

13/97

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

*Thème*

*Contribution à l'Etude et à la Prévion  
de la Pluviométrie sur le Littoral Algérien*

Proposé et dirigé par :

M. A. BERMAD

Réalisé par :

M<sup>me</sup> AFFANE Assia

M<sup>re</sup> HOUGLAOUENE Mourad

Promotion 1997



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

وَأَنْزَلْنَا مِنَ الْمُعْصِرَاتِ

مَاءً ثَمَّاجًا لِنُخْرِجَ بِهِ حَبًّا

وَأَنْبَاتًا وَجَنَاتٍ أَلْفَافًا

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

## DÉDICACE

*A la mémoire de Jeddí et Khalí Mokhtar ;*

*A mes grandes mères adorées Yemma et Mimi ;*

*A toi ma meilleure amie, sœur et maman : Mama, à toi Papa,  
je dédie ce travail pour votre dévouement, patience, soutien,  
pour avoir peiné et fait de moi ce que je suis.*

*A Tata Habiba, ma très chère tante ;*

*A Mes très chers frères : Salah, Nassim, Omar et Billal ;*

*A Mes bien aimés oncles et leurs familles et en particulier : Khalí  
Siffeddine, Tata Nadjia et Amine. Khalí Hafid, Soudjila et leurs  
futurs enfants ;*

*A toute ma famille ;*

*A Tata Fatima, Ammi El-hadj et mon petit frère Omar qui ne m'ont  
jamais oubliée dans leurs prières ;*

*A mes cousines Sarah, Dina, Amel et Amina ;*

*A Amira, Mouna, Karima, Nabil, Youcef, Kais, Yamina, Ilhem,  
Souhila, Lamia, Fouzi, Faiza, Moh, Redha, Kamel, Rabeh,  
Karima et mon binôme Mourad ;*

*A toute la promotion d'hydraulique et à tous mes amis(es) ;*

*A tous ceux qui me sont et me seront très chers.*

*Je dédie ce travail.*

*Assia*

## DÉDICACE

*Je dédie ce travail à :*

*Ma mère Zohra, qui a tant peiné pour faire de  
moi ce que je suis ;*

*Mes soeurs et frères (Samia, Liza, Samir,  
Mustapha) ;*

*Mon père ;*

*Mon binôme Assia..*

*Mourad*

## REMERCIEMENTS

*Nous aimerions remercier tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à ce travail en particulier nos promoteurs, Monsieur BERMAD chargé de cours à l'école nationale polytechnique et Monsieur ALLILI Mohamed, ingénieur hydrologue à L'A.N.R.H.*

*Toute notre reconnaissance et gratitude à Monsieur BOUGUERA, Directeur du département d'hydrologie à l'Agence nationale des ressources hydrauliques, au temps qu'ils nous a consacré, et ses encouragements nous en considérablement aidé à atteindre notre objectif.*

*Ainsi qu'à Monsieur TALIBI Mohamed, qu'il veuille retrouver l'expression de notre profonde gratitude.*

*Sans oublier le Directeur général de l'O.N.M pour le soutien en matières de données et informations.*

# SOMMAIRE



**INTRODUCTION..... 1**

## **CHAPITRE I : MODELISATION DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES**

1- NOTION DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES .....	4
2- PROPRIETE DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES .....	4
3- LES MODELES HYDROLOGIQUES.....	5
4- CLASSIFICATION DES MODELES HYDROLOGIQUES .....	8

## **CHAPITRE II : LA PREVISION HYDROLOGIQUE**

1- DEFINITION DE LA PREVISION HYDROLOGIQUE.....	11
2- CARACTERISTIQUES DE LA PREVISION HYDROLOGIQUE .....	11
3- MODELES DE PREVISION EN HYDROLOGIE.....	12

## **CHAPITRE III : CRITIQUE DES DONNEES**

1- INTRODUCTION.....	17
2- LE TEST D'INDEPENDANCE .....	17
3- TEST D'HOMOGENEITE .....	18
4- RESULTATS DES TESTS .....	19
5- CONCLUSION.....	20

## **CHAPITRE IV : ETUDE STATISTIQUE DES DONNEES METEOROLOGIQUES**

1- CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DES VALEURS ANNUELLES .....	22
2- CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DES VALEURS MAXIMALES JOURNALIERES ANNUELLES .....	23
3- AJUSTEMENT D'UNE SERIE STATISTIQUE PAR UNE LOI DE DISTRIBUTION.....	24
4- CONCLUSION.....	27

**CHAPITRE V : ETUDE DES DONNEES PAR LES CHAINES DE MARKOV**

<b>A- THEORIE</b> .....	29
1- INTRODUCTION.....	29
2- GENERALITES.....	29
3- ORDRES DES CHAINES DE MARKOV.....	30
4- CONVERGENCE DE LA MATRICE STOCHASTIQUE.....	33
5- CARACTERISTIQUES DES LONGUEURS DES SEQUENCES.....	34
6- MODELE MULTICLASSES.....	35
7- EFFET SAISONNIER.....	36
<b>B- APPLICATION DES CHAINES DE MARKOV</b> .....	38
1- INTRODUCTION.....	38
2- MODELE ANNUEL.....	38
3- MODELE DEUX SAISONS.....	40
4- MODELE SAISONNIER.....	43
5- CONCLUSION.....	46

**CHAPITRE VI : ETUDE DES DONNEES PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES**

<b>A- LA THEORIE</b> .....	48
1- GENERALITES SUR L'ANALYSE FACTORIELLE.....	48
2- L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP).....	49
<b>B- APPLICATION DE L'ACP</b> .....	61
1- INTRODUCTION.....	61
2- ANALYSE DES CONFIGURATIONS SPATIALES POUR LA VALEUR DES PLUIES ANNUELLES REVELEES PAR LES AXES PRINCIPAUX (Cp) : VOIR ANNEXE (VI-1).....	61
3- ANALYSE DES CONFIGURATIONS SPATIALES POUR DES VALEURS DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES (VOIR ANNEXE VI-2). ....	62
4- ANALYSE DE LA CONFIGURATION SPATIALE REVELEE PAR LES AXES PRINCIPAUX POUR DES PLUIES MENSUELLES.....	63

**CHAPITRE VII : MODELE DE PREVISION**

<b>A- THEORIE</b> .....	66
1- INTRODUCTION :	66
2- MODELE DE PREVISION.....	67
<b>B- APPLICATION DU MODELE DE PREVISION</b> .....	70
1- INTRODUCTION.....	70
2- CERCLE DE CORRELATION.....	70
3- IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE DU MODELE DE PREVISION.....	70

<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVE</b> .....	92
--	----

**BIBLIOGRAPHIE**

**ANNEXES**

## INTRODUCTION



« L'hydrologie est devenue aujourd'hui une technique importante de l'art de l'ingénieur » REMINERAS.

Et la prévision est un outil important qui permet le développement de celle-ci.

Dans le but d'obtenir une bonne gestion des ressources en eau, la prévision des précipitations est un moyen qui devient indispensable, elle donne les possibilités de prévoir les apports futurs qui permettent la prévision de la répartition des volumes d'eau stockés au niveau des réservoirs afin de satisfaire les besoins industriels, en agriculture, en alimentation en eau potable, ... etc., elle renseigne aussi sur les plans cultureux possibles qui sont fonctions de la disponibilité de la ressource, dans ce cadre elle devient un outil d'aide à la décision non négligeable.

Compte tenu des limitations de la prévision météorologique classique qui ne pourra jamais atteindre des échéances supérieures à deux ou trois semaines, les possibilités de prévision à plus long terme reposent principalement sur le développement d'une méthodologie nouvelle globale.

Le but de notre travail est la contribution à l'élaboration d'un modèle de prévision à longue échéance reposant principalement sur l'analyse en composantes principales.

Pour effectuer ce travail, une collecte de données a été effectuée auprès de l'office nationale de la météorologie (ONM).

Dans le premier chapitre, on a présenté la méthodologie générale de l'élaboration d'un modèle de prévision en hydrologie.

Le second chapitre a été consacré à la présentation des différents modèles existants en hydrologie.

Le troisième chapitre fait l'objet d'une critique de données, où on a fait des tests d'homogénéité et d'indépendance.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude statistique des données météorologique.

Le cinquième chapitre est une application des chaînes de MARKOV aux données étudiées.

Le sixième chapitre fait l'objet d'une application de l'A.C.P. sur les six relations littérales étudiées.

Enfin dans le septième chapitre, on a procédé au développement d'un modèle de prévision basé sur l'ACP. Les résultats et leur interprétation y sont présents.

**CHAPITRE I**  
**MODELISATION DES SYSTEMES**  
**HYDROLOGIQUES**

# CHAPITRE I

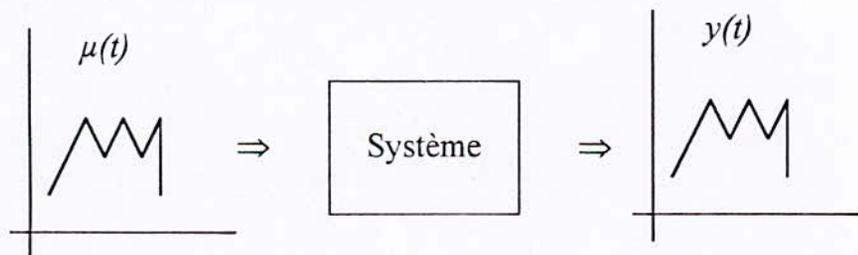
## MODELISATION DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES

### 1- NOTION DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES

Un système est un ensemble d'éléments interconnectés présentant les caractéristiques suivantes :

- *Une entité (ou ensemble) : relativement bien individualisée et permanente.*
- *Un rapport d'interaction dynamique avec un environnement discernable de lui-même : rapport se traduisant sous la forme de phénomènes observables et mesurables variables dans le temps et dans l'espace.*
- *Dotée d'une certaine structure : lui conférant des modalités de fonctionnement internes propres.*

De cette définition, le système hydrologique transforme un (ou plusieurs) signal (aux) d'entrée  $\mu(t)$  fonction du temps en un signal de sortie  $y(t)$  par l'intermédiaire des lois internes qui régissent la transformation (figure I.1).



### 2- PROPRIETE DES SYSTEMES HYDROLOGIQUES

#### 2-1/ Système statique et système dynamique

Les systèmes hydrologiques sont des systèmes dynamiques par opposition aux systèmes statiques pour lesquels le signal de sortie au temps « t » n'est fonction que de l'entrée au même instant, c'est aussi des systèmes de causalité puisque les signaux de sortie ne sont fonction que des observations présentes ou antérieures.

## **2-2/ Propriété de stationnarité**

Le système est stationnaire si la transformation d'un même signal est indépendante du temps.

On a donc : si  $[\mu(t), \mu(t-1), \dots] = [\mu(t+s), \mu(t+s-1), \dots]$ , on aura  $y(t) = y(t+s)$ .

## **2-3/ Propriété de linéarité**

Un système est dit linéaire, s'il obéit au principe de superposition et de proportionnalité, c'est-à-dire à toute paire de constantes  $\alpha$ ,  $\beta$  et à toute paire de signaux d'entrée  $\mu_1(t)$ ,  $\mu_2(t)$ , la relation suivante est vérifiée :

$$F(\alpha\mu_1(t) + \beta\mu_2(t)) = \alpha F(\mu_1(t)) + \beta F(\mu_2(t))$$

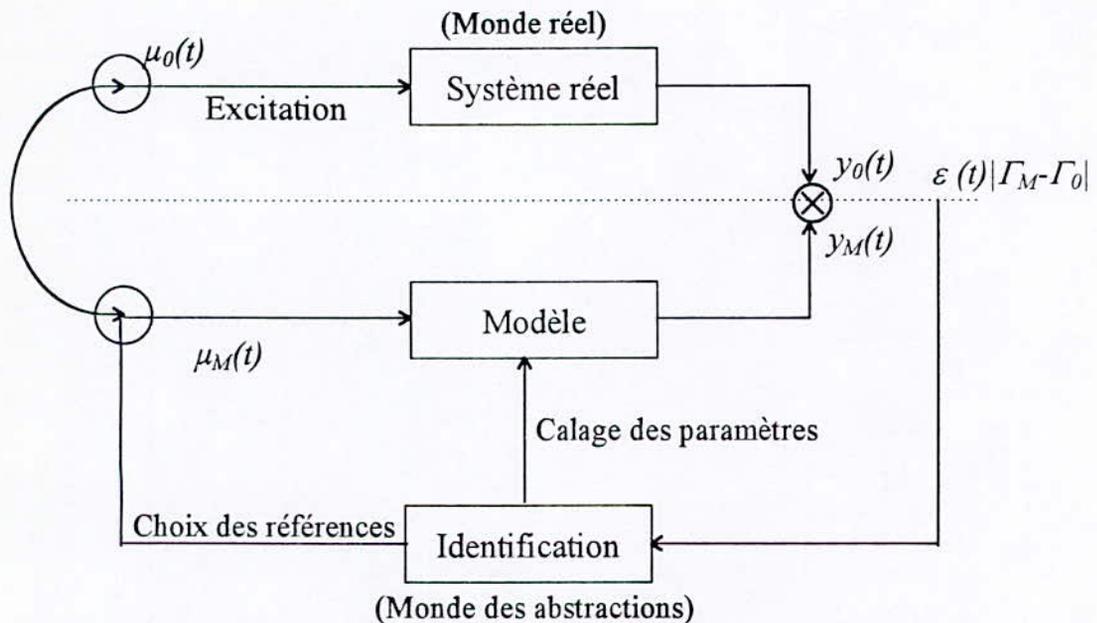
## **3- LES MODELES HYDROLOGIQUES**

Les modèles hydrologiques sont considérés comme des systèmes constitués par un ensemble abstrait (équation, relation, opération) conçu par l'homme afin de représenter tout ou partie du comportement d'un système réel, c'est donc des constructions formalisées dans lesquelles il faut pouvoir distinguer :

- *Les variables* : qui représentent des excitations et des réponses, et éventuellement l'état du système.
- *Les paramètres* : qui représentent la structure du système.
- *Les relations* : entrées variables (par l'intermédiaire des paramètres) qui représentent le comportement et qui sont exprimés sous une forme mathématique.

### **3-1/ Méthodologie de modélisation en hydrologie**

La démarche fonctionnelle de la méthodologie de modélisation en hydrologie et ses principes essentiels sont résumés par la figure I.2.



**Figure I.4**

Le but de cette démarche fonctionnelle est d'ajuster la structure du modèle par une procédure dite « d'identification » en comparant les réponses du système réel et du modèle, en vue d'obtenir l'identité des réponses ou réduire l'écart entre celles-ci (au-dessus d'un seuil acceptable).

### **3-2/ Les étapes de l'élaboration d'un modèle hydrologique**

L'élaboration d'un modèle nécessite les étapes suivantes :

**3-2-1/ Caractérisation** : c'est l'étape fondamentale de la méthodologie du modèle, elle consiste à choisir le modèle à partir d'une analyse d'un phénomène hydrologique qui a pour objectifs :

- De définir le phénomène hydrologique en tant que système.
- De proposer les relations les plus aptes à représenter son comportement.
- De déterminer les systèmes équivalents, dit modèles, capables de comportements semblables.

- Cerner les limites dans lesquelles ses comportements peuvent être tenus pour identiques ou suffisamment « voisins ».

**3-2-2/ Identification** : cette étape consiste à attribuer des valeurs numériques qui correspondent au cas réel envisagé aux paramètres structuraux relatifs au modèle choisi au cours de la caractérisation. Cette étape est dénommée « calage » ou « calibration ». C'est une phase purement quantitative qui se résume en terme mathématique : « minimiser l'écart entre les réponses (calculées) du modèle, et les réponses observées du phénomène hydrologique en faisant varier les paramètres structuraux.

On distingue deux approches pour le calage :

**a/ La méthode directe** : cette méthode consiste à donner des valeurs ou une répartition des paramètres structuraux, puis à calculer par le modèle. Les sorties correspondant aux excitations de référence, et à comparer ces sorties aux sorties réelles observées dans les mêmes conditions. Sur le plan mathématique, la méthode directe a l'avantage de se ramener à une succession de résolutions d'équations avec comme données les paramètres structuraux et les excitations, et comme résultats les réponses.

**b/ La méthode inverse** : cette méthode, purement mathématique, consiste à déterminer par le calcul les paramètres structuraux « optimaux », c'est-à-dire ceux qui minimisent l'écart entre la « sortie modèle » et la « sortie observée ».

**3-2-3/ Vérification** : cette étape consiste à tester la capacité du modèle, en simulant le comportement du système pour des excitations autres que celles avec lesquelles il a été identifié, mais qui sont de même nature.

**3-2-4/ Exploitation** : Cette étape ne pose théoriquement aucun problème dès lors que l'identification et la vérification ont été bien conduites.

#### **4- CLASSIFICATION DES MODELES HYDROLOGIQUES**

Les modèles hydrologiques peuvent être classés selon les critères suivants :

##### **4-1/ Critère d'origine de la relation du comportement**

Si la modélisation vise à décrire le plus finement possible les mécanismes impliqués, la relation de comportement est dérivée directement d'une loi théorique générale appliquée au cas particulier du système, le modèle est dit théorique ou « conceptuel ».

Si la relation du comportement proposée n'est valable que pour le système étudié, le modèle est dit « empirique » ou de « comportement ».

##### **4-2/ Critère de nature des variables**

Si les variables sont explicitement considérées comme des variables aléatoires présentant une certaine distribution de probabilité, le modèle sera dit « stochastique » ou « probabiliste ».

Si les variables sont considérées comme présentant une valeur certaine, le modèle sera dit « déterministe ».

##### **4-3/ Critère de la structure du modèle**

Si le modèle ne prend en compte la répartition spatiale d'aucunes variables ou paramètres, le modèle est dit « global », dans le cas contraire le modèle est dit « distributif » ou « géométriquement distribué ».

##### **4-4/ Critère d'objectif du modèle**

La classification des modèles hydrologiques selon les objectifs qu'ils prétendent atteindre, est la suivante (WALLISER, 1977).

###### **4-4-1/ Modèle de connaissance ou modèle cognitif**

Un tel modèle a pour objectif de mettre en évidence l'effet de certains mécanismes internes dont on connaît a priori seulement le rôle général et

éventuellement de rechercher si d'autres phénomènes peuvent intervenir, c'est presque toujours un modèle conceptuel.

#### **4-4-2/ Modèle de comportement ou modèle descriptif**

Au contraire, ce type a surtout pour ambition de représenter aussi précisément que possible le comportement d'un système souvent même en voulant ignorer l'analyse des mécanismes internes reconnus trop complexes, c'est donc le plus souvent un modèle boîte noire. On le veut aussi en général prévisionnel.

#### **4-4-3/ Modèle de prévision ou modèle prévisionnel**

Un tel modèle a pour fonction d'inférer le comportement d'un système dans des situations non encore observées.

Il faut distinguer entre la représentation de situation bien définie dont la date n'est pas précisée en « simulation », et la représentation des simulations futures à des dates précises à partir des seules connaissances actuelles « prévision ».

#### **4-4-4/ Modèle de projet ou modèle normatif**

C'est le modèle d'un système en projet. Donc qui n'existe pas encore, il doit permettre d'arrêter les dimensions de la réalisation envisagée, il doit évidemment reproduire l'essentiel des comportements du système, mais surtout tous les paramètres dimensionnables.

**CHAPITRE II**  
**LA PREVISION HYDROLOGIQUE**

# CHAPITRE II

## LA PREVISION HYDROLOGIQUE

### 1- DEFINITION DE LA PREVISION HYDROLOGIQUE

C'est prévoir une grandeur bien déterminée : estimation préalable de l'état futur d'une caractéristique hydrologique.

### 2- CARACTERISTIQUES DE LA PREVISION HYDROLOGIQUE

Les modèles de prévision sont destinés à estimer les divers événements hydrologiques à différentes échéances :

#### 2-1/ Prévision à courte échéance

C'est la prévision de la valeur future d'un élément du régime d'une masse d'eau couvrant une période inférieure ou égale à deux jours à partir de la date d'émission.

#### 2-2/ Prévision à moyenne échéance

C'est la prévision de la valeur future d'un élément du régime d'une masse d'eau couvrant une période allant du troisième au dixième jour suivant la date d'émission.

#### 2-3/ Prévision à longue échéance

C'est la prévision de la valeur future d'un élément du régime d'une masse d'eau au delà du dixième jour suivant la date d'émission.

#### 2-4/ Prévision saisonnière

C'est la prévision de la valeur future du régime d'une masse d'eau pour une saison.

La météorologie joue un grand rôle dans le processus hydrologique mais vu le rythme lent du déroulement de ce dernier par rapport au premier (processus météorologique) qui suit un certain retard (plus rapide) d'où la possibilité de prévoir et de calculer à l'avance un certain nombre d'éléments importants du régime hydrologique ; néanmoins après la formulation de la prévision, les processus hydrologiques sont influencés par les facteurs subséquents qui englobent les conditions météorologiques ultérieures ne peuvent être prises en considération explicitement dans la prévision hydrologique que si l'on dispose de prévisions météorologiques.

Les composantes du régime hydrologique, dont la prévision présente un intérêt pratique, sont :

- Volume de ruissellement pour différents intervalles de temps.
- Hydrogramme ou limnigramme.
- Hauteur ou débit correspondant aux pointes de crues et le moment où elles se produisent.
- Niveau maximal des lacs et date à laquelle ce niveau sera atteint.
- Niveau moyen et maximal de l'eau dans les rivières navigables et les lacs à différentes périodes de l'année.
- Hauteur des vagues dues au vent sur les lacs et les grands réservoirs.
- Paramètre de qualité de l'eau comme la température et la turbidité.

### **3- MODELES DE PREVISION EN HYDROLOGIE**

Ils se classent de la manière suivante :

#### **3-1/ Modèles déterministes ou conceptuels :**

##### **3-1-1/ Modèles à réservoir**

Ce sont des systèmes constitués d'un ensemble de réservoirs d'eau en série et en parallèle simulant le comportement du bassin versant. La loi de remplissage de chaque réservoir et conditionnée par la structure amont du système, la loi de vidange lui étant propre.

L'interprétation physique des réservoirs et les caractéristiques des bassins versants nous permettent d'estimer de nombreux paramètres des modèles très complexes jusqu'à des modèles très simples à un ou deux réservoirs.

a/ Modèle STANFORD (1962-1966) : Il a été élaboré par LINSLEY et CRANFORD, il comporte 34 paramètres.

b/ Modèle SIMERO (1972-1978) : Il comporte 75 paramètres dont 30 doivent être ajustés par itération pour obtenir la réponse du bassin.

c/ Modèle de HYSIN de MANLEY (1977-1979) : Ce modèle assez simple de point de vue approche mais comporte 17 paramètres.

d/ Modèle GIRARD : C'est un modèle qui contient un très grand nombre de paramètres, de type plus complexe que celui de STANFORD.

e/ Modèle Simet GIRARD : C'est une version simplifiée du modèle GIRARD dont le bassin est représenté par cinq réservoirs au maximum.

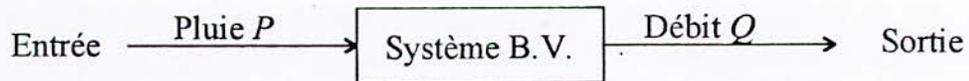
f/ Modèle de AYERS : Ce type de modèle a été utilisé pour exprimer les transferts souterrains.

g/ Modèle Grec (1967) : C'est un modèle assez simple conçu par CORMARY en 1967.

h/ Modèle de MODALO : C'est un modèle conçu par LORSTON en 1974, dont la fonction de production des débits journaliers est représentée par un réservoir sol dépendant de deux paramètres et la fonction de transfert est représentée par 4 réservoirs.

### **3-1-2/ Modèles d'écoulement**

Ce sont des modèles mathématiques qui permettent le passage de la pluie précipitée  $P$  au débit  $Q$  observé à l'exutoire, le bassin versant étant considéré comme un opérateur de transfert.



La plupart de ces modèles représentent sur des développements de la notion de l'hydrogramme unitaire proposé par L.K. SHERMAN (1932) qui est basé sur les hypothèses de linéarité et de l'invariabilité de la relation pluie-débit.

### 3-1-3/ Les modèles basés sur la notion d'onde de crues

La propagation des crues est régie par les équations de SAINT VENANT :

Equation de continuité :

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dQ}{dx} = 0 \qquad \frac{dU}{dt} + U \frac{dU}{dx} + g \frac{dZ}{dx} = -g j$$

S : surface mouillée.

j : pente de la ligne d'énergie.

Les inconnues sont la côte de la surface libre Z et la vitesse moyenne U.

L'équation de SAINT VENANT constitue les équations de base de tous ces modèles, selon la simplification apportée à ces équations et la méthode numérique de résolution, on définit des modèles très variés.

### 3-1-4/ Modèles basés sur l'étude des courbes de tarissement : (prévision des étiages)

Le tarissement d'un cours d'eau est défini comme la décroissance régulière des débits en fonction du temps. Les courbes représentant cette décroissance s'appellent les courbes de tarissement.

Un tarissement simple peut s'expliquer par la loi exponentielle (BOUSSINESQ-MAILLET).

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

$Q_0$  : débit de charnière  $m^3/s$ .

$\alpha$  : coefficient de tarissement ( $J^{-1}$ ).

La prévision des débits d'étiages revient donc à :

- Construire la courbe des débits de chaque jour sur du papier semi-logarithmique et sur papier à deux échelles logarithmiques.
- Regarder si l'une des deux courbes obtenues tend à prendre la forme rectiligne qui caractérise l'existence d'une courbe de tarissement.
- Prolonger cette droite vers les jours ou les semaines à venir.

### **3-2/ Modèles probabilistes**

#### **3-2-1/ Modèles régressifs**

Les modèles probabilistes de prévision en hydrologie sont basés généralement sur la régression multiple.

On distingue plusieurs types de régression utilisés en prévision.

**a/ Régression progressive** : Les variables explicatives sont sélectionnées ou éliminées une à une selon les valeurs du coefficient de corrélation multiple.

**b/ Régression orthogonalisée** : Il s'agit de la régression sur les variables issues de l'analyse des composantes principales.

**c/ Ridge régression** : Cette technique est utilisée pour diminuer la variance du coefficient de régression.

#### **3-2-2/ Méthodes de prévision adaptatives**

Ces méthodes permettent de réestimer les paramètres des modèles de prévision en utilisant des modèles basés sur des hypothèses linéaires tel que le filtre de KALMAN.

**CHAPITRE III**  
**CRITIQUE DES DONNEES**

# CHAPITRE III

## CRITIQUE DES DONNEES

### 1- INTRODUCTION

Les caractéristiques physiques et les données historiques enregistrées concernant la réalisation, la variabilité, les valeurs extrêmes ... etc. des phénomènes hydrologiques constituent les outils essentiels de l'hydrologie.

L'information, apportée par les données historiques, permet à l'hydrologue de connaître certaines caractéristiques physiques des phénomènes et de prédire son comportement dans le temps ou dans l'espace. La validité théorique d'une étude hydrologique dépend en grande partie de la disponibilité et de la qualité de ces informations, la critique de données nous permet d'employer des tests statistiques appropriés pour la recherche et la détection des observations aberrantes ou erronées, et vérifier si les séries hydrologiques possèdent certains critères statistiques sur lesquels nous nous pencherons au cours de ce chapitre.

### 2- LE TEST D'INDEPENDANCE

WOLD et WOLFOWITZ ont émis un critère d'indépendance signifiant qu'aucune observation appartenant à l'échantillon ne devrait influencer l'observation suivante en d'autres termes les observations ne devraient pas être corrélées entre elles.

Pour un échantillon de taille  $N(x_1, x_2, \dots, x_N)$  le test de WOLD et WOLFOWITZ considère la valeur statistique :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} x_i + x_{i+1} + x_1 x_N$$

Au cas où les éléments de l'échantillon sont indépendants  $R$  suit une distribution normale, de moyenne et de variance :

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

$$\text{Var}(R) = \frac{S_2^2 - S_4}{N-1} - \bar{R}^2 + \frac{S_1^4 - 4S_1^2S_2 + 4S_1S_3 + S_2^2 - 2S_4}{(N-1)(N-2)}$$

Avec  $S_r = N \cdot m_r$

$m_r$  est le moment d'ordre  $r$  de l'échantillon.

La valeur  $U = \frac{R - \bar{R}}{[\text{Var}(R)]^{1/2}}$  suit une distribution normale standardisée (moyenne 0 et variance 1) et peut être utilisée pour le test, à un niveau de signification, l'hypothèse d'indépendance en composant  $|U|$  avec la valeur normale standard  $U^{\alpha/2}$  correspondant à la probabilité de dépassement de  $\alpha/2$ .

### 3- TEST D'HOMOGENEITE

Les méthodes statistiques d'analyse des séries pluviométriques exigent de celles-ci une homogénéité de leurs composants, car nous ne pouvons pas faire une analyse statistique d'un échantillon composé de  $n$  observations d'une variable hydrologique que si certains de ces  $n$  observations ne présentent pas d'erreurs systématiques pendant l'échantillon hétérogène.

Soit deux échantillons de tailles  $P$  et  $Q$  ( $P \leq Q$ ); leur combinaison donne un échantillon de taille  $N=P+Q$  rangés par ordre croissant.

Le test de MANN-WITENEY (1997) considère les quantités :

$$\Gamma = \frac{R - P(P+1)}{2}$$

$$W = PQ - V$$

Où  $R$  est la somme des rangs des éléments du premier échantillon de taille  $P$  dans la série considérée.

$V$  et  $W$  sont calculées à partir de  $R$ ,  $P$  et  $Q$ .

$V$ : le nombre de fois où un élément de l'échantillon 1 suit dans l'ordre un élément de l'échantillon 2.

La valeur statistique de MANN-WITENEY est  $U$  et elle est définie par la plus petite des deux valeurs de  $V$  et  $W$ .

$N > 20$  et  $P \cdot Q > 3$  et quand les deux échantillons ne proviennent pas d'une même population,  $U$  est approximativement normalement distribuée avec une moyenne :

$$U = \frac{P \cdot Q}{2} \text{ et une variance } \text{Var}(U) = \left[ \frac{P \cdot Q}{W(N-1)} \right] \left[ N^3 - N/12 - \sum T \right]$$

$$T = (J^3 - J) / 12$$

Où  $J$  est le nombre d'observations associées à une classe donnée, pour un test à un niveau de signification  $\alpha$ , la quantité :

$$|U| = \left| (U - \bar{U}) \left[ \text{Var}(U) \right]^{1/2} \right|$$

Est comparée avec la variable normale standardisée correspondant à une probabilité de dépassement  $\alpha/2$ .

Dans cette étude, nous avons appliqué les tests précédents à deux échantillons.

- \* Premier échantillon : constitué par des valeurs annuelles des six stations étudiées sur 32 années d'observations.

#### 4- RESULTATS DES TESTS

##### 4-1/ L'homogénéité

Le test d'homogénéité appliqué aux valeurs annuelles mensuelles a été acceptée pour toute les stations du premier échantillon (valeurs annuelles). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

Stations	Alger	Annaba	Ghazaouet	Skikda	El Kala	Oran
$U$	$-7,71 \cdot 10^{-1}$	$5,5 \cdot 10^{-1}$	$3,85 \cdot 10^{-1}$		1,3887	$5,78 \cdot 10^{-1}$

Résultats du test d'homogénéité sur des valeurs annuelles.

$U$  : statistique du test d'homogénéité de MANNWHITNEY.

Si  $|U| \leq 1,96$ , test accepté à 5%.

Pour le deuxième échantillon, le test d'homogénéité a été rejeté pour la station d'Oran, les résultats du test sont présentés dans le tableau :

Stations	Alger	Annaba	Ghazaouet	Skikda	El Kala	Oran
$U$	$2,115 \cdot 10^{-2}$	$-66,851 \cdot 10^{-2}$	$-16,592 \cdot 10^{-2}$	-1,802	-1,474	-4,4287

Résultats du test d'homogénéité sur des valeurs mensuels.

$U$  : Statistique du test d'homogénéité de MANN-WHITNEY.

Si  $|U| \leq 1,96$ , le test accepté à 5%.

Si  $|U| \leq 2,75$ , le test est accepté à 1%.

Le test d'homogénéité a été rejeté pour la station d'Oran, peut être à cause de la spécificité de la pluviométrie de celle-ci ou bien du risque d'erreur pris en considération qui est élevé.

4.2) L'INDEPENDANCE. ( VOIR ERATUM - P 93 )

## 5- CONCLUSION

On constate que les données météorologiques de l'Office National de la météorologie sont d'une excellente fiabilité.

**CHAPITRE IV**  
**ETUDE STATISTIQUE**  
**DES DONNEES METEOROLOGIQUES**

# CHAPITRE IV

## ETUDE STATISTIQUE

### DES DONNEES METEOROLOGIQUES

Avant d'entamer la prévision météorologique proprement dite, on a été conduit à étudier certaines caractéristiques statistiques et les lois suivies par les valeurs annuelles et les valeurs maximales journalières annuelles des six stations situées sur le littoral algérien.

#### 1- CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DES VALEURS ANNUELLES

##### 1-1/ La moyenne

Le tableau (IV.1), donne les pluies moyennes inter-annuelles pour les six stations :

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Pluie moyenne inter-annuelle	361,1	384,6	732,2	770,6	627,3	785,6

A<sub>1</sub> : Ghazaouet

A<sub>2</sub> : Oran

A<sub>3</sub> : Alger

A<sub>4</sub> : Skikda

A<sub>5</sub> : Annaba

A<sub>6</sub> : El Kala.

Tableau (VI.1) : Pluies moyennes inter-annuelles.

On remarque que la moyenne inter-annuelle des stations situées dans la région Est est nettement supérieure à la moyenne inter-annuelle pour les stations de l'Ouest.

Cela paraît normal à l'échelle géographique, car les quantités de précipitations qui tombent à l'Est est plus importante qu'à l'Ouest, cela peut être dû aux effets des masses d'air venus d'Europe, ainsi qu'à la chaîne montagneuse du Rif qui empêche l'arrivée en grande quantité des précipitations sur l'Ouest algérien.

##### 1-2/ L'écart type

Le tableau (IV.2) donne les valeurs des écarts types des valeurs annuelles pour les stations du littoral.

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Ecart type	145,1	117,9	178,8	188,0	162,3	232,2

**Tableau (VI.2) : Ecart type annuels**

On remarque que les stations de l'Est présentent une plus grande dispersion autour de la moyenne par rapport aux valeurs des stations de l'Ouest, ceci est dû à la plus forte pluviométrie de la région de l'Est.

## **2- CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DES VALEURS MAXIMALES JOURNALIERES ANNUELLES**

### **2-1/ La moyenne**

Les valeurs des pluies maximales journalières annuelles des six stations du littoral sont données dans le tableau (IV.3).

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Pluies maximales journalières inter-annuelles	53,1	41,4	68,2	58,9	50,3	60,3

**Tableau (VI.3) : Pluies maximales journalières annuelles**

On remarque que les stations situées dans la région Est ont une moyenne journalière inter-annuelle plus ou moins supérieure à la moyenne journalière inter-annuelle des stations de l'Ouest.

La plus grande valeur est obtenue à la station d'Alger (68,2 mm) et la plus faible à la station d'Oran (41,4 mm).

### **2-2/ L'écart type**

Les valeurs des écarts types des valeurs maximales journalières annuelles sont donnés dans le tableau (IV.4).

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Ecart type	27,2	20,9	28,2	223,9	24,8	23,0

**Tableau (VI.4) : Les écarts types des pluies maximales journalières annuelles**

On remarque que les valeurs des stations d'Alger et Ghazaouet présentent une forte dispersion autour de leurs moyennes, alors que la station d'Oran présente la plus faible dispersion.

### 3- AJUSTEMENT D'UNE SERIE STATISTIQUE PAR UNE LOI DE DISTRIBUTION

#### 3-1/ Introduction

On appelle ajustement d'une série statistique à une loi de distribution théorique, la détermination des paramètres de la population théorique que l'on utilise ensuite comme modèle du phénomène étudié.

Cette opération de modélisation nous permettra de calculer les pluies à un temps de retour donné et son intervalle de confiance.

#### 3-2/ Ajustement graphique

Il consiste à représenter graphiquement les valeurs des variables de la série statistique (dans notre cas les pluies) en fonction des fréquences cumulées  $F(x_i)$  qui sont déterminées par différentes lois telles que celle de WEIBULL :

$$F(x_i) = \frac{\Gamma(x_i)}{n+1}$$

$\Gamma(x_i)$  : le rang de la valeur observée.                       $n$  : le nombre d'observations.

La base de son utilisation est de transformer l'axe des abscisses de la fonction de répartition de telle sorte que la loi choisie se ramène à une droite.

L'utilité de cette méthode est le contrôle visuel, et immédiate de l'adéquation de la loi choisie à l'échantillon traité.

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé deux lois de distribution :

- a) La loi normale pour l'ajustement des valeurs de pluies annuelles.
- b) La loi de CROMBEL pour ajuster des valeurs des pluies maximales journalières annuelles.

### 3.2.1/ Ajustement des pluies annuelles par la loi normale

Soit  $x$  la variable normale. Elle est donnée par la relation suivante :

$$x = U \cdot \sigma + \bar{x}$$

$U$  : la variable centrée réduite.       $\sigma$  : l'écart type.       $\bar{x}$  : la moyenne.

Donc le graphique est une droite avec en ordonnée la variable centrée réduite déduite de la table de la loi normale et en abscisse les valeurs des pluies annuelles.

Dans cette étude, on a ajusté des valeurs annuelles des six stations du littoral suivantes : Ghazaouet, Oran, Alger, Skikda, Annaba et El Kala.

a/ Analyse des résultats : une première appréciation des graphiques, nous révèle un bon ajustement à la loi normale pour toutes les valeurs des stations étudiées.

L'analyse des graphiques (annexe III.1), permet de montrer que parmi les stations jugées d'un bon ajustement, il y en a qui présentent des déviations systématiques de la représentation de la série des observations par rapport à la loi ajustée ; (exemple station Annaba et Alger), ceci est dû à la présence des années pluvieuses exceptionnelles par rapport à la moyenne soit des distributions par paquets de points (exemple station Skikda et El Kala).

### 3-2-2/ Ajustement des pluies maximales journalières annuelles par la loi de CROMBEL *GUINBEL*

La fonction de répartition de CROMBEL est donnée par la fonction suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-b)}}$$

$a$  : paramètre d'échelle  $> 0$

$b$  : paramètre de position.

Pour faciliter l'ajustement, on fait recourt à une transformation de telle manière que la loi devienne linéaire :

$$x = b + \frac{U}{a}$$

$U$  : variable centrée réduite de *(CROMBEL)* *GUINBEL*

$x$  : variable étudiée.

a/ Analyse des résultats : les figures en annexe (IV), illustrent les ajustements graphiques à la loi de (CROMBEL) pour les valeurs maximales journalières annuelles des six stations du littoral, l'ajustement est assez bon.

b/ Détermination des pluies annuelles décennale, centennale et millennale : à partir des ajustements graphiques, on a déterminé les pluies annuelles pour les périodes de retour de 10, 100 et 1000 ans, pour toutes les stations, les résultats sont donnés dans le tableau (IV.5).

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
période de retour						
$X_{10}$	546,9	535,5	961,1	1011,2	835,0	1082,8
$X_{100}$	699,2	659,3	1148,8	1208,6	1005,4	1326,6
$X_{1000}$	809,4	748,9	1284,4	1351,5	1128,8	1503,1

$X_{10}$  : pluie décennale.

$X_{100}$  : pluie centennale.

$X_{1000}$  : pluie millennale.

On remarque que les valeurs des pluies annuelles augmentent avec la période de retour minimale pour la station d'Oran et elles sont maximales pour la station d'El Kala.

b/ Détermination des pluies maximales journalières annuelles décennale, centennale et millennale : l'ajustement graphique nous a permis de déterminer les valeurs des pluies journalières maximales annuelles de période de retour, 10 ans, 100 ans et 1000 ans pour les six stations, les résultats sont donnés dans le tableau (IV.5) :

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
$1/\alpha$	21,2	16,3	22,0	18,6	19,3	17,9
$X_0$	40,9	32,0	55,5	48,2	39,2	49,9
$X_{10}$	88,6	68,7	105,0	90,0	82,6	90,2
$X_{100}$	137,4	106,2	155,6	132,8	127,0	131,3
$X_{1000}$	187,2	144,5	207,3	176,5	172,4	137,4

On remarque que les valeurs des pluies maximales journalières annuelles augmentent avec la période de retour.

#### 4- CONCLUSION

D'après les résultats obtenues, on constate une très forte variabilité entre la station la plus pluvieuse se trouve à l'extrême Est et la station la moins pluvieuse à l'extrême Ouest.

En appliquant à une loi normale et à une loi <sup>CUMBEL</sup> (CROMBEL) on a remarqué que tous les échantillons (valeurs annuelles et les valeurs maximales) s'ajustaient.

## **CHAPITRE V**

### **ETUDE DES DONNEES PAR LES CHAINES DE MARKOV**

# CHAPITRE V

## ETUDE DES DONNEES PAR LES CHAINES DE MARKOV

### A- THEORIE

#### 1- INTRODUCTION

L'analyse des précipitations journalières dans le temps fait généralement apparaître l'existence de dépendance stochastique.

On constate la forte tendance de succession d'un jour sec par un jour sec et un jour de pluie par un jour de pluie.

La nécessité d'une bonne gestion des ressources en eau et à fortiori au moment de la pénurie a conduit à l'explication de modèles mathématiques qui serviront comme aide à la décision. Parmi eux il y a les chaînes de MARKOV découvertes par un mathématicien russe en faisant l'étude d'une oeuvre de littérature, qui occupe une place de choix dans ce concert (1885-1922).

#### 2- GENERALITES

Les processus de MARKOV peuvent présenter deux qualités :

a) Elles peuvent être homogènes dans le temps et/ou discrètes. D'autre part, un processus de MARKOV est dit homogène dans le temps, si les probabilités  $(P)$  ne sont pas effectuées par une translation dans le temps, et il est dit discret si au moment d'un changement d'état, l'influence du passé se trouve résumée dans la connaissance du résultat de la dernière transition.

b) Lorsque la matrice  $P$  des probabilités de passage admet comme valeur propre l'unité et que toutes les autres valeurs propres sont des modules strictement inférieurs à l'unité, dans ce cas, on parle d'une chaîne de MARKOV finie et régulière.

Si la matrice de transition d'ordre 1, élevée à l'exposant  $n$  converge à l'infini vers une matrice asymptotiques, le système est alors stable en probabilité.

### 3- ORDRES DES CHAINES DE MARKOV

Pour l'ordre  $k$  la réalisation d'un état donné ne dépend que des réalisations précédentes, s'il y a indépendance des propriétés, on parle de chaînes de MARKOV d'ordre 0 (probabilités inconditionnelles).

On considère deux états, l'état 0 sec, et l'état 1 humide (pluvieux).

Cette dernière notion peut être étalée, en considérant comme sec, les jours où la pluie est inférieure à un seuil donné.

$F_0$  : probabilité inconditionnelle du jour sec.

$1-F_0$  : probabilité inconditionnelle ou moyenne à un jour pluvieux.

#### Ordre 1 :

le processus d'ordre 1, est caractérisé par les probabilités conditionnelles de passage de l'état de la veille à l'état d'aujourd'hui.

$x$  : variable aléatoire caractérisant l'état (elle prend la valeur 0 ou 1 )et  $x_k$  la valeur du jour  $k$ , soit l'état  $i$  réalisé le jour  $k-1$  ( $i=0$  ou  $1$  ), et  $j$  l'état réalisé le jour  $k$  ( $j=0$  ou  $1$  ), la probabilité conditionnelle est la probabilité de l'état  $j$  au jour  $k$  sachant qu'étant réalisé l'état  $i$  au jour  $k-1$ .

$$\text{Prob}(x_k = J / x_{k-1} = i) = \alpha_{ij}.$$

Avec deux états, il y a quatre possibilités :

Etat du jour $k-1$	Etat au jour $k$	
	0	1
0	$\alpha_{00}$	$\alpha_{01}$
1	$\alpha_{10}$	$\alpha_{11}$

Avec :  $\alpha_{00} + \alpha_{01} = \alpha_{10} + \alpha_{11} = 1$

Ces coefficients sont obtenus par le décompte des jours caractérisés par les états (i,j).

Si on a une série météorologique de  $N+1$  jours, il y aura  $N$  couples décomposés comme suit :

Etat du jour $k-1$	Etat au jour $k$		Nombre d'états de la veille
	0	1	
0	$N_{00}$	$N_{01}$	$N_0 = N_{00} + N_{01}$
1	$N_{10}$	$N_{11}$	$N_1 = N_{10} + N_{11}$
Nombre d'états aujourd'hui	$N'_0 = N_{00} + N_{01}$	$N'_1 = N_{10} + N_{11}$	$N = N_0 + N_1 = N'_0 + N'_1$

$N_{01}$  et  $N_{10}$  représentent le nombre de jours de changement d'état de sec vers humide et de humide vers sec, en considérant que  $N_{01} = N_{10}$ , d'où on aura les relations suivantes :

$$F_0 = \frac{N_0}{N}, \quad 1 - F_0 = \frac{N_1}{N}$$

$$\alpha_{00} = \frac{N_{00}}{N_0}, \quad \alpha_{01} = \frac{N_{01}}{N_0}, \quad \alpha_{10} = \frac{N_{10}}{N_1}, \quad \alpha_{11} = \frac{N_{11}}{N_1}$$

$$F_0 \alpha_{01} = (1 - F_0) \alpha_{10} \Rightarrow F_0 = \frac{\alpha_{10}}{1 - \alpha_{00} + \alpha_{10}}$$

$F_0$  : probabilité inconditionnelle d'un jour sec.

$1 - F_0$  : probabilité inconditionnelle d'un jour humide.

### Ordre 2 :

La probabilité d'événements enchaînés a été introduite par KOMENY et SNELL (1960), le problème est de déterminer la probabilité de l'état de la classe 0 et 1, aujourd'hui en fonction des états connus hier et avant-hier le dénombrement statistique fournit les probabilités conditionnelles du tableau suivant :

		Couple hier et aujourd'hui			
		00	01	10	11
Couple avant-hier et hier	00	$\beta_{000}$	$\beta_{001}$	-	-
	01	-	-	$\beta_{010}$	$\beta_{011}$
	10	$\beta_{100}$	$\beta_{101}$	-	-
	11	-	-	$\beta_{110}$	$\beta_{111}$

Il est évident que du fait du chevauchement de deux couples sur la veille, il est nécessaire d'avoir égalité de la classe dans les deux couples.

Pour cet ordre, l'état au jour  $k$  dépend de l'état au jour  $k-1$  et  $k-2$ , lors de la définition de la matrice de passage exprimant les probabilités de couples successifs, il y a impossibilité de certaines combinaisons,  $U \cup n$  la succession de certains doublets.

$\beta_{ijk}$  représente la probabilité conditionnelle et obtenir un doublet  $(j,k)$  succédant à autre de classe  $(i,j)$ .

