

n° d'ordre : 253

50377  
1987  
207

50377  
1987  
207

**THESE**

présentée à



L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DE LILLE FLANDRES ARTOIS

pour obtenir le titre de  
DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE

en

Géographie Physique. option : Climatologie

par

Abdelhak LAADOUA

**LES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES  
DES PRECIPITATIONS AU MAROC  
SEPTENTRIONAL**

SCD LILLE 1



D 030 299589 2

Soutenu le 10 Juillet 1987 devant la commission d'examen

- Mlle M. DACHARRY, professeur à l'Université de Lille I, président
- M. P. BIAYS, professeur à l'Université de Lille I, rapporteur
- M. R. LHENAFF, professeur à l'Université de Lille I
- M. G. PETIT-RENAUD, maître de conférence à Lille I, co-rapporteur
- M. C. DUPLESSIS-KERGOMARD, maître de conférence à Lille I

n° d'ordre : 253

50377  
1987  
207

50377  
1987  
207

**THESE**

présentée à



**L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DE LILLE FLANDRES ARTOIS**

pour obtenir le titre de  
**DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE**

en

**Géographie Physique.      option : Climatologie**

par

**Abdelhak LAADOUA**

**LES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES  
DES PRECIPITATIONS AU MAROC  
SEPTENTRIONAL**

Soutenu le 10 Juillet 1987 devant la commission d'examen :

*Exemplaire corrigé après avis du jury*

Mlle M. DACHARRY, professeur à l'Université de Lille I, président

M. P. BIAYS, professeur à l'Université de Lille I, rapporteur

M. R. LHENAFF, professeur à l'Université de Lille I

M. G. PETIT-RENAUD, maître de conférence à Lille I, co-rapporteur

M. C. DUPLESSIS-KERGOMARD, maître de conférence à Lille I

## RESUME :

Au nord du 33-ème parallèle ,le Maroc septentrional est un domaine de transition climatique, soumis à des flux d'origine variée qui contribuent à lui donner ses caractères d'ensemble mais également à individualiser plusieurs sous-ensembles régionaux .

39 stations et postes pluviométriques d'inégale qualité couvrent l'espace en question . La méthode des doubles masses, les tests d'Abbe, de Conrad et de Bartlett ont permis de mettre en évidence les faiblesses et l'hétérogénéité de ce réseau de stations pluviométriques, également mal réparti dans l'espace .

L'analyse factorielle en composantes principales (ACP) a été appliquée à un ensemble réduit à 23 stations pluviométriques, successivement aux précipitations annuelles, aux précipitations d'automne (Septembre à Décembre ) et à celles d'hiver-printemps ( Janvier-Avril ) . L'ACP a mis en évidence plusieurs ensembles spatiaux ,caractérisés par un type de variations temporelles . Le premier facteur dans l'ACP des précipitations annuelles traduit surtout un effet de masse, où le Maroc septentrional apparaît avant tout comme un espace unique ,caractérisé par des variations temporelles d'ensembles . Les autres facteurs dégagent au contraire des sous-ensembles spatiaux ; l'opposition entre Maroc occidental et Maroc oriental domine ,révélée surtout par le deuxième facteur de l'ACP des précipitations annuelles et les premiers facteurs des deux autres analyses . Mais les autres facteurs permettent une analyse plus fine de la variabilité spatio-temporelle . Le comportement d'ensemble et les différenciations régionales trouvent leur explication dans l'interprétation des facteurs dynamiques (types de circulation atmosphérique) et dans les facteurs géographiques (orographie en particulier) .

L'analyse en composantes principales se révèle un outil efficace pour l'étude combinée des variations spatiales et temporelles des précipitations au Maroc Septentrional .

## Mots - clefs :

Climat - Maroc septentrional - Précipitations -  
Critique des données - Analyse factorielle .

## ABSTRACT

Principal components analysis was used in order to study the spatio-temporal variations of rainfall in northern Morocco.

This was made in three steps:

-First, a few control tests (double mass, Abb, Conrad and Bartlett tests) were applied to the 39 rainfall stations network of northern Morocco in order to detect failures and heterogeneities in this network.

-Second the principal components analysis was applied to the annual and seasonal (autumn and winter-spring) rainfall data of the 23 most reliable stations. The first component is to be related to a size effect without regional differences but large time variations between dry and rainy years and/or seasons. The 3 following components give the opportunity to look at the regional differences in northern Morocco, first of them the West-East Morocco opposition.

-Third, these spatio-temporal variations were interpreted in terms of dynamical (synoptic meteorology) and geographical (mostly orographic) effects using the most characteristic years or seasons in the principal components time series as examples.

### Avant-Propos

Ce travail a été effectué au laboratoire de Climatologie - Hydrologie de l'U.F.R de Géographie de l'Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois.

Je tiens à remercier monsieur G.Petit-Renaud pour la confiance qu'il m'a témoignée en m'accueillant dans son laboratoire, et pour l'intérêt bienveillant et l'attention soutenue qu'il a manifestés pour mes recherches, aussi pour m'avoir guidé et appris de nouvelles techniques dans le domaine de la statistique appliquée au climat.

J'exprime mes vifs remerciements à Mademoiselle le professeur M. Dacharry de l'Université des Sciences et Techniques de Lille I qui a bien voulu me faire l'honneur d'examiner ce travail et de présider ce jury.

Mes remerciements à Monsieur P. Biays ,professeur à l'Université des Sciences et Techniques de Lille I qui a bien voulu manifesté l'intérêt qu'il porte à cette thèse en acceptant d'être le rapporteur.

Je suis tout particulièrement reconnaissant à Monsieur Claude Duplessis-Kergomard, pour avoir dirigé ce travail ainsi que pour ce qu'il m'a appris, tant du point de vue théorique que pratique. Je le remercie pour la disponibilité permanente et la bienveillante patience qu'il m'a accordées . Sa compétence m'a été très précieuse .

Je remercie également Monsieur R.Lhénaff, professeur à l'Université des Sciences et Techniques de Lille I, responsable de la formation de 3ème cycle d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent au chef de la Direction de la Météorologie Nationale de Casablanca et au personnel de ce service , ainsi qu'aux Directeurs des services de Climatologie des Directions Nationales de la Météorologie Espagnole de Seville et de Malaga d'avoir bien voulu nous envoyer les données nécessaires à la poursuite de cette recherche .

J'ai beaucoup apprécié l'aide de Mme Helloir, de M et Mme Longy et Mme Dheygere pour la réalisation de ce travail.

Je ne saurais oublier tous mes amis de 3ème cycle, pour l'ambiance qu'ils font régner et pour leur aide.

Je n'oublie pas mes proches : mes parents , frères et soeurs et ma femme qui ont supporté les inconvénients.

TABLE DES MATIERES

	Page
- INTRODUCTION GENERALE	1
- SITUATION GEOGRAPHIQUE DU MAROC SEPTENTRIONAL	8
- CADRE DE L'ETUDE ET CRITIQUE DES DONNEES	14
1 - PRESENTATION DU RESEAU ET ETUDE CRITIQUE DES PARAMETRES CLIMATIQUES	15
1 - 1 Historique et sources des données	15
1 - 2 Présentation générale de l'ensemble des stations	17
1 - 3 La reconstitution des valeurs manquantes	20
1 - 4 Etude de l'homogénéité des données	23
- Test de contrôle de double masse	23
- Test de contrôle d'ABBE et de CONRAD	25
- Test de variance de BARTLETT	25
1 - 4.1 Le découpage régional des stations principales	25
1 - 4.2 Application des tests de contrôle	29
1 - 4.2.1 Le groupe Ouest (Gr.W)	29
* Station de Casa	29
* Station de Rabat-Sale	31
1 - 4.2.2 Le groupe Central (Gr.C)	41
1 - 4.2.3 Le groupe Nord-Ouest (Gr.N-W)	41
1 - 4.2.4 Le groupe Nord (Gr.N)	41
1 - 4.2.5 Le groupe Nord-Est (Gr.N-E)	41
1 - 5 Conclusion	52

	Page
UNE APPROCHE ANALYTIQUE DES PRECIPITATIONS AU MAROC SEPTENTRIONAL PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	52
1 - Rappel de la méthode de l'analyse	52
2 - Le choix de l'ACP	54
2 - 1 Application de l'ACP	54
2 - 2 La signification des axes	55
2 - 3 Premiers passages à la pratique	55
LES VARIATIONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES DU MAROC SEPTENTRIONAL	57
1 - INTRODUCTION	58
2 - LES CONFIGURATIONS SPATIO - TEMPORELLES REVELEES PAR LA PREMIERE COMPOSANTE	59
2 - 1 La première composante : mise en évidence d'un espace unique	59
2 - 2 Comportement spatial de la première composante	63
2 - 3 Comportement temporel de la première composante	66
3 - DEUX GRANDS ENSEMBLES SPATIAUX FORTEMENT DETERMINES PAR LA DEUXIEME COMPOSANTE	68
3 - 1 Le Maroc oriental	68
3 - 2 Le Maroc occidental	72
3 - 2 - 1 La région nord	72
3 - 2 - 2 La région centrale	73
3 - 1 Les variations spatio-temporelles de la 2 <sup>ème</sup> composante	74
3 - 1 - 1 Interprétation dynamique de l'exemple de 1970	79
3 - 2 - 2 Interprétation conjuguée des facteurs dynamiques atmosphériques et orographiques	83
3 - 2 - 3 Interprétation dynamique de l'exemple de 1973	83
4 - L'INTERVENTION DES AUTRES COMPOSANTES DANS LA REPARTITION DES PRECIPITATIONS	86
4 - 1 La répartition spatiale des précipitations révélée par l'axe trois	86
4 - 1 - 1 L'exemple de 1976	86
4 - 1 - 2 Interprétation dynamique	90
4 - 1 - 3 L'exemple de 1961	92
4 - 1 - 4 Interprétation dynamique	95
4 - 2 La répartition des précipitations révélées par l'axe quatre	98
5- CONCLUSION	110

LES PRECIPITATIONS SAISONNIERES	112
INTRODUCTION	113
LES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS AUTOMNALES	115
1 - INTRODUCTION	116
2 - EVOLUTION DE LA PREMIERE COMPOSANTE ET VARIATION SPATIALE D'ENSEMBLE	117
3 - Comparaison avec l'étude des précipitations annuelles	120
2 - 1 Les similitudes	122
2 - 1 - 1 Les années humides	122
2 - 1 - 2 Les années sèches	122
2 - 2 Les oppositions	122
2 - 2 - 1 Les années humides	122
2 - 2 - 2 Les années sèches	122
2 - 2 - 3 les années moyennes	122
3 - LES DIFFERENTS ENSEMBLES SPATIAUX : L'OPPOSITION REGIONALE	123
3 - 1 L'ensemble oriental: les variations régionales	127
3 - 2 L'opposition intra - régionale de l'ensemble occidental	128
3 - 2 - 1 Les régions septentrionales	128
3 - 2 - 2 Les régions méridionales	129
3 - 3 Autres oppositions régionales	130
3 - 3 - 1 Opposition côte méditerranéenne - atlantique et Est - Ouest	131
3 - 3 - 2 Opposition orientale - occidentale	135
4 - LE ROLE DES AUTRES COMPOSANTES DANS LES VARIATIONS SPATIO - TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS	137
4 - 1 La répartition spatiale des précipitations de certains automnes	137
4 - 1 - 1 Le contraste spatial de la saison : 1961	137
4 - 1 - 2 La variabilité pluviométrique automnale de 1979	139
4 - 1 - 3 La variabilité pluviométrique	143
4 - 2 La configuration automnale de 1976	143
5 - CONCLUSION	147

LES VARIATIONS SPATIO - TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS D'HIVER - PRINTEMPS	150
- INTRODUCTION	151
1 - EVOLUTION DE LA PREMIERE COMPOSANTE ET VARIATIONS REGIONALES	151
1 - 1 Les variations régionales d'ensemble	151
1 - 2 L'alternance saisonnière et le comportement d'ensemble	157
2 - LES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES REVELEES PAR LA DEUXIEME COMPOSANTE	160
2 - 1 Trois ensembles spatiaux bien déterminés	160
2 - 2 Alternances saisonnières et oppositions régionales	160
3 - LES ENSEMBLES SPATIAUX REVELES PAR LES AUTRES COMPOSANTES : OPPOSITIONS INTRA - ZONALES	167
3 - 1 L'hétérogénéité des ensembles révélée par la 3_ème composante	167
3 - 2 L'ensemble Ouest	172
3 - 2 - 1 Les régions septentrionales	172
3 - 2 - 2 Les régions méridionales	173
3 - 3 L'ensemble central	173
3 - 4 L'ensemble Est	174
3 - 5 Le rôle de la 3ème composante dans les varia- tions spatio-temporelles des précipitations	175
3 - 5 - 1 Le contraste pluviométrique d'hiver - printemps de 1970	177
3 - 5 - 2 Opposition nord-sud d'hiver-printemps de 1974	180
4 - CONCLUSION	182
CONCLUSION GENERALE	184
BIBLIOGRAPHIE	189
CARTES , TABLEAUX & FIGURES	197

## **Introduction générale**

Ce travail tente de répondre à deux objectifs :

- Premièrement, au niveau spatial, nous avons essayé d'établir un certain découpage régional qui sera utile dans une loi de programmation régionale surtout dans le domaine de la maîtrise des ressources hydroliques .
- Deuxièmement, au niveau temporel, nous avons essayé de savoir les périodes de risques qui frappent fortement l'économie agricole marocaine ; cette voie sera un outil efficace dans une étude de prévision et par conséquent d'aide à la décision .

La démarche générale de la recherche se base sur une approche analytique, reposant sur l'analyse en composantes principales qui tente de mettre en articulation l'espace et le temps . Cette méthode me semble mieux adoptée à notre problème en question .

L'étude comprend quatre parties :

- Cadre de l'étude et critique des données .
- Les variations spatio-temporelles des précipitations annuelles au Maroc septentrional .
- Les variations spatio-temporelles des précipitations automnales .
- Les variations spatio-temporelles des précipitations d'hiver printemps .

La première partie sera consacrée à une brève présentation de la région étudiée . Les fichiers d'observations de 39 stations ont constitué le support de l'étude de la critique des données . Ce sera l'objet du chapitre deux , consacré à la recherche des valeurs aberrantes dans les séries d'observations . Nous avons utilisé la méthode des doubles masses qui permet de comparer deux séries chronologiques de variables (stations) corrélées, et aussi les autres méthodes ,comme le test d'Abb, de Conrad et de Bartlett .

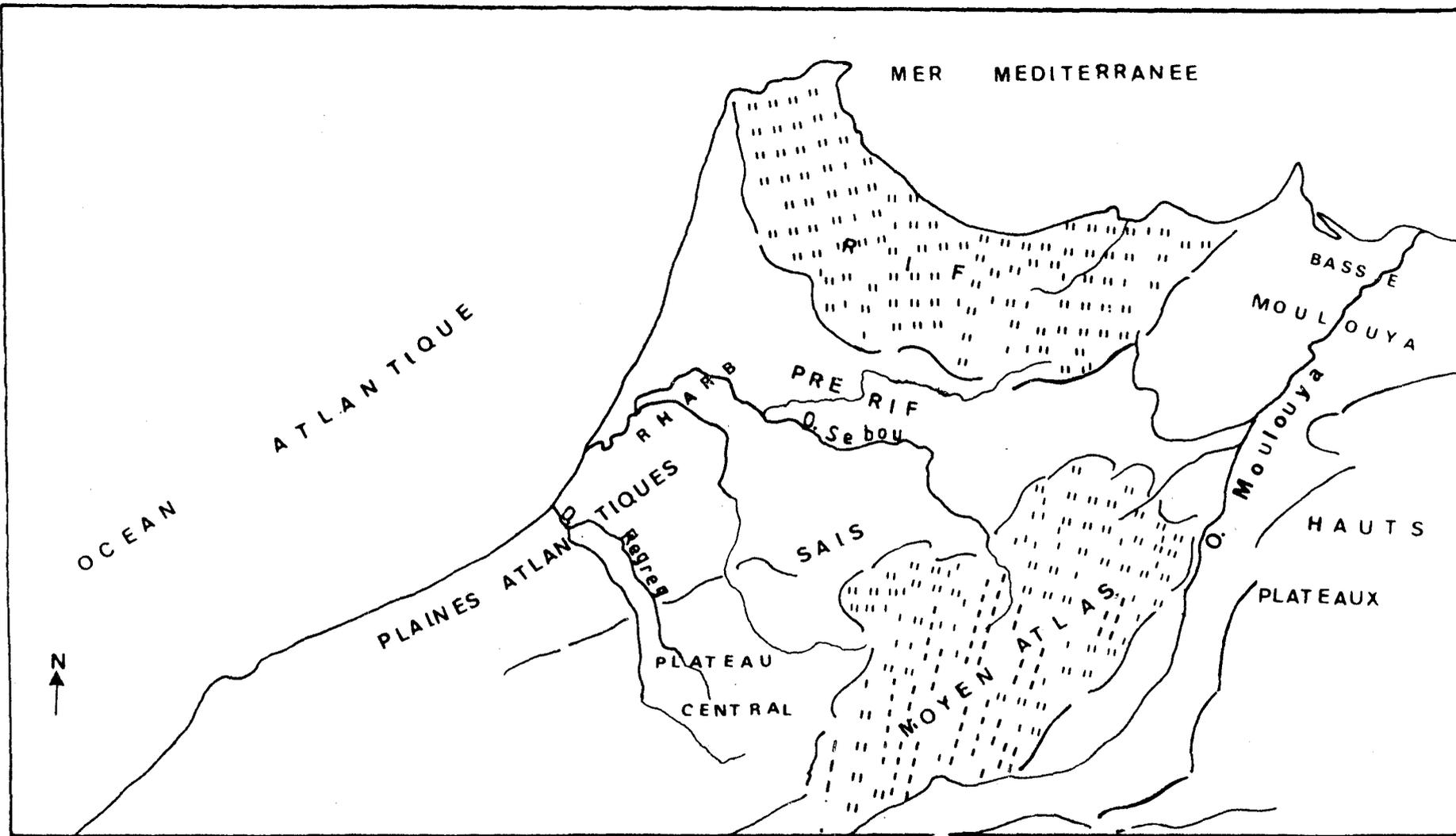
Les autres parties sont consacrées à une approche analytique des précipitations annuelles et saisonnières (automne et hiver-printemps) . Cette approche s'appuie essentiellement sur l'analyse factorielle en composantes principales (ACP) ,bien que l'ACP soit une méthode souvent utilisée ; nous avons exposé dans un premier chapitre un rappel de la méthode , en insistant sur des aspects importants en climatologie : la liaison entre les variables spatiales (stations) et les observations temporelles (années ou saisons) ; puis les projeter sur des axes et des plans factoriels et enfin les reproduire sur des cartes .

Notons que cette recherche n'est qu'un début ; on entrevoit certains prolongements . Néanmoins, nous espérons qu'elle contribuera à une meilleure connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles ,d'automne et d'hiver-printemps au Maroc septentrional .

