77	135

On remarque ainsi que de mars à juin la consommation est très élevée; elle atteint son maximum en mai avec 386 l/s. De juillet à novembre les prélèvements sont généralement faibles, et si on exclut octobre (270 l/s), la consommation sera au-dessous de 100 l/s. Les mois de décembre, janvier et février étant suffisamment pluvieux, les prélèvements sont absents.

La consommation annuelle moyenne calculée à partir des résultats de l'enquête de la D.R.H. est de 1484 l/s soit 0,5 l/s/ha. En comparaison avec celle de la SOMET (135 l/s), elle est très importante, ce qui peut s'expliquer par le déficit pluviométrique du début des années quatre-vingt.

### **2-2 A L'AVANT DE BELFARAH**

Contrairement à l'amont de Belfarah, l'aval a attiré plus l'attention des études vu l'importance des surfaces irriguées et le rôle primordial que joue les eaux du Melloulou dans l'activité agricole dans cette partie du bassin-versant. Les déviations d'eau par les canaux de Taddert et Vigneau sont jaugées depuis 1972, actuellement le nombre de jaugeages est de deux par mois.

Les prélèvements en aval de Belfarah, selon la SOMET (1971), Martin J., (1975) et la D.R.H., (1985), sont représentés dans le tableau 27 Mais avant d'en tirer des conclusions, il est très important de signaler qu'il s'agit d'estimations faites à partir des jaugeages. Par conséquent, un risque d'erreur, plus ou moins important, est toujours présent. Ainsi en comparant les estimations de la D.R.H. avec les débits du Melloulou à Belfarah, on remarque que les prélèvements sont supérieurs aux débits en février, juillet, décembre de l'année 1984 et en février 1985. Etant donné que la seule source d'alimentation de l'O. Melloulou à l'aval de Belfarah est la pluviométrie (de plus, en période de pluies les besoins en eau pour l'irrigation diminuent), le débit prélevé en aval de Belfarah doit être toujours inférieur au débit écoulé par le Melloulou à Cette station. D'où l'écartement de ces valeurs douteuses.

En dépit de ces erreurs d'estimation, les valeurs proposées (tabl.27) sont révélatrices de plusieurs aspects.

-Les prélèvements sont très variables d'un mois à l'autre: l'automne et l'hiver sont des périodes de consommation modérée. Pendant le printemps, en revanche, les prélèvements atteignent leur maximum et selon l'estimation la plus récente (D.R.H., 1985) le débit prélevé est de plus de 2000 l/s. En été on remarque une nouvelle baisse des prélèvements car les eaux du Melloulou ne peuvent assurer que l'irrigation des plantations des arbres fruitiers et des oliviers.

-L'évolution des prélèvements est assez nette avec toute fois, une faiblesse des moyennes annuelles proposées par la D.R.H.. Mais vu que cette dernière étude a été établie sur une période sèche, cette baisse serait liée à la baisse du débit du Melloulou plutôt qu'à la baisse des besoins.

L'enquête effectuée en septembre 1984 (D.R.H., 1985) propose 1060 l/s dont 650 l/s pour le périmètre de Taddert et 410 l/s pour Guercif. En comparaison avec les valeurs moyennes des prélèvements estimées pour l'année 1983-84 (1258, 6 l/s) l'écart est d'environ 20%. Mais il est très difficile de favoriser l'une de ces estimations, étant donné le risque d'erreur des estimations basées sur des jaugeages et les difficultés d'enquête sur le terrain qui peuvent compromettre une image proche de la réalité des prélèvements.

Pour améliorer la connaissance des prélèvements, les jaugeages sont exploités. Après classement des valeurs mensuelles, la médiane, le premier et le dernier décile ainsi que les quartiles supérieurs et inférieurs ont été recherchés Les tableaux 28a et b et les figures 65 et 66 mettent en valeur les multiples aspects des prélèvements pour les périmètres de Guercif et Taddert.

Les apports pluviométriques de la plaine du Jel (150 mm en moyenne) ne permettent pas de subvenir aux besoins des cultures que rarement. Par conséquent, des prélèvements d'eau importants dans l'O. Melloulou, peuvent se manifester tout au long de l'année tant que le débit du Melloulou le permet.

**Tabl.27. - Prélèvements pour l'irrigation des périmètres de Guercif et Taddert (l/s)**

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	Année	
<b>SOMET (1971)</b>														
	309	270	1196	926	926	1024	1273	1389	1080	347	617	540	824.75	
<b>MARTIN J.(1975)</b>														
1952 et 1953	800	850	850	850	950	800	900	1000	1000	950	900	750	883.3	
1954 à	limite inf.	1250	1250	1250	1350	1450	1300	1450	1500	1500	1400	1400	1250	1362.5
1960 *	limite sup.	1750	1650	1600	1850	2000	1850	1950	2000	2000	1900	1950	1700	1850
1961 à 1974	1750	1650	1600	1850	2000	1850	1950	2000	2000	1900	1950	1700	1850	
<b>D.R.H. (1985)</b>														
1982 - 1983	2450	1000	1410	1860	---	2430	2750	2220	2230	2070	1060	145	---	
1983 - 1984	0	583	1430	1100	1700	1280	1080	2290	2060	2110	1350	120	1259	
1984 - 1985	637	810	1350	1840	941	2000								

\* : Pendant cette période les prélèvements pour l'irrigation du périmètre de Taddert variaient entre la consommation de la période 1961 à 1974 et 50% de celle-ci

N.B: les valeurs en gras sont des valeurs douteuses



Tabl.28. - Prélèvements d'eau dans l'O. Melloulou pour l'irrigation des périmètres de Guercif et Taddert (en l/s)

a) Canal de Taddert

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A
Max.	1220	1430	1450	1240	1336	1878	1600	1580	1757	1490	1794	1350
0.9	927	1341	1159	1211	1145	1260	1300	1490	1290	1240	1300	1300
0.75	819	849	936	1126	1040	1218	1240	1334	1176	1210	1221	1040
0.5	6	571	657	868	933	876	1006	1094	1040	1011	1022	587
0.25	0	0	0	627	660	0	837	951	774	838	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	822	0	654	0	0
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

b) Canal Vigneau

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A
Max.	1230	1171	1245	1253	1229	1050	1381	1080	1130	1015	959	1051
0.9	1031	939	832	993	954	1020	1290	959	1028	963	933	863
0.75	785	830	791	804	818	931	904	874	928	943	895	731
0.5	352	754	688	683	697	792	780	809	810	832	760	367
0.25	0	473	568	478	548	658	611	727	741	697	165	0
0.1	0	0	500	92	317	590	305	116	716	663	0	0
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	416	0	0

Fig.65. - Prélèvements d'eau dans le Melloulou pour l'irrigation du périmètre de Taddert d'après les jaugages du canal de Taddert (1972-1991)

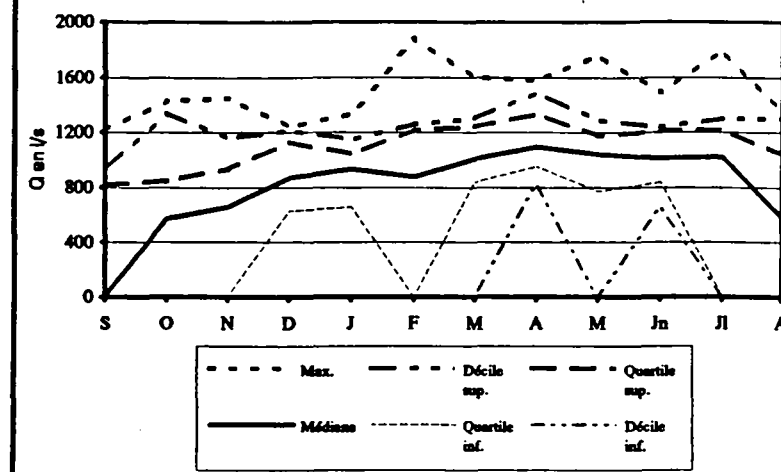
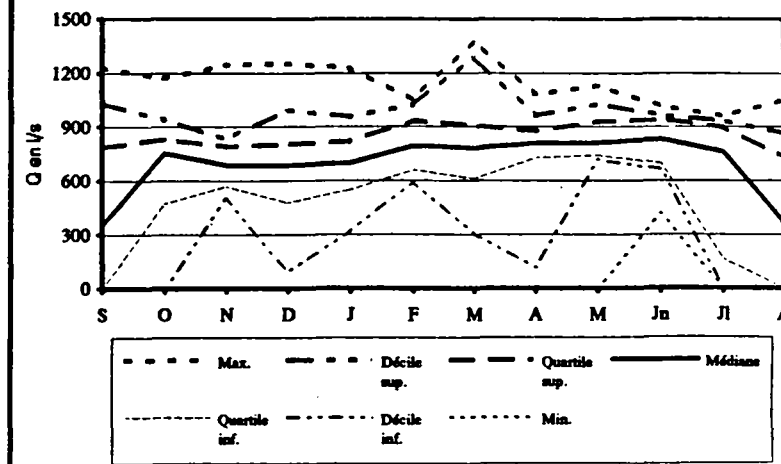


Fig.66. - Prélèvements d'eau dans le Melloulou pour l'irrigation du périmètre de Guercif d'après les jaugages du canal de Vigneau (1972-1991)



Les jaugeages du canal Vigneau et Taddert ont débuté en 1972. Ils couvrent la période déficitaire des années quatre vingt. Cela explique la baisse rapide des débits prélevés en-dessous de la médiane avec parfois des valeurs nulles dues généralement à deux facteurs: d'une part l'assèchement de l'oued en aval de Belfarah pendant les périodes fortement déficitaires et d'autre part au moment où le Melloulou ne peut pas assurer l'irrigation des deux périmètres un arrangement est appliqué pour irriguer à tour de rôle chacun des périmètres pendant trois jours avec un jour de débit sanitaire entre chaque tour.

L'analyse de la courbe des valeurs médianes montre un régime caractérisé par un minimum en août et septembre et un maximum printanier qui peut se prolonger jusqu'au début de l'été avec des valeurs qui atteignent 832 l/s en juin pour le canal vigneau et 1094 l/s pour Taddert.

A la fréquence 75% (quartile supérieur), le régime des prélèvements est quasiment similaire au régime médian, mais avec des valeurs modérément élevées. Ainsi les trois quarts des valeurs sont supérieures à 1000 l/s pour Taddert et supérieures à 800 l/s pour Vigneau.

Au niveau des valeurs probables à 90% (dernier décile) et des valeurs maximal, la particularité principale est l'importance des prélèvements. Ils atteignent 1300 l/s pour le dernier décile à Vigneau et 1500 l/s à Taddert. Au niveau des valeurs maximal le débit prélevé est beaucoup plus important mais il ne dépasse pas 1400 l/s à Vigneau et il peut atteindre 1900 l/s au canal Taddert.

En plus des périmètres de Guercif et Taddert, les eaux du Melloulou assurent également l'irrigation des petits périmètres à l'aval de Belfarah. L'étude de la D.R.H (1985) a estimé leur prélèvements à 130 l/s.

### CONCLUSION

*On déduit donc de cette étude de l'exploitation des eaux de l'O. Melloulou que contrairement à la partie aval de Belfarah, les besoins en eau de la partie amont sont généralement satisfaits et les prélèvements sont peu variables d'une année à l'autre étant données les possibilités d'expansion très limitées des périmètres irrigués. En aval, la plaine de Guercif offre d'importantes possibilités d'élargissement de la surface irriguée. Mais l'insuffisance et la grande variabilité des apports de l'O. Melloulou bloquent toute évolution. Par conséquent, les effets de l'indigence potamologique du Melloulou sur l'exploitation sont plus importants en aval de Belfarah.*



**CHAPITRE IX**  
**ETIAGES ET TARISSEMENTS DE L'O. MELLOULOU**

Les eaux du Melloulou sont pour beaucoup dans l'activité agricole dans le bassin-versant et la partie septentrionale de la plaine du Jel. En effet, dans ce chapitre l'accent sera mis sur l'état de pénurie du Melloulou ainsi que sur l'épuisement des réservoirs souterrains représentée par les courbes de tarissement.

**1- ETIAGES** (MOUHDI A., 1993)

**1-1 PROBLEMES POSES PAR L'ETUDE DES ETIAGES ET METHODE ADOPTEE**

L'étude des basses eaux en général et des étiages, en particulier, se heurte à de nombreuses difficultés dues essentiellement à l'imprécision des jaugeages des faibles débits: les valeurs des débits lues sur la courbe de tarage comportent un risque d'erreur important.

De plus, les étiages sont liés à des périodes de sécheresse atmosphérique. Or, les prélèvements dans les cours d'eau prennent de l'importance au fur et à mesure que l'intensité de la sécheresse est prononcée, d'où une modification, plus ou moins grande, des conditions naturelles de l'écoulement surtout pendant les périodes d'étiage.

Enfin, les critères utilisés pour décrire l'étiage sont très variés. Ils dépendent des caractéristiques de chaque bassin-versant, des appréciations de chaque auteur et aussi des objectifs de l'étude des étiages: gestion d'un réservoir, étude de la pollution de l'eau, étude de la sécheresse...

Parmi les critères généralement utilisés on distingue:

-Le débit journalier minimal: c'est la moyenne journalière la plus basses de la période choisie. Contrairement aux crues, pour les étiages la notion de débit instantané n'a pas de signification car c'est un phénomène qui évolue lentement.

-Le débit classé caractéristique de l'étiage: c'est le débit dépassé 355 jours par an (DCE) où, par fois, le DC330 et le DC335 correspondant respectivement aux débits dépassés 330 et 335 jours par an.

-Le débit moyen mensuel minimal: en le rapportant au module de la période adoptée, ce critère permet de définir l'indice de sévérité.

-Le débit moyen le plus faible calculé sur une période de n jours  $Q_m(n)$ . Ce débit est calculé par la méthode des moyennes mobiles et le pas de temps généralement utilisée est de 10, 20 ou 30 jours.

-Le débit seuil maximal d'une suite de n jours de faible débit: c'est le débit seuil auquel une suite de débit moyen journalier de n jours est restée inférieure.

Les débits minima journaliers ou mensuels autant que les débits caractéristiques d'étiages, illustrent plus ou moins bien la profondeur et la gravité de l'étiage. Mais ils ne contribuent que partiellement à donner une idée de l'évolution et de la durée des étiages. En revanche, les  $Q_m(n)$  et les débits seuils maximaux s'approchent mieux de la réalité de la durée des étiages. Mais le caractère artificiel de la période adoptée exprime moins bien la durée réelle des étiages.

Apparaissent donc, d'après ces différents critères, la complexité du phénomène de l'étiage et la diversité des méthodes utilisées pour le cerner. Pourtant, ces différentes tendances convergent vers la considération de l'étiage comme un état de pénurie caractérisé par sa durée autant que par sa gravité. Pour l'O. Melloulou, et d'après l'étude des débits classés, l'état de pénurie s'avère un caractère quasi habituel: en absence de pluviométrie abondante le débit du Melloulou résiste mal à la sécheresse estivale et réduit l'activité culturale. Par conséquent, le terme étiage dans ce travail ne sera pas utilisé pour décrire un état exceptionnel, mais plutôt un état assez fréquent où les apports de l'O. Melloulou ne peuvent pas subvenir aux besoins de la consommation en eau. Donc, au lieu de prédéfinir une durée ou un débit minimal extrême ou moyen, on a choisi de définir un débit/seuil en fonction de la réalité de l'exploitation des eaux de l'O. Melloulou.

### ***1-2 CHOIX DU SEUIL ET DE LA STATION DE L'ETUDE***

Le seuil admis pour définir l'étiage a été choisi en fonction de plusieurs critères:

- La capacité des canaux d'irrigation des grands périmètres (environ  $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- Les valeurs que peuvent atteindre les prélèvements d'eau dans l'O. Melloulou à l'aval de Belfarah:  $2,75 \text{ m}^3/\text{s}$  en mars 1983 pour les périmètres de Taddert et Guercif et  $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$  pour les petits périmètres.
- Les débits mensuels prélevés assurant une alimentation neuf années sur dix (décile supérieur, tabl.28), qui peut être considéré comme débit correspondant aux besoins en eau quand les apports du Melloulou sont abondants. Ce débit atteint  $1300 \text{ l/s}$  au canal Vigneau et  $1500 \text{ l/s}$  au canal de Taddert, soit  $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Les normes de l'irrigation au Maroc sont de  $0,5 \text{ l/s/ha}$  (in Zeryouhi I.,1970). Par conséquent, les volumes prélevés en fonction de la surface irriguée (environ  $6000 \text{ ha}$ ) doivent être de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  en aval de Belfarah.

Par conséquent, nous avons adopté un seuil de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $1,4 \text{ l/s/km}^2$ , en dessous duquel nous pouvons dire qu'il y a étiage. Ce seuil est bien au-delà du seuil généralement adopté pour définir l'étiage, surtout pour un cours d'eau situé dans un domaine semi-aride. Ce seuil est également nettement supérieur au débit classé caractéristique d'étiage (DCE), pour l'O. Melloulou à Belfarah, qui est de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  et du débit minimum minimorum des moyennes mensuelles de débits qui est de  $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mais, néanmoins, il représente mieux le plafond en dessous duquel le manque d'eau peut provoquer des difficultés pour

l'irrigation en aval de l'O. Melloulou en l'état actuel des pratiques culturales et de la surface des périmètres irrigués.

D'après l'étude de l'exploitation de l'eau de l'O. Melloulou, nous avons remarqué que les besoins à l'amont de la station de Belfarah sont toujours satisfaits sauf lors des périodes exceptionnellement sèches. Par contre, à l'aval de la station de Belfarah les besoins sont souvent compromis et, par conséquent, les effets des étiages du Melloulou sont plus importants, d'où le choix de l'étude des étiages à partir des débits de cette station.

### **1-3 ETIAGES DE L'OUED MELLOULOU**

Une séquence d'étiage désigne une suite de jours où le débit d'un cours d'eau est inférieur à un seuil défini, dans le présent cas  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Avant d'étudier ces séquences nous avons lissé les valeurs moyennes journalières des débits. Ainsi, nous avons utilisé la méthode des moyennes mobiles calculées sur 5 valeurs pour ne garder que les variations majeures des débits.

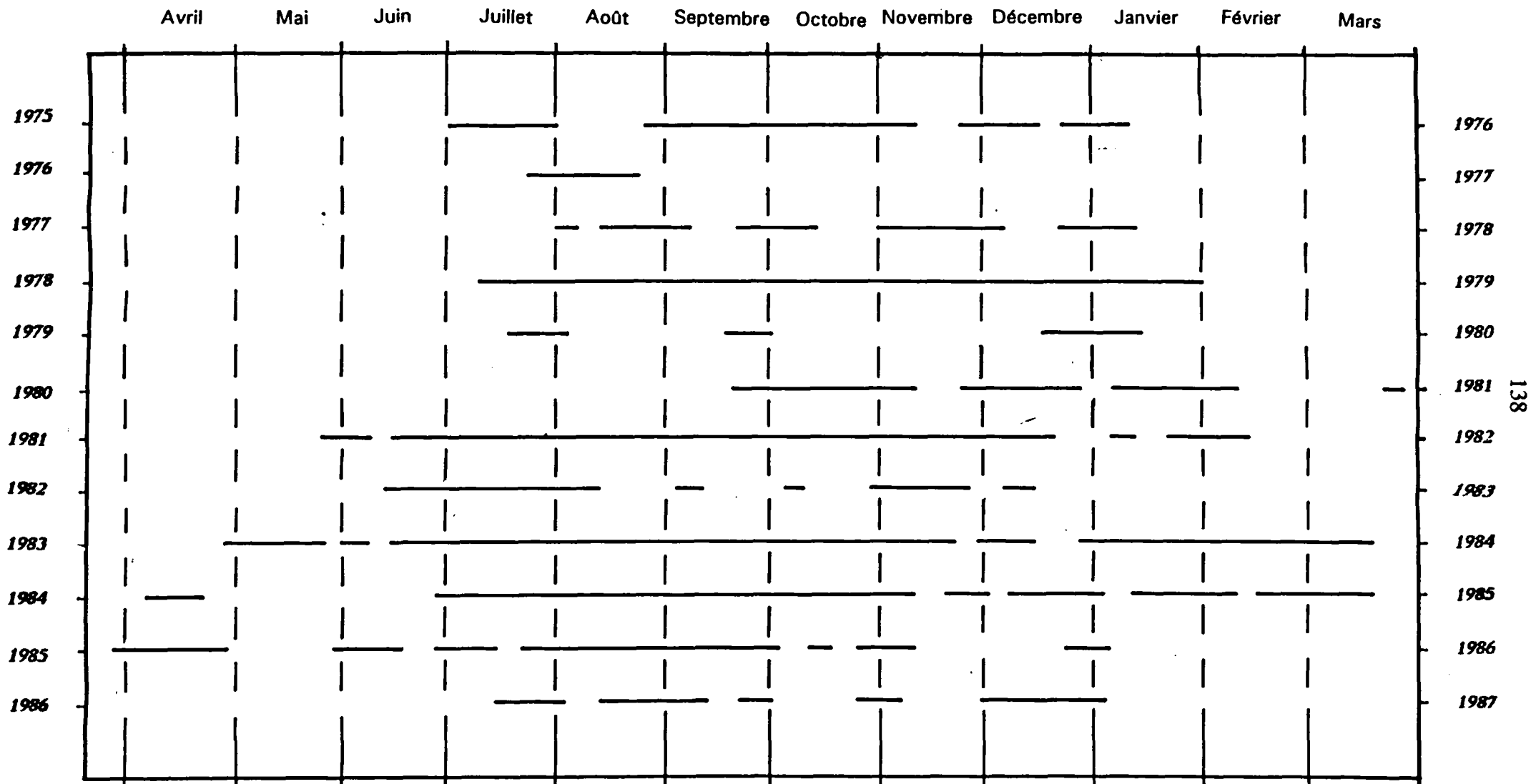
#### **1-3-1 DUREE DE LA PERIODE D'ETIAGE**

"...L'étiage potamologique né de l'été climatique, dure plus longtemps que lui, plus longtemps que la sécheresse climatique et que la sécheresse pédologique." (Lambert R., 1975, b, p. 143).

La réalité du partage de l'année météorologique en deux saisons, une saison humide et une saison sèche séparées par deux périodes transitoires en mai et en septembre, apparaît à travers la figure 67. Ainsi, la période des étiages, comme précédemment définie, commence généralement au mois de juin ou juillet. Elle s'étend jusqu'au mois de janvier voir même début février (photo.6). Le prolongement de la période d'étiage au coeur de la saison pluvieuse est lié au temps nécessaire pour la reconstitution de la réserve du sol et de la réserve souterraine épuisées par une période de sécheresse atmosphérique généralement très intense dans les plaines intérieures du moyen Atlas et la plaine de Guercif.

Les seules années qui font défaut à ce caractère général sont les années: 1976-77 et la période 1983-84/1985-86. La première est une année constituée d'une seule séquence d'étiage qui a duré un mois. L'importance des pluies de la fin de l'été de l'année 1976 a raccourci la période d'étiage de l'Oued Melloulou. Par contre, pour les trois autres années, la période d'étiage a été très longue et les séquences d'étiage s'étalent sur la quasi totalité de l'année. Ainsi si nous sortons du cadre artificiel du découpage adopté dans la figure 67, nous pourrions considérer que le débit du Melloulou à Belfarah durant les années 1983-84/1985-86 n'est constitué que d'une suite de séquences d'étiage plus ou moins longues séparées par de courtes périodes d'abondance qui ne dépassent pas, dans le meilleur des cas, une durée de deux mois.

**Fig.67. - Variations interannuelles des séquences d'étéage de l'O. Melloulou à Belfarah (1975-76/1986-87)**



### 1.3.2 ETUDE FREQUENCIELLE DES ETIAGES

#### a) Fréquence des séquences d'étiage

Les résultats de l'analyse sur la fréquence des séquences d'étiage sont représentés dans le tableau 23 et la figure 68. L'étude de ces deux documents permet plusieurs remarques.

54% des séquences observées ont une durée qui ne dépasse pas 1 mois dont 28% ont une durée de 11 à 20 jours. D'après l'étude des séquences de jours pluvieux et secs dans le bassin-versant du Melloulou; il apparaît que les séquences de jours sans de courtes durées, sont dominantes: 86% à 95% de ces séquences ont une durée maximale d'un mois.

**Photo. 6. - Exemple d'étiage de l'oued Melloulou à Guercif au coeur de l'automne**



Le 19-10-1990

**Jaugeage du débit de l'oued Melloulou à environ 300 m à l'aval de la station de Guercif. Le débit mesuré est de 54 l/s (soit 0,0219 l/s/km<sup>2</sup>) pour une section mouillée de 5 m de largeur et une vitesse moyenne de 0,1542 m/s.**





### 1-3-2 ETUDE FREQUENCIELLE DES ETIAGES

#### a) Fréquence des séquences d'étéage:

Les résultats de l'analyse sur la fréquence des séquences d'étéage sont représentés dans le tableau 29 et la figure 68. L'étude de ces deux documents permet plusieurs remarques.

-64% des séquences observées ont une durée qui ne dépasse pas 1 mois dont 28% ont une durée de 11 à 20 jours. D'après l'étude des séquences de jours pluvieux et secs dans le bassin-versant du Melloulou, il apparaît que les séquences de jours secs de courtes durées, sont dominantes: 86% à 95% de ces séquences ont une durée maximale d'un mois.

-Les séquences de 1 à 2 mois représentent 20% des séquences observées et les séquences inférieures à 2 mois représentent 84% des cas.

-Quatre séquences seulement, au cours de la période considérée, ont une durée supérieure à 4 mois. La plus longue atteint 7 mois. Elle a duré du début Juillet 1978 à la fin Janvier 1979. Mais ce n'est pas pour autant que l'année 1978 est l'année la plus indigente, d'où l'adoption d'un autre critère: le nombre annuel de jours d'étéage.

#### b) Nombre annuel de jours d'étéage:

Nous désignons par le nombre annuel de jours d'étéage la somme des durées des différentes séquences d'étéage pour chaque année (fig.69). Ce critère a été utilisé pour pouvoir comparer les années et apprécier l'intensité de la sécheresse. La dernière colonne du tableau 29, qui reflète le résultat de ces calculs, laisse apparaître un contraste très marqué entre des années d'indigence et des années d'abondance. Ainsi, le nombre de jours d'étéage pour les années 1976-77 et 1979-80 était très faible: respectivement de 32 et 61 jours. L'importance des apports pluviométriques durant la période habituelle des basses eaux a estompé l'indigence estivale de l'O. Melloulou pendant ces deux années. En revanche, les années 1978-79, 1981-82, 1983-84, et 1984-85 ont été des années très déficitaires, le nombre annuel des jours d'étéage étant, respectivement de 207, 236, 299 et 256. A la station de Guercif ces années d'indigence ont souvent entraîné un assèchement total de l'O. Melloulou.

Etant donnée la faible étendue des terrains perméables dans le bassin-versant et le caractère torrentiel d'une grande partie des affluents de l'O. Melloulou, les variations du débit de ce dernier sont très sensibles aux variations des apports atmosphériques. En effet, les mêmes années qualifiées de grandes pénuries pour l'O. Melloulou ont été classées comme années de grande sécheresse climatique par les différentes études sur les sécheresses des deux dernières décennies au Maroc (Gravier J. et Weisrock A.,1988; Laouina A.,1982; Sbai A. et Laadoua A.,1988).



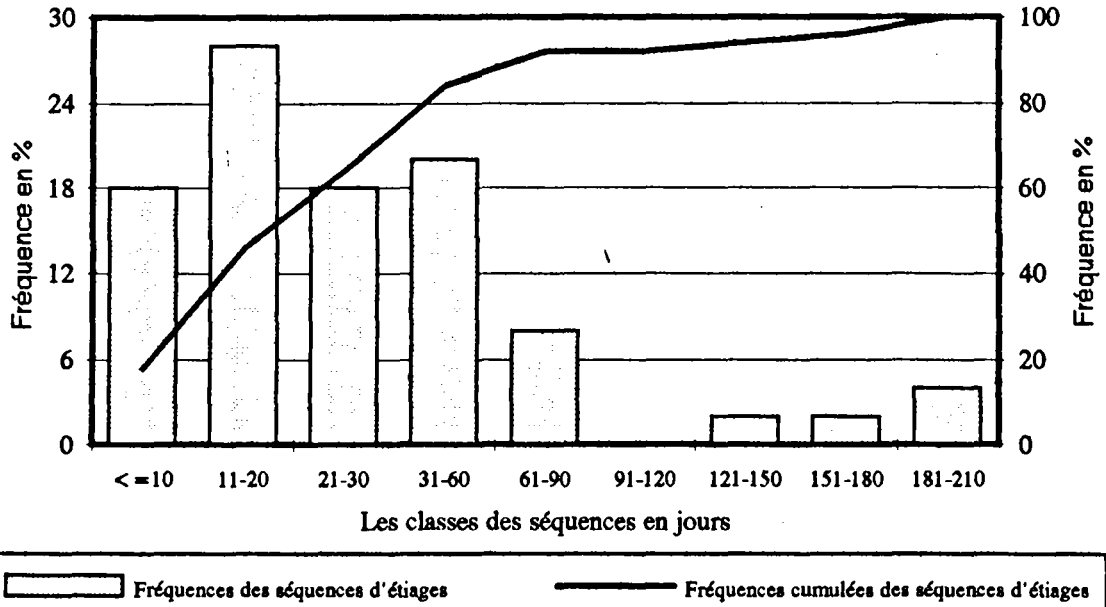


Tabl.29. - Classes et fréquences des séquences d'étéages

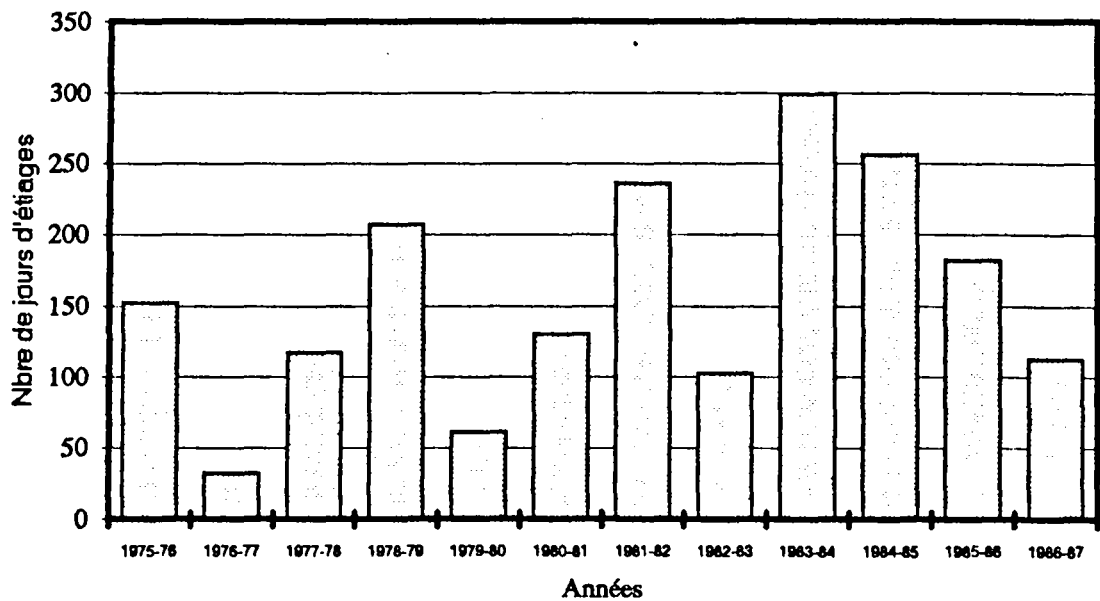
Année	Nombre des séquences par classe										A	
	< =10	11-20	21-30	31-60	61-90	91-120	121-150	151-180	181-210	Total		
1975-76	---	1	1	1	1	---	---	---	---	4	152	
1976-77	---	---	---	1	---	---	---	---	---	1	32	
1977-78	1	---	3	1	---	---	---	---	---	5	117	
1978-79	---	---	---	---	---	---	---	---	1	1	207	
1979-80	---	2	1	---	---	---	---	---	---	3	61	
1980-81	1	---	---	3	---	---	---	---	---	4	130	
1981-82	1	1	1	---	---	---	---	---	1	4	236	
1982-83	3	1	---	---	1	---	---	---	---	5	102	
1983-84	1	1	1	---	1	---	---	1	---	5	299	
1984-85	---	2	2	1	---	---	1	---	---	6	256	
1985-86	1	4	---	1	1	---	---	---	---	7	182	
1986-87	1	2	---	2	---	---	---	---	---	5	112	
<b>Total</b>	9	14	9	10	4	0	1	1	2	50	---	
Effectifs	%	18	28	18	20	8	0	2	2	4	100	---
	% cum	18	46	64	84	92	92	94	96	100	---	---

A: nombre annuel de jours d'étéages

**Fig.68. - Fréquences des séquences d'étiages de l'O. Melloulou à Belfarah (1975-76/1986-87)**



**Fig.69. - Variations interannuelles du nombre de jours d'étiages à Belfarah**



## **2-TARISSEMENTS**

Afin d'étudier les tarissements dans le bassin-versant de l'O. Melloulou, un maximum de courbes de tarissement est choisi à partir des observations de la station de Guercif et Belfarah. Ces courbes correspondent à des périodes où la décroissance des basses eaux est non influencée par d'importantes pluies efficaces ou des apports de la fusion nivale.

### **2-1 REGIME DES TARISSEMENTS**

Les courbes de tarissement choisies sont ajustées à la loi de Maillet dont l'expression est la suivante (in Castany G., 1967):

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

$Q_t$ : le débit à l'instant  $t$

$Q_0$ : le débit au début du tarissement

$\alpha$ : le coefficient de tarissement

Le résultat du calcul du coefficient de tarissement est exposé dans le tableau 30. Il en sort une disparité assez nette des coefficients obtenus. Cela reflète l'importance de l'hétérogénéité des formations géologiques du bassin-versant, l'inégalité de la répartition spatiale des pluies et l'état des différentes nappes aquifères lors du commencement du tarissement. Cependant, cette disparité procure plusieurs renseignements importants.

Les courbes de tarissement n'ont pas la même pente. Certaines courbes ont été décomposées en deux tronçons caractérisés par des valeurs différentes de débits initiaux ( $Q_0$ ) et de coefficient de tarissements  $\alpha$ .

Le tableau 30 représente des exemples de tarissement du Melloulou à Guercif et à Belfarah dans le cas d'une courbe à un tronçon et une courbe à deux tronçons pour les périodes adoptées. Dans le premier cas les valeurs de  $\alpha$  varient entre 0,02 en 1969 et 0,057 en 1982 à Guercif (fig. 70) et de 0,008 en 1979 et 0,028 en 1982 à Belfarah. En se référant au module hydrologique relatif à chacune de ces années on constate que la courbe de l'année 1969 correspond à une année excédentaire qui a entraîné une recharge importante des réserves souterraines et une faible vitesse de vidange. Par contre, l'année 1982 est une année indigente. La faiblesse des apports atmosphériques n'a pas pu assurer suffisamment la recharge des réservoirs souterrains et, par conséquent, la vidange de ces derniers était rapide.

