

11/89

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

2 esi

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

APPLICATION D'UN
MODELE DE SIMULATION
DE DEBITS AU BASSIN
VERSANT DE L'ISSER

Proposé par :
M. DECHMI N.

Etudié par :
BENDAHYA F.
CHETTAB M.S.

Dirigé par :
DECHMI N.

PROMOTION : 198383 19839

Ministère de l'Enseignement Supérieur

وزارة التعليم العالي

Ecole Nationale Polytechnique



Département HYDRAULIQUE

Promoteur: DECHMI N.

موجه: د. شفيق

Eleves-Ingenieurs: BENDAHYA F.

تلميذ مهندس: بنداحية ف.

CHETTAB M.S.

شطاب م.س.

الموضوع: تطبيق نموذج تظاهر التدفق لمنحدرات حوض يسر.

الملخص: انطلاقا من السلاسل التاريخية لتدفق منحدرات حوض يسر،
تقدم نموذج تظاهر التدفق مؤسس من تفكيك السلسلة التاريخية
المس إلى مركبتين: سلاسل ماركوف المتقطعة وسلاسل فورييه.

Sujet: APPLICATION D'UN MODELE DE SIMULATION DE DEBITS
AU BASSIN VERSANT DE L'ISSER.

Résumé: A partir des series historiques des debits du bassin
versant de l'ISSER, on présente un modèle de simulation
de debits basé sur la décomposition de la serie histori-
-que par lissage en deux composantes: l'une, sera simulée
par les chaines de MARKOV (fluctuations) et l'autre par
les series de FOURIER (porteuse).

Subject: APPLICATION OF SIMULATION MODEL OF DISCHARGE
TO THE ISSER WATER SHED.

Summary: A series of historic observations of discharge of
ISSER water shed were studied by decomposing the dis-
-charge through normalising the fluctuations into two
components using, the discrete series of MARKOV and the
FOURIER series, a model of simulation is proposed.

" REMERCIEMENTS "

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à notre promoteur M. Nouredine DECHEMI, Maître de Conférence et chef de département en hydraulique, dont l'initiative de la réalisation du présent document, lui revient.

Nous remercions également toute l'équipe du service d'hydrologie de l'A.N.R.H., entre autres M.M Kheir Bouguerra, Abdelwahab Smati, Ingénieurs au département d'hydrologie, sans oublier M^{lle} Taoués Nazef, responsable de la salle de documentation au niveau de la direction.

Nos remerciements vont vers l'équipe du centre de calcul de L'E.N.P., composée de M.M Hamid SARI, chef du centre de calcul, Hocine BENMESSAOUD, Amine Abdelkader BANAT.

" SOMMAIRE "

INTRODUCTION.....	1
RECOLTE DES INFORMATIONS.....	3
CHAPITRE 1^{er} : PRESENTATION DE LA REGION.....	4
I SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	4
II CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN.....	4
II.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	4
II.1.1 LITHOLOGIE.....	4
II.1.2 VEGETATION.....	7
II.2 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES.....	7
II.2.1 TEMPERATURE.....	7
II.2.2 GELEES.....	7
II.2.3 VENTS.....	9
II.2.4 EVAPORATION.....	9
II.2.5 EVAPOTRANSPIRATION.....	9
III ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT.....	11
III.1 INDICE DE COMPACITE DE GRAVELLIUS (Kc).....	11
III.2 INDICE DE PENTE DE ROCHE (Ip).....	11
III.3 COURBE HYSOMETRIQUE.....	12
III.4 INDICE DE PENTE GLOBAL (IG).....	12
III.5 RECTANGLE EQUIVALENT.....	12
III.6 RELIEF.....	15
IV PARAMETRES CARACTERISANT LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE... ..	16
IV.1 DENSITE DE DRAINAGE (Dd).....	16
IV.2 COEFFICIENT DE TORRENTIALITE (Ct).....	16
IV.3 RAPPORT DE LONGUEUR (Rl).....	16
IV.4 RAPPORT DE CONFLUENCE (Rc).....	17

CHAPITRE 2^{em} : GENERALITES SUR LES MODELES DE SIMULATION.....	18
I INTRODUCTION.....	18
II ETAPES D'ELABORATION D'UN MODELE.....	18
II.1 CARACTERISATION.....	18
II.2 IDENTIFICATION.....	19
II.3 VERIFICATION.....	19
II.4 EXPLOITATION.....	20
III QUALITES D'UN MODELE.....	20
III.1 GENERALITES.....	20
III.2 SENSIBILITE.....	21
III.3 CONCLUSION.....	21
CHAPITRE 3^{em} : MODELE HYDROLOGIQUE.....	22
I INTRODUCTION.....	22
II RAPPEL DE CERTAINES LOIS D'AJUSTEMENT.....	22
II.1 LOI DE GAUSS (LOI NORMALE).....	22
II.2 LOI DE GUMBEL.....	23
III LES MODELES MATHEMATIQUES EN HYDROLOGIE.....	25
III.1 PROPRIETES GENERALES DES MODELES MATHEMATIQUES... ..	25
III.2 DIFFERENTS TYPES DE MODELES.....	25
III.2.1 LES MODELES STOCHASTIQUES.....	25
III.2.2 LES MODELES DETERMINISTES.....	26
III.2.3 LES MODELES DU TYPE MAXIMA ANNUEL.....	26
III.2.4 LES MODELÈS DE RENOUVELLEMENT.....	27
III.2.5 LES MODELES BIDIMENSIONNELS.....	27

IV PRESENTATION DU MODELE DE SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS.....	28
IV.1 ASPECT PHYSIQUE DES DEBITS JOURNALIERS.....	29
IV.2 ANALYSE DES DEBITS JOURNALIERS.....	29
IV.3 SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS.....	30
IV.4 ESTIMATION DES PARAMETRES DE LISSAGE.....	30
IV.5 SIMULATION DE LA PORTEUSE.....	31
IV.6 SIMULATION DE LA PARTIE FLUCTUANTE.....	32
V COMPARAISON.....	39
VI INTERPRETATION.....	41
CONCLUSION.....	43
ANNEXES.....	44
BIBLIOGRAPHIE.....	105

INTRODUCTION

L'homme de tout temps s'est intéressé aux crues, car les problèmes de l'irrigation et de la protection contre les crues, sont les plus anciens en hydrologie.

L'hydrologie, dont l'une des tâches principales est l'interprétation de quantité d'informations qui renseigne sur l'évolution du comportement des systèmes au cours du temps, nous permet de traiter les données hydrométriques. Pour pallier l'insuffisance fréquente des données, l'idée est d'appliquer un modèle de simulation des débits de crues sur le bassin versant de l'Isser.

Notre étude est appliquée au bassin versant de l'Isser. L'Oued Isser draine un vaste bassin de 3615 Km², se situant dans la partie centrale du nord de l'Algérie. Le bassin présente des milieux naturels différents, impliquant des modalités d'écoulement différentes. Le réseau hydrométrique bien que dense, ne possède pas de longues séries d'observations.

Notre travail consistera, en une étude hydrométrique, fondée sur le traitement statistique des données, visant à définir les régimes à travers certaines valeurs caractéristiques (valeurs centrales et valeurs extrêmes) et représentatives, en appliquant un modèle de simulation aux débits journaliers de deux stations hydrométriques, afin de reproduire l'évènement et suivre son comportement. Ce modèle nous indiquera seulement les conséquences de cet évènement dont les paramètres sont connus. On calculera les variables d'état inconnues (les sorties) en fonction des variables d'état connues (les entrées).

Les valeurs extrêmes représentent les valeurs que peuvent prendre les données pour une certaine probabilité choisie à l'avance.

Les valeurs centrales caractérisent l'abondance des régimes et leurs irrégularités (moyenne, médiane).

Il importe de dire, que la série des débits journaliers d'un cours d'eau, présente un mouvement de variations généralement de nature aléatoire dans le temps. En ce sens, le modèle de simulation consistera en la décomposition de ce mouvement en deux composantes, traitées respectivement par les séries de FOURIER et les chaînes de MARKOV.

La simulation nous offre la possibilité de combler le manque de données d'observations des séries historiques et permet leur extension sur une plus longue période.

RECOLTE DES INFORMATIONS

Pour la réalisation de notre projet de fin d'études, nous avons eu recours à l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), pour la récolte des données au niveau du service "Hydrométrie". Selon nos besoins, il nous a été proposé plusieurs bassins versants, parmi lesquels l'Isser a été retenu. Ce même service nous a fourni quatre stations hydrométriques ainsi que les données morphométriques du bassin.

Remarque:

Nous attirons l'attention sur la difficulté que nous avons rencontrée quant à l'acquisition de l'information au sein des nombreux offices ou entreprises visités.

DONNEES UTILISEES

- 1 - **Données hydrométriques:**
 - Débits moyens journaliers;
 - Débits moyens mensuels;
 - Débits maximum instantanés journaliers;
 - Apports mensuels.
- 2 - **Données morphométriques:**
 - Indice de compacité de Gravellius;
 - Indice de pente de roche;
 - Indice de pente global;
 - Rectangle équivalent.
- 3 - **Données hydrographiques:**
 - Densité de drainage;
 - Rapport de longueur;
 - Rapport de confluence;
 - Coefficient de torrentialité.

		O B S E R V A T I O N S		
Stations	Code	Années non observées	Début	Fin
Lakhdaria	09.05.01	58-65	1954	1985
Mezahim	09.03.09	*	1973	1985

Tableau N°1: Période d'observations des stations utilisées

CHAPITRE 1^{er} : PRESENTATION DE LA REGION

I - SITUATION GEOGRAPHIQUE

La région étudiée se situe dans le bassin de l'Isser, se trouvant dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. A l'Est, cette région se joint à la chaîne montagneuse de la grande Kabylie. Elle est séparée par le massif de Krachema sur deux périmètres: bas et moyen Isser.

Du point de vue administratif, cette région se trouve dans les limites de plusieurs Wilaya tels que, Médéa, Boumerdes et Tizi-Ouzou (cf. carte géographique).

II - CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN

II.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Le bassin versant de l'Oued Isser au site de Lakhdaria, couvre une superficie de 3615 Km². Le bassin dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m, a une altitude moyenne de 710 m. Le point culminant atteint 1810 m au Djebel Dira. Il est drainé par deux cours d'eau principaux, l'Oued Isser et l'Oued Mellah. L'Oued Isser est formé par la réunion de l'Oued El-Hammam et l'Oued El-Mellah qui prend sa source dans la région de Ain-Boucif à 1060 m d'altitude. A la confluence de ces deux oueds, l'Isser prend la direction Sud Ouest-Nord Est, et s'écoule dans une vallée assez large. En amont du pont de la Traille, il reçoit son affluent l'Oued Mellah, qui avec l'Oued Zéroua drainent le tiers du bassin. [13]

II.1.1 Lithologie:

Du point de vue lithologique, le bassin est constitué à 60 % de formations schisteuses et shistocalcaires du crétacé. On y trouve également des argiles et sables rouges de l'aquitaniens continental (13 %), ainsi que les alluvions en terrasses du quaternaire continental (12 %). La nature lithologique du bassin versant joue un rôle important dans le processus de dégradation. Les formations qui constituent 60 % de la superficie totale, se fissurent et se craquellent par deshydratation pendant la saison sèche et elles s'altèrent sur plusieurs centimètres d'épaisseur en formant d'épais tapis de gravillons mêlé de poussières argilo-calcaires qui est entraîné avec les premières averses orageuses de la saison des pluies. [13]

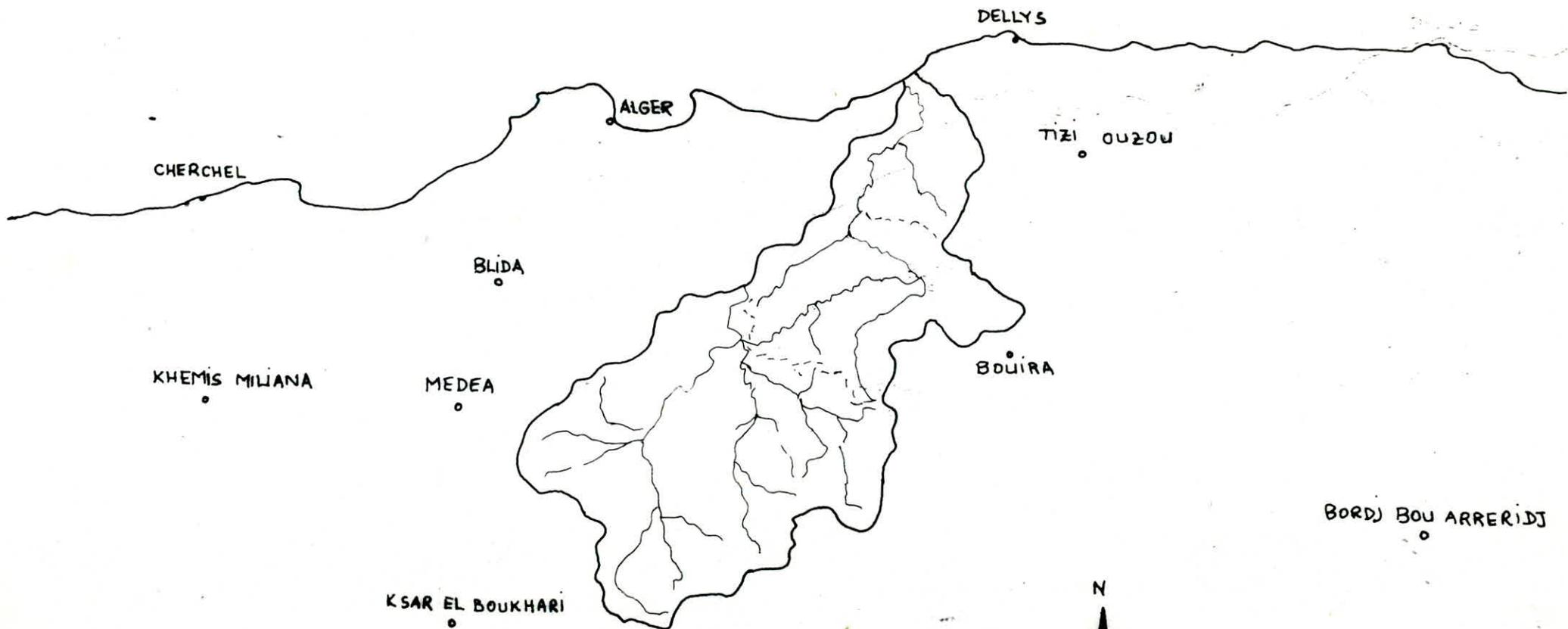


FIGURE - A - CARTE Géographique Situante le BASSIN VERSANT de l'Oued ISSER .



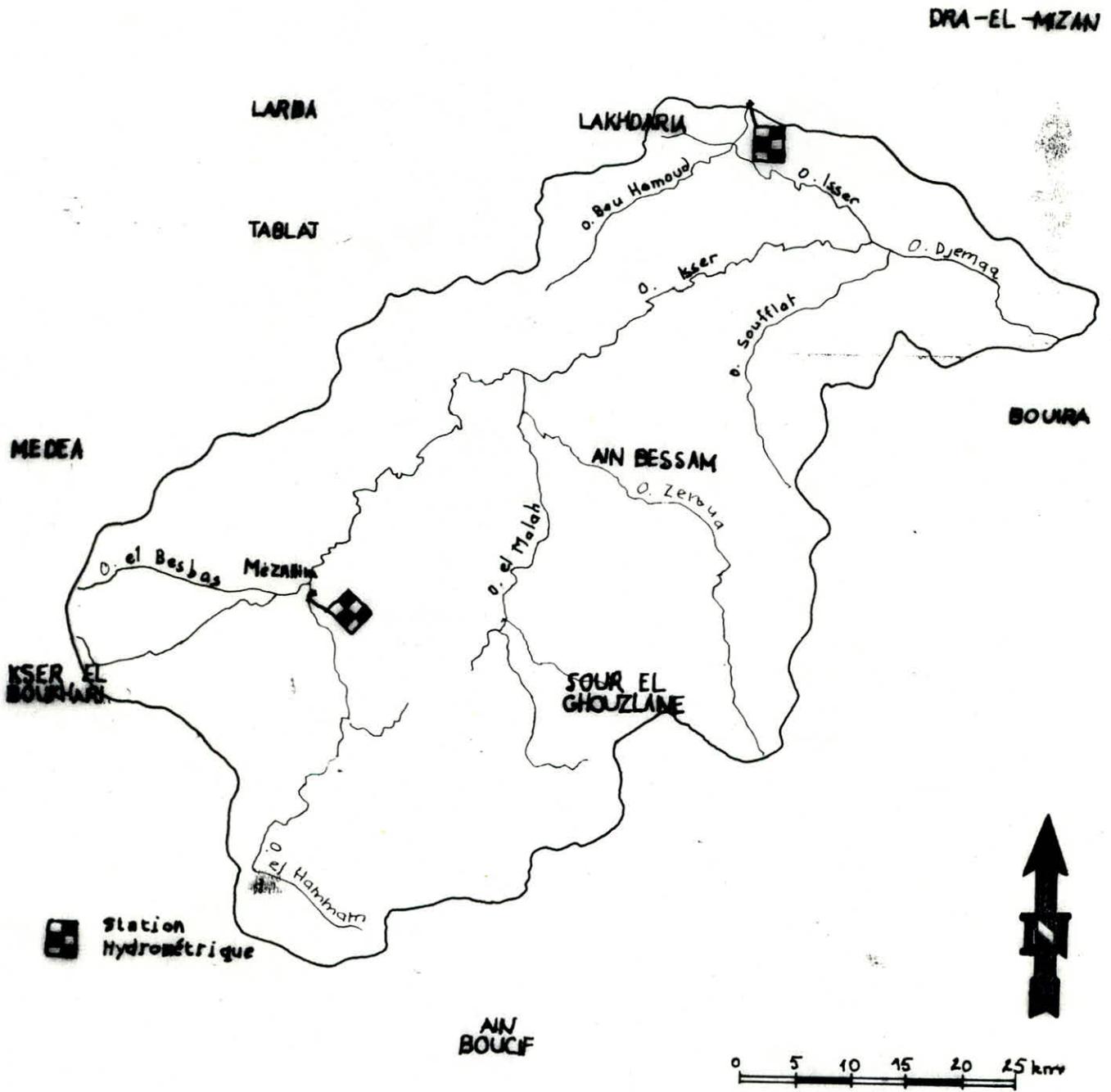


FIGURE - 3 - PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED ISSER .

II.1.2 Végétation:

L'absence d'une couverture végétale arbustive est une des caractéristiques frappantes de ce bassin versant. Seules subsistent, et d'ailleurs souvent dégradées, les forêts du moyen Isser sur les plateaux gréseux du Nord du bassin. Les zones céréalières couvrent les collines marneuses et les versants abrupts sont dénudés ou couverts de broussailles clairsemées.

II.2 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

Le bassin de l'Isser se trouve dans des zones géographiques et géomorphologiques différentes, il présente un climat intermédiaire entre le climat Tellien de montagne pluvieux et à amplitude thermique faible, avec chutes de neige (région de Tablat) et le climat Tellien de plaine, plus sec, relativement chaud et présentant de forts écarts de températures (région de Beni-Slimane).

II.2.1 Température:

Les mois les plus froids sont Janvier et Février où la température minimum moyenne varie entre -2 et $+3^{\circ}\text{C}$. Les mois les plus chauds sont Juin, Juillet et Août où la température maximale moyenne varie entre $+23$ et $+38^{\circ}\text{C}$. Les températures extrêmes enregistrées sont -8 et $+48^{\circ}\text{C}$.

A Béni-Slimane, d'altitude 600 m, la température annuelle moyenne est de $+14^{\circ}\text{C}$. La répartition mensuelle est donnée dans le tableau ci-dessous (FIG.1)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.An.
Max	26	24	15	10	8	12	15	20	22	28	30	32	20
T($^{\circ}\text{C}$) Moy	20	17	10	6.5	4.5	6.5	9	13	16	22	23	24.5	14.5
Min	14	10	5	3	1	1	3	6.5	9.5	16	16	17	8.5

Tableau N°2: Répartitions mensuelles de la température moyenne annuelle (*)

II.2.2 Gelée:

Le nombre moyen de jours de gelée par mois enregistré aux stations de Tablat et Bir-Ghbalou, où il peut être constaté

(*) : Source A.N.R.H.

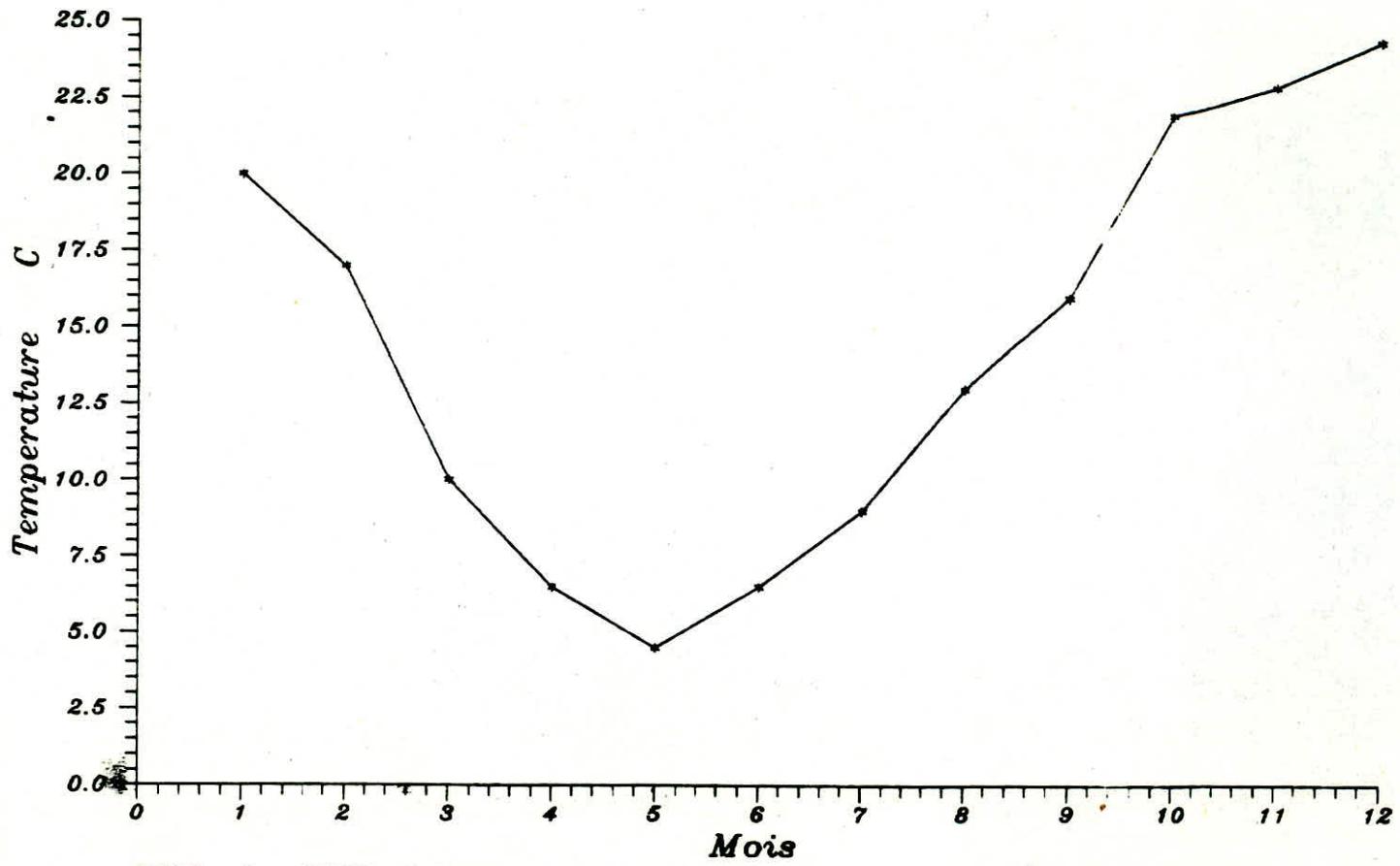


FIG. I REPARTITION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE

que celui-ci est plus élevé en montagne et loin des côtes, est donné d'après le tableau suivant:

Stations	Altit. (m)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Tablat	450	0	0	1	5	6	3	3	1	0	0	0	0	19
BirGhbalo	624	0	0	3	11	11	8	5	4	1	0	0	0	43

Tableau N°3: Nombre moyen de jours de gelée par mois (*)

II.2.3 Vents:

Les vents chargés d'humidité sont de direction Nord Sud à Nord Ouest-Sud Est alors que les vents desséchants sont de direction Sud Nord. Le sirocco souffle sur tout le bassin. Le nombre de jours de sirocco par an est donné ci-dessous. Le maximum de forces de vents se produit généralement en hiver, le minimum en été. Cependant les vents locaux caractéristiques de la saison chaude peuvent atténuer cette variation annuelle (FIG. II). [23]

Stations\Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Tot. An
Béni-Slimane	3	0	0	0	0	0	0	1	2	5	6	8	25
Bir-Ghbalou	3	1	1	0	0	0	0	1	1	2	5	4	20

Tableau N°4: Nombre de jours de sirocco par an (*)

II.2.4 Evaporation:

L'estimation de ce paramètre a été faite en utilisant une relation évaporation-altitude, déterminée à partir des observations effectuées au niveau des barrages environnants, sur des Bacs Colorado. Nous pouvons retenir une valeur annuelle moyenne de $E_0 = 1580$ mm au niveau du bassin versant.

II.2.5 Evapotranspiration:

C'est la somme de tous les types d'évaporation du bassin fluvial y compris la transpiration par les plantes.

(*) : Source A.N.R.H.

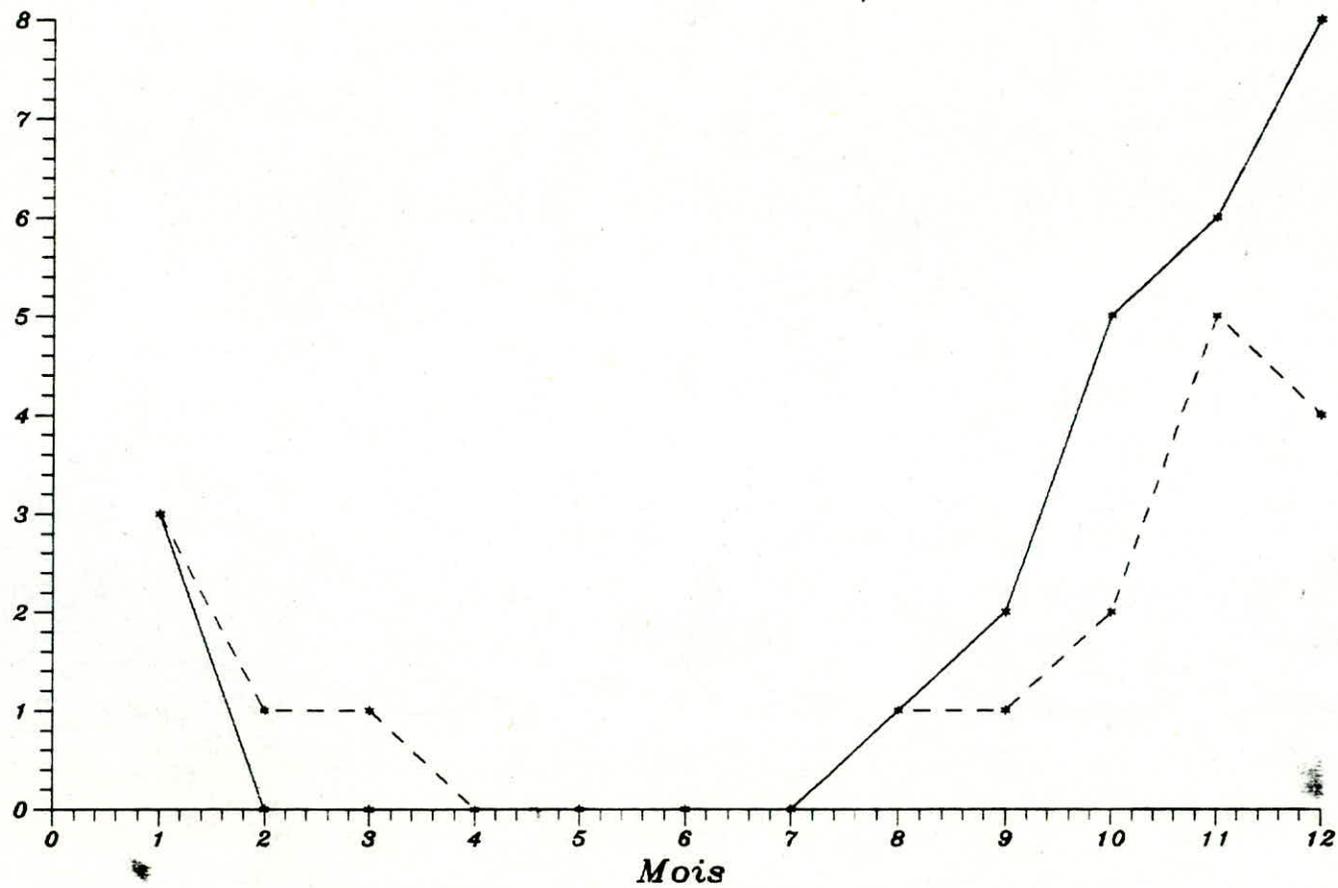


FIG. II NOMBRE DE JOURS DE SIROCCO PAR AN
----- Beni-Slimane , ----- Bir-Ghbalou

La formule TURC donne:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

$$L = 300 + 25.T + 0.05.T^2$$

P : Précipitation annuelle moyenne (mm).

T : Température annuelle moyenne (°C).

La différence (P-E) : Valeur moyenne du ruissellement de plusieurs années.

S (Km ²)	T (°C)	P (mm)	E (mm)	P-E (mm)
3616	16	660	550	110

Tableau N°5: Evaporation du bassin versant de l'Isser (*)

III - ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

III.1 INDICE DE COMPACTITE DE GRAVELLIUS OU INDICE DE FORME (K_c)

Cet indice exprime l'allongement du bassin, ce dernier, a des conséquences directes sur la réponse aux crues. Il permet de comparer le périmètre du bassin P_b à un cercle de même superficie et de périmètre P_a. Il est donné d'après la formule:

$$K_c = \frac{P_b}{P_a}$$

Soit A = π R² : Aire du cercle.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{A}} \quad 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Pour le bassin de l'Isser on a : $K_c = 0.282 \frac{270}{\sqrt{3615}} = 1.26$

III.2 INDICE DE PENTE DE ROCHE (I_p)

Il sert à déterminer la pente moyenne (relief) avec les données réelles du bassin versant. C'est la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments,

(*) : Source A.N.R.H.

pondérés par la surface intéressée. La pente moyenne entre deux lignes de niveau cotées a_i et a_{i-1} sera:

$$\frac{a_i - a_{i-1}}{X_i}$$

X_i : Distance qui sépare deux courbes sur le rectangle équivalent.

Soit β_i : Surface en pourcentage des éléments: $\frac{a_i - a_{i-1}}{X_i}$

On aura donc: $I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})}$

Pour le bassin de l'Isser on obtient: $I_p = 0.11$

III.3 COURBE HYSOMETRIQUE

Cette courbe permet de calculer l'altitude moyenne du bassin versant, elle est tracée en reportant les surfaces élémentaires en pourcentage en fonction des fréquences altimétriques en mètre. La méthode utilisée pour déterminer l'altitude moyenne du bassin étant la méthode statistique point par point, on a utilisé le carroyage Lambert, le travail étant fait sur les cartes au 1/50000, tableau N°6 (FIG.III).

III.4 INDICE DE PENTE GLOBAL (I_G)

Cet indice représente la pente moyenne de 90% du bassin et peut renseigner sur l'importance de la vitesse de ruissellement.

$$I_G = \frac{D}{L}$$

$D = H_{5\%} - H_{95\%}$: Dénivelée.

L : Longueur du rectangle équivalent.

$H_{5\%}$ (95%) : Courbe de niveau ayant 5% (95%) de la surface du bassin au-dessus. (Altitude correspondant à 5%(95%)).

Ces valeurs $H_{\%}$, sont lues sur la courbe hysométrique.

III.5 RECTANGLE EQUIVALENT

Ce paramètre sert comme instrument de comparaison des bassins entre eux du point de vue de l'influence de la forme

Limite de classe	Nombre de points	Classe	H _i	%
1650-1750	5	5	1700	0.14
1550-1650	0	5	1600	0.14
1450-1550	5	10	1500	0.28
1350-1450	21	31	1400	0.86
1250-1350	61	92	1300	2.55
1150-1250	188	280	1200	7.75
1050-1150	326	606	1100	16.78
950-1050	557	1163	1000	16.78
850-950	335	1498	900	32
750-850	400	1898	800	41.47
650-750	681	2579	700	52.55
550-650	444	3026	600	71.40
450-550	257	3283	500	83.78
350-450	168	3451	400	90.89
250-350	98	3549	300	95.54
150-250	58	3607	200	98.86
50-150	5	3612	100	100

Tableau N°6: Répartition altimétrique du bassin versant de l'Isser (*)

(*) : Source A.N.R.H.

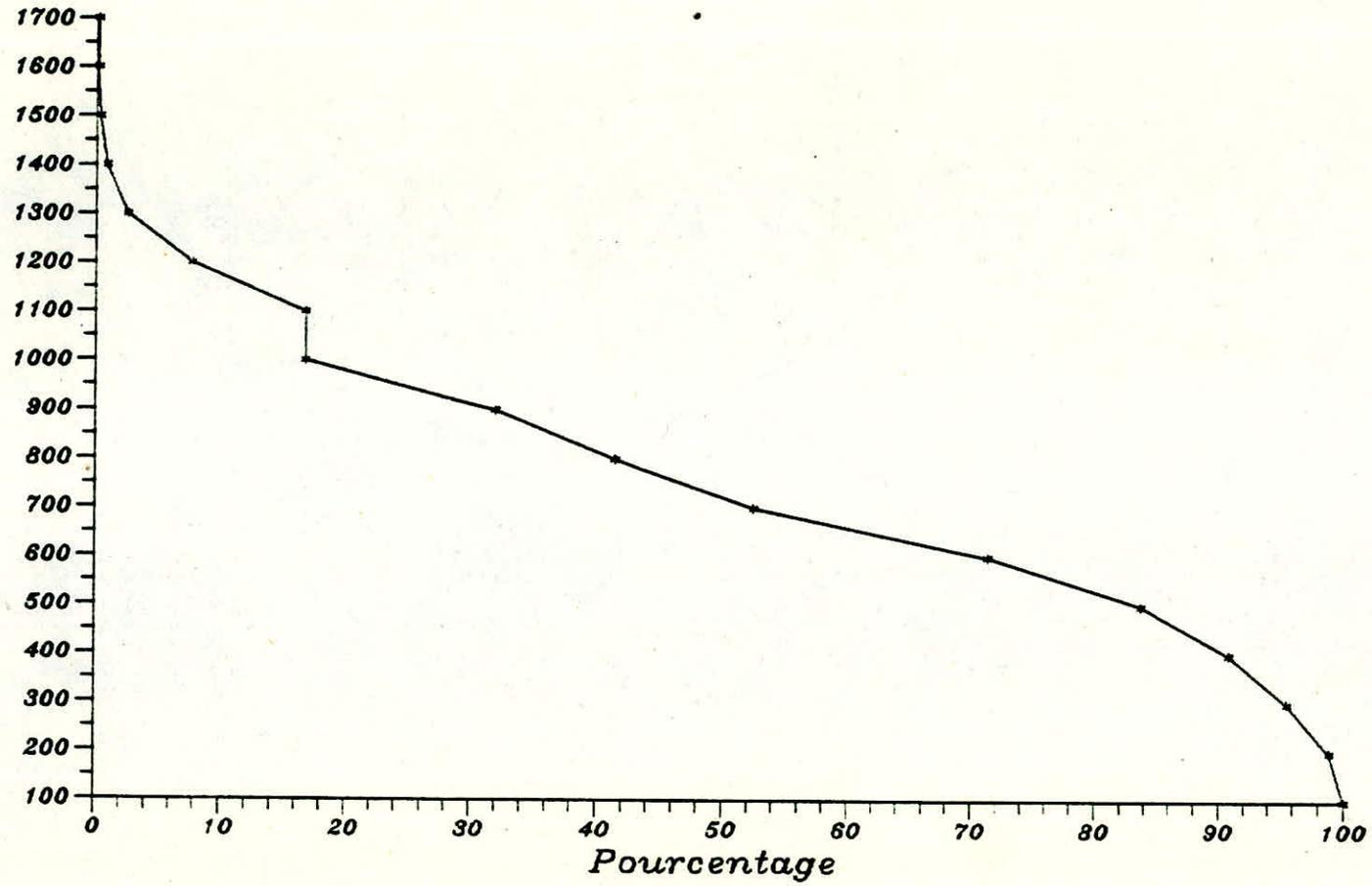


FIG. III COURBE HYSOMETRIQUE DE LA STATION LAKHDARIA

sur l'écoulement. Il possède la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité, d'où les dimensions du rectangle sont tirées comme suit:

$$\begin{aligned} A &= L_r \times l_r & A &: \text{Superficie en Km}^2. \\ P/2 &= L_r + l_r & P &: \text{Périmètre en Km.} \end{aligned}$$

$$K_c = 0.282 \frac{P}{A}$$

Pour le bassin de l'Isser on obtient: $P = 270 \text{ Km}$

$L_r(l_r)$: longueur (largeur) du rectangle en Km.

En résolvant ce système d'équations du 2^{ème} degré à deux inconnues (L_r, l_r) on aura:

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.1} \left[1 + \left(\sqrt{1 - \left[\frac{1.12}{K_c} \right]^2} \right) \right]$$

d'où $L_r = 98.2 \text{ Km}$

$$\text{donc } l_r = \frac{A}{L_r} \quad \text{avec } l_r = 36.8 \text{ Km}$$

$$\text{Donc l'altitude moyenne sera : } \bar{H} = \frac{\sum a_i H_i}{\sum a_i}$$

Dans le bassin de l'Isser on obtient:

Altitude moyenne	$H_{\text{moy}} = 710 \text{ m}$
Altitude maximale	$H_{\text{max}} = 1810 \text{ m}$
Altitude minimale	$H_{\text{min}} = 90 \text{ m}$

III.6 RELIEF

C'est un facteur d'importance capitale pour la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains, il peut modifier la répartition entre l'infiltration et le ruissellement, estimée sous le simple aspect de la perméabilité qui intervient au premier plan dans la formation de la crue et le soutien apporté aux débits d'étiage par les nappes souterraines.

IV - PARAMETRES CARACTERISANT LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

IV.1 DENSITE DE DRAINAGE (D_d)

En fait la densité de drainage exprime la longueur moyenne du réseau hydrographique par kilomètre carré du bassin versant. Ce paramètre nous renseigne sur la prédisposition du bassin à l'écoulement. Elle est donnée par la formule suivante: [11]

$$D_d = \frac{\sum L_x}{A} = 3.6 \text{ Km/Km}^2$$

L_x : Longueur totale cumulée des rivières d'ordre X.

IV.2 COEFFICIENT DE TORRENTIALITE (C_t)

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence des cours d'eau du premier ordre par unité de surface. Il nous renseigne sur les conditions d'écoulement qui ne peut se produire que par l'apparition d'un talweg. [11]

$$C_t = D_d \cdot F_1$$

avec $F_1 = \frac{N_1}{A} = 8.29$ N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1

Pour le bassin de l'Isser on obtient: $C_t = 29.8$

IV.3 RAPPORT DE LONGUEUR (R_L)

Le rapport de longueur est le quotient de la longueur moyenne des cours d'eau d'ordre (X+1) par celle des cours d'eau d'ordre X (voir tableau N°7). [11]

$$R_L = \frac{\bar{L}_{(X+1)}}{\bar{L}_{(X)}}$$

En fait ce rapport est l'expression d'une tendance moyenne: dans un bassin, les longueurs moyennes des rivières d'ordre successif croissant forment une série géométrique directe.