## SITUATION GENERALE DU MAROC SEPTENTRIONAL.

Le Maroc septentrional occupe une bande étroite entre l'océan Atlantique à l'Ouest et la Méditerranée au Nord-Ouest. Il s'inscrit entre le 33ème et le 36ème parallèle et le 2ème et le 8ème méridien (carte 1) ouest. La région étudiée est constituée de plaines côtières centrales interposées entre l'océan, les plateaux bordiers et les chaînes rocheuses du Moyen Atlas et du Rif. Le Rif s'étire en arc montagneux de l'océan Atlantique plus précisément de Tanger au Nord-Ouest à l'embouchure de la basse Moulouya à l'Est. Par contre, le Moyen Atlas d'orientation Sud-Ouest, Nord-Est s'étend de la plaine de Sraghna au Sud-Ouest à la haute plaine du Saïs au Nord-Ouest et à celle de Guercif au Nord-Est. Il traverse en diagonale le Maroc en formant une barrière orographique, isolant l'Est de l'Ouest.

Le Maroc septentrional est une zone de transition topographique et climatique ; entre les influences atlantique, méditerranéenne et saharienne... Par sa situation géographique de latitude moyenne il jouit d'un climat méditerranéen, caractérisé par une saison froide et pluvieuse et par une saison chaude et sèche de mai à septembre qui se prolonge parfois sur octobre et novembre. En été une masse d'air continentale chaude et sèche stagne sur la région ; ce sont les hautes pressions subtropicales



Carte n° 1



carte de situation générale



qui prédominent largement pendant cette période et protègent la Méditerranée des perturbations du front polaire . En même temps le front polaire se rétracte vers le nord . L'air stagne et s'affaisse parcequ'il n'est plus balayé par les coulées cycloniques du secteur nord . Les jours sont longs, ensoleillés et chauds, parfois très chauds à cause du Chergui, vent d'Est torride et desséchant . Il franchit le Moyen Atlas et prend un caractère de foehn dont l'intensité diminue au fur et à mesure qu'il s'approche du littoral . En hiver le système change, le balancement de la ceinture subtropicale vers le sud laisse le passage au front polaire associé aux divers flux qui occasionnent la formation des perturbations porteuses de pluies sur notre région .

Les perturbations qui intéressent notre région, en général sont : (fig. 1 ,2 et 3) les perturbations du nord , du nord-ouest, d'ouest, du nord-est et du sud-ouest, et les perturbations sahariennes . Leur provenance indique qu'une partie se forme dans le bassin méditerranéen, une autre sur les continents européen, africain et le plus grand nombre sur l'Atlantique Nord. La météorologiste THEPENIER (cf.1981) a distingué trois grands groupes de perturbations atlantiques :

-Les grandes perturbations d'échelle synoptique ou planétaire.Elles peuvent se former sur tout l'Atlantique Nord de la zone intertropicale aux latitudes tempérées avec des bandes frontales issues de diverses régions de la zone

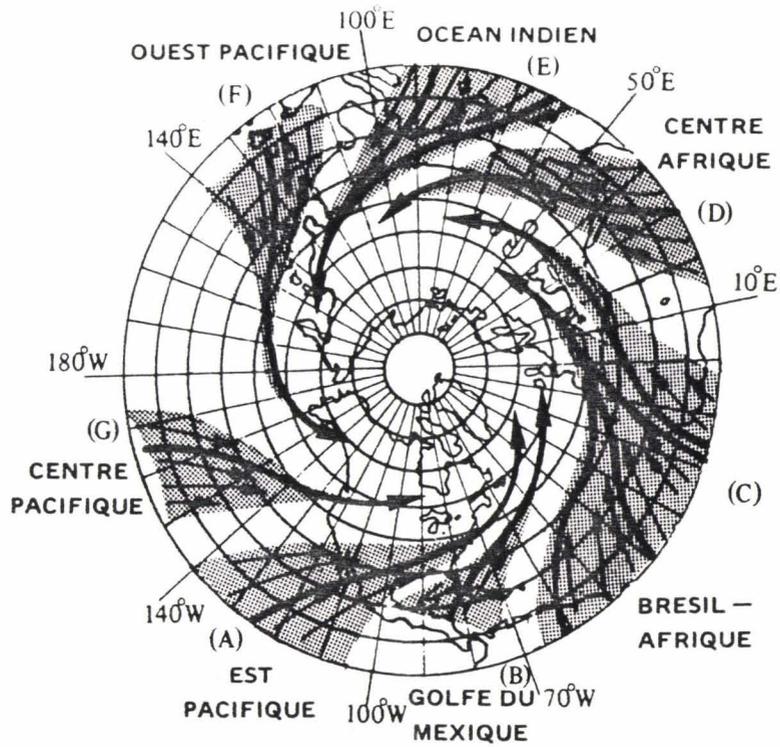


Figure 1 : Répartition géographique des 7 zones privilégiées de l'hémisphère nord, où évoluent les bandes nuageuses issues des régions subtropicales.



Zone d'évolution des bandes nuageuses.



Position et trajectoire moyenne des bandes, pour chaque zone.

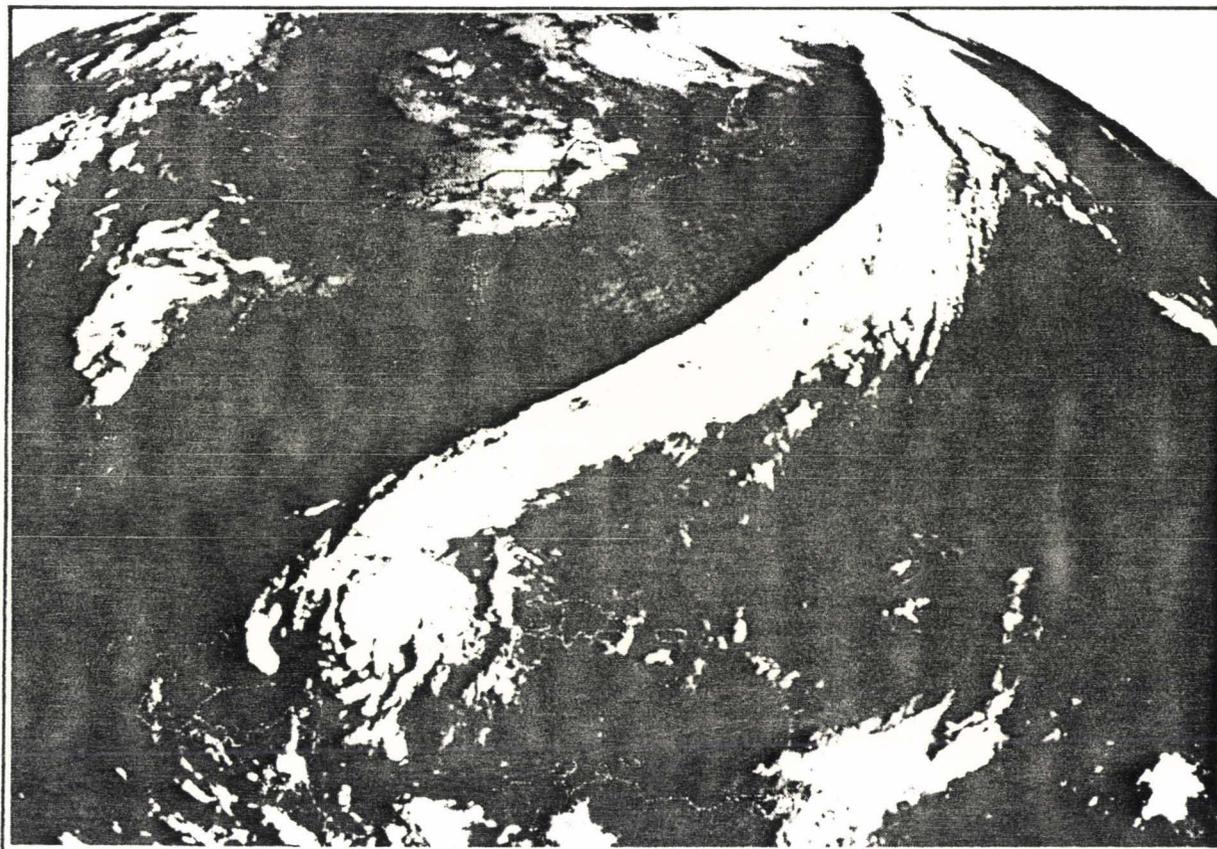


Figure 2 : GOES-E - 15 octobre 1979 IR - 14h 30  
Bande nuageuse issue du Golfe du Mexique

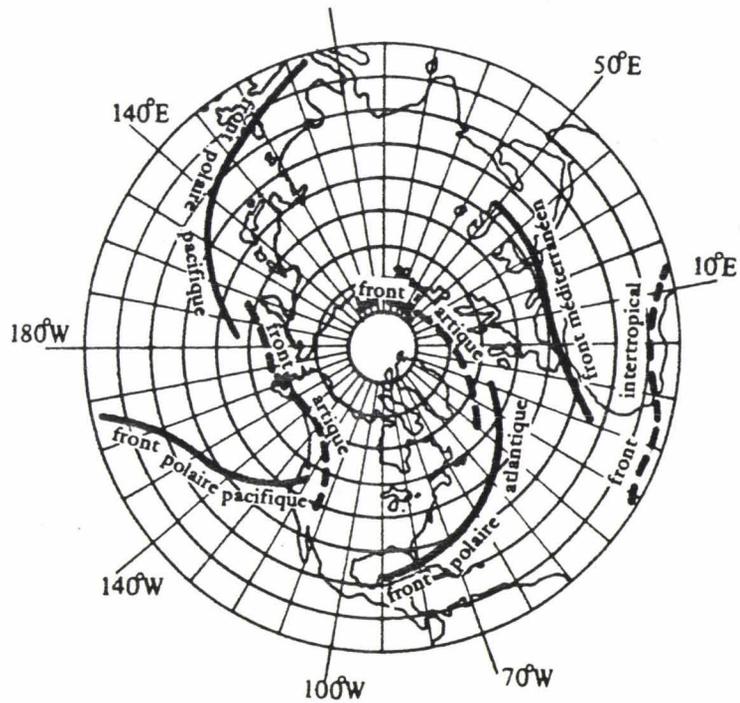


Figure 3 : Principales zones de cyclogénèse données par J. Bjerkness, en hiver, sur l'hémisphère nord (Nous avons indiqué en trait continu (—) les zones de cyclogénèse dont la position correspond avec celle des bandes nuageuses).

de convergence intertropicale . Elles peuvent provenir de toute la zone géographique comprise entre le Brésil et le Sénégal .

- Les perturbations extratropicales sur l'Atlantique .
- Le 3ème groupe d'origine plus précisément tropicale est constitué par des systèmes nuageux réactivés par les cyclones tropicaux .

Ces différentes perturbations affectent notre région pendant la saison hivernale , de façon plus au moins importante selon leur origine . Les perturbations d'Ouest , du Nord-Ouest et du Nord donnent des précipitations très importantes sur le Maroc . Par contre celles qui proviennent du Nord-Est après la traversée de la Tunisie et de l'Algérie donnent souvent des précipitations médiocres, mais parfois orageuses et violentes sur le Maroc oriental (situation du 16,17,18 novembre 1986) . Les perturbations sahariennes sont moins violentes dans notre région et d'une durée de vie plus courte : leur activité est limitée .

Après cet aperçu très bref , nous concluons que la circulation atmosphérique dans notre région explique l'alternance d'une saison chaude , sèche , ensoleillée et très longue et d'une autre saison froide, pluvieuse, parfois très courte .

**Cadre de l'étude et critique des données**

PRESENTATION DU RESEAU ET ETUDE CRITIQUE DES PARAMETRES CLIMATIQUES

1 - 1 Historique et sources des données

Avant 1900 et selon la documentation à notre disposition il n' existait qu'un seul poste pluviométrique au Maroc . Il a été installé en 1880-1881 à Tanger-ville . En 1900 cinq postes pluviométriques fonctionnaient, à savoir Tanger-ville ,Casa ,Marrakech ,Safi et Essaouira . Le grand essor du réseau a commencé avec l'arrivée des européens et la création des stations 'pluvio-thermiques contrôlées par les services de l'agriculture , Direction des Ressources en Eau ,les Eaux et Forêts et diverses stations bénévoles dans les fermes . La plupart de ces postes anciens fournissent des données parfois difficiles à utiliser . Les lacunes sont nombreuses et les changements de sites et appareils sont fréquents .

Ensuite le réseau national a connu deux phases d'installation des stations de mesures entre 1960-1961 et 1970-1976 . Des stations dont les données étaient mauvaises ont été ,soit abandonnées,soit renouées et mieux équipées , de façon à enregistrer plus de deux paramètres climatiques.

Il faut signaler qu'avant 1960, et avant 1973, les régions agricoles étaient parsemées de pluviomètres qui témoignaient de l'activité des régions rurales . Depuis le

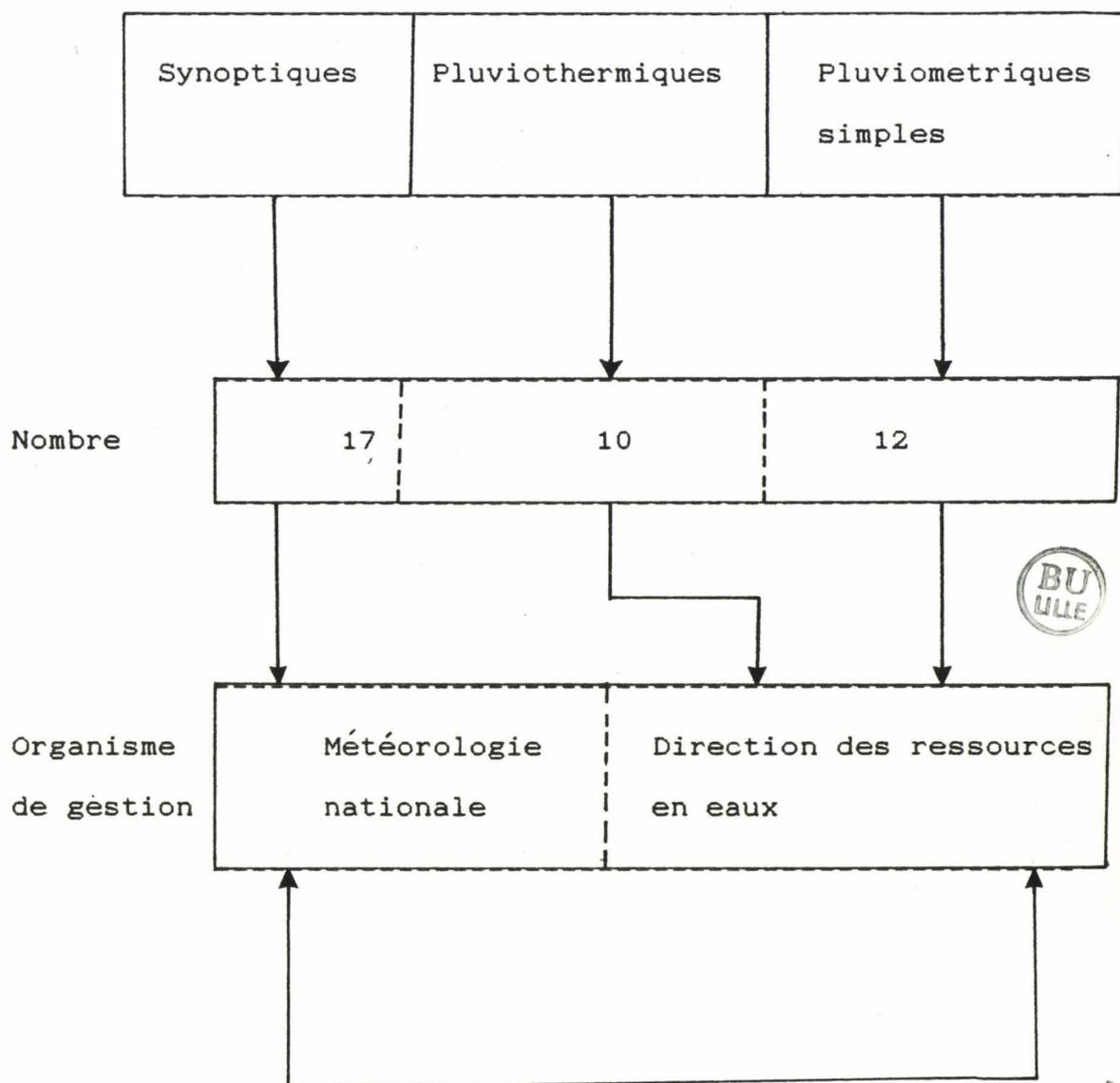
développement urbain, la récupération et la distribution des terres ont fait disparaître une grande partie des fermes et par conséquent des postes bénévoles .

Actuellement les stations de mesure appartiennent à différents services et organismes d'aménagement : Météorologie Nationale, Division des Ressources en Eau (DRE), les Eaux et Forêts, Société de distribution de l'électricité, centres miniers, l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA)... . Ces derniers communiquent leurs observations ,soit à la Météorologie ,soit à la Direction des Ressources en Eau qui constituent des fichiers pour chaque station .

