

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Hydraulique



***Etude et Prévision du Régime
Pluviométrique sur le Littoral
Algérien***

Proposé et dirigé par :

M^r A. BERMAD
M^r N. DECHEMI

Etudié par :

M^r K. BELGAID
M^r N. TEBBAL

Promotion : juin 2000

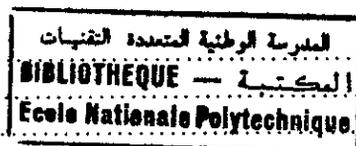
E.N.P 10, Avenue Hassen-Badi, B.P.182 EL HARRACH, ALGER

Sommaire



- Introduction.....	1
- Chapitre I Recherche bibliographique.....	3
- Chapitre II Collecte et critique des données.....	5
II.1 Introduction.....	5
II.2 Inventaire des données disponibles.....	5
II.3 Critique des données.....	6
II.3.1 Introduction.....	6
II.3.2 Méthodes de comblement des lacunes.....	7
II.3.2.1 Calcul de la moyenne mensuelle interannuelle.....	7
II.3.2.2 Méthode de régression linéaire simple.....	8
II.3.2.3 Simulation à partir de la fonction de répartition.....	9
II.3.3 Comblement de lacune.....	9
II.3.3.1 Comblement par la moyenne.....	9
II.3.3.2 Comblement par régression linéaire.....	10
II.3.3.2.a Analyse des corrélations avant et après comblement.....	11
II.3.3.3 Comblement par simulation.....	11
II.3.3.4 Comparaison des méthodes.....	13
II.3.4 Détection des valeurs singulières.....	13
II.3.4.a Présentation du test de GRUBBS BAK.....	14
II.3.4.b Analyse des résultats.....	14
II.4 Traitement statistique des données.....	14
II.4.1 Test d'indépendance.....	14
II.4.1.a Test de WALD WOLFOWITZ.....	15
II.4.1.b Analyse des résultats.....	15
II.4.2 Test d'homogénéité des fichiers.....	15
II.4.2.a Test de WILCOXEN-MANN-WHITNEY.....	16
II.4.2.b Analyse et résultats.....	17
Conclusion.....	18
- Chapitre III Etude du régime pluviométrique par les paramètres statistiques.....	19
III.1 Introduction.....	19
III.2 Evaluation de la pluviométrie en fonction du temps.....	19
III.3 Etude de la variabilité des précipitations.....	19
III.3.a Pas de temps annuel.....	19
III.3.b Pas de temps mensuel.....	23
1 Région Ouest.....	26
2 Région Centre.....	26
3 Région Est.....	26
III.4 Période de référence.....	26
III.5 Etude comparative entre les deux périodes.....	32
III.5.1 Comparaison entre les deux périodes d'études.....	32
III.5.2 Comparaison entre la période de référence et les trois décennies.....	32
III.6 Détermination des années caractéristiques.....	33
III.7 Analyse des résultats.....	34
III.8 Calcul des fréquences des années de sécheresse.....	38
- Conclusion.....	42

- Chapitre IV Etude du régime pluviométrique par l'analyse en composantes principales	44
IV.1 Introduction	44
IV.2 Principe de la méthode	44
IV.3 Qualité des résultats d'une ACP	46
IV.4 Représentation graphique	46
IV.5 Etude des précipitations par l'analyse en composantes principales.....	47
IV.5.1 Résultats de l'ACP sur les totaux annuels pluviométriques.....	47
IV.5.1.a La période totale.....	47
IV.5.1.b Les trois décennies	50
IV.5.1.c Résultats de l'ACP sur les totaux annuels de la période de référence	56
IV.5.2 Résultats de l'ACP sur les données mensuelles.....	57
IV.5.2.a De la période totale.....	57
IV.5.2.b Analyse des résultats des trois décennies.....	58
Conclusion	58
- Chapitre V Prévision des pluies mensuelles par le modèle ARMA	59
V.1 Introduction.....	59
V.2 Description des modèles ARMA.....	59
V.3 Formulation mathématique des modèles ARMA.....	60
V.4 Différentes phases de la modélisation	61
V.5 Application.....	62
V.6 Analyse des résultats.....	65
- Conclusion.....	65
- Conclusion générale	66
- Références bibliographique	68
Annexes	70



DEDICACES

A:

La mémoire de mes grands parents;

Ma mère et mon père qui ont tant peiné pour faire de moi ce que je suis;

Mes frères et sœurs (Lyes, Houda, Razika et Hassiba);

Mon oncle Hakim;

La société Jebbal Star Auto;

Mes amis (particulièrement ceux de ma promotion 2000);

Mon binôme Kamel,

Je dédie ce travail.

Nabil

DEDICACES

A:

La mémoire de mes grands père et mon oncle Hamid et son fils Adel;

Mes grands mère;

Ma mère et mon père qui ont tant peiné pour faire de moi ce que je suis;

Mes frères et sœurs (Nouredine, Fatch, Hafidha, Sabrina);

Ma sœur Nadia et son mari Hamid;

Khalti Baya et aîmi Aïssa;

Ismail;

Ma grande famille

Toute la promotion 2000 (Hydraulique);

Tous mes amis;

Mon binôme et frère Nabil,

Je dédie ce travail.

Kamel

Remerciements

Nous aimerons remercier ici tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail.

En particulier nos promoteurs M. BERMAD et M. DECHEMI, sans oublier l'aide précieuse de M^{elle} SOUAG.

Nous tenons aussi à remercier M. BOUCHERF pour le soutien en matière de données et informations.

Ainsi qu'à nos parents et nos familles qu'ils trouvent dans ce modeste travail tout notre reconnaissance et nos remerciements pour leur aide, encouragements et dévouement.

Mots clés

Régime pluviométrique

Paramètres statistiques

Indice pluviométrique

Déficit pluviométrique

ACP

CP

Gha

Tle

Ora

Arz

Mos

Alg

Bej

Jij

Ski

Ann

Elk

ARMA

Résumé

Une étude du régime pluviométrique a été élaborée à partir de onze stations météorologiques du littoral algérien.

Après avoir traité les données collectées, une approche fondée sur les paramètres statistiques et l'analyse en composantes principales appliquées aux données historiques a été développée.

Cela a permis de ressortir les différences constatées entre les stations prises en considération, ainsi que les éventuels changements de régime pluviométrique au niveau de la zone d'étude.

Summary

The rainfall regime was investigated on the basis of data collected at eleven weather of Algeria. After processing this data, an approach was developed based on statistical parameters and principal component analysis, applied to historical data. The results highlighted between-station differences and potential rainfall regime changes throughout the surveyed zone.

ملخص

تمت دراسة التغيرات تساقط كمية الأمطار باستعمال إحدى عشر محطة قياس من الساحل الجزائري. بعد معالجة المعطيات المتحصل عليها، قمنا بتحليلها بواسطة الوسائط الإحصائية والتحليل بالمركبات الأساسية المطبقة على المعطيات التاريخية. مكننا هذا من استخلاص الفوارق بين المحطات المختلفة المدروسة وكذلك التغيرات المرتقبة لنظام كمية الأمطار في هاته المحطات.

INTRODUCTION

L'Algérie est un pays semi-aride, il connaît des variations climatiques distinctes, et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière. Le problème de la ressource en eau est lié, à l'érosion des sols, au stockage, au dépôt de sédiments, à la qualité des eaux. Les moyens de lutte telle que le reboisement des bassins versants, la surélévation des digues, la construction de barrage de décantation, et les dragages des barrages sont actuellement insuffisants.

La connaissance des conditions climatiques joue un rôle important dans les études de planification de la ressource en eau. Elle permet de mieux maîtriser les apports non contrôlés qui engendrent le bon fonctionnement du système de prévision et de gestion des ressources hydriques à court, moyen et long terme, et ainsi d'assurer les meilleures conditions d'optimisation de la construction des ouvrages hydrauliques.

L'objectif de la présente étude est de répondre à la question suivante :

Y- a - t - il eu un changement du régime pluviométrique sur le littoral algérien ? Et sur quelle base peut-on le confirmer ?

Dans cette perspective il importe d'analyser de manière approfondie le phénomène de la pluviométrie, et expliquer l'évolution du régime pluviométrique sur le littoral algérien.

Dans cette approche, on a utilisé les statistiques de base qui permettent de comprendre globalement le phénomène étudié. Une deuxième approche basée sur l'analyse en composantes principales (ACP) permet une meilleure connaissance des disparités existantes de ce phénomène sur le littoral algérien.

Notre travail est subdivisé en cinq (05) chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique sur les travaux effectués, dans le domaine d'étude.

Dans le second nous avons fait une critique préliminaire des données pluviométriques recueillies.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude du régime pluviométrique par le biais des paramètres statistiques, où nous avons calculé les indices pluviométriques afin de déterminer les années caractéristiques.

L'étude du régime pluviométrique par l'analyse en composantes principales à fait l'objet du quatrième chapitre, cette technique permet d'étudier l'effet spatio-temporel de la

pluviométrie, et de détecter ainsi d'éventuels changements spécifiques pouvant apparaître sur les séries de données.

Dans le dernier chapitre, on a appliqué un des modèles de prévision ARMA sur six stations du littoral algérien (Ghazaouet, Oran, Alger, Skikda, Annaba et El Kala).

Recherche bibliographique

On s'intéressant au régime pluviométrique sur le littoral algérien, on s'est penché sur les différents travaux réalisés ultérieurement.

L'examen de ces différents travaux montre que :

L'Algérie a connu, au cours des vingt dernières années, une sécheresse intense et persistante, cette sécheresse, caractérisée par un déficit pluviométrique important, a touché l'ensemble du territoire et a sévi particulièrement dans la région Ouest du pays.

L'étude qui a été effectuée sur 120 stations du Nord d'Algérie par l'analyse en composantes principales confirme la tendance à la sécheresse des vingt dernières années analogue à celles de 1910-1940. L'ampleur du déficit pluviométrique de 1974-1992 s'intensifie d'Est en Ouest passant de 17% par rapport à la moyenne à 33% à l'Ouest.

En outre cette étude fait apparaître que la sécheresse s'est accentuée de 1973 à 1997.

Il apparaît également à l'examen des archives de la station de Constantine que la décennie 1970-1980 a été caractérisée à l'Est du pays par une sécheresse particulièrement sévère.

Les barrages de Béni Bahdel, Cheffia et Bou Hanifia qui régularisent en temps normal plus 150 millions de m³ ont vécu depuis les années 1977-1978, les situations critiques de leur existence. Durant l'été 1988, ces barrages étaient pratiquement vides.

Les statistiques de la production céréales montrent que les années de faible production correspondent aux années de déficit pluviométriques (1910, 1920, 1966, 1977, 1981, 1983, 1988)

(Résumé annuel du temps en Algérie O.N.M-1997)

KADI (1992) à montrer dans son étude que les deux années hydrologiques 1987/1988 et 1988/1989 ont vu un déficit pluviométrique de 50% à l'Ouest (surtout à Oran et Maskara), et 30% à l'Est.

D'après l'étude menée par Ait Mouhoub on peut noter que :

Il y a une sécheresse dans la dernière décennie (1987-1996) où l'occurrence du déficit de précipitation surtout au centre (Alger) avec un déficit de 38%.

Il y a une succession des années sèches que d'années humides où la longueur minimale de la période sèche est de trois ans.

La région Ouest est très touchée par cette sécheresse pendant la dernière décennie que la période (1954-1986).

"Le cumul pluviométrique pour les trois régions du pays (Ouest- Centre- Est), depuis le début de l'année hydrologique 1996-1997, enregistre un déficit de l'ordre de 70% par rapport à la moyenne annuelle "...

Résumé annuel du temps en Algérie (O.N.M 1997)

Collecte et critique des données

II.1 Introduction

L'analyse des données disponibles est en général le premier pas à franchir dans l'étude d'un phénomène hydrométéorologique (précipitations, températures, débit...).

Les données hydrologiques constituent, la plupart du temps, le seul outil dont dispose l'hydrologue pour étudier et comprendre le comportement d'un phénomène, ou prendre des décisions relatives à un projet particulier.

Il est donc de première importance de connaître à fond les techniques nécessaires à l'analyse et à la critique des données afin de tirer le maximum d'informations de l'échantillon, d'évaluer la qualité des conclusions qu'on en tire et de quantifier le risque que comporte une généralisation à partir des données partielles.

Il s'agit d'abord de relever les valeurs aberrantes, de détecter et de combler les lacunes des données manquantes, et aussi de vérifier l'indépendance et l'homogénéité temporelle des séries étudiées nécessaires à toute étude statistique.

II.2. Inventaire des données disponibles

Les données utilisées nous ont été aimablement fournies par l'Office National de la Météorologie (O.N.M). Elles comportent 12 stations pluviométriques qui se trouvent sur le littoral de l'Algérie, s'étalant chacune sur 30 ans(1970-1999), au pas de temps mensuel.

Les caractéristiques des stations étudiées sont présentées dans le tableau suivant.

Station	Numéro de la station	Code	Latitude (Nord)	Longitude (E/W)	Altitude (mètre)
Alger	6	390	36°43	03°15 E	24
Annaba	10	360	36°50	07°49 E	14
Bejaia	7	402	36°43	05°04 E	2
Jijel	8	351	36°48	05°53 E	8
El Kala	11	361	36°54	08°27 E	11
Mostaganem	5	457	35°53	00°07 E	137
Oran	3	490	35°38	00°36 E	90
Skikda	9	355	36°53	06°54 E	01
Tlemcen	2	531	35°01	01°27 E	210
Arzew	4	452	35°49	00°16 E	3
Ghazaouet	1	517	35°06	01°53 E	04
Tenes	12	410	36°30	01°20 E	17

Tableau II.1 Présentation des stations étudiées

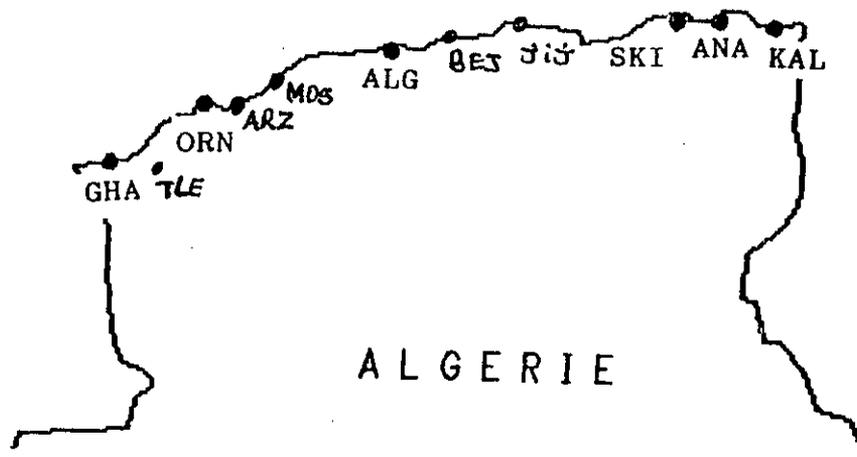


Figure II.1 Disposition des stations météorologiques

II.3 Critique des données

II.3.1 Introduction.

Les données pluviométriques proviennent d'une mesure qui a été recueillie soit par :

- Une Lecture directe des paramètres (à partir d'un pluviomètre).
- Ou d'un dépouillement d'enregistrement (à partir d'un pluviographe).

Celles ci peuvent comporter deux types d'erreurs ; les erreurs systématiques et les erreurs accidentelles.

Les erreurs systématiques sont dues à un mauvais réglage de l'appareil de mesure, à une procédure de mesure incorrecte, ou à l'installation inadéquate d'appareillage de mesure, donc à des causes produisant des effets constants, ou légèrement variables dans le temps.

Les erreurs accidentelles surviennent inopinément et ne peuvent être ni prévues ni évitées. Elles sont dues à des erreurs de manipulation ou à une défectuosité imprévue de l'appareil, donc à des causes soudaines qui introduisent des déviations sensibles au sein des séries de données.

En effet, ces erreurs de manipulation peuvent altérer les séries, et si certaines précautions ne sont pas prises durant cette phase de transcription de données, ces dernières peuvent être rendues inutilisables à cause du cumul d'irrégularités.

Afin de garantir la qualité des données, on doit suivre les étapes suivantes:

- ◆ Détecter et corriger les erreurs ;
- ◆ Vérifier la continuité des données dans le temps et dans l'espace ;
- ◆ Combler les données manquantes dans les séries d'observations.

II.3.2. Méthodes de comblement de lacunes

Dans la pratique courante, de nombreuses causes concourent pour entraîner l'absence de certaines informations : absences de mesure, défaut de transmission, erreur de stockage, manipulation erronée, etc. Cela fait que dans les fichiers disponibles certaines données sont manquantes.

Ce paragraphe décrit les méthodes de comblement de lacunes pour les valeurs mensuelles.

Le comblement des données manquantes peut se faire soit :

- Le Calcul de la moyenne mensuelle interannuelle ;
- La Régression linéaire ;
- La Simulation.

II.3.2.1 Calcul de la moyenne mensuelle interannuelle

Les données mensuelles se présentent sous la forme d'une matrice à n lignes représentant les années et p colonnes représentant les mois, malheureusement cette matrice peut comporter des vides correspondant aux lacunes d'observations.

Lorsqu'un fichier d'observations comporte moins de trois valeurs manquantes le comblement de ces lacunes par la méthode de la moyenne mensuelle interannuelle est approprié.

$$[X] = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccccc} X(1,1) & \text{inconnu} & \dots & X(1,j) & \dots & X(1,p) \\ X(2,1) & X(2,2) & \dots & X(2,j) & \dots & \text{inconnu} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{inconnu} & \dots & \dots & \dots & \dots & \text{inconnu} \\ X(i,1) & X(i,2) & \dots & X(i,j) & \dots & X(i,p) \\ \dots & \text{inconnu} & \dots & \text{inconnu} & \dots & \dots \\ X(n,1) & X(n,2) & \dots & X(n,j) & \dots & X(n,p) \end{array} \right| \end{array}$$

Le nombre d'observations et de $(n \times p)$, le comblement des valeurs manquantes se fait en remplaçant la valeur manquante par la moyenne mensuelle interannuelle, telle que :

$$M_j = 1/q_j \sum_{i=1}^p X(i, j)$$

avec :

$$q_j = n - (\text{nombre d'inconnues de la colonne } j)$$

II.3.2.2. Méthode de régression linéaire simple

Soient X et Y deux échantillons, chacun avec n observations $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n$, correspondant à deux mesures simultanées de précipitations sur deux stations différentes. Si ces deux stations sont assez rapprochées, on peut espérer que les observations soient similaires, et la connaissance d'une des variables permet alors, dans une certaine mesure, la prédiction quantitative ou qualitative de l'autre.

Théoriquement, on appelle modèle de régression linéaire sur les données expérimentales, la méthode des moindres carrés reprenant sur l'échantillon la propriété que $E(y/x) = \alpha + \beta x$ est la meilleure approximation de y par x en moyenne quadratique. On cherche donc à ajuster au nuage de points (x_i, y_i) une droite d'équation $y^* = ax + b$.

Dans la plupart des cas, les observations ne sont pas alignées, ce qui fait que la droite de régression n'est pas bien définie ; il faut donc établir certains critères pour obtenir la droite de régression optimale tel que :

La somme des carrés des distances de chacun des points à la droite soit la plus petite possible (c'est à dire $\sum (y_i - y_i^*)^2$ soit minimale).

La méthode appliquée pour la détermination des paramètres a et b est celle des moindres carrés :

$$\sum (y_i - y_i^*)^2 = \sum (y_i - a - bx_i)^2 = F(a, b)$$

Ce minimum est atteint pour $\frac{\partial F}{\partial a} = \frac{\partial F}{\partial b} = 0$ ceci donne les deux équations :

$$\sum (y_i - a - bx_i)^2 = 0 \Rightarrow \bar{y} = a + b\bar{x}$$

dont la solution est :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = r \frac{s_y}{s_x}$$

d'où :

$$y^* = \bar{y} + r \frac{s_y}{s_x} (x - \bar{x})$$

II.3.2.3. Simulation à partir de la fonction de répartition

Pour simuler des grandeurs mesurant des phénomènes naturels (tels que la pluie ou le débit), il ne faut pas perdre de vue que cette notion est basée essentiellement sur le concept du hasard.

C'est une méthode de tirage d'un échantillon artificiel de (n) valeurs d'une variable aléatoire continue. Elle s'applique lorsque F^{-1} a une forme analytique simple. Soit $F(x)$ la fonction de répartition de x . la variable $Y=F(x)$ est distribuée sur $[0,1]$ en effet ;

$$g(y) = \frac{f[F^{-1}(y)]}{f[F^{-1}(y)]}$$

Si on tire (n) nombres uniformément répartis entre $[0,1]$: $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$. l'échantillon cherché $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ sera déterminé par $x_i = F^{-1}(r_i)$; cette méthode est dite « de l'anamorphose » (Fig. II.2). On dit que l'on a simulé la variable X .

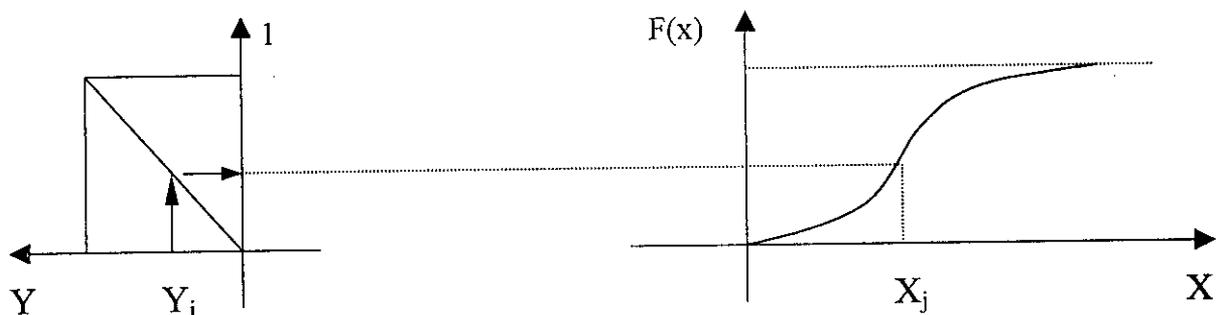


Figure II.2 Simulation à partir de la fonction de répartition.

II.3.3 Comblement de lacune

Après vérification et examen des données des 12 stations, on a éliminé la station de Tenes à cause de l'importance des lacunes et des valeurs douteuses qu'elle contenait.

II.3.3.1 Comblement par la moyenne

Les stations de Mostaganem, El Kala, Skikda et Jijel ne présentant pas beaucoup de valeurs manquantes, c'est pour cela qu'on a comblé ces lacunes avec la moyenne mensuelle interannuelle, le tableau II.2 indique l'emplacement et le remplacement des lacunes pour les quatre stations précitées.

Station	Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
	Année												
Mos.	1975								2.7				
	1977		44.7										
	1978							1.8					
	1981							1.8					
	1990		44.7	37.5									
Elk.	1970						8.3	2.0	6.8				
	1981						8.3						
	1996					32.8							
Ski.	1976					34.7	10.9	2.7	8.7				
	1999											93.3	
Gha.	1986										13.37		
	1987									11.8			
	1989						3.3						
	1997		34.6										
Jij.	1998							0.5					
	1982										104.4		

Tableau II.2. Comblement de lacune par la moyenne mensuelle interannuelle.

II.3.3.3. Comblement par régression linéaire

Cette méthode est applicable lorsque le nombre de valeurs manquantes est important. Elle a été appliquée sur la station d'Arzew, où on a calculé les coefficients de corrélation interstations (Oran-Arzew) et (Mostaganem-Arzew), puis on a déterminé les équations de régression linéaires qui correspondent aux plus grands coefficients de corrélation pour chaque mois présentant des lacunes.

Le tableau II.4 donne les valeurs obtenues à partir des droites de régressions pour chaque mois présentant des lacunes de la station d'Arzew.

Le tableau ci dessous donne les coefficients de corrélation pour chaque mois.

Stations	Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Ora-Arz		0.66	0.81	0.78	0.80	0.90	0.89	0.96	0.49	0.58	0.58	0.63	0.81
Mos-Arz		0.61	0.75	0.85	0.79	0.69	0.76	0.85	0.73	0.78	0.75	0.82	0.60

Tableau.II.3 Coefficients de corrélation interstations

Mois Années	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1972							0.3	1.5				
1973							0.1	0.1				
1974	20.4	56.0		63.3	1.0		0.1	0.4	2.6	93.9	20.9	14.3
1975	17.4	31.2	103.8				0.1					
1976		39.7	18.3	37.1	56.5	2.2	2.8	9.4	7.5	16.0	13.0	39.4
1977	59.6	11.7	12.6	21.5	56.9	0.8	0.4	0.1	1.8	18.3	24.4	19.5
1978	26.6	10.2										
1985							0.4	0.1				

Tableau II.4 Comblement des lacunes mensuelles par la régression linéaire pour la station d'Arzew.

II.3.3.2.a Analyse des corrélations avant et après comblement

L'analyse de corrélation a pour but d'appréhender les liaisons statistiques entre variables aléatoires.

En hydrologie, elle permet de mettre en évidence les liaisons statistiques entre variables mesurées en différents lieux et en différents temps.

Sur la base du calcul des coefficients de corrélations optimaux (les plus grands), avant et après le comblement (tableau II.5), on a constaté que la différence est peu significative, ce qui donne des équations de régression linéaire presque homogène.

R Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juill.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
R(av-com)	0.66	0.81	0.85	0.80	0.90	0.89	0.93	0.73	0.78	0.75	0.82	0.81
R(ap-com)	0.69	0.84	0.88	0.83	0.81	0.85	0.97	0.63	0.63	0.74	0.67	0.65

Tableau II.5 Coefficients de corrélation avant et après le comblement.

D'après le tableau précédent, on voit qu'il existe de faibles coefficients de corrélation tels que 0.63 et 0.65, pour cela on a utilisé la simulation pour avoir un meilleur comblement de ces lacunes.

II.3.3.3 Comblement par simulation

L'application de cette méthode a été portée sur la série lacunaire de Arzew. Le choix des valeurs simulées a été fait de telle sorte que l'écart soit entre les coefficients de déterminations (le carré du coefficient de corrélation) avant et après le comblement soit insignifiant.

Le tableau II.6 montre le remplacement des valeurs manquantes par cette technique.

Mois \ Années	Jan	fév	Mar	avr	mai	jui	juil	Aou	sep	oct	Nov	déc
1972							0.2	0.4				
1973							3.2	0.0				
1974	9.5	7.5		3.6	13.6		0.0	8.7	8.4	10.0	32.7	55.2
1975	34.0	38.7	8.1				0.5					
1976		28.7	34.4	61.8	39.1	0.1	19.4	3.7	23.2	28.9	43.6	10.0
1977	31.0	0.3	73.7	15.4	0.2	0.0	0.7	0.0	8.0	35.5	13.2	48.0
1978	39.0	16.7										
1985							0.0	0.1				

Tableau II.6 Comblement de lacunes de la station d'Arzew par simulation.

En prenant comme exemple le mois de janvier (figures II.3.a et II.3.b) on remarque que la fonction de répartition du mois de janvier avant et après comblement de lacunes est presque identique.

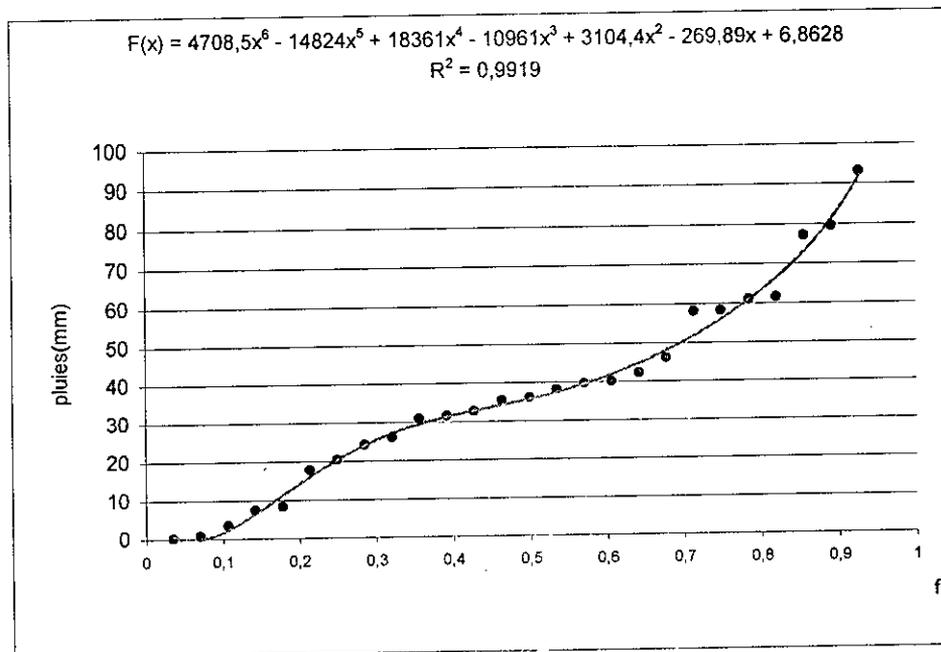


Figure II.3.a Fonctions de répartition du mois de janvier de la station d'Arzew avant comblement

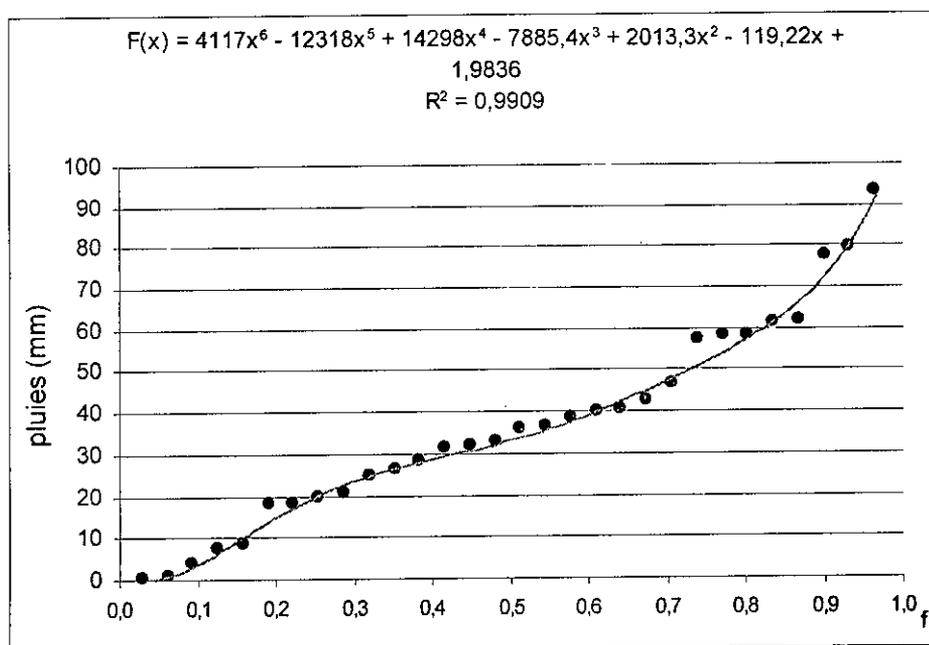


Figure II.3.b Fonctions de répartition du mois de janvier de la station d'Arzew après comblement

II.3.3.4 Comparaison des méthodes :

Afin d'illustrer la différence de qualité entre les méthodes utilisées pour le comblement des données mensuelles, on doit prendre en considération les deux points essentiels suivants, à savoir la nature et l'importance des données utilisées. A vrai dire, il est difficile d'introduire un critère formalisé sur la qualité de ce comblement des données manquantes.

Hormis la première méthode, puisqu'elle n'est applicable que lorsqu'il y a deux ou trois valeurs manquantes. Les deux autres méthodes ont donné des écarts insignifiants entre les valeurs réelles et celles comblées. Donc, les méthodes de régression linéaire et la simulation donnent de bons résultats.

II.3.4. Détection des valeurs singulières

Il arrive fréquemment que des erreurs se glissent dans les données de base et en dénaturent complètement le contenu. Cela peut se produire au cours de la mesure, de la transmission, du codage, du stockage ou du décodage des observations. Il est important avant tout traitement de détecter les erreurs grossières de ce genre afin que l'on puisse effectuer une analyse plus fine pour décider si cette donnée douteuse est aberrante et doit donc être éliminée, ou si c'est une donnée exceptionnelle, qui par conséquent doit être au contraire précieusement conservée.

Un test statistique de ce genre a été élaboré par Grubbs et Beck pour le contrôle initial des erreurs grossiers dans les valeurs observées.

II.3.4.a Présentation du test de Grubbs et Beck.

Ce test est très utilisé à cause de sa simplicité. Il peut détecter les points singuliers de la série en calculant la statistique suivante ;

$$X_h = \text{EXP}(\bar{X} + K_n * S)$$

$$X_l = \text{EXP}(\bar{X} - K_n * S)$$

Tel que :

\bar{X} et S : sont respectivement la moyenne et l'écart-type des logarithmes naturels des éléments constituant l'échantillon.

Au niveau de 10% l'approximation polynomiale suivante a été donnée par Bobée(1991):

$$K_n = -3.62201 + 6.28446*n^{1/4} - 2.49835*n^{1/2} + 0.491436*n^{3/4} - 0.037911*n.$$

K_n : est la valeur statistique du test de Grubbs et Beck, tabulée pour différente taille d'échantillon de niveaux de signification.

Avec n : la taille de l'échantillon.