IV.4 RAPPORT DE CONFLUENCE (R_c)

C'est le quotient du nombre de talwegs d'ordre X par celui des talwegs d'ordre supérieur (X+1) (voir tableau N°7). [11]

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

Dans la pratique, on a observé en moyenne, dans un bassin, que les nombres de cours d'eau successifs croissants forment une série géométrique inverse.

X	N_x	L_x	I_x	R_c	R_L
8	1	158	158	4.00	7.52
7	4	21	5.25	3.00	0.09
6	12	239	19.9	5.25	0.73
5	63	328	5.2	4.41	0.49
4	278	676	2.4	4.68	0.47
3	1300	1438	1.1	4.94	0.46
2	6420	3148	0.49	4.67	0.46
1	30000	6900	0.23	0.00	*
		$\Sigma=12908$			

Tableau N°7: Morphométrie de l'Oued Isser (*)

(*) : Source A.N.R.H.

CHAPITRE 2^{ème} : GENERALITES SUR LES MODELES DE SIMULATION

I - INTRODUCTION

En général, on le définit comme étant « tout moyen permettant de raisonner sur un phénomène. Il est avant tout une synthèse de connaissances » [7]. En disposant d'une connaissance très approfondie du phénomène, sa modélisation consiste en l'application des lois qui le régissent. Dans le cas le plus fréquent où de telles lois ne sont pas connues ou sont inaccessibles, on imagine des mécanismes susceptibles de faire apparaître (simuler) le phénomène étudié pourvu que la réponse du modèle coïncide au moins localement avec le phénomène reproduit.

La construction du modèle suppose le choix de l'hypothèse de linéarité ou de non linéarité qui apparaît comme étant fondamentale. Les modèles tenant compte de l'hypothèse de linéarité, doivent rester une simplification- des phénomènes observés et ceux, dont l'hypothèse est de non-linéarité entraîne souvent des complications supplémentaires dans la modélisation, elle n'est donc adoptée que dans les modèles à structure relativement simple.

II - ETAPES D'ELABORATION D'UN MODELE

On distingue généralement pour les systèmes physiques:

- Les modèles de comportement, en général linéaires;
- Les modèles de connaissance, basés sur des lois de la mécanique ou de la physique.

Le choix des algorithmes pour l'élaboration du modèle s'exerce toujours d'après des critères de finalités et de connaissances entre, représentations linéaires ou non, déterministes ou stochastiques, à variables continues ou discrètes. [11]

Donc l'élaboration d'un modèle nécessite un certain nombre d'étapes.

II.1 CARACTERISATION

C'est l'étape fondamentale et le point de départ de tout le processus. Elle consiste à choisir le modèle à partir d'une analyse qui a pour objectifs:

- de définir l'objet en tant que système;
- de proposer les relations les plus aptes à représenter son comportement;
- de déterminer les systèmes équivalents, dits modèles, capables de comportements semblables;
- éventuellement, de cerner les limites dans lesquelles ses comportements peuvent être tenus pour identiques ou suffisamment "voisin".

II.2 IDENTIFICATION

Elle consiste à analyser un ensemble de variables élémentaires qui seront des variables d'état et à définir leur interactions (influences réciproques). Cette sélection de variables, dépend à la fois des objectifs fixés, des possibilités de mesures et des moyens expérimentaux disponibles.

Cette étape, encore dénommée "calage" ou "calibration", consiste à attribuer aux paramètres structuraux relatifs à la forme (générale) choisie au cours de la caractérisation les valeurs numériques (particulières) qui correspondent au cas réel envisagé.

C'est une phase quantitative qui peut se résumer en termes mathématiques: "minimiser l'écart entre les réponses (calculées) du modèle et les réponses (observées) du système en faisant varier les paramètres structuraux".

Elle implique l'existence d'un ensemble de réponses observées correspondant à un ensemble d'excitations également bien connues et définissant des comportements qui peuvent être pris comme terme de comparaison (ou de référence).

Tandis que les réponses des modèles sont des "êtres mathématiques" bien définis et numériquement approchés avec une marge d'incertitude négligeable, les réponses de référence sont des séries de mesure physique souvent incomplètes et toujours entachées d'erreurs plus ou moins bien évaluées. De plus, il est certain que la forme choisie pour le modèle lors de l'étape de caractérisation n'est peut-être pas la meilleure. Mais même si le modèle est "bon" il n'est en général pas apte à représenter tous les aspects du comportement du système.

II.3 - VERIFICATION

Il s'agit d'une étape donnant une approche qualitative et quantitative visant à s'assurer de la cohérence des résultats entre eux et avec les hypothèses faites pour l'élaboration du modèle.

C'est une suite et un complément indispensable aux étapes précédentes. Elle consiste à tester la capacité du modèle, à simuler le comportement du système pour des excitations autres que celles avec lesquelles il a été identifié mais qui sont de même nature.

L'étape de vérification est théoriquement indispensable pour assurer "conformité" et "représentativité" d'un modèle car l'identification est une opération relative à une seule référence et ne saurait être suffisante.

En cas de non conformité il faut revenir à l'étape de caractérisation même si certains calages, apparemment acceptables ont pu être obtenus. [14]

II.4 EXPLOITATION

Cette étape ultime où le modèle révèle toute son utilité, ne pose théoriquement aucun problème dès lors que l'identification et la vérification ont été bien conduites.

Il suffit simplement de s'assurer que les entrées pour lesquelles on exploite le modèle appartiennent bien à la même classe que celles prises comme référence.

III - QUALITES D'UN MODELE

III.1 GENERALITES

Les qualités d'un modèle méritent d'être appréciées en quelques concepts pouvant admettre une définition quantitative, même si la détermination précise des valeurs numériques des paramètres qui leurs sont attachés est encore souvent difficile.

La similitude entre l'objet et le modèle n'est jamais parfaite. La qualité de cette similitude qui est une des qualités du modèle peut être quantifiée par la notion de "distance" $D(O, M)$ entre l'objet et le modèle. Comme en mathématique cette notion doit être précisée dans chaque cas mais doit toujours vérifier les deux conditions classiques:

$$D(O, M) \geq 0$$

$$D(O, M) = 0 \quad \text{si, et seulement si } O = M.$$

III.2 SENSIBILITE

Quant, pour une excitation donnée, on fait varier les paramètres structuraux du système aussi bien que du modèle, il s'ensuit que la réponse varie. Ce phénomène caractérise la "sensibilité" du système et du modèle.

C'est évidemment la sensibilité du modèle qui est la plus intéressante car elle est la plus accessible.

Néanmoins la conduite du processus d'identification par "essais et erreurs" donne souvent une assez bonne appréciation de la "sensibilité" des divers paramètres.

IV - CONCLUSION

Le modèle complète la méthode expérimentale classique en permettant d'aborder l'étude du comportement de systèmes réels complexes sans exiger à priori leur connaissance physique détaillée. De plus, tournée résolument vers l'action, son but n'est pas seulement "l'explication" des phénomènes observés qui intervient principalement au cours des deux premières étapes de caractérisation et d'identification, mais surtout la "prévision" (ou l'exploitation du modèle), qui en est l'étape la plus féconde, et la plus originale. En ce sens elle constitue un excellent trait d'union entre le "scientifique" et "l'ingénieur" préoccupé de résolution de problèmes pratiques nécessitant en général une projection dans le futur.

À ce dernier elle a rendu de très grand services en permettant l'approche au moins partielle de problèmes apparemment sans issue avec les méthodes classiques de la physique de "boîte noire". Et même quand cette approche n'est pas couronnée d'un succès total elle a au moins comme conséquence positive d'organiser la collecte des données expérimentales et d'en suggérer une critique rationnelle.

CHAPITRE 3^{em} : MODELE HYDROLOGIQUE

I - INTRODUCTION

Il existe de nombreuses méthodes d'estimation des risques de crue. Pour cela, elles doivent avoir certaines qualités, de telle manière qu'on puisse passer de l'information à l'édition des résultats, sans omettre l'analyse et la critique des données, la vérification des hypothèses, les procédures d'estimation, les analyses de sensibilité sur les paramètres incertains et l'évaluation des incertitudes.

II - RAPPEL DE CERTAINES LOIS D'AJUSTEMENT

II.1 LOI DE GAUSS (LOI NORMALE):

Les précipitations annuelles en régime méditerranéen s'ajustent bien en générale à la loi de GAUSS qui s'écrit

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} u^2} du$$

$F(x)$: Fonction de répartition de la loi.

x : Variable aléatoire continue, susceptible de prendre une valeur quelconque sur la droite réelle ($-\infty$ à $+\infty$) ou sur un segment de droite.

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

u : Variable normale réduite, qui désigne l'écart de la valeur x à la moyenne mesurée en écart type.

\bar{x} : Moyenne arithmétique annuelle sur une série d'années aussi longue que possible.

σ : L'écart type, qui est la racine carrée de la variance, qui est la moyenne arithmétique des écarts de la valeur de la variable x , par rapport à la moyenne arithmétique de la droite.

AJUSTEMENT GRAPHIQUE DE LA LOI DE GAUSS A UN ECHANTILLON DE PRECIPITATION ANNUELLES

Pour une série de pluies annuelles, on se propose d'ajuster la loi de GAUSS à la répartition expérimentale des fréquences:

$$1 - \text{Calcul de } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (\text{moyenne})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum x_i^2 - N \bar{x}^2 \right] \quad (\text{variance})$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (\text{coefficient de variation})$$

2 - Classement des valeurs par ordre décroissant en attribuant un numéro d'ordre.

3 - Calcul de la fréquence expérimentale au dépassement pour chacune des valeurs:

$$F_1(x) = \frac{n - \frac{1}{2}}{N} \quad (\text{Formule de HAZEN})$$

n : Numéro d'ordre.

N : Nombre d'années.

4 - On reporte l'échantillon en graphique sur papier probabilité avec en ordonnée les précipitations annuelles et en abscisse les fréquences.

L'alignement des points permet de prévoir que la loi de GAUSS peut être ajustée à un échantillon donné.

5 - Droite de HENRI:

$$x - \bar{x} = \sigma u \quad \text{d'où} \quad x = \sigma u + \bar{x}$$

II.2 LOI DE GUMBEL

Pour l'étude des valeurs extrêmes d'une variable donnée, on ne s'intéresse qu'aux plus fortes valeurs de débits, on constitue un échantillon de N valeurs, chacune d'elles représentant le débit journalier le plus fort d'une des N années. On étudie ensuite la distillation statistique de cet échantillon. On parvient à lui ajuster la loi de Gumbel.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel est:

$$F(X) = F(Y) = e^{-e^{-Y}}$$

avec $Y = \alpha (X - X_0)$ où Y est la variable réduite de Gumbel liée à la probabilité attaché à la valeur X .

α et X_0 : coefficients d'ajustement.

$F(X)$: fréquence de non dépassement de la valeur X .

$F(Y)$: fréquence de non dépassement de la variable réduite Y .

AJUSTEMENT GRAPHIQUE DE LA LOI DE GUMBEL

1 - On classe les N valeurs extrêmes par ordre de grandeur croissant en attribuant à chacune d'elles un numéro d'ordre n .

2 - On calcule pour chacune des valeurs sa fréquence expérimental au non dépassement:

$$F(X) = \frac{n - \frac{1}{2}}{N} \quad (\text{Formule de HAZEN})$$

3 - Repport des couples $(X, F(X))$ sur papier diagramme à probabilité Gumbel (X en ordonnée, $F(X)$ en abscisse).

4 - Calcul des paramètres d'ajustement X_0 et $1/\alpha$
Souvent dans la pratique hydrologique, on obtient plus rapidement des approchées de $1/\alpha$ et X_0 en les calculant suivant les deux relations suivantes:

$$1/\alpha = 0.78 \sigma_x \quad \sigma_x : \text{écart type de la série des } X.$$

$$X_0 = \bar{X} = \frac{0.577}{\alpha}$$

$$X_0 = \bar{X} - 1/\alpha \bar{Y}$$

5 - Tracé de la droite $X = 1/\alpha Y + X_0$

6 - A partir de la loi ajustée on déduit facilement les valeurs de X pour les fréquences recherchées.

III - LES MODELES MATHÉMATIQUES EN HYDROLOGIE

Un modèle mathématique est un ensemble de relations mathématiques liant paramètres et variables, pouvant être utilisé indifféremment en différentes applications.

III.1 PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MODELES MATHÉMATIQUES

Généralement, les modèles vérifient la propriété d'invariance dans le temps (ou stationnarité) c'est-à-dire que par exemple, pour un modèle de transformation pluie-débit sur un bassin donné, deux pluies identiques (en durée, intensité,...) donneront toujours deux débits identiques par cette transformation (en réalité ce n'est pas toujours vrai).

D'après JAQUET J. (1971), "on admet la stationnarité de caractéristiques du complexe physique du bassin; cependant il existe des techniques permettant de prendre en compte une certaine évolution de ces caractéristiques".

III.2 DIFFÉRENTS TYPES DE MODELES

Jusqu'à ces dix dernières années, on distinguait habituellement deux grandes classes de modèles mathématiques: les modèles stochastiques (ou probabilistes) et les modèles déterministes, selon le but de la modélisation.

III.2.1 LES MODELES STOCHASTIQUES

Surtout utilisés en prévision, pour déterminer les caractéristiques extrêmes de débits, parfois pour la reconstitution des débits à partir des pluies, ils sont basés sur la connaissance des caractéristiques statistiques des entrées et des sorties, en tenant compte des processus à l'échelle journalière ou mensuelle. Ils sont très utiles pour l'étude par simulation de variables complexes et se résument en un processus stochastique.

1- Processus stochastique:

C'est le fait de pouvoir modéliser des séries chronologiques (pluies, débits, phénomènes de l'environnement...), qui se caractérisent par une forte dépendance entre observations successives et qui peuvent être représentées par des modèles linéaires.

La série peut être considérée comme étant la sortie d'un système linéaire dont l'entrée est un bruit blanc. [8]

2- Notion de bruit blanc:

Un bruit blanc U_t est un processus Gaussien réel centré de covariance $K_u(S,t)$. Il est d'usage constant et est une notion importante dans les représentations Markoviennes.

$$K_u(S,t) = \delta_0(t-S) \quad \delta_0 : \text{Fonction de Dirac à l'origine.}$$

III.2.2 LES MODELES DETERMINISTES

Surtout utilisés à des fins de simulation. En prenant la transformée pluit-débit comme exemple, elle est résumée par des équations souvent déduites des lois hydrauliques.

REMARQUE :

Les deux points de vue (déterministe et stochastique) sont en fait complémentaires : "Une résolution efficace des problèmes de prévision et de simulation demanderait l'intervention conjointe des deux points de vue : déterministe, pour l'analyse physique qu'il permet, et statistique, pour l'estimation efficace orientée vers l'objectif qu'il permet". [21]

III.2.3 LES MODELES DU TYPE MAXIMA ANNUEL

Ils sont à la fois les plus simples (ajustement direct d'une loi statistique au débit extrême de chaque rivière), et les plus répandus. [20]

Les lois d'ajustement les plus employées sont des lois très classiques, telles que : Gumbel, Gamma, Galton, Frechet, Pearson ...

Procédé:

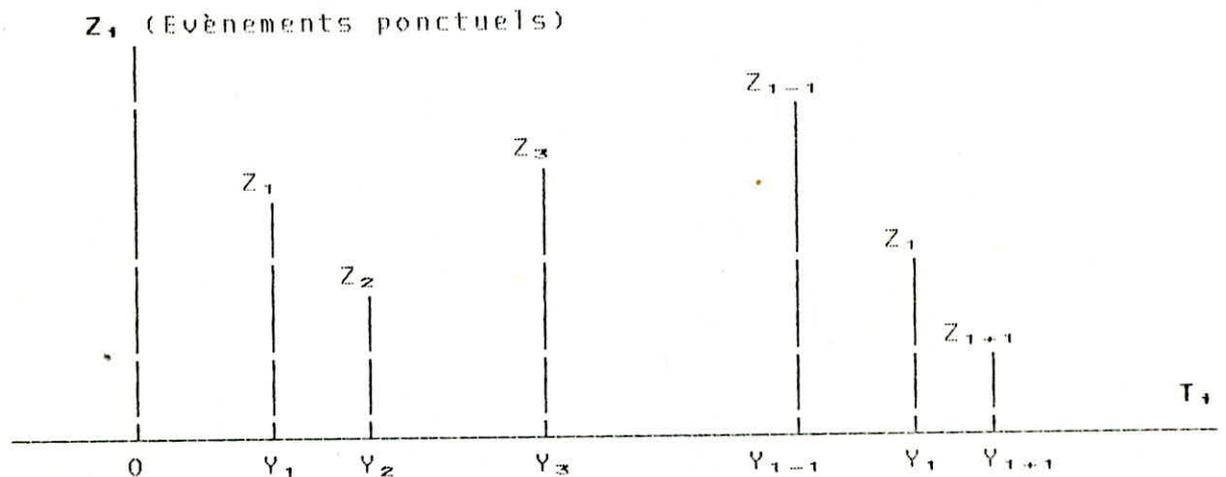
Après avoir classé l'échantillon (selon la loi choisie), calculé les valeurs centrales, la dispersion (\bar{X} et σ^2), les fréquences expérimentales déterminées et que la courbe des fréquences expérimentales soit tracée, on doit pouvoir déterminer la valeur extrême que pourrait avoir une crue (journalière, mensuelle, annuelle) pour une probabilité donnée. Cette pratique statistique consiste à ajuster une loi théorique de répartition des fréquences de l'échantillon. La loi théorique doit représenter la courbe expérimentale le plus fidèlement possible, et à partir de cette loi ajustée, on pourra estimer la valeur d'un événement quelconque pour une probabilité donnée.

III.2.4 LES MODELES DE RENOUVELLEMENT

Ils ont pour but la description de processus aléatoires ou des évènements ponctuels. Ils considèrent l'ensemble des processus de débits journaliers, mais ne retiennent que les évènements importants figurant dans l'échantillon, ce qui améliore l'homogénéité des séries. Deux aléas sont ainsi combinés:

- a/ l'occurrence dans le temps des évènements dépassant un seuil;
- b/ l'amplitude des évènements dépassant un seuil.

Cela signifie que, les évènements ponctuels sont considérés comme étant instantanés à l'échelle de temps prise en compte (averses, précipitations, crues dépassant certains seuils) survenant à des époques aléatoires Y_i , sont séparés par des intervalles de temps aléatoires $T_i = Y_i - Y_{i-1}$.



En schématisant les aléas des phénomènes les plus significatifs apparaissant dans le processus hydrométéorologique (averses, crues...), le modèle de renouvellement permet de donner une information plus complète que celle utilisée par les méthodes statistiques classiques d'ajustement aux séries de pluies mensuelles et crues ou précipitations maximales. Il en résulte une amélioration de la précision des estimations. [3]

III.2.5 LES MODELES BIDIMENSIONNELS

Considérant deux stations (de pluies ou de débits) dont la série parallèle est représentée comme une succession d'évènements (crues, averses) qui apparaissent à des intervalles de temps aléatoires. Pour chacune de ces stations,

Le modèle de renouvellement classique est proposé.

Entre les deux stations, il existe une certaine concomitance pour certains événements. Donc on aura une corrélation entre les intensités des événements.

L'idée de base du modèle est de partir du processus superposé intermittent des instants où il se produit un événement (averse, crue) en au moins une station (ce processus est supposé être un processus de poisson). [3]

1 - Processus intermittent:

C'est un processus superposant des époques où il se produit un événement en au moins une station. Il est caractérisé par les formules suivantes:

$$\text{Prob } [N_T = n] = e^{-\mu T} \frac{(\mu T)^n}{n!} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$\text{Prob } [T_i \leq t] = 1 - e^{-\mu t}$$

T : Période fixée.

N_T : Nombre d'événements Y_i apparus sur T.

Donc, l'occurrence d'un ou plusieurs facteurs hydrométéorologiques mesurés provoquent l'évènement.

Cette hypothèse et sa fécondité en hydrologie est très importante. Les applications de diverses techniques (analyse en composantes principales...) le montrent bien.

2 - Caractéristique essentielle du processus observé:

Dans l'observation des crues ou des précipitations, la moyenne des intensités est généralement d'autant plus forte qu'un événement intéressé simultanément les deux stations. Ainsi, l'averse créant la crue et la crue qui en résulte sont autant plus grandes en moyenne qu'elles sont plus étendues dans le temps.

IV - PRESENTATION DU MODELE DE SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS

INTRODUCTION:

La simulation des débits journaliers nous a permis d'élaborer un modèle de travail, présentant une similitude de propriétés avec la série historique faisant l'objet de l'étude.

IV.1 ASPECT PHYSIQUE DES DEBITS JOURNALIERS

Les séries de débits sont en général une combinaison de deux mouvements distincts:

a/ Un mouvement de tendance, dont la variation tend à se maintenir pendant de nombreuses années.

b/ Un mouvement périodique se produisant à des intervalles de temps réguliers dû à l'effet saisonnier, gardant une forme sensiblement constante dans le temps.

VI.2 ANALYSE DES DEBITS JOURNALIERS

Les séries de débits présentant des périodicités journalières, mensuelles et annuelles, peuvent être considérées comme la combinaison d'une composante cyclique et d'un élément aléatoire présentant le plus souvent une variance importante.

On distingue sur une année :

1 - Mouvement cyclique: désignant des oscillations de périodes et amplitudes irrégulières, dont l'analyse harmonique permettra de représenter celles-ci comme la superposition d'un certain nombre d'ondes simples de même période, dont la composition reconstitue le mouvement complexe.

Equation du mouvement:

Le mouvement, ayant en général une fonction $y=f(t)$ repassant périodiquement par les mêmes valeurs à des intervalles de temps égaux, peut se mettre sous la forme suivante:

$$Y = \bar{Y} + a_1 \sin t + b_1 \cos t + a_2 \sin 2t + b_2 \cos 2t + \dots$$

$$\text{avec } t = 2\pi / T$$

avec \bar{Y} : moyenne de la variable Y pendant la période T .

La moyenne \bar{Y} est calculée comme suit :

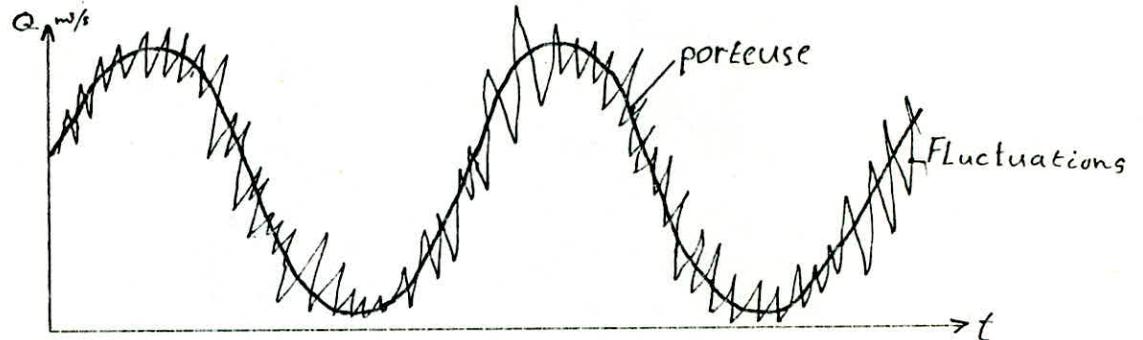
$$\bar{Y} = \frac{(Y_0 + Y_n)/2 + Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{n-1}}{N}$$

Y_1, Y_2, \dots, Y_n : écart par rapport à la moyenne ($e_i = Y_i - \bar{Y}$)

2 - L'élément aléatoire: échappant à toute précision, il entraîne ainsi des variations accidentelles que l'on considèrera comme étant une composante fluctuante, qualifiées de variations résiduelles.

IV.3 SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS

Pour la simulation des débits journaliers, on considère les données brutes comme la superposition de deux séries indépendantes: la première prenant en compte les variations saisonnières (porteuse), la seconde les variations résiduelles (composante fluctuante).



Pour la séparation de deux composantes, on utilise une technique de lissage:

$$X_{it} = U_{it} + W_{it}$$

X_{it} : données brutes

U_{it} : composante saisonnière

W_{it} : composante fluctuante

$t = 1, n$ avec n : nombre d'années de la série historique.

La décomposition en séries de FOURIER de la série initiale permet de déterminer la porteuse.

$$W_{it} = X_{it} - U_{it}$$

La simulation de la porteuse et de la composante aléatoire du phénomène permet l'obtention de séries synthétiques par superposition de ces dernières.

IV.4 ESTIMATION DES PARAMETRES DE LISSAGE

Sachant que la série historique peut se mettre sous la forme:

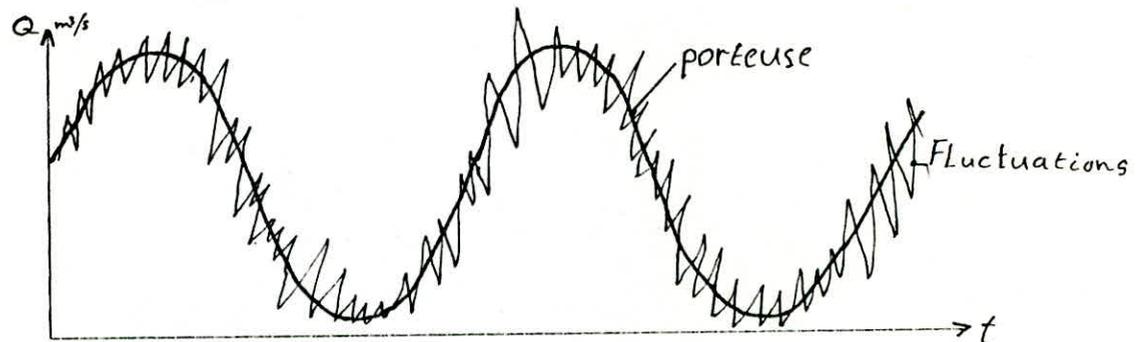
$$U_t = a_0 + a_1 \sin t + b_1 \cos t + a_2 \sin 2t + b_2 \cos 2t + \dots$$

en considérant m harmoniques, le lissage est donné par:

$$U_t = a_0 + \sum_{j=1}^m \left[a_j \cos \frac{2\pi j t}{T} + b_j \sin \frac{2\pi j t}{T} \right]$$

IV.3 SIMULATION DES DEBITS JOURNALIERS

Pour la simulation des débits journaliers, on considère les données brutes comme la superposition de deux séries indépendantes: la première prenant en compte les variations saisonnières (porteuse), la seconde les variations résiduelles (composante fluctuante).



Pour la séparation de deux composantes, on utilise une technique de lissage:

$$X_{it} = U_{it} + W_{it}$$

X_{it} : données brutes

U_{it} : composante saisonnière

W_{it} : composante fluctuante

$t = 1, n$ avec n : nombre d'années de la série historique.

La décomposition en séries de FOURIER de la série initiale permet de déterminer la porteuse.

$$W_{it} = X_{it} - U_{it}$$

La simulation de la porteuse et de la composante aléatoire du phénomène permet l'obtention de séries synthétiques par superposition de ces dernières.

IV.4 ESTIMATION DES PARAMETRES DE LISSAGE

Sachant que la série historique peut se mettre sous la forme:

$$U_t = a_0 + a_1 \sin t + b_1 \cos t + a_2 \sin 2t + b_2 \cos 2t + \dots$$

en considérant m harmoniques, le lissage est donné par:

$$U_t = a_0 + \sum_{j=1}^m \left[a_j \cos \frac{2\pi j t}{T} + b_j \sin \frac{2\pi j t}{T} \right]$$

de façon que $X_t = U_t + W_t$

et
$$\sum_{t=1}^T W_t = 0$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t$$

T : nombre de jours dans l'année;

Les termes a_j et b_j sont estimés par la méthode des moindres carrés.

$$\Delta = \sum_{t=1}^T U_t^2 = \sum_{t=1}^T (X_t - U_t)^2$$

$$\Delta = \sum_{t=1}^T \left[X_t - X_0 - \sum_{j=1}^m \left(a_j \cos \frac{2\pi jt}{T} + b_j \sin \frac{2\pi jt}{T} \right) \right]^2$$

La solution consiste à trouver les a_j et b_j qui annulent les dérivées par rapport à ces variables.

$$\frac{d\Delta}{da_j} = 0 \implies \frac{d\Delta}{da_j} = \sum_{t=1}^T (X_t - X_0) \cos \frac{2\pi jt}{T}$$

et

$$\frac{d\Delta}{db_j} = 0 \implies \frac{d\Delta}{db_j} = \sum_{t=1}^T (X_t - X_0) \sin \frac{2\pi jt}{T}$$

On obtient ainsi un système dont la résolution permet d'aboutir à:

$$a_j = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T X_t \cos \frac{2\pi jt}{T}$$

$$b_j = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T X_t \sin \frac{2\pi jt}{T}$$

IV.5 - SIMULATION DE LA PORTEUSE

L'analyse harmonique permet de ressortir un mouvement saisonnier ou porteuse qui s'écrit:

$$U_{i,t} = X_{i,0} + \sum_{j=1}^m \left[A_{i,j} \cos \frac{2\pi i t}{T} + B_{i,j} \sin \frac{2\pi i t}{T} \right]$$

$X_{i,0}$: moyenne annuelle de la série initiale;
 $A_{i,j}, B_{i,j}$: coefficients de la série de FOURIER;
 m : nombre d'harmoniques;
 T : nombre de jours par année;

La porteuse est définie comme une moyenne à laquelle s'ajoutent des variations périodiques que caractérisent les coefficients $A_{i,j}$ et $B_{i,j}$ d'amplitude

$$\sqrt{A_{i,j}^2 + B_{i,j}^2}$$

de période $\frac{T}{j}$ et d'angle de phase $\text{Arctg} (A_{i,j} + B_{i,j})$.

" Le développement en série de Fourier s'emploie pour représenter la variation annuelle d'un élément; chacun des harmoniques trouvés correspond vraisemblablement à un processus physique particulier, mais la plus grande prudence s'impose quant à l'interprétation de ces harmoniques et quant à la reconnaissance de leur réalité physique." [10]

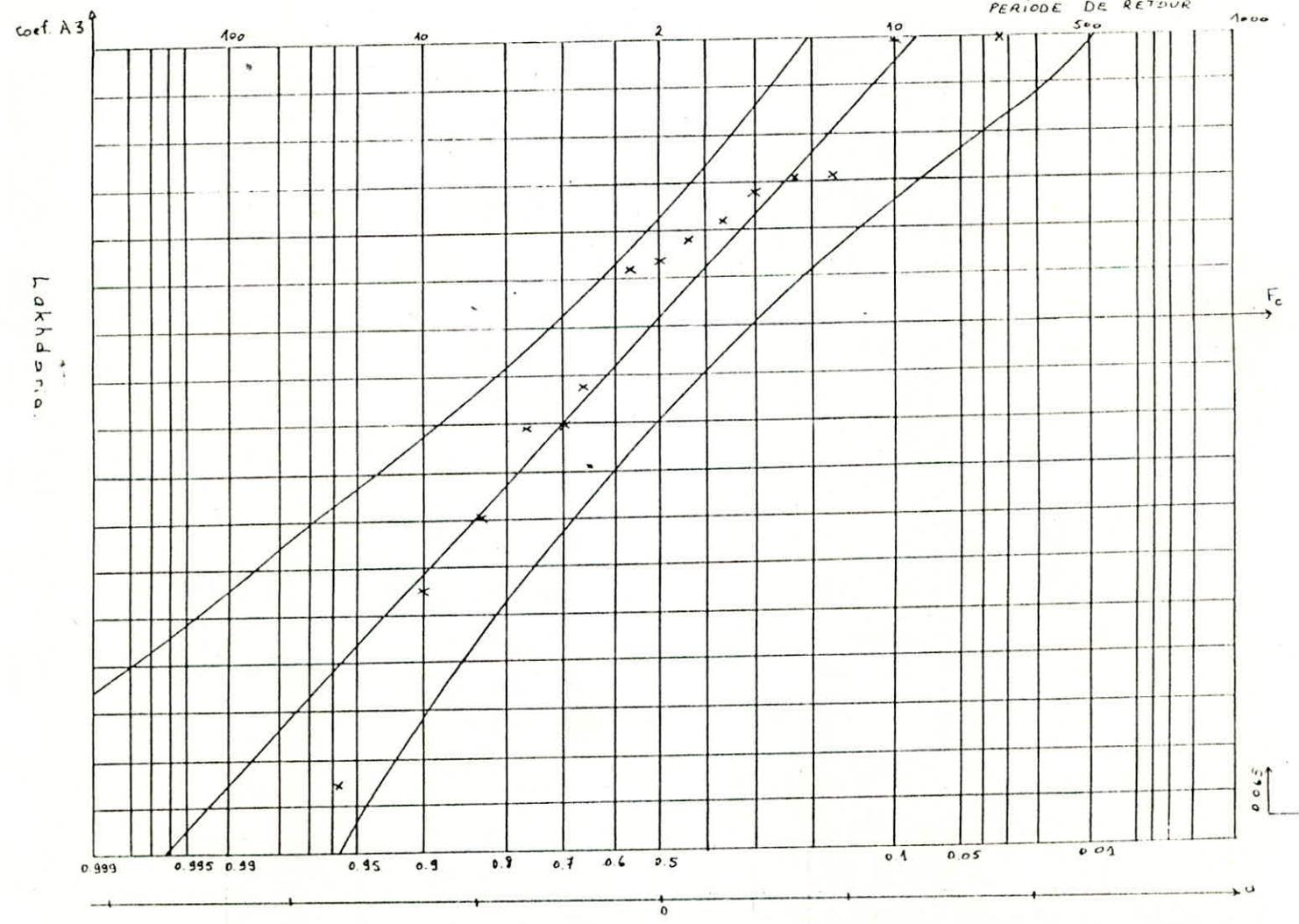
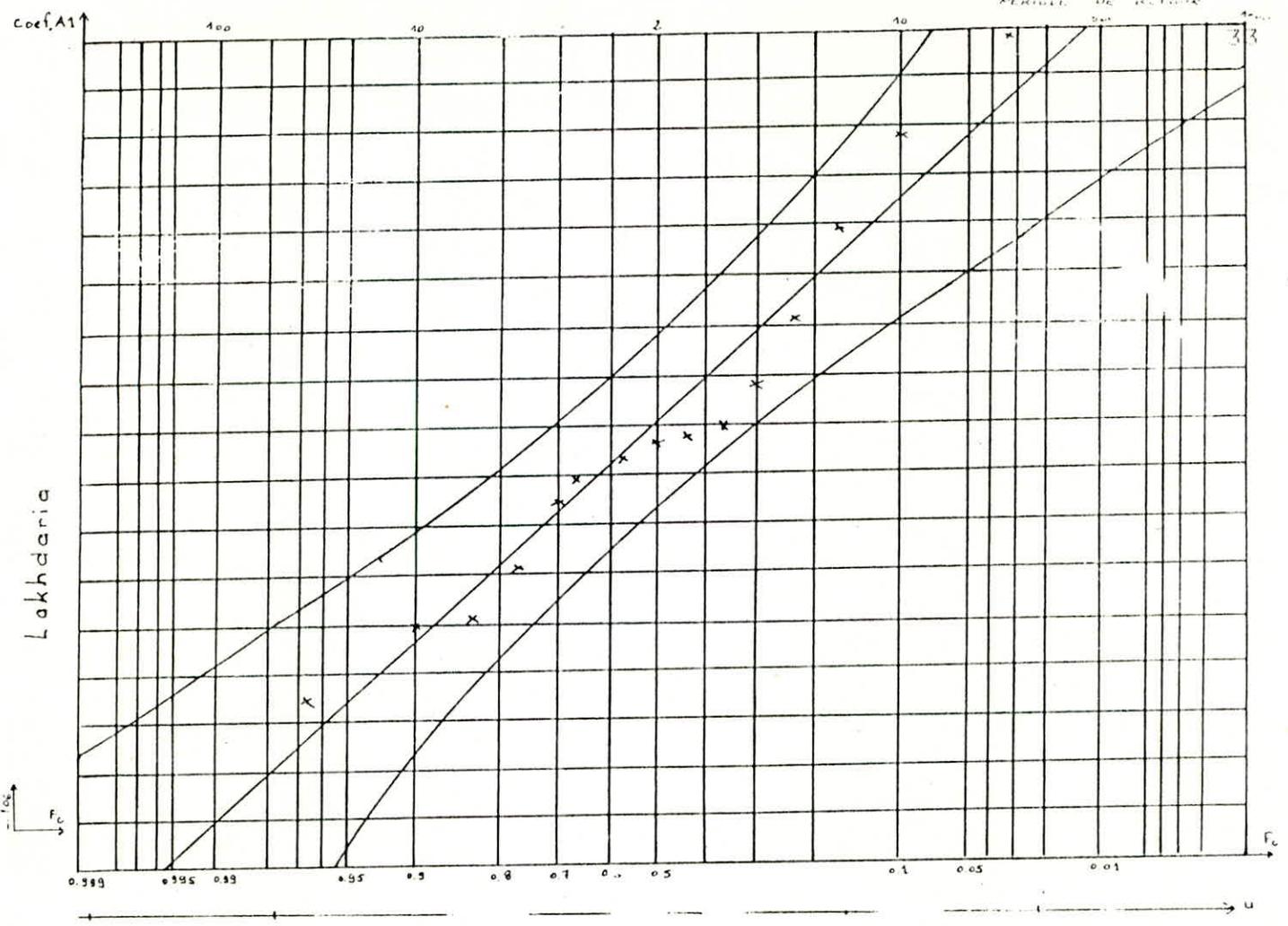
Les coefficients de la série de FOURIER utilisés pour lisser la moyenne interannuelle des valeurs journalières, sont les moyennes des coefficients $A_{i,j}$ et $B_{i,j}$ définis dans le lissage des valeurs journalières de chaque année, et que ces mêmes coefficients suivent une loi normale. Dans notre cas nous avons six coefficients A_i et B_i . Parmi ces six coefficients, nous avons considéré uniquement quatre que l'on a ajusté afin de voir si réellement ils suivent une loi Normale (Annexe II).