La comparaison entre les probabilités conditionnelles du premier ordre , et du second ordre ( $\beta_{ijk}$ ) est en somme l'épreuve de vérité du modèle markovien du premier ordre, si l'écart n'est pas significatif, on utilisera le modèle du premier ordre pour définir un climat donné.

### Ordre 3 :

La mémoire météorologique est faible, mais cela ne nous empêche pas de déterminer les probabilités conditionnelles de l'état au jour  $k$ , en faisant intervenir de manière solidaire, les réalisations des états des trois jours précédents.

Avec un modèle binaire (jour sec ou pluvieux), on aura  $2^*3$  la matrice de transition se présente comme suit :

			$r$	$r-1$	$r-2$				
	000	001	010	011	100	101	110	111	
r-1, r-2, r-3	000	0000	0001	-	-	-	-	-	-
	001	-	-	0010	0011	-	-	-	-
	010	-	-	-	-	0100	0101	-	-
	011	-	-	-	-	-	-	0110	0111
	100	1000	1001	-	-	-	-	-	-
	101	-	-	1010	1011	-	-	-	-
	110	-	-	-	-	1100	1101	-	-
	111	-	-	-	-	-	-	1110	1111

$\gamma_{ijk}$  représente la probabilité d'obtenir un triplet de classe  $(j,k,s)$  succédant à un triplet de classe  $(i,j,k)$

On peut aller plus loin dans la prise en compte d'informations antérieures ayant une incidence sur la probabilité du jour considéré.

#### 4- CONVERGENCE DE LA MATRICE STOCHASTIQUE

Si on appelle  $P_i$ , la probabilité marginale de l'état  $i$ , on peut déduire les relations suivantes :

$$P_i = \frac{N_i}{N} \quad \text{et} \quad \alpha_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i}$$

La probabilité marginale peut s'écrire sous la forme :

$$P_0 = \frac{\alpha_{10}}{1 - \alpha_{00} + \alpha_{10}}$$

Le coefficient d'autocorrélation s'écrit :

$$\ell = \frac{\alpha_{00} - P_0}{1 - P_0} = \frac{\alpha_{11} - (1 - P_0)}{P_0} = \alpha_{00} - \alpha_{10} = \alpha_{11} - \alpha_{01}$$

En introduisant  $\ell$  et  $P_{01}$ , la matrice de passage devient :

$$P = \begin{vmatrix} P_0 + \ell(1 - P_0) & (1 - P_0) - \ell(1 - P_0) \\ P_0 + \ell P_0 & (1 - P_0) + \ell P_0 \end{vmatrix}$$

Sachant que les matrices de MARKOV ont toujours une valeur propre égale à un, on montre que  $P^n$  tend à l'infini vers une matrice asymptotique  $P^{00}$  avec :

$$P^\infty = \begin{vmatrix} P_0 & 1 - P_0 \\ P_0 & 1 - P_0 \end{vmatrix}$$

A partir d'un certain temps les probabilités conditionnelles deviennent indépendantes de l'état initial, du point de vue physique, l'entier  $n$  représente la mémoire du phénomène, météorologique.

## 5- CARACTERISTIQUES DES LONGUEURS DES SEQUENCES

On définit une séquence sèche de  $n$  jours par un épisode de  $n$  jours secs consécutifs, bornée par un jour pluvieux à chaque extrémité.

Il en sera de même pour la définition d'une séquence pluvieuse. On peut le schématiser de la manière suivante :

$$\underbrace{1000\dots\dots 001}_{n \text{ fois}}$$

Si on appelle  $(\ell_0)$  la variable aléatoire représentant la longueur des séquences sèches on cherche à obtenir la probabilité d'une séquence sèche de  $i$  jours :

$$\text{Prob}(\ell_0 = i) = (1 - P_0) \alpha_{00} \alpha_{00}^{i-1} \alpha_{01}$$

a/ Processus d'ordre 1 : pour l'ordre 1, la durée moyenne d'un épisode humide est :

$$\bar{\ell}_1 = \frac{1}{1 - \alpha_{11}}$$

**b/ Processus d'ordre 2 :**

$$\bar{\ell}_1 = 1 + \beta_{011} \frac{1}{1 - \beta_{111}}$$

**c/ Processus d'ordre 3 :**

$$\bar{\ell}_1 = \beta_{010} + (1 - \beta_{010}) \left( 2 + \frac{y_{0111}}{1 - y_{1111}} \right)$$

Pour obtenir les expressions des paramètres afférents aux longueurs d'épisodes pluvieux, il suffit de permuter les indices 0 et 1.

L'utilisation de la distribution des longueurs d'épisodes, a conduit à des formules d'évaluation de la longueur moyenne différentes suivant l'ordre, or des essais numériques, ont montré que l'on obtenait toujours la même longueur moyenne, quel que soit l'ordre de la matrice de MARKOV.

Ainsi donc, une fois encore, on voit que la multiplicité des coefficients conduit à une multiplicité d'expressions qui donnent intrinsèquement la même évolution.

**6- MODELE MULTICLASSES**

Au lieu de prendre un modèle binaire, on peut aisément faire un changement, en utilisant plusieurs classes de pluie, le problème résidera dans le découpage en classes et donc la stabilité des valeurs des coefficients.

Pour remédier à ce fait, de telle manière que le nombre d'événements soit à peu près le même dans toutes les classes.

Pour un processus multiclassés (constitué de  $n$  classes) d'ordre  $r$ , la taille de la matrice devient très vite très grande, on obtient une matrice carrée de dimension  $N^r \times N^r$ .

Cette façon d'opérer présente l'avantage de donner de l'importance aux hauteurs de pluie élevées.

Le découpage en classe se fera de différentes façons :

- a) On choisit les seuils et on suit l'évolution des coefficients de la matrice de passage, un très grand nombre de classes va poser le problème des données disponibles de la série historique.
- b) En utilisant la fonction de répartition, on considérera des classes d'égales probabilités marginales sauf pour la classe sèche.  
Soit  $P_0$  la probabilité marginale sèche, on découpe à l'aide de la fonction de répartition l'intervalle en  $n-1$  parties égales  $]1 - P_0 \quad 1]$ .
- c) En se basant sur la hauteur moyenne  $I$ , et l'écart type  $\sigma$  des précipitations journalières. On procède au découpage à l'aide des seuils

$$0, I, \bar{I} + \sigma, I + 2\sigma$$

L'utilisation du modèle multiclassés, met en évidence le fait que plus on augmente le nombre de classes et plus la difficulté du choix des seuils croît.

Il donne une image plus fine du phénomène météorologique, mais abouti à une instabilité des coefficients.

## **7- EFFET SAISONNIER**

Pour les climats contrastés, constitués de deux ou plusieurs saisons, au lieu d'utiliser un modèle binaire, ou multiclassés annuel on utilise un modèle saisonnier qui permet d'affiner l'étude et de faire ressortir les traits caractéristiques, de chaque saison.

### **Exemple de modèle multiclassés :**

Classe 0  $\rightarrow I \leq 0,01$ .

Classe 1  $\rightarrow 0,01 < I \leq 3,2$ .

Classe 2  $\rightarrow I > 3,2$ .

		Etat aujourd'hui				
		0	1	2		
Etat hier	0	0,74	0,16	0,10	$\Sigma = 1$	Matrice $N^\Gamma \times N^\Gamma$ N : Nombre de classes $\Gamma$ : ordre du processus
	1	0,46	0,31	0,23	$\Sigma = 1$	
	2	0,33	0,35	0,32	$\Sigma = 1$	

5 classes ordre 2  $\Rightarrow 5^2 \times 5^2 \Rightarrow$  Matrice  $25 \times 25$ .

D'où 11 probabilités d'avoir la classe 1, alors qu'hier on avait la classe 1.

## **B- APPLICATION DES CHAINES DE MARKOV**

### **1- INTRODUCTION**

Imaginé par un mathématicien russe A. MARKOV lors d'une étude d'une œuvre littéraire pour rendre compte de la succession des voyelles et consonnes, ce modèle est devenu l'un des plus importants modèles mathématiques.

La côte algérienne qui s'étend sur mille deux cents (1 200) kilomètres, connaît des variations climatiques distinctes d'une année à l'autre et d'une région à une autre.

L'étude de la pluviométrie par les chaînes de MARKOV permet une meilleure connaissance des disparités existantes sur le littoral algérien.

Dans notre présente étude on appliquera les quatre ordres des chaînes de MARKOV en annuel, 2 saisons et saisonnier.

### **2- MODELE ANNUEL**

#### **2-1/ Ordre 0 : tableau V-1**

La probabilité inconditionnelle  $P_0$  varie de 74,4% (Skikda) à 85,8 (Ghazaouet) donc quelle que soit la station les  $P_0$  sont très élevées.

La probabilité  $P_1$  les plus élevées sont 28,6% et 28,2% (respectivement pour Skikda et Annaba), elle est le double par rapport à celle de Ghazaouet qui n'est que de 14%.

Stations	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
$P_0$	85,8	80,6	74,5	71,4	71,8	75,2
$P_1$	14,2	19,4	25,5	28,6	28,2	24,8

**Tableau V-1 : Modèle annuel d'ordre 0.**

#### **2-2/ Ordre 1**

Pour les régions de l'Ouest (Ghazaouet et Oran), la probabilité d'avoir deux jours successifs secs est de 90,3% (Ghazaouet) et 88,3% (Oran), elle est de même

ordre pour les autres stations 85,1% (Alger), 82,9% (Skikda), 83,1%(Annaba) et 85,3% pour El Kala.

En ce qui concerne la probabilité d'apparition de deux jours successifs pluvieux, la station de Ghazaouet se détache des autres, elle est de 41,1% seulement, tandis que pour les autres stations elle dépasse les 50% (51,1% (Oran), Alger 56,6%, Skikda 57,3%, Annaba 57% et El Kala 55,5%).

La probabilité d'apparition d'un jour pluvieux sachant que la veille ou a eu un jour sec est très faible, la plus élevée 17,1% (Skikda) et la moins élevée 9,7% Ghazaouet, par contre la probabilité d'avoir un jour sec sachant que le jour d'avant a été pluvieux. Varie de 42,7% (Skikda) à 58,9% (Ghazaouet).

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
$\alpha_0$	90,3	88,3	85,1	82,9	83,1	85,3
$\alpha_{01}$	9,7	11,7	14,9	17,1	16,9	14,7
$\alpha_{10}$	58,9	48,9	43,4	42,7	43,0	44,5
$\alpha_{11}$	41,1	51,1	56,6	57,3	57,0	55,5

Tableau V-2 : Modèle annuel d'ordre 1.

### **2-3/ Ordre 2**

La probabilité d'apparition de trois jours successifs secs varie de 85,0% à Skikda et Annaba et 91,2% à Ghazaouet, donc elles sont très élevées quelle que soit la station.

La probabilité d'apparition de trois jours successifs pluvieux est de 41,2% à Ghazaouet et 77,7% à El Kala. On constate que cette probabilité augmente de l'Ouest où on a les plus faibles probabilités au Centre et l'Est.

Par contre pour la probabilité d'apparition d'un jour sec sachant qu'on a deux jours avant un sec et l'autre pluvieux est très élevée, elle atteint 81,4% à Oran et la moins élevée 72,5% à Skikda.

La probabilité d'apparition d'un jour pluvieux sachant que deux jours avant on a eu respectivement un jour pluvieux et un jour sec est de l'ordre de 40,9% à Ghazaouet et de 56,1% à Annaba.

#### **2-4/ Ordre 3**

La probabilité d'apparition de quatre jours successifs secs est très élevée, elle varie de 86,2% à Annaba à 92,0% à Ghazaouet. La probabilité d'apparition de quatre jours successifs pluvieux est faible à l'Ouest où on a 39,8% à Ghazaouet et 48,8% à Oran mais elle augmente en allant vers le Centre 50,6% à Alger et l'Est où on enregistre la probabilité la plus élevée 88,0% à El Kala.

On constate que la probabilité d'apparition d'un jour sec sachant que trois jours avant on a eu deux jours secs et un jour pluvieux est très élevée, elle varie de 77,6% à Skikda à 82,6% à Ghazaouet ainsi que pour la probabilité d'apparition d'un jour sec sachant qu'on a eu trois jours dont, le premier sec, le deuxième pluvieux et le troisième sec, elle varie de 75,1% à Annaba à 81% à Ghazaouet.

### **3- MODELE DEUX SAISONS**

#### **3-1/ Ordre 0**

Pour la première saison la probabilité inconditionnelle  $P_0$  est élevée, elle varie de 62,6% à Skikda à 82,0% à Ghazaouet, la probabilité  $P_1$  est faible, elle varie de 18% à Ghazaouet et 37,4% à Skikda.

Pour la deuxième saison, la probabilité  $P_0$  est très élevée, elle est de 88,3 (Annaba) et 93,4% à Ghazaouet et c'est la plus faible, la probabilité  $P_1$  par contre varie de 6,6% (Ghazaouet) à 11,7% (Annaba).

#### **3-2/ Ordre 1**

Pour la première saison, la probabilité d'avoir 2 jours successifs secs, varie de l'Ouest à l'Est entre 87,3% et 76,8%.

Pour la deuxième saison, elle varie de 95,3% (Skikda) à 91,3% (Ghazaouet) et c'est dû principalement à la saison (été).

Par contre, pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs pluvieux, elle varie de 41,1% (Ghazaouet) à 57,3% (Skikda) pour la première saison est de 31,8% (Skikda) à 37,2% (Annaba).

On constate aussi que la probabilité d'apparition d'un jour sec sachant que la veille a plu, elle varie de 68,2% (Skikda) à 62,8% (Annaba) pour la deuxième saison.

### **3-3/ Ordre 2**

#### **3-3-1/ Saison 1 (Tableau V-3)**

La probabilité d'apparition de trois jours successifs secs varie de 88,5% (Ghazaouet) à 78,9% (Annaba) et de 42,5% (Ghazaouet) à 61,2% (Alger) par la possibilité d'apparition de trois jours successifs pluvieux.

#### **3-3-2/ Saison 2**

La probabilité d'apparition de trois jours secs varie de 92,0% (Ghazaouet) à 95,6% (El Kala) et de 31,5% (El Kala) à 37,6% (Annaba) pour la probabilité d'avoir trois jours successifs pluvieux.

Station	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
$\beta_{000}$	88,5	86,1	82,2	79,0	78,9	80,9
$\beta_{001}$	11,5	13,9	17,8	21,0	21,1	19,1
$\beta_{010}$	57,3	43,0	40,7	37,8	39,0	44,0
$\beta_{011}$	42,7	57,0	59,3	62,2	61,0	56,0
$\beta_{100}$	79,6	75,4	72,2	69,3	70,6	71,5
$\beta_{101}$	20,4	24,6	27,8	30,7	29,4	28,5
$\beta_{110}$	57,5	49,6	38,8	39,3	40,1	40,3
$\beta_{111}$	42,5	50,4	61,2	60,7	59,9	59,7

**Tableau VI.3 : Modèle deux saisons deuxième ordre pour la première saison.**

### 3-4/ Ordre 3

#### 3-4-1/ Saison 1

La probabilité d'apparition de quatre jours successifs secs varie de 89,4% (Ghazaouet) à 79,9% (Annaba) par contre pour la probabilité d'apparition de quatre jours successifs pluvieux la plus élevée est de l'ordre de 62,8% (Alger) et la plus faible est de 41,9% (Ghazaouet) on constate aussi que la probabilité d'apparition d'un jour sec est très élevée et ceci quel que soit l'état des jours précédents et surtout pour la station de Ghazaouet, tandis que la probabilité d'apparition d'un jour pluvieux est très faible (connaissant l'état des jours précédents) pour la station de Ghazaouet par contre pour les autres elle varie.

#### 3-4-2/ Saison 2 (tableau V-4)

La probabilité d'avoir quatre jours successifs secs est très élevée, elle dépasse 92% pour toutes les stations tandis que pour avoir quatre jours successifs pluvieux est très faible (en-dessous de la moyenne) elle varie de 21,2% (Alger) à 41,9% (Oran).

On constate aussi que la probabilité d'apparition d'un jour sec connaissant l'état des jours précédents est très élevée, elle dépasse la moyenne dans la plupart part des stations et c'est le contraire pour la probabilité d'un jour pluvieux qui est très faible où la moyenne n'est jamais atteinte contrairement à la saison 1.

Station	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Y <sub>0000</sub>	96,0	95,1	93,6	92,5	92,6	94,9
Y <sub>0001</sub>	4,0	4,9	6,4	7,5	7,4	5,1
Y <sub>0010</sub>	68,4	62,4	67,2	69,2	62,3	63,0
Y <sub>0011</sub>	31,6	37,3	32,8	30,8	37,7	37,0
Y <sub>0100</sub>	91,3	88,4	89,5	85,2	85,7	91,0
Y <sub>0101</sub>	8,7	11,6	10,5	14,8	14,3	9,0
Y <sub>0110</sub>	62,1	73,3	60,4	67,4	60,6	68,4
Y <sub>0111</sub>	37,9	26,7	39,6	32,6	39,4	31,6

$\gamma_{1000}$	88,3	90,1	82,7	87,4	89,4	89,2
$\gamma_{1001}$	11,7	9,9	17,3	12,6	10,6	10,8
$\gamma_{1010}$	57,9	40,7	57,9	72,2	67,4	75,0
$\gamma_{1011}$	42,1	59,3	42,1	27,8	32,6	25,0
$\gamma_{1100}$	85,7	85,9	84,5	81,2	86,1	89,6
$\gamma_{1101}$	14,3	14,1	15,5	18,8	13,9	10,4
$\gamma_{1110}$	75,8	58,1	78,8	61,1	65,2	68,6
$\gamma_{1111}$	24,2	41,9	21,2	38,9	34,8	31,4

**Tableau V-4 : Modèle deux saisons d'ordre 3 saison 2.**

#### **4- MODELE SAISONNIER**

##### **4-1/ Ordre 0 : tableau V-5**

Pour la première saison  $P_0$  varie de 56,2% (Skikda) à 78,2% (Ghazaouet),  $P_1$  est de l'ordre de 43,8% (Skikda) (la plus élevée) et qui fait plus du double de celle de Ghazaouet 21,8%.

La deuxième saison nous a donné une probabilité  $P_0$  très élevée variant entre 81,8% (Ghazaouet) et 68,2% (Skikda), par contre la probabilité inconditionnelle  $P_1$  enregistré aux stations de (Skikda) et (Annaba) est la plus élevée et qui fait le double de celle de la station de Ghazaouet, elles sont respectivement de 31,8%, 43,5% et 18,2%.

La troisième saison montre que  $P_0$  enregistre des valeurs max., elles dépassent largement la moyenne, la valeur la plus élevée à Ghazaouet 96,2% et la moins élevée à Annaba 91,8% tandis que  $P_1$  varie de 3,8% (Alger) à 8,2% (Annaba) et ce sont des valeurs très faibles.

En arrivant à la quatrième saison on constate que la probabilité  $P_0$  varie de 87% (Ghazaouet) à 68,8% (Skikda), la probabilité  $P_1$  la plus élevée a été enregistrée à Skikda 31,1% et la plus faible à Ghazaouet 13%.

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
P <sub>0</sub>	96,2	95,3	92,4	91,9	91,8	94,7
P <sub>1</sub>	3,8	4,7	7,6	8,1	8,2	5,3

**Tableau V-5 : Modèle saisonnier d'ordre 0 saison 3.**

#### **4-2/ Ordre 1**

##### **4-2-1/ Saison 1**

Elle varie de 84,4% (Ghazaouet) à 72,1% (Skikda) pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs secs et de 64,4% (Alger) à 44,2% (Ghazaouet) pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs pluvieux.

##### **4-2-1/ Saison 2**

La probabilité la plus élevée pour l'apparition de trois jours successifs secs est de l'ordre de 87,1% (Ghazaouet) et de 79,1% (Skikda) par contre pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs pluvieux varie de 55,5% (Skikda) à 41,9% (Ghazaouet).

##### **4-2-3/ Saison 3**

La probabilité la plus élevée a été enregistrée à la station de Ghazaouet 97,2% et la moins élevée à la station de Skikda 93,5%. Pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs secs tandis que pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs pluvieux est très faible, elle varie de 25,5% (Skikda) à 29,8% (Ghazaouet).

##### **4-2-4/ Saison 4**

Pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs secs, elle varie de 80,9% (Skikda) à 90,7% (Ghazaouet). Par contre pour la probabilité d'apparition de deux jours successifs pluvieux, la plus élevée est de 58,5% (Skikda) et la plus faible est de 38% (Ghazaouet).

Stations	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
$\alpha_{00}$	90,7	87,8	84,6	80,9	81,1	81,8
$\alpha_{01}$	9,3	12,2	15,4	19,1	18,9	18,2
$\alpha_{10}$	62,0	51,6	42,2	41,5	43,7	45,3
$\alpha_{11}$	38,0	48,4	57,8	58,5	56,3	54,7

**Tableau V-6 : Modèle saisonnier d'ordre 1 saison 4.**

#### **4-3/ Ordre 2**

##### **4-3-1/ Saison 1**

Pour la probabilité d'apparition de trois jours successifs secs, la plus élevée est de 86,0% (Ghazaouet) et la moins élevée est de 74,9% (Annaba), tandis que pour la probabilité d'avoir trois jours successifs pluvieux, elle varie de 45,4% (Ghazaouet) à 65% (Alger).

##### **4-3-2/ Saison 2**

La probabilité d'avoir trois jours successifs secs varie de 87,8% (Ghazaouet) à 80,4% (Annaba), par contre pour la probabilité d'apparition de trois jours successifs pluvieux, elle varie de 37,4% (Ghazaouet) à 54,5% (Annaba).

##### **4-3-3/ Saison 3**

La probabilité d'apparition de trois jours successifs est très faible vu qu'elle varie de 10% (Oran) à 37,7% (Skikda), tandis que la probabilité d'apparition de trois jours successifs pluvieux est très élevée, la probabilité la plus élevée est de 97,4% (Ghazaouet) et 94,0% (Alger).

##### **4-3-4/ Saison 4**

La probabilité d'apparition de trois jours successifs secs varie de 82,3% (Skikda) à 91,3% (Ghazaouet) par contre, la probabilité d'apparition de trois jours successifs pluvieux la plus élevée est de 50,3% (Alger) et la moins élevée 41,1% (Ghazaouet).

#### 4-4/ Ordre 3

On constate que la probabilité d'apparition de quatre jours successifs pluvieux est très élevée, elle dépasse largement la moyenne, la probabilité la plus élevée est généralement enregistrée à l'Ouest.

Pour la probabilité d'avoir quatre jours successifs pluvieux est moyennement élevée à la première saison, deuxième et quatrième saison où la moins faible est enregistrée aux stations de l'Ouest (Ghazaouet et Oran), tandis que pour la troisième saison, elle est très faible où on constate que la probabilité d'avoir quatre jours pluvieux successifs a atteint 00,0% à Oran, où on constate aussi que pour la probabilité d'apparition d'un jour sec sachant l'état des jours précédents est très élevée et spécialement pour la station de Ghazaouet.

#### 5- CONCLUSION

La pluviométrie sur la côte algérienne n'est pas uniforme, les différences sont très importantes entre les stations de l'Ouest et l'Est. Les probabilités conditionnelles et inconditionnelles des chaînes de MARKOV nous ont révélé que :

Les différences peuvent être dues à la direction des vents, qui est généralement de Nord-Ouest, qui fait que l'Ouest algérien ne bénéficie pas suffisamment de l'humidité apportée par ce dernier, comme elles peuvent être dues à la chaîne montagneuse géographique intervenant d'une manière importante dans la faible pluviométrie qui s'abat sur la côte Ouest.

## **CHAPITRE VI**

### **ETUDE DES DONNEES PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES**

# CHAPITRE VI

## ETUDE DES DONNEES PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

### A- LA THEORIE

#### 1- GENERALITES SUR L'ANALYSE FACTORIELLE

##### 1-1/ Les principales méthodes de L'analyse en factorielle sont :

- L'analyse en composantes principales(ACP).
- L'analyse factorielle des correspondances(AFC).
- L'analyse factorielle d'un tableau de distances.
- L'analyse factorielle discriminante (AFD).

##### 1-2/ Tableau individu\*caractères quantitatifs :

Les composantes du vecteur aléatoire  $(X_1, \dots, X_p)$  sont des variables quantitatives à valeurs réelles , le terme  $X_j(i)$  est donc un nombre réel, représentant la mesure de la variable  $X_j$  sur l'individu  $i$ .

Matière Etudiant	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>A</i>
1	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
2	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
3	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
n	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$

Ce type de tableaux est fréquent dans toutes les sciences exactes.

Ou sur un individu, on peut effectuer à une série de mesures physique.

### 1-3/ Tableaux de contingence

Il se représente de la manière suivante :

	1	.....	$J$	.....	$P$
1					
.					
.					
$i$			$n_{ij}$		
.					
.					
$k$					

Le terme  $n_{ij}$  de la  $i$ ème ligne  $j$ <sup>ème</sup> colonne est le nombre d'individus possédant la modalité  $i$  du caractère 1, et la modalité  $j$  du caractère 2.

Un individu de la population, ne peut posséder plus d'une modalité d'un même caractère, il en possède d'une et une seule, il est évident que dans le cas d'un tableau de contingence, les lignes et les colonnes jouent un rôle similaire.

Ordre	<i>Prof</i>	<i>MC</i>	<i>CC</i>	<i>MA</i>
Matière				
Physique	10	2	5	10
Maths	5	2	3	4
Electronique	1	3	5	6
Hydraulique	5	4	3	2

### 2- L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

L'ACP consiste à décrire un ensemble d'individus et un ensemble de caractères quantitatifs, les individus statistiques constituent un échantillon d'une population donnée ou complète..

Elle est basée sur l'étude de la covariance ou de la corrélation entre variables.

On utilise l'ACP lorsque le tableau des données est du type individus\*caractères quantitatifs, les résultats sont donnés sous formes de représentations graphiques

Deux individus ou variables se ressemblent d'autant plus qu'ils sont proches l'un de l'autre et l'interprétation est effectuée à l'aide de paramètres numériques également calculés par l'analyse.

L'ACP est également basée sur l'étude de la variance et la covariance de variables aléatoires, qui a pour principe la définition d'une variable aléatoire réelle (VAR) de variance maximale qui est le critère de dispersion et ceci sous certaines contraintes.

Les résultats d'une ACP se présente sous forme de représentation graphique plane et d'indices permettant de les interpréter.

La covariance intervariable est déterminée comme suit :

$$\text{COV}(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Pour appliquer l'ACP , on a deux métriques :

a/ **La métrique canonique** : les relations entre variables sont mesurées par les covariances (ACP canonique).

**Théorème (a)** : dans le cas d'une ACP canonique(matrice de covariances), la somme des valeurs propres de cette dernière est la somme des variances des variables.

b/ **La métrique normée** : elle est équivalente à l'analyse en composantes principales canoniques des variables réduites , les relations considérées entre les variables sont mesurés par les coefficients de corrélation.

Lorsque les unités de variables étudiées sont hétérogènes ,et comme la covariance est un paramètre dépendant des unités choisies, donc on doit effectuer une ACP normée.

## 2-1/ Représentation euclidienne des variables

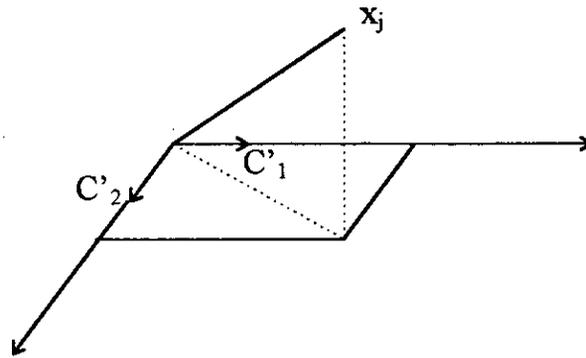


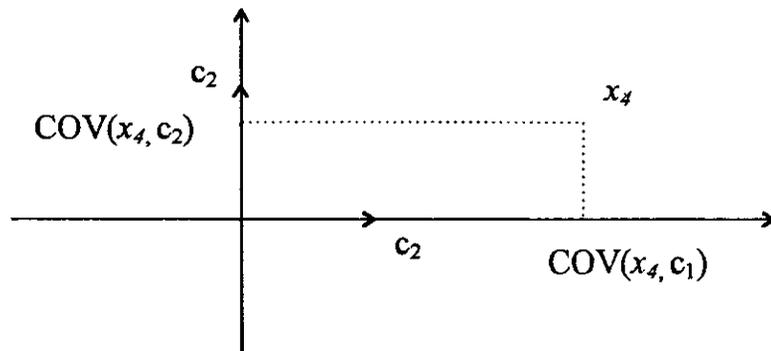
Schéma : Représentation de la projection de la variable  $x_j$  dans le plan des deux premières composantes principales.

La qualité de la représentation graphique des variables par un plan est un paramètre important dans l'interprétation.

$Q_{r,s}$  : indice mesurant la qualité de la représentation

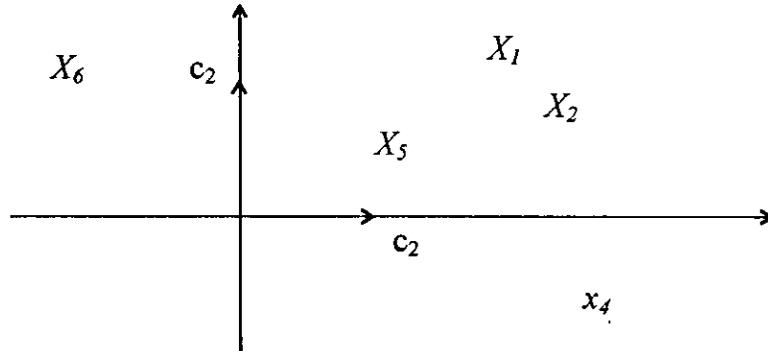
$$Q_{r,s} = \frac{\lambda_r + \lambda_s}{\sum_{t \in I} \lambda_t}$$

Chaque variable est représentée par un point dont les coordonnées sont les covariances avec les composantes principales, et ceci en procédant de la même manière que le théorème (a).



## 2-2/ Principe d'interprétation

Faire l'interprétation de la représentation graphique des variables c'est donner les caractéristiques statistiques en fonction des positions de leurs points représentatifs.



**Schéma : Projection de l'ensemble des variables sur le plan des deux premières C.P.**

La distance d'une variable à l'origine des axes égale à sa norme (écart type )

D'après (1) , la variable  $x_4$  a la variance la plus élevée par contre la  $x_3$  est la plus faible.

Le cosinus de l'angle fermé par deux variables égal à leur coefficient de corrélation.

D'après (1) les variables  $x_1$  et  $x_2$  sont proches de 1,  $x_3$  et  $x_6$  de -1 par contre  $x_1$  et  $x_4$  sont de l'ordre de 0.

La formation des groupes de variables est généralement expliquée par soit une relation entre les coefficients eux-mêmes, soit par les coefficients de corrélation avec une composante principale, d'où la mise en évidence des caractères généraux de la population étudiée.

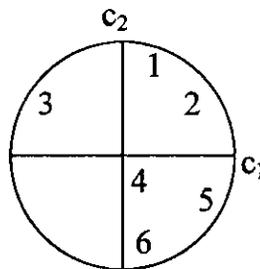
En ACP, la représentation graphique des variables est effectuée de telle manière que les points représentatifs sont sur la sphère de rayon 1, ce qui permettra une

évaluation directe de la qualité de la représentation de chaque variable en traçant un cercle de rayon 1 sur le plan examiné

Ainsi, on dira que la variance a été mieux reconstituée telle que son point représentatif sera proche du cercle et inversement.

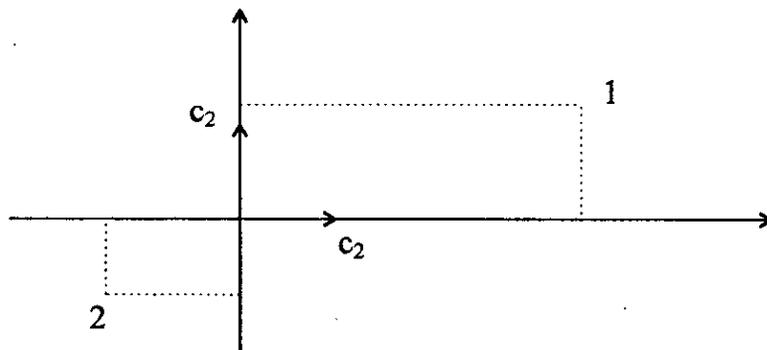
Exemple :

1, 2,3, 5 sont des variables bien représentées sur le cercle de corrélation, pour 1 et 2 le coefficient de corrélation est proche de 1, de -1 pour 3 et 5 et de 0 pour 1 et 3. Les variables 4 et 6 sont mal représentées, sont plus ou moins indépendantes des deux premières CP.



**2-3/ Représentation des individus**

**2-3-1/ Représentation graphique :**

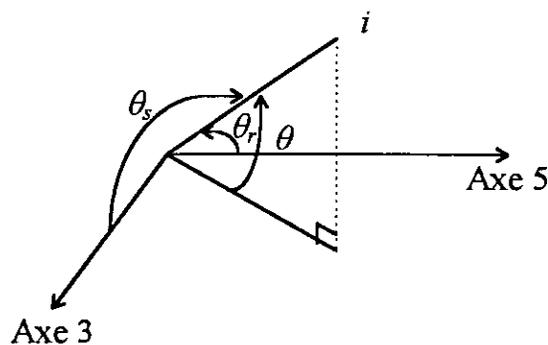


**Schéma : Projection de l'ensemble des individus sur le plan principale.**

Les coordonnées des individus sur le premier axe sont les valeurs de la première composante principale, de même façon, les coordonnées des individus sur le deuxième axe sont les valeurs de la deuxième CP.

En représentant le nuage des individus par leurs projections sur un plan, on ne conserve qu'une part de l'information totale. La variance est ici considérée comme dispersion de l'ensemble des individus et l'axe 1 est celui pour lequel la dispersion est maximale, l'axe 2 possédant la même propriété sous contraintes d'orthogonalité au précédent et ainsi de suite.

**2-3-2/ Représentation d'un individu** : Pour évaluer la qualité de la représentation d'un individu par le plan principal, On étudie comme dans l'espace des variables les cosinus des angles qu'il forme avec les axes.



**Schéma** : Les angles de la projection d'un individu sur le plan  $r \times s$

$\theta_r$  et  $\theta_s$  sont les angles formés par le vecteur  $X(i)$  et les vecteurs principaux  $U_r$  et  $U_s$ .

Pour mesurer la proximité d'un vecteur  $X(i)$  avec le plan  $r, s$ , il suffit d'effectuer la somme des cosinus carrés des angles qu'il forme avec les vecteurs  $U_r$  et  $U_s$ .

#### **2-4/ Procédé de calcul de l'ACP**

Soit  $n$  points dans un espace à  $p$  dimensions lorsque les variables sont centrées réduites, c'est-à-dire de moyenne nulle et de variance unité, l'équation de l'axe des  $y$  s'écrit :

$$\frac{y_1 - m_1}{c_1} = \frac{y_2 - m_2}{c_2} = \dots = \frac{y_p - m_p}{c_p}$$

$c_i$  : cosinus directeurs (vecteurs propres) de cet axe.

$m_i$  : projection d'un point  $m$  sur les axes.

Si l'axe passe par l'origine  $m = 0$  ceci implique que

On recherche l'axe  $y$  défini par ses cosinus directeurs qui rend minimale la somme des carrés des distances de  $n$  points à cet axe.

$y$  étant centré réduit, on a :

$$\Gamma_{ik} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ji} y_{jk}$$

$\Gamma_{ik}$  : coefficient de corrélation entre les variables  $i$  et  $k$ , l'équation à résoudre pour  $c_k$  sera :

$$\sum_{i=1}^P c_i \Gamma_{ik} - \lambda c_k = 0$$

En notation matricielle ::

$R$  : matrice des coefficients de corrélation des variables

$L$  : vecteur unitaire

L'élimination de  $L$  conduit finalement à résoudre

$$|R - \lambda I| = 0$$

$I$  : matrice unitaire.

$\lambda$  : valeurs propres.

L'axe, le plus près de tous les points au sens des moindres carrés, a pour vecteur un des vecteurs propres de la matrice des coefficients de corrélation et  $\lambda$  la valeur propre correspondante.

Soit  $D$  la moyenne des carrés des distances des points à l'axe

$$D = P - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^P c_i - y_{ji} \right)^2$$

$D$  :  $P$ - la variance des projections des points sur l'axe.

$$D = P - \lambda$$

Donc la plus grande des racines de l'équation caractéristique minimise  $D$  et définit le premier axe ou composante principale la somme des carrés des distances des

points à cet axe est minimum et les variantes mesurées le long de cet axe, ont le maximum de variance, les premières variantes ou composantes sont données par :

$$Z_{n1} = \sum_{k=1}^P c_{k1} y_{nk}$$

$Z_{n1}$  : première variante

$y$  : observations centrées réduites.

L'axe perpendiculaire au premier pour lequel la somme des carrés des distances des points à cet axe soit minimum est déterminé par la projection de tous les points sur un hyperplan orthogonal au premier axe.

On trouve un nouveau système tel que :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^P c_i \Gamma_{i1} - \lambda c_1 = 0 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^P c_i \Gamma_{iP} - \lambda c_P = 0 \end{cases}$$

A P-1 equation et on trouve l'axe correspondant à  $\lambda_2$ , la deuxième plus grande racine et on peut calculer les deuxièmes composantes.

Si on procède jusqu'à  $\lambda_p$ , on obtient une nouvelle série de composantes  $Z$  qui ne sont pas corrélées et dont les variances sont respectivement  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  par ordre décroissant. Si on désire obtenir une série de composantes normées elle est de la forme suivante :

$$Z_{nj} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_j}} \sum_{i=1}^P c_{ij} y_{ni}$$

$Z_{nj}$  = j<sup>ème</sup> composante.

$\lambda_j$  = j<sup>ème</sup> valeur propre de  $i$ .

$c$  : cosinus directeur.

$Y$  : observations.

$$\sum_{i=1}^P \lambda_i = P$$

P : nombre de variables.

$\lambda$  : valeur propre.

Le pourcentage de corrélation entre la variable  $i$  et la  $k^{\text{ème}}$  composante à l'aide de

$$P_m = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j}{P} \times 100$$

Le coefficient de corrélation entre  $i$  et la  $k^{\text{ème}}$  composante est :

$$\Gamma = \sqrt{\lambda_k} c_{ik}$$

Le coefficient de corrélation multiple entre la variable  $i$  et les  $m$  premières composantes est :

$$\Gamma(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \lambda_j c_{ij}^2}$$

Pratique de l'ACP :

Elle s'effectue par procédé itératif comme suit :

$$V_j = R_1 V_{j-1}$$

$R_1$  : matrice des coefficients de corrélation

$V_{j-1}$  : vecteur non orthogonal au premier vecteur caractéristique.

En calculant par itération à la limite lorsque  $j$  , on obtient

$$R_a = \frac{V_j}{V_{j-1}} = Cste$$

$R_a$  est l'approximation de la première valeur propre  $\lambda$ , qui est la plus grande racine  $R_1$ , si on norme le vecteur  $V_j$  à l'aide de :

$$c_{01} = \frac{V_j}{(V_j^T \cdot V_j)^{1/2}} \quad (1)$$

On obtient le premier vecteur propre.

Pour calculer la deuxième plus grande racine, on doit d'abord calculer la matrice résultante  $R_2$  à l'aide de (2) :

$$R_2 = R_1 - \lambda_1 c_{01} \cdot c_{01}^T \quad (2)$$

Alors, on reprend le calcul itératif à la limite, lorsque  $R_a$  est une constante, on a l'approximation de la deuxième racine et le vecteur propre correspondant  $C$  est calculé avec (1)

$$R_3 = R_2 - \lambda_2 c_2 \cdot c_2^T$$

On procède ainsi jusqu'à la  $i$ ème racine

## **2-5/ Conditions d'utilisation de l'ACP**

La plupart des auteurs affirment dans les ouvrages et les articles se référant à cette technique, que le domaine d'utilisation de l'ACP est très large et ne nécessite pas d'hypothèses restrictives.

S'il est vrai que les conditions de normalité ne sont pas impératives, ni même nécessaires pour pratiquer l'ACP, en particulier que la fonction de répartition des séries sont Gaussiennes, on ne doit pas oublier que la matière première de l'ACP est la matrice des coefficients de corrélation totale entre tous les couples. C'est elle en effet, qui après diagonalisation, permet de calculer les valeurs et vecteurs propres.

Or les coefficients de corrélation linéaire  $r_{ik}$ , entre  $X_j$  et  $X_k$  dépend essentiellement des couples d'observation et en particulier de la configuration de ce nuage de points dans le plan  $(X_j, X_k)$ .

En particulier, si l'on applique une transformation monotone aux  $p$  variables  $X_j$ , du type  $\text{Log } X_j$ , on modifiera les coefficients de corrélation  $r_{ik}$ , et de ce fait ; ma

structure des composantes principales. il n'est pas équivalent de calculer les Cp sur de variables ou sur des variables centrées ou brutes donc avec une matrice de covariances, dans ce cas si les variables  $X_j$  auront des variabilités très différentes alors les premières CP risquent d'être définies uniquement par les variables  $X_j$  à forte variances, les variables  $X_k$  vont conditionner presque totalement les CP correspondant aux plus faibles valeurs propres, qui sont celles qu'on élimine généralement.

### **2-6/ Domaine d'application de l'ACP**

Cette technique peut être utilisée pour traiter des variables caractérisant :

- Phénomène spatial (température, précipitation, débits d'une région ou d'un bassin versant )
- Un phénomène temporel (chronique des débits, précipitations, , ) en un lieu donnée.

### **2-7/ Quelques remarques pratiques sur l'ACP**

- a) Lorsqu'on calcule les CP d'un ensemble de variables représentant un phénomène spatial ou temporel, on a intérêt à calculer les CP sur un domaine spatial ou temporel plus étendu que le domaine utile, pour éliminer les "effets de bord".
- b) Le nombre d'observations a également son importance, avec 30 observations, il vaut mieux s'en tenir aux deux ou trois premières CP, avec 1000 observations on peut calculer 8 à 10 CP.
- c) L'analyse préliminaire de la distribution empirique des observations de chaque série peut suggérer une transformation simple qui pondère l'influence des valeurs extrêmes.

### **2-8/ L'ACP**

L'ACP est un outil puissant efficace et assez objectif pour traiter des tableaux de données, particulièrement des mesures de phénomènes physiques homogènes.

Elle permet une synthèse et une meilleure appréhension de l'information (volume d'observation).

Ces applications sont nombreuses, surtout lorsqu'on traite les mesures ponctuelles d'un phénomène spatial ou la chronique des mesures en lieu, d'un phénomène temporel.

## **B- APPLICATION DE L'ACP**

### **1- INTRODUCTION**

L'application de l'ACP a donné deux types de résultats :

- 1- La projection des variables sur les axes principaux par rapport à chacune des six composantes principales, ces valeurs nous permettent de répartir les stations dans l'espace et de détecter les stations les plus fiables.
- 2- Les valeurs propres et le pourcentage de la variance expliquée (contribution) ainsi que le pourcentage cumulé (contribution cumulée), ils nous permettent de limiter le nombre de variables en déterminant les composantes les plus représentatives de la variabilité de la variable d'origine.
- 3- Les cercles de corrélations qui peuvent montrer le regroupement entre les variables.

### **2- ANALYSE DES CONFIGURATIONS SPATIALES POUR LA VALEUR DES PLUIES ANNUELLES REVELEES PAR LES AXES PRINCIPAUX (Cp) : VOIR ANNEXE (VI-1)**

#### **2-1/ Paramètres statistiques**

##### **2-1-1/ La moyenne**

Elle varie selon la position géographique des stations où on constate que les stations de l'Ouest se détachent des autres stations avec une moyenne de 361,5 mm ( $A_1$ ) et 384,656 ( $A_2$ ), la moyenne la plus élevée a été obtenue à la station  $A_6$  785,575 mm par contre on remarque aussi que les moyennes des stations  $A_3$ ,  $A_4$  et  $A_6$  font le double de celles de  $A_1$  et  $A_2$ .

##### **2-1-2/ L'écart type**

Il varie de 117,949 à la station  $A_2$  à 232,208 à la station  $A_6$ .

## **2-2/ Le comportement spatial des Cp**

Le tableau nous montre l'importance des trois premières composantes qui sont représentées par 83,71% de la variance totale (Annexe).

## **2-3/ L'analyse du cercle de corrélation** (Annexe VII.1)

- Le cercle de corrélation est la projection des variables sur la première et la deuxième composante principale, il nous montre l'existence de deux groupes de stations situées dans le côté positif du premier axe principal.
- Les stations A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub> situées en haut du cercle appartiennent à l'Ouest et le Centre.
- Le groupe en bas du cercle appartiennent à la région Est (A<sub>6</sub> et A<sub>4</sub>).
- Les stations A<sub>4</sub> et A<sub>5</sub> donnent la même information et il y a une forte corrélation entre elles.

## **3- ANALYSE DES CONFIGURATIONS SPATIALES POUR DES VALEURS DES PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES** (Voir annexe VI-2).

### **3-1/ Paramètres statistiques**

#### **3-1-1/ La moyenne**

Elle varie de 41,381 mm à la station A<sub>2</sub> à 68,197 à la station A<sub>3</sub>.

#### **3-1-2/ L'écart type**

L'écart type maximal a été obtenu à la station A<sub>3</sub> (28,21), par contre, la valeur minimale à la station A<sub>2</sub> (20,857).

### **3-2/ Le comportement spatial des Cp**

Le tableau des valeurs propres montre que la première, la deuxième, troisième et la quatrième composantes expliquent plus de 81% de la variance totale donc elle présente un réel intérêt (Annexe VI-2).

### **3-3/ Analyse du cercle de corrélation**

La projection des variables sur l'axe 1 et l'axe 2 donne ce qui suit :

- Une forte corrélation entre les deux stations de  $A_1$  et  $A_2$  situées à la partie positive du cercle et entre  $A_5$  et  $A_6$  qui se trouvent sur la partie bas du cercle. On remarque aussi que la station  $A_6$  est entièrement expliquée par la deuxième composante principale et  $A_3$ , par la première Cp et ainsi on dira que  $A_4$  à la variance la plus élevée.

### **CONCLUSION**

Le cercle de corrélation nous a révélé une dispersion des stations autour de la première Cp et une forte corrélation entre  $A_1$  et  $A_2$ ,  $A_5$  et  $A_4$ .

## **4- ANALYSE DE LA CONFIGURATION SPATIALE REVELEE PAR LES AXES PRINCIPAUX POUR DES PLUIES MENSUELLES** (*annexe VI-3*)

### **4-1/ Paramètres statistiques**

#### **4-1-1/ La moyenne**

L'analyse des valeurs des moyennes pluviométrique de tous les mois nous a révélé que les stations situées dans la région de l'Est et du Centre ont une moyenne pluviométrique largement supérieure aux stations situées dans la région de l'Ouest. On constate que les valeurs maximales mensuelles sont partagées entre deux stations situées à l'Ouest Ghazaouet et Oran.