En appliquant ce test, toutes les valeurs de l'échantillon supérieures à X_h ou inférieures à X_l sont considérées comme valeurs singulières qu'il faut comparer avec d'autres observations des autres stations.

II.3.4.b Analyse des résultats.

L'application de ce test a détecté les valeurs nulles comme singulières, mais nous ne pouvons rejeter ces points car ils correspondent aux mois secs.

II.4 Traitement statistique des données.

Après le comblement des lacunes des données pluviométriques disponibles, il est nécessaire de vérifier l'indépendance, l'homogénéité et la stationnarité de ces séries pluviométriques.

II.4.1 Test d'indépendance

L'application des méthodes statistiques repose sur la validité de certaines hypothèses de base relatives à la constitution de l'échantillon observé. En effet le fichier recueilli doit

être constitué par une série d'observations indépendantes formant ce que l'on appelle un échantillon extrait au hasard de la population statistique. en d'autres termes l'échantillon $X = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_N)$ est dit « au hasard », si le test permet de vérifier cette hypothèse H_0 d'indépendance des observations.

Dans notre étude on a appliqué le test de Wald-Walfowitz (couramment utilisé) sur les valeurs mensuelles.

II.4.1.a Test de Wald-Walfowitz.

Il est basé sur le critère qu'aucune observation appartenant à l'échantillon ne devrait influencer l'observation suivante, Bobèe (1991).

La statistique de test est :

$$R = \sum_{i=1}^N X_i X_{i+1},$$

Si l'hypothèse H_0 selon laquelle l'échantillon est extrait au hasard est vraie, la statistique suit une distribution normale.

$$N \left(\frac{m_1^2 - m_2^2}{N-1}, \frac{m_1^2 - m_4}{N-1} + \frac{m_1^4 - 4m_1^2 m_2 + 4m_1 m_3 + m_2 - 2m_4}{(N-1)(N-2)} - \left[\frac{m_1^2 - m_2^2}{N-1} \right] \right)$$

$$\text{avec : } m_r = \sum_{i=1}^N x_i^r = N \times S_r$$

S_r : moment d'ordre r de l'échantillon.

La valeur statistique $U = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{\text{var}(R)}}$ suit une distribution normale standardisée $N(0,1)$,

et qui est utilisée pour tester à un niveau de signification, l'hypothèse d'indépendance en comparant la valeur absolue de U avec la valeur normale standard $U_{\alpha/2}$ correspondant à la probabilité de dépassement de $\alpha/2$.

- Si $|U|$ est inférieure à $U_{\alpha/2}$, l'hypothèse d'indépendance est vraie.
- Si $|U|$ est supérieure à $U_{\alpha/2}$, l'hypothèse d'indépendance est rejetée.

II.4.1.b Analyse des résultats du test

D'après le tableau (II.7), l'hypothèse H_0 d'indépendance pour le pas de temps mensuel est rejetée pour les différents seuils de signification utilisés. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les valeurs mensuelles sont indépendantes, et la probabilité d'avoir une forte corrélation est élevée pendant les mois appartenant à la même saison (sèche ou humide).

Stations	U	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$
Gha.	2.589	0	0	0
Tle.	5.222	0	0	0
Ora.	4.651	0	0	0
Arz.	2.633	0	0	0
Mos.	4.996	0	0	0
Alg.	4.903	0	0	0
Bej.	4.690	0	0	0
Jij.	5.927	0	0	0
Ski.	6.819	0	0	0
Ann.	7.426	0	0	0
Elk.	7.066	0	0	0

1 : H_0 Acceptée0 : H_0 rejetée

Tableau II.7 Résultats de test d'indépendance.

II.4 2 Test d'homogénéité des fichiers.

Avant de passer à l'application des méthodes statistiques sur les données recueillies il est important de vérifier si elles peuvent être considérées comme extraites d'une même population. C'est ce qu'on appelle le problème d'homogénéité des séries statistiques, ou encore le problème des échantillons.

Il existe plusieurs tests pour vérifier l'homogénéité des séries de données. On a utilisé le test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

II.4.2.a Test de Wilcoxon-Mann-Whitney.(test d'homogénéité et de stationnarité)

Ce test est appelé aussi le test de la variation de la moyenne il utilise les numéros des observations dans la série variationnelle obtenue en ordonnant l'échantillon global de taille N.

Pour ce faire on divise notre série en deux sous échantillons $\{x_i\}$ et $\{y_i\}$ de taille respectivement n_1 et n_2 , où $N = n_1 + n_2$ (avec $n_1 \leq n_2$), puis on classe l'échantillon global de taille N en ordre croissant.

Le numéro d'observation X_i dans l'échantillon ordonné s'appelle ordre ou rang, et sera désigné par $R_{i,n}$.

Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney considère les quantités suivantes :

$$V = R - n_1(n_1 + 1)/2$$

$$W = n_1 n_2 - V$$

Avec :

R : La somme des rangs des éléments du premier échantillon de taille n_1 dans la série considérée.

V : Représente le nombre de fois où un élément de l'échantillon un (x_i) suit dans l'ordre un élément de l'échantillon deux (y_i).

U : La valeur statistique de Mann-Whitney, elle est définie par la plus petite des deux valeurs de V et W.

De moyenne :

$$\bar{U} = n_1 n_2 / 2$$

et de variance :

$$\text{Var}(U) = \frac{(n_1 n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{12}$$

La fonction de répartition de U est définie pour un risque d'erreur par la quantité :

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

Cette quantité est comparée avec la variable standardisée correspondant à une probabilité de dépassement $\alpha/2$ tel que :

- Si $|U| < U_{\alpha/2}$ l'hypothèse de l'homogénéité est acceptée.
- Si $|U| > U_{\alpha/2}$ l'hypothèse de l'homogénéité est rejetée.

II.4.2.b Analyse des résultats.

Le résultat du test appliqué aux différents seuils de significations a montré que les observations pluviométriques de toutes les stations sont homogènes, ce qui justifie la qualité des données reconstituées dans les séries en question. Le tableau II.8 illustre les résultats du test.

Stations	U	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$
Gha.	3.346 E-3	1	1	1
Tle.	2.101 E-2	1	1	1
Ora.	2.873 E-2	1	1	1
Arz.	3.462 E-2	1	1	1
Mos.	8.095 E-2	1	1	1
Alg.	8.720 E-3	1	1	1
Bej.	6.183 E-3	1	1	1
Jij.	8.089 E-3	1	1	1
Ski.	6.695 E-3	1	1	1
Ann.	8.847 E-3	1	1	1
Elk.	2.025 E-2	1	1	1

1 : H_0 Acceptée

0 : H_0 rejetée

Tableau II.8 Résultats du test d'homogénéité.

Conclusion

En examinant les résultats de la critique, nous avons remarqué que les séries d'observations au pas de temps mensuel peuvent être considérées comme indépendantes, homogènes et stationnaires.

Remarque :

Les tests d'indépendance, des valeurs singulières, d'homogénéité et de stationnarité ont été programmés avec le langage FORTRAN, le programme de ces tests est donné dans l'Annexe II.

Etude du régime pluviométrique par les paramètres statistiques

III.1 Introduction

L'étude statistique des séries pluviométriques annuelles, et mensuelles peut aider à connaître la variabilité d'un régime pluviométrique.

Les données étant homogènes, indépendantes et stationnaires, on peut estimer les paramètres statistiques sur la totalité des séries pluviométriques.

III.2 Evolution de la pluviométrie

La figure III.1, montre l'évolution des pluies annuelles de chaque station du littoral algérien de la période d'étude

L'analyse de cette figure montre que :

Le caractère aléatoire du phénomène étudié, pour toutes les stations.

Différence très importante des précipitations entre la région Ouest et celle du Centre et de l'Est, cette inégalité des précipitations est due à deux causes principales :

- La direction des vents, qui est généralement de Nord-Ouest, fait que l'Ouest algérien ne bénéficie pas suffisamment de l'humidité apportée par ce dernier.
- A l'Est du Maroc, il y a la chaîne montagneuse du Rif, cette barrière géographique intervient pour beaucoup dans le faible volume de pluie qui s'abat sur la côte Ouest.

La conjugaison de ces deux phénomènes, aboutit à des différences très caractérisées de la pluviométrie sur le littoral algérien

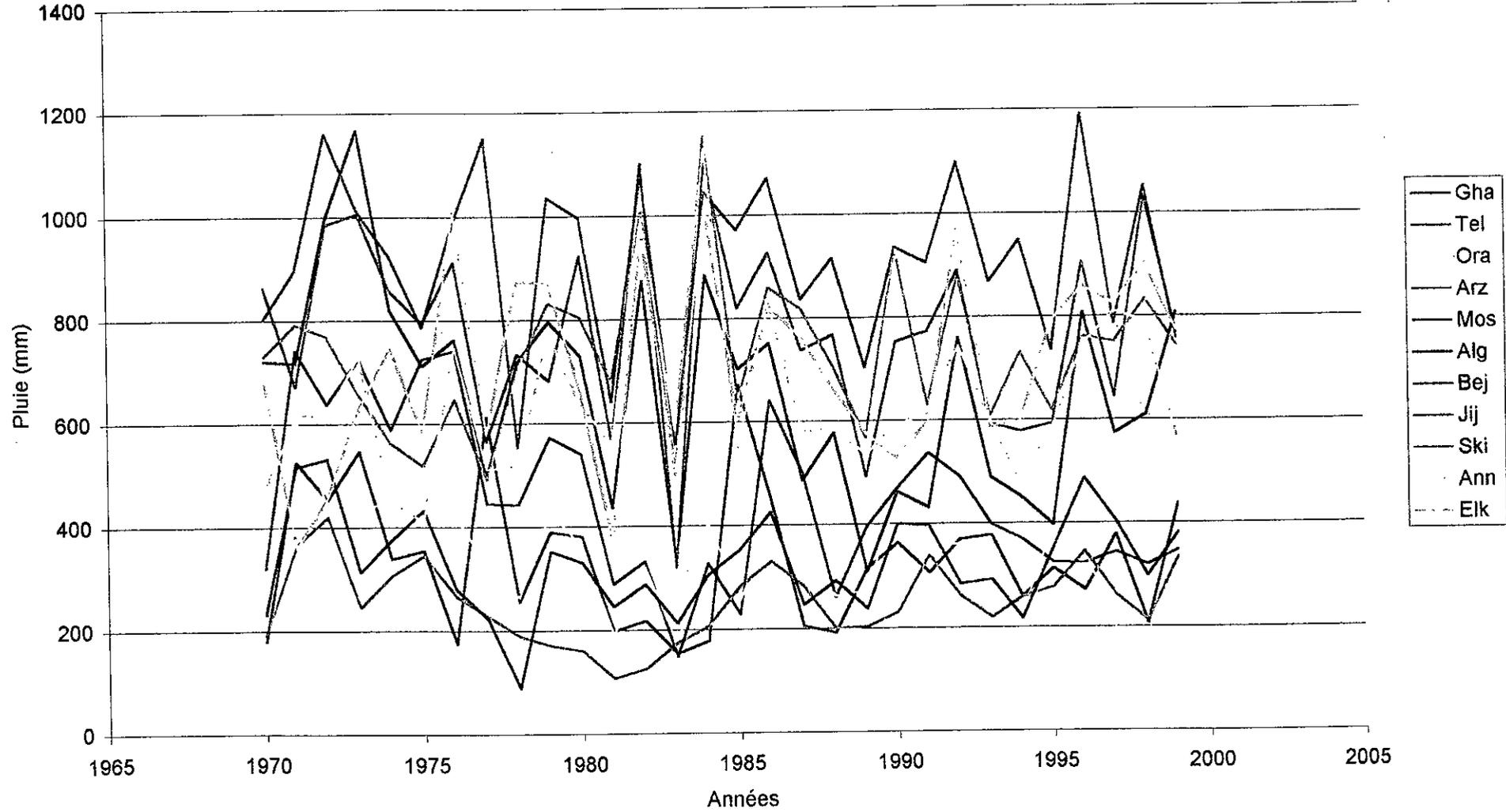
III.3 Etude de la variabilité des précipitations

III.3 Pas de temps annuel

1. Période totale

Les résultats de calcul de La moyenne et de l'écart-type des séries pluviométriques de chaque station sont donnés dans le tableau III.1.

Evolution des pluies annuelles sur le littoral algérien



Stations	Moyennes	Ecart-type
Gha	336.307	116.019
Tlm	452.714	152.781
Ora	340.290	97.645
Arz	250.310	81.526
Mos	326.662	100.555
Alg	655.359	182.392
Bej	771.976	157.079
Jij	914.207	144.898
Ski	727.434	159.743
Ann	648.600	159.843
Elk.	704.628	182.497

Tableau III.1 Paramètres statistiques annuels

La figure III.2, montre que les faibles quantités de pluies sont enregistrées au niveau des stations de l'Ouest (avec un minimum de 250mm est enregistré à Arzew), les stations de l'Est et du Centre sont les plus favorisées (655mm à Alger et le maximum est enregistré à Jijel avec 925mm d'eau).

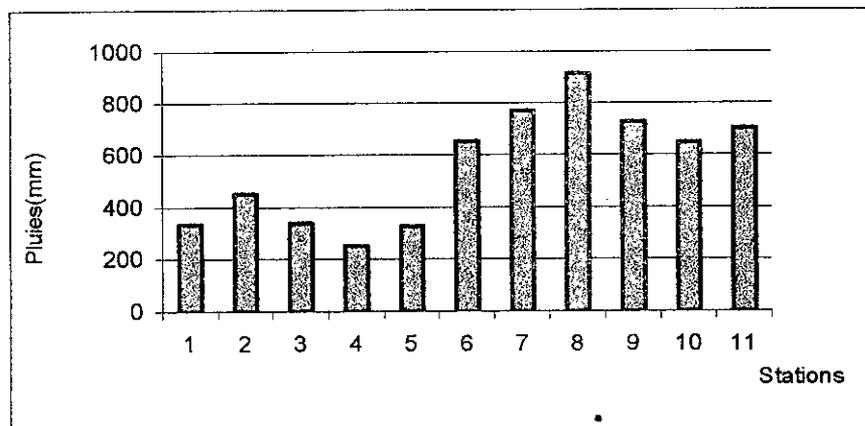


Figure III.2 Moyennes annuelles des précipitations sur le littoral algérien

2) Etude des trois décennies

Afin de mieux déceler d'éventuelles variations de la pluviométrie, on a subdivisé la période totale en 3 décennies :

1 ^{ère} décennie	1970-1980	Série 1
2 ^{ème} décennie	1980-1990	Série 2
3 ^{ème} décennie	1990-1999	Série 3
Période totale	1970-1999	Série 4

Le calcul de la moyenne et l'écart-type de chaque station pour les différentes décennies sont donnés dans le tableau III.2

Stations	Périodes	Moyennes	Ecart-type
Gha	1970-1980	393.530	137.450
	1980-1990	303.370	123.204
	1990-1999	312.820	48.534
Tel	1970-1980	597.530	94.197
	1980-1990	366.910	130.545
	1990-1999	388.830	104.648
Ora.	1970-1980	408.300	94.557
	1980-1990	308.970	70.088
	1990-1999	306.460	91.650
Arz	1970-1980	296.690	105.251
	1980-1990	212.390	72.150
	1990-1999	261.640	53.051
Mos	1970-1980	336.290	119.811
	1980-1990	306.000	88.796
	1990-1999	340.660	92.308
Alg	1970-1980	790.830	193.023
	1980-1990	595.750	154.044
	1990-1999	547.820	128.331
Bej	1970-1980	788.370	142.821
	1980-1990	775.870	154.642
	1990-1999	728.190	190.105
Jij	1970-1980	924.970	124.183
	1980-1990	877.190	160.252
	1990-1999	913.140	175.665
Ski	1970-1980	656.980	136.798
	1980-1990	784.440	168.507
	1990-1999	738.170	152.013
Ana	1970-1980	584.750	120.082
	1980-1990	693.780	192.664
	1990-1999	655.720	150.254
Elk.	1970-1980	675.330	166.034
	1980-1990	692.010	167.497
	1990-1999	737.420	215.854

Tableau III.2 Paramètres statistiques des trois décennies.

La figure III.3 représente la répartition des moyennes des pluies annuelles des 11 stations pour les différentes décennies.

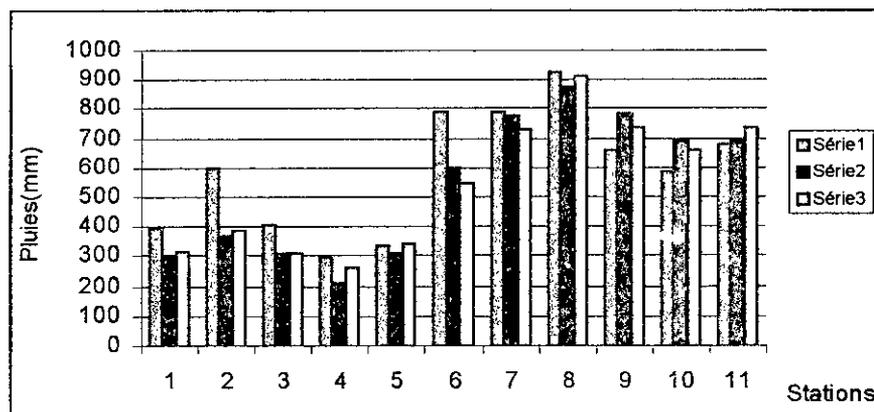


Figure III.3 Répartitions des moyennes des pluies annuelles des trois décennies

L'analyse de cette figure montre que les quantités de pluies ont diminué dans les deux dernières décennies par rapport à la première, dans toutes les stations, excepté pour les stations de Skikda, Annaba et El Kala, et que la quantité de pluie de la troisième décennie est plus importante par rapport à la deuxième décennie, pour toutes les stations excepté pour celles d'Alger, Béjaia, Skikda et Annaba.

Pour affiner cette étude on a représenté sur la figure III.4 les moyennes des pluies annuelles des trois régions pour les différentes décennies prise en considération.

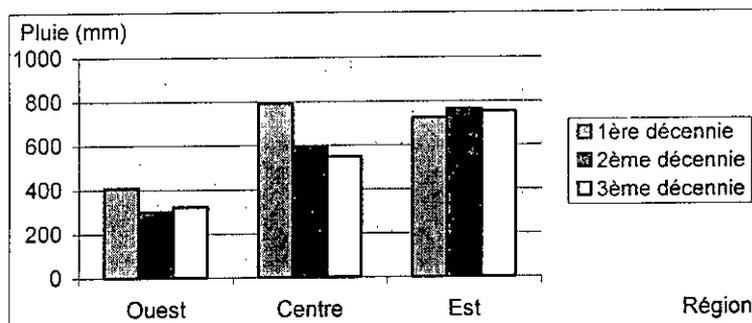


Figure III.4 Moyenne des pluies annuelles des 3 régions pour les 3 décennies.

L'analyse de cette figure montre que pour la région Ouest, la deuxième décennie est la moins pluvieuse par rapport aux deux autres, et son déficit est de 26% par rapport à la première décennie.

Pour la région Centre qui n'est malheureusement représenté que par la station d'Alger, on remarque que l'apport pluviométrique diminue d'une décennie à l'autre, et le déficit le plus important est celui de la troisième décennie qui est de 30.7% par rapport à la première.

Pour la région Est, on remarque un très faible écart entre les trois décennies, en effet, la première décennie présente un déficit de 5% par rapport à la deuxième.

On remarque néanmoins que l'écart pluviométrique entre les deux dernières décennies pour les trois régions est insignifiant, car le plus important déficit est de 8%, enregistré à la station d'Alger.

a) Pas de temps mensuel

Le calcul des moyennes et les écarts-types pour les différentes périodes sont donnés respectivement dans les tableaux III.3 et III.4.

Stations	Période	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aoû
Gha	70-80	20.08	45.38	28.06	67.61	39.89	48.73	52.29	48.69	27.41	2.03	1.36	1.83
	80-90	13.3	19.06	62.75	35.79	22.59	51.80	43.53	27.77	14.96	3.39	0.66	0.92
	90-99	22.21	21.08	52.19	26.37	48.68	52.06	43.01	26.50	27.05	6.51	0.70	1.82
	70-99	18.53	28.51	47.67	43.26	37.05	50.86	46.28	34.32	23.14	3.98	0.91	1.52
Tel	70-80	22.24	43.34	59.96	49.43	65.58	74.33	117.67	90.68	52.04	8.54	3.93	6.06
	80-90	10.80	16.88	50.21	45.04	36.78	71.63	53.51	35.74	31.84	9.07	4.16	1.12
	90-99	20.48	27.04	40.12	43.66	65.75	50.75	52.53	35.12	46.96	5.79	2.05	2.22
	70-99	17.60	29.09	50.10	46.04	56.04	65.57	74.57	53.85	43.61	7.80	3.38	3.13
Ora	70-80	14.06	38.26	34.95	59.45	49.33	46.64	61.57	56.90	37.16	4.88	1.12	2.19
	80-90	12.87	17.85	48.42	43.48	42.96	40.94	34.22	17.70	27.30	4.46	3.33	2.42
	90-99	13.49	21.27	43.42	38.25	51.94	43.20	45.18	32.08	19.13	4.31	2.09	2.79
	70-99	13.47	25.79	42.26	47.06	48.08	43.59	46.99	35.56	27.86	4.55	2.18	2.47
Arz	70-80	6.27	26.99	25.60	44.96	37.30	28.59	41.01	33.84	24.21	1.90	0.70	1.48
	80-90	6.00	12.41	29.03	29.64	34.48	26.79	31.46	11.35	15.65	3.43	3.07	3.86
	90-99	12.39	25.60	44.14	34.17	37.37	32.87	37.31	28.52	14.57	3.39	1.98	1.41
	70-99	8.22	21.67	32.92	36.26	36.38	29.42	36.59	24.57	18.14	2.91	1.92	2.25
Mos	70-80	14.33	25.23	27.94	56.98	41.80	41.11	45.42	34.55	34.27	10.89	0.40	1.35
	80-90	11.07	18.51	44.98	56.35	40.79	41.55	30.16	17.62	23.80	3.93	1.82	2.97
	90-99	15.63	26.42	51.98	37.51	61.71	51.60	36.84	37.68	20.56	4.38	3.17	3.85
	70-99	13.68	23.39	41.63	50.28	48.10	44.75	37.47	29.95	26.21	6.40	1.80	2.72
Alg	70-80	44.26	90.42	109.95	93.37	92.86	113.03	88.49	75.54	48.89	17.44	5.73	10.30
	80-90	26.23	66.45	67.31	129.29	74.33	66.87	70.3	40.67	45.13	13.73	3.97	4.02
	90-99	28.74	51.17	87.91	81.53	66.22	74.99	54.27	70.86	38.24	9.90	4.89	10.24
	70-99	33.08	69.35	88.39	101.40	77.80	84.96	71.02	62.36	44.09	13.69	4.86	8.19
Bej	70-80	54.07	99.30	99.77	79.77	95.91	101.28	105.12	90.29	43.30	15.38	9.72	12.90
	80-90	30.50	78.68	106.05	154.89	104.70	84.22	101.30	51.08	37.34	13.12	1.70	11.30
	90-99	58.21	83.82	81.70	150.04	98.63	80.19	59.45	70.98	48.27	13.69	2.29	5.71
	70-99	47.59	87.27	95.84	128.23	99.75	88.56	88.62	70.78	42.97	14.06	4.57	9.97
Jij	70-80	55.91	121.88	110.50	123.33	129.71	115.23	118.29	88.62	38.38	14.72	6.02	7.80
	80-90	53.67	87.06	111.17	169.73	126.45	113.54	95.63	55.54	42.89	7.64	2.09	15.49
	90-99	48.86	104.85	135.48	200.09	108.15	100.24	71.39	86.96	49.31	13.41	2.44	6.15
	70-99	52.81	104.60	119.05	164.38	121.44	109.67	95.10	77.04	43.53	11.92	3.52	9.81
Ski	70-80	27.27	86.35	87.92	66.63	96.44	93.30	83.18	76.37	32.85	9.30	3.47	6.75
	80-90	33.50	72.09	110.84	149.62	111.51	102.31	87.86	53.08	32.08	9.87	3.04	7.75
	90-99	47.07	74.19	81.09	154.85	107.25	83.46	66.29	68.76	39.07	13.41	1.45	11.45
	70-99	35.95	77.54	93.28	123.70	105.07	93.02	97.11	66.07	34.67	10.87	2.56	8.65
Ann	70-80	29.90	70.61	72.94	59.09	72.87	73.53	79.72	65.22	32.05	16.56	3.36	8.57
	80-90	30.10	87.67	88.68	126.75	101.79	83.36	80.23	49.06	31.17	12.90	2.24	4.42
	90-99	39.84	51.35	101.68	101.54	101.84	75.54	52.47	57.57	42.49	15.76	3.02	8.83
	70-99	33.28	69.88	87.77	95.79	92.17	77.48	70.81	57.28	35.24	15.07	2.87	7.27
Elk	70-80	40.50	76.34	129.35	53.41	73.19	101.32	96.37	70.88	22.72	7.47	1.90	5.20
	80-90	39.40	82.63	93.12	126.07	103.87	72.51	81.67	51.61	27.58	6.84	1.04	7.62
	90-99	44.25	88.29	126.19	117.37	100.38	84.12	49.66	63.89	48.09	10.42	3.02	7.59
	70-99	41.38	82.42	116.22	98.95	92.48	85.98	75.97	62.13	32.80	8.24	1.99	6.80

Tableau III.3 Moyennes mensuelles interannuelles des différentes périodes

Stations	Période	Set	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
Gha	70-80	43.41	46.09	39.70	46.84	27.52	46.92	42.87	46.24	37.20	1.56	3.72	5.23
	80-90	14.55	14.38	69.63	30.09	19.44	23.20	53.25	25.96	12.95	3.99	1.89	1.35
	90-99	24.60	19.10	42.17	17.07	49.21	36.88	31.93	26.45	31.54	9.24	0.89	2.84
	70-99	29.21	31.38	52.57	37.07	35.01	37.81	42.26	34.60	28.72	5.99	2.40	3.43
Tel	70-80	26.69	31.56	40.86	41.96	45.35	57.41	78.29	70.91	42.73	4.83	5.91	9.14
	80-90	11.01	18.46	30.30	40.63	31.50	68.23	51.68	24.77	27.56	17.75	12.28	1.18
	90-99	13.81	24.26	21.31	21.49	45.92	33.38	64.98	26.54	40.72	8.43	2.93	4.40
	70-99	18.65	26.84	31.81	34.76	42.34	54.11	70.73	51.69	37.32	11.37	7.82	6.08
Ora	70-80	4.20	11.64	21.22	37.65	47.78	36.69	39.10	41.86	45.29	2.76	3.43	2.19
	80-90	13.25	17.92	42.31	39.31	28.44	20.42	29.01	12.78	27.19	6.78	9.12	3.73
	90-99	9.87	15.87	28.24	36.06	39.67	33.37	41.38	38.15	24.77	7.50	4.93	3.32
	70-99	11.27	20.00	35.71	40.94	34.23	30.90	38.30	38.11	33.36	5.95	5.97	3.64
Arz	70-80	7.15	26.77	33.40	17.08	23.16	21.21	33.19	26.69	30.22	2.15	1.22	2.98
	80-90	10.19	10.60	19.29	18.82	23.42	19.34	26.95	8.67	12.76	5.87	8.49	7.92
	90-99	10.43	20.92	21.70	27.52	27.35	21.88	37.15	23.79	13.24	7.82	2.77	1.51
	70-99	9.53	20.92	25.98	21.87	23.89	20.27	31.81	22.70	20.19	5.62	5.12	4.93
Mos	70-80	19.80	36.59	24.65	48.67	29.41	31.55	41.14	33.97	50.05	14.14	0.67	2.83
	80-90	19.11	19.57	37.55	44.66	27.55	24.33	27.50	11.91	28.64	7.09	4.28	4.70
	90-99	11.03	13.78	26.62	24.70	40.57	28.37	39.72	33.68	15.01	9.52	2.76	5.09
	70-99	16.63	24.62	30.85	40.35	33.33	27.69	35.92	28.89	33.72	10.78	3.08	4.30
Alg	70-80	51.16	60.86	81.26	66.47	50.03	104.86	43.11	48.47	41.77	20.35	13.25	12.98
	80-90	20.53	71.04	42.56	72.25	42.67	39.49	65.08	38.99	42.43	13.05	7.29	7.02
	90-99	20.12	25.45	48.10	52.59	46.22	67.40	33.76	38.50	44.75	11.28	7.36	16.82
	70-99	33.68	56.45	60.36	65.39	46.19	75.66	49.47	43.68	41.73	15.19	9.40	12.82
Bej	70-80	37.93	72.57	73.71	76.20	54.31	62.62	37.75	55.99	32.11	14.64	14.58	16.98
	80-90	26.22	72.18	61.48	114.47	89.90	58.22	67.09	33.80	24.65	15.81	1.44	12.46
	90-99	39.96	70.80	53.96	98.19	52.31	61.86	52.32	42.06	53.99	12.72	3.41	6.93
	70-99	36.19	69.91	62.23	100.40	65.47	59.52	55.96	46.28	37.86	13.97	9.16	12.74
Jij	70-80	42.84	68.68	94.97	93.00	80.44	47.87	52.03	42.61	34.50	13.83	5.38	13.95
	80-90	53.64	59.49	42.88	93.84	78.88	59.36	71.08	34.08	28.25	8.58	2.47	31.29
	90-99	34.64	61.14	83.12	112.73	39.04	89.72	43.00	45.23	36.29	15.34	3.38	7.01
	70-99	42.94	62.70	75.19	101.94	67.12	65.95	57.97	42.41	32.35	12.85	4.20	19.92
Ski	70-80	17.80	58.65	58.13	46.18	55.42	40.32	40.74	52.70	21.43	7.37	4.51	8.91
	80-90	19.46	42.66	60.56	93.57	58.98	65.03	41.36	36.64	22.89	8.92	4.85	14.05
	90-99	31.33	53.92	64.32	89.45	50.13	57.51	38.37	44.58	39.31	12.15	2.16	12.79
	70-99	24.31	50.75	60.32	86.90	53.42	53.89	39.90	44.64	28.19	9.53	3.98	11.87
Ann	70-80	26.30	48.20	60.50	44.09	41.57	34.23	56.14	51.71	16.06	15.78	5.88	9.48
	80-90	21.12	81.90	46.30	62.25	56.49	46.88	32.65	29.48	21.71	13.05	3.03	4.32
	90-99	36.47	29.92	73.06	50.72	40.26	56.32	29.99	36.29	26.49	9.59	5.06	10.00
	70-99	28.07	57.52	60.01	58.40	47.14	45.26	41.98	39.41	21.71	12.70	4.66	8.30
Elk	70-80	34.43	77.91	96.15	31.35	59.72	47.65	79.20	52.79	13.66	7.30	2.98	8.98
	80-90	33.05	48.67	40.85	74.42	67.03	39.44	34.67	35.34	22.72	9.56	2.23	16.41
	90-99	39.85	48.25	74.87	61.22	30.67	67.61	61.53	36.39	32.70	14.37	5.06	12.54
	70-99	34.70	58.02	73.51	65.37	54.66	52.45	54.98	41.58	25.98	10.58	3.60	12.60

Tableau III.4 Ecarts-types des pluies mensuelles

Les figures (III.5.1), (III.5.2), (III.5.3) et (III.5.4), montrent la répartition des moyennes mensuelle des précipitations de chaque station, et pour les différentes périodes prises en considération, il est à noter que pour :

1. Région Ouest

La période humide commence à partir du mois d'octobre et se termine au mois de mai et la période sec est celle qui s'étale du mois de juin à août.

La deuxième décennie est marquée par la diminution des précipitations au cours de la saison automnale (septembre, octobre et novembre). La saison hivernale montre une diminution insignifiante des précipitations.

2. Région Centre

On remarque que la période humide s'étale de septembre à mai, et la période sèche du juin à août sèche correspond aux deux mois de juillet et août.

En outre, au cours de la deuxième décennie, le déficit très important pour la période humide, excepté pour le mois de décembre où on remarque un apport significatif.

3. Région Est

Celle-ci région est caractérisée par les mêmes mois humides et secs que la région Centre. Le mois de septembre de cette région est plus humide par rapport aux autres régions.

On a remarqué pendant la deuxième décennie que les mois de décembre et avril ont connu des apports très importants par rapport à la période antécédente.