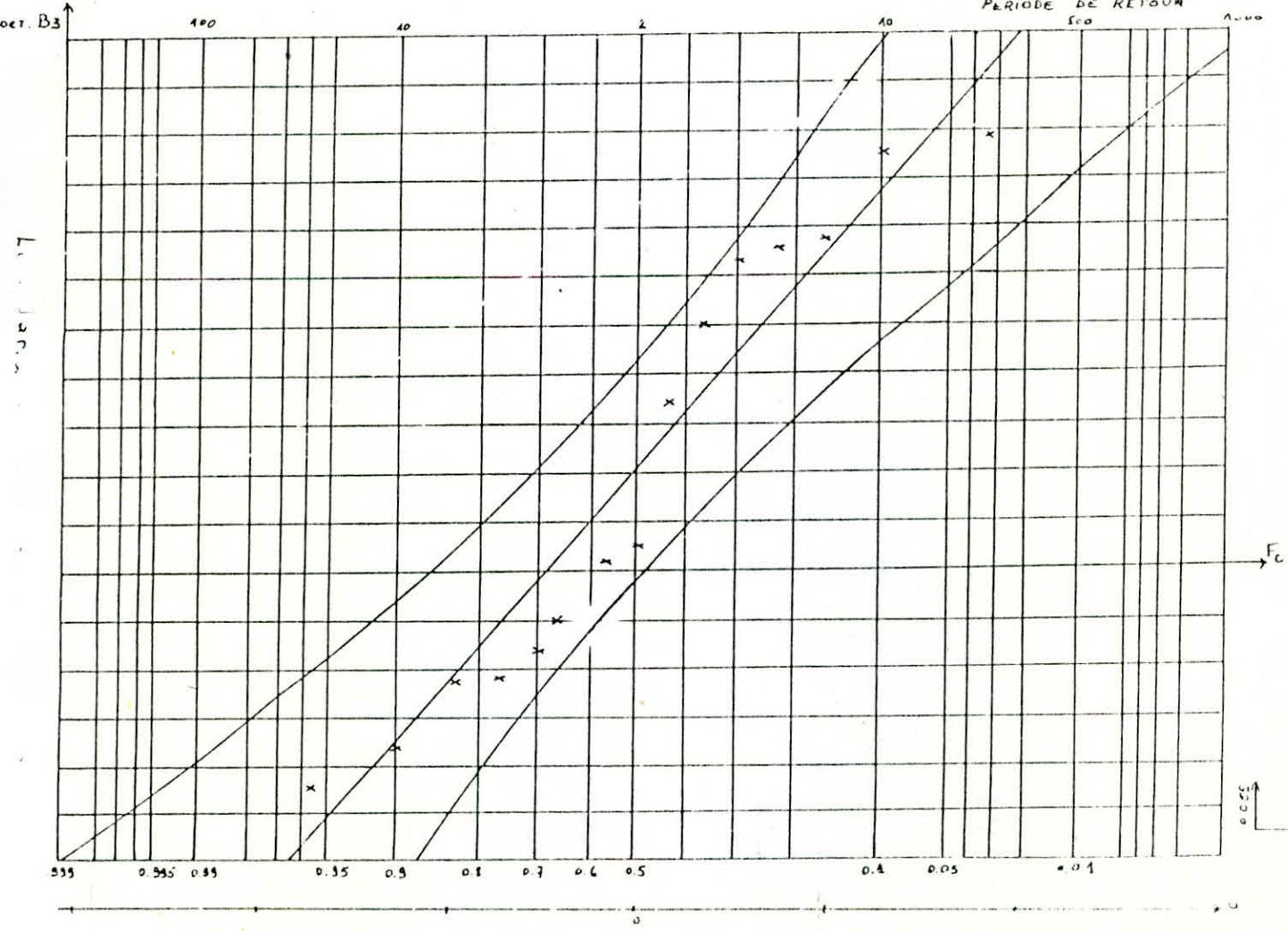
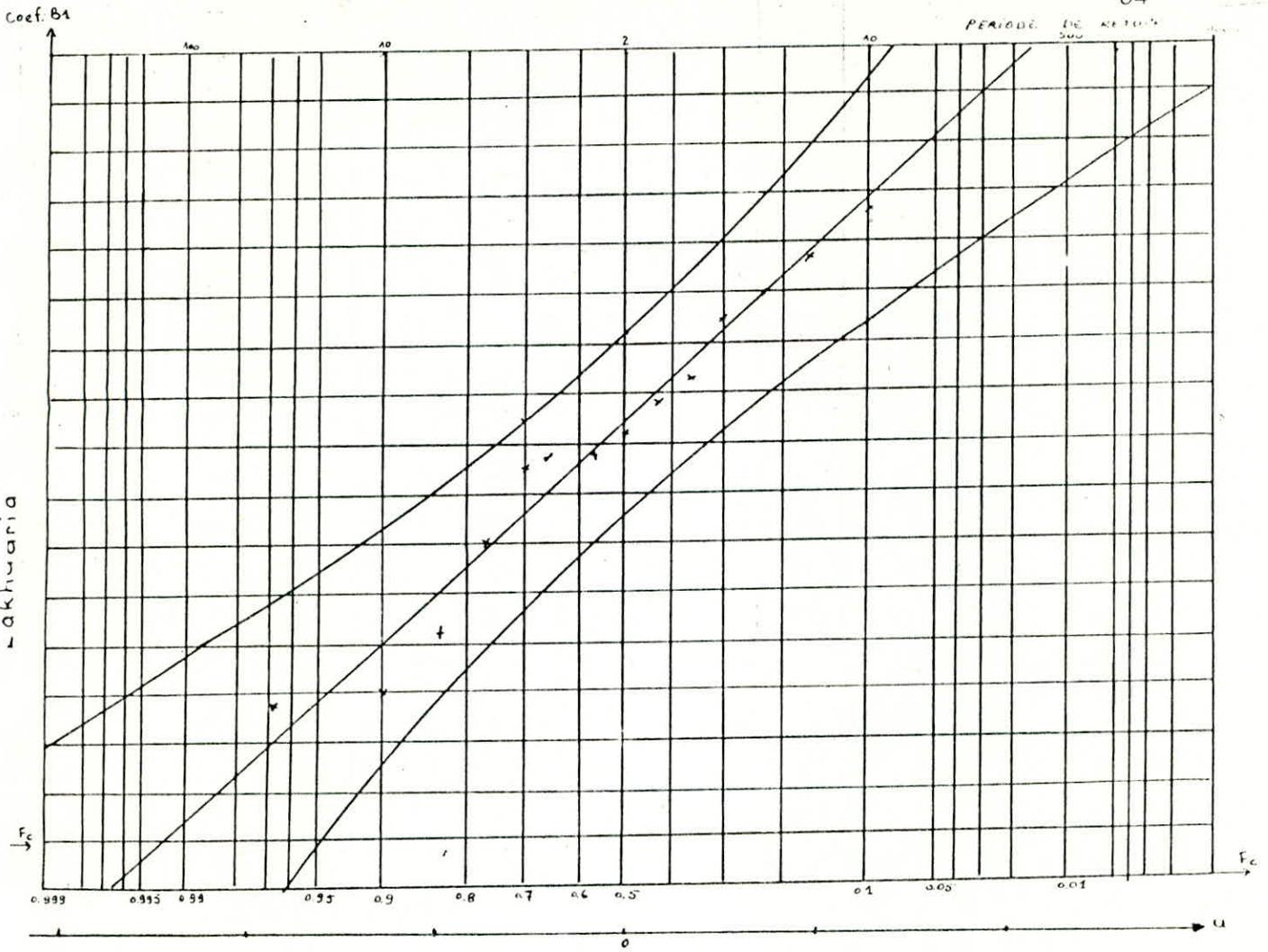
Donc pour la simulation de coefficients, il faut se référer à une loi normal pour les tirages aléatoires. La simulation se fera donc pour chaque année de la manière suivante:

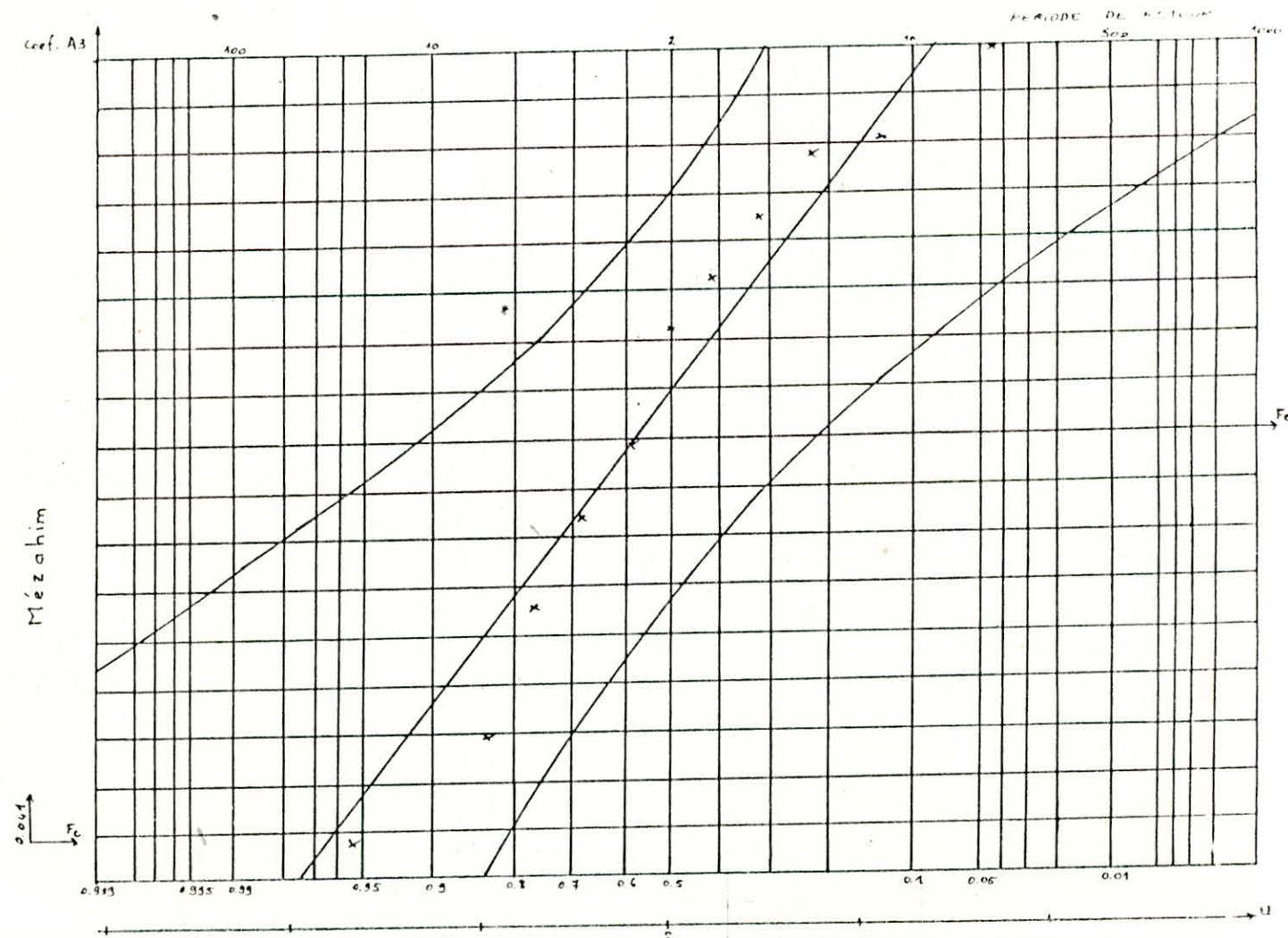
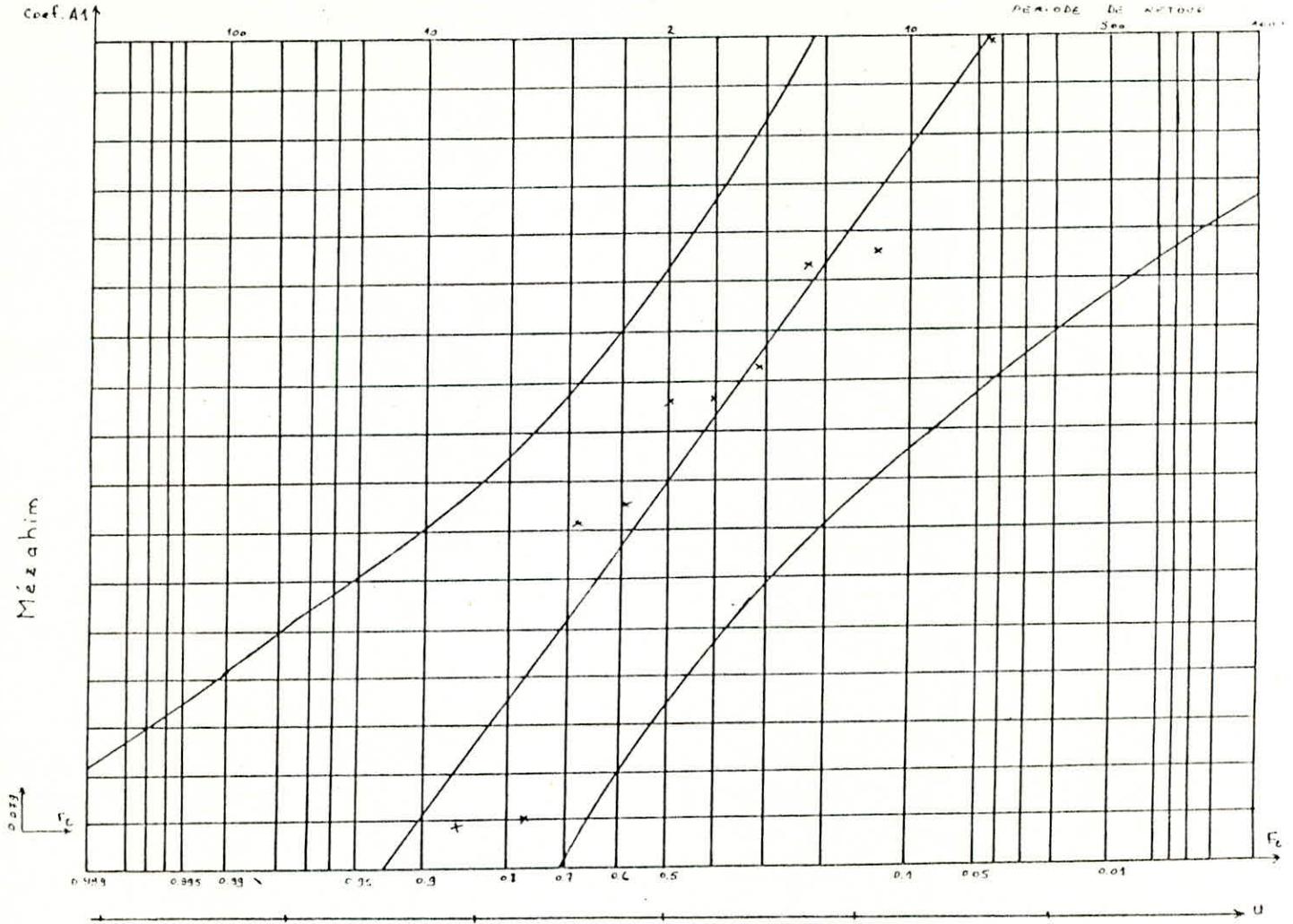
- Simulation de la moyenne interannuelle
- Simulation des bruits $A_{i,j}$ et $B_{i,j}$, avec $j=1$ à n

IV.6 SIMULATION DE LA PARTIE FLUCTUANTE

Le caractère aléatoire des débits journaliers étudiés, nécessite un instrument mathématique principal pour l'analyse, basé sur le calcul des probabilités.

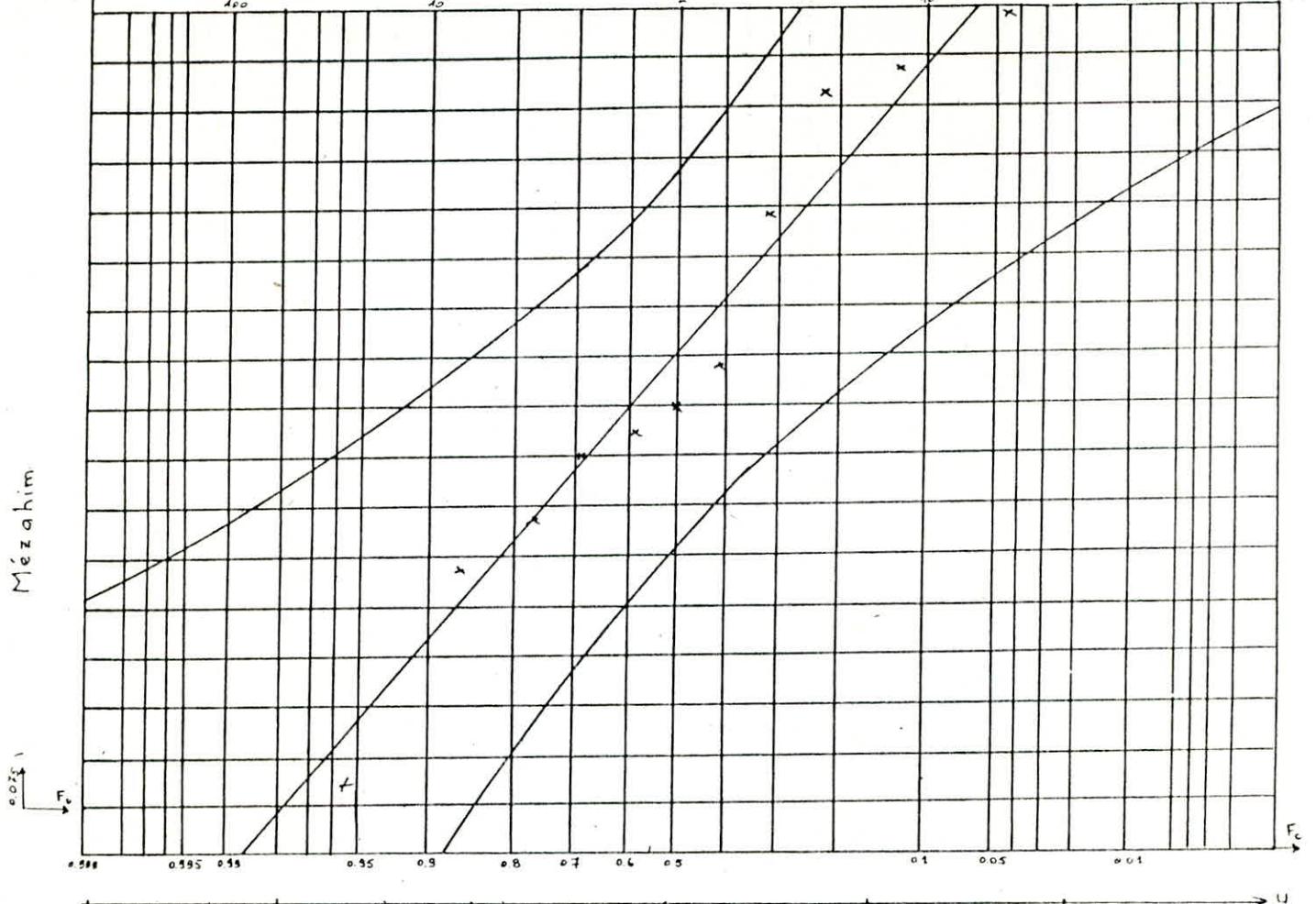






coef. B1

PERIODE DE RETOUR
500

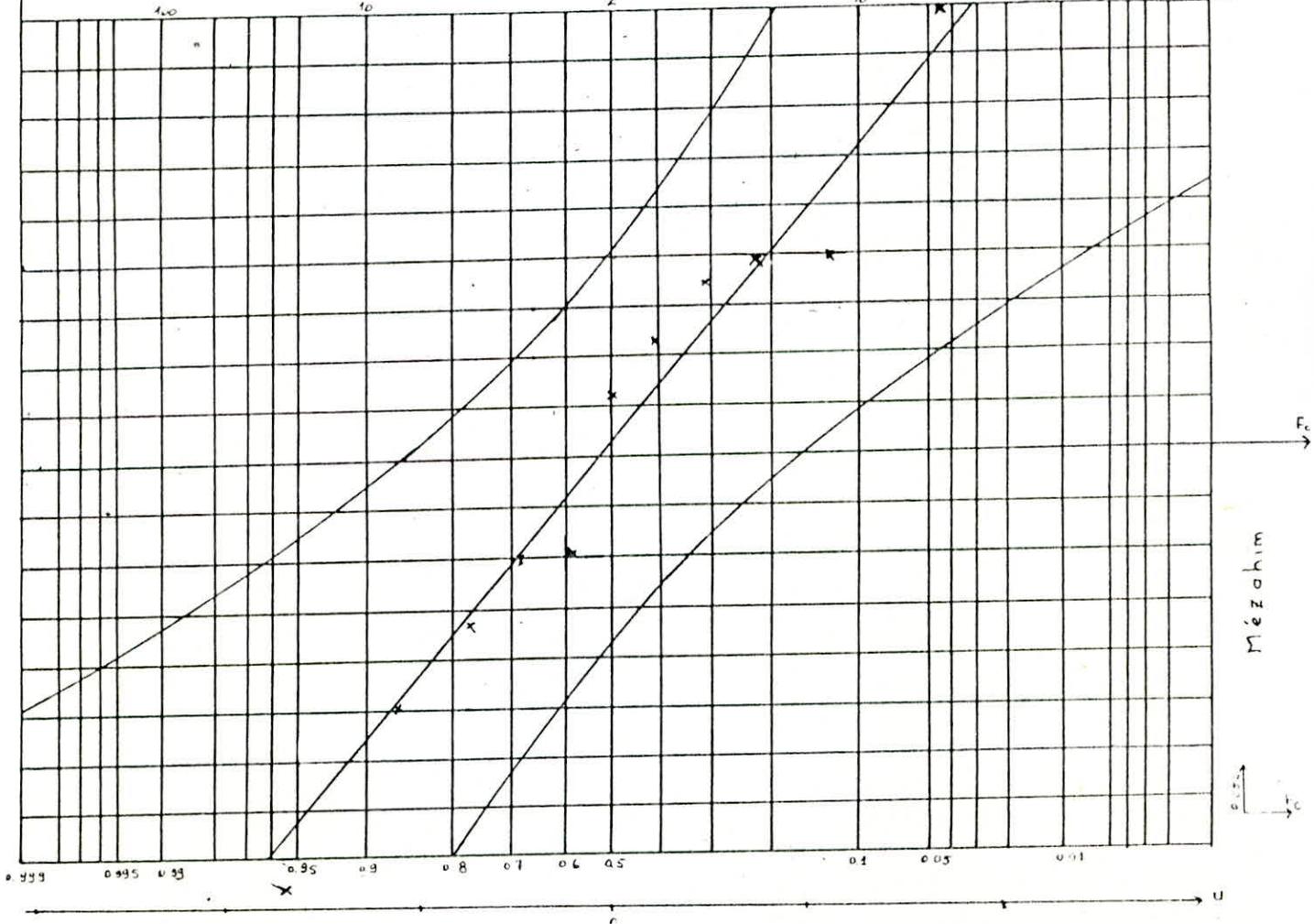


Mézahim

0.025

coef. B5

PERIODE DE RETOUR
500



Mézahim

0.025

1 - Notion générale sur les chaînes de MARKOV :

Soit un système pouvant prendre les états E_n ($n=0,1,2,3,\dots$), les changements d'états ne pouvant se produire qu'à des instants déterminés que nous appellerons dates. Soit $P_n(i)$ la probabilité de l'état E_n à la date i , l'ensemble de ces probabilités peut être représenté par un vecteur dans un espace dont le nombre de dimensions est égal au nombre d'états possibles (fini ou infini) du système, vecteur limité en amplitude et direction par la condition que ses composantes sont non négatives et ont une somme égale à 1:

$$[P_n(i)] = [P_0(i) \ P_1(i) \ P_2(i) \ \dots]$$

$$0 \leq P_n(i) \leq 1 \quad \text{et} \quad \sum P_n(i) = 1 \quad (n = 0,1,2,\dots)$$

Supposons que le passage d'un état à un autre ou «transition» ne dépende que de ces deux états; plus précisément, supposons qu'à toute paire $(E_n, E_{n'})$ il soit possible d'associer une probabilité conditionnelle $P_{nn'}$, probabilité que le système se trouve dans l'état n' à la date $(i-1)$ sachant qu'il est dans l'état n à la date i . Les probabilités initiales $P_n(0)$ étant supposées connues, on a alors une chaîne de Markov définie par les équations :

$$P_{n'}(i-1) = \sum P_n(i) \cdot P_{nn'}$$

$$0 \leq P_{nn'} \leq 1 \quad \text{et} \quad \sum P_{nn'} = 1$$

tels que les éléments $P_{nn'}$ forment la matrice carrée, appelée «matrice stochastique» ou «matrice de transition».

2 - Définition d'une chaîne de MARKOV :

« Un système dont l'évolution dépend du hasard est un processus de Markov si la loi de probabilité qui gouverne les états futurs du système ne dépend du passé du système que par l'état présent ». [4]

Un processus de markov est dit :

- Homogène dans le temps, si les probabilités P ne sont pas affectées par une transition dans le temps;

- Discret, si au moment d'un changement d'état, l'influence du passé se trouvera résumé dans la connaissance du résultat de la dernière transition.

Lorsque la matrice P des probabilités de passage d'un état à un autre admet comme valeur propre l'unité et que toutes les valeurs propres sont des modules strictement inférieur à l'unité, dans ce cas on parle d'une chaîne de Markov finie et régulière.

$\text{Prob}(E_i/E_j) = P_{ij}$: Probabilité de passage du débit i au débit j .

La matrice de transition est:

$$M = (P_{ij}) \quad \text{avec} \quad \sum_{j=0}^{n-1} P_{ij}$$

- Simulation:

Après avoir extrait la partie fluctuante (variations résiduelles) on la simule par le biais des chaînes de Markov.

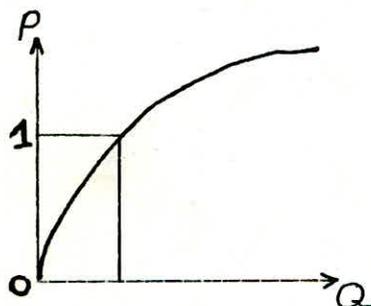
On notera : état 0 \longrightarrow fluctuation négative
 état 1 \longrightarrow fluctuation positive ou nulle

On détermine la matrice de passage en une transition.

état à l'instant $i-1$	état à l'instant i	
	0	1
0	α_{00}	α_{01}
1	α_{10}	α_{11}

• On choisi un état initial, et on fait un tirage d'un nombre aléatoire afin de déterminer l'état du jour simulé, (c'est à dire, si la fluctuation est négative ou bien positive ou nulle).

Si le tirage aléatoire $< \alpha_{00}$ donc on est à l'état 0;
 $> \alpha_{00}$ donc on est à l'état 1.



Nous faisons un deuxième tirage du nombre aléatoire que l'on compare à la fonction de répartition et on détermine la valeur de la fluctuation.

V - COMPARAISON

Dans ce chapitre, nous énumérerons les étapes de comparaison entre la série historique et les séries simulées, afin de tester le modèle de simulation des débits. Pour les différents paramètres qui ont servi à la comparaison, nous avons considéré des variables précises telles que :

- l'effet saisonnier;
 - le nombre d'harmoniques;
 - le nombre d'années simulées;
 - le nombre aléatoire,
- que l'on faisait varier afin d'analyser et de suivre le comportement des séries simulées. Après plusieurs changements de ces variables on a constaté que le nombre aléatoire n'avait pas d'influence sur le comportement des séries simulées.

Pour ces différentes variables, la comparaison et l'interprétation a porté sur :

- 1 - La moyenne, l'écart-type et les coefficients de variation interannuels (voir tableau ci-dessous).
- 2 - Les moyennes annuelles;
- 3 - Les débits maximum;
- 4 - Les moyennes mensuelles interannuelles;
- 5 - Les écarts-types mensuels interannuels.

Nous avons travaillé sur deux stations hydrométriques: Lakhdaria dont la série historique est constituée de quinze (15) années d'observations des débits journaliers et Mézahim de onze (11) années d'observations.

DIFFERENTES ETAPES DE LA COMPARAISON

1^{er} CAS : SIMULATION A 15 ANNEES

- Moyennes Annuelles :

A partir de la série historique, nous avons appliqué une loi de Gauss afin de tracer l'intervalle de confiance et la droite de Henry pour voir si réellement les valeurs des séries simulées sont comprises dans l'intervalle de confiance (Annexes III-IV).

- Débits Maximum :

A partir de la série historique, nous avons appliqué une loi de Gumbel dont on a tracé la droite de régression pour voir si la dispersion des valeurs de l'échantillon des séries simulées est convenable ou pas (Annexe V-VI).

		x	σ	Cv
STATION LAKHDARIA	HIS.	12.8	6.35	.497
	SIM. à 15 ans	21.9	4.72	.220
	SIM. à 50 ans	20.0	6.32	.316
STATION MEZAHIM	HIS.	.7	.35	.529
	SIM. à 15 ans	.9	.29	.332
	SIM. à 50 ans	1.0	.36	.366

TABLEAUX N°8: Tableau récapitulatif des paramètres des différentes simulations

- Moyennes Mensuelles :

Les résultats de l'exécution du programme DEBAN nous permet de tracer les courbes de la série historique et des séries simulées tout en les superposant dans un même graphique (Annexe VII-IIX).

- Ecart-types :

Dans ce cas, nous avons tracé l'intervalle de confiance de la série historique afin de voir si les valeurs des différentes simulations sont bien incluses à l'intérieur de celui-ci (Annexe VII-IIX).

2^{ème} CAS : SIMULATION 50 ANNEES

Le procédé de comparaison est le même que celui décrit précédemment, sauf que pour la série historique prise en compte dans ce cas là, est une simulation à 50 années que l'on a simulée encore pour 50 autres années afin de voir si l'augmentation de la taille de l'échantillon joue un rôle important dans la simulation ou pas.

VI - INTERPRETATION

Dans ce chapitre, nous interprétons les résultats des différentes simulations, en essayant de donner le maximum d'information sur l'objectif des différents tests effectués avec les paramètres de la simulation.

1. Cas Nombre d'années simulées :

Les différents tests ont portés sur des simulations pour 15, 20, 25, 30, 40 et 50 années, afin de voir l'importance et l'influence du nombre d'années dans la simulation.

Les résultats retenus dans notre travail, sont les simulations à quinze (15) années, qui est la taille de notre échantillon et cinquante (50) années, pour voir l'influence de l'augmentation de la taille de celui-ci.

Nous avons constaté, en simulant avec un même nombre d'années que la série historique (15 années), les résultats obtenus sur la station de Lakhdaria ne sont pas aussi bons que ceux de la station de Mézahim. Par contre, en augmentant le nombre d'années de simulation à cinquante (50 années), nombre représentatif de la population, nous remarquons que les résultats sont plus significatifs. À partir de cela, nous pouvons constater que pour les faibles débits, les résultats sont meilleurs par rapport aux forts débits de la station de Lakhdaria (exutoire du bassin versant).

2. Cas Nombre d'harmoniques :

Comme nous l'avons constaté précédemment, le phénomène de forts et faibles débits peut mener à supposer qu'il intervient avec une part d'influence. Pour cela, nous avons testé pour un maximum de six (06) harmoniques afin de voir surtout à la station de Lakhdaria, où les débits sont les plus forts, comment seront lissées les différentes séries simulées.

Dans notre cas, l'influence n'est pas significative sur ceux-ci.

3 " Cas Effet saisonnier :

Il a été de même pour cet effet, car le renseignement fourni par celui-ci est très important, dans un sens où, l'information donnée est très précise.

Sa part d'influence est importante sur la série simulée. En effet, en augmentant le nombre de saisons, nous remarquons que la fiabilité des résultats approche ceux de la série historique.

CONCLUSION

On peut dire en conclusion que notre modèle de simulation des débits journaliers, donne des indications intéressantes, notamment sur les quatres paramètres suivants:

- les débits moyens mensuels;
- les débits annuels;
- les débits maximums;
- les écarts types,

sur quoi nous avons testé l'influence de l'effet saisonnier, le nombre d'harmoniques et le nombre d'années simulées. Chacun de ces effets, a une importance propre quant au renseignement donné pour l'interprétation du résultat.

Dans le cas du nombre d'années simulées, la taille de l'échantillon est importante, dans un sens où plus la donnée historique est longue plus les résultats de simulation sont satisfaisants.

Pour le nombre d'harmoniques, nous disons qu'en augmentant celui-ci, on pourrait « peut-être » mieux lisser la série historique. D'après H. GRISOLLET (1973), le fait d'augmenter le nombre d'harmoniques, peut avoir un effet bénéfique sur le lissage de la composante saisonnière.

Pour l'effet saisonnier, plus l'entité saisonnière est courte (en prenant le mois comme entité saisonnière, autrement dit douze (12) saisons dans l'année), meilleurs seront les résultats. C'est à dire que, lorsque nous réduisons le nombre de saisons, le phénomène est mieux cerné, donc le résultat n'en sera que plus fiable.

Comme axe de recherche à ce travail, nous proposons que le modèle soit affiné afin de pouvoir prendre en compte les séries historiques de courte durée, et son utilisation, dans le cadre de la prédétermination des crues de projet.

ANNEXE I

X = 579.10	Longueur du rectangle équivalent = 98.2 Km
Y = 369.75	Longueur du talweg principal = 200 Km
Alt.min = 90 m	Densité de drainage = 3.6 Km/Km ²
Alt.max = 1810 m	Indice de compacité = 1.26
Alt.moy = 710 m	Indice de pente de roche = 0.11
Surface = 3615 Km ²	Coefficient de torrentialité = 29.8
Périmètre = 270 Km	

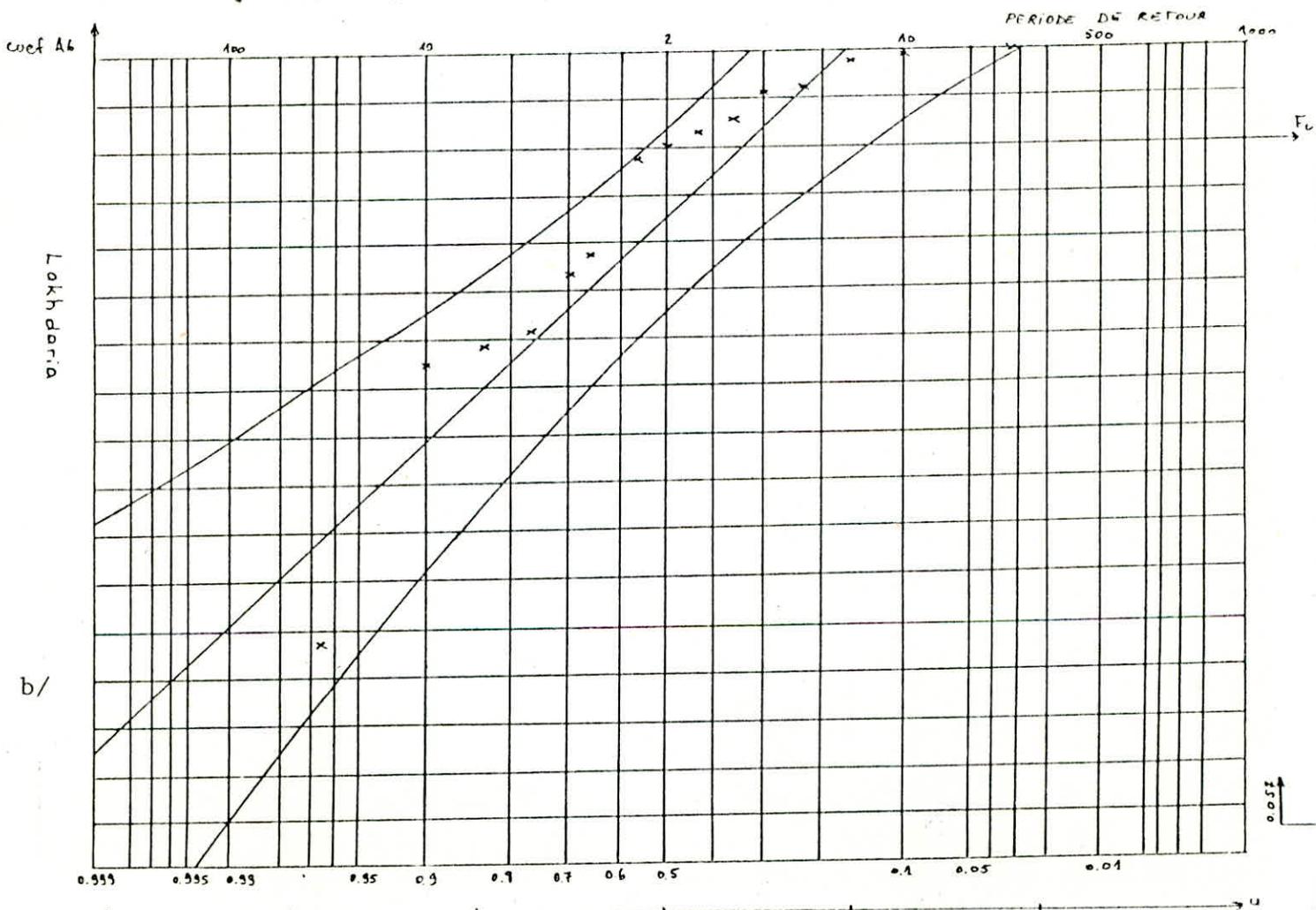
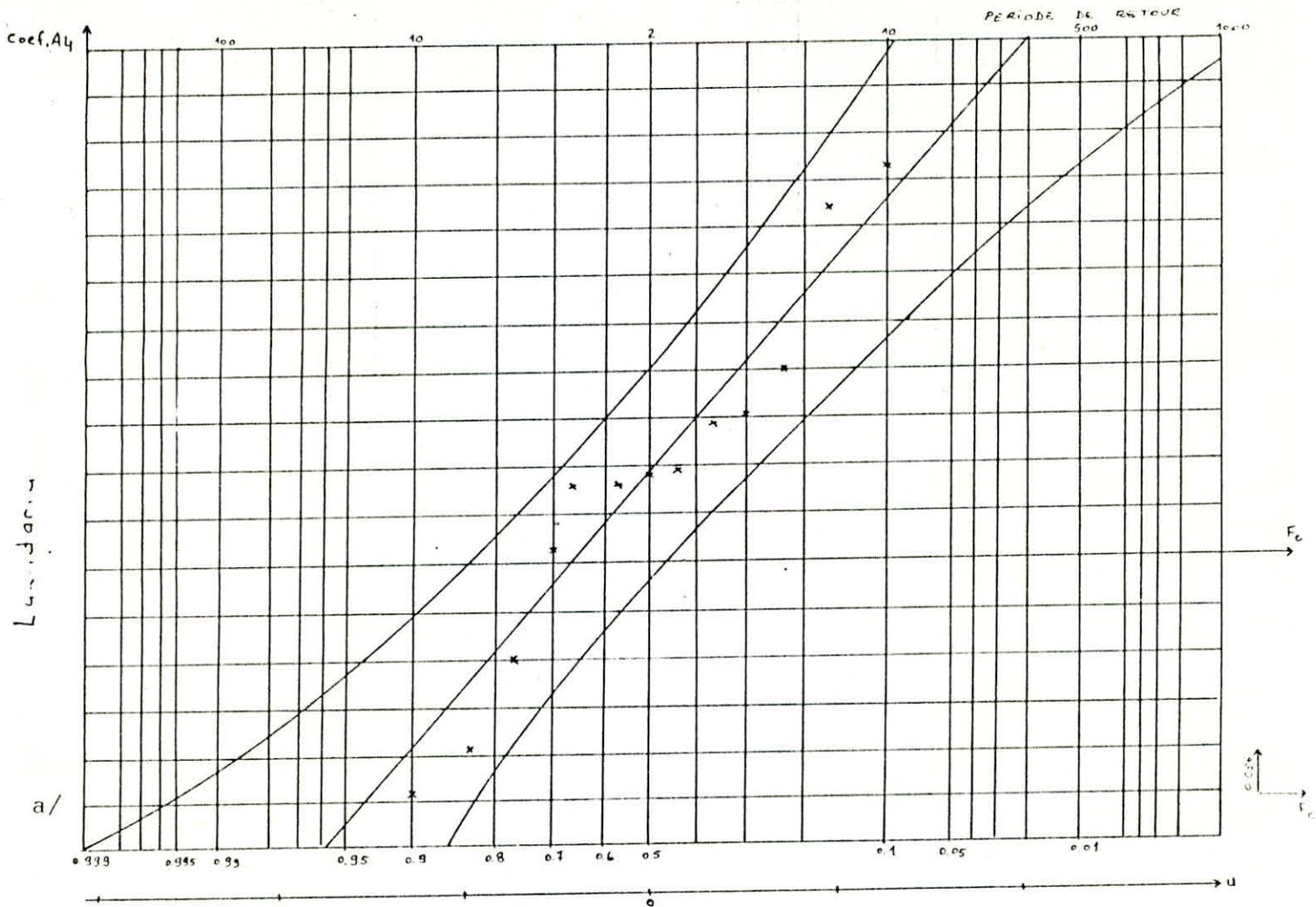
Tableau N°:9 Synthèse des coefficients du bassin versant de l'Isser

