

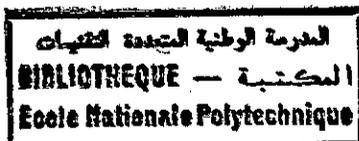
17/93

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE HYDRAULYQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

MODELISATION DU TARISSEMENT DES COURS D'EAU APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA

Proposé par :

L'ANRH

Etudié par :

**Melle M.HECHICHE
Mme S.GRAR**

Dirigé par :

**Mr H. CHAMBAZ
Mr M.TALIBI**

PROMOTION

- 1993 -

E.N.P. 10, Avenue Hacen Badi El-harrach - ALGER

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE HYDRAULYQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**MODELISATION DU TARISSEMENT
DES COURS D'EAU
APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE LA
TAFNA**

Proposé par :

L'ANRH

Etudié par :

**Melle M.HECHICHE
Mme S.GRAR**

Dirigé par :

**Mr H. CHAMBAZ
Mr M.TALIBI**

PROMOTION

- 1993 -

E.N.P. 10, Avenue Hacen Badi El-harrach - ALGER

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

MODELISATION DU
TARISSEMENT DES
COURS D'EAU

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَفِي سَائِرِ الشَّعَائِرِ قَبْرُكَ

فَأَنْبَتَا بِهِ جَنَّاتٍ وَجَمَّتَ الْخُصْبَ

وَالْخَلْدُ بِمَعْرَافِهَا طَلْحٌ تَصِيدُ رِزْقًا لِعِبَادِ

وَأُحْيَيْنَا بِهِ الْبِلَادَ فَيَنْبُتُ لَهَا الْخُضْرُ

سورة ق ٢٥ وَايَاتُهَا ٤٥

" Les Historiens ont l'habitude de dire que les individus qui ignorent le passé sont condamnés à toujours répéter les mêmes erreurs. Le décideur qui comprend pourquoi certains changements se sont produits dans le passé est moins exposé à refaire les mêmes erreurs"

RESUME

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبية — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

La prévision des débits d'étiage des rivières en pays arides offre un grand intérêt pour optimaliser l'utilisation des ressources en eau qui sont toujours inférieures aux besoins potentiels et d'assurer une véritable politique de répartition des ressources pour que le gestionnaire ne se trouve pas confronté au problème de prévision.

Pour que cette prévision puisse s'intégrer aisément à un système de prévision, il faut d'une part qu'elle découle d'une méthodologie la plus simple possible, d'autre part qu'elle s'effectue avec une précision suffisante.

ABSTRACT

The prevision of low flows in arid countries is of great interest in order to optimize the use of water resources, which, in the case, are always less than needs and ensure the true politics of resource's assessment in the potential order that the management's responsible of water not find onself to confrot problems of prevision.

In order this prevision can integrate easily to system of prevision, it must be, in the one hand that it spring from the easy proceeding, in the second hand that it made with sufficient accuracy.

ملخص

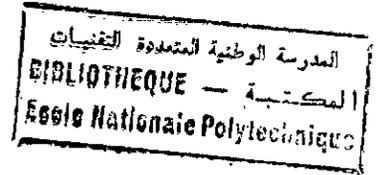
إن تقدير صوب ظل الأنهار في البلاد الجافة يفيد كثيرا في استعمال موارد المياه أكبر استعمال ممكن. هذه الموارد التي تقل دائما عن الحاجيات الكثيرة و تصريف المياه بطريقة منظمة حق لا يجد المصرف نفسه واقعا في مشاكل التقدير.

لكي يصلح استعمال هذا التقدير ويكون مفيدا، يجب من جهة أن يتركز على طرق تقدير سهلة الإستعمال ومن جهة أخرى أن يتم بدقة متناهية.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

DEDICACES

Dédicaces



A la mémoire de ma grand mère DJADA BAKA

*A ma mère dont sa vie ne fut qu'une suite de sacrifices pour
réaliser les aspirations de ses enfants*

A mon père, le plus brave des pères

A mes frères et soeur : Fouad, Riad, Souad et Merouane

A Amar, mon époux

A hocine, mon fils qui a été privé de sa mère durant de nombreuses heures

A mes très chères amies Wassila et Matika

A tous ceux qui me sont chères

Je dédie , ce mémoire

S. GRAR

*A mes parents dont la vie ne fut que des sacrifices pour le bonheur de leur
enfants*

A mes frères, soeurs et belles soeurs

A mes plus chères amies

A tous ceux qui ont pu m'apporter une aide, je leurs dédie ce modeste travail

M. HECHICHE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

REMERCIEMENTS

Remerciements

Avant d'entamer l'exposé de notre mémoire, nous tenons à remercier :

- *Monsieur Larbi d'avoir proposé ce sujet qui nous a tellement apporté de grandes connaissances sur les étiages et leur prévision, ainsi que l'ensemble du personnel du département hydrologie de l'ANRH qui nous ont aimablement fourni certaines données hydrologiques et documents indispensables, sans oublier monsieur Smati, et Messieurs Talibi et Chambaze de leurs conseils éclairés;*
- *Messieurs Dechmi et Bermad pour l'aide qu'ils ont pu nous apporter et de nous avoir permis de perfectionner nos connaissances, pour l'intérêt qu'ils ont porté et le temps précieux qu'ils ont consacré à la critique de ce travail;*
- *Messieurs Hellal Fateh et Hafid de nous avoir aidé à réaliser nos graphes et de leurs nombreux encouragements, sans oublier Monsieur Sari et Monsieur Hassen du département Génie industriel d'ENP.*
- *Monsieur Thirriot de nous avoir envoyé des documents.*
- *Les enseignants d'hydrologie de l'INA : Khemari, Mansouri, Aidoud et surtout Monsieur Issolah*

Nos remerciements s'adressent également à Belamri Omar, Hamriche Amel, Tachet Karima, Souag doudja et Hamlaoui Lila pour leurs aides efficaces, sans oublier à la fin les personnels de la bibliothèque de l'ENP.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SOMMAIRE

| | |
|--|------------|
| Introduction générale | p01 |
| Chapitre I : Méthodes classiques de présentation des données de débits | |
| d'étiage | p03 |
| I.1 Présentation du problème des étiages | p03 |
| I.2 Rappel des méthodes de caractérisation classiques des données | |
| de débit | p03 |
| I.3 Etude du tarissement | p04 |
| I.3.1 Les lois de tarissement de Boussinesq et de Maillet | p06 |
| I.3.2 Le tarissement des cours d'eau | p08 |
| I.3.2.1 La loi exponentielle simple | p08 |
| I.3.2.2 la loi hyperbolique simple | p09 |
| I.3.2.3 les lois du tarissement composé | p09 |
| a) la loi exponentielle double | p10 |
| b) la loi hyperbolique généralisée | p10 |
| c) la loi exponentielle composée | p10 |
| e) la loi hyperbolique composée | p10 |
| f) la loi mixte (Burger, 1956, 1959) | p11 |
| I.3.3 Calcul des courbes de tarissement | p11 |
| I.4 Capacité d'emménagement du bassin versant | p12 |
| | |
| Chapitre II: Modélisation du régime des cours d'eau | |
| II Modélisation du régime des cours d'eau | p13 |
| II.1 Les modèles mathématiques dans l'étude des étiages | p13 |
| II.2 Classification des modèles mathématiques utilisés dans l'étude des étiages ... | p13 |
| II.2.1 Les méthodes directes de prévision | p13 |
| II.2.1.1 Les modèles probabilistes | p14 |
| II.2.1.1 a) la distribution log normale à 2 paramètres (σ_y et μ) | p14 |
| II.2.1.1 b) la distribution gamma à 2 paramètres (λ et β) | p14 |
| II.2.1.1 c) la distribution exponentielle asymptotique à 3 paramètres (ϵ, μ, K) | p15 |
| II.2.1.2 les modèles stochastiques | p16 |
| II.2.2 Les méthodes indirectes de prévision | p17 |
| II.2.2.1 les modèles analytiques | p18 |
| II.2.2.2 les modèles synthétiques | p18 |
| II.2.2.2 a) les modèles dérivés des théories de l'hydrodynamique souterraines (Méthodes basées sur les courbes de tarissement) ... | p19 |
| II.2.2.2 b) les modèles empiriques d'hydrogramme | p22 |
| II.2.2.2 c) les modèles conceptuels complexes | p22 |

| | |
|---|-----|
| II.3 Modèles de convolution | p23 |
| II.4 Méthodes "élémentaire" ORSTOM | p24 |
| II.5 Utilisation d'une méthode "objective" (précision par une moyenne) | p24 |

الدراسات الوطنية المتعددة التخصصات
 المكتبة
 جامعة الوطنية للعلوم والتكنولوجيا
 LIBRARY - p24
 Nationale Polytechnique

Chapitre III Les données de notre étude

| | |
|--|-----|
| III.1 Introduction | p27 |
| III.2 Présentation du bassin versant de la Tafna | p27 |
| III.2.1 Situation géographique | p27 |
| III.2.2 Reliefs et Topographie | p27 |
| III.2.3 Hydrologie de la Tafna | p27 |
| III.2.3.1 Hydrographie et régime hydraulique | p30 |
| III.2.3.2 Climatologie | p30 |
| III.2.3.2 a) les précipitations | p30 |
| III.2.3.2 b) Températures | p31 |
| III.2.3.2 c) Hydrologie | p31 |
| III.3 Mesures dans le bassin versant | p31 |
| III.3.1 Données hygrométriques | p31 |
| III.3.1.1 Test des séries chronologiques | p31 |
| III.3.1.2 Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel en Hm ³ à la station Pierre du Chat | p32 |
| III.3.1.3 Etude statistique des débits d'étiage | p32 |
| III.3.1.3 a) Débits caractéristiques d'étiages | p32 |
| III.3.1.3 b) Distributions statistiques des débits caractéristiques | p33 |
| III.3.1.4 Résultats | p37 |
| III.3.1.5 Choix de la distribution | p37 |
| III.3.1.5 a) Distribution gamma généralisée | p38 |
| III.3.1.5 b) Distribution Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance | p39 |
| III.3.1.6 Distributions statistiques des débits caractéristiques | p39 |
| III.3.1.7 Résultats | p40 |
| III.3.1.8 Courbes de débits classés | p43 |
| III.3.2 Données pluviométriques | p43 |
| III.3.2 a) Répartition des pluies en mm/mm | p44 |
| III.3.2 b) Critique de l'information pluviométrique | p46 |
| III.3.2 c) Conclusion | p47 |

Chapitre IV : Elaboration du modèle

| | |
|--|-----|
| IV.1 Introduction | p48 |
| IV.2 Concept général du modèle développé | p48 |
| IV.2.1 Modèle de la régression linéaire | p48 |

| | |
|---|-----|
| IV.2.1.1 Ajustement de la méthode d régression linéaire | p49 |
| IV.2.1.2 Interprétation des résultats | p52 |
| IV.2.2 Influence de la pluie sur le débit | p52 |
| IV.2.2.1 Interprétation des résultats | p52 |
| IV.2.3 Représentativités des stations pluviométriques et leur influence (A.C.P) | p53 |
| IV.2.3.1 Interprétation des résultats | p53 |
| IV.3 Conclusion | p55 |
| IV.4 Modèle basé sur la régression multiple | p55 |
| IV.5 Résultats | p55 |
| IV.5.1 Sans calage | p55 |
| IV.5.2 Avec calage | p56 |
| IV.6 la prévision spatio-temporelle | p59 |
| IV.6.1 Résultats | p61 |
| IV.7 Modèle basé sur les courbes de tarissement | p63 |
| Conclusion générale | |
| Annexes | |
| Index des tableaux | |
| Index bibliographique | |

INDEX DES
TABLEAUX

INDEX DES TABLEAUX

| | | |
|----------------------|--|------------|
| Tableau n°1 | : Tableau récapitulatif des apports moyens mensuels de la station pierre du Chat | p32 |
| Tableau n°2 | : Débits caractéristiques d'étiages extraits de la station Pierre du Chat | p34 |
| Tableau n°3 | : Résultats des deux distributions utilisées pour les débits caractéristiques | p40 |
| Tableau n°4 | : Résultats de débits d'occurrence | p41 |
| Tableau n°5 | : Tableau présentant les limites de confiance des débits d'occurrence | p42 |
| Tableau n°6 | : Codes des stations pluviométriques | p44 |
| Tableau n°7 | : Répartition des pluies moyennes mensuels en mm/mm ... | p45 |
| Tableau n°4.1 | : Tableau des coefficients de corrélation | p49 |
| Tableau n°4.2 | : Tableau des débits prévus | p51 |
| Tableau n°4.3 | : Prévision des mois de Sept, Août et Juillet sans calage .. | p57 |
| Tableau n°4.4 | : Prévision des mois de Sept, Août et Juillet avec calage .. | p58 |
| Tableau n°4.5 | : Prévision spatio-temporelle | p60 |
| Tableau n°4.6 | : Résultats de la prévision spatio-temporelle | p62 |
| Tableau n°4.7 | : Lissage de la période Avril-Août | p64 |
| Tableau n°4.8 | : Résultats | p65 |

*INTRODUCTION
GENERALE*

INTRODUCTION GENERALE

L'humanité utilise de plus en plus d'eau pour ses besoins d'ordre domestique, agricole et industriel. Mais le hasard et les saisons font qu'il n'y a jamais concomitance entre les ressources et les besoins, et l'insuffisance des ressources peut entraîner à de véritables catastrophes dans les régions sèches ou freiner le développement de certaines régions que l'on avait pris comme suffisamment arrosées.

L'homme se trouve donc obligé d'orienter ses activités en fonction des ressources sur lesquelles il puisse compter en toutes circonstances et la prévision de pénuries présente, de ce fait, le plus grand intérêt pour le développement harmonieux de l'humanité.

L'estimation des débits d'étiage des cours d'eau est un problème relativement peu étudié au regard de la masse d'efforts consentis en faveur de l'étude des crues. C'est ainsi que l'approche la plus courante pour étudier les étiages est une adaptation des méthodes d'évaluation des débits de crue.

Les études sur les étiages des cours d'eau et les besoins en eau montre qu'une demande accrue en eau apparaît parallèlement aux ressources les plus faibles.

Il s'avère donc que la connaissance exacte des ressources en eau des rivières et principalement l'apport minimum auquel on peut s'attendre est un facteur important pour la planification des besoins en eau.

Par ailleurs, la faible profondeur de l'eau associée à une faible vitesse d'écoulement, conditions réunies en étiage, provoque notamment l'augmentation de la température de l'eau et diminue sa capacité de réaération.

Dès lors le temps de séjour des polluants non dégradés dans le cours d'eau s'accroît, avec pour corollaire, toutes les conséquences néfastes à la vie de la rivière.

La prévision des débits de rivières améliorerait la vie économique presque exclusivement agricole de nombreuses régions où les agriculteurs orientent leurs activités en fonction des ressources en eau qui, à l'étiage, sont toujours inférieures aux besoins potentiels.

Ainsi par exemple, pendant la fin de la période des pluies de printemps, on ensemence des cultures comme le maïs, grain (avril) alors qu'il est encore difficile d'effectuer des prévisions d'étiages, dès que, la saison des pluies se termine, les prévisions d'étiages deviennent possibles et il peut apparaître que la probabilité d'assurer ultérieurement l'irrigation de toute la surface semée est faible.

Il convient de signaler que ce mode de prévision ne s'applique pas uniquement aux périmètres irrigués au fil de l'eau, mais convient également pour l'exploitation des grands barrages et peut alors s'avérer très rentable (barrages mixtes électricité, agriculture en particulier).

Ce travail est articulé en quatre (4) chapitres :

- Le premier chapitre intitulé "présentation des problèmes des étiages" qui comporte la définition des étiages et leurs causes essentielles, nous exposons aussi les méthodes classiques de présentation des données de caractérisation de débits et l'étude du tarissement.
- Le deuxième chapitre reprend une classification des modèles mathématiques utilisés dans l'étude des étiages.
- Le troisième chapitre présente l'analyse des données de notre étude et la représentation du bassin versant de la Tafna.
- Le quatrième chapitre développe le concept général et les bases théoriques des modèles élaborés.

CHAPITRE I

METHODES CLASSIQUES DE
PRESENTATION DES DONNEES
DE DEBITS D'ETIAGE

I.1 Présentation du problème des étiages

La cause essentielle des étiages est une sécheresse climatique exceptionnelle et prolongée, se traduisant par une grave pénurie de précipitations et une intense évapotranspiration en saison chaude. Autrement dit, les étiages sont des périodes au cours desquelles les débits du cours d'eau sont les plus faibles donc liés à un déficit d'écoulement fluvial.

L'étiage est conditionné par deux facteurs : d'une part, l'absence de précipitations suffisantes, et d'autre part, le tarissement des nappes souterraines sous des climats arides, ce phénomène se produit généralement en mois de Juillet et Août, c'est à dire à la fin de l'été et au début de l'automne, lorsque l'évaporation des plantes a épuisé l'eau des réserves superficielles du sol dans la zone dite non saturée.

Les cours d'eau ne sont plus alors alimentés que par l'écoulement relativement permanent des réserves souterraines plus ou moins profondes. En année de faible pluviosité ces réserves s'épuisent, tandis qu'elles se rechargent en année humide.

I.2 Rappel des méthodes de caractérisation classiques des données de débit.

On utilise de façon classique les caractéristiques suivantes pour décrire le régime d'un cours d'eau :

- Les débits moyens journaliers : moyenne de plusieurs observations effectuées au cours d'une même journée.
- Les débits moyens mensuels : moyenne des débits moyens journaliers de chaque mois.
- Les débits moyens annuels ou module : moyenne de tous les débits moyens journaliers de l'année.

L'étiage étant le niveau le plus bas d'un cours d'eau, On distingue alors :

- L'étiage annuel : il représente le minimum minimorum de niveau de l'année (hydrologique ou calendaire).
- L'étiage exceptionnel ou absolu : il représente le minimum minimorum de niveau connu [17].

On utilise aussi la terminologie suivante : appelée débits caractéristiques du cours d'eau [35].

- D C E : Débit caractéristique d'étiage dépassé en moyenne 355 jours par an.
- D C 1,3,9 : Débit caractéristique dépassé 1 mois par an (respectivement 3 mois, 9 mois);
- D C 6 : Débit moyen caractéristique, débit dépassé 6 mois par an;
- D C C : Débit caractéristique de crue dépassé 10 jours an.

I.3 Etude du tarissement

Le tarissement d'un cours d'eau est défini comme la décroissance régulière des débits de basses eaux en fonction du temps.

Les courbes qui représentent cette décroissance s'appellent courbes de tarissement. La recherche et l'étude des lois de décroissance des débits résultants de l'épuisement progressif des nappes souterraines (drainage des terrains, restitution des nappes) constituent l'étude du tarissement.

Le terme courbe de tarissement est réservé à la partie de l'hydrogramme survenant au bout d'un temps telque tout le ruissellement de surface a cessé; le cours d'eau n'est plus alors alimenté que par les nappes souterraines. (Fig 1.1)

Dans le présent chapitre, on s'intéressera tout d'abord à l'aspect historique de l'étude de tarissement en examinant les lois de BOUSSINESQ et MAILLET.

On abordera ensuite les différentes lois proposées pour décrire le phénomène de tarissement, pour terminer par le calcul des courbes de tarissement et la capacité d'emmagasinement d'un bassin versant.

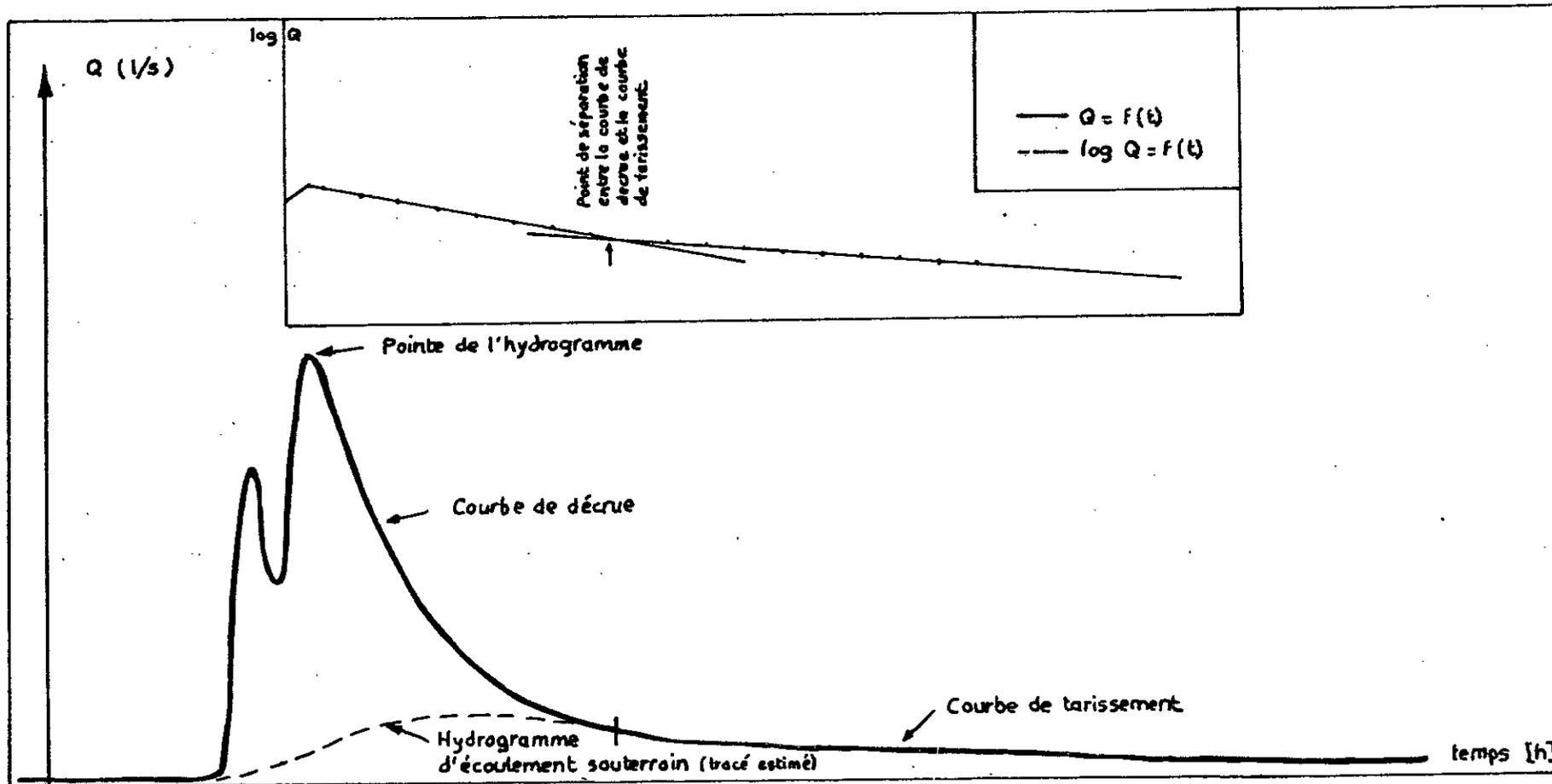


Figure 1.1

I.3.1 Les lois de tarissement de Boussinesq et de Maillet : [19]

En 1902, MAILLET énonce la première loi expérimentale, relative à la "prévision des débits minima des sources de la vanne". Boussinesq reprend cette loi (1904) et poursuit ses recherches sur le tarissement des sources en se basant sur l'hypothèse selon laquelle l'écoulement en provenance d'une nappe libre se règle selon sa hauteur et la pente de sa surface.

L'expression à laquelle il arrive, peut se mettre sous la forme simplifiée suivante:

$$Q = A e^{-\alpha t} \quad (1)$$

Avec Q : débit de la source au temps t .

A : Coefficient

α : Coefficient de tarissement [t^{-1}]

t : Temps

Le coefficient de tarissement α est fonction de la géométrie de la nappe et des caractéristiques du milieu.

En 1905, Maillet propose une formule identique à la relation (1) pour le débit Q d'une source en régime non influencé, c'est à dire sans apports d'eau extérieurs à la nappe considérée :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha(t - t_0)} \quad (2)$$

Cette équation est connue sous le nom de formule de Maillet ou de Boussinesq Maillet dans laquelle :

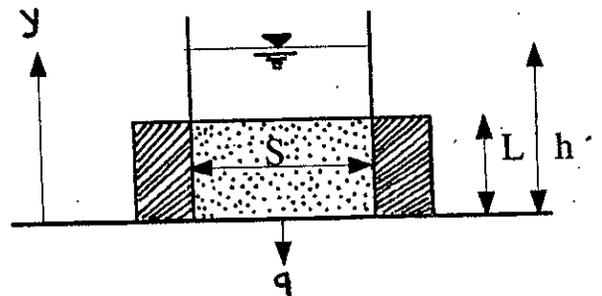
Q = débit au temps t .

Q_0 = débit au temps $t=0$.

α = coefficient de tarissement [t^{-1}]

t = temps.

Une approche très simplifiée de la formule (2) peut être faite en comparant le tarissement à l'écoulement dans un massif de sol soumis à une charge (voir figure ci contre).



Dans ce cas, le débit q filtrant à travers un échantillon de longueur L et de section S est donné par la relation suivante :

$$q = V \cdot S$$

Ou encore, en appliquant la loi de Darcy :

$$q = K \cdot I \cdot S \quad (3)$$

Avec K = conductivité hydraulique

I = gradient hydraulique

h = charge d'eau

Ou encore :

$$q = \frac{K \cdot S}{L} \cdot h \quad (4)$$

Le volume d'eau écoulé durant un temps dt se traduit par une variation de la charge h telle que :

$$q \, dt = - S \, dh$$

Or d'après (4)

$$dh = \frac{L}{K \cdot S} \, dq \quad (5)$$

et en posant

$$\alpha = \frac{K}{L} \quad (6)$$

On obtient :

$$\frac{dq}{q} = -\alpha \, dt \quad (7)$$

En intégrant et en prenant $q = q_0$ au temps $t = t_0$, on obtient :

$$\ln q - \ln q_0 = -\alpha (t - t_0) \quad (8)$$

Ou encore :

$$q = q_0 e^{-\alpha(t - t_0)} \quad (8) = (2)$$

I.3.2 Le tarissement des cours d'eau :

Les études relatives à la variation du débit des sources ont servi de base à celles du tarissement des cours d'eau.

Le tarissement simple peut s'expliquer par la loi exponentielle simple, due à Boussinesq et Maillet [19]

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Il désigne tout tarissement des nappes, sources ou cours d'eau qui se déroule en conditions semblables à la décharge d'une nappe captive ou d'une nappe libre en régime non influencé [19].

Il peut être traduit, soit par une loi exponentielle simple ou hyperbolique simple.

I.3.2.1 La loi exponentielle simple : [24]

La loi exponentielle simple est définie par deux paramètres pour les nappes libres profondes :

Le débit initial Q_0 :

$$Q_0 = C \frac{\pi \cdot K \cdot D (H_0 - h_0)}{L} \quad (C > 0) \quad (9)$$

et le coefficient de tarissement α

$$\alpha = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot D}{4 \cdot m_e \cdot L^2} \quad (10)$$

Avec

C = Constante

H_0, h_0 = charges initiales de la nappe

K = conductivité hydraulique

m_e = porosité efficace ou porosité non capillaire (correspondant au volume des pores occupés par l'air quand le sol est à sa capacité au champ)

D = hauteur moyenne de la surface piézométrique au dessus du substratum imperméable, c'est à dire profondeur moyenne de la nappe libre.

L = largeur de la nappe.

I.3.2.2 La loi hyperbolique simple : [19]

Outre la loi exponentielle simple, la décroissance des débits peut s'exprimer au moyen d'une loi hyperbolique simple (Boussinesq, 1904)

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + \alpha t)^2} \quad (11)$$

Dans le cas du drainage d'une nappe à l'aide de drains placés sur le substratum imperméable, polubariniva-Kochina (1962) propose pour les paramètres Q_0 et α les expressions suivantes :

$$Q_0 = C \frac{1.725 K H_0^2}{L} \quad (12)$$

$$\alpha = 1.115 \frac{K \cdot H_0}{m_e \cdot L} \quad (13)$$

I.3.2.3 Les lois du tarissement composé : [19]

On désigne par "tarissement composé" tout tarissement de source, de nappe ou de cours d'eau qui ne peut pas être décrit par une des lois simples (vidange cumulée de plusieurs nappes dont les régimes sont différents, recharge, ect..).

Dans ce cas, les lois suivantes sont applicables :

a)- La loi exponentielle double (Horton, 1933) :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t^n} \quad (n > 0) \quad (14)$$

Généralisation de la relation :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha \sqrt{t}} \quad (15)$$

due à Reitz, puis Schaffernack (1933)

b)- La loi hyperbolique généralisée :

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + \alpha t)^n} \quad (16)$$

ou encore Coutagne, 1948)

$$Q = Q_0 [1 + (m+1) \alpha t]^{-\frac{1}{1-m}} \quad m > 1 \quad (17)$$

c)- Les lois paraboliques décroissantes :

$$Q = a.t^{-b} \quad (a > 0; b > 0) \quad (18)$$

Utilisées pour ajuster des résultats expérimentaux concernant des débits de drainage (Hewlett et Hibbert, 1963).

d)- La loi exponentielle composée

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_{oi} e^{-\alpha_i t} \quad (19)$$

e)- La loi hyperbolique composée :

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1 + \alpha_i t)^2} \quad (20)$$

f)- La loi mixte (Burger, 1956, 1959) :

$$Q = \frac{Q_{01}}{(1 + \alpha_1 t)^2} + Q_{02} e^{-\alpha_2 t} \quad (21)$$

Remarque : Les lois du tarissement composé sont utilisées pour répondre au besoin d'un meilleur ajustement des données, en particulier en vue des prévisions d'étiages; il n'existe pas de règle permettant de faire à priori le choix d'un des modèles présentés.

I.3.3 Calcul des courbes de tarissement :

Les méthodes utilisées pour le calcul des courbes de tarissement font le plus souvent appel à des procédés graphiques toute fois de nouvelles méthodologies permettent l'emploi de l'ordinateur.

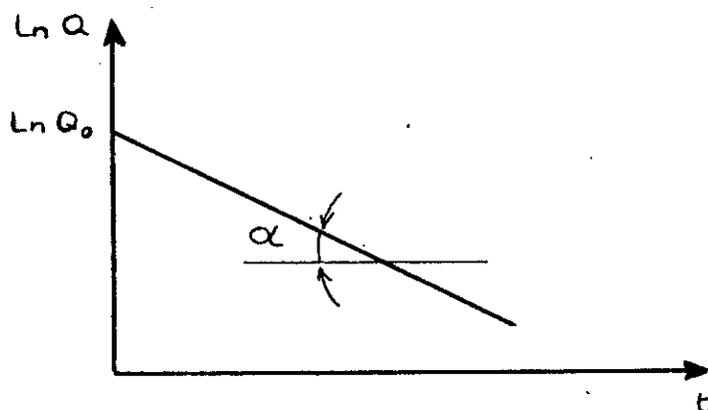
Examinant le cas de la formule de Maillet (2) :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t - t_0)}$$

En prenant le logarithme des deux membres, l'équation (2) devient :

$$\ln Q_t = \ln Q_0 - \alpha(t - t_0) \quad (22)$$

Sur le diagramme semi-logarithmique, cette droite représentative de la fonction exponentielle permet la détermination graphique des constantes Q_0 et α (voir figure ci-après).



En portant en ordonnée le logarithme des débits en m³/s et en abscisse les temps en jours, on obtient Q₀ en lisant la valeur de l'ordonnée à l'origine et le coefficient de tarissement α en calculant la pente de la droite.

Remarquons que la détermination graphique de Q₀ permet une meilleure précision qu'une localisation arbitraire sur l'hydrogramme, par contre, une détermination mathématique de α est préférable [19].

I.4 Capacité d'emmagasinement du bassin versant :

Une application immédiate des lois de tarissement est la détermination du volume utile d'eau emmagasiné dans la nappe à un instant donné.

Dans le cas où la loi du tarissement pur F(t) peut être définie comme une constante du bassin versant (constante d'une année à l'autre), sa connaissance permet l'évaluation de la capacité d'emmagasinement par intégration dans l'intervalle [t,∞] ou entre 2 limites fixées.

Le volume d'eau disponible à un instant t₀ est donné par :

$$V = \int_{t_0}^{\infty} F(t) dt = \int_{t_0}^{\infty} Q_t dt \quad (23)$$

Où V = volume d'eau disponible contenu dans les réserves d'un bassin versant.

F(t) = loi du tarissement de ce bassin.

Dans le cas d'une loi de décroissance exponentielle, et en posant t₀ = 0, nous aurons

$$V = \int_0^{\infty} Q_t dt = Q_0 \int_0^{\infty} e^{-\alpha t} dt = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (24)$$

CHAPITRE II

MODELISATION DU REGIME DES COURS D'EAU

II- Modélisation du régime des cours d'eau :

Le but de ce chapitre est de tenter une mise au point sur les méthodes de modélisation existantes en particulier en matière d'étiage exceptionnel. Vu le problème de sécheresse que vit notre pays il est donc nécessaire de disposer de méthodologies opérationnelles permettant la prévision des étiages, du fait qu'il y ait une déficience conjoncturelle significative des précipitations donc des apports d'eau pendant une durée assez longue (saisonnière, annuelle ou pluriannuelle) et sur une étendue assez vaste.

II.1 Les modèles mathématiques dans l'étude des étiages.

Un modèle mathématique est une simplification du monde réel qui a pour but d'expliquer et de prédire des événements.

Retenons les mots essentiels de la définition de Pierce : [35]

- Simplification;
- Explication;
- Prédiction.

Le choix d'un modèle sera essentiellement fonction:

- Du but poursuivi;
- Des valeurs expérimentales dont on dispose.

II.2 Classification des modèles mathématiques utilisés dans l'étude des étiages.

Dans un but de prévision, les méthodes utilisées peuvent se subdiviser en deux groupes :

- Les méthodes directes de prévision;
- Les méthodes indirectes de prévision.

II.2.1 Les méthodes directes de prévision

Celles-ci exigent l'emploi de séries suffisamment longues de mesures de débits uniquement, elles sont basées sur des observations statistiques de paramètres de débits et traduisent celles-ci en régressions plus ou moins généralisées.

Deux types de modèles mathématiques hydrologiques peuvent être envisagés : les modèles probabilistes et les modèles stochastiques.

II.2.1.1 Les modèles probabilistes:

Ce type de modèle consiste à ajuster les distributions de fréquence des valeurs extrêmes (étiage).

Il est dangereux d'établir des prévisions de débits d'étiage pour des périodes de récurrence (ou période de retour) dont la durée est trop nettement supérieure à la durée des observations [35].

Dans le cas où l'on dispose d'une quinzaine d'années d'observations les distributions statiques des valeurs extrêmes les plus couramment utilisées pour l'étude des étiages annuels sont :

II.2.1.1.a) La distribution log-normale à 2 paramètres

(σ_y et μ) [35]

la densité de probabilité est donnée par la relation :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma (2\pi)^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{(\log x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right\} \quad 0 < x < \infty$$

Dans cette distribution, la moyenne et la variance sont données par :

$$\mu = \exp (\mu_y + b_y^2/2);$$

$$\sigma^2 = \mu^2 (\exp \sigma_y^2 - 1);$$

μ_y et b_y sont des paramètres correspondants à la moyenne et l'écart type de $\log x$.

II.2.1.b) La distribution gamma à 2 paramètres (λ et β)

La densité de probabilité s'écrit :

$$f(x) = \frac{x^{\lambda-1} \exp (-X/\beta)}{\beta^\lambda \Gamma (\lambda)} \quad 0 < x < +\infty \quad (\lambda, \beta > 0)$$

où $\Gamma(\lambda)$ représente la fonction gamma définie par la relation

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^x x^{\lambda-1} e^{-x} dx$$

pour λ entier : $\Gamma(\lambda) = (\lambda - 1)!$

Pour λ non entier la fonction gamma est calculée par développement en série et intégration numérique.

Dans cette distribution la moyenne et la variance sont données par :

$$\mu = \lambda \beta$$

$$\sigma^2 = \lambda \beta^2$$

Ces deux relations permettant de définir λ et β . Les valeurs de cette distribution sont sous forme de tables connues sous le nom de "table de la fonction gamma incomplète de Pearson".

(Abramowitz, 1964) qui fournissait $p(X^2/)$ avec

$$\mu = 2(p' + 1);$$

$$X^2 = 2U'(p' + 1)^{1/2};$$

relation dans lesquelles :

$$p' = -1$$

$$U' = X_0/\beta$$

X_0 représente le débit calculé.

II.2.1.1.c) La distribution exponentielle asymptotique à 3 paramètres

(ϵ, u, k) : [35]

Elle est également connue sous le nom de distribution des valeurs extrêmes du 3^{ème} type désignée par EV3 ou distribution de Frechet ou encore distribution de Weibull.