Par contre, les valeurs maximales sont partagées également entre les stations d'El Kala, Alger et Skikda.

#### **4-1-2/ L'écart type**

Les valeurs de l'écart type des valeurs mensuelles des stations d'étude nous montre que la plus grande variance autour de la moyenne est marquée en majorité à la station d'El Kala et les autres partagées équitablement entre Alger et Skikda, tandis que pour les valeurs minimales des écarts types on a remarqué qu'elles sont en majeure partie à Oran.

#### 4-2/ Comportement des Cp

Le tableau des valeurs propres nous montre que plus de 80% de la variance totale est expliquée pour tous les mois par la première, la deuxième et la troisième Cp sauf pour le mois d'Août où elle est expliquée par les quatre premières composantes et les mois de Septembre, Octobre et Décembre par les deux premières composantes.

#### 4-3/ Analyse des cercles de corrélations (Annexe VI-3)

L'analyse des cercles de corrélations a révélé ce qui suit :

- On remarque que les stations sont situées dans le côté positif de la première composante principale sauf pour le mois d'Août où les stations de l'Ouest sont dans le côté négatif de l'axe 1.
- Les cercles de corrélation nous révèlent une opposition Est-Centre et Ouest pour les mois (Février, Octobre, Juin, Mai, Avril) et une opposition Centre-Ouest et Est pour les mois (Septembre, Mars, Août, Décembre, Novembre et Janvier).
- Le cercle de corrélation du mois de Juillet nous a révélé le regroupement de la station de Skikda avec les stations de l'Ouest.
- On constate que l'information est totalement expliquée par deux stations, Skikda représentant les stations de l'Est, et Ghazaouet celle de l'Ouest et du Centre.

#### CONCLUSION

L'ACP a permis de montrer à partir des résultats obtenus avec les représentations des cercles de corrélation qu'on peut considérer la station d'Alger comme la station type.

**CHAPITRE VII**  
**MODELE DE PREVISION**

# CHAPITRE VII

## MODELE DE PREVISION

### A- THEORIE

#### 1- INTRODUCTION :

La prévision de la pluviométrie au pas de temps mensuel ou saisonnier fait l'objet de recherche de différents organismes<sup>de</sup> la météorologie des pays rive ouest de la Méditerranée (Algérie, Maroc, Tunisie, France) dans le cadre du projet Avicenne. Ce travail est d'une très grande utilité dans le domaine de la ressource en eau et en agriculture.

En effet une connaissance des apports pluviométriques (même avec un degré de fiabilité moyen) permet d'anticiper la répartition du volume d'eau stockée au niveau des barrages réservoirs (pour satisfaire les demandes domestiques, industriels et agricoles, et dans le domaine de l'agriculture, cette information anticipée permet l'élaboration de plans culturaux en fonction des besoins en eau des plantes.

Le paramètre pluviométrie est très difficile à prévoir contrairement à la température ou à l'évaporation. Ces données sont quantifiables par le biais de modèles mathématiques sophistiqués (actuellement et grâce au développement de l'informatique les prévisions sont à cinq jours) tans que pour la pluie, la prévision se fait que pour l'état du jour (sec ou humide), l'accroissement du pas de temps de la prévision (mensuel ou saisonnier) ne peut rendre que plus complexe toute approche.

Les approches actuelles du problème de la prévision de la pluviométrie au pas de temps mensuel ou saisonnier se basent sur l'information influençant le phénomène étudié (à savoir la pluviométrie).

En effet la connaissance de ces paramètres, et leurs interactions, ne peut être que d'une très grande utilité dans le domaine de la prévision, elle permet de déterminer la zone d'influence sur les précipitations mensuelles ou saisonnières.

Parmi les prédicateurs pris en considération (entre autres) on peut citer :

- Les caractéristiques de la circulation atmosphérique intéressant la région.
- La position des centres d'action principaux et secondaires.
- L'intensité de l'oscillation nord atlantique.
- La position en altitude des intensités des talwegs principaux et secondaires.
- La température de surface de l'océan et ses variations mensuelles et saisonnières...

L'approche préconisée est purement statistique, elle ne tiendra compte que du paramètre étudié à savoir la pluviométrie, et sera basée sur l'analyse en composantes principales. Cette technique est usuellement utilisée dans le domaine spatial (optimisation des réseaux de mesures, étude des paramètres intervenant sur un phénomène donné...) très récemment dans le domaine temporel (simulation des paramètres hydrométéorologiques...) et rarement dans le domaine de la prévision.

## **2- MODELE DE PREVISION**

Les composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales, dans le cas d'une analyse en composantes principales (ACP) normée, cela se traduit par :

$$C_t = \sum_{j=1}^p a_{tj} \frac{X_j - \overline{X_j}}{\sigma_{xj}} \quad (1)$$

Avec :

$C_t$  : l<sup>i</sup>ème composante principale.

$a_{tj}$  : cosinus directeurs.

$X_j$  : variable d'ordre j.

$\overline{X_j}$  : moyenne de la variable d'ordre j.

$\sigma_{xj}$  : écart type de la j<sup>i</sup>ème variable.

Soit la composante principale normée tel que :

$$C'_t = \frac{C_t}{\lambda_t^{1/2}} \quad (2)$$

Où:

$\lambda_t$ : l<sup>i</sup>ème valeur propre.

En divisant l'équation (1) par  $\lambda^{1/2}$ , on obtient :

$$C'_t = \frac{C_t}{\lambda_t^{1/2}} = \frac{1}{\lambda_t^{1/2}} \sum_{j=1}^P a_{tj} \frac{X_j - \bar{X}}{\sigma_j} \quad (3)$$

Soit  $y$  la variable centrée réduite, sous forme matricielle l'expression (3) devient :

$$[C'] = [\lambda]^{1/2} [A]^t [Y] \quad (4)$$

d'où :

$$[Y] = [\lambda]^{1/2} [A] [C'] \quad (5)$$

Avec :

$[C']$  : matrice des composantes principales normées.

$[\lambda]$  : vecteur des valeurs propres.

$[A]$  : matrice des vecteurs propres.

$[A]^t$  : transposée de la matrice des vecteurs propres.

$[Y]$  : matrice des variables initiales centrées réduites.

Sachant qu'on ne considère que les  $M$  premières composantes principales, et qu'on prend en compte par le biais du terme résiduel la variance non expliquée.

En développant (5) on aboutit à :

$$y_j = \sum_{i=1}^m \lambda^{1/2} a_{ji} C'_i + \sum_j \quad (6)$$

Dont laquelle, l'écart type résiduel a pour équation :

$$\sigma_{ij} = \left[ 1 - \sum_{t=1}^m a_{jt}^2 \lambda_t \right]^{1/2} \quad (7)$$

Sachant que :  $\lambda_{\ell}^{1/2} = \text{COV}(C'_{\ell}, Y_j)$

$$\lambda_{\ell}^{1/2} = \text{COV}\left(C'_{\ell}, \frac{X_j - \bar{X}_j}{\sigma_{xj}}\right) = \text{COR}(C'_{\ell}, X_j) \quad (8)$$

L'équation (6) devient :

$$Y_j = \sum_{\ell=1}^m \text{COR}(C'_{\ell}, X_j) C'_{\ell} + \sum_j \quad (9)$$

$\text{COR}(C'_{\ell}, X_j)$  : corrélation de la lième composante principale réduite avec la variable.

L'expression finale du modèle est donnée par :

$$X_j = \beta_{j0} + \sum_{\ell=1}^m \beta_{j\ell} C'_{\ell} + E_j \quad (10)$$

Où:

$\beta_{j0}$  : moyenne de la variable d'ordre j.

$\beta_{j\ell}$  : coefficients de régression entre la variable  $X_j$  et la Cp  $C'_{\ell}$ .

$E_j$  : variable résiduelle d'écart type  $\sigma_{\epsilon_j}$  et de moyenne nulle.

## **B- APPLICATION DU MODELE DE PREVISION**

### **1- INTRODUCTION**

Le modèle développé sera utilisé dans un contexte prévisionnel, pour lequel disposant des mesures pluviométriques mensuels historiques (de la station d'Alger 1955-1996).

On cherche à prévoir les valeurs pluviométriques mensuelles futures.

### **2- CERCLE DE CORRELATION**

La projection des variables sur *L'axe de la cinquième Cp* et l'axe de la première Cp, ainsi que la projection *sur* l'axe de la troisième Cp et la deuxième Cp, nous a montré une dispersion des données, vu leur éloignement du cercle, on constate aussi qu'il n'y a pas de regroupement de données et ceci est dû à la faible explication de la variance totale qui n'est explicable *que par les* sept premières Cp.

La projection de l'axe des variables sur la troisième et la deuxième composante, nous a révélé la forte corrélation existant entre les mois de Mars et Octobre, ainsi le mois de Janvier et Décembre et ce sont les seuls cas de forte corrélation apport pour quelques projections où nous avons constaté qu'il y avait des mois qui expliquaient la même information entre eux [voir annexe VII-1].

### **CONCLUSION**

L'ACP a permis de démontrer à partir des cercles de corrélation, l'intergeinité des données à la station d'Alger, ce qui explique la complexité de trouver des regroupements de données.

### **3- IDENTIFICATION DE LA STRUCTURE DU MODELE DE PREVISION**

Cette étape sera consacrée à la détermination de la structure du modèle de prévision et plus précisément à l'estimation des paramètres  $\beta_{0j}$  (moyenne mensuelle

interannuelle),  $\beta_{ij}$  (coefficient de régression entre la variable brute et les Cp)  $C'_i$  (composantes principales centrées réduites) et  $\varepsilon_{ij}$  (résidus) estimation des paramètres :

le principe de l'analyse en composantes principales étant de concentrer le maximum de l'information dans un nombre réduit de variables le choix de celui-ci se fait en fonction du pourcentage de la variable expliquée. Le calcul des coefficients de régression est déterminé de la manière suivante :

$$\beta_{jk} = \text{COR}(X_j, C'_k) \sigma_{X_j} \sigma_{C'_k}$$

Sachant que les composantes principales sont centrées réduites ( $\sigma_{C'_k} = 1$ ), on aura :

$$\beta_{jk} = \text{COR}(X_j, C'_k) \sigma_{X_j}$$

Les résidus sont définis comme étant la perte d'information dues aux Cp négligées, ils sont donnés par la différence entre la variable observée et reconstituée à l'aide des 12 Cp prises en considération.

$$\varepsilon_j = X_j - X_R$$

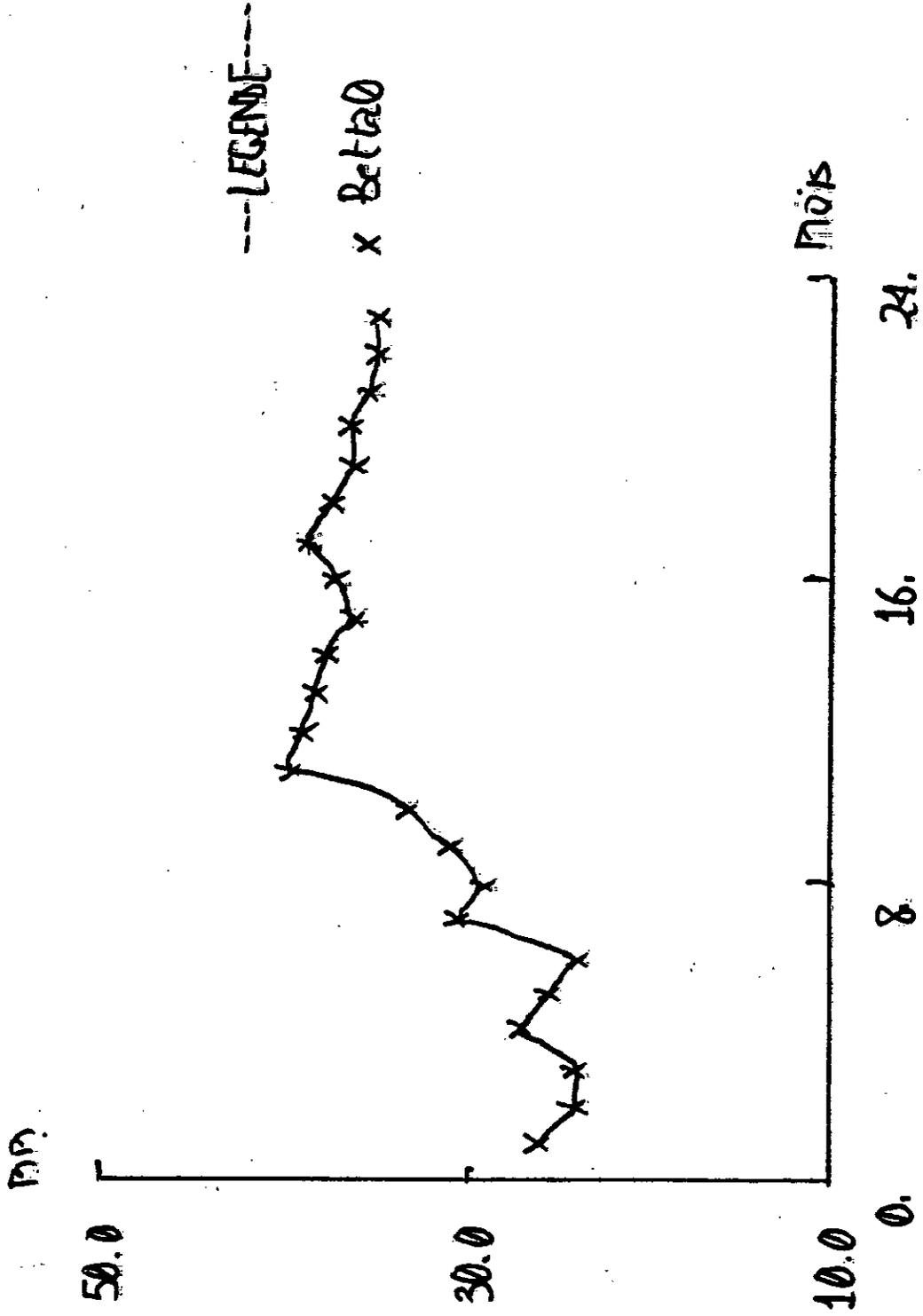
### 3-1/ Détermination des $\beta_{0i}$

La méthode repose sur l'analyse de l'évolution de la pluie moyenne mensuelle interannuelle en fonction du temps.

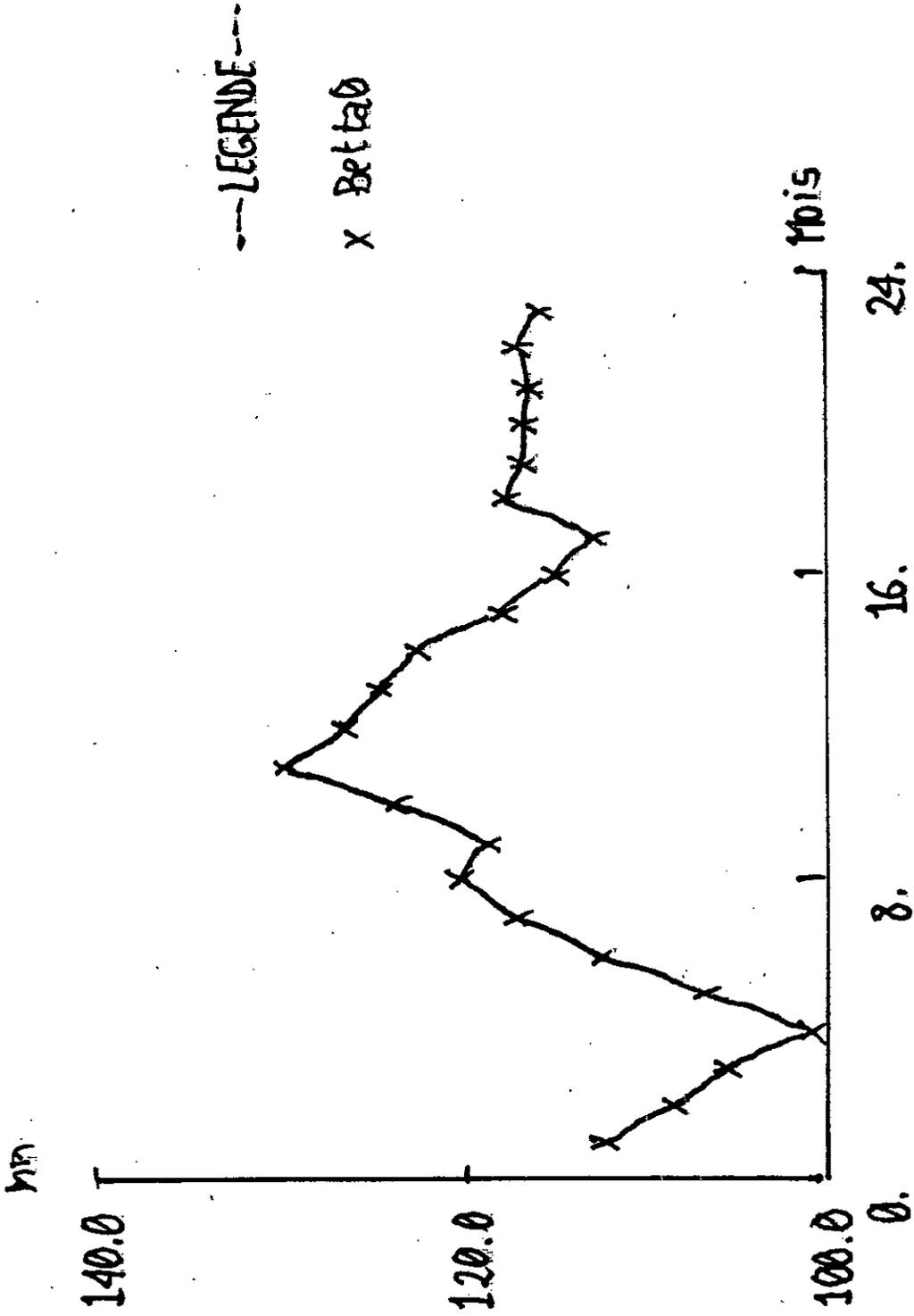
Ces moyennes interannuelles mensuelles sont calculées en partant des dix premières années allant jusqu'à une période de 32 années. Les figures (VII.1) (VII.2) (VII.3) et (VII.4) représentent l'évolution des valeurs moyennes mensuelles interannuelles en fonction du temps pour les mois Septembre, Décembre, Janvier et Février.

VII-A

# PLUJES SEPTEMBRE

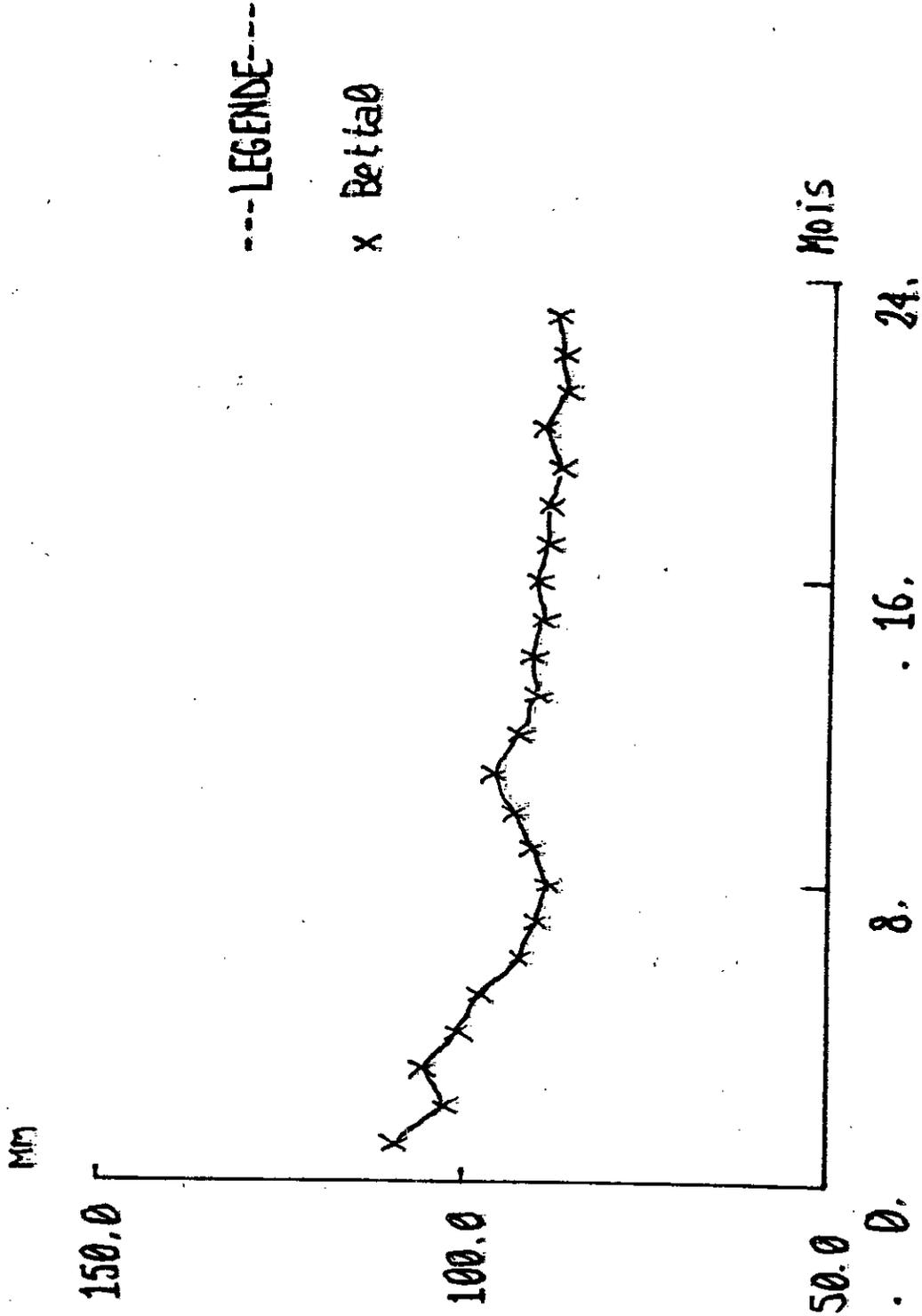


# PLUJES DECEMBRE

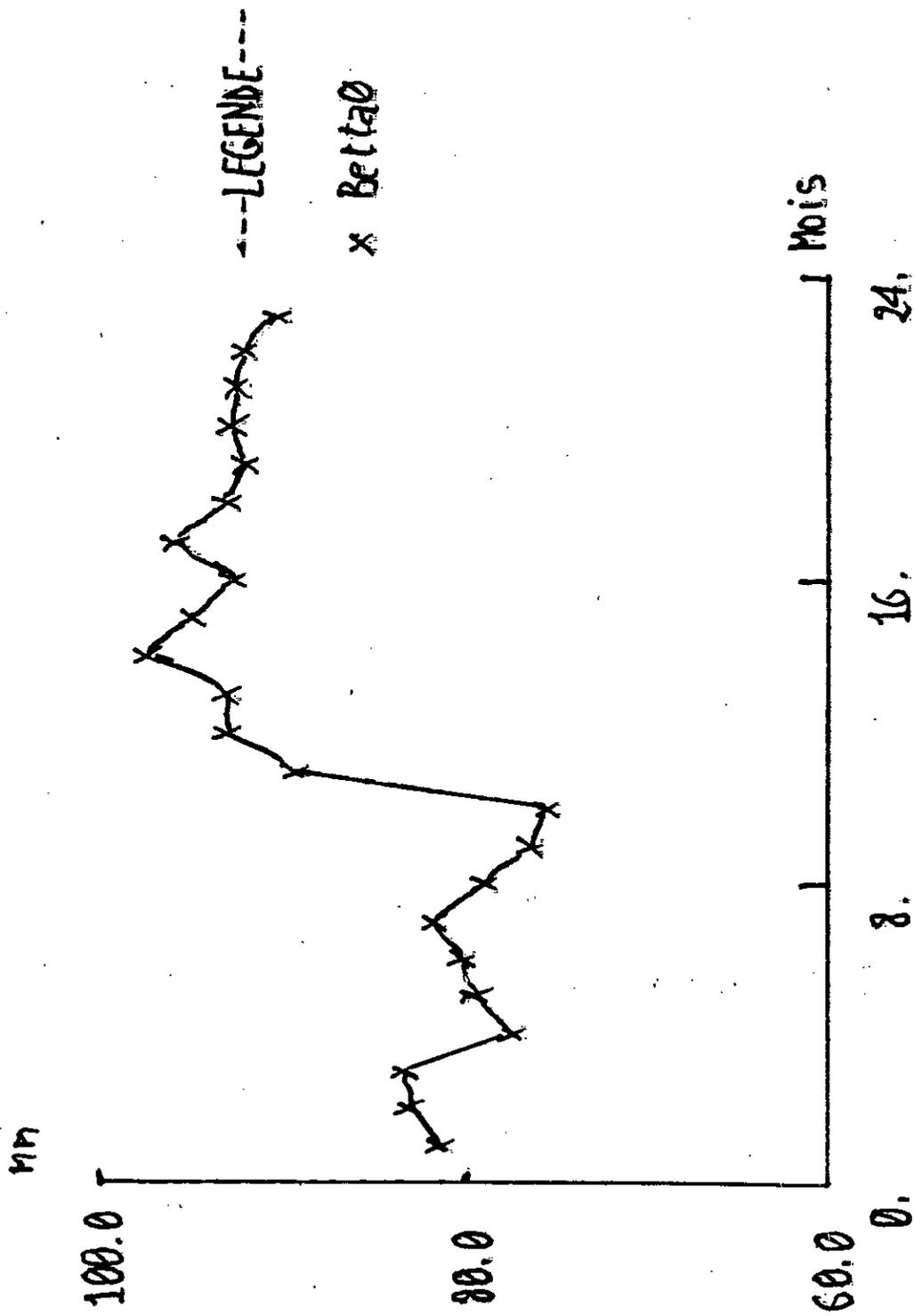


VII-3

# PLUIES JANVIER



# PLUIES FEVRIER



On remarque que pour toutes les figures ci-dessus la stabilité de l'évolution de la pluie moyenne interannuelle pour la dernière année de la série observée, ce nombre d'années varie d'un mois à l'autre.

Le paramètre  $\beta_{0j}$  suggère pour chaque mois est la moyenne arithmétique des valeurs moyennes mensuelles interannuelles des dernières années pour laquelle l'évolution du phénomène est stable.

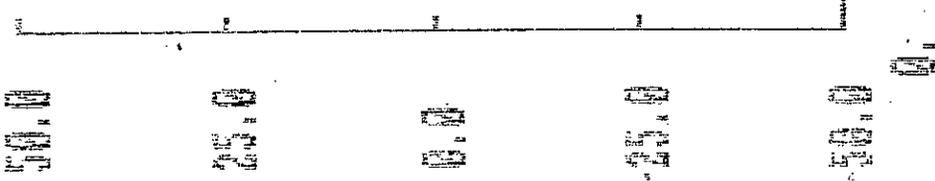
Le tableau suivant donne, pour chaque mois le nombre d'années pour laquelle la moyenne mensuelle interannuelle est stable et la valeur des  $\beta_{0j}$ .

Mois	Nombre d'années Le phénomène est stable	$\beta_{j0}$
Septembre	6	35,78
Octobre	6	88,58
Novembre	6	113,72
Décembre	6	116,43
Janvier	6	87,2
Février	6	91,95
Mars	6	67,3
Avril	6	76,55
Mai	6	35,92
Juin	6	18,8
Juillet	6	2,9
Août	6	6,55

L'évolution des moyennes mensuelles interannuelles en fonction du temps pour les mois (Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Octobre, Novembre) est représentée dans l'annexe (VII-2).

# EFFICIENTS DE NEUMESION

GR



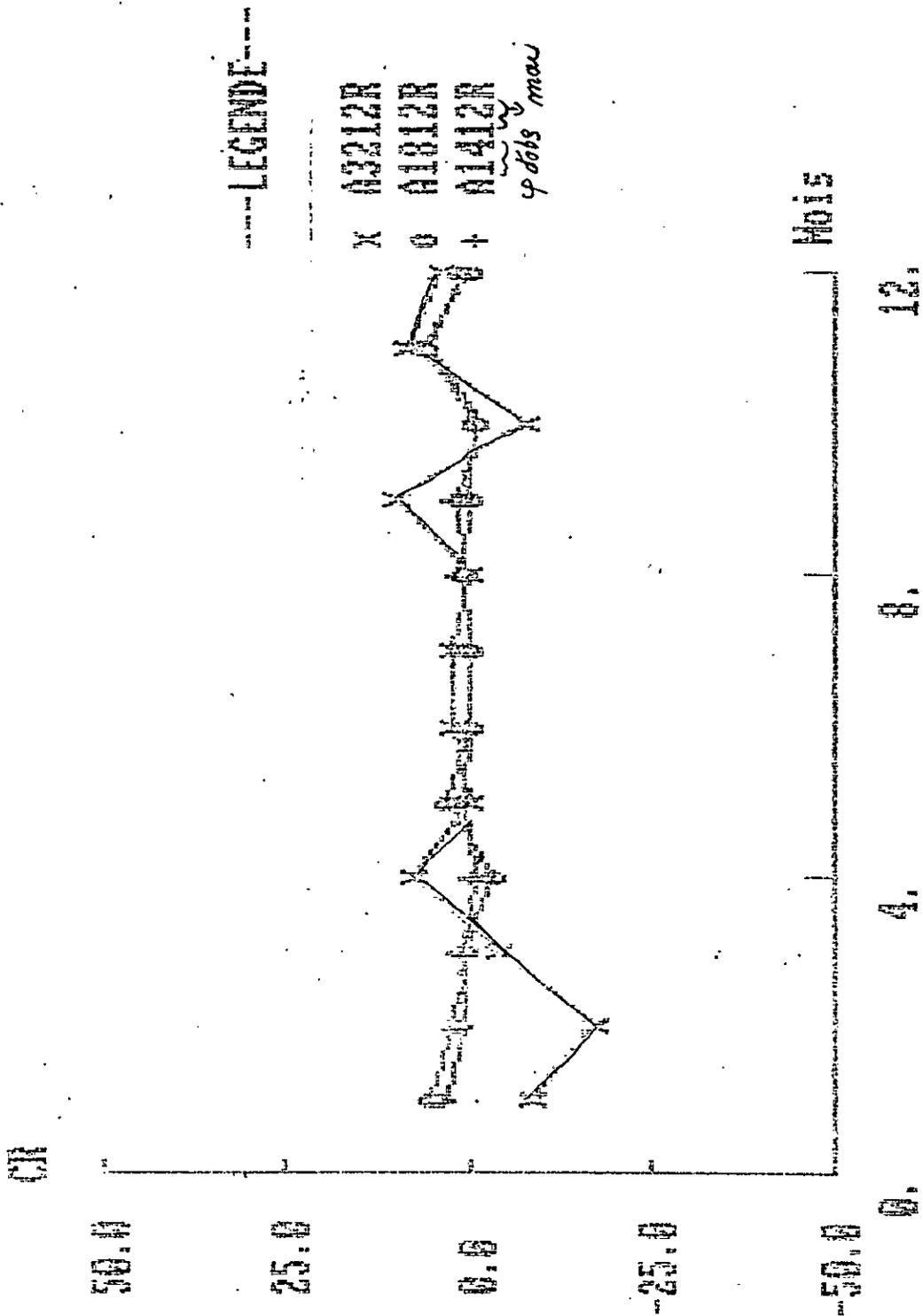
LEGENDE

X 03212N  
 O 03012N  
 + 02612N  
 # 02212N

Mois

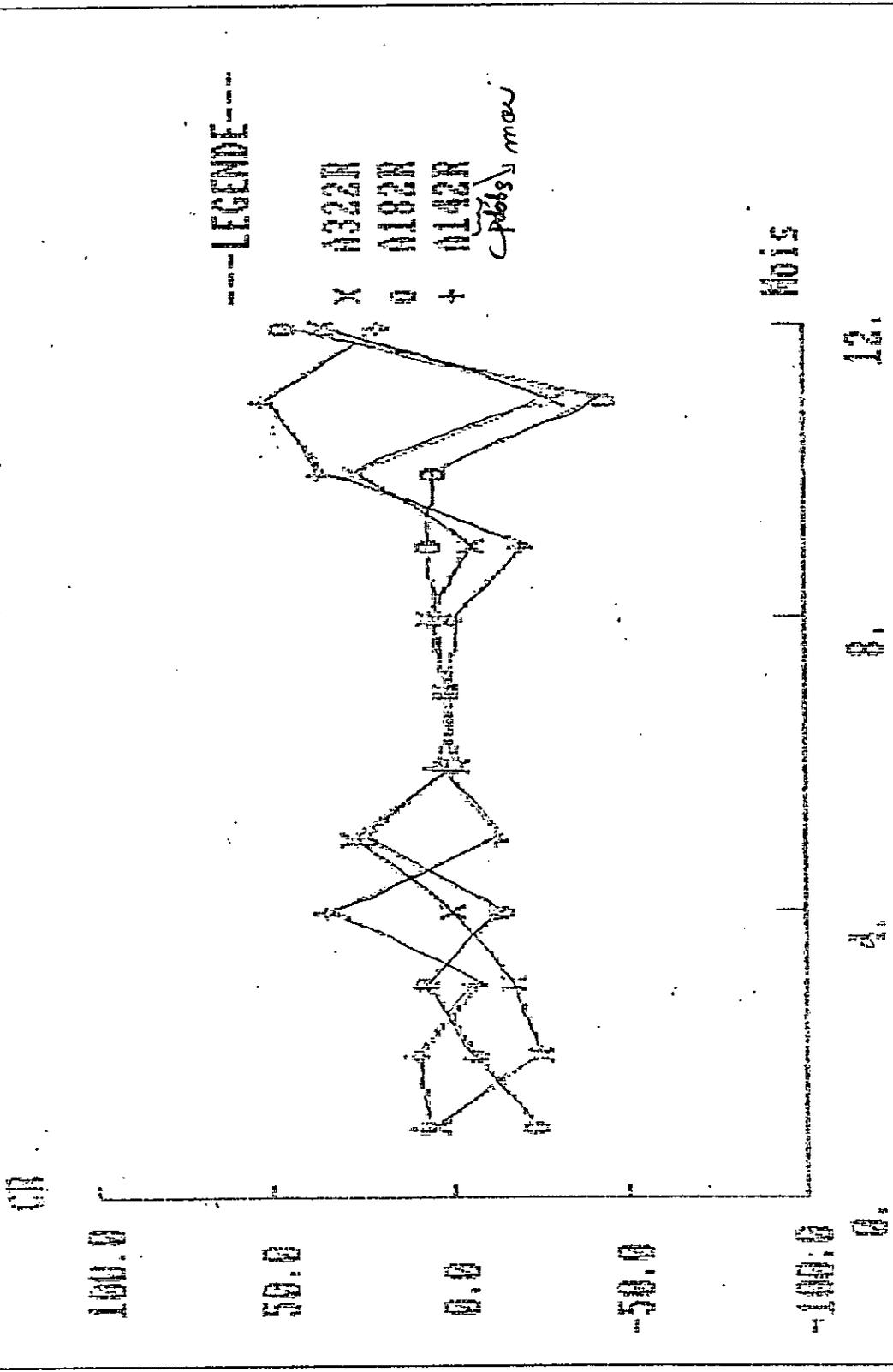
Legende  
 A.3212.B  
 periode  
 d'observation

# COEFFICIENTS DE REGRESSION

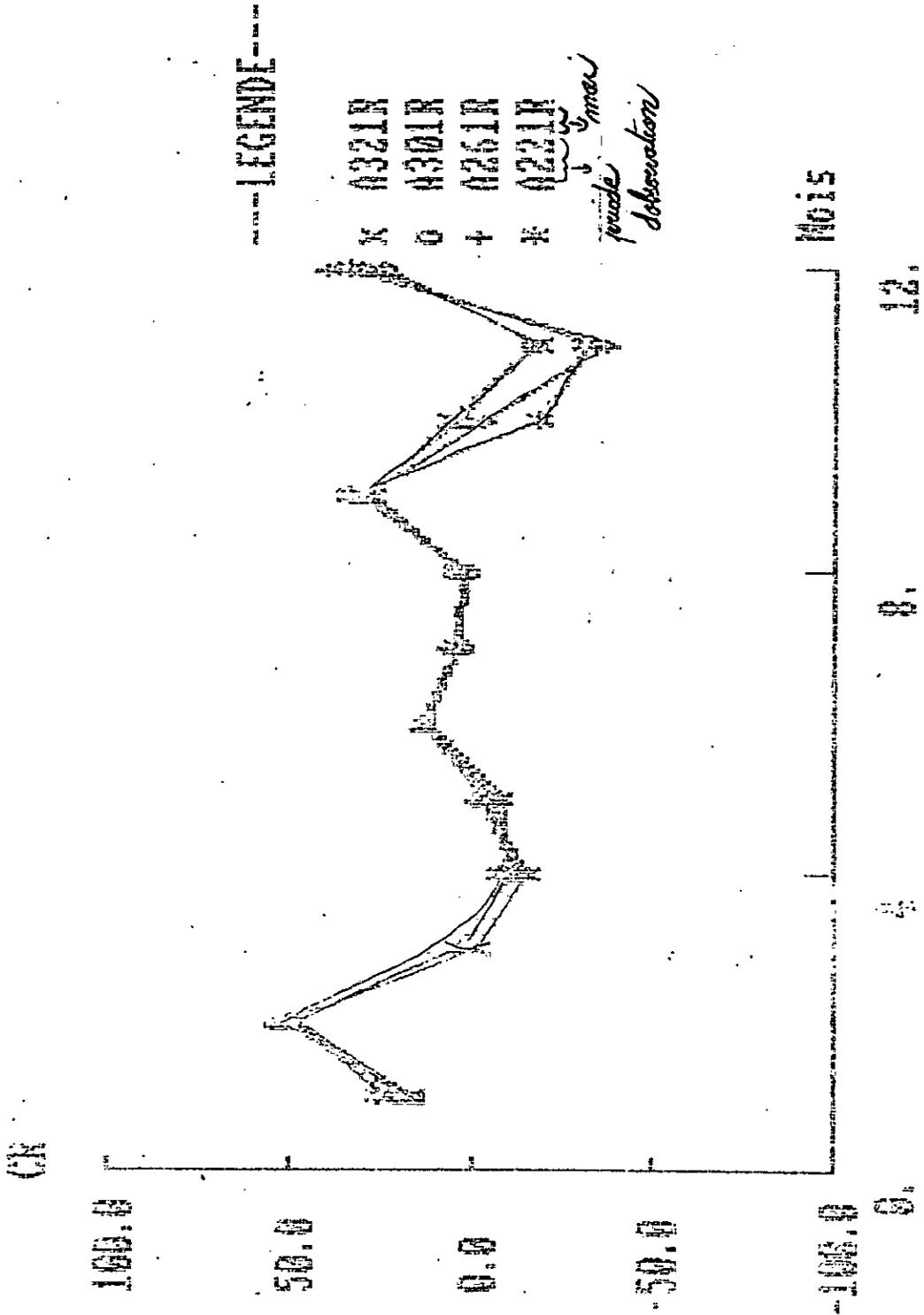


Small vertical text on the right edge of the page, possibly a page number or reference code.

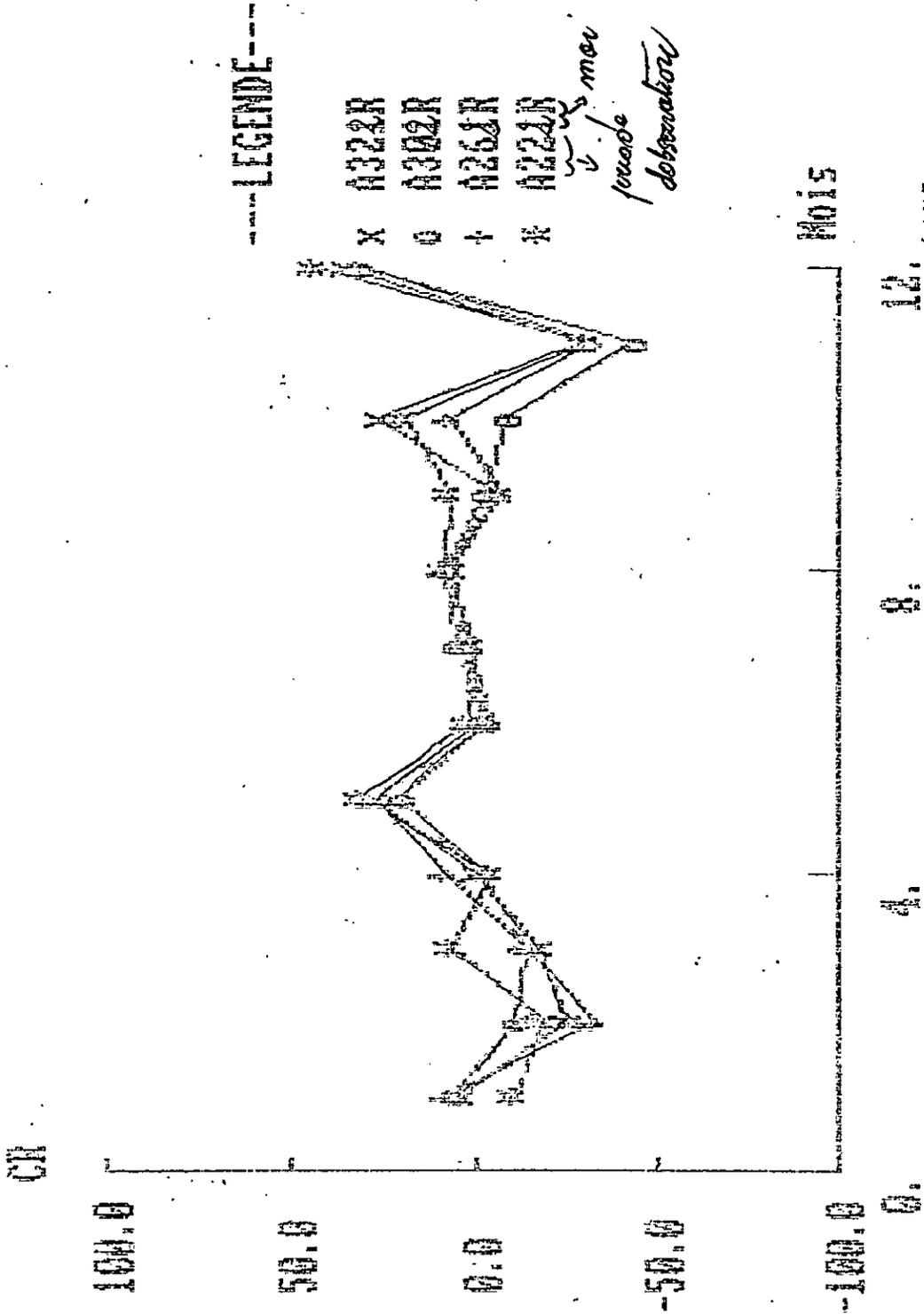
# COEFFICIENTS DE REGRESSION



COEFFICIENTS DE REGRESSION



# COEFFICIENTS DE REGRESSION



# COEFFICIENTS DE RECOURS

CI

100.0

50.0

0.0

-50.0

100.0

0.

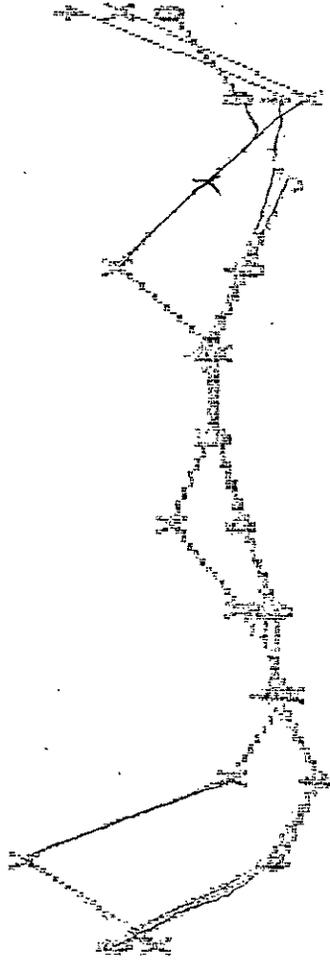
## LEGENDE

x ALBIN

o ALBIN

+ ALBIN

W  
↳ dots  
↳ mai



MOIS

12.

Small vertical text on the right edge of the page, likely a page number or reference code.

### 3-2/ Etude des $\beta_{ij}$ (coefficient de régression)

Pour la détermination de la matrice des coefficients de corrélation  $\beta_{ij}$ , on a été amené à étudier l'évolution des  $\beta_{ij}$  pour les composantes principales en fonction de la dimension des variables initiales.

Nous avons repris aux figures (VII.5), (VII.6), (VII.7), (VII.8), (VII.9) et (VII.10), les courbes représentatives de cette évolution pour les mois (Février, Janvier, Décembre) sur une période de 14, 18, 22, 26, 30 et 32 ans.

D'après les figures représentées ci-dessus, les représentatives montrent l'évolution des  $\beta_{ij}$  qui ont tendance à suivre la même évolution quand la taille de l'échantillon augmente, et que les courbes (VII.8) (VII.9) (VII.10) sont presque identiques.

On constate que les valeurs des  $\beta_{ij}$  ont tendance à se stabiliser au fur et à mesure que les dimensions des variables (mois) augmente, la matrice des  $\beta_{ij}$  est donnée dans l'annexe (VII.3) pour 12 composantes principales sur une période de 32 années (période de calage).

### 3-3/ Détermination des Cp

#### 3-3-1/ Etude de pourcentage de variance expliquée par les Cp

Afin de déterminer le pourcentage, nous avons appliqué l'ACP sur l'ensemble de la station d'Alger et ceci pour les périodes de 14, 18, 22, 26, 30 et 32 ans.

Les résultats nous ont montré que les neuf premières Cp cumulent un pourcentage supérieur à 40% de la variance totale, le tableau (VII.11) représente le pourcentage cumulé de la variance totale en fonction des périodes pour les 9 Cp.

- tableau VII.19

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14 ans	22,78	40,72	56,65	70,43	81,20	88,57	94,49	96,92	98,06
18 ans	20,57	37,4	51,64	65,53	76,52	83,9	89,6	84,5	96,8
22 ans	23,04	39,01	52,92	64,17	74,66	81,58	87,33	92,2	95,26
26 ans	19,1	33,86	47,44	59,08	73,32	77,67	83,97	89,13	93,72
30 ans	17,9	32,29	45,84	57,5	68,59	75,98	82,43	87,93	92,37
32 ans	17,75	32,14	45,25	56,68	67,06	74,43	81,57	86,83	91,33

Nous constatons que l'apport des Cp diminue chaque fois que la taille de l'échantillon augmente ce qui peut être expliqué par le fait qu'il y a une information nouvelle qui a été intégrée à l'échantillon.

Par contre s'il y a une perte d'information, celle-ci a tendance à augmenter avec l'accroissement de la taille de l'échantillon.