Pour les tarissements à deux tronçons à Guercif, deux cas extrêmes du tarissement ont été pris dans la figure 70: celui de 1956 et de 1981. Le calcul du coefficient de tarissement a révélé les résultats suivant:

$$\text{Année 1956: } \alpha_1 = 0,027 \quad \alpha_2 = 0,0144$$

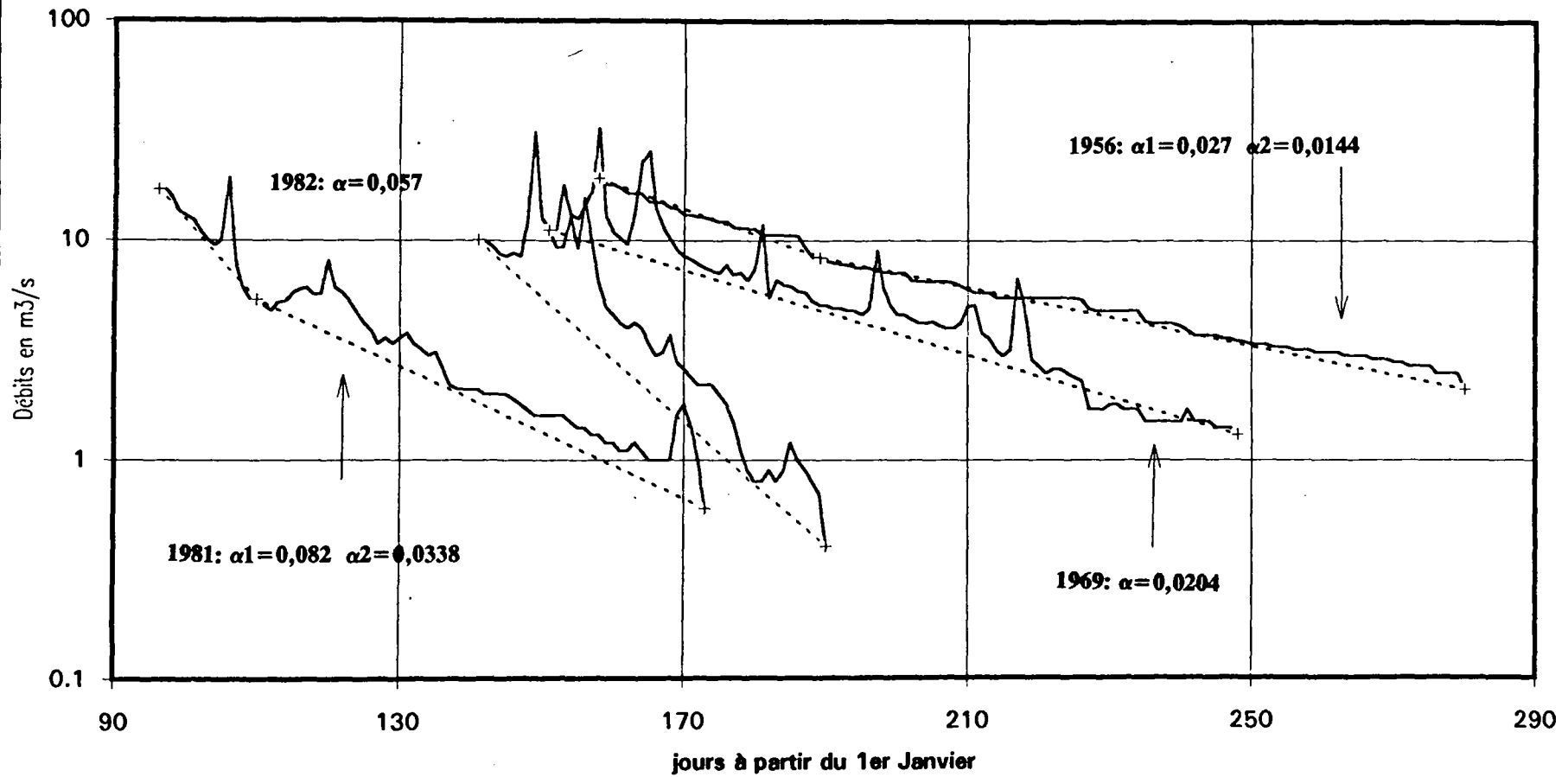
$$\text{Année 1981: } \alpha_1 = 0,082 \quad \alpha_2 = 0,0338$$

En consultant les données pluviométriques et hydrométriques, on remarque que 1956 correspond à une année excédentaire contrairement à 1981 qui est une année de forte

Tabl.30.- Etapes et résultats du calcul du coefficient de tarissement (alpha)

	Q0		Qt		t	$\alpha 1$	Q0		Qt		t	$\alpha 2$
	Date	Q	Date	Q			Date	Q	Date	Q		
<b>Le Melloulou à Guercif</b>												
1956	06.06	19.2	06.07	8.4	31	0.0267	06.07	8.4	09.01	2.1	96	0.0144
1957	16.06	4	16.09	0.3	93	0.0279						
1958	01.05	9.2	21.08	0.1	113	0.0400						
1959	20.03	18.4	20.08	0.3	154	0.0267						
1960	31.05	11.2	04.09	1.3	120	0.0179	08.05	11.3	04.09	1.3	120	0.0180
1961	14.04	13	19.05	3.6	36	0.0357	19.05	3.6	31.07	0.7	73	0.0224
1962	19.06	7.1	02.10	0.5	106	0.0250						
1963	07.06	39.1	23.08	4	78	0.0292	23.08	4	01.12	1.4	101	0.0104
1964	01.05	14.4	15.08	0.4	107	0.0335						
1965	02.05	20.5	16.05	9.4	15	0.0520	16.05	9.4	25.07	1.3	94	0.0210
1968	26.05	11.3	01.11	0.2	160	0.0252						
1969	24.04	18.2	30.09	0.7	160	0.0204						
1970	16.02	11.9	28.02	8.3	13	0.0277	28.02	8.3	24.08	0.5	178	0.0158
1971	01.06	23.8	02.09	1.1	93	0.0331						
1972	17.05	20.3	16.08	1	92	0.0327						
1973	29.04	22.1	23.05	6.5	25	0.0490	23.05	6.5	22.07	1	61	0.0307
1974	25.05	20.4	03.08	0.8	71	0.0456						
1975	01.05	17.4	28.08	0.3	120	0.0338						
1976	18.05	32.4	13.08	2	84	0.0332						
1977	01.04	15.5	05.08	0.2	127	0.0343						
1978	16.04	22.6	29.04	9.9	14	0.0590	29.04	9.9	15.07	1.4	105	0.0186
1979	13.04	11.9	29.07	1	98	0.0253						
1981	06.04	17.1	19.04	5.4	14	0.0823	19.04	5.4	22.06	0.6	65	0.0338
1982	14.05	10.1	09.07	0.4	57	0.0566						
<b>Le Melloulou à Belfarah</b>												
1976	31.05	26.5	21.07	7.1	52	0.0253						
1977	03.04	20	31.07	3	119	0.0159						
1978	29.04	8.8	08.08	1.4	102	0.0180						
1979	06.03	17.7	30.06	6.9	117	0.0081						
1981	12.04	14.1	29.05	2	48	0.0407	29.05	2	17.07	0.7	49	0.0214
1982	15.05	6.7	22.06	2.2	40	0.0278						
1983	12.03	4.6	15.06	1.7	96	0.0104						
1984	30.05	7.2	10.06	3.6	11	0.0630	16.07	3.6	16.07	0.8	37	0.0407
1985	22.05	3.3	08.06	1	18	0.0663	28.06	1.6	17.08	0.3	51	0.0328
1986	20.04	17.5	21.08	1.2	132	0.0203						

Fig. 70 . - Quelques exemples de courbes de tarissement de l'O. Melloulou à Guercif



sécheresse. A Belfarah les résultats trouvés pour des courbes de tarissement à deux tronçons sont relatifs à des années sèches car la période adoptée n'a pas permis d'isoler des cas représentants des années excédentaires.

Le nombre de courbes de tarissement du Melloulou à Guercif est important par rapport à Belfarah. En effet, et pour approfondir l'analyse des tarissements, seules les données relatives à Guercif sont retenues. Les différentes courbes ont été classées selon la valeur de leurs débits initiaux. Ainsi deux groupes ont été distingués en fonction des années hydrologiques excédentaires et déficitaires. La figure 71 représente les différents coefficients de tarissement calculés, corrélés à leurs débits initiaux. L'analyse de ce document a conduit à faire quelques observations.

Pour les débits initiaux correspondant à des années d'abondance, on remarque quelle qu'en soit la valeur du débit initial, la valeur du coefficient de tarissement est faible. A l'exception de l'année 1974, le coefficient  $\alpha$  relatif aux autres années, varie entre 0,018 en 1960 et 0,034 en 1977. Cela reflète la faible dispersion des valeurs de  $\alpha$ . Les points représentant des débits initiaux élevés et des coefficients de tarissement faibles, correspondent au premier tronçon des courbes de tarissement à deux tronçons.

Les coefficients de tarissement, relatifs aux courbes représentant des années indigentes, sont assez élevés pour des débits initiaux faibles. Les valeurs de  $\alpha$  varient de 0,034 en 1975 et 0,082 en 1981, sauf pour les années 1957, 1959, 1979.

Cela reflète la rapidité de la vidange des réservoirs souterrains insuffisamment rechargés par les apports atmosphériques.

## 2-2 ETUDE DU VOLUME DYNAMIQUE

Si les courbes de tarissement expriment la vidange des réservoirs souterrains, leur intégrale exprimée par la fonction suivante (in Réméniéras G., 1986):

$$W = \int_0^{\alpha} Q_t dt = \int_0^{\alpha} Q_0 e^{-\alpha t} dt = Q_0/\alpha$$

Pour  $t$  exprimée en secondes  $W = Q_0/\alpha * 86400$

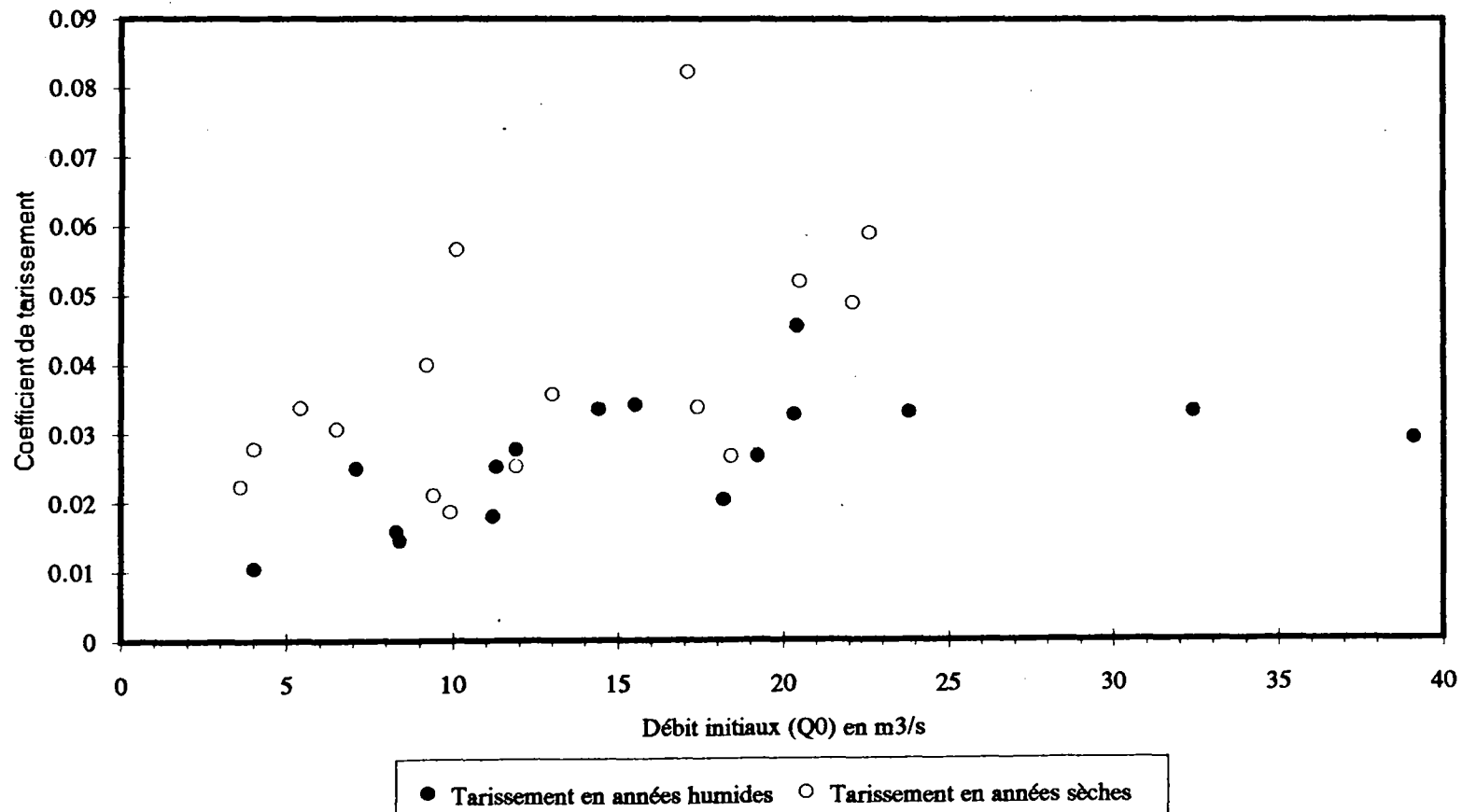
permet d'évaluer le stock d'eau contenue dans les réservoirs souterrains à l'instant 0 à partir du débit  $Q_0$ , sachant que ce volume ne tient pas compte des pertes par évaporation, par prélèvement ou par transfert souterrain vers des bassins voisins.

A partir des courbes de tarissement étudiées précédemment, le volume dynamique est calculé. Pour les courbes à deux tronçons, le volume dynamique du premier tronçon ( $W_1$ ) est calculé en intégrant seulement la partie de la courbe comprise entre le début et la fin de ce tronçon à l'aide de l'équation suivante (in Lambert R., 1975,a):

$$W = (Q_0 - Q_t)/\alpha * 86400$$

Le volume dynamique total est égal à la somme des volumes calculés pour chaque tronçon ( $W_1$  et  $W_2$ ).

**Fig.71. - Corrélation du débit initial du tarissement et du Coefficient alpha (station Guercif)**



Les résultats des calculs du volume dynamique sont exposés dans le tableau 31 et représentés dans les figures 72 et 73. Il en sort plusieurs aspects.

La valeur la plus élevée du volume dynamique est de  $137.10^6 \text{ m}^3$  (1963) à Guercif et de  $190.10^6 \text{ m}^3$  (1979) à Belfarah. Par contre, les valeurs les plus faibles sont atteintes en 1957 à Guercif avec  $12,4.10^6 \text{ m}^3$  et en 1985 à Belfarah avec  $7,2.10^6 \text{ m}^3$ . Mais, ces deux dernières valeurs sont à prendre à titre indicatif vu que le volume dynamique des années les plus sèches n'a pas pu être calculé, car l'assèchement rapide de l'oued après les crues n'a pas permis de disposer d'une période de tarissement suffisamment longue pour calculer le volume dynamique.

Pour les courbes à deux tronçons, le volume dynamique du premier tronçon est généralement inférieur au second. Mais parfois cette image est inversée, ainsi ce volume représente 76% du volume total en 1963 à Guercif et en 1981 à Belfarah.

La comparaison des moyennes annuelles du débit et les volumes dynamiques à Belfarah et à Guercif (fig.72, 73 et 74) permet de constater une assez bonne corrélation. Cela reflète leur très grande sensibilité aux apports pluviométriques. Nous avons fait le même constat à propos du cours du Suran (Jura méridional, France) (Sbaï et al., 1993).

### CONCLUSION

*Dans cette étude, en adoptant une expression bien particulière à l'O. Melloulou pour définir l'étiage, c'est-à-dire la réalité de l'exploitation des eaux, quelques aspects des étiages de l'oued ont pu être mis en valeur.*

*La période d'étiage débute généralement en juin ou juillet et s'étend jusqu'à janvier ou février. Seules les années d'extrême sécheresse ou d'abondance font exception à cette règle.*

*Les séquences d'étiage de courte durée sont dominantes: 84% des cas observés ont une durée inférieure à 2 mois. Par contre, la plus longue atteint 207 jours (1978-79).*

*Le nombre annuel de jours d'étiage a permis de comparer les années. Ainsi l'année la plus abondante pour la période étudiée est 1976-77 et l'année la plus indigente est 1983-84.*

*Les débits de l'O. Melloulou restent très sensibles aux apports atmosphériques. L'étude des courbes de tarissement confirme cet aspect. La grande dispersion des valeurs du coefficient de tarissement et des volumes dynamiques et leurs variations en fonction de l'abondance et de l'indigence pluviométrique montre le rôle assez limité que jouent les eaux souterraines dans la régulation de l'écoulement du Melloulou d'autant plus que les prélèvements d'eau pour l'irrigation augmentent au fur et à mesure que l'indigence est prononcée.*

*L'analyse montre enfin, que l'écart entre le risque de sécheresse ressenti par les utilisateurs et les valeurs d'étiage habituellement retenues par les hydrologues peut être*



Tabl.31. - Variations annuelles du volume dynamique

	L'O. Melloulou à Guercif				L'O. Melloulou à Belfarah			
	w1	w2	w1+w2	Qm annuel	w1	w2	w1+w2	Qm annuel
1956	34.99	50.26	85.25	583.42				
1957	12.41		12.41	141.91				
1958	19.86		19.86	254.81				
1959	59.48		59.48	281.30				
1960	47.66		47.66	556.61				
1961	22.77	13.87	36.64	236.84				
1962	24.51		24.51	321.98				
1963	103.8	33.25	137.0	824.04				
1964	37.15		37.15	347.84				
1965	18.45	38.59	57.04	293.28				
1968	38.72		38.72	363.61				
1969	77.22		77.22	650.59				
1970	11.22	45.44	56.66	488.81				
1971	62.20		62.20	465.47				
1972	53.60		53.60	420.69				
1973	27.53	18.30	45.84	257.65				
1974	38.64		38.64	368.03				
1975	44.43		44.43	216.97				
1976	84.43		84.43	340.27	90.40		90.40	381.59
1977	39.10		39.10	409.02	108.4		108.4	498.27
1978	18.61	45.92	64.53	216.02	42.19		42.19	282.56
1979	40.69		40.69	239.67	189.9		189.9	294.55
1981	12.28	13.80	26.08	86.09	25.69	8.07	33.76	158.00
1982	15.41		15.41	128.35	20.79		20.79	146.96
1983					38.33		38.33	128.98
1984					4.94	7.65	12.59	110.38
1985					3.00	4.21	7.21	75.69
1986					74.47		74.47	483.45

Les valeurs sont exprimées en millions de m<sup>3</sup>

w1 : volume dynamique du premier tronçon de la courbe de tarissement  
w2 : volume dynamique du second tronçon de la courbe de tarissement  
Qm annuel : débits moyen annuel

Fig.72. - Evolution des volumes dynamiques et des débits annuels du Melloulou à Guercif

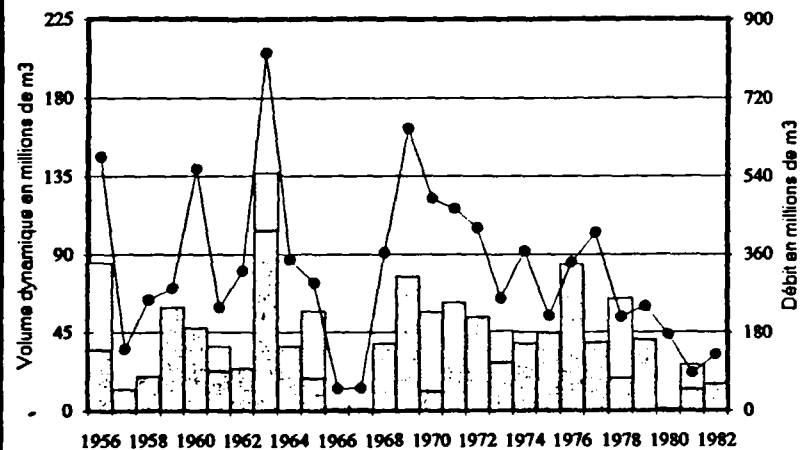
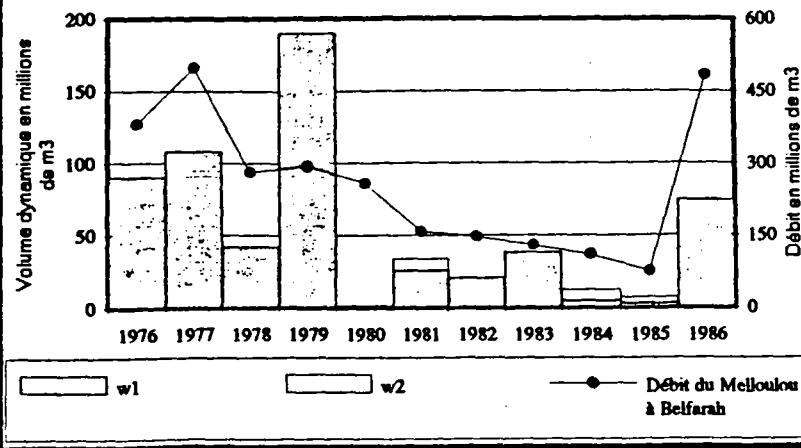
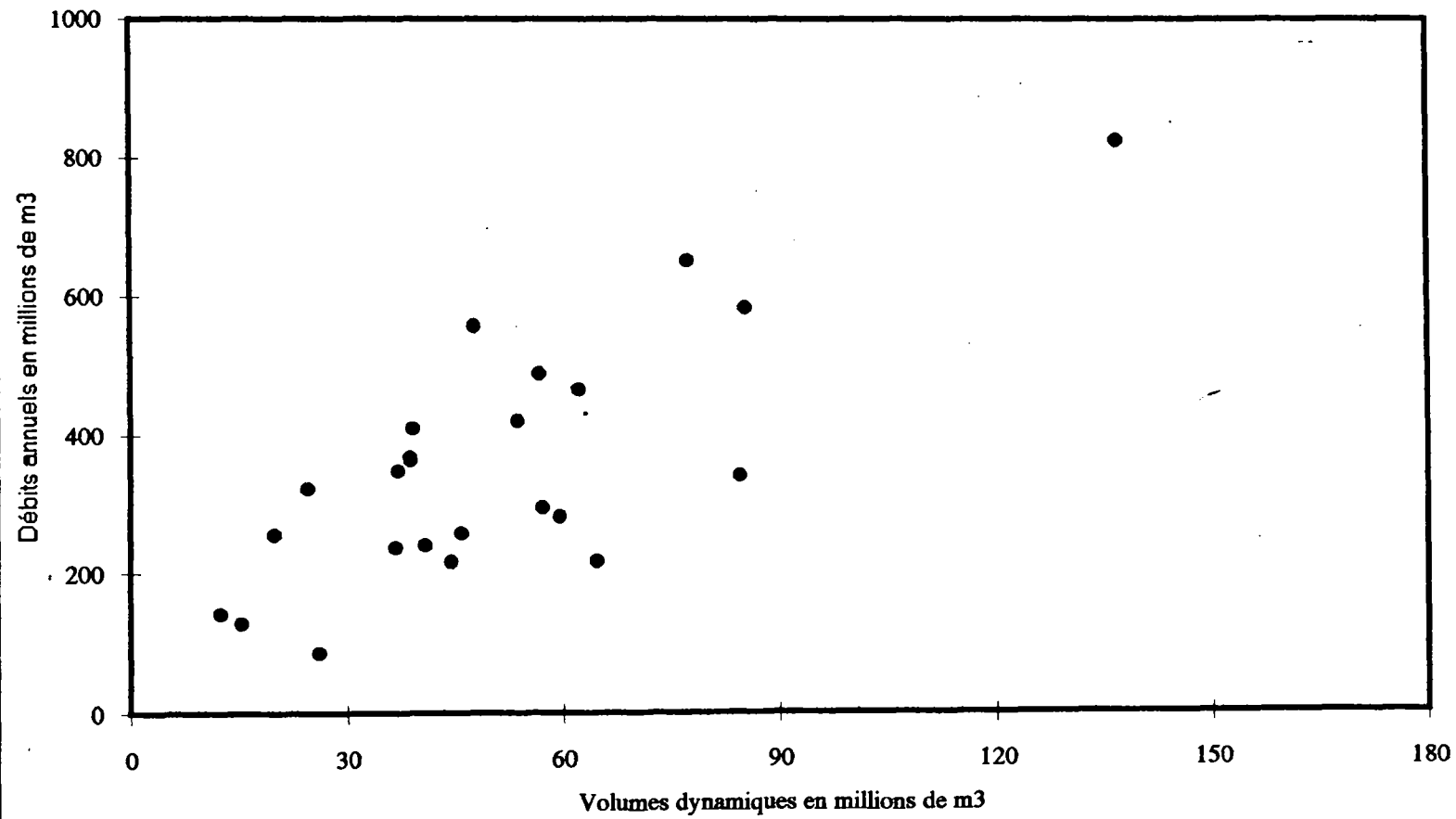


Fig.73. - Evolution des volumes dynamiques et des débits annuels du Melloulou à Belfarah



**Fig.74. - Corrélation des volumes dynamiques et des débits moyens annuels du Melloulou à Guercif**



*grand. La notion d'étiage constitue, donc, un critère particulier à chaque bassin indispensable à toutes études d'aménagement.*

**CHAPITRE X**  
**ETUDE DES CRUES DE L'O. MELLOULOU**

Les apports atmosphériques fournissent l'essentiel de l'écoulement du Melloulou. Mais étant donnée l'irrégularité et, parfois, la violence des pluies dans le bassin-versant, la réponse de l'O. Melloulou se manifeste d'une manière violente sous forme de crues plus ou moins brutales.

**1- DIFFICULTE D'ADOPTION D'UNE DEFINITION DE LA CRUE**

Avant d'entreprendre l'étude des crues de l'O. Melloulou, il est nécessaire de définir ce que l'on désigne par le mot crue. Communément la crue désigne un phénomène exceptionnel, caractérisé par une remontée brutale du débit suivi d'une décroissance plus ou moins rapide. Mais toute remontée du niveau d'eau si rapide soit-elle ne peut être qualifiée de crue car celle-ci est définie également par son débit. Cela mène à exposer quelques critères pris en compte pour qualifier ce phénomène.

Le débit caractéristique de crue correspond au débit dépassé 10 jours par an. Pour l'O. Melloulou ce débit correspond, pour les périodes adoptées, à 53,3 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 40,6 m<sup>3</sup>/s à Belfarah. En se basant sur ces deux débits/seuil on a compté 123 crues à Guercif durant les 31 années d'observation et 40 crues à Belfarah pour une période de 12 ans.

En effet, l'adoption de ce critère risque de nous mener à prendre pour crue ce qui est seulement un gonflement de débit.

Certains hydrologues prennent en considération la médiane des débits moyens journaliers maximum annuels comme seuil au-delà duquel on peut parler de crue. La recherche de ce débit d'après les séries disponibles révèle un débit de 105 m<sup>3</sup>/s à Guercif et environ 50 m<sup>3</sup>/s à Belfarah. En prenant en compte chacun de ces seuils on a dénombré 36 crues à Guercif et 28 crues à Belfarah.

Le nombre de crues compté pour Guercif en fonction de ce critère apparaît raisonnable, mais pour Belfarah le seuil est très bas et le nombre de crues est élevé alors qu'à Guercif pour la même période on n'a enregistré que 13 crues.

Le critère qui semble être fréquemment utilisé pour définir la crue est celui qui prend en considération un débit égal ou supérieur à un multiple du module. Ci-dessous sont présentés les débits correspondant à 6, 7, 8, 9 et 10 fois le module et le nombre de crues correspondant à chacun de ces débits/seuil pour chaque station.

Multiple du module annuel	Le Melloulou à Guercif (1955-56/1985-86)		Le Melloulou à Belfarah (1975-76/1986-87)	
	Débit/seuil	Nbre de	Débit/seuil	Nbre de
	(m <sup>3</sup> /s)	crues	(m <sup>3</sup> /s)	crues
6	57,6	99	49,8	24
7	67,2	73	58,1	17
8	76,8	55	66,4	15
9	86,4	45	74,7	11
10	96	33	83	8

On aperçoit d'après ce tableau que les débit/seuil équivalents ou inférieurs à 9 fois le module conduisent à un nombre très élevé de crues si on prend en compte le nombre d'années d'observation dont une bonne partie couvre une période sèche. Par contre, le débit correspondant à 10 fois le module donne un nombre de crues assez raisonnable.

On conclut donc, après application de ces différentes méthodes, une disparité très nette des résultats, et ce qui est valable pour la série d'observations d'une station ne l'est pas forcément pour l'autre. Cela a conduit à choisir un critère applicable aux deux stations tout en adoptant un seuil suffisamment élevé pour cerner le mieux possible le phénomène crue. Ainsi on a choisi d'utiliser un débit égal ou supérieur à 10 fois le module soit 83 m<sup>3</sup>/s à Belfarah et 96 m<sup>3</sup>/s à Guercif.

## **2- FREQUENCES ET REPARTITION DES CRUES DANS LE TEMPS**

Le but de cette étude est de présenter la fréquence des débits moyens journaliers maximum de crue et leur répartition mensuelle et annuelle. Tout d'abord on a distingué les crues secondaires 10 à 20 fois le module et les crues principales supérieures à 20 fois le module. La fréquence de ces crues et leur répartition mensuelle sont représentées ci-dessous.

Multiple du module	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	Total
	L'O. Melloulou à Guercif (1955-56/1985-86)												
10-20		1	2	5	5	5	3	3					24
> 20				1	2	2	1	1	2				9
Total		1	2	6	7	7	4	4	2				33
L'O. Melloulou à Belfarah (1975-76/1986-87)													
10-20				1	1	2	1						5
> 20					1	1			1				3
Total				1	2	3	1		1				8

Ce tableau est révélateur de plusieurs aspects.

Le nombre total des crues enregistrée à Guercif et à Belfarah, pour la période adoptée, est respectivement 33 et 8. A la première station ces crues se manifestent d'octobre à mai avec un maximum de 7 crues en janvier et février et un minimum de 1 crue en octobre. A la seconde station seuls les mois de décembre, janvier, février, mars et mai sont concernés et le nombre de crues observées lors de chacun de ces mois est respectivement de 1, 2, 3, 1 et 1.

Les crues secondaires représentent 73% des cas observés à Guercif et 63% à Belfarah. La répartition mensuelle de ces crues révèle à Guercif un maximum en décembre, janvier et février avec 5 crues chacun suivi d'avril avec 3 crues. Par contre, le minimum se manifeste en octobre avec 1 crue. A Belfarah on enregistre 5 crues au total réparties entre décembre, janvier, février et mars avec respectivement 1, 1, 2, et 1.

En comparaison avec les crues secondaires, le nombre des crues principales est faible. A Guercif en dénombre 9 crues réparties de décembre à mai. A Belfarah seules trois crues sont observées, elles se répartissent entre janvier, février et mai.

La crue maximale enregistrée, pour la période d'observation, est de 107,6 l/s/km<sup>2</sup> à Belfarah le 24 janvier 1977 et de 282,7 l/s/km<sup>2</sup> à Guercif le 27 mai 1963. Mais la valeur de cette dernière crue est à prendre avec réserve étant donnée l'influence du niveau d'eau de la Moulouya sur celui du Melloulou lors de cette crue.

A l'échelle interannuelle (tabl.32a et b), la répartition des crues est assez inégale. Ainsi on peut déceler des années avec un nombre élevé de crues et d'autres sans crues. A Guercif le nombre le plus élevé est de 5 crues en 1963 dont 3 crues complexes suivi de 1956 avec 3 crues. A Belfarah le maximum est de 3 crues en 1977 suivi de 1976 et 1986 avec 2 crues chacune. Le nombre d'années où l'effectif des crues ne dépasse pas 2 est de 16 à Guercif et 3 à Belfarah. En se référant à la figure 57, le nombre de crues est quasi proportionnel à l'hydraulicité du Melloulou.

Pendant la période étudiée certaines années sont dépourvues de crues. Elles se manifestent soit isolément tel est le cas de 1978 à Guercif et Belfarah et 1961, 1967, 1971 et 1975 à Guercif, soit sous forme d'une suite d'années comme c'est le cas de la période 1983-1985 à Guercif et 1980-1985 à Belfarah. Ces deux périodes coïncident avec la sécheresse du début des années 80 où le débit du Melloulou était très faible (fig.57).

### **3- CARACTERISTIQUES DES CRUES DE L'O. MELLOULOU**

Avant d'aborder les caractéristiques des crues de l'O. Melloulou, il est nécessaire de rappeler quelques définitions concernant l'hydrogramme type de crue.

La figure 75 représente un hydrogramme simple typique d'une crue simple. Il est composé de trois parties différentes:

Tabl.32. - Caractéristiques des crues du Melloulou

a) Le Melloulou à la station de Belfarah (1975-76/1986-87)

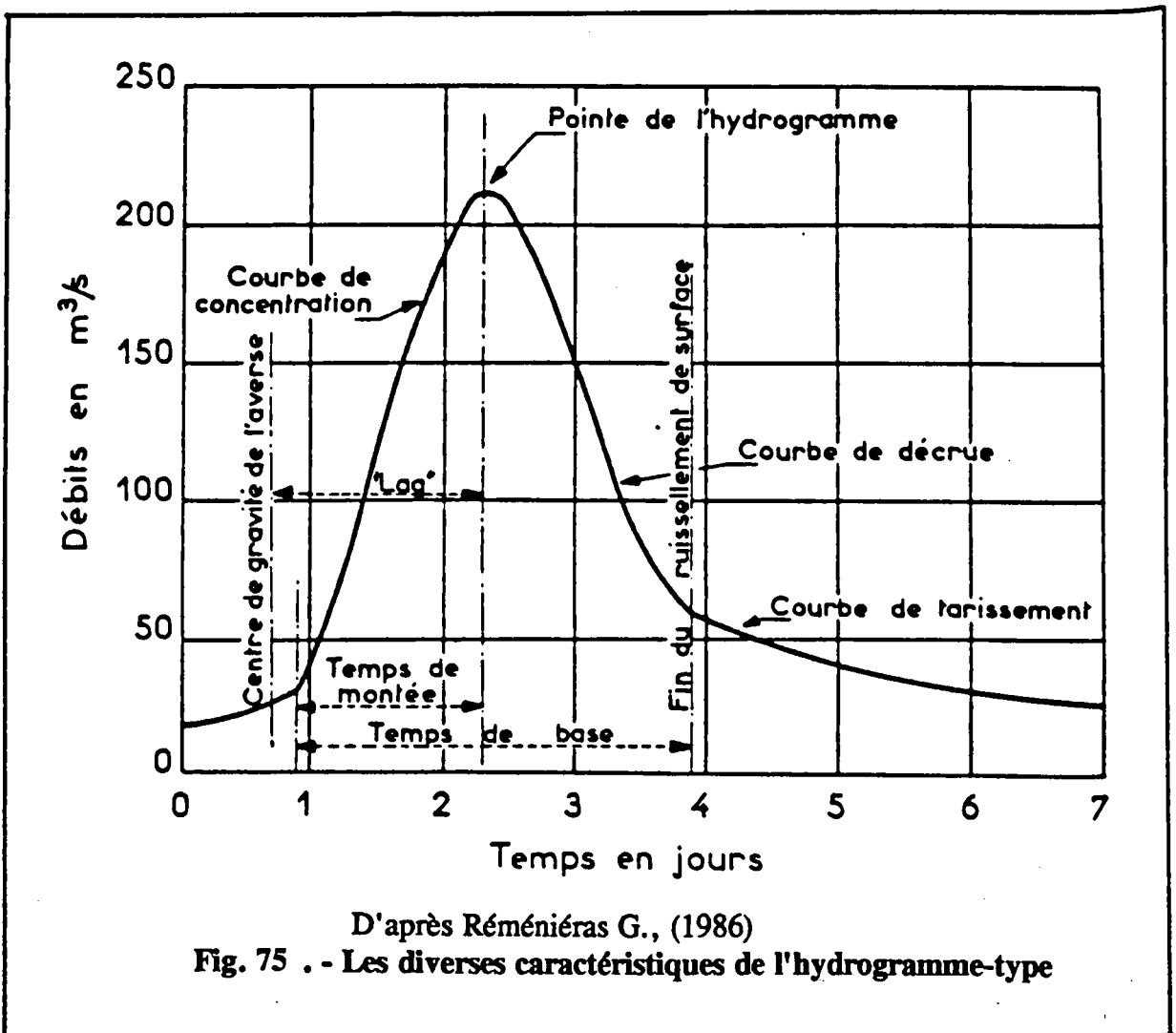
Année	Date		*	(1)Q initial (M3/s)	(2)Q max. moy. journalier	(3)Q max. inst. (m3/s)	(4)Temps de montée(Jr)	(3)/(2)	(2)-(1)/(4) m3/s/Jr
	Mois	jour							
1956	Fev.	17		16.3	246	337	2	1.37	114.85
		22	1	16.4	137	148	7	1.08	17.23
	Mars	24	2	111	153	167	1	1.09	42.00
		8		52.1	344	735	3	2.14	97.30
1957	Mai	21		13.8	101	233	2	2.31	43.60
1958	Déc.	24		16	105	131	4	1.25	22.25
1959	Déc.	2		0.8	186	300	2	1.61	92.60
1960	Jan.	12	1	10.5	108	212	4	1.96	24.38
		15	2	46.5	413	1110	1	2.69	366.50
	Mars	27		56.3	102	149	1	1.46	45.70
1962	Nov.	8		4.8	112	176	3	1.57	35.73
1963	Jan.	7		32.3	181	220	2	1.22	74.35
	Fév.	17		53	126	232	2	1.84	36.50
	Mai	1	1	11.6	131	226	2	1.73	59.70
		7	2	29.2	149	378	1	2.54	119.80
		27	1	14.3	700	1340	2	1.91	342.85
		30	2	95.8	99.5	129	1	1.30	3.70
	Déc.	18	1	1.4	142	189	3	1.33	46.87
20		2	121	191	384	1	2.01	70.00	
1966	Oct.	20		0.3	96.6	249	1	2.58	96.30
1968	Mars	10		31.2	259	414	1	1.60	227.80
	Déc.	31		12	201	438	3	2.18	63.00
1969	Jan.	15	1	26.1	191	290	3	1.52	54.97
		17	2	11.7	138	159	1	1.15	126.30
	Fév.	24	1	48.3	110	153	2	1.39	30.85
		28	2	56.4	217	246	2	1.13	80.30
1970	Jan.	5	1	77.5	155	219	12	1.41	6.46
		12	2	71.3	398	607	3	1.53	108.90
		15	3	16.1	177	247	1	1.40	160.90
1972	Jan.	17		5.2	105	313	2	2.98	49.90
1973	Fév.	15		10.9	106	159	2	1.50	47.55
	Nov.	8		0	96.2	248	1	2.58	96.20
1974	Avril	29		37.8	124	194	3	1.56	28.73
1976	Mai	1	1	19.9	320	563	4	1.76	75.03
		8	2	26.5	100	125	3	1.25	24.50
		19	3	32.4	95.8	226	1	2.36	63.40
	Déc.	26		9.9	120	226	2	1.88	55.05
1977	Jan.	6		22.3	175	530	1	3.03	152.70
	Jan.	24		18.8	187	456	4	2.44	42.05
	Fév.	15		38.8	114	170	1	1.49	75.20
1979	Fév.	15		3.3	177	432	5	2.44	34.74
1982	Oct.	22		0.4	145	304	2	2.10	72.30
1986	Fév.	10	1	30.9	107	140	12	1.31	6.34
		13	2	46.6	95.6	125	1	1.31	49.00
	Mars	9		30.1	168	279	3	1.66	45.97

\* : Numéro d'ordre de la pointe de la crue pour les crues complexes

## b) Le Melloulou à la station de Belfarah (1975-76/1986-87)

Date			*	(1)Q initial (M3/s)	(2)Q max. moy. journalier	(3)Q max. inst. (m3/s)	(4)Temps de montée(Jr)	(3)/(2)	[(2)-(1)]/(4)
Année	Mois	jour							
1976	Mai	1		25.5	200	625	2	3.13	87.25
	Déc.	26		10.5	95	161	2	1.69	42.25
1977	Jan.	6		7.5	161	520	2	3.23	76.75
	Jan.	24		28.5	231	473	5	2.05	40.50
	Fév.	15		35.8	117	137	1	1.17	81.20
1979	Fév.	13	1	10.4	170	250	3	1.47	53.20
		15	2	92.3	134	241	1	1.80	41.70
1986	Fév.	10	1	23.8	108	122	14	1.13	6.01
		13	2	88.7	99.2	101	2	1.02	5.25
		16	3	91.9	101	110	1	1.09	9.10
	Mars	9	1	30.9	119	126	4	1.06	22.03
		11	2	94.1	96	97.3	1	1.01	1.90

\*: Numéro d'ordre de la pointe de la crue pour les crues complexes





La courbe de montée de la crue, elle est appelée également courbe de concentration. Son allure dépend des caractéristiques physiques du bassin-versant et de la répartition spatio-temporelle des pluies.