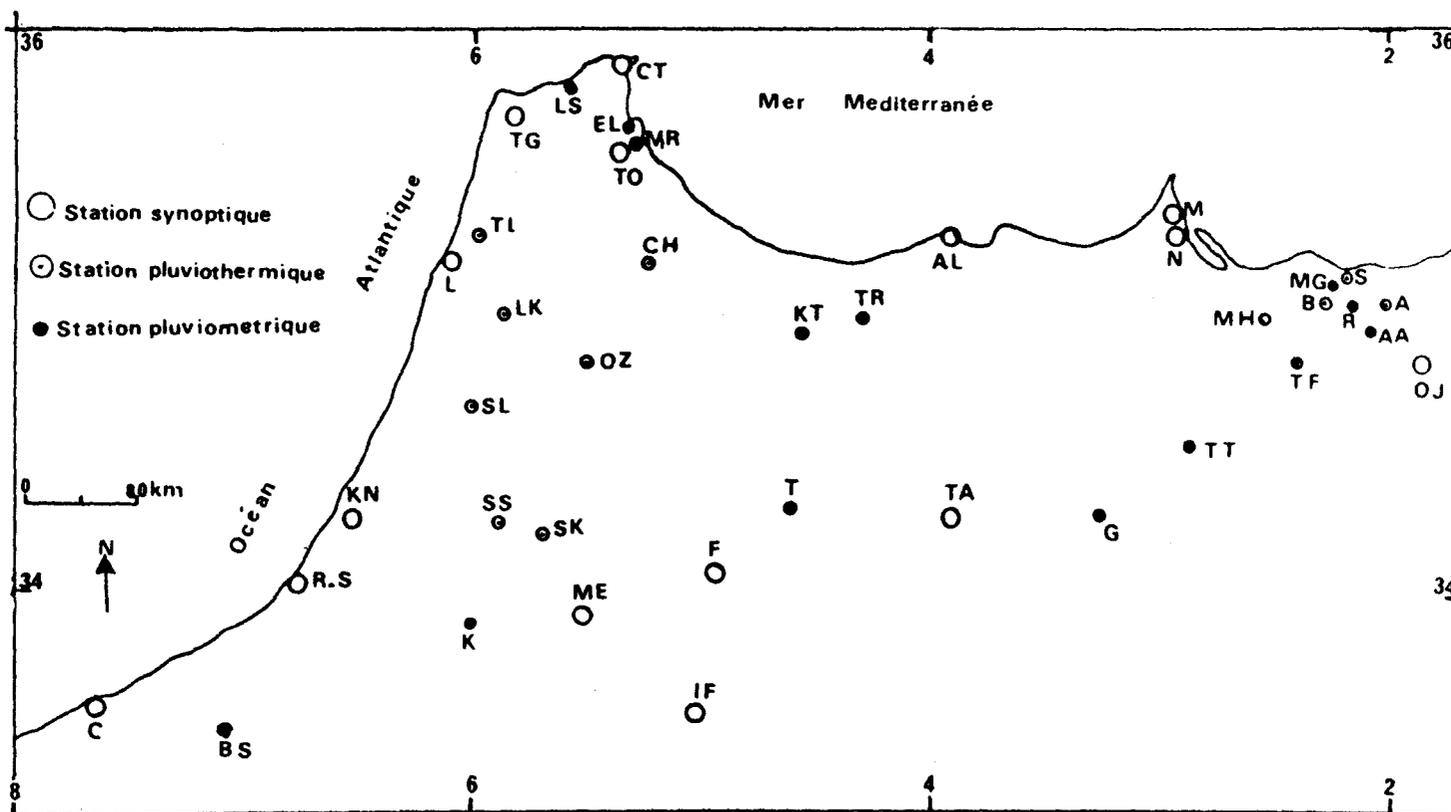
Les données utilisées dans cette étude sont : les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations . Certaines étaient disponibles au laboratoire de Climatologie-Hydrologie ,fournies sur bandes magnétiques par la NOAA ; d'autres nous sont parvenues par courrier de la Météorologie Nationale ou extraites de ses archives sur place ; de la Division des Ressources en Eau du Maroc (DRE) et de la Météorologie Nationale française (Paris) .

1 - 2 Présentation générale de l'ensemble des stations

On dispose d'un réseau d'environ 39 stations de mesures connues ,réparties sur le Maroc septentrional de qualité très inégale ,mais néanmoins de faible densité (carte 2 et tableau suivant )



# LE RESEAU DES STATIONS DU MAROC SEPTENTRIONAL



- 1 AA = A. Almou
- 2 A = Ahfir
- 3 AL = Al-Hoceima
- 4 AR = A. Regada
- 5 B = Berkane
- 6 BN = Ben Slimane
- 7 C = Casa
- 8 CH = Chaouen
- 9 CT = Ceuta
- 10 EL = El Mediak
- 11 F = Fes
- 12 IF = Ifrane
- 13 K = Khemisset
- 14 KN = Kenitra
- 15 KT = Ktama
- 16 L = Larache
- 17 LK = Ksar-L
- 18 LS = Ksar-S
- 19 M = Melilla
- 20 ME = Meknes
- 21 MG = Madagh
- 22 MI = Midelt
- 23 MH = Mechra-Hammadi
- 24 MR = Martil
- 25 N = Nador
- 26 OJ = Oujda
- 27 OZ = Ouezane
- 28 RS = Rabat-Sale
- 29 S = Saïdia
- 30 SK = S. Kacem
- 31 SL = S. Larbaa
- 32 SS = S. Slimane
- 33 T = Tissa
- 34 TA = Taza
- 35 TF = Tafoalt
- 36 TG = Tanger
- 37 TL = Tlata
- 38 TR = Targuiste
- 39 TT = Taourirt

Carte n°2



17 stations dites de base ou synoptiques sont gérées par la Météorologie . Elles effectuent tous les types d'observations à l'exception de la station de Chaouen qui n'enregistre *que* les températures et les précipitations . Leurs données sont d'excellente qualité .

Parmi les autres stations celles qui dépendent de la Direction des Ressources en Eau ne relèvent que les températures et les précipitations à l'exception de Tlata de Ressana, la station la mieux équipée qui dispose d'un grand nombre d'appareils de mesure . Ces stations sont qualifiées de stations secondaires .

La répartition spatiale des stations est relativement représentative des différents milieux naturels du Maroc septentrional : les plaines atlantiques sont les mieux représentées, par une quinzaine de stations . Nous trouvons une série de stations du Moyen Atlas , en passant par le Saïs , le Pré-Rif et le couloir de Taza jusqu'à l'oriental .

Le Rif est représenté par une dizaine de stations surtout localisées au Nord et au Nord-Ouest , par contre au centre il n'y a que quelques postes pluviométriques secondaires Ktama (1530 m) et Targuiste (1550 m) . Ils sont contrôlés soit par le "Caïdat" (ministère de l'intérieur) soit gérés par l'administration des Eaux et Forêts , soit, situés tout près de l'école, dont le gardien effectue les mesures . Les séries sont très courtes, très lacunaires et

de mauvaise qualité puisqu'ils sont gérés par des services dont le personnel n'est pas qualifié pour ce genre de travail .

Si on ajoute à la disparité dans la répartition des stations ,de nombreuses lacunes dans le centre montagnard dans les régions peu habitées et moins accessibles, et l'élimination des postes de Ktama, de Targuiste et de Ksar-Essaghir, le Rif n'est représenté que par huit stations Le manque de données de certaines stations dont les séries sont très lacunaires, incomplètes et très courtes ,nous a obligé non seulement à combler les lacunes mais aussi à augmenter la longueur des séries .

### 1 - 3 La reconstitution des valeurs manquantes

La régularité des observations du réseau n'est pas parfaite . Certes ces stations sont des stations principales et ordinaires . Les lacunes dans les séries ne sont pas rares parfois il s'agit de très longues lacunes ,surtout dans les stations secondaires isolées et mal surveillées . C'est pour cela que nous avons préféré éliminer les très courtes séries d'observations qui présentent plus de douze mois successifs de lacunes . Nous avons adopté la méthode de la régression linéaire simple . Elle nous a paru plus utile qu'une reconstitution des valeurs manquantes reposant sur la moyenne . Dans un premier temps nous effectuons de nombreux essais pour chercher les bonnes corrélations liant la station dont les valeurs sont manquantes aux postes les plus

proches de son environnement . Puis une fois choisi le poste qui présente le meilleur coefficient de corrélation ; nous employons le test de Student (T) (cf.MURRAY R. SPIEGEL 1984) .

$$T = \frac{R\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

R : coefficient de corrélation

N : période commune aux deux séries

La valeur estimée est acceptée si T de Student calculée est supérieure à celle donnée par sa table au nombre de degrés de liberté (N-2) et à un seuil de probabilité choisi, souvent on adopte le seuil de 95% .

#### Application :

Pour illustrer notre méthode nous présentons à titre d'exemple la reconstitution de quelques valeurs manquantes de la série des précipitations mensuelles de la station de Nador . Dans ce but nous avons recherché les meilleures corrélations entre les précipitations mensuelles du poste de Nador et les précipitations mensuelles de chacun des postes du groupe Nord - Est , composé de Melilla , Al-Hoceima , Berkane, Saidia , Oujda , Taourirt , Mechra-Hammadi et Guercif.

Globalement nous avons obtenu des coefficients de corrélation satisfaisants . Ils varient entre 0.55 et 0.99 Cette variation du coefficient peut être expliquée par l'effet des distances importantes qui séparent Nador de certaines autres stations et le fait qu'elle ne dépend pratiquement que de la station de Melilla qui est la plus

proche (0.99) . La médiocrité de la corrélation provient en effet souvent de l'irrégularité dans la répartition des précipitations d'été, qui peuvent être totalement absentes à la station voisine , en raison de la nature des pluies d'été (averses orageuses) dans les régions méditerranéennes.

Nous donnons ici les résultats de l'analyse de la période 1976-1984, soit un nombre de degrés de liberté de 7 ans (NDL = 7) .

Tableau 2 : corrélation entre Melilla et Nador

Mois	Coef.R.	T.Student	Mois	Coef.R.	T.Student
Ja	0.61	2.06	Juil.	0.97	12.69
Fev.	0.99	21.63	Août	0.78	6.17
Mar.	0.80	6.46	Sept.	0.98	16.31
Avr.	0.73	2.88	Octo.	0.99	38.59
Mai	0.99	54.94	Nove.	0.81	3.72
Juin	0.82	3.9	Déce.	0.60	2.00



La relation de régression est :  $X_1 = 0.87Y_1 + (-40,7)$  où  $X_1$  est la valeur mensuelle estimée et  $Y_1$  est la valeur mensuelle de Melilla.

Suivant cette démarche, nous avons estimé les précipitations mensuelles dans d'autres stations dont les valeurs sont incomplètes ou manquantes .

#### 1 - 4 Etude de l'homogénéité des données

C'est une condition fondamentale pour aboutir à des résultats fiables et représentatifs car les paramètres climatiques, comme les autres données expérimentales, comportent un risque d'erreur . Ce risque est plus au moins grand suivant la diversité, la multiplicité des appareils, le changement de sites et du personnel . Les tests de contrôle ont pour finalité la recherche et la détection des observations aberrantes et erronées . Elles transforment l'ensemble des données utilisées en un ensemble de données contrôlées et prêtes au traitement afin de confirmer ,de corriger ou de rejeter les séries brutes(Fig 4). Parmi les méthodes de contrôle nous utilisons :

- \* Le test de double masse ou double cumul
- \* Le test d'ABBÉ et de CONRAD
- \* Le test de variance de BARTLETT

- Test de double masse : C'est une méthode graphique Elle consiste à comparer le cumul chronologique simultané d'une station à contrôler avec une autre station témoin que l'on suppose fiable et homogène ; ou avec la moyenne d'un groupe de station adéquat . Autrement dit : soit B la série à contrôler et A la série d'une station (ou d'un groupe de stations) témoin (X) . On porte sur l'axe des ordonnées à partir de la même année les valeurs cumulées de B et sur l'axe des abscisses celles de A (ou A-moyenne - du groupe

UNE PROCEDURE POUR L'ANALYSE  
DES SERIES CHRONOLOGIQUES MENSUELLES ET ANNUELLES  
EN CLIMATOLOGIE

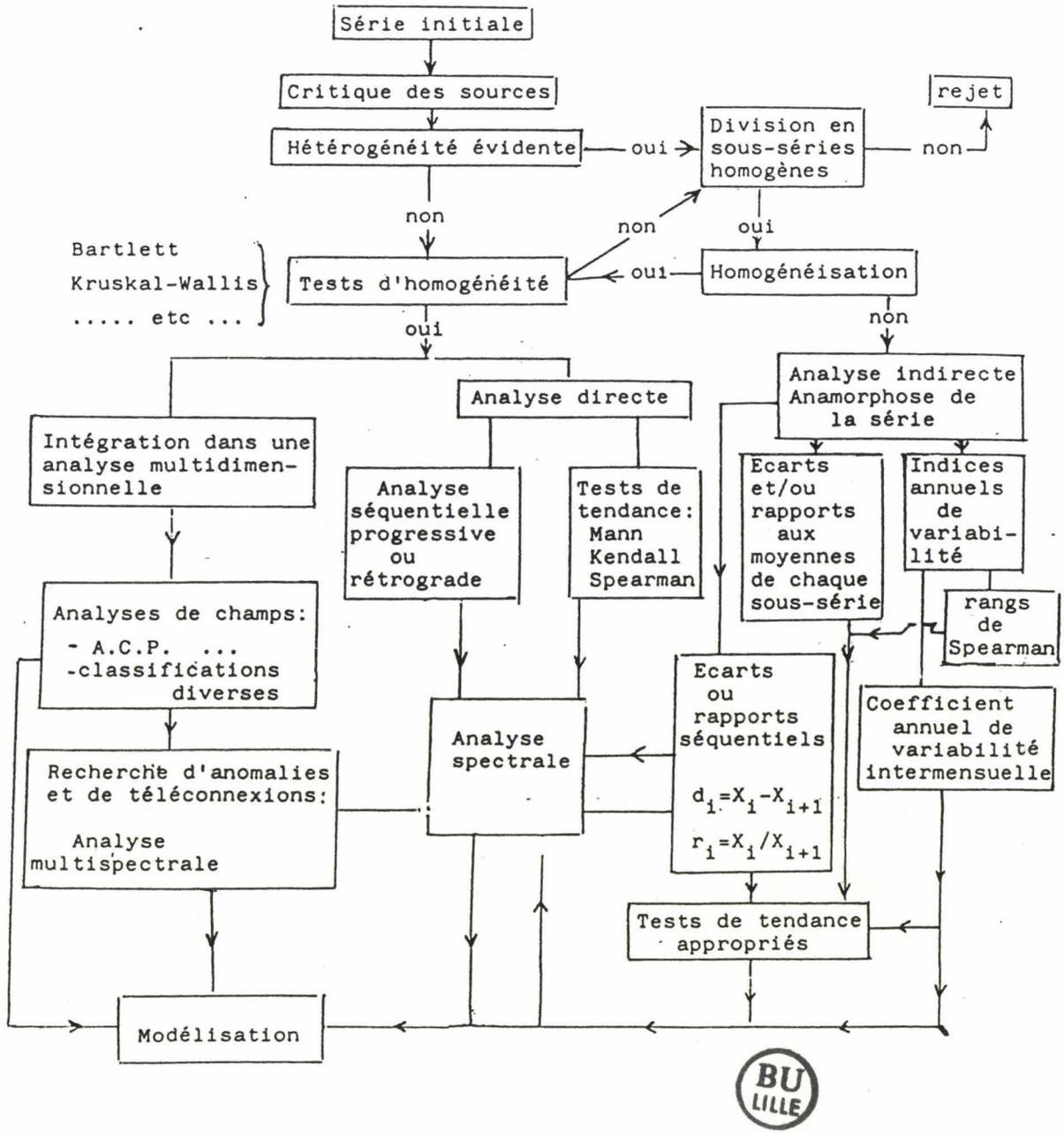


Fig.4 inspirée des travaux de G. Petit-Renaud

selon les cas) . Si la série à tester ne présente aucune hétérogénéité, les observations sont plus ou moins bien alignées . Dans le cas contraire, un changement de pente à partir d'une certaine année indique une hétérogénéité .

Avant d'appliquer le test, d'abord on cherche s'il y a une bonne corrélation entre les deux séries, ensuite on passe à l'application . Quand la figure nous reflète un changement appréciable de la pente , on a affaire à une hétérogénéité . Nous employons alors le test d'ABBE et de CONRAD (cf. ARLERY.1976 p.276) . Lorsque ces tests révèlent également une hétérogénéité dans une station , nous corrigeons la période erronée , puis nous examinons cette nouvelle série -série corrigée- au moyen du test de l'analyse de la variance de BARTLETT: Il consiste à comparer les variances des échantillons indépendamment après avoir découpé la série mère en sous-séries . En consultant la table de KHI-DEUX( $X^2$ ) au seuil de 5% et si les variances des échantillons sont à peu -près égales ou identiques et  $X^2$  calculé n'excède pas les valeurs théoriques de la table de KHI-DEUX pour un seuil de 5% et  $(K-1)$  degré de liberté, on conclut que la série corrigée est homogène .

#### 1 - 4.1 Le découpage régional des stations principales

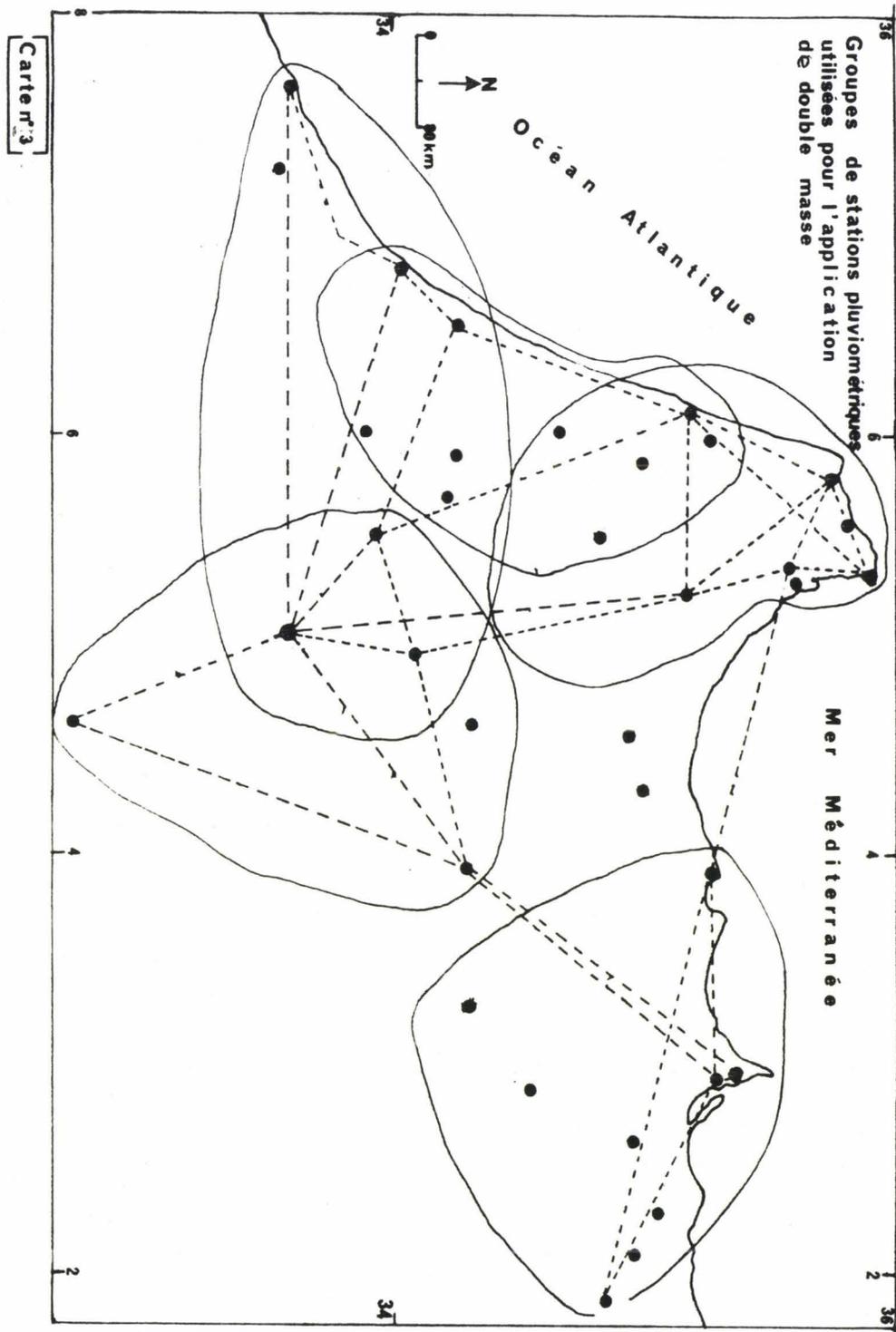
Avant d'appliquer les tests de contrôle, nous avons essayé de décomposer le réseau et de chercher à regrouper les stations qui ont le plus de points communs, de façon à

mieux représenter leur milieu climatique . Dans la première étape seules les stations principales ont été prises en considération dans le découpage régional. Ensuite toutes les stations secondaires ont été incluses dans le groupe adéquat . Nous nous sommes basés sur la corrélation spatiale interposte. C'est une méthode bien connue et fortement utilisée en hydrologie et en climatologie . C'est ainsi qu'il nous a semblé utile de suivre cette démarche .