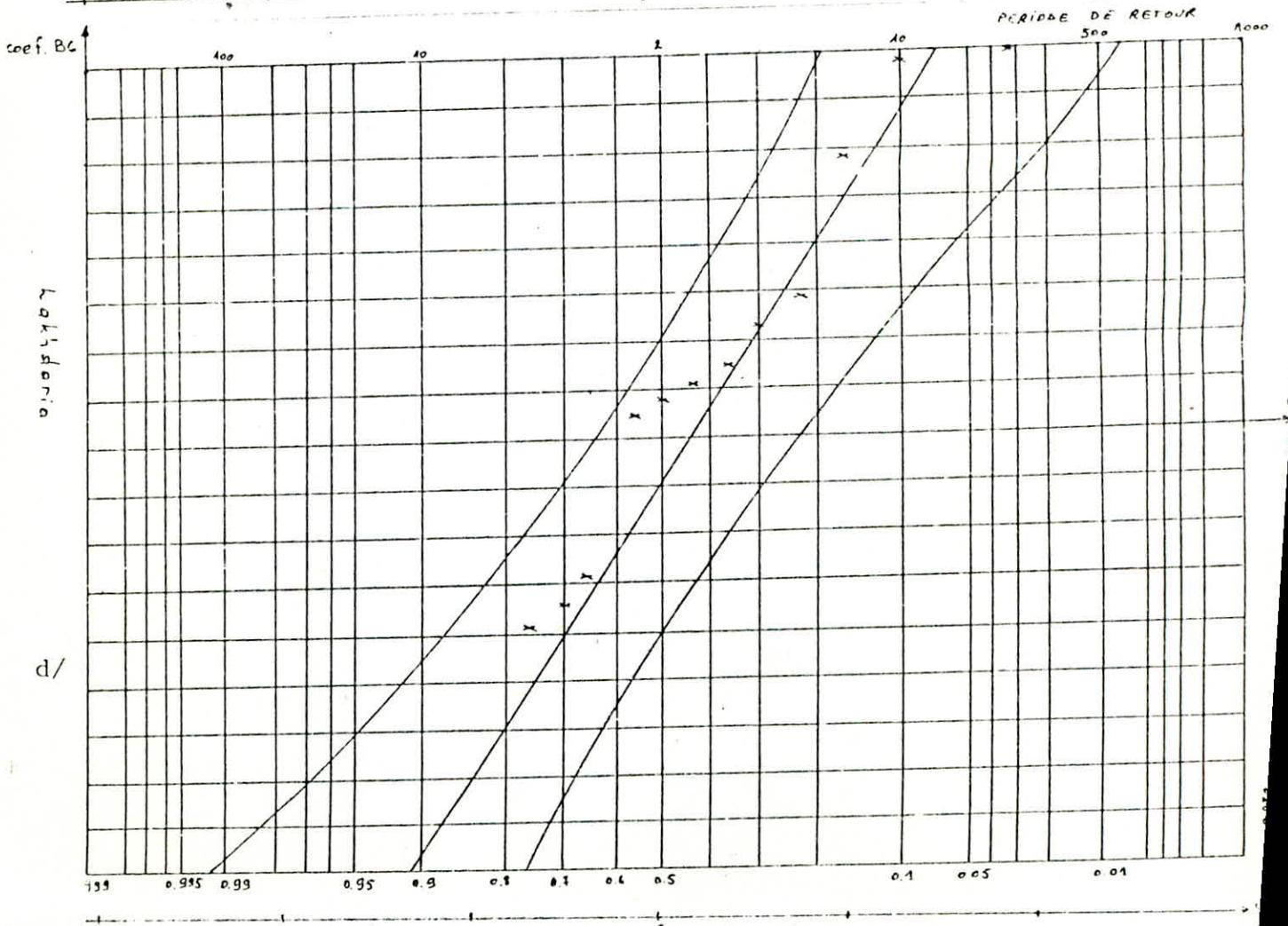
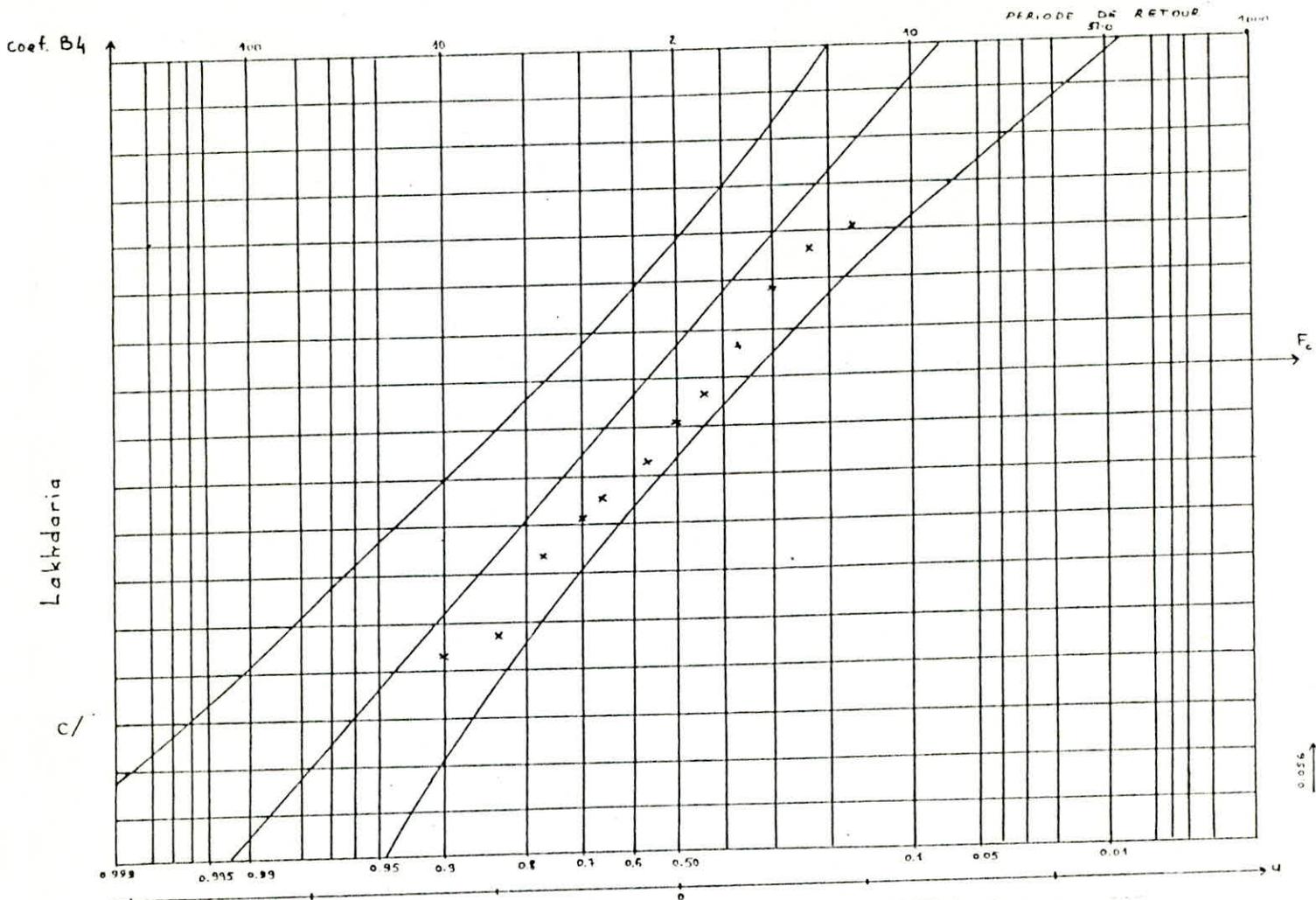
ANNEXE II

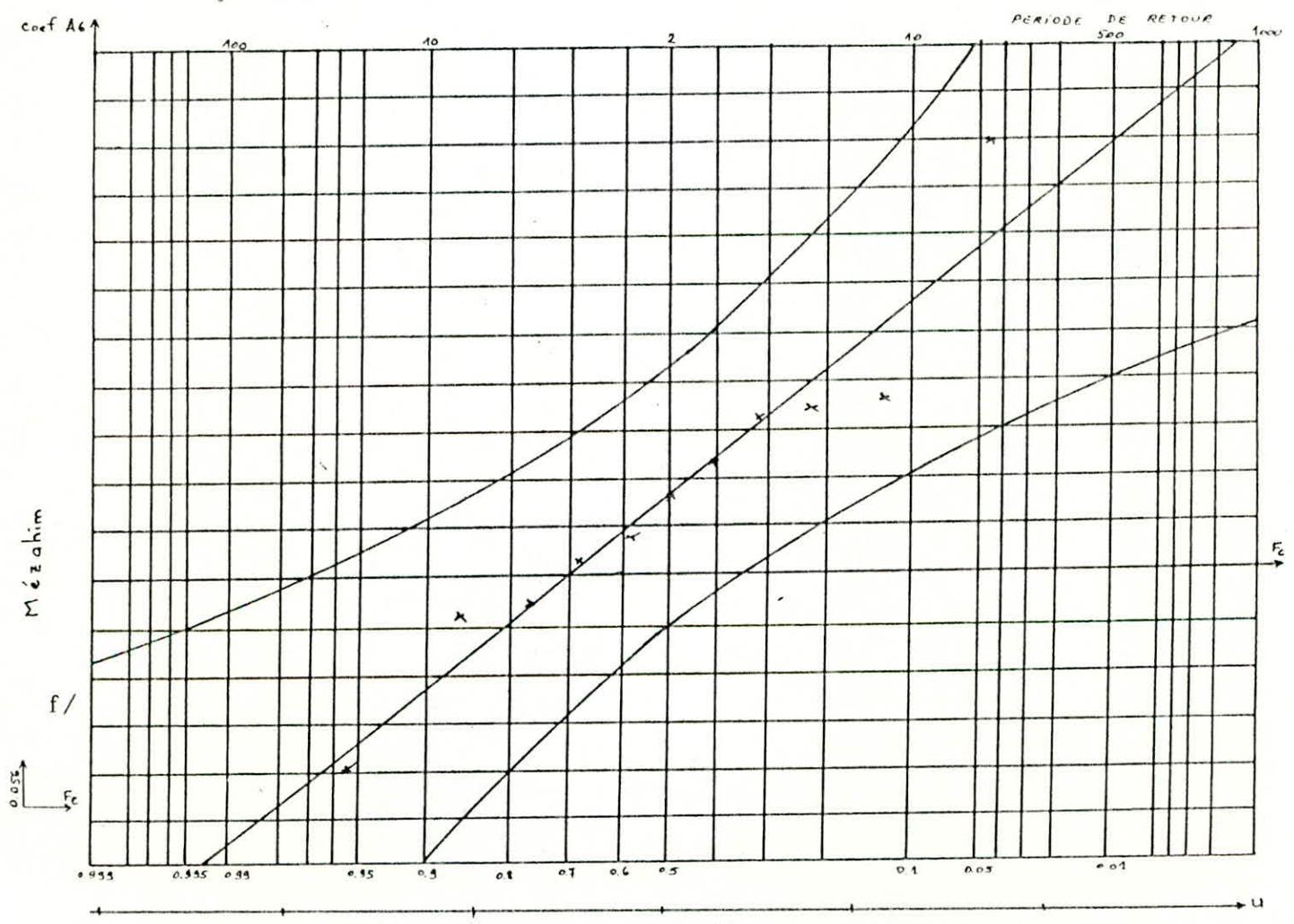
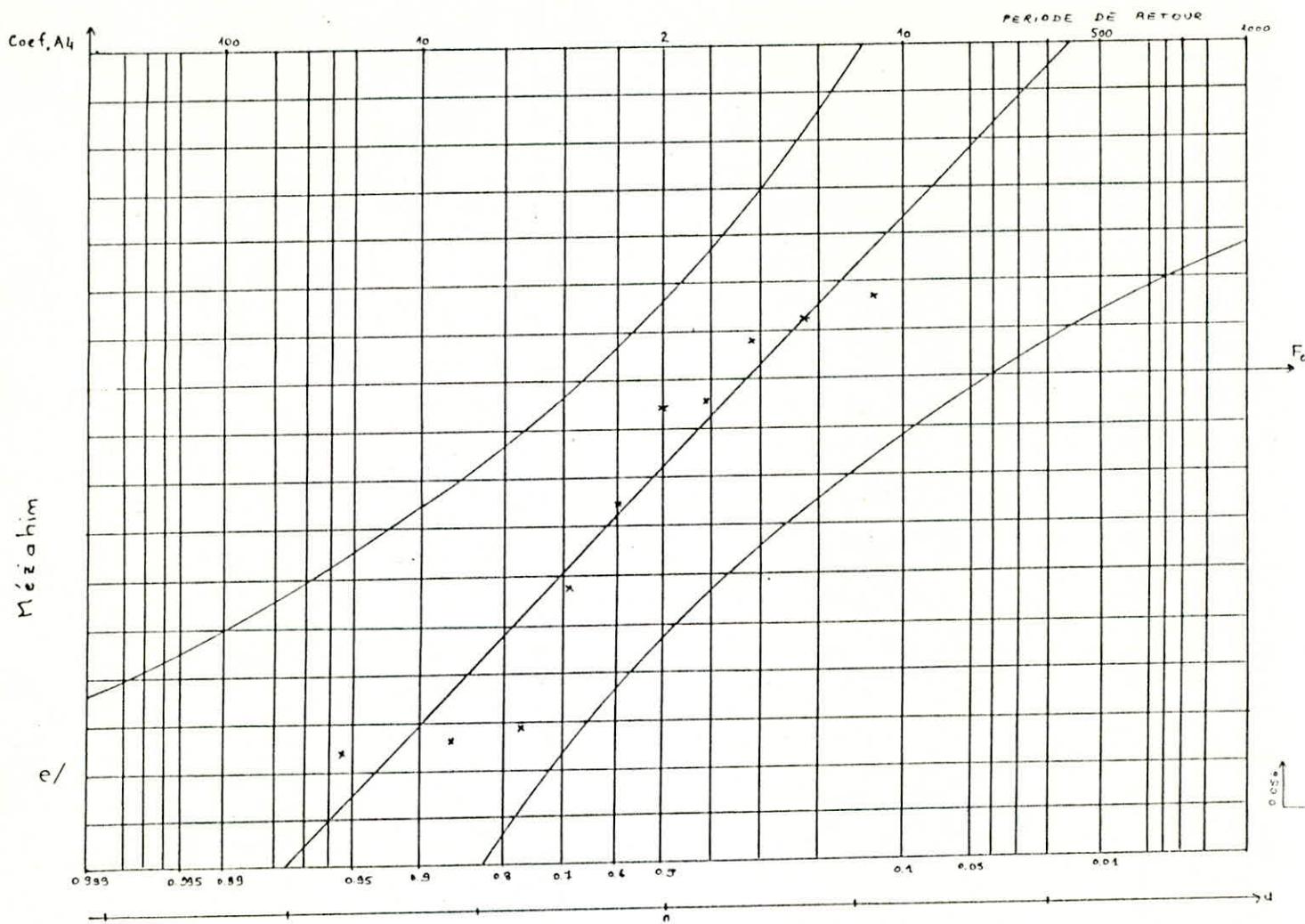
Ajustement des coefficients A_4, A_2, B_4, B_2 de la station
LAKHDARIA et MEZAHIM par la loi normale (GAUSS).

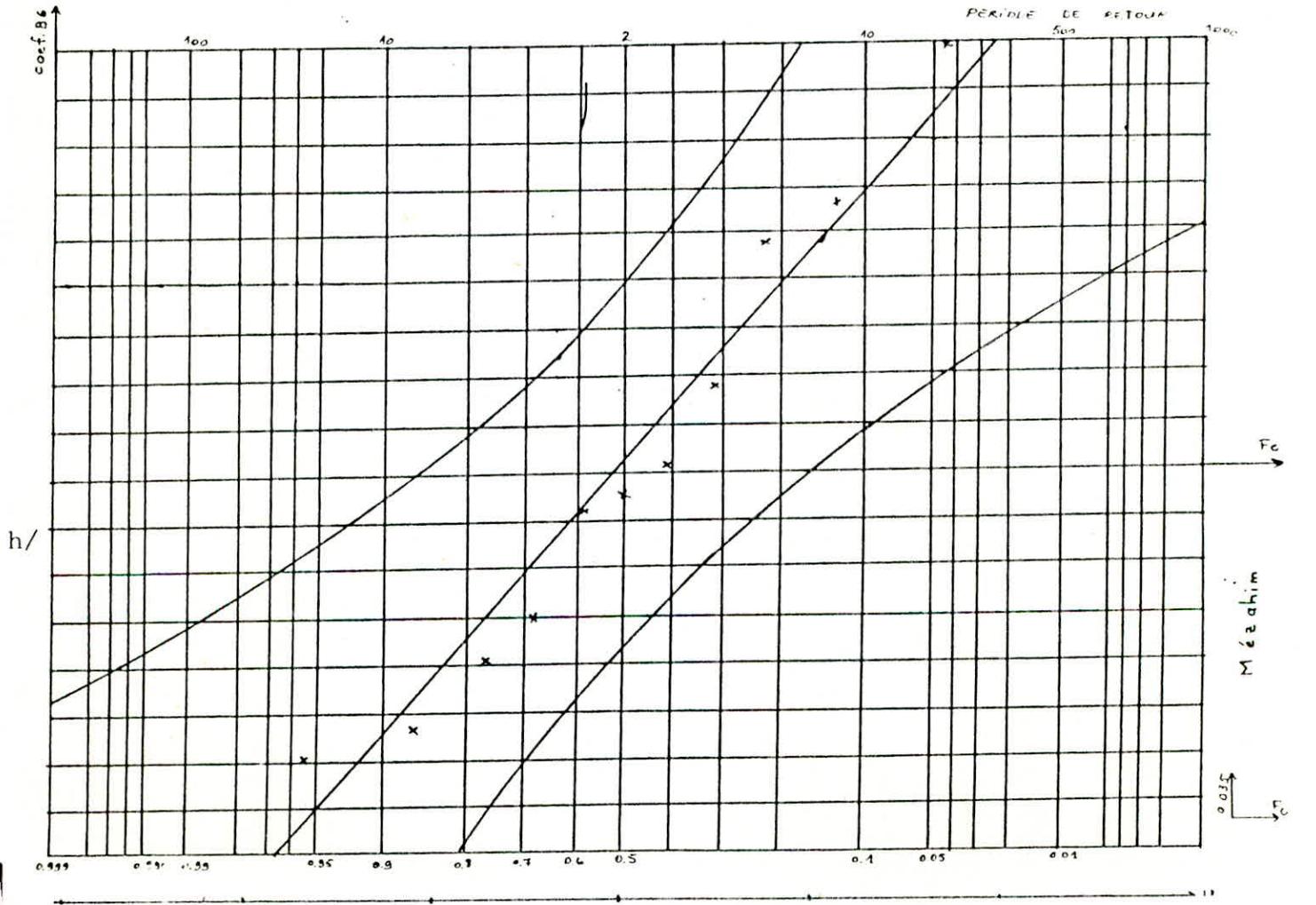
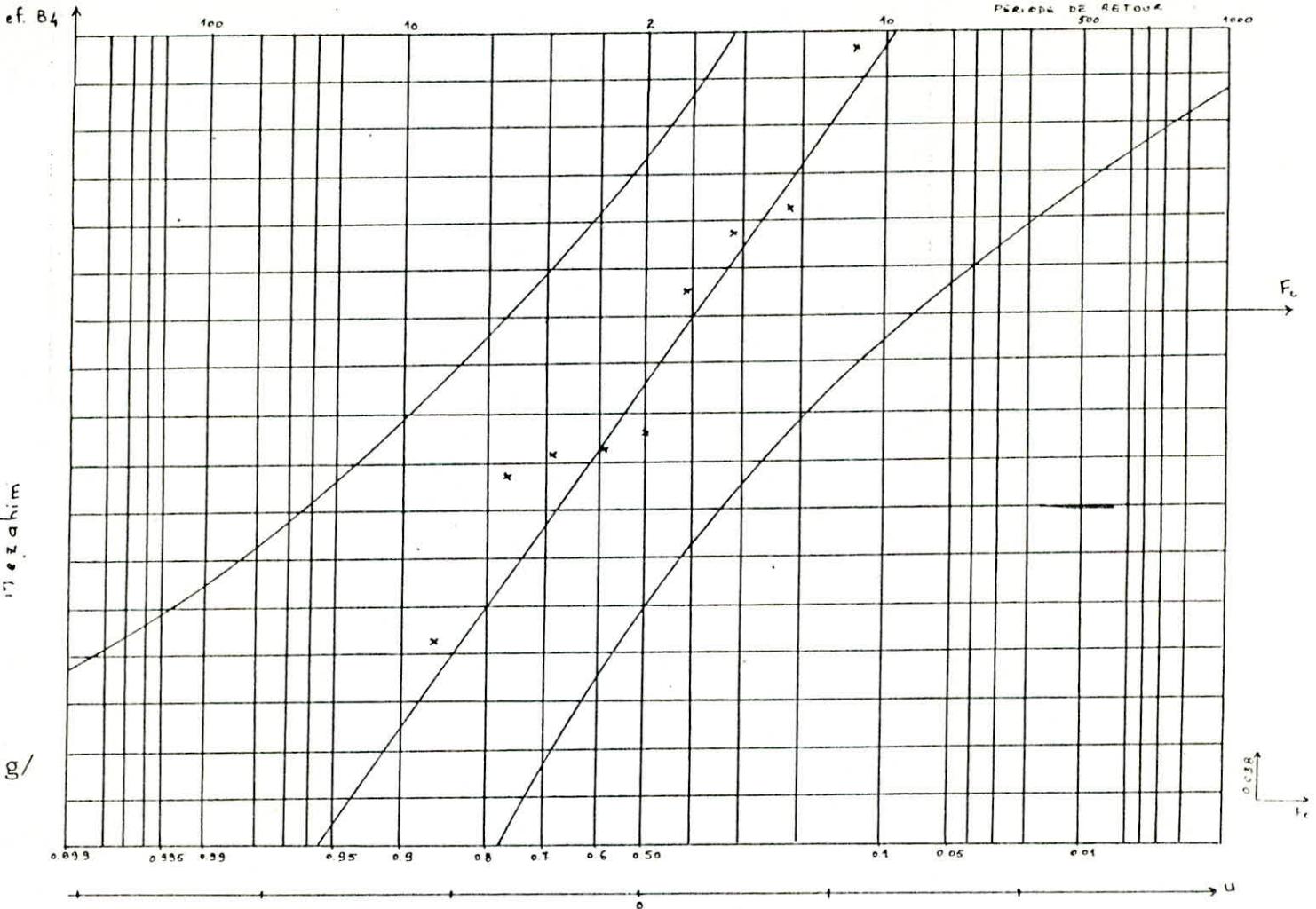
FIG. IIX (a,b) et FIG. IX (c,d) : St° LAKHDARIA

FIG. X (e,f) et FIG. XI (g,h) : St° MEZAHIM









ANNEXE III

Ajustement des moyennes annuelles par la loi normale (GAUSS)
de la série historique et des séries simulées à 15 ans de la
station LAKHDARIA.

Tableau N°10 RESULTATS DES SERIES SIMULEES A 15 ANNEES

FIG. XII Série historique de LAKHDARIA

GRAPHES a,b,c,d : Séries simulées à 15 ans

a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

d. Meilleure simulation avec 4S (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

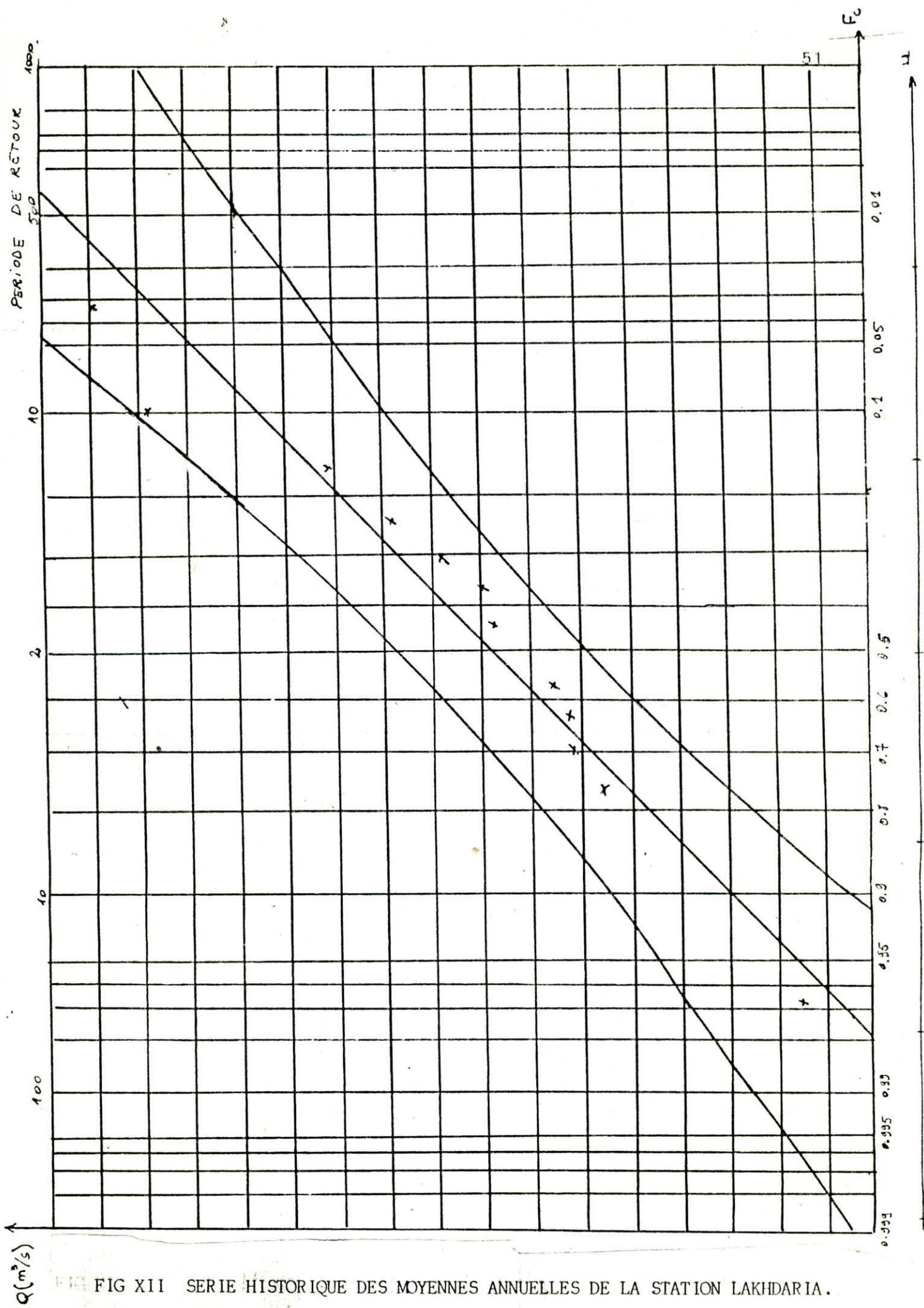
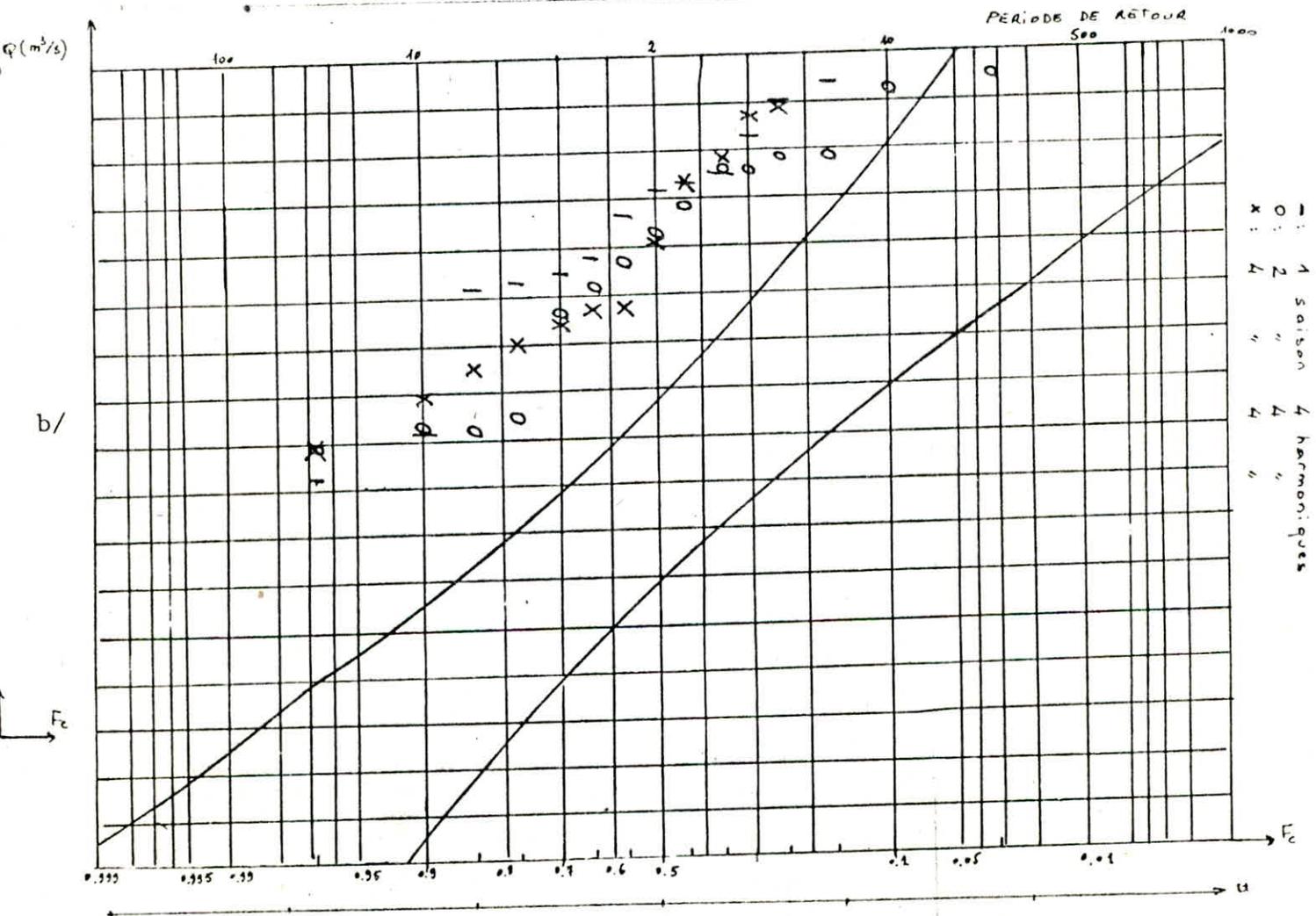
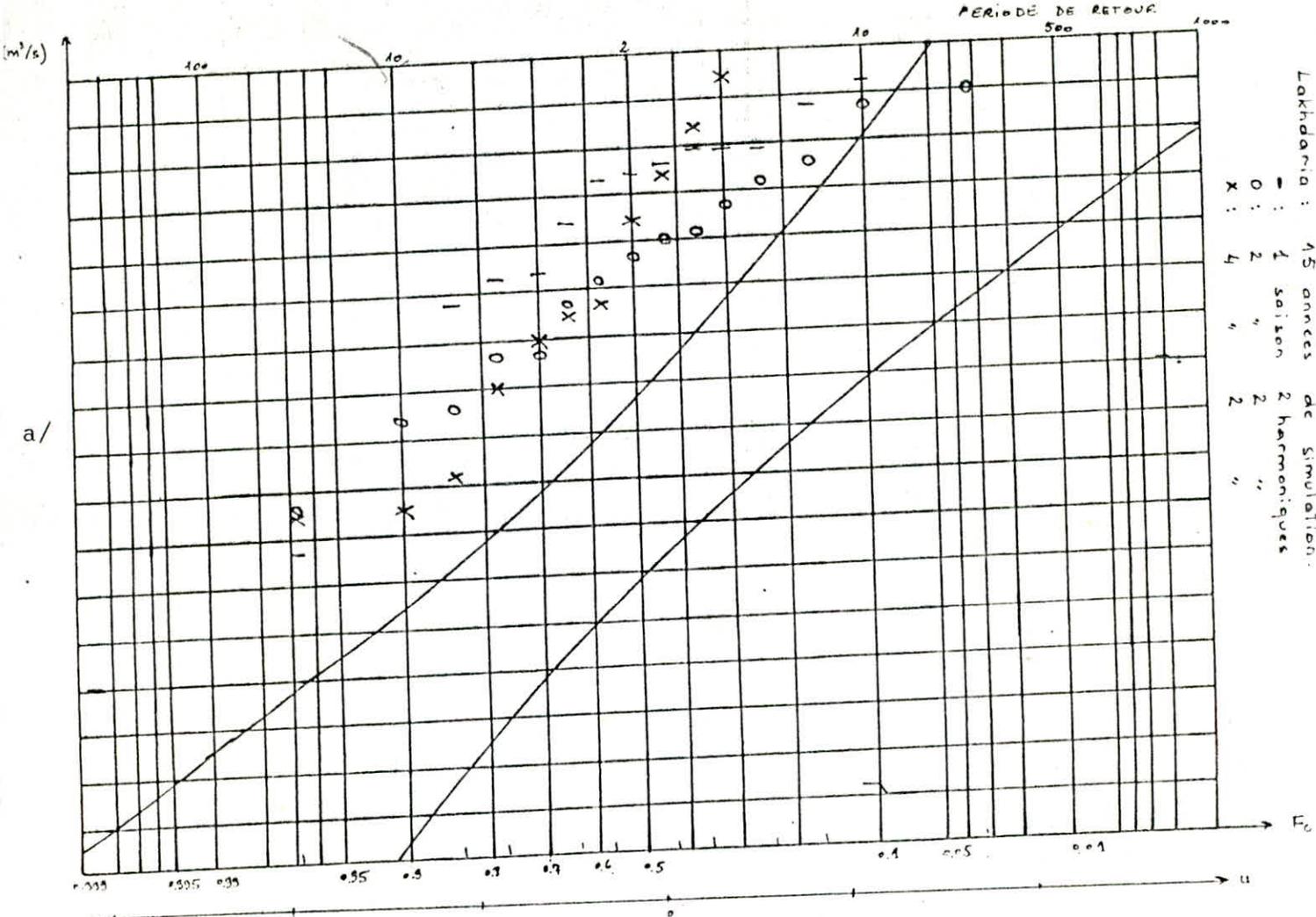


FIG XII SERIE HISTORIQUE DES MOYENNES ANNUELLES DE LA STATION LAKHDARIA.



	X	σ	C _v
HIS	12.8	6.35	0.497
152H	22.5	4.75	0.211
252H	20.4	3.83	0.188
452H	22.2	6.83	0.308
154H	29.9	4.61	0.201
254H	21.2	4.15	0.196
454H	22.3	4.90	0.219
156H	22.4	4.73	0.211
252H	21.1	3.65	0.172
456H	22.1	5.05	0.228
Moy. Sim.	21.9	4.72	0.22

Tableau N°10

ANNEXE IV

Ajustement des moyennes annuelles par la loi normale (GAUSS) de la série historique et des séries simulées à 15 ans de la station MEZAHIM.