Dans notre cas, nous prendrons en considération que les 7 premières Cp, vu qu'elles cumulent plus de 80% de la variance totale du phénomène étudié.

### 3-3-2/ Etude des Cp

La figure (VII.12) montre l'évolution des Cp en fonction du temps.

On remarque que les Cp présentent une variation aléatoire dans le temps de moyenne nulle, ce qui rend leur étude très complexe.

EQUATION DES CP

CP

5.0

5.0

5.0

0.

120.

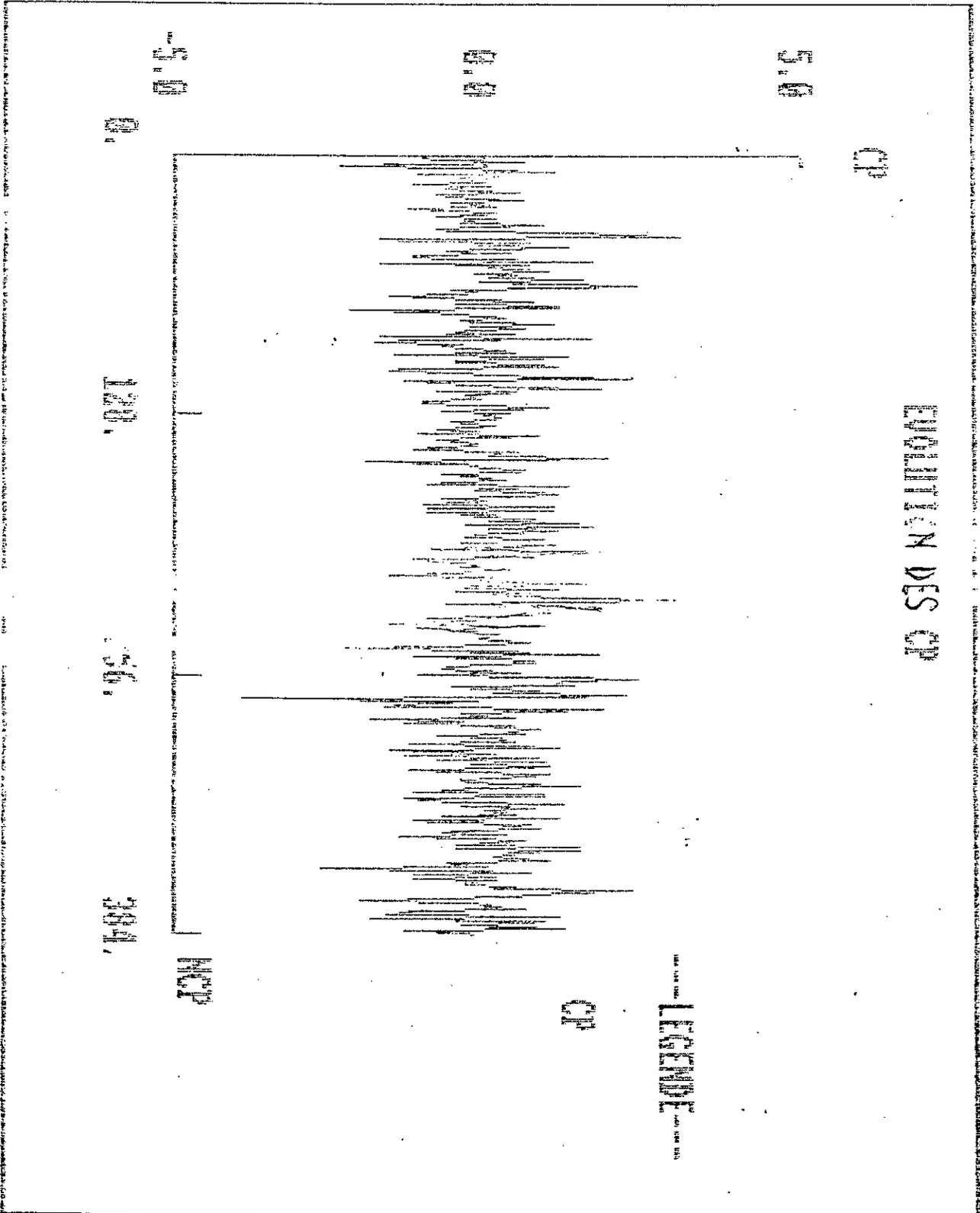
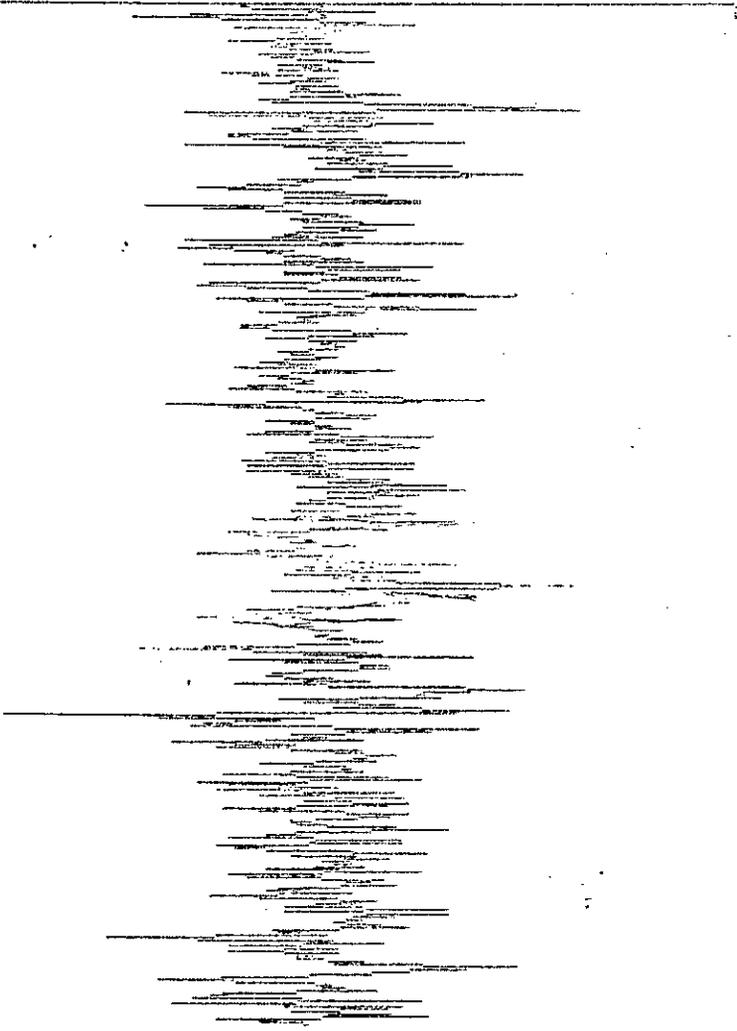
56.

384.

KCP

CP

LEGENDE



### **3-3-3/ Etude de la normalité des Cp**

L'analyse des figures de l'annexe (VII.4) nous révèle un bon ajustement des Cp à la loi normale.

La droite d'HENRY pour les composantes principales s'écrit :

$$C_{pj} = \sigma_j U \quad (1)$$

$C_{pj}$  : la composante principale d'ordre j.

$\sigma_j$  : l'écart type de chaque composante d'ordre j.

$U$  : la variable centrée réduite de la loi normale.

A partir de la matrice des Cp déduites de la projection des données historiques (32 années d'observation) sur 12 axes principaux (Annexe VII-5) on détermine les  $\sigma_j$  de chaque  $C_{pj}$  et en générant des nombres aléatoires  $U$  de la table de la normale ce qui nous permet de calculer la matrice des Cp pour n'importe quelle période de test choisie de l'équation (1).

### **3-4/ Estimation des variables résiduelles $\varepsilon_j$**

Les valeurs des variables résiduelles  $\varepsilon_j$  sont obtenues à l'aide de l'équation :

$$\varepsilon_j = X_j - \beta_{j0} - \sum_{\ell=1}^m \beta_{j\ell} C'_\ell$$

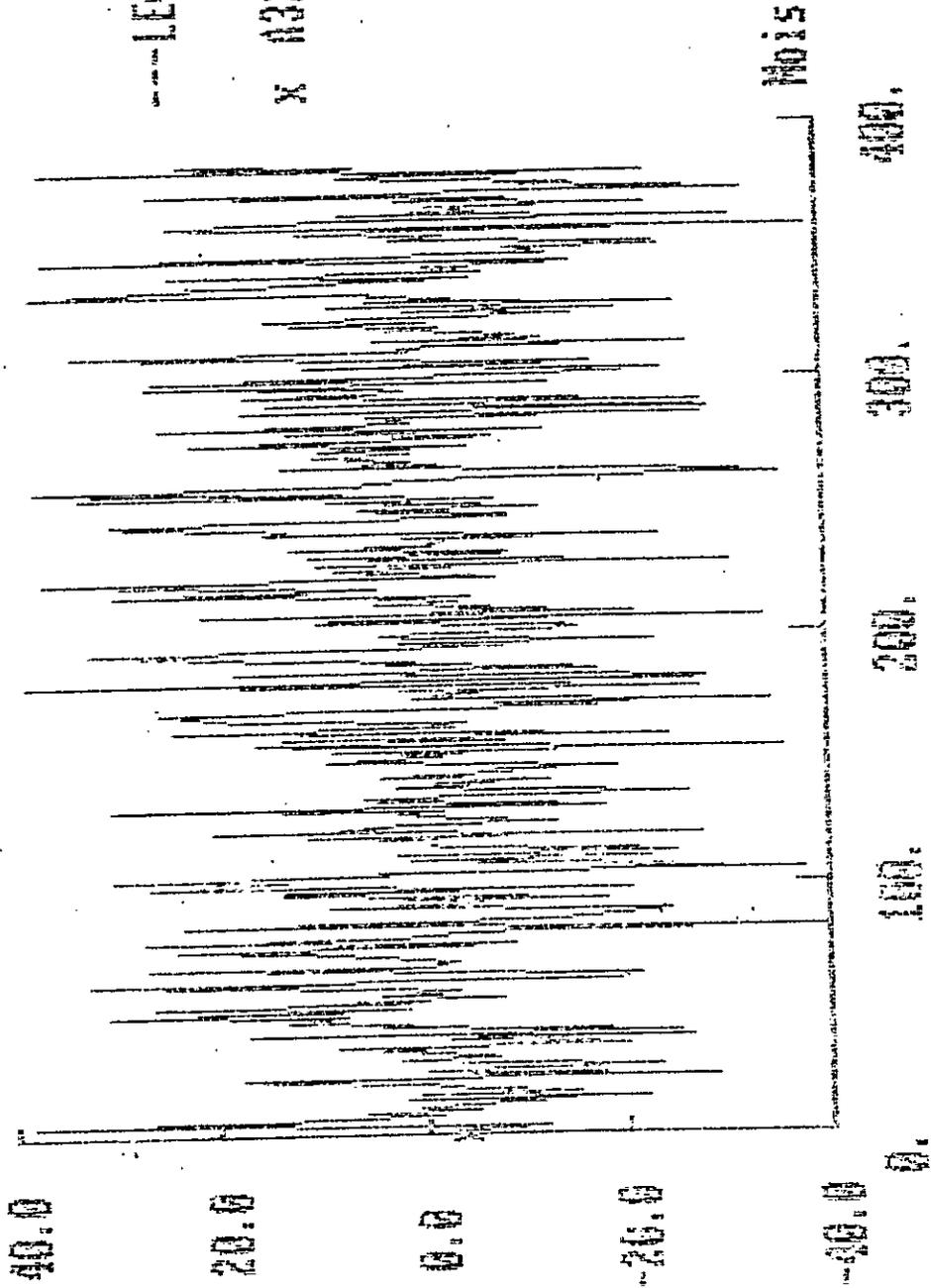
#### **a- Analyse de la matrice historique des résidus $\varepsilon_{ji}$**

Pour la détermination des valeurs historiques des  $\varepsilon_j$ , nous avons utilisé LES 7 premières composantes principales et une période d'observation de 32 années (période de calage), les résultats sont repris dans le tableau (Annexe VII-6) et la figure (VII-13).

VII - 13

RESIDUS

EQUIS



L'analyse de la figure (VII-13) montre que les résidus présentent des variations aléatoires de moyenne nulle et d'écart type  $6\varepsilon_j$ , ce qui rend leur étude très complexe.

#### **b- L'étude de l'évolution des résidus en fonction du temps pour chaque mois**

Les figures (VII.14) et (VII.15) illustrent les courbes de variation résiduelle en fonction du temps respectivement pour les mois Septembre, Février sur une période de 32 années.

Les courbes pour les mois d'Août, Juillet, Janvier sont dans Les figures (VII.17), l'analyse des figures (VII.14) et (VII.15) nous montre des variations importantes des résidus, on constate aussi que les résidus présentent des variations aléatoires difficiles à expliquer.

#### **c- Etude de la stabilité dans le temps des résidus en fonction de la taille des variables initiales (mois)**

Les figures de l'annexe VII. 6 montrent les courbes représentatives de l'évolution des résidus en fonction des dimensions des variables initiales (mois) pour les mois de Janvier et Juin sur les périodes de 14, 18, 22, 26 et 32 ans.

On remarque que les résidus ne présentent pas une stabilité dans le temps avec l'augmentation des dimensions des variables (mois).

#### **d- Etude de la normalité des résidus**

Les résidus  $\varepsilon_j$  sont des variables de moyenne nulle et d'écart type  $\sigma$ . L'analyse des figures de l'annexe (VII-8) nous révèle un bon ajustement des résidus ( $\varepsilon_j$ ) à la loi normale. La droite d'HENRY pour les variables résiduelles s'écrit :

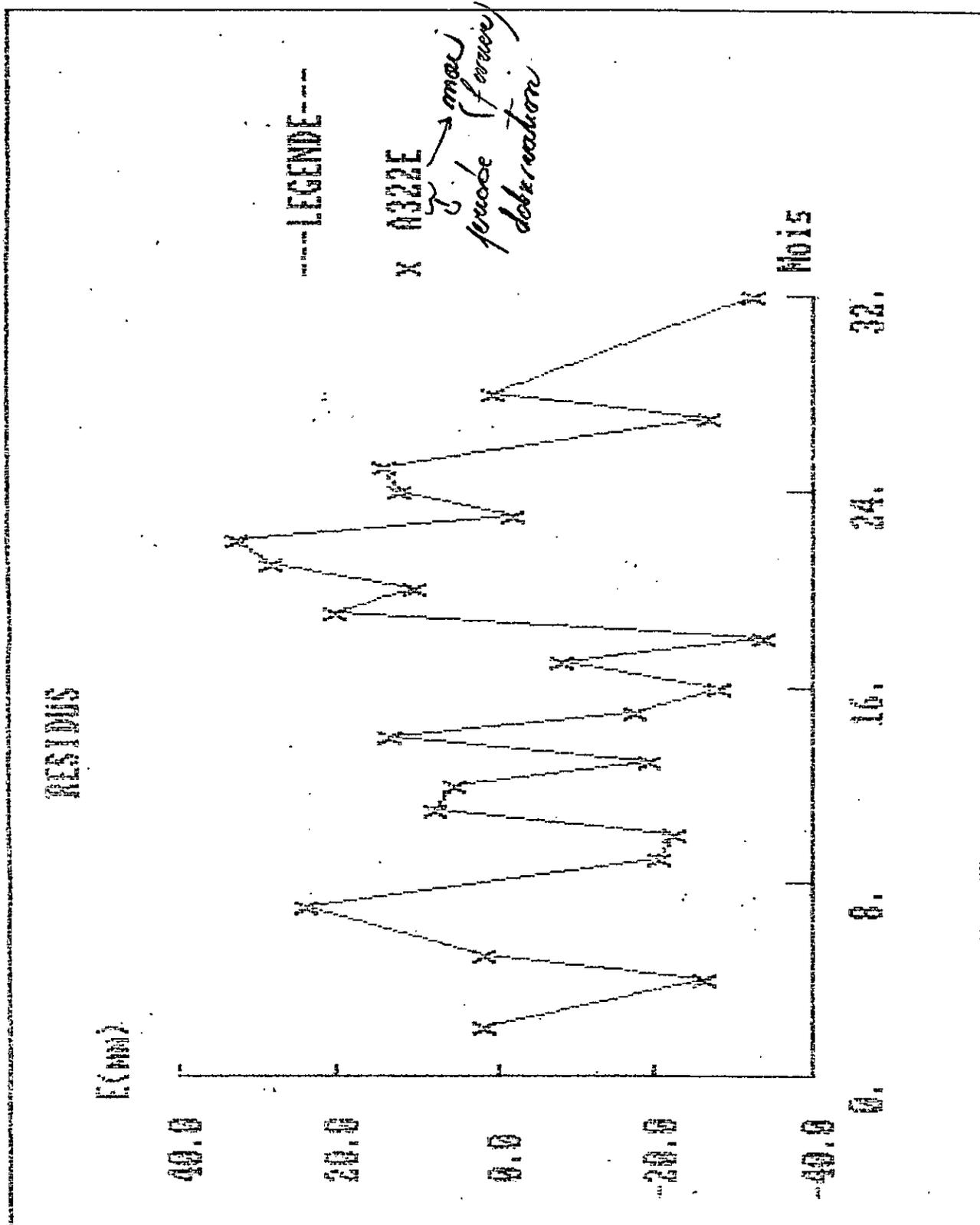
$$\varepsilon_j = \sigma U \quad (1)$$

$\sigma$  : l'écart type des variables résiduelles.

$U$  : la variable centrée réduite de la loi normale.

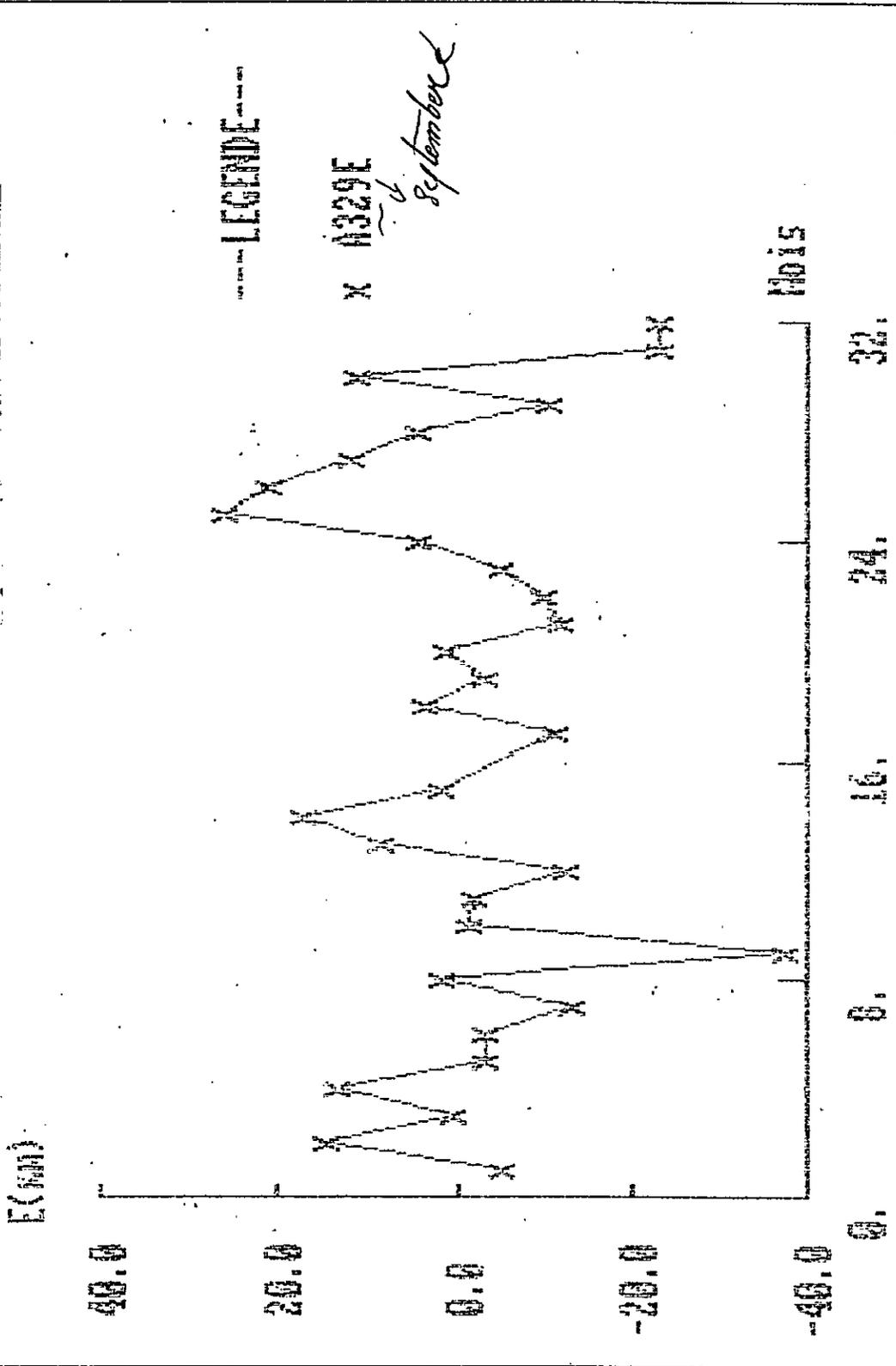
A partir de la table de la loi normale, on génère des nombres aléatoires ( $U$ ) et on calcule les valeurs  $\varepsilon_j$  à partir de l'équation (1).

511-V



VII-15

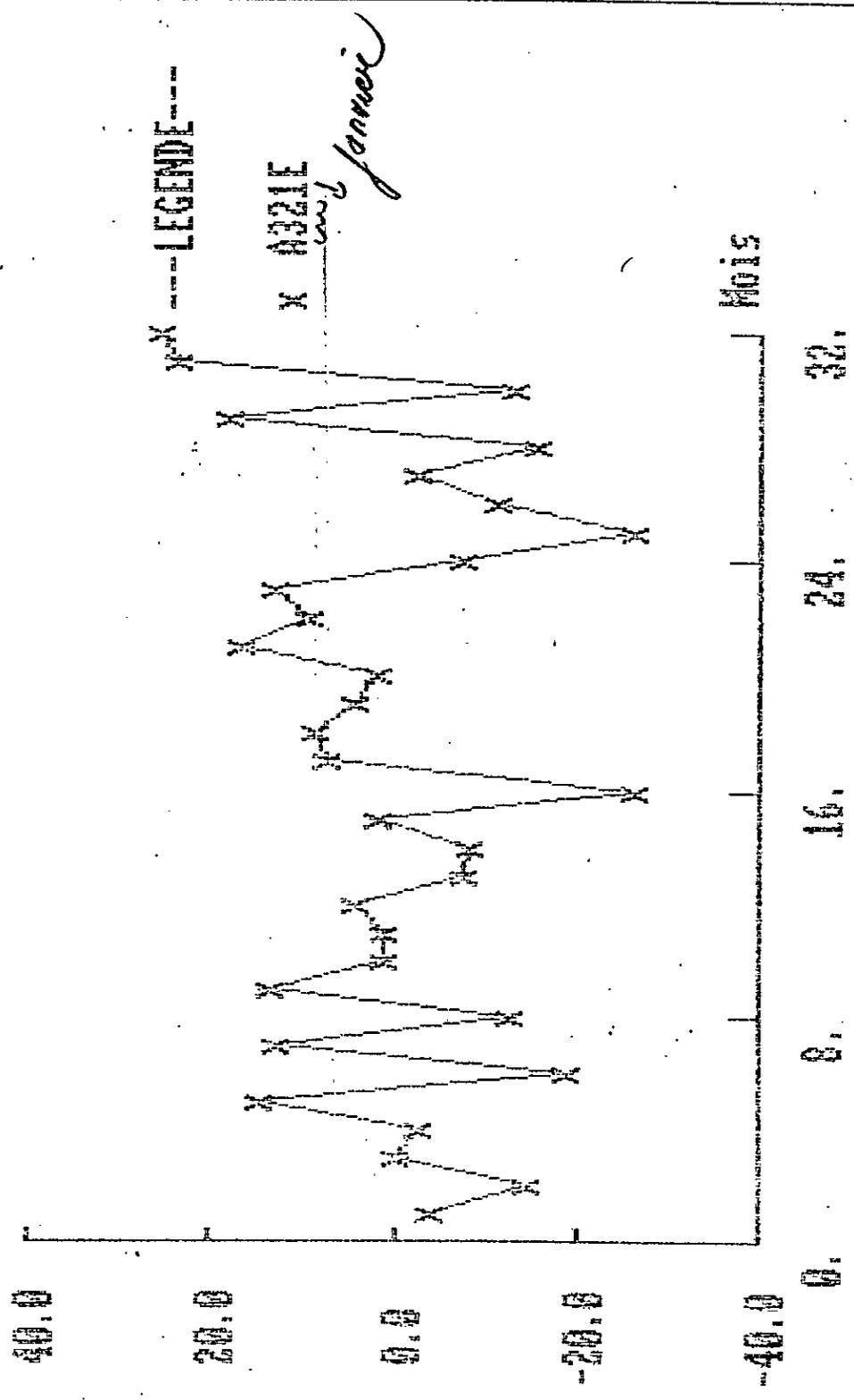
# NEBIDUS



VII-18

# MESURES

EC (mm)

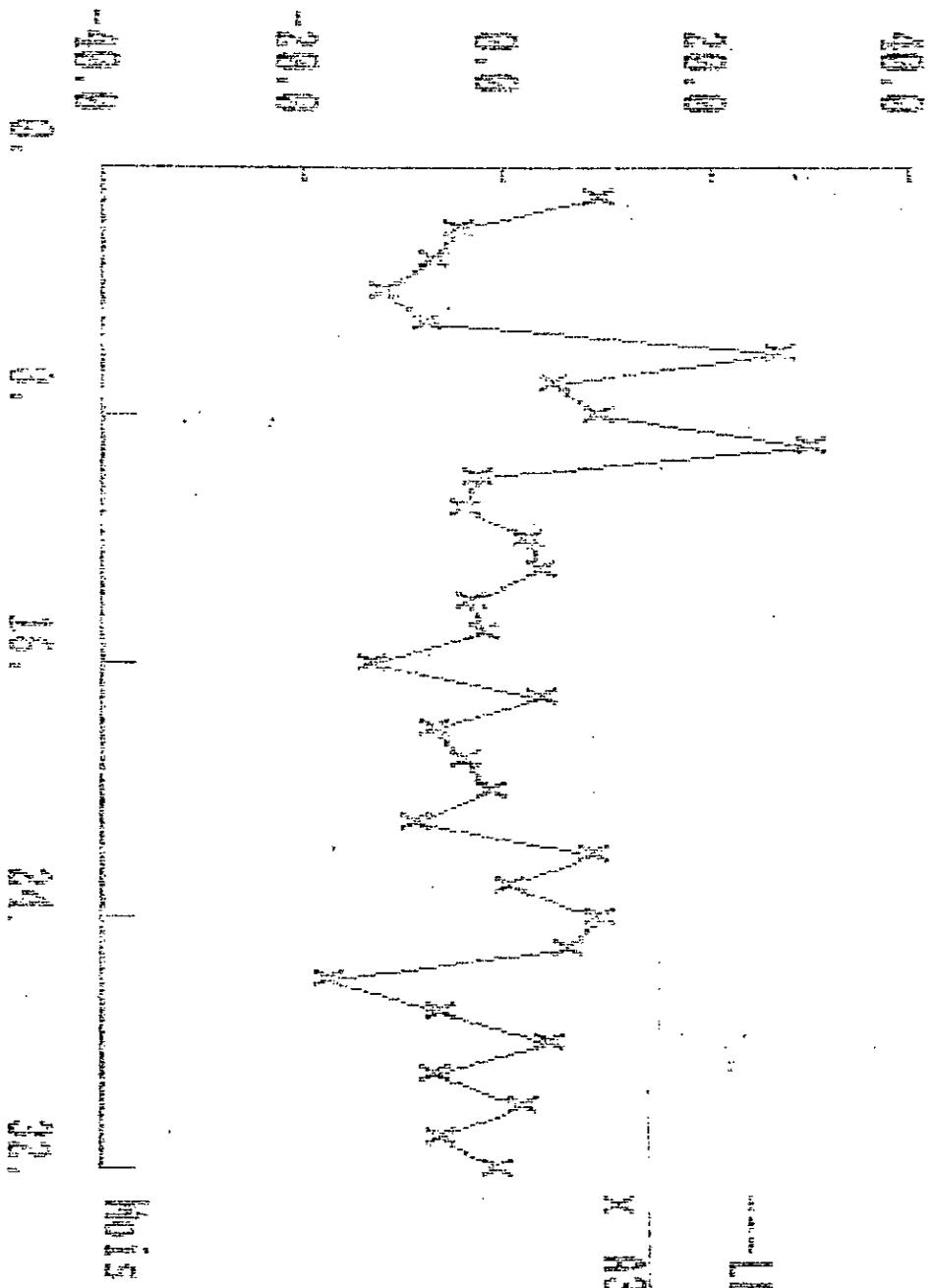


Mois

0. 8. 16. 24. 32.

# RESULTS

EMD



LEENDE

X R326E

### **3-5/ Vérification de l'efficacité du modèle de prévision**

Pour juger de la qualité d'une prévision on fait appel à des fonctions critères qui permettent d'apprécier quantitativement les résultats mensuels estimant globalement l'écart entre les sorties calculées (pluies mensuelles modélisées) et les résultats références (pluies mensuelles observées pendant la période de test), il existe différentes approches de cette fonction critère, l'approche utilisée dans cette étude étant de porter sur un graphique les valeurs observées et les valeurs calculées sur une période de test de 11 ans.

Les résultats obtenus sont satisfaisants du fait que le mouvement tendanciel a été reproduit.

Le modèle prévoit les valeurs des pluies mensuelles pour chaque mois sur toute la période de test, ces valeurs sont supérieures et par moment inférieures et par d'autres décalées des valeurs mensuelles observées.

Les résultats du test pour tous les mois sont représentés dans l'annexe (VII-10).

### **CONCLUSION**

Ce modèle calé et testé basé sur l'analyse en composantes principales permet de percevoir l'évolution tendancielle du phénomène physique étudié à savoir la pluviométrie.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVE

L'analyse en composante principale, et les chaînes de MARKOV ont été les outils de base de l'étude comparative de la pluviométrie du littoral algérien qui a montré des différences très caractérisées entre les six (06) stations pluviométriques prise en considération.

Nous avons voulu montrer dans ce mémoire que l'ACP est non seulement un moyen de critique des données ou de simulation du comportement d'un phénomène hydrologique, mais aussi qu'elle peut être utilisée dans le domaine de la prévision météorologique.

La démarche que nous avons proposée pour l'élaboration du modèle de prévision repose sur la base d'une définition d'une ACP normée en utilisant l'information historique nécessaire pour stabiliser les paramètres du modèle, cet objectif est atteint (au mieux, nous semble-t-il) grâce aux bons résultats obtenus pendant la période du test du modèle.

Mais il faut souligner que la perfection du modèle développé précédemment à prévoir le comportement du phénomène étudié repose en grande partie sur la quantité d'informations utilisée pendant le calage de ces paramètres.

comme approches futures, nous préconisons l'utilisation des covariances entre les variables brutes et les composantes principales et l'étude de leur évolution dans le temps, ainsi que l'étude des paramètres du modèle ( $\beta$ ,  $Cp$ ,  $\varepsilon$ ) en tenant compte des corrections du pas de temps antécédent, et de l'information nouvelle qu'il peut apporter.

- Une prévision au pas de temps annuel est plus facile à appréhender, la *de sagregation* au pas de temps mensuel permet les prévisions plus proches de la réalité du phénomène étudié.

- Diviser en classes les résidus et déterminer la probabilité d'apparition de chaque classe en fonction des états t-2, t-3, t-3.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. AKIF, S. AMARA (1997) : Préviation statistique des pluies à Oran par plusieurs schémas décisionnels. Thèse d'Ingénieur d'Application de la Météorologie IHFR Oran.
- [2] ATTOU (1991) : Etude comparative des modèles conceptuels pluie-débit au pas de temps journalier (application au bassin versant de la Chiffa). Thèse d'Ingénieur ENP Alger.
- [3] CHATOU, ANTONY (1983) : Critères d'applications opérationnelles de modèles hydrologiques.
- [4] BONNET (1982) : Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie. Document du BRGM n° 34 pp 7-31.
- [5] A. CHOUAKI, B.S. OUDAH (1990) : Etude et modélisation du bilan hydrique et du bilan hydrologique. Thèse d'Ingénieur ENP Alger.
- [6] M. CORAZZA (1975) : Techniques mathématiques de la fiabilité prévisionnelle, pp 159-195.
- [7] N. DECHEMI : Evolution de la pluviométrie sur le littoral algérien. Publication.
- [8] N. DECHEMI : Cahier de cours hydrologie stochastique.
- [9] A. HAMRICHE, K. TACHET (1993) : Contribution à l'étude et à la simulation des paramètres hydrométéorologiques par l'ACP. Thèse d'Ingénieur ENP Alger.
- [10] Javier-Yves RODRIGUEZ-HERNANDEZ (1989) : Modélisation pluie-débit par la méthode D.P.F.T. pp4-40.
- [11] N. KAHLAL (1992) : Optimisation d'un réseau de mesures pluviométriques. Thèse d'Ingénieur ENP, Alger.

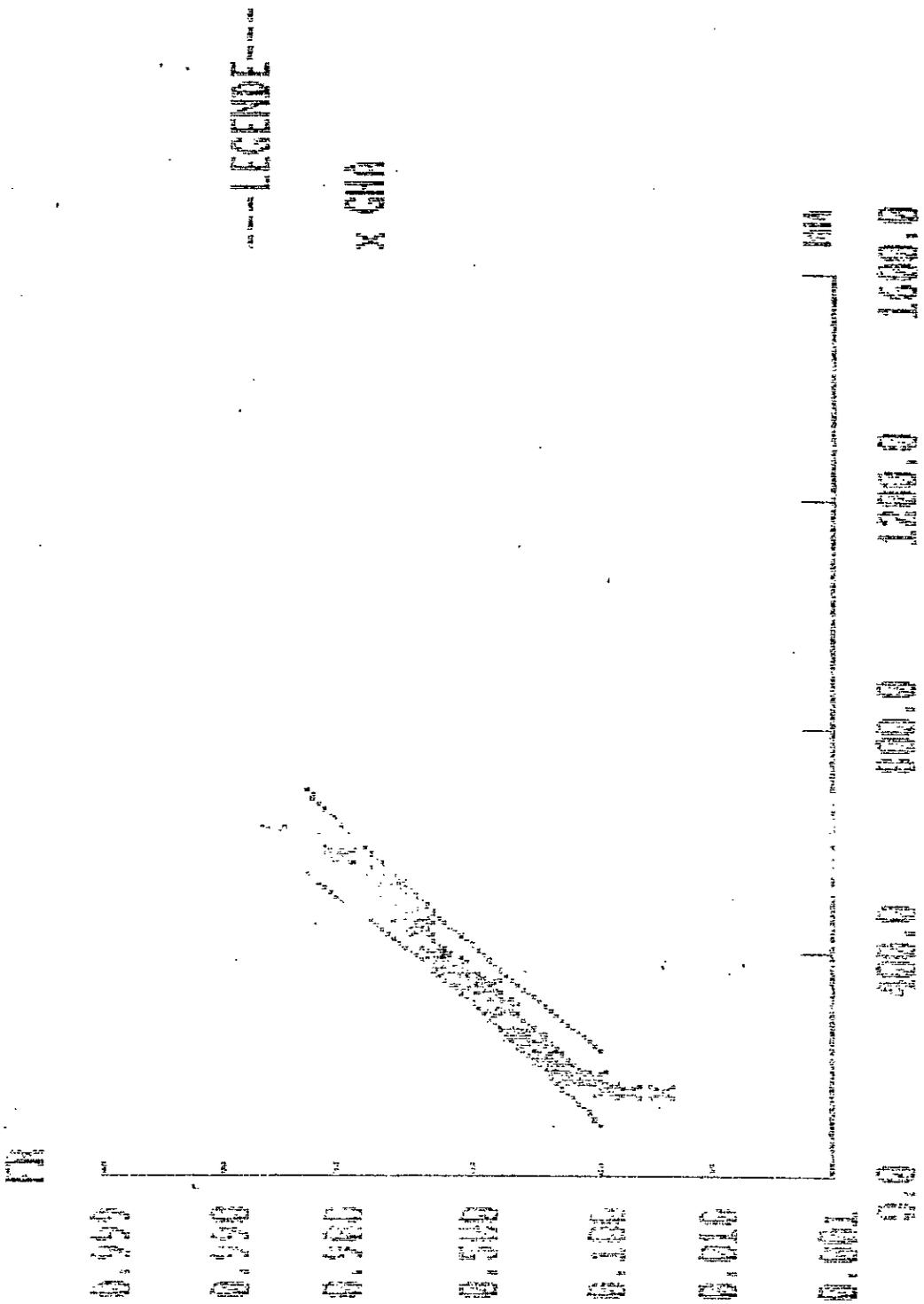
- [12] J. LEFEBVRE (1983) : Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles, 3<sup>ème</sup> édition, pp 137-151.
- [13] J. LIAMAS (1993) : Hydrologie générale principe et application, 2<sup>ème</sup> édition, GÄETON MORIN, chapitre 4 et chapitre 11.
- [14] OMM (1996) : Guide des pratiques hydrologiques, OMM, n° 168.
- [15] ROCHE (1988) : Guide de prévision de crues, pp 2-53, tome 1.
- [16] P. TASSI (1989) : Méthode statistique, 2<sup>ème</sup> édition, pp 271-290.
- [17] World meteorological organisation (1969) : Hydrological forecasting. Technical note n° 92.

# **ANNEXES**

**ANNEXE IV**

Quexe IV

LOI NORMALE



Quene IV

LOI NORMALE

III

0.999  
0.990  
0.900  
0.500  
0.100  
0.010  
0.001  
0.0

LEGENDE

X ORA

III

1200.0

0.000

0.000

0.000

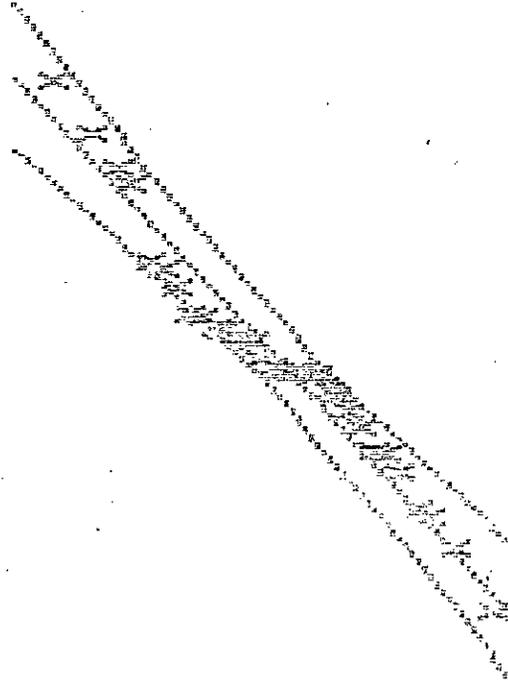
0.0

# Quixote IV

## LA MONTAÑA

FT

0.999  
0.998  
0.997  
0.996  
0.995  
0.994  
0.993  
0.992  
0.991  
0.990



LA MONTAÑA

LA MONTAÑA

0.000 0.001 0.002 0.003 0.004 0.005 0.006 0.007 0.008 0.009

Small vertical text on the right edge of the page, possibly a page number or reference code.

# Quexe IV

## LOI NORMALE

171

0.999

0.990

0.900

0.500

0.100

0.010

0.001

0.0

LEGENDE

MIN

MIN

1000.0

1000.0

1000.0

1000.0

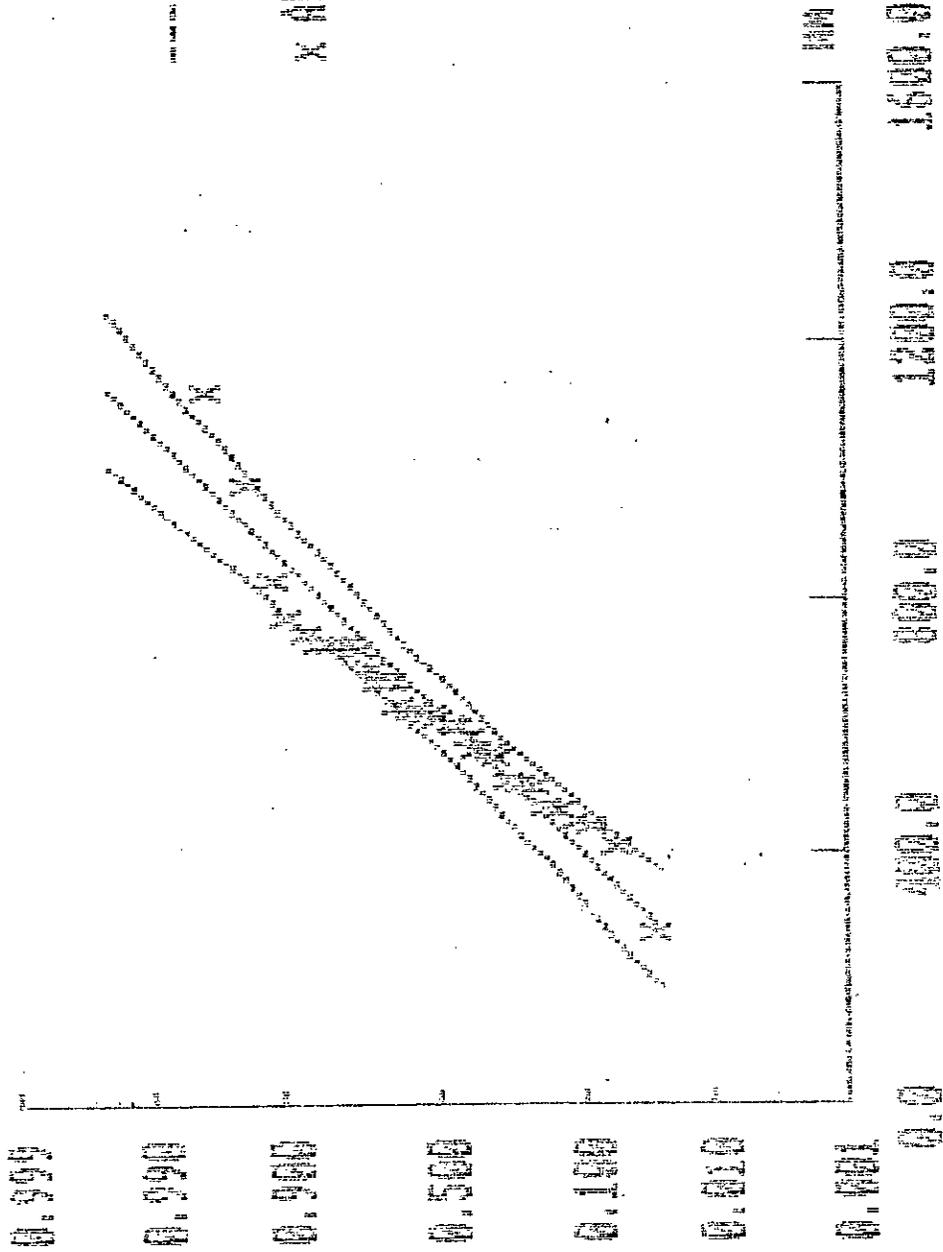
1000.0

Vertical text on the right edge of the page, likely a page number or reference code.

# Quexe IV

## LOI NORMALE

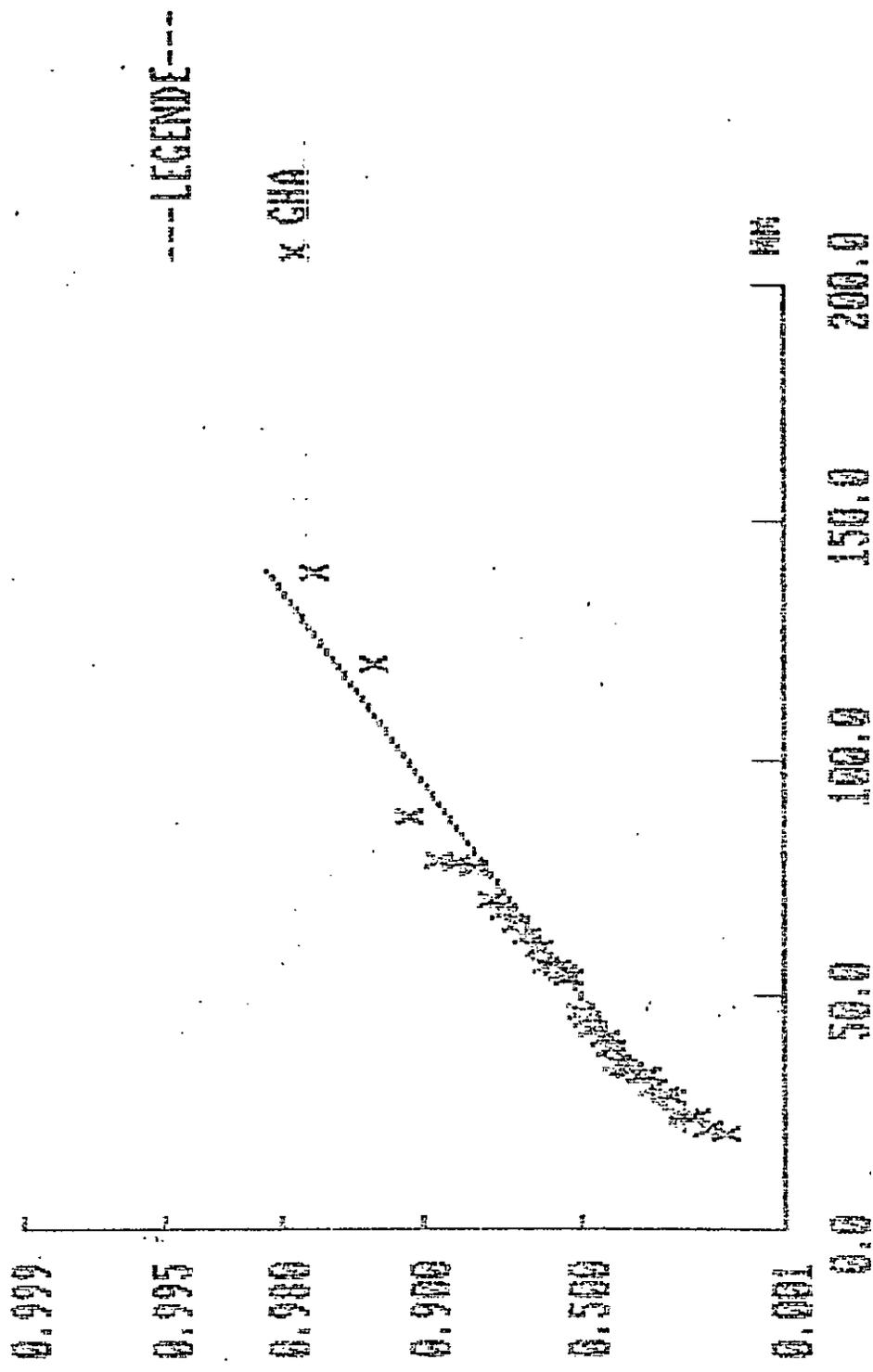
PH





# LOI GUMBEL

FR.