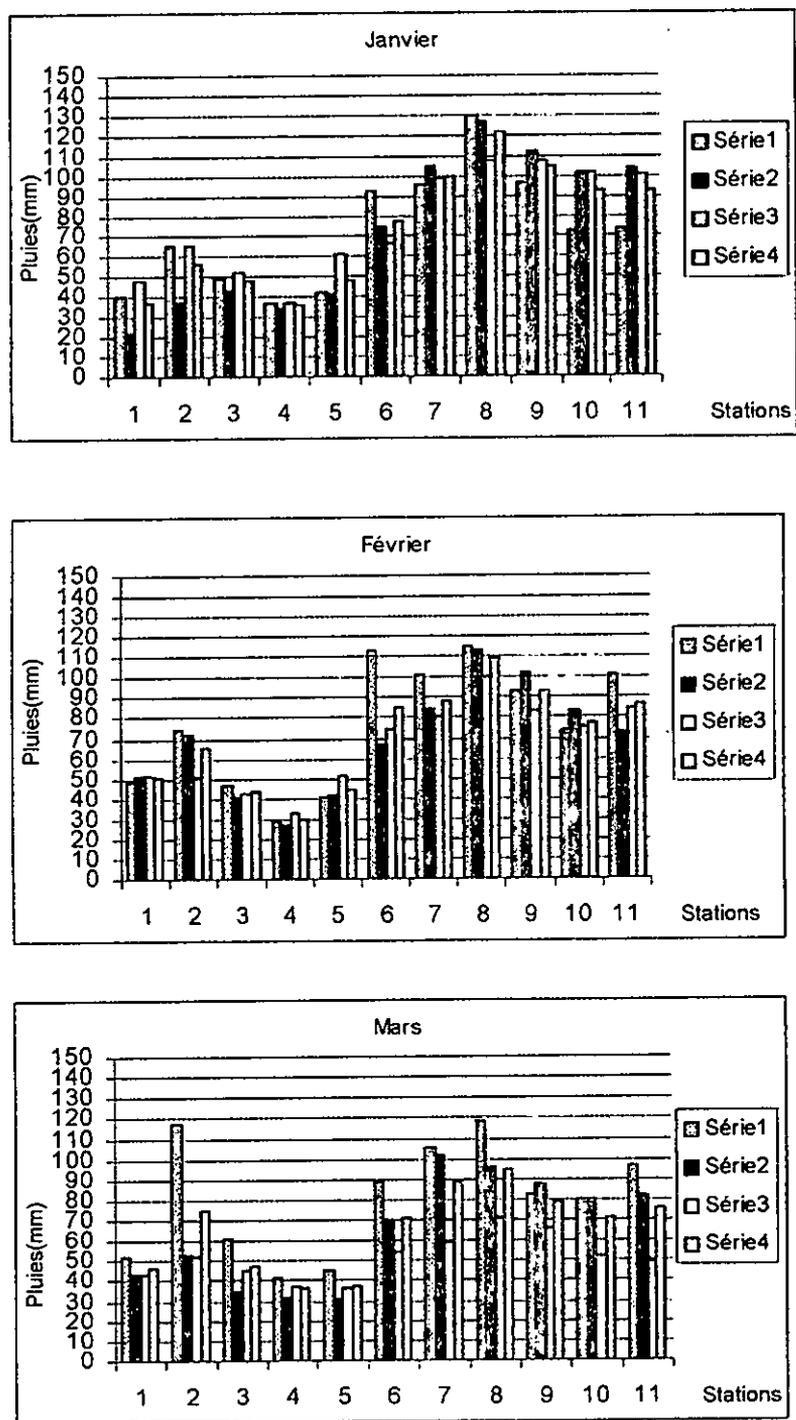


Figure III.5.1 Moyennes mensuelles des 11 stations (janvier, février et mars)

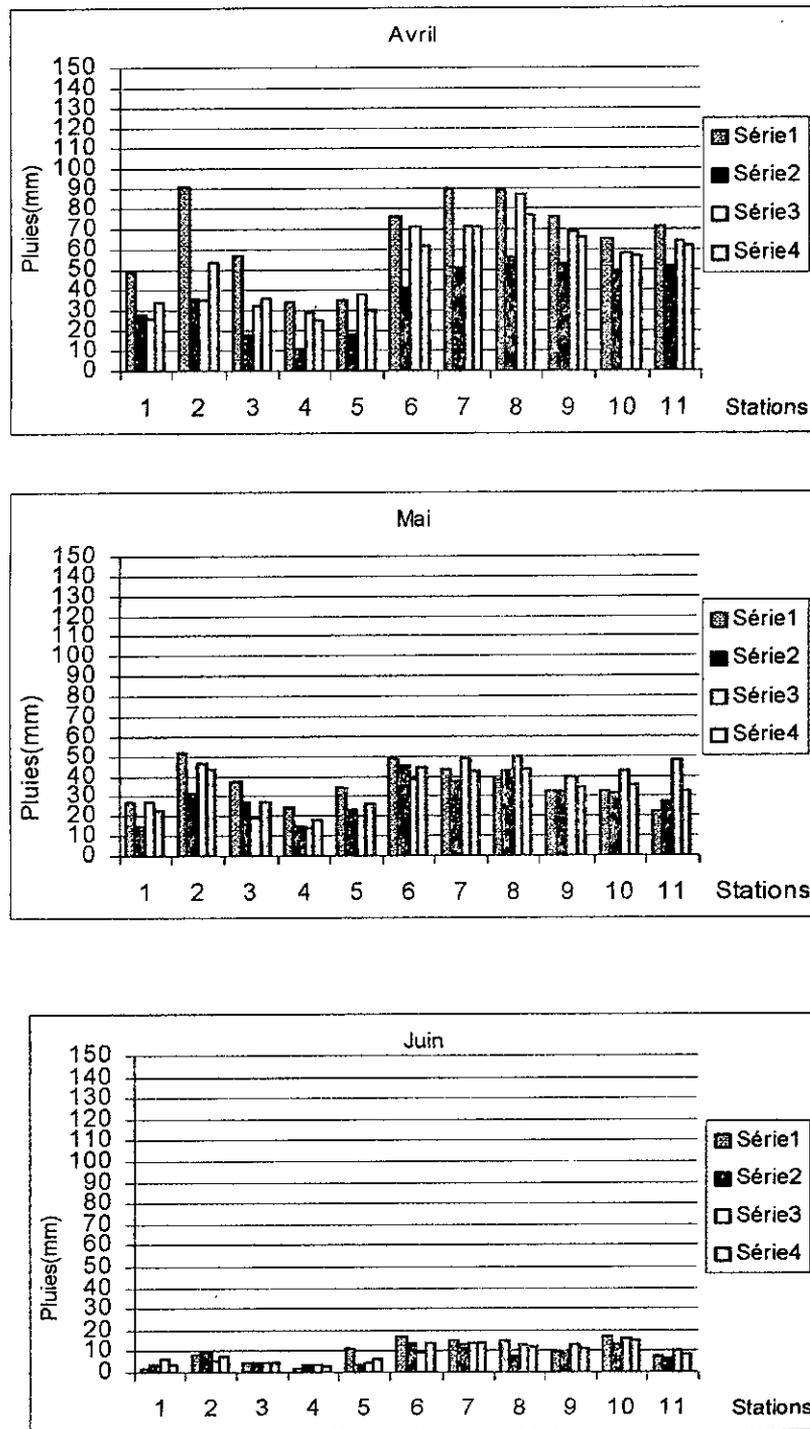


Figure III.5.2 Moyennes mensuelles des 11 stations (avril, mai et juin)

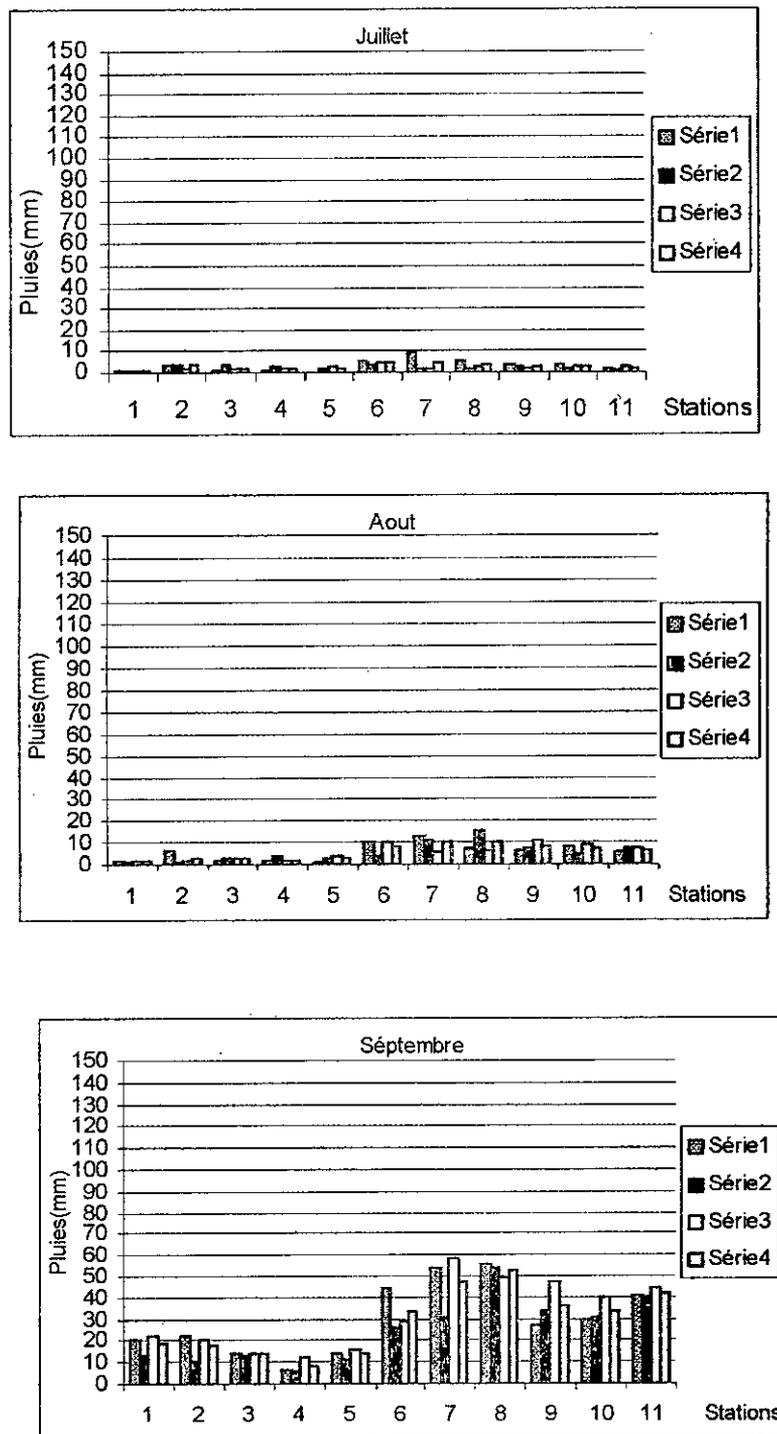


Figure III.5.3 Moyennes mensuelles des 11 stations (juillet, août et septembre)

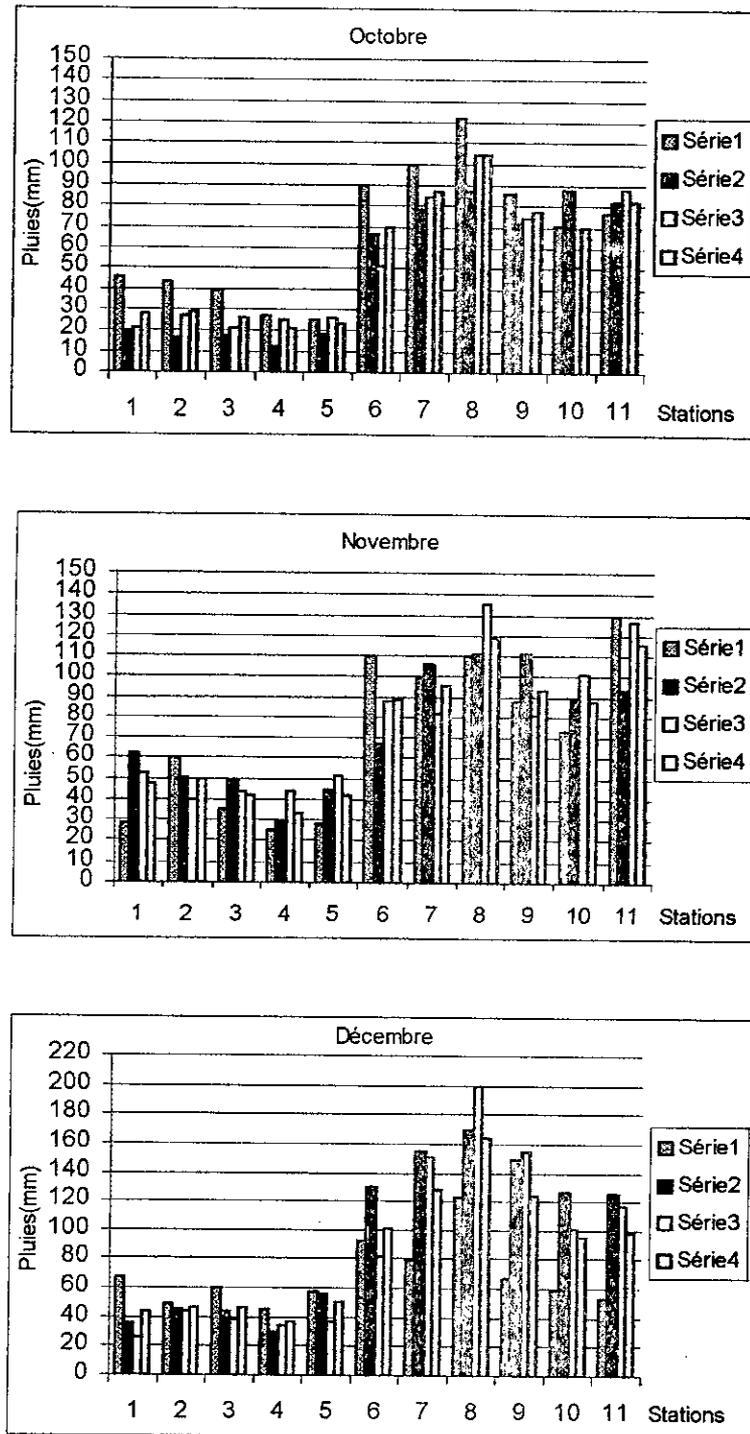


Figure III.5.4 Moyennes mensuelles des 11 stations (octobre, novembre et décembre)

III.4 Période de référence

D'après les différentes études menées sur le littoral algérien, il est mentionné que la période s'étalant de 1970 à 1997 est une période sèche d'où la nécessité pour nous de collecter une période antécédente à cette période d'étude. Malheureusement on n'a pu recueillir que des données s'étalant de 1954-1969 pour six stations (Ghazaouet, Oran, Alger, Skikda, Annaba).

Le calcul des moyennes et des écarts-types de chaque station de cette période sont donnés dans le tableau III.5.

La figure III.6 montre que les faibles quantités des pluies sont enregistrées au niveau des stations de l'Ouest (le minimum est de 371.9 mm d'eau à Ghazaoueat). Les stations les plus pluvieuses se trouvent à l'Est et au Centre (le maximum est enregistré à El Kala avec 839.4 mm).

Station	Gha.	Ora.	Alg.	Ski.	Ann.	Elk.
Moyenne(mm)	371.9	386.0	698.3	819.2	602.3	839.4
Ecart-type	119.1	74.6	172.2	188.7	154.5	200.9

Tableau.III.5 Paramètres statistiques des pluies annuelles (période de référence)

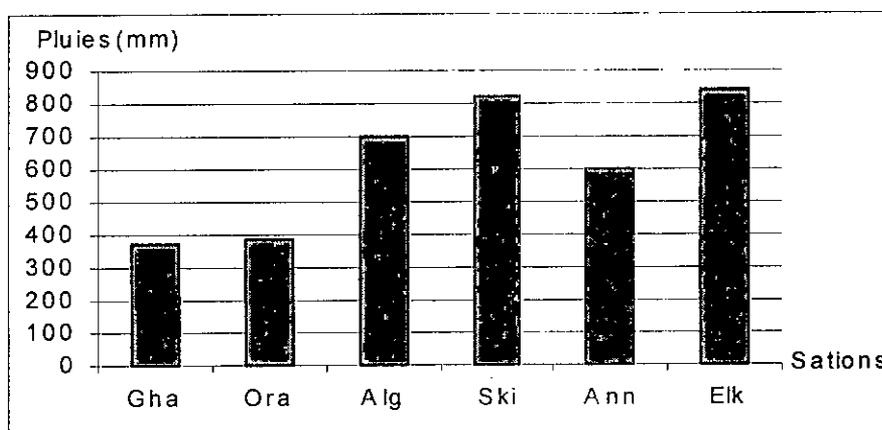


Figure III.6 Répartition des moyennes des pluies annuelles sur le littoral algérien (1954-1969)

L'analyse de cette figure montre que l'inégalité des précipitations observée pendant la période totale est conservée durant cette période, en effet les régions Centre et Est sont plus pluvieuses par rapport à celles de l'Ouest, et cela est due aux mêmes constatations précitées.

III.5 Etude comparative entre les deux périodes

a) Comparaison entre les deux périodes d'études

Afin de comparer les deux périodes étudiées (1954-1969) et (1970-1999), on a représenté dans la figure III.7 les moyennes annuelles de chaque station, on remarque que :

Toutes les stations étudiées présentent un écart non significatif (le maximum avec 16% est enregistré à El Kala). Seule la station de Annaba a connu un apport pluviométrique de 7.7% par rapport à la période de référence.

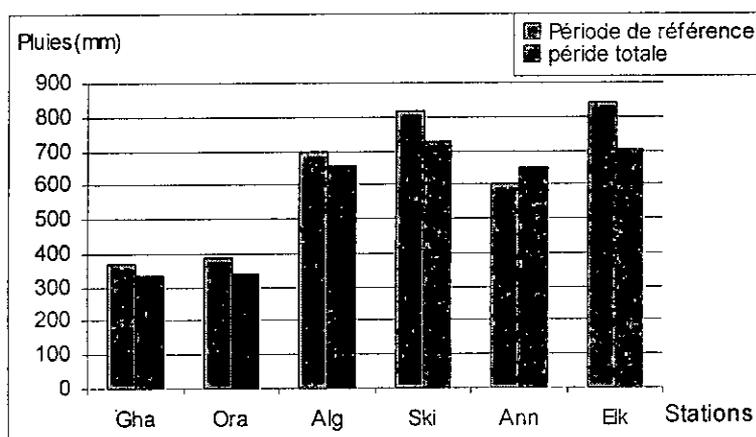


Figure III.7 Comparaison des moyennes des pluies annuelles entre les deux périodes

On remarque que les déficits entre les deux périodes (référence et totale) sont insignifiants, en effet le déficit le plus élevé est enregistré à la station d'El Kala, et il est de 16%.

Sur la base d'une comparaison entre les deux périodes pour chaque régions on a constaté que toutes les régions ont connu une diminution des précipitations entre les deux périodes, en effet les déficits enregistrés sont insignifiants, tel que, il est de l'ordre de 10.7% à l'Ouest, 6% au Centre et de 8% à l'Est.

b) Comparaison entre la période de référence et les trois décennies

La figure III.8 représente la répartition des moyennes des précipitations annuelles entre la période de référence et les trois décennies.

L'examen de cette figure montre que la première décennie est plus pluvieuse à l'ouest et au Centre qu'à l'Est par rapport à la période de référence, en effet les stations de Ghazaouet, Oran et Alger ont connu des apports évalués respectivement de 5.8, 5.9 et de 13.2% dans les stations de Ghazaouet, Oran et Alger par rapport à la période de référence, par contre toutes les stations de la région Est ont connu des déficits pluviométriques, avec un maximum de 19.8% enregistré à Skikda.

Les deux dernières décennies sont moins pluvieuses pour toutes les régions par rapport à la période de référence, excepté la station de Annaba.

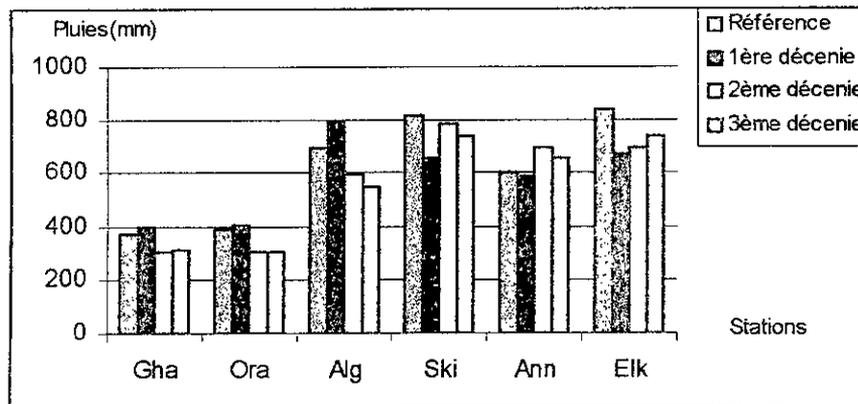


Figure III.8 Comparaison entre les moyennes des pluies annuelles de la période de référence et les trois décennies

III.6 détermination des années caractéristiques

La sécheresse peut toucher aussi bien les zones semi-arides que les zones humides, qui sont normalement arrosées, ses conséquences peuvent être désastreuses même dans les pays très développés.

L'étude de la sécheresse, eu égard à son impact social, économique et environnemental, qui intéresse plusieurs disciplines (climatologie, agronomie, hydrologie, économie, etc.). Ce concept diffère selon le domaine considéré, ainsi, on peut distinguer quatre grands types de sécheresses : météorologique, socio-économique, agricole et hydraulique.

En météorologie, la sécheresse est caractérisée par un déficit, voire une absence ou une mauvaise distribution des pluies par référence à une normale (valeur moyenne de trois décennies).

La sécheresse socio-économique se traduit par une production insuffisante de biens essentiels (énergie hydroélectrique, approvisionnement en eau potable, industrie, irrigation, etc.) et a un impact significatif sur la vie des communautés suite au déficit hydrique.

La sécheresse agricole, est définie comme étant un déficit pluviométrique marqué et suffisant pouvant entraîner une réduction significative de la production agricole.

Enfin, la sécheresse hydrologique, à la quelle on s'intéresse, est liée à tout déficit pluviométrique prolongé entraînant une baisse significative des niveaux des cours d'eau et nappes phréatiques.

On remarque ainsi que toutes ses définitions, aussi simples soient-elles, sont fondées sur un concept essentiel, à savoir : le déficit pluviométrique. Toutefois la définition de ce terme est loin d'être aussi simple.

Le but de cette partie est de déterminer la pluviosité propre à chaque année, en calculant l'écart à la moyenne, E_i , qui correspond à l'excédant ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne du nombre d'années d'observations.

Dans notre cas on a calculé la pluviosité pour chaque station (période totale et période de référence) et pour les trois régions (Ouest, Centre, Est).

$$E_i = ((P_i - \bar{P}) / \bar{P}) \times 100$$

Pour mieux voir cette pluviosité (tableau III.6) on l'a caractérisée par un indice pluviométrique I calculé pour un seuil α ($\alpha = 10\%$, $\alpha = 20\%$) tel que :

Indice	Ecart	Etat de l'année
$I = 1^+$	$E_i > \alpha$	Année humide
$I = 0^+$	$0 < E_i < \alpha$	Année normale
$I = 0^-$	$-\alpha < E_i < 0$	Année normale
$I = 1^-$	$E_i < -\alpha$	Année sèche

Tableau III.6 Indice pluviométrique

III.7 Analyse des résultats

L'approche préconisée a été appliquée sur chaque région, les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux (III.7-III.8-III.9).

l'analyse de résultats montre que :

le déficit de l'année hydrologique 1987/1988 est de 13.7% à l'Ouest, de 20% à l'Est, et de 26.9% au Centre.

L'année de 1989/1990 est caractérisée par un déficit de 3.2% à l'Ouest, de 19.7% à l'est et de 48.3% au Centre.

L'année de 1971/1972 était caractérisée par un apport de 51.5% à l'Ouest, de 40.8% au Centre, contrairement à la région Est qui a connu un déficit de 2%.

En 1972/1973 l'apport à l'Ouest était de 40.6%, au Centre de 86.4% mais à l'Est, n'a été que de 17.3%.

Années	Ecart pluviométrique de la région Est (%)	Indice pluviométrique Seuil de 10%	Indice pluviométrique Seuil de 20%
1970/1971	-8,3	0-	0-
1971/1972	-2	0-	0-
1972/1973	17,3	1+	0+
1973/1974	-20,3	1-	1-
1974/1975	-9,8	0-	0-
1975/1976	-0,1	0-	0-
1976/1977	2	0+	0+
1977/1978	-3,7	0-	0-
1978/1979	4	0+	0+
1979/1980	-15,2	1-	0-
1980/1981	6,5	0+	0+
1981/1982	5,8	0+	0+
1982/1983	-16,8	1-	0-
1983/1984	13,8	1+	0+
1984/1985	36,9	1+	1+
1985/1986	-9,7	0-	0-
1986/1987	27,5	1+	1+
1987/1988	-21,1	1-	1-
1988/1989	-9,3	0-	0-
1989/1990	-19,7	1-	0-
1990/1991	4,5	0+	0+
1991/1992	11,5	1+	0+
1992/1993	0,5	0+	0+
1993/1994	-20,2	1-	1-
1994/1995	-1,1	0-	0-
1995/1996	19,5	1+	0+
1996/1997	-36	1-	1-
1997/1998	31,2	1+	1+
1998/1999	11,3	1+	0+

Tableau III.7 Ecart et l'indice pluviométrique de la région Est (1970-1999)

Années	Ecart pluviométrique de la région Centre (%)	Indice pluviométrique Seuil de 10%	Indice pluviométrique Seuil de 20%
1970/1971	8,1	0+	0+
1971/1972	40,8	1+	1+
1972/1973	86,4	1+	1+
1973/1974	37	1+	1+
1974/1975	5,1	0+	0+
1975/1976	25,3	1+	1+
1976/1977	-15,4	1-	0-
1977/1978	6,8	0+	0+
1978/1979	-9,4	0-	0-
1979/1980	21,9	1+	1+
1980/1981	-2,8	0-	0-
1981/1982	-14,3	1-	0-
1982/1983	-2,2	0-	0-
1983/1984	-8,5	0-	0-
1984/1985	42,2	1+	1+
1985/1986	-13,9	1-	0-
1986/1987	5,1	0+	0+
1987/1988	-26,9	1-	1-
1988/1989	-21,2	1-	1-
1989/1990	-48,3	1-	1-
1990/1991	-26,5	1-	1-
1991/1992	-2,3	0-	0-
1992/1993	-16,7	1-	0-
1993/1994	-35,9	1-	1-
1994/1995	-18,8	1-	0-
1995/1996	15,4	1+	0+
1996/1997	-30,7	1-	1-
1997/1998	0,6	0+	0+
1998/1999	-0,8	0-	0-

Tableau III.8 Ecart et l'indice pluviométrique de la région Centre (1970-1999)

Années	Ecart pluviométrique de la région Ouest (%)	Indice pluviométrique Seuil de 10%	Indice pluviométrique Seuil de 20%
1970/1971	25	1+	1+
1971/1972	51,5	1+	1+
1972/1973	40,6	1+	1+
1973/1974	32,9	1+	1+
1974/1975	40	1+	1+
1975/1976	2,8	0+	0+
1976/1977	0,7	0+	0+
1977/1978	-7	0-	0-
1978/1979	-24,3	1-	1-
1979/1980	13	1+	0+
1980/1981	2,7	0+	0+
1981/1982	-57,8	1-	1-
1982/1983	-37,5	1-	1-
1983/1984	-19,5	1-	0-
1984/1985	-11,2	1-	0-
1985/1986	27	1+	1+
1986/1987	9	0+	0+
1987/1988	-13,7	1-	0-
1988/1989	-18,2	1-	0-
1989/1990	-3,2	0-	0-
1990/1991	13,2	1+	0+
1991/1992	14,8	1+	0+
1992/1993	-15,6	1-	0-
1993/1994	-17,1	1-	0-
1994/1995	-15,3	1-	0-
1995/1996	16,8	1+	0+
1996/1997	-21,7	1-	1-
1997/1998	-11,3	1-	0-
1998/1999	-16,8	1-	0-

Tableau III.9 Ecart et l'indice pluviométrique de la région Ouest (1970-1999)

III.8 Calcul des fréquences des années de sécheresses

Le calcul de cette fréquence permet de déterminer la probabilité d'apparition d'une année où le déficit est supérieur à 20%, elle est donnée par la relation suivante :

$$f = (\text{nombre d'années sèches} / \text{nombre d'années totales}) \times 100$$

a) A l'échelle régionale

On remarque que le nombre d'années sèches à l'Ouest pendant la période étudiée est de 4, soit une fréquence d'apparition d'une sécheresse de 13.8%, ce nombre augmente au Centre jusqu'à 6 années, ce qui donne une fréquence de 20.7% (soit en moyenne une année sèche tous les cinq ans).

b) A l'échelle des stations

Afin de déterminer les stations les plus touchées par ces déficits on a procédé de la même manière pour calculer l'écart et l'indice pluviométrique. Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux (III.10-III.11 et III.12).

On remarque que la station de Tlemcen a connu 4 années de sécheresse consécutive entre 1981 et 1985, ainsi que la station d'Alger entre 1987 et 1991.

La station d'Arzew a connu une succession de 6 années déficitaires de plus de 20% entre 1977 et 1983.

En 1981/1982, les cinq stations de l'Ouest ainsi que la station d'Alger, ont connu un déficit supérieur à 10%.

En 1982/1983, toutes les stations ont connu un déficit supérieur à 10%, sauf les stations d'Alger, Skikda et Annaba, qui ont connu respectivement des déficits de 2.2%, 7.1% et 1.5%.

En 1996/1997 toutes les stations ont connu un déficit supérieur à 30%, excepté la station de Ghazawat qui n'a connu qu'un déficit de 13.2%, contrairement aux deux stations d'Arzew et de Béjaia qui ont connu respectivement des apports de 5.9 et 5%.