La fonction de répartition est donnée par la relation :

$$F(x) = \exp - [(x-\epsilon)/(u - \epsilon)]^K, x > \epsilon, u > \epsilon, K \geq 0; \epsilon \geq 0.$$

et la densité de probabilité est donnée par la relation :

$$f(x) = [K/(u - \epsilon)] [(x - \epsilon)/(u - \epsilon)]^{K-1} \cdot \exp -[(x-\epsilon)/(u-\epsilon)]^K$$

C'est la distribution la plus utilisée pour l'étude des étiages parmi les trois distributions citées. Cette fonction est bornée inférieurement à la valeur de ϵ qui

peut être nulle et qui correspond à la valeur limite du débit d'étiage. Le paramètre U , appelé débit caractéristique d'étiage, est tel que $p(u) = 1/e$.

La moyenne et la variance sont données par :

$$\mu = \varepsilon(u - \varepsilon) \cdot (1 + 1/K),$$

$$\sigma^2 = (u - \varepsilon)^2 [\Gamma(1 + 2/K) - \Gamma^2(1 + 1/K)]$$

II.2.1.2 Les modèles stochastiques :

Le modèle stochastique le plus utilisé en hydrologie est le modèle du type auto-régressif et consiste à obtenir la chronologie des variables de sortie en fonction de la chronologie des variables d'entrée [35]. Pour des raisons de simplicité on utilise le plus souvent les modèles stochastiques stationnaires. Pour qu'un tel modèle puisse convenir, il faut évidemment que le processus à modéliser soit lui même stationnaire, c'est à dire qu'il reste en équilibre autour d'une moyenne constante.

Or la série chronologique des débits journaliers est en général loin d'être stationnaire sous nos climats, mais on peut obtenir cette stationnarité, par exemple, par la transformation logarithmique des débits et en détectant les mois d'étiages. Ceci étant le débit logarithmique Q_j du jour j peut être dissocié en deux composantes : [35]

- Une composante déterministe liée à l'inertie de la succession des débits et qui est fonction du passé du processus c'est à dire des débits logarithmiques des jours précédents (Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots).

- Une composante aléatoire ε_j due aux précipitations influençant le débit du jour j .

On peut écrire

$$Q_j = a_1 Q_{j-1} + a_2 Q_{j-2} + \dots + a_n Q_{j-n} + \varepsilon_j \quad (1)$$

a_1, a_2, \dots, a_n sont des coefficients.

Le processus stochastique Q_j répondant à l'équation de liaison (1) est appelé processus auto-régressif d'ordre n .

L'ajustement de ce modèle suppose la résolution des trois problèmes suivants :

- 1)- Détermination de l'ordre n du processus;
- 2)- Estimation de $n + 2$ paramètres du modèle (y compris la moyenne et la variance résiduelle);

- 3)- Détermination de la distribution du résidu aléatoire avec éventuellement ajustement à une loi connue.

II.2.2 Les méthodes indirectes de prévision : [35]

Ces méthodes de prévision ont l'avantage de se limiter à l'usage de séries relativement courtes de mesures de débits par contre elles demandent des séries suffisamment longues de mesures de hauteurs de pluies ou autre paramètres . Elles sont généralement basées soit sur une approche dite déterministe du problème, qui consiste à établir des relations quantitatives entre pluies et débits, soit sur une approche empirique et l'usage des méthodes de régressions multiples. En ce qui concerne les modèles empiriques, on cite le modèle Guilbot et Al, 1976 qui prévoit le débit moyen mobile minimum de 5 à 10 jours consécutifs au cours du mois $j(Q_j^5$ et $Q_j^{10})$ à partir des débits, des pluies et de la température moyenne des mois précédents par les méthodes de régressions multiples; il obtient, pour L'Oise à Sempigny, plusieurs relations de la forme :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{octobre}}^{10} = & - 0.0194 Q_{\text{Avril}}^{10} - 0.0305 Q_{\text{mai}}^{10} + 0.1276 Q_{\text{juin}}^{10} \\
 & + 0.2109 Q_{\text{juillet}}^{10} - 0.3729 T_{\text{mai}} - 0.9201 P_{\text{juin}} \\
 & - 0.4215 T_{\text{juillet}} - 0.0779 P_{\text{mai}} + 0.0892(P_{\text{juin}} + P_{\text{juillet}}) + 31.495
 \end{aligned}$$

Une approche rencontrée consiste à établir un modèle de prédiction à court terme en utilisant la relation linéaire :

$$Q_j = a_1 Q_{j-1} + a_2 Q_{j-2} + \dots + a_n Q_{j-n} + b_1 P_{j-1} + \dots + b_n P_{j-n} \quad (2)$$

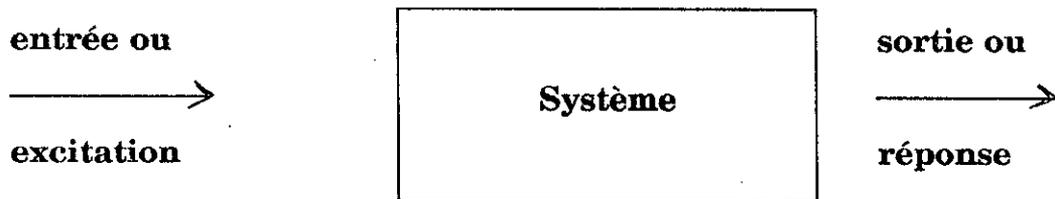
Expression dans laquelle :

$Q_j, Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots$ représentent des débits au jour $j, j-1, j-2, \dots$,

$P_{j-1}, P_{j-2}, P_{j-3}, \dots$ représentent les précipitations moyennes tombant sur le bassin au temps $j-1, j-2, \dots$,

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n$ sont des coefficients.

- Du point de vue déterministe, on considère le cycle hydrologique comme un ensemble de système physique :



Le fonctionnement d'un modèle déterministe (dit aussi paramétrique) procède en trois étapes :

- détermination de la pluie ;
- Transformation de cette pluie en eau disponible pour l'écoulement (fonction de rendement ou de production);
- Restitution et transfert de l'eau disponible pour l'écoulement (fonction de transfert).

On distingue couramment deux types de modèles déterministes :

- les modèles analytiques;
- Les modèles synthétiques.

II.2.2.1 Les modèles analytiques

Ces modèles sont des formules mathématiques visant à établir une relation entre l'entrée et la sortie du système.

En fait, les modèles analytiques n'ont trait qu'à la dernière des trois étapes énumérées ci-dessus dans le fonctionnement d'un modèle déterministe.

Elle consiste à rechercher par une méthode mathématique d'identification la fonction de transfert qui transforme les pluies en débits par modulation de l'écoulement dans le temps. "l'hydrogramme unitaire" est un moyen commode de définir une fonction de transfert caractéristique du bassin versant étudié et du type d'écoulement considéré.

II.2.2.2 Les modèles synthétiques :

Egalement appelés modèles conceptuels (problème de simulation), les

modèles synthétiques sont des fonctions mathématiques visant à décrire le fonctionnement du système par combinaisons et liaisons entre composants dont les fonctions sont connues ou supposées telles et dont la présence dans le système est présumée.

Ils sont la traduction sur le plan mathématique des lois physiques, hydrauliques ou empiriques connues. On peut adopter trois modèles conceptuels.

II.2.2.2.a Les modèles dérivés des théories de l'hydrodynamiques souterraines (méthodes basées sur les courbes de tarissement)

Dans ce contexte, la formule de Maillet (1902) constitue le modèle conceptuel spécifique aux étiages le plus utilisé. Celui-ci se résume en une formule à deux paramètres Q_0 et α ou Q_0 et K :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} = Q_0 K^t$$

Elle simule la vidange linéaire d'une nappe à partir d'un réservoir, dans cette relation on a :

Q_0 = débit à l'instant $t = 0$

Q_t = débit à l'instant t ,

α = coefficient de tarissement,

K = constante de décroissance.

Le paramètre α est le coefficient angulaire de la droite log

$$\text{Log } Q_t = \text{Log } Q_0 - \alpha t$$

Il est possible de prévoir les débits d'étiage survenant à un instant t , connaissant le débit au temps t_0 et la loi régissant le tarissement peut se résumer comme suit :

- 1- reporter la chronique des débits journaliers sur un diagramme semi-logarithmique, ou doublement logarithmique.
- 2- Rechercher l'existence d'une courbe de tarissement (droite) sur l'un des deux diagrammes.
- 3- Extrapoler cette droite jusqu'au temps t intéressé par la prévision. (Fig2.1)

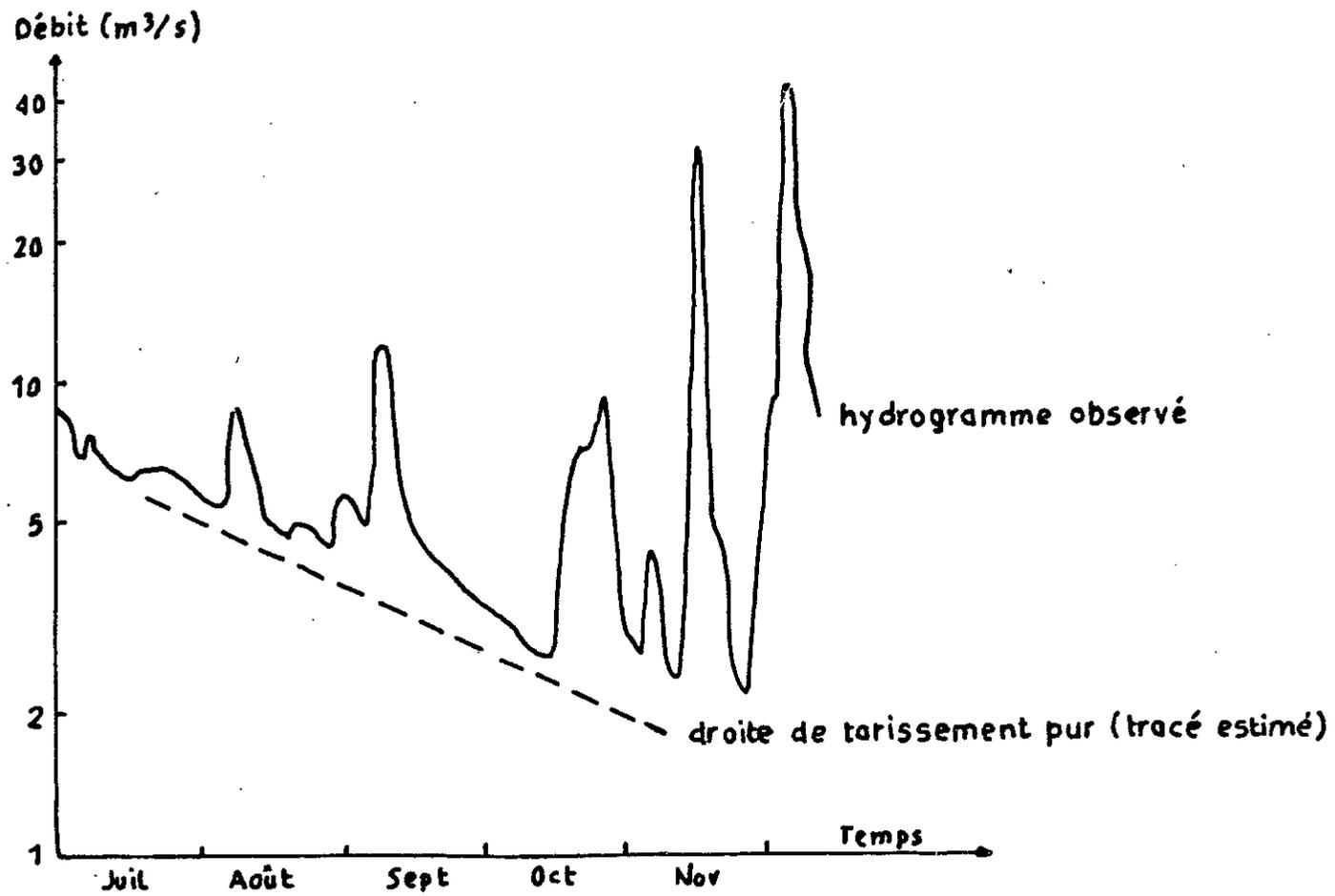


Figure 2.1

II.2.2.2.b Les modèles empiriques d'hydrogramme

Ces modèles sont basés sur des relations fonctionnelles dont les paramètres sont mis en corrélation avec les caractéristiques du bassin versant (pente du bassin versant, longueur du cours d'eau, temps de parcours de l'eau...) ceci permet l'extrapolation du calcul des écoulements à partir d'hydrogrammes unitaires à des bassins versants non soumis aux observations.

En particulier, la méthode de l'hydrogramme unitaire synthétique est basée sur la connaissance des caractéristiques du bassin versant et des caractéristiques climatiques en vue de définir les paramètres de la fonction de transfert.

II.2.2.2.c Les modèles conceptuels complexes : [13]

Les modèles se distinguent des précédents en ce sens qu'ils visent à décrire l'ensemble des débits.

La complexité à trait essentiellement :

- Aux lois physiques ou empiriques intervenant dans le modèle;
- Au nombre de systèmes considérés soit en fonction de la surface du bassin versant (modèles globaux) soit en fonction de la couche de sol à partir desquels sont issus les écoulements.

Ils suivent souvent le schéma physique général de transformation des précipitations en débits.

La valeur numérique des paramètres intervenant dans ces modèles est le plus souvent obtenue par processus numérique d'optimisation des résultats appelé "calage du modèle" et qui consiste à minimiser une fonction d'écart entre variable de sortie calculée et variable de sortie observée. La fonction d'écart la plus fréquemment employée est la somme des carrés des écarts :

$$\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2$$

Expression dans laquelle : n = nombre de points de mesure

$Q_i = \text{débit observé}$

$\hat{Q}_i = \text{débit calculé}$

Le modèle de Stan-Ford est le plus ancien et peut être le plus complexe de ces modèles. Il fut publié en 1966 par GrawFord et Linsley

II.3 Modèles de convolution

Ces modèles qui sont quelque peu hybrides, comportent deux éléments;

- Une première partie, de type conceptuel, permet d'obtenir une chronologie de pluie journalière efficace à partir de la chronologie des pluies observées à l'échelle du bassin.

Il s'agit en général de la partie de "production" d'un modèle conceptuel à réservoirs (thornthwate Mero..) faisant intervenir un indice d'évaporation potentielle.

La pluie efficace journalière est alors considérée comme égale à la pluie journalière diminuée de l'évapotranspiration réelle évaluée par le modèle.

- Une seconde partie, correspondant à la partie transfert, est constituée par une convolution de la forme :

$$Q_i = \sum_{j=1}^m h_j P_{i-j+1}$$

où Q est le débit à l'exutoire, p la pluie efficace, h la réponse impulsionnelle du système et m la durée de la "mémoire" du bassin. La réponse impulsionnelle est obtenue sur un certain nombre d'années d'observation par déconvolution, c'est à dire par identification à partir d'une méthode des moindres carrés.

Cette fonction de transfert doit bien sur conduire à une série de débits la plus proche possible de la série observée et ce aussi bien sur la période d'ajustement que sur la période de vérification, mais aussi répondre à certaines contraintes "physiques" quand à sa forme (pas de coefficients négatifs, pas d'instabilité dans la chronologie de ces coefficients).

II.4 Méthodes "élémentaires" ORSTOM : [13]

Cette approche consiste à porter sur un graphique le débit moyen journalière au jour j en fonction du débit au jour $j+N$, puis tracer les différentes courbes correspondant à diverses valeurs de l'indice pluviométrique.

$$I_p = \sum_{i=1}^N (p_i - ETP_i)$$

Résultat :

Sur deux des bassins considérés, l'Elle et la Dore un indice pluviométrique a été calculé pour chaque poste pluviométrique.

L'examen de la répartition de ces indices a conduit à des abaques de prévision à N jours d'utilisation aisée et fournissant des prévisions de débit d'étiages de probabilité donnée. Trois prévisions sont proposées :

$Q_{j+30\text{jours}}$ et $Q_{j+55\text{jours}}$ (voir figure 2.2) pour l'Elle, $Q_{j+30\text{jours}}$ pour la Dore.

Conclusion

Cette approche qui est avant tout un examen préalable des possibilités de prévision offertes par les données du bassin considéré peut néanmoins conduire à des résultats intéressants.

II.5 Utilisation d'une méthode "objective" (prévision par une exponentielle moyenne)

Au lieu d'envisager deux composantes du débit de tarissement l'une correspond au tarissement pur, l'autre aléatoire, résultant de l'action des pluies ou tout autre facteur, on ne considère qu'une courbe moyenne de récession.

La méthode consiste à :

- Supposer un comportement moyen de formulation connue à la chronologie des débits journaliers en période estivale;
- Poser que le débit initial Q_0 de cette formulation peut être considéré comme la valeur moyenne des débits journaliers sur n jours précédant la date de départ de la courbe de récession;

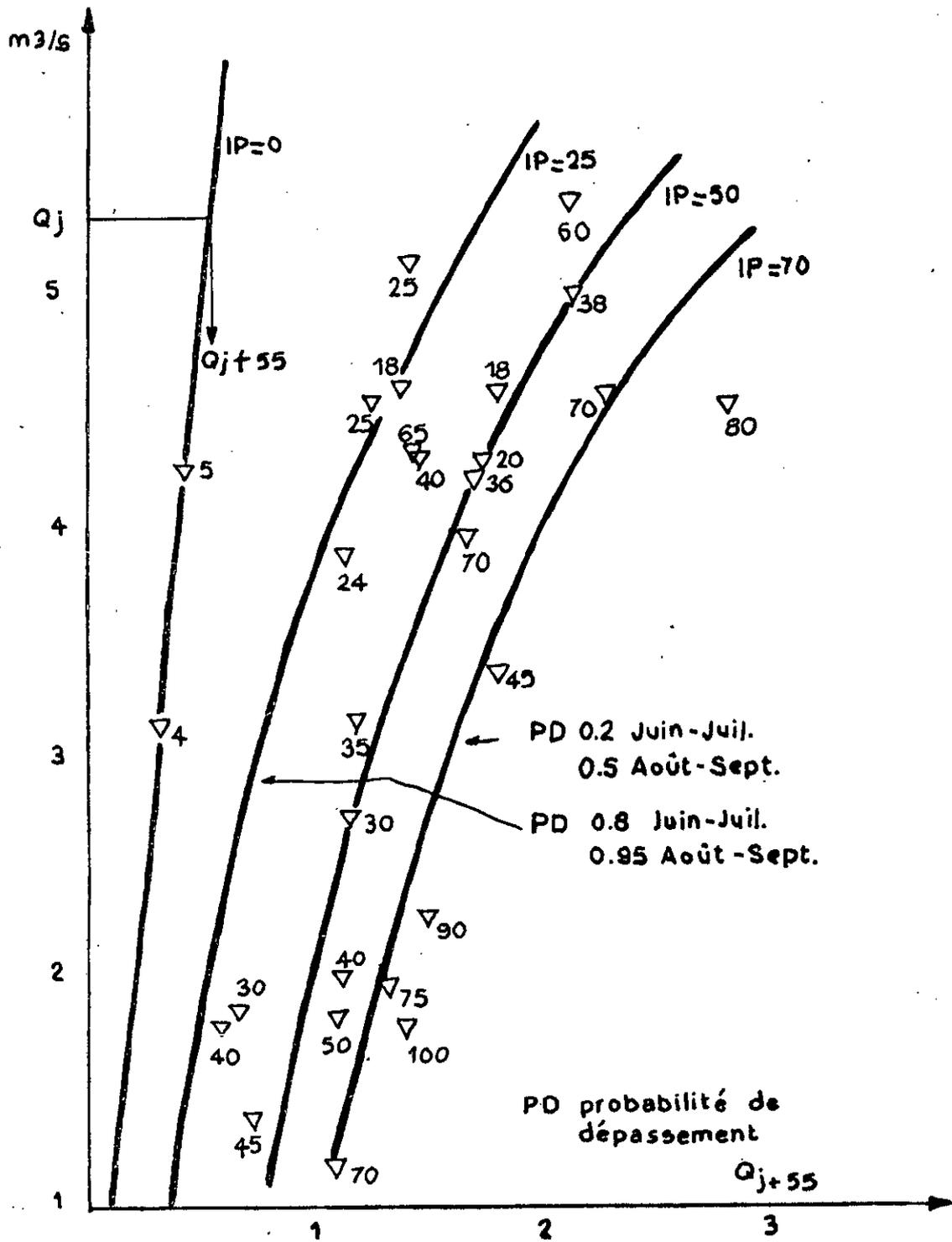


FIG. 2.2- L'Ellé à Pont-Ty-Nadan.
Prévision élémentaire à 55 jours

CHAPITRE III

LES DONNÉES DE
NOTRE ÉTUDE

III.1- Introduction :

Lors d'une étude hydrologique relative au bassin versant de la Tafna qui nous à été confié par l'ANRH, une base de données pluviométriques et hydrométriques est un préalable indispensable à la réalisation d'une telle étude, ainsi que plusieurs méthodes et un logiciel (H F A) de traitement d'observations hydrologiques ont été effectués pour la critique de ces observations.

La base de données hydrométriques a servi à la détermination des débits caractéristiques ajustés selon 2 distributions de la famille gamma, avec lesquelles on a déterminé les débits d'occurrence et les données pluviométriques ont servi à donner une idée sur la répartition mensuelle des pluies dans le bassin.

III.2- Présentation du bassin versant de la Tafna.

III.2.1- Situation géographique :

Le bassin versant de la Tafna est situé au nord-ouest de l'Algérie. Il couvre une superficie totale de 6900 km² (Figure 3.1) dont un peu moins d'un tiers se localise dans le territoire marocain. Le bassin de la Tafna est constitué de deux chaînes montagneuses parallèles :

- Les monts de Tlemcen au sud
- Les monts de Traras au nord, à l'intérieur desquels se trouve la plaine de Maghnia.

III.2.2- Relief et Topographie :

D'après l'étude faite par Chaumont présentée dans les rapports de l'ANRH, on peut partager le bassin versant de la Tafna en 03 zones :

- La zone des hauts reliefs
- La zone des reliefs moyens
- La zone des hautes plaines.

III.2.3- Hydrologie de la Tafna :

Le bassin versant de la Tafna se compose, selon les délimitations orographiques de l'ANRH de 08 sous bassins (Figure 3.2) dont la superficie varie de 388 km² pour le sous bassin n°08 drainé par l'oued Tafna maritime à 1294 km² pour le sous bassin n° 04 drainé par l'oued Tafna amont.

SITUATION DU BASSIN VERSANT DE "TAFNA" → EN ALGERIE

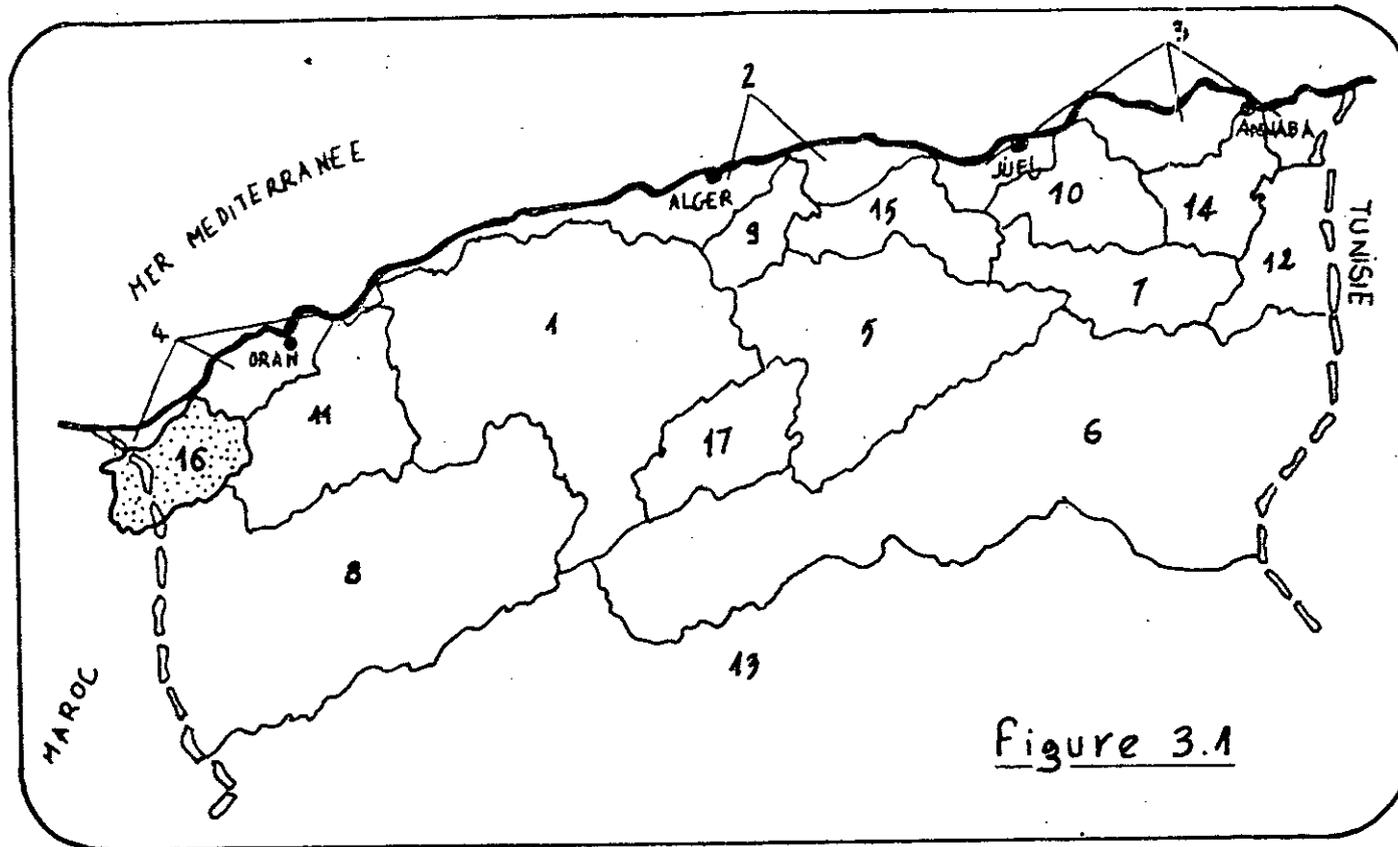
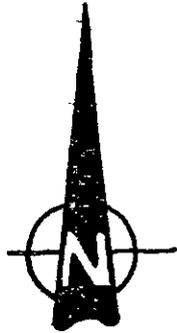


Figure 3.1

- | | | | | | |
|---|-----------------------|----|------------------------------|----|-----------|
| 1 | CHELIFF | 7 | HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS | 13 | SAHARA |
| 2 | COTIERS ALGEROIS | 8 | HAUTS PLATEAUX ORANAIS | 14 | SEYBOUSSE |
| 3 | COTIERS CONSTANTINOIS | 9 | ISSER | 15 | SOUHAN |
| 4 | COTIERS ORANAIS | 10 | KEBIR RHIMEL | 16 | TAFNA |
| 5 | CHOTT HODNA | 11 | MACIA | 17 | ZAHREZ |
| 6 | CHOTT MELRHIR | 12 | MEDJERJAN | | |



Bassin versant de La Tafna

■ station hydrometrique

○ stations pluviometriques

echelle : 1 / 500.000^e

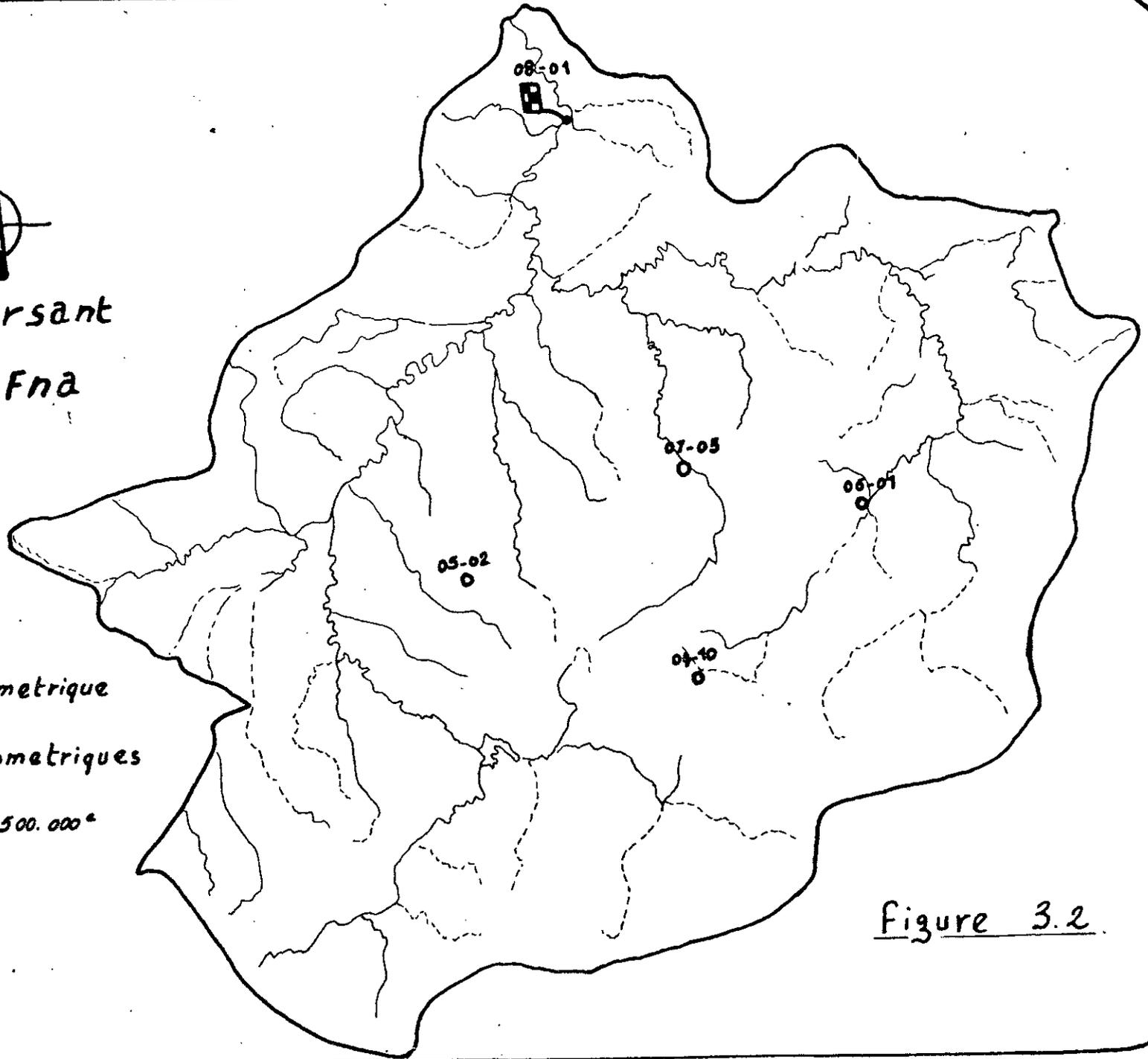


Figure 3.2

III.2.3.1- Hydrographie et régime hydraulique :

Le réseau hydrographique du bassin versant étudié se présente sous forme de deux branches principales: Oued Ysser à l'est oued Tafna à l'ouest, recevant chacun les affluents descendants des reliefs en bordures.

Leurs dispositions est très favorable, puisqu'ils sont répartis de telle manière à contrôler tout le bassin, ainsi on n'est pas surpris de l'importance des débits enregistrés à leur confluence à la station Pierre du chat.

Les oueds de la Tafna présentent un régime torrentiel comportant en moyenne 04 à 05 crues pendant les périodes d'hiver et parfois une crue de printemps et d'automne aboutissant pour certains à un tarissement complet en été.

La période d'étiage du bassin se limite aux quatres mois suivants: Juin, Juillet, Août, Septembre, au cours desquels l'alimentation des oueds est essentiellement d'origine phréatique.

III.2.3.2- Climatologie :

Dans le bassin de la Tafna, on est en présence d'un climat tempéré de l'Atlas Tellien, mais l'orientation et l'altitude du bassin créent de nombreuses variations locales (micro-climats) qui rendent ce dernier assez complexe. Le régime pluviométrique du bassin obéit aux périodes sèches et humides, qui caractérisent le climat méditerranéen.

III.2.3.2.a- Les précipitations :

Les années les plus humides peuvent connaître trois fois plus de précipitations que les années les plus sèches.

La répartition mensuelle des précipitations est très inégale.

Pour différentes stations du bassin, l'année se divise en 02 périodes :

* La période sèche, plus accentuée en plaine, se situe entre la mi-Juin et fin d'Août avec des précipitations minimales en Juillet dues essentiellement à des perturbations locales (orages).

* La période humide, qui s'étale de Septembre à Mai, se caractérise par trois mois de fortes pluviosités: Décembre, Janvier et Février ou les précipitations représentent environ 50% du total annuel.

III.2.3.2.b- Températures :

La température moyenne sur le bassin est de 14°C avec des écarts extrêmes entre -8°C et 40°C, mais généralement elle oscille entre 15°C et 20°C avec l'altitude.

En effet, le facteur orographique et l'éloignement de la mer entraînent une augmentation thermique qui peut dépasser 20°C en été, et s'abaisser à moins 14°C en hiver.

III.2.3.2.c- Hydrologie :

- Les eaux souterraines circulent dans de nombreuses formations d'âges et de natures lithologiques diverses, depuis le jurassique inférieur jusqu'aux alluvions récents du quaternaires (Limens, sables, graviers) de la plaine de Maghnia, le jurassique supérieur constitue la ressource la plus importante grâce à sa perméabilité en générale élevée et sa large extension.

- L'aquifère affleure les monts de Tlemcen qui bénéficient des plus fortes précipitations de l'Oranie, la valeur extrême de la lame d'eau infiltrée est de 87 mm/an, la majeure partie des eaux souterraines réapparaît en surface constitue l'essentiel des apports d'eau pendant la saison sèche (étiage) et cela grâce à:

- L'existence de faille.
- La variation de perméabilité des couches du sol.

III.3- Mesures dans les bassins versants.

III.3.1- Données hydrométriques :

Pour étudier le problème d'étiage dans le bassin de la Tafna, on dispose de la station Pierre du chat qui délimite un bassin versant de 6900 km².

Les observations hydrométriques ont débuté en 1952 et se poursuivent jusqu'à aujourd'hui avec certains arrêts de courte durée.

III.3.1.1.- Test des séries chronologiques :

En se basant sur le test de séries chronologiques, on a extrait les mois d'étiages, pour lesquels on a vérifié les débits moyens journaliers à -2σ et à $+2\sigma$, ce test a donné de bons résultats et toutes les valeurs ont vérifié la condition :

$$-2 \sigma < Q_i - Q_{i-1} < +2 \sigma$$

L'étude des hydrogrammes annuels (Figure 3.3-3.4-3.5-3.6-3.7-3.8 et 3.9) de la station Pierre du chat (26 années) montre que le début de tarissement est observé en général à mi-avril et début de Mai.

III.3.1.2- Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel en Hm³ à la station Pierre du chat.

Dans le tableau suivant sont répartis les apports moyens mensuels interannuels enregistrés à la station Pierre du chat (26 années).

Tableau N°1 : Apports moyens mensuels interannuels

| | S | O | N | D | J | F | Année |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Pierre du chat (26 années) | 5.77 2.5% | 12.38 5.36% | 12.90 5.59% | 20.40 8.84% | 26.91 11.66% | 25.48 11.04% | 230.76 100% |
| | M | A | M | J | J | A | Année |
| Pierre du chat (26 années) | 48.30 20.93% | 37.69 16.33% | 20.53 8.9% | 9.24 4% | 5.90 2.56% | 5.26 2.28% | 230.76 100% |

A partir de ce tableau, on est déjà en mesure de situer la période d'étiage qui peut être comprise entre le mois de Juin et Septembre.

III.3.1.3- Etude statistique des débits d'étiage.

III.3.1.3.a- Débits caractéristiques d'étiage :

Sur la base des données de débits moyens journaliers disponibles à la station Pierre du chat, nous avons extrait les débits caractéristiques d'étiage suivants :

1- Débit d'étiage QE

Débit minimum observé dans l'année.

2- Débit caractéristique d'étiage QCE10

Débit moyen journalier de rang 10.

3- Débit caractéristique d'étiage VCN10

Débit minimum observé sur 10 jours consécutifs.

4- Débit QMMA

Débit mensuel minimal annuel.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau N°2.

III.3.1.3.b- Distributions statistiques des débits caractéristiques:

Pour ajuster les débits caractéristiques d'étiage, il a fallu vérifier 2 tests: le test de Wald-Wolfowitz et celui de Mann Whitney qui donnent respectivement l'indépendance et l'homogénéité des données, pour cela on a appliqué le logiciel H.F.A (Hydrological Frequency Analysis).

*** Test de Wald-Woldfowitz :**

Avant d'appliquer les distributions statistiques de la famille gamma, il a fallu tout d'abord que les valeurs de débits caractéristiques d'étiage soient indépendantes. Le test utilise la statistique R comme suit :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} Q_i Q_{i+1} + Q_1 Q_N$$

L'indépendance des séries hydrologiques est la première vérification effectuée par les hydrologues.