L'examen a porté sur les valeurs mensuelles des précipitations d'un réseau d'environ 39 stations relativement bien réparties dans le Maroc septentrional. Pour que les stations constituent le même groupe , il faut qu'elles aient un coefficient de corrélation qui dépasse 0.65 pour ou moins six des mois de l'année . Les résultats ont été reproduits sur la carte 3 et le tableau 3 . Ils font apparaître cinq groupes :

Groupe C.	Groupe W.	Groupe N-W	Groupe N	Groupe N-E
Fes	Casa	Rabat	Larache	Al-Hoceima
Meknes	Rabat	Kenitra	Tanger	Nador
Ifrane	Kenitra	Larbaa	Ceuta	Melilla
Taza	Ifrane	Larache	Tetouan	Oujda
Midelt	Fes		Chaouen	
	Meknes			





BU  
LILLE

pluviométriques de bases

N°	Stations pluviométriques	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Casa	12																
2	Rabat	10	12															
3	Kenitra	9	10	12														
4	Ifrane	7	7	7	12													
5	Meknes	7	7	7	11	12												
6	Fes	7	7	7	10	10	12											
7	Taza	4	5	4	7	7	6	12										
8	Tanger	7	8	7	7	6	7	6	12									
9	Larache	9	10	10	7	7	8	7	9	12								
10	Melilla	1	2	1	3	4	3	4	0	2	12							
11	Nador	0	0	1	2	2	1	4	0	1	10	12						
12	Tetouan	4	4	6	4	1	3	3	5	5	1	0	12					
13	Chaouen	7	7	6	7	7	7	6	8	9	2	1	2	12				
14	Ceuta	2	6	6	5	5	3	5	10	8	1	0	7	6	12			
15	Midelt	2	2	2	5	6	5	5	1	2	3	2	0	2	0	12		
16	Oujda	0	1	0	2	2	2	1	0	0	6	6	0	0	0	2	12	
17	Al-Hoceima	1	1	1	2	4	3	3	0	2	8	7	2	1	2	2	6	12



-Le groupe Ouest et le groupe Nord-Ouest englobent presque la totalité des plaines atlantiques .

-Le groupe central couvre les causses du Moyen Atlas en passant par les plateaux de Saïs jusqu'au couloir de Taza -

-Le groupe Nord couvre la région intermédiaire entre le Gharb et la Méditerranée ; c'est à dire toute la péninsule Tingitane .

-Enfin le groupe Nord-Est englobe la zone d'Al-Hoceima, la basse Moulouya, le plateau d'Anngad et le couloir de Guercif

Ces groupes comportent pour chacun d'eux , certaines stations communes aux groupes voisins. Ils se caractérisent par une assez grande homogénéité et respectent relativement bien la répartition géographique du relief . C'est eux qui serviront à tester l'homogénéité des stations de base .

#### 1 - 4.2 Application des tests de contrôle

##### 1 - 4.2.1 Groupe Ouest(Gr.W)

- Station de Casa : Elle se trouve au centre de la division de Climatologie Générale et Appliquée près de l'aérodrome à 3 Km de la côte . Le coefficient de corrélations entre les séries (25 ans) de précipitations annuelles de Casa et la moyenne du groupe Ouest est de 0.95. on compare le cumul chronologique des précipitations annuelles de Casa à celles du groupe (tableau 5) .

On désigne les précipitations annuelles de Casa par Y et les précipitations annuelles du groupe Ouest par X.

Tableau 5 : Le cumul chronologique des précipitations annuelles de Casa et du groupe ouest (W) .

N	Annees	C a s a		G r o u p e		W .
		Total Annuel	Cumul	Total Annuel	Cumul	
1	1960	6633	6663	9223		9222
2	1961	3837	10500	5378		14601
3	1962	5394	15894	8225		22826
4	1963	8057	23951	10934		33760
5	1964	3111	27062	5558		39318
6	1965	5056	32118	6893		46211
7	1966	2913	35031	4364		50575
8	1967	3336	38367	5525		56100
9	1968	5391	43758	8425		64525
10	1969	7103	50861	10742		75267
11	1970	4362	55223	6696		81963
12	1971	6650	61873	9295		91258
13	1972	4947	66820	6801		98059
14	1973	3989	70809	5393		103452
15	1974	3395	74204	4676		108128
16	1975	4228	78432	6460		114588
17	1976	4634	83066	7348		121936
18	1977	4392	87458	7568		127704
19	1978	2982	90440	6150		133854
20	1979	4094	94534	6634		140488
21	1980	3441	97975	5800		146288
22	1981	1485	99460	3667		149955
23	1982	3240	102700	6089		156044
24	1983	2979	105679	4717		160761
25	1984	3140	108819	7473		165534



D'après la figure n°5 nous constatons que les points sont bien alignés, donc la courbe ne présente aucune cassure, par conséquent la série est vraisemblablement homogène .

La même série est examinée par le test de CONRAD ( $\lambda_1 = -1.112$  ;  $B_2 = 1.9$ ) et ABB ( $0.78 < 0.79 < 1.2$ ). Ils confirment l'homogénéité de la série.

Aussi a-t-elle subi avec succès le test de variance de BARTLETT au seuil de 5% pour un degré de liberté (0.264 valeur calculée, 3.84 valeur théorique) . Donc nous pouvons conclure que la station est parfaitement homogène.

- Station de Rabat-Salé :

Elle est située à 65 m d'altitude, non loin de la côte . Elle est ceinturée d'habitat et ouverte au vent d'Ouest . Nous comparons le cumul chronologique simultané des précipitations annuelles de cette station avec la moyenne du groupe Ouest (tableau 6).

Le coefficient de corrélation est bon 0.99, mais la figure 6 de double masse reflète une anomalie à partir de l'année 1968 .

On a refait le même test en changeant la série du groupe Ouest par celle de Casa déjà jugée homogène ( $R = 0.87$ ) mais la série présente la même cassure à la même année 1968 (fig.7) d'où l'hétérogénéité des observations.

Fig.5

Test de double masse

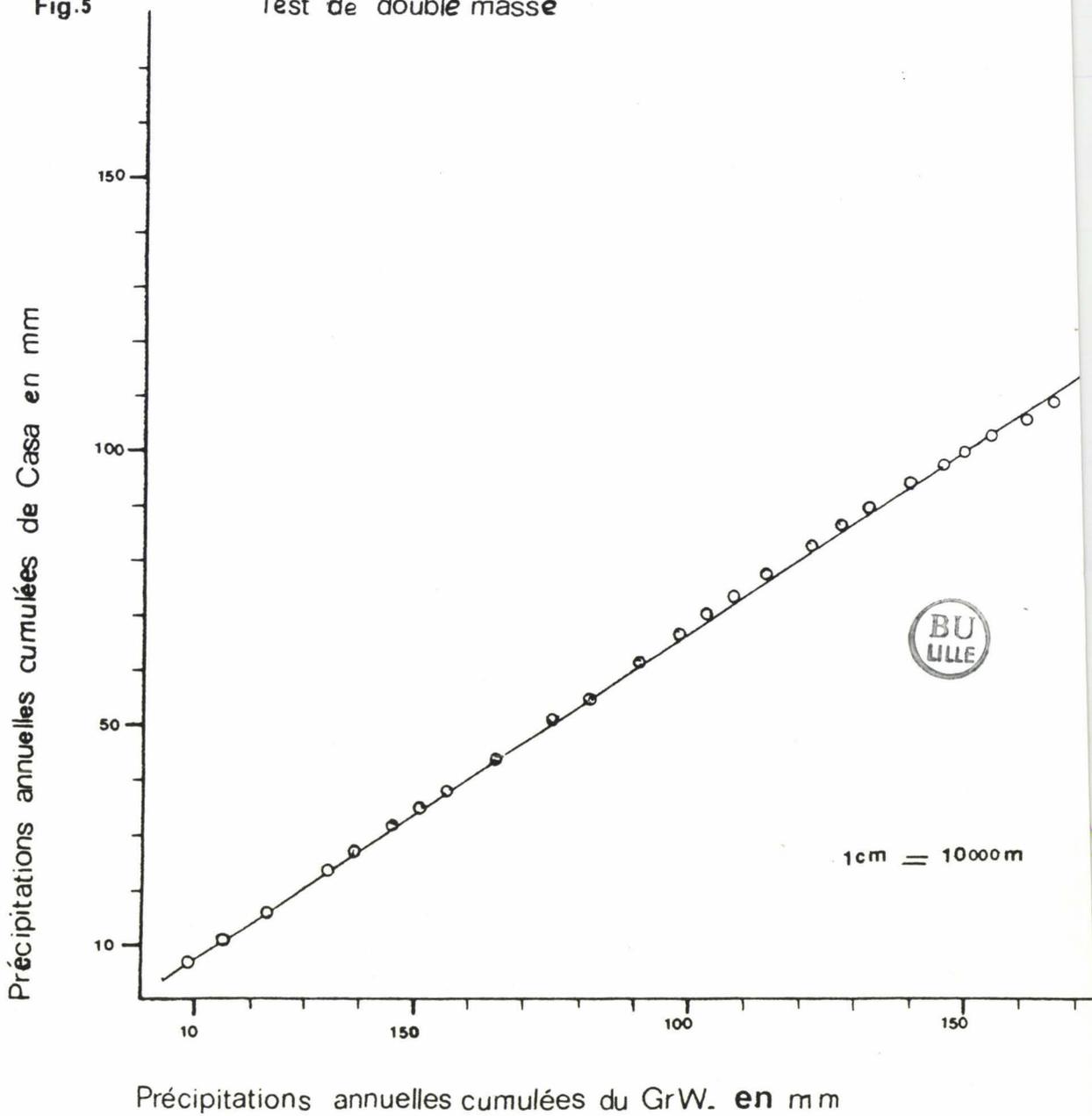
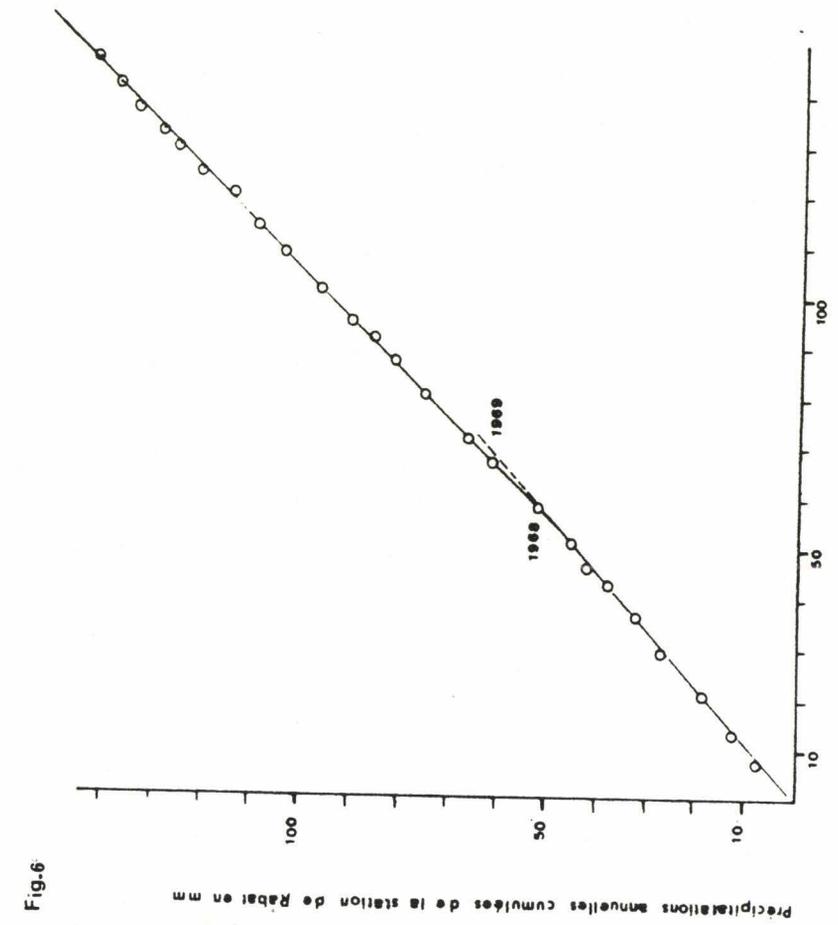


Tableau 6. Le cumul chronologique des precipitations annuelles de Rabat-Sale et du groupe W.

Nx	Annees	Rabat-Sale		Groupe W.	
		Total annuel	Cumul	Total annuel	Cumul
1	1960	8084	8084	9223	9223
2	1961	4181	12265	5378	14601
3	1962	6591	18856	8225	22826
4	1963	7870	26726	10934	33760
5	1964	5160	31886	5558	39318
6	1965	5819	37705	6893	46211
7	1966	3827	41532	4364	50575
8	1967	4201	45733	5525	56100
9	1968	7366	53099	8425	64525
10	1969	8544	61643	10742	75267
11	1970	5544	67187	6696	81963
12	1971	8662	75849	9295	91258
13	1972	6414	82263	8601	98059
14	1973	4988	87251	5393	103452
15	1974	4132	91383	4676	108128
16	1975	6696	98079	6460	114588
17	1976	7283	105362	7348	121936
18	1977	4611	109973	5768	127704
19	1978	6488	116461	6150	133854
20	1979	5953	122414	6634	140488
21	1980	4915	127329	5800	146288
22	1981	2866	130195	3667	149955
23	1982	4779	134974	6089	156044
24	1983	4449	139423	4717	160761
25	1984	4583	144006	4773	165534



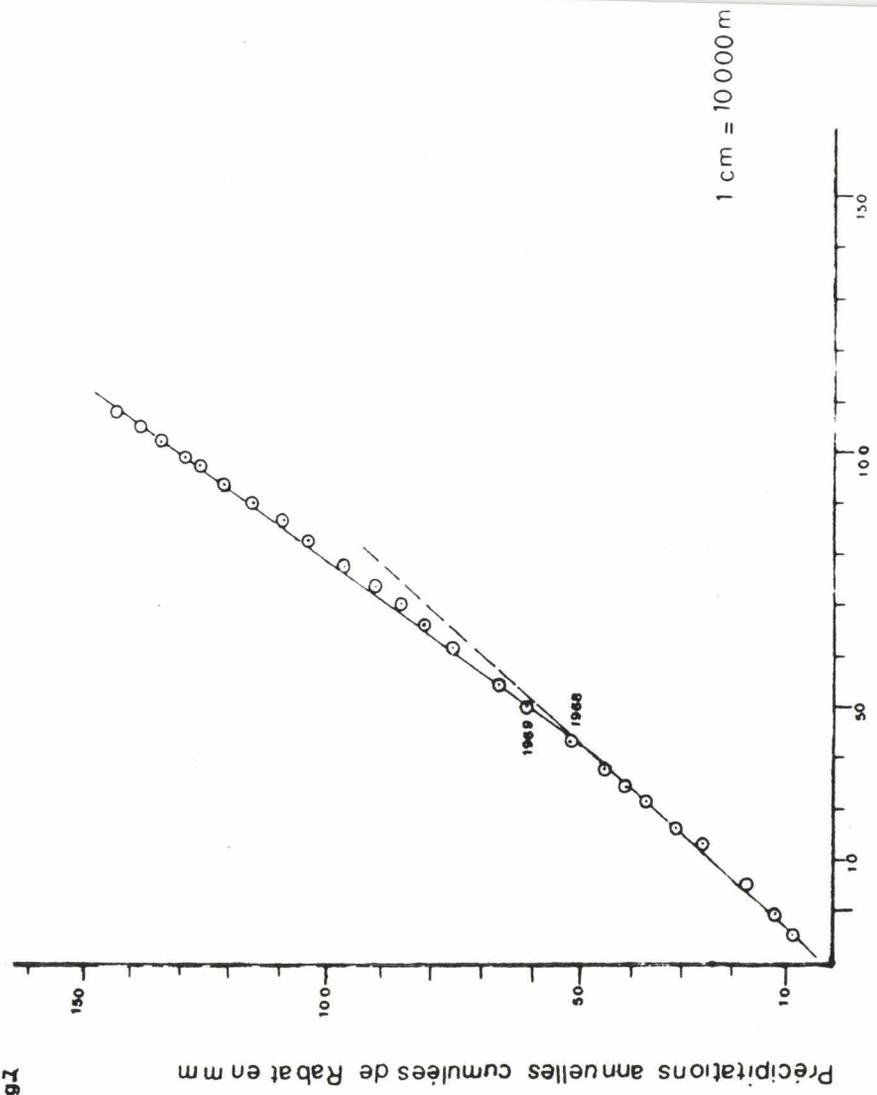
Fig.6



Précipitations Annuelles cumulees du groupe Gr. W en mm

Test de double masse

Fig.7



Précipitations annuelles cumulees de Casa en mm



A Rabat

On a refait l'examen une troisième fois en appliquant les tests d'ABBE ( $0.79 < 0.77 < 1.20$ ) et de CONRAD ( $\alpha_1 = 0.95$  et  $B_2 = 4.3$  donc on a une dissymétrie) . Ni le test de CONRAD ni le test d'ABBE ne contrarient les résultats dégagés de l'allure de la courbe du double masse .

On a cherché à connaître les véritables causes de l'hétérogénéité : sont-ils dus aux changements d'appareils? de sites ? ou sont-ils dus aux modifications de l'environnement ? ... Il est difficile d'avancer une hypothèse : manque de documentation car les renseignements sur l'historique de la station ne sont pas publiés . En outre , nos connaissances de terrain sont très restreintes, faute d'enquête sur place . Signalons que l'accès aux archives et aux documents originaux n'est pas facile pour une personne étrangère à l'organisme .

Certes, les causes de l'hétérogénéité ne sont pas connues d'où la nécessité de la correction des observations erronées . La méthode choisie est basée sur la régression linéaire simple (cf. G.P-RENAUD, 1986, p.26-40) . La série des précipitations annuelles cumulées de Rabat X comporte 25 ans Le nombre de périodes est de deux ; la sous-série avant la cassure  $Y_1 = 9$  ans (1960-1968) et l'autre sous-série après la cassure  $Y_2 = 16$  ans (1969-1984).