La pointe de la crue représente le maximum. Mais l'hétérogénéité d'un bassin-versant et les caractéristiques de l'averse (ou des averses) génératrice(s) de la crue peuvent favoriser la manifestation de plusieurs pointes.

La courbe de décrue correspond à la décroissance du débit après la pointe. Son rythme, selon les caractéristiques du bassin-versant, est commandé par les rythmes de décroissance de l'écoulement direct, de l'écoulement différé et de la vidange des nappes alluviales. Quand la décrue n'est pas interrompue, sa fin marque le début du tarissement qui est la vidange des réservoirs souterrains.

En fonction de ces différentes composantes de l'hydrogramme d'autres paramètres peuvent être définis:

- Le temps de montée qui est la durée de la montée de la crue.
- Le temps de réponse qui est le temps écoulé entre le centre de gravité de l'averse et le centre de gravité de la crue.
- Le temps de base est le temps écoulé entre le début de la crue et la fin de la décrue.

### **3-1 POINTES DE CRUES**

C'est le débit maximal d'une crue. En fonction du pas de temps pris en compte ce débit peut être un débit moyen journalier ou un débit instantané. Pour la présente étude les débits de pointes de crues moyen journalier et instantané sont disponibles. L'étude de leurs rapports (tabl.32a et b) nous permet d'apprécier la brutalité des crues dont nous soulignons l'essentiel.

Le rapport entre le débit de pointe instantané et moyen journalier est variable d'une crue à l'autre, il est de 1 à 3 à Guercif mais à Belfarah il passe au delà de 3.

Le nombre de pointes de crue dont le rapport est supérieur à 2 est de 13 sur 45 à Guercif et de 3 sur 12 à Belfarah dont 2 sont supérieurs à 3. Cela représente respectivement 30% et 25%. La grandeur de ces rapports au niveau de Belfarah traduit l'importance et parfois la brutalité des pluies dans la zone amont surtout lors de la période printanière.

Le rapport maximal est de 2,98 à Guercif. Il est enregistré lors de la crue du 17-01-1972 dont le maximum moyen journalier est  $105 \text{ m}^3/\text{s}$  et le maximum instantané est  $313 \text{ m}^3/\text{s}$ . A Belfarah le rapport maximal est plus important: 3,23. Il résulte de la crue du 06-01-1977 dont le débit maximum instantané est de  $520 \text{ m}^3/\text{s}$  et le débit moyen journalier de  $161 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Par contre, le minimum est très faible il est de 1,1 pour les deux pointes de la crue complexe du 22 au 24-03-1956 à Guercif. A Belfarah le minimum descend à 1 pour la crue complexe du 09 au 11-03-1986.

Les plus fortes crues, pour les deux périodes étudiées, ne sont pas celles qui détiennent le maximum du rapport entre le débit de pointe maximal instantané et moyen journalier de crue. Ainsi pour la crue historique du Melloulou à Guercif (27-05-1963) ce rapport est de 1,9. A Belfarah le rapport relatif à la crue maximal est plus important il est de 3,13.

### 3-2 MONTEES DE CRUES

C'est la partie qui correspond à la courbe de concentration dans un hydrogramme de crue. Elle est caractérisée par son débit initial de crue, par son débit maximum qui est la pointe de la crue et par le temps de remontée qui correspond au temps écoulé entre ces deux débits extrêmes.

L'étude des crues retenues au niveau de Guercif et Belfarah nous permet de dégager les principaux aspects de ces caractéristiques.

Le temps de montée est variable d'une crue à une autre. Le maximum enregistré est de 7 jours à Guercif pour la crue du 24-03-1976 et 5 jours à Belfarah pour la crue du 24-01-1977. Pour les autres crues les temps de remontée se répartissent de la manière suivante:

Temps de la montée en jours	Nombre de cas à Guercif	Nombre de cas à Belfarah
1	7	1
2	13	3
3	7	2
≥ 4	6	2
Total	33	8

D'après ce tableau on remarque que les temps de remontée les plus faibles dominent. Environ, les deux tiers des cas observés ont une durée de 1 à 2 jours. Par contre, les cas de 4 jours et plus ne présentent qu'environ 18% de l'effectif total.

Pour étudier l'amplitude de la remontée, la différence entre les deux débits extrêmes a été calculée. L'amplitude la plus élevée est de 685,7 m<sup>3</sup>/s à Guercif observée lors de la crue historique du 25-05-1963. A Belfarah elle est de 202,5 m<sup>3</sup>/s enregistrée pendant la crue du 24-01-1977. L'amplitude la plus faible est de 45,7 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 81,2 m<sup>3</sup>/s à Belfarah.

On note également que lors de la crue du 08-11-1973 à Guercif le Melloulou était à sec et en 1 jours le débit est passé à 96,2 m<sup>3</sup>/s.

L'amplitude de la montée des crues rapportée au temps de la montée nous permet d'apprécier la vitesse de la montée. D'après les cas étudiés cette vitesse varie de 17,2 à 342,9 m<sup>3</sup>/s/jour à Guercif et de 22 à 87,3 m<sup>3</sup>/s/jour à Belfarah. On remarque également que ces vitesses de remontée sont réciproques à l'importance de la crue. Ainsi le maximum a été enregistré lors de la crue du 27-05-1963 à Guercif et la crue du 01-05-1976 à Belfarah, et les vitesses les plus faibles correspondent à de faibles crues.

### **3-3 LES DECRUES**

La décrue désigne la partie de l'hydrogramme de crue comprise entre la pointe de la crue et le début du tarissement.

Afin d'aboutir à une étude des décrues de l'O. Melloulou, certaines courbes caractéristiques ont été sélectionnées. L'ensemble de ces courbes est décrit dans le tableau 33. A première vue on constate que les cas choisis à la station de Guercif sont plus nombreux que ceux de Belfarah car la série étudiée à Belfarah est courte et couvre une période indigente où le nombre de crues est très faible. En effet, cela a conduit à descendre en deça du seuil de crue fixé pour Belfarah soit 10 fois le module (83 m<sup>3</sup>/s) pour augmenter le nombre de décrues.

D'après les exemples repris dans cette étude les décrues apparaissent sous forme d'une ligne constituée de plusieurs cassures. Chaque segment correspond à une phase hydrologique représentant la vidange d'un réservoir. La décroissance des débits lors de chaque phase peut être représenté par une fonction exponentielle de la forme (in Réménieras G., 1986).

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

$Q_0$  est le débit au début de la phase de vidange

$Q_t$  est le débit à la fin de la phase de vidange

$t$  est la durée de la phase de vidange

$\alpha$  est le coefficient de décroissance de la phase de vidange

Le nombre de ces phases est de 3 à Guercif et à Belfarah (tabl.33). Mais parfois ces phases sont incomplètes pour plusieurs raisons essentiellement: l'intervention de pluies importantes qui interrompent la décrue ou la saturation incomplète des réservoirs du bassin-versant par les apports de l'averse qui a généré la crue.

#### **a) Décrues du Melloulou à Guercif**

Etant donnée la grande dispersion des valeurs de décroissance trouvées pour chaque phase de décrue, il s'est avéré nécessaire de procéder à une classification. Ainsi on a distingué les décrues relatives à des pointes de crues 10 à 15, 15 à 20 et au-dessus de 20 fois le module.

\* Décrues relatives à des pointes de crues 10 à 15 fois le module.

L'examen de ce type de décrues montre que la première phase est assez rapide. Son coefficient de décroissance varie de 0,251 à 0,975 mais il peut atteindre 1,686 comme la

Tabl.33. - Les décrues de l'O. Melloulou

Début de la décrue		Durée et coefficient de décroissance					
Date	Q (m <sup>3</sup> /s)	t1	$\alpha$ 1	t2	$\alpha$ 2	t3	$\alpha$ 3
<b>L'O. Melloulou à Guercif</b>							
Décrues relatives à des pointes de crues 10 à 15 fois le module							
21.04.1957	101.3	1	0.975	3	0.314	3	0.104
24.12.1958	105	1	0.477	3	0.307	10	0.083
27.03.1960	102	2	0.313	5	0.072		
08.11.1962	112	3	0.463	5	0.189	11	0.072
17.02.1963	126	2	0.344	4	0.168	3	0.075
10.10.1966	96.6	3	0.856	2	0.319	10	0.125
17.01.1969	138	3	0.405	9	0.120	5	0.074
03.04.1971	90.6	3	0.735	2	0.410	2	0.175
17.01.1972	105	1	0.936	1	0.488	1	0.167
07.11.1973	96.2	3	1.686	3	0.305	7	0.058
18.02.1986	95.6	2	0.251	1	0.167	8	0.064
Décrues relatives à des pointes de crues 15 à 20 fois le module							
07.01.1963	181	4	0.323	2	0.155	6	0.040
20.12.1963	191	1	0.950	5	0.340	15	0.045
22.10.1982	145	1	1.947	2	0.579	2	0.458
09.03.1986	168	1	0.816	1	0.317	2	0.135
Décrues relatives à des pointes de crues de plus de 20 fois le module							
17.02.1956	264	3	0.780	3	0.218	13	0.036
04.04.1956	344	1	1.226	1	0.334	12	0.027
15.01.1960	413	1	1.148	2	0.388	5	0.129
27.05.1963	700	1	1.661	2	0.328	8	0.108
31.03.1968	259	2	0.712	1	0.208		
11.12.1968	201	1	1.570	2	0.199	4	0.097
12.01.1970	398	1	0.635	4	0.229	5	0.096
<b>L'O. Melloulou à Belfarah</b>							
08.02.1976	58	1	1.073	2	0.256	2	0.118
15.03.1977	117	1	0.445	3	0.098		
30.10.1976	37	1	0.672	2	0.220	4	0.069
04.03.1978	77	2	0.323	2	0.195	3	0.152
17.11.1979	47	2	0.359	2	0.242	4	0.140
16.02.1986	101	1	0.507	1	0.260	7	0.048

t et  $\alpha$ : Durée (en jours) et coefficient de décroissance de:

- 1: la phase du ruissellement direct
- 2: la phase de l'écoulement différé
- 3: la phase de vidange des nappes subsuperficielles

crue du 08-11-1973 qui est intervenue en une période où le Melloulou à Guercif était à sec. La durée de cette phase est en général de un à trois jours. Elle correspond au ruissellement direct et à la vidange du micro-réseau hydrographique.

Cette phase initiale est suivie par la phase de l'écoulement différé appelée également écoulement tardif. Son coefficient de décroissance varie de 0,12 à 0,319 mais il peut atteindre dans des cas extrêmes 0,072 (crue du 27-03-1960) et 0,488 (crue du 17-01-1972). La durée de l'écoulement différé est de deux à cinq jours et dans certains cas elle s'est prolongée jusqu'à neuf jours.

La dernière phase est celle de la vidange des nappes sub-superficielles. Son coefficient de décroissance est de 0,058 à 0,319 et il peut parfois descendre à 0,064 (crue du 08-11-1962). La durée de vidange de ce réservoir est élevée: il peut atteindre onze jours.

\* Décrues relatives à des pointes de crues 15 à 20 fois le module.

Seulement cinq décrues ont été sélectionnées pour cette classe. La phase du ruissellement direct d'après ces décrues peut durer jusqu'à quatre jours. Le coefficient de décroissance varie de 0,323 à 0,95 sauf pour la crue du 22-10-1982 où il est de 1,947.

L'écoulement tardif peut durer jusqu'à cinq jours et son coefficient de décroissance varie de 0,14 à 0,519. Il est suivi par la vidange des nappes sub-superficielles qui peut durer 16 jours avec un coefficient de décroissance de 0,04 à 0,275.

\* Décrues relatives à des pointes de crues de plus de 20 fois le module.

Ce sont les décrues liées aux crues principales. La diminution du débit lors du ruissellement direct est très importante par rapport à ce qu'on a vu précédemment. Elle varie en général entre 0,635 et 1,661 pour une durée pouvant atteindre trois jours. La phase suivante dure presque aussi longtemps mais la décroissance des débits est moins rapide. Elle oscille de 0,199 à 0,334. La dernière phase de décrue dure plus longtemps (treize jours pour la crue du 17-02-1956) et la diminution des débits est lente; le coefficient de décroissance étant de 0,027 à 0,129.

#### **b) Décrues du Melloulou à Belfarah**

Même si on est descendu en deçà du seuil adopté pour définir les crues à Belfarah, le nombre de décrues reste très limité pour les raisons exposées antérieurement.

D'après les exemples retenus la décrue du Melloulou à Belfarah s'effectue en trois temps.

En premier temps le ruissellement qui dure de un à deux jours. Son coefficient de décroissance est de 0,323 à 0,507 et dans les cas extrêmes il atteint 1,073.

Après cette phase les eaux de l'écoulement différé prennent le relais. La décroissance du débit pendant cette phase est moins élevée par rapport à la précédente. Le coefficient de décroissance est de 0,196 à 0,256 et la durée de la vidange est en moyenne de trois jours.

La dernière phase de la décrue est celle de la vidange des nappes sub-superficielles. Elle s'effectue en deux à sept jours avec un coefficient de décroissance de 0,048 à 0,152.

#### **4- ETUDE DE CAS PARTICULIERS DE CRUES**

Chaque crue est un cas particulier conditionné par les quantités précipitées, leur répartition dans le temps et dans l'espace, l'état des différents réservoirs constituant le bassin-versant avant le début des pluies et leurs réactions vis-à-vis de ces apports. En effet, deux critères ont été pris en compte pour choisir les crues à étudier: la taille de la crue et la saison où elle s'est manifestée.

Les données utilisées pour cette étude sont les débits moyens journaliers et les débits instantanés. Mais, étant donné que la période antérieure à 1975-76 est lacunaire à Belfarah, seules les données disponibles pour les crues étudiées avant cette date à cette station ont été utilisées.

#### **4-1 LES CRUES SECONDAIRES**

##### **4-1-1 CRUE D'OCTOBRE 1982**

C'est une crue simple d'automne qui s'est manifestée seulement à Guercif. A Belfarah la montée du débit était faible.

##### **\* Evolution (fig.76)**

La crue du 22 octobre démarre avec un débit très faible  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  le 20 octobre. Après deux jours de remontée, elle atteint une pointe de  $145 \text{ m}^3/\text{s}$ . En même temps à Belfarah, le débit est monté mais il n'a pas atteint la taille d'une crue telle qu'on l'a défini précédemment. Ainsi le même jour de la pointe de la crue à Guercif le débit à Belfarah n'était que de  $54,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'examen de l'évolution de cette crue à l'échelle des observations instantanées montre que la montée a commencé le 21 octobre à 16h et la pointe est observée le lendemain à environ 3h avec  $297 \text{ m}^3/\text{s}$ . A Belfarah la montée du débit a débuté le 21 octobre à 9h et le maximum est observé le même jour entre 17h 30mn et 18h avec un débit de  $94 \text{ m}^3/\text{s}$  soit une différence de plus de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  entre les deux stations.

##### **\* Genèse**

A partir du 17 et jusqu'au 22 octobre l'anticyclone des Açores se décale vers l'ouest. Cela a favorisé la naissance d'une dépression locale sur la Méditerranée occidentale (fig.77). Cette situation a été accompagnée de passage de fronts perturbés et instables sur une grande partie du Maroc.

En altitude une goutte froide évolue entre le nord marocain et le nord algérien (fig.78).

**Fig.76. - Crue d'octobre 1982**

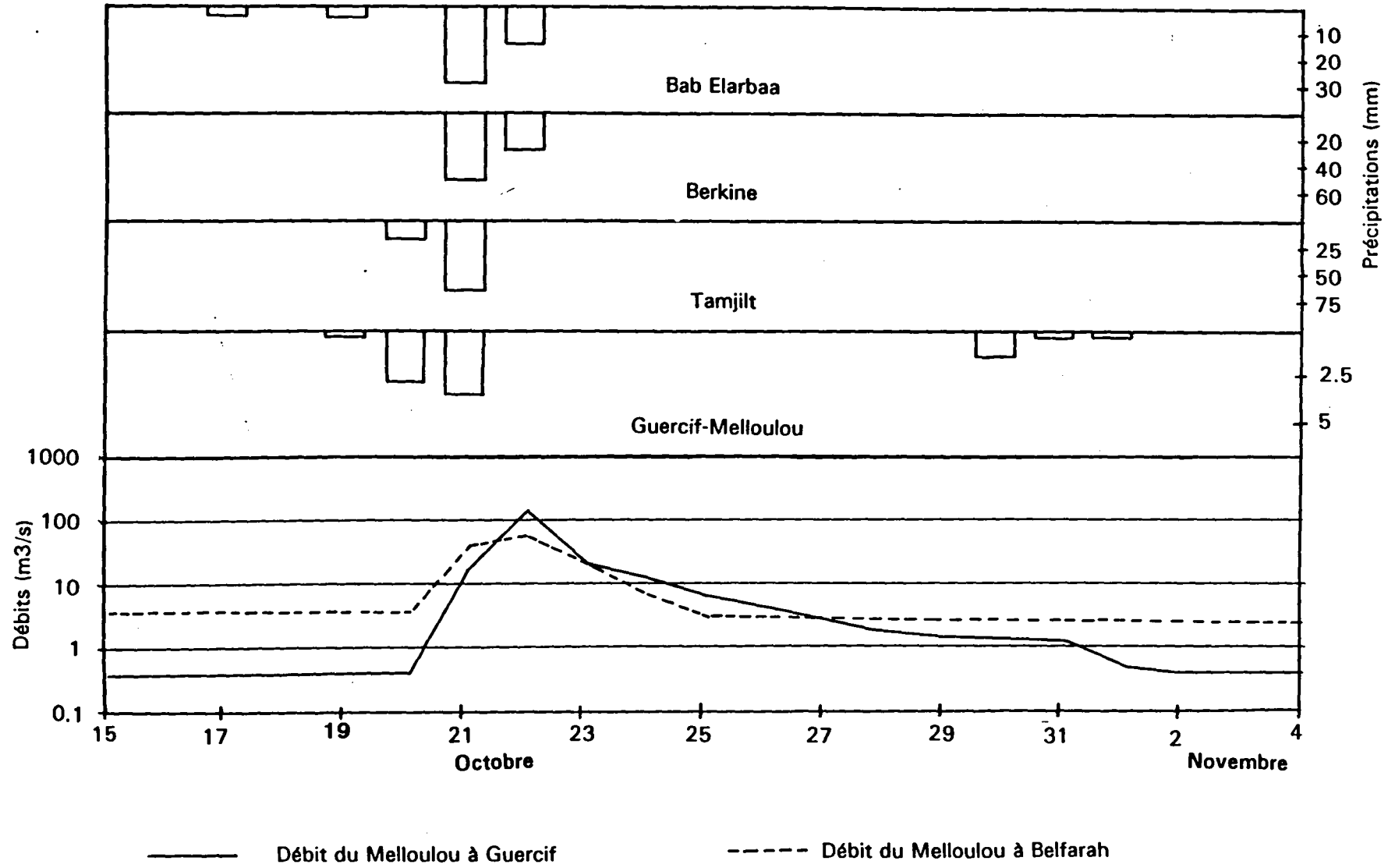
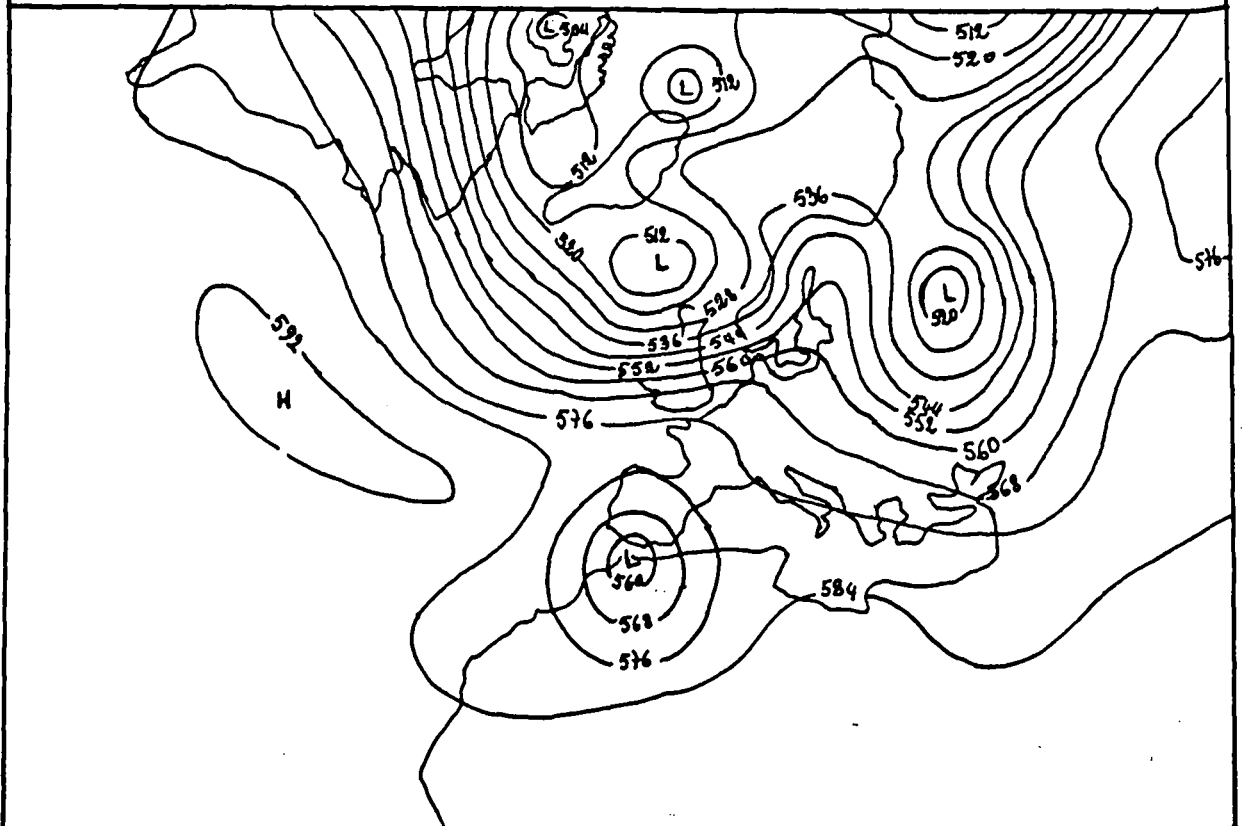


Fig. 77 . - Situation atmosphérique du 20.10.1982 au sol à 0h T.U.



Fig. 78 . - Situation atmosphérique du 20.10.1982 en altitude (500 hpa) à 0h T.U.





Le bassin-versant du Melloulou est touché par ces différentes perturbations. Les différentes mesures de pluies montre que la partie sud-ouest du bassin était la plus arrosée (fig.76): à Berkine comme à Tamjilt deux séquences pluvieuses de deux jours sont enregistrées totalisant respectivement 75,6 mm et 79,2 mm. A Bab Elarbaa la hauteur totale des pluies mesurée est de 48,8 mm répartie entre trois séquences pluvieuses. Vers l'aval les pluies mesurées sont moins importantes que l'amont; seule une séquence pluvieuse d'un jour totalisant 18,6 mm à Belfarah et une séquence pluvieuse de trois jours à Guercif-Melloulou totalisant 6,5 mm.

Le maximum de ces pluies dans les différentes stations est relevé le 21 octobre et la station de Tamjilt à elle seule reçoit 63,6 mm.

#### **\* Caractéristiques**

La durée totale de la crue est d'environ treize jours. La montée dure deux jours durant lesquels le débit est passé de 0,4 m<sup>3</sup>/s à 145 m<sup>3</sup>/s soit un rapport entre les deux extrêmes d'environ 360.

La décrue s'est effectuée en une durée de onze jours réparties en trois phases de la manière suivante: un jours pour le ruissellement direct, deux jours pour l'écoulement différé et deux jours pour la vidange des nappes sub-superficielles. Le coefficient de décroissance de ces différentes phases est respectivement 1,947 0,519 et 0,275. Après la décrue le débit se stabilise autour de 0,4 m<sup>3</sup>/s, ce qui nous a empêché d'étudier la courbe de tarissement.

#### **4-1-2 CRUE DE FEVRIER 1986**

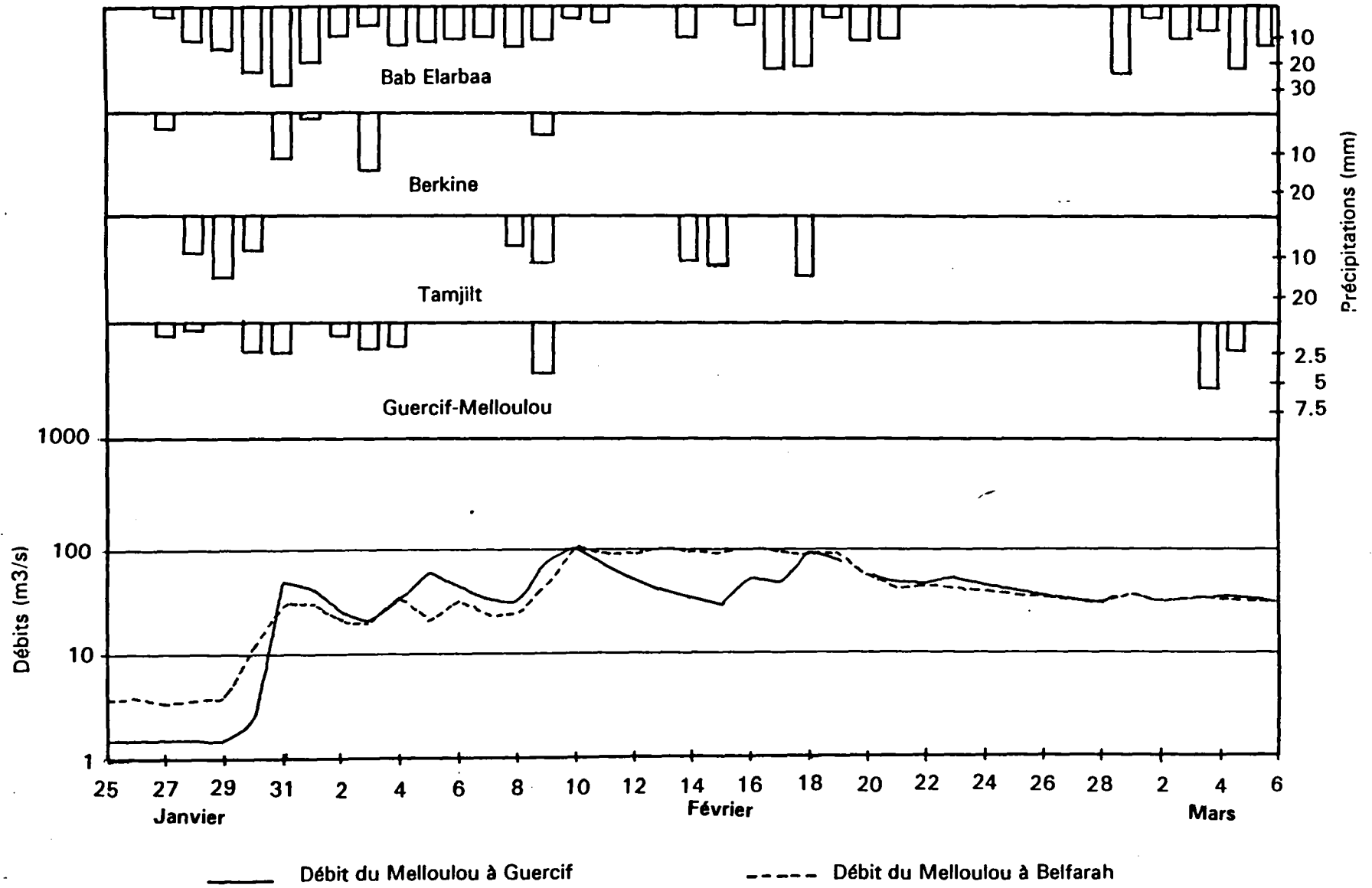
La crue de février 1986 est une crue complexe d'hiver. Elle résulte d'importantes pluies qui ont touché en particulier la partie nord-ouest du bassin-versant.

#### **\* Evolution (fig. 79)**

La montée de la crue débute le 27 janvier à Belfarah et 29 janvier à Guercif. Le débits initial respectif à ces stations est de 3,4 m<sup>3</sup>/s et 1,5 m<sup>3</sup>/s. Après une montée assez irrégulière la pointe principale est atteinte le 10 février avec un débit de 107 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 108 m<sup>3</sup>/s à Belfarah. Par la suite la décrue s'amorce mais elle est interrompue par deux nouvelles pointes à Belfarah: la première est de 99,2 m<sup>3</sup>/s le 13 février et la deuxième est de 101 m<sup>3</sup>/s le 16 février. A Guercif on observe une seule pointe importante de 95,6 m<sup>3</sup>/s le 18 février.

D'après l'étude des données instantanées la crue apparaît plus complexe à Belfarah qu'elle ne l'est à Guercif. A cette dernière on distingue seulement deux périodes où le débit dépasse le seuil de 100 m<sup>3</sup>/s. La première dure du 9 à 17h au 10 février à 15h et le maximum est de 124 m<sup>3</sup>/s observé le 9 entre 19h 30mn et 20h. La seconde période est enregistrée le 18 février entre 6h 30mn et 12h 30mn avec un maximum de 125 m<sup>3</sup>/s observé de 8h à 8h 30mn. A Belfarah le nombre de ces périodes est de 7, parmi les plus

**Fig.79. - Crue de février 1986**



importantes on distingue trois périodes; celle du 9 à 19h au 10 à 18h 30mn avec un maximum de  $122 \text{ m}^3/\text{s}$  qui a duré du 9 à 19h au 10 à 7h, la période du 12 à 12h 30mn au 13 à 8h 30mn avec un maximum de  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  relevé le 12 de 12h 30mn à 15h 30mn et la dernière est observée le 16 de 6h à 22h 30mn et le maximum est de  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  atteint entre 6h et 6h 30 mn.

#### \* Genèse

Du 27 janvier au 9 février le Maroc est sous l'influence d'une série de poussées d'air froid perturbé et instable accompagné d'un flux de NE à N et NW à N. Ce flux est dirigé par l'anticyclone des Açores et une zone dépressionnaire complexe s'étendant de l'Islande à la Méditerranée. Les pluies les plus importantes sont liées au centre dépressionnaire installé sur la Méditerranée (fig. 80).

un anticyclone s'étendant du SW des Açores à la péninsule ibérique et l'Europe repousse le temps perturbé du Maroc du 10 au 13 février.

L'anticyclone des Açores se décale vers le sud du 14 au 20 février et le Maroc se trouve sous l'influence d'une dépression installée sur le Golfe de Gascogne qui se déplace vers la Méditerranée engendrant un flux d'W à NW sur le Maroc.

En altitude une goutte froide centrée sur le sud marocain renforce le système perturbé (fig. 81).