TABLEAU N°02 : Débits caractéristiques

| Année | QE | QCE 10 | VCN 10 | QNNA |
|--------------|-----------|---------------|---------------|-------------|
| 1952/53 | 0,95 | 1,118 | 1,152 | 1,30 |
| 1954/55 | 2,05 | 2,078 | 2,078 | 2,38 |
| 1955/56 | 1,27 | 1,387 | 1,414 | 1,48 |
| 1956/57 | 1,10 | 1,118 | 1,124 | 1,39 |
| 1957/58 | 1,70 | 1,70 | 1,721 | 1,92 |
| 1958/59 | 1,38 | 1,471 | 1,502 | 1,60 |
| 1959/60 | 1,32 | 1,491 | 1,491 | 1,77 |
| 1960/61 | 1,03 | 1,093 | 1,093 | 1,23 |
| 1963/64 | 2,67 | 2,751 | 2,787 | 2,85 |
| 1964/65 | 5,70 | 6,089 | 6,331 | 11,50 |
| 1966/67 | 0,40 | 0,442 | 0,447 | 0,51 |
| 1968/69 | 1,35 | 1,47 | 1,592 | 4,08 |
| 1969/70 | 0,82 | 0,904 | 0,944 | 1,04 |
| 1970/71 | 0,92 | 0,943 | 0,979 | 1,05 |
| 1971/72 | 1,99 | 1,99 | 1,99 | 2,01 |
| 1972/73 | 2,32 | 2,41 | 2,431 | 2,67 |
| 1973/74 | 3,05 | 3,05 | 3,05 | 3,25 |
| 1974/75 | 3,21 | 3,314 | 3,314 | 4,38 |

Dans le cas où les valeurs de l'échantillon sont indépendantes, R suit une distribution normale avec une moyenne et une variance qui s'écrivent de la manière suivante :

$$\bar{R} = \frac{(S_1^2 - S_2)}{(N - 1)}$$

$$Var (R) = \frac{(S_2^2 - S_4)}{(N - 1)} - \bar{R}^2 + \frac{(S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4)}{(N - 1)(N - 2)}$$

La quantité $U = (R - \bar{R}) / (Var (R))^{1/2}$ suit une distribution normale (de moyenne nulle et de variance 1) et peut être utilisée pour tester la valeur α de l'hypothèse d'indépendance, et de comparer $|U|$ avec $U_{\alpha/2}$ qui correspond à la probabilité au dépassement $\alpha/2$. Pour l'homogénéité on a appliqué le test de Mann Whitney :

*** Le Test de Mann Whitney :**

Principe de la méthode :

On utilise le test de Mann Whitney pour déterminer si deux petits échantillons indépendants proviennent de population identique.

Énoncé de l'hypothèse nulle :

Le test consiste à énoncer l'hypothèse nulle H_0 qui signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre deux ensembles de données lorsque celles-ci proviennent de deux échantillons indépendants.

Démarche du test :

Le test est souvent appelé le test U parce que la statistique calculée pour tester la validité de l'hypothèse nulle est symbolisée par la lettre U. Son déroulement s'effectue comme suit:

1- Le test statistique U contient $(p + q)$ éléments combinés sous forme d'échantillons indépendants et qui ont deux indicateurs pour leur rang :

R_1 : représente la somme des rangs de l'échantillon p

R_2 : représente la somme des rangs de l'échantillon q
avec $p \leq q$

2- Calculons U_1 et U_2 à l'aide des formules suivantes

$$U_1 = pq + \frac{p(p+1)}{2} - R_1 \qquad U_2 = pq + \frac{q(q+1)}{2} - R_2$$

La relation entre U_1 et U_2 permet de vérifier facilement les calculs : $U_1 + U_2 = pq$

3- La valeur U calculée sera égale au minimum de (U_1, U_2) et la valeur critique de U (p, q, α) sera donnée par la table de Mann Whitney.

4- Tirer la conclusion statistique appropriée concernant l'hypothèse nulle: le test consiste à comparer la valeur U calculée avec la valeur U que l'on devrait idéalement observée lorsque l'hypothèse nulle est vraie

5- L'hypothèse est acceptée pour U calculée supérieure à la valeur critique U.

Remarques :

1- Le test est sensible pour $p = q$

2- Dans le cas où l'échantillon est de grande taille ($p + q > 60$) l'approximation suivante est appliquée :

$$U(p, q, \alpha) = \frac{pq}{2} - z \left[\sqrt{\frac{pq(p+q+1)}{12}} \right]$$

3- Les valeurs affectées par z pour un test unilatéral et bilatéral sont contenues dans une table de distribution normale, si dans le cas où l'échantillon est de grande taille, on ne pourra pas spécifier α et trouver des tables valables pour les valeurs critiques de U(p, q, α), on applique l'approximation suivante :

$$\bar{z} = \frac{|U - \frac{pq}{2}|}{\sqrt{\frac{pq(p+q+1)}{12}}} \quad \text{ou} \quad \bar{z} = \frac{\bar{R}_1 - \bar{R}_2}{\sqrt{\frac{(p+q)^2(p+q+1)}{12pq}}}$$

La valeur z est comparée à celle critique z de la distribution normale :

$$\left. \begin{array}{l} \bar{z} < z \text{ critique} \\ p_z > p_z \text{ critique} \end{array} \right\} \rightarrow \text{l'hypothèse est acceptée}$$

III.3.1.4- Résultats :

La méthode pratique d'indépendance et l'homogénéité se porte sur une période hydrologique de 26 années.

Si on essaie de prendre toutes les valeurs de la série, l'application du logiciel H.F.A sera impossible du fait qu'il s'applique pour l'étude des crues dont les valeurs sont notamment supérieures à zéro, alors que les données traitées dans ce travail sont des débits d'étiages contenant 03 valeurs égales à zéro pour chacune des séries.

Pour résoudre ce problème on a éliminé les 03 valeurs, cela revient à étudier des séries de 23 valeurs dont la moyenne et l'écart type ne sont pas différents de ceux trouvés pour les séries de 26 valeurs, d'où la possibilité d'appliquer le logiciel pour des séries tronquées de 23 années.

Les résultats du test d'indépendance et d'homogénéité pour ces débits caractéristiques d'étiage montrent que toutes les séries sont indépendantes et homogènes à un niveau de signification de 5%.

III.3.1.5- Choix de la distribution :

Une fois l'indépendance et l'homogénéité vérifiées, on a choisi deux distributions de la famille gamma :

1- distribution gamma généralisée à maximum de vraisemblance

2- Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance.

A partir de ces 2 distributions, on peut faire une extrapolation des débits d'occurrence, (voir annexe).

La méthode du maximum de vraisemblance a pour principe de choisir comme estimation du paramètre étudié, la valeur la plus vraisemblable, c'est à dire celle qui a la plus forte probabilité de provoquer l'apparition des valeurs réellement observées dans l'échantillon.

III.3.1.5.a- Distribution gamma généralisée :

La distribution gamma à 4 paramètre $GG_4(s, \alpha, \lambda, m)$ est la plus généralisée de toutes les distributions gamma, sa f.d.p s'écrit :

$$f_{GG_4}(V'', s, \alpha, \lambda, m) = \frac{|s\alpha| e^{-[\alpha(V'' - m)]^s}}{\Gamma(\lambda)} [\alpha(V'' - m)]^{s\lambda - 1}$$

où :

α : paramètre d'échelle

λ : paramètre de forme / paramètre de puissance

S : paramètre de puissance (paramètre de forme $d = S\lambda$)

m : paramètre de position.

La distribution gamma à 3 paramètres $GG_3(\alpha, \lambda, S)$ est un cas particulier de GG_4 obtenue en posant le paramètre d'échelle $\alpha > 0$, et le paramètre de puissance S peut être positif ou négatif. Sa f.d.P est donnée par :

$$f_{GG_3}(V, s, \alpha, \lambda) = \frac{\alpha |s| e^{-[\alpha V]^s}}{\Gamma(\lambda)} [(\alpha V)]^{s\lambda - 1}$$

- Si $\alpha > 0$ $0 \leq V \leq \infty$

Le coefficient de Skewness est soit positif, soit négatif

- Si $V \sim GG_3(s, \alpha, \lambda)$ et $W = C.V$ avec $C \neq 0$

alors $W \sim GG_3(S, \alpha/c, \lambda)$

- Si $\alpha > 0$ et $W^p = V^p$ avec $p \neq 0$

alors $W^p \sim (s/p, \alpha^p, \lambda)$.

III.3.1.5.b- Distribution Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance :

La distribution Pearson III $p(\alpha, \lambda, m)$ est déduit soit par:

- Les 2 paramètres de la distribution gamma $G_2(\alpha, \lambda)$ en posant

$$Z = y + m, \quad y = z - m$$

$$f_{G_2}(y, \alpha, \lambda) = |\alpha| e^{-\alpha y} (\alpha y)^{\lambda-1}$$

- Le paramètre de la distribution gamma $G_1(\lambda)$ en posant :

$$Z = \frac{x}{\alpha} + m, \quad x = \alpha (z - m)$$

$$f_{G_1}(x, \lambda) = \frac{e^{-x} x^{\lambda-1}}{\Gamma(\lambda)} \quad 0 \leq x < \infty \quad \lambda > 0$$

Dans les 2 cas on obtient :

$$f_p(z, \alpha, \lambda, m) = \frac{|\alpha|}{\Gamma(\lambda)} e^{-\alpha(z-m)} [\alpha(z-m)]^{\lambda-1}$$

III.3.1.6- Distributions statistiques des débits caractéristiques:

Les différents débits caractéristiques d'étiage, extraits de la station Pierre du chat, ajustés selon 2 lois :

gamma généralisée à maximum de vraisemblance, et Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance ont donné les résultats mentionnés dans le tableau N°3 et figures N°: 3.10- 3.11- 3.12- 3.13-3.14- 3.15- 3.16- et 3.17.

Tableau N°3

| | | QE | QCE10 | VCN10 | QMMA |
|---|------------------------------------|-----------|--------------|--------------|-------------|
| Gamma généralisée à maximum de vraisemblance | Moyenne arithmétique | 1.58 | 1.67 | 1.70 | 2.22 |
| | Ecart type | 1.23 | 1.28 | 1.31 | 2.30 |
| | Coeff. de variation | 0.78 | 0.77 | 0.77 | 1.036 |
| | Coeff. de Skewness | 1.81 | 1.99 | 2.12 | 3.22 |
| | 1 ^{er} paramètre α | 1.097 | 2.230 | 4.670 | 0.213 |
| | 2 ^{em} paramètre β | 1.750 | 2.818 | 3.965 | 1798.15 |
| | 3 ^e paramètre S | 1.008 | 0.816 | 0.690 | |
| Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance | Moyenne arithmétique | 1.58 | 1.67 | 1.70 | 2.22 |
| | Ecart type | 1.23 | 1.28 | 1.31 | 2.30 |
| | Coeff. de variation | 0.78 | 0.77 | 0.77 | 1.036 |
| | Coeff. de Skewness | 1.81 | 1.99 | 2.12 | 3.22 |
| | 1 ^{er} paramètre α | 1.128 | 1.206 | 1.162 | 0.661 |
| | 2 ^{em} paramètre β | 1.728 | 1.915 | 1.846 | 1.347 |
| | 3 ^e paramètre M | 0.120 | 0.150 | 0.180 | 0.270 |

III.3.1.7- Résultats :

L'étude de 23 années des débits caractéristiques a montré que les ajustements selon la distribution gamma généralisée à maximum de vraisemblance et la distribution Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance donnent des résultats très voisins pour la détermination des débits d'occurrence (voir tableau N°4).

Tableau N°04

| Distributions | Débits caractéristiques | T=10 ans | T=20 ans | T=50 ans | T=100 ans |
|---|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Gamma généralisée à maximum de vraisemblance | QE | 3.123 | 3.877 | 5.170 | 5.600 |
| | QCE10 | 3.231 | 4.039 | 5.366 | 5.770 |
| | VCN10 | 3.270 | 4.156 | 5.428 | 5.951 |
| | QMMA | 4.523 | 6.030 | 9.423 | 10.553 |
| Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance | QE | 3.231 | 3.877 | 5.169 | 5.538 |
| | QCE10 | 3.300 | 3.553 | 5.161 | 5.500 |
| | VCN10 | 3.323 | 4.061 | 5.215 | 5.630 |
| | QMMA | 4.571 | 5.679 | 7.895 | 8.310 |

Nous verrons comment on peut chiffrer en probabilité la précision des estimations obtenus, grâce à la notion d'intervalle de confiance dont on a de bonnes raisons de croire qu'il contient la "vraie" valeur du paramètre recherché.

On se donne un coefficient de confiance égale à :

$$1 - \alpha = 0,95$$

On détermine ensuite les limites de confiance ou limites de sécurité G_1 et G_2 de telle sorte que :

$$p (G_1 \leq Q_T \leq G_2) = 1 - \alpha$$

Avec $T = 10, 20, 50$ et 100 ans.

Les résultats sont présentés dans le tableau N°05.

Tableau n°5 : Tableau des intervalles de confiance.

| | T (ans) | QE | QCE10 | VCN10 | QMM A |
|--|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Gamma généralisée à maximum de vraisemblance | 10 | 2.100 < Q ₁₀ < 4.254 | 2.135 < Q ₁₀ < 4.385 | 2.158 < Q ₁₀ < 4.447 | 2.450 < Q ₁₀ < 4.711 |
| | 20 | 2.423 < Q ₂₀ < 5.385 | 2.481 < Q ₂₀ < 5.655 | 2.485 < Q ₂₀ < 5.755 | 2.638 < Q ₂₀ < 9.423 |
| | 50 | 2.585 < Q ₅₀ < 7.593 | 2.654 < Q ₅₀ < 8.020 | 2.616 < Q ₅₀ < 8.240 | 1.885 < Q ₅₀ < 16.961 |
| | 100 | 2.639 < Q ₁₀₀ < 8.454 | 2.654 < Q ₁₀₀ < 9.001 | 2.616 < Q ₁₀₀ < 9.418 | 1.319 < Q ₁₀₀ < 19.976 |
| Pearson III à maximum cond- itionnel de vraisemblance | 10 | 2.123 < Q ₁₀ < 3.784 | 2.242 < Q ₁₀ < 4.272 | 2.308 < Q ₁₀ < 3.877 | 2.978 < Q ₁₀ < 6.233 |
| | 20 | 2.584 < Q ₂₀ < 5.261 | 2.623 < Q ₂₀ < 5.288 | 2.677 < Q ₂₀ < 5.353 | 3.601 < Q ₂₀ < 7.964 |
| | 50 | 3.231 < Q ₅₀ < 6.969 | 2.834 < Q ₅₀ < 6.980 | 3.323 < Q ₅₀ < 7.199 | 4.709 < Q ₅₀ < 11.149 |
| | 100 | 3.415 < Q ₁₀₀ < 7.707 | 2.469 < Q ₁₀₀ < 7.72 | 3.554 < Q ₁₀₀ < 7.707 | 4.848 < Q ₁₀₀ < 11.773 |

III.3.1.8- Courbe des débits classés :

En dehors du classement chronologique, la façon la plus simple d'ordonner une série d'observation est de ranger celle-ci par ordre de grandeurs croissantes ou décroissantes, ce mode de classement est dit "monotone".

C'est à cette dernière conception que se rattache la courbe des débits classés utilisée depuis longtemps dans les calculs hydrologiques établis sous la forme des figures (voir annexe).

Elle donne en ordonnée la valeur du débit Q journalier atteinte ou dépassée pendant le nombre n de jours (ou le pourcentage du temps total d'observation) correspondant à l'abscisse n .

La courbe des débits classés d'un cours d'eau en un point se prête bien au calcul du débit moyen dérivé, pendant une période déterminée, par un canal de débit maximum Q , alimenté par une prise d'eau "au fil de l'eau" (c'est à dire ne comportant pas de réservoir de régularisation) implantée en ce point; ce débit est évidemment égale à l'ordonnée moyenne de la surface comprise entre une parallèle de cote Q à l'axe des abscisses, la courbe des débits classés et les axes de coordonnées. En effet, tous les débits naturels inférieurs à Q peuvent être entièrement dérivés par le canal; si le débit naturel Q' est supérieur à Q , l'excédent $Q' - Q$ ne peut pénétrer dans la dérivation et est "déversé".

III.3.2- Données pluviométriques :

Toutes les données pluviométriques du bassin de la Tafna sont disponibles à l'Agence Nationale En Ressources Hydraulique (ANRH).

Ces stations sont réparties sur l'ensemble du bassin et des sous bassin de manière assez homogène.

Pour mettre en évidence l'étude des étiages, on a pris 04 stations pluviométriques situées au milieu du bassin qui sont en général les plus représentatives pour le bassin choisi drainé par la station hydrométrique Pierre du chat (voir Tableau N°6).

Tableau N°6 : Stations pluviométriques et leurs codes :

| Stations | Code |
|-----------------|--------------|
| - Sebra | 16 - 05 - 02 |
| - Merchiche MF | 16 - 04 - 10 |
| - Lala setti | 16 - 07 - 05 |
| - Chouly | 16 - 06 - 01 |

Pour chacune de ces stations, les pluies sont données sous forme de hauteurs journalières, exprimées en dixièmes de millimètre .

III.3.2.a- Répartition des pluies moyennes mensuelles en mm/mm :

L'étude de la pluviométrie doit servir à celle des besoins en eau. La mise en oeuvre des hydrographes des pluies moyennes mensuelles des 04 stations choisies requiert certaines connaissances sur la répartition des pluies dans le bassin de la Tafna et les faibles précipitations des mois de Juin, Juillet et Août (voir graphe N° 1, 2, 3 et 4) ont conduit à la décroissance régulière des débits du bassin au cours du temps selon une courbe dite de tarissement, ce qui explique l'insuffisance des besoins.

Tableau N°07 : Répartition des pluies moyennes mensuelles en mm/mm

| | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Merchiche MF | 16.7 | 33.7 | 45.8 | 69.6 | 61.0 | 56.7 | 61.9 | 40.7 | 45.1 | 8.5 | 2.1 | 3.4 |
| Sebra | 17.6 | 32.3 | 54.1 | 59.5 | 50.4 | 61.1 | 65.8 | 50.0 | 42.5 | 12.1 | 1.6 | 7.5 |
| Lala Setti | 18.0 | 48.9 | 70.5 | 91.5 | 69.9 | 71.6 | 93.1 | 80.6 | 63.6 | 15.8 | 5.2 | 3.7 |
| Chouly | 14.5 | 36.4 | 54.5 | 63.1 | 50.7 | 59.9 | 72.6 | 50.6 | 35.5 | 13.9 | 5.2 | 3.4 |

III.3.2.b- Critique de l'information pluviométrique :

Elle sera effectuée sur les valeurs annuelles observées, et portera essentiellement sur le contrôle de l'homogénéité et l'indépendance de ces séries en se basant sur les test de Mann-Whitney et celui de Wald-Wolfowitz qui ont donné les résultats suivants :

*** Lala Setti : 16 - 07 - 05**

1- Test d'indépendance : $U = 3.321$

L'hypothèse d'indépendance est rejetée à 1% de niveau significatif.

2- Test de l'homogénéité :

L'hypothèse d'homogénéité est rejetée.

*** Chouly : 16 - 06 - 01**

1- Test d'indépendance : $U = 2.487$

L'hypothèse d'indépendance est rejetée à 5% et acceptée à 1% de niveau significatif.

2- Test de l'homogénéité : On rejette l'homogénéité.

*** Merchiche FM : 16 - 04 - 10**

1- Test d'indépendance : $U = 1.818$

On accepte l'indépendance à 5% de niveau significatif.

2- Test de l'homogénéité : $P = 3$

$$q = 32$$

$$U = 41.00$$

$$z = 0.41$$

On accepte l'homogénéité à 5% de niveau significatif.

*** Sebra : 16 - 05 - 02**

1- Test d'indépendance : $U = 2.119$

L'indépendance est rejetée à 5% et acceptée à 1% de niveau significatif.

2- Test de l'homogénéité : On rejette l'homogénéité.

III.3.2.c- Conclusion :

Le test d'indépendance a montré des dépendances pour la plupart des valeurs, ce qui permet de conclure à l'hétérogénéité des stations qui est due à la mauvaise dispersion des valeurs observées et à la discontinuité des séries.

CHAPITRE IV

ELABORATION DU MODELE

IV-1 Introduction

Le choix d'un modèle est un problème délicat compte tenu de l'extrême variété de ces derniers.

La première des choses à définir est l'emploi prévu pour le modèle, c'est à dire la tâche que l'on veut résoudre, cela permet de définir les qualités et les caractéristiques souhaitées.

Le deuxième souci est d'examiner les données disponibles pour le calage du modèle.

Il est essentiel que ces données correspondent en nombre et en qualité aux prétentions du modèle

Il faut reconnaître, que dans la pratique cela limite considérablement la richesse souhaitée pour le modèle.

La prévision des étiages est une tâche difficile mais utile pour tous les utilisateurs des ressources en eau, et devient une nécessité.

Dans les prévisions à court terme, moyen ou long terme, il s'agit essentiellement de calculer les probabilités d'occurrence de débits ou d'apports.

Il est recommandé de n'utiliser dans le cas du bassin versant drainé par la station Pierre du Chat que des débits, car il est évident que le climat dans la région de la Tafna est sec en été.

Dans ce cas il est préférable de mettre individuellement en relation le débit à prévoir au temps t avec les débits observés au temps $t-1, t-2, \dots, t-n$.

car on caractérise mieux ainsi les possibilités de fournir à l'utilisateur un outil d'emploi extrêmement simple et systématique.

IV.2 Concept général de la méthode développée

IV.2.1 modélisation au pas de temps mensuel : la régression linéaire

Au pas de temps mensuel, la plupart des modèles sont des modèles linéaires.

La régression linéaire est donc l'un des modèles simples qui donnent des résultats satisfaisants, elle se porte sur chacun des mois (Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre) afin d'avoir une vision globale de la qualité de la série des débits prévus par rapport à la série des débits réalisés (Voir tableau 4.1)

Tableau 4.1 : Tableau des coefficient de corrélation

| | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre |
|-----------|-----|------|---------|------|-----------|
| Mai | 1 | 0.59 | 0.46 | 0.36 | 0.34 |
| Juin | | 1 | 0.94 | 0.87 | 0.89 |
| Juillet | | | 1 | 0.96 | 0.94 |
| Août | | | | 1 | 0.92 |
| Septembre | | | | | 1 |

Les meilleurs coefficients de corrélation sont obtenus à partir du mois de Juin, donc les mois d'étiage se corrént bien à partir du mois de Juin jusqu'à Septembre.

Ce modèle consiste à minimiser l'écart entre le débit observé et le débit calculé, obtenu par le processus numérique dit "calage du modèle" : Le calage est effectuée sur une partie des données, et l'on conserve l'autre partie pour effectuer un contrôle du comportement du modèle.

Dans ce type de modèle, la fonction d'écart (l'erreur) ($Q_i - Q$) sera négligeable dans le cas où le débit prévu est égale au débit observé.

Compte tenu la démarche de cette méthode, nous avons été amenés à choisir les caractéristiques du débit à prévoir ainsi que date d'émission de la prévision, la variable à prévoir sera :

- Q_j^m : Le débit moyen du mois j, et ce; sur la période de Juin - Septembre
- La date de prévision est à un mois parceque la régression est effectuée sur chaque couple de mois (j,j+1)

IV.2.1.1 Ajustement de la méthode de régression linéaire

On considère une prévision à 1 mois :

- on a établi une corrélation entre les mois d'étiage par la formule $Q_j = aQ_{j-1} + b$
- le tableau N°4-1 reprend les valeurs des coefficients de corrélation
- la meilleure corrélation est trouvée entre les mois consécutifs Juin-Juillet; Juillet-Août; Août-Septembre

- la période de calage est de 20 ans et la période à tester est de 6 ans.
- Connaissant toutes les variables (débits) de la période de calage du mois pour lequel s'opère la prévision et on permet de vérifier si une relation linéaire simple peut conduire à une reconstitution satisfaisante des caractéristiques de débits envisagés, tout en supposant que ces mêmes variables sont inconnues pour la période à tester pour laquelle s'opère la prévision.
- les résultats sont mentionnés sur le tableau 4.2 et figure 4.1 - 4.2 - 4.3 - 4.4

Remarque :

Les débits à prévoir sont tellement faibles qu'on est obligé de passer au logarithme népérien pour éviter d'avoir des débits prévus négatifs

$$Q_{\text{juin}} = 0.563 Q_{\text{Mai}} + 0.227$$

$$Q_{\text{juillet}} = 0.988 Q_{\text{juin}} - 0.484$$

$$Q_{\text{Août}} = 0.955 Q_{\text{juillet}} - 0.102$$

$$Q_{\text{sept}} = 0.789 Q_{\text{Août}} + 0.349$$

Les coefficients de corrélation sont respectivement :

$$r = 0.79, 0.91, 0.92 \text{ et } 0.86.$$

Tableau 4.2 **Tableau des débits prévus**

| Années | Q_{juin} | Q_{juillet} | Q_{juillet} | Q - Q |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| 1977 | 1.22 | 0.52 | 0.75 | -0.23 |
| 1978 | 0.64 | 0.29 | 0.4 | -0.11 |
| 1979 | 1.43 | 0.67 | 0.88 | 0.21 |
| 1987 | 0.19 | 0.00 | 0.12 | -0.12 |
| 1988 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | -0.02 |
| 1989 | 1.26 | 0.00 | 0.77 | 0.77 |
| Années | Q_{juillet} | Q_{août} | Q_{août} | Q - Q |
| 1977 | 0.52 | 0.48 | 0.48 | 00.00 |
| 1978 | 0.29 | 0.27 | 0.28 | -0.1 |
| 1979 | 0.67 | 0.55 | 0.62 | -0.07 |
| 1987 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | -0.01 |
| 1988 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | -0.01 |
| 1989 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | -0.01 |
| Années | Q_{août} | Q_{sept} | Q_{sept} | Q - Q |
| 1977 | 0.48 | 0.53 | 0.79 | -0.26 |
| 1978 | 0.27 | 0.98 | 0.50 | 0.48 |
| 1979 | 0.55 | 0.86 | 0.88 | -0.02 |
| 1987 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | -0.01 |
| 1988 | 0.00 | 2.05 | 0.04 | 2.01 |
| 1989 | 0.00 | 2.25 | 0.04 | 2.21 |
| Années | Q_{Mai} | Q_{Juin} | Q_{Juin} | Q - Q |
| 1977 | 2.40 | 1.22 | 2.05 | -0.83 |
| 1978 | 1.43 | 0.64 | 1.53 | -0.89 |
| 1979 | 3.50 | 1.43 | 2.54 | -1.11 |
| 1987 | 0.35 | 0.19 | 0.69 | -0.5 |
| 1988 | 0.12 | 0.03 | 0.38 | -0.35 |
| 1989 | 3.39 | 1.26 | 2.50 | -1.24 |

IV.2.1.2 Interprétation des résultats

Ces ajustements sont réalisés en connaissant l'ensemble des débits du mois précédent les débits du mois pour lequel s'opère la prévision dont les valeurs sont supposées inconnues.

En utilisant cette méthode de prévision pour les mois d'étiage qui sont juin, juillet, Août et Septembre, il semble que l'on puisse émettre une prévision assez satisfaisante pour les mois de Juillet et Août, du fait qu'on a trouvé des écarts entre les valeurs de débits prévus et les valeurs de débits observés assez faibles, par contre rien ne peut être retenu pour le mois de juin du fait que les écarts entre les valeurs de débits observés et les valeurs de débits prévus sont assez élevés, c'est à dire que le mois de juin ne se corrèle pas bien avec le mois de Mai.

IV.2.2 Influence de la pluie sur le débit

Nous avons vu précédemment (chapitre III) que l'homogénéité était vérifiée pour une seule station (16-04-10), on avait pensé que celle-ci représentait le bassin, alors on a tracé les débits mensuels en fonction des mois d'étiages de la station hydrométrique et les pluies mensuelles en fonction des mois d'étiage pour les années concomitantes afin de pouvoir justifier les fluctuations des débits correspondants aux pluies tombées (voir figures 4.5-4.6-4.7-4.8-4.9-4.10-4.11-4.12), sinon celles-ci sont expliquées par les lâchées des barrages ou les déversements dans le cours d'eau.

IV.2.2.1 Interprétation des résultats

La notion d'influence n'a pas conduit à un résultat satisfaisants du fait qu'on avait pris en considération des débits qui expliquent une moyenne sur 30 jours, et les orages d'été survenant sur une journée ou même 2 ou 3 jours soient consécutifs ou non consécutifs n'influent pas beaucoup sur la moyenne mensuelle de débit, donc celle ci reste toujours faible.

A ce moment la forte pluviosité dans les mois d'étiage ne contribue pas à un écoulement du fait que le sol du bassin versant se trouve à sec, et toute la pluie tombée s'infiltré dans le sol.

IV.2.3 Représentativité des stations pluviométriques et leur influence (ACP)

En examinant l'apport de chaque composante sur le tableau ci-après, on remarque que pour avoir près de 92% de la variance totale, il suffit de ne considérer que les deux premières composantes principales, les autres composantes n'expliquent que 8% de l'information totale, leur négligence ne peut être considérée comme étant une perte d'information.

Etudions maintenant le tableau des projections des variables sur les axes principaux, une assez forte corrélation est notée avec le premier axe, le coefficient de détermination varie de 0.952 jusqu'à 0.682, alors qu'il décroît très vite pour les autres axes.

Etude graphique :

la station hydrométrique est désignée par EEE et les quatre stations pluviométriques sont désignées par AAA, BBB, CCC et DDD (voir figures 4.13 - 4.14).

IV.2.3.1 Interprétation des résultats

Donc on opte pour 2 composantes principales totalisant environ 92% de variance expliquée et d'après l'étude graphique (cercle de corrélation) on peut directement dire qu'il n'y a pas un regroupement des stations pluviométrique avec la série hydrométrique, ce qui implique qu'aucune des séries pluviométrique ne représente le bassin versant drainé par la station hydrométrique Pierre du Chat, à ce moment on peut conclure que la pluie n'intervient pas, cet effort a été fait dans la sélection afin d'obtenir un échantillon de station représentatif.

Tableau I

| VARIABLES | COMPOSANTES PRINCIPALES | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | AXE 1 | | AXE 2 | | AXE 3 | | AXE 4 | | AXE 5 | |
| AAA | 0.9757 | 0.9520 | 0.0201 | 0.0004 | 0.0784 | 0.0061 | -0.0925 | 0.0086 | 0.1810 | 0.0328 |
| BBB | 0.9331 | 0.8706 | -0.0288 | 0.0008 | 0.2670 | 0.0713 | 0.2372 | 0.0563 | -0.0353 | 0.0012 |
| CCC | 0.8583 | 0.7367 | 0.4107 | 0.1687 | -0.2949 | 0.0870 | 0.0859 | 0.0074 | -0.0150 | 0.0002 |
| DDD | 0.9554 | 0.9128 | 0.0840 | 0.0071 | 0.1208 | 0.0146 | -0.2270 | 0.0515 | -0.1177 | 0.0139 |
| EEE | 0.8262 | 0.6825 | -0.5150 | 0.2652 | -0.2274 | 0.0517 | 0.0146 | 0.0002 | -0.0221 | 0.0005 |

IV.3 Conclusion

Après avoir utilisé le modèle de régression linéaire et l'A.C.P, on peut conclure que toutes les modèles qui vont être développés par la suite dépendront seulement du débit, car la pluie n'a aucune influence.

Il est recommandé de n'utiliser, dans de tels calculs que 2 à 4 composantes structurées, un trop grand nombre de variables explicatives d'une part, et l'adjonction de variables trop spécifiques ou éphémères d'autre part, risque d'aboutir à des corrélations factices.

IV.4 Méthode basée sur la régression multiples:

On cherche à "expliquer " une variable Q en fonction de $k-1$ variables Q_1, \dots, Q_k par une expression affine, à partir de n observations concomitantes de ces k variables.

La relation la plus simple à envisager, qui exprime directement une certaine proportionnalité entre l'effet et la cause présumée est le modèle linéaire du type:

$$Q = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + \dots + a_n Q_n + \varepsilon$$

Cette expression nous permet d'examiner la relation existante entre le débit du mois j à prévoir à partir des mois précédents et nous conduire à une reconstitution satisfaisante des caractéristiques de débits envisagés en considérant des délais de prévision les plus larges possibles permettant d'aboutir à de bons résultats.

IV.5 Résultats

Ces ajustements sont effectués sur 4 mois d'étiage (Juin, Juillet, Août et Septembre) sans calage du modèle et avec calage.

IV.5.1 Sans calage

On suppose inconnues toutes les valeurs des débits pour lesquelles s'effectue la prévision et connaissant toutes les valeurs de débits précédents chaque mois prévu. L'ensemble de résultats obtenus est donné dans le tableau N°4.3.

Il faut signaler qu'effectivement des relations simples peuvent généralement conduire à de bonnes estimations des débits du fait que les coefficients de corrélation varient entre 0.91 et 0.96 et les écarts entre les valeurs de débits observés et les valeurs de débits prévus sont faibles, ce qui conduit à des résultats satisfaisants et surtout pour le mois de juillet.

IV.5.2 Avec calage

On se dispose d'une période de calage de 20 ans et on essaye d'envisager pour cette période un modèle de prévision avec lequel on va tester les 6 années. Enfin on obtient les résultats suivants (voir tableau N°4.4 et annexe).

Tableau n°4.3

Type de relation : prévision des mois (sans calage) : sept, Août et juillet

Bassin : Tafna

période : 1952-1989

| le mois prévu | le débit prévu | le modèle | coeff de détermination |
|---------------|----------------|---|------------------------|
| Septembre | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.7077 + 0.1299 Q_8^{30} + 0.9735 Q_7^{30} - 0.1665 Q_6^{30}$ | 0.871 |
| | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.5619 + 0.2168 Q_8^{30} + 0.6926 Q_7^{30}$ | 0.866 |
| | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.7426 + 0.9007 Q_8^{30}$ | 0.823 |
| Août | Q_8^{30} | $Q_8^{30} = 0.1056 + 1.1746 Q_7^{30} - 0.2037 Q_6^{30}$ | 0.927 |
| | Q_8^{30} | $Q_8^{30} = -0.0813 + 0.9297 Q_7^{30}$ | 0.92 |
| Juillet | Q_7^{30} | $Q_7^{30} = -0.4064 + 0.7316 Q_6^{30}$ | 0.879 |

Tableau n°4.4

Type de relation : prévision des mois : Sept, Août et Juillet (avec calage)

Bassin : Tafna

période : 1952-1976

| le mois prévu | le débit prévu | le modèle | coeff de détermination |
|---------------|----------------|--|------------------------|
| Septembre | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.4878128 + 0.1073Q_8^{30} + 1.0138Q_7^{30} - 0.149Q_6^{30}$ | 0.903 |
| | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.31169 + 0.1812Q_8^{30} + 0.7741Q_7^{30}$ | 0.899 |
| | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.6297 + 0.9224Q_8^{30}$ | 0.839 |
| Août | Q_8^{30} | $Q_8^{30} = 0.1295 + 1.8427Q_7^{30} - 0.2141Q_6^{30}$ | 0.9103 |
| | Q_8^{30} | $Q_8^{30} = -0.1299 + 0.9397Q_7^{30}$ | 0.899 |
| Juillet | Q_7^{30} | $Q_7^{30} = -0.4878 + 0.7452Q_6^{30}$ | 0.851 |

IV.6 La prévision spatio-temporelle

Le débit mensuel d'étiage se produit fréquemment en juillet et surtout en Août, mais au cours duquel l'ETP atteint son maximum et les réserves en eaux souterraines sont au plus bas.

Si la genèse des étiages est liée à un déficit d'alimentation des cours d'eau dûe aux conditions météorologiques, leur évolution dépend des restitutions d'eaux souterraines dans le lit des oueds. De ce fait, les variations spatiales et également temporelles des écoulements dans la période des étiages sont liées à la conjonction de ces principaux paramètres naturels, la mise en évidence de la prévision spatiale prend en considération deux stations hydrométriques se trouvent à l'amont de la station Pierre du chat.

Les mois d'étiage de ces deux stations sont corrélés respectivement avec les mois d'étiage concomittants de la station Pierre du chat, mais seulement une de deux stations a donné de bons coefficients de corrélation, ce qui traduit que celle ci qui permettra de prévoir les débits de la station Pierre du chat et de déboucher à des constatations de prévision globale mais, néanmoins, éclairantes en l'état actuel de nos connaissances.

Cette analyse aurait été plus expressive si elle était basée sur une cartographie représentant les variations spatiales de l'écoulement mensuel minimal.

Cependant, en se limitant aux données d'observations, si réduites soient elles qui sont de 14 années. On note une très faible moyenne mensuelle d'étiage en raison d'irrigation, à l'exception des années 1982, 1983 et 1984, les étiages ont atteint une sévérité marquée.