Stations Années	Gha.	Tlm.	Ora.	Arz.	Mos.	Alg.	Bej.	Jij.	Ski.	Ann.	Kal.
1970/1971	0,8	33,9	37,3	-0,4	44	8,1	-10,5	-6,6	12,1	-15,9	-22,3
1971/1972	36,6	41,3	57,4	98	39,3	40,8	14,1	17,4	-1,5	-12,3	-36
1972/1973	87,5	55,7	12,8	8,5	25,1	86,4	33,8	27,1	10,3	21,5	-10,2
1973/1974	26,6	52,2	55,2	10,7	6,4	37	13,5	-5,1	-44,1	-31,9	-41,6
1974/1975	20,2	50,2	38,2	51,8	38,8	5,1	5,8	-14,3	-19,9	-30,7	8,5
1975/1976	-66,8	45,9	3,8	14,7	4,7	25,3	18,9	9	-10,4	-23,1	-1,2
1976/1977	18,5	16,9	8,1	-4,3	-43,9	-15,4	-13,6	7,4	-24,8	17	25,9
1977/1978	44,2	-0,9	-23,6	-21,2	-39,8	6,8	-0,6	-8,9	-13,3	-15,6	20,4
1978/1979	-21,7	1,6	-15,8	-47,5	-54	-9,4	-12,6	-2,7	14,8	4,5	19,1
1979/1980	24,2	23,1	26,5	-33	8,9	21,9	-27,5	-11,7	-20,1	-11,9	-4,3
1980/1981	4,3	11,5	2,9	-33	15,9	-2,8	24,2	8,6	18,8	-0,7	-21,8
1981/1982	-55,5	-50,5	-59,6	-68,4	-60,1	-14,3	5,8	-4	12,4	17,7	0,9
1982/1983	-58,8	-57,5	-12,3	-35,6	-15,7	-2,2	-20,8	-29,1	-7,1	-1,5	-20,5
1983/1984	-32,4	-34,2	-9,3	-9,1	-4,3	-8,5	2,2	0,1	22,1	45,8	6,3
1984/1985	14	-38,3	-1	-5,8	-14,3	42,2	32,2	22,6	43,4	48,6	42,9
1985/1986	62,6	10,4	4,3	22,5	40,5	-13,9	-6,9	4,5	-13,4	-17,6	-20,2
1986/1987	3,7	29,2	-14,4	28,4	-3,9	5,1	18,6	6,9	41,1	42,1	36,6
1987/1988	-35,9	-33,4	10,4	0,2	0,7	-26,9	-11,2	-22,7	-19,5	-32,2	-15,4
1988/1989	-2,3	-16	-21,6	-21,9	-31,2	-21,2	-8,6	2,4	-15,7	-14,7	-13,8
1989/1990	2,4	-10,8	8,4	-28,8	9,1	-48,3	-30,4	-29,9	-3,7	-17,8	-12,9
1990/1991	-18,1	14,3	25,2	32,2	16,8	-26,5	8,1	17,4	21,9	5,8	-35,3
1991/1992	-0,5	31,4	5,8	26,8	7,6	-2,3	15,6	10,3	12,1	5,3	13,8
1992/1993	19,9	-18,3	-27,6	-24,9	-28,7	-16,7	-10,2	7,3	-13	-0,2	18,1
1993/1994	-19,8	-17,9	-20,2	-4,6	-19,7	-35,9	-41,4	-17,2	-4,9	-16,2	-20,5
1994/1995	10,2	-42,4	-6,9	-0,2	-24,1	-18,8	-3,2	8,2	3,3	-15,5	-2,1
1995/1996	-25,2	-7,4	30,2	29	70,5	15,4	7,6	22,1	-6,5	23,8	52,1
1996/1997	-13,2	-42,3	-48,9	5,9	5	-30,7	-42,4	-31,2	-37,7	-35,1	-34,4
1997/1998	-11,5	-18,3	-40,6	11,9	11,4	0,6	26,2	12	40,4	42,9	41,4
1998/1999	-14,1	-29,4	-24,8	-2	-5,1	-0,8	13,3	-0,2	3	17,9	26,4

Tableau III.10 Ecart pluviométrique des stations du littoral pour la période d'étude

Stations Années	Gha.	Tlm.	Ora.	Arz.	Mos.	Alg.	Bej.	Jij.	Ski.	Ann.	Kal.
	1970/1971	0+	1+	1+	0-	1+	0+	1-	0-	1+	1-
1971/1972	1+	1+	1+	1+	1+	1+	1+	1+	0-	1-	1-
1972/1973	1+	1+	1+	0+	1+	1+	1+	1+	1+	1+	1-
1973/1974	1+	1+	1+	1+	0+	1+	1+	0-	1-	1-	1-
1974/1975	1+	1+	1+	1+	1+	0+	0+	1-	1-	1-	0+
1975/1976	1-	1+	0+	1+	0+	1+	1+	0+	1-	1-	0-
1976/1977	1+	1+	0+	0-	1-	1-	1-	0+	1-	1+	1+
1977/1978	1+	0-	1-	1-	1-	0+	0-	0-	1-	1-	1+
1978/1979	1-	0+	1-	1-	1-	0-	1-	0-	1+	0+	1+
1979/1980	1+	1+	1+	1-	0+	1+	1-	1-	1-	1-	0-
1980/1981	0+	1+	0+	1-	1+	0-	1+	0+	1+	0-	1-
1981/1982	1-	1-	1-	1-	1-	1-	0+	0-	1+	1+	0+
1982/1983	1-	1-	1-	1-	1-	0-	1-	1-	0-	0-	1-
1983/1984	1-	1-	0-	0-	0-	0-	0+	0+	1+	1+	0+
1984/1985	1+	1-	0-	0-	1-	1+	1+	1+	1+	1+	1+
1985/1986	1+	1+	0+	1+	1+	1-	0-	0+	1-	1-	1-
1986/1987	0+	1+	1-	1+	0-	0+	1+	0+	1+	1+	1+
1987/1988	1-	1-	1+	0+	0+	1-	1-	1-	1-	1-	1-
1988/1989	0-	1-	1-	1-	1-	1-	0-	0+	1-	1-	1-
1989/1990	0+	1-	0+	1-	0+	1-	1-	1-	0-	1-	1-
1990/1991	1-	1+	1+	1+	1+	1-	0+	1+	1+	0+	1-
1991/1992	0-	1+	0+	1+	0+	0-	1+	1+	1+	0+	1+
1992/1993	1+	1-	1-	1-	1-	1-	1-	0+	1-	0-	1+
1993/1994	1-	1-	1-	0-	1-	1-	1-	1-	0-	1-	1-
1994/1995	1+	1-	0-	0-	1-	1-	0-	0+	0+	1-	0-
1995/1996	1-	0-	1+	1+	1+	1+	0+	1+	0-	1+	1+
1996/1997	1-	1-	1-	0+	0+	1-	1-	1-	1-	1-	1-
1997/1998	1-	1-	1-	1+	1+	0+	1+	1+	1+	1+	1+
1998/1999	1-	1-	1-	0-	0-	0-	1+	0-	0+	1+	1+

Tableau III.11 Indice pluviométrique pour un seuil de 10%

Stations Années	Gha.	Tlm.	Ora.	Arz.	Mos.	Alg.	Bej.	Jij.	Ski.	Ann.	Kal.
	1970/1971	0+	1+	1+	0-	1+	0+	0-	0-	0+	0-
1971/1972	1+	1+	1+	1+	1+	1+	0+	0+	0-	0-	1-
1972/1973	1+	1+	0+	0+	1+	1+	1+	1+	0+	1+	0-
1973/1974	1+	1+	1+	0+	0+	1+	0+	0-	1-	1-	1-
1974/1975	1+	1+	1+	1+	1+	0+	0+	0-	0-	1-	0+
1975/1976	1-	1+	0+	0+	0+	1+	0+	0+	0-	1-	0-
1976/1977	0+	0+	0+	0-	1-	0-	0-	0+	1-	0+	1+
1977/1978	1+	0-	1-	1-	1-	0+	0-	0-	0-	0-	1+
1978/1979	1-	0+	0-	1-	1-	0-	0-	0-	0+	0+	0+
1979/1980	1+	1+	1+	1-	0+	1+	1-	0-	1-	0-	0-
1980/1981	0+	0+	0+	1-	0+	0-	1+	0+	0+	0-	1-
1981/1982	1-	1-	1-	1-	1-	0-	0+	0-	0+	0+	0+
1982/1983	1-	1-	0-	1-	0-	0-	1-	1-	0-	0-	1-
1983/1984	1-	1-	0-	0-	0-	0-	0+	0+	1+	1+	0+
1984/1985	0+	1-	0-	0-	0-	1+	1+	1+	1+	1+	1+
1985/1986	1+	0+	0+	1+	1+	0-	0-	0+	0-	0-	1-
1986/1987	0+	1+	0-	1+	0-	0+	0+	0+	1+	1+	1+
1987/1988	1-	1-	0+	0+	0+	1-	0-	1-	0-	1-	0-
1988/1989	0-	0-	1-	1-	1-	1-	0-	0+	0-	0-	0-
1989/1990	0+	0-	0+	1-	0+	1-	1-	1-	0-	0-	0-
1990/1991	0-	0+	1+	1+	0+	1-	0+	0+	1+	0+	1-
1991/1992	0-	1+	0+	1+	0+	0-	0+	0+	0+	0+	0+
1992/1993	0+	0-	1-	1-	1-	0-	0-	0+	0-	0-	0+
1993/1994	0-	0-	1-	0-	0-	1-	1-	0-	0-	0-	1-
1994/1995	0+	1-	0-	0-	1-	0-	0-	0+	0+	0-	0-
1995/1996	1-	0-	1+	1+	1+	0+	0+	1+	0-	1+	1+
1996/1997	0-	1-	1-	0+	0+	1-	1-	1-	1-	1-	1-
1997/1998	0-	0-	1-	0+	0+	0+	1+	0+	1+	1+	1+
1998/1999	0-	1-	1-	0-	0-	0-	0+	0-	0+	0+	1+

Tableau III.12 Indice pluviométrique avec un seuil de 20%

III.10 Conclusion

A partir des résultats de ce chapitre on peut conclure que La pluviométrie sur le littoral algérien n'est pas uniforme, et que la différence des apports pluviométriques est très significative entre la région Ouest et celles du Centre et de l'Est.

L'étude comparative entre les trois décennies montre que l'écart pluviométrique entre les deux dernières décennies pour les trois régions est insignifiant, car le plus important déficit est de 8% enregistré à la station d'Alger, d'où la persistance du même régime pluviométrique durant les deux dernières décennies.

L'étude comparative entre les décennies nous a révélée que :

➤ A l'Ouest :

La deuxième décennie est la plus déficitaire par rapport aux deux autres décennies, en effet ce déficit est de 26% par rapport à la première alors qu'il n'est que de 12% par rapport à la période totale et de 19.2% par rapport à la période de référence.. on remarque en outre qu'il y a une succession de deux années sèches où le déficit dépasse les 37% durant les années hydrologiques (1981/1982 et 1982/1983).

Toutes les années de la première décennie ont connu des surplus (le maximum est de 51.5% en 1971/ 1972), excepté les deux années 1977/1978 et 1978/1979 qui ont connu des déficits respectivement de 7% et 24%.

Il y a une succession d'années déficitaires pour le seuil supérieur à 10% durant les deux dernières décennies.

➤ Au Centre :

On a constate que la troisième décennie est la plus déficitaire par rapport aux deux autres décennies, en effet ce déficit est de 30.7% par rapport à la première décennie, alors qu'il n'est que de 16% par rapport à la période totale et de 21.5% par rapport à la période de référence, en outre le nombre d'années où le déficit et le surplus dépasse les 20% sont égales.

Il y a une succession de quatre années sèches où le déficit dépasse 20%.

Toutes les années de la première décennie ont connu un surplus (le maximum est de 86.4% en 1972/1973), excepté les deux années 1976/1977 et 1978/1979 qui ont connu des déficits respectivement de 15.4% et 9.4%.

Il y a une succession des années déficitaires pour le seuil supérieur à 20%.

➤ A l'Est :

La première décennie est la moins pluvieuse par rapport aux deux autres décennies, en effet son déficit est de 5% par rapport à la deuxième décennie, de 3.6% par rapport à la période de référence et de 15.2% par rapport à la période de référence.

Le nombre d'années où le déficit est supérieur à 20% est quatre.

Toutes les années de la première décennie ont connu un déficit (le maximum est de 20.3% en 1973/1974), excepté les trois années 1972/1973, 1976/1977 et 1978/1979 qui ont connu des surplus respectivement 17.3%, 2% et 4%.

Il y a une succession d'années déficitaires durant la première décennie.

Etude du régime pluviométrique par l'Analyse en Composantes Principales

IV.1 introduction

L'analyse en composante principale permet d'étudier les données en tenant compte de leurs caractères multidimensionnels, c'est une méthode particulièrement puissante qui consiste à trouver un nouvel espace où sont représentées les variables en perdant le moins possible d'informations. Elle est basée sur l'étude de la covariance ou de la corrélation entre variables, les résultats sont donnés sous forme d'indice ou de représentation graphique permettant de les interpréter.

IV.2 Principe de la méthode :

Dans la pratique, on a affaire le plus souvent à des fichiers composés de variables à grande dimension. Ces variables peuvent être représentées par le vecteur X tel que :

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$$

Le vecteur X représente une masse énorme d'informations. Ainsi, il faudrait procéder à une condensation de cette dernière en introduisant une nouvelle base de données définie par le vecteur Z tel que le nombre M de nouvelles variables soient inférieur au nombre initial N . On a alors :

$$Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_M]$$

Avec $M < N$

Le passage de la base de vecteurs X à la base de vecteurs Z se fait par le biais d'une transformation orthogonale exprimée sous forme d'une matrice A . D'où :

$$Z = A X$$

Il résulte de cette transformation, deux propriétés essentielles qui sont :

Les variables $[Z_1, Z_2, \dots, Z_M]$ générées sont décorrélées, c'est à dire que la matrice de covariance du nouveau système est diagonale.

La variance totale associée aux variables initiales X , est conservée dans les nouvelles variables Z et elle est redistribuée sur celles-ci de façon que la plus grande proportion se retrouve dans les premières composantes.

La procédure de détermination des composantes principales consiste donc à trouver la matrice de transformation A. Cette procédure débute par le calcul de la matrice 'variance-covariance'. Les matrices de covariance qui lient les processus aléatoires d'entrée X et ceux de sortie Z sont de la forme :

$$V_y = E(Z Z^T) = E[A.X.(A.X)^T] = E(A.X.X^T.A^T) = A[E(X.X^T)].A^T = A V_x A^T$$

E est l'espérance mathématique et V_x est la matrice de covariance associée au processus X

Comme les variables à générer sont décorrélées et sont de variance décroissante, la matrice 'variance-covariance' V_y est une matrice diagonale dont les éléments diagonaux sont classés dans l'ordre des valeurs décroissantes. Pour montrer que V_y est diagonale, nous utilisons la décomposition spectrale de la matrice symétrique V_x .

Soit V_x une matrice symétrique dont les valeurs propres sont $\lambda_i > 0$.

Avec $i = 1, 2, \dots, N$.

Les vecteurs propres normalisés sont d_1, d_2, \dots, d_N .

On peut donc écrire que:

$$V_x = \sum_{i=1}^N \lambda_i d_i d_i^T$$

$$\text{avec: } \begin{array}{ll} d_i d_i^T = 1 & \text{pour } i = j \\ d_i d_j^T = 0 & \text{pour } i \neq j \end{array}$$

Considérons une matrice D qui soit orthogonale et qui soit formée des vecteurs propres normalisés $[d_1, d_2, \dots, d_N]$, la matrice V_x s'écrira :

$$V_x = D V D^T$$

avec:

$$V = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \lambda_2 & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \lambda_n \end{bmatrix}$$

$$\text{et } \lambda_i > 0 \text{ pour } i = 1, 2, \dots, N$$

$$\text{Or: } D D^T = D^T D = I$$

où I est la matrice identité.

En posant $A = D^T$, on trouve que :

$$A V_x A^T = A D V D^T A^T = D^T D V D^T D = I V I = V$$

Par suite, on aura :

$$A V_x A^T = V_y = V$$

La matrice de transformation $A = D^T$, est la matrice transposée des vecteurs normalisés qui composent V_x . Après calcul des vecteurs propres, les composantes principales sont déterminées en procédant l'application de la transformation linéaire suivante :

$$Z = A X = D^T X$$

Avec :

$$z_i = d_{1i} x_1 + d_{2i} x_2 + \dots + d_{Ni} x_i$$

Ses propriétés sont les suivantes:

$$\text{Var}[z_i] = \lambda_i \quad \text{pour } i = 1, 2, \dots, N$$

$$\text{Cov}[z_i, z_k] = 0 \quad \text{pour } i \neq k$$

La variance du vecteur X est aussi la trace de sa matrice 'variance-covariance' V_x

Elle est donnée par l'équation suivante :

$$\text{Tr}(V_x) = |V_x| = \sum_{i=1}^N \text{Var}(x_i)$$

IV.3 Qualité des résultats d'une A.C.P

L'analyse en composantes principales construite de nouvelles variables artificielles, et des représentations graphiques permettent de visualiser les relations entre variables, ainsi que l'existence éventuelle de groupes d'individus et de groupes de variables.

IV.4 Représentation graphique

Les résultats d'une A.C.P. sont représentés dans un cercle unité s'appelle cercle de corrélation, l'axe (1) représente la première composante principale (C_1) et l'axe (2) représente la deuxième composante principale (C_2).

Pour cela on calcule la matrice des corrélations entre les composantes principales et les variables de la série d'observation X , dont la corrélation est donnée par la formulation suivante :

$$R = \frac{\text{Cov}(Z_j, X_i)}{\sqrt{\text{var}(Z_j)}\sqrt{\text{var}(X_i)}}$$

Les variables sont représentées sur un cercle par des points dont l'abscisse est la corrélation entre la première composante principale et la première variable d'observation, et l'ordonnée est la corrélation entre la première composante principale et la deuxième variable d'observation.

Remarque :

La distance d'une variable à l'origine des axes est égale à sa norme (son écart type). Le cosinus de l'angle formé par deux variables est égal à leur coefficient de corrélation.

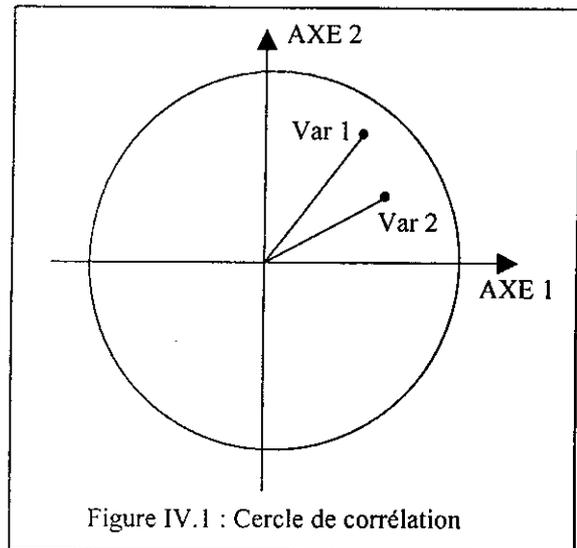


Figure IV.1 : Cercle de corrélation

IV.5 Etude des précipitations par l'analyse en composantes principales

On a appliqué une A.C.P normée aux données pluviométriques annuelles et mensuelles pour les onze stations étudiés, en tenant compte de la période totale et des trois décennies, ainsi qu'à la période de référence.

Cette procédure permet d'illustrer s'il y a une variation dans la contribution de chaque variable, ainsi que la qualité de la représentation des variables sur le plan principal.

IV.5.1 Résultats de L'A.C.P sur les totaux annuels pluviométriques

a) Période totale

L'application de cette méthode sur les données pluviométriques annuelles de la période étudiée donne les résultats suivants :

La matrice de corrélation inter-stations est donnée dans le tableau IV.1 suivant :

R(%)	Gha	Tle	Ora	Arz	Mos	Alg	Bej	Jij	Ski	Ann	Elk
Gha	1.000										
Tle	.490	1.000									
Ora	.346	.690	1.000								
Arz	.300	.521	.574	1.000							
Mos	.247	.464	.646	.669	1.000						
Alg	.436	.536	.432	.316	.326	1.000					
Bej	.187	.354	.186	.330	.224	.656	1.000				
Jij	.313	.336	.203	.365	.201	.546	.773	1.000			
Ski	-.119	-.117	-.215	-.015	-.021	.135	.543	.493	1.000		
Ann	-.067	-.197	-.274	-.075	-.115	.245	.521	.567	.779	1.000	
Elk	-.066	-.160	-.298	-.083	-.166	.114	.343	.372	.431	.678	1.000

Tableau IV.1 Matrice de corrélation de la période totale

Les résultats montrent que les coefficients de corrélations ne sont pas significatifs même entre les stations appartenant à la même région, en effet le coefficient de corrélation maximum à l'Ouest est enregistré entre tlemcen et Oran (0.690), et à l'Est entre Annaba et Skikda (0.779), est que la station d'Alger est bien corrélée avec celle de béjaia (0.656).

La matrice de covariance permet après diagonalisation de calculer les valeurs et vecteurs propres. En tenant compte des onze(11) variables, le calcul des valeurs propres conduit aux parts de variances globales consignées dans le tableau IV.2.

Dans le processus de calcul, les vecteurs propres sont déterminés dans l'ordre des valeurs propres décroissantes, une des principales propriétés de ces vecteurs propres et que leur somme est égale au nombre de variables, et qu'elles permettent de connaître la contribution de chacune des composantes principales à la variance totale du système.

N° des CP Période	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11
	1970-1999	36.43	29.04	9.07	5.86	4.91	3.92	3.63	2.54	2.08	1.57
Cumul des CP(%)	36.43	65.47	74.54	80.40	85.31	89.23	92.86	95.40	97.48	99.06	100.0

Tableau IV.2 Variance expliquée par chaque CP

➤ **Choix du nombre de CP**

En examinant l'apport de chaque composante, on constate que les deux premières CP donnent plus de 60% de la variance totale pour expliquer le phénomène étudié.

➤ **Interprétation graphique**

La représentation graphique (figure IV.2) des deux premières CP a permis par le biais des données pluviométriques de montrer l'effet régional des stations étudiées, en effet les stations de l'Ouest et celles de l'Est et Centre se trouvent groupées entre elles.

Cet effet est dû à la déférence importante des moyennes annuelles entre ces régions.

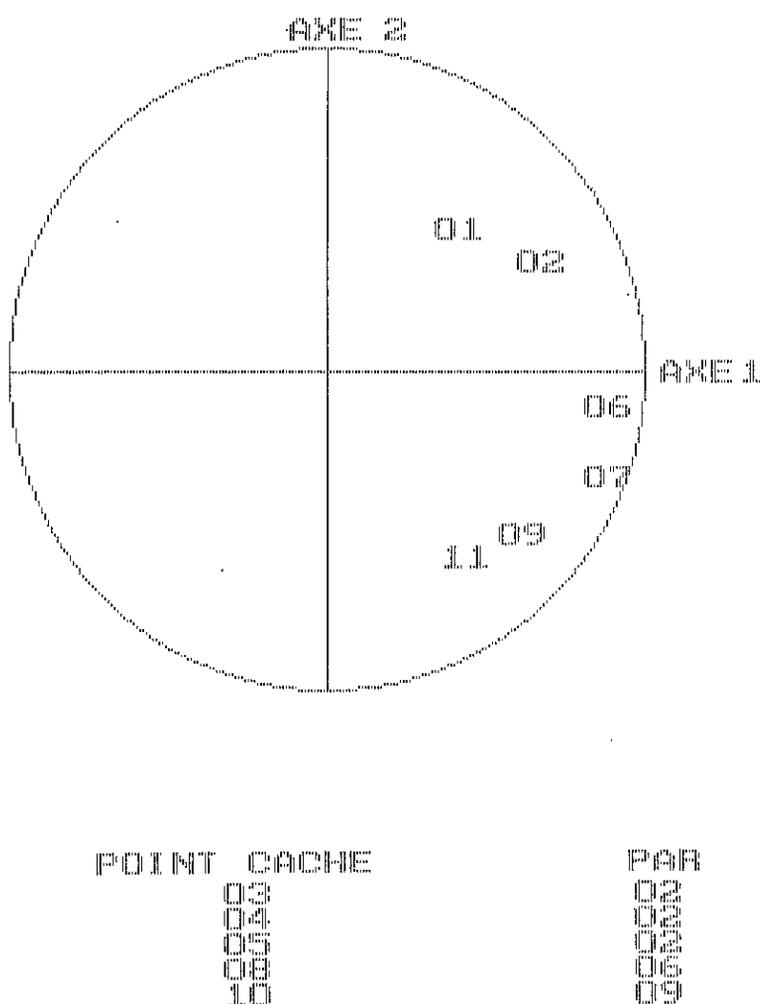


Figure IV.2 Cercle de corrélation des données annuelles (période totale)

b) Les trois décennies

Le traitement des données annuelles pour les trois décennies prise en considération ressort les résultats suivants :

Les matrices de corrélation inter-stations pour les trois décennies sont indiquées dans le tableau (IV.3-IV.4-IV.5).

R(%)	Gha	Tle	Ora	Arz	Mos	Alg	Bej	Jij	Ski	Ann	Elk
Gha	1.000										
Tle	.144	1.000									
Ora	.188	.706	1.000								
Arz	.167	.632	.679	1.000							
Mos	.194	.798	.781	.668	1.000						
Alg	.525	.676	.325	.342	.533	1.000					
Bej	.241	.695	.180	.545	.383	.754	1.000				
Jij	.260	.361	.021	.361	.126	.644	.657	1.000			
Ski	-.033	-.172	-.309	-.087	.090	.130	.068	.363	1.000		
Ann	.353	-.271	-.423	-.299	-.382	.135	-.023	.607	.461	1.000	
Elk	-.174	-.663	-.824	-.517	-.706	-.597	-.395	-.215	.103	.387	1.000

Tableau IV.3 Matrice de corrélation de la première décennie

R(%)	Gha	Tle	Ora	Arz	Mos	Alg	Bej	Jij	Ski	Ann	Elk
Gha	1.000										
Tle	.727	1.000									
Ora	.492	.353	1.000								
Arz	.628	.601	.568	1.000							
Mos	.696	.610	.850	.643	1.000						
Alg	.120	-.078	-.067	.210	-.117	1.000					
Bej	.214	.246	-.138	.163	-.091	.808	1.000				
Jij	.508	.358	-.121	.304	.012	.716	.879	1.000			
Ski	.066	.177	-.156	.138	-.145	.730	.816	.645	1.000		
Ann	-.084	-.049	-.312	.110	-.290	.723	.687	.595	.918	1.000	
Elk	.090	.067	-.162	.334	-.257	.694	.657	.578	.854	.848	1.000

Tableau IV.4 Matrice de corrélation de la deuxième décennie

R(%)	Gha	Tle	Ora	Arz	Mos	Alg	Bej	Jij	Ski	Ann	Elk
Gha	1.000										
Tle	-.119	1.000									
Ora	-.186	.629	1.000								
Arz	-.607	.494	.411	1.000							
Mos	-.630	.356	.565	.617	1.000						
Alg	-.224	.171	.117	.557	.478	1.000					
Bej	-.051	.403	.255	.536	.314	.790	1.000				
Jij	-.044	.412	.436	.600	.322	.763	.849	1.000			
Ski	-.104	.448	.218	.371	.104	.333	.764	.596	1.000		
Ann	-.266	.320	.146	.415	.429	.784	.874	.741	.741	1.000	
Elk	-.010	.060	.053	.136	.381	.857	.670	.585	.338	.799	1.000

Tableau IV.5 Matrice de corrélation de la troisième décennie

En analysant les trois tableaux, on constate que pour la première décennie le coefficient de corrélation maximum est de 0.798 enregistré entre les stations de Tlemcen et Mostaganem.

Pour la deuxième décennie, le maximum est enregistré entre Annaba et Skikda avec un coefficient de corrélation de 0.918.

Pour la troisième décennie on remarque que les stations d'Annaba et de Béjaia sont corrélées à 87% et que celle de Ghazaouet est corrélée négativement avec toutes les autres stations.

Le tableau IV.6 donne la contribution de chaque composante principale pour les différentes décennies prise en considération.

N° des CP(%)	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11
Période											
1970-1980	44.892	23.432	9.526	8.102	5.595	4.440	2.975	0.847	0.189	0.002	0.001
Cumul des CP(%)	44.892	68.324	77.850	85.952	91.547	95.987	98.962	99.809	99.998	100.00	100.00
1980-1990	44.680	32.363	8.067	5.798	3.979	2.170	1.619	0.947	0.374	0.001	0.000
Cumul des CP(%)	44.680	77.043	85.110	90.908	94.887	97.057	98.676	99.623	99.997	99.998	99.998
1990-1999	50.291	18.266	12.553	7.815	5.098	3.210	1.503	0.712	0.550	0.001	0.001
Cumul des CP(%)	50.291	68.557	81.110	88.925	94.023	97.233	98.736	99.448	99.998	99.999	100.00

Tableau IV.6 Contributions des composantes principales des trois décennies

Généralement, la première composante principale donne plus d'information sur la répartition des précipitations.

Le tableau IV.6 montre que les deux première CP expliquent plus de 68% de la variance totale pour les trois décennies.

➤ **Interprétation graphique**

1. Première décennie

Le cercle de corrélation (figure IV.3) montre que :

Les stations de l'Ouest sont plus regroupées entre elles que celle de l'Est, car la station de Jijel est regroupée avec celles de l'Ouest et la station d'El Kala oppose toutes les stations par le deuxième axe, en effet le tableau IV.3 montre que cette dernière est corrélée négativement avec la majorité des autres stations.

La station d'Alger est plus proche de celles de l'Est.

2. Deuxième décennie

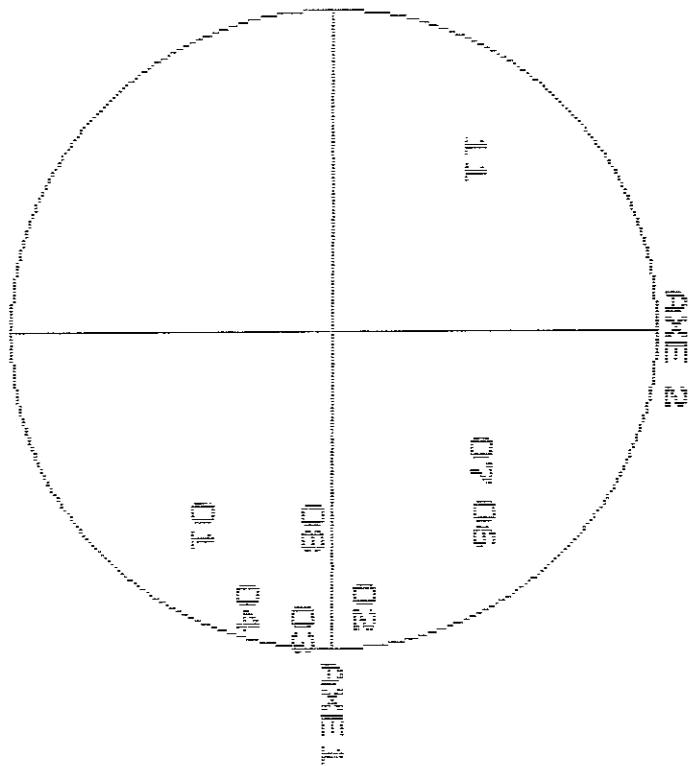
La figure IV.4 montre l'effet régional et les stations d'Oran, Alger, Bejaia et Jijel sont bien regroupées entre elles du fait qu'elles ont connu le même changement pluviométrique pendant cette période.

3. Troisième décennie

La figure IV.5 montre que l'effet régional est toujours respecté et que la station d'Alger est regroupée avec celles de l'Est.

Les stations de Ghazaouet, Tlemcen et Oran sont plus proches du centre du centre du cercle du fait que leur écart-type s'approche de zéro.

Figure IV.3 Cercle de corrélation de la première décennie



POINT CACHE
04
05
07
08
10
11

PAR
01
03
06
09

PROJECTION SUR LE PLAN FACTORIEL (1, 2)

Figure IV.4 Cercle de corrélation de la deuxième décennie

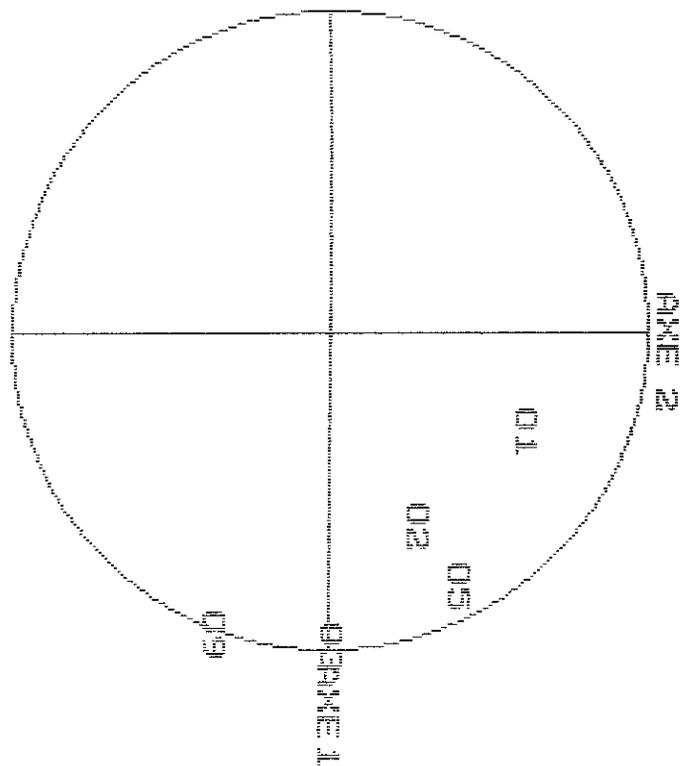
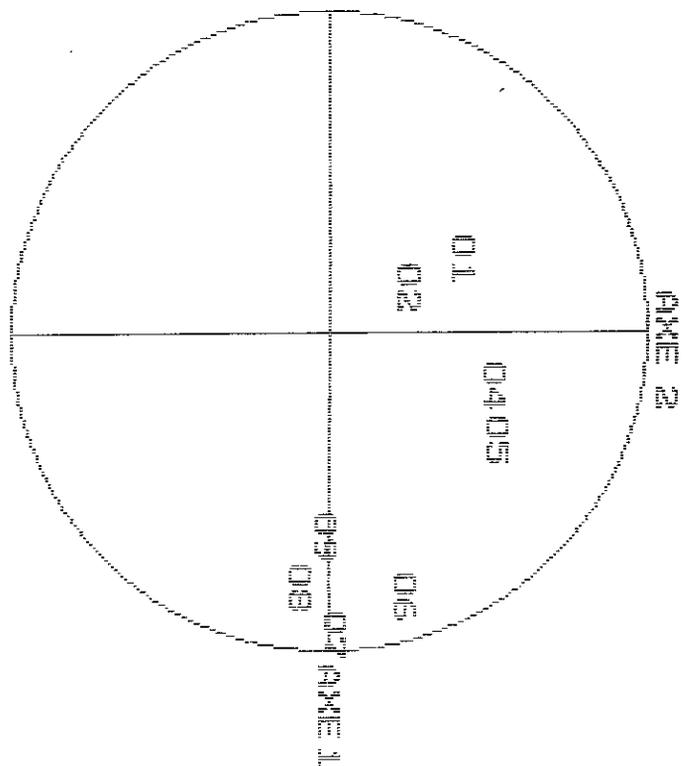


Figure IV.5 Cercle de corrélation de la troisième décennie



4. Comparaison entre les trois décennies

Sur la base des interprétations qui ont été faites pour chaque décennie à part, on constat que :

La variation de la répartition des stations de l'Ouest et Centre sur le cercle de corrélation entre la première et la deuxième décennie est dû à la diminution de leurs moyennes annuelles de la deuxième période par rapport à la première, ainsi Pendant la troisième décennie, on remarque que cette répartition est généralement conservée par rapport à la deuxième décennie.

Pour la région Est, la répartition des stations dans le cercle est presque la même pendant les trois décennies, excepté les stations d'El Kala et Skikda, cela signifie que les paramètres statistiques n'ont pas connu un grand changement d'une décennie à l'autre.

c) Résultats de l'A.C.P sur les totaux annuels de la période de référence

L'application de l'A.C.P a été effectuée sur les données pluviométriques annuelles des six stations du littoral (1954-1969).

La matrice de corrélations inter-stations est indiquée dans le tableau IV.7.

R(%)	Gha	Ora	Alg	Ski	Ann	Elk
Gha	1.000					
Ora	0.706	1.000				
Alg	0.020	0.201	1.000			
Ski	0.080	0.389	0.492	1.000		
Ann	0.241	0.464	0.544	0.829	1.000	
Elk	-0.283	-0.065	0.162	0.329	0.433	1.000

Tableau IV.7 Matrice de corrélation de la période de référence

Les résultats montrent que le coefficient de corrélation maximum dans la région Est est de (0.829) entre la station de Skikda et celle d'Annaba. La station d'Alger est bien corrélée avec les stations de l'Est.

La contribution de chaque CP est illustrée dans le tableau IV.8.

N° des CP	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Variance expliquée(%)	45.690	28.048	12.677	7.440	4.197	1.948
Cumul(%)	45.690	73.738	86.415	93.855	98.052	100.000

Tableau IV.8 Variance expliqué par chaque CP

Après avoir examiné ce tableau, on a constaté que la première CP ne dépasse pas 50%, pour minimiser les pertes d'informations, il est utile d'intégrer la deuxième CP où le pourcentage augmente à environ 74% de la variance totale.