D'abord nous calculons les pentes de deux séries et leur rapport qui nous donne le coefficient correctif appelé "C", qui sera ensuite appliqué à chaque observation de la sous série à corriger .

Dans notre cas on rapporte les données de la série précédant la cassure à la période récente(1969-1984) puisque les observateurs sont des gens qualifiés et les instruments de mesures sont plus précis qu'avant . Les résultats de l'analyse sont rapportés comme suit et dans le tableau n° 7

$$Y1 = a1 * X = 0.911$$

$$Y2 = a2 * X = 1.03$$

Et

$$Y2 = C * Y1 ; \text{ avec } C = a2 / a1 = 1.13$$

Donc

$$Y2 = Y1 * 1.13$$

La figure 8 ci-dessous de la série corrigée nous montre bien l'alignement des observations le long de la droite d'ajustement . Elle a subi avec succès le test de variance de BARTLETT ; au seuil de 5% avec un degré de liberté .

$$X^2 \text{ calculée} = 0.597$$

$$X^2 \text{ théorique} = 3.84$$

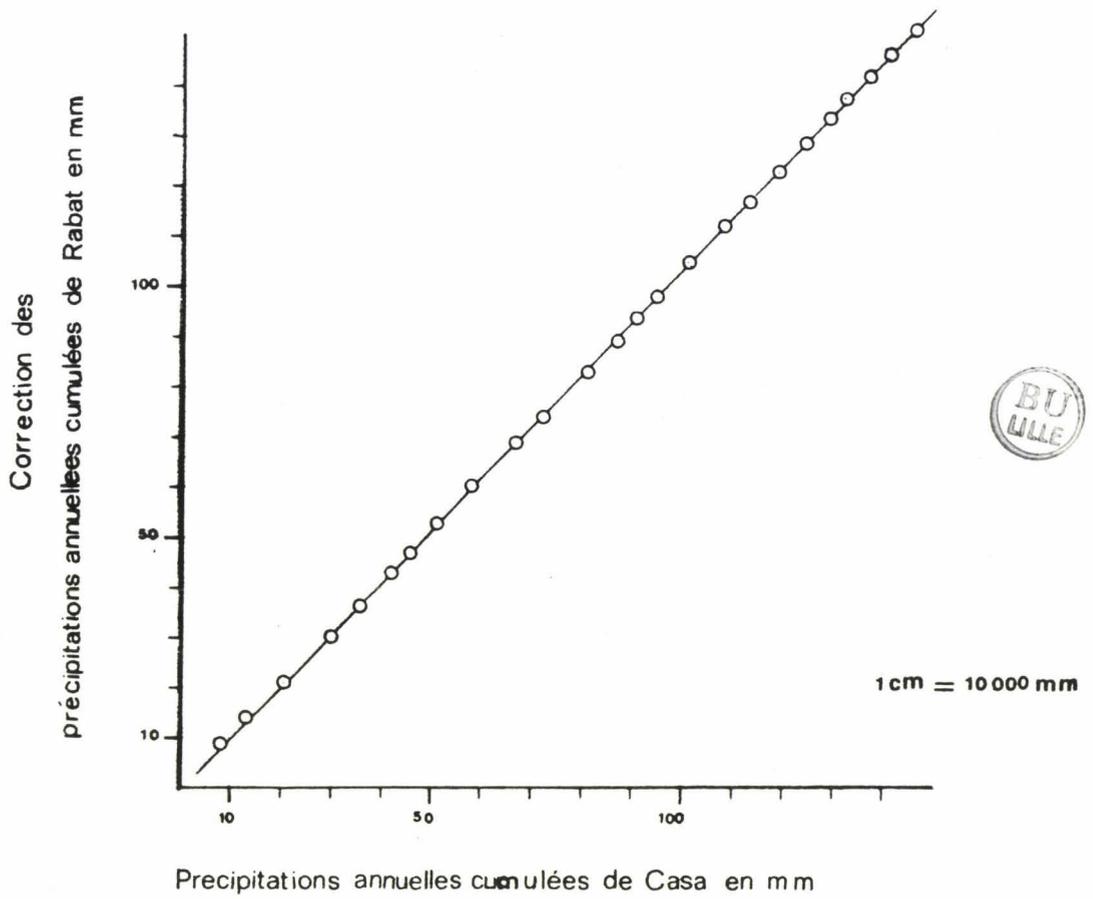
Chaque station du groupe a subi les mêmes tests de contrôle Aucune d'elles ne comporte d'hétérogénéité ; figures ci contre 9, 10 et 11 .

Tableau 7 : Les précipitations annuelles corrigées de la station de Rabat .

Nx	Annees	Total annuel	Total corrigé	Cumul
1	1960	8084	9134	9134
2	1961	4181	4724	13858
3	1962	6591	7447	21305
4	1963	7870	8893	30198
5	1964	5160	5830	36028
6	1965	5819	6575	42603
7	1966	3827	4324	46927
8	1967	4201	4747	51674
9	1968	7366	8323	59997
10	1969	8544	8544	68541
11	1970	5544	5544	74085
12	1971	8662	8662	82747
13	1972	6414	6414	89161
14	1973	4988	4988	94149
15	1974	4132	4132	98281
16	1975	6696	6696	104977
17	1976	7238	7283	112260
18	1977	4611	4611	116871
19	1978	6488	6488	123359
20	1979	5953	5953	129312
21	1980	4915	4915	134227
22	1981	2866	2866	137093
23	1982	4779	4779	141872
24	1983	4449	4449	146321
25	1984	4583	4583	150904



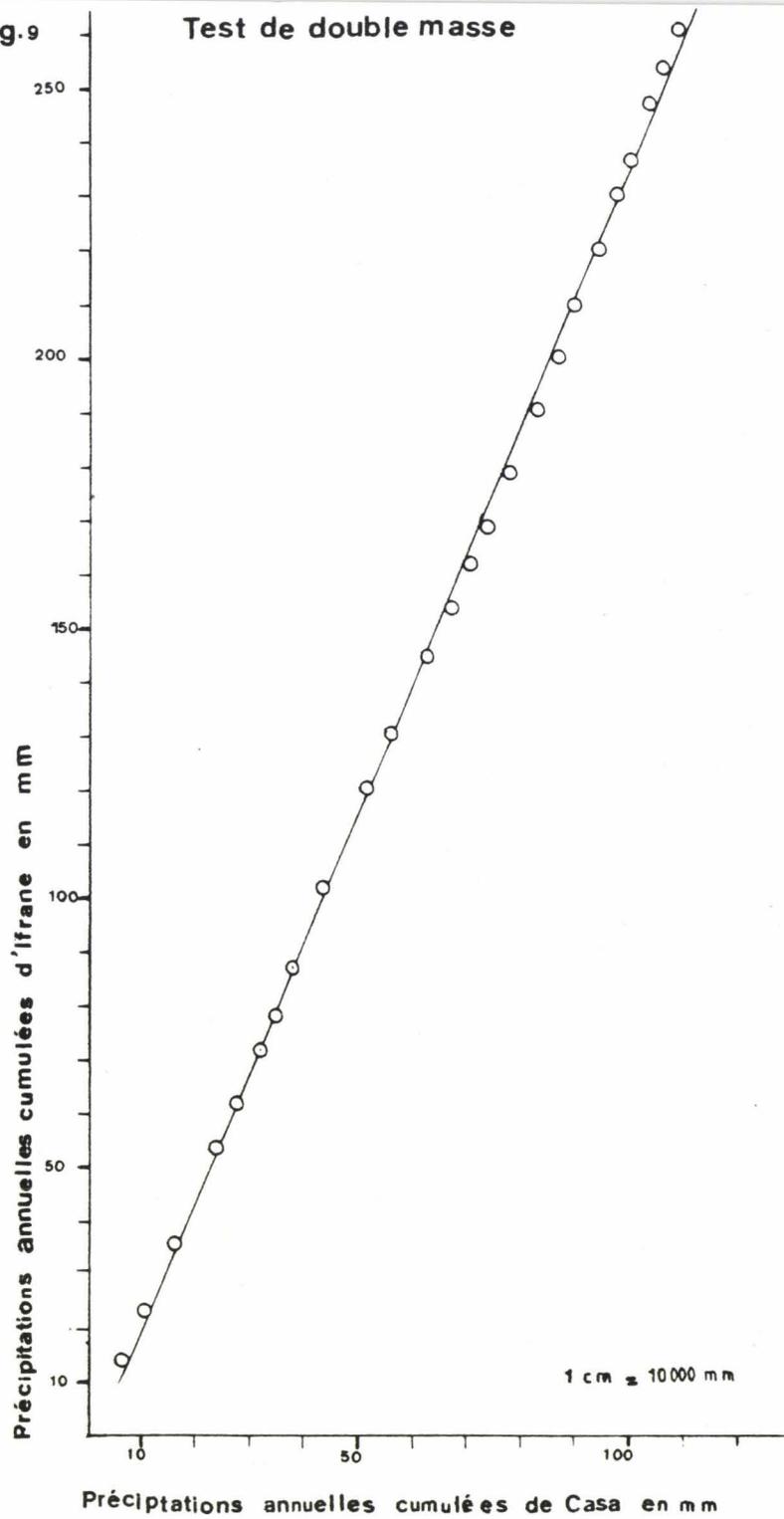
Fig.8

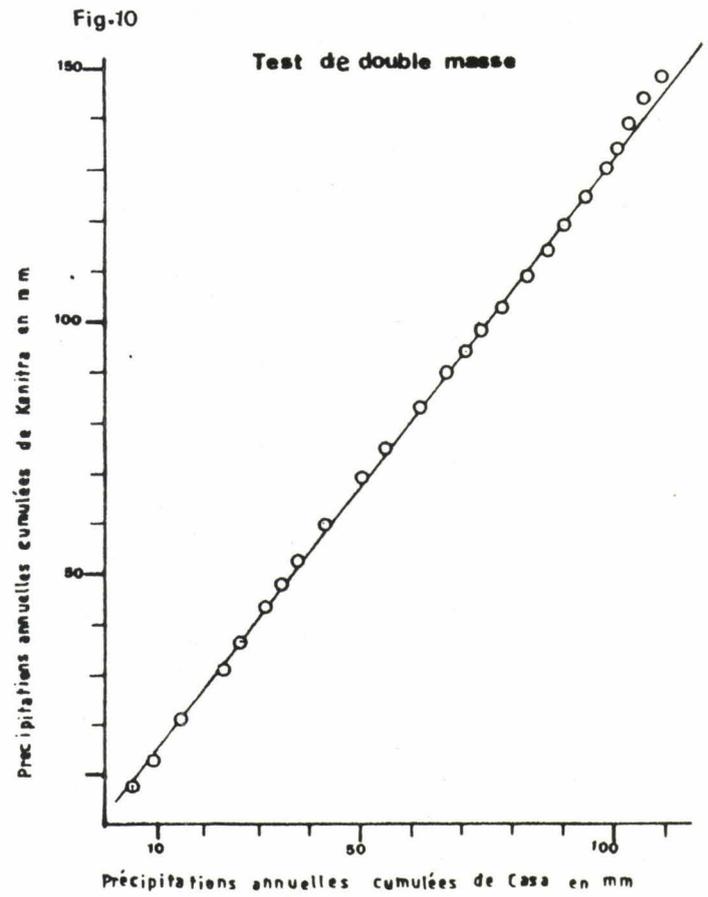


Test de double masse

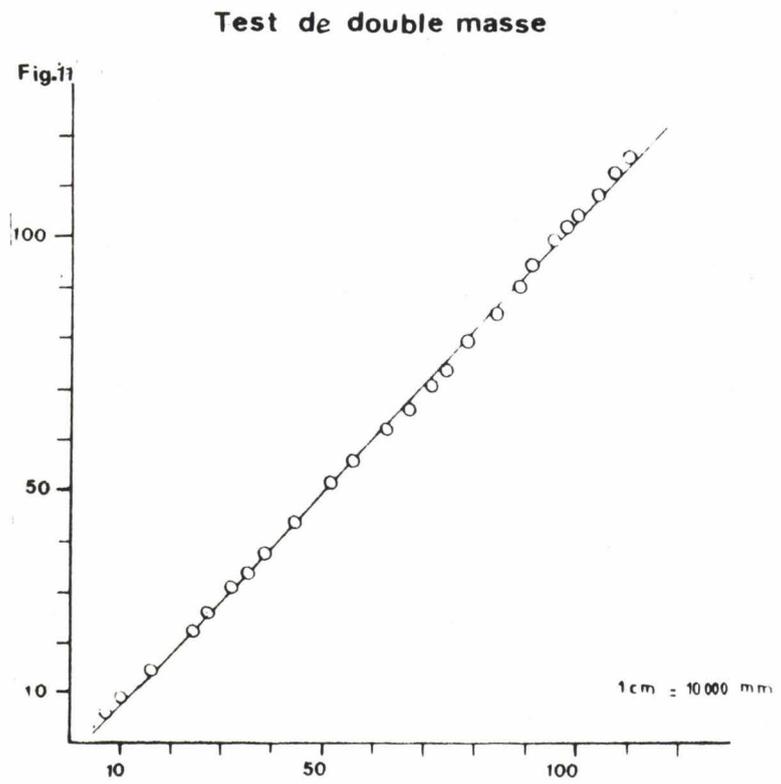
Fig.9

Test de double masse





Précipitations annuelles cumulées de S.Sliman en mm



Précipitations annuelles cumulées de Casa en mm



#### 1 - 4.2.2 Le groupe central (Gr.C)

Les figures 12 ,13 ,14, et 15 de double masse visualisent clairement l'homogénéité de toutes les stations qui forment ce groupe .

#### 1 - 4.2.3 Le groupe Nord-Ouest (Gr.N-W)

L'examen des séries des précipitations annuelles de ce groupe présente une bonne homogénéité. Toutes les observations de chaque poste sont à peu près bien alignées sur une droite , figure n 16 et 17

#### 1 - 4.2.4 Le groupe Nord(Gr.N)

Les graphiques de double masse des précipitations annuelles de ce groupement de cinq stations (fig. 18, 19, 20, 21, 22 et 23) semblent présenter en général une homogénéité satisfaisante à l'exception de Tetouan dont l'anomalie se localise en 1975-1976 . Cette hétérogénéité peut se justifier par la situation topographique (entre la montagne et la plaine maritime) . Cette station occupe une position côtière plus ventée . La série est corrigée de la même manière que la série de Rabat en utilisant le facteur correctif du rapport des pentes ( $C = 0.66$ ) de la courbe du double cumul .

#### 1 - 4.2.5 Le groupe Nord-Est (Gr.N-E)

Les stations de ce groupe sont situées au nord-est du pays dont quatre sur le littoral . Les figures 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 et 31 ; de double cumul fournissent deux exemples opposés :