Cuneke IV

LOI CAMEL

PH

0.999

0.995

0.990

0.985

0.980

0.975

0.0

50.0

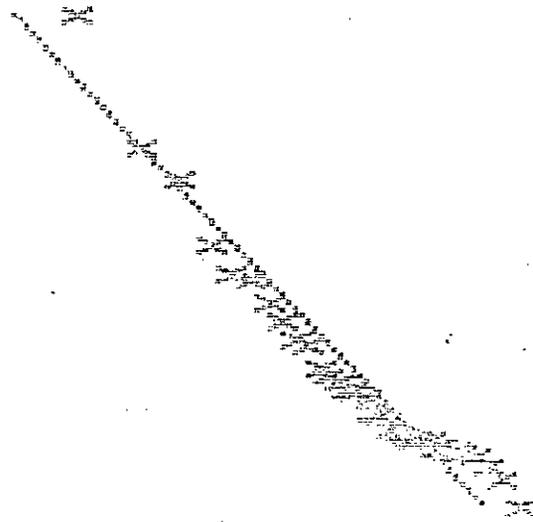
100.0

150.0

200.0

LEGENDE

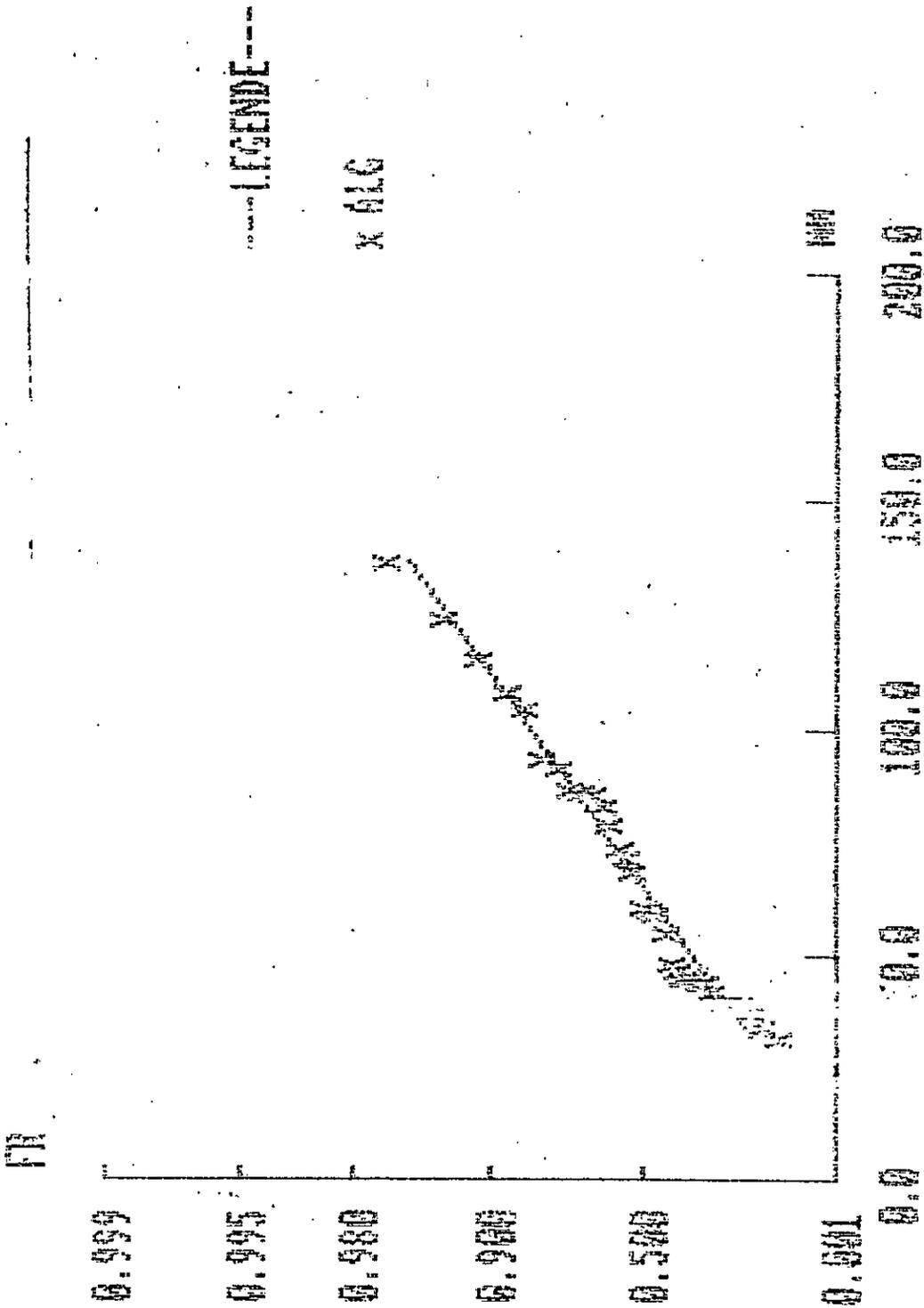
X



MM

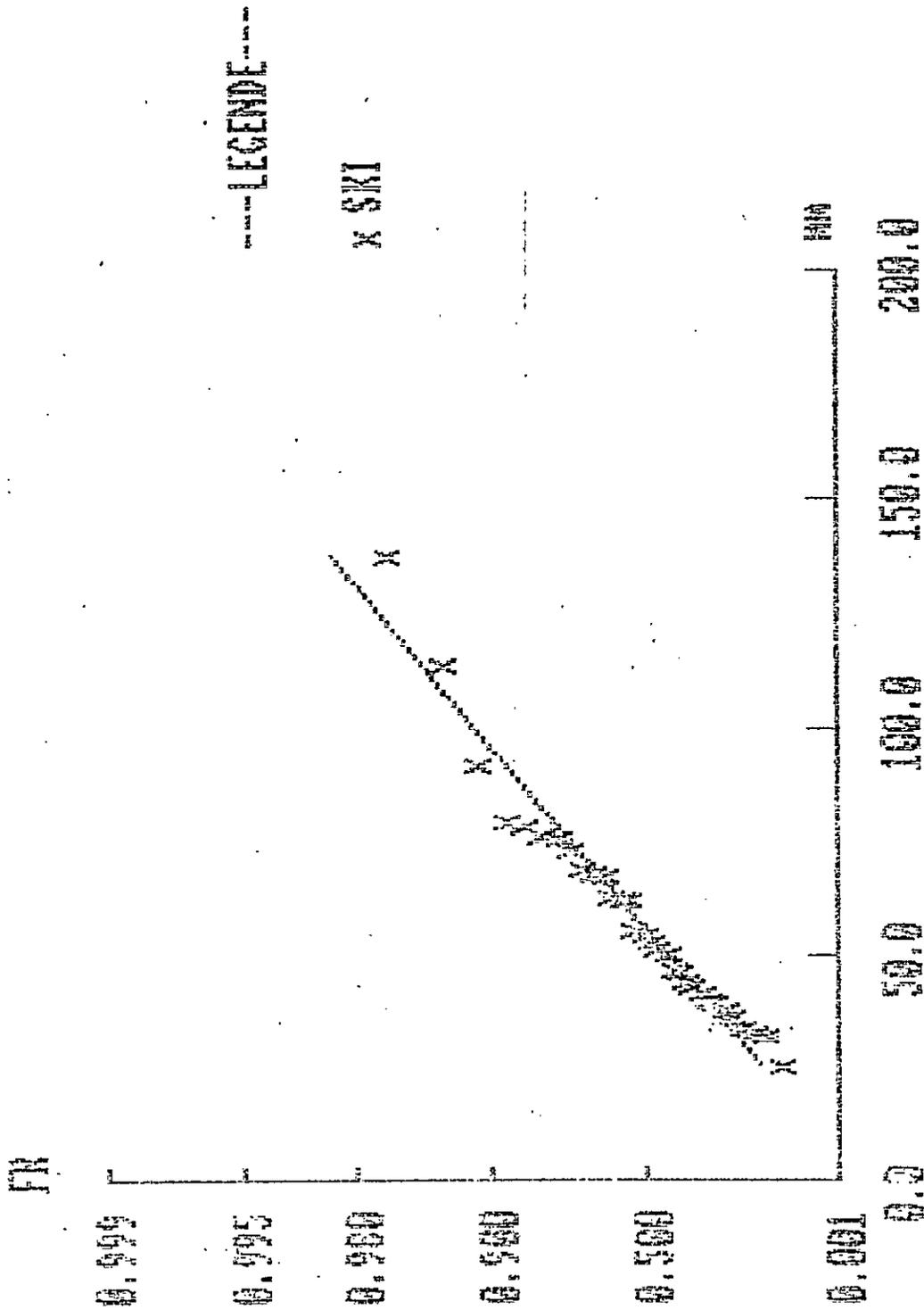
Annexe IV

LOI GAUSSIENNE



Quve IV

# LOI GUMBEL



Quvex IV

LOI GIBBEL

mm

0.999

0.995

0.990

0.980

0.970

0.960

0.950

0.940

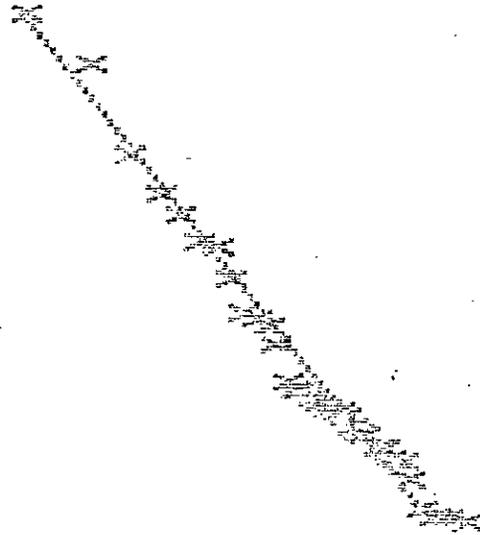
0.930

0.920

0.910

LEGENDE

X AM



Quexe IV

LOI GIBBEL

FR

0.999  
0.995  
0.980  
0.900  
0.500  
0.001

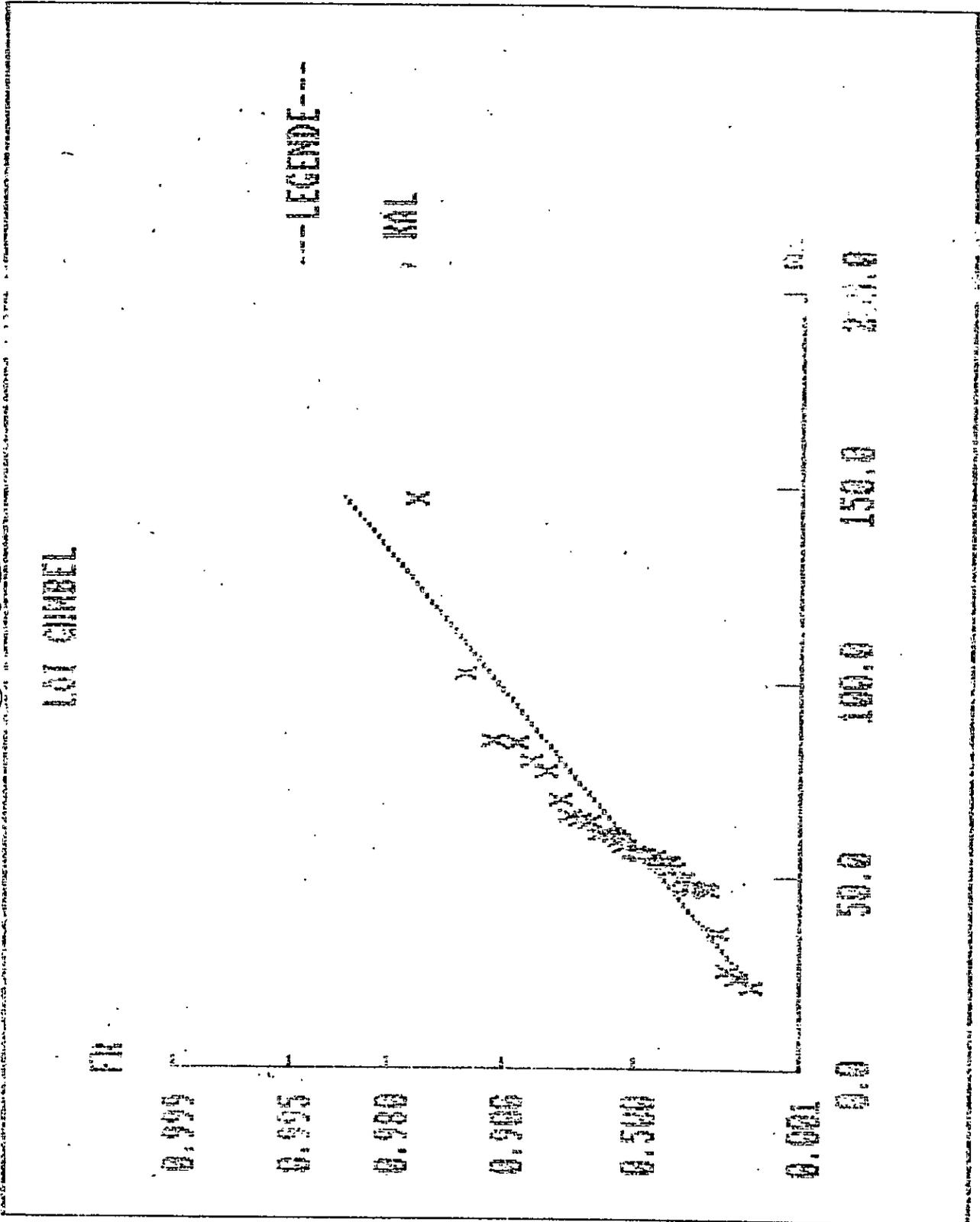
---LEGENDE---

KAL

X

0.0 50.0 100.0 150.0 200.0

J 00



**ANNEXE VI**

## PLUIES ANNUELLES VI -1.

### Paramètres statistiques

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	361,150	384,656	732,203	770,622	627,331	785,575
Ecart type	145,101	117,949	178,856	188,016	162,269	232,208

### Matrice de corrélation

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,6493	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,3392	0,5450	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,0228	0,3436	0,4541	1,0000		
A <sub>5</sub>	-0,0136	0,2855	0,4879	0,7514	1,0000	
A <sub>6</sub>	-0,1868	0,0431	0,2473	0,4539	0,3825	1,0000

### Vecteur propre (matrice de passage)

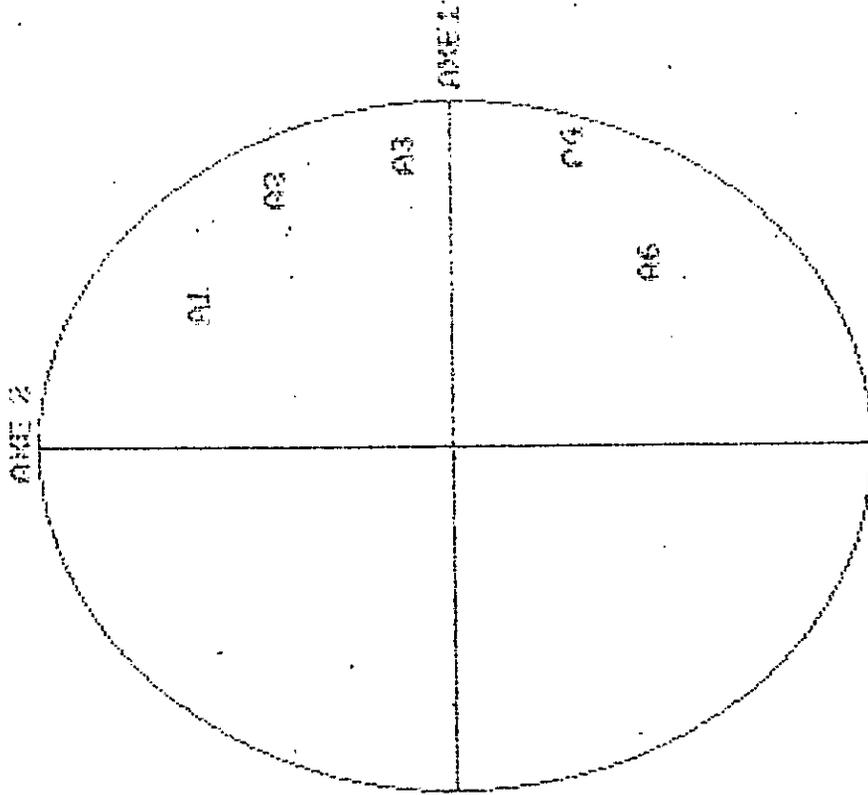
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,220	0,644	0,177	0,300	0,637	-0,095
A <sub>2</sub>	0,415	0,456	0,105	0,219	-0,696	0,277
A <sub>3</sub>	0,477	0,142	0,057	-0,846	0,049	-0,179
A <sub>4</sub>	0,491	-0,274	-0,267	0,355	-0,089	-0,692
A <sub>5</sub>	0,477	-0,283	-0,452	0,076	0,303	0,625
A <sub>6</sub>	0,288	-0,450	0,824	0,122	0,085	0,116

Valeurs propres	2,7359	1,6614	0,6252	0,4676	0,2818	0,2281
Contribution	45,5984	27,6895	10,4197	7,7933	4,6967	3,8024
Contribution cumulée	45,5984	73,2879	83,7076	91,5009	96,1976	10,0000

PROJECTION SUR LE PLAN FONDAMENTAL

PAR  
A4

POINT CACHE  
A5



Cercle de Corrélation pour les Plies Annuelles

## PLUIES MAXIMALES JOURNALIERES Annexe VI

### Paramètres statistiques

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	53,137	41,381	68,197	58,881	50,266	60,266
Ecart type	27,230	20,857	28,211	23,937	24,811	22,991

### Matrice de corrélation

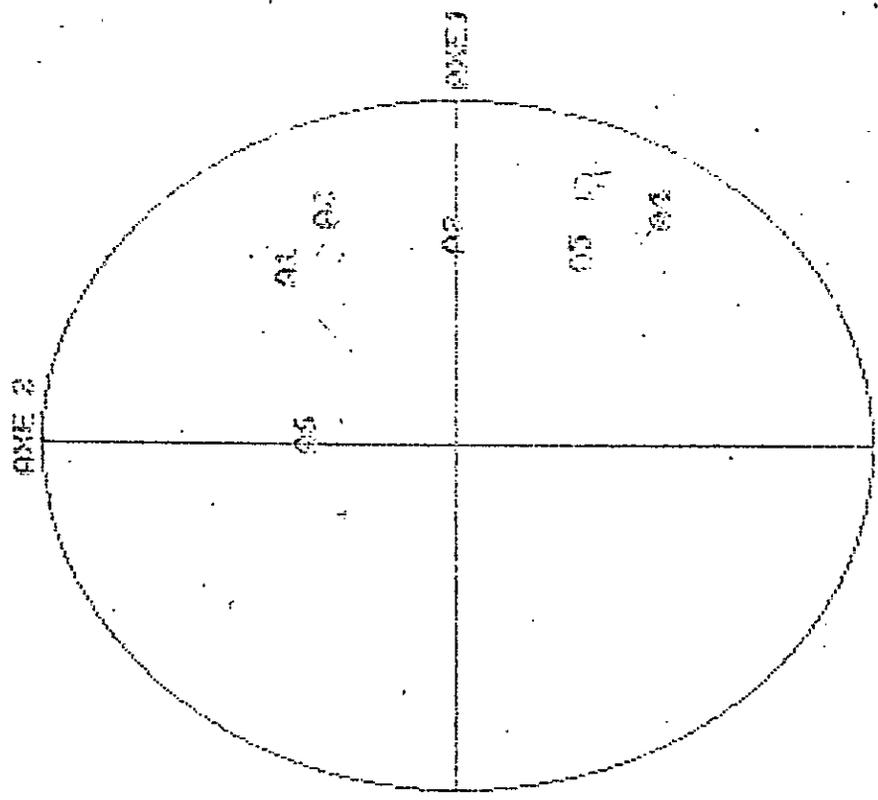
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,3299	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,0438	0,2135	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,0854	-0,0058	0,2599	1,0000		
A <sub>5</sub>	-0,0441	0,1602	0,0104	0,3262	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,0861	-0,0239	0,0970	0,2245	0,1029	1,0000

### Vecteur propre (matrice de passage)

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,366	0,504	-0,302	-0,241	0,598	-0,325
A <sub>2</sub>	0,500	0,397	-0,195	-0,188	-0,598	0,400
A <sub>3</sub>	0,449	0,033	0,096	0,798	-0,131	-0,367
A <sub>4</sub>	0,501	-0,535	-0,070	0,060	0,420	0,528
A <sub>5</sub>	0,404	-0,308	0,518	-0,505	-0,167	-0,436
A <sub>6</sub>	-0,013	0,454	0,767	0,103	0,250	0,362

Valeurs propres	1,5699	1,2771	1,0749	0,9619	0,7681	0,3481
Contribution	26,1645	21,2848	17,9152	16,0322	12,8022	5,8011
Contribution cumulée	26,1645	47,4493	65,3645	81,3967	94,1989	100,0000

POINT CACHE PAR PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (I, II) Quatre VI-2



Cercle de Corrélation pour les pluies maximales.

**PLUIES MENSUELLES**

Annexe VI - 3

**Paramètres statistiques****Septembre**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	10,000	11,038	34,738	38,637	34,772	44,475
Ecart type	24,580	11,363	39,125	35,849	28,540	48,367

**Octobre**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	37,306	37,072	89,319	99,131	81,375	105,419
Ecart type	53,648	40,475	73,811	84,392	69,299	80,383

**Novembre**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	32,991	44,966	111,047	109,409	82,575	123,469
Ecart type	30,545	36,353	71,463	63,968	53,691	73,821

**Décembre**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	69,381	69,775	115,506	121,456	87,134	113,812
Ecart type	55,640	50,570	69,409	73,292	51,341	68,247

**Janvier**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	38,281	49,681	87,347	112,453	91,319	116,872
Ecart type	28,792	37,310	45,934	52,823	48,111	69,963

**Février**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	40,459	50,466	90,106	94,875	75,675	92,459
Ecart type	34,319	40,282	68,350	65,437	49,641	68,562

**Mars**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	44,056	49,159	40,081	75,884	65,575	81,806
Ecart type	41,361	31,053	46,085	37,046	41,645	50,276

**Avril**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	52,275	44,181	74,897	65,722	53,794	61,697
Ecart type	51,305	37,030	48,558	41,018	35,866	44,646

**Mai**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	26,122	25,800	36,741	32,772	32,725	27,600
Ecart type	37,660	32,687	36,167	21,182	19,219	20,404

**Juin**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	8,403	9,006	17,800	12,716	13,725	11,522
Ecart type	13,464	10,121	19,460	11,717	13,750	16,325

**Juillet**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	0,838	0,981	2,894	1,922	2,112	1,841
Ecart type	2,652	1,700	7,852	3,067	4,346	4,530

**Août**

Stations (Variables)	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Moyennes	1,431	1,266	6,419	9,025	8,387	7,563
Ecart type	3,231	2,779	9,517	12,385	10,321	14,220

**Matrice de corrélation****Septembre**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,1936	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,2287	0,7376	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,0267	0,3180	0,2430	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,1735	0,4560	0,2117	0,5764	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,0333	0,4255	0,2823	0,5218	0,7692	1,0000

**Octobre**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,8053	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,2850	0,4017	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,1595	0,3538	0,7523	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,1439	0,3274	0,7399	0,7252	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,3870	0,4948	0,5640	0,4718	0,5732	1,0000

**Novembre**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,5716	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,2887	0,4664	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,0647	0,2252	0,6149	1,0000		
A <sub>5</sub>	-0,0878	0,2476	0,6615	0,7547	1,0000	
A <sub>6</sub>	-0,3614	-0,0733	0,3725	0,4725	0,5822	1,0000

**Décembre**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,7852	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,4580	0,5674	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,0060	0,1629	0,5172	1,0000		
A <sub>5</sub>	-0,0223	0,1270	0,5765	0,8802	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,0348	0,0402	0,3661	0,6097	0,5089	1,0000

**Janvier**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,7279	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,5581	0,4915	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,5180	0,3071	0,5481	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,5861	0,2690	0,4986	0,7814	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,4609	0,2352	0,4027	0,3588	0,3556	1,0000

**Février**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,6818	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,5418	0,6019	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,4650	0,6010	0,4838	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,3915	0,5452	0,3897	0,9186	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,5468	0,5420	0,3562	0,6981	0,6889	1,0000

**Mars**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,7376	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,1859	0,5542	1,0000			
A <sub>4</sub>	-0,0112	0,1190	0,5409	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,0512	-0,0313	0,3593	0,7603	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,1215	-0,0842	0,0770	0,4836	0,8477	1,0000

**Avril**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,7061	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,2436	0,2205	1,0000			
A <sub>4</sub>	-0,2093	-0,1252	0,3867	1,0000		
A <sub>5</sub>	-0,3387	-0,3189	0,2181	0,7381	1,0000	
A <sub>6</sub>	-0,3490	-0,2434	0,3366	0,7165	0,7551	1,0000

**Mai**

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,5941	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,0466	0,2189	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,3143	0,1209	0,5309	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,3857	0,1393	0,2801	0,8298	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,0796	-0,1122	0,1045	0,3887	0,5305	1,0000

Jun

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,6287	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,0469	0,1257	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,2531	0,1382	0,5485	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,1064	-0,0389	0,5006	0,6986	1,0000	
A <sub>6</sub>	0,0556	0,0065	0,3597	0,6096	0,3850	1,0000

Juillet

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,7631	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,0054	0,3221	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,3440	0,1806	-0,1161	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,0234	0,1453	0,5864	0,2768	1,0000	
A <sub>6</sub>	-0,1055	-0,0873	0,2063	0,0830	0,5732	1,0000

Août

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1,0000					
A <sub>2</sub>	0,1188	1,0000				
A <sub>3</sub>	0,4141	0,2548	1,0000			
A <sub>4</sub>	0,1538	-0,0286	0,3285	1,0000		
A <sub>5</sub>	0,0461	0,2403	0,2080	0,6751	1,0000	
A <sub>6</sub>	-0,0493	-0,1184	0,1869	0,1686	0,1876	1,0000

**Vecteur propre (matrice de passage)****Septembre**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,152	0,473	0,851	0,080	0,072	0,128
A <sub>2</sub>	0,457	0,381	-0,299	-0,137	-0,581	0,448
A <sub>3</sub>	0,376	0,549	-0,355	0,125	0,463	-0,449
A <sub>4</sub>	0,408	-0,342	0,020	0,836	-0,011	0,130
A <sub>5</sub>	0,486	-0,316	0,241	-0,279	-0,367	-0,627
A <sub>6</sub>	0,474	-0,336	0,033	-0,427	0,555	0,414

**Octobre**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,301	0,653	0,168	-0,128	0,624	-0,221
A <sub>2</sub>	0,382	0,524	0,171	0,302	-0,649	0,195
A <sub>3</sub>	0,461	-0,245	0,195	-0,640	-0,302	-0,433
A <sub>4</sub>	0,429	-0,337	0,394	-0,036	0,274	0,686
A <sub>5</sub>	0,436	-0,352	-0,029	0,678	0,145	-0,452
A <sub>6</sub>	0,419	0,033	-0,865	-0,148	0,045	0,225

**Novembre**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,082	0,668	-0,222	0,551	0,280	0,340
A <sub>2</sub>	0,267	0,548	0,584	-0,459	0,205	-0,185
A <sub>3</sub>	0,504	0,166	0,011	0,279	-0,753	-0,270
A <sub>4</sub>	0,506	-0,077	-0,568	-0,143	0,427	-0,462
A <sub>5</sub>	0,527	-0,161	-0,093	-0,343	-0,080	0,751
A <sub>6</sub>	0,366	-0,441	0,527	0,519	0,351	-0,011

**Décembre**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,243	0,610	0,232	0,242	0,674	-0,043
A <sub>2</sub>	0,317	0,562	-0,046	0,268	-0,692	0,179
A <sub>3</sub>	0,487	0,175	-0,217	-0,805	0,018	-0,192
A <sub>4</sub>	0,486	-0,316	-0,154	0,427	-0,033	-0,676
A <sub>5</sub>	0,476	-0,315	-0,382	0,168	0,227	0,670
A <sub>6</sub>	0,376	-0,289	0,853	-0,104	-0,121	0,150

**Janvier**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,466	0,313	-0,032	0,367	-0,406	-0,619
A <sub>2</sub>	0,362	0,684	-0,203	0,120	0,372	0,456
A <sub>3</sub>	0,423	0,065	-0,006	-0,878	-0,212	-0,030
A <sub>4</sub>	0,430	-0,455	-0,242	0,024	0,669	-0,318
A <sub>5</sub>	0,429	-0,466	-0,237	0,260	-0,433	0,537
A <sub>6</sub>	0,323	-0,078	0,918	0,107	0,131	0,133

**Février**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,380	0,460	-0,525	0,050	0,604	0,041
A <sub>2</sub>	0,422	0,315	-0,061	-0,684	-0,501	-0,001
A <sub>3</sub>	0,349	0,501	0,639	0,453	-0,089	0,074
A <sub>4</sub>	0,451	-0,369	0,235	-0,101	0,259	-0,727
A <sub>5</sub>	0,427	-0,479	0,205	-0,153	0,240	0,682
A <sub>6</sub>	0,412	-0,270	0,464	0,539	-0,502	-0,011

**Mars**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,184	0,546	0,550	-0,246	-0,537	0,132
A <sub>2</sub>	0,216	0,653	0,019	0,033	0,683	-0,244
A <sub>3</sub>	0,396	0,295	-0,585	0,503	-0,342	0,209
A <sub>4</sub>	0,517	-0,141	-0,314	-0,726	0,113	0,274
A <sub>5</sub>	0,545	-0,279	0,129	0,074	-0,182	-0,755
A <sub>6</sub>	0,445	-0,302	0,490	0,391	0,288	0,485

**Avril**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	-0,326	0,538	0,219	0,627	0,209	-0,344
A <sub>2</sub>	-0,286	0,556	0,410	-0,579	-0,037	0,323
A <sub>3</sub>	0,176	0,558	-0,790	-0,008	-0,008	0,183
A <sub>4</sub>	0,489	0,254	0,222	0,028	-0,737	-0,321
A <sub>5</sub>	0,522	0,075	0,316	0,391	0,195	0,656
A <sub>6</sub>	0,519	0,140	0,106	-0,342	0,611	-0,458

**Mai**

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,347	0,534	-0,362	-0,128	0,668	0,036
A <sub>2</sub>	0,236	0,682	0,046	0,387	-0,562	-0,109
A <sub>3</sub>	0,336	-0,029	0,797	0,289	0,322	0,251
A <sub>4</sub>	0,550	-0,175	0,160	-0,383	-0,096	-0,697
A <sub>5</sub>	0,547	-0,178	-0,192	-0,309	-0,340	0,649
A <sub>6</sub>	0,331	-0,433	-0,411	0,713	0,095	-0,129

Juin

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,203	0,665	0,104	-0,327	-0,618	0,128
A <sub>2</sub>	0,150	0,692	-0,073	0,316	0,625	0,045
A <sub>3</sub>	0,448	-0,108	-0,574	0,573	-0,351	0,083
A <sub>4</sub>	0,561	-0,049	0,106	-0,177	0,080	-0,796
A <sub>5</sub>	0,486	-0,187	-0,277	-0,572	0,312	0,476
A <sub>6</sub>	0,429	-0,169	0,752	0,327	-0,018	0,338

Juillet

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,404	-0,539	0,032	0,303	-0,308	0,600
A <sub>2</sub>	0,484	-0,421	-0,283	0,166	0,231	-0,655
A <sub>3</sub>	0,422	0,294	-0,541	-0,381	0,378	0,394
A <sub>4</sub>	0,301	-0,176	0,729	-0,480	0,341	0,018
A <sub>5</sub>	0,505	0,421	0,103	-0,179	-0,687	-0,228
A <sub>6</sub>	0,281	0,488	0,290	0,688	0,348	0,065

Août

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
A <sub>1</sub>	0,297	0,534	0,420	-0,337	0,581	-0,005
A <sub>2</sub>	0,224	0,478	-0,556	0,532	0,159	0,322
A <sub>3</sub>	0,475	0,335	0,328	0,189	-0,686	-0,238
A <sub>4</sub>	0,549	-0,314	-0,086	-0,388	-0,149	0,648
A <sub>5</sub>	0,535	-0,291	-0,404	-0,072	0,238	-0,636
A <sub>6</sub>	0,222	-0,437	0,487	0,642	0,310	0,121

Janvier

Valeurs propres	3,4069	0,9653	0,7431	0,4874	0,2473	0,1500
Contribution	56,7817	10,0884	12,3852	8,1237	4,1213	2,4997
Contribution cumulée	56,7817	72,8701	85,2553	93,3790	97,5003	100,0000

Février

Valeurs propres	3,8382	0,9544	0,5419	0,3354	0,2556	0,0744
Contribution	63,9708	15,9070	9,0321	5,5896	4,2602	1,2404
Contribution cumulée	63,9708	79,8778	88,9099	94,4994	98,7596	100,0000

Mars

Valeurs propres	2,6780	1,8937	0,9541	0,2780	0,1348	0,0615
Contribution	44,6327	31,5614	15,9014	4,6328	2,2463	1,0254
Contribution cumulée	44,6327	76,1942	92,0955	96,7283	98,9746	100,0000

Avril

Valeurs propres	2,9018	1,7442	0,5768	0,3154	0,2677	0,1941
Contribution	48,3638	29,0697	9,6139	5,2569	4,4615	3,2342
Contribution cumulée	48,3638	77,4335	87,0474	92,3043	96,7658	100,0000

Janvier

Valeurs propres	3,4069	0,9653	0,7431	0,4874	0,2473	0,1500
Contribution	56,7817	10,0884	12,3852	8,1237	4,1213	2,4997
Contribution cumulée	56,7817	72,8701	85,2553	93,3790	97,5003	100,0000

Février

Valeurs propres	3,8382	0,9544	0,5419	0,3354	0,2556	0,0744
Contribution	63,9708	15,9070	9,0321	5,5896	4,2602	1,2404
Contribution cumulée	63,9708	79,8778	88,9099	94,4994	98,7596	100,0000

Mars

Valeurs propres	2,6780	1,8937	0,9541	0,2780	0,1348	0,0615
Contribution	44,6327	31,5614	15,9014	4,6328	2,2463	1,0254
Contribution cumulée	44,6327	76,1942	92,0955	96,7283	98,9746	100,0000

Avril

Valeurs propres	2,9018	1,7442	0,5768	0,3154	0,2677	0,1941
Contribution	48,3638	29,0697	9,6139	5,2569	4,4615	3,2342
Contribution cumulée	48,3638	77,4335	87,0474	92,3043	96,7658	100,0000

**Juin**

Valeurs propres	2,6383	1,5839	0,6765	0,5777	0,3060	0,2175
Contribution	43,9722	26,3989	11,2753	9,6218	5,1004	3,6254
Contribution cumulée	43,9722	70,3711	81,6464	91,2742	96,3746	100,0000

**Juillet**

Valeurs propres	2,1311	1,7823	1,1026	0,6119	0,2111	0,1610
Contribution	35,5187	29,7053	18,3767	10,1978	3,5182	2,6833
Contribution cumulée	35,5187	65,2240	83,6007	93,7985	97,3167	100,0000

**Août**

Valeurs propres	2,0817	1,2917	1,0330	0,8601	0,5007	0,2328
Contribution	34,6957	21,5286	17,2162	14,3347	8,3450	3,8799
Contribution cumulée	34,6957	56,2243	73,4404	87,7751	96,1201	100,0000

**Mai**

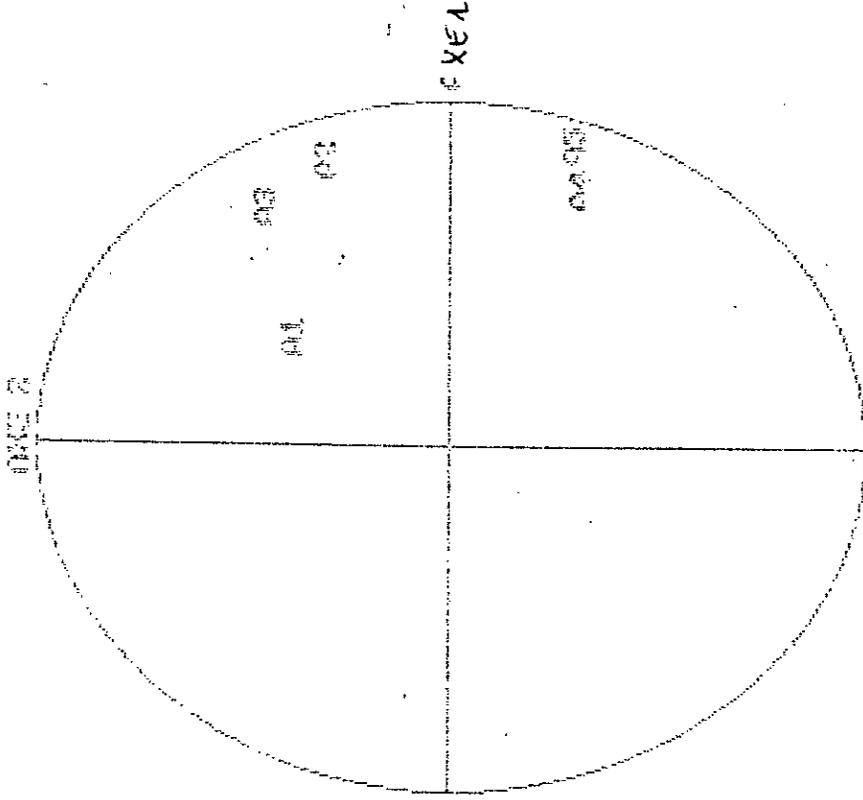
Valeurs propres	2,6323	1,4603	0,9766	0,5283	0,2924	0,1101
Contribution	43,8713	24,3376	16,2771	8,8055	4,8730	1,8355
Contribution cumulée	43,8713	68,2089	84,4860	93,2915	98,1645	100,0000

PUNTE CACHÉ  
416

POP  
414

PROJECTION SUR LE PLAN ÉQUATORIAL

Annexe VI - 3

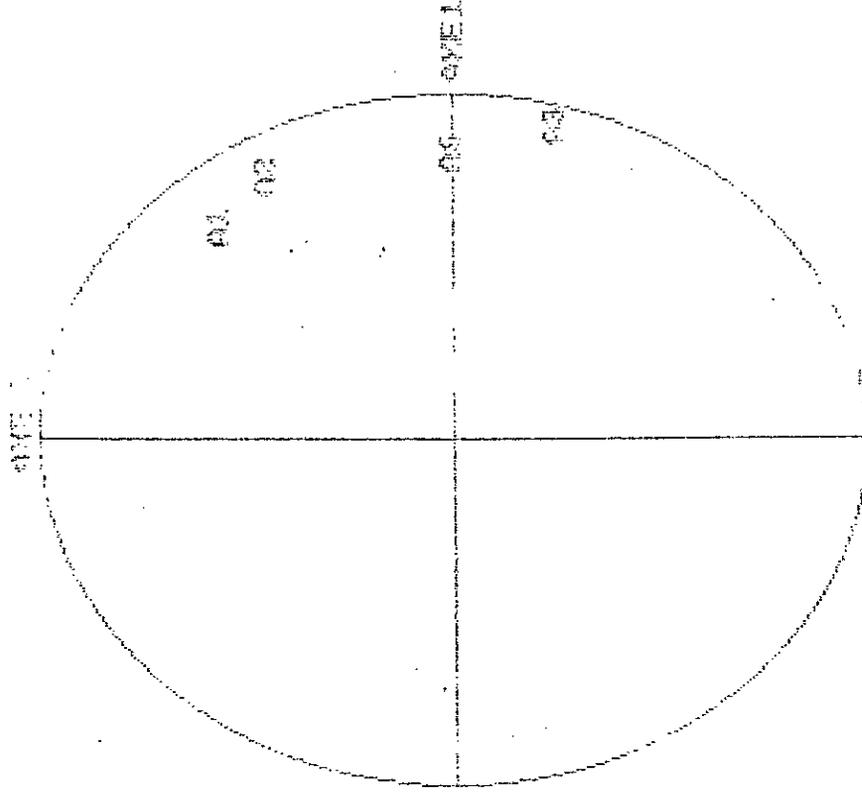


Cercle de corrélation pour le mois de Septembre

PROJECTION SUR LE PLAN HORIZONTAL (1. 2. 3)

POIN  
03  
03

POINT  
04  
05



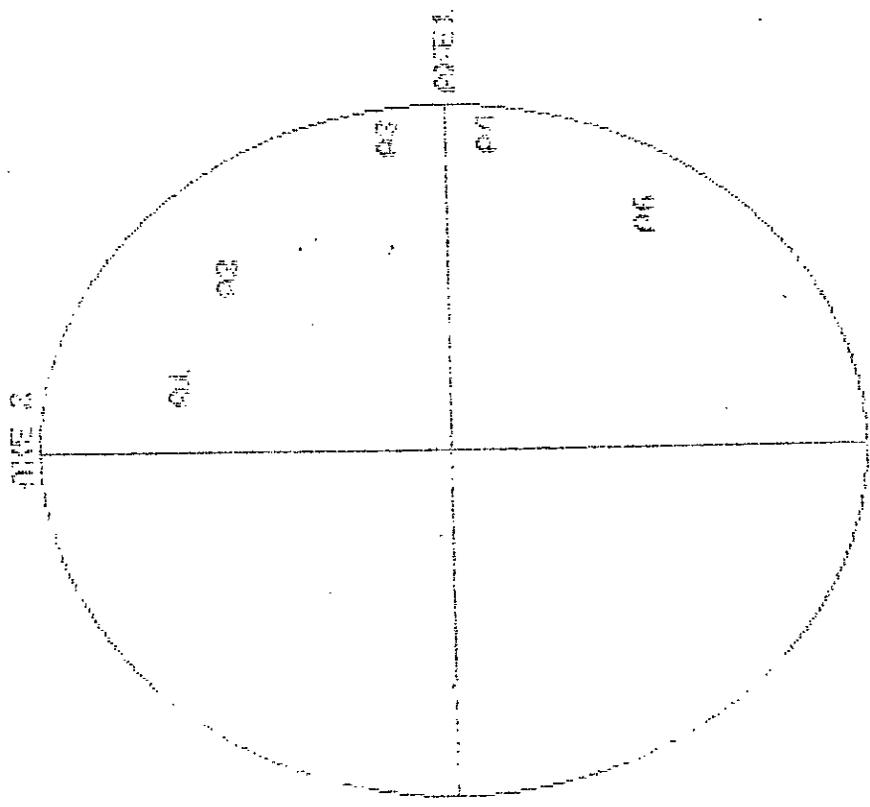
Cercle de Corne (ahou) pour le mois d'Octobre.

Ruineve VI. 2.

REPARTITION SUR LE PLAN SPHERIQUE (1902)

1901

POINT CENTRE  
05



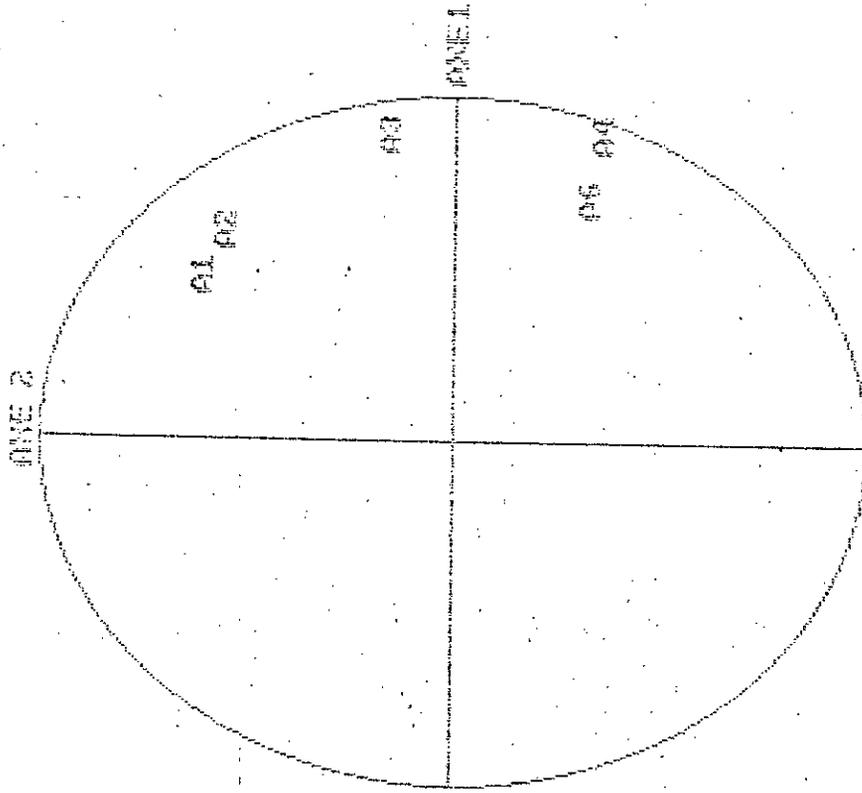
Cercle de Correlation pour le mois de Novembre.

POINT CACHE  
A5

PAR  
A4

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (1) et (2)

Annexe VI - 3.



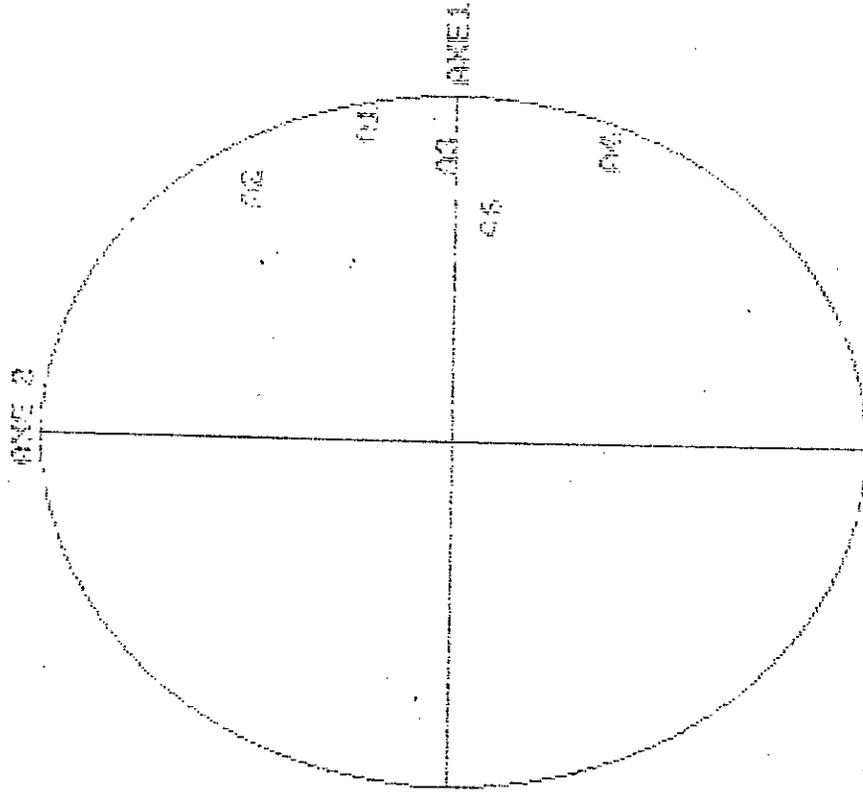
Cercle de corrélation pour le mois de Décembre

POINT CACHÉ  
A5

POIN  
M4

PROJECTION SUR LE PLAN FACIÉ (1 1/2)

Quatre VI → 3.