➤ **Interprétation graphique**

Le cercle de corrélation (figure IV.6) montre l'effet régional entre les stations de l'Est et celles de l'Ouest, la station d'Alger est mieux corrélée avec celles de l'Est.

IV.5.2 Résultats de l'A.C.P sur les données mensuelles

L'analyse des résultats à l'échelle mensuelle permet de visualiser de près les variations climatiques d'un mois à un autre, étant donné que les totaux pluviométriques annuels varient dans des limites très larges. Ainsi, en tenant compte de la variation temporelle et spatiale des pluies à l'échelle intermensuelle, nous permet de voir s'il y a une nouvelle répartition des pluies mensuelle entre les différentes décennies prise en considération.

La contribution de chaque CP pour les différentes périodes est donnés dans l'Annexe IV.1-IV.2-IV.3.

a) Analyse des résultats de la période totale

En visualisant la contribution de chaque CP, on constate que la première CP est comprise pour chaque mois entre 45.72 et 65.88 %, le maximum est enregistré au mois de décembre avec presque 66%.

Les variances expliquées par la deuxième CP ne dépassent pas pour chaque mois les 30% de la variance totale, et elles expliquent bien le mois d'avril.

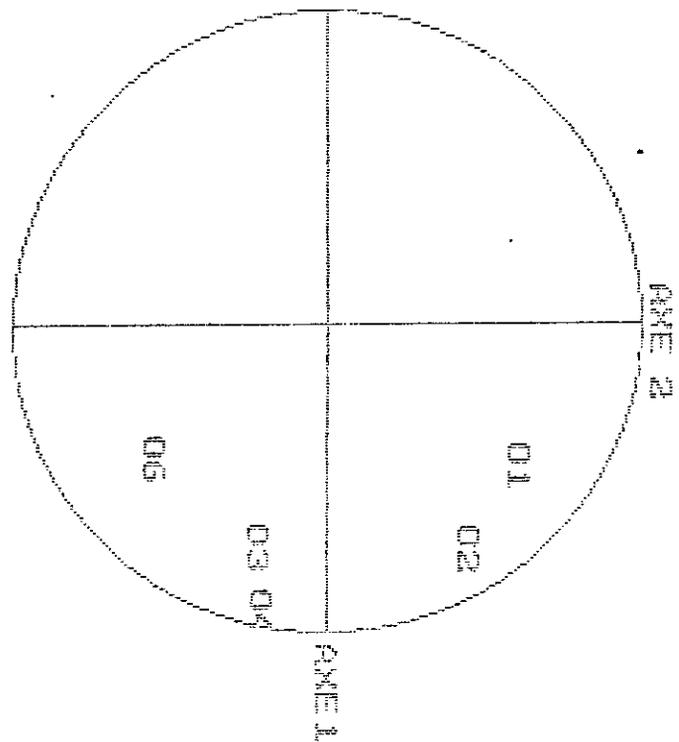
➤ **Interprétation graphique.**

La projection dans le plan des variables (Annexe IV.4) pour chaque mois permet de donner leurs caractéristiques en fonction des positions de leurs points représentatifs.

La première CP qui sert à expliquer le phénomène de la pluviométrie mensuelle (la moyenne du phénomène) et la deuxième CP qui contribue à expliquer la variance résiduelle ont permis par le biais des données mensuelles de montrer l'effet régional de la pluviométrie du littoral, en effet le premier axe explique la différence des moyennes mensuelles interannuelles entre les régions pour les mois de septembre à mars. le mois d'avril est bien expliqué par le deuxième axe qui montre aussi l'effet régional, ce qui signifie que le deuxième axe explique les Ecart-type.

La dispersion des stations commence dès le mois de mai, cela est dû à la variabilité mensuelle interannuelle des précipitations dans cette période. La station d'Alger se balance entre l'Est et l'Ouest.

Figure IV.6 Cercle de corrélation de la période de référence



b) Analyse des résultats des trois décennies

Les cercles de corrélations de chaque mois pour les trois décennies sont représentés en annexe IV.5.

Après avoir visualiser chaque décennie, on constate que le climat des mois de la saison automnale (septembre, octobre et novembre) et la saison de printemps (mars et avril) ont connu un changement pendant les deux dernières décennies relativement à la première décennie pour toutes les stations de l'Ouest et celle de Centre

Contrairement aux autres mois où l'effet régional est bien expliqué dans la plus part du temps pour les différentes décennies, excepté quelques stations qui s'éloignent aux autres, cela est dû à la variabilité irrégulière de la répartition des précipitations. Dès le mois de mai on constate une dispersion des stations d'une manière anarchique, ce qui signifie l'hétérogénéité de la variabilité des précipitations d'une station à l'autre

IV.6 Conclusion

L'analyse en composantes principales nous a permis non seulement de faire une comparaison entre les stations pluviométriques, mais aussi d'étudier le changement du régime par le graphisme pour les différentes périodes considérées.

Généralement la première CP explique l'effet de la moyenne et peut en outre nous renseigner sur la variabilité spatiale des précipitations (l'effet régional).

La deuxième CP nous a donnée de l'information sur la dispersion temporelle des précipitations des stations considérées.

A l'échelle annuelle, les stations de l'Ouest et Centre ont connu un changement du régime pluviométrique durant les deux dernières décennies, en effet on remarque un changement dans la position des stations entre ces deux décennies et la première par rapport à la période de référence et par rapport à la période totale.

Les stations de la région Est ont connu un changement durant la première décennie par rapport à la période de référence ce changement s'est stabilisé durant les deux dernière décennies.

A l'échelle mensuelle l'irrégularité spatiale des précipitations étant enregistrée généralement au niveau des mois de la saison automnale (septembre, octobre et novembre) et la saison du printemps (seulement mars et avril) pour les régions Ouest et Centre, donc cette irrégularité est dû à la variabilité inter saisonnière

Prévision des pluies mensuelles par le modèle ARMA

V.1 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 et d'éviter d'éventuelles situations (sécheresse, inondation, ...etc.), la prévision des précipitations est un moyen qui devient indispensable, elle donne les possibilités de prévoir les apports futurs qui permet 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 sur les plans cultureux possibles qui sont fonctions de la possibilité 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.

Il existe en hydrologie plusieurs modèles de prévision des pluies, dans notre cas nous avons utilisé les modèles autorégressifs à moyenne mobile 'ARMA' (AutoRegressif Moving Average).

On présente dans ce chapitre une étude théorique de ces modèles, en commençant par leur description puis la présentation des différentes étapes de modélisations :

Identification, estimation des paramètres, tests d'adéquation et de ressemblance des caractéristiques statistiques.

V.2 Description des modèles ARMA :

Les modèles mathématiques en hydrologie se classent en modèles stochastiques ou déterministes. Dans cette étude, on considère une classe de processus stochastiques en temps discret susceptible de modéliser les séries chronologiques des pluies. Ces séries se caractérisent par une indépendance entre observations successives, on supposera de plus qu'elles peuvent être représentées par des modèles linéaires.

Le modèle autorégressif (AR) présente un intérêt particulier dans la modélisation des séries chronologiques en hydrologie. Chaque valeur du processus est une somme pondérée et finie de p valeurs de celui-ci à laquelle on ajoute une variable aléatoire.

Un autre processus linéaire dit de moyenne mobile (MA) représente la valeur au temps t par la somme pondérée et finie de q valeurs antérieures d'une variable aléatoire ou bruit blanc.

La combinaison de ces deux modèles donne lieu au processus mixte autorégressif d'ordre p et de moyenne mobile d'ordre q , ARMA (p,q). Ce genre de modèles se prête généralement bien à la représentation des phénomènes.

En outre, les modèles ARMA peuvent être construits avec moins de paramètres à estimer qu'un modèle autorégressif de grand ordre. La flexibilité est obtenue en ajoutant la composante de moyenne mobile rend la construction du modèle possible avec un minimum de paramètres à estimer. Cette propriété est particulièrement intéressante dans le cas des modèles ARMA, puisque ces paramètres sont estimés à partir des données.

V.3 Formulation mathématique des modèles ARMA

Les séries chronologiques représentées par un modèle ARMA sont supposées stationnaires et normales. Considérons une série hydrologique Z_t , $t = 1, 2, \dots, N$.

Un modèle de moyenne mobile d'ordre q est donné par :

$$Z_t = -\sum_{j=0}^q \theta_j \cdot \varepsilon_{t-j}$$

Avec $\theta_0 = -1$

ε_t = Variable aléatoire indépendante avec une moyenne nulle et une variance σ_ε^2 .

Les paramètres du modèle sont : la moyenne μ la variance σ_ε^2 de la variable indépendante ε_t et les coefficients $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$, soit $q+2$ paramètres à déterminer à partir des données.

Le modèle autorégressif d'ordre p est représenté par :

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j \cdot Z_{t-j} + \varepsilon_t$$

Les paramètres du modèle sont : la moyenne μ , la variance σ_ε^2 de la variable indépendante ε_t et les coefficients $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ soit au total $p+2$ paramètres à estimer à partir des données.

Un modèle autorégressif d'ordre p et un modèle de moyenne mobile d'ordre q peuvent être combinés pour donner le modèle mixte autorégressif et de moyenne mobile (ARMA) de coefficient (p,q) . IL est défini par :

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j \cdot Z_{t-j} - \sum_{j=0}^q \theta_j \cdot \varepsilon_{t-j} \quad \text{avec } \theta_0 = -1$$

Les paramètres du modèle ARMA sont $\sigma_\varepsilon^2, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ et $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$. Au total $p+q+2$ paramètres à estimer à partir des données.

V.4 Différentes phases de la modélisation

La procédure de modélisation obéit généralement à six phases principales, (Salas et Smith, 1980) :

1. Identification de la composition du modèle ;
2. Identification du type du modèle ;
3. Identification de la forme du modèle ;
4. Estimation des paramètres du modèle ;
5. Tests d'adéquation des modèles ;
6. Tests de ressemblance des caractéristiques statistiques.

Dans la première étape, on choisit si le modèle sera à une ou plusieurs variables. La seconde étape, consiste à choisir un modèle parmi les différents types disponibles en hydrologie stochastique parmi lesquels, on peut citer :

- Les modèles autorégressifs (AR) ;
- Modèles autorégressifs et moyenne mobile (ARMA) ;
- Modèle du bruit gaussien fractionnaire (FGN) ;
- Modèle de la ligne brisée (BL) ;
- Modèles de désaggrégation...

Une fois le type du modèle choisi, la forme ou l'ordre du modèle doit être identifié en troisième étape. Dans le cas du choix d'un modèle ARMA, cette étape consiste à déterminer les ordres p et q représentant respectivement le nombre de paramètres autorégressifs (AR) et de moyenne mobile MA (ϕ et θ).

La quatrième étape consiste à l'estimation des paramètres qui se fait généralement en trois phases de précision croissantes :

- Estimation préliminaire (méthode des moments) ;
- Méthode du maximum de vraisemblance.

Après l'identification et l'estimation des paramètres du modèle, il faudrait effectuer des tests pour vérifier la capacité du modèle à reproduire toutes les caractéristiques des séries historiques.

Ceci peut se faire au moyen des tests suivants :

- a) Tests d'indépendance des résidus ;
- b) Tests de normalité de résidus ;
- c) Tests d'indépendance des résidus vis à vis des variables à modéliser Z_t .

V.5 Application

On a utilisé le modèle ARMA($p=1, q=2$), qui a été élaboré par l'équipe de recherche GESTOP, sur les données pluviométriques de pas de temps mensuel de six stations du littoral algérien qui s'étalent sur une période de 46 ans, à savoir (Ghazaouet, Oran, Alger, Skikda, Annaba et El kala).

Après les différentes phases d'identification on est passé à l'estimation des paramètres des coefficients autorégressif du modèle ARMA(1,2), qui a été faite par la deuxième méthodes (maximum de vraisemblance).

Le modèle est calé par une série de données de 43 ans (1954-1996) et testé pour reproduire les trois dernières années de la période (1997-1999).

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures V.1, V.2, V.3, V.4, V.5 et V.6.

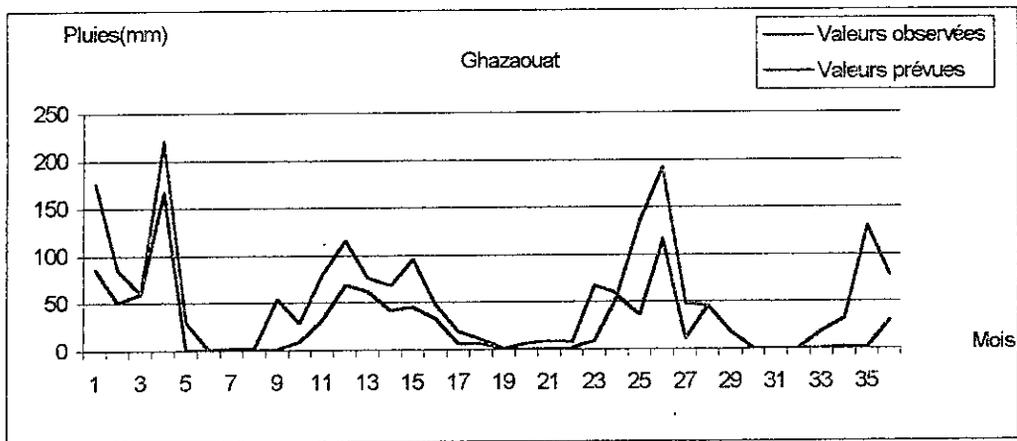


Figure V.1 Prévision des pluies mensuelles de la station de Ghazaouat

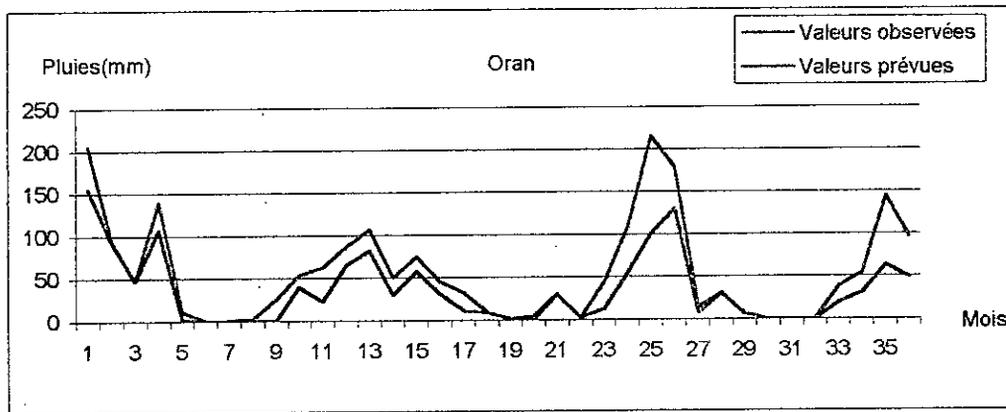


Figure V.2 Prévision des pluies mensuelles de la station d'Oran

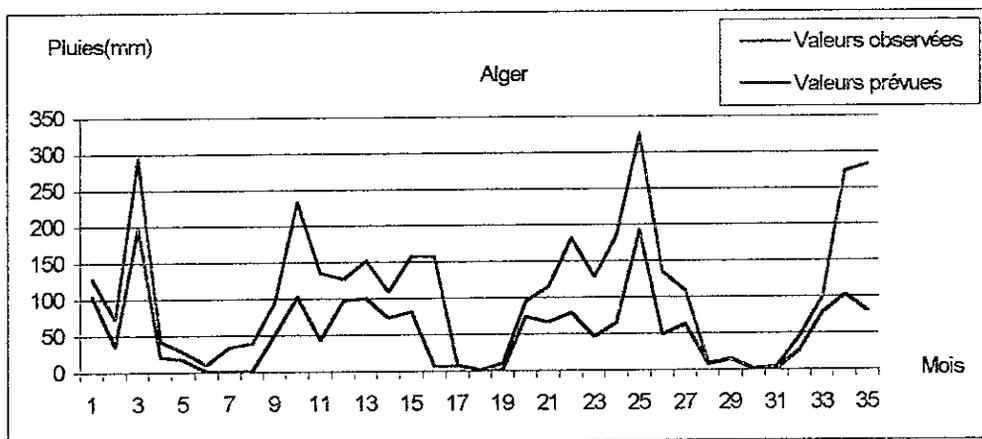


Figure V.3 Prévision des pluies mensuelles de la station d'Alger

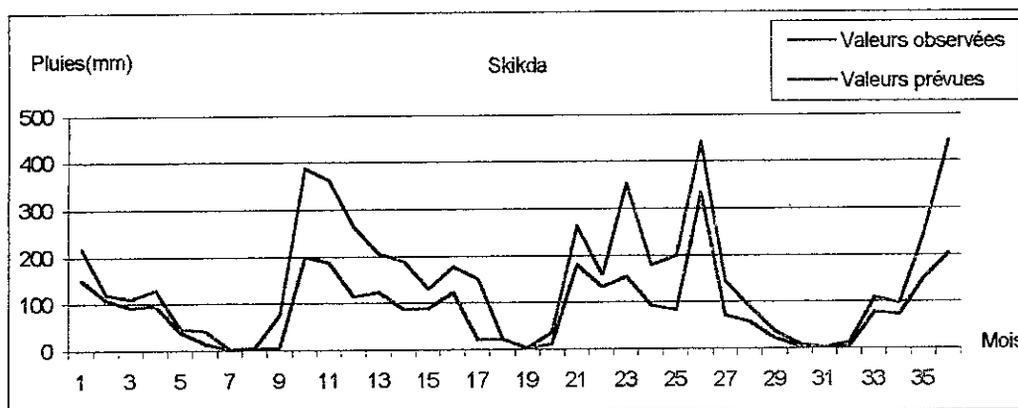


Figure V.4 Prévision des pluies mensuelles de la station de Skikda

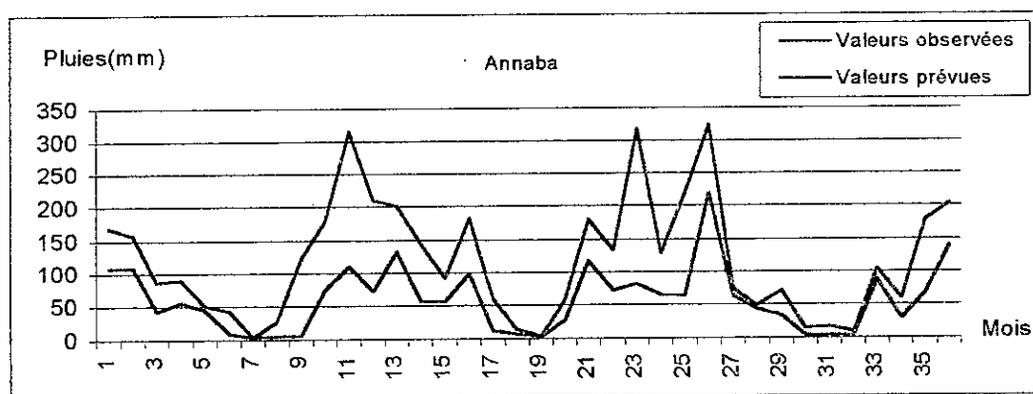


Figure V.5 Prévision des pluies mensuelles de la station d'Annaba

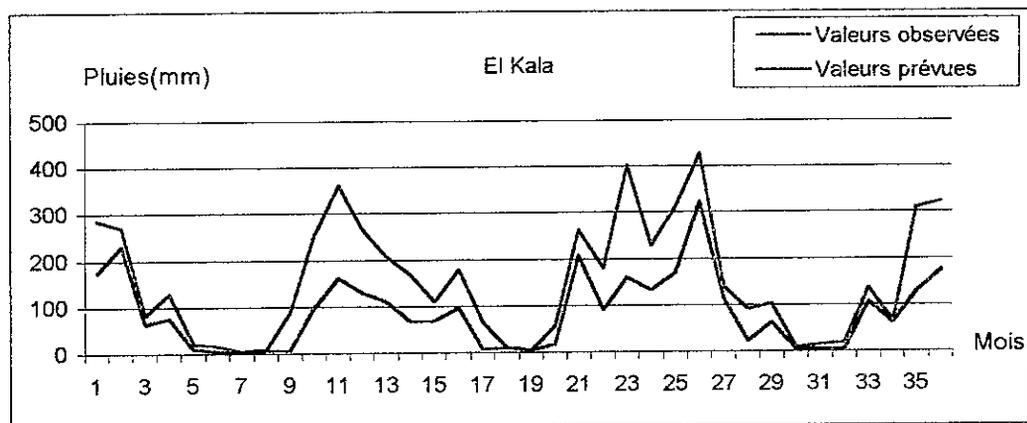


Figure V.6 Prévision des pluies mensuelles de la station d'El Kala

V.6 Analyse des résultats

Pour juger la qualité d'une prévision on fait appel à des fonctions critères qui permettent d'apprécier quantitativement et qualitativement les résultats mensuels estimant globalement l'écart entre les sorties calculées (pluies mensuelles modélisées) et les résultats observés (pluies mensuelles observées pendant la période de test).

Les résultats obtenus par utilisation du modèle ARMA(1,2) sont très satisfaisants du fait que le mouvement tendanciel a été très bien reproduit.

Conclusion

Ce modèle calé et testé par les données pluviométriques au pas de temps mensuel, a permis de percevoir l'évolution tendancielle du phénomène étudié à savoir la pluviométrie.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, on a considéré les régions du littoral algérien comme notre domaine d'étude, l'objectif de cette recherche est l'étude du régime pluviométrique.

Cette étude est effectuée sur la base des données pluviométriques aux pas de temps mensuel qui s'étalent sur trente ans (1970-1999).

Avant d'entamer ce travail, il était nécessaire de traiter les données pluviométriques utilisées. Cependant, avant La validation des données, une étude critique est impérative pour vérifier la qualité et la fiabilité de celles-ci.

Après avoir corrigé et combler les lacunes, un test statistique fiable et représentatif a été utilisé pour vérifier l'homogénéité et la stationnarité des données collectées.

L'étude statistique a montré que la pluviométrie sur le littoral algérien n'est pas uniforme, la différence des apports pluviométriques est très significative entre les stations de l'Ouest et celles du Centre et de l'Est.

A l'échelle temporelle, l'étude comparative entre la période de référence et la période totale a montré que l'écart pluviométrique est insignifiant pour toutes les régions où le maximum est enregistré à l'Ouest avec un déficit d'environ onze pour cent de la période totale (1970-1999) par rapport à la période de référence (1954-1969).

L'écart pluviométrique entre les deux dernières décennies pour les trois régions est insignifiant, car le plus important déficit est de huit pour cent enregistré à la station d'Alger, d'où la persistance du même régime pluviométrique durant les deux dernières décennies.

La première décennie est plus pluvieuse à l'Ouest et au Centre par rapport à la période de référence. Par contre la région de l'Est a connu durant cette décennie un déficit pluviométrique d'environ quinze pour cent par rapport à la période de référence.

Cette étude nous a permis de noter un changement du régime pluviométrique sur les régions de l'Ouest et du Centre durant les deux dernières décennies.

Ce changement (appelé improprement sécheresse) est dû principalement au cumul du déficit pluviométrique durant cette période (succession d'années déficitaires) à l'Ouest mais s'aggrave dans la région Centre.

Un modèle de prévision basé sur les modèles ARMA a été établi, il a pu représenter fidèlement la tendance du régime pluviométrique à l'échelle mensuelle.

En conclusion on peut dire que le changement du régime pluviométrique se trouve aggravé par les mauvaises options dans le domaine hydraulique prises par les décideurs (mauvais choix du sites et mauvaise conception des ouvrages hydrauliques), d'où la nécessité de mieux appréhender les paramètres hydrométéorologiques par l'élaboration de modèles stochastiques qui seront utilisés par les gestionnaires comme outils à la décision.

Références bibliographiques

AFFANE, A. HOUGLAOUENE, M. (1997). Contribution à l'étude et à la prévision de la pluviométrie sur le littoral algérien. Thèse d'Ingénieur ENP Alger.

BERMAD, A. (1990). Elaboration d'un modèle de gestion d'un barrage réservoir. Thèse de magistère ENP Alger.

BOBEE, B. (1991). The gamma family and derived distribution applied in hydrology. Water resource application, colorado, U.S.A, pp 50-69.

BOUZIANE, A.(1989). Contribution à la modélisation stochastique de débits mensuels et a la recherche de meilleures règles de gestion d'un réservoir. Louvain 1989. pp49-68.

Bulletins mensuels d'information climatologique et agrométéorologiques. Office nationale de la météorologie (O.N.M).

Bulletins décadaires d'informations climatologiques et agrométéorologiques. Office nationale de la météorologie (O.N.M).

Carte pluviométrique de l'Algérie du nord a l'échelle du 1/500 000. (1993). Agence National des Ressources hydriques (A.N.R.H), Projet PUNI/ALG/021.

CHAMBAZ, H. (1990). Contribution a l'étude de la méthode DPFT (différence première de la fonction transfert). Thèse de magistère ENP Alger. pp 7-29.

DECHEMI, N. BERMAD, A. et TACHET, K. (1997). Etude et simulation de l'évapotranspiration (ETP) par l'analyse en composantes principales (A.C.P). Bulletin du comité international de l'irrigation et du drainage. CIID, 46(2), pp. 45-59.

DECHEMI, N. (1997). Modelisation of water balance by the simulation of potential evapotranspiration and rainfall for the region of annaba. Arab Golf journal of scientific Rsearc, 15(1), pp. 63-89.

GUY DER MEGREDITCHIAN. (1992). Le traitement statistique des données multidimensionnelles. Application à la météorologie. Tomme1. pp.29-67.

GUY DER MEGREDITCHIAN. (1993). Le traitement statistique des données multidimensionnelles. Application à la météorologie. Tomme2. pp 213-241.

HAMRICHE, A. (1998). Contribution à la simulation des paramètres hydrométéorologiques aléatoires et cycliques à différents pas de temps mensuelle, journalier et horaires par le modèle GESTOP. Thèse de magistère ENP Alger.

KADI, M. (1992) Quelques aspects de la sécheresse en Afrique du Nord et dans le bassin Méditerranéen. Les climats subtropicaux et leur évolution ; de l'observation spatiale à la Modélisation. Ecole d'été, CNES, CEPAUDUES éditions, Toulouse, pp. 175-198.

KAHLAL, N. (1992). Optimisation d'un réseau de mesures pluviométriques. Thèse d'Ingénieur ENP Alger.

LIAMAS, j. (1985). Hydrologie générale: principes et applications. Gaetan Morin, Québec, pp.38-60.

MOUALI-HAMLAOUI, L. (1995). Etude des précipitations maximale journalière dans la région du centre algérien. Thèse de magistère ENP Alger.

SAPORTA, G. (1990). Probabilités: Analyse des données statistiques. Techniq, Paris, pp 45-70.

SOUAG, D. (1993). Contribution à la gestion d'un réservoir par les modèles de règle de décision linéaire (LDR) et modélisation des débits. Thèse de magistère ENP Alger.

REMENIERAS, G. (1972) L'hydrologie de l'ingénieur. Edition Eyrolles. pp 55-69.

Résumé annuel du temps en Algérie - Volume I - Année 1997 :Office national de la météorologie (O.N.M).

ANNEXES

Annexe II

PROGRAMME DE TEST DES VALEURS SINGULIERES, D'INDEPENDANCE, D'HOMOGENEITE ET STATIONNARITE

DIMENSION A(360),B(360),S(4),CN1(360)

RI=0

SOMME=0

SOMME1=0

SOMME=0

S=0

READ(*,*) (A(I),I=1,360)

DO I=1,360

SOMME=SOMME+A(I)

MOY=SOMME/360.

ENDDO

TEST DES VALEURS SINGULIERES TEST DE GRUBBS ET BECK

DO I=1,360

IF(A(I).EQ.0)A(I)=0.1

ENDDO

DO I=1,360

B(I)=LOG(A(I))

ENDDO

DO I=1,360

SOMME1=SOMME1+B(I)

ENDDO

MOY1=SOMME1/360

DO I=1,360

SO=SO+((B(I)**2)-(MOY1**2))

ENDDO

VAR=SO/360

ECTYP=SQRT(VAR)

WRITE(*,*)'LA VARIANCE =',VAR

WRITE(*,*)'LE CART TYPE =',ECTYP

Y1=MOY1+(3.3171982031*ECTYP)

Y2=MOY1-(3.3171982031*ECTYP)

X2=EXP(Y2)

X1=EXP(Y1)

WRITE(*,*)'XH=',X1

WRITE(*,*)'XL=',X2

DO I=1,360

IF (A(I).LT.X2 OR A(I).GT.X1)THEN

WRITE(*,*)'A(I,) EST UN POINT SINGULIER =',A(I)

ELSE

WRITE(*,*)'PAS DE POINT DE SINGULIER'

ENDIF

ENDDO

TESTE D'INDEPENDANCE

DO I=1,359

SOM=SOM+(A(I)*A(I+1))

ENDDO

R=SOM+(A(1)*A(360))

DO J=1,4

S(J)=0

DO I=1,360

```

S(J)=S(J)+(A(I)**J)
ENDDO
ENDDO
RBAR=(S(1)**2-S(2))/359
G1=((S(2)**2)-S(4))
G3=(S(1)**4)-(4*(S(1)**2))*(S(2))
G4=(4*(S(1))*(S(3)))+(S(2)**2)-(2*S(4))
G2=G3+G4
VARR=(G1/359)+(G2/128522)-(RBAR**2)
UU=(R-RBAR)
UG=UU/SQRT(VARR)
U=ABS(UG)
IF (U.GT.2.57) THEN
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=2.57'
WRITE(*,*)'***** H0:REJETEE*****'
ELSE
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=2.57'
ENDIF
WRITE(*,*)'POUR UN RISQUE D'ERREUR ALPHA=5%'
IF (U.GT.1.96) THEN
WRITE(10,*) U(ALPHA/2)=1.96'
ELSE
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=1.96'
ENDIF
WRITE(*,*)'POUR UN RISQUE D'ERREUR ALPHA=10%'
IF (U.GT.1.64) THEN
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=1.64'
WRITE(*,*)'***** H0:REJETEE*****'
ELSE
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=1.64'
WRITE(*,*)'***** H0:ACCEPTEE*****'
ENDIF

```

LE TEST DHOMOGENEITE ET DE STATIONARITE

CLASSEMENT DE L ECHANTILLON PAR ORDRE CROISSANT

```
WRITE(*,*)'(N1) EST INFERIEUR A (N2)ET(N1+N2=360)'
```

```
N1 : LA TAILLE DU PREMIER ECHANTILLON '
```

```
READ(*,*)N1
```

```
N2 : LA TAILLE DU SECOND ECHANTILLON
```

```
READ(*,*)N2
```

```
IF((N1+N2.NE.360).OR.(N1.GT.N2)) THEN
```

```
WRITE(*,*)'ERREUR DE TAILLE'
```

```
GOTO 20
```

```
ENDIF
```

```
DO I=1,360
```

```
J=I
```

```
IF(I.LE.N1)CN1(J)=A(I)
```

```
ENDDO
```

LE TRI EN ORDRE CROISSANT

```
DO 10 I=1,359
```

```
DO 10 J=I+1,360
```

```
IF(A(I).GT.A(J)) THEN
```

```
C1=A(I)
```

```
C2=A(J)
```

```
A(I)=A(J)
```

```
A(J)=C1
```

```

A(J)=C1
A(J)=C2
ENDIF
10 CONTINUE
ECRITURE DES VALEURS TRIEES
DO I=1,360
DO J=1,360
IF(A(I).EQ.CN1(J)) THEN
RI=RI+I
ENDIF
ENDDO
ENDDO
WRITE(*,*)'LA SOMME DES RANGS(R) DE LECHANTILLON DE TAILLE N1',RI
V=(RI-(N1*(N1+1)/2))
W=(N1*N2)-V
IF (V.GT.W) THEN
U=W
ELSE
U=V
ENDIF
UU=N1*N2
UB=UU/2
WRITE(*,*)'LA MOYENNE DE (U) EST ',UB
VU1=N1*N2*(N1+N2+1)
VU=VU1/12
WRITE(*,*)'LA VARIANCE DE U : VAR(U)=' ,VU
UA=((U-UB)/VU)
UA=ABS(UA)
WRITE(*,*)'LA VALEUR ABSOLUE DE (U) EST ',UA
WRITE(*,*)'POUR UN RISQUE D'ERREUR ALPHA=1%'
IF (UA.GT.2.57) THEN
WRITE(*,*)' U(ALPHA/2)=2.57'
WRITE(*,*)'ABS(U)=' ,UA
WRITE(*,*)' '
WRITE(*,*)'***** H0:REJETEE*****'
ELSE
WRITE(*,*)' U(ALPHA/2)=2.57'
WRITE(*,*)'ABS(U)=' ,UA
WRITE(*,*)' '
WRITE(*,*)'***** H0:ACCEPTEE*****'
WRITE(*,*)' '
ENDIF
WRITE(*,*)'POUR UN RISQUE D'ERREUR ALPHA=5%'
IF (UA.GT.1.96) THEN
WRITE(*,*)' U(ALPHA/2)=1.96'
WRITE(*,*)'ABS(U)=' ,UA
WRITE(*,*)'***** H0:REJETEE*****'
ELSE
WRITE(*,*)' U(ALPHA/2)=1.96'
WRITE(*,*)'ABS(U)=' ,UA
WRITE(*,*)' '
WRITE(*,*)'***** H0:ACCEPTEE*****'
WRITE(*,*)' '
ENDIF
WRITE(*,*)'ABS(U)=' ,UA