Sur la station Sikkak, qui se trouve pas loin de la station de notre étude, on a réalisé des relations basées sur la régression multiple qui ont permis de prévoir des débits moyens mensuels avec lesquels on a prévu les débits de la station Pierre du chat en utilisant des régressions linéaires. Donc la régression multiple nous a permis à réaliser une prévision temporelle et la régression linéaire à réaliser une prévision spatiale. Les résultats des relations obtenues vont être représentés dans le tableau N°4.5.

(En raison des perturbations artificielles de l'écoulement liées aux activités humaines (pompage sauvage pour des besoins d'irrigation).)

Tableau N°4.5 : Prédiction spatio-temporelle

| le mois à prévoir | le débit à prévoir | le modèle | coeff de détermination |
|-------------------|--------------------|--|------------------------|
| Septembre | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 0.01572 + 7.9569 Q_8^{30} - 5.3036 Q_7^{30} + 1.6220 Q_6^{30} - 0.1528 Q_5^{30}$ | 0,70 |
| | Q_9^{30} | $Q_9^{30} = 1.6953 + 1.5389 Q_8^{30}$ | 0,82 |
| Août | Q_8^{30} | $Q_{830} = -0.0088 + 0.5623 Q_7^{30} + 0.1700 Q_6^{30} - 0.0344 Q_5^{30}$ | 0,97 |
| | Q_8^{30} | $Q_8^{30} = 0.6624 + 7.1336 Q_7^{30}$ | 0,72 |
| Juillet | Q_7^{30} | $Q_7^{30} = 0.0005 + 0.7291 Q_6^{30} - 0.0574 Q_5^{30}$ | 0,91 |
| | Q_7^{30} | $Q_7^{30} = 0.7236 + 6.9643 Q_6^{30}$ | 0,73 |
| Juin | Q_6^{30} | $Q_6^{30} = 0.0624 + 0.2881 Q_5^{30}$ | 0,80 |
| | Q_6^{30} | $Q_6^{30} = 0.1487 + 9.2700 Q_5^{30}$ | 0,97 |

IV.6.1 Résultats

On a pris en considération le meilleur coefficient de corrélation afin d'aboutir à une bonne prévision spatio-temporelle. Les mois d'étiages pour cette station sont Mai, Juin, Juillet, Août et enfin Septembre.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 4.6 et annexe.

Tableau 4.6 : Résultats

| | Station Sikkak | | Station Pierre du Chat | |
|------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Septembre | débit observé | débit prévu | débit observé | débit prévu |
| 1972 | 0.36 | 1.10 | 2.71 | 3.39 |
| 1973 | 2.97 | 1.46 | 5.99 | 3.94 |
| 1974 | 0.28 | 1.11 | 3.70 | 3.40 |
| 1975 | 0.27 | -0.01 | 3.58 | 1.68 |
| 1976 | 0.13 | 0.62 | 1.63 | 2.65 |
| 1977 | 0.03 | 0.05 | 0.53 | 1.77 |
| 1978 | 0.08 | 0.13 | 0.98 | 1.90 |
| 1979 | 0.05 | 0.05 | 0.86 | 1.77 |
| Août | débit observé | débit prévu | débit observé | débit prévu |
| 1972 | 0.44 | 0.42 | 2.67 | 3.66 |
| 1973 | 0.34 | 0.30 | 3.25 | 2.80 |
| 1974 | 0.22 | 0.22 | 4.38 | 2.23 |
| 1975 | 0.11 | 0.11 | 2.29 | 1.45 |
| 1976 | 0.12 | 0.10 | 1.04 | 1.38 |
| 1977 | 0.03 | 0.05 | 0.48 | 1.02 |
| 1978 | 0.05 | 0.04 | 0.27 | 0.95 |
| 1979 | 0.04 | 0.02 | 0.55 | 0.81 |
| Juillet | débit observé | débit prévu | débit observé | débit prévu |
| 1972 | 0.63 | 0.43 | 3.31 | 3.72 |
| 1973 | 0.42 | 0.45 | 4.56 | 3.86 |
| 1974 | 0.31 | 0.47 | 5.05 | 4.00 |
| 1975 | 0.23 | 0.17 | 3.56 | 1.91 |
| 1976 | 0.14 | 0.18 | 1.34 | 1.98 |
| 1977 | 0.08 | 0.11 | 0.52 | 1.49 |
| 1978 | 0.07 | 0.04 | 0.29 | 1.00 |
| 1979 | 0.06 | 0.02 | 0.67 | 0.86 |
| Juin | débit observé | débit prévu | débit observé | débit prévu |
| 1972 | 0.69 | 0.42 | 5.29 | 4.04 |
| 1973 | 0.72 | 0.45 | 7.01 | 4.32 |
| 1974 | 0.82 | 0.70 | 8.34 | 6.64 |
| 1975 | 0.43 | 0.78 | 5.16 | 7.38 |
| 1976 | 0.28 | 0.17 | 2.32 | 1.72 |
| 1977 | 0.18 | 0.19 | 1.22 | 1.91 |
| 1978 | 0.07 | 0.12 | 0.64 | 1.26 |
| 1979 | 0.07 | 0.20 | 1.43 | 2.00 |

IV.7 Modèle basé sur les courbes de tarissement :

Le déficit en eau est montré nettement par les hydrogrammes en période sèche. Cette influence est faible en période d'hiver, mais elle est d'importance capitale en période d'été et période d'étiage, lorsque les besoins en eau sont les plus grands.

Pendant les périodes de régime non influencé par les chutes de pluies les oueds ne sont plus alimentés que par la vidange des nappes. Or l'expérience montre que dans ces conditions, on assiste le plus souvent à une décroissance exponentielle du débit des cours d'eau de la forme :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Donc en l'absence de précipitations significatives, les débits d'un bassin décroissant régulièrement au cours du temps selon une courbe dite de tarissement qui donne le débit Q_t à l'instant t en fonction du débit Q_0 à un instant t_0 antérieur et arbitraire pris comme origine :

α est un coefficient de décrue..

Application :

L'application de ce modèle à la série de débits (1952 - 1989) est réalisée pour toutes les années mis à part les années 87, 88, 89 qui n'ont pu être traitées du fait que la fonction à optimiser qui favorise les plus faibles débits

$$F = \sum \frac{|Q_{ob} - Q_{cal}|}{Q_{ob}^2}$$

pour les valeurs nulles est indéterminée et la période choisi est de Avril jusqu'à Août.

Notons que α choisi correspond à F minimale.

Les résultats des différents traitements sont représentés dans le tableau N°4.7. Le bon ajustement était basé sur le coefficient "R" qui mesure le degré d'ajustement de la courbe $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ aux données mesurées de la période

considérée. Un $R \geq 0,70$ indique un bon ajustement, les années vérifiant ce critère (6 années) sont représentées dans le tableau 4.8. (et voir annexe)

Tableau 4.7 : Résultats.

| Années | Q_0 (m ³ /s) | α (J ⁻¹) | R | Min | Max | Moy |
|--------|---------------------------|-----------------------------|------|------|--------|-------|
| 52 | 29,7 | 0,031 | | 0,95 | 29,7 | 3,71 |
| 54 | 98,05 | 0,031 | | 2,05 | 98,05 | 11,32 |
| 55 | 11,10 | 0,021 | 0,76 | 1,27 | 16,5 | 5,04 |
| 56 | 2,85 | 0,001 | | 1,10 | 29,84 | 4,15 |
| 57 | 3,42 | 0,011 | | 1,70 | 17,83 | 2,93 |
| 58 | 3,54 | 0,011 | | 1,38 | 9,15 | 2,48 |
| 59 | 8,68 | 0,021 | 0,20 | 1,32 | 13,43 | 2,84 |
| 60 | 2,85 | 0,011 | 0,38 | 1,03 | 8,70 | 1,93 |
| 63 | 28,19 | 0,021 | 0,38 | 2,67 | 312,58 | 12,53 |
| 64 | 12,02 | 0,001 | | 9,55 | 61,55 | 13,08 |
| 66 | 2,24 | 0,011 | | 0,4 | 78,14 | 2,78 |
| 68 | 5,26 | 0,011 | | 1,35 | 9,4 | 3,94 |
| 69 | 5,47 | 0,011 | 0,89 | 0,82 | 9,94 | 2,57 |
| 70 | 8,47 | 0,021 | | 0,92 | 418,8 | 9,64 |
| 71 | 25,17 | 0,021 | 0,94 | 1,99 | 31,84 | 7,37 |
| 72 | 97,31 | 0,031 | 0,34 | 2,42 | 97,31 | 11,81 |
| 73 | 194,54 | 0,041 | | 3,05 | 194,54 | 15,34 |
| 74 | 17,41 | 0,011 | | 3,88 | 880,89 | 25,27 |
| 75 | 5,06 | 0,011 | | 1,58 | 37,29 | 6,66 |
| 76 | 7,07 | 0,021 | 0,72 | 0,95 | 8,47 | 2,59 |
| 77 | 3,48 | 0,021 | 0,66 | 0,22 | 9,61 | 1,74 |
| 78 | 3,78 | 0,021 | 0,96 | 0,12 | 4,33 | 1,12 |
| 79 | 6,47 | 0,021 | 0,92 | 0,35 | 6,72 | 2,06 |

Tableau N°4.8 : Lissage de la période Avril - Août

| Années | α [J⁻¹] | Q_o (m³/s) | R % | Min (m³/s) | Moy (m³/s) | Max (m³/s) |
|---------------|---|--|------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 55 | 0,021 | 11,10 | 76 | 1,27 | 5,04 | 16,5 |
| 69 | 0,011 | 5,47 | 89 | 0,82 | 2,57 | 9,94 |
| 71 | 0,021 | 25,17 | 94 | 1,99 | 7,37 | 31,84 |
| 76 | 0,021 | 7,07 | 72 | 0,95 | 2,59 | 8,47 |
| 78 | 0,021 | 3,78 | 96 | 0,12 | 1,12 | 4,33 |
| 79 | 0,021 | 6,47 | 92 | 0,35 | 2,06 | 6,72 |

Interprétation des résultats :

Le coefficient α lié à la perméabilité, il devient faible avec l'intervention des nappes. Pour cette période sa variation est minimum est son ordre de grandeur est faible.

Pour le débit charnière Q_o , en écartant l'année 71 (année humide) la variation de Q_o n'est pas trop grande, ceci indique que l'ordre de grandeur de Q_o est lié au degré d'humidité de l'année.

*CONCLUSION
GENERALE*

Conclusion générale

Dans le premier chapitre, nous avons débuté notre étude par le relevé de différentes présentations des données de débits, tout en apportant une attention particulière aux débits d'étiage et au tarissement.

Dans le deuxième chapitre nous nous sommes attachées à examiner à partir de la bibliographie existante les différents modèles mathématiques utilisés dans l'étude des étiages dans les cours d'eau. Nous avons appliqué quelques méthodes de prévision aux données du bassin versant de la Tafna.

Dans un troisième chapitre, nous décrivons le bassin versant retenu, il s'agit du bassin versant de la Tafna dont la superficie est de 6900 Km², et nous présentons les caractéristiques des données de pluies et de débits. On a remarqué que la répartition des pluies n'a aucune influence sur la forme de hydrogramme de débit en période sèche.

L'étude d'étiage menée à la station hydrométrique Pierre du chat, a noté des débits d'étiage nuls en 1987, 1988 et 1989 (soit trois années consécutives) et que les plus faibles débits sont donnés par la variable dite "débit d'étiage caractéristique: QE". L'étude de 23 années de valeurs de débit d'étiage a montré que les ajustements selon la distribution gamma généralisée à maximum vraisemblance et Pearson III à maximum conditionnel de vraisemblance donnent des résultats très voisins dans la prévision des valeurs extrêmes d'où on a extrait les débits d'occurrence Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} et Q_{100} . L'intérêt est d'assurer une meilleure répartition des apports au cours de l'année et compenser éventuellement, et dans une certaine mesure les apports déficitaires d'une ou plusieurs années sèches, c'est à dire garder l'oued à un certain niveau d'eau constant de telle manière qu'il puisse satisfaire les apports déficitaires des années sèches.

Et enfin, dans le quatrième l'objectif de ce travail a été d'appliquer des méthodes de prévisions des débits d'étiages suffisamment simple qui puisse être utilisable pour les gestionnaires du bassin à vocation agricole, industrielle ...

Il va de soit que la prévision correcte des débits d'étiages des cours d'eau est un facteur important pour la bonne gestion des ressources hydriques du point de vue de l'approvisionnement en eau et de la protection contre la pollution.

Pour cela, il s'agit d'examiner les possibilités d'amélioration de la prévision par utilisation de la régression linéaire et multiple faisant intervenir que les variables débits, et les mois d'étiage qui sont : Juin, Juillet, Août et Septembre qui se corrèlent assez bien entre eux.

Les valeurs de débits prévus sont satisfaisantes, mais une sous estimation pour certains mois présentant des erreurs plus ou moins grandes qui semblent liées à des périodes estivales particulièrement pluvieuses pour le mois de septembre de l'année 1988,1989.

Enfin l'étude des étiages est indispensable car ils constituent une contrainte capitale dans l'économie de l'eau et favorisent souvent les phénomènes de pollution.