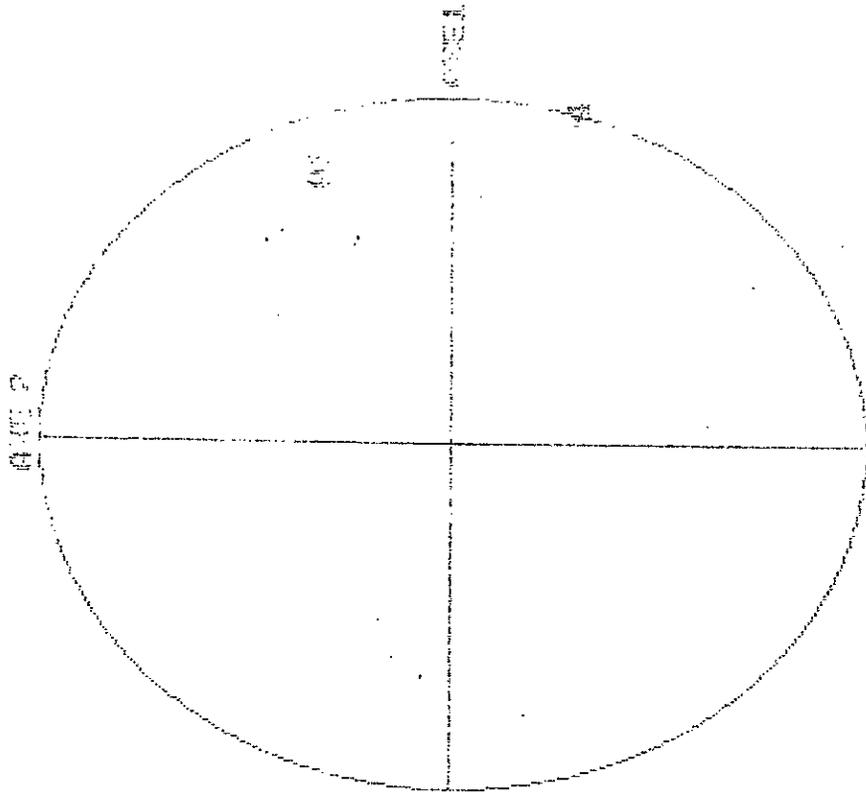
Cercle de corrélation pour le mois de Janvier.

POINT 20 E

POP  
01  
01  
01  
01

UNIVERSITÄT BILBAO

Queseve VI-3.



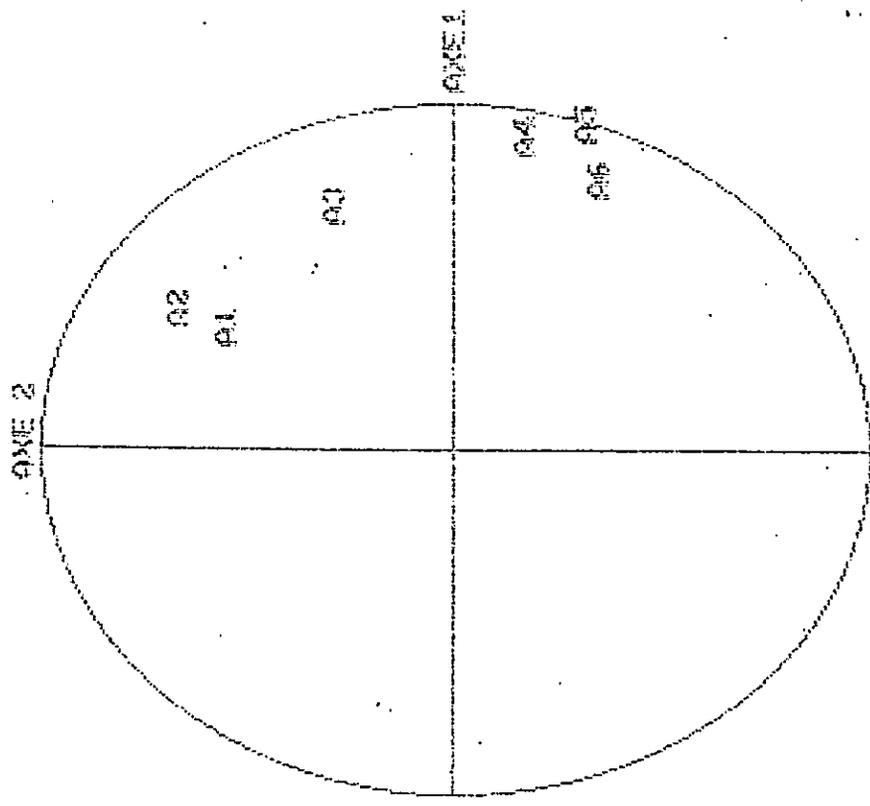
Cercle de Corrélation pour le mois de Février.

POINT CACHE

PAR

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (1, 2)

Exercice VI - 3

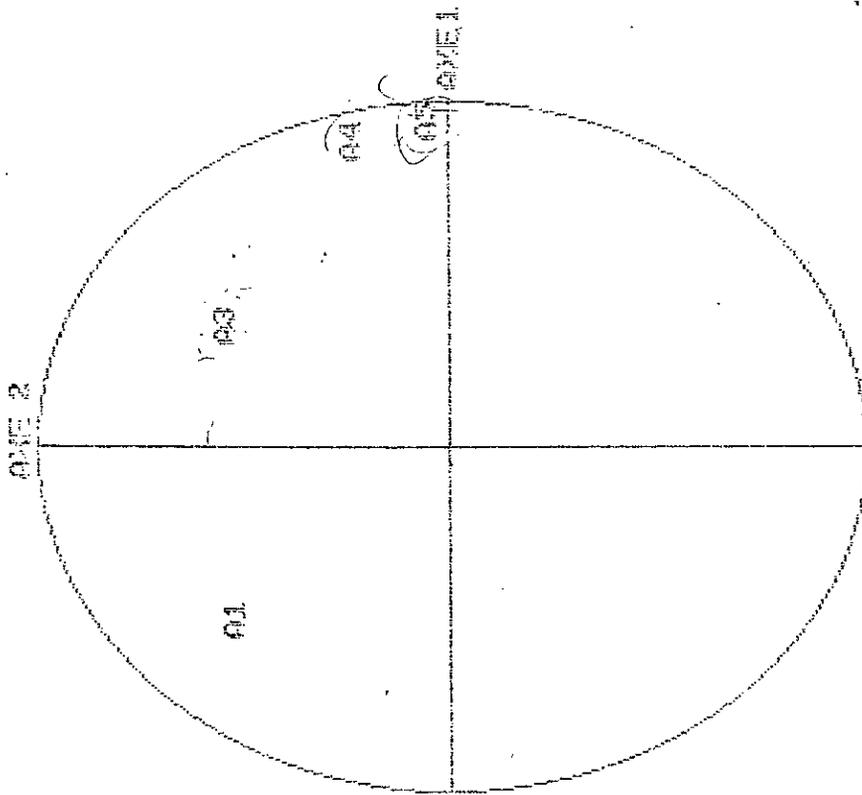


Cercle de corrélation pour le mois de Mars

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (A1, A2)

POINTE  
A1  
A2  
A3

POINTE  
A4  
A5  
A6

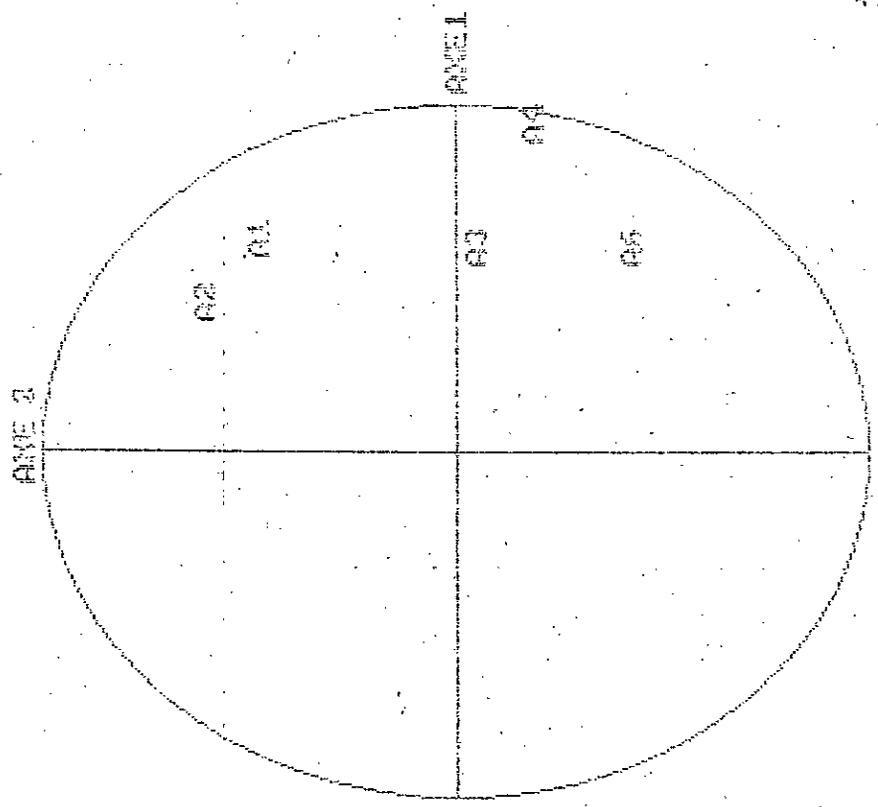


Cercle de corrélation pour le mois de Avril

Annexe VI - 3.

PROJECTION SUR LE PLAN FACTUREL (L. 42)

POINT CACHE  
A5



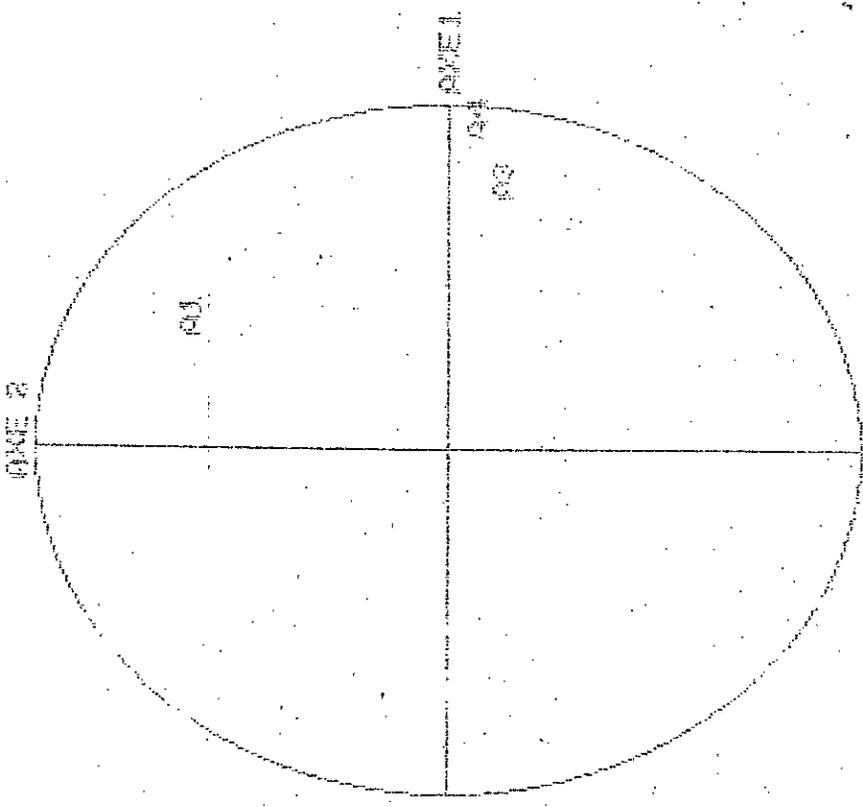
Cercle de corrélation pour le mois de Mai

POINT CACHÉ  
A1  
A2  
A3  
A4

POINT  
A1  
A2  
A3  
A4

PROJETER EN SUITE LE PLAN FACTORIEL (1 2 3)

Annexe VI - 2

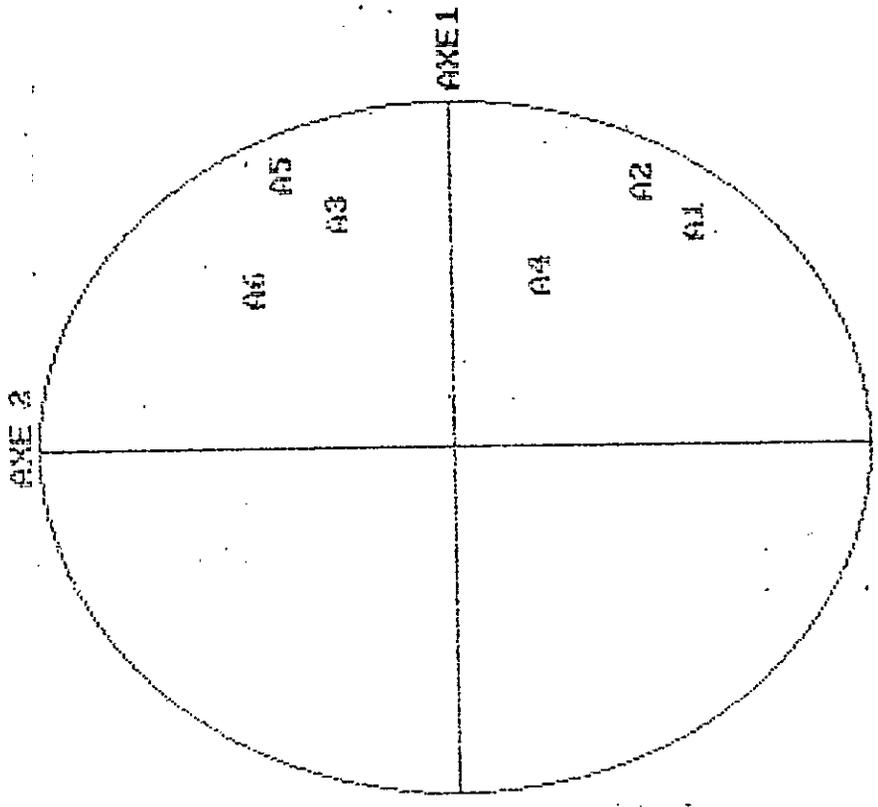


Cercle de Corrélation pour le mois de juin

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (1\*2)

PAR

POINT CHARGE

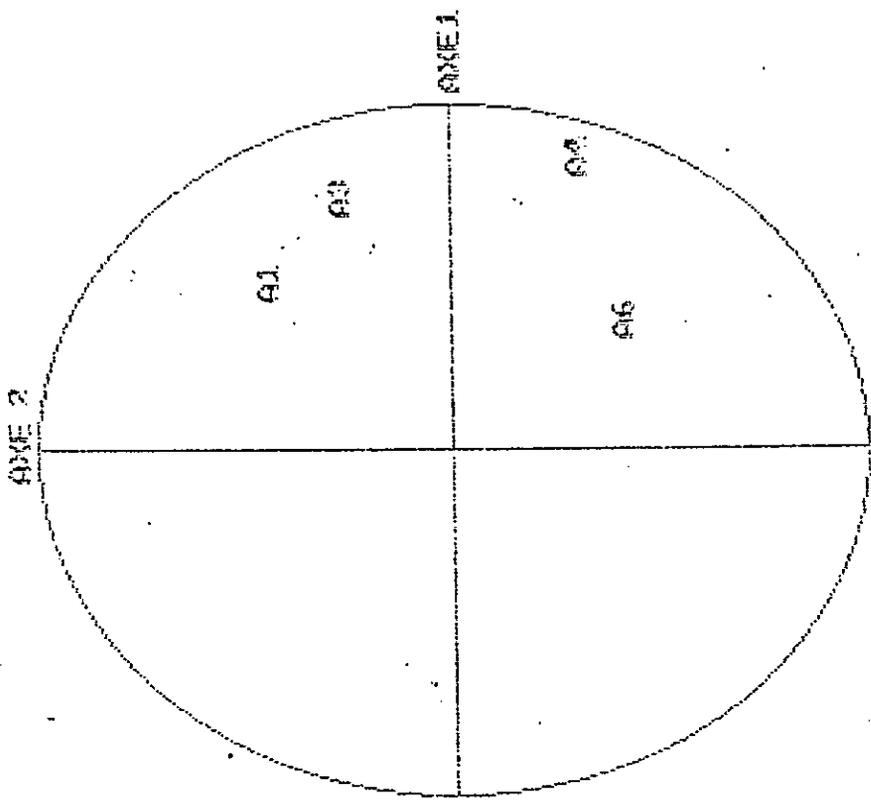


Cercle de corrélation pour le mois de juillet.

POINT CACHE  
A2  
A3

POINT  
A1  
A4

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (1 \* 2) Cuviers VI-3.



Cercle de corrélation pour le mois d'août

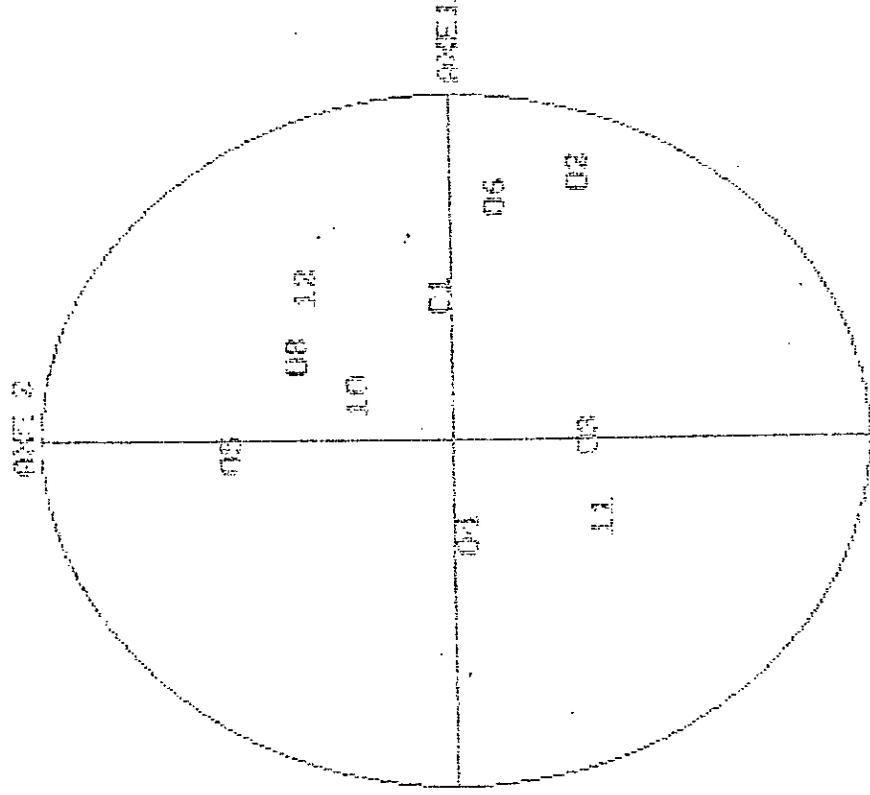
**ANNEXE VII**

POINT CACHÉ  
03  
06

PAR  
01  
06

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (1, 2)

Annexe VII-1.

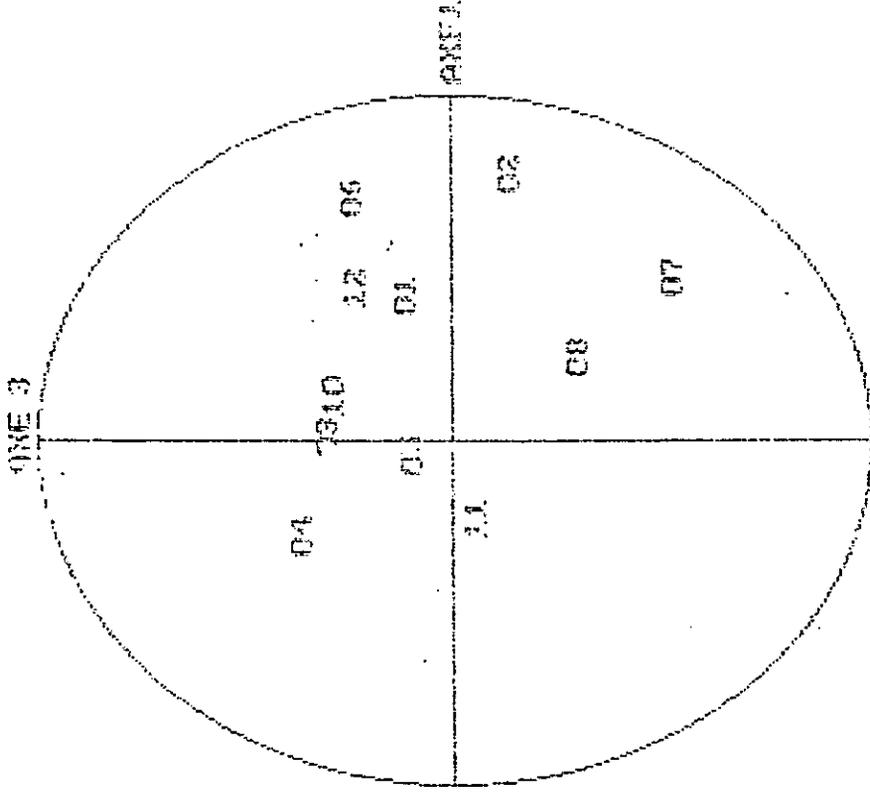


POINT CACHE  
09

PAR  
06

PROJET 01 SUR LES PLON FACTORIES (1 8 2)

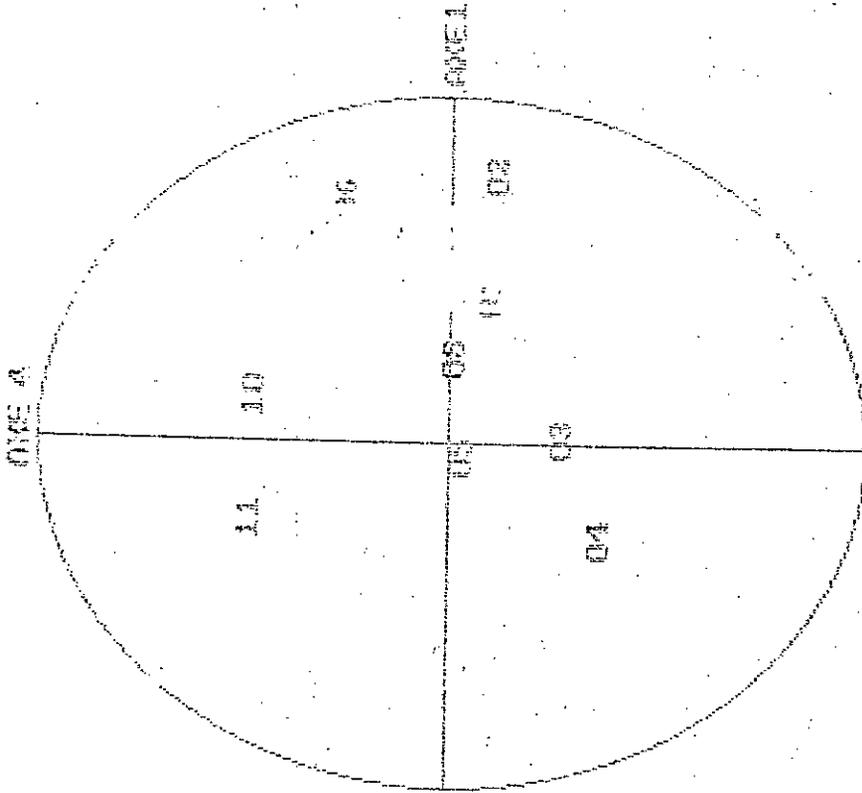
Annexe VI - 1



POINT CARRE  
07  
09  
12

POR  
01  
02  
01

PROJECTION SUR LE PLAN DE BIEL (184) *Annexe VII-1*

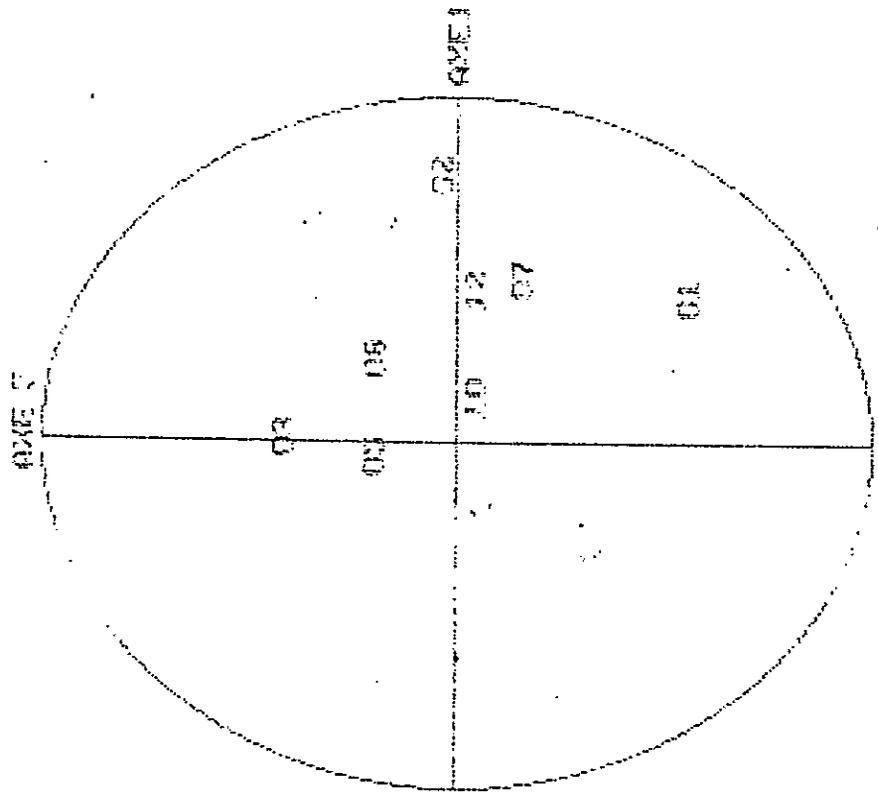


POINT CARRE  
06  
09

04  
02  
02

PROJETION : DE LE PLAN COURBE. (J 15.)

Quatre VII -1.

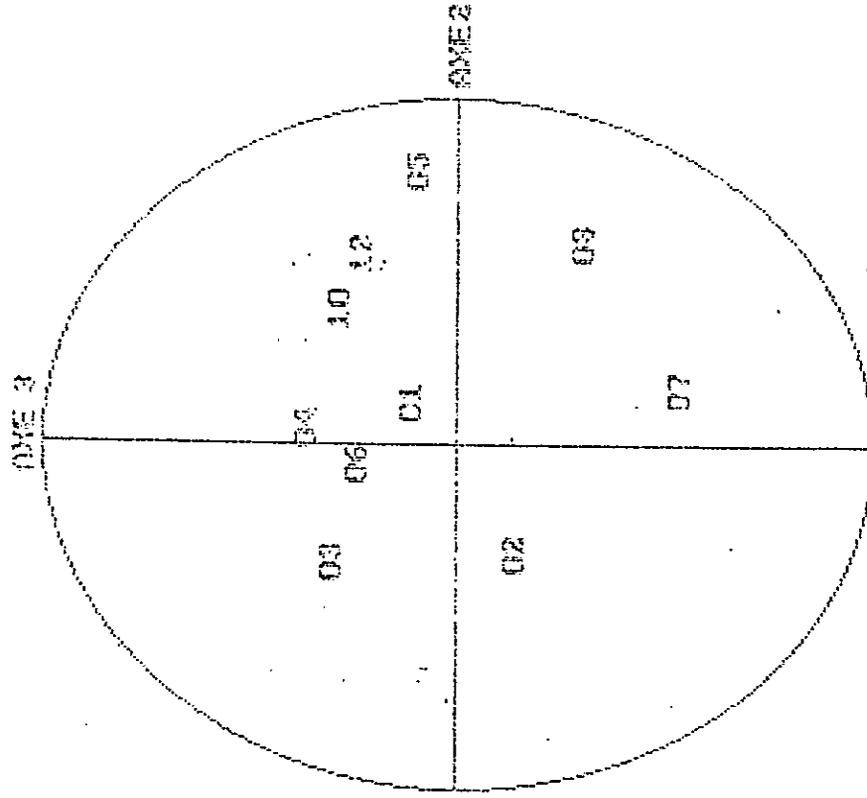


POINT CACHE  
09  
11

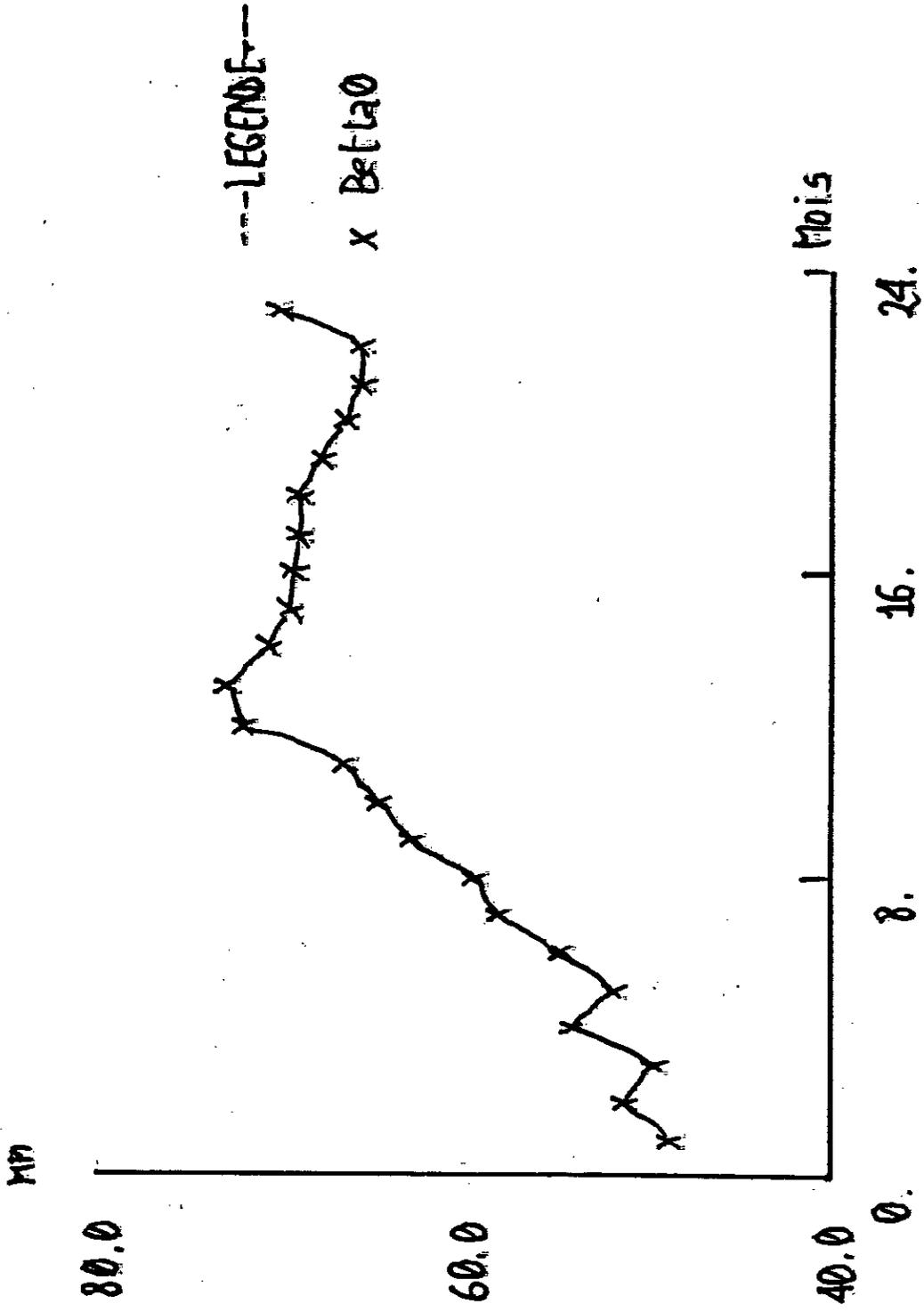
PAGE  
06  
02

PROJECTION SUR LE PLAN FORTIFIÉ (2 #3)

Quatre VII-1

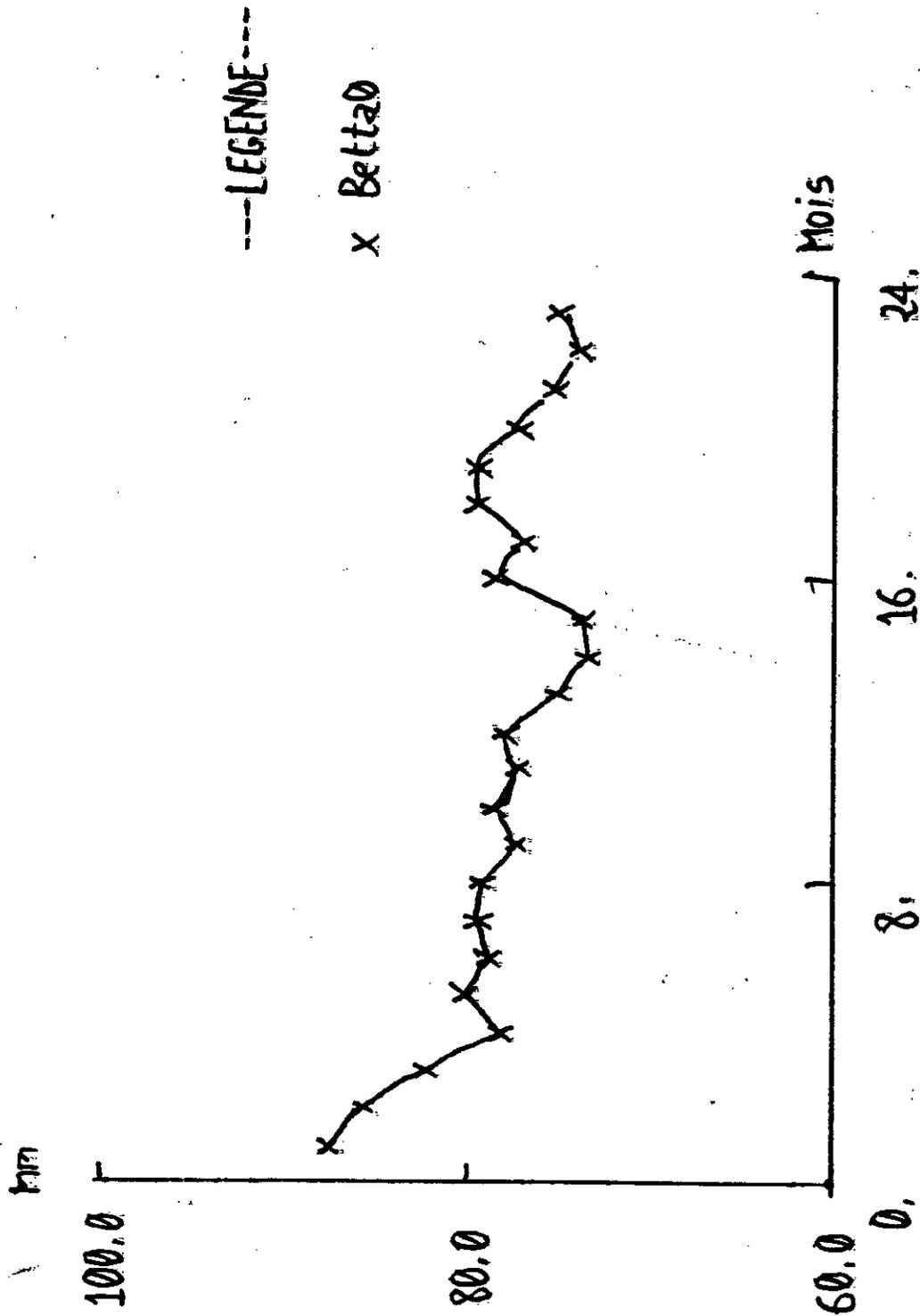


# PLUIES MARS



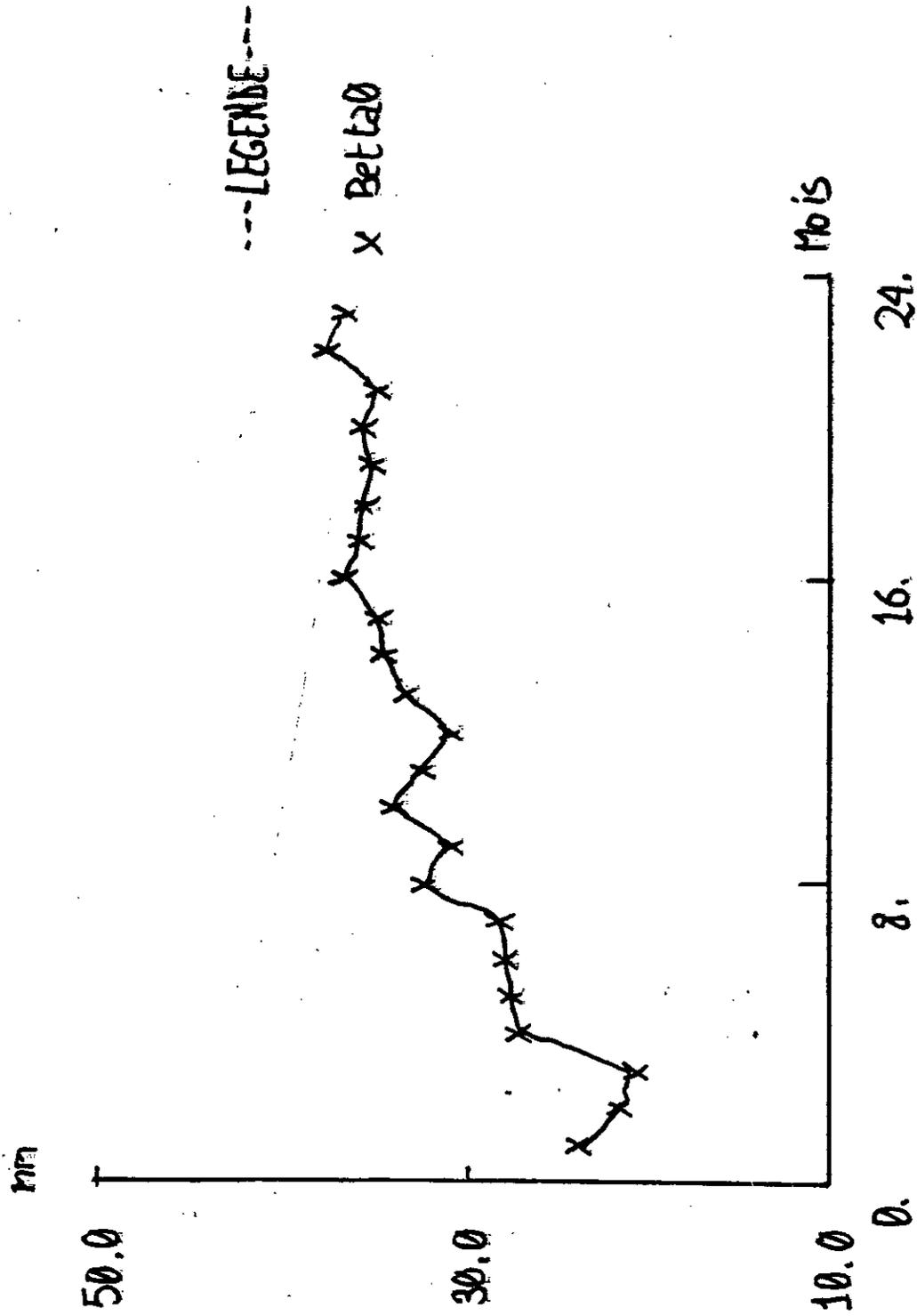
Classe VII - 2.