```

```
WRITE(*,*)'POUR UN RISQUE D'ERREUR ALPHA=10%'  
IF (UA.GT.1.64) THEN  
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=1.64'  
WRITE(*,*)'ABS(U)='UA  
WRITE(*,*)' '  
WRITE(*,*)'***** H0:REJETEE*****'  
WRITE(*,*)' '  
ELSE  
WRITE(*,*) U(ALPHA/2)=1.64'  
WRITE(*,*)'ABS(U)='UA  
WRITE(*,*)' '  
WRITE(*,*)'***** H0:ACCEPTEE*****'  
ENDIF  
20 STOP  
END
```

Annexe IV.1 Contributions principales normées

Contributions principales En (%)	Période	Jan	Cumul des CP	Fév	Cumul des CP	mar	Cumul des CP	avr	Cumul des CP
Cp1	70-80	69.05	69.05	66.01	66.01	47.53	47.53	59.84	59.84
	80-90	69.92	69.92	62.83	62.83	60.17	60.17	71.91	71.91
	90-99	39.75	39.75	83.27	83.27	77.50	77.50	52.78	52.78
	70-99	55.82	55.82	62.69	62.69	51.72	51.72	45.72	45.72
Cp2	70-80	14.91	83.96	15.95	81.96	26.14	73.67	13.98	73.82
	80-90	15.61	85.53	16.60	79.43	26.18	86.35	14.43	86.34
	90-99	28.16	67.91	9.92	93.19	12.04	89.54	22.49	75.27
	70-99	15.90	71.12	13.68	76.37	16.57	68.29	29.50	75.22
Cp3	70-80	8.65	92.61	10.14	92.10	11.26	84.93	10.19	84.01
	80-90	8.13	93.66	8.23	87.66	6.03	92.38	5.56	91.90
	90-99	16.03	83.94	3.62	96.81	4.75	94.29	11.90	87.17
	70-99	10.64	81.71	9.16	85.53	14.54	82.83	7.81	83.03
Cp4	70-80	3.11	95.72	3.60	95.70	6.94	91.87	7.23	91.24
	80-90	3.54	97.2	4.85	92.51	2.85	95.23	3.81	95.71
	90-99	6.46	90.04	1.44	98.25	2.53	96.82	6.94	94.11
	70-99	5.06	86.77	4.95	90.48	5.99	88.82	4.42	87.45
Cp5	70-80	2.38	98.10	2.66	98.36	4.23	96.10	4.18	95.42
	80-90	1.35	98.55	2.97	95.48	2.02	97.25	1.82	97.53
	90-99	4.13	94.17	1.11	99.36	1.16	97.98	3.66	97.77
	70-99	4.01	90.78	3.04	93.52	3.51	92.33	3.33	90.78
Cp6	70-80	0.85	98.95	1.24	99.60	2.46	98.56	1.76	97.18
	80-90	0.77	99.32	2.45	97.93	1.47	98.72	1.34	98.87
	90-99	3.20	97.37	0.39	99.75	0.83	98.81	1.23	99.00
	70-99	2.97	93.75	2.66	96.18	2.80	95.13	3.13	93.91
Cp7	70-80	0.58	99.53	0.28	99.88	0.86	99.42	1.62	98.80
	80-90	0.35	99.67	1.24	99.17	0.79	99.51	0.86	99.73
	90-99	1.31	98.68	0.13	99.88	0.62	99.43	0.58	99.58
	70-99	2.25	96.00	1.61	97.79	1.64	96.77	2.46	96.37
Cp8	70-80	0.32	99.85	0.08	99.96	0.41	99.83	1.00	99.80
	80-90	0.29	99.96	0.54	99.62	0.47	99.98	0.25	99.98
	90-99	0.93	99.61	0.10	99.98	0.40	99.83	0.38	99.96
	70-99	1.19	97.19	0.75	98.54	1.53	97.30	1.37	97.74
Cp9	70-80	0.15	100.00	0.03	99.99	0.17	100.00	0.19	99.99
	80-90	0.05	100.00	0.29	99.91	0.02	100.00	0.01	99.99
	90-99	0.03	99.64	0.02	100.00	0.17	100.00	0.04	100.00
	70-99	1.14	98.33	0.67	99.21	0.94	99.24	1.12	98.86
Cp10	70-80	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.00	0.00	99.99
	80-90	0.00	100.00	0.00	99.91	0.00	100.00	0.00	99.99
	90-99	0.00	99.64	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
	70-99	0.62	98.95	0.20	99.41	0.40	99.64	0.90	99.76
Cp11	70-80	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.00	0.00	99.99
	80-90	0.00	99.64	0.00	99.91	0.00	100.00	0.00	99.99
	90-99	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
	70-99	0.40	99.35	0.59	100.00	0.37	100.01	0.25	100.01

Annexe IV.2 Contributions principales normées

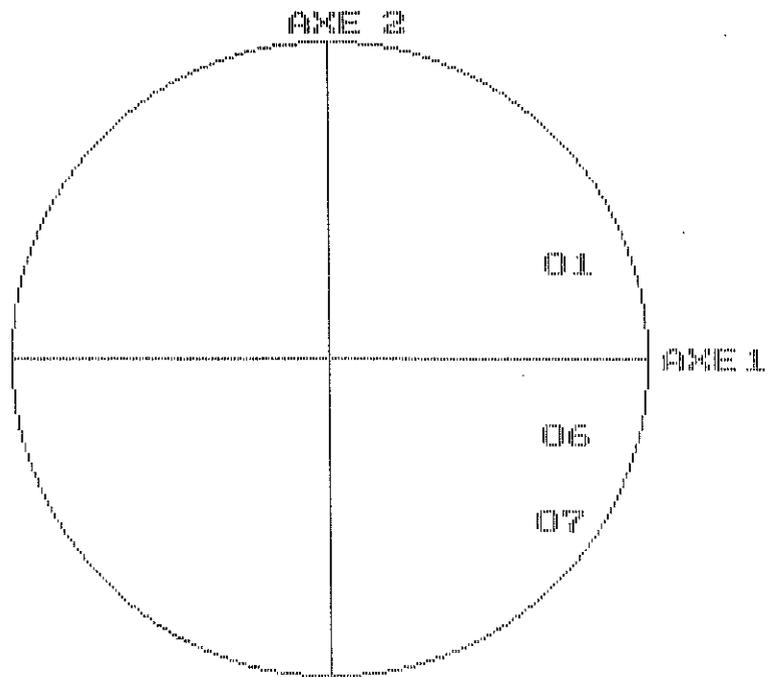
Contributions principales En (%)	Période	Mai	Cumul des cp	Juin	Cumul des cp	Juill	Cumul des cp	Août	Cumul des cp
Cp1	70-80	49.53	49.53	59.72	59.72	77.13	77.13	57.36	57.37
	80-90	47.02	47.02	60.66	60.66	80.74	80.74	73.34	73.34
	90-99	63.59	63.59	56.87	56.87	49.10	49.10	44.54	44.54
	70-99	47.93	47.93	50.22	50.22	47.84	47.84	51.89	51.89
Cp2	70-80	28.23	77.76	20.68	80.40	11.41	88.54	19.38	76.75
	80-90	30.10	77.12	31.15	91.81	16.07	96.81	19.85	93.19
	90-99	19.63	83.22	25.41	82.28	31.81	80.91	32.26	76.80
	70-99	19.79	67.72	19.63	69.85	19.03	66.87	15.27	67.16
Cp3	70-80	10.92	88.68	12.92	93.32	5.66	94.20	9.40	86.15
	80-90	9.91	87.03	4.37	96.18	2.34	99.15	5.16	98.35
	90-99	7.25	90.47	9.59	91.87	8.85	89.76	13.94	90.74
	70-99	11.82	79.54	11.34	81.19	17.84	84.71	12.18	79.34
Cp4	70-80	5.85	94.53	3.87	97.19	2.80	97.00	7.53	93.68
	80-90	4.96	91.99	1.61	97.79	0.45	99.60	0.95	99.30
	90-99	4.24	94.71	3.49	95.36	4.97	94.73	4.90	95.64
	70-99	6.35	85.89	6.11	87.30	5.99	90.70	7.45	86.79
Cp5	70-80	3.38	97.91	1.20	98.39	1.75	98.75	6.00	99.68
	80-90	4.26	96.25	0.99	98.78	0.21	99.81	0.46	99.76
	90-99	3.18	97.89	2.92	98.28	3.08	97.81	2.34	97.98
	70-99	4.10	89.99	4.43	91.73	4.17	94.87	4.53	91.32
Cp6	70-80	1.25	99.16	0.83	99.22	1.11	99.86	0.29	99.97
	80-90	2.03	98.28	0.82	99.60	0.14	99.95	0.11	99.87
	90-99	1.42	99.31	1.49	99.77	1.43	99.24	1.35	99.33
	70-99	3.45	93.44	2.90	94.63	2.12	96.99	3.82	95.14
Cp7	70-80	0.76	99.92	0.38	99.60	0.08	99.94	0.03	100.00
	80-90	1.04	99.32	0.29	99.89	0.03	99.98	0.07	99.94
	90-99	0.55	99.86	0.21	99.98	0.66	99.90	0.44	99.77
	70-99	2.42	95.86	2.01	96.64	1.51	98.50	2.54	97.68
Cp8	70-80	0.08	100.00	0.27	99.87	0.03	99.97	0.00	100.00
	80-90	0.61	99.93	0.08	99.97	0.01	99.99	0.05	99.99
	90-99	0.09	99.95	0.01	99.99	0.07	99.97	0.17	99.94
	70-99	1.59	97.45	1.56	98.20	0.60	99.10	0.84	98.52
Cp9	70-80	0.00	100.00	0.13	100.00	0.02	99.99	0.00	100.00
	80-90	0.07	100.00	0.03	100.00	0.00	99.99	0.02	100.01
	90-99	0.05	100.00	0.00	99.99	0.03	100.00	0.06	100.00
	70-99	1.19	98.64	1.35	99.55	0.56	99.66	0.67	99.19
Cp10	70-80	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.00
	80-90	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.01
	90-99	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.00	0.00	100.00
	70-99	0.79	99.43	0.31	99.86	0.28	99.94	0.49	99.68
Cp11	70-80	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.00
	80-90	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.01
	90-99	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.00	0.00	100.00
	70-99	0.57	100.00	0.14	100.00	0.07	100.01	0.32	100.00

Annexe IV.3 Contributions principales normées

Contributions principales En (%)	Période	Set	Cumul des CP	Oct	Cumul des CP	Nov	Cumul des CP	Déc	Cumul des CP
Cp1	70-80	53.54	53.54	55.04	55.04	67.45	67.45	57.85	57.85
	80-90	57.16	57.16	81.19	81.19	38.71	38.71	72.22	72.22
	90-99	59.78	59.78	74.90	74.90	70.74	70.74	70.39	70.39
	70-99	48.04	48.04	61.79	61.79	55.88	55.88	65.88	65.88
Cp2	70-80	19.70	73.24	17.09	72.13	21.74	89.21	19.39	77.24
	80-90	20.38	77.54	7.65	88.84	20.66	59.37	18.94	91.16
	90-99	22.63	82.41	8.61	83.51	14.49	85.23	11.26	81.65
	70-99	19.87	67.91	10.47	72.26	14.97	70.85	14.19	80.07
Cp3	70-80	14.97	88.21	11.45	83.58	4.78	93.99	12.45	89.69
	80-90	10.07	87.61	4.72	93.56	17.37	76.74	3.91	95.07
	90-99	9.33	91.74	7.58	91.09	7.53	92.76	7.34	88.99
	70-99	11.80	79.71	7.83	80.09	7.67	78.52	7.00	87.07
Cp4	70-80	6.70	94.91	8.20	91.78	2.95	96.94	5.62	95.31
	80-90	4.97	92.58	3.32	96.88	10.67	87.41	2.21	97.28
	90-99	4.47	96.21	3.50	94.59	4.03	96.79	4.68	93.67
	70-99	6.10	85.81	7.18	87.27	6.03	84.55	3.89	90.96
Cp5	70-80	2.53	97.34	4.89	96.67	1.70	98.64	2.98	98.29
	80-90	3.35	95.93	1.72	98.60	6.24	93.65	1.17	98.45
	90-99	2.23	98.44	2.04	96.63	1.91	98.70	3.37	97.04
	70-99	5.22	91.03	4.15	91.42	5.63	90.18	3.09	94.05
Cp6	70-80	1.24	98.68	1.82	98.49	0.53	99.17	0.85	99.14
	80-90	2.62	98.55	0.70	99.30	3.60	97.25	0.87	99.32
	90-99	1.13	99.57	1.87	98.50	0.71	99.41	1.66	98.70
	70-99	3.83	94.86	3.23	94.65	4.26	94.44	2.17	96.22
Cp7	70-80	0.80	99.48	0.77	99.26	0.41	99.58	0.48	99.62
	80-90	1.23	99.78	0.30	99.60	2.07	99.32	0.46	99.78
	90-99	0.30	99.87	1.24	99.74	0.56	99.97	0.75	99.45
	70-99	2.12	96.98	2.17	96.82	2.26	96.70	1.51	97.73
Cp8	70-80	0.50	99.98	0.60	99.86	0.34	99.92	0.31	99.93
	80-90	0.16	99.94	0.24	99.84	0.65	99.97	0.13	99.91
	90-99	0.09	99.96	0.24	99.98	0.03	100.00	0.39	99.84
	70-99	1.15	98.13	1.37	98.19	1.63	98.33	0.99	98.72
Cp9	70-80	0.02	100.00	0.15	100.01	0.11	100.03	0.07	100.00
	80-90	0.07	100.01	0.16	100.00	0.02	99.99	0.10	100.01
	90-99	0.05	100.01	0.02	100.00	0.01	100.01	0.17	100.01
	70-99	1.04	99.17	1.09	99.28	0.92	99.25	0.66	99.38
Cp10	70-80	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.03	0.00	100.00
	80-90	0.00	100.01	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.01
	90-99	0.00	100.01	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.01
	70-99	0.50	99.67	0.43	99.71	0.61	99.86	0.45	99.83
Cp11	70-80	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.03	0.00	100.00
	80-90	0.00	100.01	0.00	100.00	0.00	99.99	0.00	100.01
	90-99	0.00	100.01	0.00	100.00	0.00	100.01	0.00	100.01
	70-99	0.33	100.00	0.29	100.00	0.32	100.18	0.17	100.00

ANNEXE IV.4

Cercles de corrélation des données mensuelles de la période
totale (1970-1999)



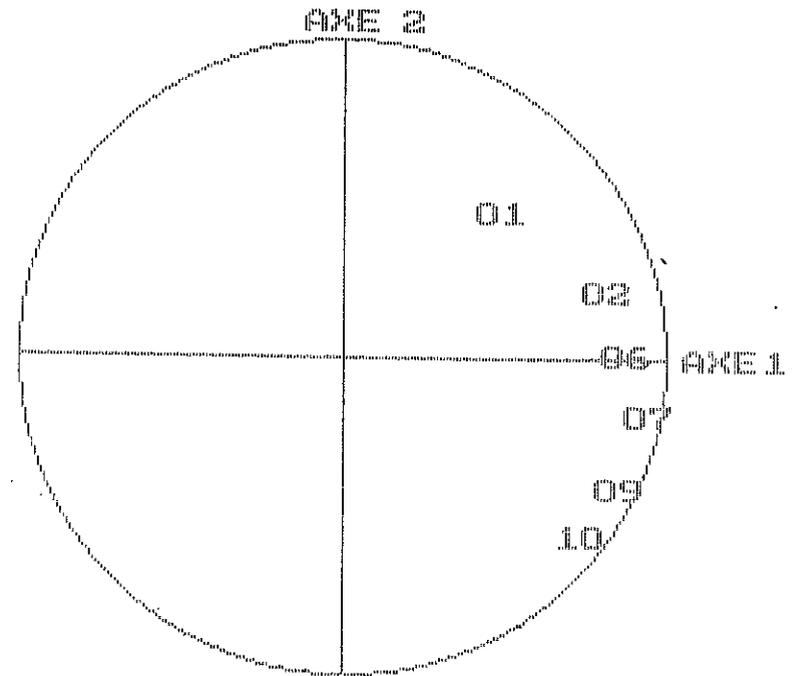
INT CACHE

00
02
03
04
05
06
10
11

PAR

01
01
01
01
06
08
06
06

Mois de Janvier



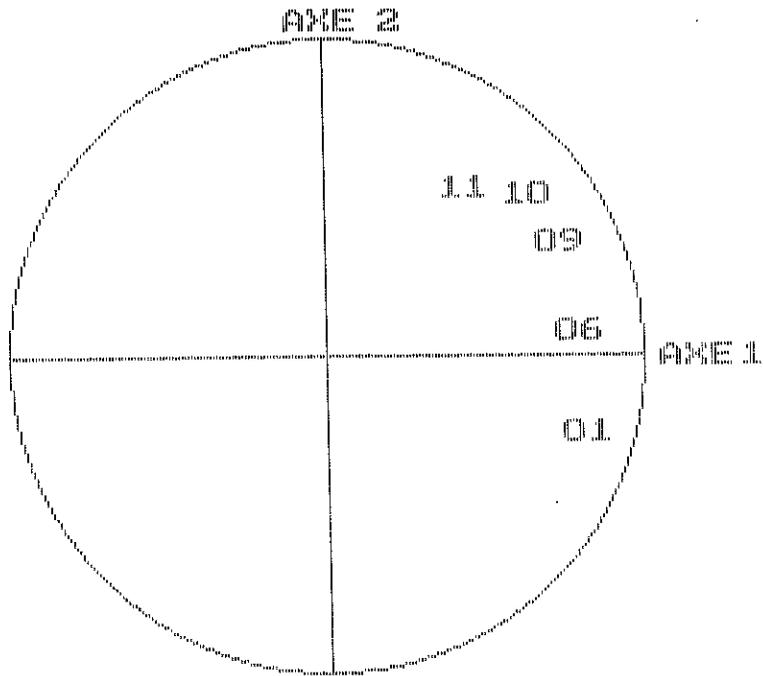
POINT CACHE

03
04
05
08
11

PAR

02
02
07
09

Mois de Février



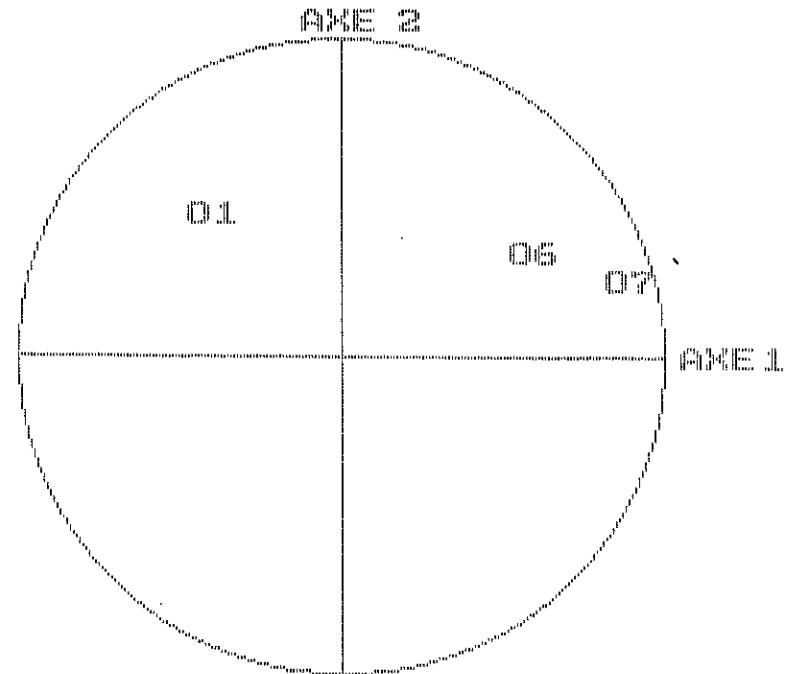
INT CACHE

00
00
00
00
00
00
00
00

PAR

01
01
01
01
01
01
01
01

Mois de Mars



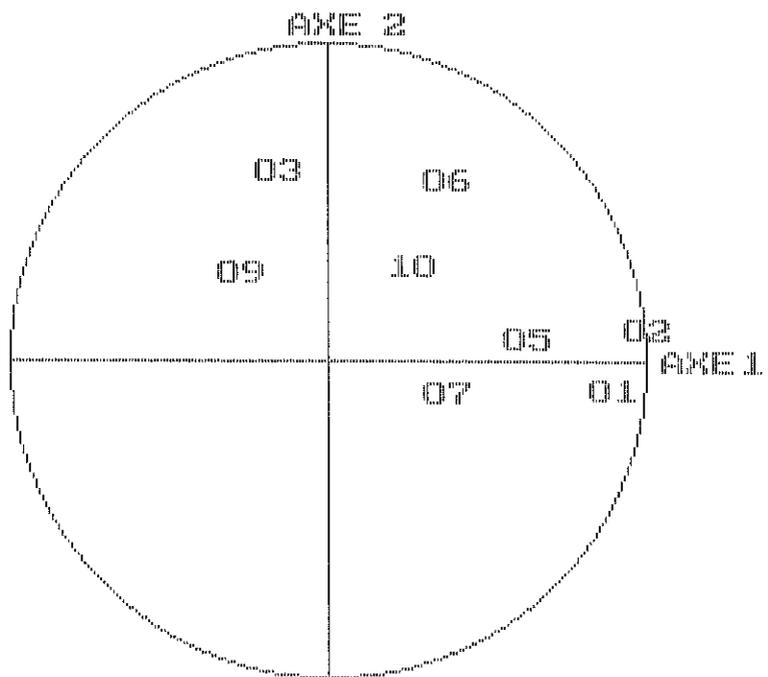
POINT CACHE

00
00
00
00
00
00
00
00

PAR

01
01
01
01
01
01
01
01

Mois de Avril



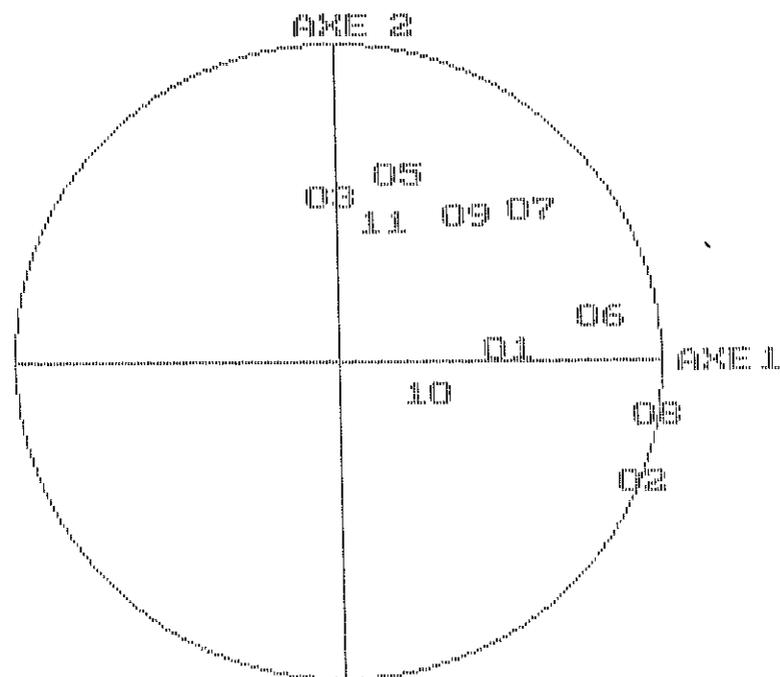
POINT CACHE

04
08
11

PAR

01
01
09

Mois de Mai



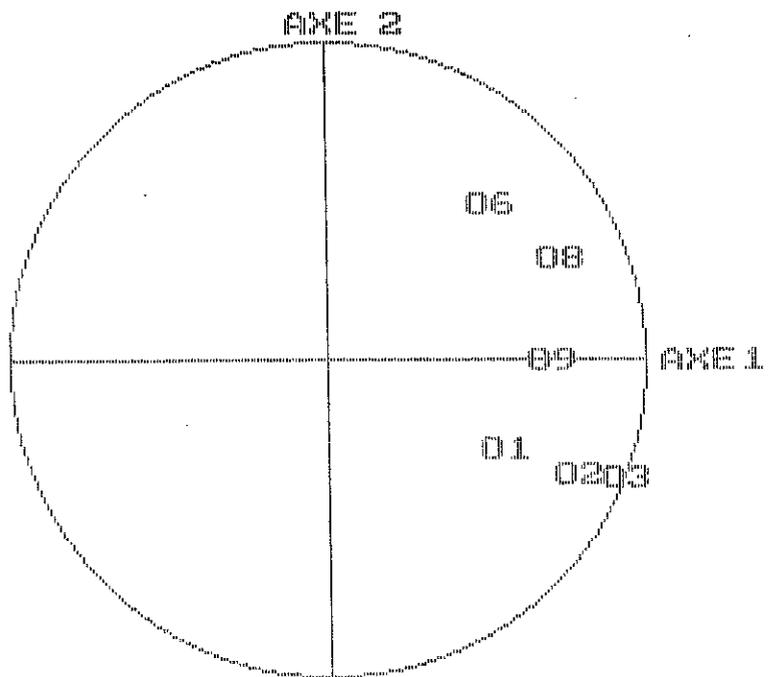
POINT CACHE

04

PAR

02

Mois de Juin



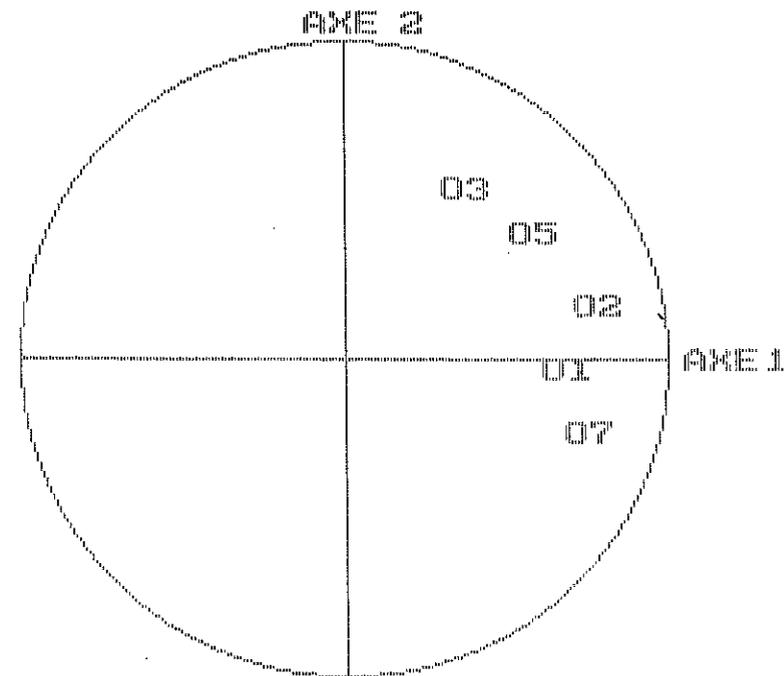
POINT CACHE

04
05
07
10
11

PAR

02
03
06
08
09

Mois de Juillet



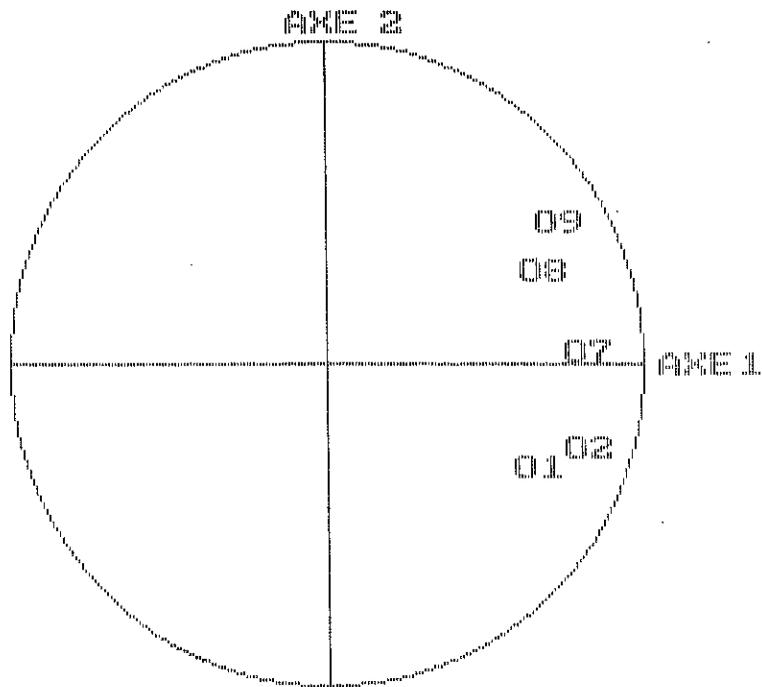
POINT CACHE

04
06
09
10
11

PAR

05
01
07
08
09

Mois de Août



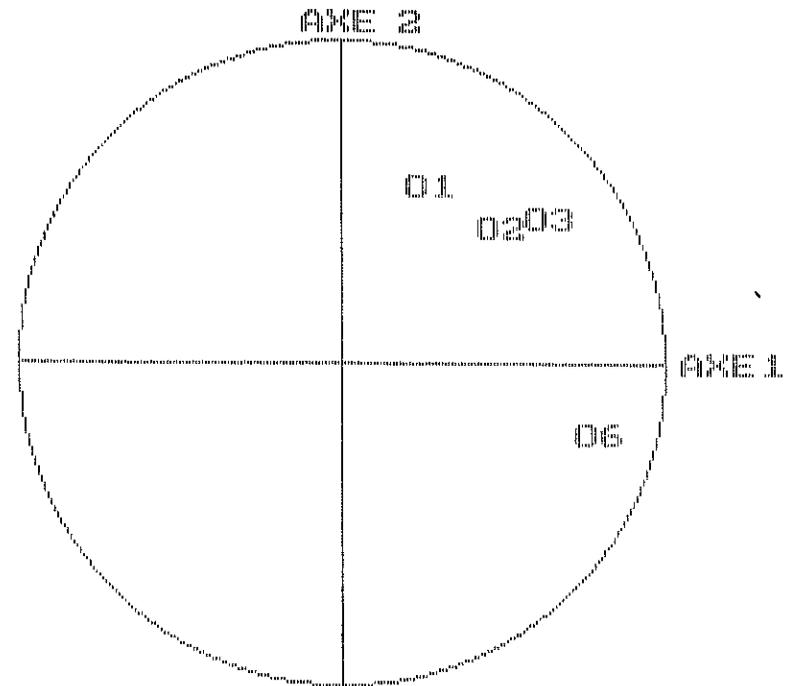
POINT CACHE

03
04
05
10
11

PAA

01
01
03
01
08
10

Mois de Septembre



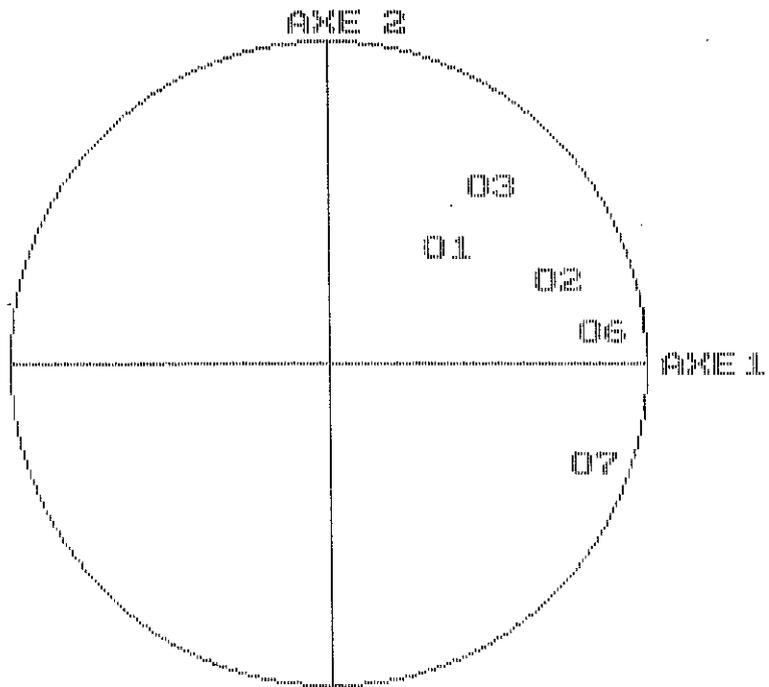
POINT CACHE

04
04
08
09
10
11

PAA

03
02
06
06
07
06

Mois de Octobre



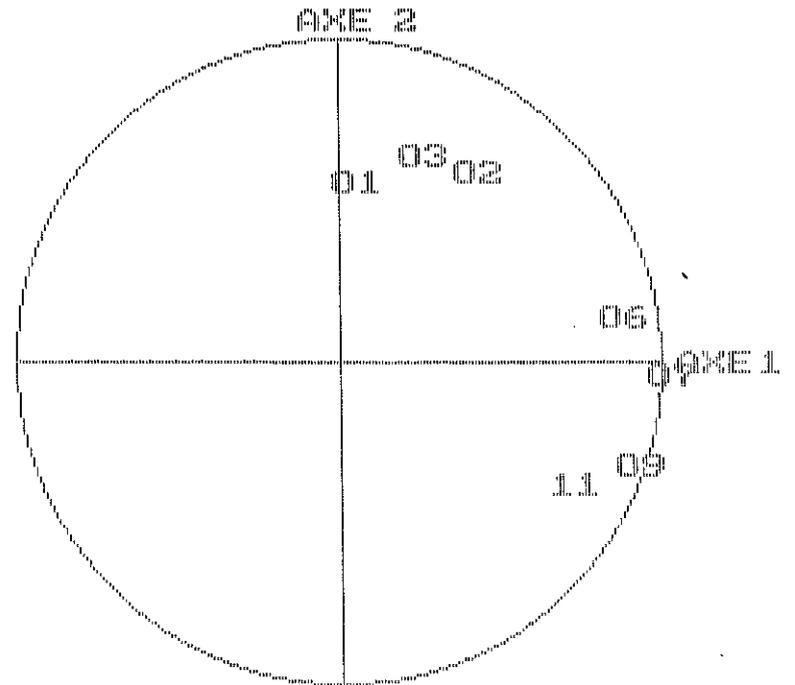
POINT CACHE

04
05
06
08
09
10
11

PAR

03
01
02
07
07

Mois de Novembre



POINT CACHE

04
05
08
10

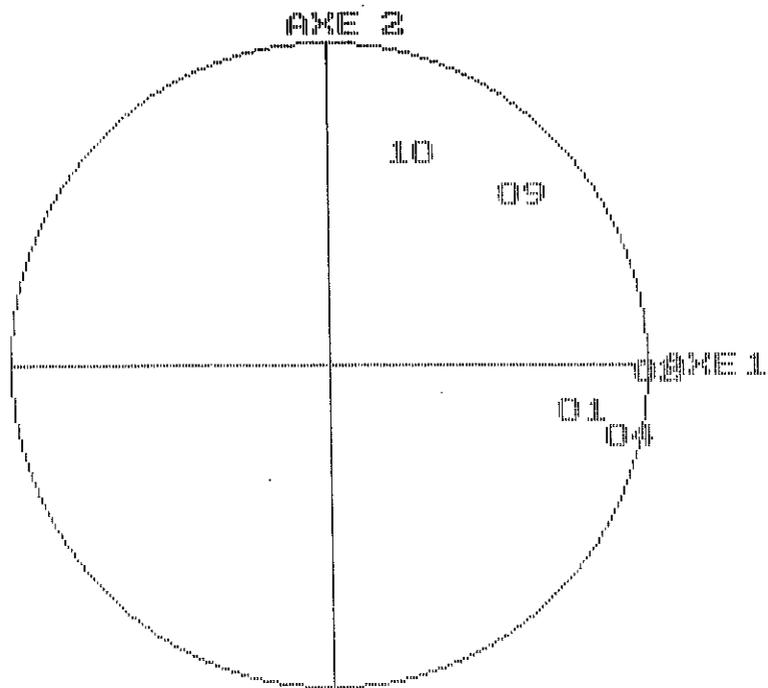
PAR

01
02
07
09

Mois de Décembre

ANNEXE IV.5.1

Cercles de corrélation des données mensuelles de la
première décennie (1970-1980)