ANNEXES

**HYDROGRAMMES DE DEBITS
ANNUELS**

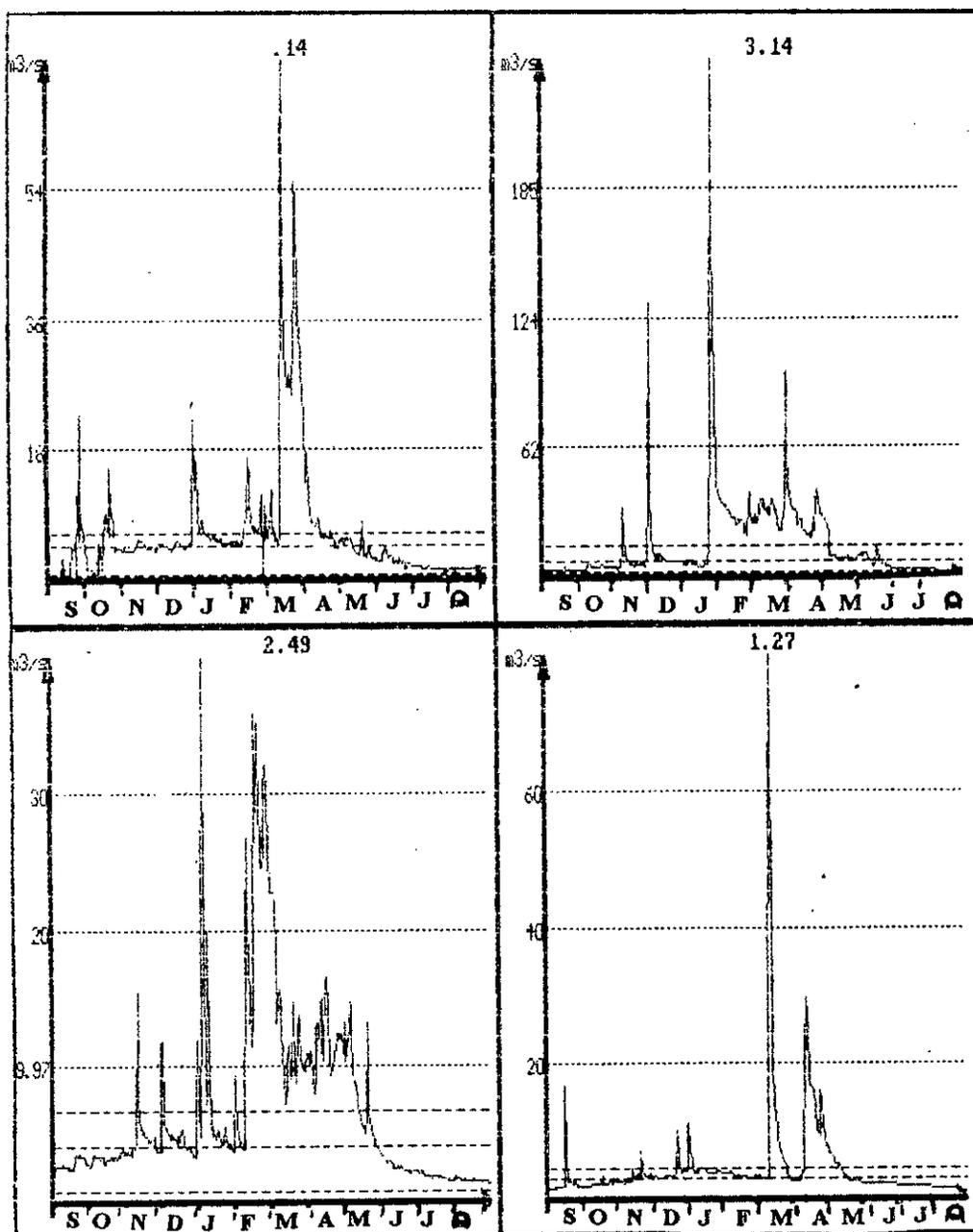


Figure: 3.3

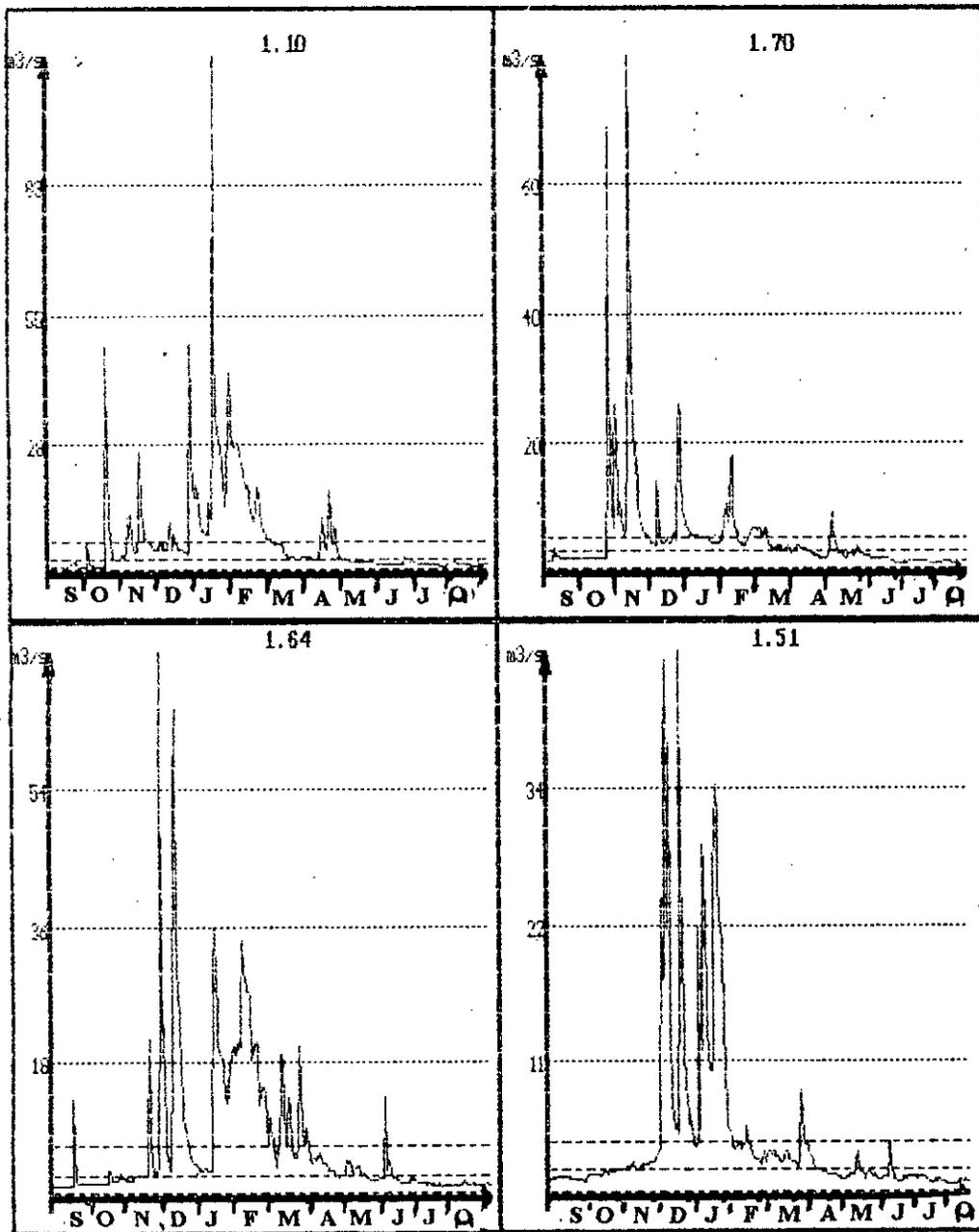


Figure: 3.4

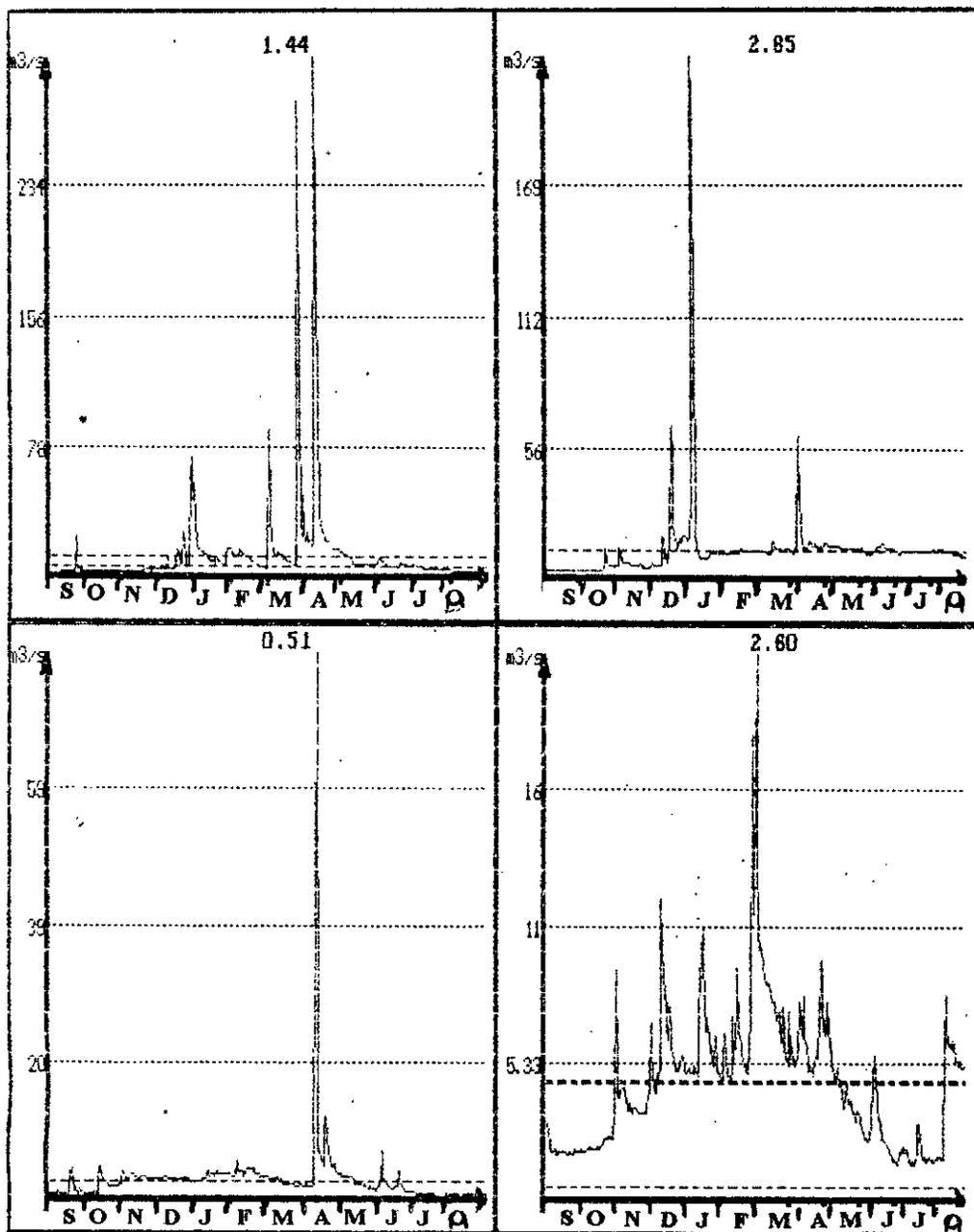


Figure: 3.5

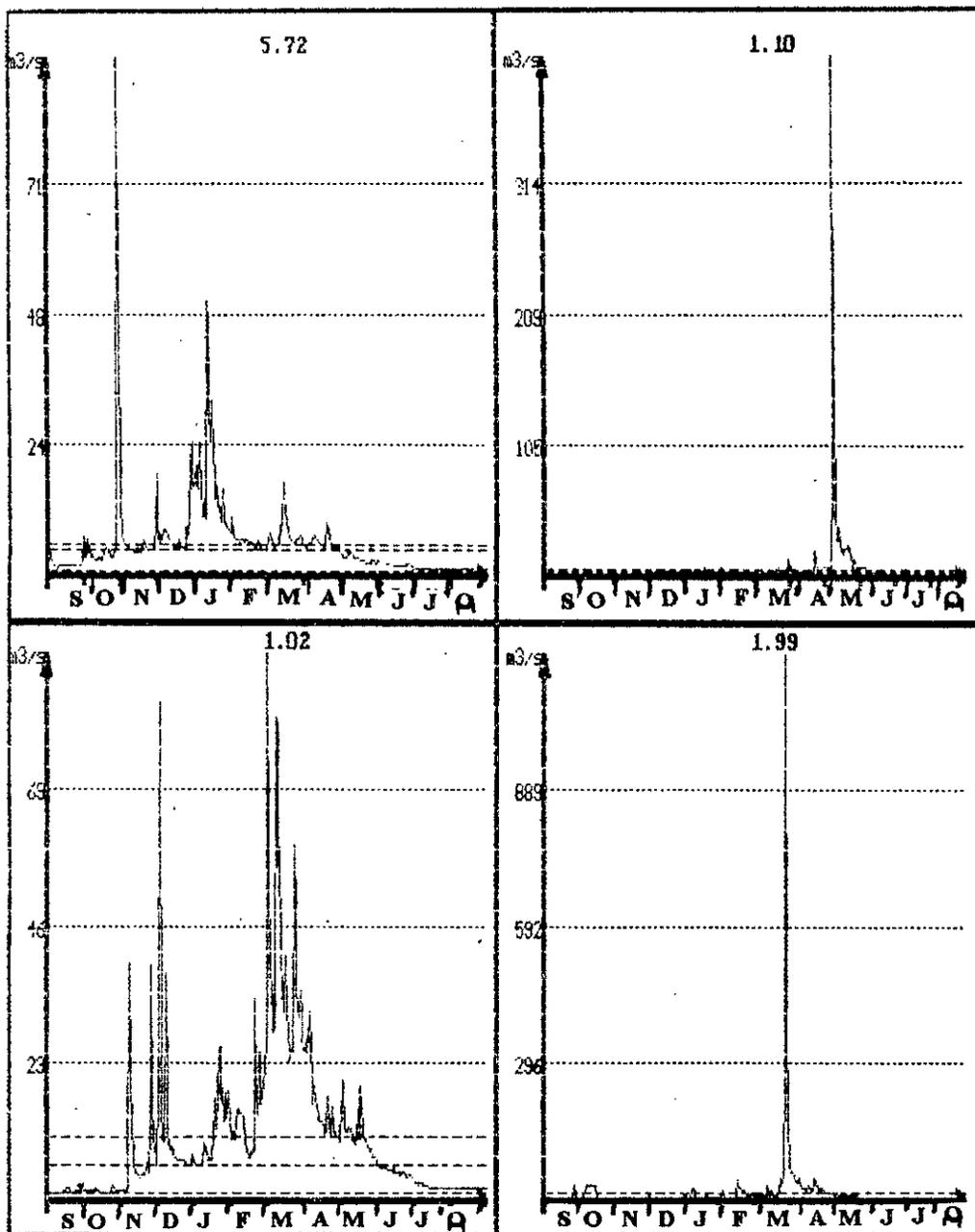


Figure: 3.6

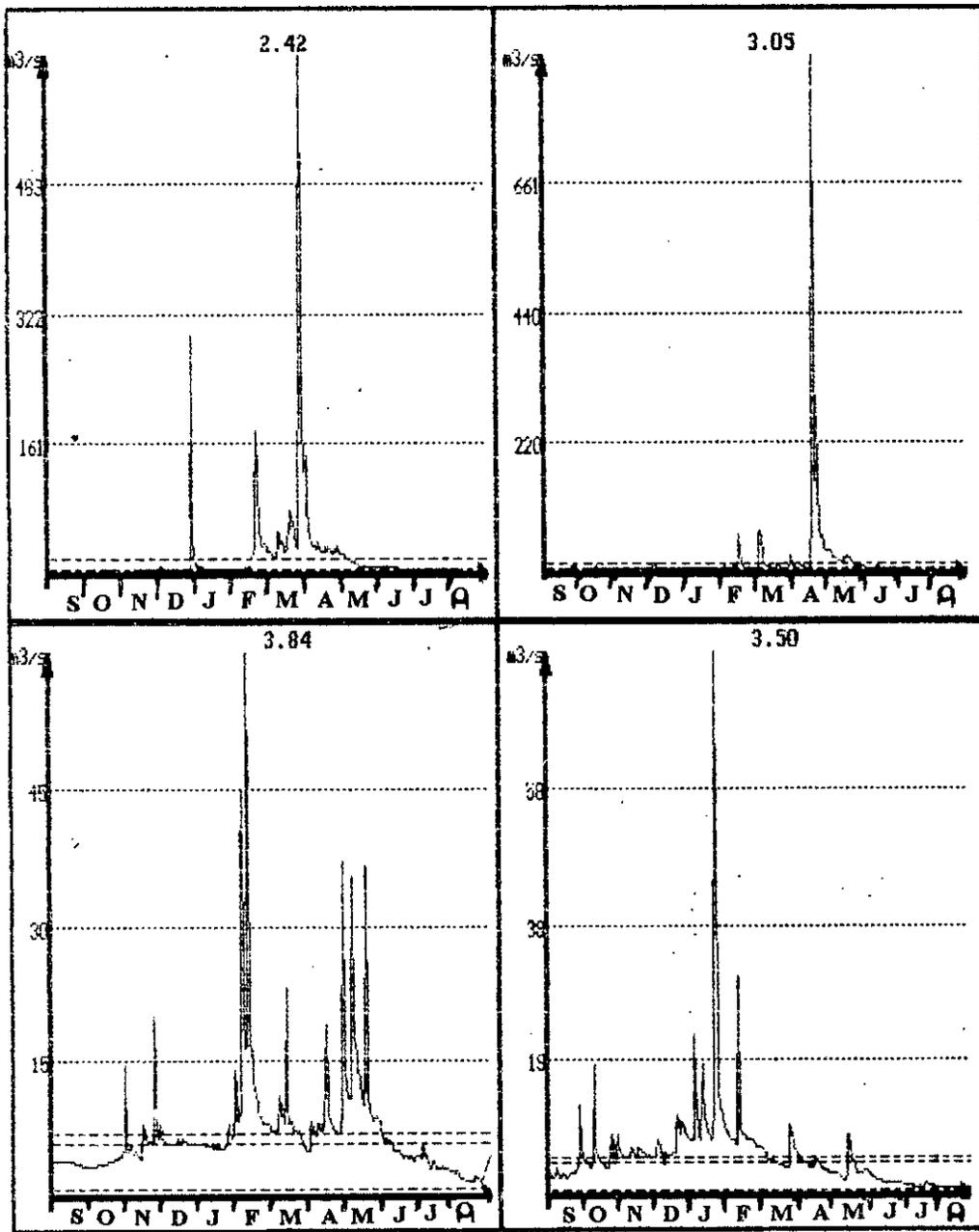


Figure: 3.7

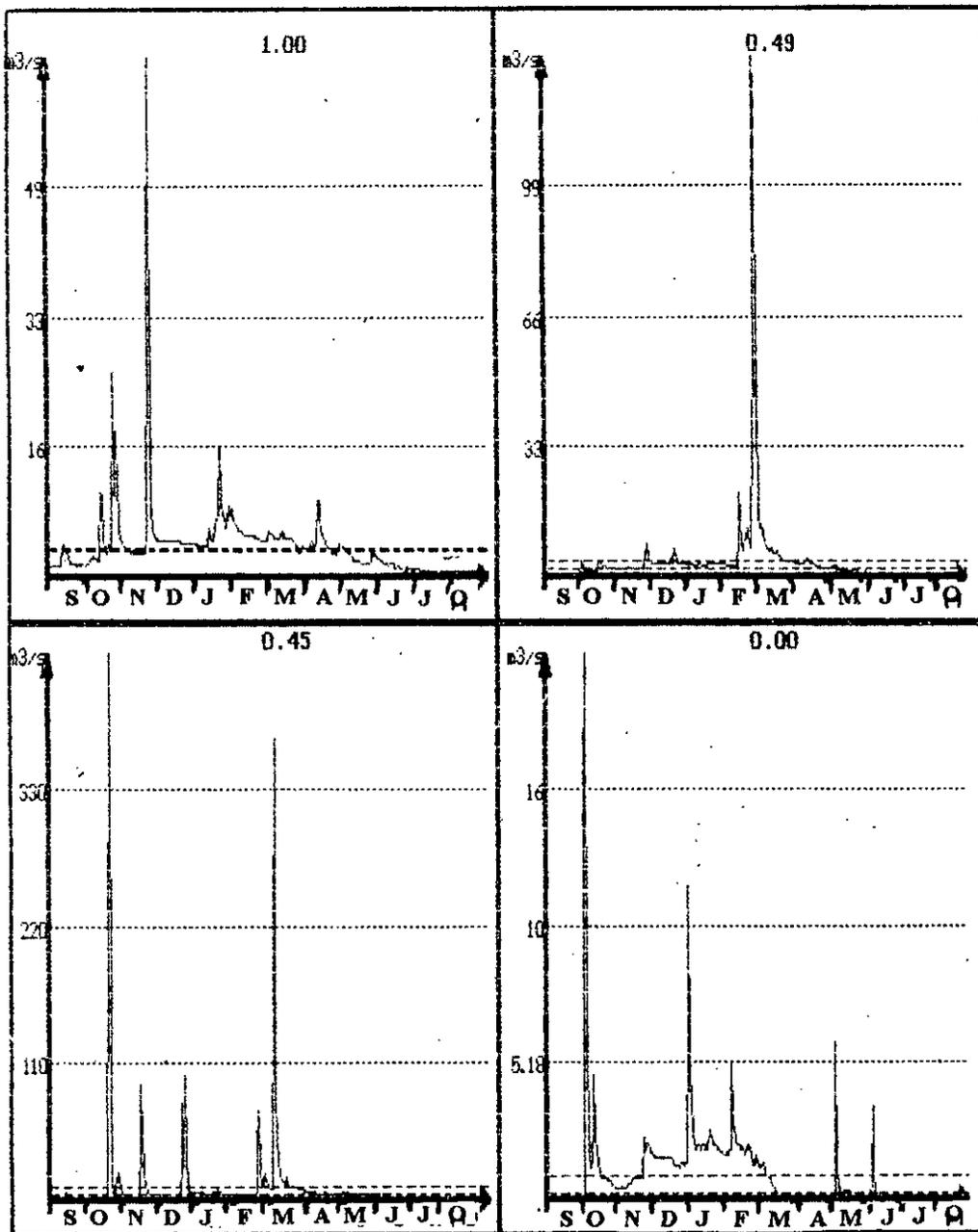


Figure: 3.8

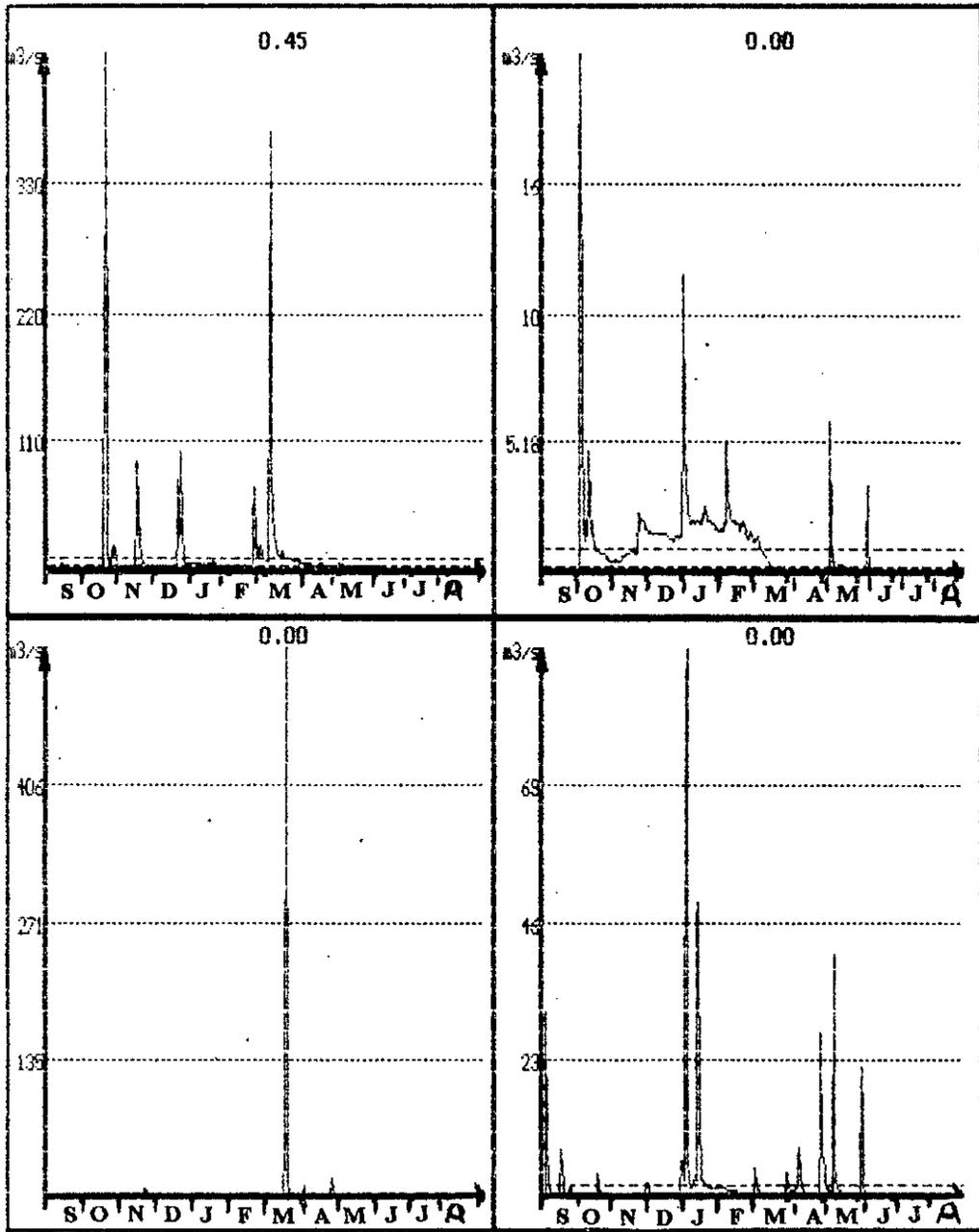
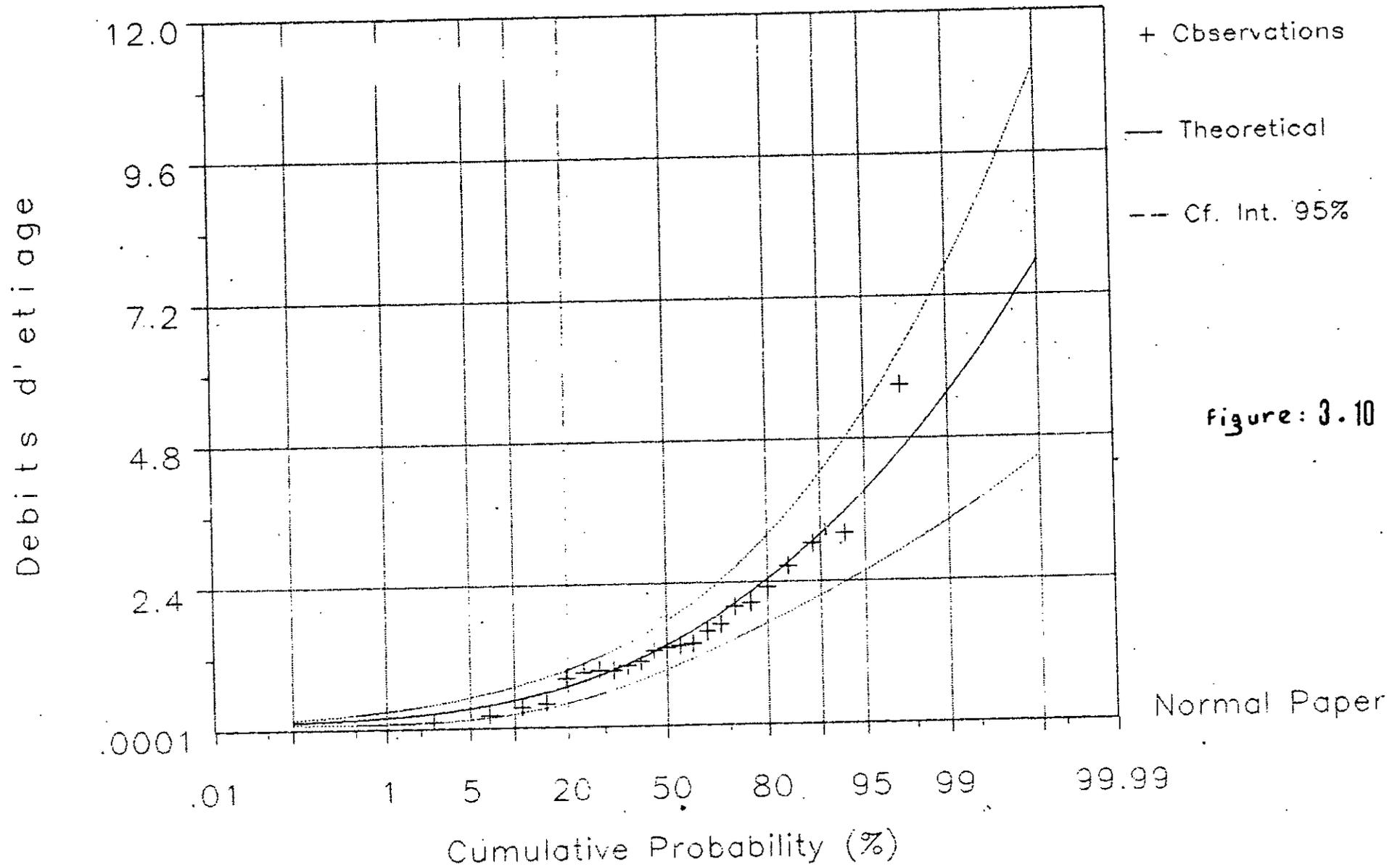


Figure: 3.9

DISTRIBUTIONS STATISTIQUES

Pearson 3, Conditional Maximum Likelihood



Generalized Gamma, Maximum Likelihood

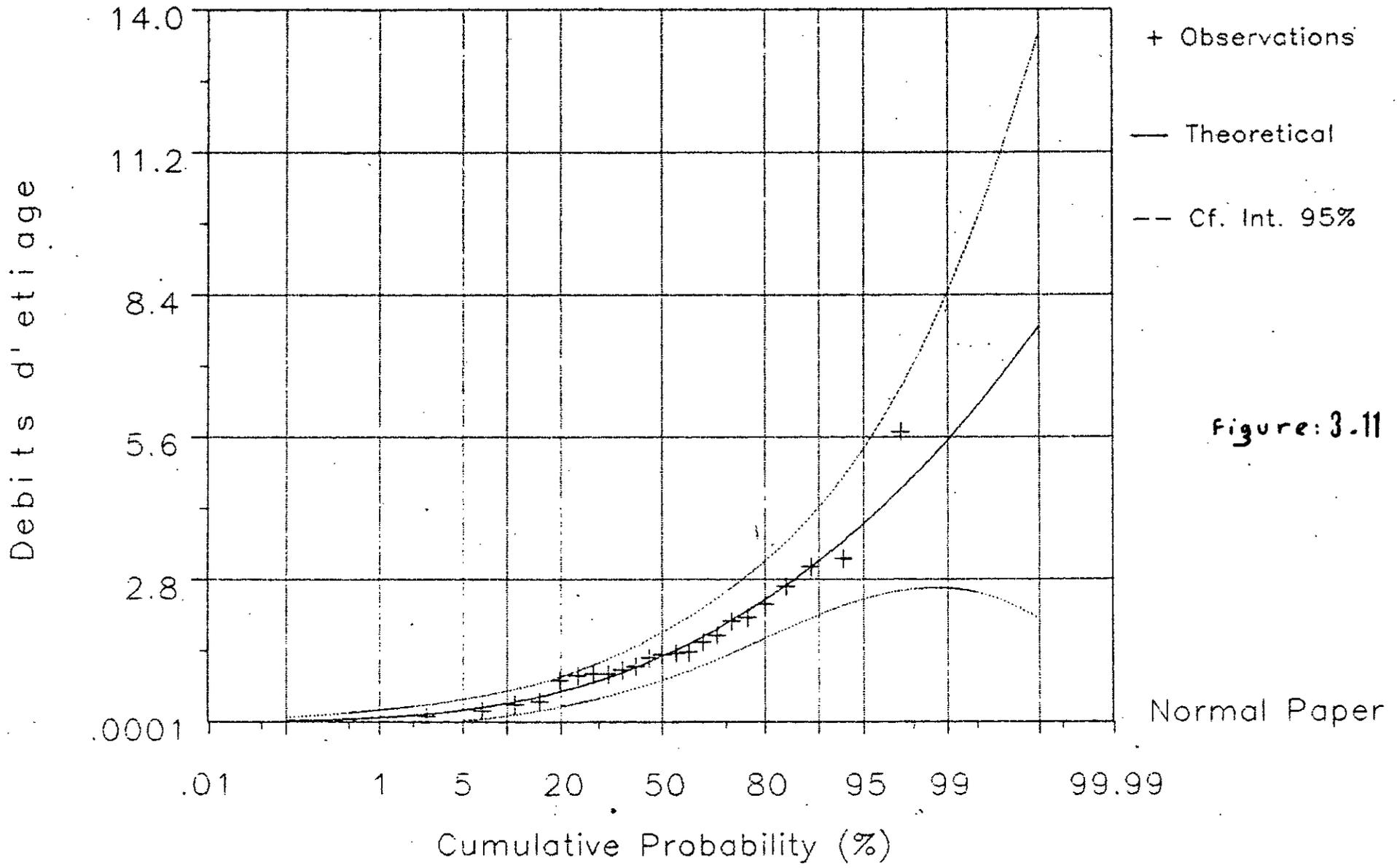


Figure: 3.11

Pearson 3, Conditional Maximum Likelihood

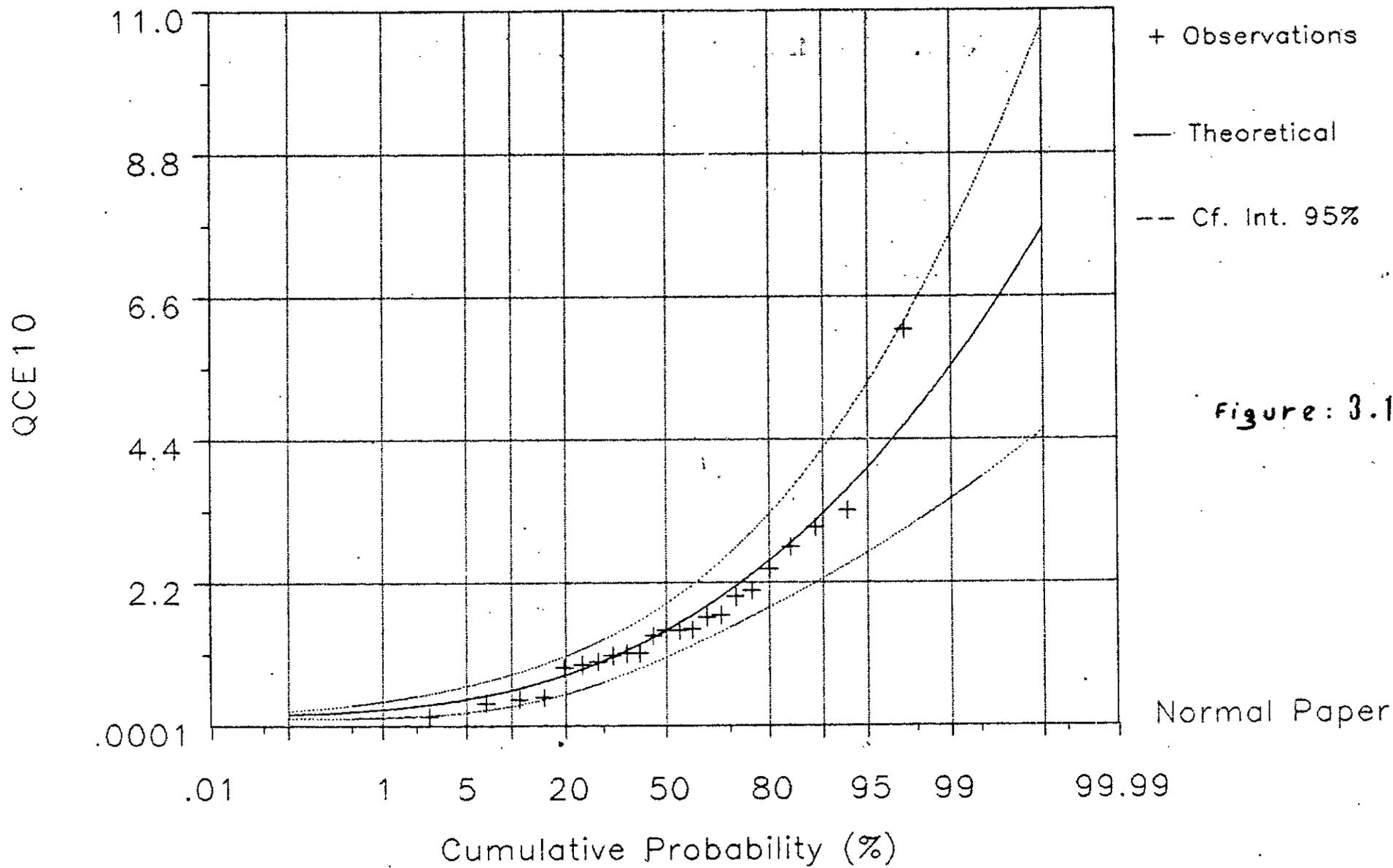
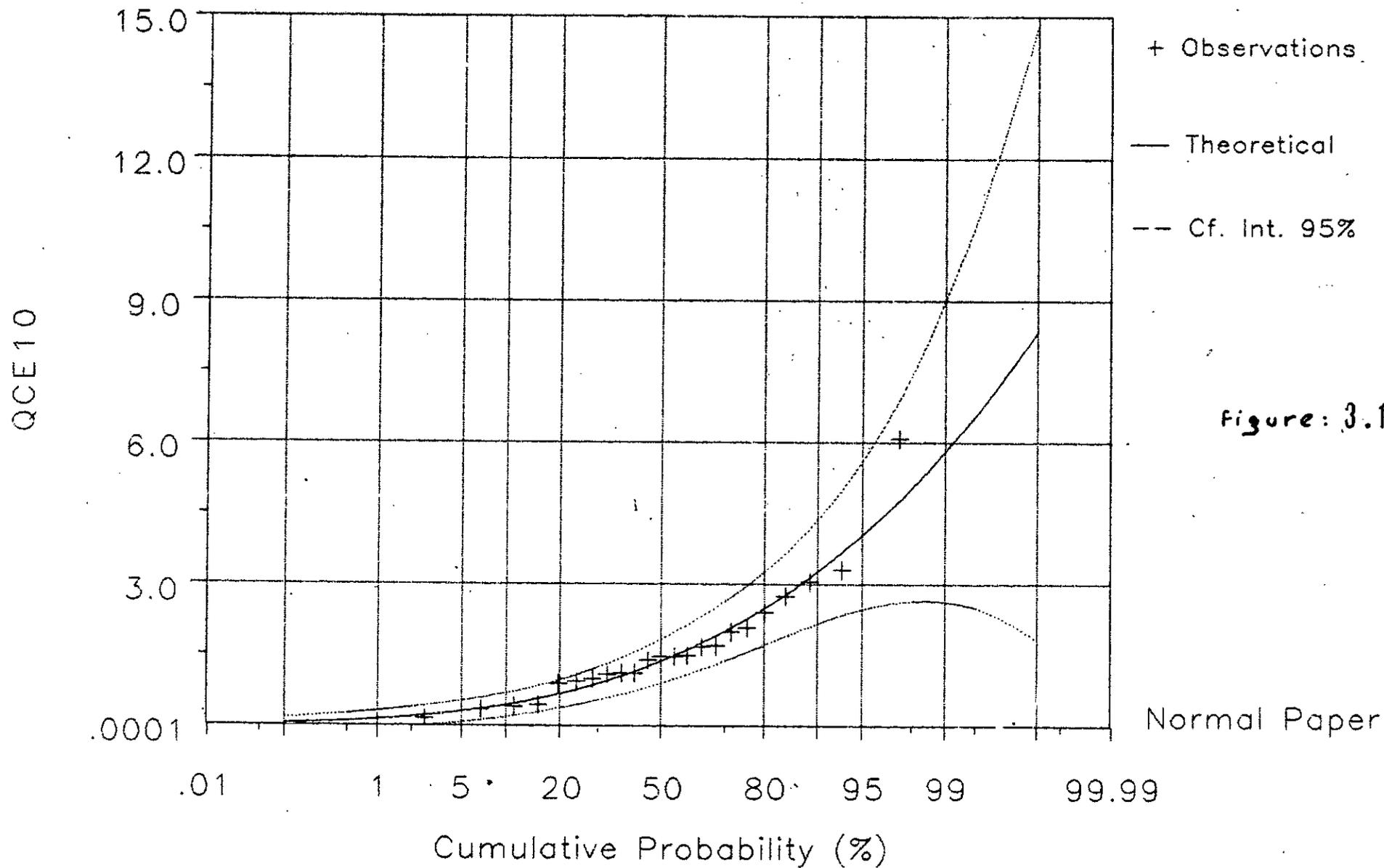
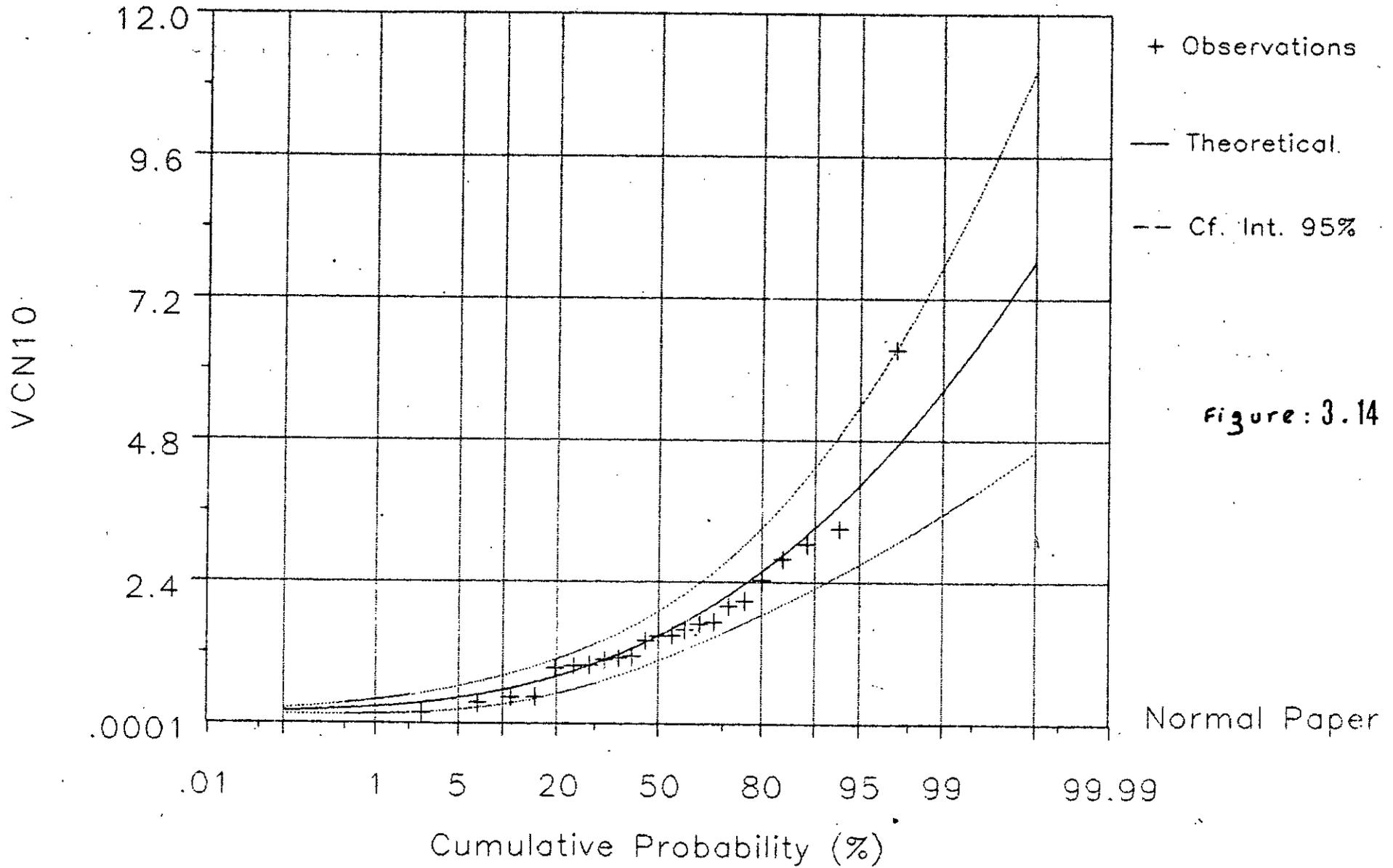


Figure: 3.12

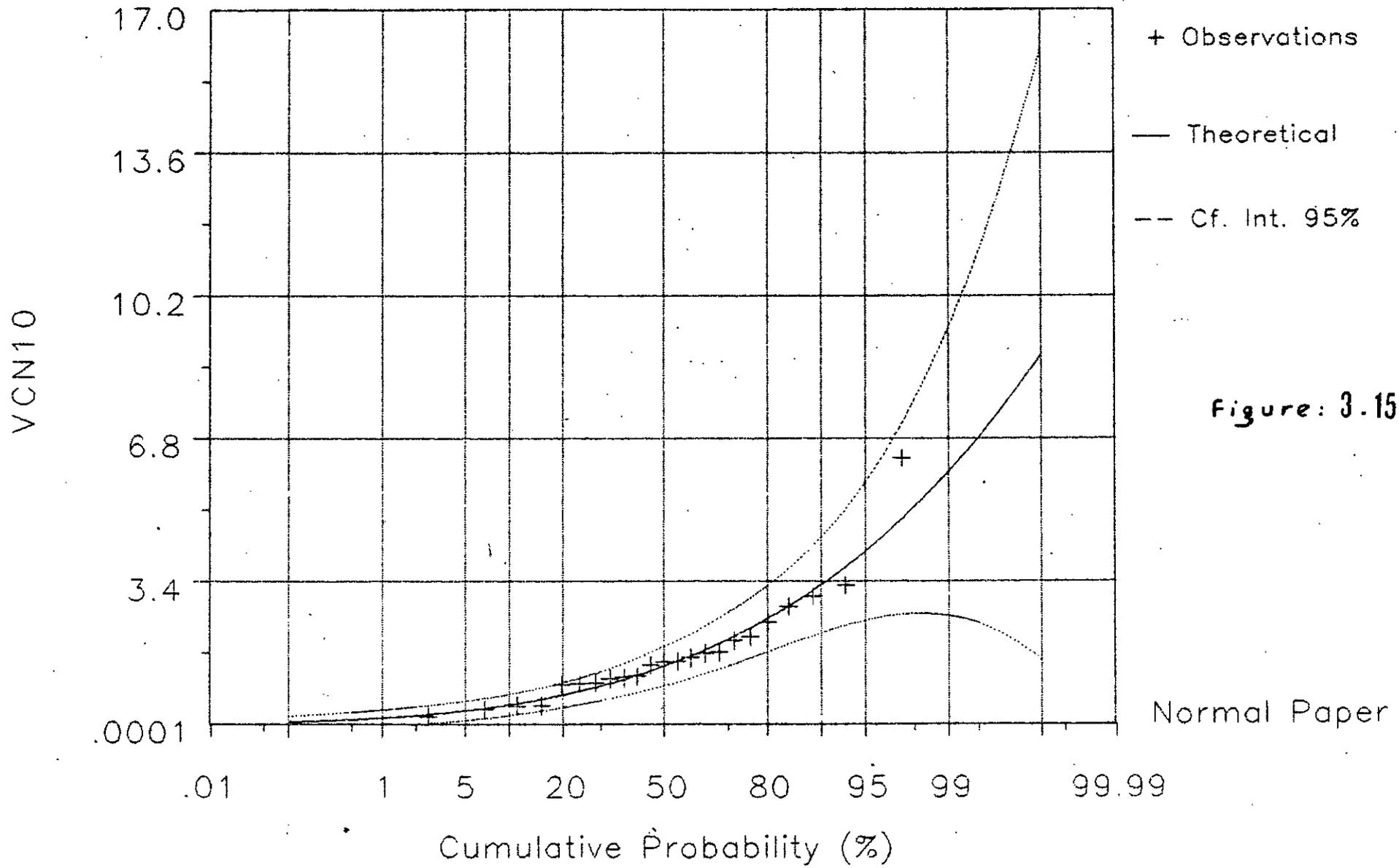
Generalized Gamma, Maximum Likelihood



Pearson 3, Conditional Maximum Likelihood



Generalized Gamma, Maximum Likelihood



Pearson 3, Conditional Maximum Likelihood

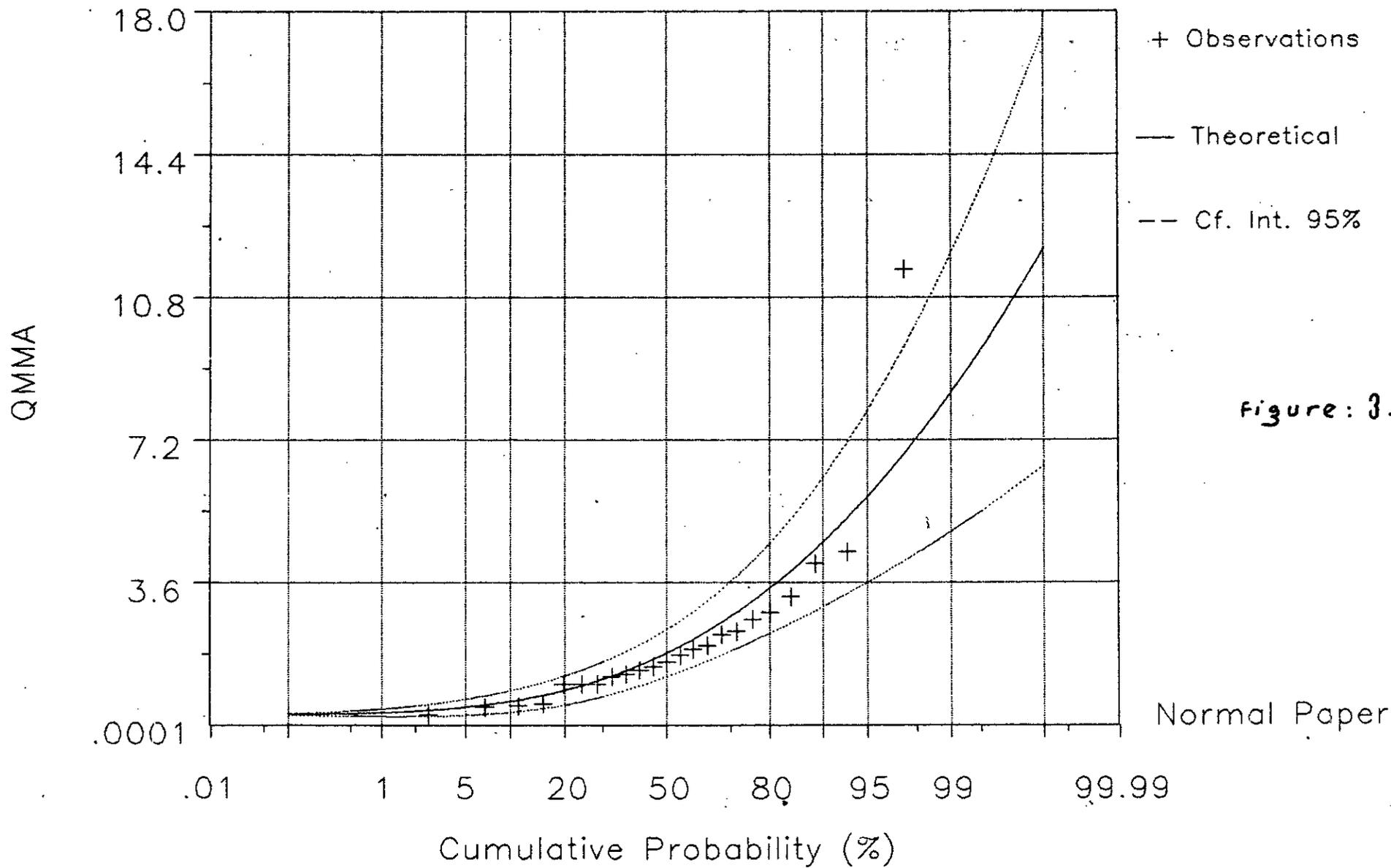


Figure: 3.16

Generalized Gamma, Maximum Likelihood

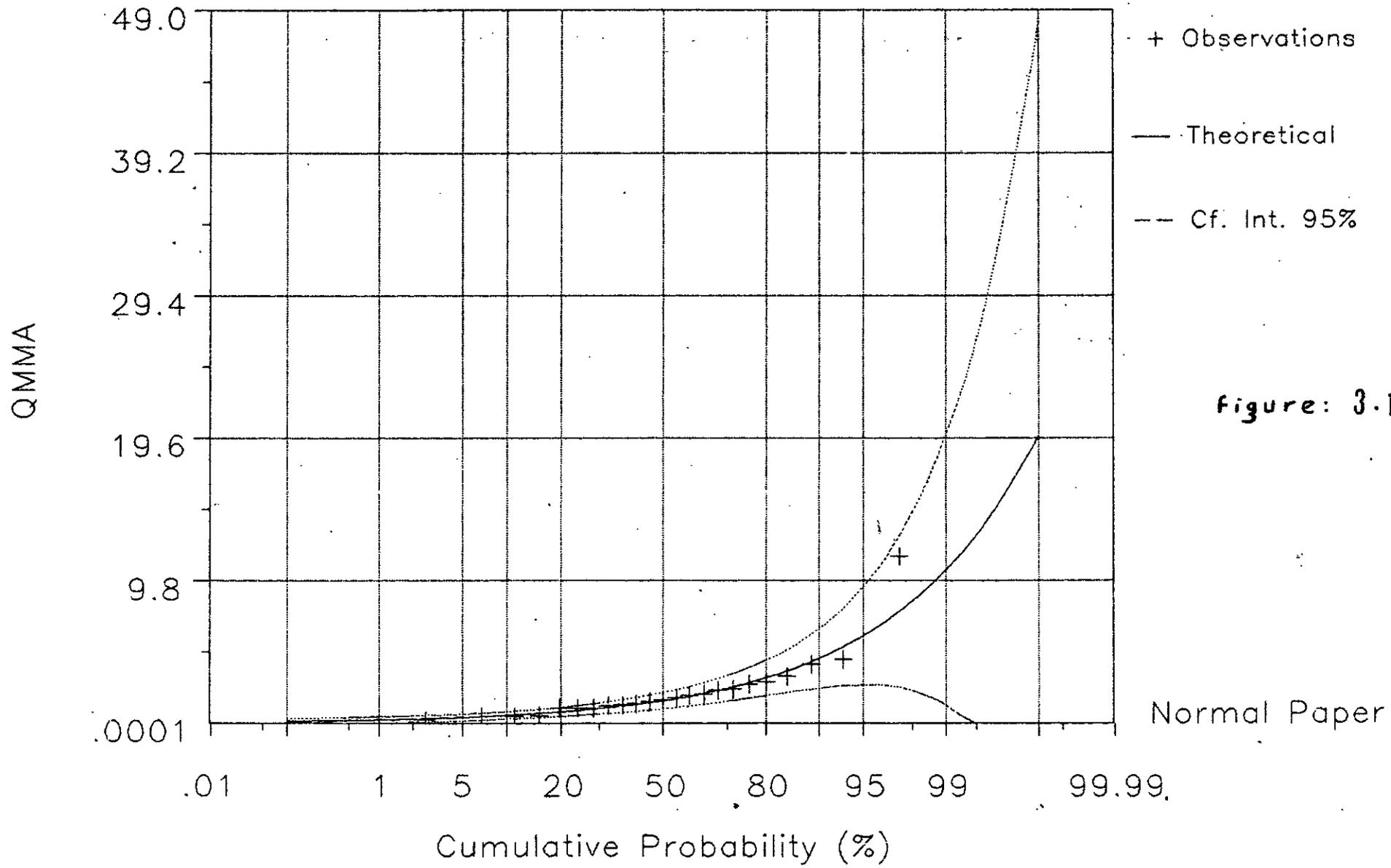
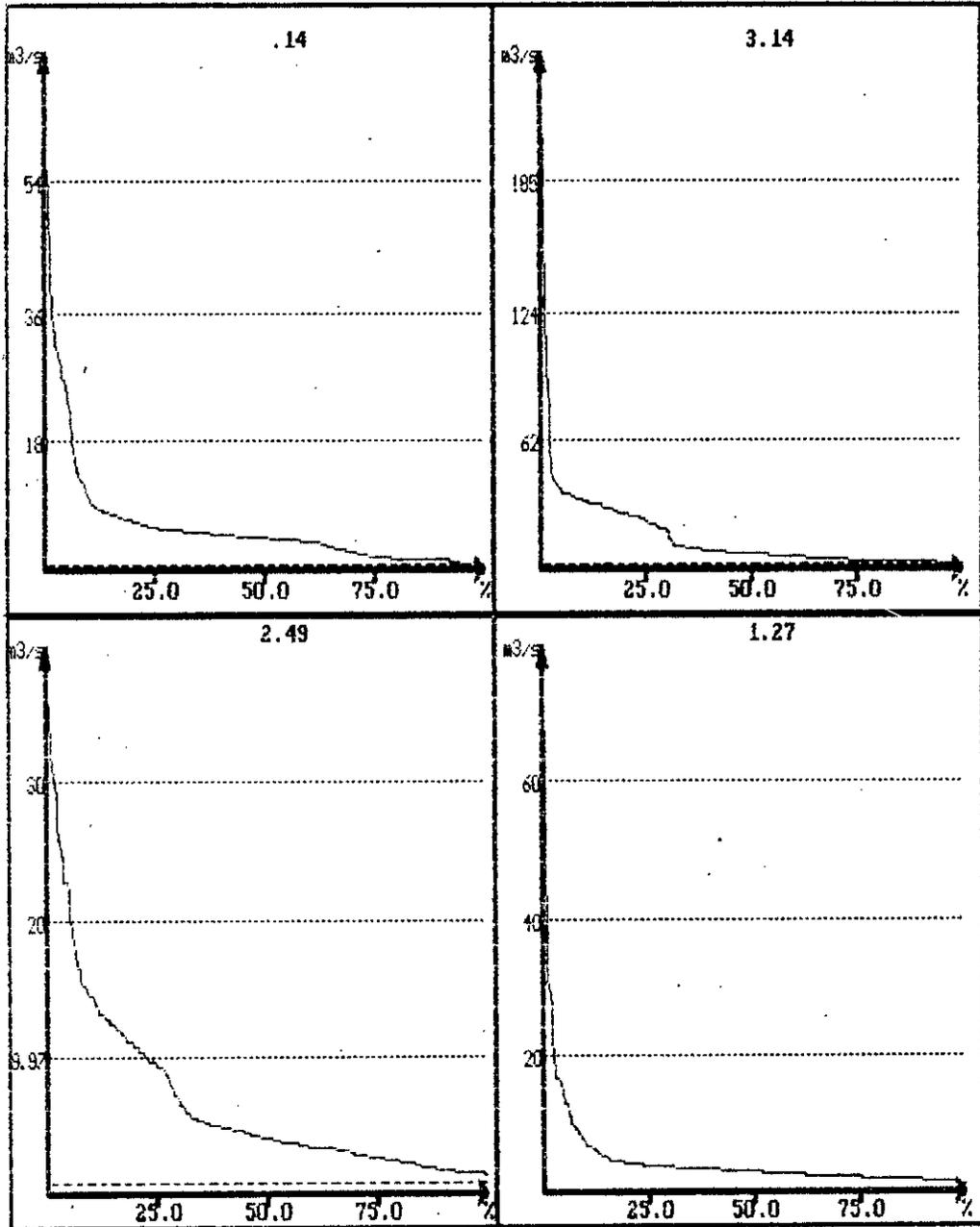
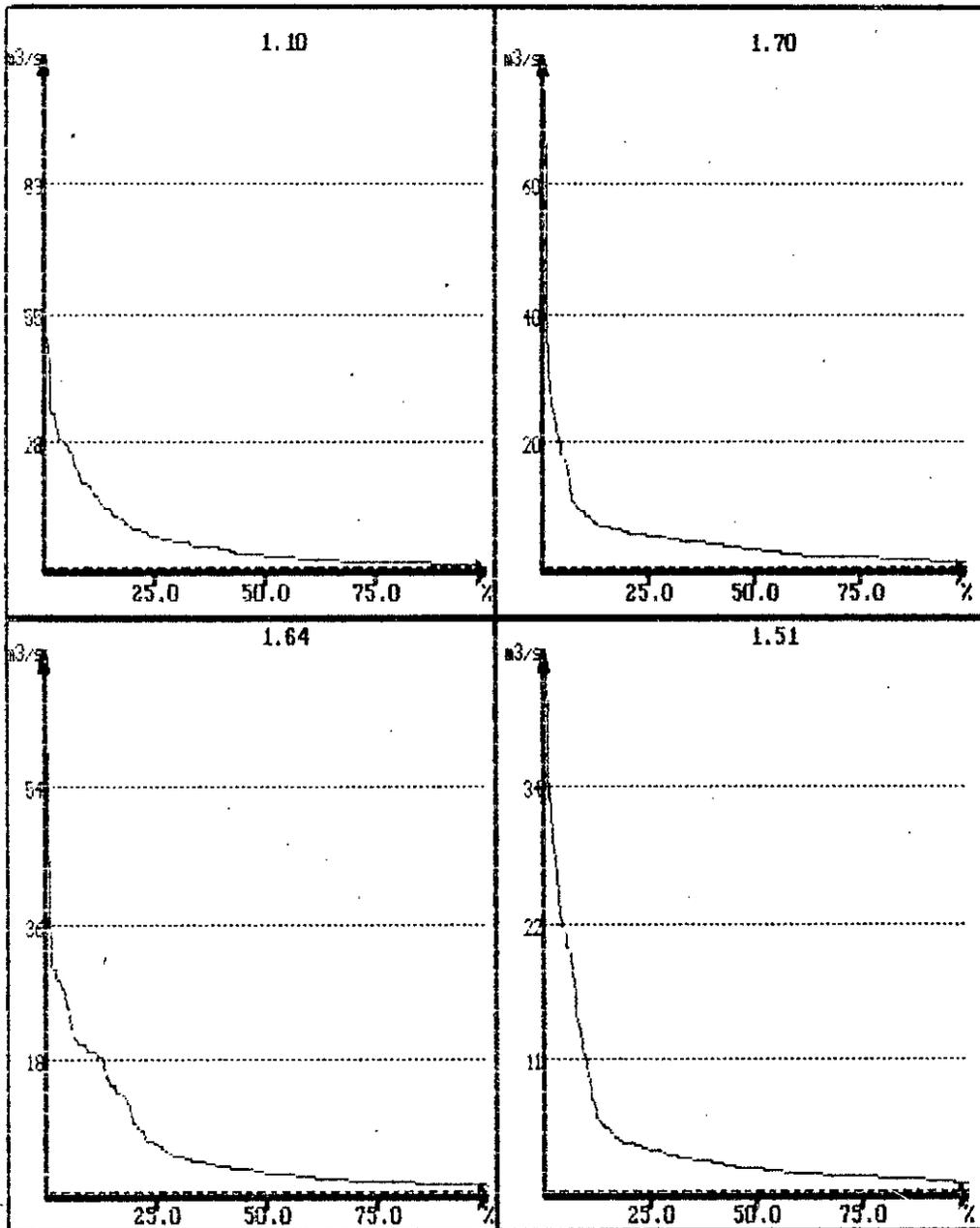
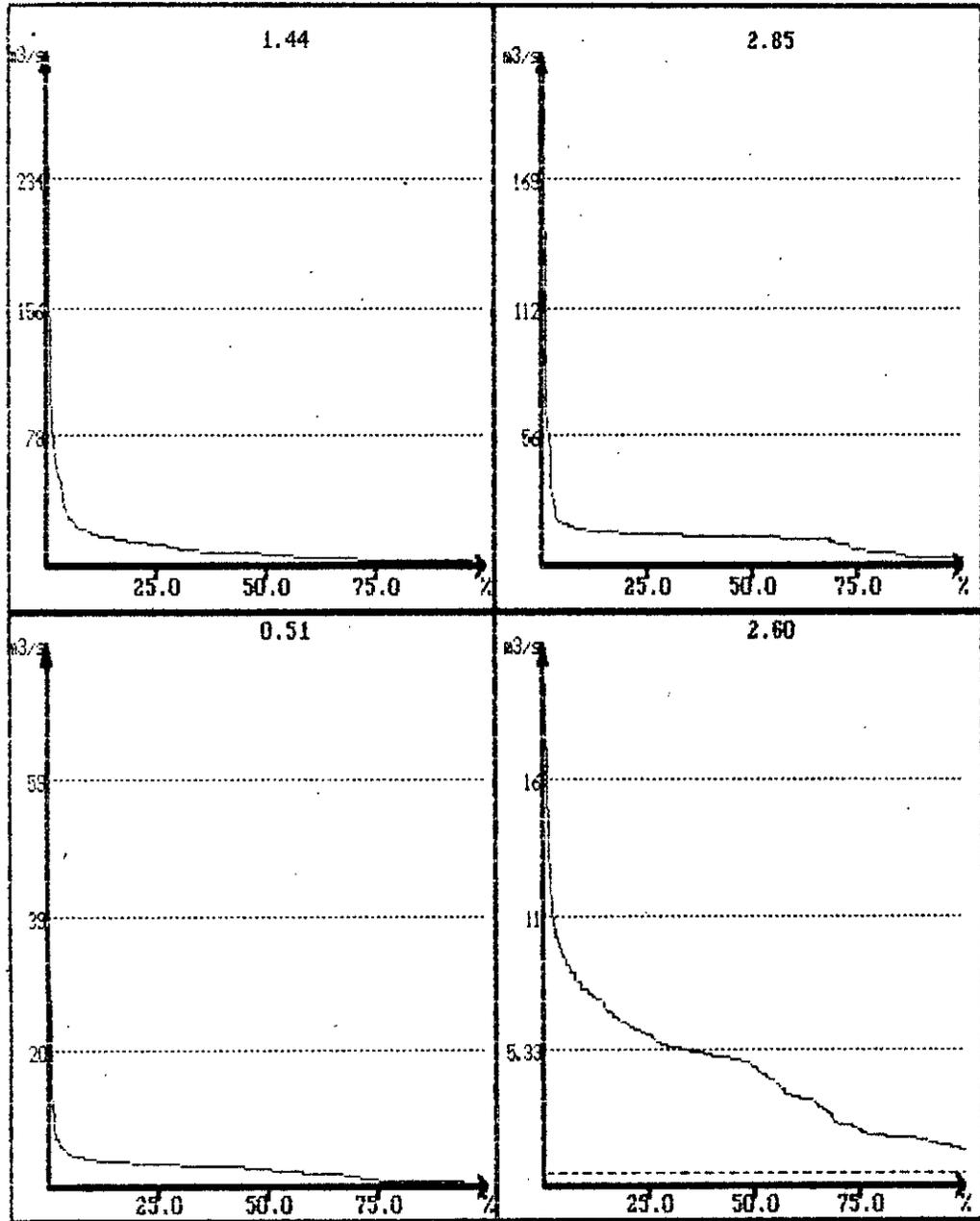