Fig.12

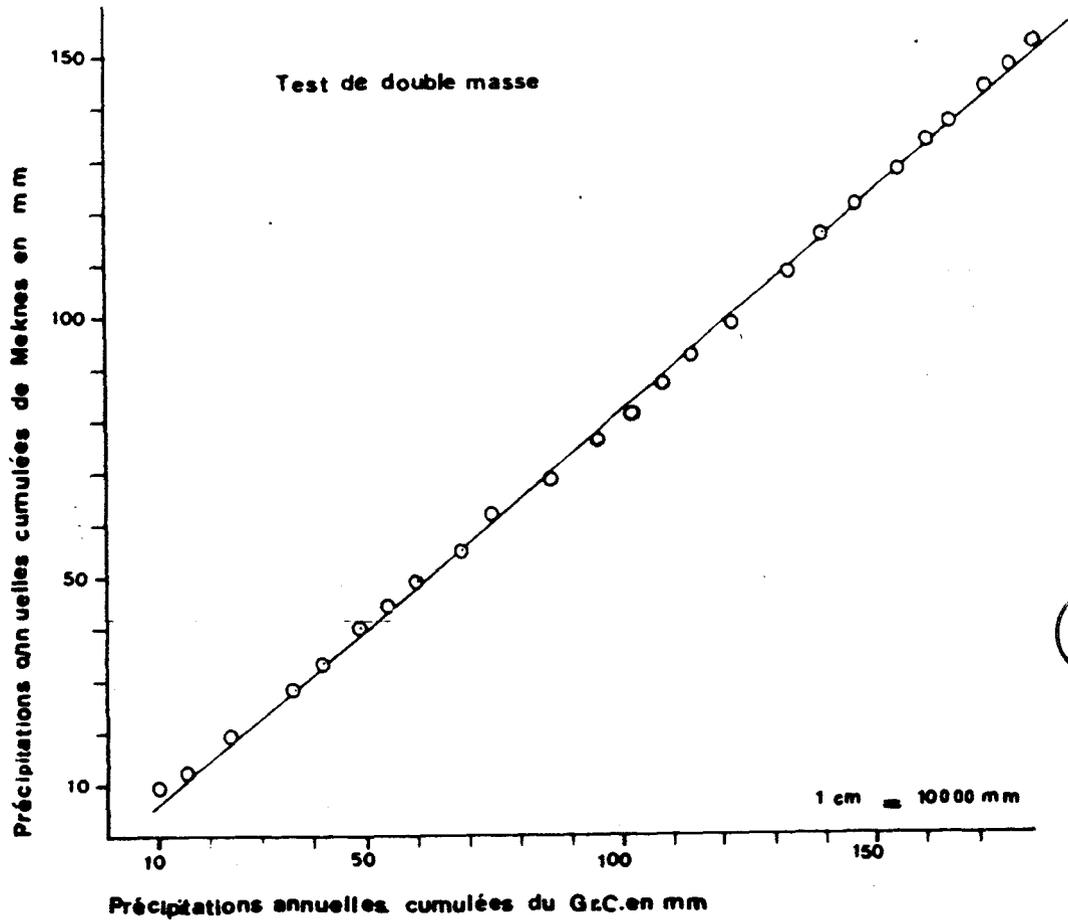


Fig.13

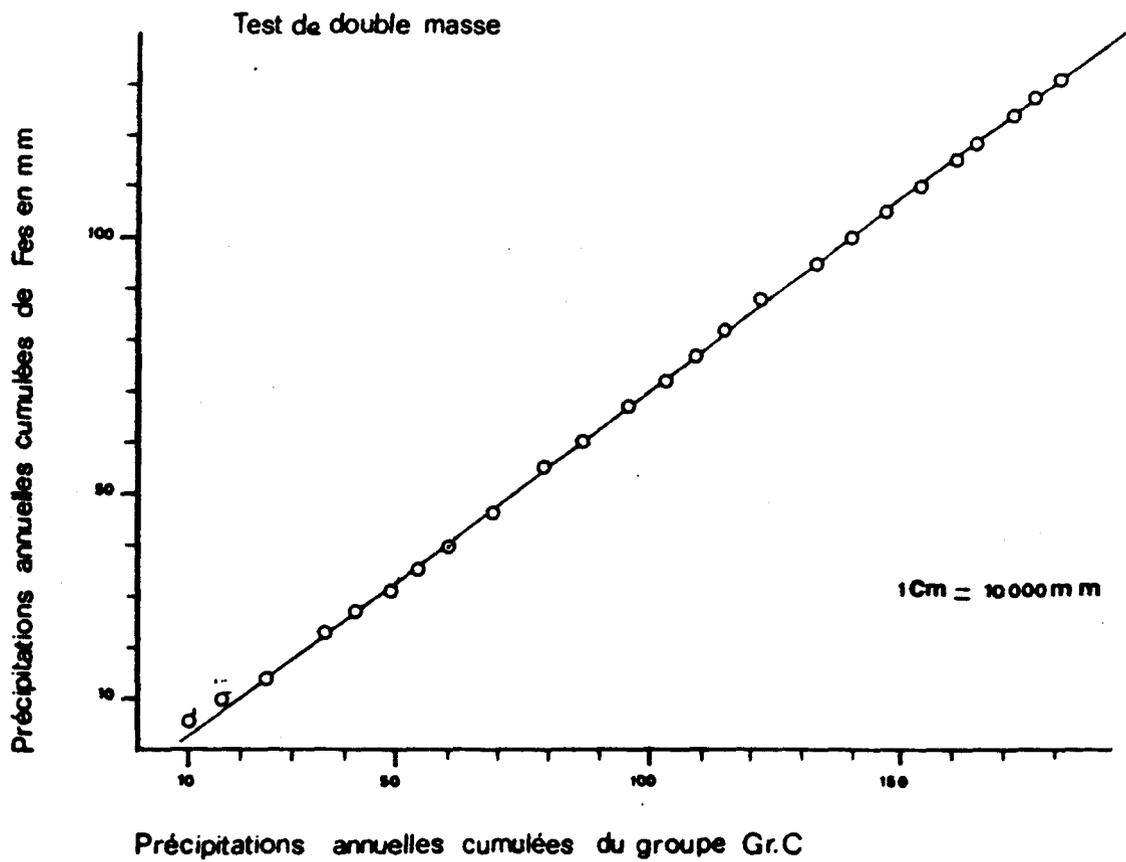


Fig. 14

## Test de double masse

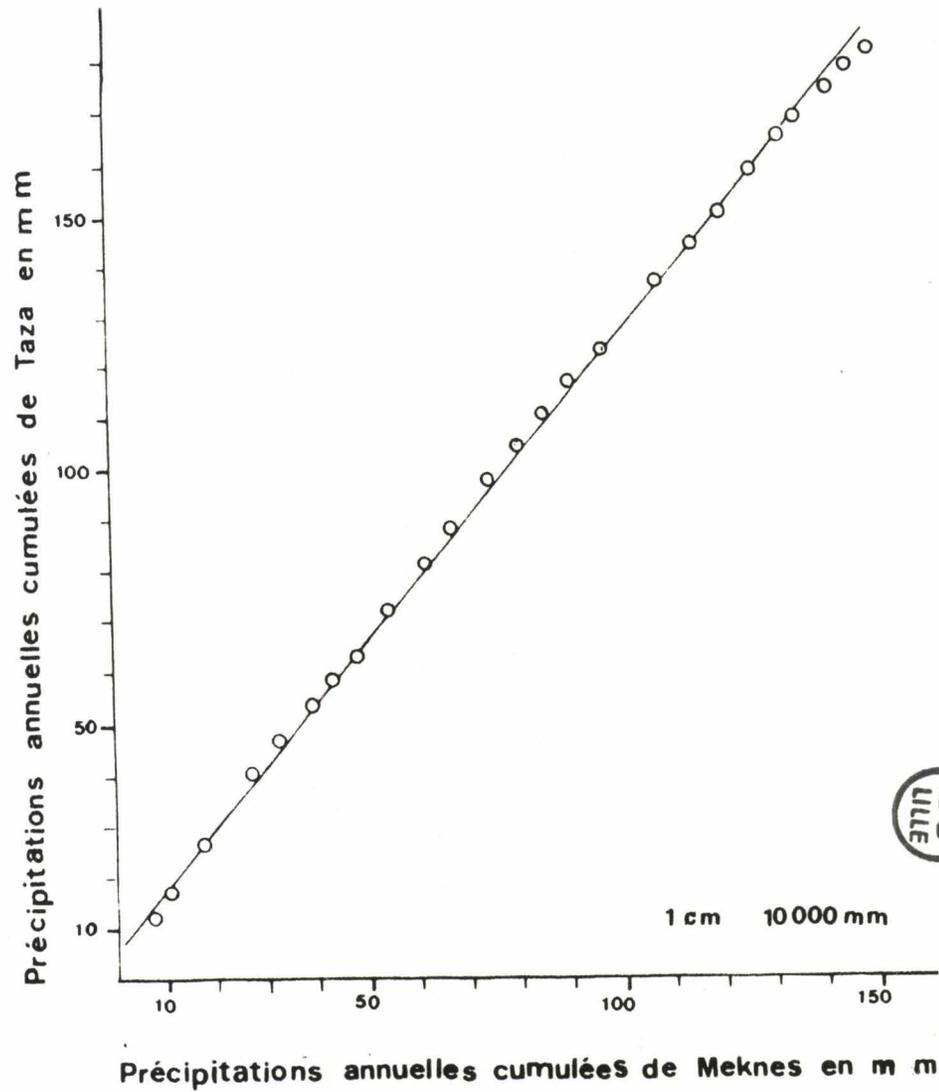
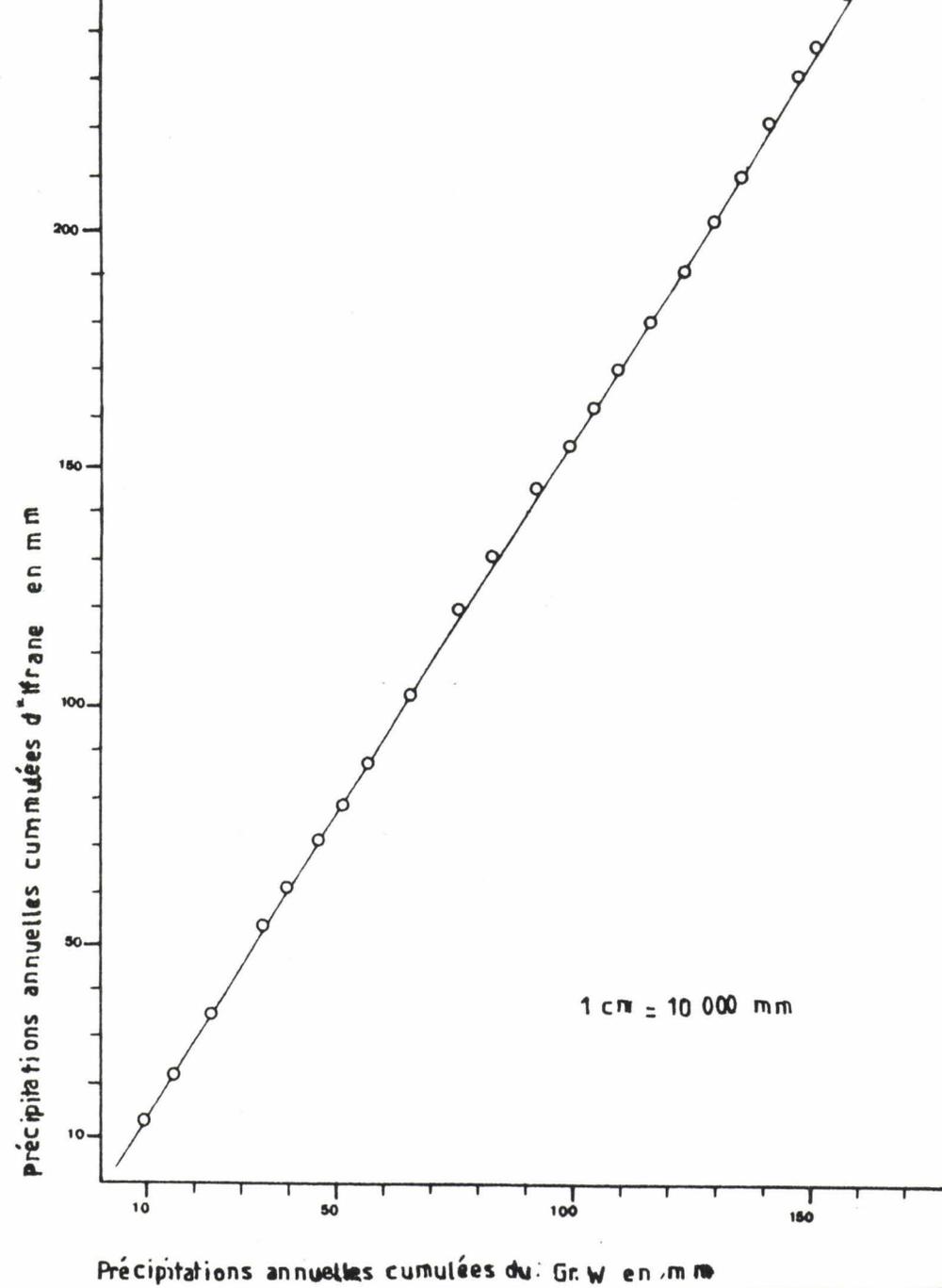
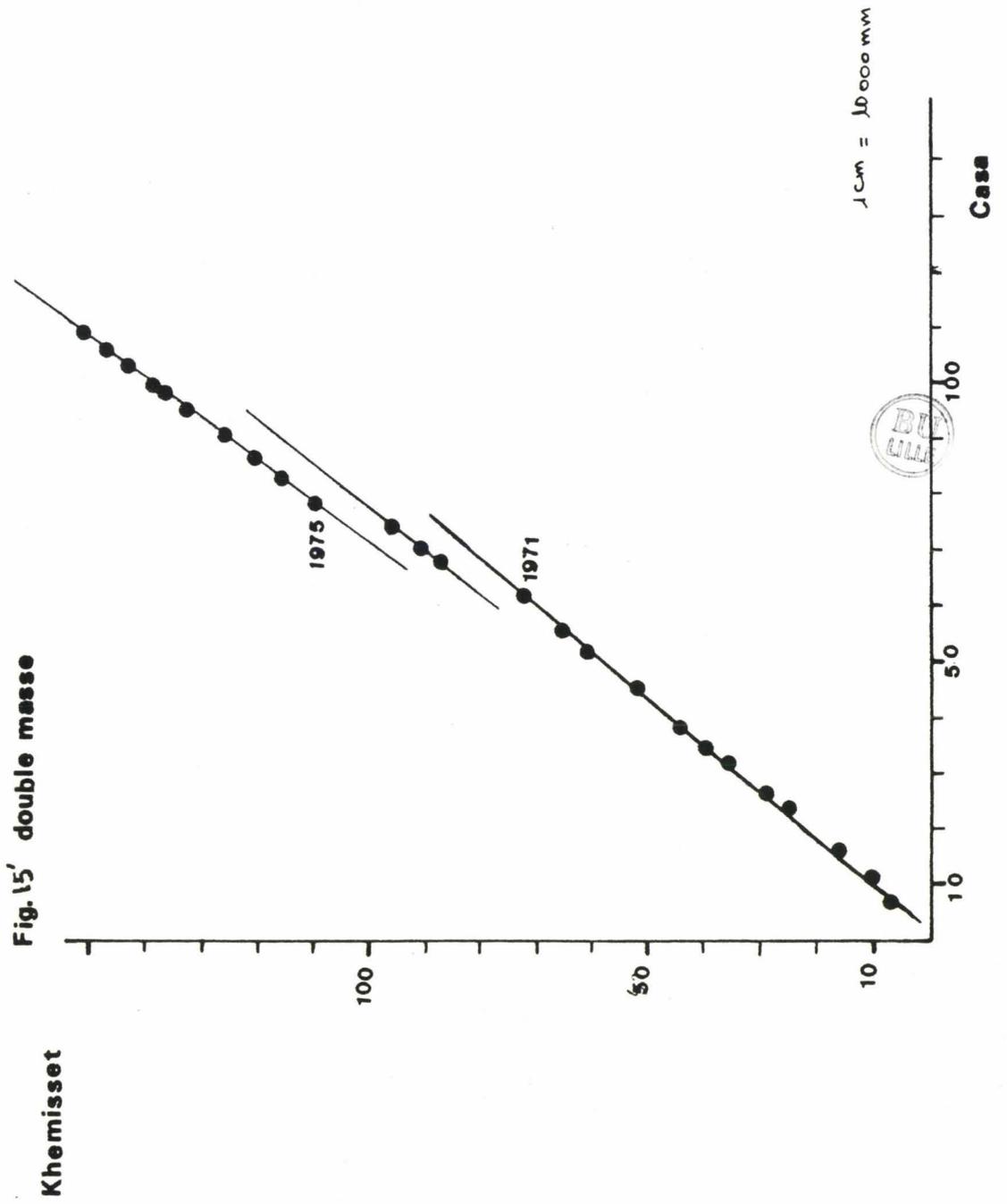


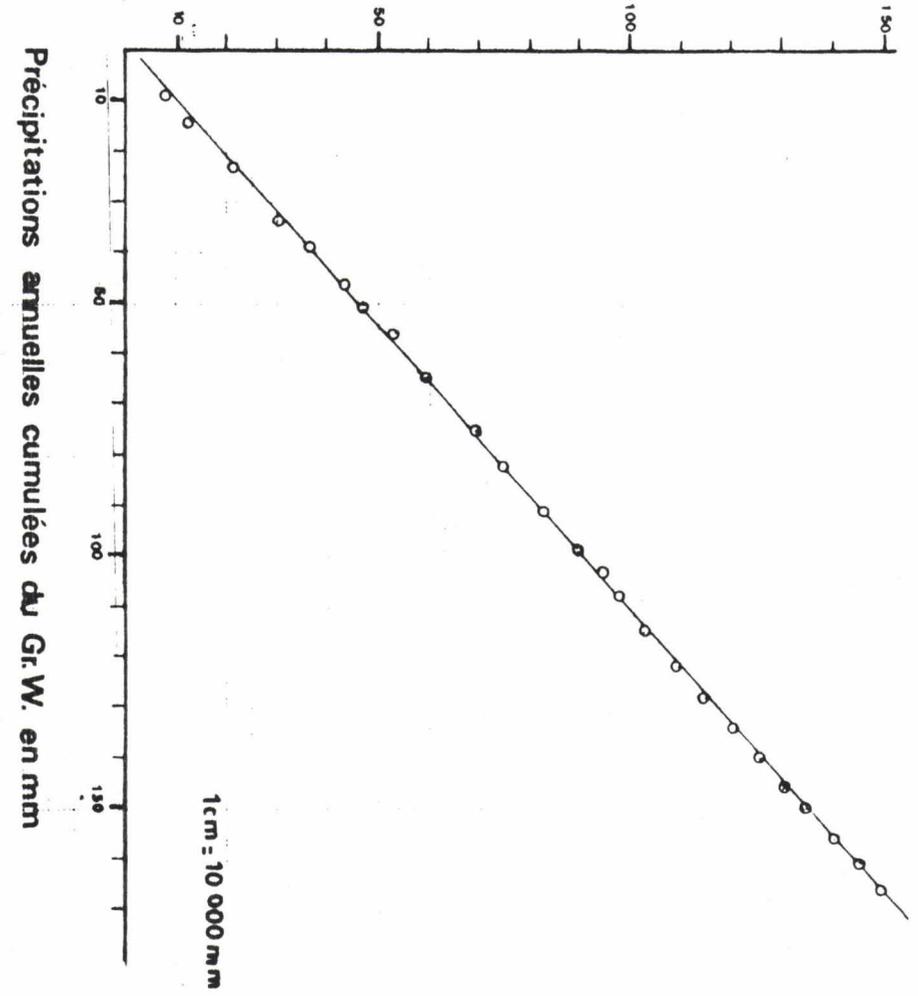
Fig. 15

## Test de double masse





Précipitations annuelles cumulées de Kenitra en mm



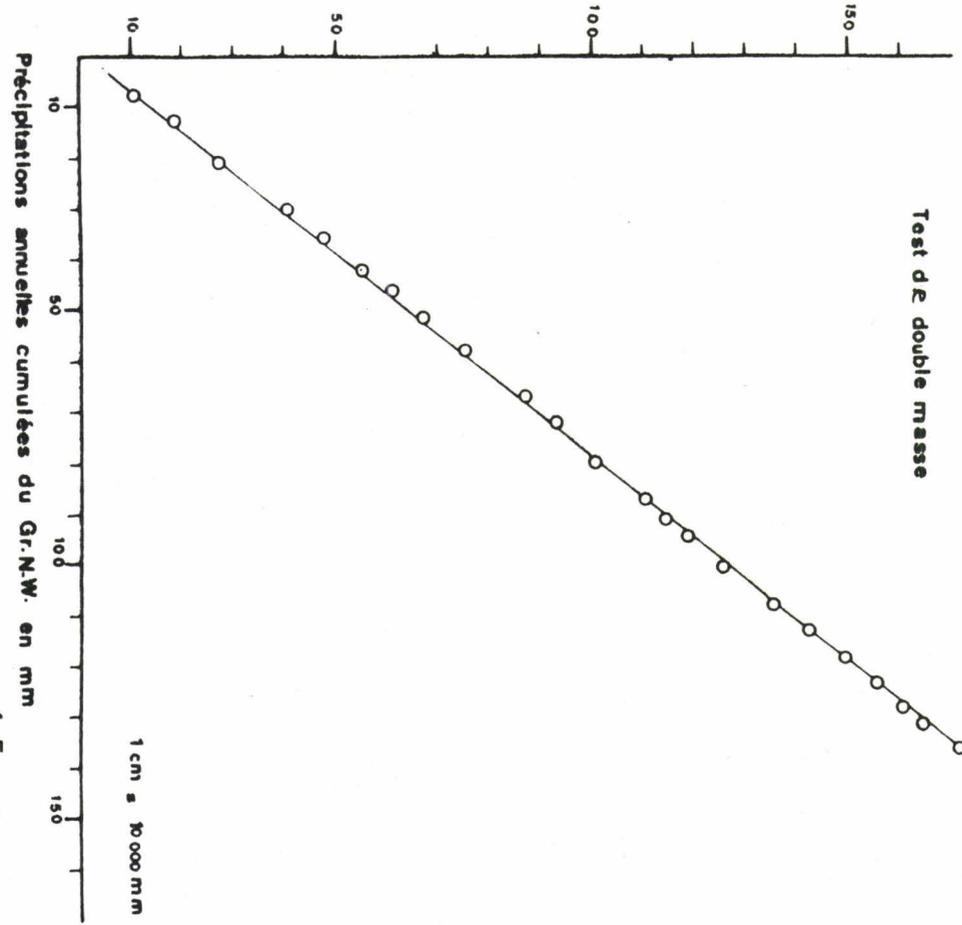
Précipitations annuelles cumulées du Gr. W. en mm