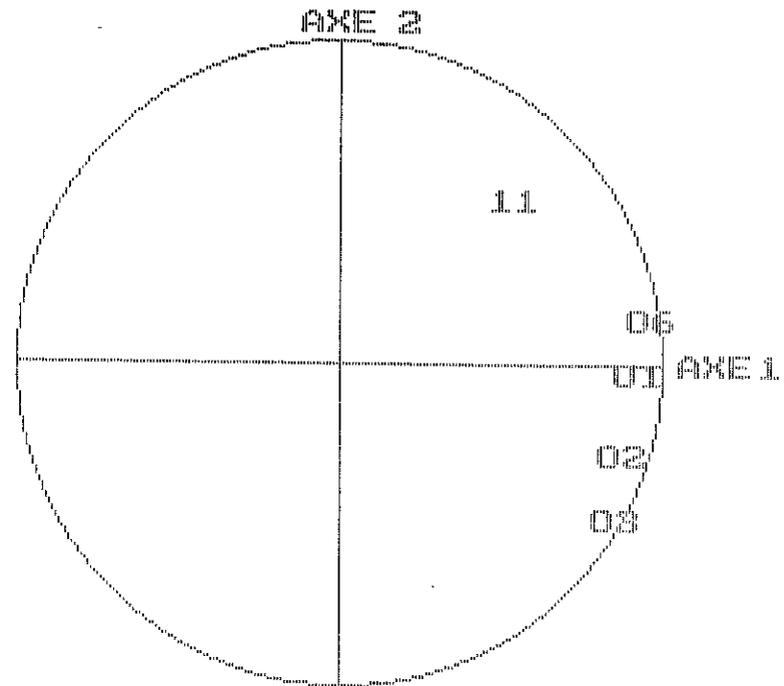
POINT CACHE

03
05
06
07
08
11

PAR

02
04
01
01
03
10

Mois de Février



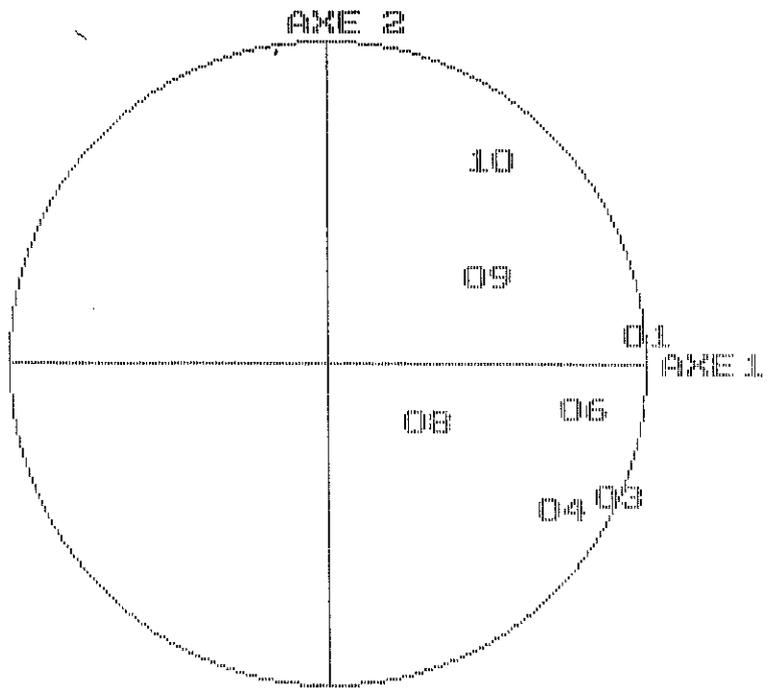
POINT CACHE

04
05
07
08
09
10

PAR

03
01
01
01
06
06

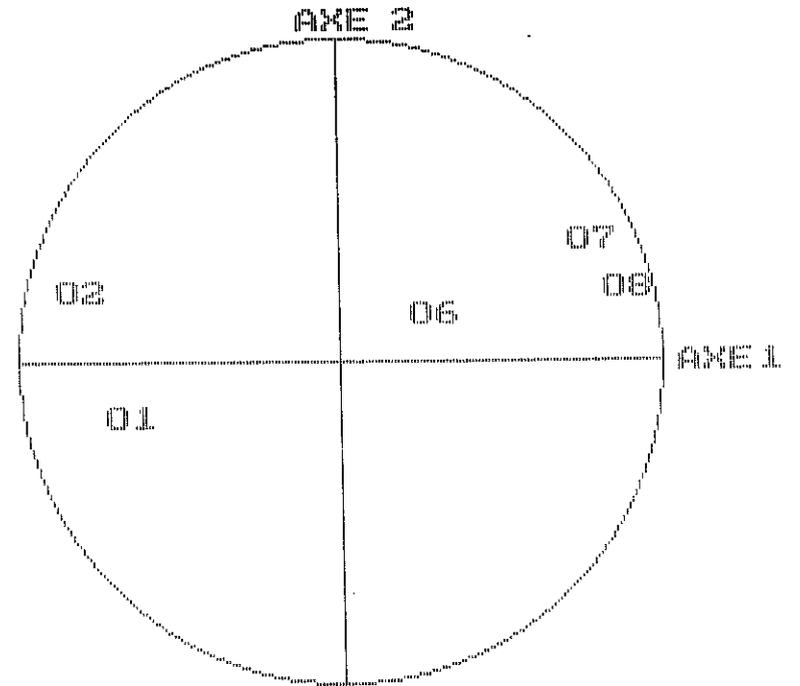
Mois de Janvier



POINT CACHE
 02
 05
 07
 11

PAR
 01
 04
 06
 10

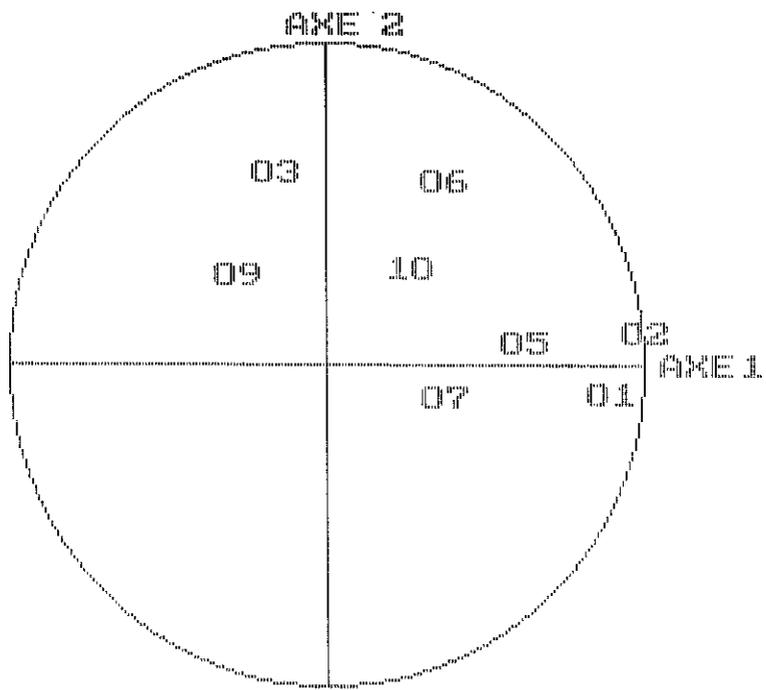
Mois de Mars



POINT CACHE
 03
 04
 05
 10
 11

PAR
 02
 06
 07
 08

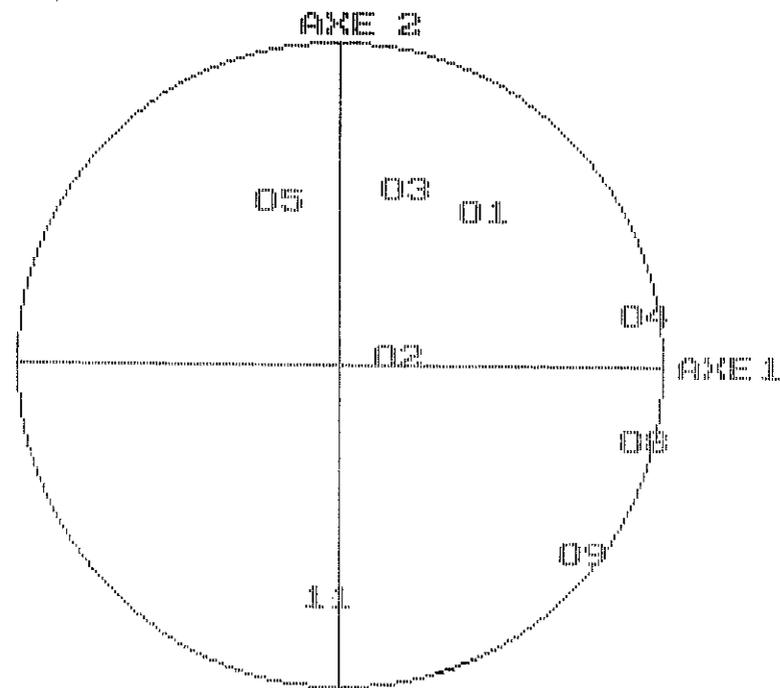
Mois de Avril



POINT CACHE
 04
 08
 11

PAR
 01
 01
 09

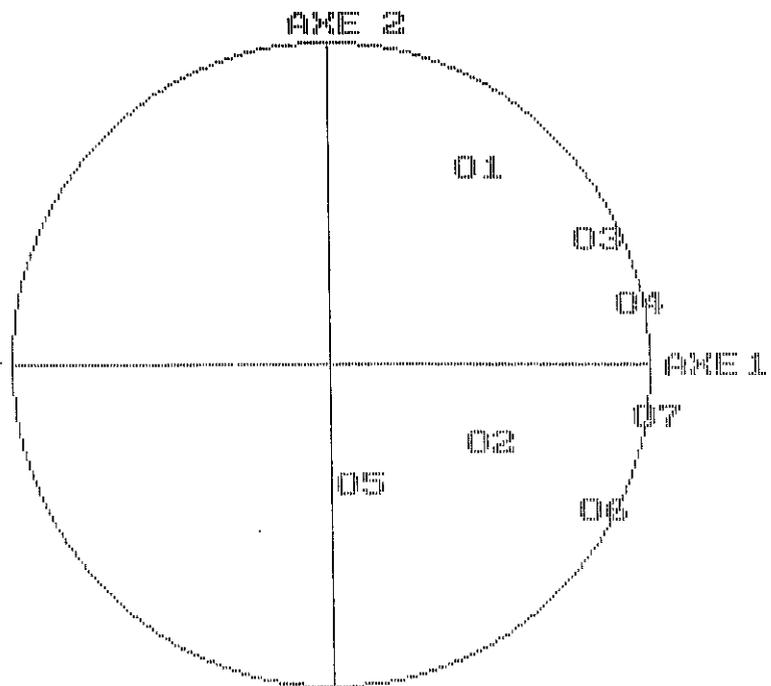
Mois de Mai



POINT CACHE
 06
 07
 10

PAR
 04
 04
 08

Mois de Juin



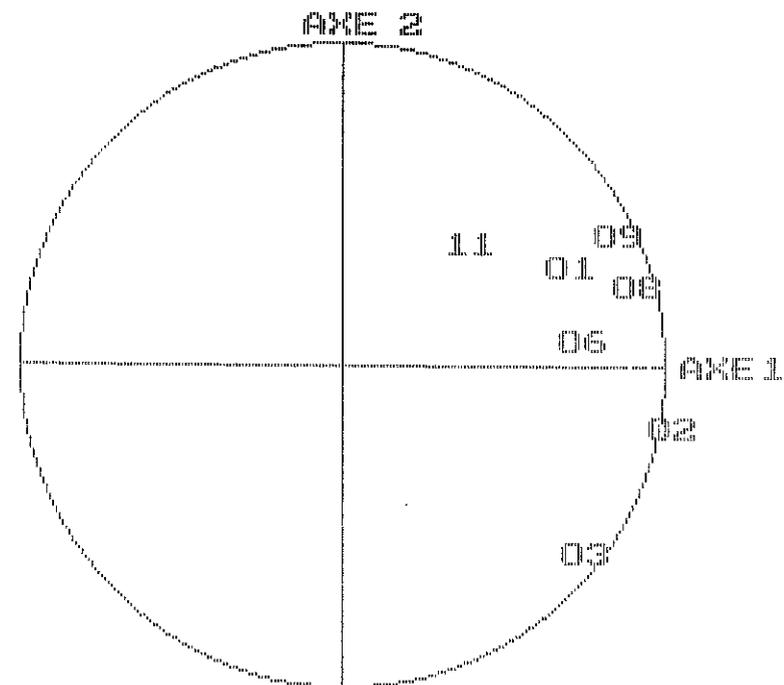
POINT CACHE

08
09
10
11

PAR

04
01
06
05

Mois de Juillet



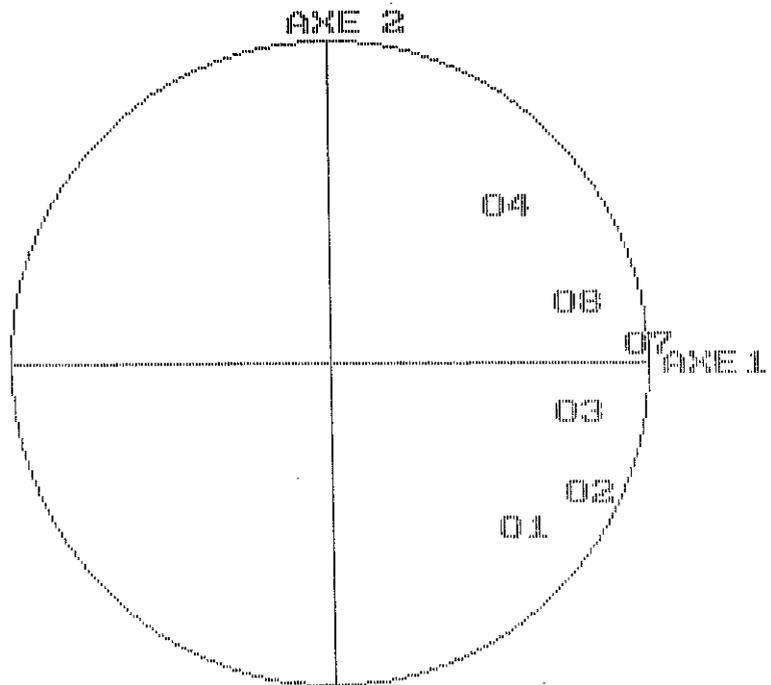
POINT CACHE

04
05
07
10

PAR

03
03
06
06

Mois de Août



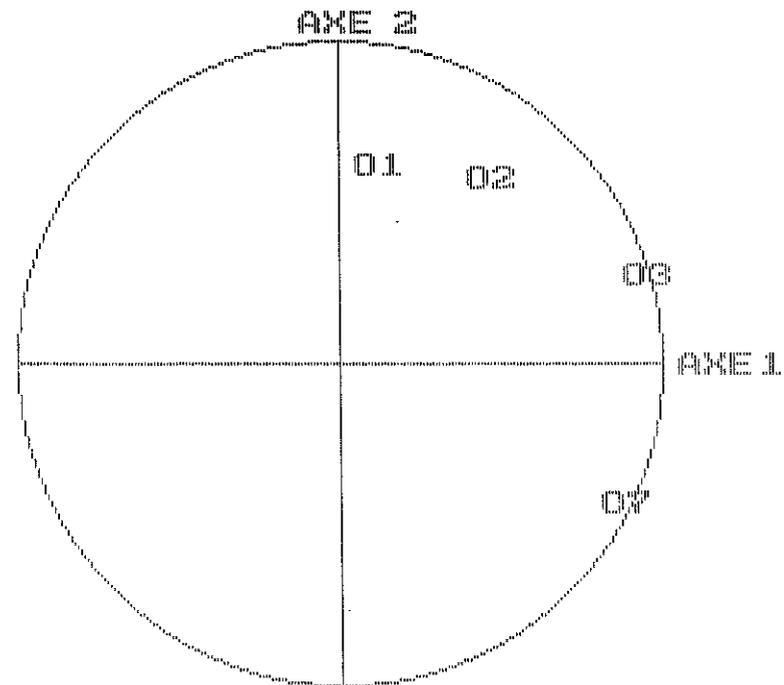
POINT CACHE

05
06
09
10
11

PAR

02
03
07
06
04

Mois de Septembre



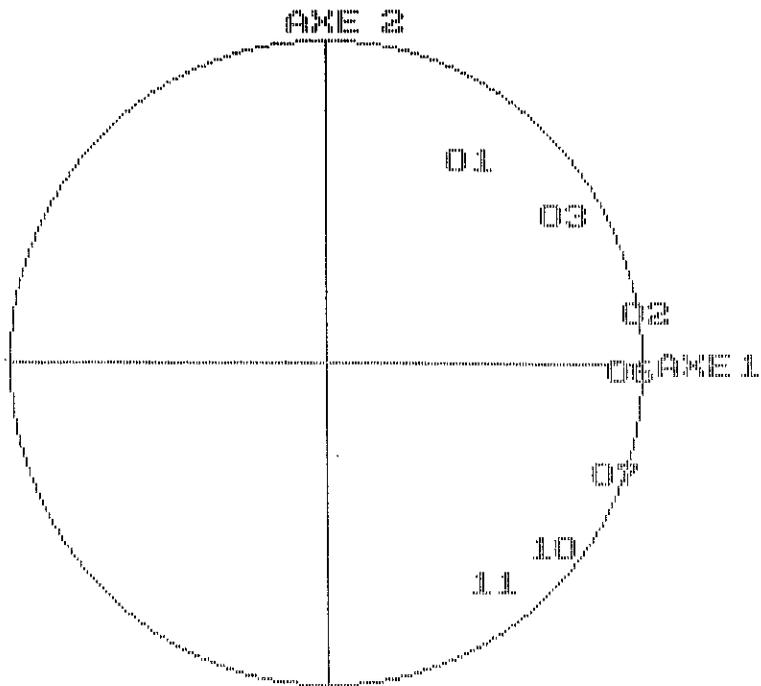
POINT CACHE

04
05
06
08
09
10
11

PAR

03
04
05
06
07
06
05

Mois de Octobre



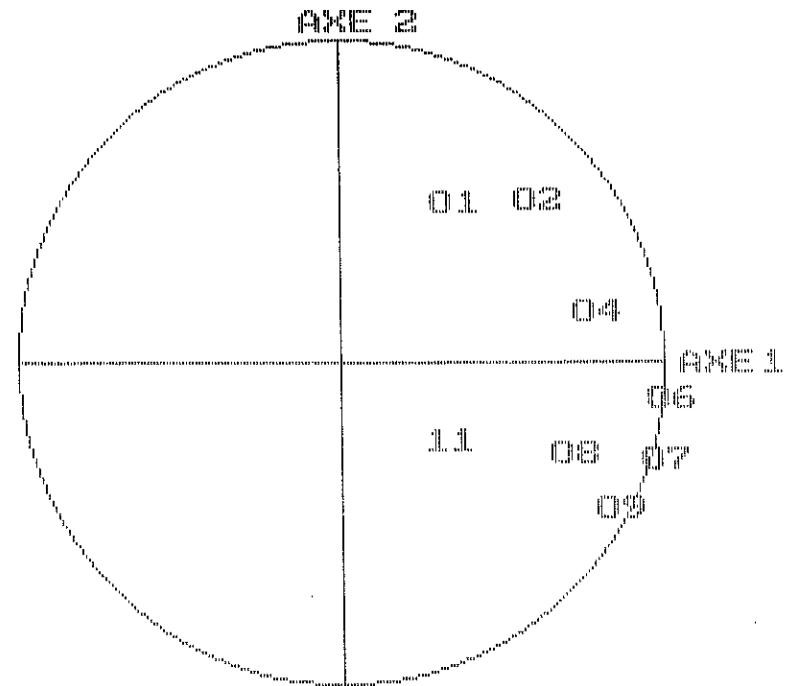
POINT CACHE

04
05
08
09

PAR

01
03
07

Mois de Novembre



POINT CACHE

03
05
10

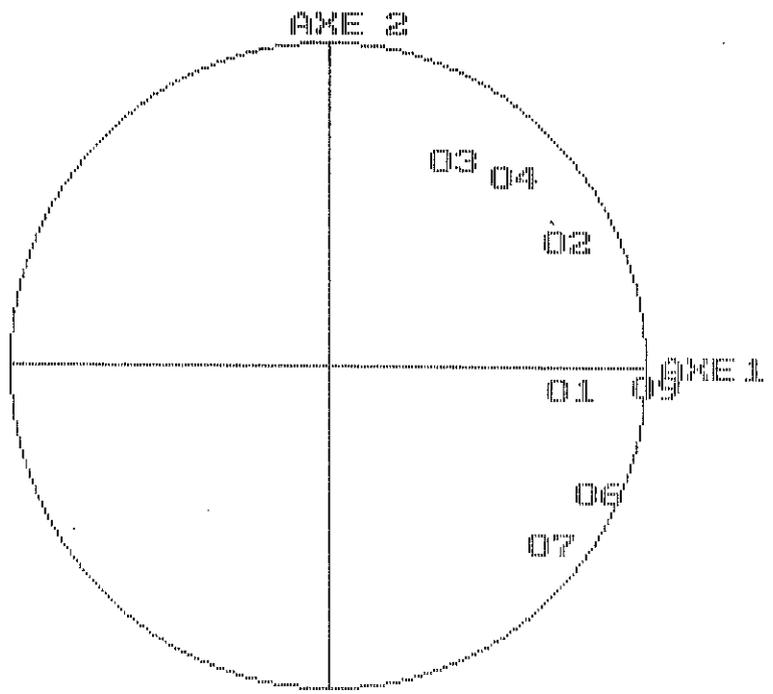
PAR

01
02
07

Mois de Décembre

ANNEXE IV.5.2

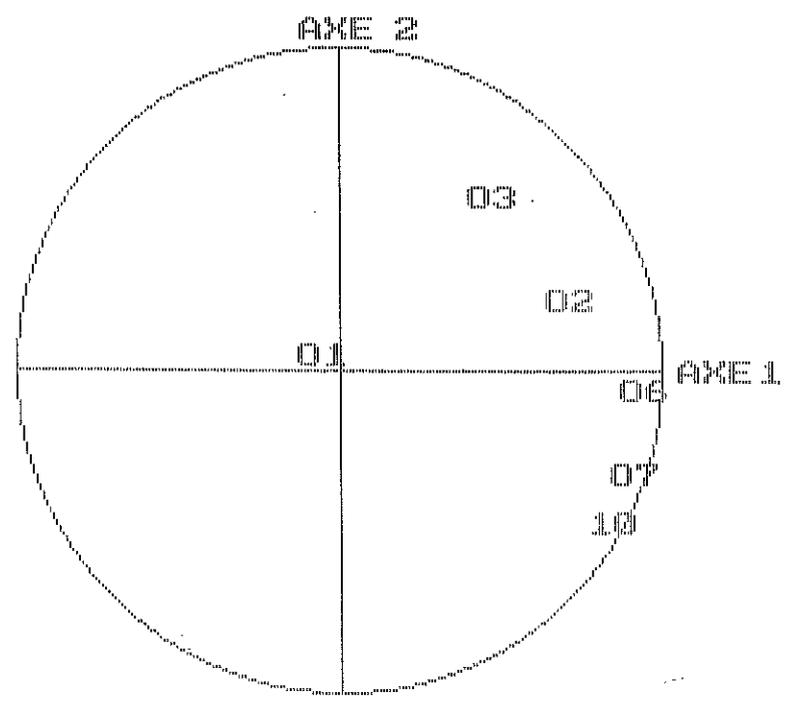
Cercles de corrélation des données mensuelles de la
deuxième décennie (1980-1990)