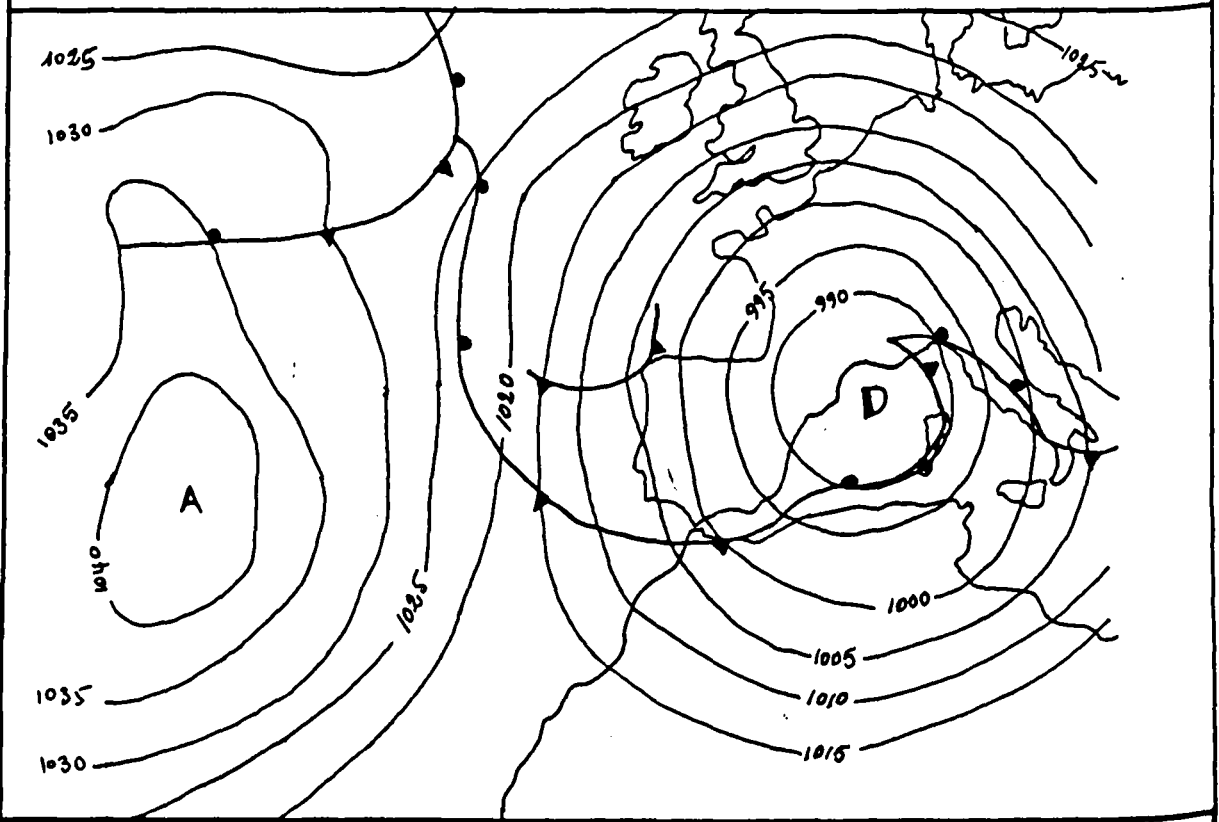
Les masses d'airs associées à ces différentes perturbations ont touché en particulier la partie nord-ouest du bassin-versant (fig. 79): A Bab Elarbaa trois séquences pluvieuses sont observées dont la première est du 27 janvier au 11 février et a totalisé 211,5 mm. Les deux autres sont de un et de six jours et elles ont totalisé dans l'ordre 11 et 77 mm. A Bechine le nombre de séquences pluvieuses est de deux. la plus longue a duré du 29 janvier au 10 février et a totalisé 151 mm. La seconde dure trois jours et la hauteur de pluie mesurée est de 14,2 mm. Aux autres stations le nombre de séquences pluvieuses varie entre quatre et six. Mais leurs durées sont courtes et leurs apports sont moins importants que ceux de Bab Elarbaa et Bechine. Ainsi les hauteurs globales de ces pluies sont de 90,1 mm à Tamjilt, 29,1 mm à Berkine, 29,5 mm à Belfarah et 32,7 mm à Guercif-Melloulou.

#### \* Caractéristiques

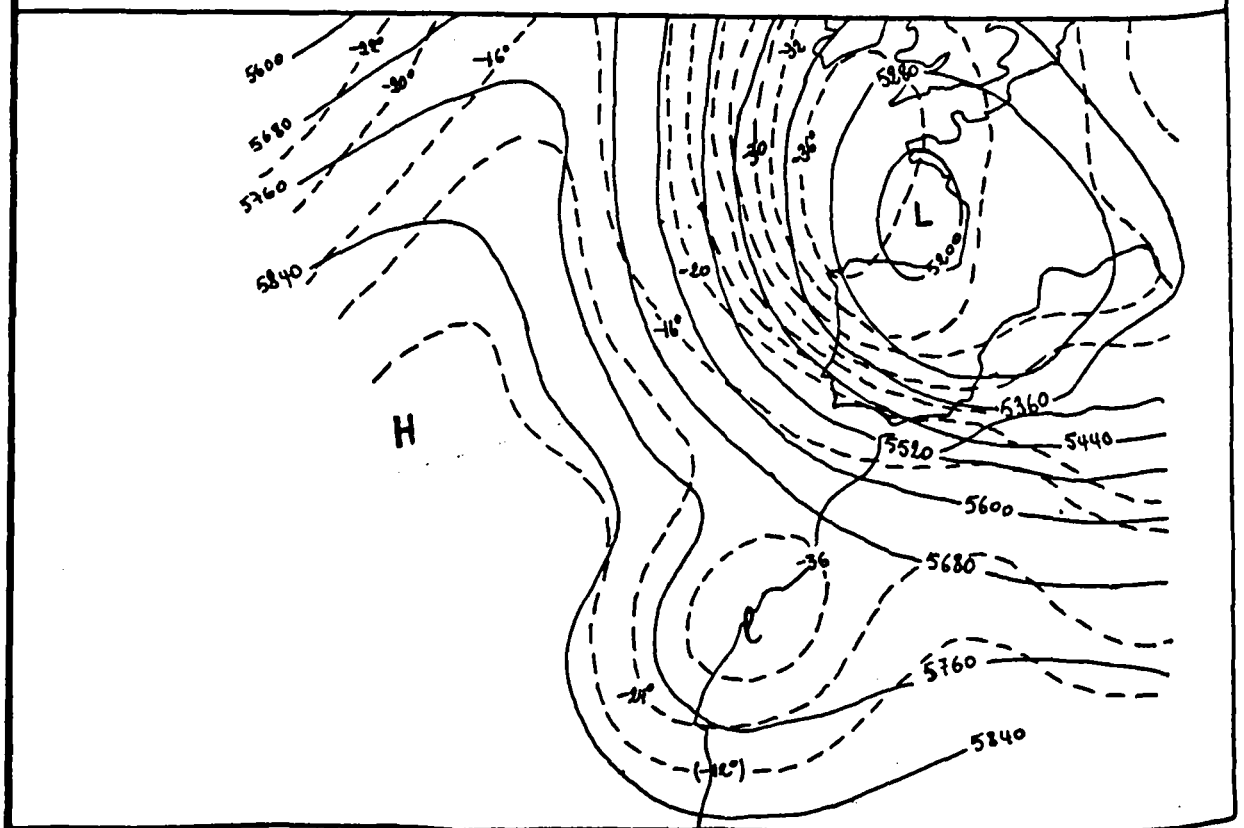
La montée de cette crue résulte de l'importance des pluies de fin janvier et début février et la bonne répartition de ces pluies dans le temps. Par conséquent le temps de remontée est assez important: douze jours à Guercif et quatorze jours à Belfarah.

Le rapprochement des trois pointes de crue à Belfarah n'a permis d'isoler et d'étudier que la décrue de la dernière pointe. A Guercif les deux pointes sont espacées et on distingue deux décrues relatives à chaque pointe. La première a duré cinq jours dont deux jours de ruissellement et trois jours d'écoulement différé. Le coefficient de décroissance de ces phases est respectivement 0,36 et 0,193. La seconde décrue dure plus longtemps: onze jours dont deux jours de ruissellement un jour d'écoulement différé et huit jours de vidange

**Fig. 80 . - Situation atmosphérique du 31.01.1986 au sol à 0h T.U.**



**Fig. 81 . - Situation atmosphérique du 30.01.1986 en altitude (500 hpa) à 12h T.U.**



de nappes sub-superficielles. Le coefficient de décroissance relatif à chaque phase est, dans l'ordre, 0,251 0,167 et 0,064. A Belfarah la seule décrue qu'on a pu isoler dure neuf jours. Les phases de ruissellement et d'écoulement différé durent chacune un jour, suivi de la vidange des nappes sub-superficielles qui a duré sept jours. Les coefficients de décroissance calculés sont supérieurs à ceux de la seconde décrue à Guercif sauf pour la dernière phase, les valeurs trouvées sont respectivement 0,507, 0,26 et 0,048.

#### 4-1-3 CRUE DE MARS 1986

C'est une crue simple de printemps. Elle intervient à environ un mois d'intervalle de la crue de février.

##### \* Evolution (fig. 82)

Le débit initial de cette crue est élevé; 30,9 m<sup>3</sup>/s à Belfarah le 5 mars et 30,1 m<sup>3</sup>/s à Guercif le 6 mars. La montée de la crue est relativement régulière jusqu'au 9 mars où le débit aboutit à un maximum de 168 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 119 m<sup>3</sup>/s à Belfarah. Après cette pointe la décrue commence à Guercif mais à Belfarah la décrue n'a débuté qu'après une seconde pointe de 96 m<sup>3</sup>/s le 11 mars.

L'hydrogramme de la crue à l'échelle instantanée fournit une image plus détaillée de son évolution. Le débit initial est enregistré le 6 mars avec 30 m<sup>3</sup>/s à Belfarah à 8h et 28,7 m<sup>3</sup>/s à Guercif à 16h. Le nombre de pointes est supérieur à celui trouvé à l'échelle des valeurs moyennes journalières. A Belfarah on compte trois pointes au lieu de deux: la première est de 109 m<sup>3</sup>/s le 7 mars entre 20h 30mn et 21h, la seconde est de 171 m<sup>3</sup>/s le 8 mars à 22h et la troisième est de 109 m<sup>3</sup>/s le 10 mars entre 12h 30mn et 13h. A Guercif le nombre de pointes est de deux, observées le 8 mars à 11h et le 9 mars à 6h 30mn avec un débit respectif de 171 m<sup>3</sup>/s et 279 m<sup>3</sup>/s.

##### \* Genèse

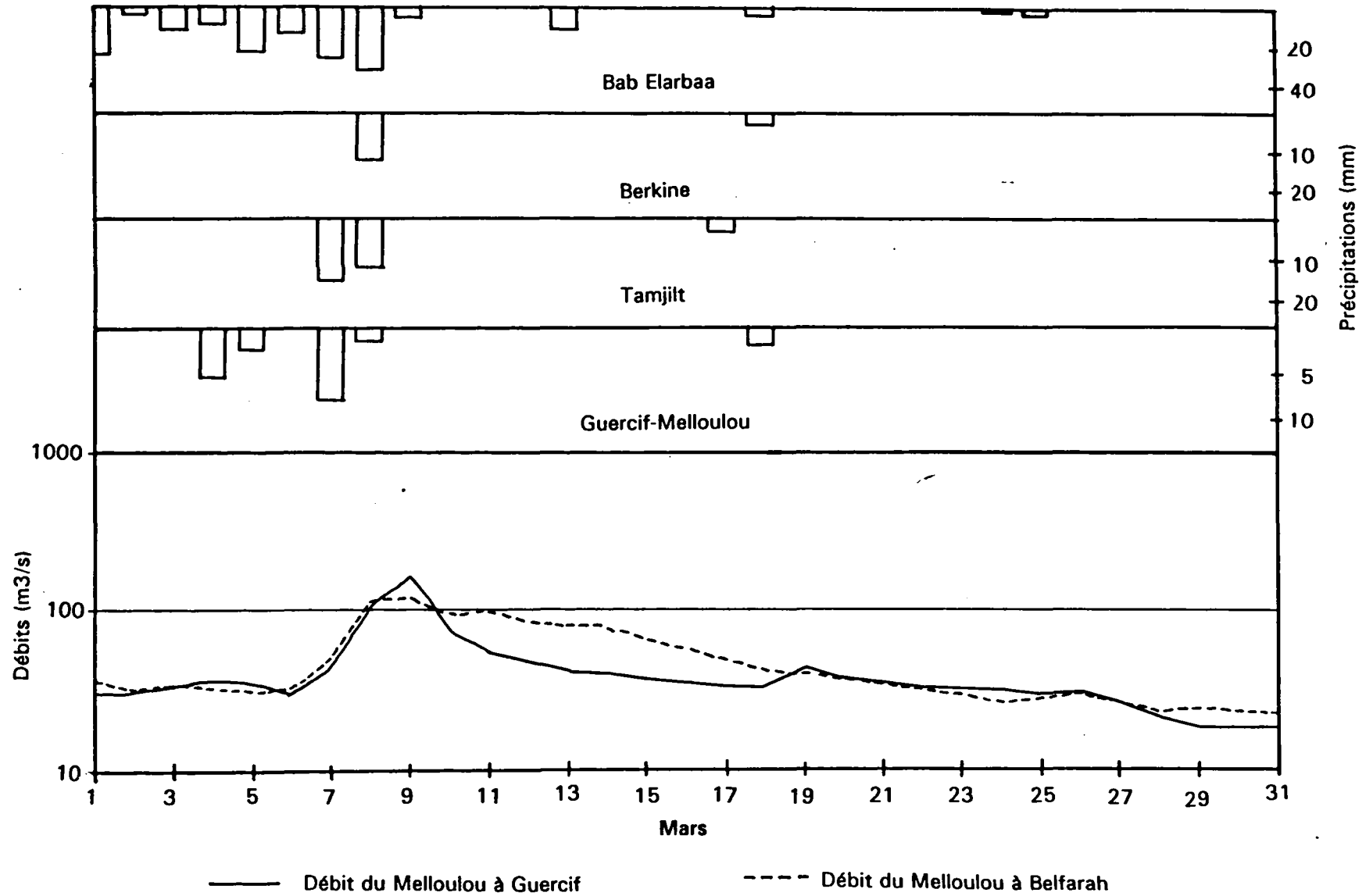
Du 27 février au 4 mars une dépression profonde couvrant le proche atlantique, la péninsule ibérique et le Maroc dirige des flux SW sur le Maroc (fig. 83).

du 5 au 8 mars une dépression se déplaçant du proche atlantique marocain vers l'est dirige un flux N à NW relayé ensuite par un flux N à NE. A partir du 9 mars l'anticyclone des Açores se rétablit.

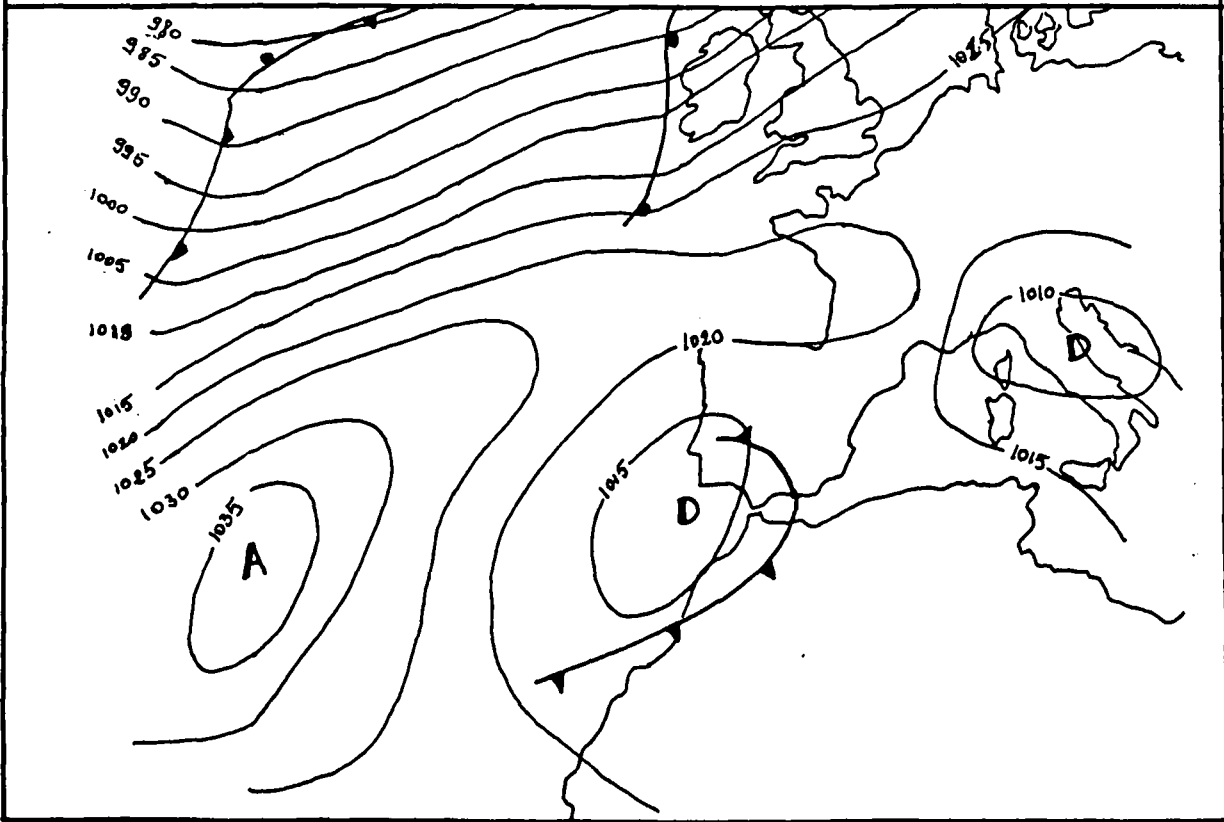
En altitude le Maroc est sous l'influence d'une goutte froide presque permanente (fig. 84).

Durant la succession des ces différentes situations, des pluies ont été enregistrées dans différentes partie du bassin-versant (fig. 82). Les plus importantes sont tombées sur la région nord-ouest. A Bab Elarbaa deux séquences pluvieuses sont enregistrées: la première a duré deux jours et a totalisé 16,2 mm, la deuxième a duré du 4 au 8 mars et a totalisée 120 mm. Aux autres stations les pluies sont moins importantes: 27 mm à Tamjilt, 12 mm à Berkine, 22,5 mm à Belfarah et 17,5 mm à Guercif-Melloulou.

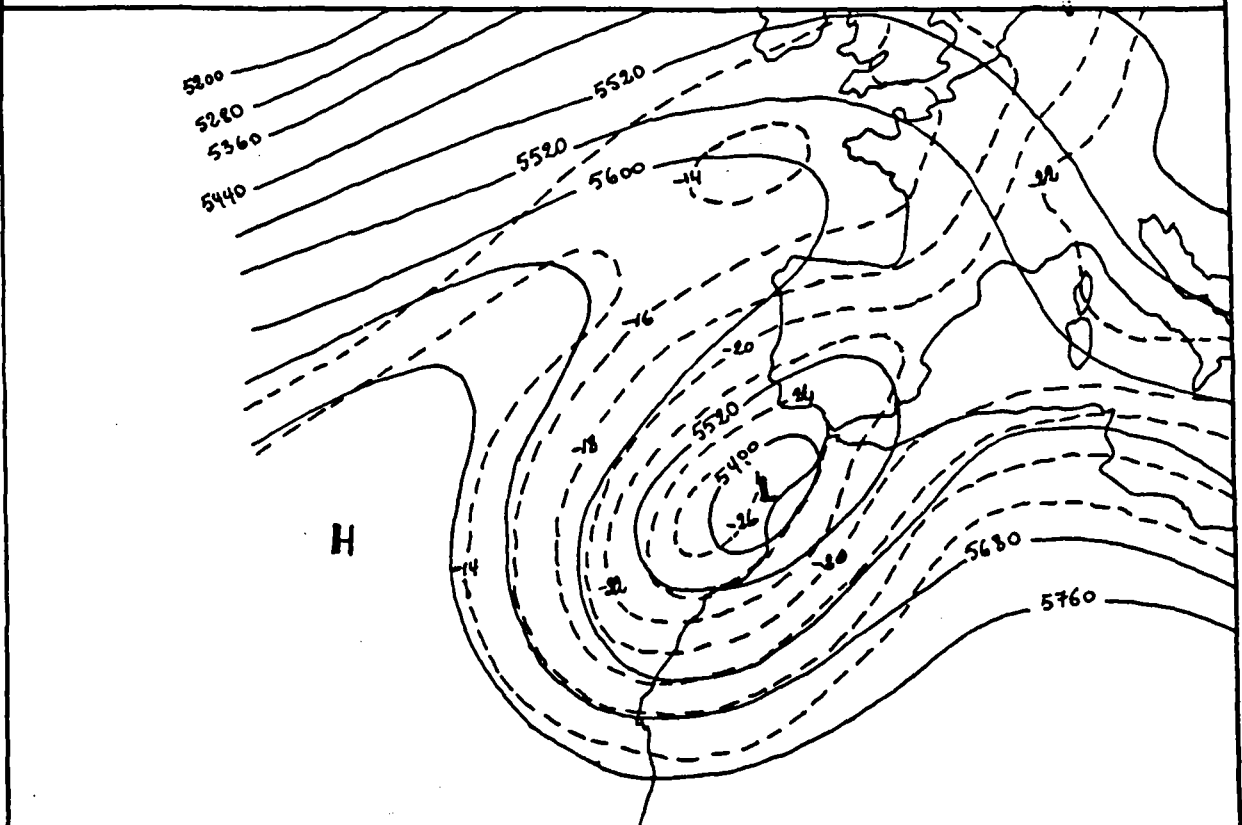
Fig. 82. - Crue de mars 1986



**Fig. 83 . - Situation atmosphérique du 04.03.1986 au sol à 0h T.U.**



**Fig. 84 . - Situation atmosphérique du 04.03.1986 en altitude (500 hpa) à 12h T.U.**



Malgré la faible importance des pluies qui ont généré cette crue par rapport à celles de la crue de février, le débit de pointe est plus élevé. Cela peut être expliqué par l'intervention de ces pluies en un moment où la réserve des sols et des nappes sub-superficielles sont importantes, surtout que cette crue n'est séparée de celle de février que d'environ un mois. Par conséquent, une très grande partie des apports atmosphériques est évacuée par l'écoulement rapide.

#### \* Caractéristiques

La durée de la montée de la crue est de trois jours à Guercif et quatre jours à Belfarah. Mais la pointe de la crue est moins distincte à cette dernière où on remarque un aplatissement au sommet de la crue.

Les différentes phases de la décrue paraissent plus nette à Guercif qu'à Belfarah. Ainsi les trois phases de décrue à la première station ont duré quatre jours dont deux jours pour la troisième phase. Le coefficient de décroissance de chaque phase est, dans l'ordre: 0,816, 0,317 et 0,135. Ces trois phases sont suivies par le tarissement des réserves souterraines dont le coefficient est de 0,05.

A Belfarah la phase du ruissellement direct est très perturbée par les apports pluviométriques. En effet, on n'a pas pu isoler nettement cette phase ni apprécier sa vitesse de vidange. Les deux phases suivantes sont plus nettes; elles ont duré cinq et six jours et les coefficients de leur décroissance est respectivement 0,132 et 0,075. La vidange des réserves souterraines prend le relais par la suite avec un coefficient de tarissement de 0,027.

## 4-2 LES CRUES PRINCIPALES

### 4-2-1 CRUE DE JANVIER 1970

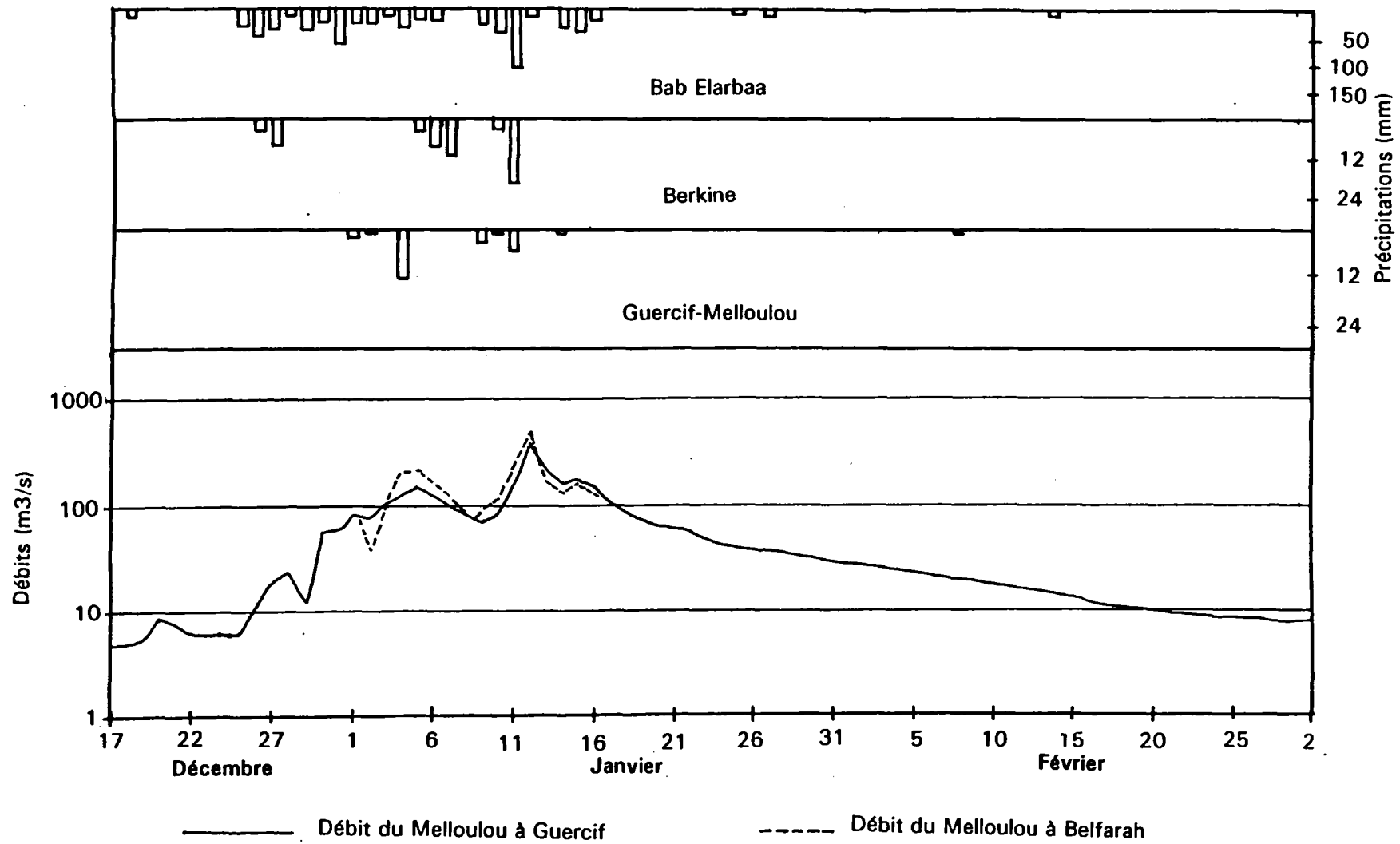
C'est une crue engendrée par des pluies qui ont intéressé une grande partie du Maroc. Son débit spécifique maximum est de  $0,204 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  à Guercif. Dans le bassin-versant du Sebou (versants occidental du Moyen Atlas et méridional du Rif) la crue engendrée par ces pluies atteint un débit spécifique maximum de  $1,06 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  à O. Ourgha en amont de M'Jara et  $0,158 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  à O. Sebou en amont de Azib Soltane (Peigneguy J.,(1970); UNESCO, (1976)).

#### \* Evolution (fig.85)

Le débit initial de cette crue est  $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$  à Guercif le 25-12-1969. Le nombre de pointes de crues principales est de 3 à Belfarah enregistrées le 1, 5 et 12 janvier. La pointe la plus forte est de  $505 \text{ m}^3/\text{s}$  observée le 12. A Guercif la pointe du 1<sup>er</sup> janvier est estompée, et seules celles du 5 et 12 se manifestent nettement. La pointe maximale est atteinte le même jour qu'à Belfarah; elle est de  $398 \text{ m}^3/\text{s}$ . Outre le nombre de pointe de crues, le débit de ces pointes est élevé à Belfarah par rapport à Guercif. Ces différences sont dues sans doute à la faiblesse des apports pluviométriques entre Belfarah et Guercif.



Fig.85 . - Crue de janvier 1970



A l'échelle des données instantanées, les débits supérieurs à  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  se regroupent sous forme de trois ensembles. Le premier est observé le 1<sup>er</sup> janvier de 9h à 13h, le maximum étant de  $123 \text{ m}^3/\text{s}$  atteint entre 10h et 11h. Le second dure du 3 janvier à 9h au 7 janvier à 18h, le maximum est de  $235 \text{ m}^3/\text{s}$  observé le 4 à 24h, le même maximum à Belfarah est de  $310 \text{ m}^3/\text{s}$  enregistré le 4 janvier à 12h soit 12 heures avant Guercif. La troisième période est plus longue. Elle s'étend du 10 janvier à 21h jusqu'au 17 janvier à 24h. Le maximum instantané est de  $631 \text{ m}^3/\text{s}$  observé le 12 à 18h.

#### \* Genèse

La cellule anticyclonique des Açores, se décalant vers le sud a favorisé des descentes d'air polaire froid et instable et des perturbations atlantiques (fig.86). Cette situation a duré du 25 décembre 1969 au 20 janvier 1970.

Du 24 Décembre au 4 janvier, le nord du Maroc est soumis à un régime du nord accompagné de flux de NW et N. Celui ci est relayé par la suite par un régime d'ouest commandé par une dépression au proche-atlantique ibérique.

Du 5 au 8 janvier le Maroc est soumis à des courants perturbés d'W associés à un flux perturbé d'W. Le 8 le Maroc se trouve en marge du courant perturbé atlantique.

Du 9 au 16 janvier des perturbations dépressionnaires atlantiques atteignent le Maroc. Se décalant vers le NE cette dépression laisse la place à l'anticyclone des Açores qui s'est rétabli à partir du 20 janvier.

Toutes ces différentes perturbations ont plus ou moins intéressé le bassin-versant du Melloulou (fig.85). Ainsi à Bab Elarbaa on note deux séquences pluvieuses: la première a duré du 25 décembre au 6 janvier et la deuxième du 9 au 16 janvier et elle ont totalisé respectivement 394 mm et 282 mm. Aux autres stations les pluies étaient moins importantes: à Berkine on enregistre deux séquences de deux et de trois jours dont la plus abondante n'a pas dépassé 24 mm, à Guercif-Melloulou quatre séquences, dont la plus longue est de trois jours, totalisant seulement 30 mm.

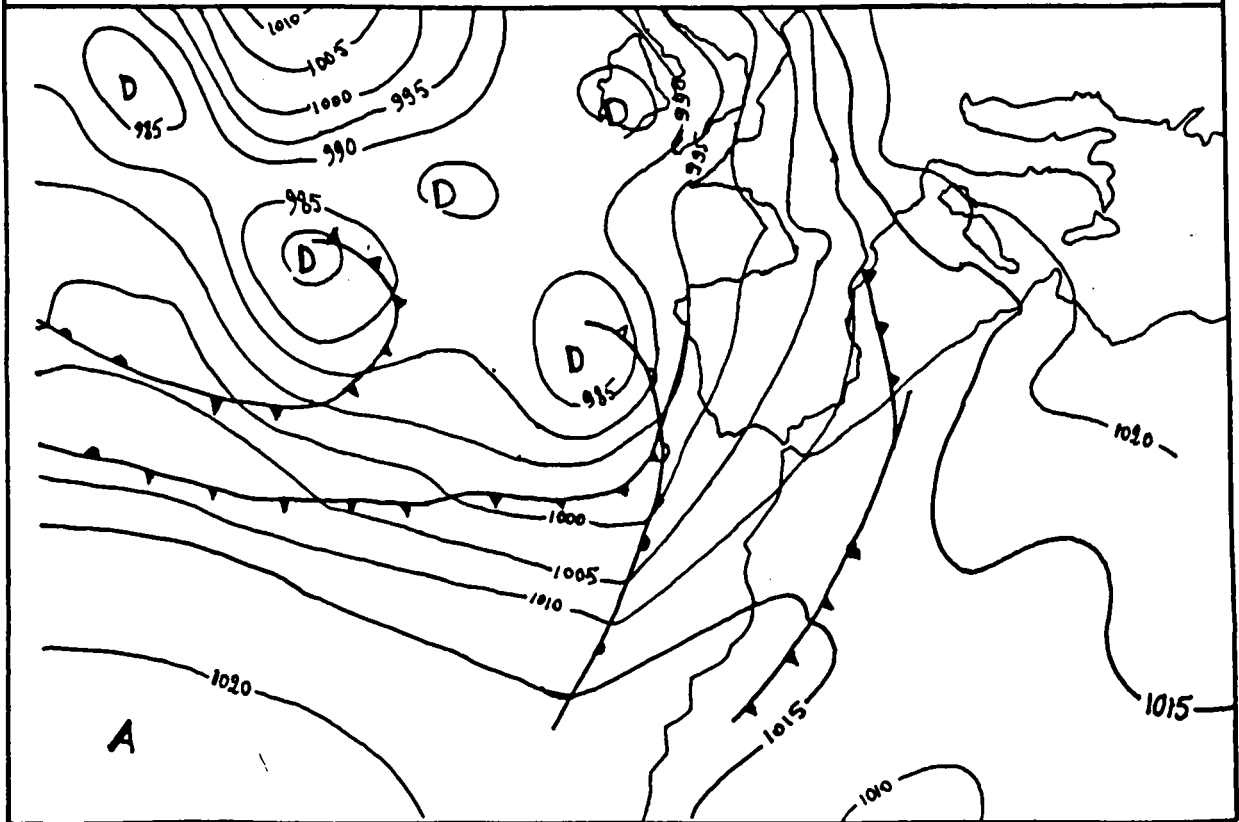
#### \* Caractéristiques

En décomposant l'hydrogramme de la crue on a pu dégager les caractéristiques de cette crue.

La montée de la crue s'est effectuée en deux temps; la première est relative à la première pointe de crue. Elle a duré 12 jours et le rapport entre le débit initial et le débit de la pointe de la crue est de 25 à Guercif. La seconde montée précède la deuxième pointe. Elle a duré trois jours et le rapport entre les deux débits extrêmes est plus faible (5,6).

Comme pour la montée on remarque deux décrues relative à chacune des deux pointes. La représentation de la première décrue, sur papier semi-logarithmique, ne fait apparaître aucune cassure, ce qui laisse supposer que la reprise du débit pour la deuxième pointe a eu lieu avant la fin de la phase de ruissellement. Par contre, la deuxième décrue a permis de décomposer l'écoulement en ses différentes composantes. Ainsi la phase de

Fig. 86 . - Situation atmosphérique du 09.01.1970 au sol à 18h T.U.



ruissellement n'a durée qu'un jour avec un coefficient de décroissance de 0,635. La phase suivante est celle du ressuyage des sols; elle a eu lieu après une légère reprise le 15 mai. Son coefficient de décroissance est de 0,229. Après 4 jours, cette phase est relayée par la vidange des nappes sub-superficielles qui a duré 5 jours et dont le coefficient de décroissance est de 0,096. Le tarissement pur a repris par la suite. Il s'est effectué en deux temps et le coefficient de tarissement calculé pour chacun est respectivement 0,0463 et 0,0158.

#### 4-2-2 CRUES DE MAI 1963

Le mois de mai 1963 a connu deux crues. La première est une crue complexe. Elle s'est manifestée la première semaine du mois. La seconde est la crue historique du 27 mai.

##### \* Evolution (fig.87)

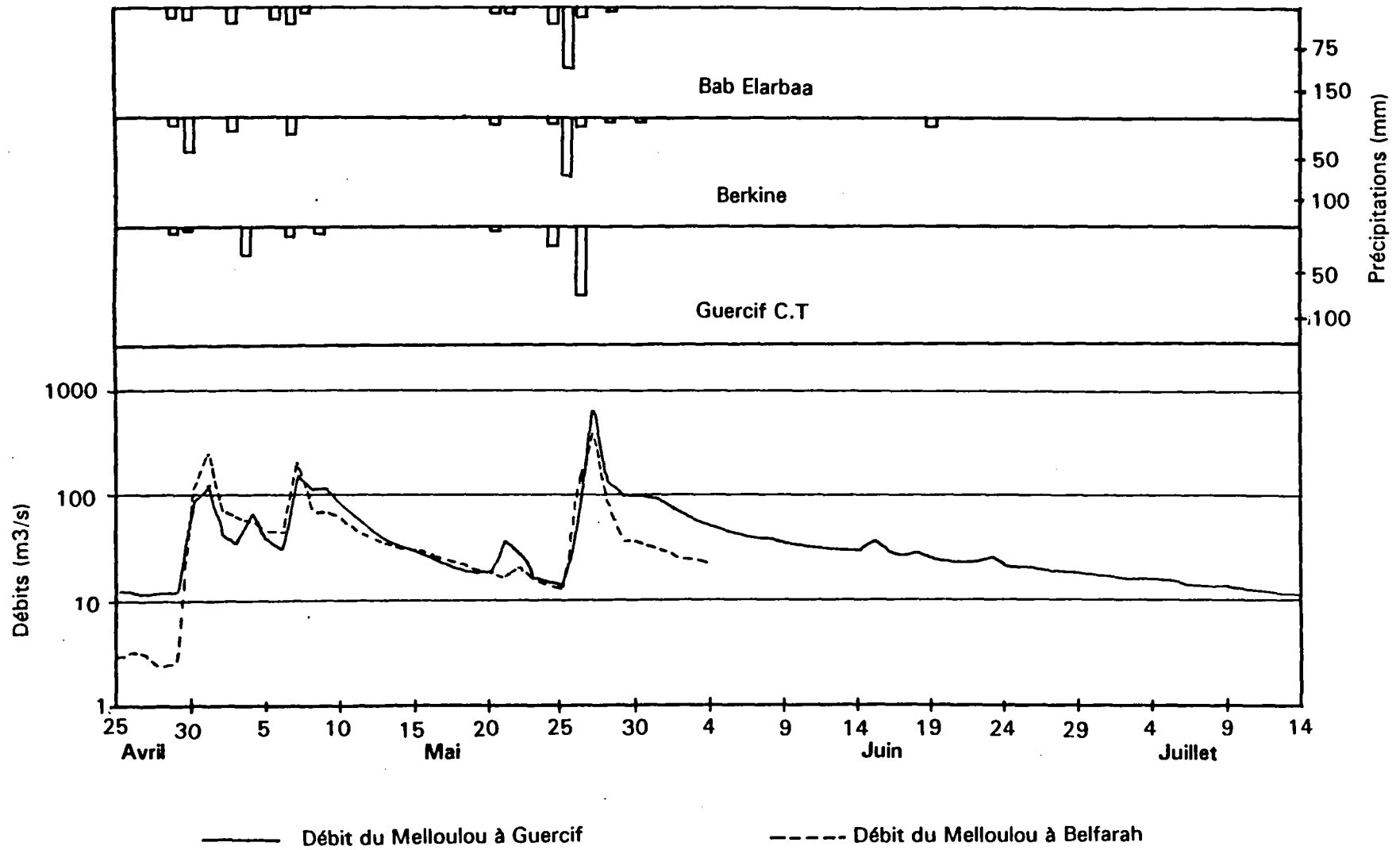
La première crue commence par un débit assez faible: 11,6 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 2,5 m<sup>3</sup>/s à Belfarah le 29 avril. En deux jours le débit passe à 131 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 253 m<sup>3</sup>/s à Belfarah et la crue atteint sa première pointe. Après cette première montée la décrue s'amorce mais elle est interrompue à Guercif par une faible remontée le 4 mai. La seconde pointe de la crue a commencé par 29,2 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 44,3 m<sup>3</sup>/s à Belfarah le 6 mai, elle a atteint son maximum le lendemain avec 149 m<sup>3</sup>/s à Guercif et 213 m<sup>3</sup>/s à Belfarah. A partir du 8 mai cette épisode de crue s'achève et la décrue finale commence. on peut donc remarquer que cette crue est caractérisée par un léger aplatissement de Belfarah vers Guercif.