Tableau N°11 RESULTATS DES SERIES SIMULEES A 15 ANNEES

FIG. XIII Série historique de MEZAHIM

GRAPHES a,b,c,d : Séries simulées à 15 ans

a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

d. Meilleure simulation avec 4S (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

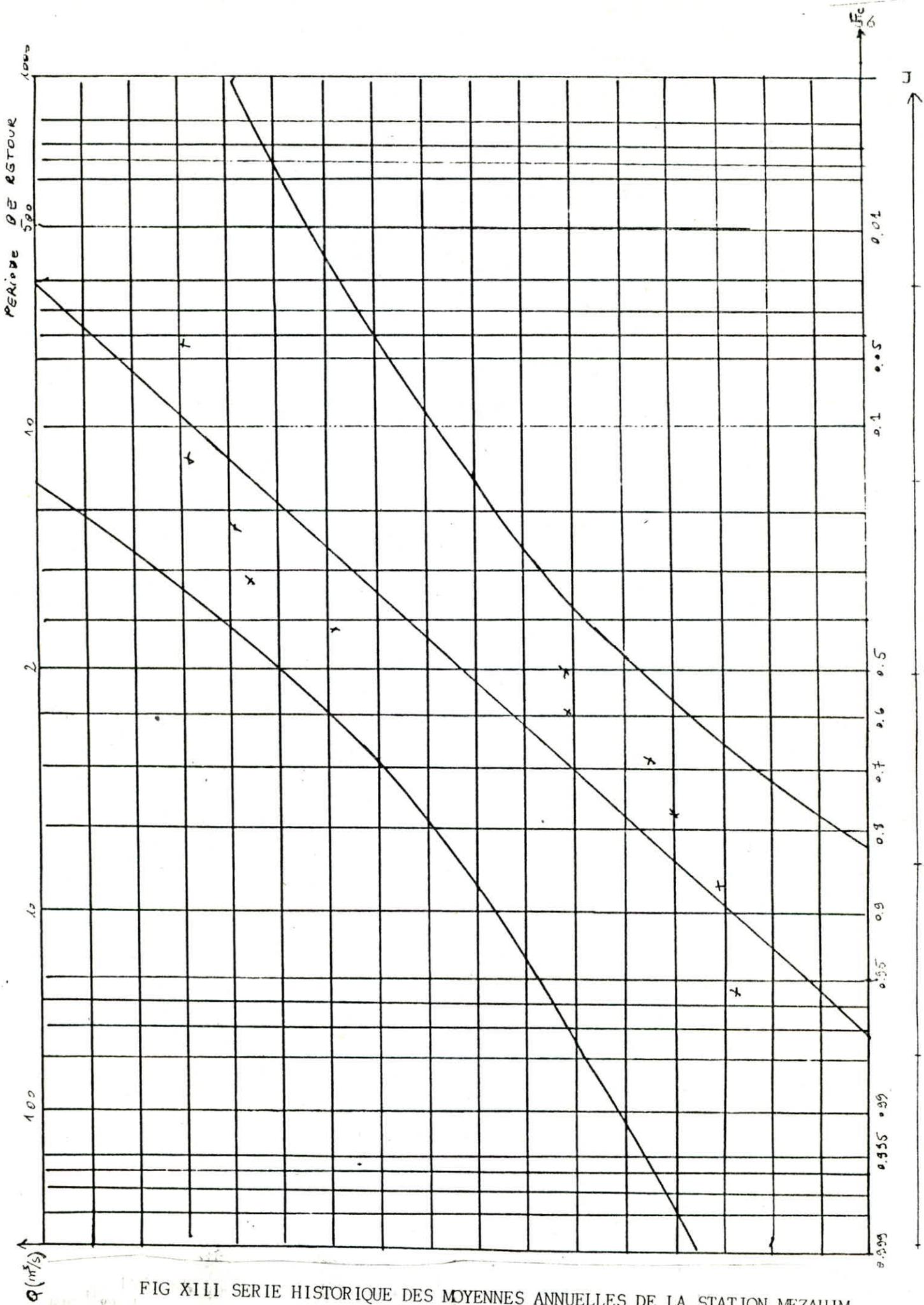
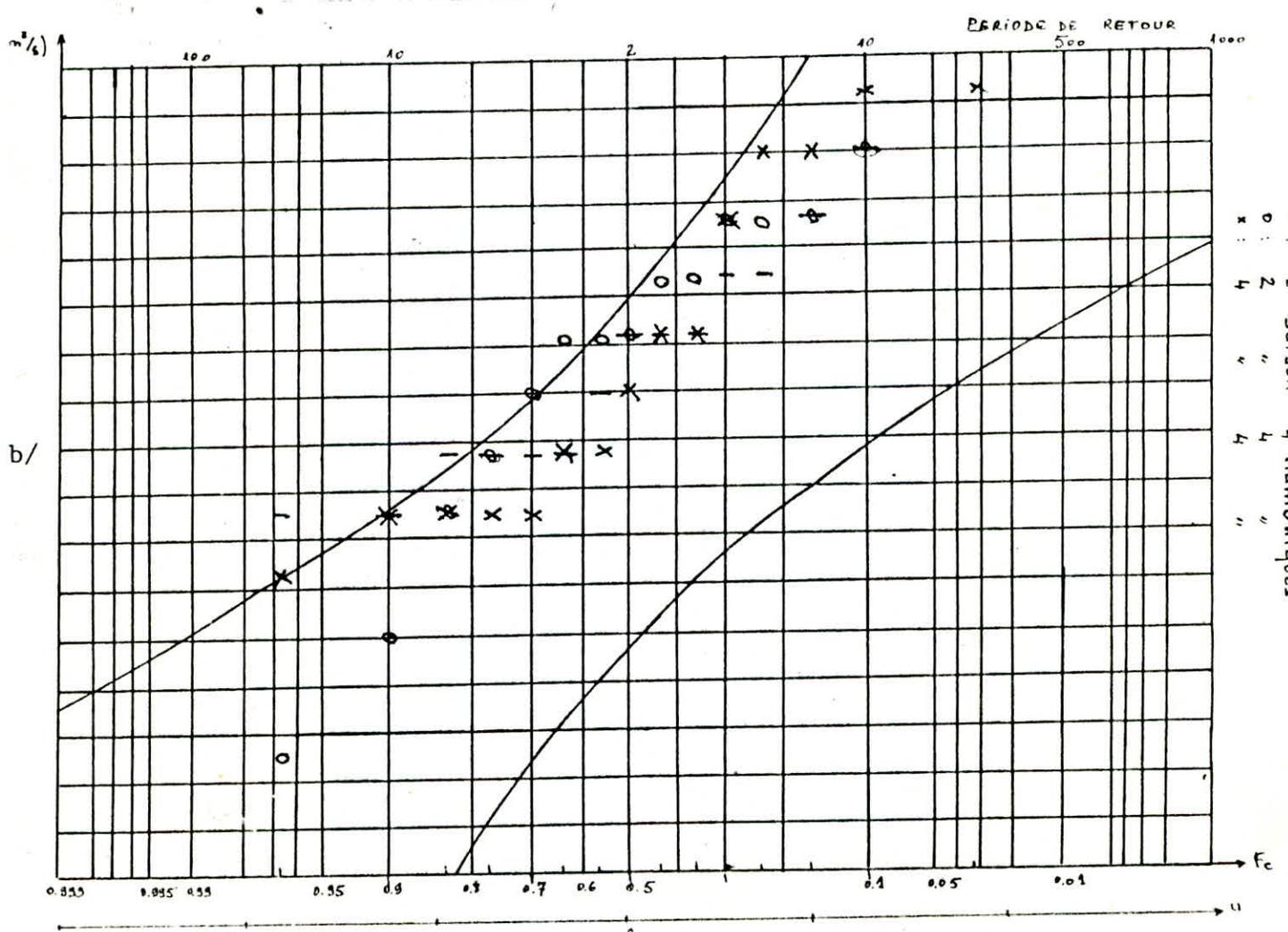
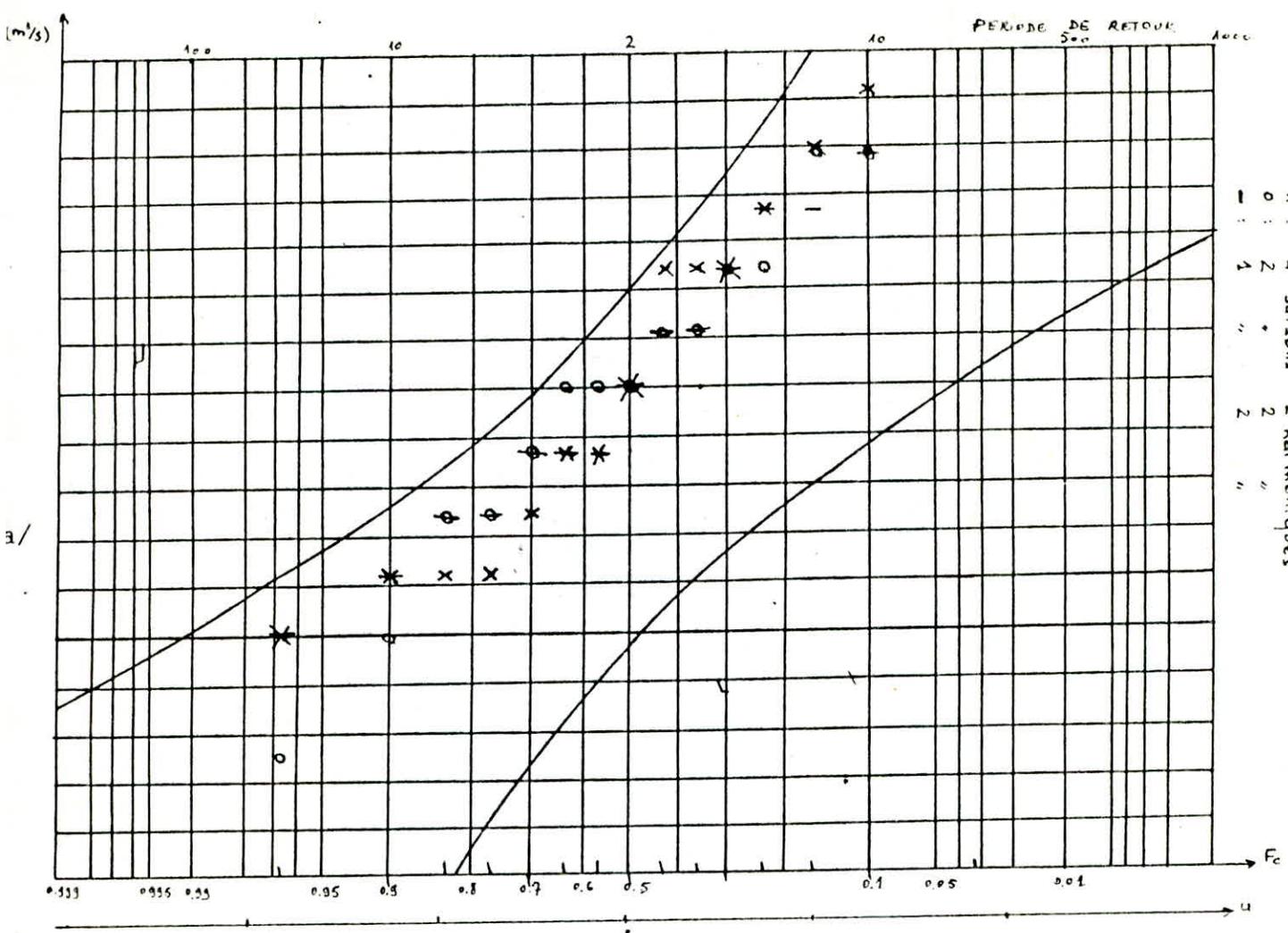
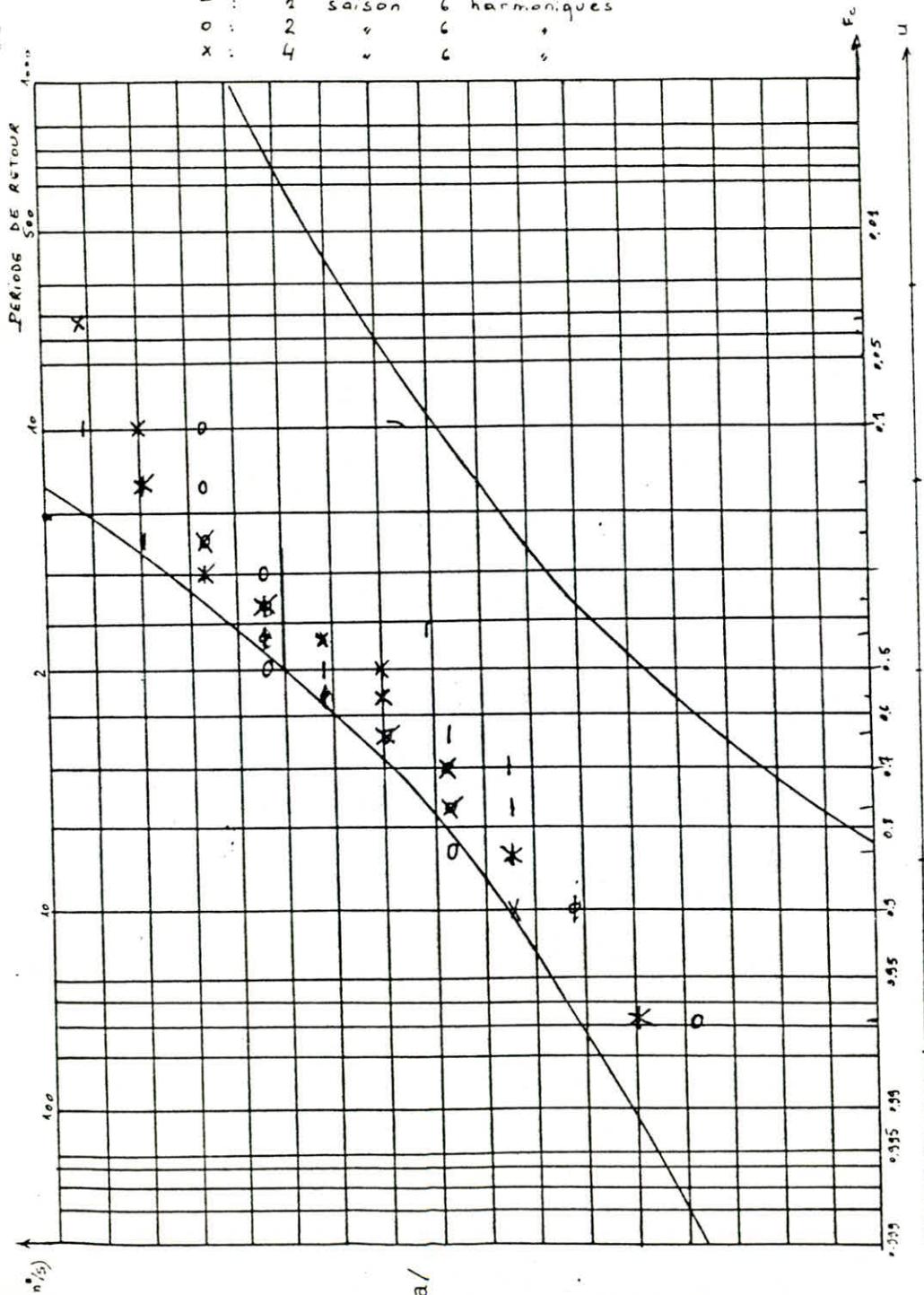


FIG XIII SERIE HISTORIQUE DES MOYENNES ANNUELLES DE LA STATION MEZAHIM.



Mézahim : 15 années de simulation.

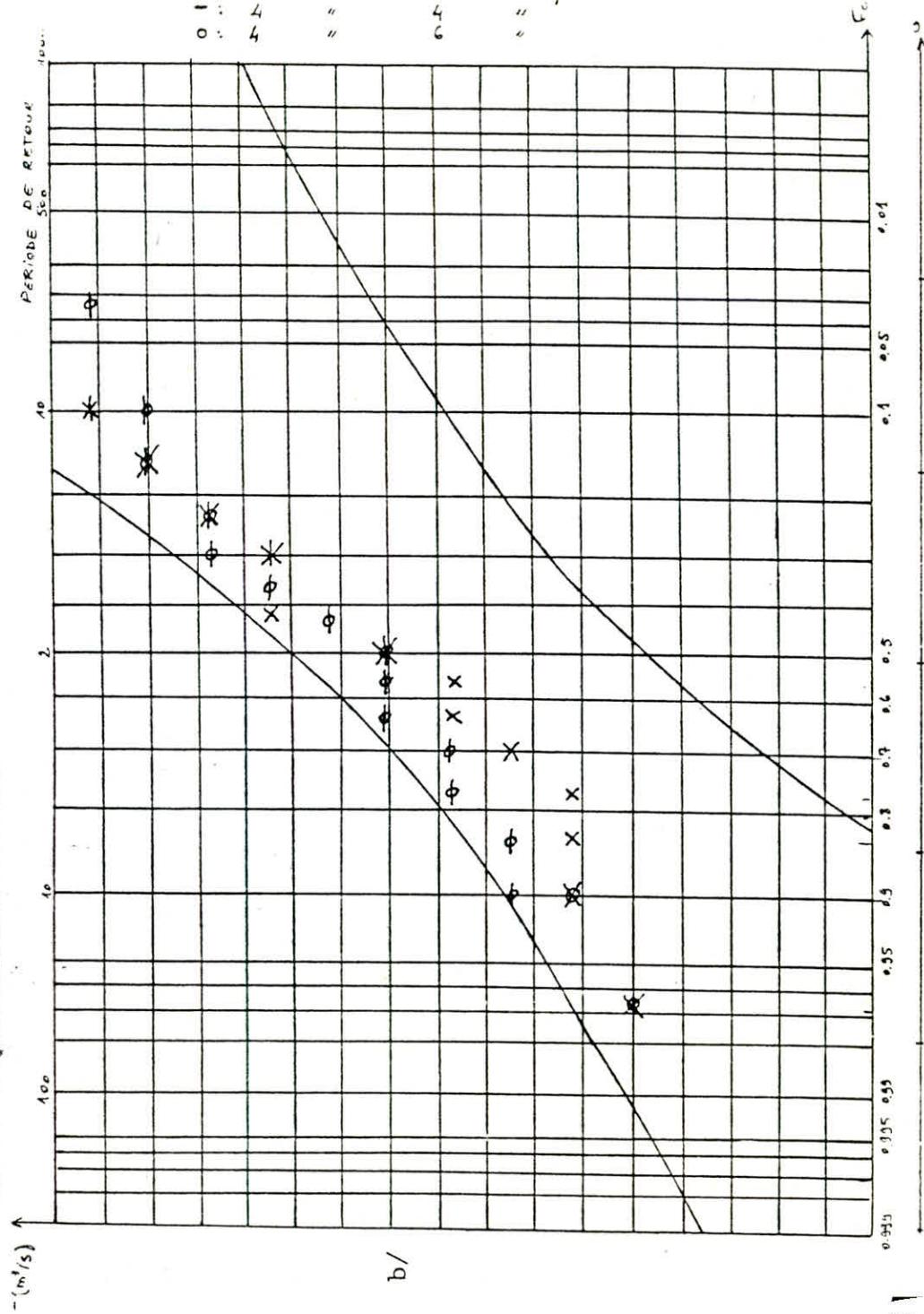
1 : 1 saison 6 harmoniques
 0 : 2 " 6 "
 x : 4 " 6 "



a/

Mézahim : 15 années de simulation.

x : 4 saisons 2 harmoniques
 - : 4 " 4 "
 0 : 4 " 6 "



b/

	X	σ	C_u
HIS	0.7	0.35	0.529
152H	0.9	0.28	0.329
252H	0.9	0.34	0.396
452H	0.9	0.31	0.365
154H	0.9	0.23	0.261
254H	0.9	0.31	0.343
454H	0.9	0.27	0.304
156H	0.9	0.31	0.342
256H	0.9	0.33	0.355
456H	0.9	0.26	0.290
Moy. Sim	0.9	0.29	0.332

Tableau N°11

ANNEXE U

Ajustement des débits maximums par la loi de GUMBEL de la série historique et des séries simulées à 15 années de LAKHDARIA.

FIG. XIV Série historique de LAKHDARIA

GRAPHES a,b,c,d : Séries simulées à 15 ans

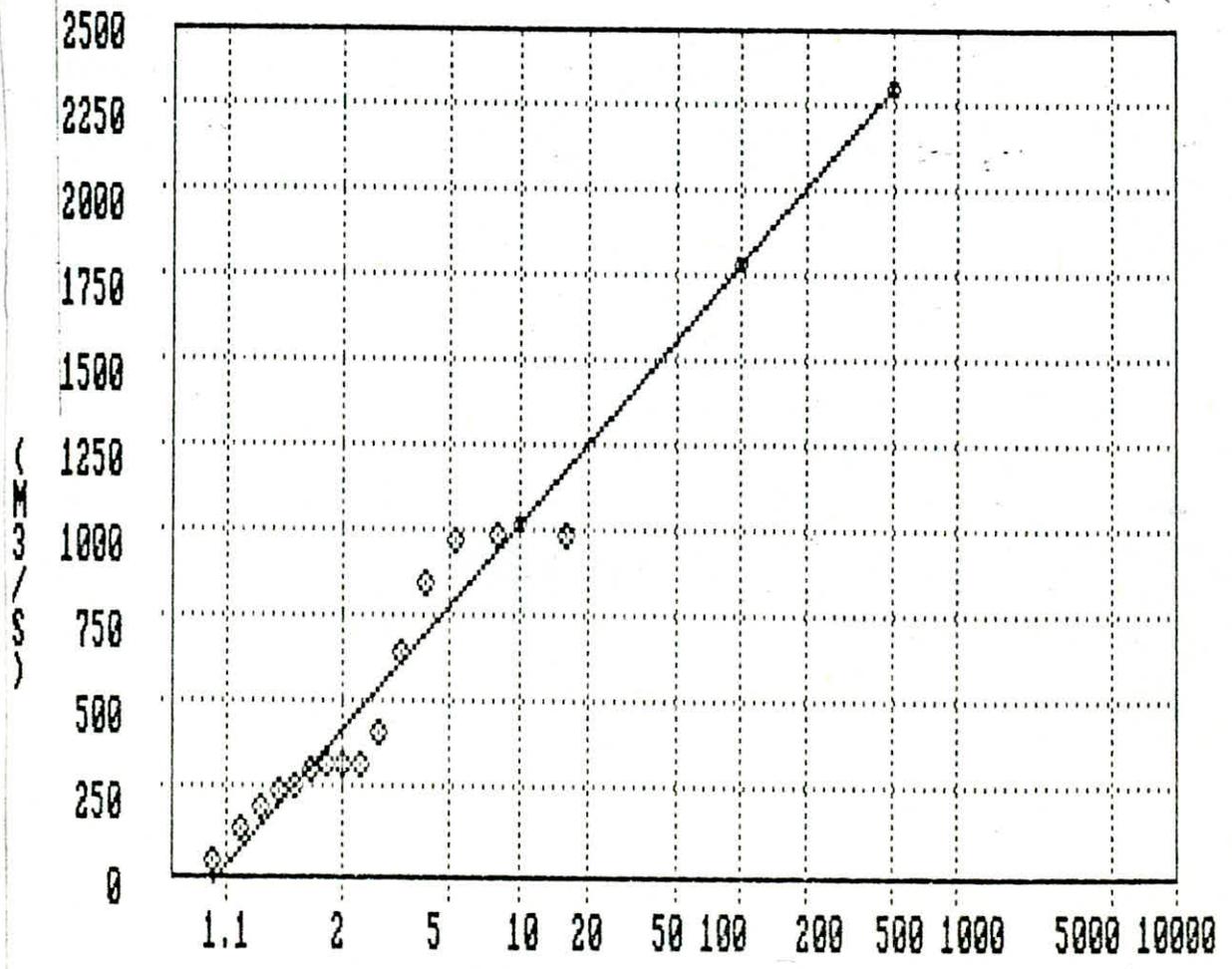
a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

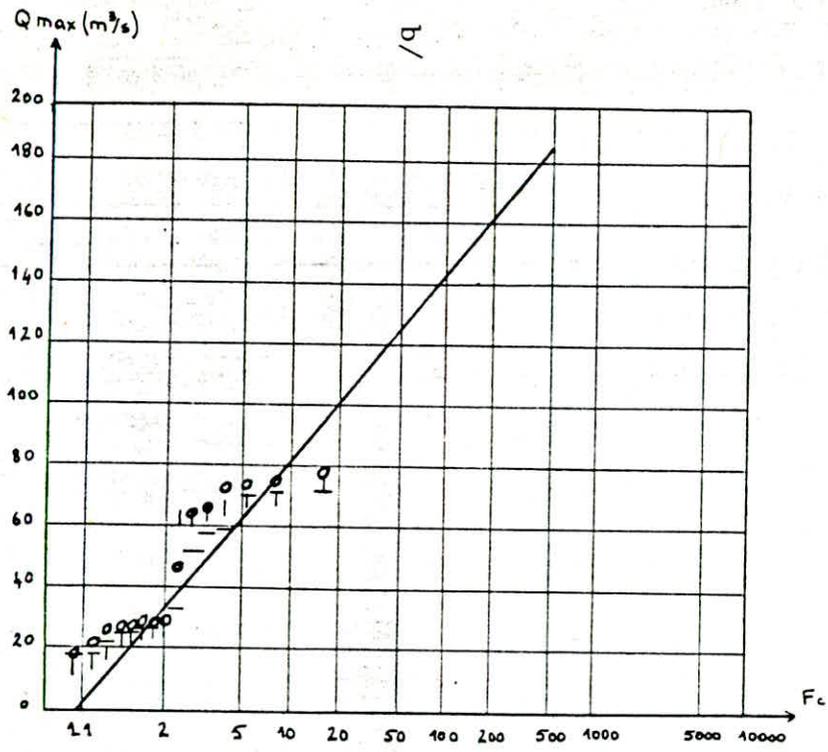
d. Meilleure simulation avec 4S (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

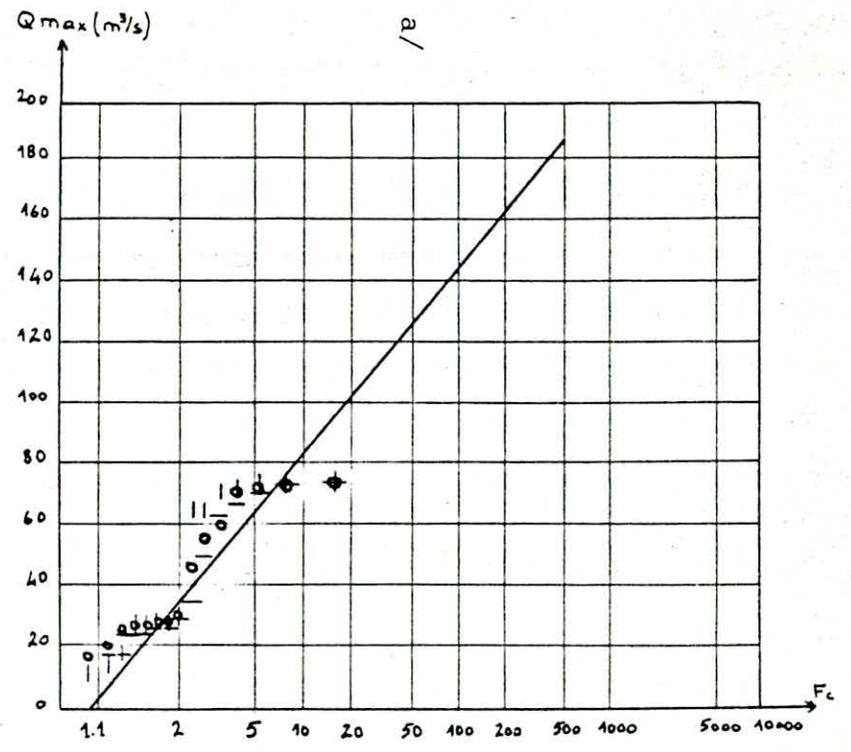
FIG XIV AJUSTEMENT DES DEBITS MAXIMIMS DE LA SERIE HISTORIQUE DE LA STATION DE LAKHDARIA.





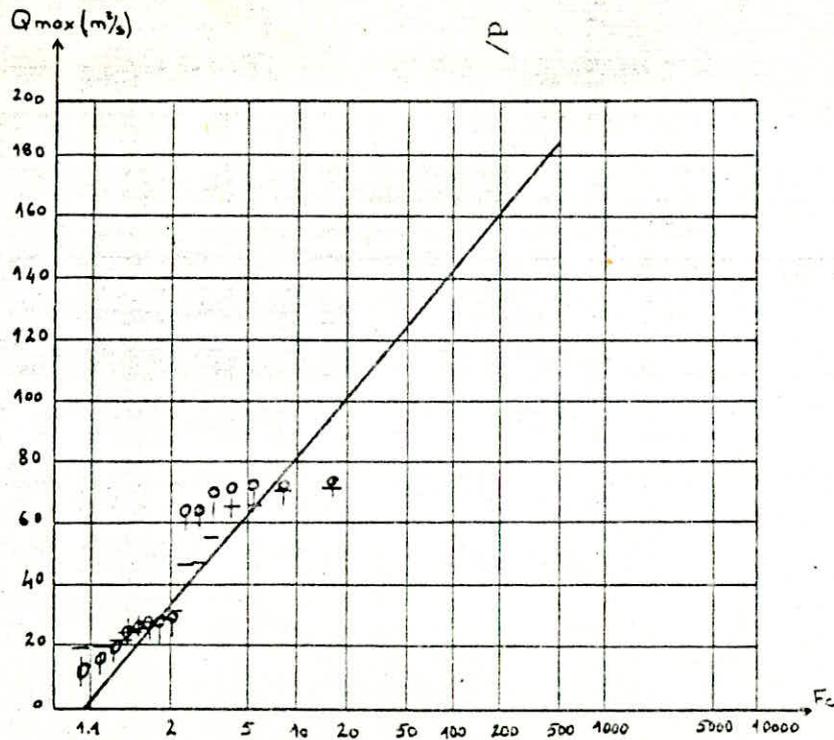
4 LKH 15 Si 2 (i)
 2 " " " 2 (-)
 1 " " " 2 (o)

Ajustement de débits maximum



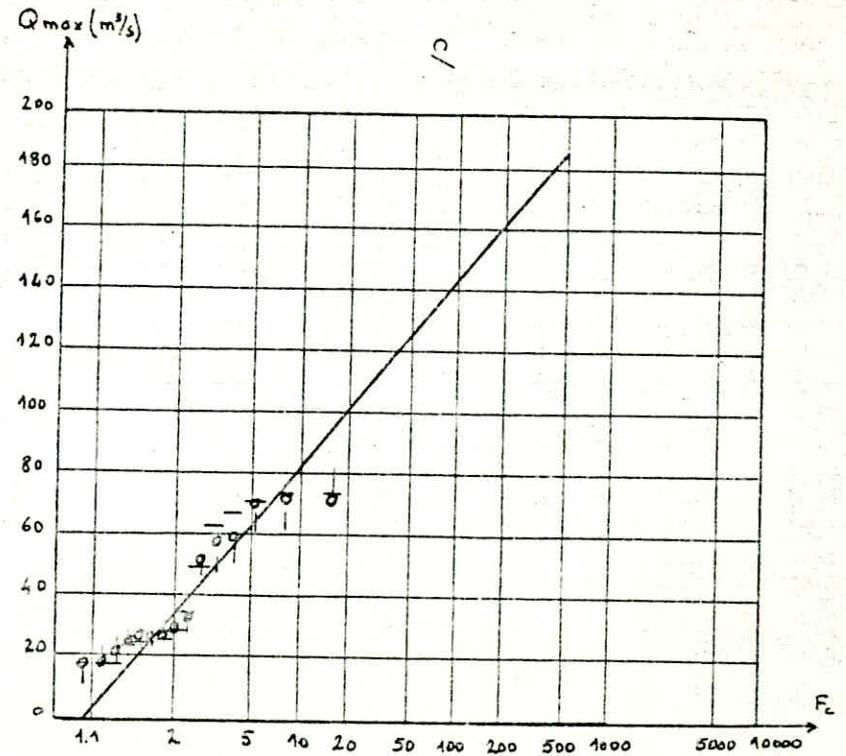
1 LKH 15 Si 4 (o)
 2 " " " 4 (-)
 4 " " " 4 (i)

Ajustement de débits maximum



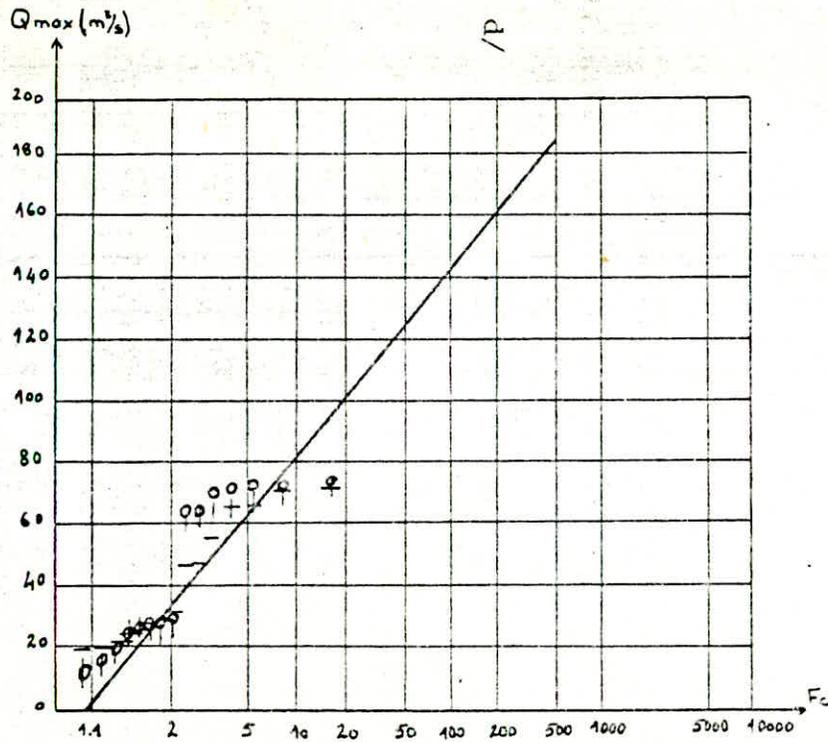
1 LKH 15 Si 6 (0)
 2 " " " 6 (-)
 4 " " " 6 (1)

Ajustement de débits maximum



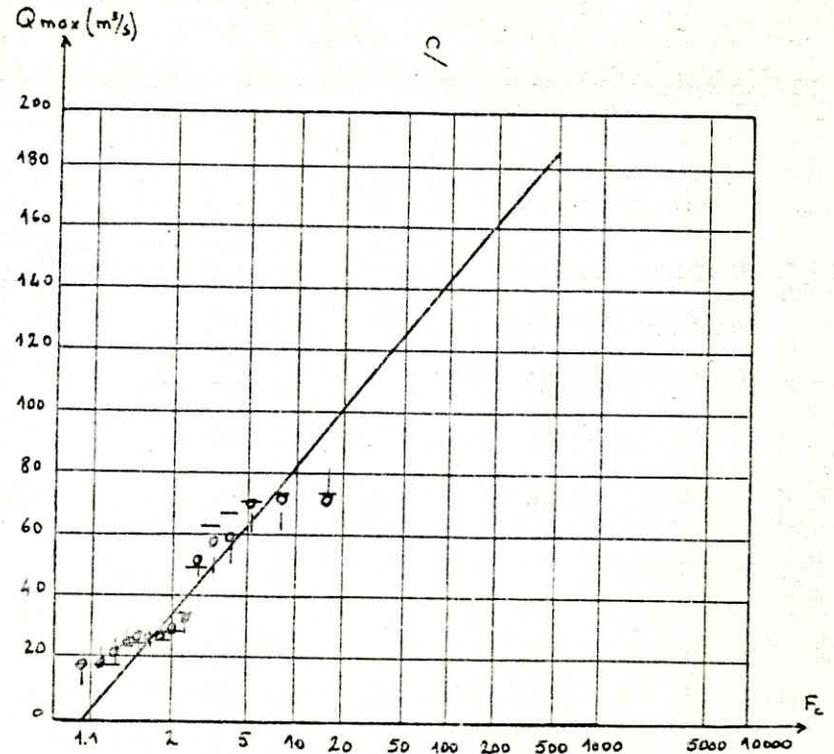
2 LKH 15 Si 2 (0)
 2 " " " 4 (-)
 2 " " " 6 (1)

Ajustement de débits maximum



- 1 LKH 15 Si 6 (0)
- 2 " " " 6 (-)
- 4 " " " 6 (1)

Ajustement de débits maximum



- 2 LKH 15 Si 2 (0)
- 2 " " " 4 (-)
- 2 " " " 6 (1)

Ajustement de débits maximum

ANNEXE VI

Ajustement des débits maximums par la loi de GUMBEL de la série historique de MEZAHIM.

FIG. XV Série historique de MEZAHIM

GRAPHERS a,b,c,d : Séries simulées à 15 ans

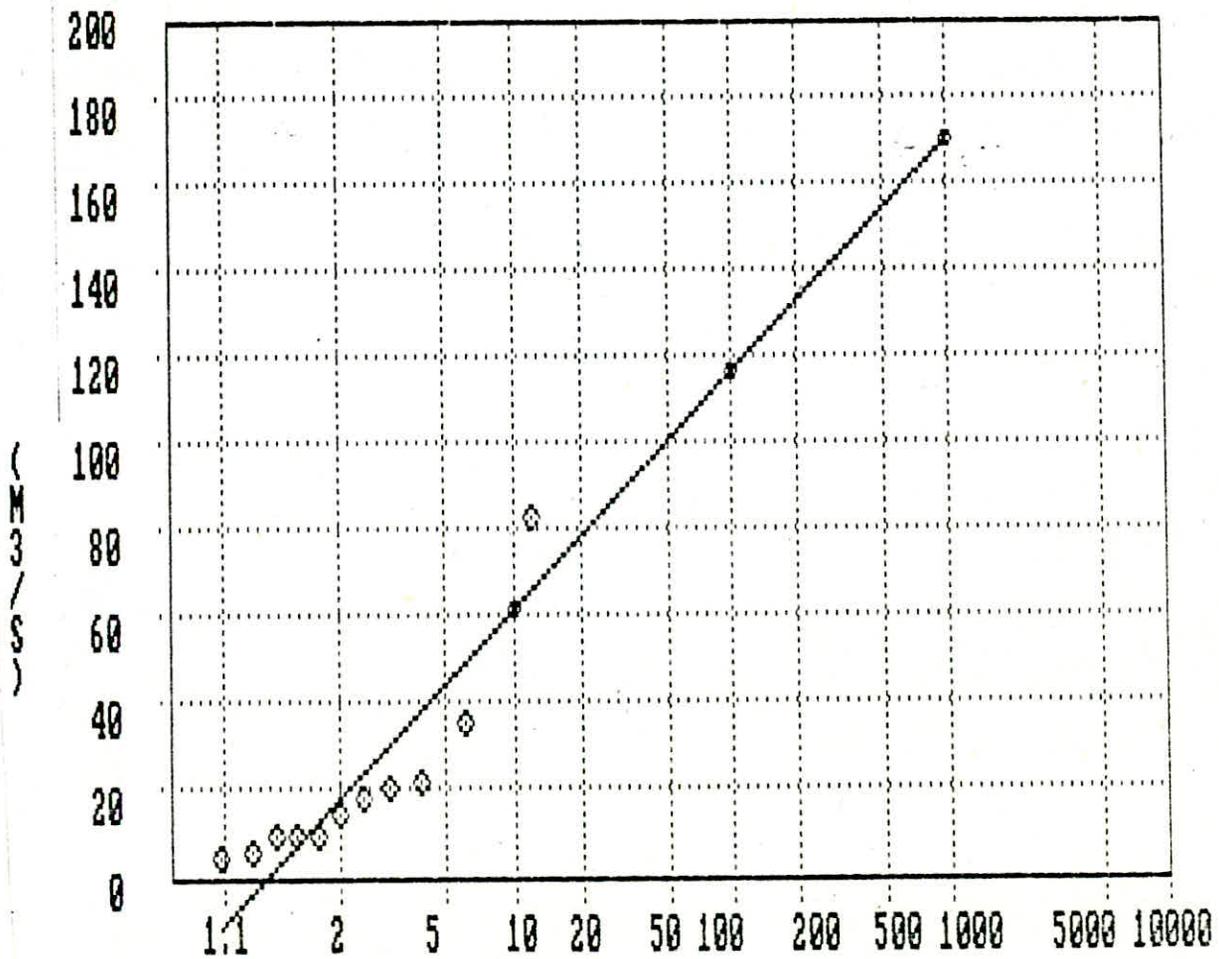
a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

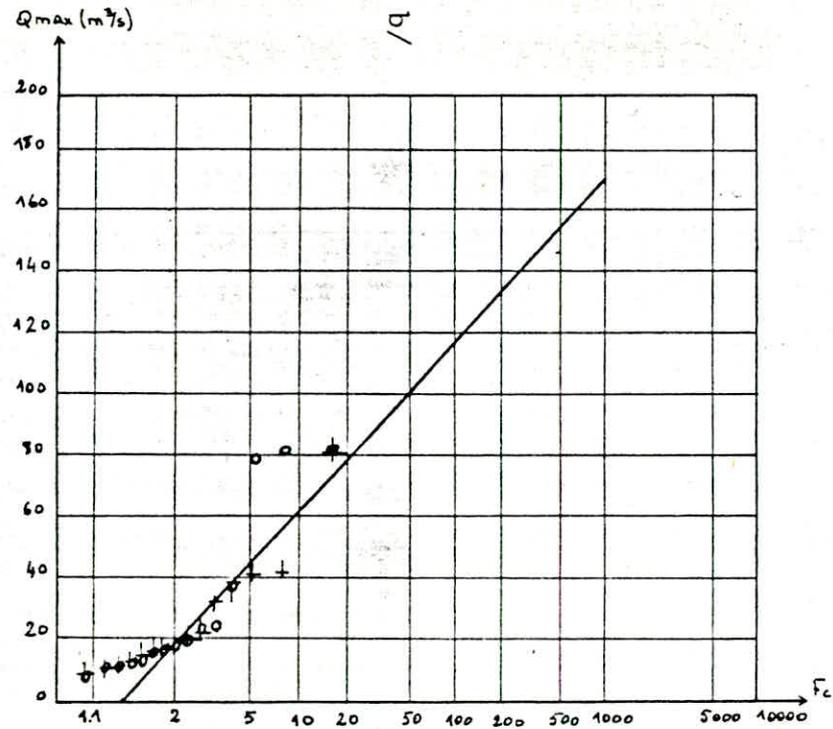
d. Meilleure simulation avec 45 (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

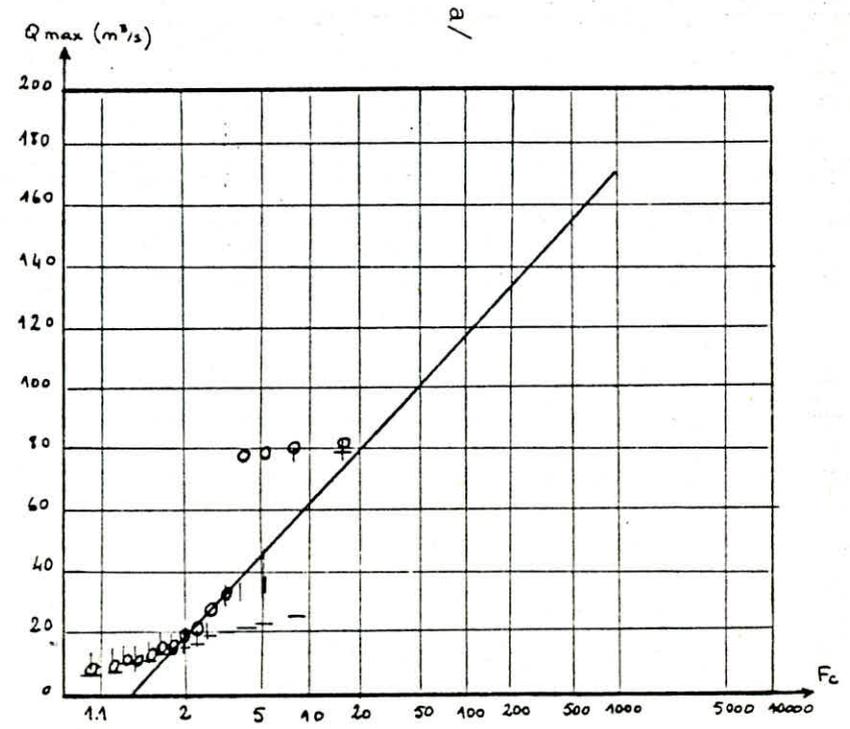
FIG XV
AJUSTEMENT DES DEBITS MAXIMIMS DE LA SERIE HISTORIQUE
DE LA STATION DE MEZAHIM.