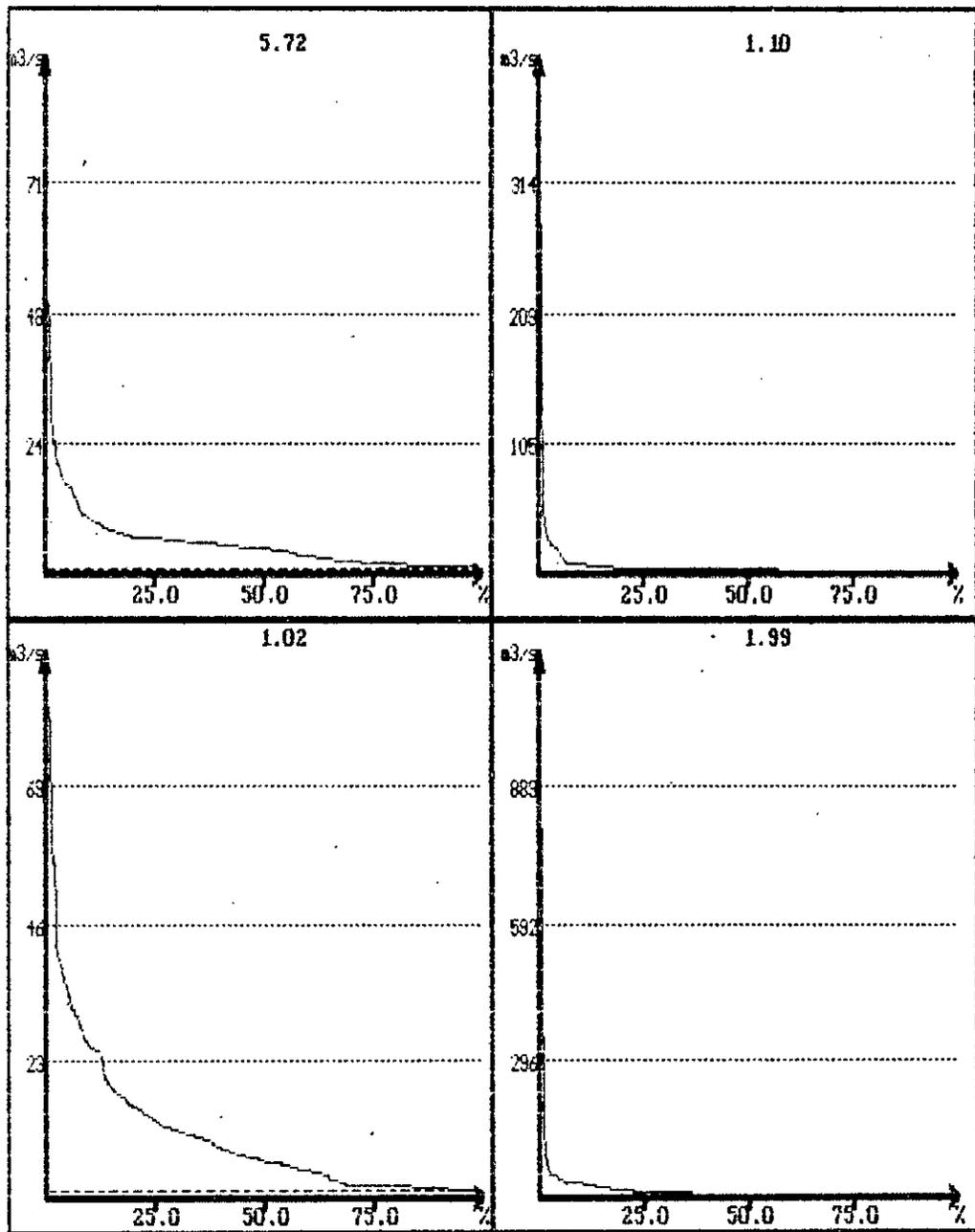
Figure: 3.17

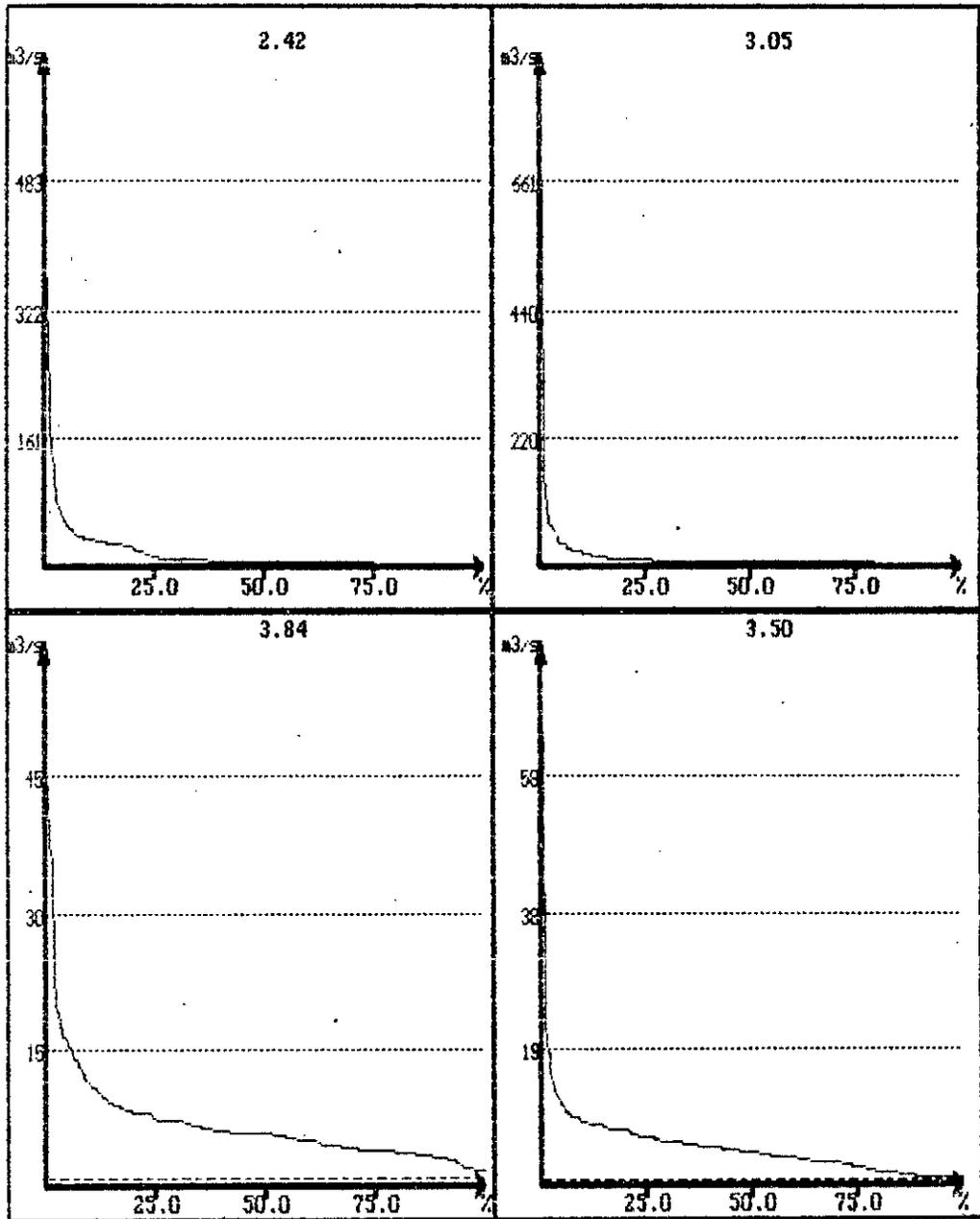
DEBITS CLASSES

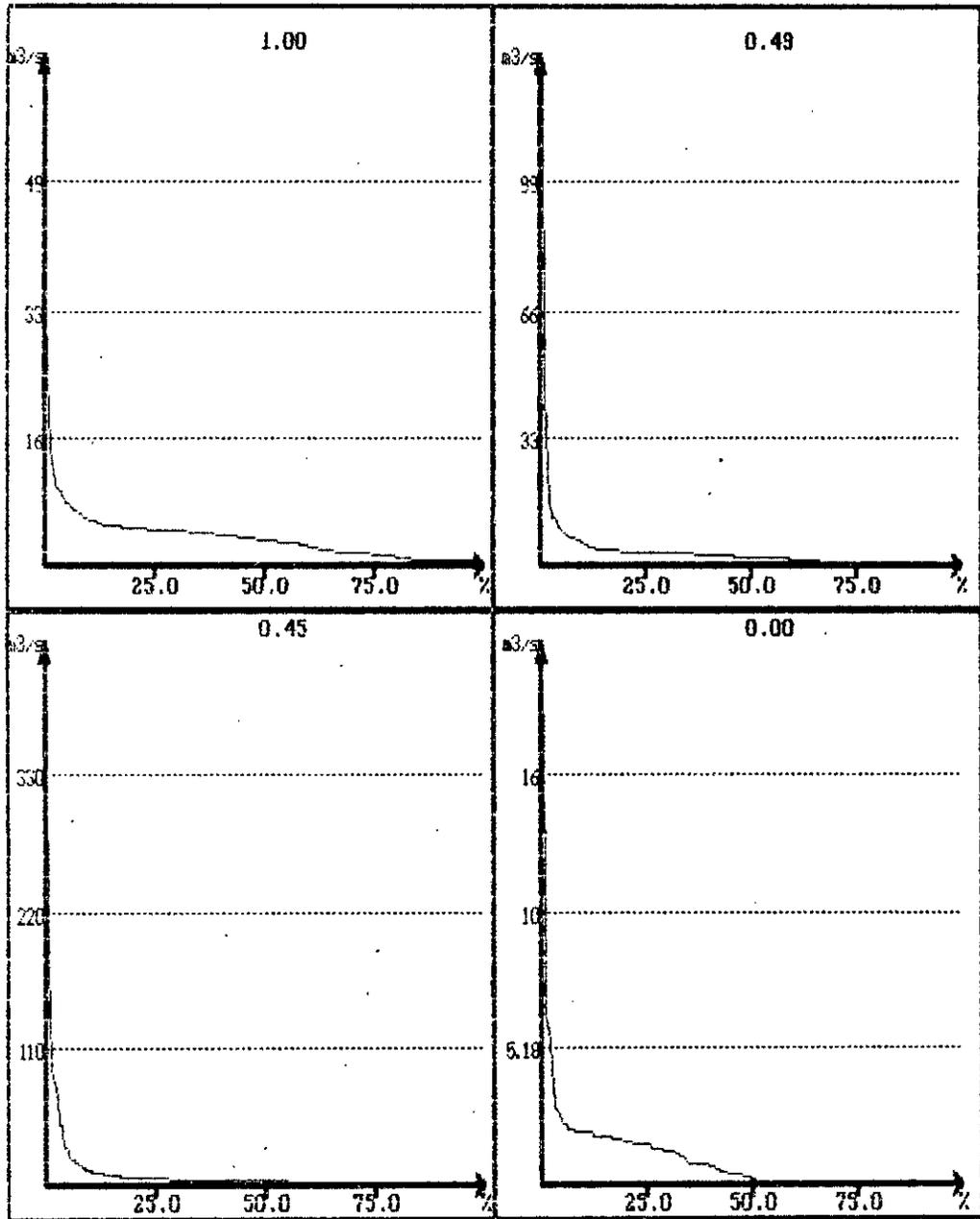


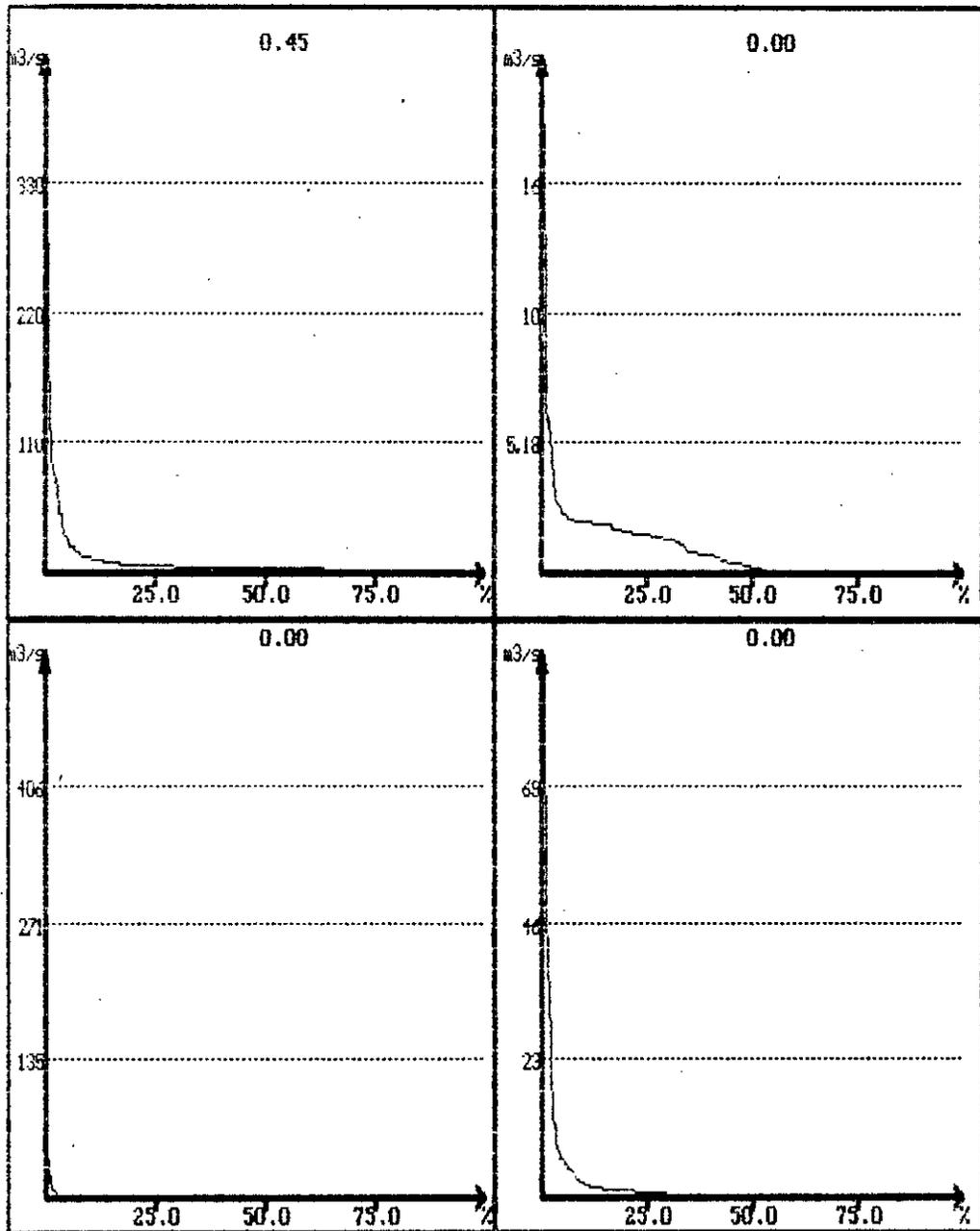






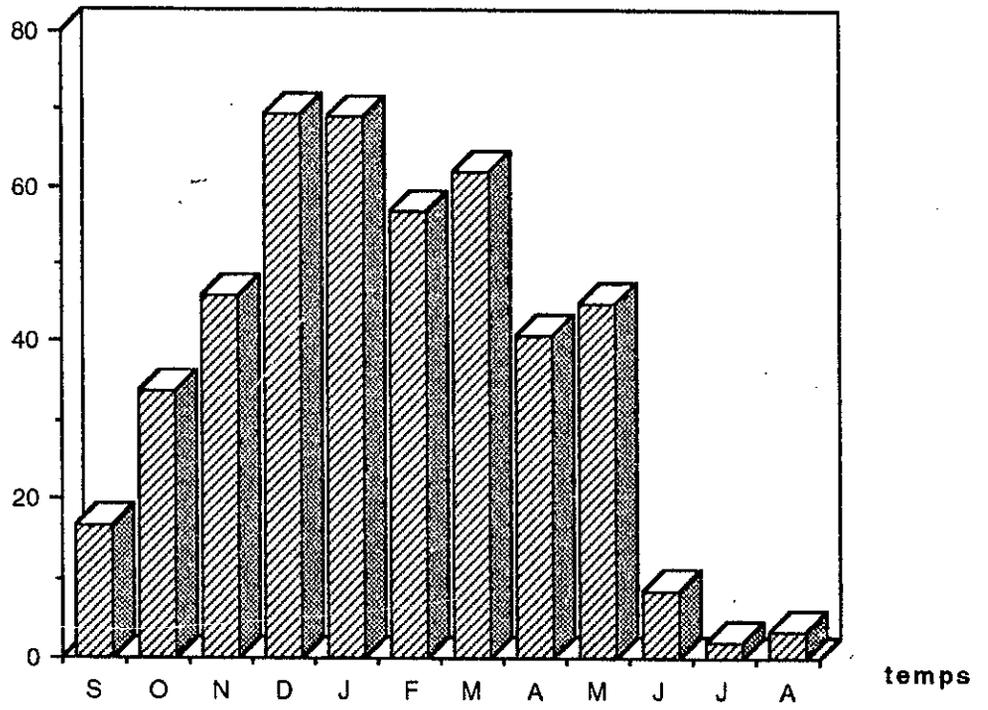






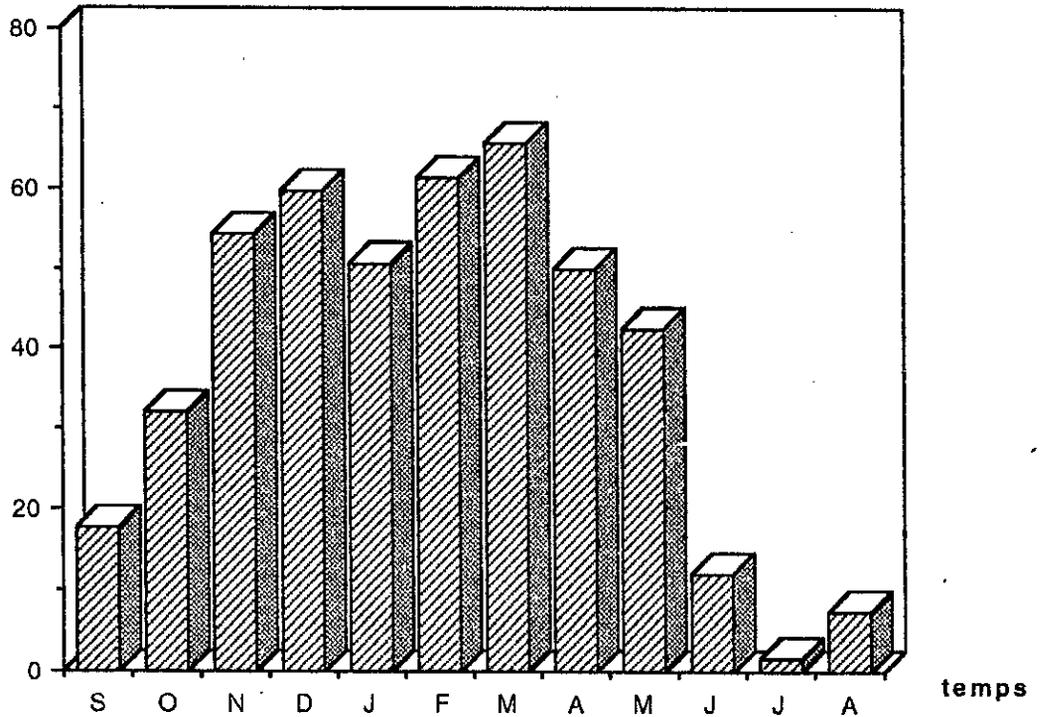
**HYDROGRAPHES DES PLUIES
MOYENNES MENSUELLES**

Pluie mm/mm



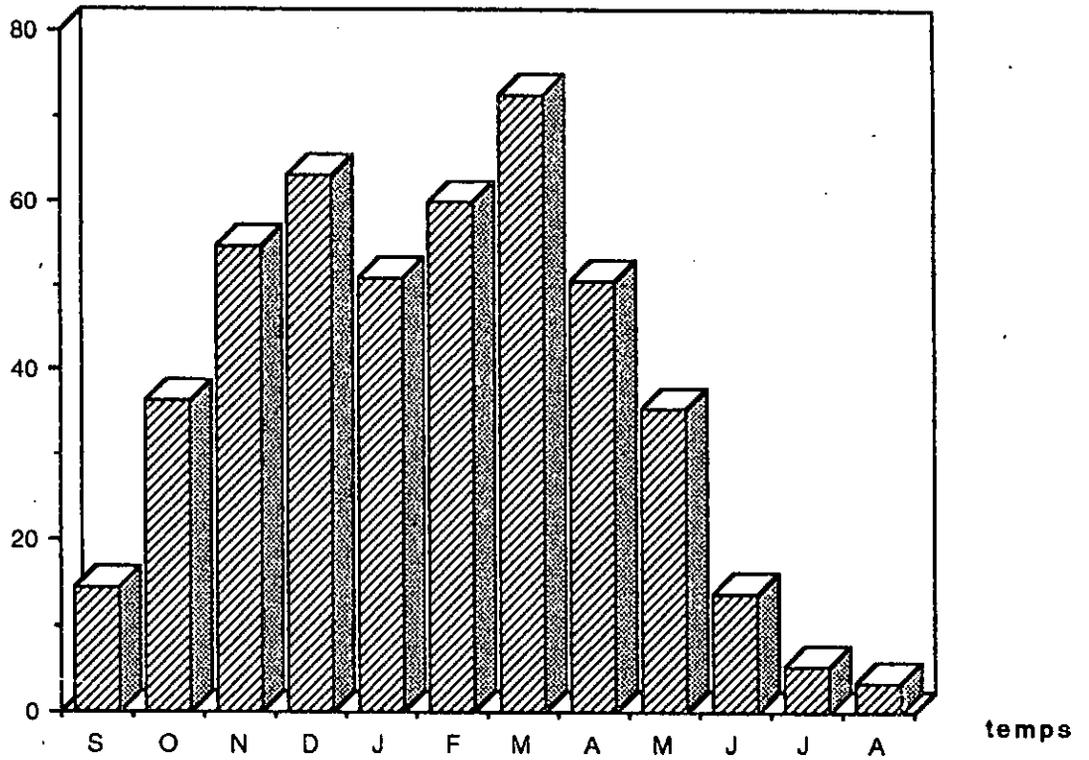
Mechiche MF (Graphe 1)

Pluies mm/mm



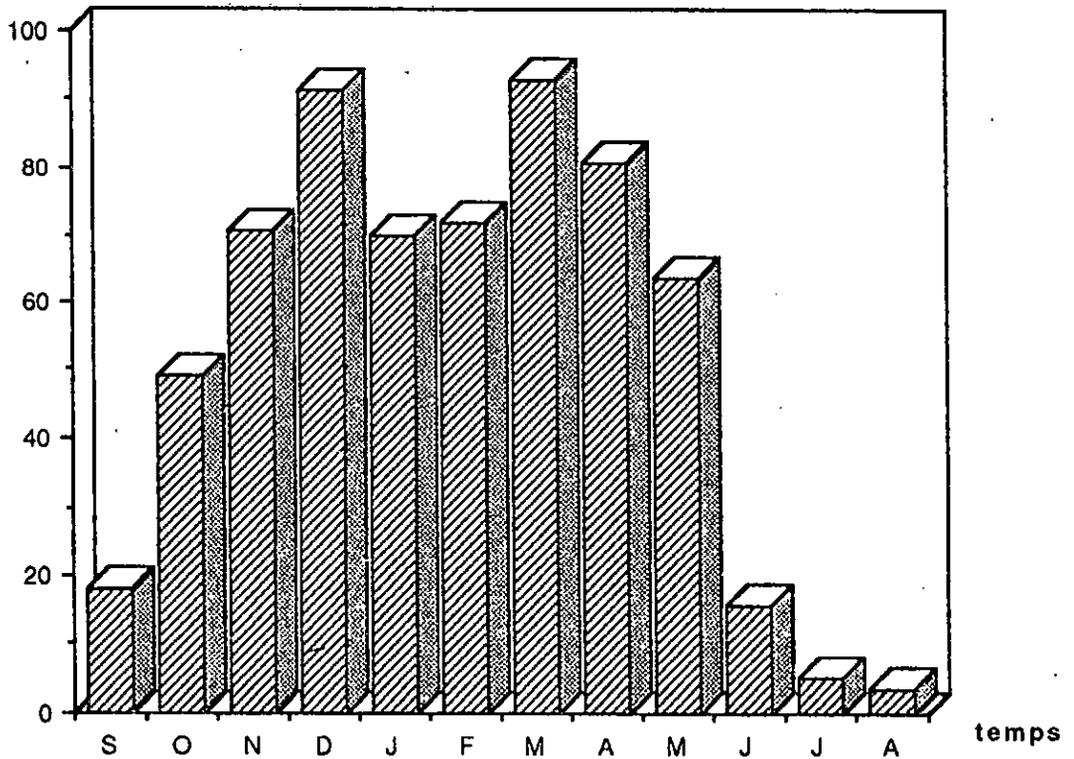
Lala Setti (graphe 2)

Pluies mm/mm



Sebra (Graphe 4)

Pluies mm/mm



Chouly (Graphe 3)

REGRESSION LINEAIRE

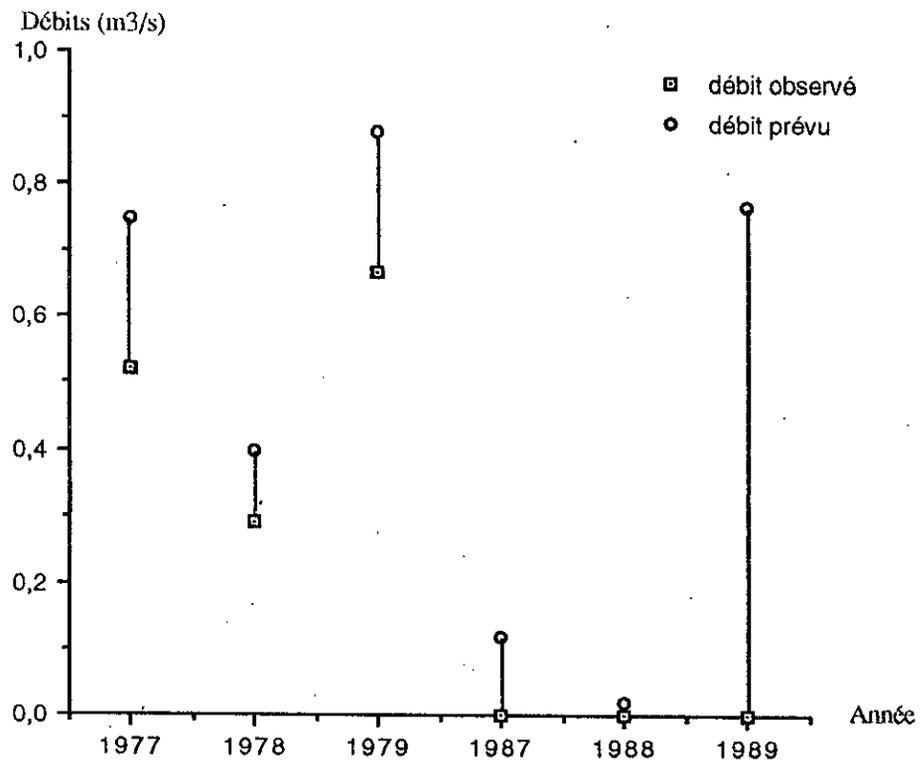


Fig. 4.1 : $Q_{\tau}^{30} = 0,988 Q_6^{30} - 0,484$ (1) (Juillet)

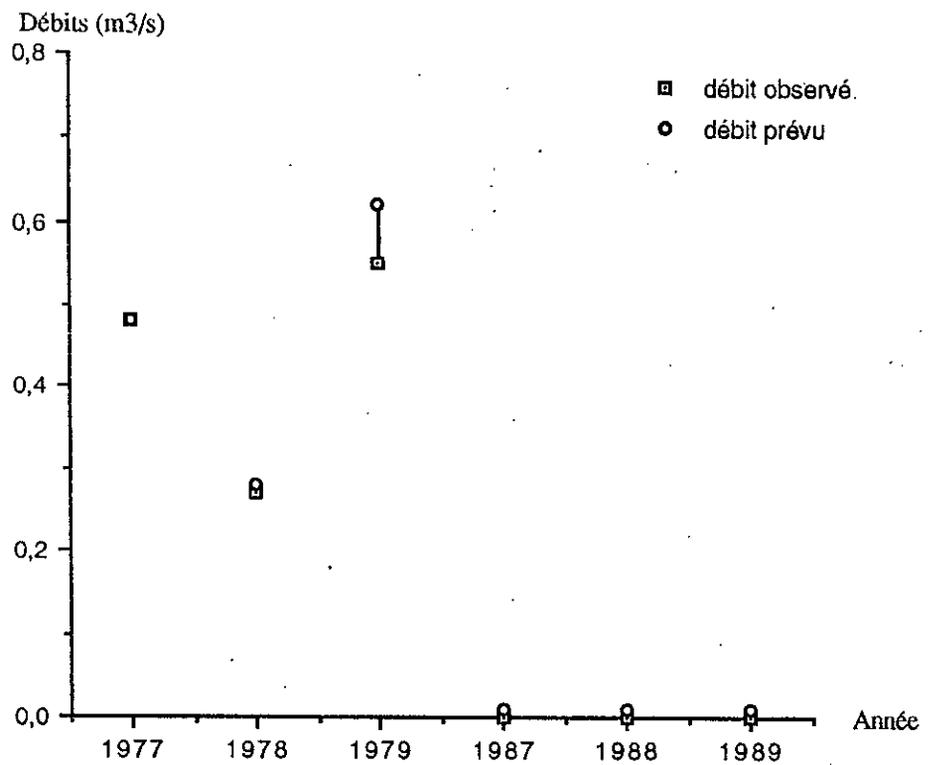


Fig. 4.2 : $Q_{\tau}^{30} = 0,955 Q_7^{30} - 0,102$ (2) (Août)