A l'échelle des données instantanées le seuil de 100 m<sup>3</sup>/s est franchi le 30 avril entre 15h et 16h à Guercif et entre 14h et 15h à Belfarah. Cette montée s'est poursuivie jusqu'à l'atteinte de la première pointe de la crue le 1<sup>er</sup> mai avec 226 m<sup>3</sup>/s entre 2h et 3h à Guercif et 493 m<sup>3</sup>/s à 18h à Belfarah. Après cette pointe la décroissance des débits se poursuit interrompue d'une petite montée le 4 mai à Guercif qui a ramené le débit à 100 m<sup>3</sup>/s entre 10h et 13h. La montée de la deuxième pointe a commencé en début de soirée du 6 mai à Belfarah et à environ 4h à Guercif. Le maximum est atteint entre 7h et 9h à Belfarah avec 473 m<sup>3</sup>/s et à environ 11h à Guercif avec 378 m<sup>3</sup>/s.

La crue du 27 mai est une crue historique. Elle a causé des dégâts importants dans la partie basse de l'agglomération de Guercif en raison de sa concordance avec celle de la Moulouya. Cette crue a débuté par un débit initial de 12,3 m<sup>3</sup>/s à Belfarah et 14,3 m<sup>3</sup>/s à Guercif le 25 mai. La montée de la crue était rapide, en deux jours elle a atteint un débit maximal de 414 m<sup>3</sup>/s à Belfarah et 700 m<sup>3</sup>/s à Guercif le 27 mai. En effet, le rapport entre les deux débits extrêmes de la montée de la crue pour les deux stations est respectivement 34 et 50. A partir du 28 mai la décrue finale commence.

Au niveau des données instantanées cette crue a commencé le 26 mai par un débit très bas: 11,7 m<sup>3</sup>/s à 11h à Belfarah et 14,3 m<sup>3</sup>/s à 7h à Guercif. Le seuil de 100 m<sup>3</sup>/s est

Fig.87. - Crues de mai 1963



dépassé le même jours à 15h à Belfarah et à 21h à Guercif. Le rapport du débit de la pointe et du débit initial de la crue est élevé. Il est de 53 à Belfarah pour un débit de pointe de 623 m<sup>3</sup>/s observé le même jour entre 6h et 12h. A Guercif ce rapport est de 94 pour un débit de pointe de 1340 m<sup>3</sup>/s enregistré à 6h le 27 mai. Après cette pointe, la décrue s'amorce interrompue de quelques montées de faible impact.

#### \* Genèse

Ces deux crues sont dues à une situation très fréquente au printemps (fig. 88 et 89). Le Maroc est sous l'influence d'un front stationnaire lié à la rencontre des retours d'air froid en provenance d'Europe chargé d'humidité après son passage sur la Méditerranée d'une part et l'air provenant de la dépression saharienne d'autre part. Cette situation est accompagnée de pluies durables et parfois orageuses.

Du 26 avril au 8 mai une dépression peu profonde couvrant le Maghreb, attire de l'air froid et instable provenant de la cellule anticyclonique installée sur le proche-atlantique ibérique et la mer du Nord. Ces différentes perturbations ont été accompagnées parfois de pluies orageuses sur le nord du Maroc.

Du 9 au 19 mai la dépression située sur le Maghreb se décale vers l'est et le Maroc se trouve sous l'influence de l'anticyclone des Açores.

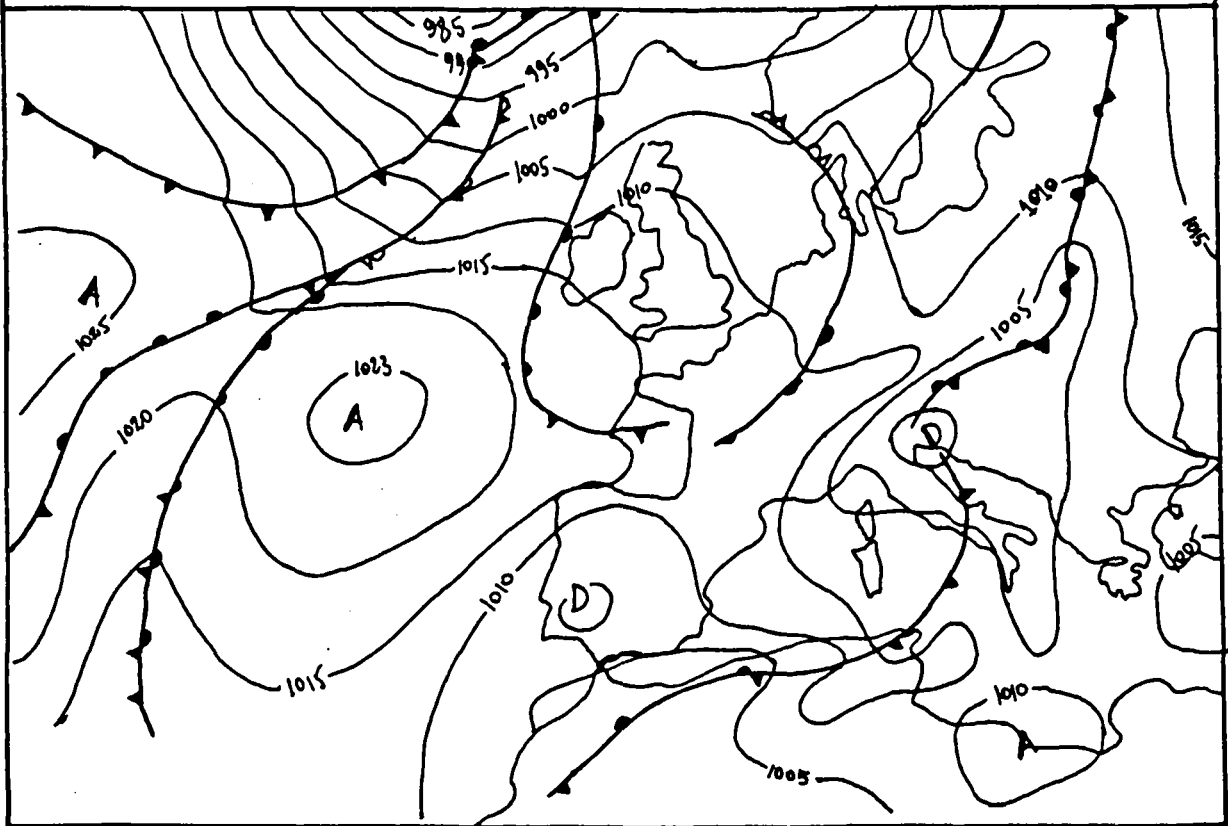
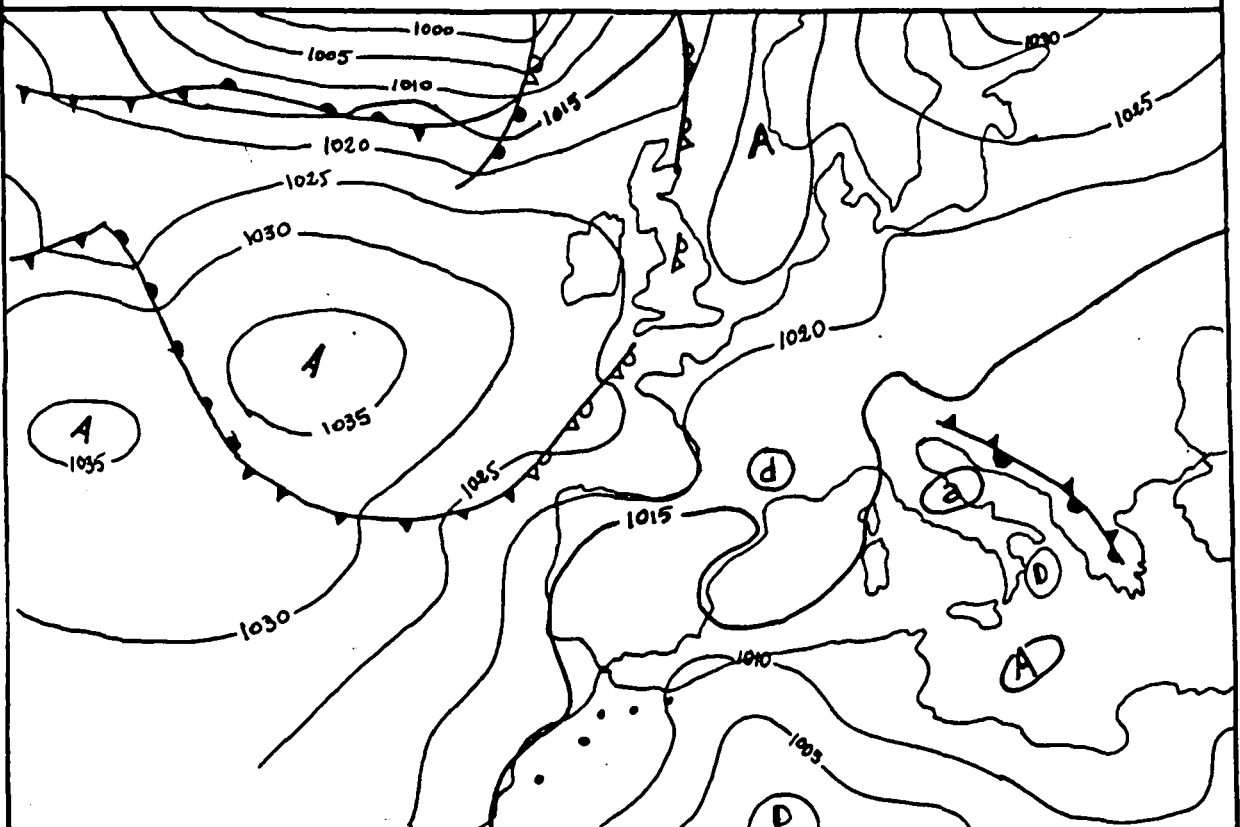
Du 20 au 31 mai et à l'exception du 23 et 24 où le Maroc était sous l'influence de l'anticyclone des Açores, le reste du temps, le pays comme le reste du Maghreb, se trouvait sous l'influence d'une dépression peu profonde favorisant l'installation d'un temps perturbé associé à une cellule anticyclonique au centre de l'atlantique

Le passage des perturbations du 24 avril au 8 mai a donné des pluies dans différentes parties du bassin-versant (fig. 87). D'après les mesures disponibles, la zone nord-ouest du bassin est la plus pluvieuse. A Bab Elarbaa une séquences pluvieuse de deux jours et deux séquences de trois jours ont totalisé respectivement 39 mm, 30,5 mm et 59,4 mm. A Berkine les pluies tombées se répartissent entre deux séquences de un jour totalisant 17 mm et 21 mm et une séquence de deux jours avec 53 mm. Vers l'aval, et à titre indicatif, Guercif C.T. enregistre 67 mm répartis entre trois séquences.

Les pluies dues aux perturbations qui se sont succédées du 20 au 30 mai se répartissent dans le bassin-versant de la même manière que la période précédente (fig. 87). Les hauteurs les plus importantes ont été relevées à Bab Elarbaa avec 183 mm réparties entre trois séquences. Le jours le plus pluvieux à cette station est le 26 mai (la veille de la pointe de la crue) avec 112 mm. A Berkine le total des pluies est de 109 mm et le maximum est enregistré également le 26 avec 71,5 mm. Vers l'aval, à Guercif C.T. le total enregistré pendant cette période est de 104,7 mm avec un maximum de 75 mm le 27 mai.

#### \* Caractéristiques

Les données disponibles à Belfarah nous ont permis d'étudier uniquement la décrue de la première crue à cette station.

**Fig. 88 . - Situation atmosphérique du 03.05.1963 au sol à 18h T.U.****Fig. 89 . - Situation atmosphérique du 26.05.1963 au sol à 18h T.U.**

La durée de montée de la première crue est de deux jours à Guercif. Le rapport entre les deux débits extrêmes de la montée est de 11,3.

La décrue dure environ neuf jours à Guercif et six jours à Belfarah. La durée des trois phases, dans l'ordre, est 2, 2 et 5 jours à Guercif avec un coefficient de décroissance de 0,335, 0,223 et 0,118. A Belfarah la durée de ces phases est 1, 3 et 2 jours le coefficient de décroissance réciproque à chacune est 1,11, 0,19 et 0,109. Une période de tarissement intervient après la décrue, sa durée est de huit jours à Guercif et onze jours à Belfarah. Leurs coefficients est 0,0462 à la première station et 0,085 à la seconde.

La seconde crue a duré treize jours à Guercif dont deux jours de remontée où le débit initial a été multiplié par 50. La décrue s'amorce après une faible reprise le troisième jour. Les trois phases de décrue durent onze jours dont deux jours pour la deuxième phase et huit jours pour la troisième. Pendant la première phase le débit chute en un jour de 700 m<sup>3</sup>/s à 193 m<sup>3</sup>/s soit un coefficient de décroissance de 1,661. La pente de la décrue durant les deux autres phases est plus faible, le coefficient calculé est de 0,328 et 0,112. Le tarissement purement dit prend le relais par la suite. Il se manifeste en deux étapes: la première dure 38 jours avec un coefficient de tarissement de 0,032 et le second s'étale sur 101 jours soit plus de trois mois et son coefficient de tarissement est de 0,01.

### **4-3 VOLUMES DES CRUES**

Après avoir comparé les crues en fonction de leurs débits maximum instantanés et moyens journaliers, l'étude de leurs volumes permettra d'approfondir l'analyse. Dans le cas présent les crues qui ont servi d'exemple d'étude sont reprises. Les volumes bruts et nets sont calculés de la manière suivante:

$$\text{Volume brut} = \sum_1^n Q_{mj} * 86400$$

n est le nombre de jours de la crue

Q<sub>mj</sub> représente les débits moyens journaliers pendant la période de la crue

Le volume net est calculé après séparation de la part de l'écoulement souterrain du reste de l'hydrogramme à l'aide de l'équation:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Q<sub>t</sub> représente le débit à la fin de la décrue

Q<sub>0</sub> est le débit au début de la crue

Après le calcul de α la part de l'écoulement souterrain est estimée et le volume net est déduit.

Les résultats du calcul des volumes des crues prises en compte sont les suivant:



	Le Melloulou à Guercif				Le Melloulou à Belfarah			
	Vol. brut	Vol. net	Vb-Vn (%)	Qmj Max.	Vol. brut	Vol. net	Vb-Vn (%)	Qmj Max.
<b>Crues secondaires</b>								
Oct. 1982	18,7	18,3	2,1	145				
Fév. 1986	125,1	123,9	1	107	136,9	135,8	0,8	91,9
Mars 1986	48,9	31,4	35,8	168	85,4	53,4	37,5	94,1
<b>Crues principales</b>								
Jan. 1970	260,7	210,5	19,3	398				
Mai 1963 (1)	100,2	85	15	149	112,3	110,7	1,4	253
Mai 1963 (2)	136,3	125,8	7,7	700				

*Les volumes sont en millions de m<sup>3</sup>*

Les volumes des crues sont non seulement fonction du débit atteint, mais également de la durée de la crue. Le tableau ci-dessus montre que pour le même débit maximum deux crues peuvent avoir des volumes différents. Ainsi à Guercif le volume de la première crue de mai 1963 est d'environ cinq fois le volume de la crue d'octobre 1982, pourtant le débit maximum de chacune de ces crues est respectivement 149 m<sup>3</sup>/s et 145 m<sup>3</sup>/s. La même constatation est valable pour la crue de février et de mars 1986 à Belfarah.

De même le tableau montre qu'une crue peut avoir un maximum supérieur à une autre tout en ayant un volume inférieur. Le cas de la crue historique de mai 1963 et celle de janvier 1970 à Guercif illustre cela: pour un débit maximum de 700 m<sup>3</sup>/s le volume de la crue historique est deux fois inférieur à celui de la crue de janvier 1970, pourtant, le débit maximum de celle-ci ne dépasse pas 400 m<sup>3</sup>/s. A Belfarah, et pour un débit maximum trois fois supérieur, le volume de la première crue de mai 1963 est inférieur à celui de la crue de février 1986.

Les volumes des crues montrent une grande dispersion des valeurs calculées. Ainsi à Guercif on passe d'environ 18.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> pour la crue d'octobre 1982 à plus de 200.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> pour la crue de janvier 1970.

La comparaison des volumes des crues à Guercif et à Belfarah montre que pour les mêmes crues le volume à cette dernière est supérieur à celui calculé à Guercif.

La différence entre le volume net des crues étudiées et le volume brut est très faible, elle ne dépasse pas 20% sauf pour la crue de mars 1986 où elle approche les 40%.

## **5- ETUDE DES DEBITS MAXIMUM INSTANTANES ET MOYENS JOURNALIERS ANNUELS**

### **5-1 VARIATION DES DEBITS MAXIMUM INSTANTANES ET MOYENS JOURNALIERS ANNUELS**

Le débit maximum maximum instantané annuel a atteint 1340 m<sup>3</sup>/s à Guercif le 27-05-1963 à 6h. Il est suivi en deuxième lieu par le débit de la crue du 15-01-1960: 1110 m<sup>3</sup>/s à 5h. A Belfarah, pour la période considérée, le record est de 625 m<sup>3</sup>/s enregistré le 01-01-1976 à 6h suivi du débit de la crue du 06-01-1977 à 1h qui est de 520 m<sup>3</sup>/s. En revanche, le minimum absolu des débits maximum instantanés est de 52 m<sup>3</sup>/s à Guercif et de 51,5 m<sup>3</sup>/s à Belfarah enregistré respectivement le 20-05-1984 à 18h et le 06-01-1985 à 7h.

Le maximum maximum des débits moyens journaliers annuels à Guercif est celui du 27-05-1963: 700 m<sup>3</sup>/s et le minimum minimum est de 34,7 m<sup>3</sup>/s. A Belfarah les deux valeurs extrêmes sont de 231 m<sup>3</sup>/s le 24-01-1977 et 33,7 m<sup>3</sup>/s le 07-01-1985.

Pour mettre en évidence l'irrégularité des débits maximum annuels instantanés (QMI) et moyens journaliers (QMJ) les coefficient de variations ont été calculés. les résultats figures ci-dessous:

Stations	Période	Coefficient de variation		
		Q I J	Q M J	Module
Belfarah	1975-76/1986-87	0,89	0,67	0,52
Guercif	1955-56/1985-86	0,84	0,87	0,62

Les coefficients de variation calculés pour les débits maximum annuels instantanés et moyens journaliers sont comparables: ils dépassent 0,8 sauf pour les débits maximum moyens journaliers de Belfarah où le coefficient est de 0,67. En comparaison avec ceux des modules moyens annuels la différence est nette: le coefficient de variation de ces dernier est plus faible, il varie de 0,52 à 0,62.

### **5-2 ETUDE FREQUENTIELLE DES DEBITS MAXIMUM INSTANTANES ANNUELS**

L'étude fréquentielle des débits maximum instantanés annuels est très importante. Elle permet d'apprécier l'ordre de grandeur que peut atteindre le débit d'un cours d'eau lors d'une crue cela est d'une grande utilité pour de multiples applications telle que la construction d'ouvrages hydrauliques, car la recherche de la fonction de distribution théorique qui décrit le mieux la distribution des débits maximum instantanés annuels observés, permet d'estimer la crue projet en vue de dimensionner l'ouvrage tout en minimisant le coût. Elle permet également d'estimer la grandeur des crues dans le but de

protéger les riverains. On peut prendre pour exemple la crue historique de mai 1963 qui, en raison de sa conjonction avec celle de la Moulouya, a causé des dégâts dans la partie basse de la ville de Guercif. Suite à cet événement la rive gauche du Melloulou à cette partie de la ville a été élevée et renforcée par une digue (photo.7).

Les débits utilisés dans cette étude sont ceux de la station de Guercif où on dispose d'un échantillon de 31 valeurs pour la période 1955-56/1985-86. La série de Belfarah étant plus courte (12 valeurs) a été écartée.

Pour ajuster les débits maximum instantanés annuels on a choisi la loi de Gumbel (in Dubreuil P.,1974). C'est une loi fréquemment utilisée pour l'ajustement des valeurs extrêmes. Elle a deux paramètres:

- un paramètre d'échelle S appelé également "gradex"
- un paramètre de forme  $Q_0$

L'expression mathématique de cette loi est:

$$f(Q) = e^{-a(Q-Q_0)}$$

Où a est estimée à partir du paramètre d'échelle S:

$$S = 1/a = 0,78 \sigma, \sigma \text{ est l'écart type de l'échantillon}$$

$Q_0$  est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$Q_0 = \bar{Q} - (0,577/a), \bar{Q} \text{ est la moyenne de l'échantillon}$$

La droite d'ajustement de la loi de Gumbel est obtenue par l'équation suivante:

$$U = -\log(-\log(p))$$

P étant la fréquence au non dépassement.

Après le calcul des différents paramètres de l'ajustement à la loi de Gumbel les résultats trouvés sont les suivants:

$$\begin{aligned} S &= 223,81 \\ a &= 0,00447 \\ Q_0 &= 216,94 \end{aligned}$$

L'équation de la droite d'ajustement, par conséquent, est:  $U = 0,00447(Q-216,94)$

La qualité de l'ajustement testée par le test du Khi 2 ( $X^2$ ). Les différentes étapes de l'application de ce test sont exposées ci-dessous:

Classes	$n_j$	$n_{pj}$	$(n_j - n_{pj})^2$	$(n_j - n_{pj})^2 / n_{pj}$
(-) 110,5	3	6,2	10,24	1,67
110,5 - 236,5	10	6,2	14,44	2,33
236,5 - 367,2	7	6,2	0,64	0,1
367,2 - 552,5	6	6,2	0,04	0,007
(+) 552,5	4	6,2	1,44	0,23
			$X^2$	4,337



En comparant le  $\chi^2$  calculé (4,337) avec le  $\chi^2$  théorique lu dans la table de la distribution du  $\chi^2$  (selon de K. Pearson), on remarque que l'adéquation est satisfaisante le  $\chi^2$  calculé à 2 degrés de liberté correspond à une probabilité comprise entre 0,9 et 0,1 d'accepter l'ajustement.

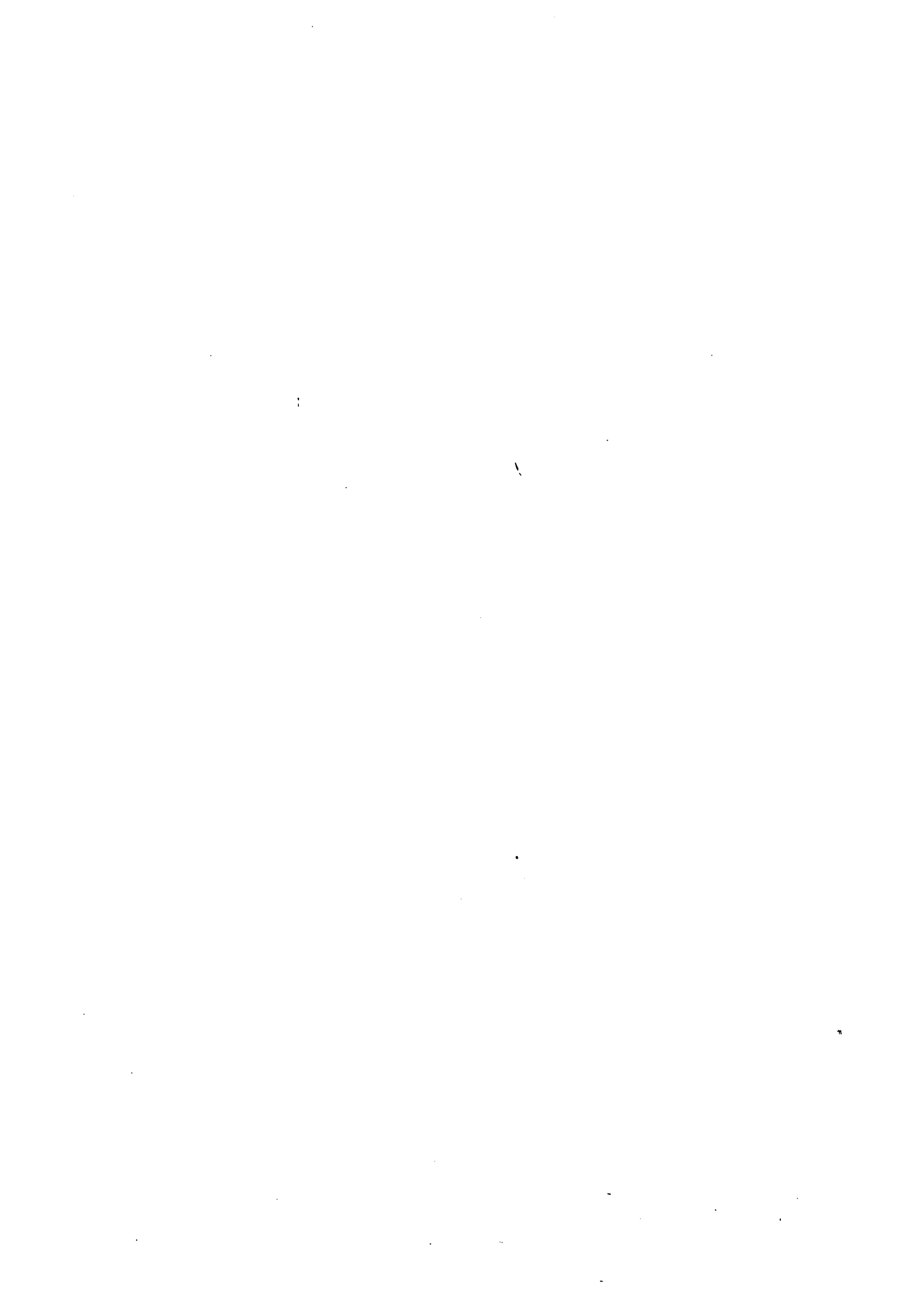
L'ajustement graphique des débits mensuels mensurés annuels sur un papier Gumbel est représenté sur la figure 90. La qualité de l'ajustement est, a priori, satisfaisante pour la globalité des observations, seules les deux valeurs les plus faibles semblent sous-estimées. Mais, étant donné l'influence du niveau d'eau de l'O. Melloulou sur celui de Melloulou, on peut...

**Photo. 7. - La digue protégeant la ville de Guercif des crues de l'oued Melloulou**



Le 20-09-1991

**L'oued Melloulou à la station de Guercif. Cours de l'oued fortement réduit. Au fond de la photo., mur élevé en guise de digue pour protéger la ville de Guercif après les dégâts de la crue du 27-05-1963.**



En comparant le  $X^2$  calculé (4,337) avec le  $X^2$  théorique lu dans la table de la distribution du  $X^2$  (loi de K. Pearson), on remarque que l'adéquation est satisfaisante: le  $X^2$  calculé à 2 degrés de liberté correspond à une probabilité inscrite entre 0,9 et 0,1 d'accepter l'ajustement.

L'ajustement graphique des débits maximum instantanés annuels sur un papier Gumbel est représenté sur la figure 90 La qualité de l'ajustement est, a priori, satisfaisante pour la globalité des observations, seules les deux valeurs les plus fortes semblent sous-estimées. Mais, étant donnée l'influence du niveau d'eau de l'O. Moulouya sur celui du Melloulou, ces deux valeurs paraissent douteuses.

Le calcul des débits maximum instantanés annuels probables pour des périodes de retours de 10, 20, 50, 100 et, à titre indicatif, 1000 ans a fourni les résultats exposés ci-dessous:

Fréquences	U	Période de retour	Q M I estimé (m <sup>3</sup> /s)
0,9	2,25	10	721
0,95	2,97	20	882
0,98	3,9	50	1090
0,99	4,6	100	1246
0,999	6,91	1000	1763

D'après ce tableau la crue millénaire est très importante. Elle correspond à un débit spécifique de 712 l/s/km<sup>2</sup>. Mais, vu la taille de l'échantillon qui ne dépasse pas 31 observations, l'estimation de la crue millénaire peut être compromise par un risque d'erreur important.

La crue centenaire estimée est de 1246 m<sup>3</sup>/s. Elle est légèrement inférieure au débit maximum maximum observé (1340 m<sup>3</sup>/s).

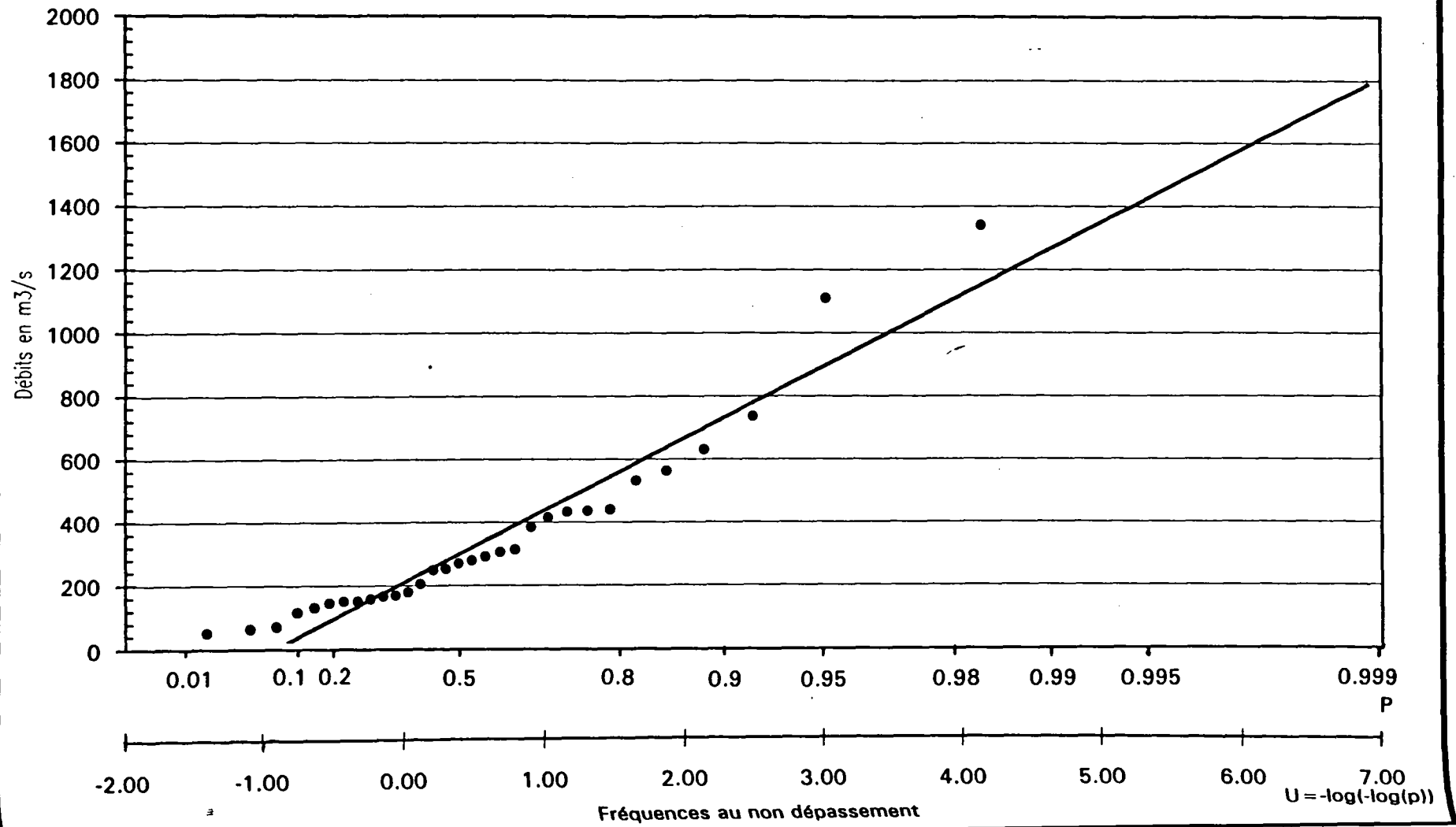
En comparaison avec l'échantillon des valeurs observées, 28 parmi celles ci sont inférieures au débit de la crue décennale qui est de 721 m<sup>3</sup>/s.

### CONCLUSION

*Les crues du Melloulou se manifestent seulement en saison pluvieuse. Leurs caractéristiques et leurs évolutions dépendent de la durée, de l'intensité et de la répartition spatiale des pluies ainsi que de l'état des différents réservoirs avant le début des pluies.*

*L'analyse de la répartition des crues dans le temps montre une grande inégalité. Ainsi à l'échelle interannuelle on a pu distinguer des années avec une grande concentration de crues et d'autres sans aucune crue. A l'échelle mensuelle le scénario est similaire et les crues d'hiver sont dominantes.*

Fig. 90 . - Ajustement des débits maximum instantanés annuels à la loi de Gumbel





*L'étude de quelques cas particuliers de crues a permis de faire quelques remarques.*

*Les crues du Melloulou sont dues généralement aux pluies abondantes de la partie nord-ouest du bassin-versant ou, à défaut, aux pluies de la partie sud-ouest.*

*Les situations atmosphériques responsables des crues sont multiples. Le même type de situation peu donner naissance à des crues différentes aussi bien par leurs caractéristiques que par leur volume.*

*L'ensemble des crues du Melloulou est constitué de crues simples et de crues complexes. Etant donné que la cause principales sont les averses dont bénéficie le bassin-versant, l'hétérogénéité de celui-ci, sa surface importante et l'inégalité de la répartition spatiale des pluies sont supposés être les responsables de la complexité des crues.*

*L'étude statistique des débits maximum montre la brutalité des crues du Melloulou: l'estimation du débit de la crue cinquantenaire dépasse 1000 m<sup>3</sup>/s.*

## **CHAPITRE XI** **ETUDE DE BILANS**

Seulement une partie de l'eau précipitée reçue par le bassin-versant est transformée en écoulement. La partie manquante (nommée déficit d'écoulement) est perdue par évapotranspiration, par infiltration dans le sol ou le sous-sol ou par prélèvement pour différents usages humains. Dans ce chapitre ces différents éléments sont étudiés en relation avec les pluies et l'écoulement au niveau du bilan averse-crue à partir de trois exemples de crues et au niveau du bilan global dressé sur une période de onze ans (1975-76/1985-86).