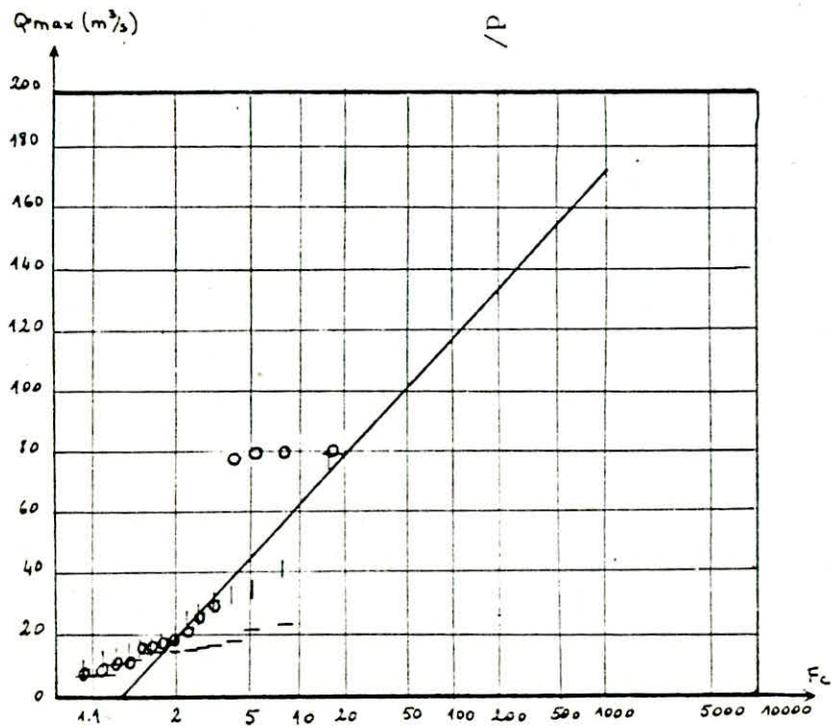
1 MEZA 15 Si 2 (0)
 2 " " * 2 (-)
 4 " " * 2 (1)

Ajustement de débits maximum



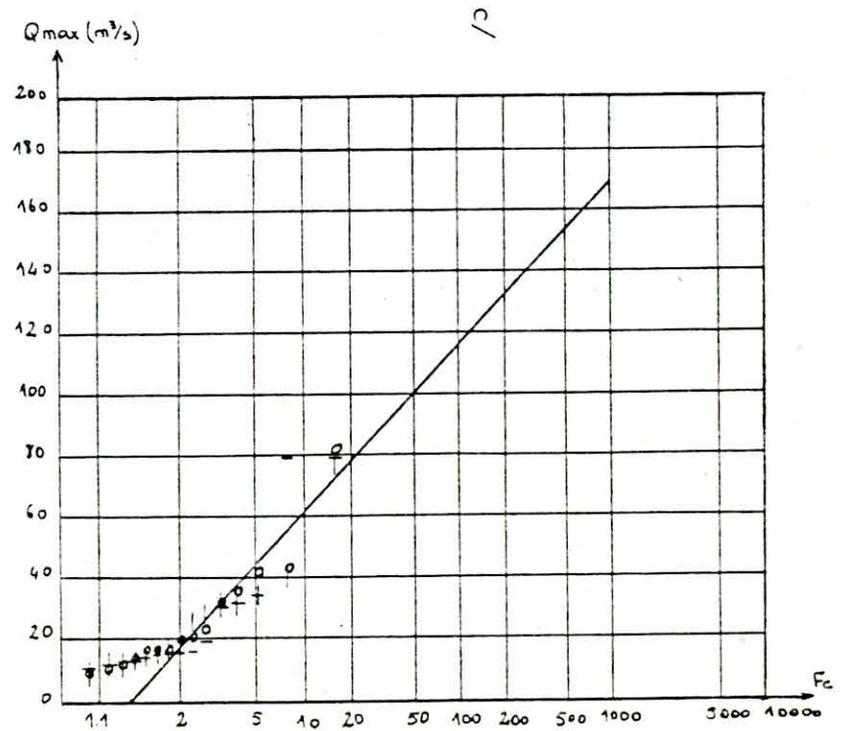
1 MEZA 15 Si 4 (0)
 2 " " " 4 (-)
 4 " " " 4 (1)

Ajustement de débits maximum



1 MEZA 15 Si 6
 2 " " " 6
 4 " " " 6

Ajustement de débits maximum



4 MEZA 15 Si 2 (0)
 4 " " " 4 (-)
 4 " " " 6 (1)

Ajustement de débits maximum

ANNEXE VII

Tracé des courbes de la moyenne mensuelle et de l'intervalle de confiance des écarts types de la série historique et des séries simulées à 15 ans de LAKHDARIA.

Tableau N°12 RESULTATS DES SIMULATIONS A 15 ANNEES DE
LAKHDARIA

FIG. XVI MOYENNES MENSUELLES

FIG. XVII ECARTS TYPES

FIG XVI

Station : LAKHDARIA Moyennes Mensuelles (s: saison, H: harmonique)
 SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 15 ANS
 — Historique —:1s - - -:2s — — —:4s
 Fig.4 Meilleure Simulation donnee par : 4s avec (2,4,6)H

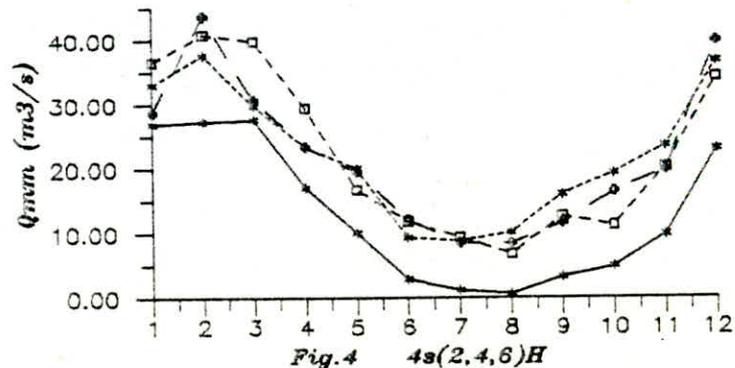
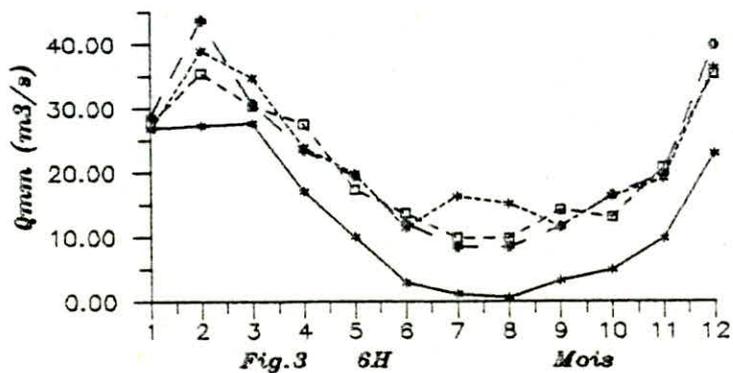
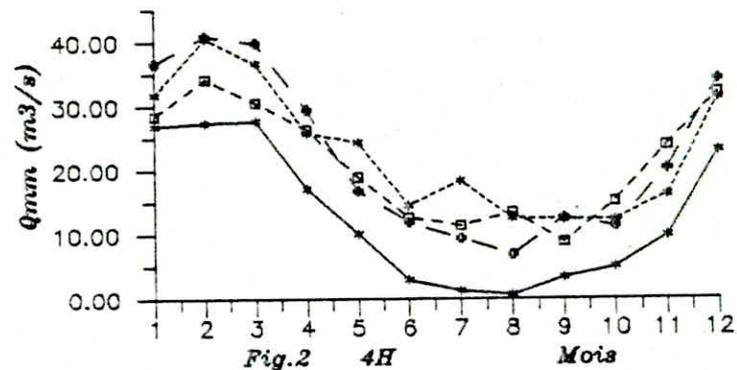
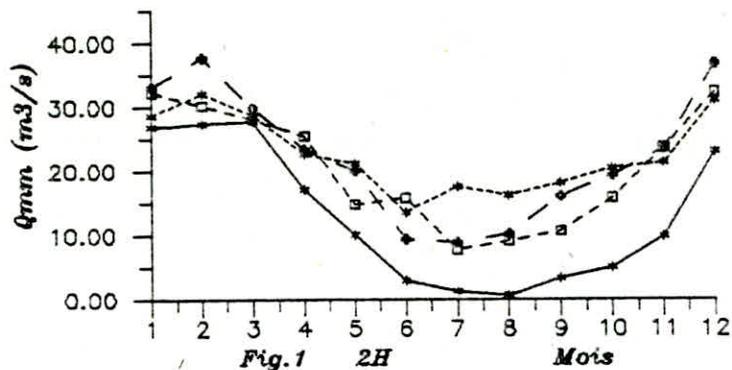
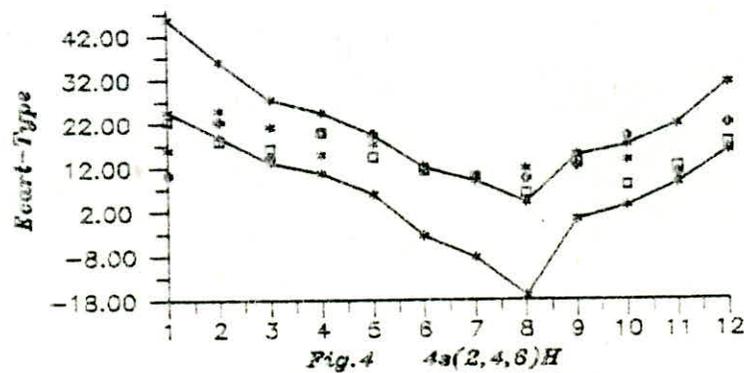
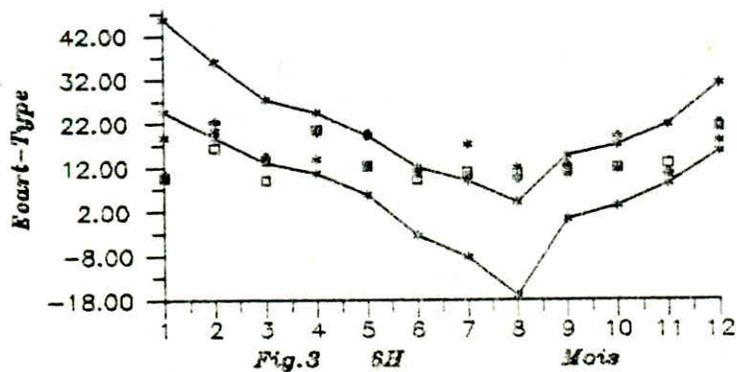
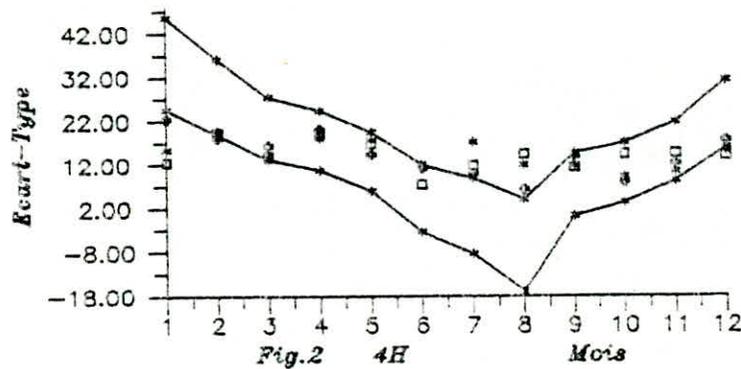
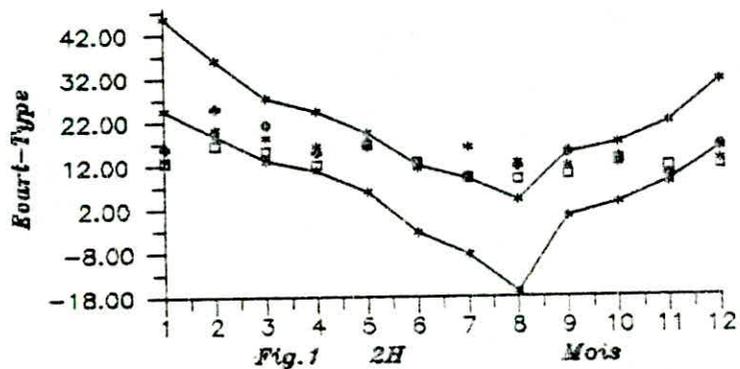


FIG XVII Station : LAKHDARIA Ecart-Types (s: saison, H: harmonique)
 SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 15 ANS
 Intervalle de confiance de la serie historique. * : 1s α : 2s : 4s
 Fig.4 Meilleure Simulation donnee par : 4s(2,4,6)H



	HIS	152H	252H	452H	154H	254H	454H	156H	256H	456H	M.5
J	26.9	28.7	32.2	33.1	31.8	28.5	36.6	26.7	27.6	29.9	30.6
F	27.4	32.1	30.2	37.7	40.5	34.2	40.9	39.0	35.5	38.8	36.5
M	27.7	28.7	28.0	29.8	36.7	30.5	39.8	34.7	33.0	34.9	32.6
A	17.0	22.5	25.4	23.3	25.7	26.3	29.4	23.8	27.5	25.2	25.5
M	10.0	21.1	14.7	20.0	24.3	18.9	16.7	19.8	17.3	19.5	19.1
J	2.89	13.5	15.8	9.29	14.5	12.6	11.8	11.4	13.6	11.7	12.7
J	1.17	17.5	7.68	8.82	18.3	11.3	9.36	16.3	9.87	11.4	12.3
A	0.63	16.2	9.09	10.1	12.5	13.3	6.81	15.2	9.79	11.1	11.6
S	3.28	18.1	10.6	16.0	12.3	8.79	12.6	11.6	14.2	10.3	12.7
O	4.95	20.4	15.7	19.3	12.3	15.1	11.2	16.3	13.1	16.6	15.7
N	9.77	31.2	23.5	23.4	16.1	23.8	20.1	19.0	20.7	18.9	21.9
D	22.9	31.0	32.2	36.6	31.2	32.0	34.1	36.1	35.3	38.3	34.1

Tableau N°12

ANNEXE IIX

Tracé des courbes de la moyenne mensuelle et de l'intervalle de confiance des écarts types de la série historique et des séries simulées à 15 ans de MEZAHIM.

Tableau N°13 RESULTATS DES SIMULATIONS A 15 ANNEES DE
MEZAHIM

FIG. XIIX MOYENNES MENSUELLES

FIG. XIX ECARTS TYPES

FIG. 4 MEILLEURE SIMULATION DONNEE PAR : 4s avec (2,4,6)H
 Station : MEZAHIM Moyennes Mensuelles (s: saison, H: harmonique)
 SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 15 ANS
 —: Historique - - - : 1s - - - - : 2s - - - - - : 4s
 Fig. 4 Meilleure Simulation donnee par : 4s avec (2,4,6)H

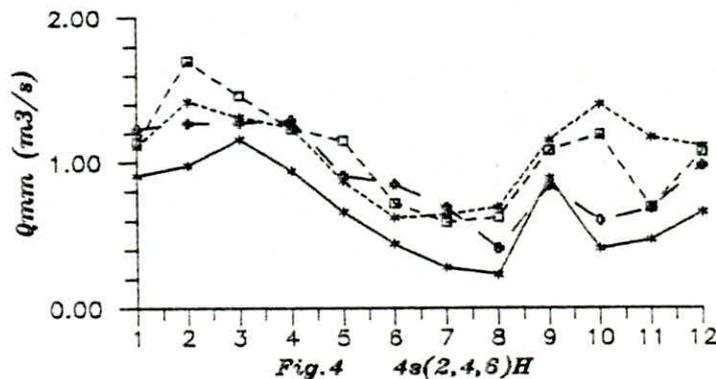
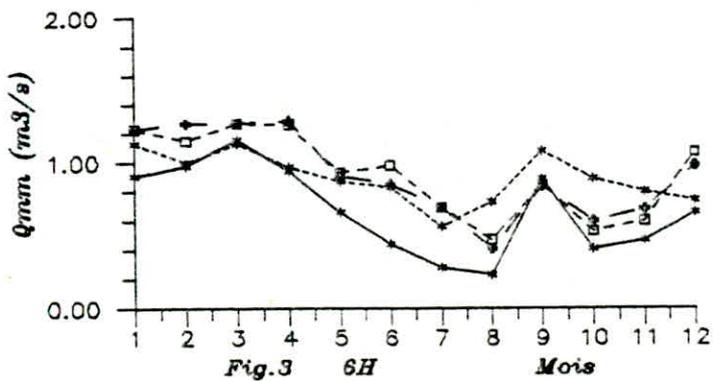
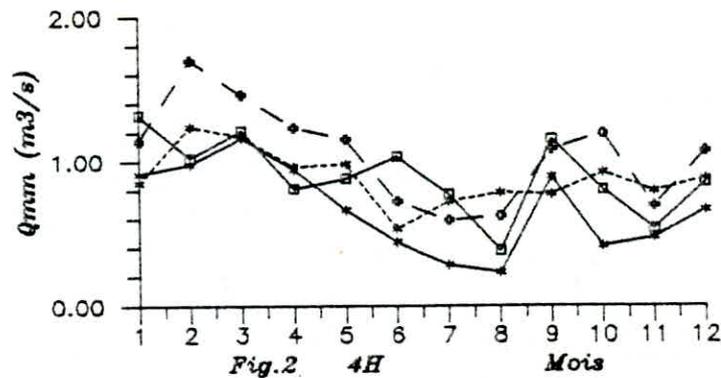
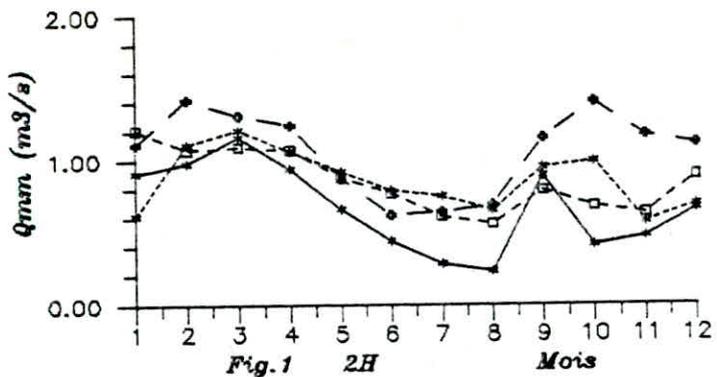
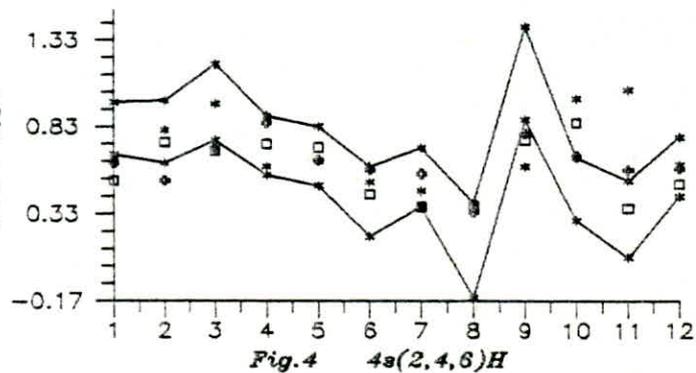
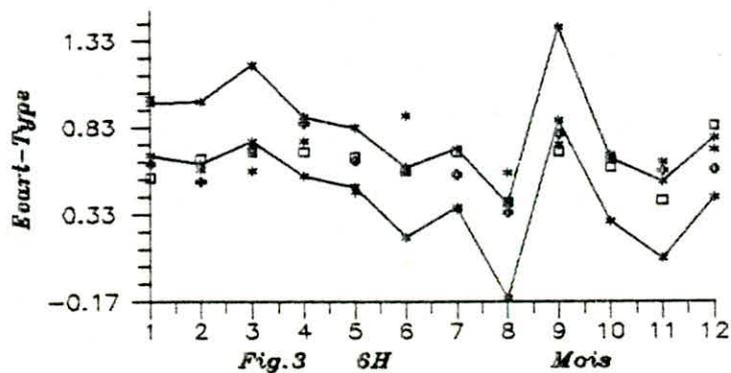
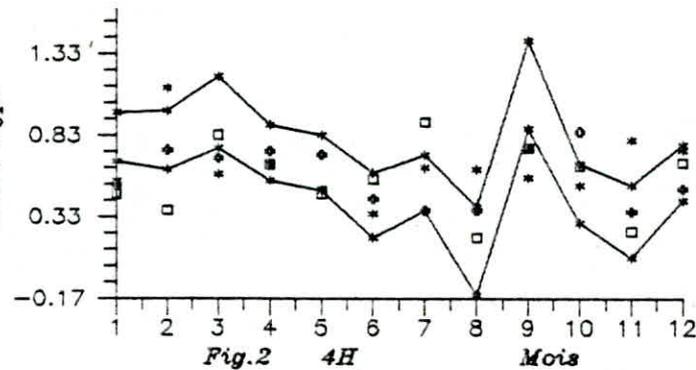
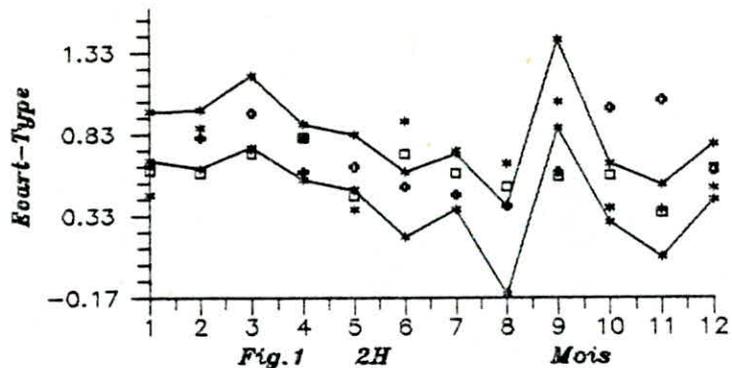


FIG.4

Station : MEZAHIM Ecart Types (s: saison, H: harmonique)
 SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 15 ANS
 -----:intervalle de confiance de la serie historique.
 Fig.4 Meilleure Simulation donnee par : 4s(2,4,6)H

*:1s □:2s :4s



	HIS	152H	252H	452H	154H	254H	454H	156H	256H	456H	M.S
J	0.91	0.62	1.21	0.78	0.85	1.32	0.87	1.13	1.23	0.93	0.99
F	0.98	1.11	1.07	1.12	1.24	1.02	1.13	1.00	1.15	1.03	1.09
M	1.16	1.21	1.09	1.40	1.17	1.21	1.21	1.13	1.27	1.25	1.22
A	0.94	1.06	1.07	1.06	0.96	0.81	1.17	0.97	1.26	0.89	1.03
M	0.66	0.92	0.88	1.04	0.98	0.88	0.93	0.87	0.93	1.04	0.94
J	0.44	0.79	0.77	0.64	0.53	1.03	0.37	0.83	0.98	0.56	0.72
J	0.28	0.75	0.61	0.34	0.72	0.77	0.48	0.56	0.69	0.44	0.59
A	0.23	0.65	0.56	0.39	0.78	0.38	0.75	0.73	0.47	0.61	0.59
S	0.89	0.95	0.79	0.81	0.77	1.15	0.95	1.08	0.85	1.19	0.95
O	0.41	0.99	0.68	1.23	0.92	0.80	1.03	0.89	0.53	0.98	0.89
N	0.47	0.57	0.63	0.71	0.79	0.53	0.78	0.80	0.60	0.88	0.70
D	0.66	0.69	0.89	0.81	0.88	0.85	0.82	0.74	1.07	0.81	0.84

Tableau N°13

ANNEXE IX

Ajustement des moyennes annuelles par la loi normale (GAUSS) de la série simulée à 50 ans prise comme historique et des séries simulées à 50 ans de la station LAKHDARIA.

TABLEAU N°14 RESULTATS DES SERIES SIMULEES A 50 ANNEES

FIG. XX Série historique de LAKHDARIA

GRAPHES a,b,c,d : Séries simulées à 50 ans

a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

d. Meilleure simulation avec 4S (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

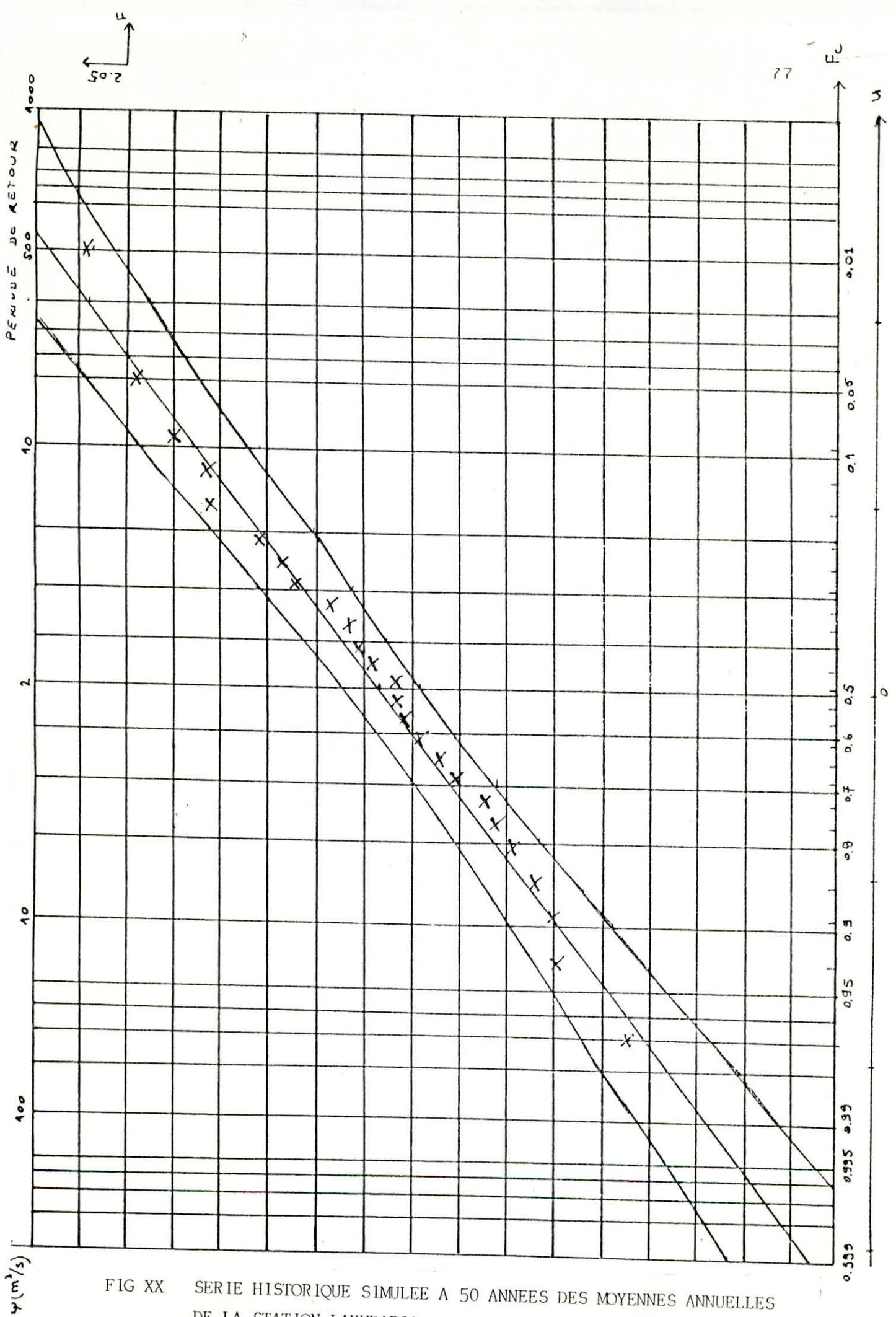
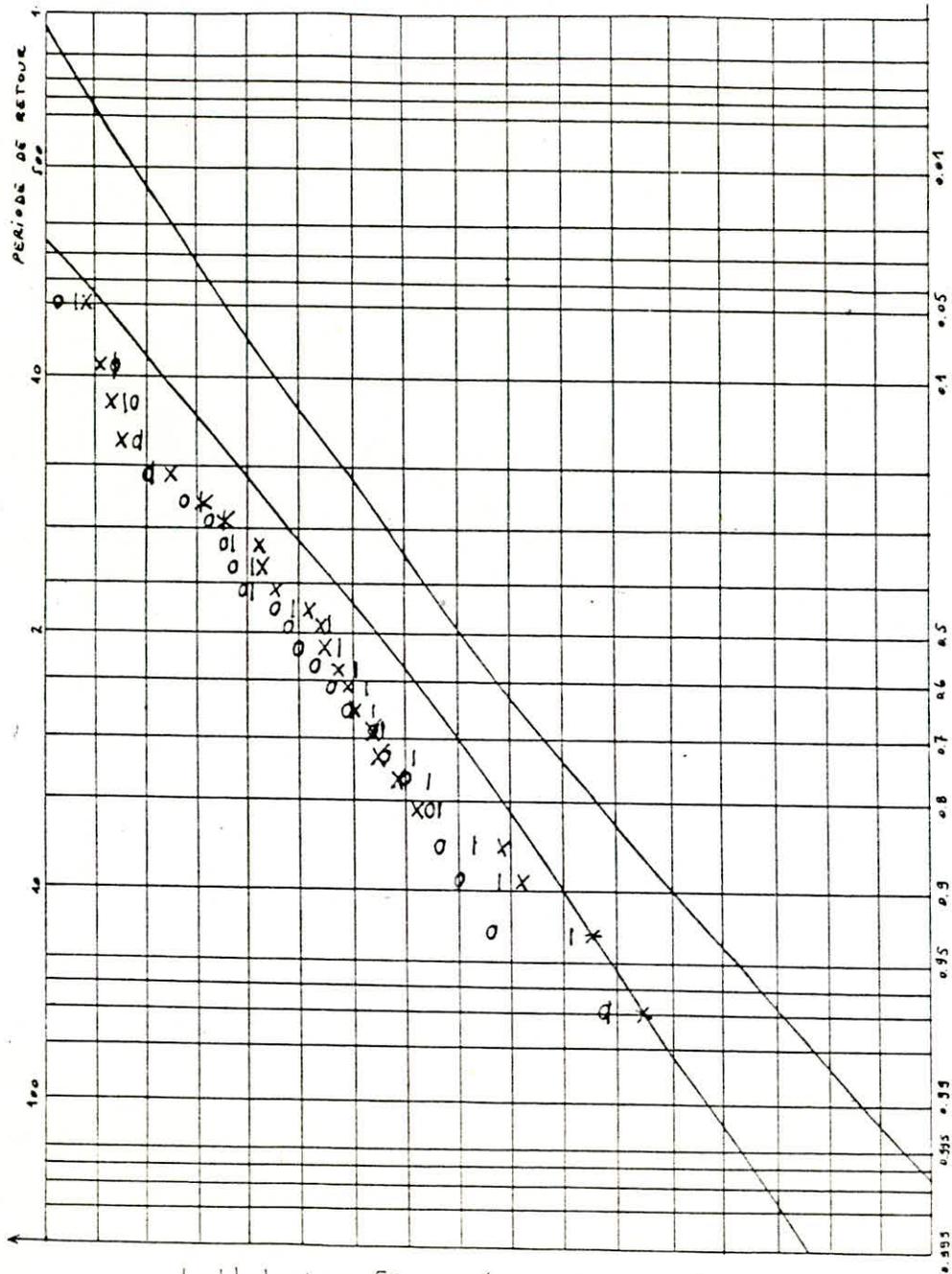


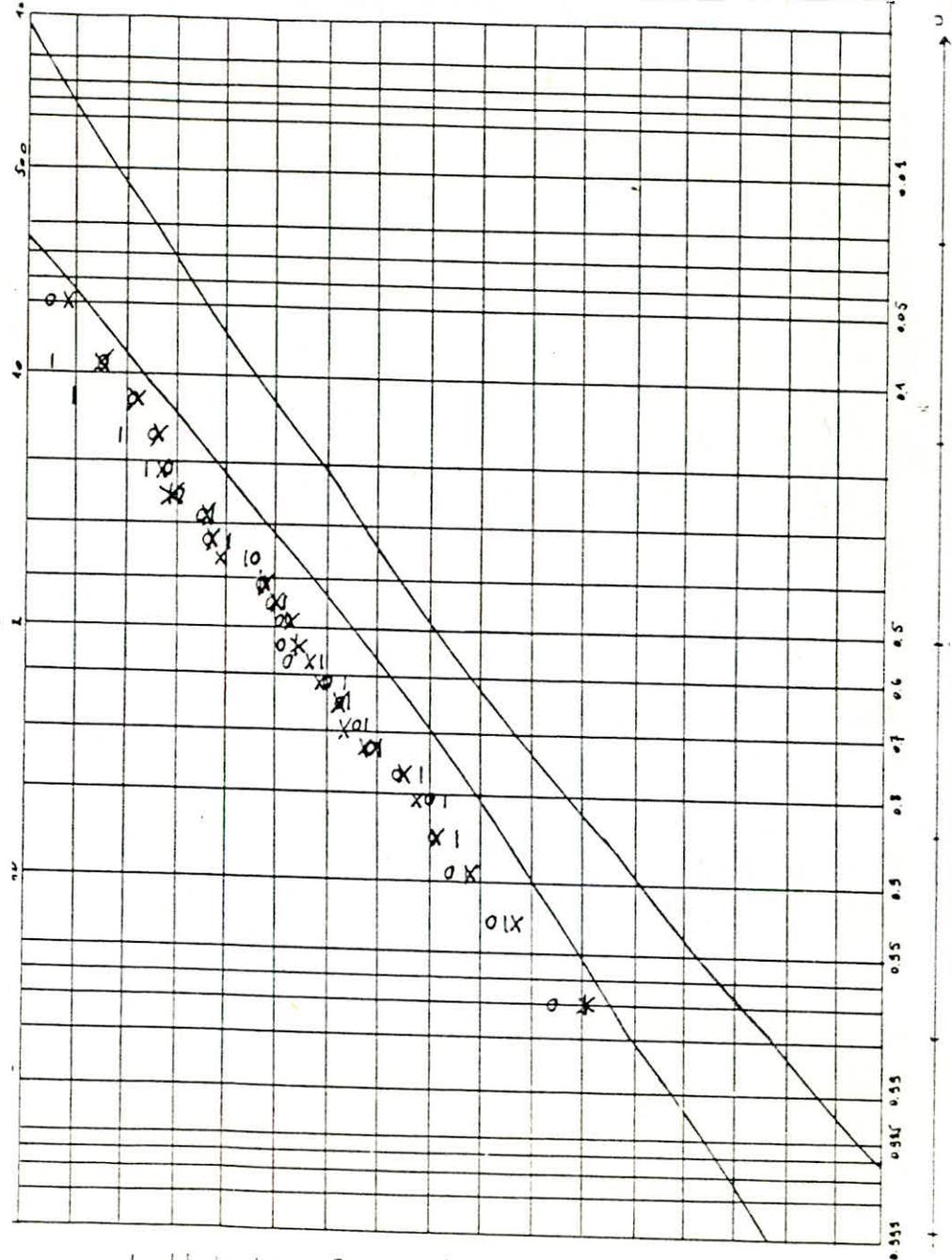
FIG XX SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 50 ANNEES DES MOYENNES ANNUELLES DE LA STATION LAKHDARIA.