Test de double masse



Fig. 17

Précipitations annuelle cumulée de Larache en mm



Test de double masse

Précipitations annuelles cumulées du Gr. N.W. en mm

Fig.18

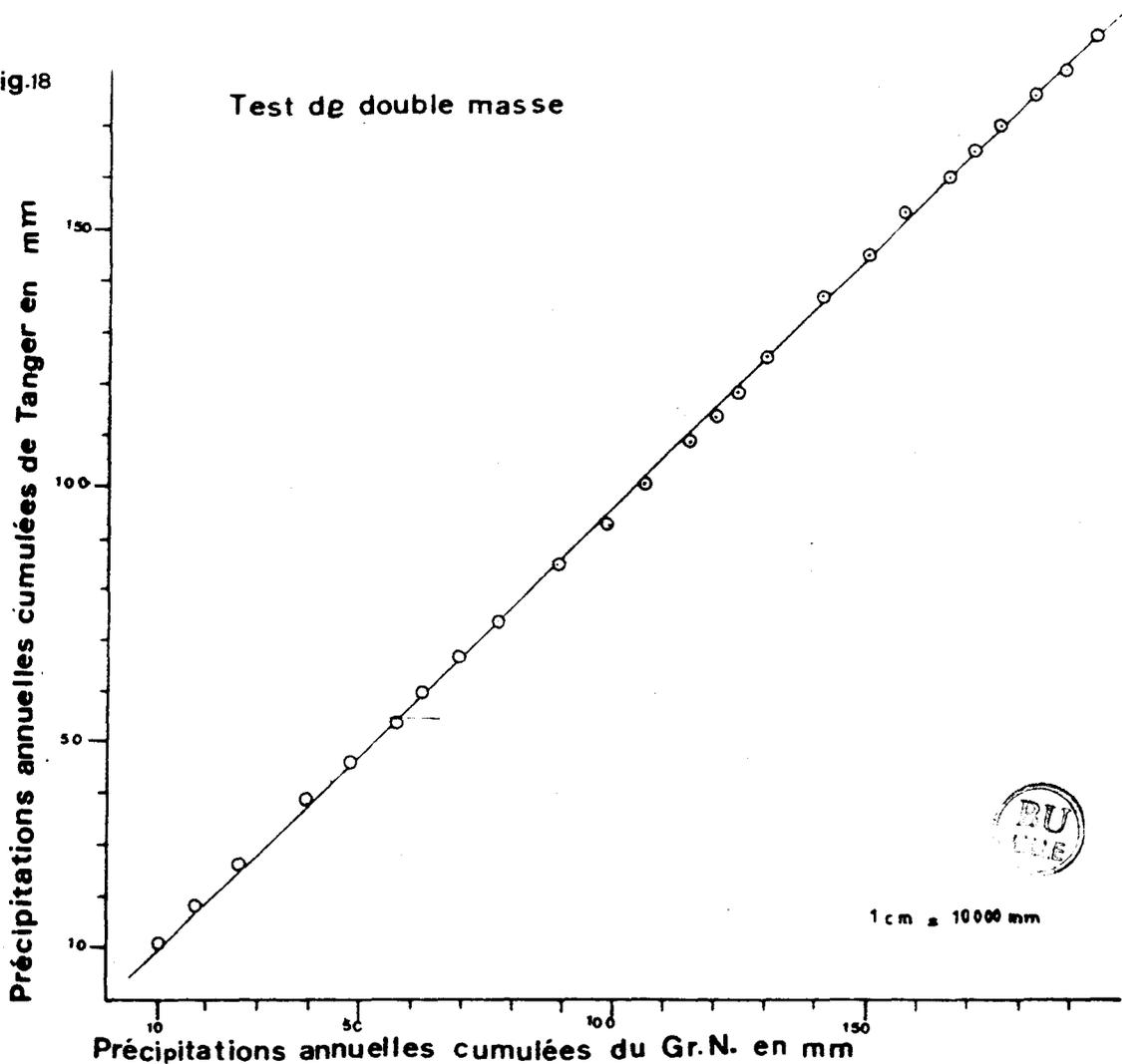
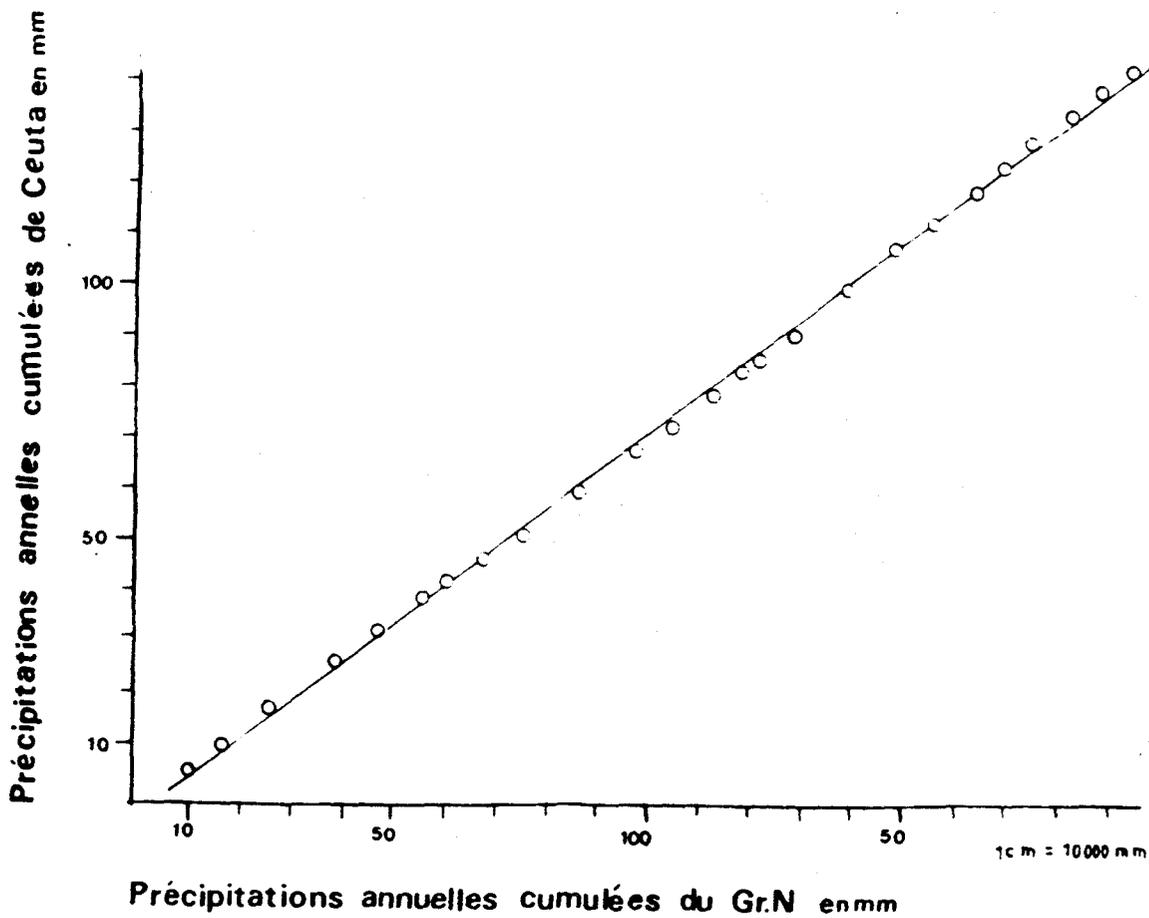
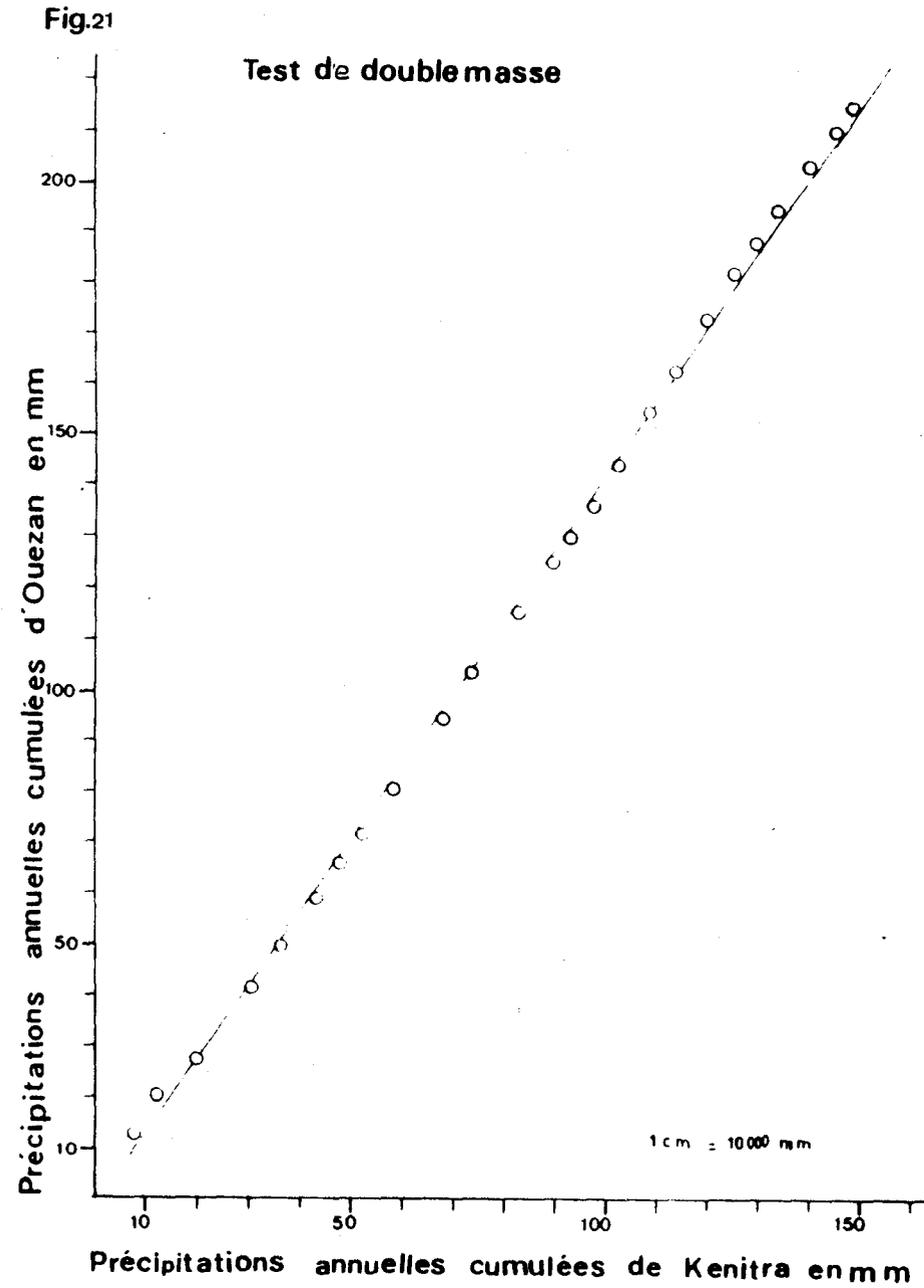
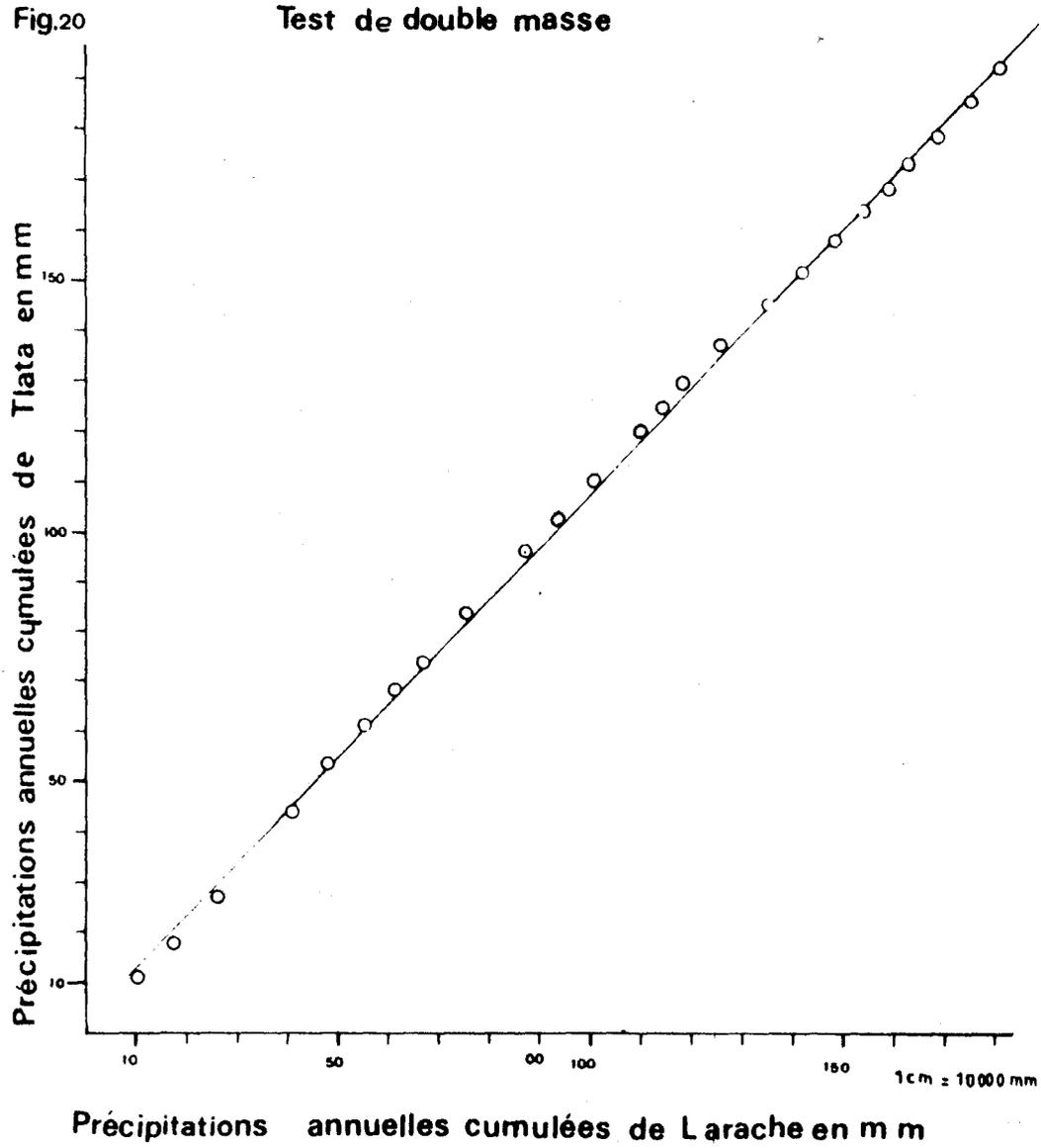


Fig.19





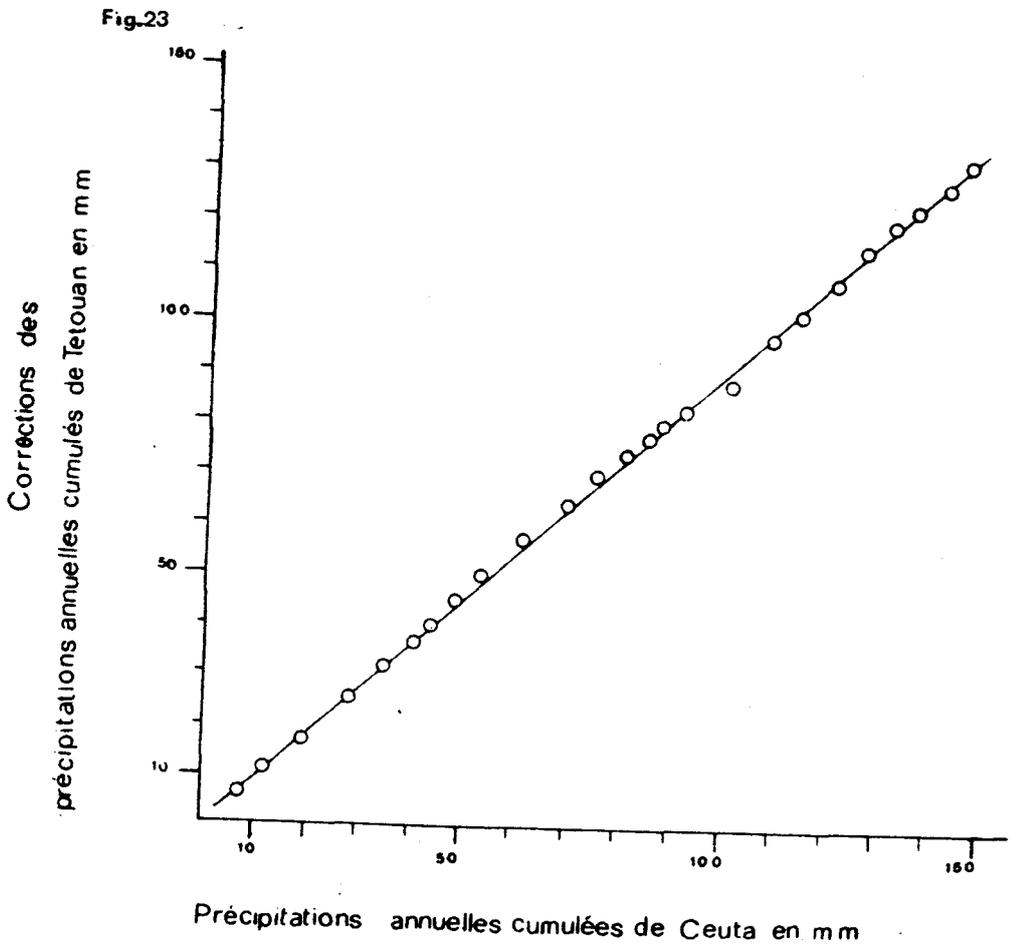
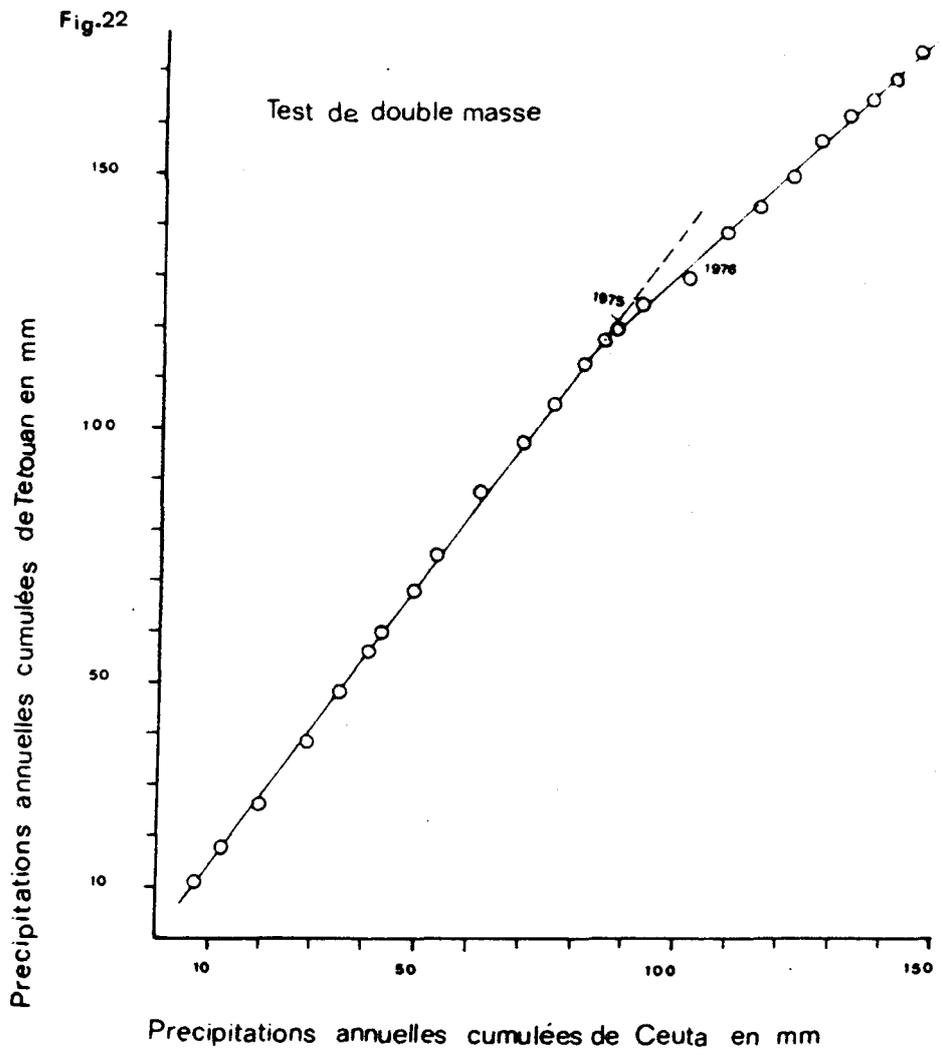