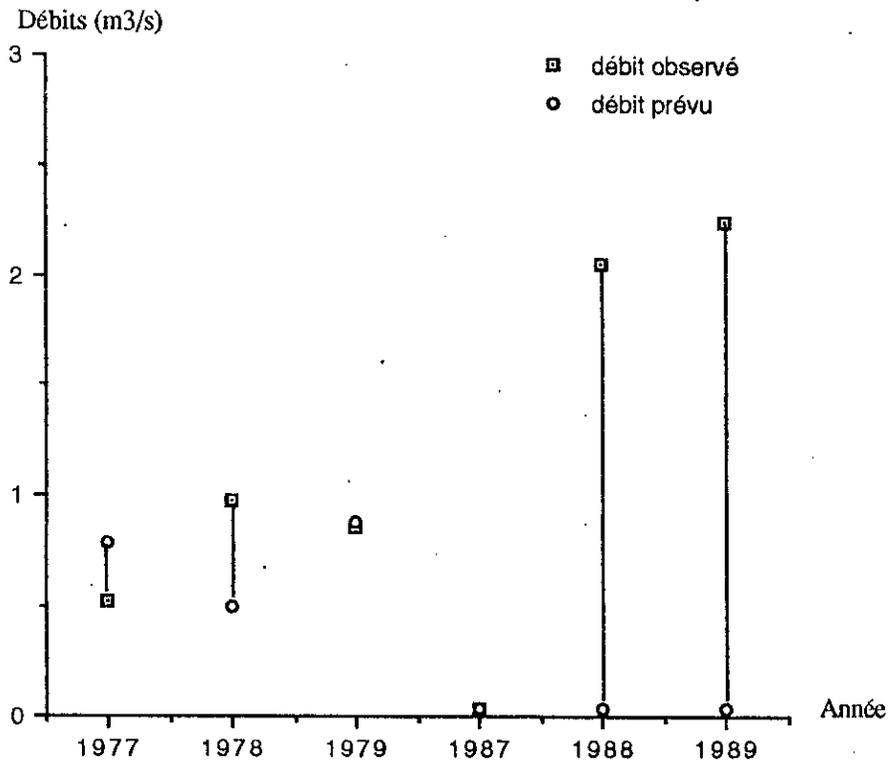


Fig. 4.3 : $Q_9^{30} = 0,789 Q_5^{30} + 0,349$ (3) (Septembre)

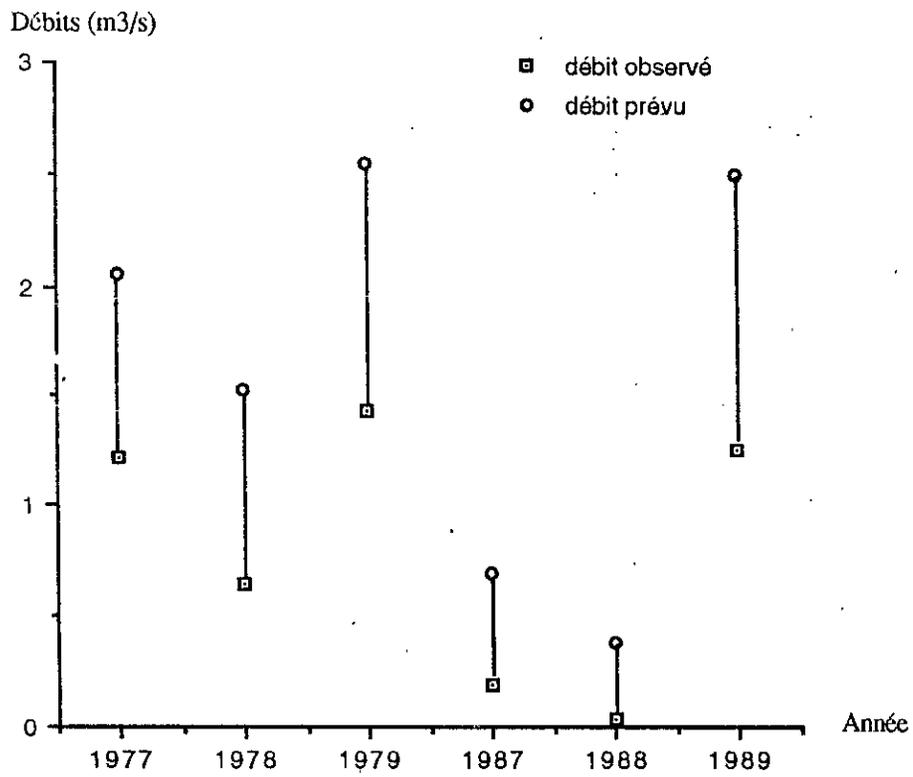


Fig. 4.4 : $Q_6^{30} = 0,563 Q_5^{30} + 0,227$ (4) (Juin)

**INFLUENCE DE LA PLUIE
SUR LE DEBIT**

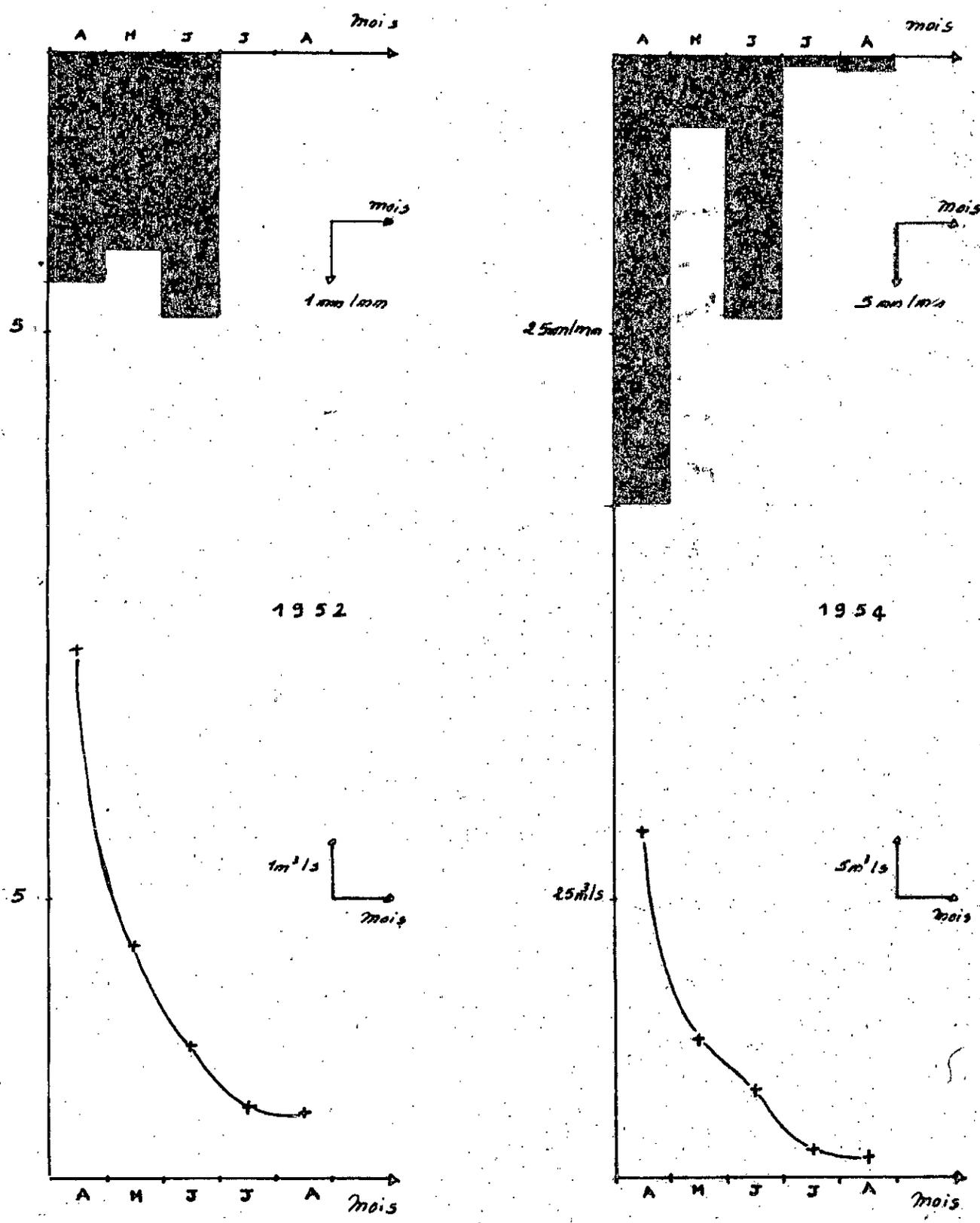


Figure 4.5

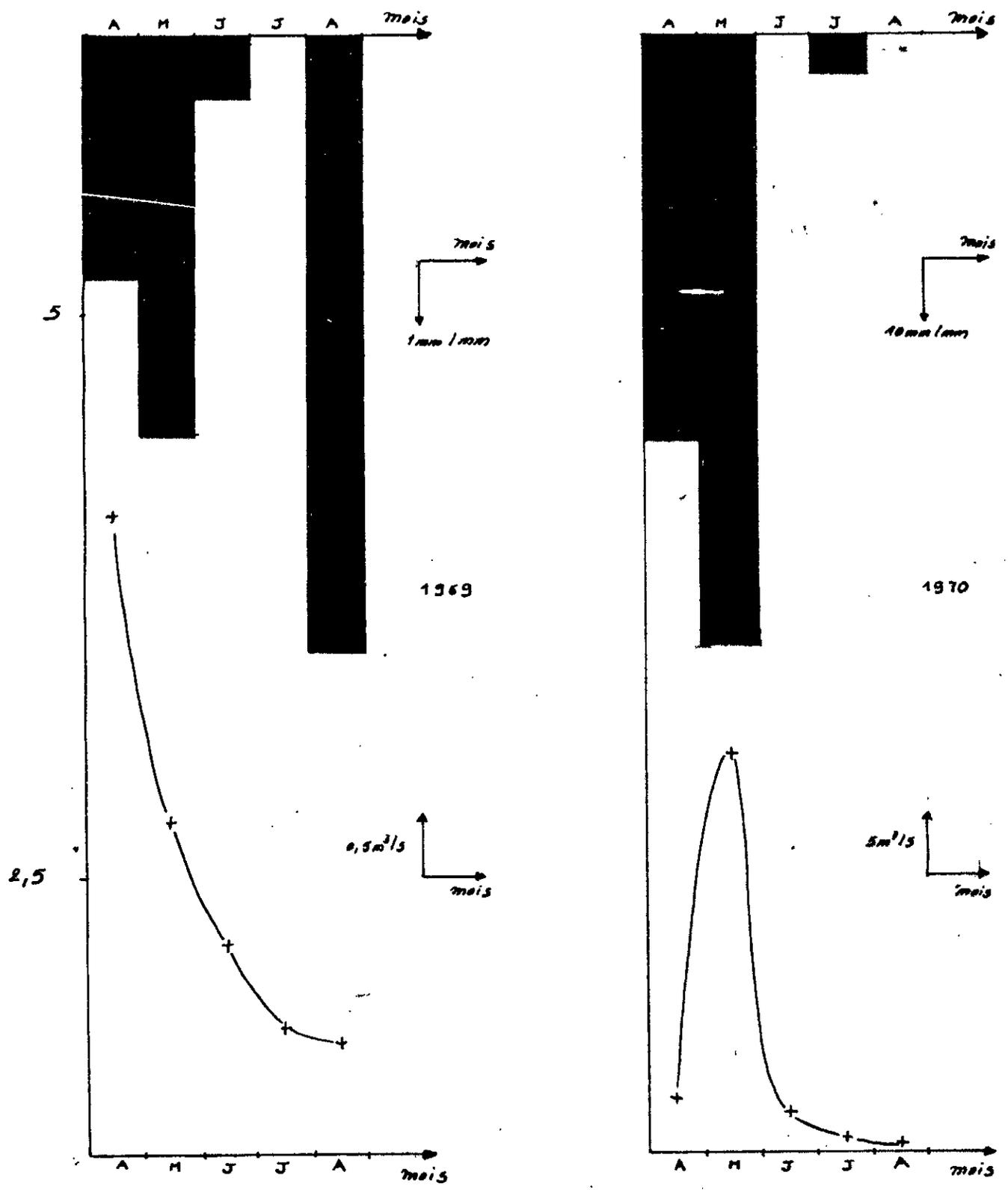


Figure 4.6

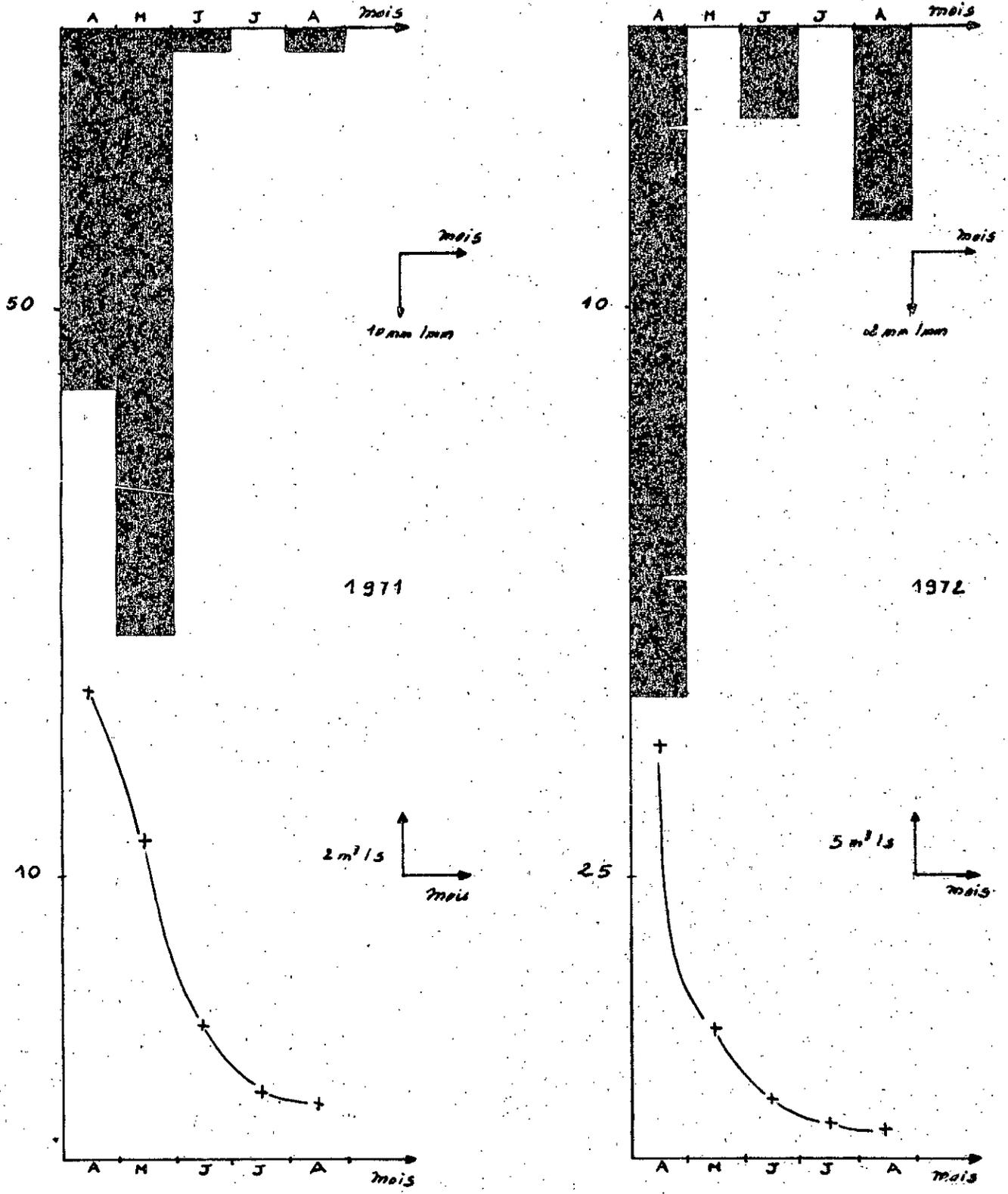


Figure 4.7

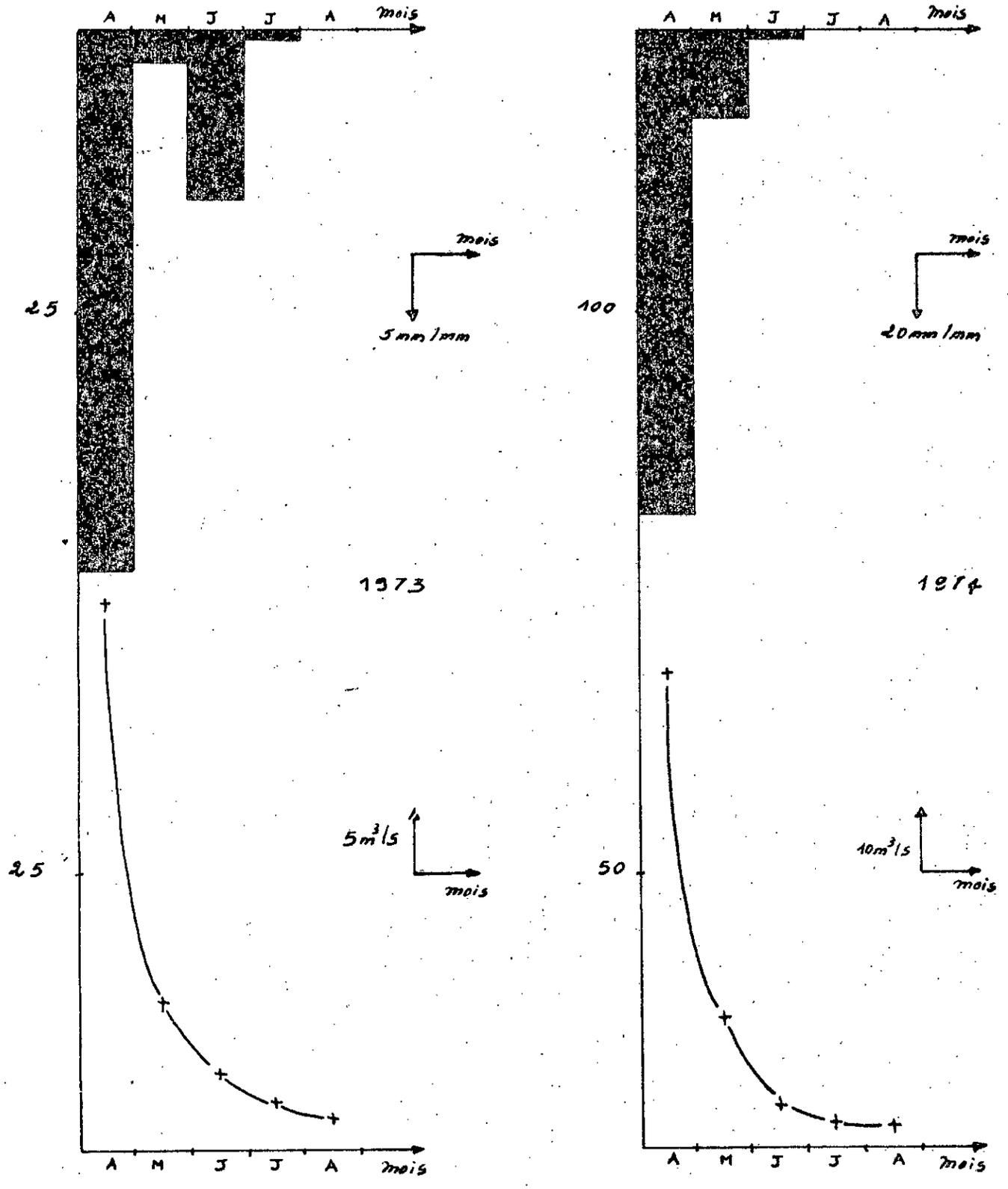


Figure 4.0

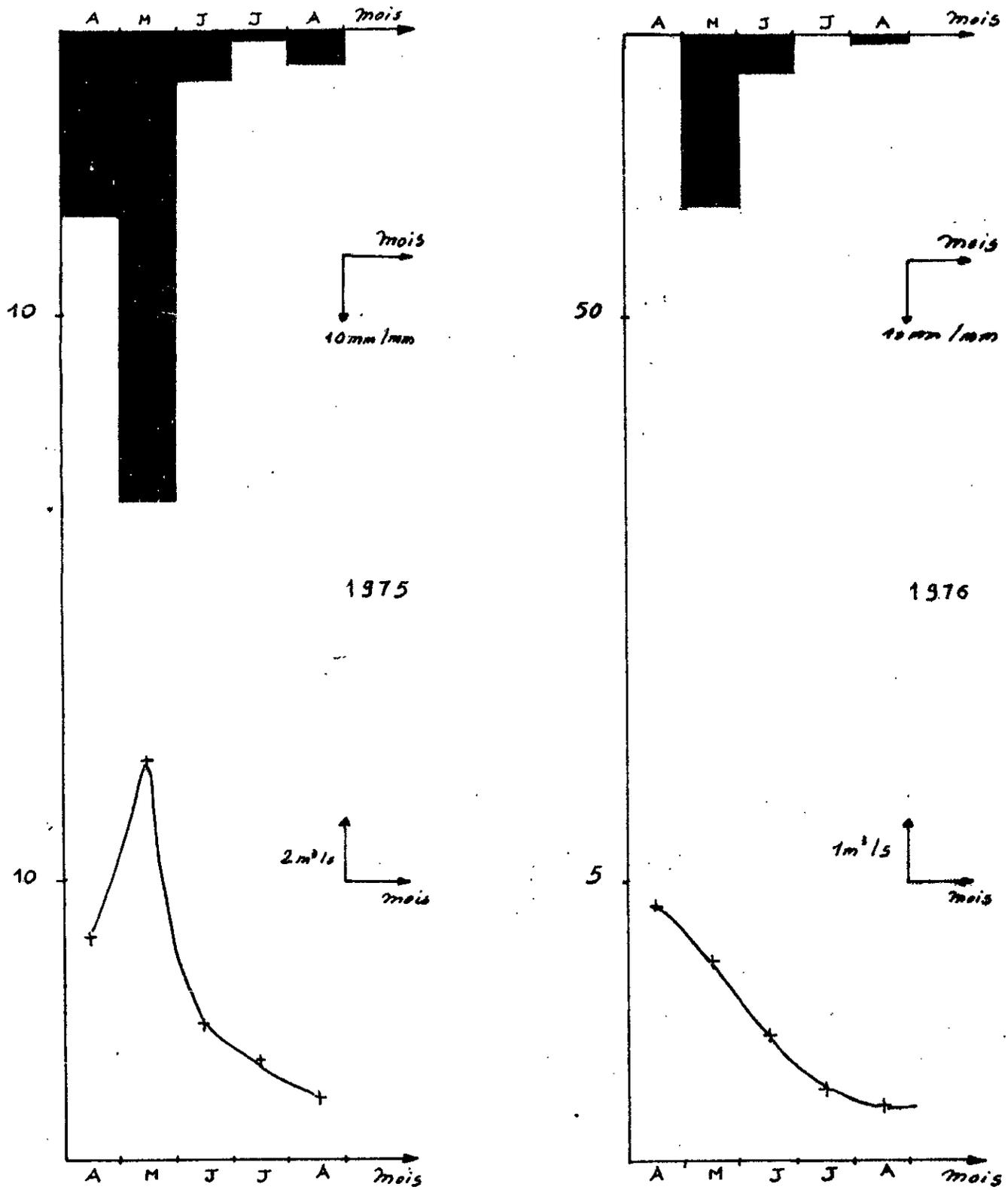


Figure 4.9

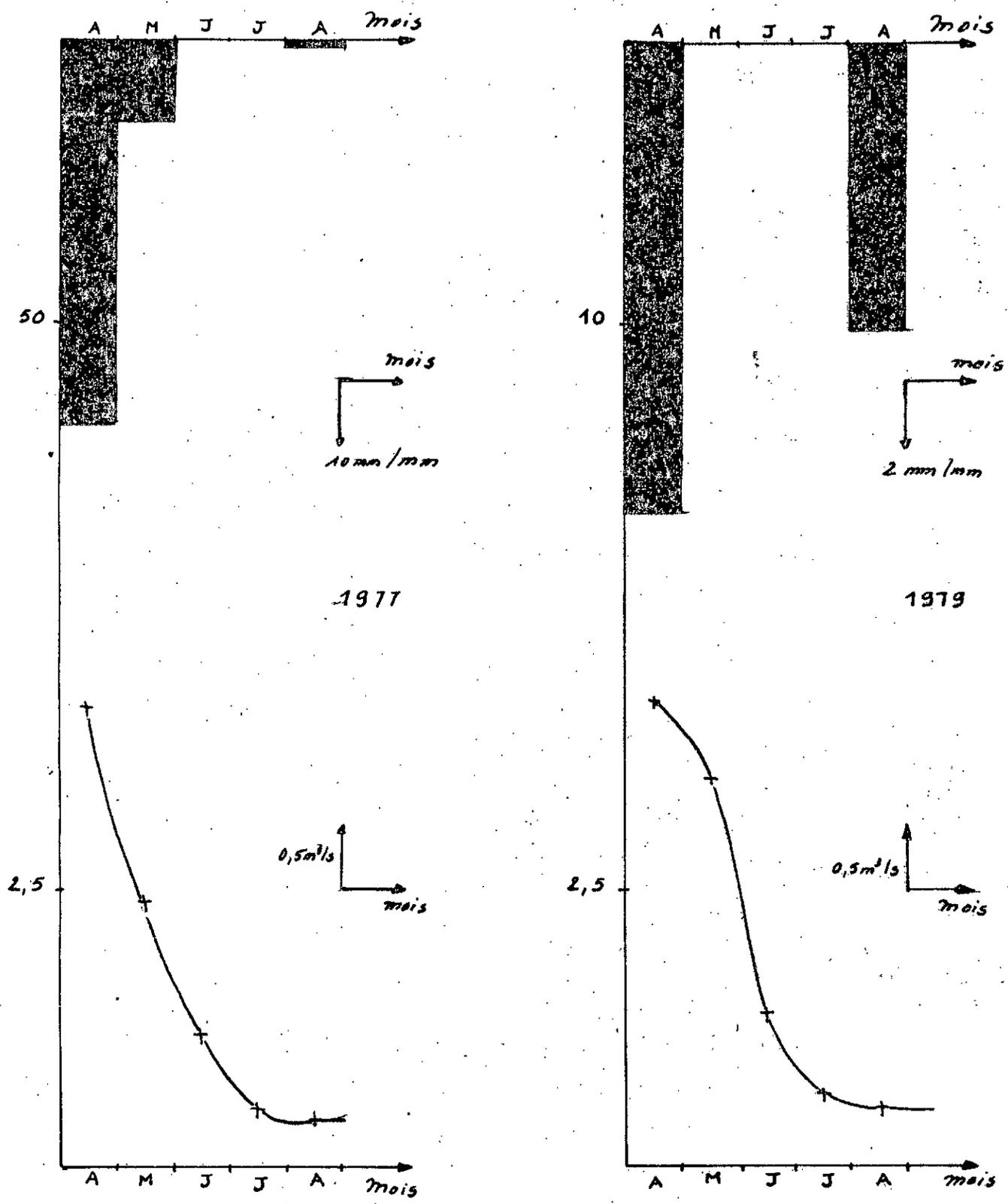


Figure 4.10

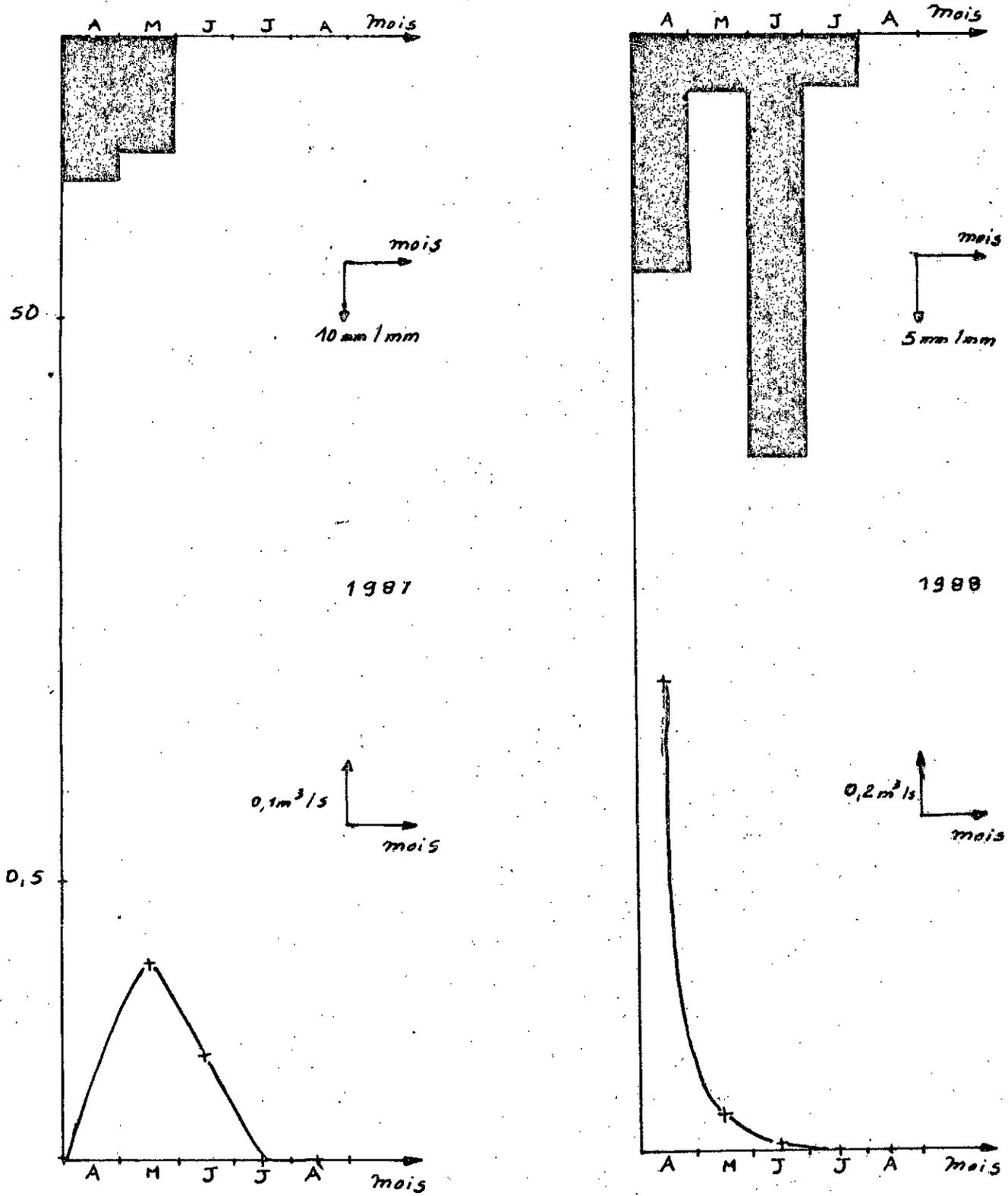


Figure 4.11

**REPRESENTATIVITE DES
STATIONS PLUVIOMETRIQUES
ET LEUR INFLUENCE
(A.C.P)**

CERCLE DES CORRELATIONS

PLAN 1 2 AXE 1 HORIZONTAL

AXE 2 VERTICAL

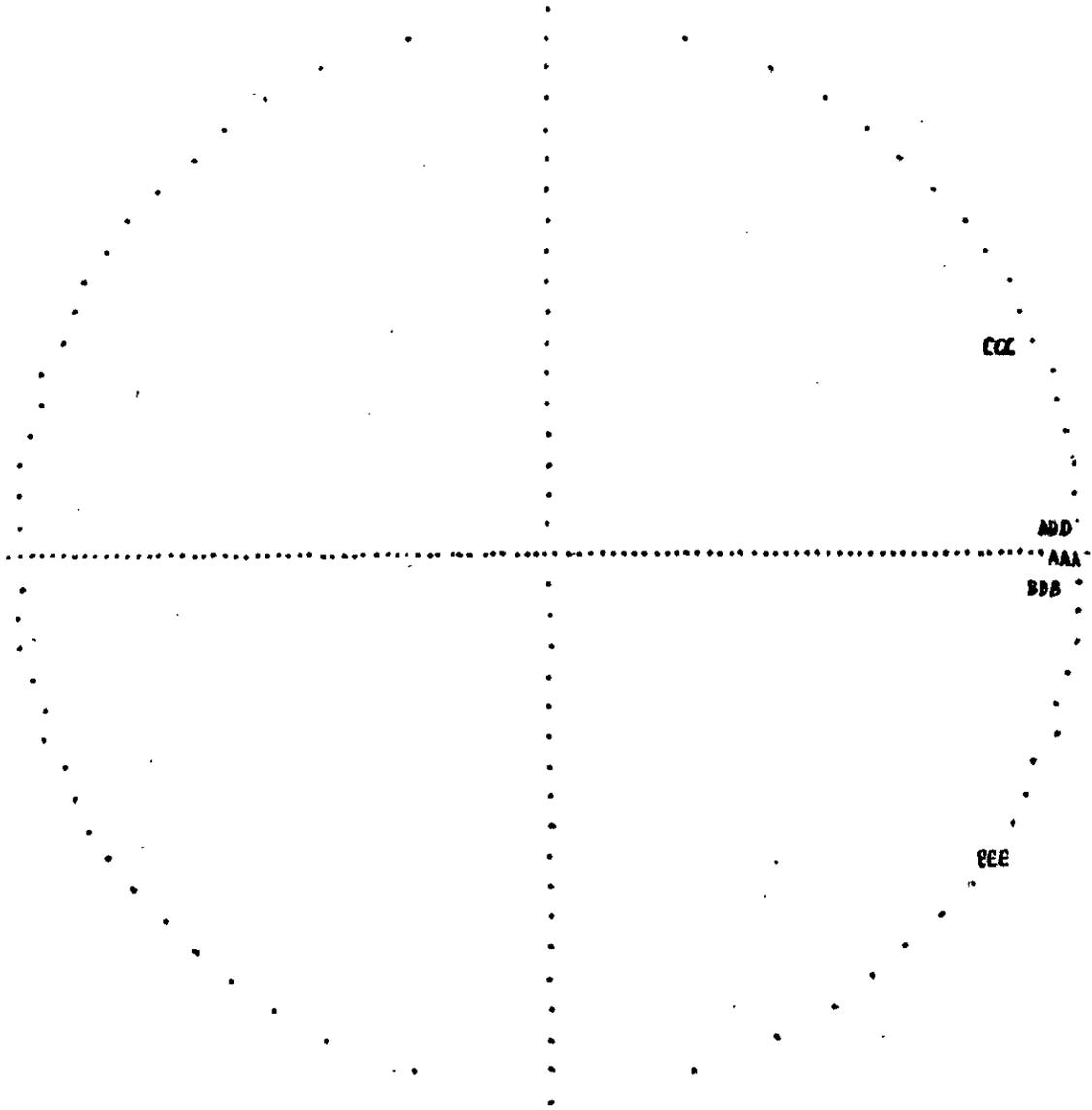


Figure 4.13

CERCLE DES CORRELATIONS

PLAN 1 3 AXE 1 HORIZONTAL

AXE 3 VERTICAL

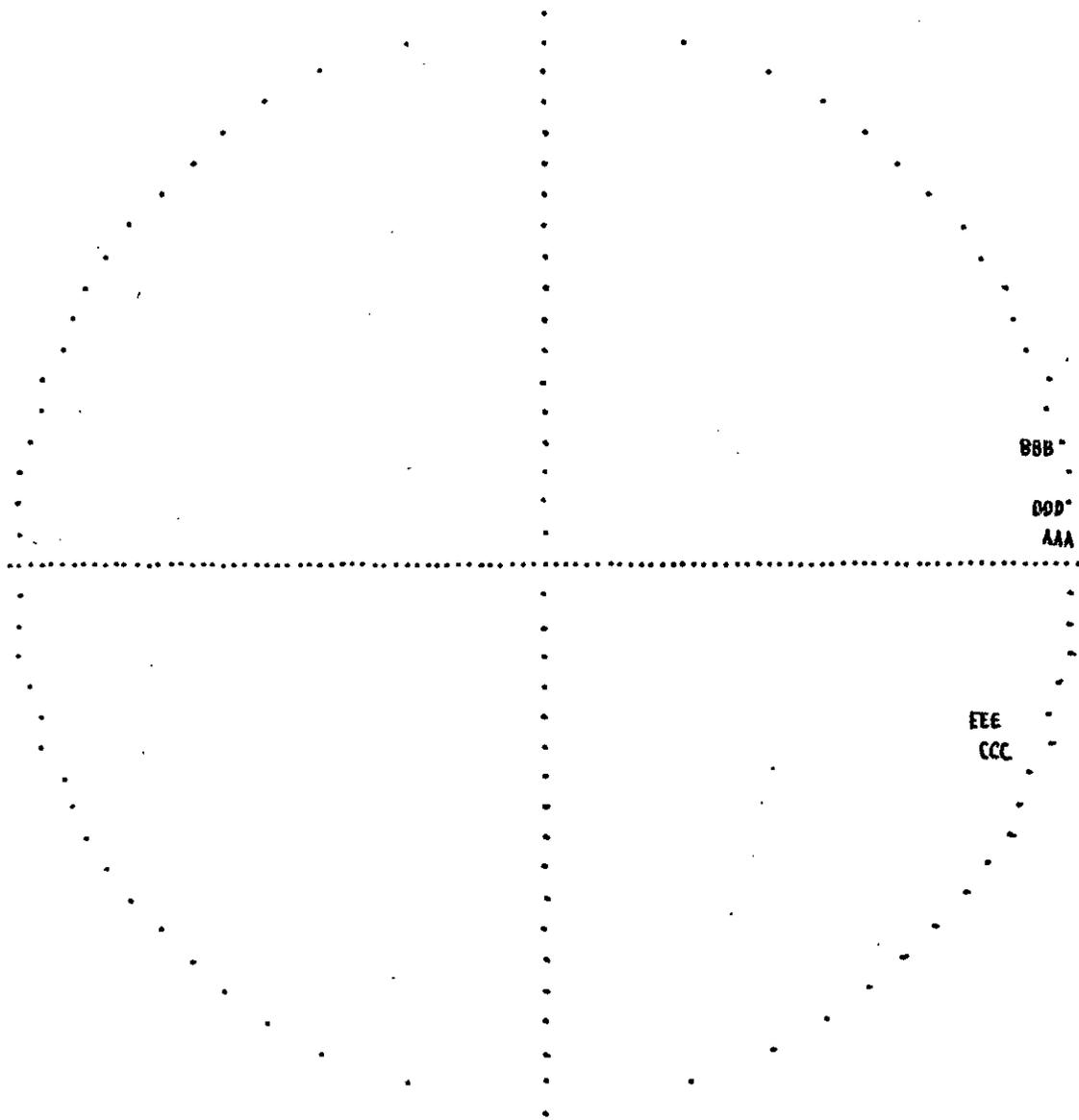
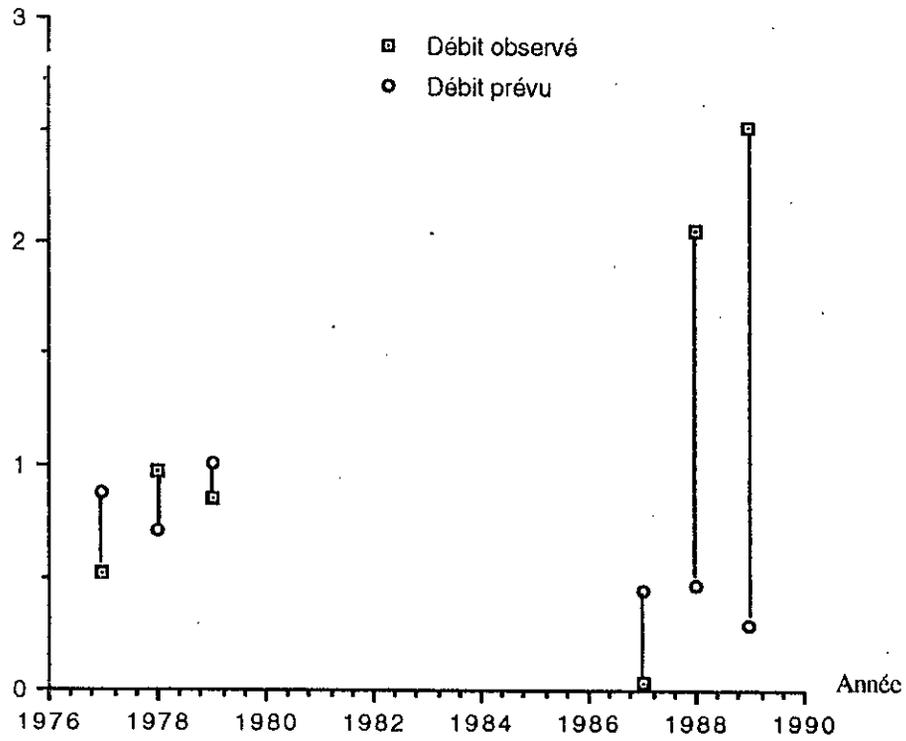