Lakhdaria: 50 années de simulation

- o : 1 saison 4 harmoniques
- 1 : 2 " 4 "
- x : 4 " 4 "

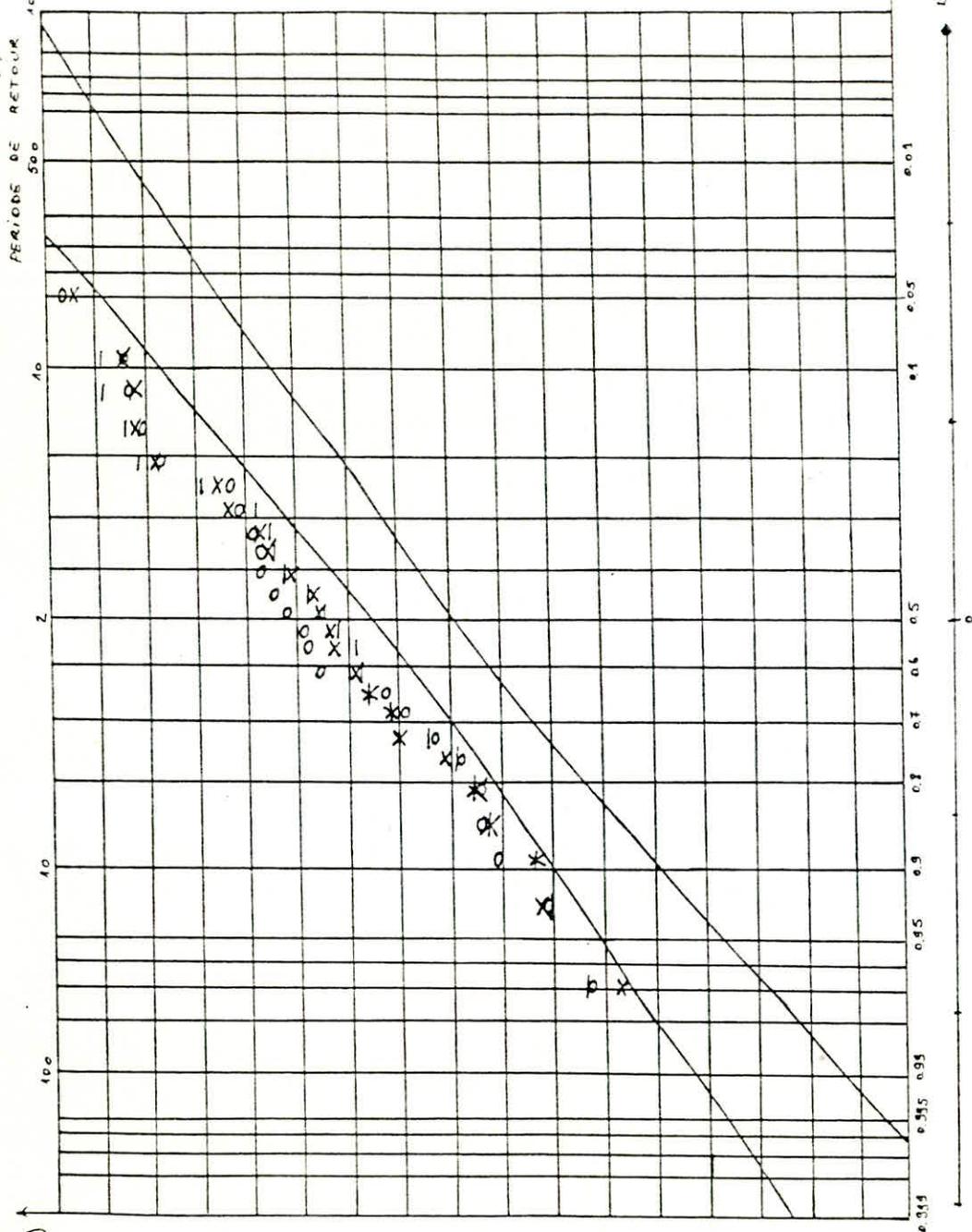
a/



Lakhdaria: 50 années de simulation

- o : 1 saison 2 harmoniques
- 1 : 2 " 2 "
- x : 4 " 2 "

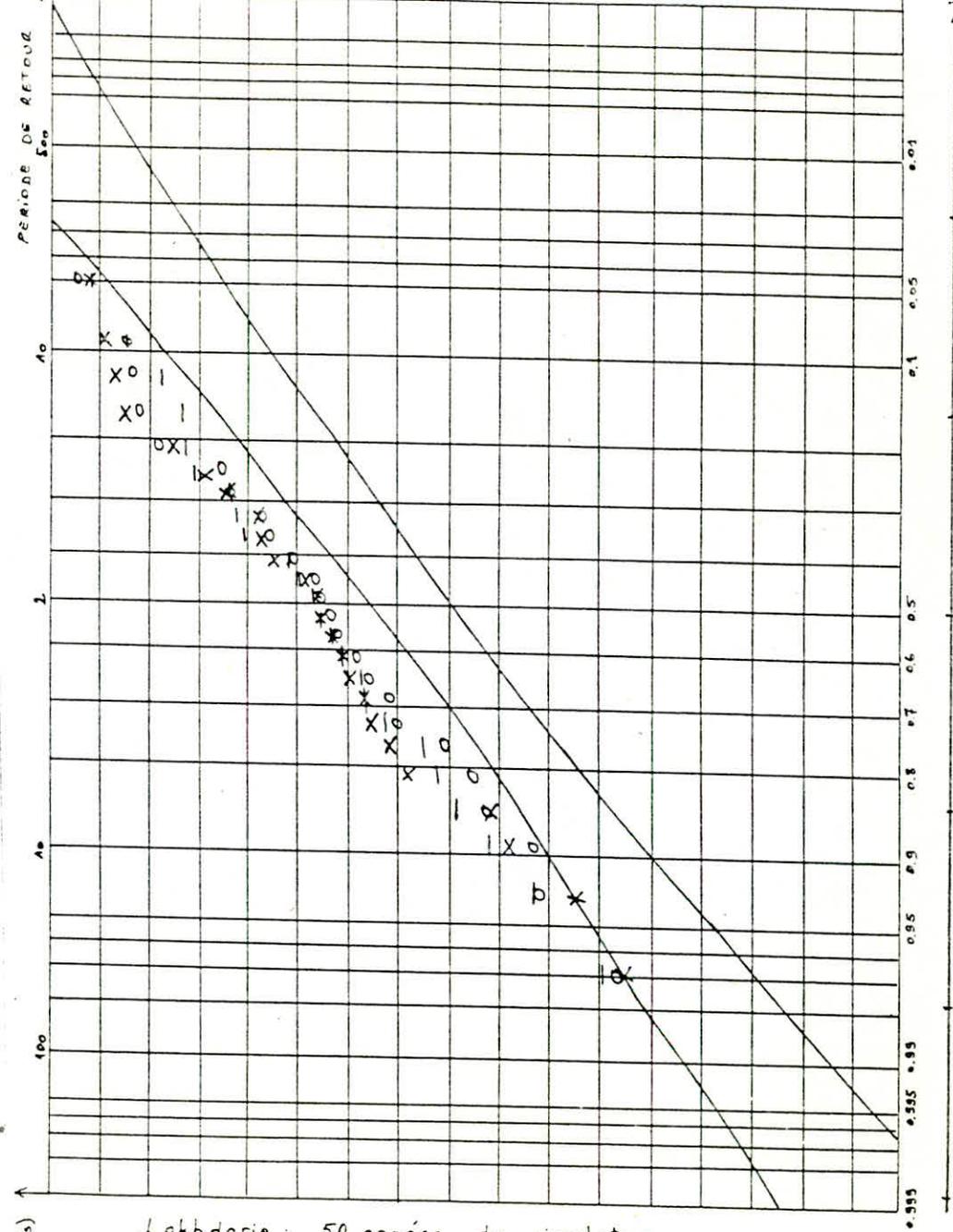
b/



Lakhdaria : 50 années de simulation

o	:	1	saison	6	harmoniques
1	:	2	"	6	"
x	:	4	"	6	"

c/



Lakhdaria : 50 années de simulation

1	:	4	saisons	2	harmoniques
o	:	4	"	4	"
x	:	4	"	6	"

d/

	X	σ	C_v
HIS	20.0	6.32	0.316
152H	24.1	6.33	0.263
252H	23.9	6.67	0.279
452H	23.9	6.35	0.266
154H	24.6	6.11	0.249
254H	24.3	6.06	0.250
454H	24.3	6.22	0.256
156H	24.5	5.71	0.233
256H	24.4	6.46	0.265
456H	24.3	5.93	0.244
Moy. Sim.	24.26	6.20	0.256

Tableau N°14

ANNEXE X

Ajustement des moyennes annuelles par la loi normale (GAUSS) de la série simulée à 50 ans prise comme historique et des séries simulées à 50 ans de la station MEZAHIM.

Tableau N°15 RESULTATS DES SERIES SIMULEES A 50 ANNEES

FIG. XXI Série historique de MEZAHIM

GRAPHEs a,b,c,d : Séries simulées à 50 ans

a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

d. Meilleure simulation avec 4S (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

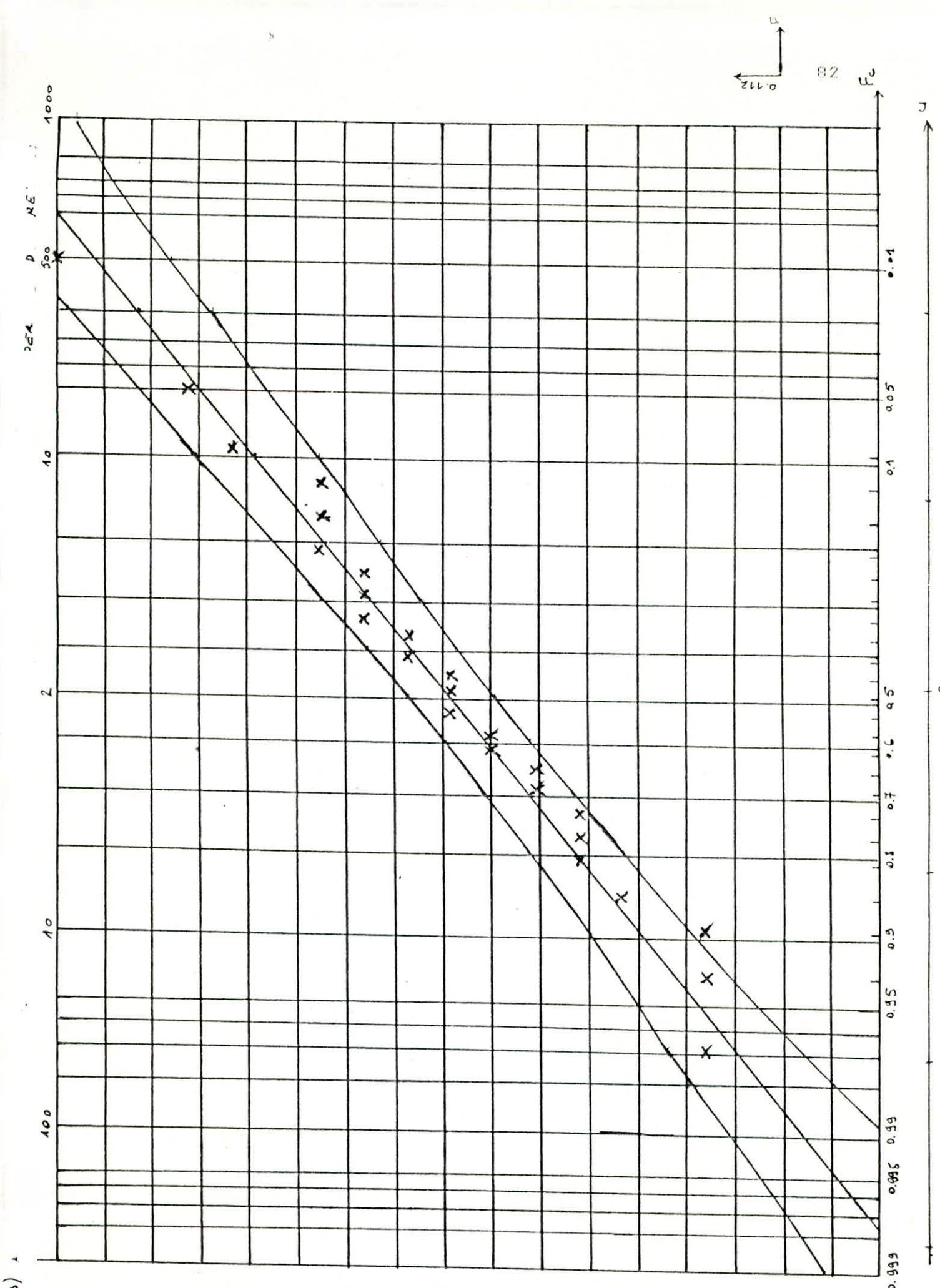
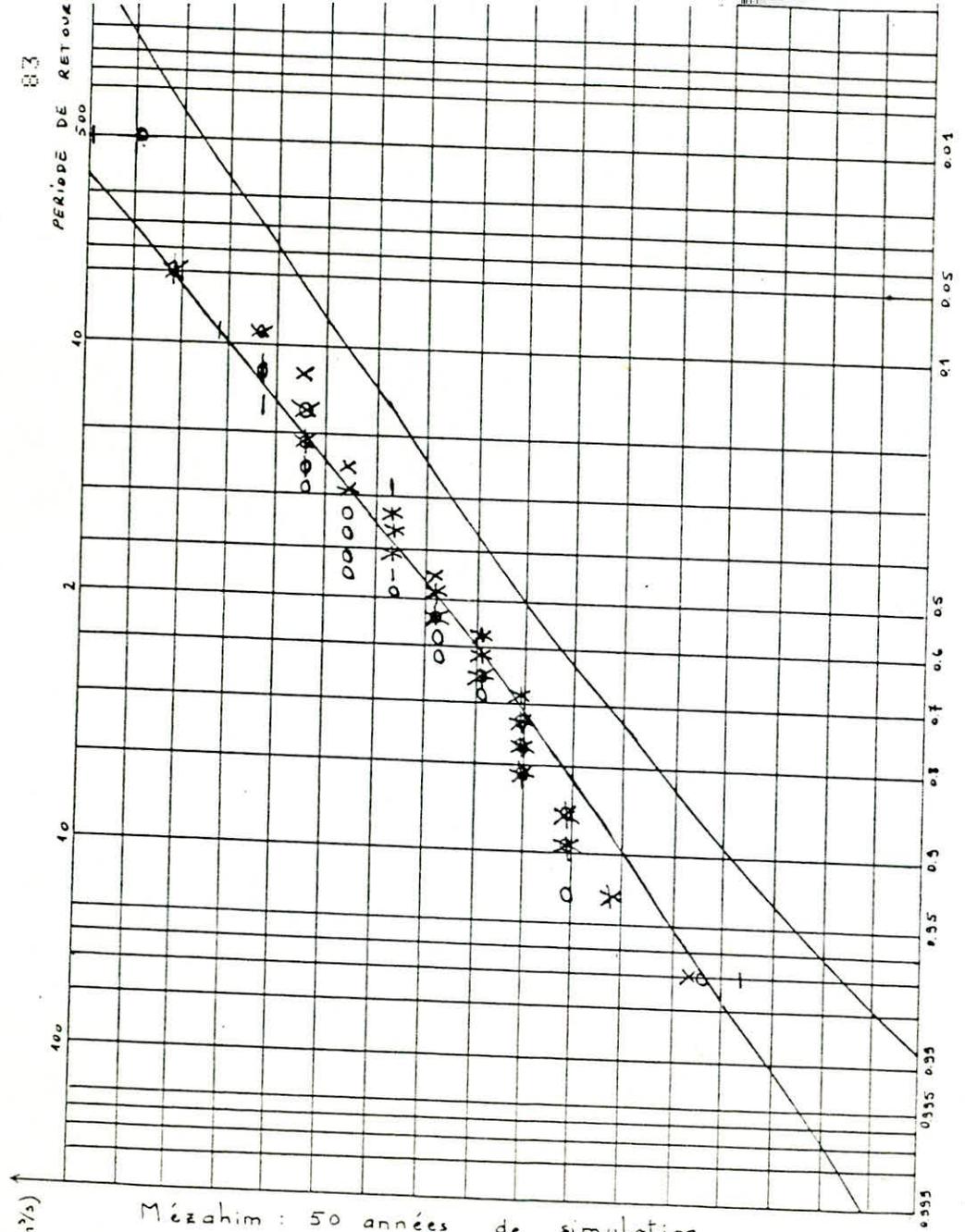
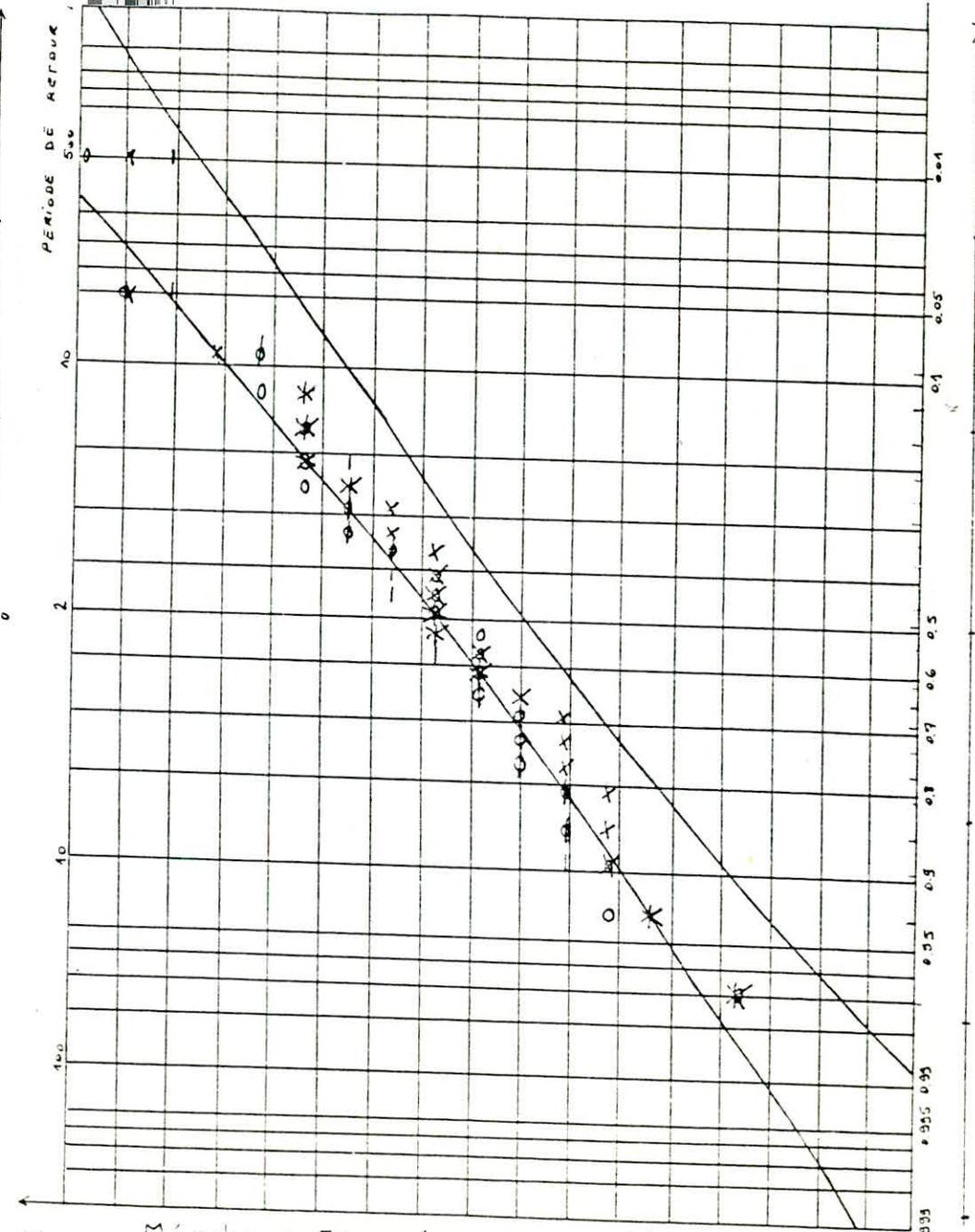


FIG XXI SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 50 ANNEES DES MOYENNES ANNUELLES DE LA STATION MEZAHIM.



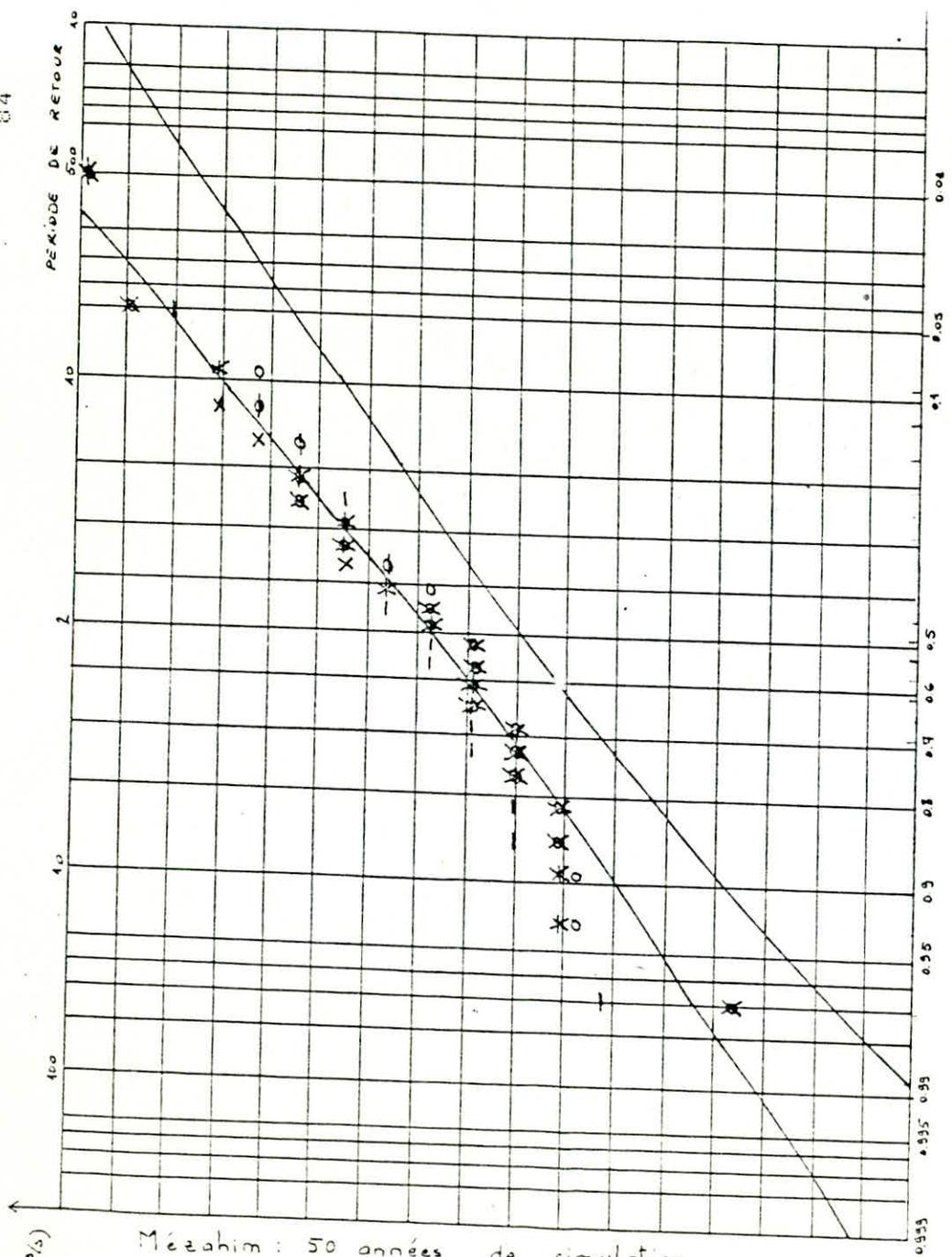
Mézahim : 50 années de simulation
 o : 1 saison 2 harmoniques
 - : 2 " 2 "
 x : 4 " 2 "

a/

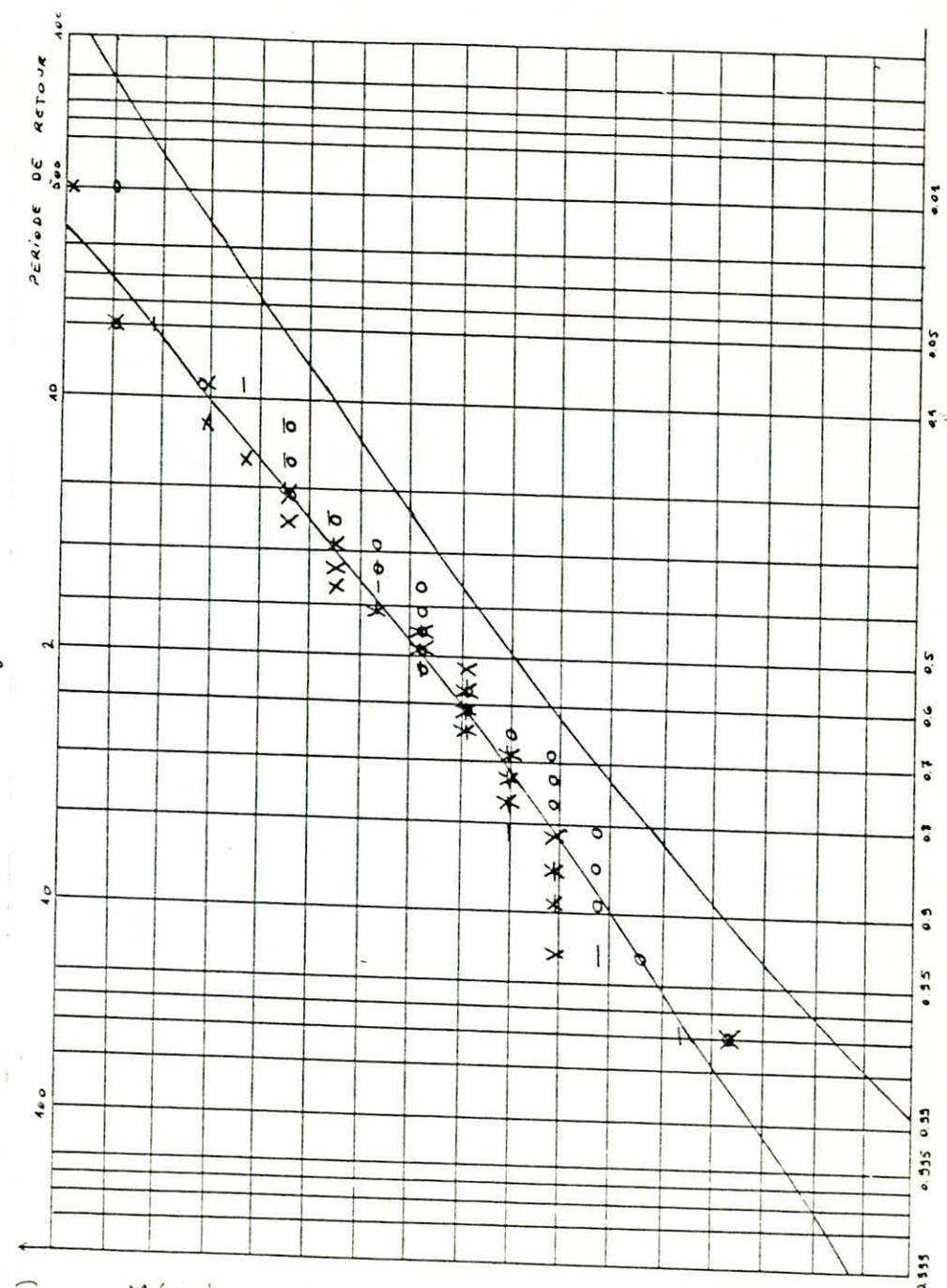


Mézahim : 50 années de simulation
 o : 1 saison 4 harmoniques
 - : 2 " 4 "
 x : 4 " 4 "

b/



Mézahim : 50 années de simulation
 o : 1 saison 6 harmoniques
 - : 2 " 6 "
 x : 4 " 6 "



Mézahim : 50 années de simulation
 o : 4 saisons 4 harmoniques
 - : 4 " 2 "
 x : 1 " 6 "

	X	σ	C_v
H15	1.0	0.36	0.366
152H	1.1	0.33	0.300
252H	1.1	0.31	0.284
452H	1.1	0.35	0.324
154H	1.1	0.32	0.285
254H	1.1	0.32	0.284
454H	1.1	0.33	0.295
156H	1.1	0.33	0.300
256H	1.2	0.31	0.266
456H	1.1	0.34	0.299
Moy. Sim.	1.1	0.327	0.293

Tableau N°15

ANNEXE XI

Ajustement des débits maximums par la loi de GUMBEL de la série simulée à 50 ans prise comme historique de LAKHDARIA.

FIG. XXII Série historique de LAKHDARIA

GRAPHES a,b,c,d : Séries simulées à 50 ans

a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

d. Meilleure simulation avec 4S (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

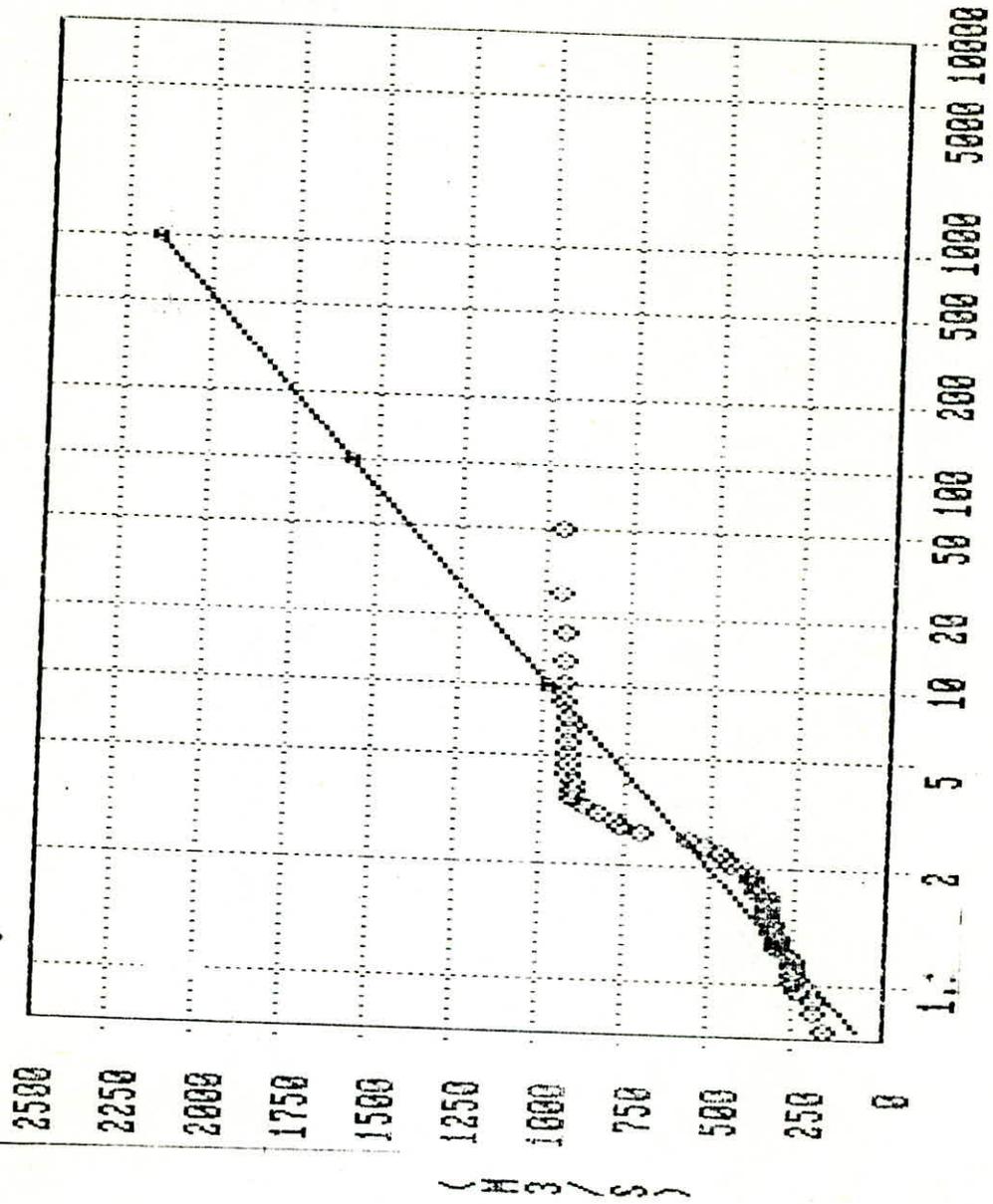
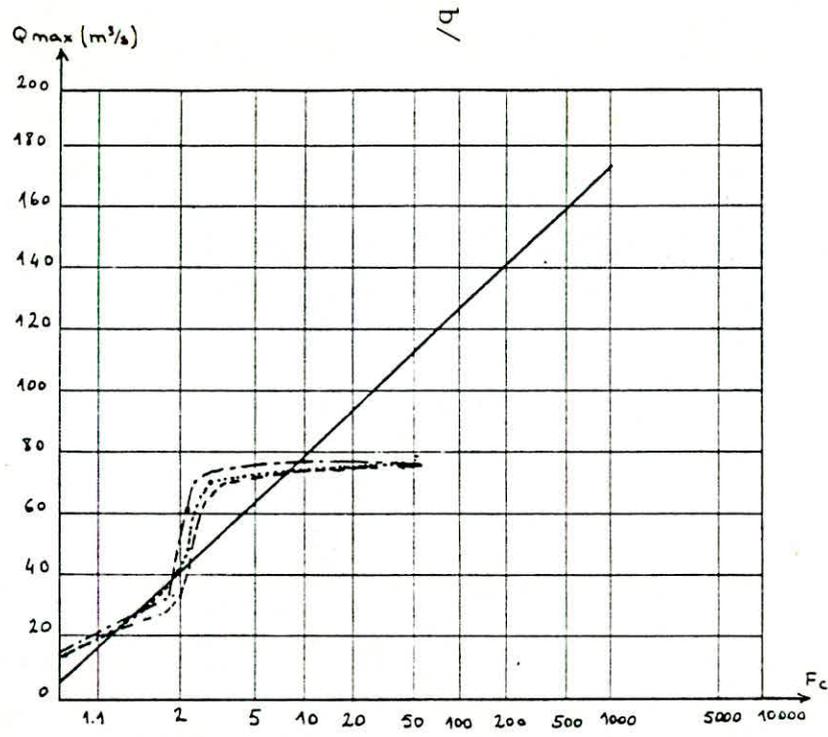
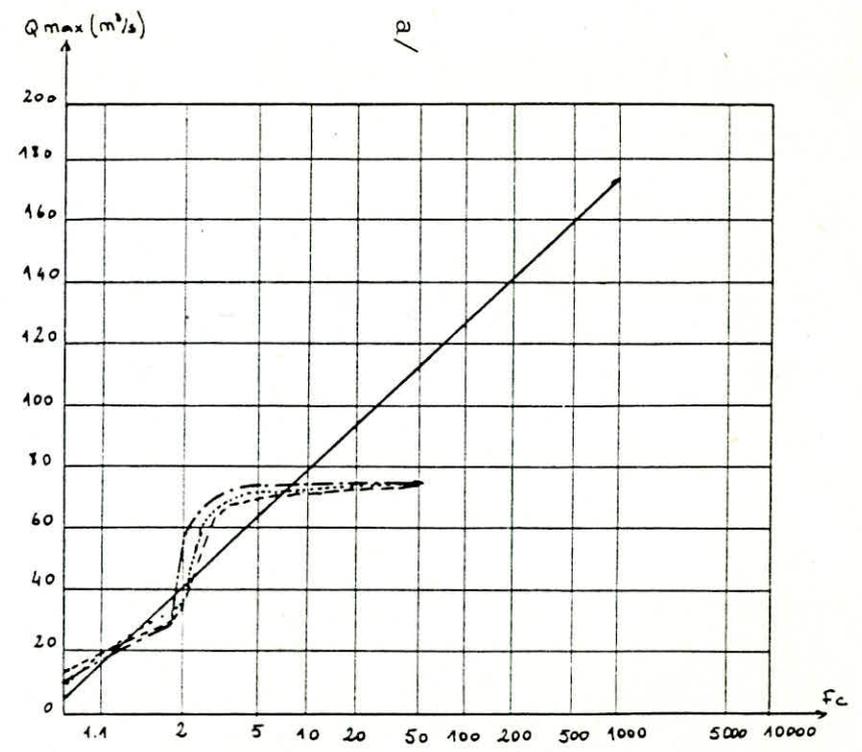


FIG XXII AJUSTEMENT DES DEBITS MAXIMUMS DE LA SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 50 ANNEES DE LA STATION DE LAKHDARIA.



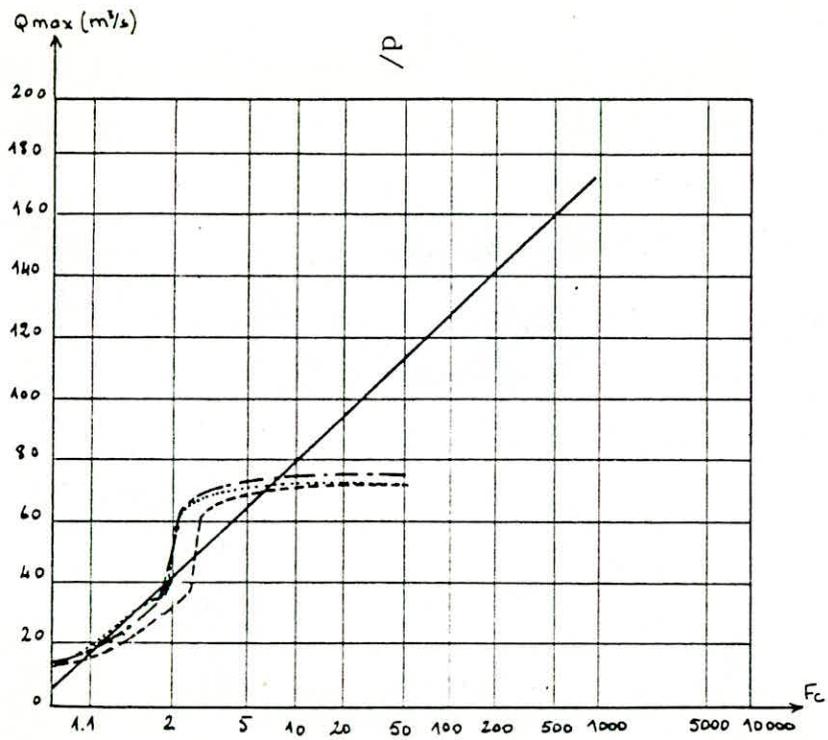
1 LKH 50 Si 2 (.....)
 2 " " " 2 (---)
 4 " " " 2 (-.-.-)

Ajustement de débits maximum



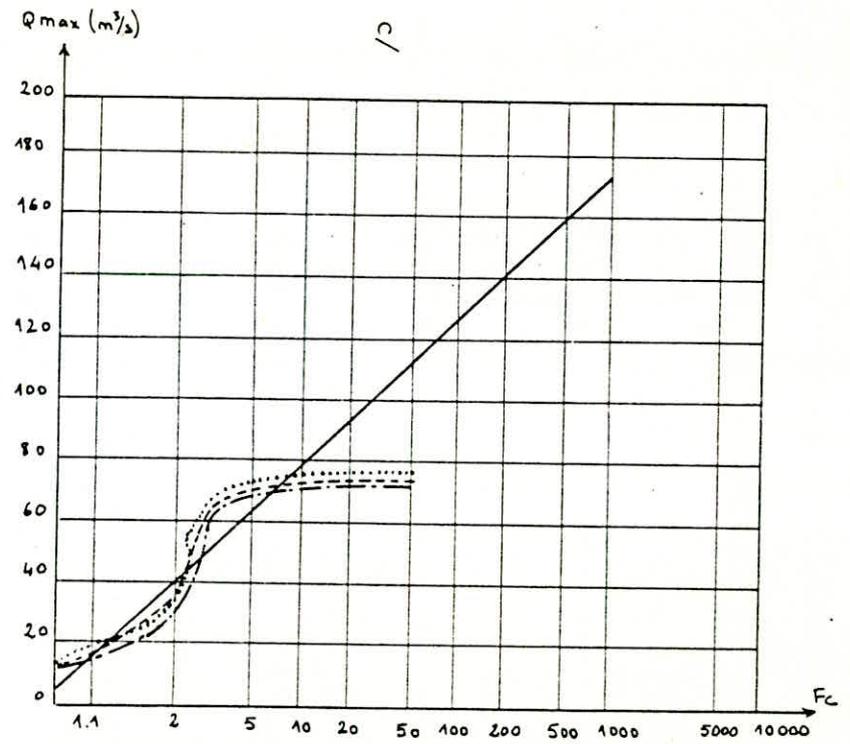
1 LKH 50 Si 4 (.....)
 2 " " " 4 (---)
 4 " " " 4 (-.-.-)

Ajustement de débits maximum



- 1 LKH 50 Si 6 (.....)
- 2 " " " 6 (-----)
- 4 " " " 6 (— · — · —)

Ajustement de débits maximum



- 2 LKH 50 Si 2 (.....)
- 2 " " " 4 (-----)
- 2 " " " 6 (— · — · —)

Ajustement de débits maximum

ANNEXE XII

Ajustement des débits maximums par la loi de GUMBEL de la série simulée à 50 ans prise comme historique de MEZAHIM.