### **1- BILAN AVERSE-CRUE**

#### **1-1 CHOIX DES CRUES A ETUDIER**

Pour étudier le bilan averse-crue, trois crues sont sélectionnées: crues d'octobre 1982, février 1986 et mars 1986. Ce choix est dicté par trois raisons essentielles:

-Ces trois crues ont eu lieu pendant les années quatre-vingt. Par conséquent, on dispose d'un maximum de points de mesures des pluies. Cela garantira un minimum de connaissance de la répartition du champ pluviométrique.

-La répartition de ces crues dans le temps, permet d'obtenir une crue pour chacune des trois saisons de crues, en l'occurrence l'automne, l'hiver et le printemps.

-Ce choix permet également d'avoir deux crues qui se succèdent à un intervalle de temps d'environ un mois (crues de février et de mars 1986). En effet, cela permettra de comparer le bilan résultant de pluies dans des conditions différentes de recharge des réservoirs du bassin-versant.

#### **1-2 APPORTS PLUVIOMETRIQUES**

##### **1-2-1 TRACÉ DES CARTES ISOHYETES**

Pour établir le tracé du champ pluviométrique relatif aux crues choisies pour l'étude, ont été pris en compte deux éléments essentiels:

-Le gradient pluviométrique: les stations ont été regroupées sous forme de couple, tout en évitant l'existence d'obstacles topographiques séparant les deux stations. Le gradient pluviométrique est calculé par la suite et la pluviométrie est estimée approximativement pour chaque altitude en utilisant un fond topographique du bassin-versant.

-L'organisation du relief qui favorise le passage des masses d'air venant de l'ouest et du nord-ouest grâce aux nombreux cols séparant les hauts sommets du bassin-versant. L'effet de cet aspect est mis également en évidence par Peyre C., (1979) et Nabil L.,

(1985) dans leurs études respectivement sur le massif du Bou Iblane et le haut bassin de Sif ou Lout.

Tenant compte de ces deux éléments essentiels et à partir des hauteurs de pluies enregistrées pendant chaque période pluvieuse, des cartes isohyètes sont établies (fig.91, 92 et 93). Comme on peut le remarquer et par manque d'observation, la station de Ras Elksar rejeté par le test d'homogénéité (voir chapitre III) est utilisée mais seulement à titre indicatif.

### **1-2-2 LAME D'EAU PRECIPITEE, EVALUATION ET DISCUSSION**

Le résultat de la cartographie du champ pluviométrique relatif à chacune des trois crues sélectionnées (fig.91, 92 et 93), nécessite quelques remarques.

-Les hauteurs de pluies enregistrées dans la partie aval du bassin-versant sont assez faibles pour les trois documents.

-Les valeurs de pluie mesurées les plus élevées sont enregistrées dans la partie nord-ouest du bassin, mais les lames d'eau les plus importantes ont été planimétrées dans le bassin-versant de Zobzit sauf pour la carte isohyète de la crue de février 1986.

-Le manque de postes pluviométriques dans la partie séparant les deux lignes montagneuses: J. Ouarirt/J. Nerkibet et J. Bou Iblane/J. Tanout, n'a pas permis de présenter les variations spatiales des pluies avec plus de détail.

Les trois cartes isohyètes ont été planimétrées. Les hauteurs moyennes des pluies sur le bassin-versant sont calculées à l'aide de l'équation suivante (in Llamas J., 1985):

$$p = \left( \sum_{i=1}^k S_i P_i \right) / A$$

$S_i$  est la superficie comprise entre deux courbes isohyètes (i et i+1)

$$P_i = (h_i + h_{i+1})/2$$

$h_i$  est la hauteur des précipitations de l'isohyète i

Le déroulement des calculs et le résultat de l'estimation de la lame d'eau précipitée sont présentés dans le tableau 34. Il en sort que les pluies génératrices de la crue de février 1986 sont plus importantes; la lame d'eau calculée est de 112,6 mm, elle est suivi de celle de la crue de mars 1986 (77,5 mm) et celle de la crue d'octobre 1982 (52,6 mm)

### **1-3 ECOULEMENT: DECOMPOSITION DE L'HYDROGRAMME DES CRUES, PRINCIPE, APPLICATION ET RESULTATS**

La séparation des différentes composantes de l'hydrogramme d'une crue est très difficile. L'une des méthodes les plus utilisées pour résoudre ce problème est représentée sur la figure 94. Elle consiste à tracer une droite entre le point A, point du début de la montée de la crue et le point B, point marquant la fin du ruissellement. Une éventuelle modification peut être apportée à cette méthode en traçant une droite prolongeant la courbe

Fig. 91 . - Carte isohyète de l'épisode pluvieux du 17 au 22 octobre 1982

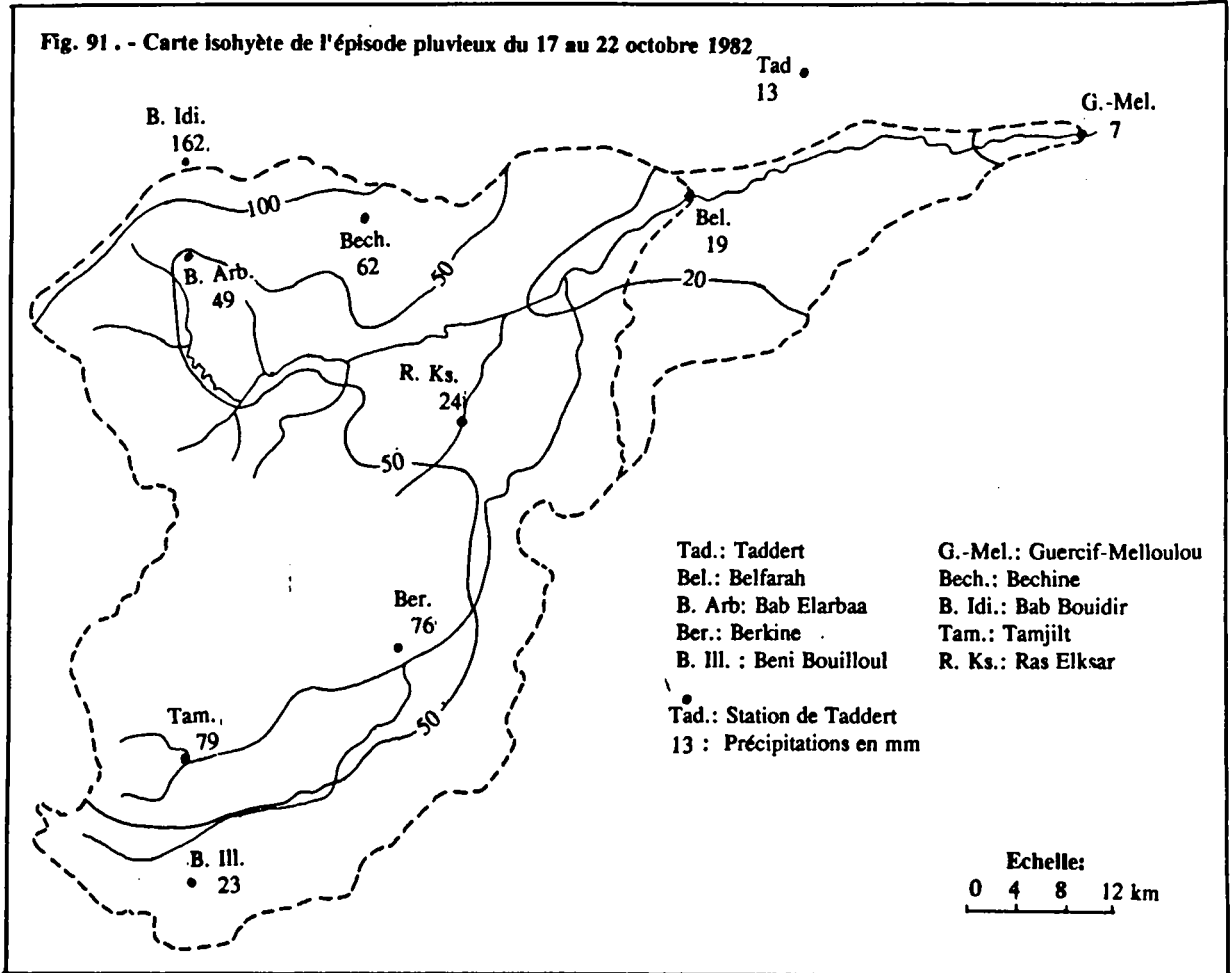
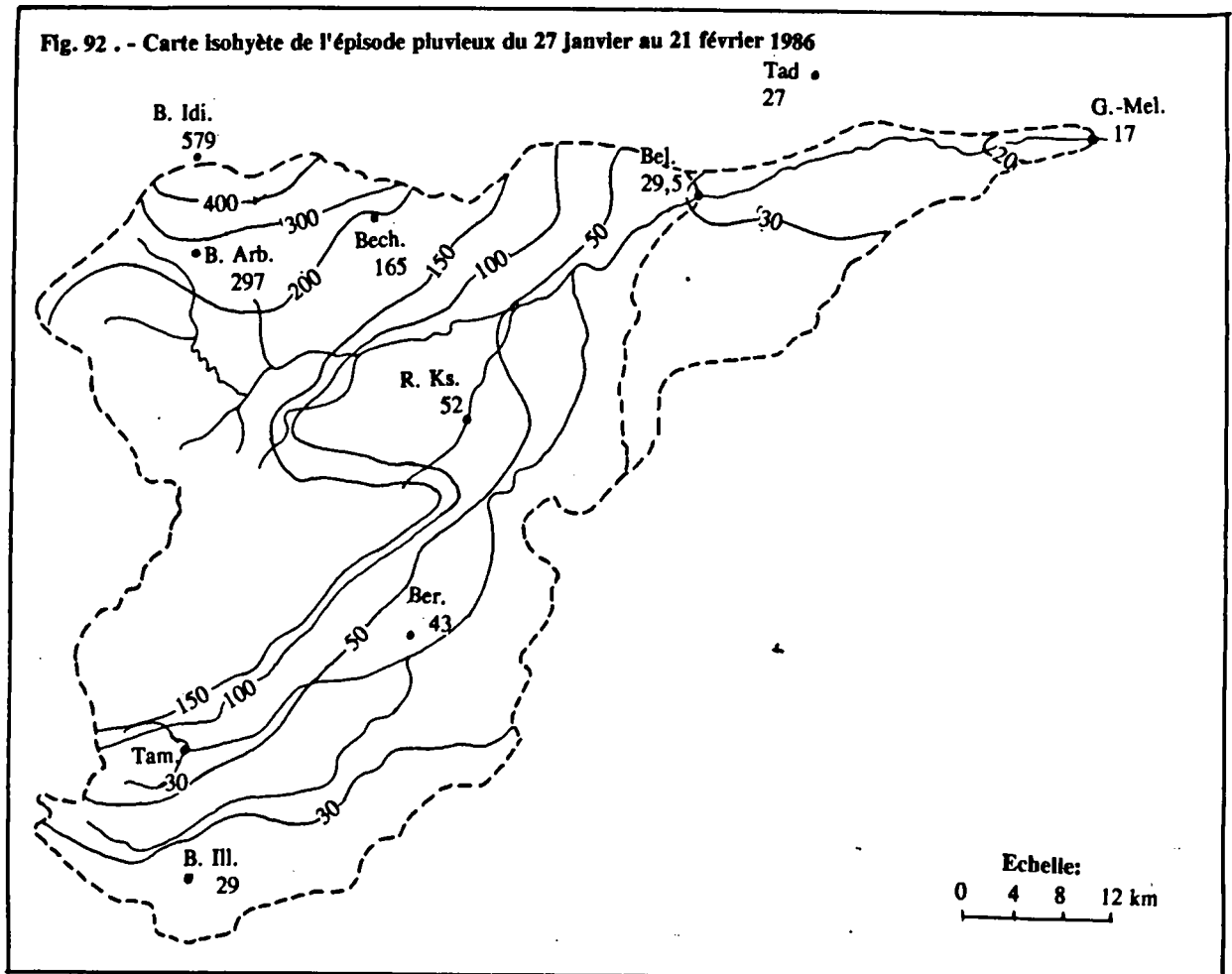
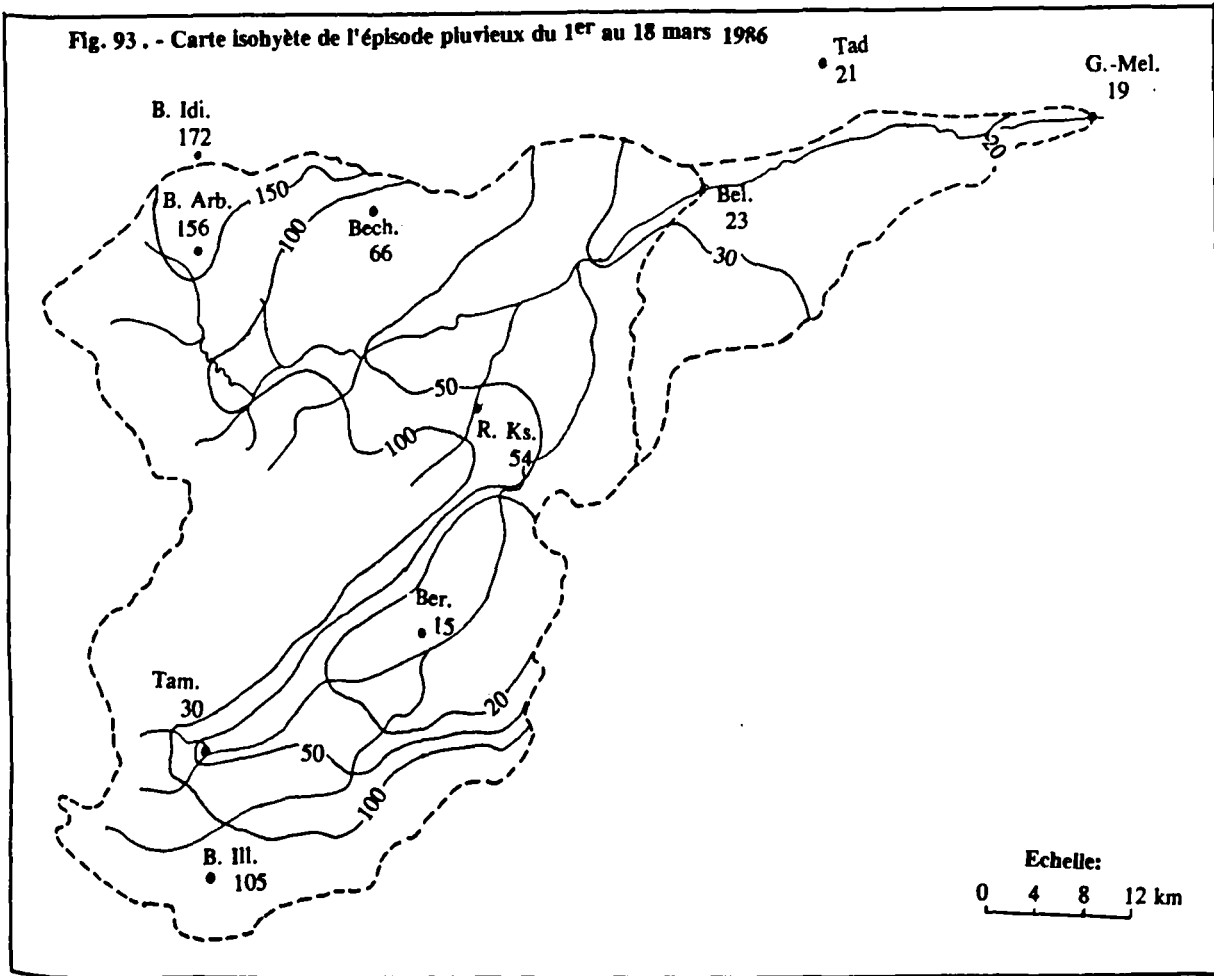


Fig. 92 . - Carte isohyète de l'épisode pluvieux du 27 janvier au 21 février 1986





**Tabl.34. - Lame d'eau précipitée pour les crues d'octobre 1982, février 1986 et mars 1983**

	A l'amont de Guercif			A l'amont de Bellarah		
	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Précipitations moyennes (mm)	Volume en millier de m <sup>3</sup>	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Précipitations moyennes (mm)	Volume en millier de m <sup>3</sup>
<b>Crue d'octobre 1982</b>						
Au-dessous de 10 mm	18	8	146			
10-20 mm	277	15	4157			
20-50 mm	1000	35	34992			
50-100 mm	1133	75	84952			
Au-dessus de 100 mm	48	125	6039			
<b>Total</b>	<b>2476</b>		<b>130284</b>			
Hauteur moyenne des pluies en mm = 52,6			Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 130,3			
<b>Crue de février 1986</b>						
Au-dessous de 20 mm	14	18	249			
20-30 mm	303	25	7572	2	25	49
30-50 mm	672	40	26887	524	40	20959
50-100 mm	327	75	24549	357	75	26743
100-150 mm	120	125	15043	131	125	16387
150-200 mm	875	175	153174	953	175	166859
200-300 mm	94	250	23513	102	250	25613
300-400 mm	38	350	13332	41	350	14523
Au-dessus de 400 mm	32	450	14563	35	450	15864
<b>Total</b>	<b>2476</b>		<b>278882</b>	<b>2146</b>		<b>286997</b>
Hauteur moyenne des pluies en mm = 112,6			Hauteur moyenne des pluies en mm = 133,7			
Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 278,9			Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 287			
<b>Crue de Mars 1986</b>						
Au-dessous de 20 mm	214	18	3860			
20-50 mm	827	35	28959	584	35	20436
50-100 mm	448	75	33567	488	75	36566
100-150 mm	925	125	115685	1008	125	126021
Au-dessus de 150 mm	61	160	9776	67	160	10650
<b>Total</b>	<b>2476</b>		<b>191848</b>	<b>2146</b>		<b>193673</b>
Hauteur moyenne des pluies en mm = 77,5			Hauteur moyenne des pluies en mm = 90,2			
Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 191,8			Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 193,7			

de l'hydrogramme précédant la crue et un point situé à la verticale de la pointe de la crue (C). Après traçage de la droite reliant C et B, la ligne ACB représente la ligne de séparation de la part de l'écoulement souterrain et le ruissellement. Pour les hydrogrammes des crues du Melloulou étudiés, on a distingué antérieurement quatre composantes d'écoulement: le ruissellement direct, le ruissellement différé, l'écoulement des nappes subsuperficielles et l'écoulement souterrain. Mais la séparation entre le ruissellement direct et le ruissellement différé s'est avéré plus délicate surtout pour les deux crues complexes: février et mars 1986. Par conséquent, ces deux composantes de l'écoulement ont été regroupées. La séparation des différentes composantes de l'écoulement est représentée dans les figures 95, 96a et b, 97a et b :

**a) L'écoulement:**

En utilisant la méthode détaillée ci-dessus, l'écoulement est estimé, les résultats ainsi que l'estimation du coefficient d'écoulement sont présentés ci-dessous:

	Amont à Guercif			Amont à Belfarah		
	P.	E.	C.E.	P.	E.	C.E.
Crue d'oct. 1982	130	40	30,8%			
Crue de fév. 1986	279	72	25,8%	287	82	29%
Crue de mars 1986	192	21	10,9%	194	27	14%

*Les valeurs sont exprimées en millions de m<sup>3</sup>*

P. : Lamé d'eau précipitée

E. : Ecoulement

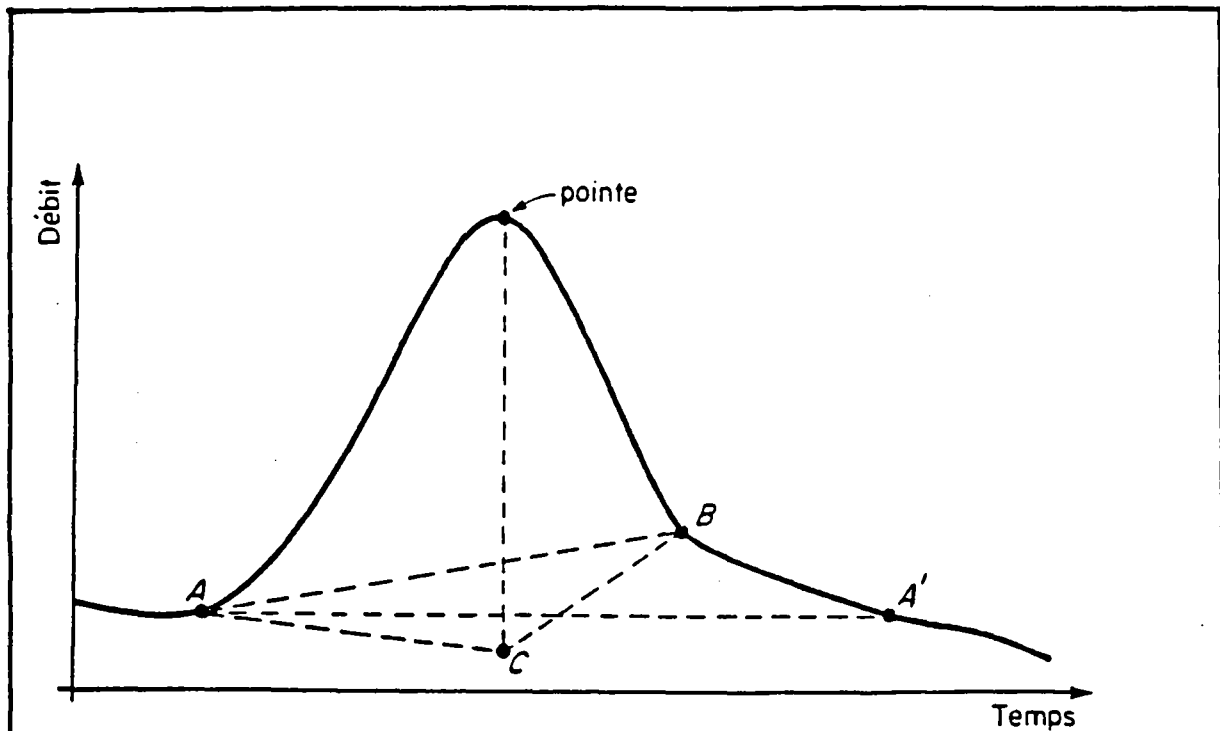
C.E. : Coefficient d'écoulement  $((E./P.) * 100)$

Ce tableau permet de faire quelques remarques:

-La part de l'écoulement à Belfarah est supérieure à celle estimée à Guercif: La différence est de  $10.10^6 \text{ m}^3$  pour la crue de février 1986 et de  $6.10^6 \text{ m}^3$  pour la crue de mars 1986. Cette différence peut être expliquée par l'apport pluviométrique à l'aval de Belfarah.

-L'étude du coefficient d'écoulement révèle une différence de plus du double entre la crue de février 1986 (25,8% à Guercif et 29% à Belfarah) et de la crue de mars 1986 (10,9% à Guercif et 14% à Belfarah).

-En dépit de l'importance des pluies qui ont engendré la crue de mars 1986 à Guercif ( $192.10^6 \text{ m}^3$ ) par rapport à celles de la crue d'octobre 1982 ( $130.10^6 \text{ m}^3$ ) le coefficient d'écoulement est plus important pour cette dernière (30,8%) en comparaison avec celui de la crue de mars 1986 (10,9%). Cette différence peut être expliquée par l'intensité des pluies et leur concentration dans le temps (fig.76 et 82).



D'après Llamas J., (1985)

Fig. 94 . - Méthode simplifiée de séparation de l'écoulement de base

Fig.95. - Décomposition de l'hydrogramme de la crue d'octobre 1982 à Guercif

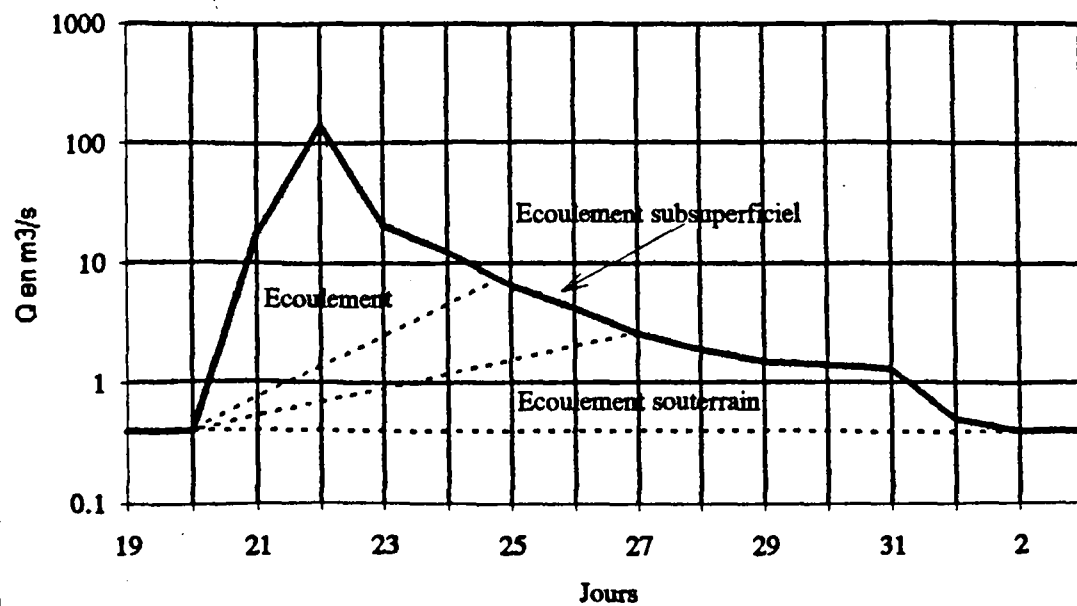


Fig.96. - Décomposition de l'hydrogramme de la crue de février 1986

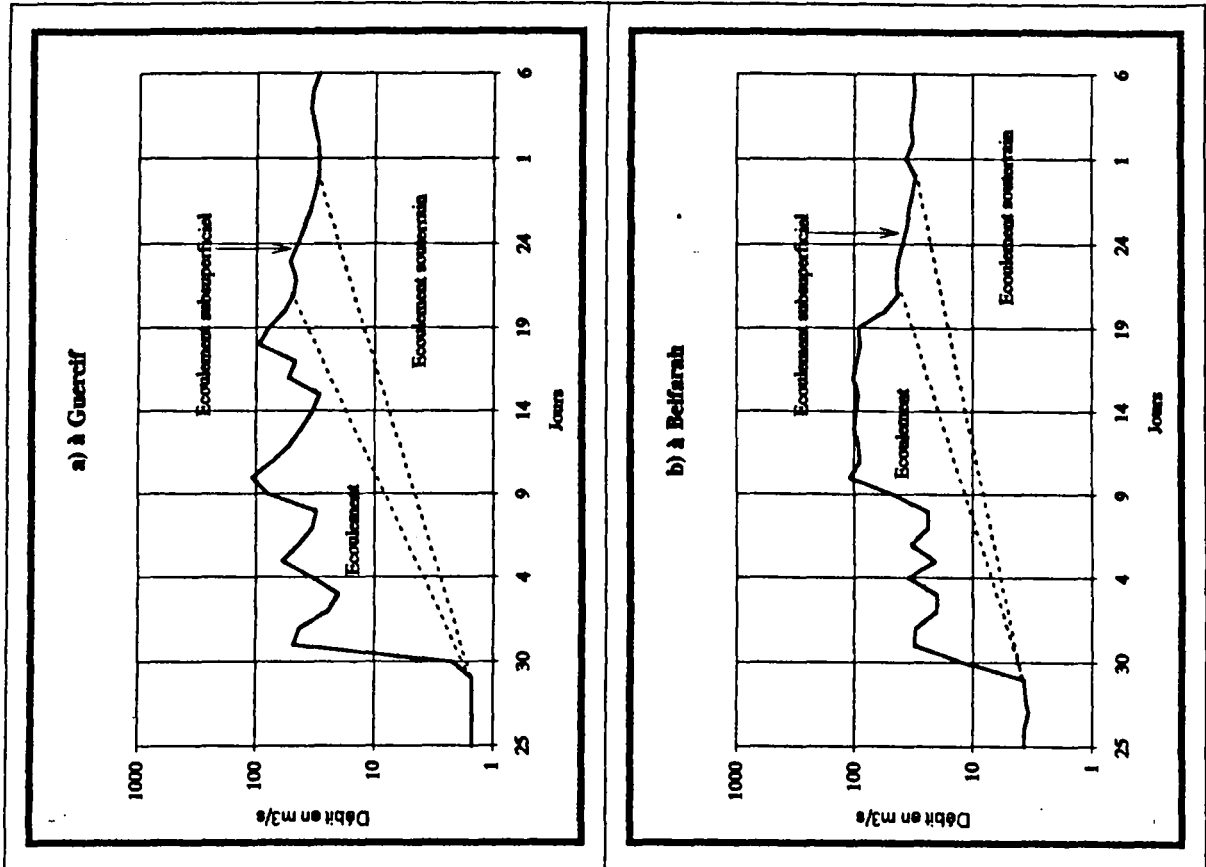
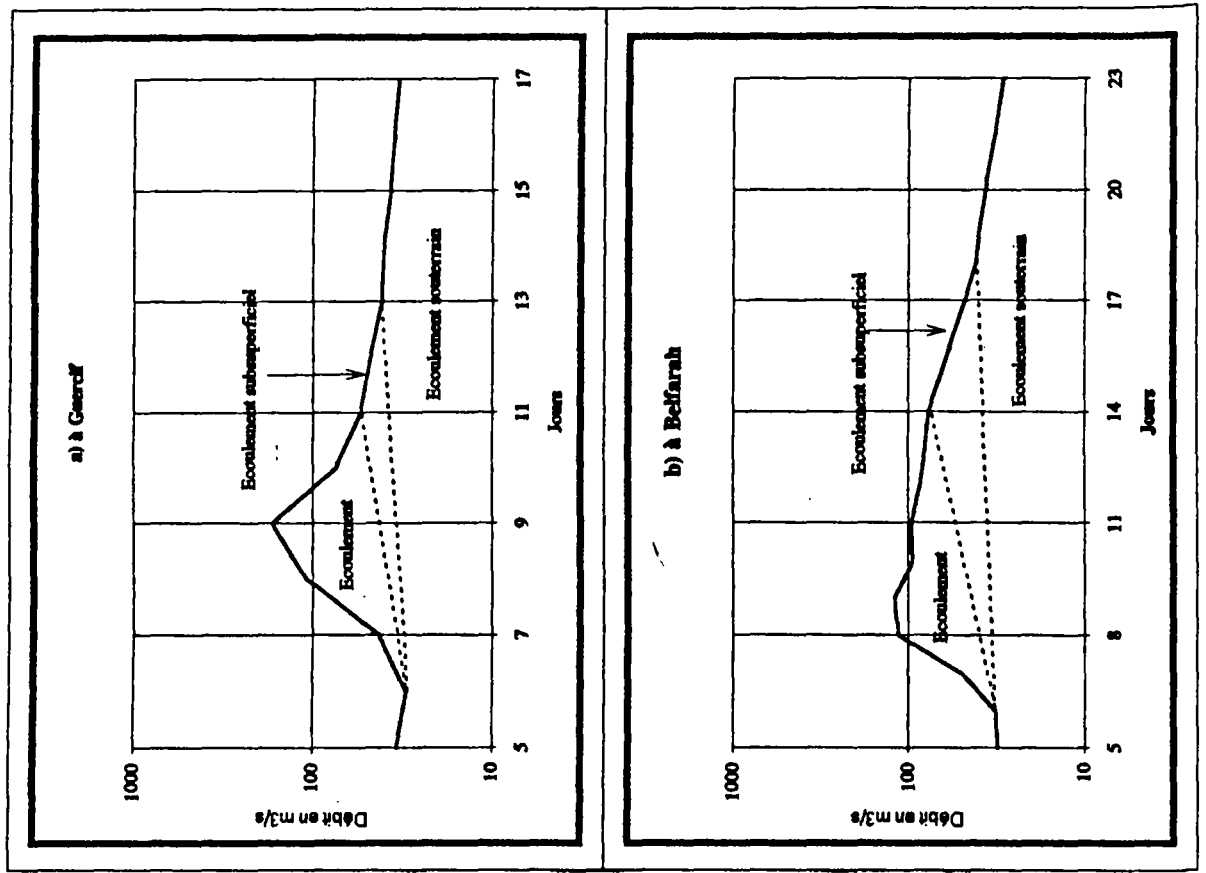


Fig.97. - Décomposition de l'hydrogramme de la crue de mars 1986





**b) L'écoulement subsuperficiel:**

La séparation de la part de l'écoulement subsuperficiel a été réalisée de la même manière que l'écoulement. Les résultats trouvés sont les suivants:

	Amont à Guercif			Amont à Belfarah		
	P.	E.S.	E.S./P	P.	E.S.	E.S./P
Crue d'oct. 1982	130	3,8	2,9%			
Crue de fév. 1986	279	26,2	9,4%	287	20,8	7,3%
Crue de mars 1986	192	3,9	2%	194	15,3	7,9%

*Les valeurs sont exprimées en millions de m<sup>3</sup>*

E.S.: Ecoulement subsuperficiel

La part de l'écoulement des nappes subsuperficielles paraît très faible, elle représente moins de 10% de la lame d'eau précipitée.

**c) L'écoulement souterrain:**

Pour estimer l'écoulement souterrain, on a procédé tout d'abord à:

-estimer la part de l'écoulement souterrain dans l'hydrogramme de la crue tout en veillant à retrancher de celle-ci un débit équivalent au débit initial de la montée de la crue ( $Q_i$ ).

-calculer le volume dynamique à partir de la courbe de tarissement, mais étant donnée que le débit initial de la crue n'est pas nul, le volume dynamique est calculé en intégrant seulement la partie comprise entre le débit initial du tarissement ( $Q_0$ ) et le débit équivalent au  $Q_i$  grâce à l'équation suivante:

$$W = (Q_0 - Q_i) / \alpha * 86400 \text{ (les débits sont exprimés en m}^3\text{/s)}$$

En effet, l'écoulement souterrain est la somme de la part de l'écoulement souterrain d'après l'hydrogramme de la crue et le volume dynamique calculé d'après la courbe de tarissement.

Pour la crue d'octobre 1982 cette méthode n'a pas été appliquée, le débit du Melloulou a trouvé le débit initial de la montée de la crue ( $0,4 \text{ m}^3\text{/s}$ ) treize jours seulement après le début de la crue. En effet, la part de l'écoulement souterrain a été estimée facilement. Elle a révélé un volume de  $964.10^3 \text{ m}^3$ , soit un taux d'infiltration (écoulement souterrain rapporté aux précipitations) de 0,74%.

Quant à la crue de février 1986, la courbe de tarissement n'a pas pu être isolée nettement, par conséquent, elle a été regroupée avec celle de mars 1986 pour faciliter les calculs. L'estimation de l'écoulement souterrain en suivant les étapes décrites ci-dessus révèle un volume de  $199.10^6 \text{ m}^3$  à Guercif soit un taux d'infiltration de 42,3% et  $248,2.10^6 \text{ m}^3$  à Belfarah d'où un taux d'infiltration de 56,3%.

L'estimation de l'écoulement souterrain permet également de calculer la vitesse d'infiltration en rapportant le volume de celle-ci au temps de recharge. Le temps de recharge est supposé continu et équivalent au temps de la vidange des nappes subsuperficielles. Le calcul de cette vitesse montre qu'elle est de 2,1 mm/j à Belfarah et 2,23 mm/j à Guercif.

## **2- BILAN GLOBAL**

Pour tout bassin-versant, l'équation généralement utilisée pour établir un bilan hydrologique pendant un intervalle de temps donné est:

$$P = E + D \pm S$$

P : Apports pluviométriques

S : Variation du stock

E : Ecoulement moyen annuel à l'exutoire

D : Déficit moyen annuel de l'écoulement. Il correspond aux pertes par évapotranspiration réelles et par prélèvement d'eau pour différents usages humain.