Figure 4.14

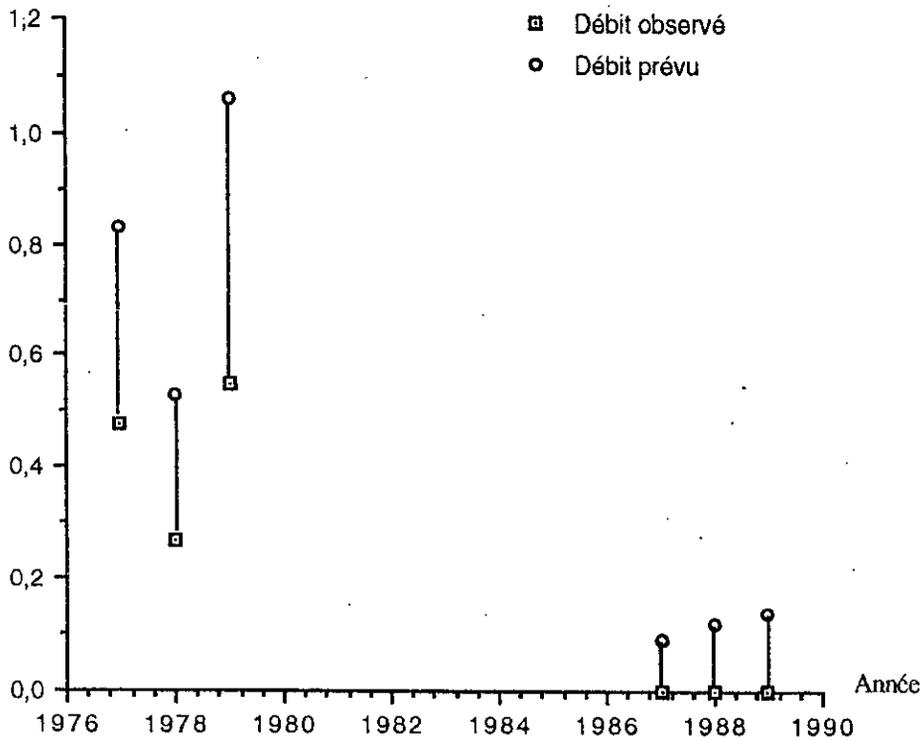
REGRESSION MULTIPLE
(Prevision temporelle)

Débit (cm³/s)

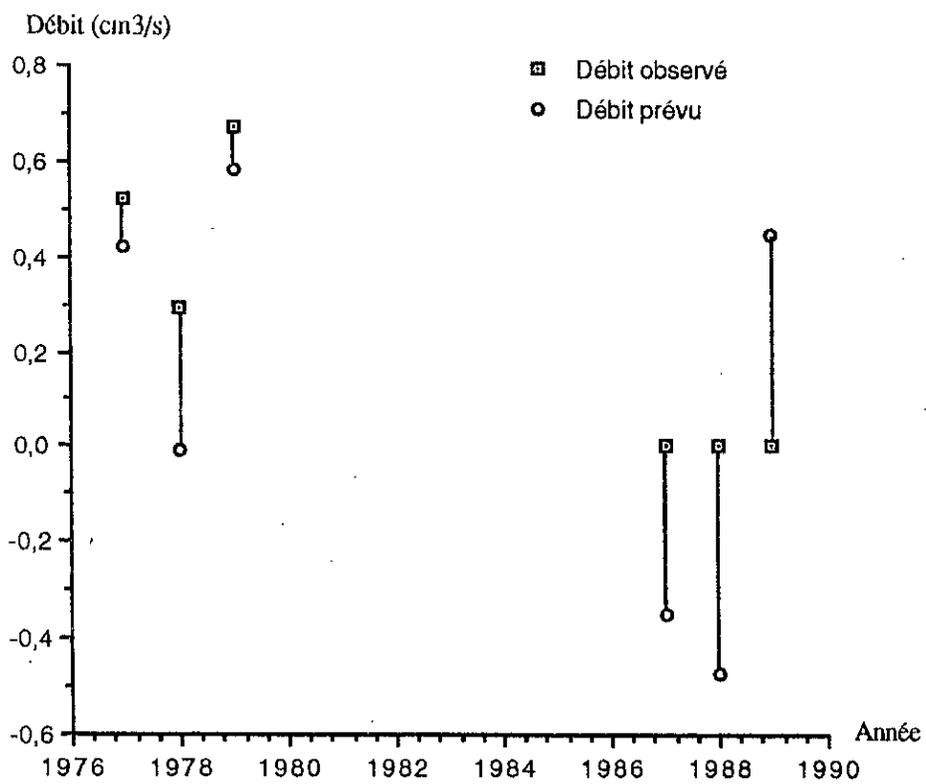


$$Q_9^{30} = 0,4878 + 0,10730 Q_8^{30} + 1,0138 Q_7^{30} - 0,149 Q_6^{30} \quad (\text{Septembre})$$

Débit (cm³/s)

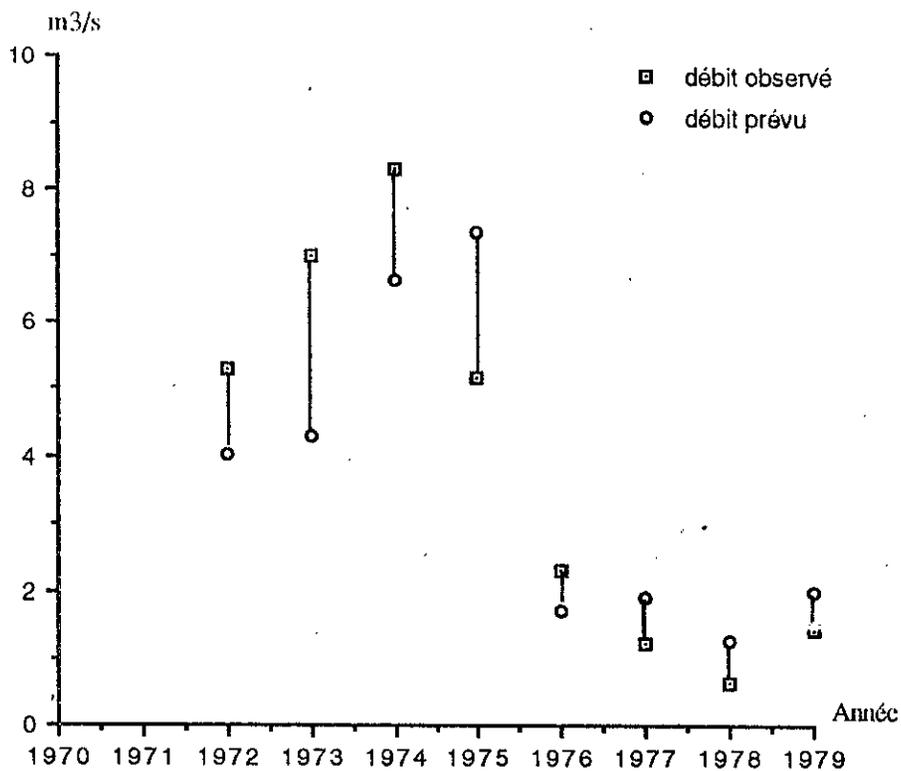


$$Q_8^{30} = 0,1295 + 1,8427 Q_7^{30} - 0,2141 Q_6^{30} \quad (\text{Août})$$

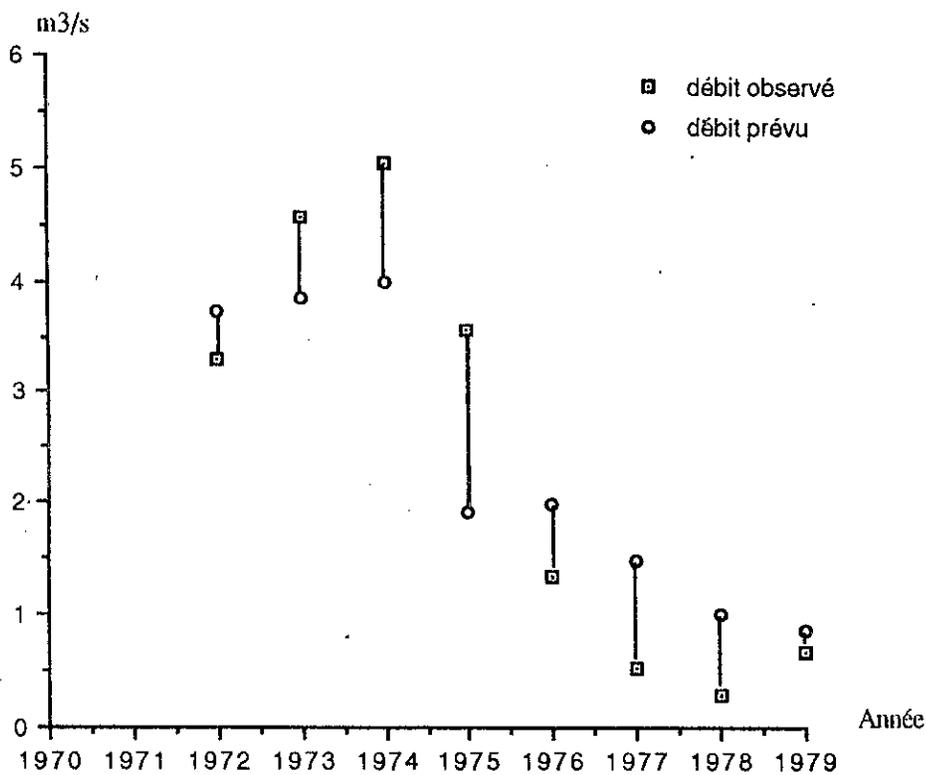


$$Q_7^{30} = -0,487 + 0,7452 Q_6^{30} \quad (\text{Juillet})$$

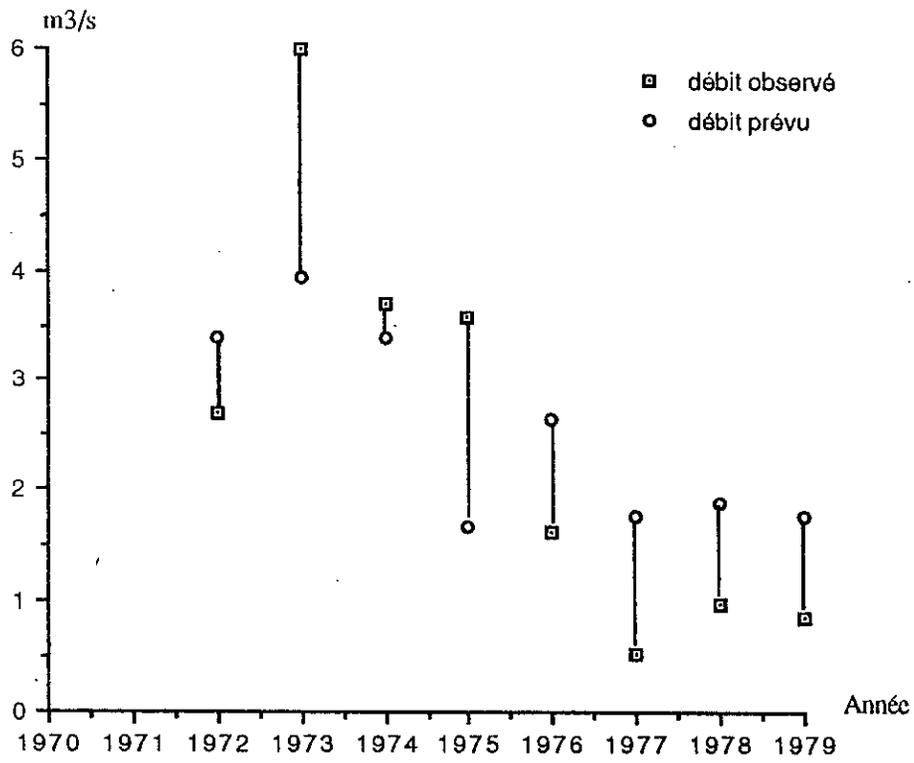
REGRESSION MULTIPLE
(Prevision spatio-
temporelle)



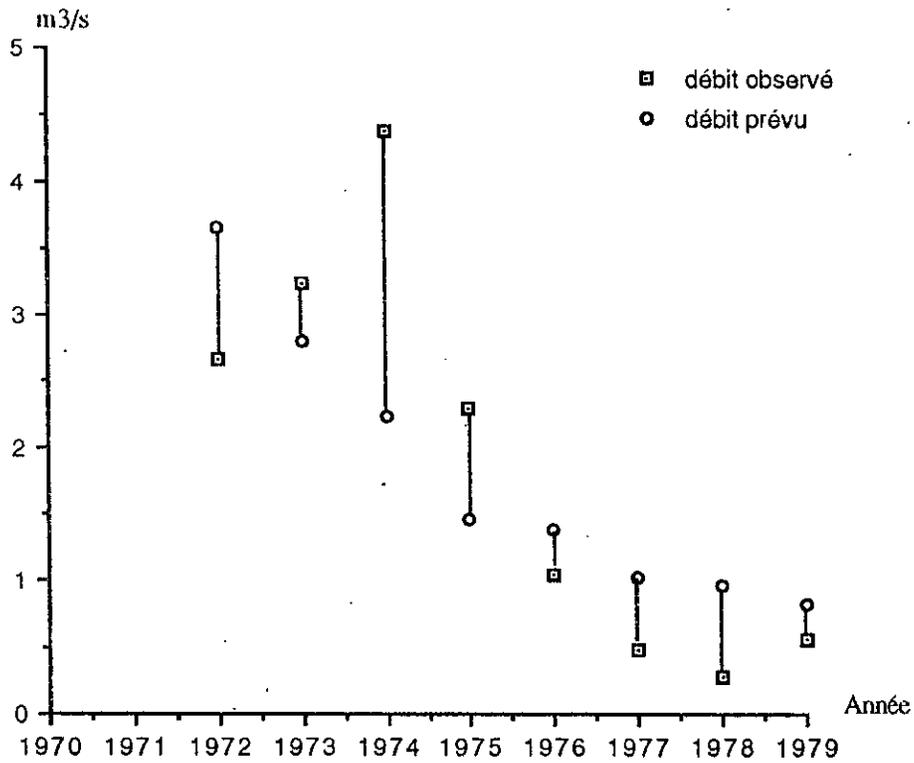
**Prévision spatiotemporelle du mois de juin
de la station "Pierre du chat".**



**Prévision spatiotemporelle du mois de juillet
de la station "Pierre du chat".**



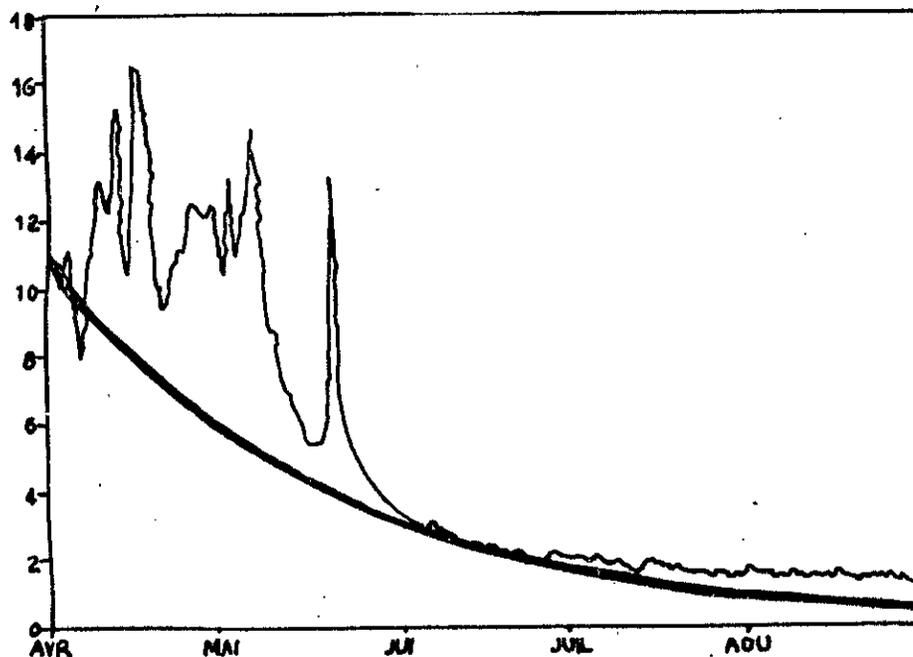
Prévision spatiotemporelle du mois de septembre de la station "Pierre du chat".



Prévision spatiotemporelle du mois de Août de la station "Pierre du chat".

COURBES DE TARISSEMENT

PIERRE DE CHAT EN 1955 (AVRIL-AOÛT)

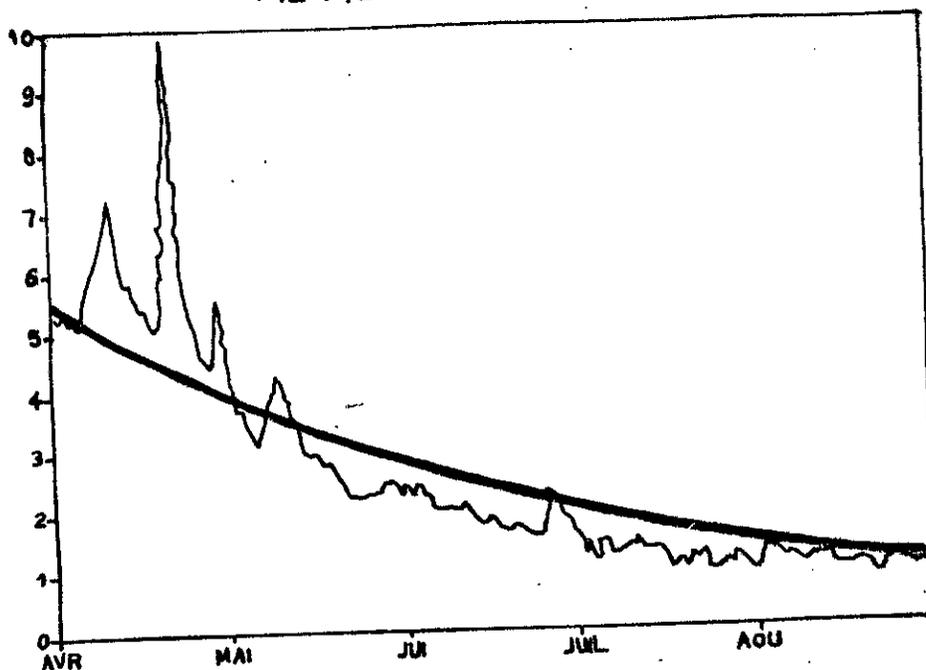


Lissage de la période Avril - Août

$$Q_i = 11.1 \exp(-0.021 i) \quad R = 0.76$$

$$i = 1, 152$$

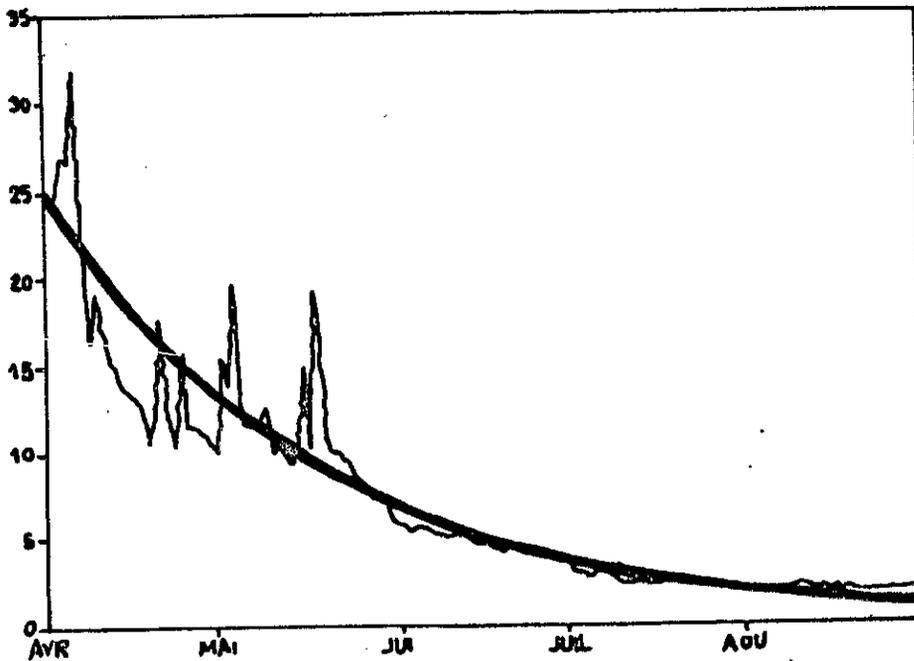
PIERRE DE CHAT EN 1969 (AVRIL-AOÛT)



$$Q_i = 5.47 \exp(-0.011 i) \quad R = 0.89$$

$$i = 1, 152$$

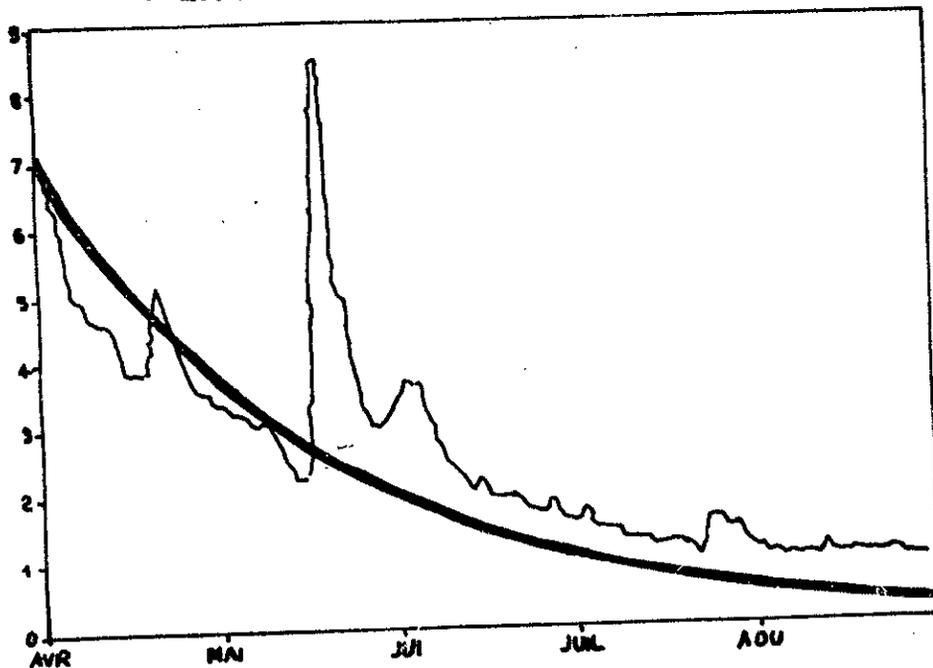
PIERRE DE CHAT EN 1971(AVRIL-AOUT)



$$Q_i = 25.17 \text{ EXP}(-0.021 i) \quad R = 0.94$$

$$i = 1, 152$$

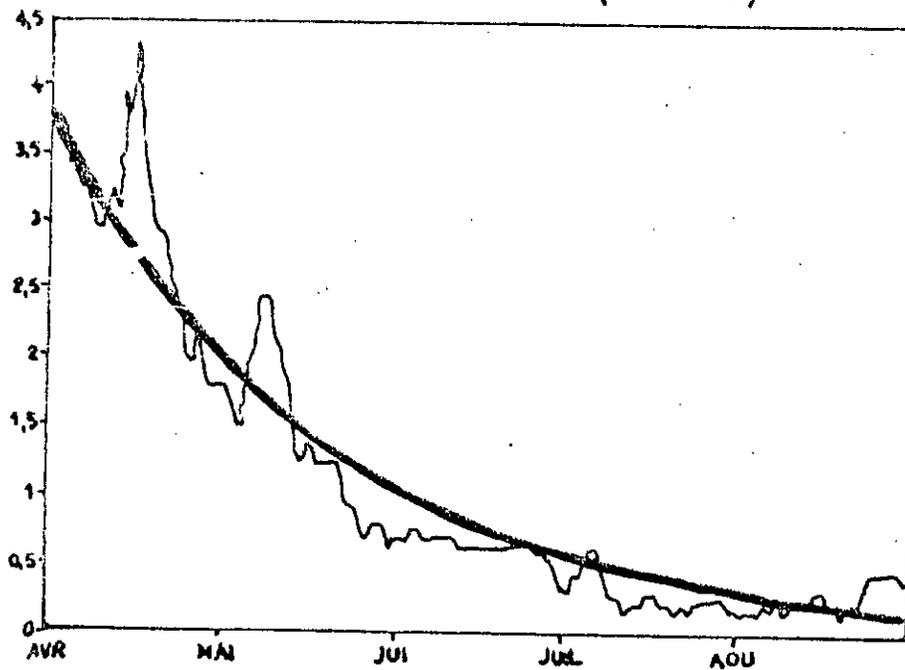
PIERRE DE CHAT EN 1976(AVRIL-AOUT)



$$Q_i = 7.07 \text{ EXP}(-0.021 i) \quad R = 0.72$$

$$i = 1, 152$$

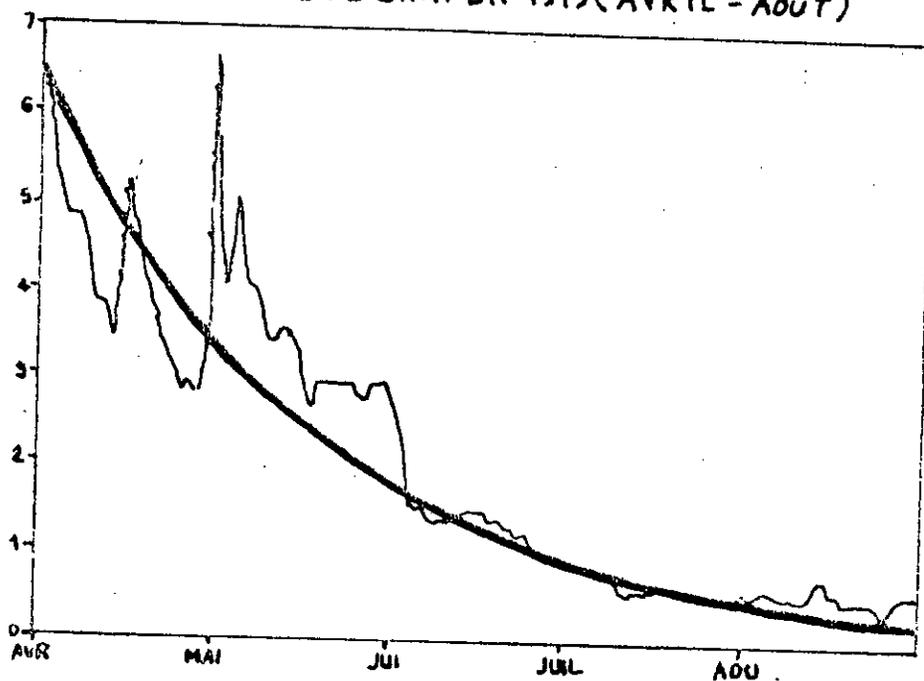
PIERRE DE CHAT EN 1978 (Avril-Aout)



$$Q_i = 3.78 \text{ EXP}(-0.021 i) \quad R = 0.96$$

$$i = 1, 152$$

PIERRE DE CHAT EN 1979 (AVRIL - AOUT)



$$Q_i = 6.47 \text{ EXP}(-0.021 \cdot i) \quad R = 0.92$$

$$i = 1, 152$$

INDEX
BIBLIOGRAPHIQUE

Index Bibliographique

[1] Bedja Mustapha

homogénéisation des données pluviométriques annuelles dans le bassin versant de la Tafna
Thèse : INA; 1990-1991

[2] Bernier Jacques

Etude de la stationnarité des séries hydrométéorologiques, laboratoire National d'hydraulique, Electricité de France- Direction des Etudes et Recherches houille blanche 1977

[3] Bernard Bobée et Ashkar Fahim

The gamma family and derived distributions applied in hydrology
Water Ressources Publication, Canada 1991

[4] C emaz/gref

Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux, centre national du machinisme agricole, du Génie rural, des eaux et des forêts groupement Antony, Septembre 1989

[5] Dagnelie Pierre

Théorie et méthode des statistiques, vol 1.2
les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 1973

[6] Delleur.J.W

Les processus du type "ARIMA" pour la prévision et la simulation en hydrométéorologie, houille blanche n°6/1978

[7] Donald.H. Sanders A.F, Murph.R.J, Eng

Les statistiques, une approche nouvelle
ISBN, Canada 1984

[8] Dubreuil.P

Initialisation à l'analyse hydrologique
Masson, Paris, 1974

[9] Ghachi Azzedine

Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en
Algérie, office des publications universitaires, Alger, 1986.

[10] Grisonie Maurice, Deroux Jacques

Cours d'hydrologie superficielle
Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique,
Decembre 1972

[11] Guilbot.A, Ruiz.L

Prevision des étiages de l'Adour et des gaves. Bassin de l'Adour en
amont de Gaves.
Service hydrologique centralisateur la haute Garonne, Juillet 1979

[12] Guilbot.A, Ruiz.L

Prévision des étiages de l'Adour et des gaves. Bassin de l'Adour en
amont des gaves.
Université des sciences techniques du languedoc :
laboratoire d'hydrologie mathématiques

[13] Guilbot.A, Girard.G, Thierry D

Etude de l'efficacité relative et du domaine d'application de
différents modèles hydrologiques pour prévoir les étiages
Société hydrotechnique de France, Toulouse, 5,6,7 Sept 1978

[14] Guilbot.A, Masson.J.M; Bediot.G; Ducas telle.C

Essai de prévision des étiages de l'Oise à Sempigny
Laboratoire d'hydrologie de Montpellier, Agence Financière de bassin
seine-Normandie
houille blanche N°617 - 1976

[15] Hafinane M^{ed} Redha

Caractérisation de l'agressivité climatique du bassin
versant de la Tafna
Thèse, INA, 1991 - 1992

[16] Kottegoda.NT

Stochastic Water resources technology
Service hydrologique centralisateur, la haute Garonne
Edition the Macmillan press LTD 1980

[17] Larras.J

Prévision et prédétermination des étiages et des crues
Ed. Eyrolles, Paris, 1972

[18] Le fèvre.J

Le soutien des étiages en Loire à l'aide de réservoirs situés dans le
haut bassin
Application au barrage de Naussac
Agence financière du bassin Loire-Bretagne
houille blanche/N°415 - 1974

[19] Maillet.E

Sur la prévision des débits minima des sources de la
vanne.C.R, Academie des sciences 1902

[20] **Margat Jean**

Secheresse et eaux souterraines

B.R.G.M, France, houille blanche N°718 - 1989

[21] **Mathie.L, Perrault.L, Bobée.B**

The unse geometric and gamma related distribution for frequency and analysis of water deficit.

Stochastic Hydrology and Hydraulics, Springer - Verlag 1992

[22] **Mebarki Azzedine**

Ressources en eau et aménagement en Algérie (le bassin du Kebir Rhamel (Algérie))

[23] **Michelet christian**

Methodologie de transfert d'information pluviométrique en information hydrométrique

Application à la réestimation des risques d'étiage

houille blanche N°8/1979.

[24] **Miquel Jacques**

Guide pratique d'estimation de probabilité de crues

Ed. Eyrolles, paris, 1984

[25] **Normand Michel**

exploitation des mesures de débit d'étiage des rivières aux fin de prévisions de fourniture d'eau pour l'irrigation

Bulletin B.R.G.M, 1974

[26] **Oberlin.G**

Quelques généralités sur la secheresse et leur prévision centre technique du Génie Rural

houille blanche/N°5 - 1976

[27] Rememieras, G

L'hydrologie de l'ingenieur
ED. Eyrolles, Paris, 1976.

[28] Roche. M

Hydrologie de surface
ED. Gauthier, Villars, Paris, 1963.

[29] Rodier, J.A

Dernières études sur les secheresses à l'échelle continentale;
houille blanche/N° 617 - 1976

[30] Royer François - Jean

Les secheresses : Thème 1 : problèmes physiques
Circulation atmospherique et secherese, Toulouse
houille blanche /N° 718 - 1989

[31] Sachs Lothar

Springer series in statistics
Applied statistics : a Handbook of technique, Second
édition Springer- verlag, Tokyo, 1984

[32] Sircoulon Jacques

La récente secheresse des régions sahéliennes
office de la recherche scientifique et technique
Outer- Mer, houille blanche N° 617 - 1976

[33] Sircoulon Jacques

effets des secheresses sur l'hydrologie de surface
Institut Français de recherche pour le developpement en coopération
houille blanche N° 718 - 1989

[34] Talibi.M

Etude d'étiage de l'oued Sébaou et impact du barrage de taksebt sur
l'étiage de l'Oued Sébaou
ANRH/ d'hydrologie, Janvier 1993

[35] Xanthoulis Dimitri :

Modélisation mathématique des débits d'étiage des cours d'eau.
Application au bassin versant de la lesse
Service d'hydrologie et d'améliorations Fonçières
(Génie Rural II) Faculté des sciences agronomiques de l'état Gemblou,
Belgique, 1984 - 1985.