# PLUIES AVRIL

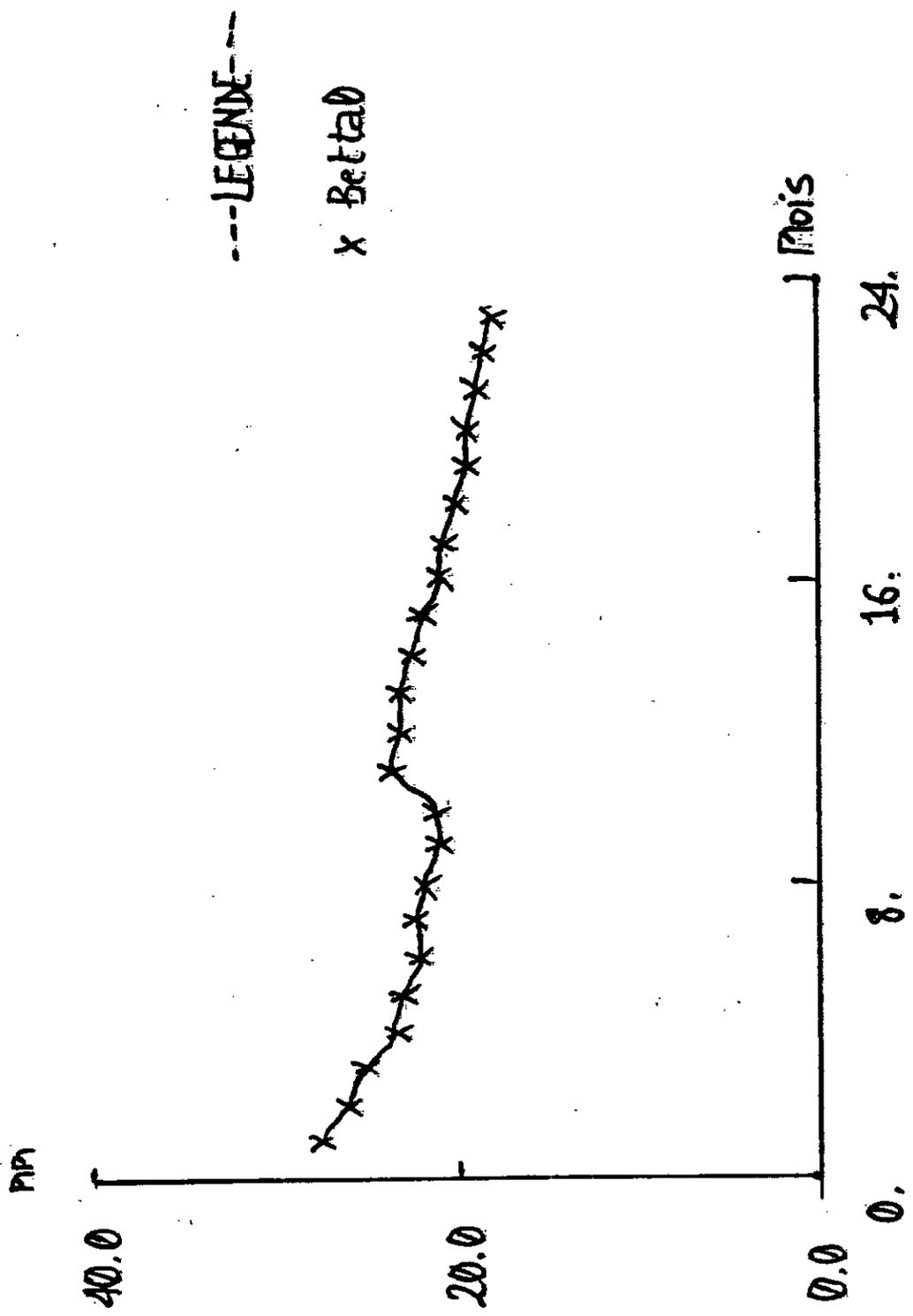


Annexe VII-2

# PLUIES MAL

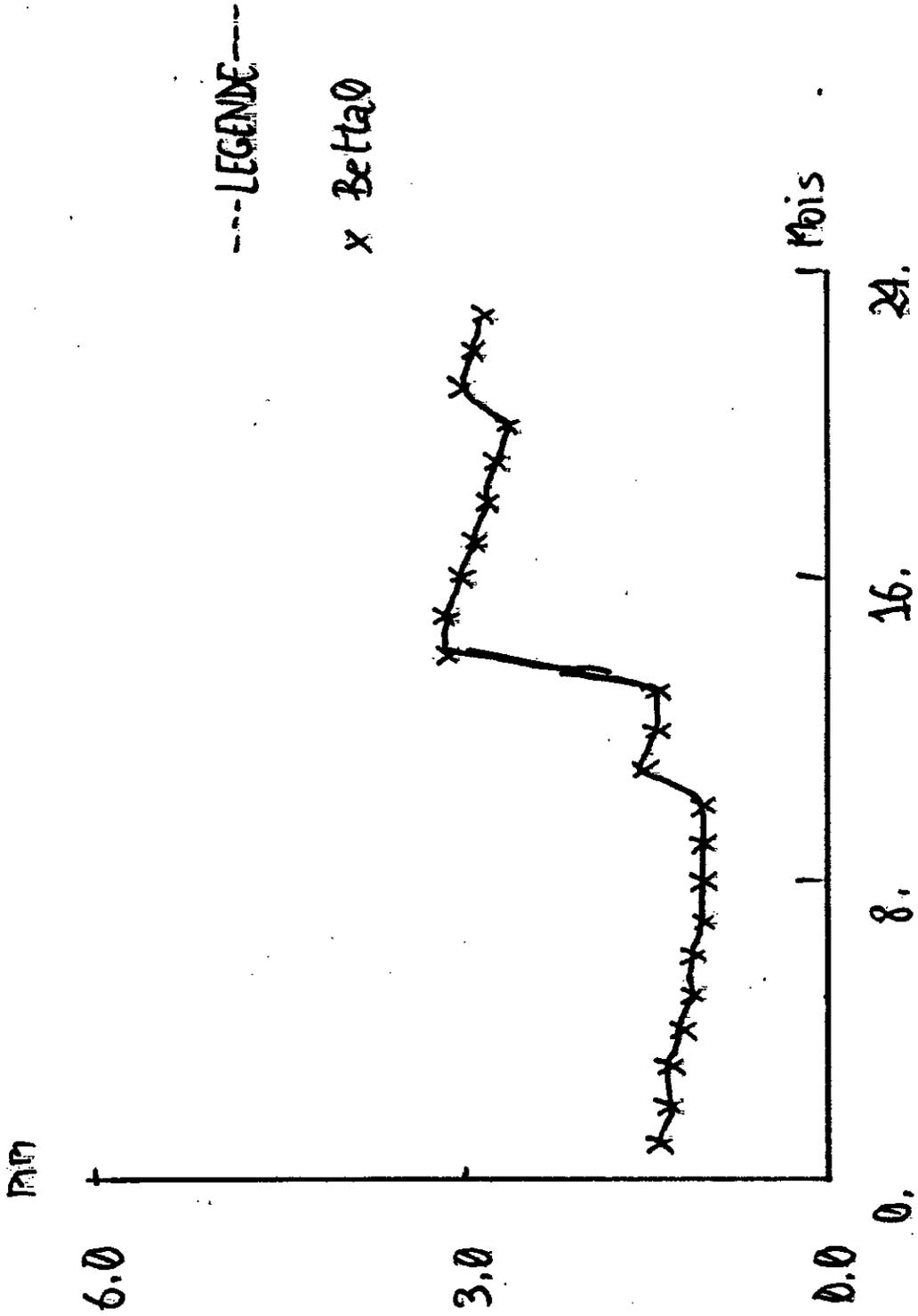


# PLUIES JOIN



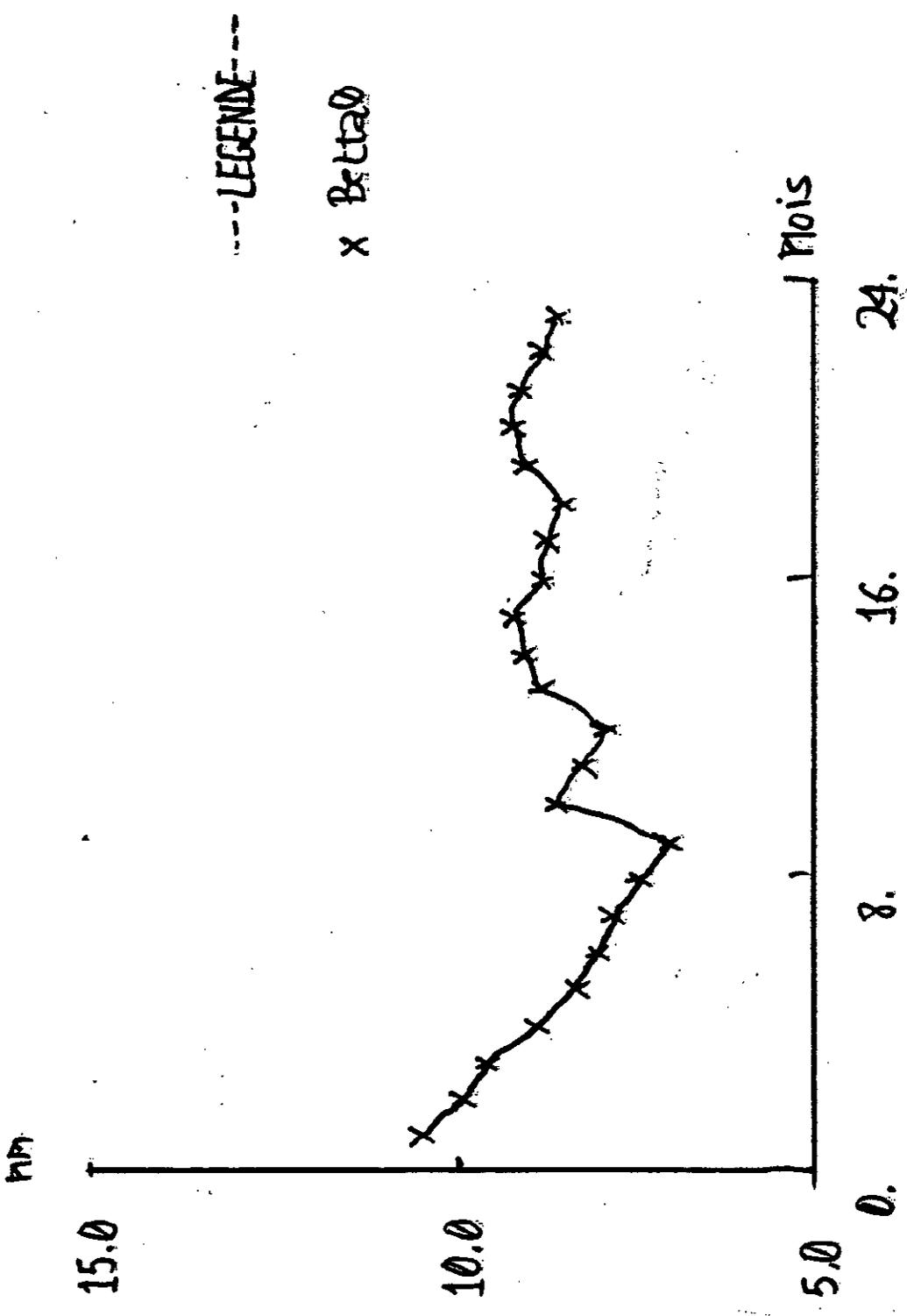
Guinée VII-2

# PLUVES JUILLET



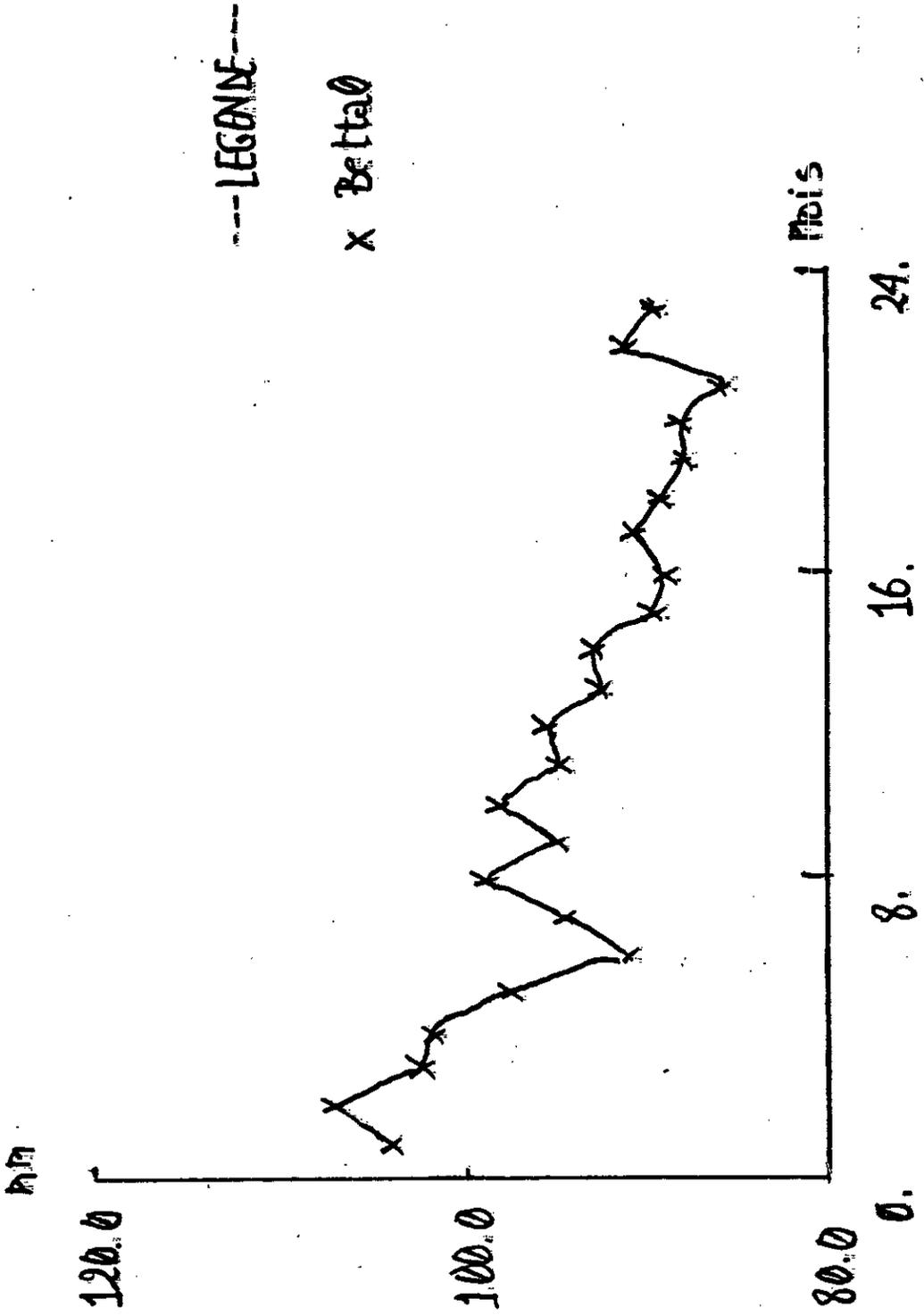
Annexe VII-2

# PLUIES ADST



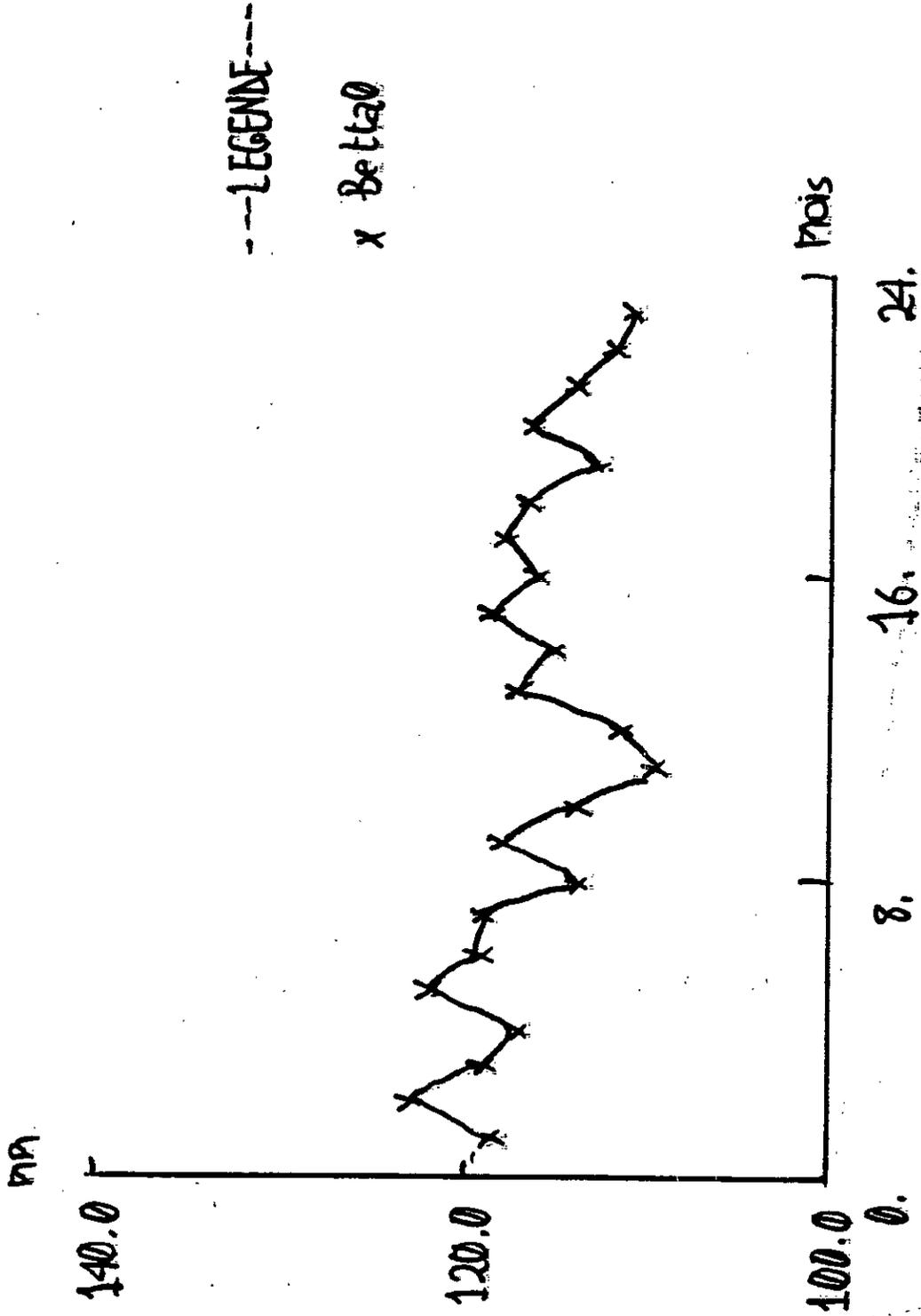
Annexe VII - 2

# PLUIES OCTOBRE



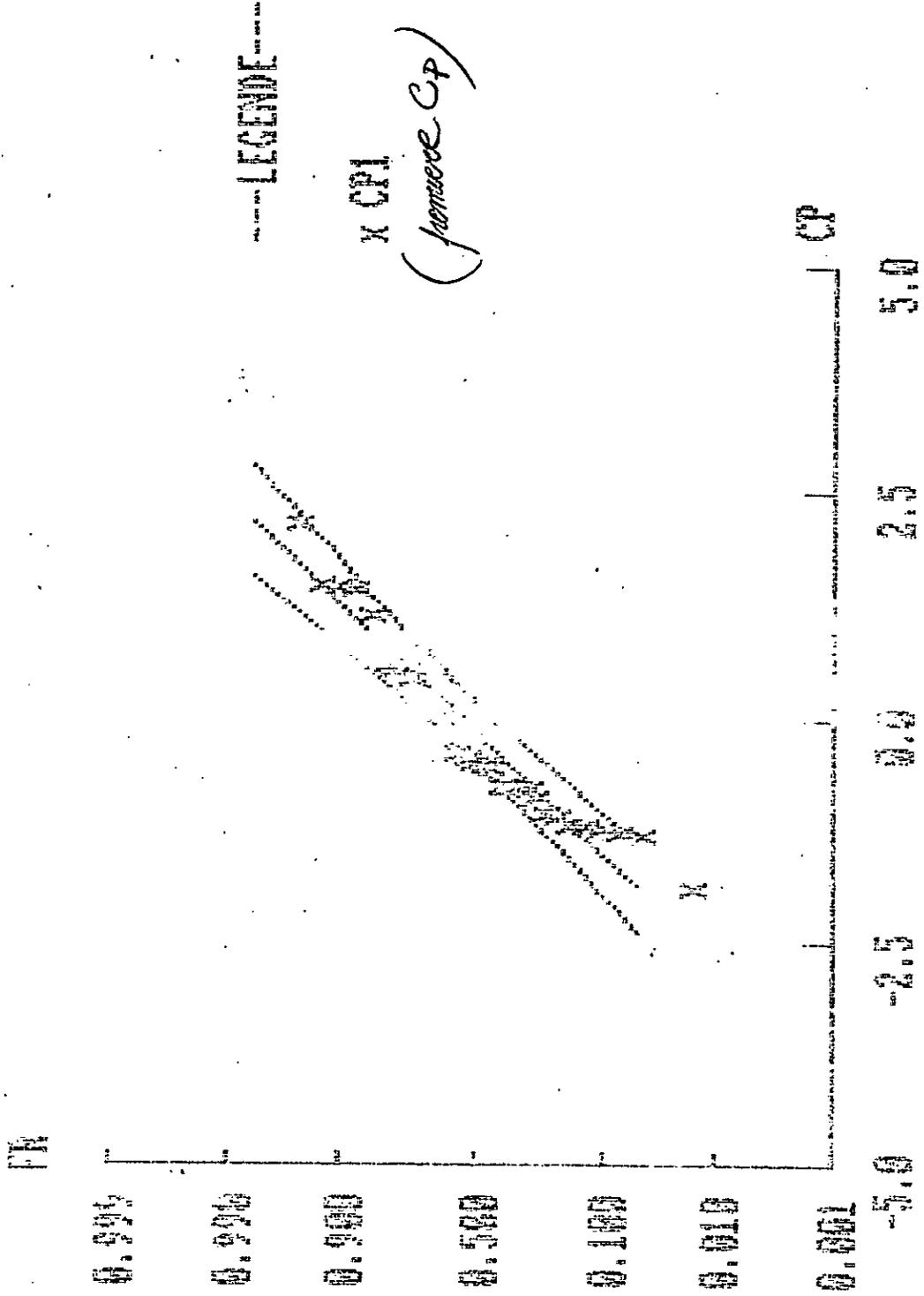
Runes VII-2

# PLOTES NOVEMBRE



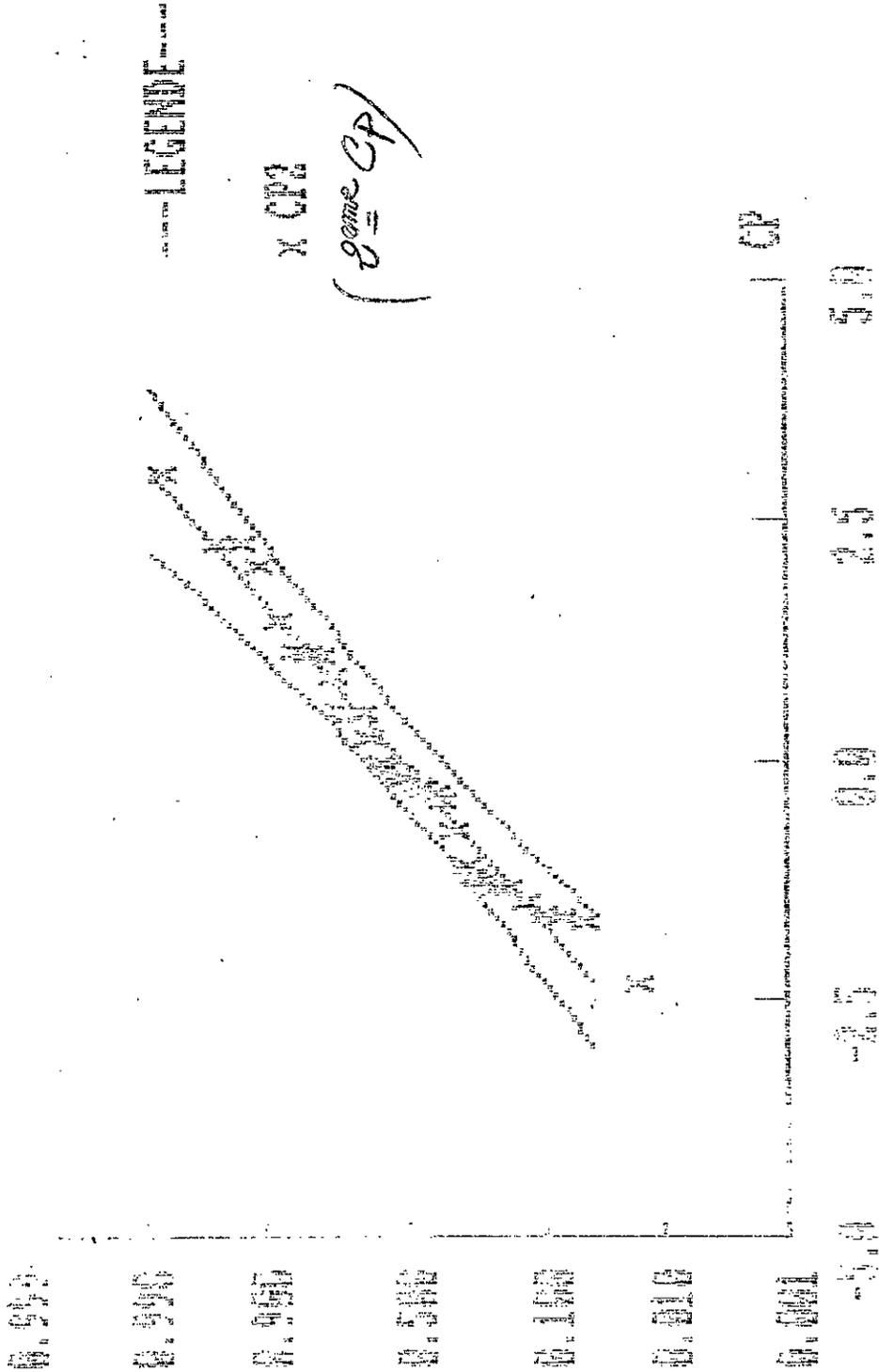
Quvex VI-4

TABLE



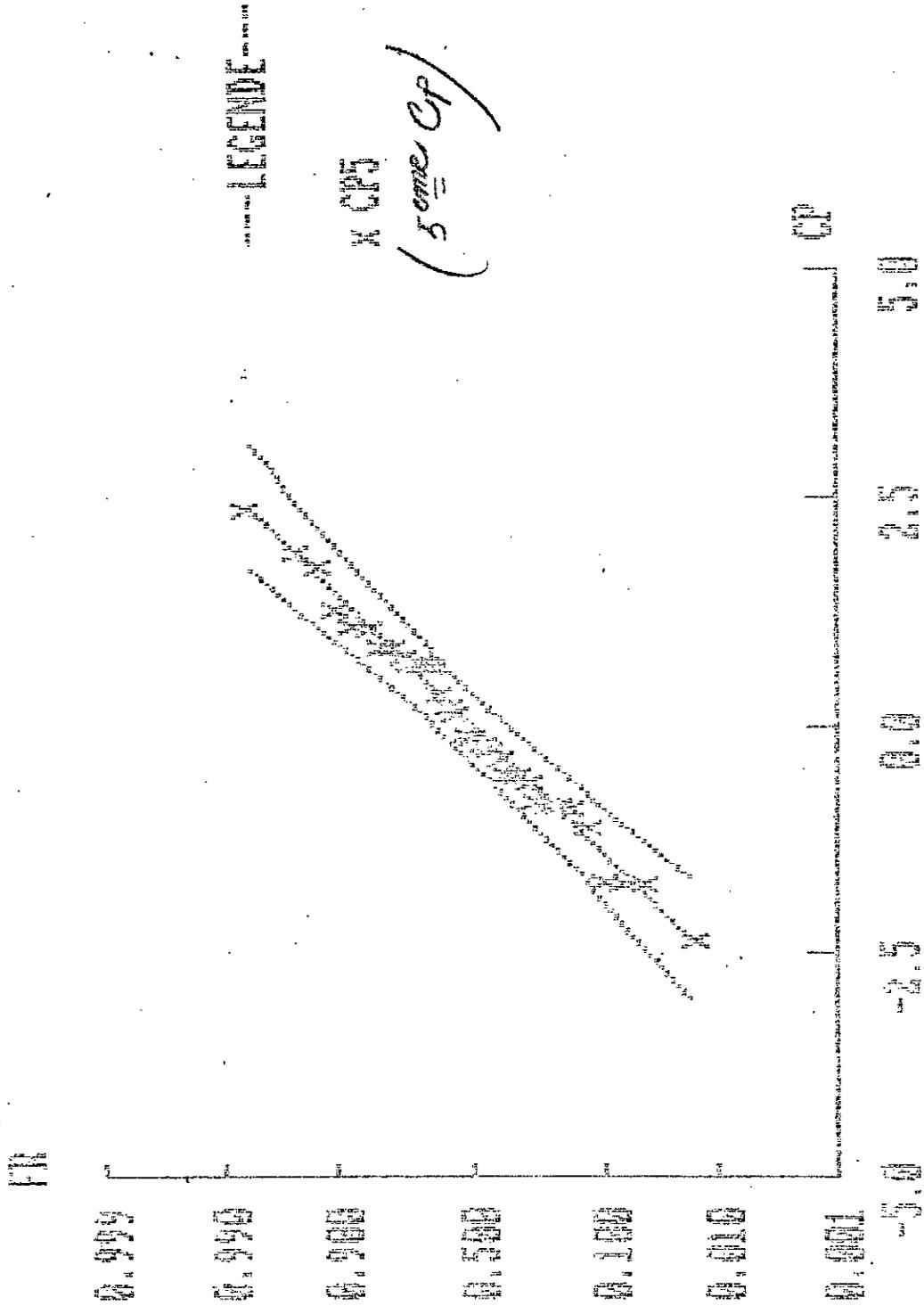
Quere VII-4

LOI GAUSSIE



Annexe VII-4

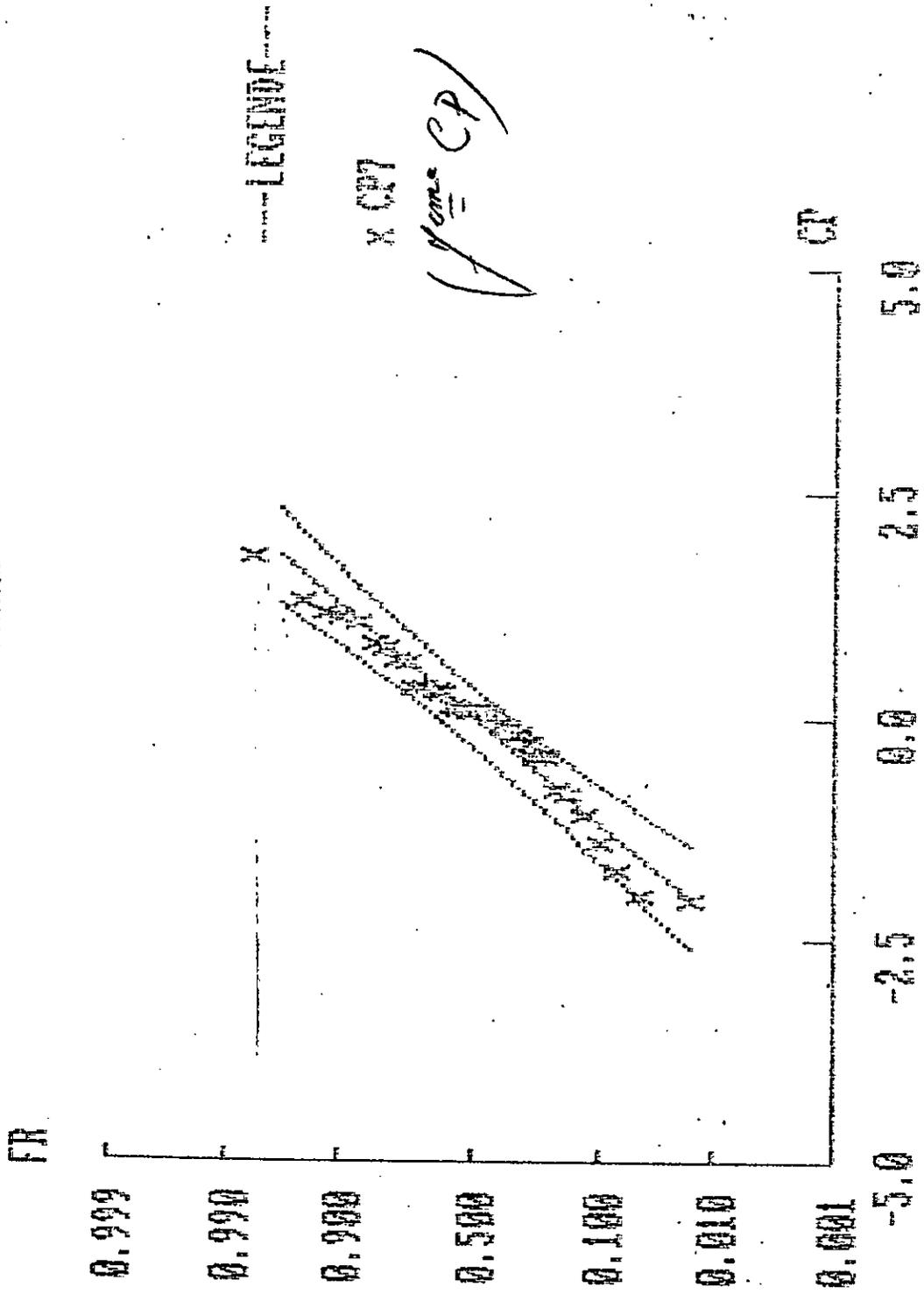
LOI ROMAINE



Produced under the authority of the International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, under the terms of the Agreement between the Agency and the Government of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, signed at London on 21 February 1958, and the Agreement between the Agency and the Government of the United States of America, signed at Washington on 10 October 1958.

Annexe VII-4

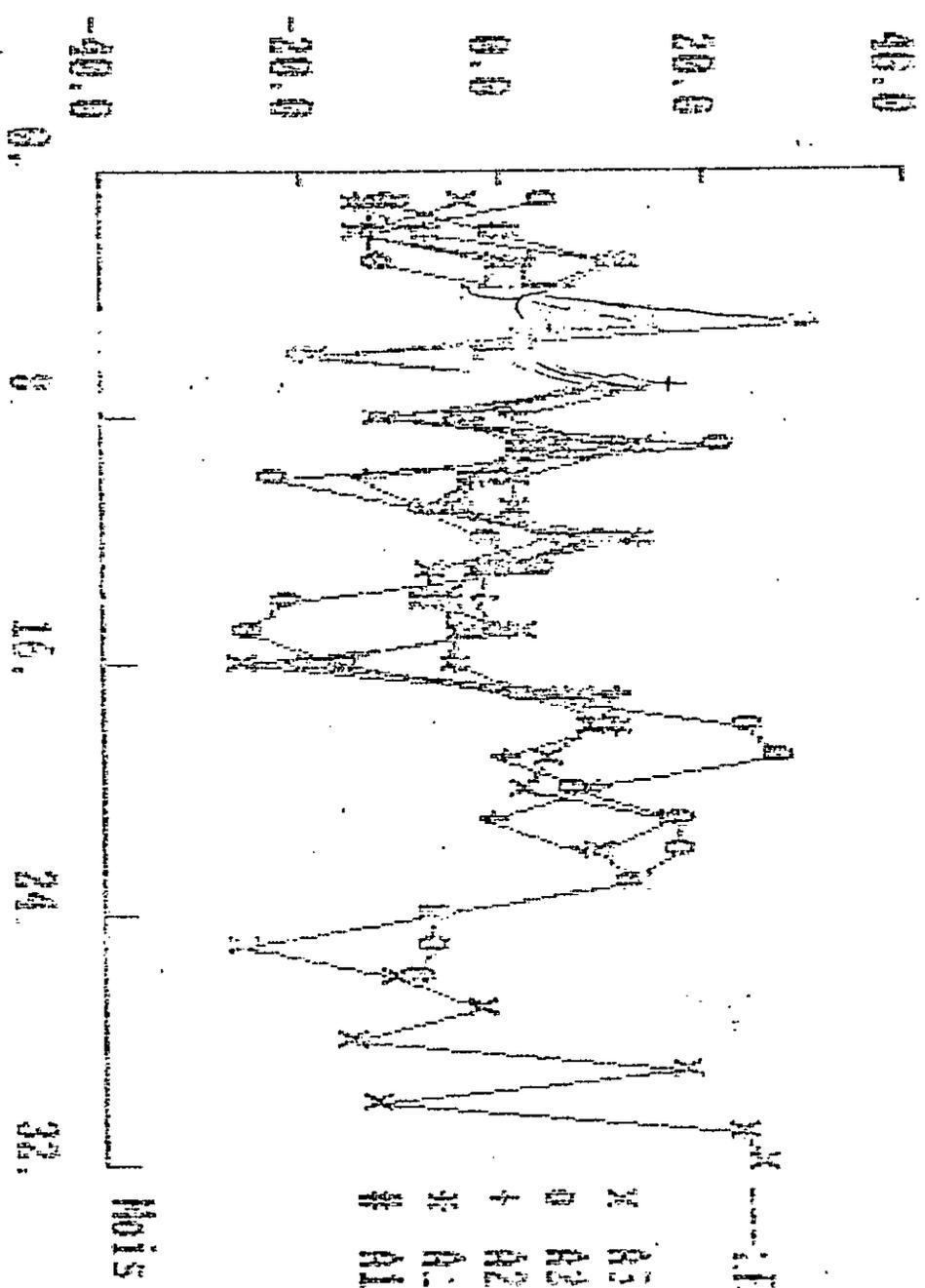
LOI NORMALE



Annexe VII - 6

ENFERS

E (mm)

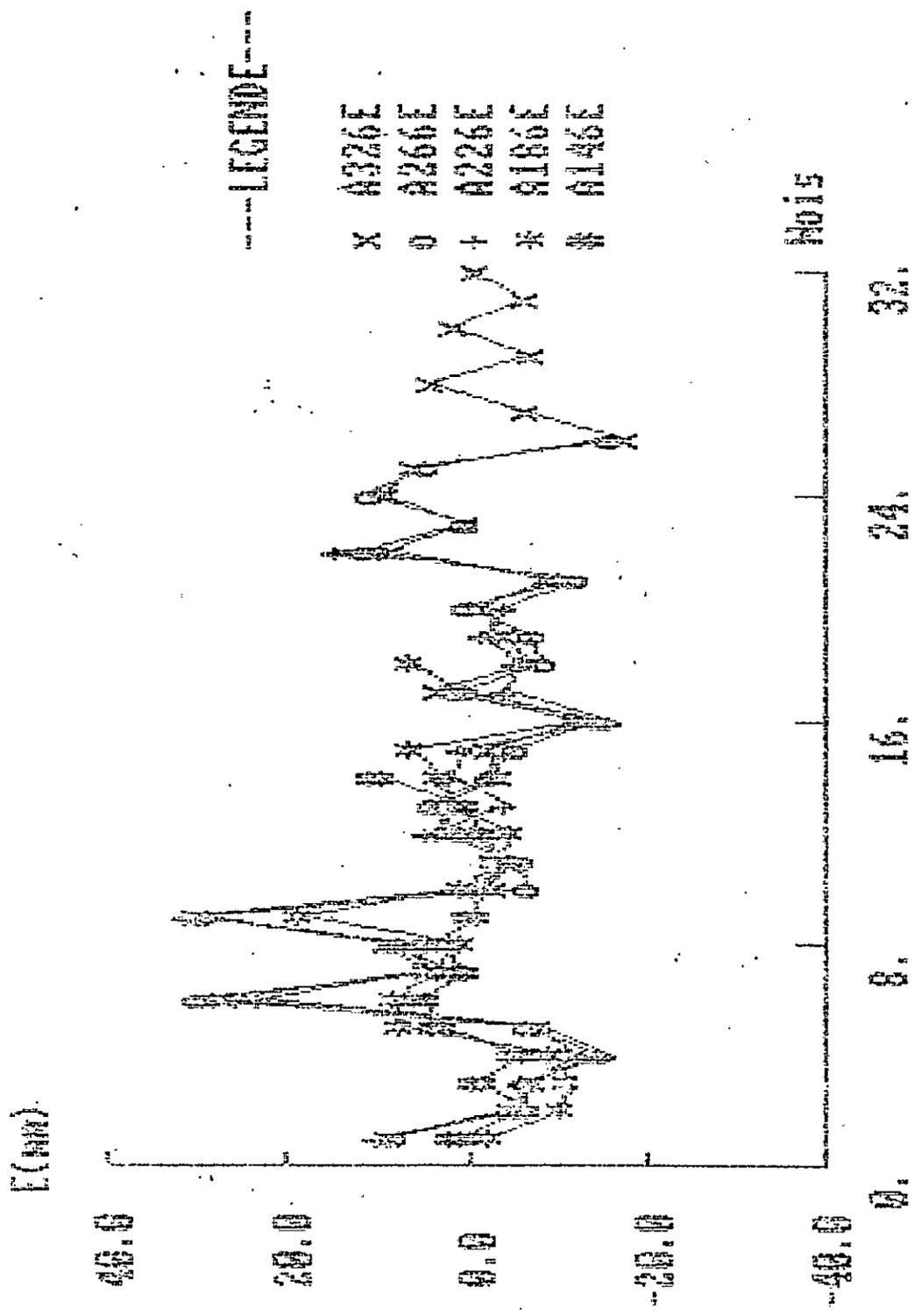


X BEZIE  
O BEZIE  
+ BEZIE  
\* BEZIE  
# BEZIE

---:IGMME---

Cluene VII-6

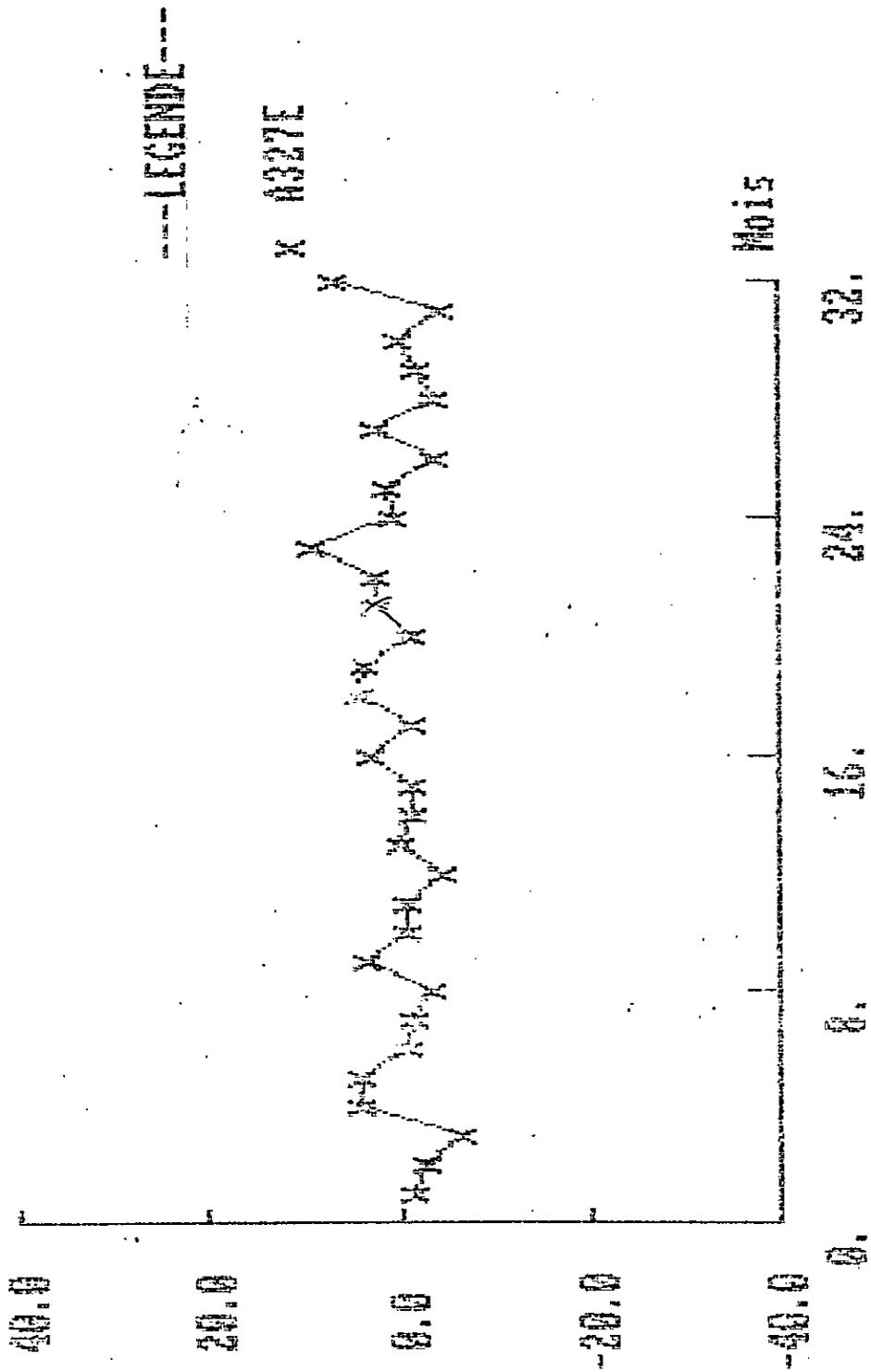
RESIDUS



Annexe VII-6

# RESIDUS

E (mm)



Mois

32.

24.

16.

8.

0.