Quand le bilan hydrologique est établi sur une longue période, le cycle hydrologique des différents systèmes d'eau est supposé complet. Par conséquent, les variations du stock (S) sont nulles. En effet, la nouvelle écriture de l'équation est:

$$P = E + D$$

Le bilan du bassin-versant du Melloulou a été calculé pour une période de onze ans (1975-76/1985-86). Les résultats obtenus sont exposés ci-dessous:

Melloulou à	P	E	C=E/P	D	D <sub>i</sub>	D <sub>N</sub>	E <sub>N</sub>	C <sub>N</sub>
Belfarah	528,4	119,4	0,23	409	19,1	389,9	138,5	0,26
Guercif	476,8	79,9	0,17	396,9	57,3	339,6	137,2	0,29

*Les valeurs sont exprimées en mm/an*

P : Précipitations

E : Ecoulement

C : Coefficient d'écoulement

D : Déficit d'écoulement

D<sub>i</sub>: Déficit dû aux prélèvements d'eau pour l'irrigation

D<sub>N</sub>: Déficit naturel

E<sub>N</sub>: Ecoulement naturel

C<sub>N</sub>: Coefficient d'écoulement naturel (C<sub>N</sub>=(E+D<sub>i</sub>)/P)

Ce tableau résume l'évaluation des différents termes du bilan hydrologique qu'on peut détailler dans les points suivants:

### a) Les entrées

#### \*Les précipitations:

Le champ pluviométrique du bassin-versant du Melloulou est réalisé à partir des moyennes annuelles calculées sur la période 1975-76/1985-86 (fig.98). Après planimétrie, la lame d'eau précipitée est évaluée (tabl.35). Elle est de 528,4 mm en amont de Belfarah et de 476,8 mm en amont de Guercif, soit respectivement  $1133,8.10^6 \text{ m}^3$  et  $1180,5.10^6 \text{ m}^3$ .

### b) Les sorties

#### \* L'irrigation:

Les prélèvements pour l'irrigation ont été évalués lors de l'étude de l'exploitation des eaux du Melloulou et le choix du débit/seuil pour définir l'étiage. Les chiffres obtenus sont:

-1,5  $\text{m}^3/\text{s}$  pour les périmètres irrigués en amont de Belfarah, soit une lame d'eau annuelle de 19,1 mm.

-3  $\text{m}^3/\text{s}$  pour les périmètres irrigués à l'aval de Belfarah d'où une lame d'eau annuelle de 38,2 mm.

En somme l'irrigation bénéficie au total d'environ 4,5  $\text{m}^3/\text{s}$  soit une lame d'eau annuelle de 57,3 mm.

#### \*L'écoulement à l'exutoire de l'oued:

L'écoulement évalué pour la période 1975-76/1985-86 révèle une lame d'eau de 119,4 mm à Belfarah et 79,9 mm à Guercif, soit un déficit de 39,5 mm entre les deux stations. Ce chiffre est très proche de celui des prélèvements d'eau de l'O. Melloulou pour l'irrigation en aval de Belfarah (38,2 mm).

Le coefficient d'écoulement calculé à partir de l'écoulement et des précipitations est de 0,23 en amont de Belfarah et de 0,17 en amont de Guercif.

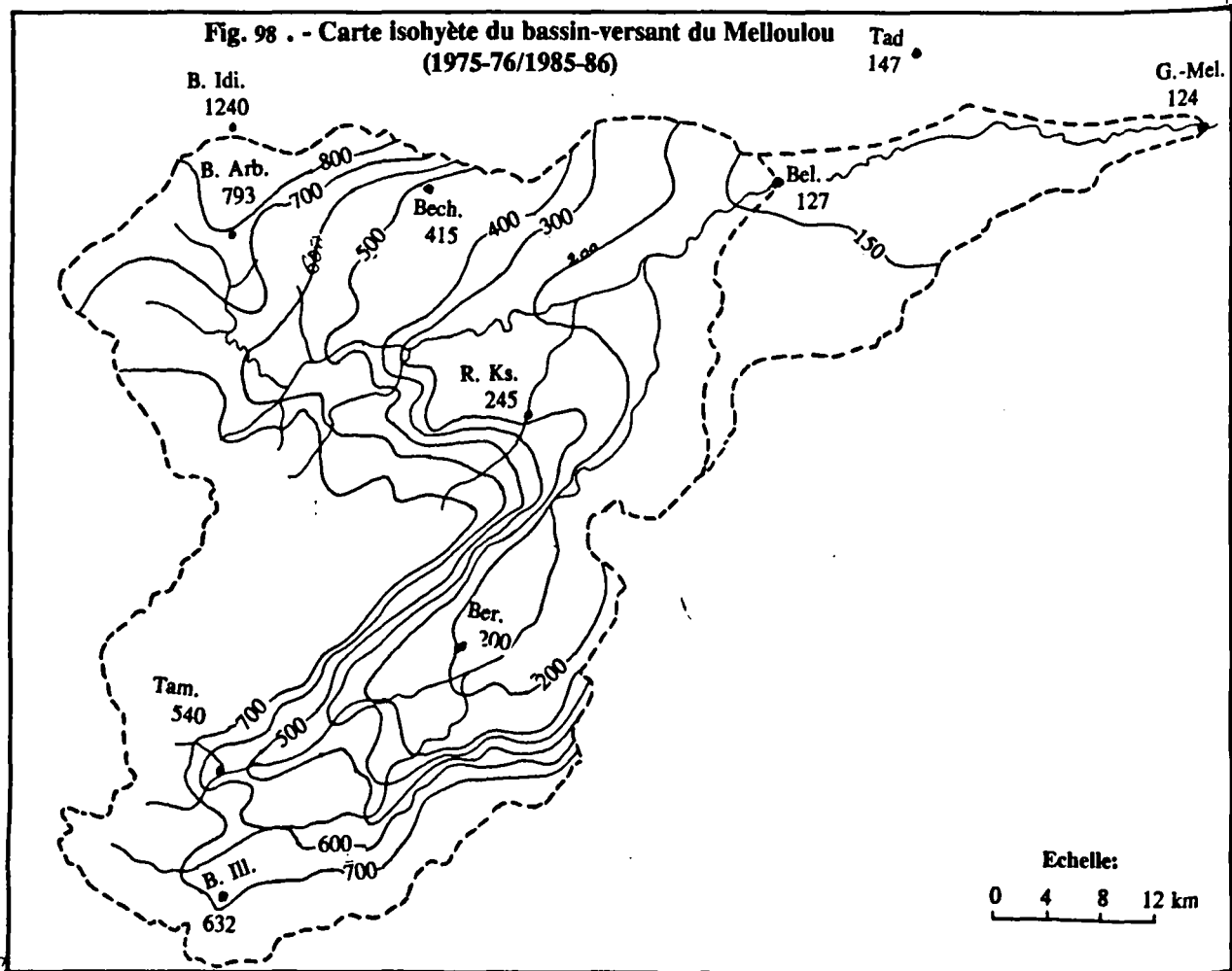
La connaissance des prélèvements d'eau a permis d'évaluer l'écoulement naturel. Celui-ci est de 138,5 mm à Belfarah et 137,2 mm à Guercif. En Effet, le coefficient d'écoulement naturel est de 0,26 à Belfarah et 0,29 à Guercif.

#### \*L'évapotranspiration réelle:

L'évapotranspiration réelle n'a pas pu être évaluée pour le bassin-versant par manque de données et à cause de la difficulté d'extrapolation des résultats obtenus pour les stations de Belfarah et Guercif-Melloulou. Par conséquent, la connaissance des autres termes du bilan a permis d'évaluer celle-ci par déduction. Les valeurs trouvées sont de l'ordre de 390 mm à Belfarah et 340 mm à Guercif, soit  $836,9.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  à la première et  $841,8.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  à la seconde.

## CONCLUSION

*Que ce soit au niveau du bilan averse-crue ou au niveau du bilan global, le déficit de l'écoulement est important: il est généralement supérieur à 70%.*



Tabl.35. - lame d'eau précipitée dans le bassin-versant du Melloulou en amont Belfarah et Guercif (1975-76/1985-86)

	A l'amont de Guercif			A l'amont de Belfarah		
	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Précipitations moyennes (mm)	Volume en millier de m <sup>3</sup>	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Précipitations moyennes (mm)	Volume en millier de m <sup>3</sup>
Au-dessous de 150 mm	191	137	26152	11	137	1484
150-200 mm	449	175	78552	304	175	53190
200-300 mm	279	250	69869	280	250	70086
300-400 mm	110	350	38400	110	350	38519
400-500 mm	187	450	84065	187	450	84326
500-600 mm	206	550	113144	206	550	113495
600-700 mm	277	650	179973	278	650	180532
700-800 mm	729	750	546953	732	750	548650
Au-dessus de 800 mm	48	900	43367	48	900	43502
<b>Total</b>	<b>2476</b>		<b>1180476</b>	<b>2146</b>		<b>1133783</b>
	Hauteur moyenne des pluies en mm = 476,77			Hauteur moyenne des pluies en mm = 528,4		
	Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 1180,5			Apport pluviométrique en millions de m <sup>3</sup> = 1133,8		

*L'irrigation représente environ 15% du déficit global. Cette part est assez faible, mais en se référant au chapitre VIII, l'irrigation intervient intensivement pendant les mois du déficit pluviométrique correspondant généralement à une indigence hydrologique du Melloulou. Par conséquent, la faiblesse des prélèvements pour l'irrigation est surtout due au manque d'eau dans le Melloulou.*



### CONCLUSION GENERALE

L'étude de l'aréométrie a permis de soulever le problème de la délimitation et de l'aire du bassin-versant. En se référant aux cartes topographiques au 1/100.000<sup>ème</sup>, aux photos aériennes et à l'observation directe, les limites du bassin-versant ont été retracées et la superficie, planimétrée, a été évaluée à 2476 km<sup>2</sup>.

Les deux tiers du bassin-versant sont constitués de zones de montagnes dont le contraste topographique est assez accusé. Ainsi, la rugosité du relief et les altitudes très élevées jouent un rôle très important dans la répartition spatiale des apports pluvio-nivaux et leur importance.

Le bassin-versant du Melloulou est constitué de formations géologiques de nature lithologique et de structure très variées. Les formations qui présentent un véritable intérêt hydrogéologique sont liées aux formations calcaires ou à dominante calcaire du Lias et du Dogger et aux formations détritiques du Quaternaire. La majeure partie des apports souterrains à l'écoulement du Melloulou est fournie par le bassin-versant du Zobzit grâce à l'importance de ses réserves.

En dépit de la nature calcaire des réservoirs souterrains, l'hétérogénéité lithologique de leur faciès n'a pas permis le développement d'une importante circulation du type karstique. L'alimentation de ces réservoirs est assurée par les eaux des pluies et de la fusion nivale dont l'influence est assez marquée sur les variations de leurs débits dans le temps. L'étude des régimes des tarissements et des volumes dynamiques a montré cette influence.

La répartition spatiale des espèces végétales reflète les nuances climatiques dans le bassin-versant. Ainsi la partie aval caractérisée par un climat assez sec avec des températures élevées et des pluies très faibles est dotée d'une végétation pauvre et clairsemée constituée de quelques épineux et de quelques arbustes. Vers les hautes montagnes, les températures deviennent plus modérées avec des températures négatives très fréquentes en hiver vers les hautes altitudes. Les formations végétales qui s'y sont développées sont plus humides constituées de chaîne vert mêlé au pin maritime et au cèdre.

L'organisation du réseau hydrographique montre une diminution de la densité de ce réseau de l'amont vers l'aval. Et le faible développement du réseau du cours supérieur du Melloulou par rapport à celui du bassin de Zobzit s'explique par la diversité et l'importance des ressources de celui-ci.

La recherche des facteurs explicatifs de la répartition spatiale des pluies a confirmé le rôle joué par les longitudes qui expliquent 70% de la variance des modules pluviométriques. Elle a aussi montré l'importance de l'influence des altitudes (59% de la variance des modules pluviométriques). L'application d'une régression multiple entre les

longitudes et les altitudes d'une part et les modules pluviométriques d'autre part a montré que ces deux facteurs expliquent 72% de la variance des pluies. L'augmentation de la hauteur des pluies au fur et à mesure que la longitude et l'altitude augmentent a permis de supposer l'existence d'une part de la variance expliquée en commun par les altitudes et les longitudes. Malgré ces résultats très significatifs, la densité très faible du réseau d'observation pluviométrique a compromis l'interpolation de la variance résiduelle par la méthode de krigeage et par la suite la modélisation de la variation spatiale des pluies.

Les régions les plus pluvieuses du bassin-versant sont; dans un premier lieu la région nord-ouest et dans un deuxième lieu la partie sud-ouest. Mais, si l'on ajoute l'importance des apports pluviométriques à l'importance des apports souterrains de cette dernière, on peut considérer, malgré l'absence de mesures directes, que cette région fournit la grande partie de l'écoulement du Melloulou. Par contre, la partie aval du bassin-versant qui a une faible pluviosité (moins de 200 mm/an), est une région d'exploitation intensive des débits du Melloulou.

La position de l'année la plus abondante change d'une série pluviométrique à une autre. L'année la plus indigente est située pendant la période sèche des années quatre-vingt pour toutes les séries. L'étude des coefficients de variation montre que celui-ci varie de 0,2 à Belfarah à 0,62 à Beni Bouilloul.

A l'échelle mensuelle, le maximum pluviométrique est situé en février à Bechine et à Bab Elarbaa, alors qu'à Beni Bouilloul et Tamjilt c'est en octobre et à Guercif-Melloulou, Belfarah et Berkine c'est en avril. Le minimum pluviométrique est situé, selon les stations, en juillet ou août. Les coefficients de variation mensuels calculés pour les différentes séries sont généralement très élevés, les plus importants sont enregistrés pendant la saison sèche.

Le nombre annuel de jours de pluies augmente de l'aval vers l'amont. Ainsi on compte, pour la période 1974-75/1989-90, moins de 35 jours à Guercif-Melloulou et à Belfarah, 55 jours à Tamjilt et 63 jours à Bab Elarbaa.

Les épisodes pluvieux dans le bassin-versant sont généralement de courte durée ainsi les durées de 1 jour constituent 43,6% des épisodes pluvieux à Bab Elarbaa, 56,2% à Tamjilt, et environ 70% à Guercif-Melloulou et à Belfarah.

Les séquences sèches sont très fréquentes dans le bassin du Melloulou. Leur impact est d'autant plus important que leur durée est longue. Le tarissement rapide des réserves souterraines et l'importance des prélèvements pour l'irrigation ajouté à cette sécheresse atmosphérique participent à l'affaiblissement des apports du Melloulou.

En raison des données disponibles, l'intensité pluviométrique à l'échelle des épisodes pluvieux a été étudiée à partir des données journalières. Il en sort une diminution des intensités de l'amont vers l'aval. Ainsi à Bab Elarbaa ce sont les fortes intensités (plus de 10 mm/jour) qui sont les plus fréquentes. A Tamjilt et, dans une moindre mesure, à Belfarah ce sont les intensités de 2,1 mm à 10 mm/jour qui prédominent. A Guercif-

Melloulou les faibles intensités (moins de 2,1 mm/jour) représentent plus de la moitié de l'effectif total (56,5%).

Malgré l'importance du rôle que joue l'enneigement comme facteur d'alimentation et de régulation de l'écoulement, l'absence de mesures n'a pas permis de l'étudier en détail. Pourtant, l'utilisation des éléments disponibles, a aidé à souligner les grands traits de la variabilité des chutes de neige dans le temps et dans l'espace.

La qualité des données thermiques et la longueur des séries d'observation a permis de tracer les grandes lignes de la variation annuelle des températures relative à chaque série d'observation mais elle n'a pas permis de comparer entre les stations et de tirer des conclusions pouvant être extrapolées à l'ensemble du bassin-versant.

La variation des températures mensuelles met en évidence l'existence de deux saisons: une saison chaude qui dure de mai à octobre et une saison froide de novembre à avril.

Le mois le plus chaud est juillet ou août, par contre, le mois le plus froid est janvier sauf à Belfarah où c'est février.

La comparaison entre l'évapotranspiration mesurée par l'évaporimètre Piche et l'E.T.P. calculée par les formules de Thornthwaite, Turc et Penman pour la station de Taza a montré que la meilleure estimation est celle de la formule de Penman. Mais, par manque de données seule la formule de Turc a été appliquée et uniquement sur les données de Belfarah et Guercif-Melloulou. Les résultats obtenus montrent qu'à l'échelle annuelle aussi bien qu'à l'échelle mensuelle l'E.T.P calculée est supérieure aux pluies. Par conséquent, les pluies efficaces sont absentes dans la partie aval du bassin.

L'état des données hydrométriques est satisfaisant. Mais le nombre de stations limité à deux n'a pas permis d'étudier la variation spatiale des apports du Melloulou surtout qu'entre ces deux stations le Melloulou ne reçoit aucun affluents.

Le module du Melloulou à Guercif (1955-56/1985-86) est de 9,6 m<sup>3</sup>/s. Le coefficient de variation des débits annuels est de 0,62, en comparaison avec celui des pluies annuelles calculé à partir des longues séries, (0,3 à 0,5), il est très élevé. Cela est dû en partie à l'intervention de l'exploitation humaine.

L'analyse du débit du Melloulou à l'échelle mensuelle et journalière a permis une fois de plus de mesurer l'irrégularité de son régime et sa grande dépendance des apports atmosphériques. Cette irrégularité est reflétée par Les coefficients mensuels de débit (de 2,26 en avril à 0,14 en août) et par les valeurs des coefficients de variations mensuels qui, à l'exception des mois de mars, avril et juin, dépassent 1. A l'échelle journalière l'irrégularité est plus accusée. Ainsi le débit maximum maximum atteint, pendant les périodes considérées, est de 700 m<sup>3</sup>/s à Guercif et de 231 m<sup>3</sup>/s à Belfarah alors qu'à partir du DC11 le débit s'annule à Guercif et dépasse à peine 1 m<sup>3</sup>/s à Belfarah où l'assèchement total n'a eu lieu que pendant 3 jours durant la période étudiée.



L'activité agricole dans le bassin-versant et dans la partie méridionale de la plaine du Jel s'organise autour des eaux du Melloulou. L'étude de la surface irriguée montre une grande variation de celle-ci. En dehors du facteur économique et démographique, l'immodération des apports du Melloulou est pour beaucoup dans cette variation.

Cette immodération apparaît à travers les valeurs estimées des pluies annuelles et des débits moyens annuels et maximum instantanés annuels. Ainsi après ajustement à des lois théoriques et pour une période de retour cinquantenaire, les valeurs estimées montrent que:

- les pluies en année déficitaire ne dépassent pas 100 mm à Guercif-Melloulou, à Belfarah et à Berkine et 200 mm à Bab Elarbaa. Alors qu'en année abondante les pluies atteignent environ 250 mm à Guercif-Melloulou et à Belfarah, environ 400 mm à Berkine et plus de 1700 mm à Bab Elarbaa.

- les débits annuels, à la station de Guercif, passent de 0,6 m<sup>3</sup>/s en année sèche à plus de 25 m<sup>3</sup>/s en année abondante, soit une lame d'eau écoulée de 318 mm. A l'échelle des débits maximum instantanés annuels l'immodération devient plus importante, ainsi les valeurs estimées dépassent 1100 m<sup>3</sup>/s au-delà de la crue cinquantenaire.

L'étude des étiages a abouti à une définition particulière à l'O. Melloulou en fonction des besoins en eau. L'analyse montre que les besoins sont souvent compromis, et outre la sécheresse estivale habituelle, la manifestation des sécheresses cycliques telle que la sécheresse des années quatre-vingt perturbe amplement l'activité agricole et parfois la bloque pour une longue durée comme c'était le cas lors des périodes d'assèchement du débit du Melloulou.

L'étude des coefficients de tarissements et les volumes dynamiques reflètent une assez grande disparité. Les valeurs obtenues, pour les périodes étudiées, varient de 0,082 à 0,0144 à Guercif et de 0,066 à 0,008 à Belfarah pour les coefficients de tarissement ( $\alpha$ ), et de 134.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à 12,4.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à Guercif et de 189,9.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à 7,21.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à Belfarah pour les volumes dynamiques (W). La corrélation entre les valeurs de  $\alpha$  et W d'une part et les modules moyens annuels du débits à Guercif est bonne. Ainsi les faibles valeurs de  $\alpha$  et les fortes valeurs de W correspondent à des années excédentaires et inversement.

Les crues du Melloulou jouent un rôle important dans le renforcement de son débit. Leur genèse est due principalement aux apports atmosphériques sous forme d'averses inégalement réparties dans le bassin-versant et d'intensités variables. La répartition des crues dans le temps montre plusieurs tendances:

- à l'échelle interannuelle, une opposition entre des années avec un nombre élevée de crues (1963) et des années sans aucune crues,

- à l'échelle mensuelle les mois de forte fréquence de crues sont février et janvier, par contre aucune crue n'est observée de juin à septembre à Guercif et de juin à novembre à Belfarah.

L'étude des caractéristiques des crues a permis de dégager de multiples aspects.

L'ensemble des crues du Melloulou est constitué de crues simples et complexes. Cela s'explique par l'hétérogénéité des caractéristiques physiques et de la répartition spatiale des pluies génératrices des crues.

Le temps de montée des crues est faible; il ne dépasse trois jours que rarement. L'amplitude de la montée est très variable, selon les cas étudiés à chaque station, elle varie de 45,7 m<sup>3</sup>/s à 685,7 m<sup>3</sup>/s à Guercif et de 81,2 m<sup>3</sup>/s à 202,5 m<sup>3</sup>/s à Belfarah.

L'analyse des courbes des décrues a permis d'identifier trois phases de vidange correspondant au ruissellement direct et à la vidange du micro réseau hydrographique, à l'écoulement différé et à la vidange des nappes sub-superficielles. le temps de vidange de chacun de ces réservoirs est variable d'une crues à une autre.

Pour approfondir l'étude des crues, cinq cas ont été sélectionnés en fonction de leurs tailles et de la saison où elles se sont manifestées. Il en sort que ces crues sont dues à des apports pluviométriques dont l'origine est variable selon les saisons. La crue automnale d'octobre 1982 est due à une situation passagère commandée par une dépression locale formée sur la Méditerranée. Les crues hivernale de janvier 1970 et de février 1986 et la crue du début du printemps de mars 1986 sont liées à des situations atmosphériques caractérisées par des descentes d'air froid, instable et perturbé du nord. Les pluies génératrices des crues printanières de mai 1963 ont pour origine la formation d'un front stationnaire sur le Maroc dû à la rencontre d'air froid et humide en provenance de l'Europe et l'air chaud provenant de la dépression saharienne. Cette situation est souvent accompagnée d'orages et de pluies durables.

Les bilans ont été étudiés à deux échelles: à l'échelle averse-crue et à l'échelle globale sur la période 1975-76/1989-90.

Au niveau du bilan averse-crue, trois crues ont été sélectionnées: crue d'octobre 1982, crue de février 1986 et crue de mars 1986. Pour pouvoir évaluer la part de chacun des réservoirs du bassin-versant dans l'écoulement du Melloulou, les hydrogrammes des crues ont été décomposés. Il en résulte:

La confrontation des apports pluviométriques de chacune de ces crues avec la part de l'écoulement qui en résulte montre que le coefficient d'écoulement est très variable d'une crue à une autre. Ainsi on passe de 10,9% (crue de mars 1986) à 30,8% (crue d'octobre 1982) à Guercif et de 14% (crue de mars 1986) à 29% (crue de février 1986) à Belfarah.

La part de l'écoulement subsurface au niveau de Belfarah est plus importante qu'à Guercif. A cette dernière, elle varie, pour les cas étudiés, entre 2% et 9,4%. Par contre, à Belfarah elle est à plus de 7%.

En raison de la difficulté de la séparation de la part de l'écoulement souterrain, les crues de février et mars 1986 ont été regroupées. L'évaluation de l'apport souterrain pour ces deux crues sont de 199.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à Guercif et 248,2.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à Belfarah, soit un taux

d'infiltration respectif de 42,3% et 56,2%. Pour la crue d'octobre 1982 l'écoulement souterrains est très faible, seulement  $964.10^3 \text{ m}^3$  soit un taux d'infiltration de 0,75%.

A l'échelle globale, le bilan hydrologique du Melloulou est analysé pour la période 1975-76/1985-86. L'apport de la pluviométrie est évalué à 528,4 mm/an à Belfarah et 476,8 mm/an à Guercif et l'écoulement à 119,4mm/an à Belfarah et 79,9 mm/an à Guercif. Par conséquent, le coefficient d'écoulement est de 23% à la première station et 17% à la seconde. La connaissance des prélèvements d'eau pour l'irrigation a permis d'évaluer l'écoulement naturel. Ainsi le coefficient d'écoulement naturel est estimé à 26% à Belfarah et 29% à Guercif.

L'étude du déficit d'écoulement entre les deux station a abouti à l'évaluation de celui-ci à 39,5 mm/an. Ce chiffre comparé à celui des prélèvements entre les deux stations (38,2 mm/an) montre qu'ils sont très proches.

A cause du manque et de l'état des données, L'étude de l'évapotranspiration n'a pas abouti à l'estimation de celle-ci. Par conséquent, la connaissance des autres termes du bilan a permis son évaluation par déduction, à 390 mm/an ( $836,9.10^6 \text{ mm}^3/\text{an}$ ) à Belfarah et 340 mm/an ( $841,8.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ) à Guercif.

Enfin, et dans le but d'améliorer la connaissance de l'hydrologie du Melloulou et le climat de son bassin-versant quelques suggestions peuvent être faites notamment:

- le renforcement du réseau d'observation météorologique au moins par une nouvelle station qui représenterait le synclinaux de Tamjout et Tamtroucht,

- assurer le bon fonctionnement des stations d'observation existantes et compléter leur équipement par des appareils de mesure de l'humidité, de l'évaporation, de la température et de l'enneigement,

- l'équipement de l'O. Zobzit d'une station hydrométrique est en cours au niveau de Douar Targa ou Madi (à environ 6 km au NE de Berkine). Par conséquent, la création d'une station sur le cours supérieur du Melloulou serait très utile dans la mesure où elle permettrait une meilleure connaissance de la répartition spatiale des apports hydrométriques et l'évolution de certains phénomènes hydrologiques tels que les crues et les étiages,

- le jaugeage régulier des débits des principales sources du bassin-versant. Cela permettrait de connaître leur dépendance des apports atmosphériques et la part de leurs débits dans l'écoulement du Melloulou.

**TABLE DES TABLEAUX**

Tabl. 1: Répartition en tranches d'altitudes de la surface du bassin-versant du Melloulou à Guercif	10
Tabl. 2: Répartition des stations pluviométriques en fonction des altitudes	36
Tabl. 3: Localisation des stations climatiques et pluviométriques organismes qui les exploitent	36
Tabl. 4: Estimation des valeurs manquantes	42
Tabl. 5: Estimation des valeurs douteuses	42
Tabl. 6: Résultats des corrélations entre module pluviométrique et les facteurs explicatifs de la variabilité spatiale des pluies	53
Tabl. 7: Ecart des pluies annuelles au module pluviométrique (en %)	63
Tabl. 8: Application du test du khi 2 aux ajustements des pluies annuelles de: Guercif-Melloulou, Bab Elarbaa et Berkine	69
Tabl. 9: Etude des paramètres de dispersion et de leur rapports à la moyenne (valeurs en mm)	69
Tabl. 10: Pluies annuelles estimées après ajustement pour différentes période de retour (en mm)	71
Tabl. 11: Régimes pluviométriques moyens mensuels	71
Tabl. 12: Coefficients de variations des pluies mensuelles et annuelles	76
Tabl. 13: Nombre moyen et intensités moyennes des jours pluvieux (1974-75/1989-90)	79
Tabl. 14: Fréquences des épisodes pluvieux annuels (1974-75/1989-90)	81
Tabl. 15: Fréquences des épisodes pluvieux mensuels (1974-75/1989-90)	82
Tabl. 16: Fréquences des séquences sèches annuelles (1974-75/1989-90)	84
Tabl. 17: Fréquences des classes d'intensités pluviométriques en % (1974-75/1989-90)	87
Tabl. 18: Coefficients de variation des températures mensuelles minimales, moyennes et maximales	98

Tabl. 19: Comparaison de l'évapotranspiration mensuelle mesurée et l'ETP mensuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza (1960/1990)	102
Tabl. 20: Comparaison de l'évapotranspiration annuelle mesurée et l'ETP annuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza	102
Tabl. 21: Variations annuelles de l'ETP, l'ETR et les précipitations à Guercif-Melloulou et à Belfarah	104
Tabl. 22: Variations mensuelles de l'ETP, l'ETR et les précipitations à Guercif-Melloulou et à Belfarah	104
Tabl. 23: Régime moyen et régime probable du Melloulou à Guercif (1975-76/1985-86)	114
Tabl. 24: Débits caractéristiques du Melloulou à Belfarah et à Guercif	119
Tabl. 25: Périmètres irrigués du bassin-versant de l'O. Melloulou	124
Tabl. 26: Fréquences des périmètres irrigués classés selon leurs tailles	125
Tabl. 27: Prélèvements pour l'irrigation des périmètres de Guercif et Taddert (l/s)	132
Tabl. 28: Prélèvements d'eau dans l'O. Melloulou pour l'irrigation des périmètres de Guercif et Taddert (en l/s)	133
Tabl. 29: Classes et fréquences des séquences d'étiages	141
Tabl. 30: Etapes et résultats du calcul du coefficient de tarissement (alpha)	144
Tabl. 31: Variations annuelles du volume dynamique	149
Tabl. 32: Caractéristiques des crues du Melloulou	155
Tabl. 33: Les décrues de l'O. Melloulou	160
Tabl. 34: Lame d'eau précipitée pour les crues d'octobre 1982, février 1986 et mars 1986	191
Tabl. 35: Lame d'eau précipitée dans le bassin-versant en amont de Belfarah et Guercif (1975-76/1985-86)	198

**TABLE DES PHOTOGRAPHIES**

Photo. 1. - La vallée de l'oued Melloulou à Khmis Souihla	29
Photo. 2. - Le poste pluviométrique de Guercif C.T.	38
Photo. 3. - Secteur irrigué de Stah Lemghassel	122
Photo. 4. - L'oued Zobzit à douar Aït M'Khaled	122
Photo. 5. - Secteur irrigué de Safsafat Kissaria	128
Photo. 6. - Exemple d'étiage de l'oued Melloulou à Guercif au coeur de l'automne	139
Photo. 7. - La digue protégeant la ville de Guercif des crues de l'oued Melloulou	184

**TABLE DES FIGURES**

Fig. 1: Carte de localisation des bassins-versants de l'oued Moulouya et de l'oued Melloulou	5
Fig. 2: Délimitation du bassin-versant d'après l'annuaire hydrologique	7
Fig. 3: Délimitation du bassin-versant d'après le rapport de l'administration de l'hydraulique	7
Fig. 4: Carte hypsométrique du bassin-versant de l'O. Melloulou	9
Fig. 5: Courbe hypsométrique et histogramme des fréquences altimétriques du bassin-versant du Melloulou à Guercif	10
Fig. 6: Croquis géologique du bassin-versant de l'O. Melloulou	12
Fig. 7: Croquis structural du Moyen-Atlas septentrional plissé	13
Fig. 8: Coupes géologiques à travers le bassin-versant de l'oued Zobzit entre la troisième et la quatrième ride anticlinale	15
Fig. 9: Quelques sources des nappes des calcaires du Lias	21
Fig. 10: Carte du réseau hydrographique du bassin-versant de l'O. Melloulou	26
Fig. 11: Profil longitudinal de l'O. Melloulou et de ses affluents	27
Fig. 12: Profil longitudinal de l'O. Zobzit et de ses affluents	27
Fig. 13: Répartition des stations d'observation pluviométriques et hydrométriques	35
Fig. 14: Etat et longueur des séries d'observations pluviométriques	40
Fig. 15: Estimation de la valeur moyenne des pluies de février 1972 à Belfarah d'après Taddert (période commune 1973/1990)	42
Fig. 16: Contrôle de l'homogénéité des séries pluviométriques par le test du double cumul	44
Fig. 17: Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou d'après: Gaussen H. et Roux G., (1957)	48
Fig. 18: Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou d'après: Zeryouhi I., (1977)	48
Fig. 19: Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou d'après: D.R.E. (1987)	50
Fig. 20: Corrélation des modules pluviométriques annuels et des altitudes réelles (1974-75/1989-90).	54

Fig.21: Corrélation des modules pluviométriques annuels et des altitudes lissées (1974-75/1989-90)	54
Fig.22: Corrélation des modules pluviométriques annuels et des latitudes (1974-75/1989-90)	56
Fig.23: Corrélation des modules pluviométriques annuels et des longitudes (1974-75/1989-90)	56
Fig.24: Corrélation des résidus (pluies/longitude) et des altitudes lissées (1974-75/1989-90)	58
Fig.25: Corrélation des résidus (pluies/longitude) et des latitudes (1974-75/1989-90)	58
Fig.26: Corrélation des résidus (pluies/longitude) et des altitudes réelles (1974-75/1989-90)	59
Fig.27: Variations interannuelles des précipitations à Berkine	62
Fig.28: Variations interannuelles des précipitations à Bab Elarbaa	62
Fig.29: Variations interannuelles des précipitations à Guercif-Melloulou	62
Fig.30: Variations interannuelles des précipitations à Belfarah	62
Fig.31: Variations interannuelles des précipitations à Bechine	65
Fig.32: Variations interannuelles des précipitations à Ras Elksar	65
Fig.33: Variations interannuelles des précipitations à Tamjilt	65
Fig.34: Variations interannuelles des précipitations à Beni Bouilloul	65
Fig.35: Ajustement des pluies annuelles à la loi normale	67
Fig.36: Régime pluviométrique mensuel de Bechine (1974-75/1989-90)	71
Fig.37: Régime pluviométrique mensuel de Beni Bouilloul (1978-79/1989-90)	71
Fig.38: Régime pluviométrique mensuel de Guercif-Melloulou (1967-68/1989-90)	73
Fig.39: Régime pluviométrique mensuel de Belfarah (1967-68/1989-90)	73
Fig.40: Régime pluviométrique mensuel de Bab Elarbaa (1967-68/1989-90)	73
Fig.41: Régime pluviométrique mensuel de Berkine (1967-68/1989-90)	73



Fig.42: Régime pluviométrique mensuel de Tamjilt (1974-75/1989-90)	74
Fig.43: Intensité des pluies quotidiennes à Guercif-Melloulou (1974-75/1989-90)	85
Fig.44: Intensité des pluies quotidiennes à Belfarah (1974-75/1989-90)	85
Fig.45: Intensité des pluies quotidiennes à Bab Elarbaa (1974-75/1989-90)	86
Fig.46: Intensité des pluies quotidiennes à Tamjilt (1974-75/1989-90)	86
Fig.47: Variations annuelles des températures maximales, moyennes et minimales	93
Fig.48: Régime des températures mensuelles de Guercif-Melloulou (1980-1990)	95
Fig.49: Régime des températures mensuelles de Guercif-C.T. (1940-1952)	95
Fig.50: Régime des températures mensuelles de Berkine (1929-1936)	95
Fig.51: Régime des températures mensuelles de Bab Boudir (1942-1951)	95
Fig.52: Régime des températures mensuelles de Belfarah (1983-1990)	96
Fig.53: Comparaison de l'évapotranspiration mensuelle mesurée et de l'ETP mensuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza (1960/1990)	100
Fig.54: Comparaison de l'évapotranspiration annuelle mesurée et de l'ETP annuelle calculée selon Thornthwaite, Turc et Penman à Taza	100
Fig.55: Bilan hydrique mensuel d'après la méthode de Turc à Guercif-Melloulou (1980-1990)	105
Fig.56: Bilan hydrique mensuel d'après la méthode de Turc à Belfarah (1983-1990)	105
Fig.57: Variations interannuelles du débit de l'O. Melloulou à Guercif	110
Fig.58: Ajustement des débits moyens annuels du Melloulou à Guercif à la loi normale (1955-56/1985-86)	111
Fig.59: Ajustement des débits moyens annuels du Melloulou à Guercif à la loi de Galton (1955-56/1985-86)	114
Fig.60: Variations et fréquences des débits moyens mensuels du Melloulou à Guercif (1955-56/1985-86)	117
Fig.61: Débits classées du Melloulou à Guercif	119
Fig.62: Débits classées du Melloulou à Belfarah	119
Fig.63: Périmètre irrigué de Guercif	126

Fig.64: Périmètre irrigué de Taddert	129
Fig.65: Prélèvements d'eau dans le Melloulou pour l'irrigation du périmètre de Taddert d'après les jaugeages du canal de Taddert (1972-1991)	133
Fig.66: Prélèvements d'eau dans le Melloulou pour l'irrigation du périmètre de Guercif d'après les jaugeages du canal de Vigneau (1972-1991)	133
Fig.67: Variations interannuelles des séquences d'étiages de l'O. Melloulou à Belfarah (1975-76/1986-87)	138
Fig.68: Fréquences des séquences d'étiages de l'O. Melloulou à Belfarah (1975-76/1986-87)	142
Fig.69: Variations interannuelles du nombre de jours d'étiages	142
Fig.70: Quelques exemples de courbes de tarissement de l'O. Melloulou à Guercif	145
Fig.71: Corrélation du débit initial du tarissement et du coefficient alpha (station Guercif)	147
Fig.72: Evolution des volumes dynamiques et des débits annuels du Melloulou à Guercif	149
Fig.73: Evolution des volumes dynamiques et des débits annuels du Melloulou à Belfarah	149
Fig.74: Corrélation des volumes dynamiques et des débits annuels du Melloulou à Guercif	150
Fig.75: Les divers caractéristiques de l'hydrogramme-type	156
Fig.76: Crue d'octobre 1982	163
Fig.77: Situation atmosphérique du 20.10.1982 au sol à 0h T.U.	164
Fig.78: Situation atmosphérique du 20.10.1982 en altitude (500 hpa) à 0h T.U.	164
Fig.79: Crue de février 1986	166
Fig.80: Situation atmosphérique du 31.01.1986 au sol à 0h T.U.	168
Fig.81: Situation atmosphérique du 30.01.1986 en altitude (500 hpa) à 12h T.U.	168
Fig.82: Crue de mars 1986	170
Fig.83: Situation atmosphérique du 04.03.1986 au sol à 0h T.U.	171

Fig.84: Situation atmosphérique du 04.03.1986 en altitude (500 hpa) à 12h T.U.	171
Fig.85: Crue de janvier 1970	173
Fig.86: Situation atmosphérique du 09.01.1970 au sol à 18h T.U.	175
Fig.87: Crue de mai 1963	177
Fig.88: Situation atmosphérique du 03.05.1963 au sol à 18h T.U.	179
Fig.89: Situation atmosphérique du 26.05.1963 au sol à 18h T.U.	179
Fig.90: Ajustement des débits maximum instantanés annuels à la loi de Gumbel	186
Fig.91: Carte isohyète de l'épisode pluvieux du 17 au 22 octobre 1982	190
Fig.92: Carte isohyète de l'épisode pluvieux du 27 janvier au 21 février 1986	190
Fig.93: Carte isohyète de l'épisode pluvieux du 1 <sup>er</sup> au 18 mars 1986	191
Fig.94: Méthode simplifiée de séparation de l'écoulement de base	193
Fig.95: Décomposition de l'hydrogramme de la crue d'octobre 1982 à Guercif	193
Fig.96: Décomposition de l'hydrogramme de la crue de février 1986	194
Fig.97: Décomposition de l'hydrogramme de la crue de mars 1986	194
Fig.98: Carte isohyète du bassin-versant du Melloulou (1975-76/1985-86)	198

**DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES**

1) Cartes topographiques au 1/100 000<sup>ème</sup> feuilles:

- \* Berkine
- \* Garcif
- \* M'Soun
- \* Ribat Al Khayr
- \* Taza

2) Cartes topographiques au 1/250 000<sup>ème</sup> feuilles:

- \* Taza
- \* Berkine

2) Cartes topographiques au 1/500 000<sup>ème</sup> feuille d'Oujda.