FIG. XXIII Série historique de MEZAHIM

GRAPHEs a,b,c,d : Séries simulées à 50 ans

a. (1,2,4)S 2H b. (1,2,4)S 4H c. (1,2,4)S 6H

d. Meilleure simulation avec 45 (2,4,6)H

S : Saison

H : Harmonique

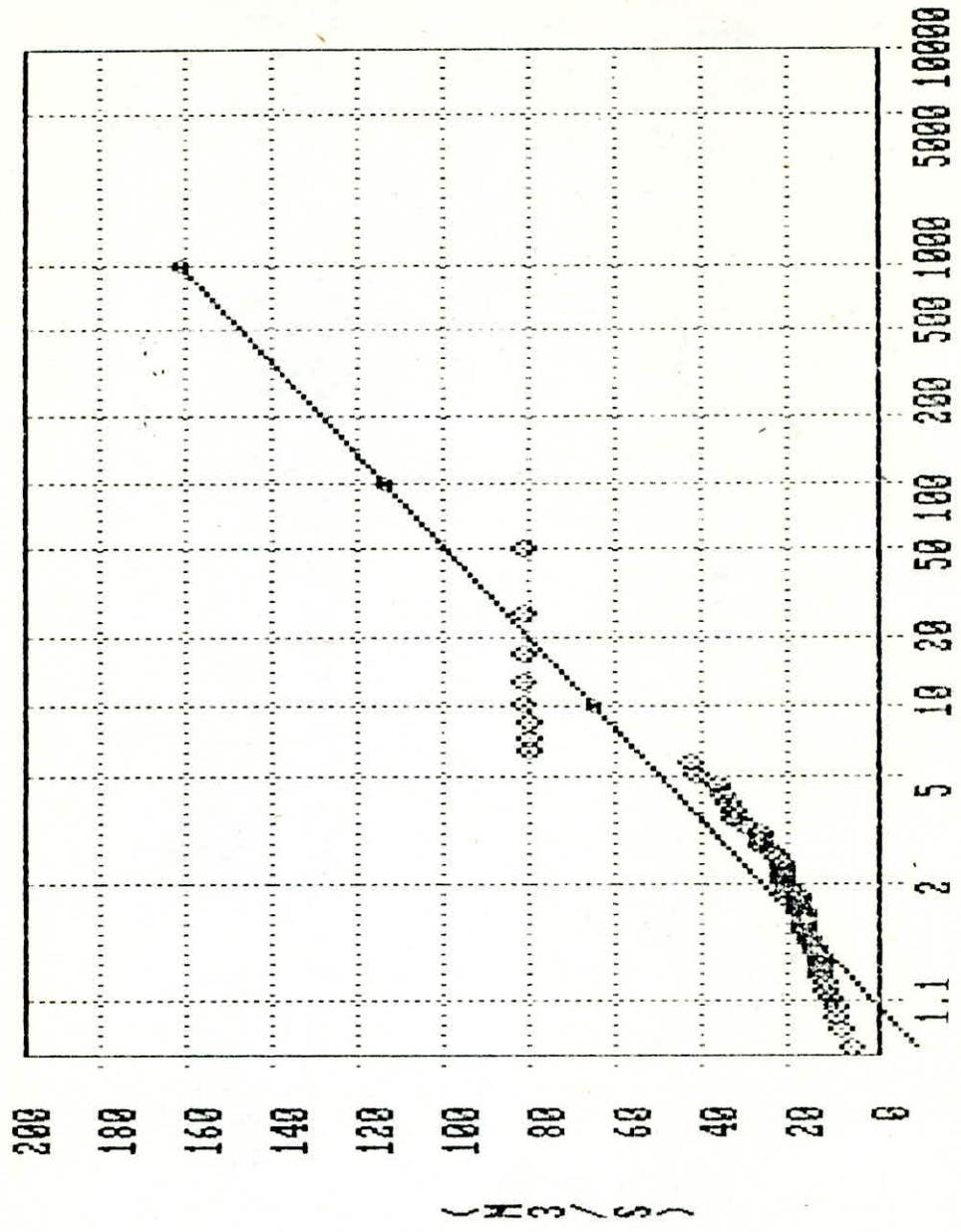
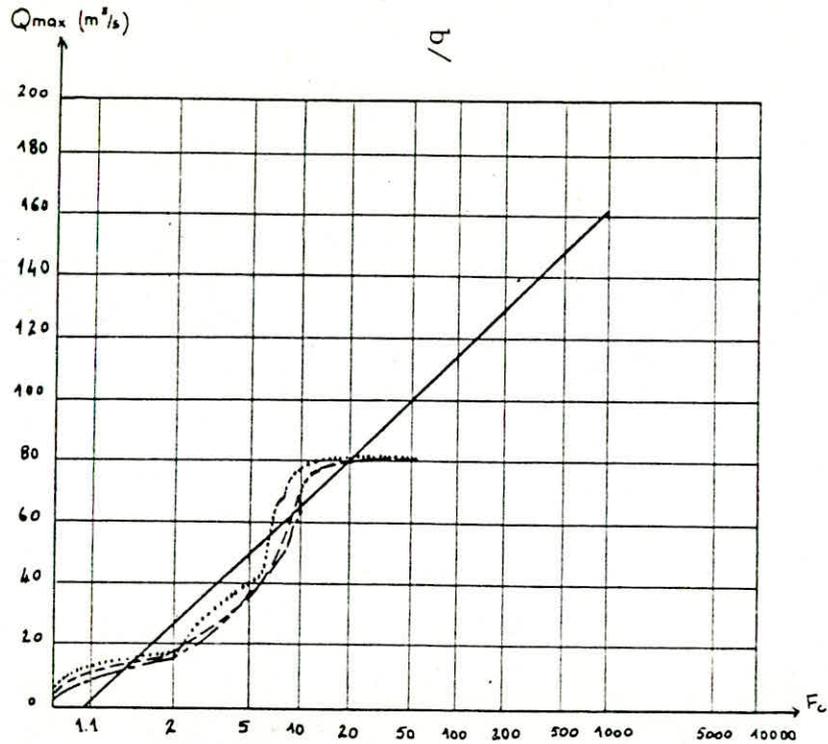
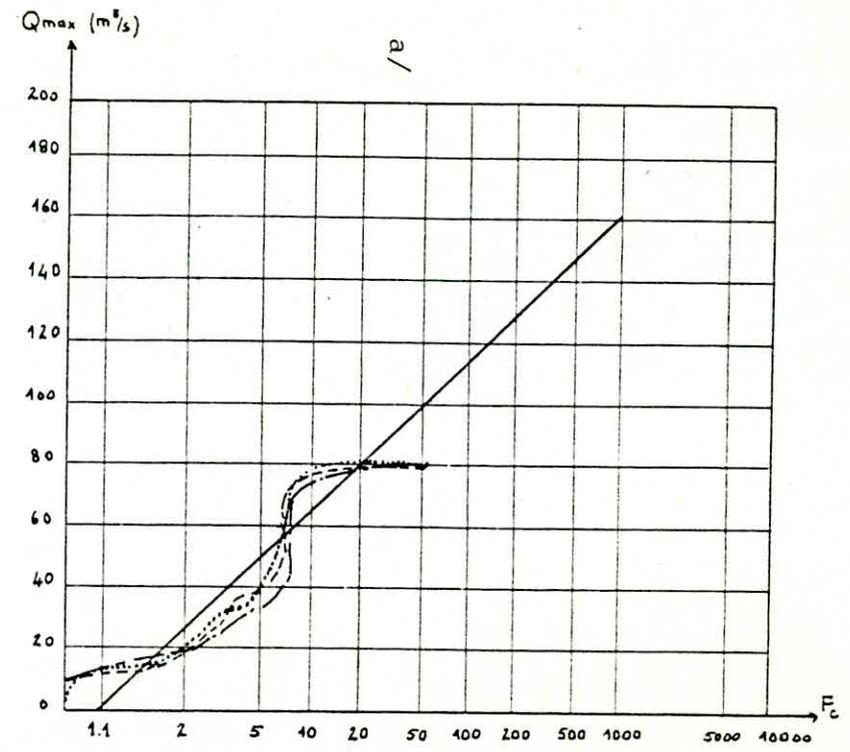


FIG XXIII AJUSTEMENT DES DEBITS MAXIMUMS DE LA SERIE HISTORIQUE SIMULEE A 50 ANNEES DE LA STATION DE MEZAHIM.



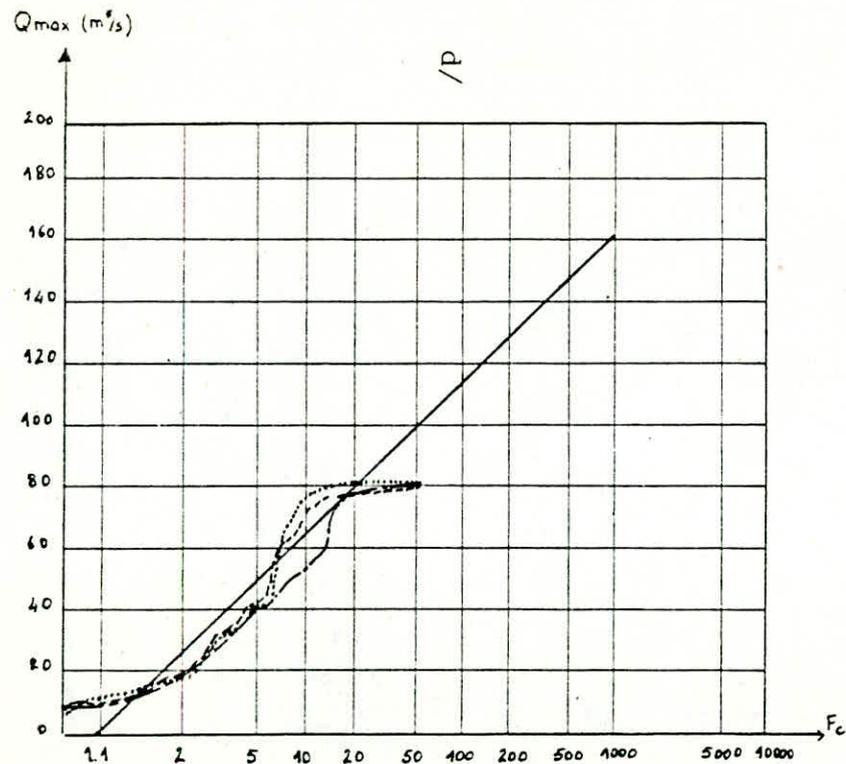
1 MEZA 50 Si 2 (.....)
 2 " " " 2 (-----)
 4 " " " 2 (-.-.-.-)

Ajustement de débits maximum



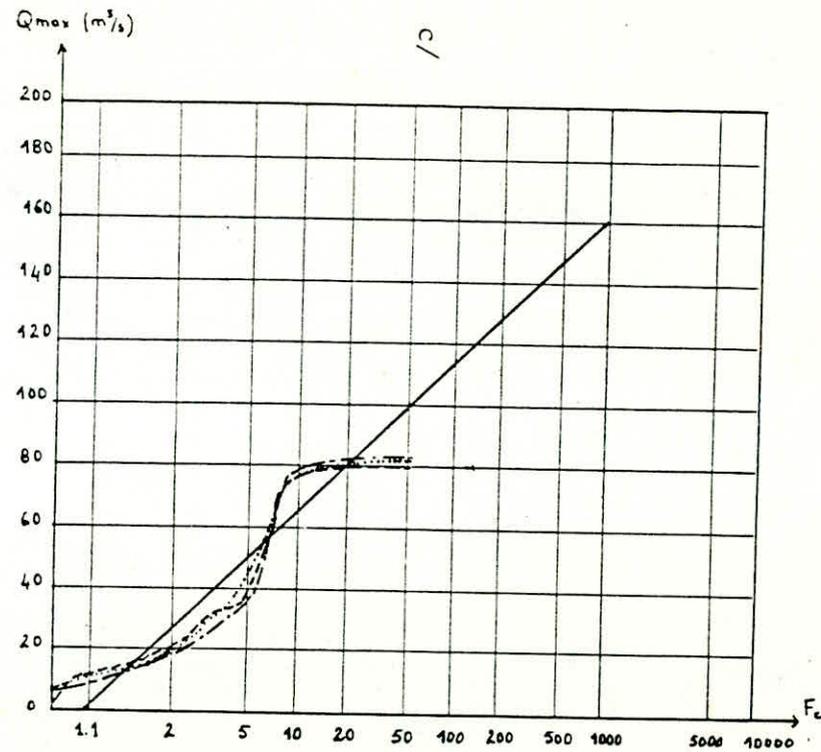
1 MEZA 50 Si 4 (.....)
 2 " " " 4 (-----)
 4 " " " 4 (-.-.-.-)

Ajustement de débits maximum



1 MEZA 50 Si 6 (.....)
 2 " " " 6 (---)
 4 " " " 6 (---)

Ajustement de débits maximum



4 MEZA 50 Si 2 (.....)
 4 " " " 4 (---)
 4 " " " 6 (---)

Ajustement de débits maximum.

ANNEXE XIII

Tracé des courbes de la moyenne mensuelle et de l'intervalle de confiance des écarts types de la série simulée à 50 ans prise comme historique et des séries simulées à 50 ans de LAKHDARIA.

Tableau N°16 RESULTATS DES SIMULATIONS A 50 ANNEES DE
LAKHDARIA

FIG. XXIV MOYENNES MENSUELLES

FIG. XXV ECARTS TYPES

FIG XXIV Station : LAKHDARIA Moyennes Mensuelles (s: saison, H: harmonique)
 SERIE (Simulee a 50 ans prise comme) HISTORIQUE, SIMULEE A 50 ANS
 —:Historique - - - - -:1s - - - - -:2s —:4s
 Fig.4 Meilleure Simulation donnee par : 4s avec (2,4,6)H

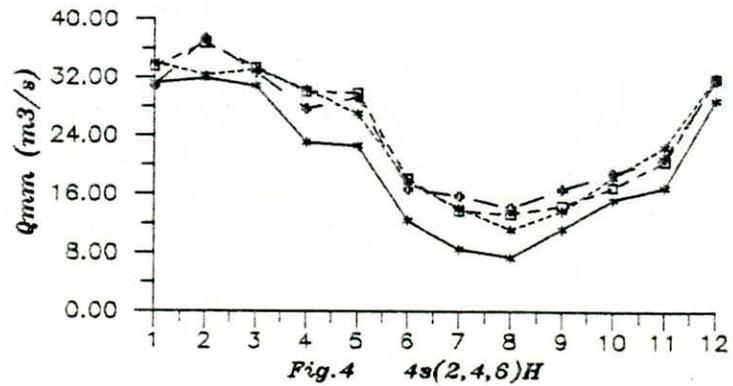
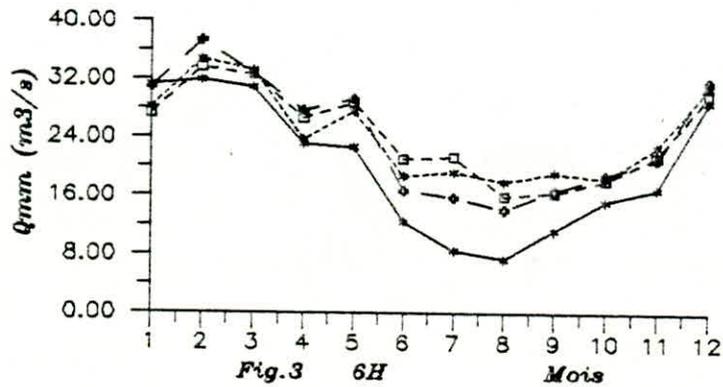
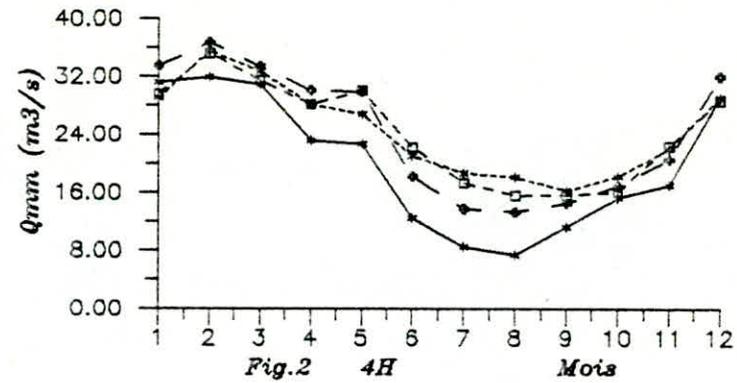
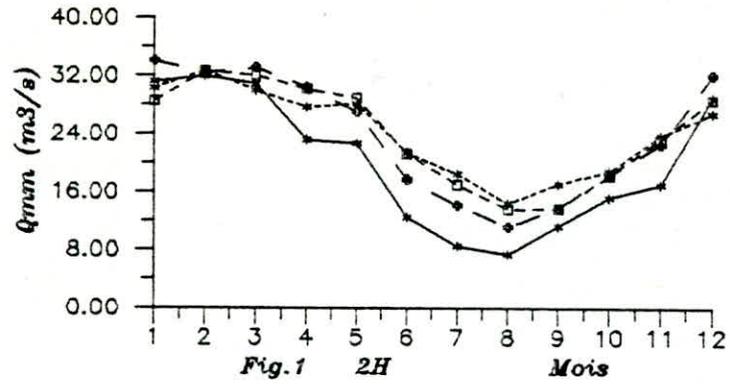
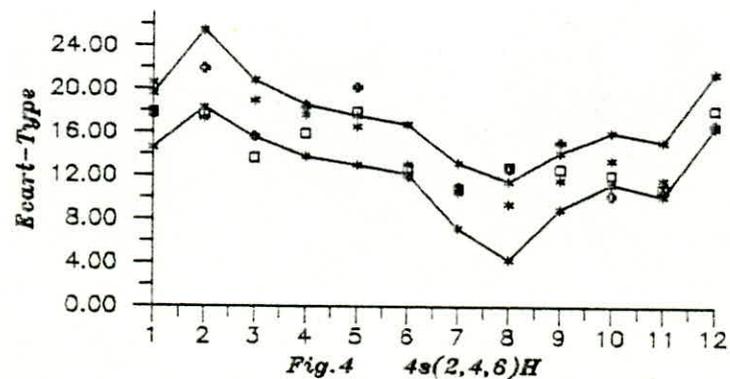
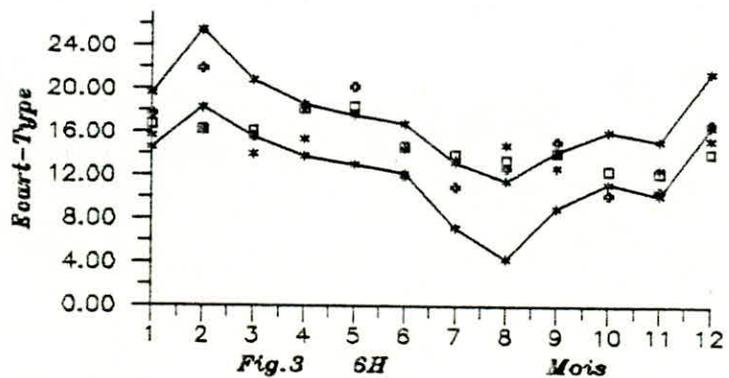
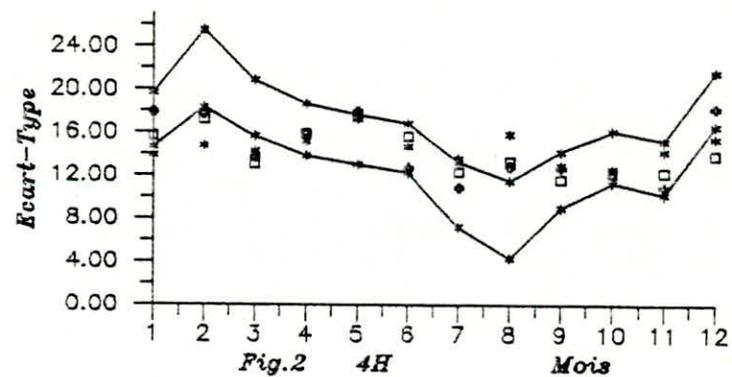
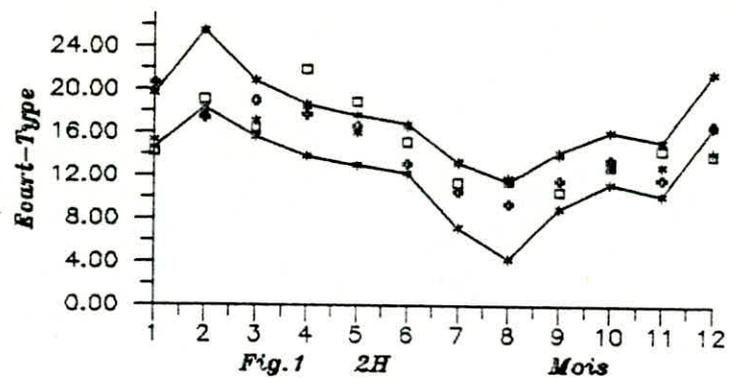


FIG XXV

Station : LAKHDARIA Ecart Types (s: saison, H: harmonique)
 SERIE (Simulee a 50 ans prise comme) HISTORIQUE, SIMULEE A 50 ANS
 —: Intervalle de confiance de la serie historique. * : 1s □ : 2s : 4s
 Fig.4 Meilleure Simulaton donnee par : 4s(2,4,6)H



	HIS	152H	252H	452H	154H	254H	454H	156H	256H	456H	M.5
J	31.2	30.2	28.5	34.1	29.0	29.6	33.5	28.2	27.3	30.9	30.1
F	31.9	32.7	32.6	32.3	35.6	35.2	36.7	34.8	33.6	37.3	34.5
M	30.9	29.9	32.0	33.1	32.6	31.5	33.4	33.2	32.6	32.7	32.3
A	23.1	27.6	30.1	30.4	28.1	28.1	30.1	23.7	26.6	27.7	28.1
M	22.7	28.1	28.9	27.1	26.8	30.0	29.9	27.6	28.8	29.3	28.5
J	12.5	21.3	21.2	17.7	21.0	22.2	18.2	18.7	21.0	16.7	19.8
J	8.50	18.4	16.9	14.1	18.6	17.3	13.7	19.2	27.3	15.8	17.3
A	7.38	14.4	13.6	11.2	18.1	15.7	13.3	17.9	15.9	14.1	14.9
S	11.3	17.1	13.7	13.8	16.2	15.6	14.5	19.2	16.5	16.7	15.9
O	15.3	18.9	18.3	18.3	18.2	16.1	16.9	18.4	18.1	18.9	18.0
N	17.0	23.7	23.2	22.6	22.0	22.4	20.5	22.8	21.4	21.0	21.2
D	29.0	26.8	28.7	32.1	29.1	28.6	32.0	31.0	29.9	31.8	30.0

Tableau N°16

ANNEXE XIU

Tracé des courbes de la moyenne mensuelle et de l'intervalle de confiance des écarts types de la série simulée à 50 ans prise comme historique et des séries simulées à 50 ans de MEZAHIM.

Tableau N°17 RESULTATS DES SIMULATIONS A 50 ANNEES DE
MEZAHIM

FIG. XXVI MOYENNES MENSUELLES

FIG. XXVII ECARTS TYPES

FIG XXVI Station : MEZAHIM Moyennes Mensuelles (s : saison, H : harmonique)
 SERIE (Simulee a 50 ans prise comme) HISTORIQUE, SIMULEE A 50 ANS
 :Historique -----:1s - - - - -:2s - - - - -:4s
 Fig.4 Meilleure Simulation donnee par : 4s avec (2,4,6,)H

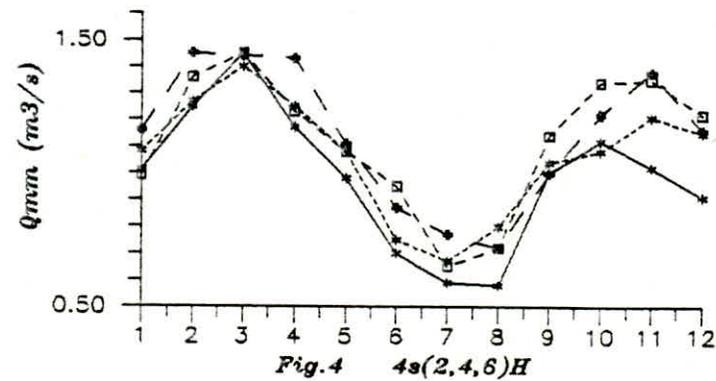
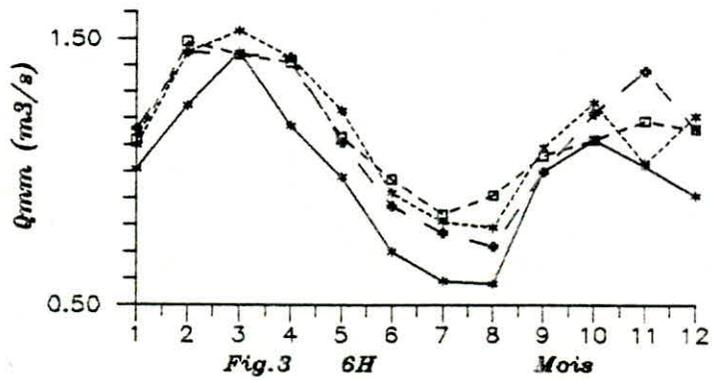
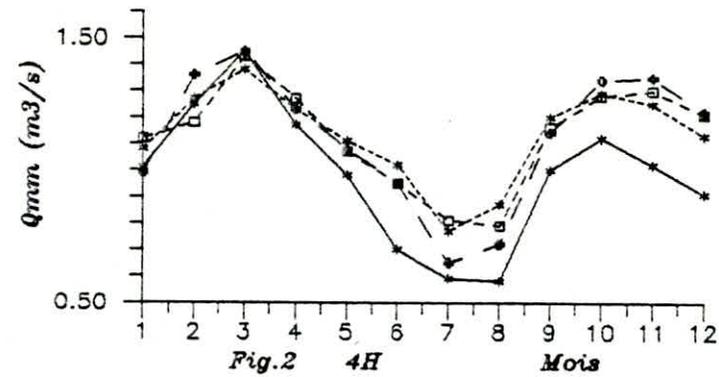
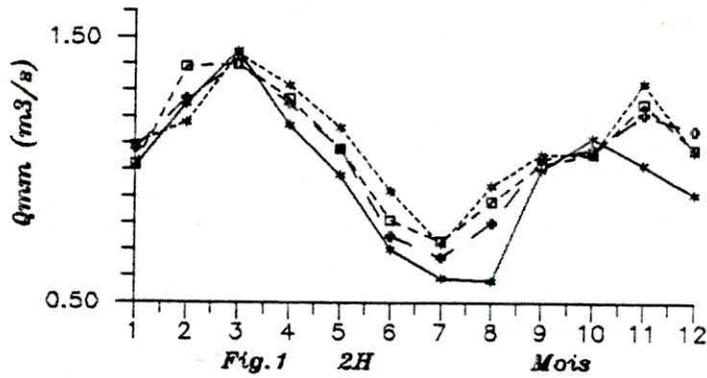
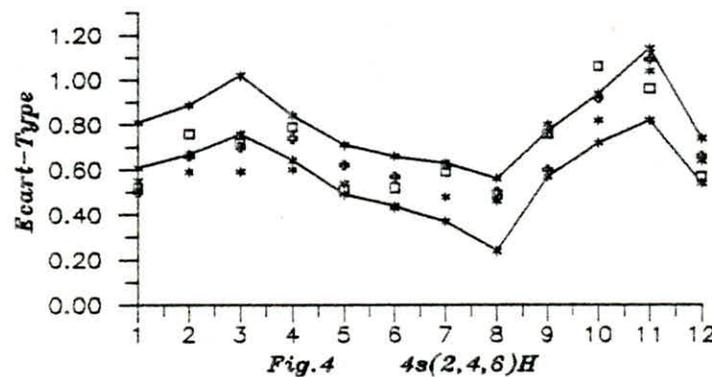
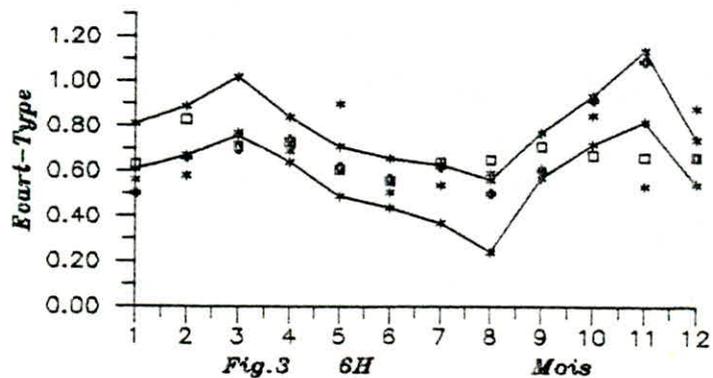
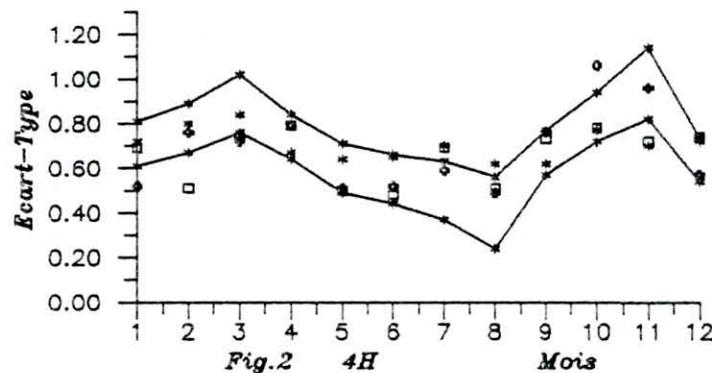
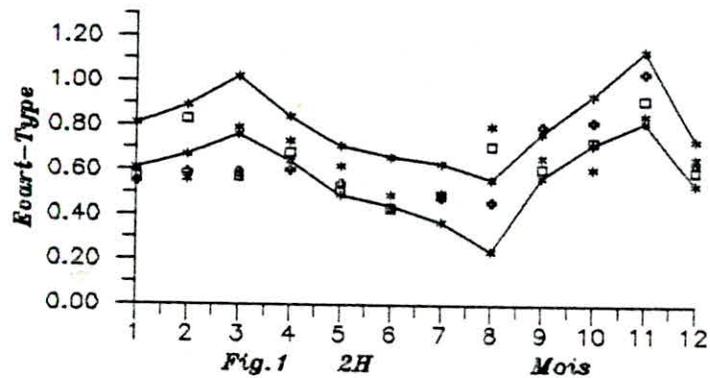


FIG XXVII

Station : MEZAHIM Ecarts Types (s: saison, H: harmonique)
 SERIE (Simulee a 50 ans prise comme) HISTORIQUE, SIMULEE A 50 ANS
 ———: intervalle de confiance de la serie historique.
 Fig.4 Meilleure Simulation donnee par : 4s(2,4,6)H



	HIS	152H	252H	452H	154H	254H	454H	156H	256H	456H	M.S
J	1.01	1.10	1.02	1.08	1.08	1.12	0.99	1.10	1.12	1.16	1.09
F	1.25	1.18	1.39	1.27	1.27	1.18	1.36	1.18	1.49	1.45	1.31
M	1.45	1.44	1.40	1.40	1.38	1.43	1.45	1.44	1.44	1.44	1.42
A	1.17	1.32	1.27	1.25	1.23	1.27	1.23	1.32	1.41	1.43	1.30
M	0.98	1.16	1.08	1.08	1.11	1.05	1.08	1.16	1.13	1.11	1.11
J	0.70	0.92	0.81	0.75	1.02	0.95	0.95	0.92	0.97	0.87	0.91
J	0.59	0.72	0.73	0.67	0.77	0.81	0.65	0.72	0.84	0.77	0.74
A	0.58	0.94	0.88	0.80	0.87	0.79	0.72	0.94	0.91	0.72	0.84
S	1.00	1.06	1.02	1.04	1.20	1.16	1.14	1.06	1.06	1.00	1.06
O	1.12	1.06	1.06	1.08	1.29	1.28	1.34	1.06	1.12	1.22	1.18
N	1.02	1.33	1.25	1.21	1.25	1.30	1.35	1.33	1.19	1.38	1.29
D *	0.91	1.07	1.08	1.15	1.13	1.21	1.22	1.07	1.16	1.16	1.14

Tableau N°17

" LISTE DES TABLEAUX "

TABLEAU N°:1	PERIODE D'OBSERVATIONS DES STATIONS UTILISEES	3
TABLEAU N°:2	REPARTITION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE.....	7
TABLEAU N°:3	NOMBRE MOYEN DE GELEE PAR MOIS.....	9
TABLEAU N°:4	NOMBRE DE JOURS DE SIROCCO PAR AN.....	9
TABLEAU N°:5	EVAPORATION DU BASSIN VERSANT DE L'ISSER.....	11
TABLEAU N°:6	REPARTITION ALTIMETRIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'ISSER.....	13
TABLEAU N°:7	MORPHOMETRIE DE L'OUED ISSER.....	17
TABLEAU N°:8	SYNTHESE DES VALEURS DE LA MOYENNE, ECART- TYPE ET COEFFICIENT DE VARIATION.....	40
TABLEAU N°:9	SYNTHESE DES COEFFICIENTS DU BASSIN VERSANT DE L'ISSER.....	44
TABLEAU N°:10	RESULTATS DES MOYENNES ANNUELLES DES SERIES SIMULEES A 15 ANNEES DE LAKHDARIA.....	54
TABLEAU N°:11	RESULTATS DES MOYENNES ANNUELLES DES SERIES SIMULEES A 15 ANNEES DE MEZAHIM.....	59
TABLEAU N°:12	RESULTATS DES MOYENNES MENSUELLES DES SERIES SIMULEES A 15 ANNEES DE LAKHDARIA.....	71
TABLEAU N°:13	RESULTATS DES MOYENNES MENSUELLES DES SERIES SIMULEES A 15 ANNEES DE MEZAHIM.....	75
TABLEAU N°:14	RESULTATS DES MOYENNES ANNUELLES DES SERIES SIMULEES A 50 ANNEES DE LAKHDARIA.....	80
TABLEAU N°:15	RESULTATS DES MOYENNES ANNUELLES DES SERIES SIMULEES A 50 ANNEES DE MEZAHIM.....	85
TABLEAU N°:16	RESULTATS DES MOYENNES MENSUELLES DES SERIES SIMULEES A 50 ANNEES DE LAKHDARIA.....	97

" LISTE DES FIGURES "

FIGURE A	CARTE GEOGRAPHIQUE.....	5
FIGURE B	PRESENTATION DU BASSIN VERSANT.....	6
FIGURE I	REPARTITION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE.....	8
FIGURE II	NOMBRE DE JOURS DE SIROCCO PAR AN A LA STATION DE BIR-GHBALOU ET BENI-SLIMANE.....	10
FIGURE III	COURBE HYPOMETRIQUE DE LA STATION DE LAKHDARIA.....	14
FIGURE IV,V,VI,VII	AJUSTEMENT DES COEFFICIENTS $A_{1,1,3}$, $B_{1,1,3}$ PAR LA LOI NORMALE.....	33
FIGURE VIII,IX,X,XI	AJUSTEMENT DES COEFFICIENTS $A_{4,1,4}$, $B_{4,1,4}$ PAR LA LOI NORMALE.....	46
FIGURE XII(a,b,c,d)	AJUSTEMENT DES MOYENS ANNUELS PAR LA LOI NORMALE DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 15 ANS DE LAKHDARIA.....	51
FIGURE XIII(a,b,c,d)	AJUSTEMENT DES MOYENS ANNUELS PAR LA LOI NORMALE DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 15 ANS DE MEZAHIM.....	56
FIGURE XIV(a,b,c,d)	AJUSTEMENT DES DEBITS MAX PAR LA LOI DE GUMBEL DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 15 ANS DE LAKHDARIA.....	61
FIGURE XV(a,b,c,d)	AJUSTEMENT DES DEBITS MAX PAR LA LOI DE GUMBEL DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 15 ANS DE MEZAHIM.....	65
FIGURE XVI(1,2,3,4)	TRACE DES COURBES DE LA MOYENNE MENSUELLE DE LAKHDARIA.....	69
FIGURE XVII(1,2,3,4)	TRACE DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE L'ECART-TYPE DE LAKHDARIA.....	70
FIGURE XVIII(1,2,3,4)	TRACE DES COURBES DE LA MOYENNE MENSUELLE DE MEZAHIM.....	73
FIGURE XIX(1,2,3,4)	TRACE DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE L'ECART-TYPE DE MEZAHIM.....	74

FIGURE XX(a,b,c,d) AJUSTEMENT DES MOYENS ANNUELS PAR LA LOI NORMALE DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 50 ANS DE LAKHDARIA.....	77
FIGURE XXI(a,b,c,d) AJUSTEMENT DES MOYENS ANNUELS PAR LA LOI NORMALE DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 50 ANS DE MEZAHIM.....	82
FIGURE XXII(a,b,c,d) AJUSTEMENT DES DEBITS MAX PAR LA LOI DE GUMBEL DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 50 ANS DE LAKHDARIA.....	87
FIGURE XXIII(a,b,c,d) AJUSTEMENT DES DEBITS MAX PAR LA LOI DE GUMBEL DE LA SERIE HISTORIQUE ET DES SERIES SIMULEES A 50 ANS DE MEZAHIM.....	91
FIGURE XXIV(1,2,3,4) TRACE DES COURBES DE LA MOYENNE MENSUELLE DE LAKHDARIA.....	95
FIGURE XXV(1,2,3,4) TRACE DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE L'ECART-TYPE DE LAKHDARIA.....	96
FIGURE XXVI(1,2,3,4) TRACE DES COURBES DE LA MOYENNE MENSUELLE DE MEZAHIM.....	99
FIGURE XXVIII(1,2,3,4) TRACE DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE L'ECART-TYPE DE MEZAHIM.....	100

" BIBLIOGRAPHIE "

- [11] **A.N.R.H (1975)**, "Etude hydrologique de la nappe de l'oued ISSER". Edition A.N.R.H.
- [12] **BERNIER J. (1971)**, "Ajustement des modèles probabilistes en hydrologie de surface". Edition Houille Blanche, N°2.
- [13] **BERNIER J. et LENCIONNI P. (1979)**, "Un modèle probabiliste multidimensionnel". Edition Houille Blanche, N°4/5. pp 401-410.
- [14] **BOULEAU N. (1988)**, "Processus stochastiques et application" Edition HERMANN.
- [15] **CULLMANN G. (1975)**, "Initiation aux chaînes de Markov". Edition MASSON et C^{ie} Paris.
- [16] **DAGNELIE P. (1975)**, "Théorie et méthodes statistiques". Edition Gembloux (Belgique): Presse Agronomique 362p.
- [17] **DAUBERT A. (1976)**, "Modèles mathématiques, statistiques et physiques". Journées de l'hydraulique, Paris.
- [18] **DELLEUR J.W. (1978)**, "Les processus du type « ARIMÂ » pour la prévision et la simulation en hydrométéorologie". Edition Houille Blanche, N°6. pp 391-400.
- [19] **DUBREUIL P. (1974)**, "Initiation à l'analyse hydrologique", Edition MASSON & C^{ie}, ORSTOM.
- [10] **GRISOLLET H. (1973)**, "Climatologie méthodes et pratiques". Paris : Gauthier Villars, 434p.
- [111] **JAQUET J. (1984)**, "Modélisation et stratégie de la mesure dans l'eau et l'air". Edition Houille Blanche, N°1/2. pp 67-75.
- [112] **JAQUET J. (1971)**, "Aspects généraux de la représentation mathématique des phénomènes en hydrologie de surface". Edition Houille Blanche, N°2. pp 105-110.

- [13] **LARBI T. et TALBI R.**, "L'Oued ISSER, note hydrologique". Ministère de l'Hydraulique, A.N.R.H.
- [14] **LARRAS J.**, "Défense contre les crues" (1975), "Prévision et prédétermination des étiages et des crues" (1972). Edition Eyrolles.
- [15] **LEBRETON J.C.** (1974), "Les modèles en hydraulique fluviale". Edition Eyrolles Paris, 209p.
- [16] **LEDOUX E.** (1984), "Proposition d'un modèle couplé". Edition Houille Blanche, N°1/2. pp 101-120.
- [17] **MESSAI A.** (1981), "Etude ponctuelle de protection contre les crues". Thèse d'ingénieur, I.N.A 50p.
- [18] **MIQUEL J.** (1983), "Un modèle d'estimation de probabilités des débits de crue". Edition Houille Blanche, N°2. pp 95-99.
- [19] **ROCHE M.A.** (1963), "Hydrologie de surface". Edition Gauthier-Villars Paris.
- [20] **SANDERS D.H.** (1984), "Les statistiques, une approche nouvelle". Paris 452p.
- [21] **SELTZER P.**, "Climat de l'Algérie".
- [22] **SERRA-BERTRAL G.** (1979), "Cours d'hydrologie". I.N.A.
- [23] **SMATI A.** (1987), "Etude hydrologique du barrage de Zeroua au site de Dechemia". A.N.R.H.
- [24] **STROHMEIER A.** (1985), "Approche systématique illustrée d'exemples". Edition Eyrolles Paris 144p.