POINT CACHE
 05
 08
 10
 11

PAR
 03
 06
 01
 09

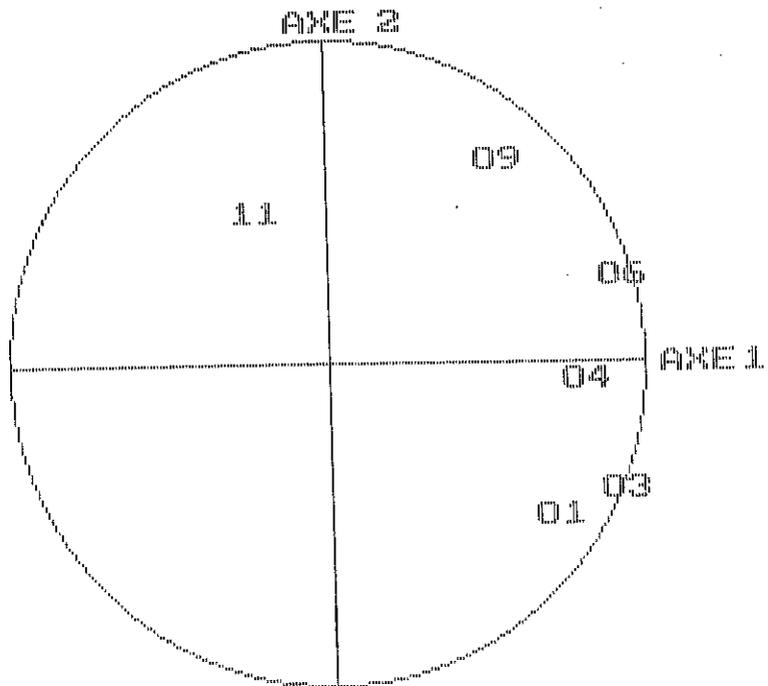
Mois de Janvier



POINT CACHE
 04
 05
 08
 09
 11

PAR
 03
 02
 06
 07
 06

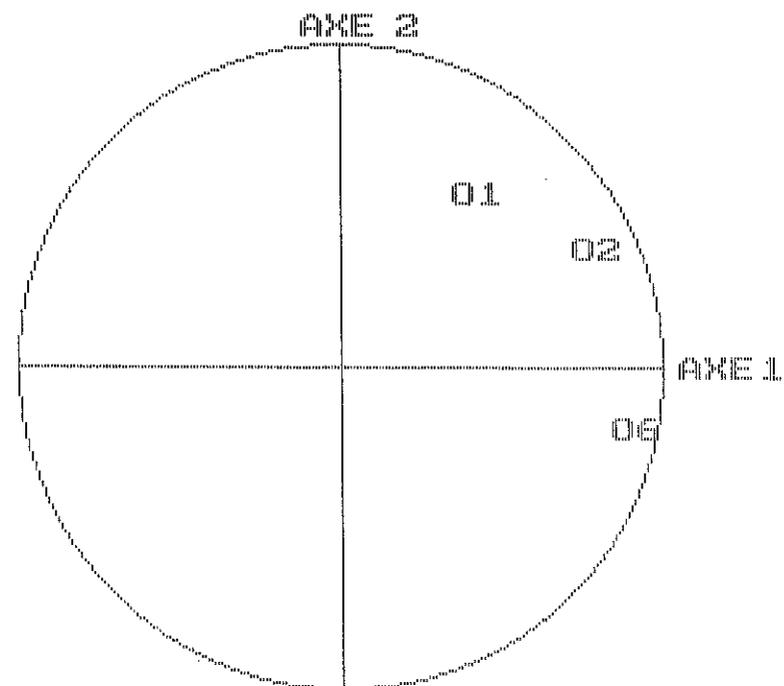
Mois de Février



CACHE
 02
 03
 05
 08
 10

PAR
 01
 01
 06
 06
 09

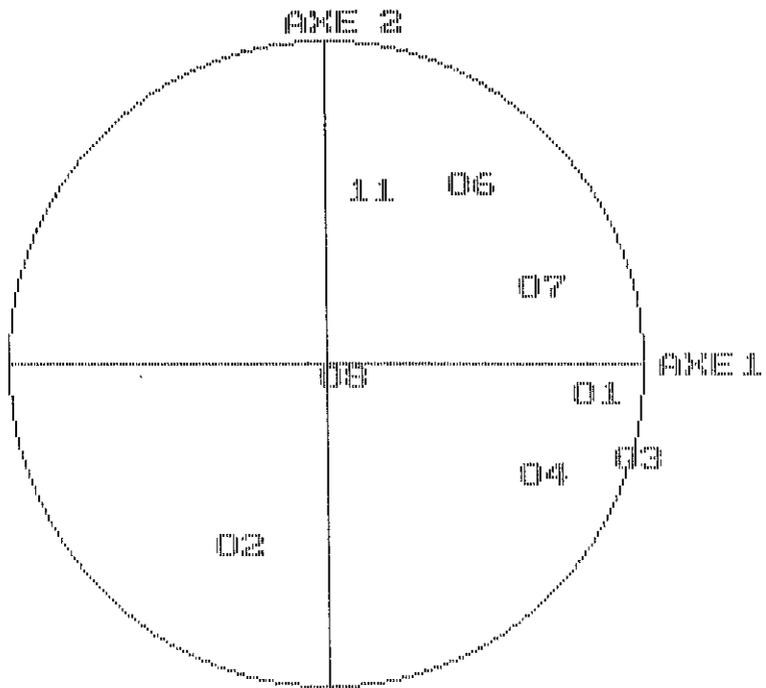
Mois de Mars



POINT CACHE
 1000000
 0000000
 1000000
 1000000

PAR
 02
 01
 01
 05
 07
 06
 07

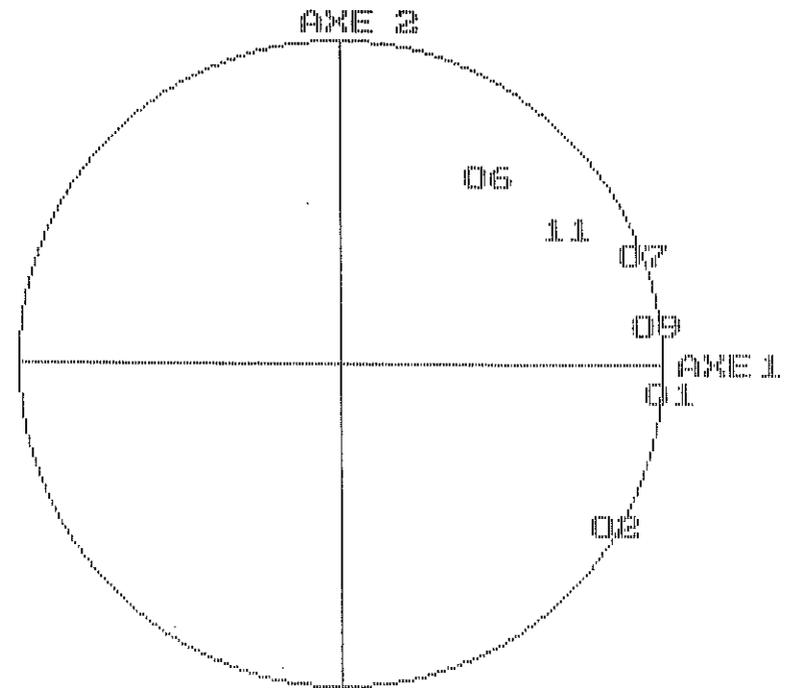
Mois de Avril



POINT CACHE
 05
 09
 10

PAR
 03
 07
 03

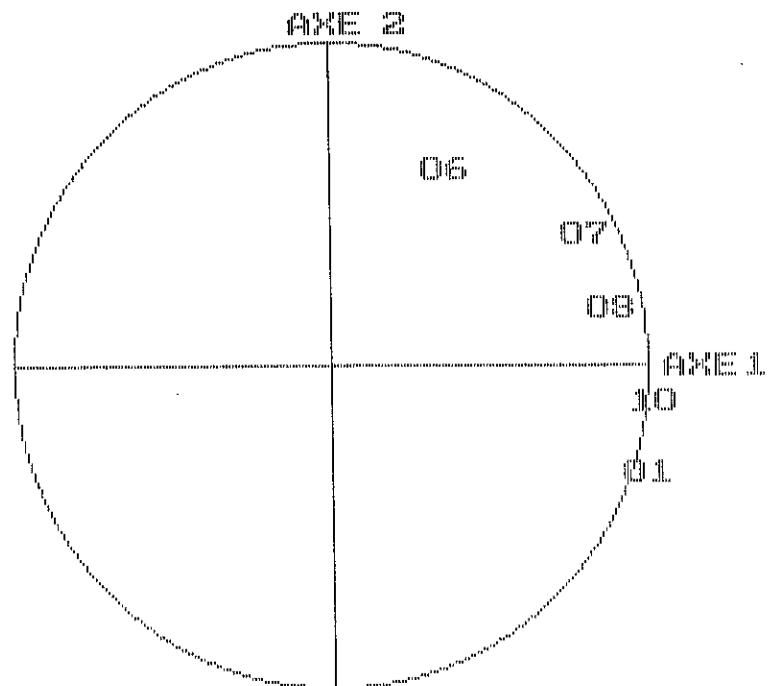
Mois de Mai



POINT CACHE
 03
 04
 05
 08
 10

PAR
 01
 02
 02
 06
 01

Mois de Juin



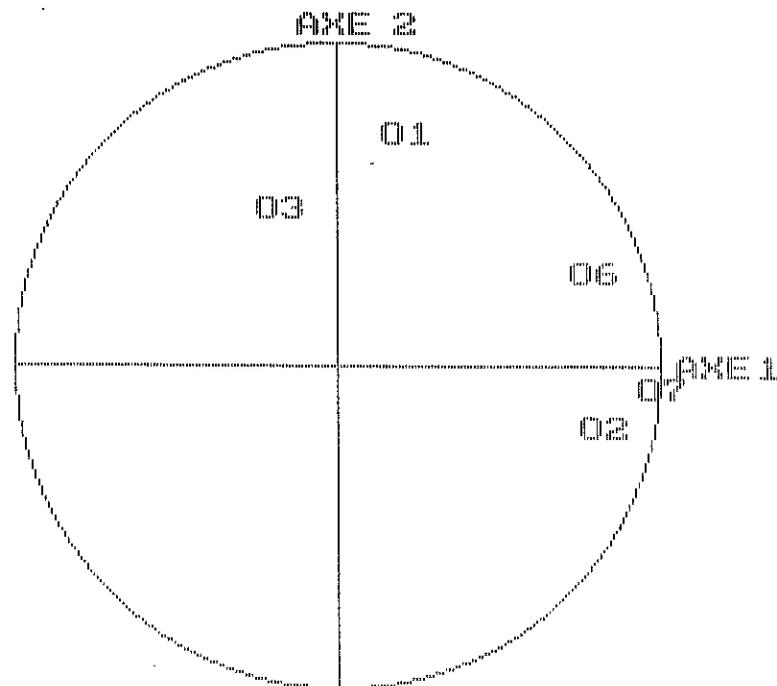
POINT CACHE

02
03
04
05
11

PAR

01
01
01
01
07
07

Mois de Juillet



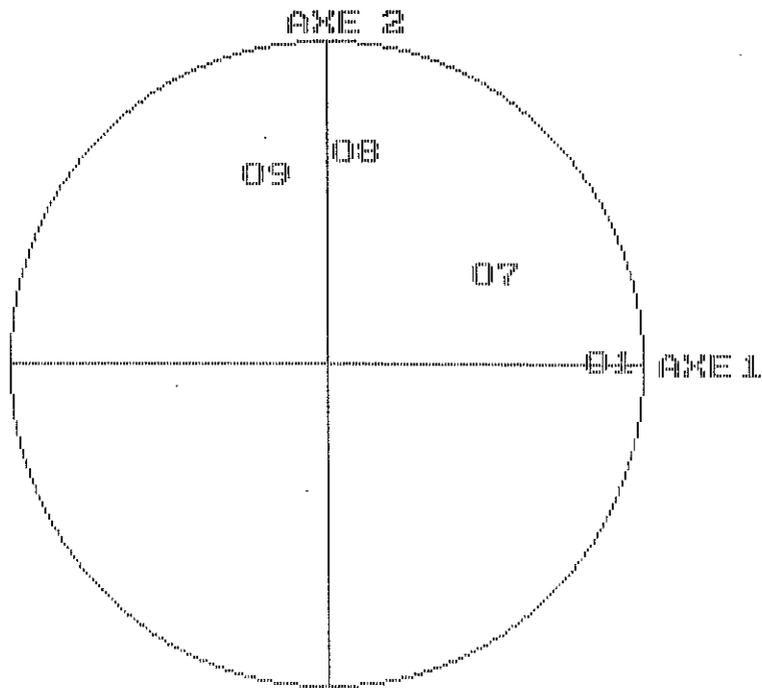
POINT CACHE

02
03
04
10
11

PAR

03
01
01
06
01
02

Mois de Août



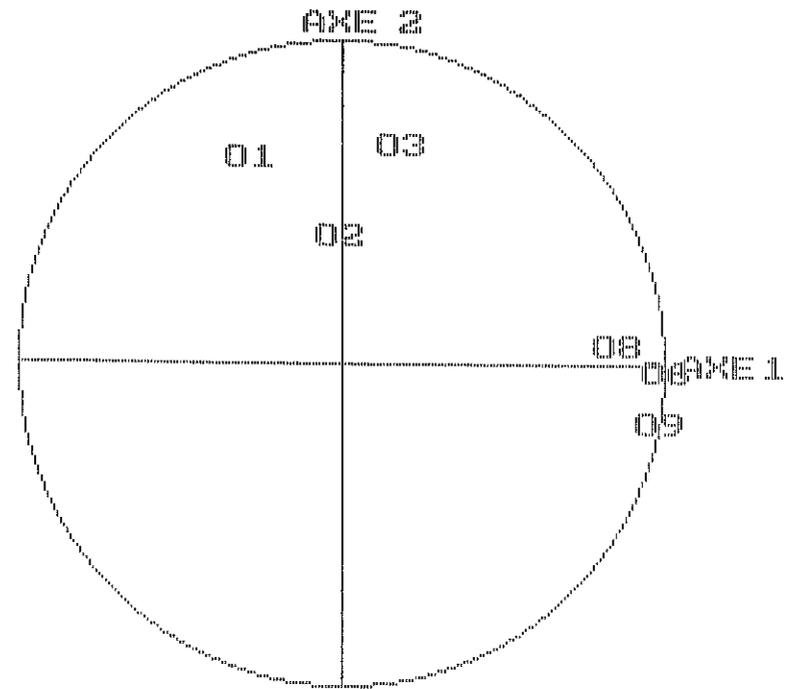
POINT CACHE

00
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11

PAR

01
01
01
01
01
01
09
08

Mois de Septembre



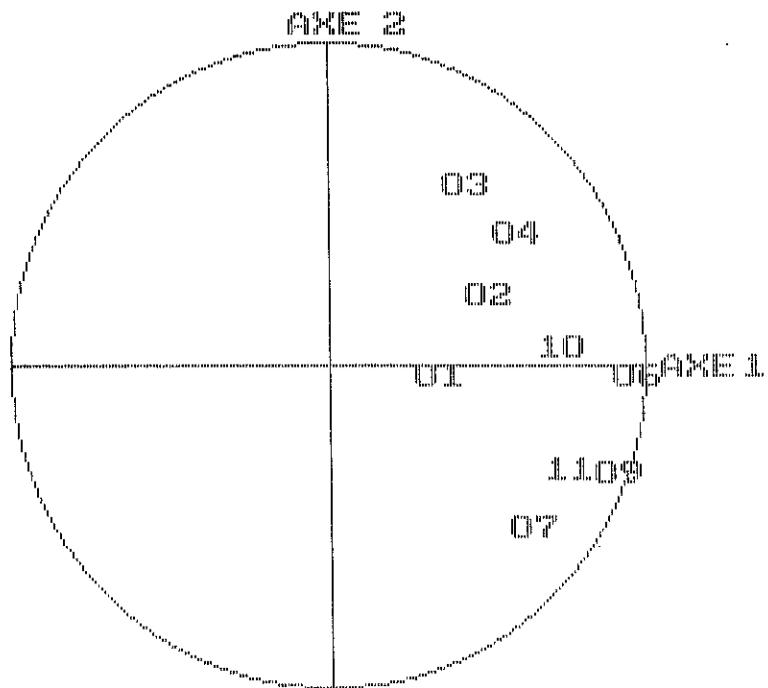
POINT CACHE

04
05
07
10
11

PAR

03
02
06
06
06

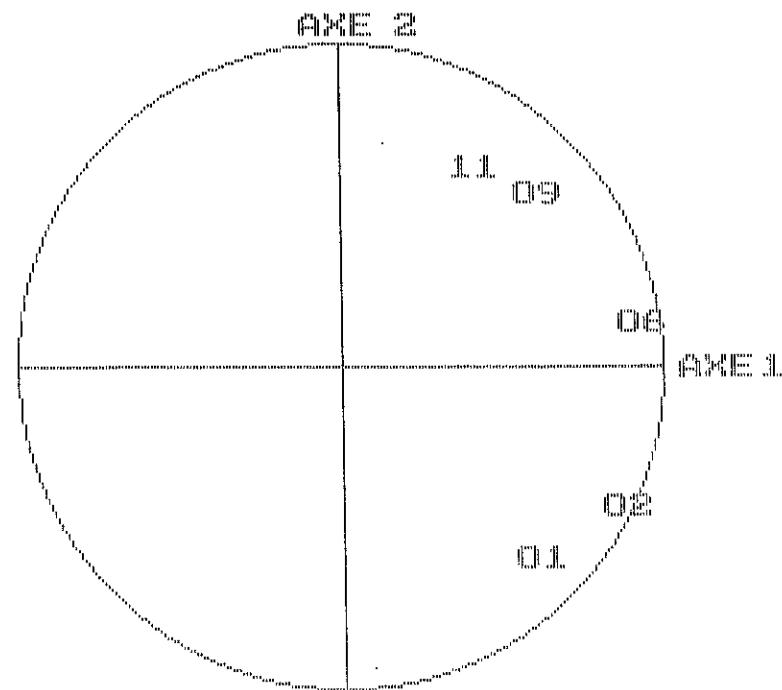
Mois de Octobre



POINT CACHE
05
06

PAR
03
07

Mois de Novembre



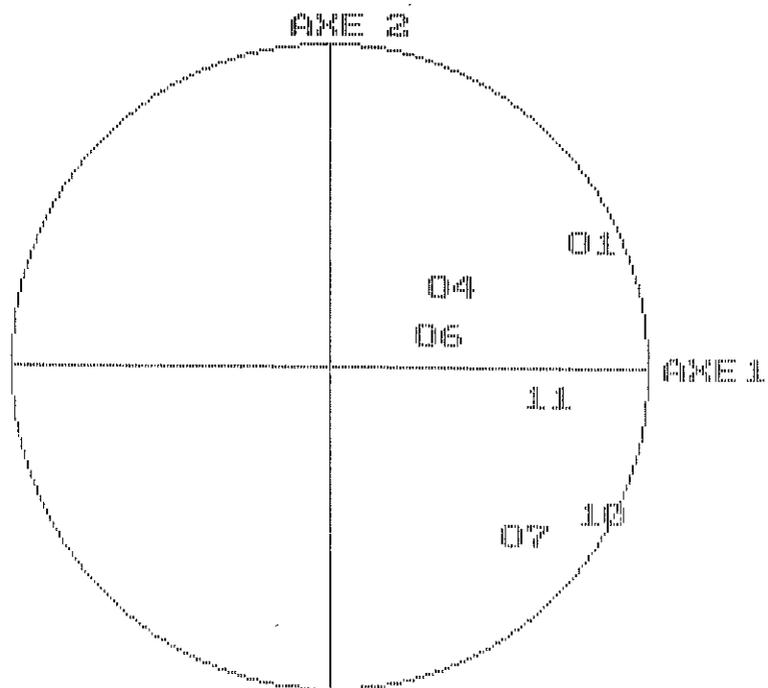
POINT CACHE
03
04
05
07
08
10

PAR
02
01
02
06
05
09

Mois de Décembre

ANNEXE IV.5.3

Cercles de corrélation des données mensuelles de la
troisième décennie (1990-1999)



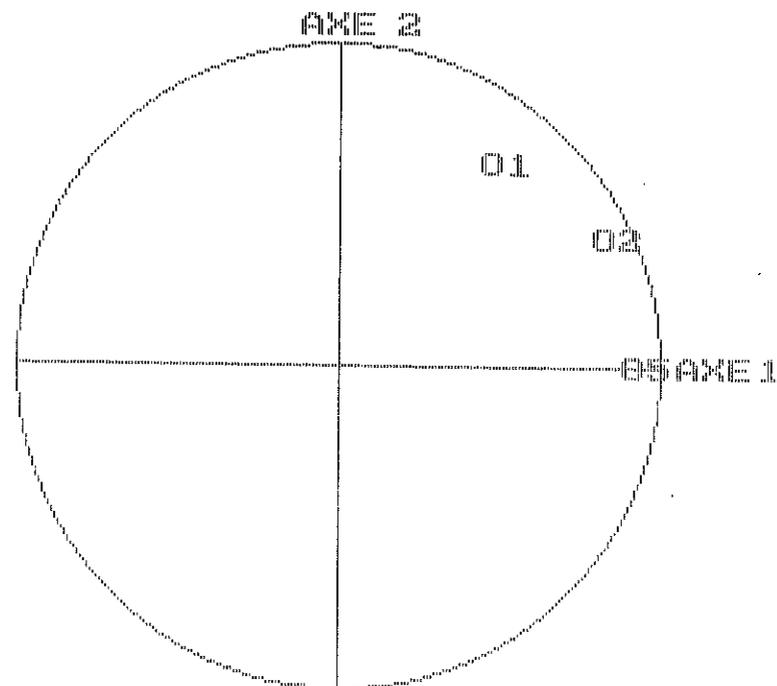
POINT CACHE

02
03
05
08

PAR

01
01
01
07
07

Mois de Janvier



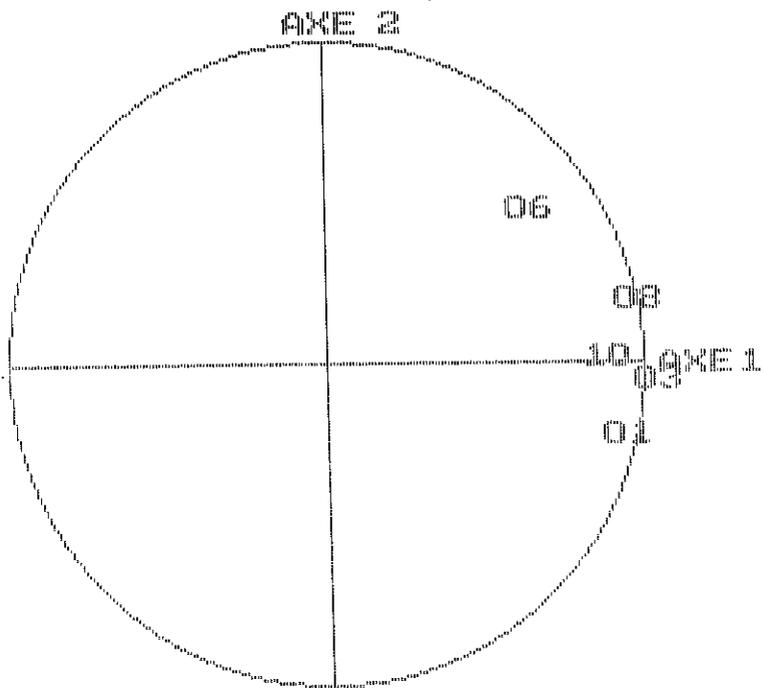
POINT CACHE

03
04
06
07
08
09
10
11

PAR

00
00
00
05
05
05
06
06

Mois de Février



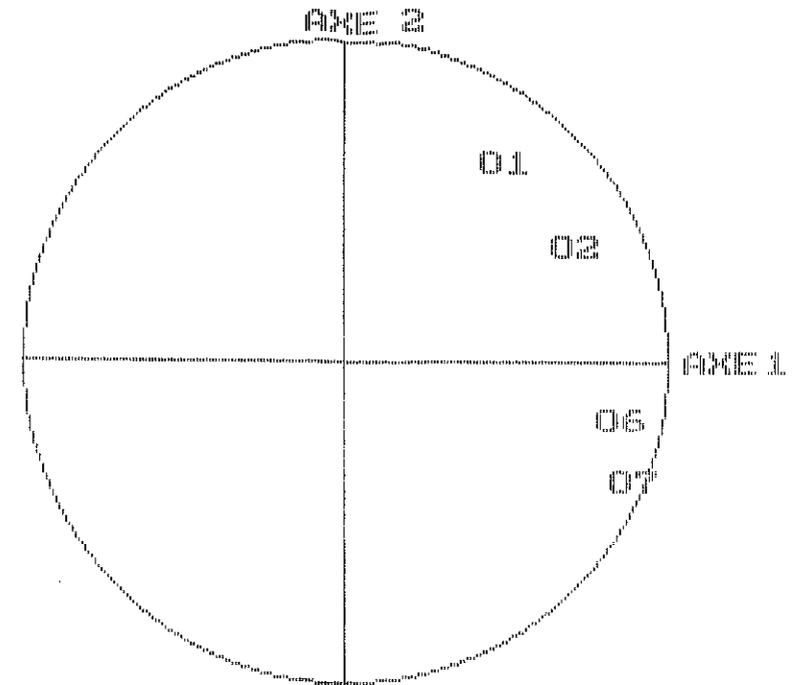
POINT CACHE

02
04
05
09
11

PAR

01
01
01
01
06
06

Mois de Mars



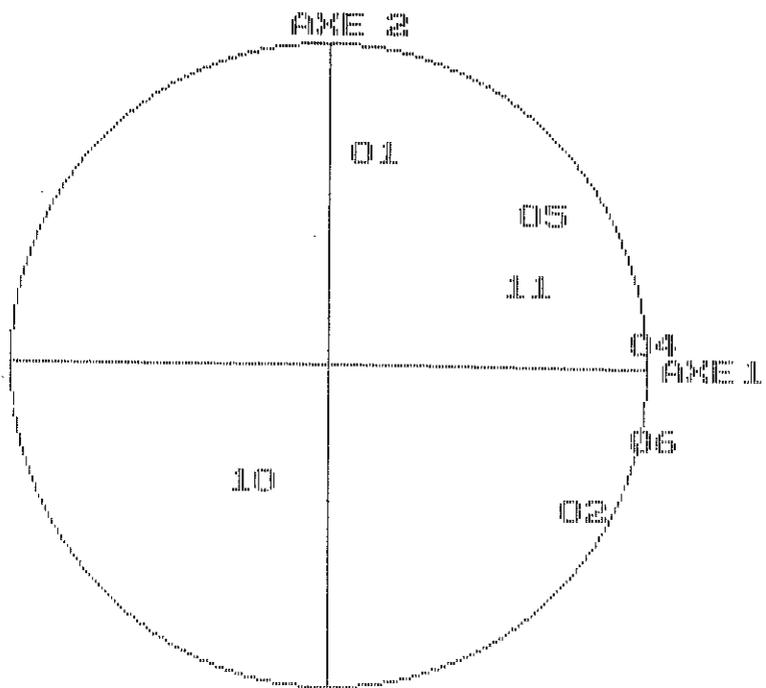
POINT CACHE

00
00
04
09
11

PAR

01
01
02
02
07

Mois de Avril



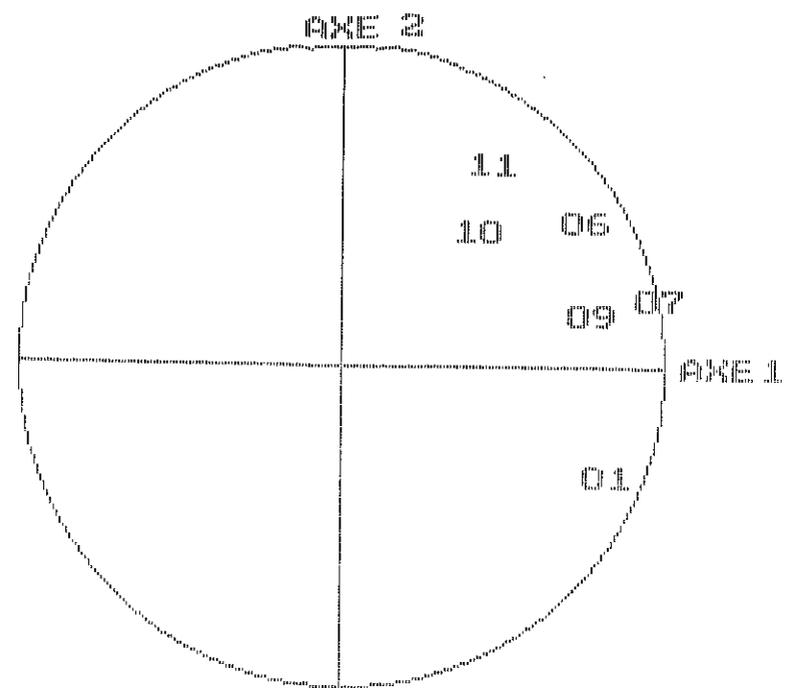
POINT CACHE

03
07
08
09

PAR

01
06
06
07

Mois de Mai



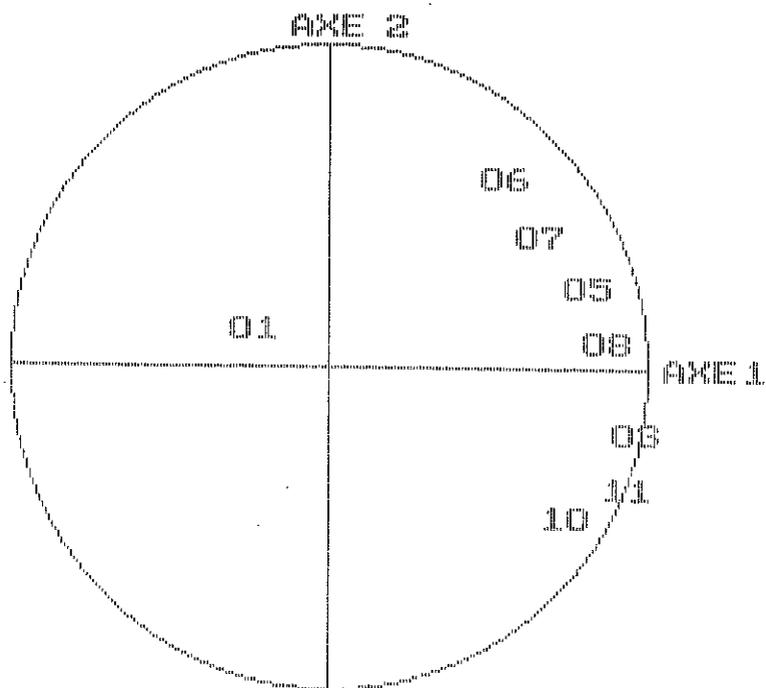
POINT CACHE

02
03
04
05
08

PAR

01
01
01
01
06

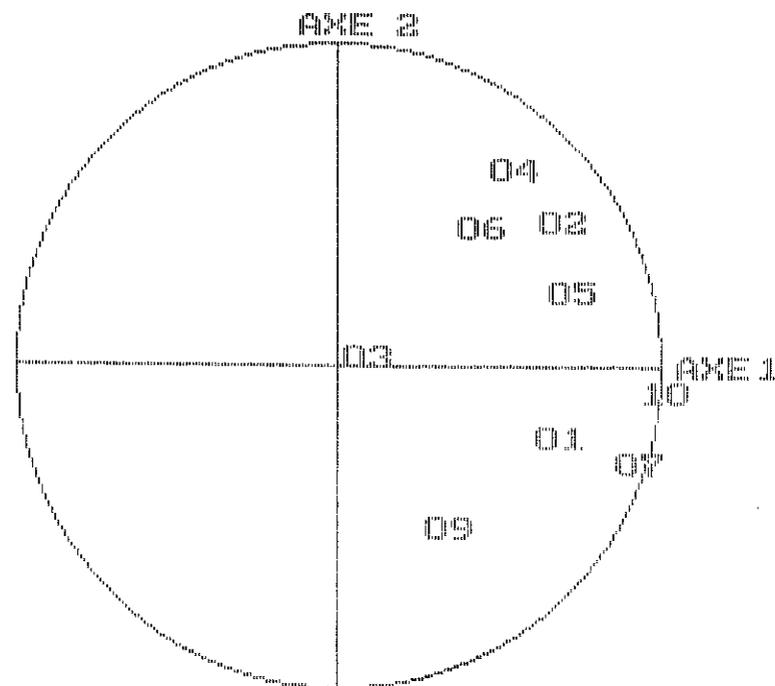
Mois de Juin



POINT CACHE
02
04
09

PAR
01
03
08

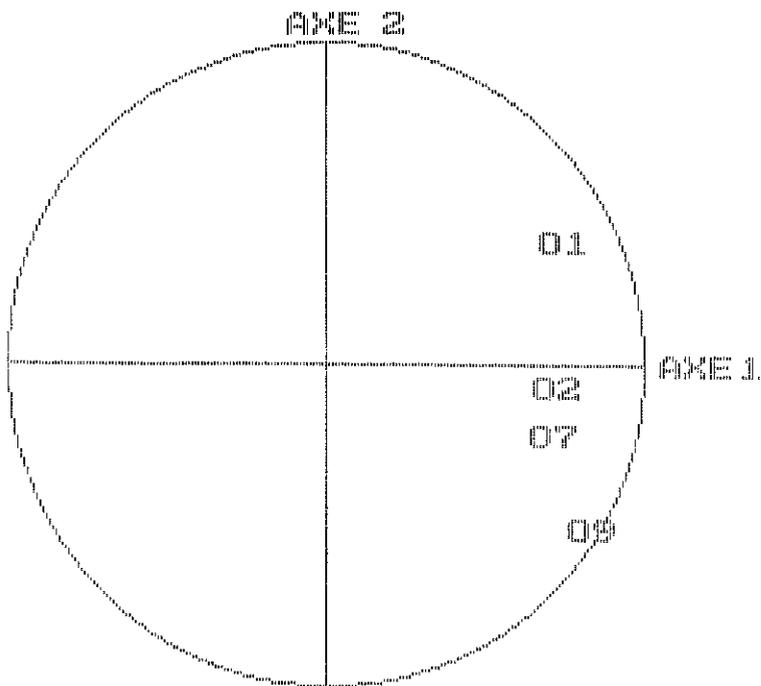
Mois de Juillet



POINT CACHE
08
11

PAR
07
07

Mois de Août



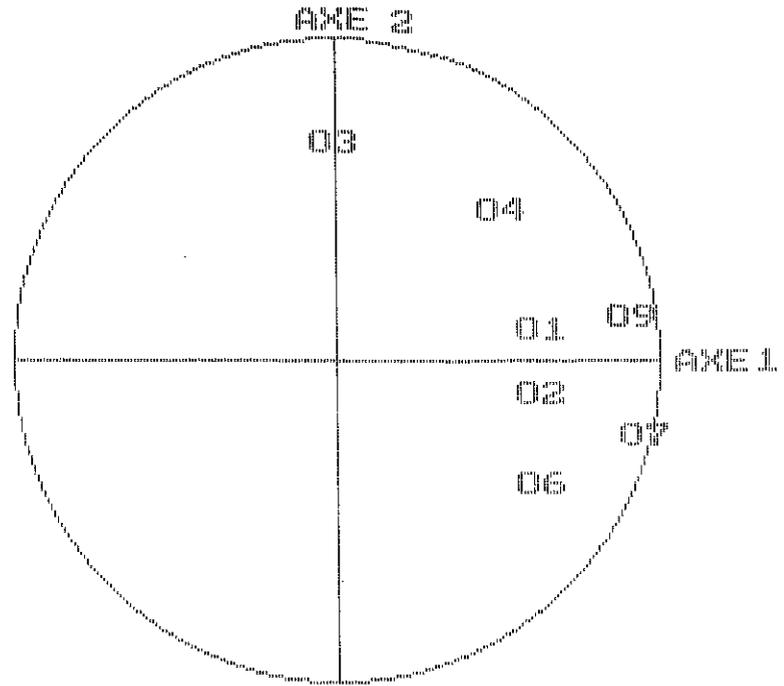
POINT CACHE

03
04
05
06
08
10
11

PAR

01
01
01
01
07
08
09

Mois de Septembre



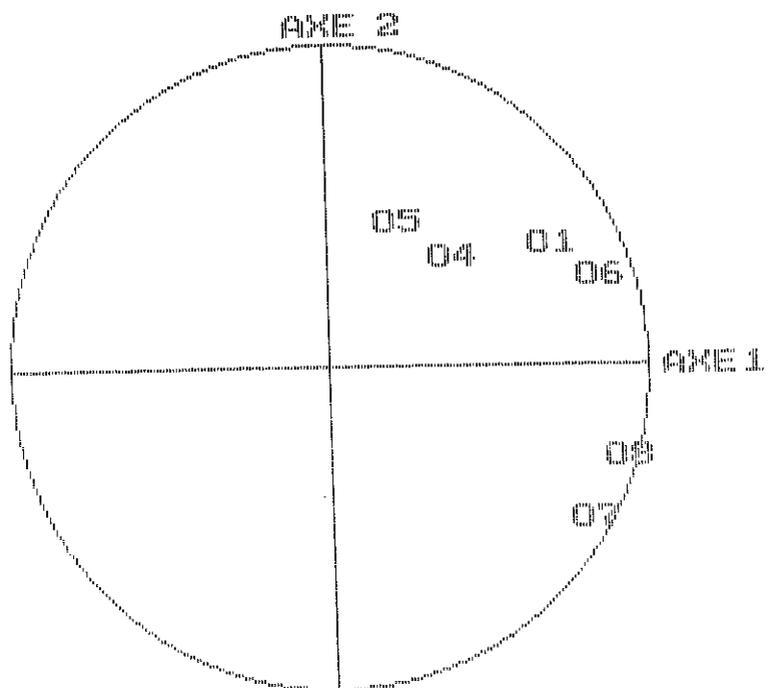
POINT CACHE

05
08
10
11

PAR

04
07
09

Mois de Octobre



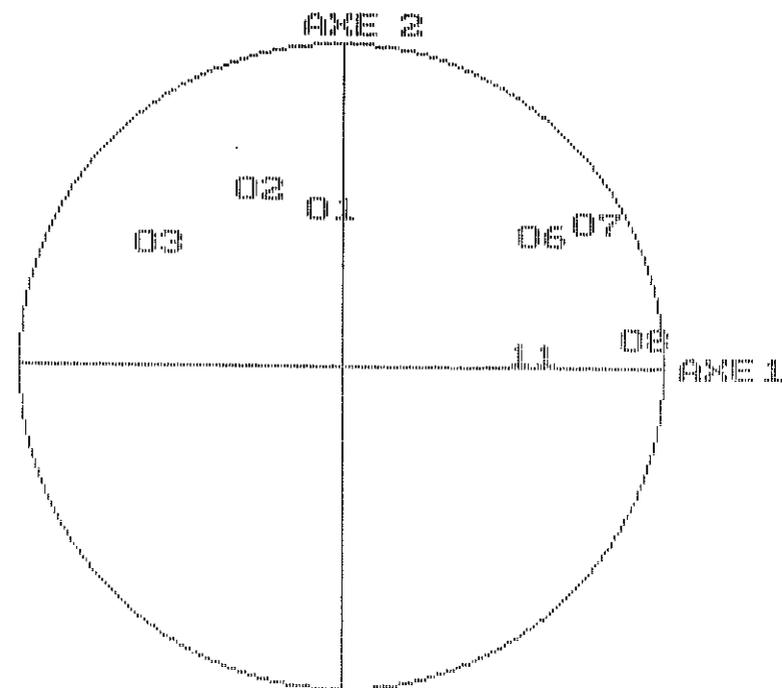
POINT CACHE

00
01
02
03
04
05
06
07
08

PAR

01
02
03
04
05
06
07
08

Mois de Novembre



POINT CACHE

04
05
06
07
08

PAR

03
04
05
06
07
08

Mois de Décembre