3) Carte géologique au 1/500 000<sup>ème</sup> feuille d'Oujda.

4) Carte des précipitations du Maroc au 1/500 000<sup>ème</sup>, feuille Oujda. (Gaussen H. et Roux G., 1957).

5) Photos aériennes au 1/17 500<sup>ème</sup> de la mission 770:

- \* N° 27, 28 et 29 de la bande 23.
- \* N° 27, 28 et 29 de la bande 24.

**BIBLIOGRAPHIE:**

- AFKIR E., (1985):** Le bassin-versant de l'Inaouene: caractéristiques climatiques et comportement hydrologique. Contribution à une connaissance climato-hydrologique d'un bassin-versant méditerranéen. Th. 3<sup>ème</sup> cycle, Toulouse le Mirail, 286 p., 85 fig., 34 photos, 7 cartes.
- AGHZAF A., (1985):** Bassin-versant de Tigrighra (Maroc): étude hydrologique. Th. 3<sup>ème</sup> cycle, Toulouse le Mirail, 185 p., 66 illustrations.
- AICHANE M., (1986):** Le bassin-versant de N'Fis à l'amont du barrage Lalla Takerkoust (Haut Atlas, Maroc). Etude de l'écoulement et de ses conditions géographiques dans un bassin-versant méditerranéen montagnard. Th. de 3<sup>ème</sup> cycle, Toulouse le Mirail, 309 p., 76 illustrations, 3 cartes h.t.
- AMBROISE B., (1980):** Structure temporelle des précipitations dans la région de Sultzzeren (Haut-Rhin). Premiers résultats. Rech. Géogr. à Strasbourg, n° 13-14, pp. 85-94, 7 fig.
- ANONYME, (1919):** Recherches préhistoriques dans la région de l'oued M'loulou aux environs de Safsafat (Maroc oriental). Silex taillés de Safsafat. Rev. Géogr. du Maroc, n° 8, pp. 33-59.
- APARICIO J. ET BEREZOWSKY M., (1987):** A mathematical model for unsteady supercritical flow on a mobile sandy bed. Journal des sciences hydrologiques, Vol. 32, n° 3, pp. 313-326, 10 fig.
- ARLERY R., (1970):** Critique des données climatologiques existantes et estimation des valeurs manquantes, particulièrement dans le domaine de la pluviométrie. Soc. hydr. de France, 11<sup>ème</sup> journées de l'hydraulique, question 1, rapport 2, 7 p.
- ARLERY R. GRISOLLET H. ET GUILMET B., (1973):** Climatologie: méthodes et pratiques. Gauthier-Vilars, Paris, 434 p.
- BEAUMONT C-D., (1982):** The analysis of hydrological time series. Progress in physical geography, Vol. 6, n° 1, pp. 60-99, 9 fig., 2 tabl.
- BENBOUZIANE A., (1984):** Stratigraphie et sédimentologie du Lias et du Dogger inférieur du bassin de Guercif (Maroc oriental). Th. de 3<sup>ème</sup> cycle, Lyon I.
- BENICHOU P. ET LE BRETON O., (1987):** Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La Météorologie, 7<sup>ème</sup> série, n° 19, pp. 23-34, 14 fig.
- BERGAOUI M. ET DESBORDS M., (1986):** Etude de la structure spatio-temporelle des pluies à des échelles fines de temps et d'espace. Actes de la 2<sup>ème</sup> journées hydrologique de l'ORSTOM à Montpellier, pp. 240-250, 14 fig.
- BERKALOFF E., (1967):** Limite de la validité des formules courantes de tarissement du débit. Chronique d'hydrogéologie, n° 10, pp. 31-41, 3 fig., 2 tabl.
- BIDAULT G., (1953):** Notes sur le climat du Maroc oriental. Maroc Médical, n° 342, pp. 1135-1146, 5 fig., 7 tabl.
- BOCQUILLON C., MASSON J-M., ET ÖNSOY M. (1980):** Calcul des lames d'eau à partir des relevés pluviométriques ponctuels : Méthode M.T.H. La Météorologie 6<sup>ème</sup> série, n° 20-21, pp. 201-203.
- BOIS P., (1968):** Contribution à l'étude de la variabilité interannuelle des débits des rivières. Recherche des lois de probabilité représentant ces phénomènes. Th. d'état, Grenoble, 97 p., 15 fig., 36 tabl.

Docteur - Ingénieur (P.I.)

- BROCHET P. ET GERBIER N., (1975):** L'évapotranspiration, aspect agroclimatique, évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. Monographie de la Météorologie Nationale, n° 35, 95 p., 13 fig., 8 tabl.
- BRUNET-LE ROUZIC L., (1979):** De la régression et de la corrélation linéaires. Travaux de l'institut de géographie de Reims, n°37, pp. 61-84, 14 fig.
- BRUNET-MORET Y., (1971):** Etude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. Cah. de l'ORSTOM., serv. hydrol., vol. 8, n° 4, pp. 3-31, 8 fig., 3 tabl..
- CALVET C., (1979):** Interprétation hydrique de la notion d'étage de végétation selon L. Emberger: application au Maroc. Bull. Assoc. Géogr. Franç., n° 464, pp. 331-339, 1 fig.
- CANCEILL M. ET MARGAT J., (1978):** Les méthodes de prévision en hydrologie souterraine. Soc. hydr. de France, 15<sup>ème</sup> journées de l'hydraulique, question I, rapport 10, 7 p., 5 fig.
- CARLIER P. ET SIMONOT M.,(1971):** Le bassin de Guercif. Ressources en eau du Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. du Maroc, n° 231, Rabat. T. 1, pp. 261-270, 3 fig.
- CASTANY G., (1967):** Introduction à l'étude des courbes de tarissement. Chronique d'hydrogéologie, n° 10, pp. 23-30, 7 fig.
- CHARRE J., SAINTIGNON M-F., DOUGUEDROIT A. et MARTIN S., (1986):** Modélisation de la variabilité climatique. Rev. Géogr. Alpine, T. 74, n° 1-2, pp. 31-42, 7 fig., 1 tabl.
- CHOISNEL E., (1988):** Estimation de l'évapotranspiration potentielle à partir des données météorologiques. La Météorologie, 7<sup>ème</sup> série, n°23, pp. 19-27, 2 fig.
- CHOISNEL E., (1992):** L'analyse spatiale du bilan hydrique en agrométéorologie. La Météorologie, 7<sup>ème</sup> série, n° 43-44, pp. 31-42, 4 fig.
- COLLETTA B.,(1977):** Evolution tectonique de la partie méridionale du bassin de Guercif (Maroc oriental). Th. 3<sup>ème</sup> cycle, Grenoble, 136 p., 45 fig., 15 photos, 2 cartes h.t.
- COLO G. (1951):** L'Aalénien et le Bajocien inférieur dans la région de Maghraoua (Moyen Atlas septentrional). Notes et Mém. Serv. Géol. du Maroc, n° 83, Rabat, T. 4.
- COLO G., (1961):** Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen-Atlas septentrional. Notes et Mém. Serv. Géol. du Maroc, n° 139, Rabat, 226 p., 29 fig., 1 carte h.t.
- COSANDEY C-M., ET KOBILINSKY A. (1981):** Les relations entre la pluie et le ruissellement dans le bassin de Carnoët (Sud-Finistère, France). Eaux et climats. Mélanges géographiques offert en hommage à Ch.-P. Peguy, pp. 143-156, 5 fig.
- COSANDEY C., (1985):** Conséquences hydrologiques de la variabilité pluviométrique: exemple pris dans le Sud-Finistère. Physio-Géo., n° 12, pp. 35-39.
- COTE M. ET LEGRAS J. (1966):** La variabilité pluviométrique interannuelle au Maroc. Rev. Géogr. du Maroc, n°10, pp.19-29, 5 fig.
- CRAMPON N., (1993):** Effet et conséquences de la sécheresse sur les nappes d'eau souterraines en France et plus particulièrement en aquifères crayeux. Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", Cahier de Géographie Physique de Lille I, n°8, pp. 97-117.
- DACHARRY M. (1971):** Quelques résultats de recherches statistiques et géographiques sur l'adoption d'une année hydrologique dans le bassin de l'Ance du Nord. Bull. Assoc. Géog. Franç., n° 389-390, pp. 303-313, 4 fig.
- DACHARRY M., (1974):** Hydrologie de la Loire en amont de Gien. N.E.L., 2 tomes, 334 p. et 285 p., 105 fig., 91 tabl., 1 carte h.t.

- DACHARRY M., (1975):** Sur le fléchissement des débits estiaux de deux rivières du Massif Central français, la Senouire et l'Allanche, affluent et sous affluent de l'Allier. Rev. Géogr. de l'Est, n° 1-2, pp. 101-112, 5 fig.
- DACHARRY M., (1989):** Des singularités hydrologiques de la Nouvelle-Zélande. Hommes et Terres du Nord, n° 3, pp. 198-203, 3 fig.
- DAVY L., (1975):** Une nouvelle approche de la sécheresse dans le Bassin de l'Ebre. Etude des épisodes secs. Rev. Géogr. de l'Est, n° 1-2, pp. 153-167, 5 fig., 5 tabl.
- DAVY L., (1976):** L'Ebre, étude hydrologique. Th. d'état, Montpellier III, 2 Tomes, 510 p. et 803 p., 56 cartes h.t.
- DAVY L., (1979):** Le point sur la prévision des crues. Bull. Assoc. Géogr. Franç., n° 459, pp. 51-60, 3 fig.
- DE LAGARDE J., (1983):** Initiation à l'analyse des données. DUNOD, Paris, 158 p., 30 fig.
- DELANNOY H., LECOMPTE M., (1975):** Méthode d'étude des régimes thermiques en liaison avec les situations météorologiques dans le Moyen Atlas (Maroc): Exemple de la "ceinture thermique". Bull. Assoc. Géog. Franç., n° 422-423, pp. 83-94, 5 fig.
- DELANNOY H. ET LECOMPTE M., (1980):** Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des précipitations quotidiennes: Un exemple au Maroc. Méditerranée, n°4, pp. 29-36, 2 fig., 4 tabl.
- DELANNOY H. ET DOUGUEDROIT A., (1985):** Application d'un modèle de l'analyse de la variance aux précipitations hivernales du sud-ouest européen et du Maghreb Occidental (1916-1965). Physio-géo., n° 12, pp. 59-65, 5 fig.
- DERGAL A., (1988):** L'oued Ettaifi, étude hydrologique d'un cours d'eau du Rif occidental (Maroc). Th. 3ème cycle, Toulouse le Mirail.
- DIRECTION PROVINCIALE DE L'EQUIPEMENT DE TAZA (D.P.E.), (1984):** Rapport sur la préparation de la campagne de sondages à réaliser à Taddert et Bechyne. (Rapport inédit).
- DIRECTION PROVINCIALE DE L'EQUIPEMENT DE TAZA (D.P.E.), (1985):** Etude hydrogéologique du bassin de Guercif. (Rapport inédit).
- DIRECTION DE LA REGION HYDRAULIQUE (D.R.H.) D'OUJDA, (1985):** Exploitation de l'oued Melloulou résultats d'enquête. (Rapport inédit).
- DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION DE L'EAU (D.R.P.E.), (1987):** Etude du plan directeur du bassin de la Moulouya. Rabat. (Rapport inédit).
- DORIZE L. (1989):** Les précipitations: de la réalité à sa mesure. Physio-géo., n° 19, pp. 85-99, 10 fig.
- DORIZE L., (1993):** Les sécheresses et leur dynamique. Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", Cahier de Géographie Physique de Lille I, n°8, pp. 7-12, 3 fig.
- DROGUE C., (1967):** Essai de détermination des composantes de l'écoulement des sources karstiques. Evaluation de la capacité de rétention par chenaux et fissures. Chronique d'hydrogéologie, n° 10, pp. 43-47, 2 fig., 1 tabl.
- DUBREUIL P., (1974):** Initiation à l'analyse hydrologique. Paris, Masson, 216 p., 40 fig., 22 tabl.
- EK C. ET MATHIEU L., (1963):** Quelques observations sur les effets des pluies violentes de janvier 1963 dans le Moyen Atlas et le Prérif (Maroc). Bull. Soc. Belge d'Etudes Géographiques, T. 32, n° 2, pp. 282-299, 4 fig., 2 photos.

- EL BAY A., (1990):** Recherches sur l'ambiance climatique dans le couloir d'Oujda-Taourirt. Th. 3ème cycle, Toulouse le Mirail, 488 p., 331 fig.
- EMSALEM R., (1958):** Les types de temps des climats chauds. Essai d'étude géographique à grande échelle. Annales de Géographie, n° 364, 67ème année, pp. 481-497, 10 fig.
- EL-OUAFI M., (1993):** Etude des étiages en région crayeuse par l'analyse des tarissements. Application aux bassins de l'Aa, de la Hem, de la Liane et de l'Authie (Nord de la France). Thèse d'Université, Lille I, 284 p., 132 fig., 52 tabl.
- EL FELLAH B., (Thèse d'état en préparation):** Géomorphologie du bassin de Guercif et environnement montagneux avoisinant.
- ESCOURROU G., (1993):** Les besoins en eau des cultures: L'exemple du Maroc. Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", Cahier de Géographie Physique de Lille I, n°8, pp. 172-176, 1 fig., 1 tabl.
- FELLAHI M. ET MORTIER F., (1958):** Découverte de nappes aquifères dans la région de Guercif (Maroc Oriental). Mine et géologie, n°3, Rabat, 3ème trimestre, pp. 38-41.
- FORKASIEWICZ J. ET PALOC H., (1967):** Le régime de tarissement de la Foux de la Vis. Etude préliminaire. Chronique d'hydrogéologie, n° 10, pp. 59-73, 3 fig.
- FRECAUT R., (1975):** Contribution à l'étude statistique des étiages. Application au domaine tempéré océanique. Rev. Géogr. de l'Est, n° 1-2, pp. 89-99, 3 fig.
- FRECAUT R., (1979):** Etiages. Application à l'Afrique occidentale et centre du nord-ouest. Bull. Assoc. Géogr. Franç., n° 459, pp. 61-71, 2 tabl.
- GAZELLE F., (1978):** La grande sécheresse de 1976 dans les pays de l'Agout et leur pourtour. Soc. Hydr. de France, 15ème journées de l'hydraulique, question I, rapport 12, 6 p., 6 fig.
- GHARBI S., (1986):** Le bassin-versant de Ras el Maa: (Maroc). Etude hydrologique. Th. 3ème cycle, Toulouse le Mirail, 218 p., 50 illustration, 24 photos.
- GÖRGENS A. H. M., (1983):** Reliability of calibration of a monthly rainfall-runoff model: the semiaride case. Journal des sciences hydrologiques, Vol. 28, n° 4, pp. 485-498, 6 fig., 4 tabl.
- GRAVIER J. ET WEISROCK A., (1988):** Un exemple d'accident climatique: la sécheresse des années 1975-1984 au Maroc. Actes du colloque d'Aix-en-Provence, pp. 139-148, 8 fig.
- GRIMMEAU J-P., (1981):** Un outil pour l'analyse d'autocorrélation spatiale: la fonction de voisinage critères et algorithme. Travaux de l'institut de géographie de Reims, n° 47, pp. 49-59, 4 fig.
- GUILBOT A., BEDIOT G., MASSON J-M. ET DUCASTELLE C., (1976):** Essai de prévision des étiages de l'Oise à Sempigny. La Houille Blanche, n° 6-7, pp. 549-568, 17 fig., 1 tabl.
- GUILBOT A., GIRARD G. ET THIERRY D., (1978):** Etude de l'efficacité relative et du domaine d'application de différents modèles hydrologiques pour prévoir les étiages. Soc. Hydr. de France, 15ème journées de l'hydraulique, question I, rapport 1, 15 p., 14 fig., 7 tabl.
- GUMBEL E-J., (1959):** Théorie statistique des débits d'étiage. La Houille Blanche, n° 1, pp. 57-65, 5 fig.
- HUMBERT J., (1982):** Cinq années de bilans hydrologiques mensuels sur un petit bassin-versant des hautes Vosges (1976-1980): le bassin du Ringelbach. Rech. Géogr. à Strasbourg, n° 19-21, pp. 105-122, 12 fig., 4 tabl.
- HUMBERT J. ET PAUL P., (1982):** La répartition spatiale des précipitations dans le bassin-versant de la petite Fecht à Sultzzen (Haute-Vosges). Premiers résultats. Rech. Géogr. à Strasbourg, n° 19-21, pp. 93-104, 10 fig.



- ISNARD H., (1958):** La répartition saisonnière des pluies au Maroc. *Ann. Géogr.*, n° 359, pp. 39-42, 4 fig.
- JAHID M., (1992):** Climat et bilan de l'eau: étude des bilans agroclimatiques et de leurs conséquences sur les céréales d'automne dans le nord-est du Maroc. Thèse d'université de Paris X-Nanterre, 3 tomes, 1006 p., 477 fig., 721 tabl.
- JAUFFRET D., (1984):** Géologie des bassins versants et régime de tarissement et d'étiage des cours d'eau de Basse Normandie; application à une évaluation des ressources en eau souterraine (massif armoricain et bassin parisien). Th. 3<sup>ème</sup> cycle, Orléans, 279 p (tome 2, annexes).
- JUNGFER E., (1984):** Problèmes hydrogéographiques d'une zone de steppe aride: manque d'eau et sécheresse au Maroc Oriental. *Mediterranée*, n° 3, pp. 17-26, 5 fig., 2 photos.
- KLEMES V., (1986):** Operational testing of hydrological simulation models. *Journal des sciences hydrologiques*, Vol. 31, n° 1, pp.13-24, 1 fig.
- LAADOUA A., (1993):** La sécheresse au Maroc: L'exemple de Saïs Meknès. Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", *Cahier de Géographie Physique de Lille I*, n°8, pp. 87-96, 6 fig., 4 tabl.
- LAAOUINA A., (1982):** La sécheresse au Maroc et dans les pays riverains du Sahara, aspects climatiques. *Rev. Géogr. du Maroc*, n° 6, n<sup>lle</sup> série, pp. 13-36, 27 fig., 2 tabl., (texte en arabe).
- LABORDE J-P., (1982):** Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques: prise en compte des relations pluviométrie-morphométrie. *La Houille Blanche*, n° 4, pp. 331-338, 12 fig.
- LABORDE J-P., (1984):** Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie: éléments d'hydrologie lorraine. Th. d'état, I.N.P.L./E.N.S.G. Nancy, 484 p.
- LAMBERT R., (1968):** Recherche de la structure hydrologique d'un bassin-versant. *Ann. Géogr.*, n° 424, 77<sup>ème</sup> année, pp. 688-706, 9 fig.
- LAMBERT R., (1975,a):** Recherches hydrologiques dans le sud-est du bassin garonnais. Th. d'état, Toulouse le Mirail, 2 Tomes, 750 p., 247 illustrations.
- LAMBERT R., (1975,b):** Eté, étiage et tarissement des cours d'eau dans le bassin Garonnais. *Rev. Géogr. de l'Est*, n° 1-2, pp. 139-151, 6 fig.
- LANGLE P., (1954):** Contribution à l'étude des sols de la région de Guercif. Les sols du périmètre irrigable de Taddert. *Soc. Scien. Nat. Phys. du Maroc*, travaux de la section pédologie, T. 8 et 9, pp. 3-20, 1 carte h. t.
- LARRAS J., (1972):** Prévision et détermination des étiages et des crues. Paris, Eyrolles, 159 p., 46 fig., 8 tabl.
- LECOMPTE M., (1986):** Biogéographie de la montagne marocaine, le Moyen-Atlas central. Th. d'état, *Mém. doc. géogr.*, éd. C.N.R.S., 202 p.
- LE BRETON A. ET MARTIN S., (1978-79):** Un modèle pour l'étude des séquences climatologiques. Séminaire de statistique, I.R.M.A., Univ. Scien. et Médic. de Grenoble, pp. 3-34, 7 fig., 4 tabl.
- LE GOFF Y., (1985):** Evolution contemporaine de la température au Maroc 1936-1980. *La Météorologie*, 7<sup>ème</sup> série, n° 6, pp. 37-45, 6 fig.
- LE-ROUZIG L., (1981):** Réflexions sur la colinéarité. *Travaux de l'institut de géographie de Reims*, n° 47, pp. 61-74, 8 fig.

- LLAMAS J., (1985):** Hydrologie générale: principes et applications. Morin G., Chicoutimi, Quebec, 487 p.
- LO F-K, (1989):** Estimation des précipitations à partir de l'analyse utilisant le relief pour l'hydrométéorologie (AURELHY). *Physio-géo.*, n° 19, pp. 37-48, 5 fig.
- LOUP J., (1961):** L'Oum Rbia, contribution à l'étude hydrologique d'un fleuve marocain. Th. 3ème cycle, Rabat, 251 p., 35 fig., 56 tabl., 4 cartes h.t.
- MANGIN A., (1970):** Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir de l'analyse des courbes de décrue et tarissement. *Annales de spéléologie*, T. 25, fasc. 3, pp. 582-610, 4 fig.
- MARTIN J., (1975):** Alimentation en eau des périmètres de Guercif et Taddert. Etude hydrologique du projet de renforcement des prélèvements d'eau dans l'O. Melloulou. D.R.E., Rabat, 32 p., 20 fig., 21 tabl. (Rapport inédit).
- MARTIN S., (1980):** Etude des séquences de jours consécutifs secs ou pluvieux dans une zone intra-alpine. Actes du 16ème congrès international de météorologie alpine, 22-27 sept. 1980, Aix-Les-Bains, pp. 221-227, 4 fig.
- MENTRE-HILDENBRAND A., (1986):** Contribution à l'étude des phénomènes hydro-climatiques. Le cas du bassin lorrain de la Meuse. Th. de 3ème cycle, Nancy II, 379 p., 80 fig., 39 tabl.
- MIQUEL J. ET PHUEN BOU PHA B., (1978):** Tempétiage: Un modèle d'estimation des risques d'étiage. Soc. Hydr. de France, 15ème journées de l'hydraulique, question I, rapport 2, 8 p., 8 fig., 2 tabl.
- MIQUEL J., (1984):** Guide pratique d'estimation des probabilités de crues. Ed. Eyrolles, 160 p., 29 fig.
- MOUHDI A., (1993):** Contribution à l'étude des étiages de l'oued Melloulou (Maroc oriental). Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", Cahier de Géographie Physique de Lille I, n°8, pp. 140-151, 7 fig., 2Tabl.
- MUDRY J. ET BLAVOUX B., (1987):** Le tarissement des aquifères karstiques: période non influencée? Bull. du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, n° 7, pp. 193-204, 6 fig.
- NABIL L.,(1985):** Le haut bassin de Sif ou Lout (Moyen Atlas oriental) Maroc. Approche géosystémique d'une montagne méditerranéenne en crise. Th. 3ème cycle, Toulouse le Mirail. 351 p., 38 fig., 11 Tabl., 3 cartes h.t.
- NAJJAR G., (1982):** Méthode de cartographie de l'évapotranspiration journalière en moyenne montagne tempérée. Application au bassin-versant du Ringelbach, (Haute-Vosges). Th. 3ème cycle, Strasbourg (Louis Pasteur), 46 fig., 26 tabl.
- NAPIORKOWSKY J-J., (1986):** Application of volterra series to modelling of rainfall-runoff systems and flow in open channels. *Journal des sciences hydrologiques*, Vol. 31, n°2, pp.187-203, 4 fig.
- NASSILI M., (1982):** Etude structurale de la terminaison nord-occidentale du Moyen Atlas plissé (SW de Merhraoua). Th. 3ème cycle, Rabat, 111 p., 3 cartes h.t.
- NEWSON M-D., (1979):** Hydrology: measurment and application. Mac Millan education, Londres, 57 p., 39 fig.
- NICOD J., (1970):** Essai sur les facteurs du régime des sources karstiques. Actes du 93ème Congrès National des Sociétés Savantes, Tours, 1968, pp. 99-119, 5 fig., 2 tabl.
- NICOD J., (1979):** Eaux souterraines et prévision. Bull. Assoc. Géogr. Franç., n° 459, pp. 51-60, 3 fig.

- NOIN D., (1963):** Types de temps d'été au Maroc. Annales de Géographie, n° 389, 72<sup>ème</sup> année, pp. 1-12, 8 fig.
- OBLED C., (1986):** Introduction au krigeage à l'usage des hydrologues. Actes de la 2<sup>ème</sup> journées de l'ORSTOM à Montpellier, pp. 174-222, 22 fig.
- OBERLIN G., (1978):** L'E.T.R. en hydrologie. Soc. hydr. de France, 15<sup>ème</sup> journées de l'hydraulique, question I, rapport 4, 12 p., 3 fig., 1 tabl.
- ÖNSOY H. ET BOCQUILLON C., (1980):** Interprétation de variables régionales et cartographie automatique: modèle triangulaire hydrologique (M.T.H.). Bulletin des Sciences Hydrologiques, vol. 25, n° 3, pp. 297-306, 5 fig.
- PAGNEY P., (1993):** La sécheresse météorologique: essai sur un concept global des bilans d'eau et sur une approche globale de la dynamique de l'atmosphère. Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", Cahier de Géographie Physique de Lille I, n°8, pp. 13-29, 3 fig., 2 tabl.
- PARDE M., (1960):** Les facteurs des régimes fluviaux. Norois, 7<sup>ème</sup> année, n° 27, pp. 245-271.
- PARREL J., (1965):** Contribution à l'étude hydrologique du bassin de la Moulouya. O. N. I., Service des ressources en eau, Rabat, 44 p., 55 tabl.
- PEDELABORDE P., (1982):** Introduction à l'étude scientifique du climat. SEDES, Paris, 353 p., 204 fig.
- PEIGNEGUY J., (1970):** La crue de Sebou de décembre 1969 janvier 1970. Rev. Géogr. du Maroc, n° 17, pp. 125-133, 5 fig., 3 tabl.
- PETTIT-RENAUD G., (1980,a):** Analyse des précipitations de 1 à 6 jours dans la région Nord-Pas-de-Calais (relations hauteur-durée-fréquence). S.R.A.E., Nord-Pas-de-Calais, 7p.
- PETTIT-RENAUD G., (1980,b):** Les principaux aspects de la variabilité des précipitations dans le nord de la France. Rech. Géogr. à Strasbourg, n° 13-14, pp. 31-38, 4 fig., 3 tabl.
- PETTIT-RENAUD G., (1986):** L'analyse des séries chronologiques en climatologie: problèmes et méthodes. Brouillons Dupont, n° 14, pp. 26-40, 7 fig.
- PEYRE C., (1979):** Recherches sur l'étagement de la végétation dans le massif du Bou Iblane (Moyen-Atlas oriental, Maroc). Th. 3<sup>ème</sup> cycle, Aix Marseille III, 149 p., 7 tabl.
- PEYRON M., (1980):** Les chutes de neige dans l'Atlas marocain. Rev. Géogr. Alpine, T. 68, n° 3, pp. 237-254, 6 fig.
- PUJOS A., (1963):** Répartition de la végétation dans le Moyen-Atlas. Ecologie et régénération de la cédraie. Rev. Géogr. du Maroc, n° 3-4, 1963, pp. 123-131.
- RANDET J. ET CAZALE H., (1953):** Les masses d'air au Maroc et son climat. Maroc Médical, n° 342, pp. 1154-1162.
- RAYNAL R., (1961):** Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental): Etude géomorphologique. Th. d'état, 617 p., 75 fig., 50 photos, Rabat.
- REMENIERAS G., (1986):** L'hydrologie de l'ingénieur. Ed. Eyrolles, Paris, 456 p., 188 fig., 43 tabl.
- RIOU C., (1981):** Note sur la détermination du rayonnement atmosphérique en Tunisie et ses conséquences sur le calcul de l'évaporation. La Météorologie, 6<sup>ème</sup> série, pp. 15-18.
- ROCHE H., (1963):** Hydrologie de surface. Gauthier-Villars éditeur, Paris, 440 p., 204 fig., 57 tabl.
- ROCHE M-F., (1986):** Dictionnaire français d'hydrologie de surface. Masson, Paris, 288p.

- ROUSSEL I., (1989):** Recherches et méthodes pour la détermination des averses. *Physio-géo.*, n° 19, pp. 55-68, 9 fig.
- RUFFRAY P., BRISSE H. et GRANJEAN G., (1981):** Un procédé d'estimation des données manquantes fondé sur les corrélations climatiques entre postes voisins. *La Météorologie*, 6<sup>ème</sup> série, n° 24, pp. 44-59, 5 fig., 4 tabl.
- SBAÏ A. ET LAADOUA A., (1988):** Etude de la variabilité de la sécheresse à Oujda. Colloque- La ville d'Oujda depuis la fondation jusqu'à nos jours, 9 fig., 6 tabl.
- SBAÏ A., MOUHDI A. et EL-OUAFI M., (1993):** Régimes des tarissements du Suran (Jura méridional, France). A paraître in *Bull. du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel*.
- SCHERER J-C., (1977):** Une méthode d'extrapolation dans l'espace de données pluviométriques moyennes. Application à une partie des Vosges et leur bordure. *Rech. Géogr. à Strasbourg*, n° 4, pp. 69-85, 5 fig.
- SIRCOULON J., (1976):** La récente sécheresse des régions sahéliennes. *La Houille Blanche*, n° 6-7, pp. 537-548, 15 fig., 3 tabl.
- SOMET (1971):** Etude générale des potentialités hydrauliques du bassin-versant de l'O. Moulouya. M.A.R.A., direction de la mise en valeur, Rabat, (Rapport inédit).
- TAYARA Z., (1991):** Etude hydro-pluviométrique comparative des bassins-versants de la région côtière intermédiaire du Liban (le Damour, l'Awali-Bisri, le Saïniq et le Zahrani). Th. d'université, Lille I, 2 tomes, 253 p. et 155 p., 83 fig., 85 tabl.
- TIERCELIN J-R., (1971):** Modèles d'étiage. *La Houille Blanche*, n° 3, pp. 225-230, 5 fig.
- TRZPIT J-P., (1993):** Une constante des bilan d'eau: l'évaluation problématique de la demande introduite par le climat. Journée d'étude sur "La notion de sécheresse à travers les différents éléments de l'hydrosystème: des conditions météorologique au manque d'eau.", *Cahier de Géographie Physique de Lille I*, n°8, pp. 55-88, 7 fig.
- TURC L., (1961):** Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour. *Ann. Agron.*, T. 12, pp. 13-49.
- TURC L. ET TRZPIT J-P., (1985):** Les bilans d'eau: un thème de recherche fondamental pour la climatologie écologique. *Physio-géo.*, n° 12, pp. 41-57, 3 fig.
- UNESCO (1976):** Répertoire mondial des très fortes crues. Ed. UNESCO, Paris.
- VEYRE P., (1975):** Etiages dans le bassin de l'Indrois (Touraine). *Rev. Géogr. de l'Est*, n° 1-2, pp. 131-138, 2 fig.
- VIVIAN H., (1979):** La prévision des débits en bassins montagneux. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, n° 459, pp. 81-91.
- WILBERT J., (1955-56):** Contribution à l'étude des sols de la plaine de Guercif. Les sols du périmètre de Guercif. *Soc. Scien. Nat. Phys. du Maroc*, travaux de la section pédologie, T. 10-11, année 1955 et 1956, pp. 105-115, 1 carte h. t..
- XIA JUN, (1989):** Parameter identifiability of hydrological models with implicit structure: a numerical approach. *Journal des sciences hydrologiques*, Vol. 34, n° 1, pp.1-19, 6 fig., 4 tabl.
- ZERYOUHI I.,(1970):** Etude géologique et hydrogéologique de la partie NE du Moyen Atlas plissé et la moyenne Moulouya inférieure. Th. de 3<sup>ème</sup> cycle, Montpellier, 179 p., 69 fig., 3 cartes h.t.
- ZERYOUHI I.,(1977):** Le Moyen Atlas plissé. In ressources en eau du Maroc. Notes et Mém. Ser. Géol. du Maroc, n° 231, Rabat, T. 3, pp. 67-84, 15 fig.





### RESUME

L'oued Melloulou draine un bassin-versant de 2476 km<sup>2</sup>. C'est le plus important des affluents de la Moulouya car il lui fournit plus de 40% de son débit à Dar El Caïd. L'alimentation du Melloulou est essentiellement pluviale. Les apports souterrains, étant faibles et fonction des apports atmosphériques soutiennent moins son écoulement. La pluviométrie dans le bassin-versant est caractérisée par une inégalité spatiale très importante. La recherche des facteurs explicatifs de cette inégalité a permis de souligner la grande influence de la longitude et de l'altitude. L'étude de la variation temporelle des pluies a montré que celle-ci prend de l'ampleur au fur et à mesure que le pas de temps diminue. Les crues sont brutales et leurs volumes sont importants et très variables d'une crue à une autre. Pourtant, la sécheresse estivale est souvent longue et rude. En absence de ressources souterraines suffisantes et régulières, la grande variabilité de la pluviométrie est fortement ressentie dans l'écoulement du Melloulou. Ainsi les étiages sont très prononcés, amplifiés par un déficit naturel élevé et une exploitation humaine d'autant plus importante que la sécheresse est intense. Enfin l'étude des bilans a montré que le déficit de l'écoulement du Melloulou est très élevé: il est généralement supérieur à 70%.

**Mots clés:** Maroc oriental, oued Melloulou, pluviométrie, hydrologie, exploitation, étiages, tarissement, crues, bilan hydrologique