-20.0

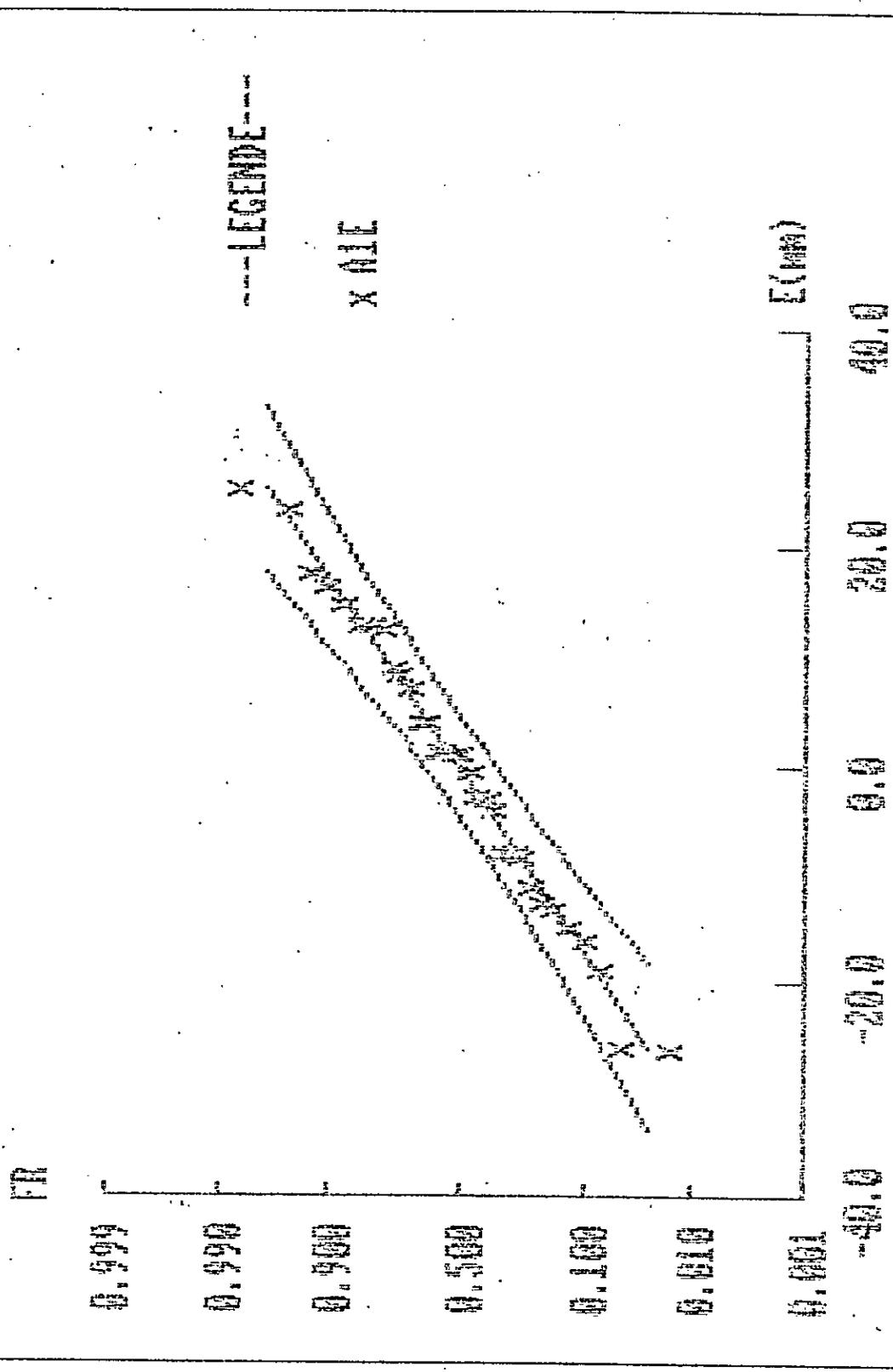
0.0

20.0

40.0

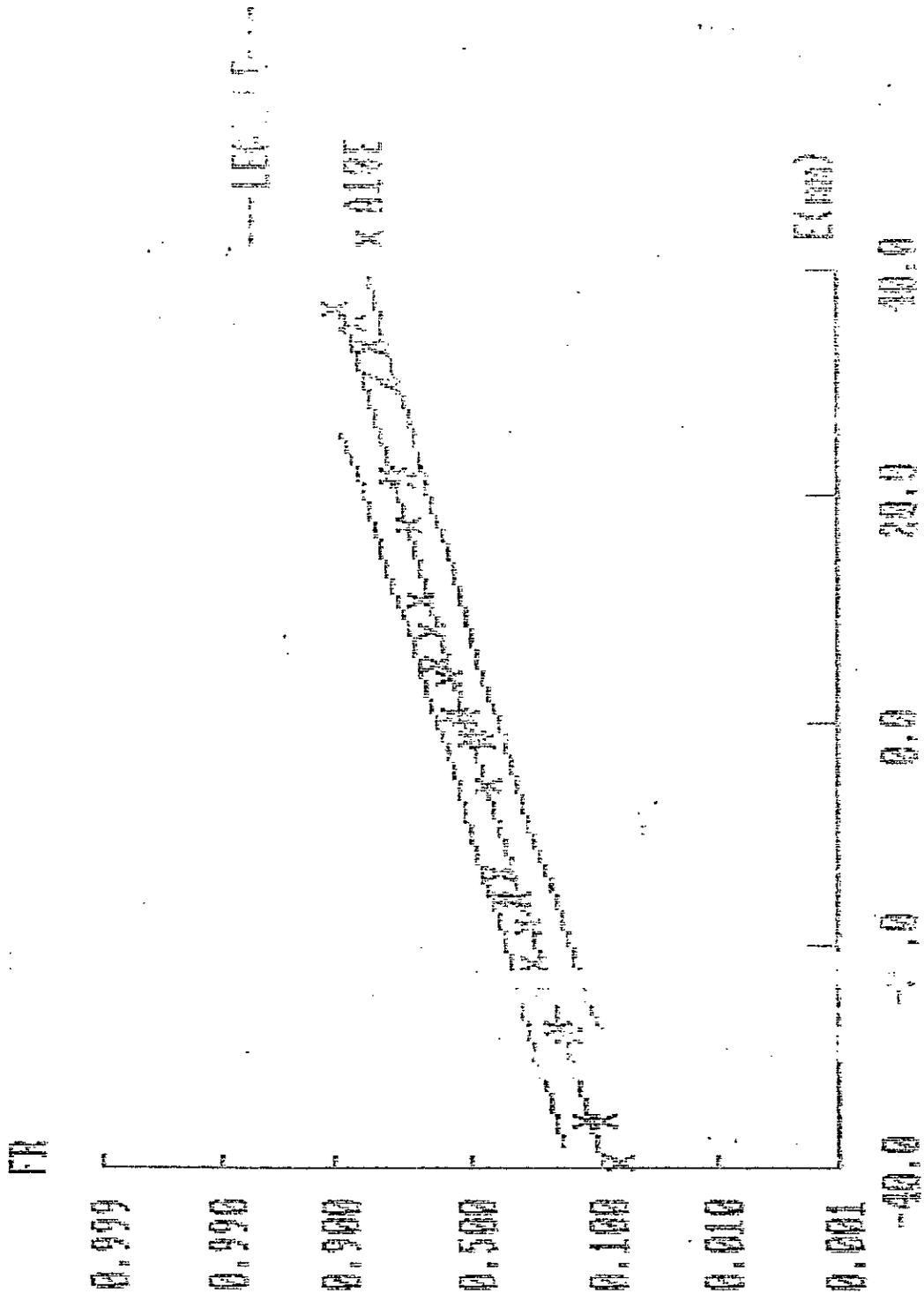
Annexe VII-8

# LOI NORMALE



Annexe VII-8

LOI NORMALE



Annexe VII-8

LOI NORMALE

FR

0.999

0.990

0.980

0.500

0.100

0.010

0.001

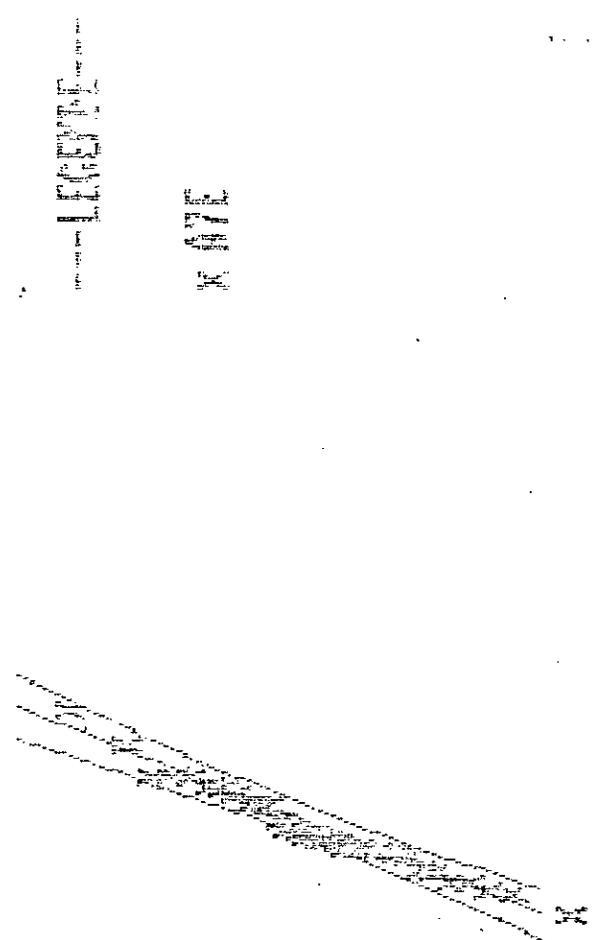
-40.0

-20.0

0.0

20.0

40.0

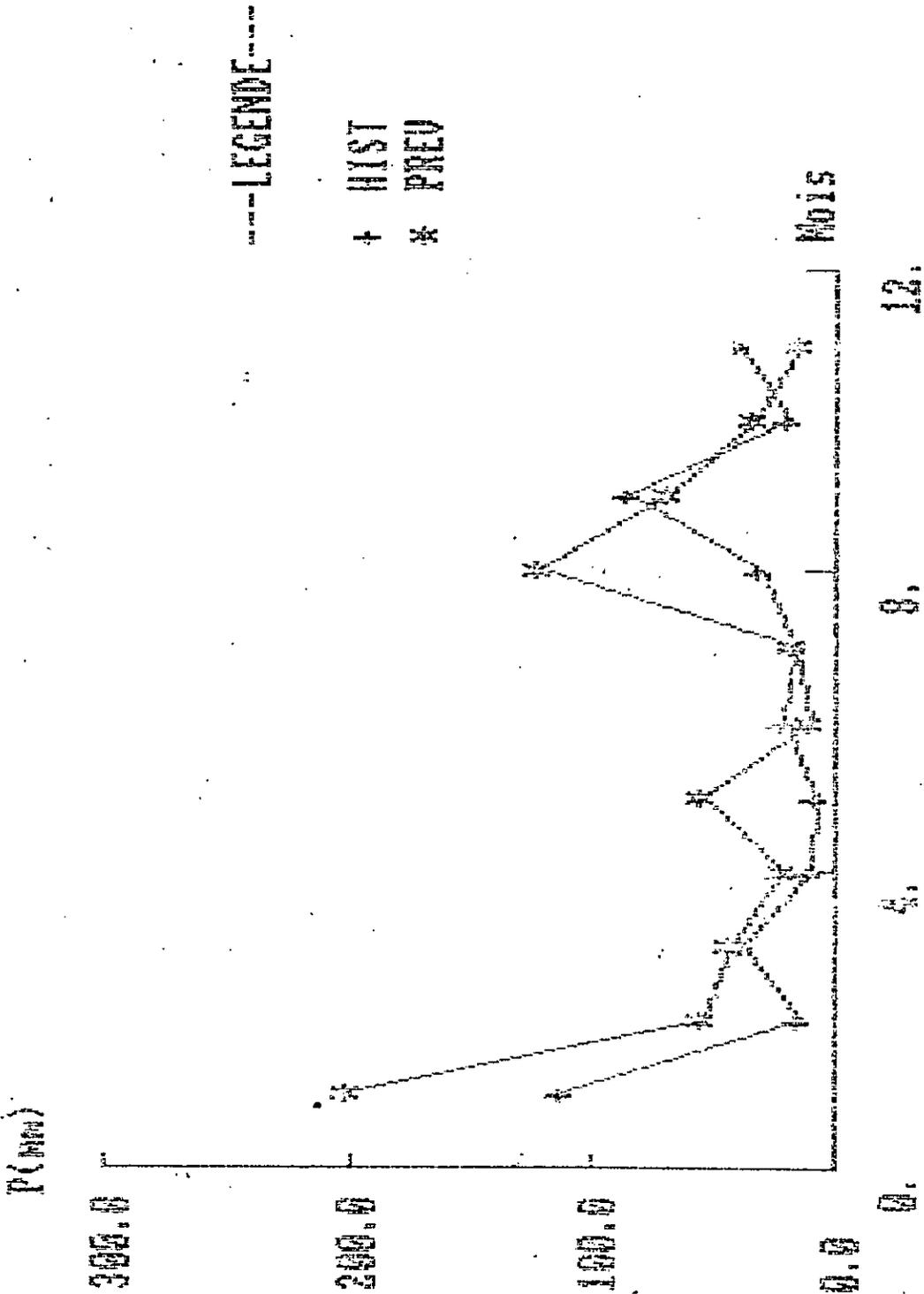


---LEVEE---

LEVEE

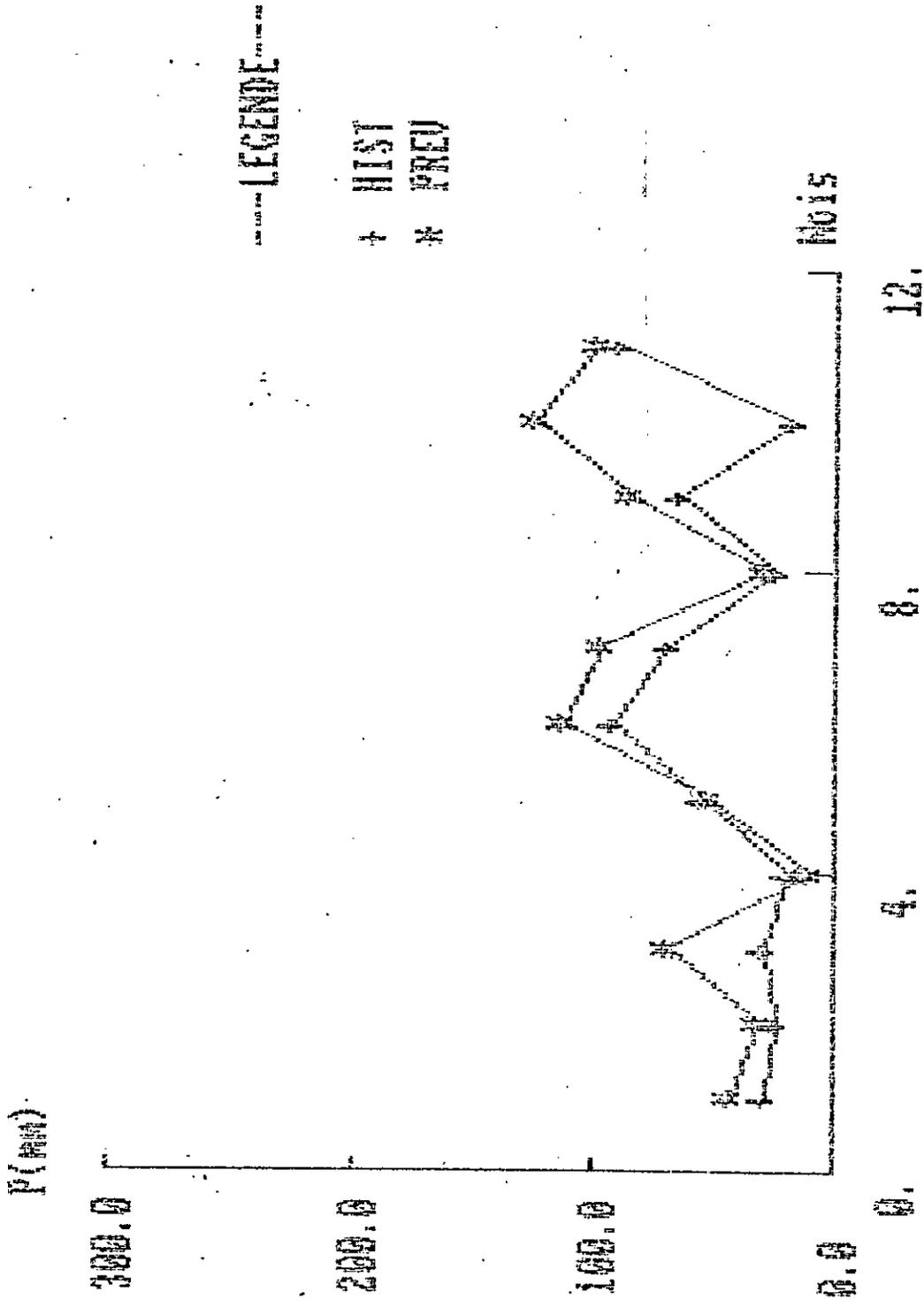
Quere VII-10

# PLUIES SEPTEMBRE



Annexe III-10

# PLUIES OCTOBRE



Annexe VII-10

# PLANS ANNEXE

1000

1000

1000

1000

1000

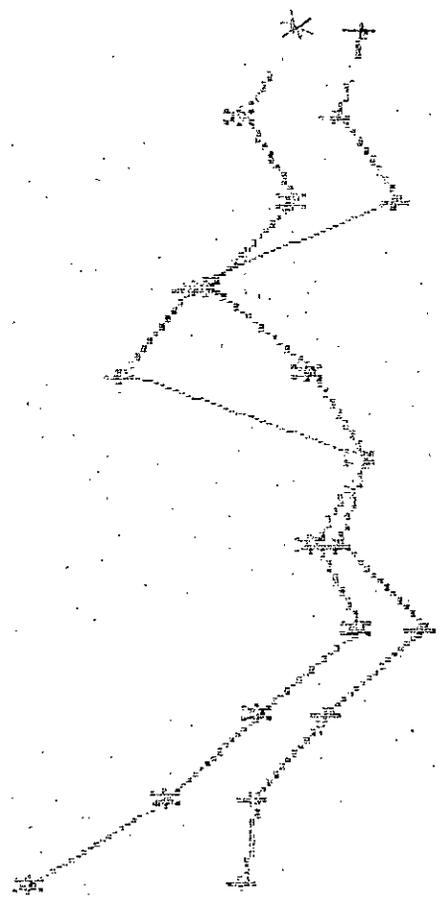
1000

1000

1000

1000

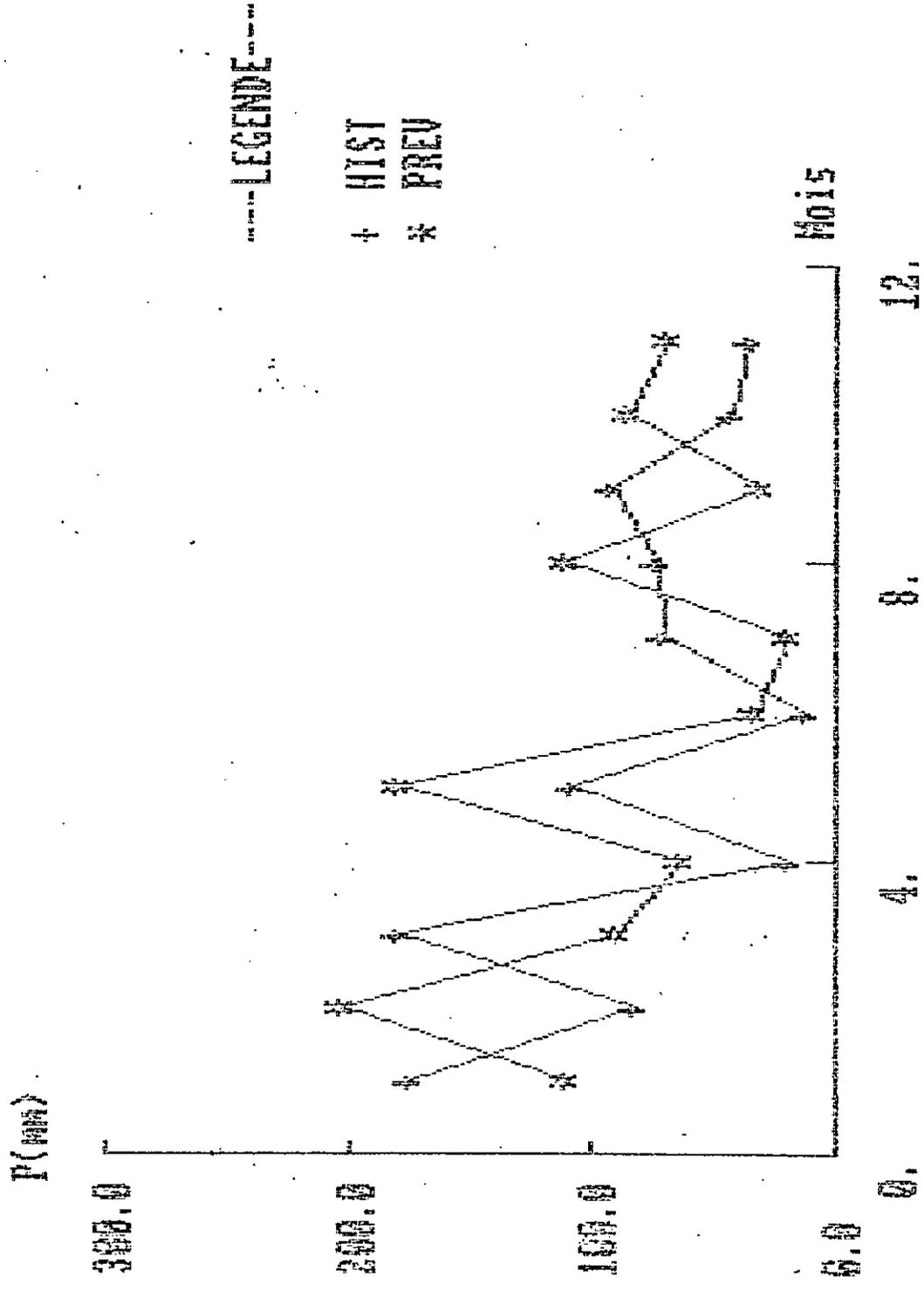
1000



Vertical text on the right edge of the page, possibly a page number or reference code.

Quene VII-10

# PLUIES DECEMBRE



Quexe VII-10

# PLUIES JANVIER

P (MM)

300.0

200.0

100.0

0.0

---LEGENDE---

+ HIST

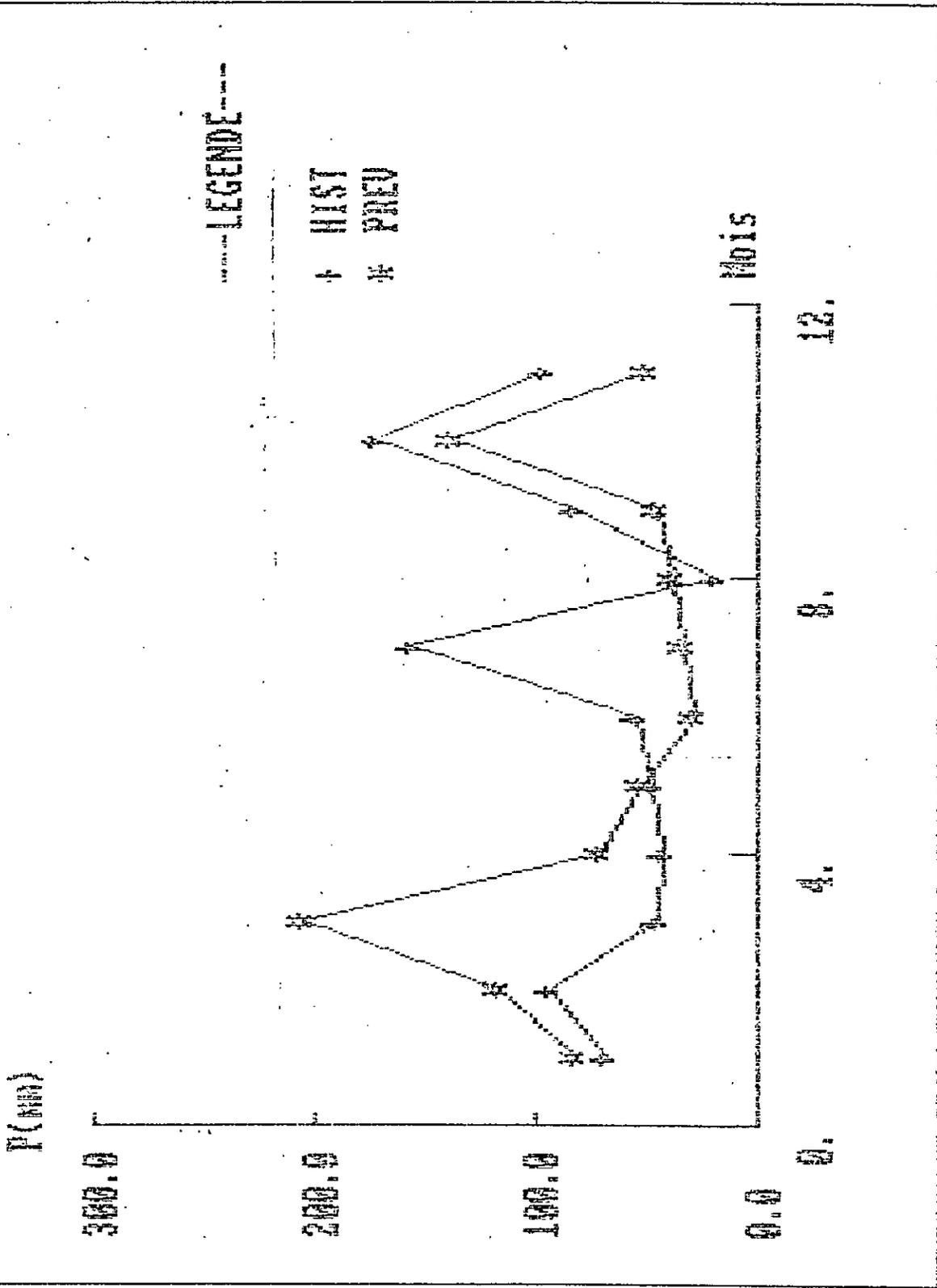
\* PREU

Mois

12.

8.

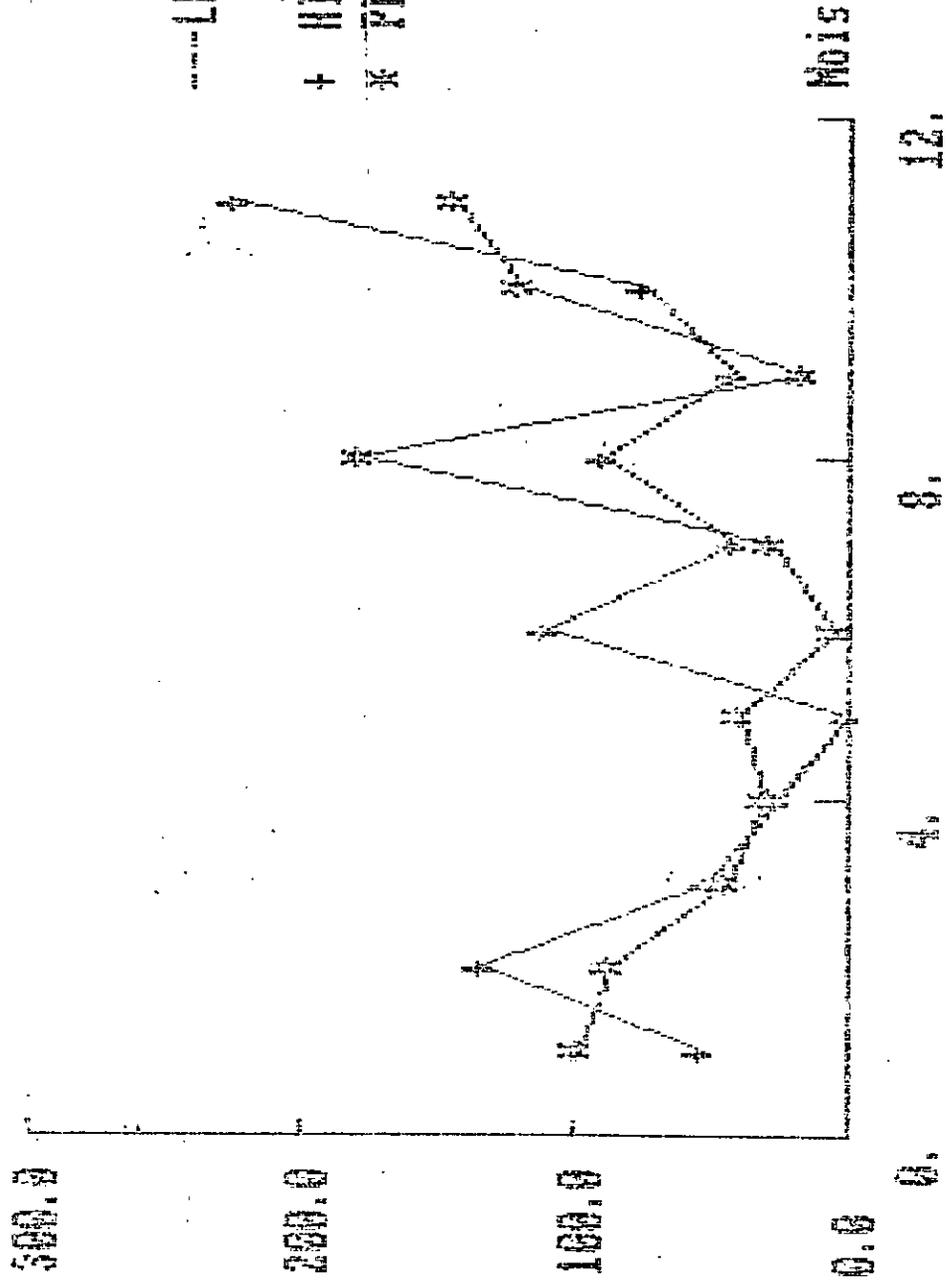
4.



Queneau VII-10

# PLUIES FEVRIER

(mm)



Annexe VI-10

# PLUIES MARS

P (MM)

300.0

200.0

100.0

0.0

--- LEGENDE ---

+ HIST

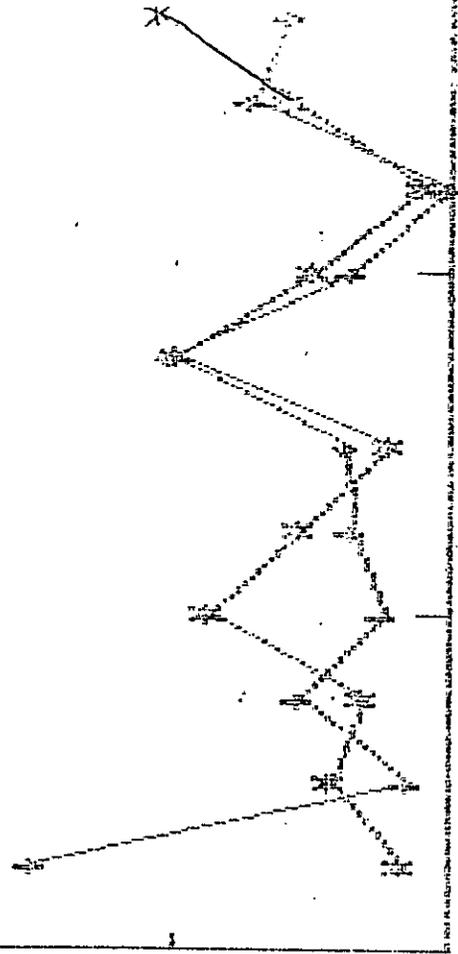
\* PREC

Mois

12.

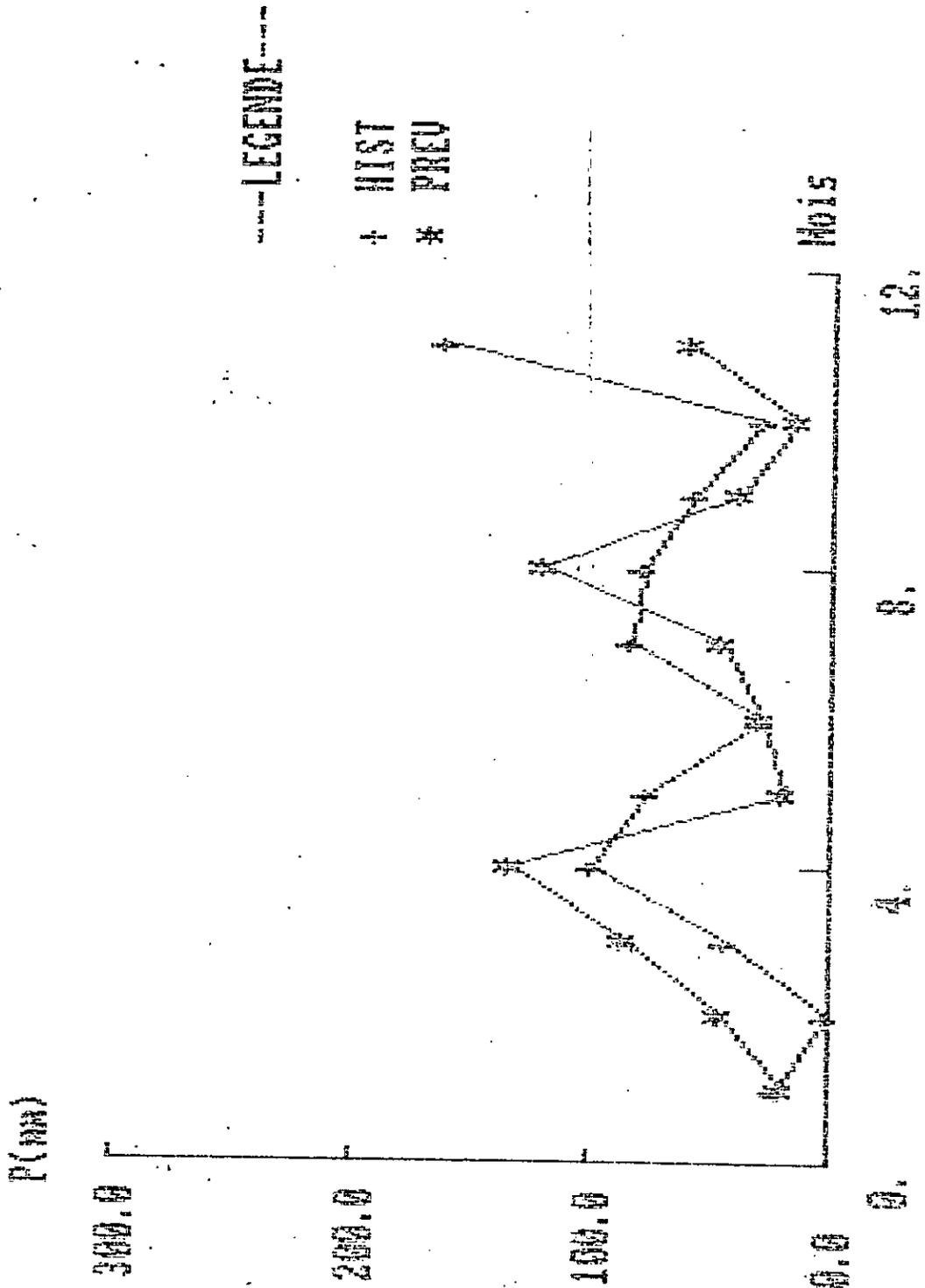
8.

4.



Querc VII-10

# PLUIES AVRIL



Quercus VII-20

### PLUIES MNI

P(MM)

300.0

200.0

100.0

0.0

---LEGENDE---

+ HIST

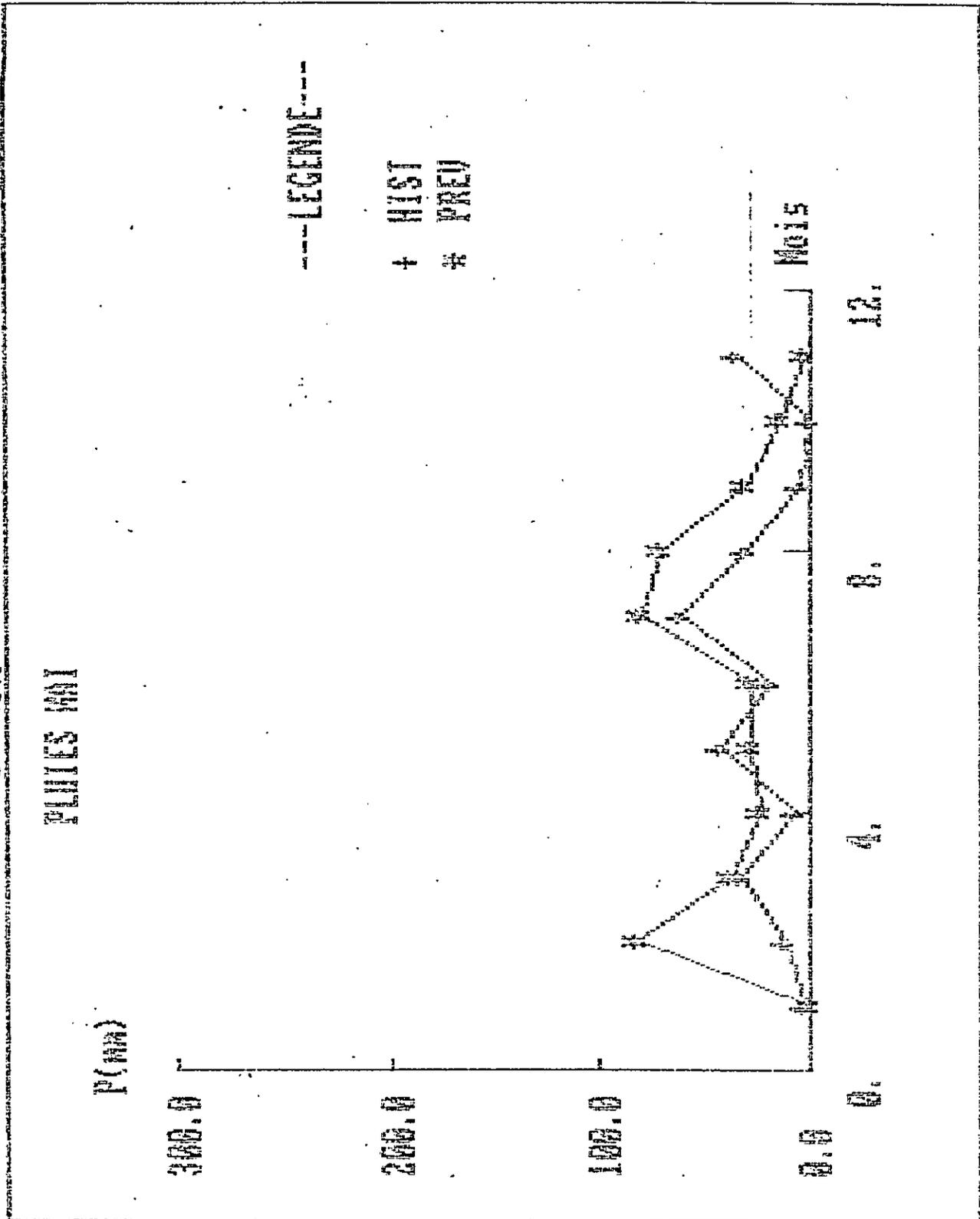
# PRED

Mois

12.

0.

4.



Annexe VII - 10

### PLUIES JUIN

P (mm)

300.0

200.0

100.0

0.0

---LEGENDE---

+ HIST

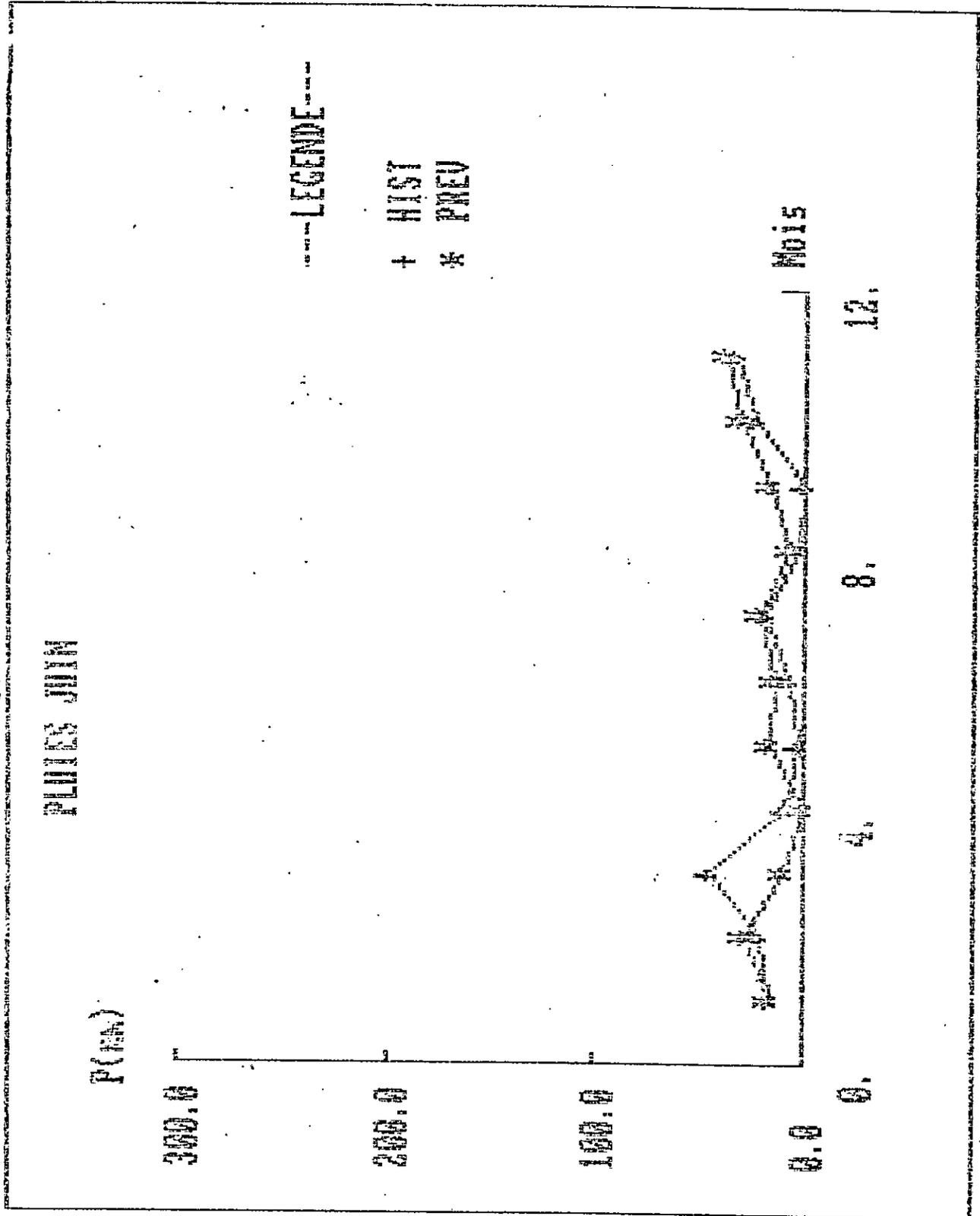
\* PNEU

Mois

12.

8.

4.



Querc VII-10

# PLUIES MILLET

P (mm)

300.0

20.0

10.0

0

---LEGENDE---

+ HIST

\* PREU

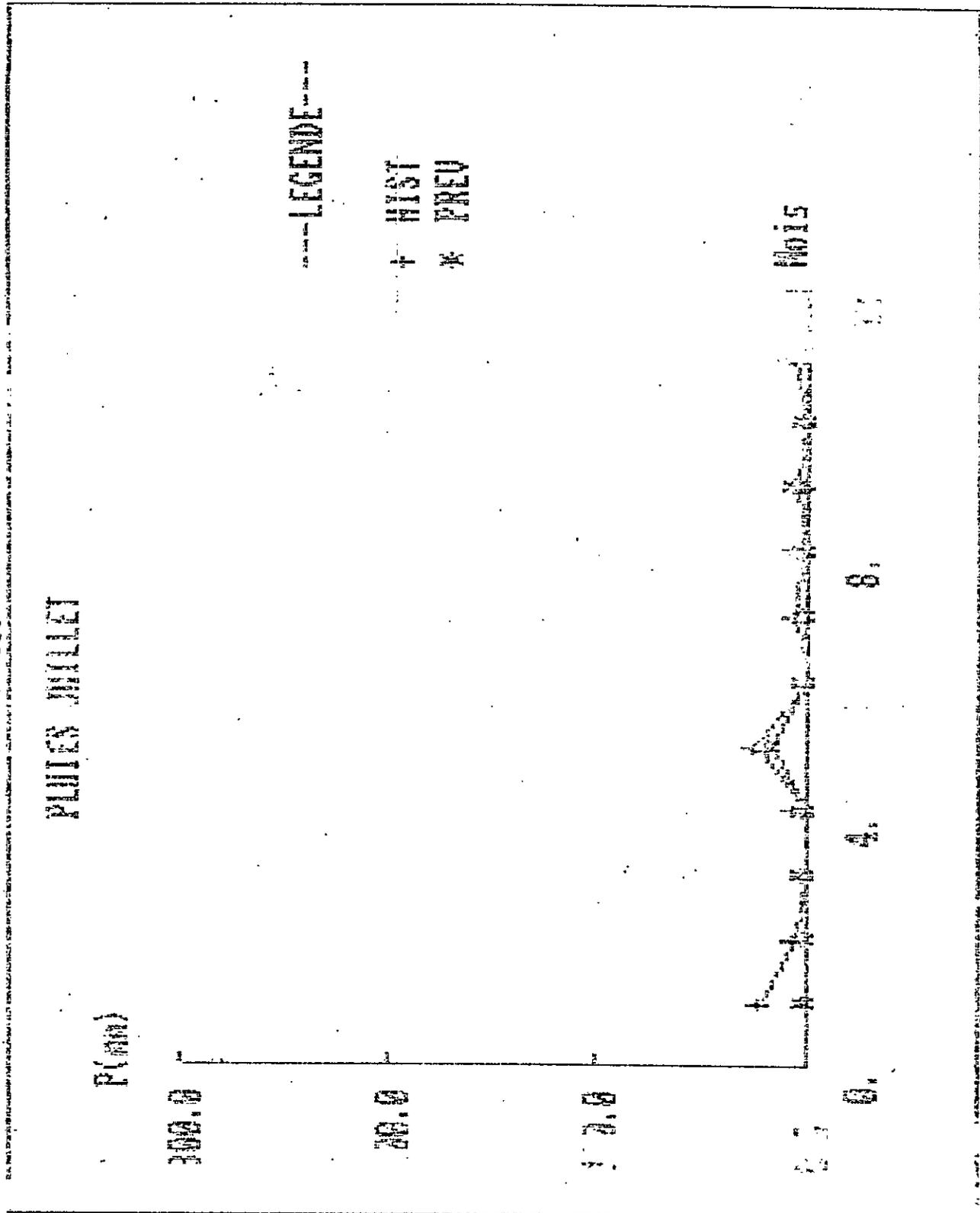
Mois

11

8,

4,

11



Annexe VII-10

### PLUIES MOIS

P (mm)

300.0

200.0

100.0

0.0

LEGENDE--

+ HIST

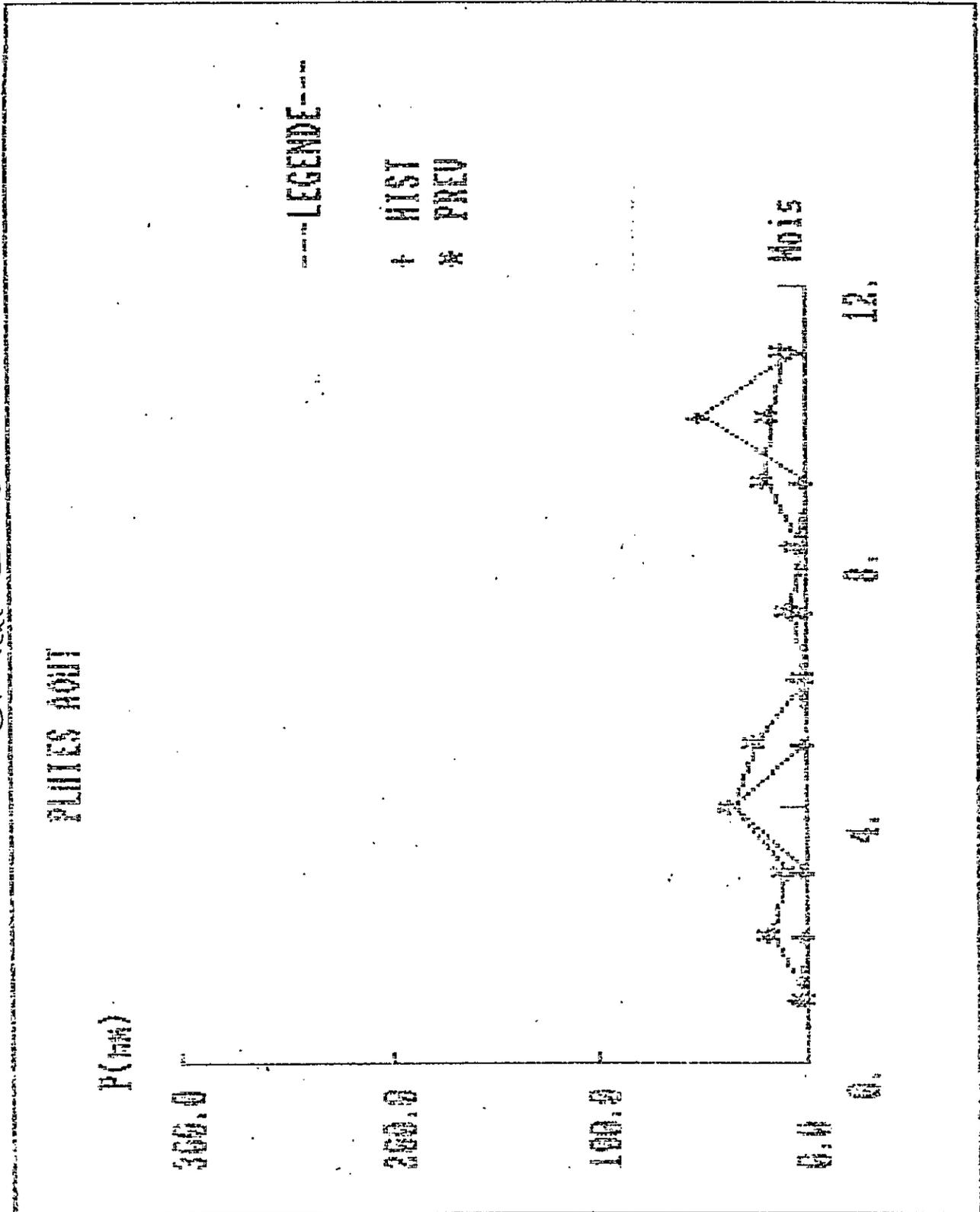
\* PREU

Mois

12.

0.

4.



## ERRATUM

CHAPITRE III : Critique des données :

4 - Résultats des textes :

4 - 2 Teste d'indépendance :

Le teste d'indépendance applique aux deux échantillons a été accepte pour toutes stations du premier échantillon et du deuxième échantillon , les résultats du première échantillon sont présentés dans le tableau III - 3

Station	Ghazaouet	Oran	Alger	Skikda	Annaba	El kala
U	$-3,936 \times 10^{-1}$	- 1,12330	$-2,364 \times 10^{-1}$	$-7,373 \times 10^{-1}$	- 1,23990	$-6,248 \times 10^{-1}$

Résultats du teste d'indépendance sur les valeur annuelles .

U : statistique du teste d'indépendance de wold et wolfow ] TZ

si  $|U| \leq 1,96$  le teste est accepté à 5%

3 Teste d'homogénéité

Teste de Mann - WITENEY (1979)

Chapitre IV : Etude statistique des données

CROMBEL <sup>correction</sup> → Gumbel

Bibliographie :

[E] M . CORAZZA (1975) : Techniques mathématiques de la fiabilité prévisionnelle , les éditions cepadues Toulouse pp 159 - 195

[12] J : LEFEBVRE (1983) Introduction des analyses statistique multidimensionnelles Bassou . Paris pp 137 - 151

[15] P.A. ROCHE (1987) : Guides des prévision des coues . Publié sous la direction de P.A.ROCHE - PARIS TOME I pp 2 - 53 .

## المخلص

يدخل هذا العمل في صدد دراسة سلسلة طويلة و المتضمنة لعدة مراكز ساحلية جزائرية أين نقوم على إثرها بالإهتمام خصيصا بسلاسل ماركوف و إستعمال التحليل بالمركبات الأساسية و ذلك من أجل محاولة إيجاد سبب الاختلافات في كمية الأمطار الموجودة بين الغرب و الشرق الجزائري.

أما النتائج المحصل عليها ستسمح لنا بمعرفة كمية الأمطار بفارق زمني شهري و الذي ستكون له أهمية كبرى لمسيري الموارد المائية.

## RESUME

L'objectif de ce travail a pour but l'étude basée sur des séries chronologiques assez longues de plusieurs stations du littoral algérien de la pluviométrie, on s'intéressera plus particulièrement aux chaînes de MARKOV et l'analyse en composantes principales pour essayer de trouver le pourquoi des différences existantes entre l'Ouest et l'Est algérien.

Ces résultats intermédiaires vont nous servir pour la prévision de la pluviométrie au pas de temps mensuel qui sera d'une très grande utilité pour les gestionnaires de la ressource en eau.

## ABSTRACT

Our project have for work the study based on chronological series enough long of a several pluviometrics stations on the North coast of Algeria, namely MARKOV's chains and main components analysis (PCA), in order to find the pluviometric difference between the West and the East Algerians.

The out comes obtained will be serve to the pluviometric's anticipation with a monthly step times for water resource management.