Fig.24

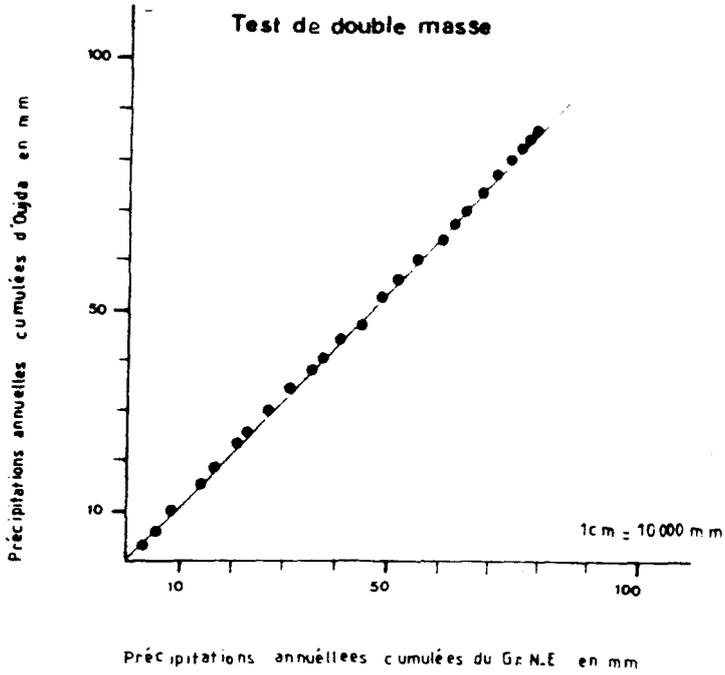
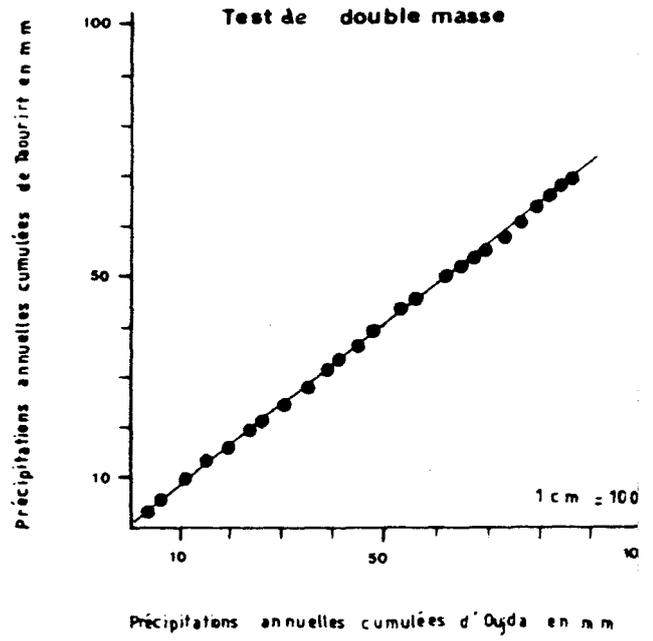
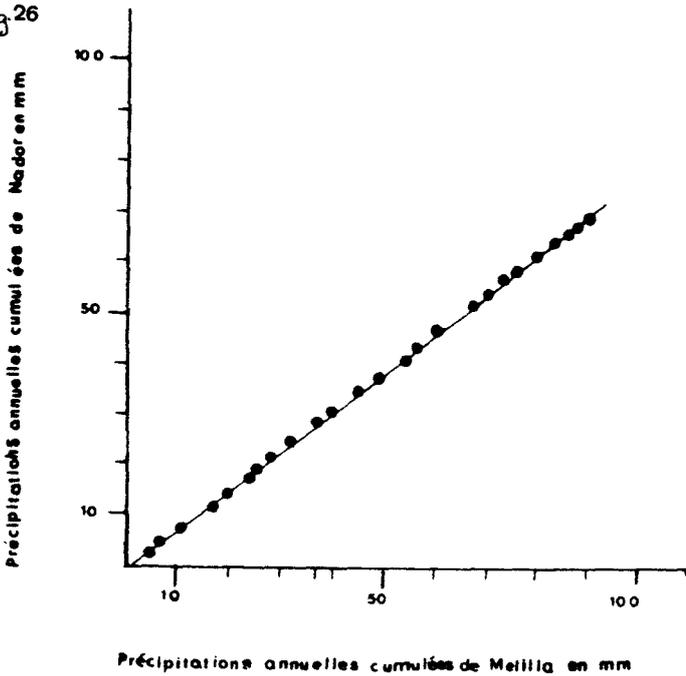


Fig.25



1 cm = 10 000 mm

Fig.26



1 cm = 10 000 mm

Fig.27

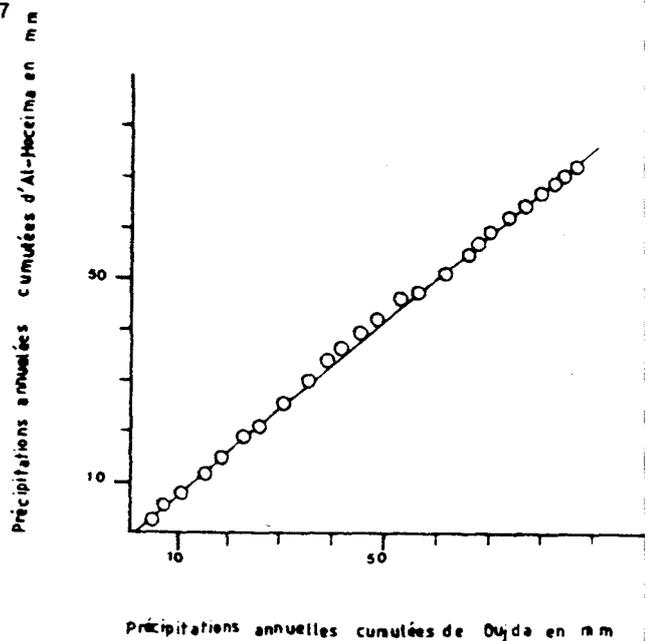


Fig.30

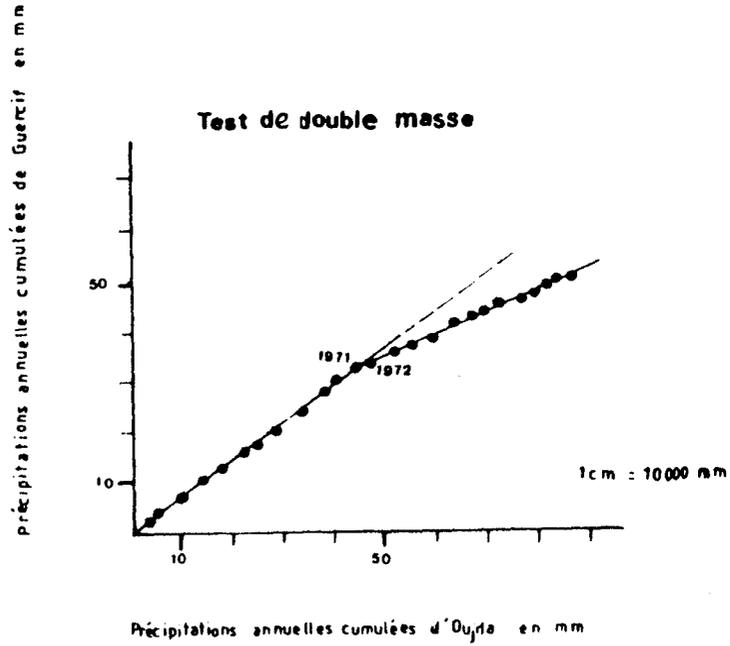


Fig.31

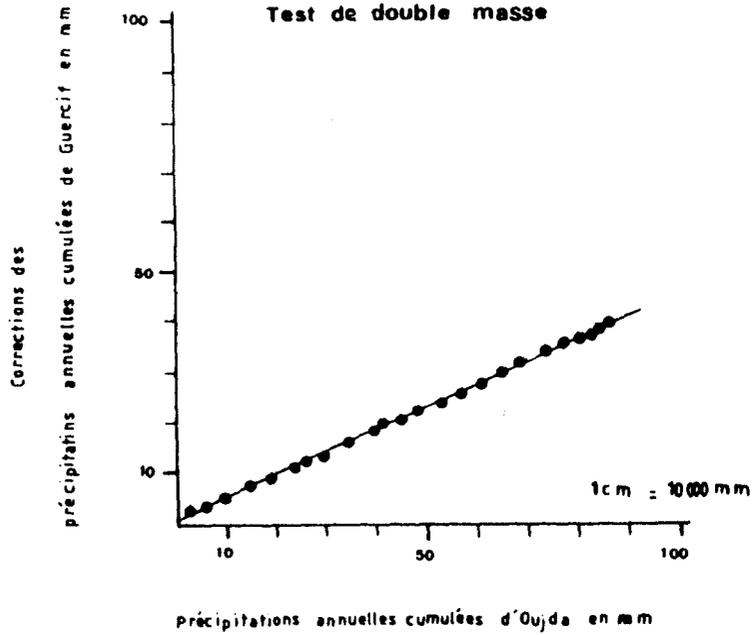


Fig.28

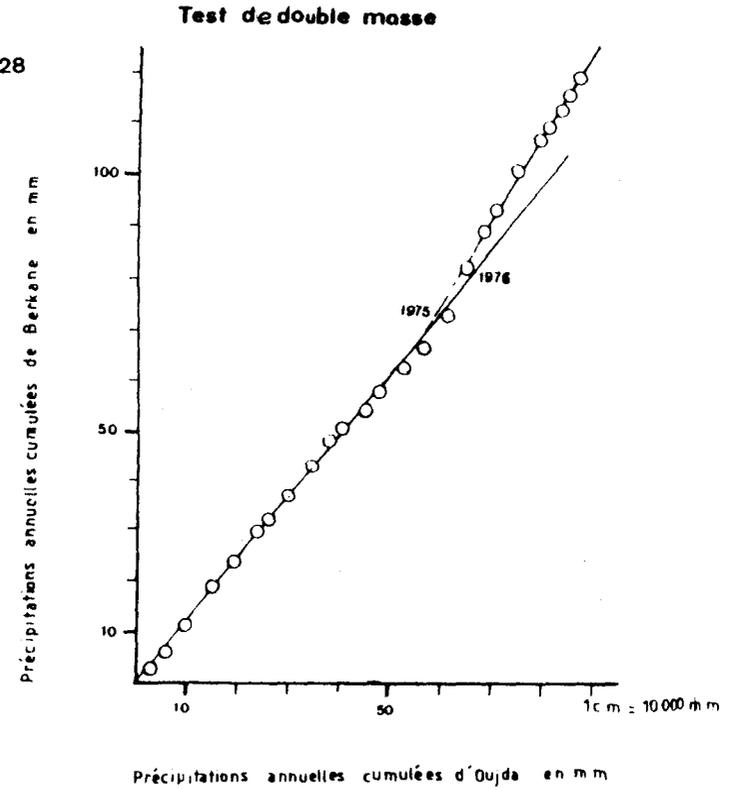
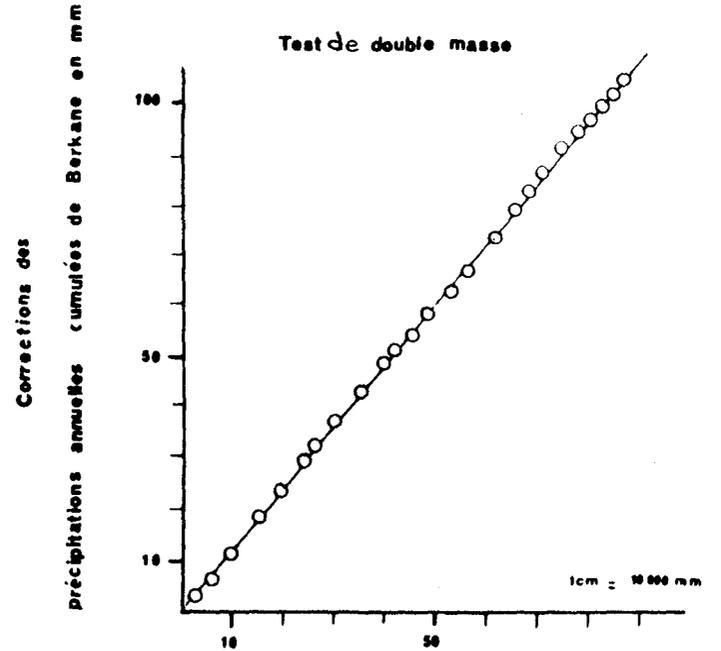


Fig.29



- Les stations d'Al-Hoceima, Nador, Melilla, Oujda, et Taourirt sont parfaitement homogènes .
- Les stations de Berkane et de Guercif sont manifestement hétérogènes .

Nous constatons que les stations hétérogènes sont des stations ordinaires . Les hétérogénéités décelées correspondent soit, à un déplacement de l'appareil , ou à un changement de l'instrument de mesure ; soit, à une modification de l'environnement de la station , ou à un changement de l'observateur . Les coefficients de corrélation sont parfois faibles . La faiblesse de la corrélation provient dans la plupart des cas de l'irrégularité dans la répartition spatiale des précipitations d'été, en raison de la nature de ces pluies dans notre région . Signalons que la région n'échappe pas aux influences dépressionnaires orageuses et aux tempêtes parfois très violentes surtout dans le couloir de Guercif-Taourirt . Les corrections ont été faites , de la façon indiquée précédem<sup>m</sup>ent .

### Conclusion :

Nous n'avons pas utilisé uniquement le test de double masse dans la recherche des hétérogénéités, mais aussi les tests d'ABBE, de CONRAD et de BARTLETT, ceci pour aboutir à un contrôle plus précis et une visualisation plus claire. Les résultats des différents tests ont été généralement concordants, mais l'application du test de variance de BARTLETT a posé des problèmes, qui pratiquement peut être de la courte durée des séries (25 ans d'observations). Cinq séries hétérogènes apparaissent à l'examen de tout le réseau. Les causes de l'hétérogénéité qui peuvent être diverses ne sont pas explicables en détail.

Nous avons corrigé les données de la façon suivante : en multipliant les observations erronées par un coefficient correctif qui résulte du rapport des pentes des deux échantillons de la même série. Une fois les corrections précédentes apportées, les données sont bien examinées et elles peuvent être utilisées dans les analyses.

**Une approche analytique des précipitations  
au Maroc septentrional par l'analyse en  
composantes principales (ACP)**

## 1 - Rappel de la méthode de l'analyse

L'étude des phénomènes climatologiques et plus généralement des phénomènes naturels traite de situations très complexes, où interviennent des données nombreuses.

En possession d'une masse importante de données, l'utilisateur est amené à créer des moyens de traitements efficaces et rapides, sinon comment peut-on analyser efficacement une série chronologique de plus d'une décennie, des précipitations, des températures ou autres... Le moyen de traiter efficacement les données climatiques a été fourni par le développement de l'informatique. Au début des années soixante (1960) l'apparition des gros systèmes informatiques a permis de résoudre le problème des grands tableaux statistiques, mais l'utilisateur devait être spécialiste en la matière. Avec l'évènement de la micro-informatique, notamment dans les années 1980, il a été proposé à tous les secteurs des logiciels adaptés à des travaux spécifiques.

Certes, les méthodes d'analyses des données permettent de représenter des ensembles de valeurs numériques de variables aléatoires. Bien que leurs principes soient anciens, leurs développements et diversifications sont récents. Il s'agit de :

-l'analyse des données sous la forme des caractères qualitatifs: l'analyse factorielle des correspondances, due à BENZECRI.

l'analyse des données quantitatives :l'analyse en composantes principales, due à HOTELLING et PEARSON.

Dans la suite de l'étude , nous utiliserons l'ACP. en tant que technique d'analyse des données dont nous disposons. Le choix de cette méthode sera justifié dans la partie suivante . Ceci étant, il est utile maintenant de donner un bref exposé de l'analyse en composantes principales (ACP) ; non pas pour tenter une présentation complète des principes de l'analyse , mais simplement pour aider à comprendre la signification des opérations qui permettent le passage d'un tableau de données à un ensemble d'axes et de plans factoriels , puis, pour essayer de savoir ce que représentent les points figuratifs des individus et des variables par rapport à leur proximité et à leur éloignement, et comment interpréter les axes .

## 2\_\_Le choix de l'analyse en composantes principales(ACP)

Dans notre étude, le choix de l'ACP correspond à un double objectif. D'abord elle dégage un certain découpage régional, et nous permet de savoir comment les précipitations se répartissent dans les régions . Ensuite elle nous permet d'établir quelles sont les années qui ont un comportement analogue ou inverse dans les régions , par conséquent l'étude du comportement dans le temps des oppositions régionales .

### 2 - 1 Application de l'ACP.

Considérons une matrice de "m" variables et de "n" observations, où les variables (caractères) sont les stations climatologiques retenues,  $m = 29$ , et les observations "n" sont les années de la période de référence choisie (1960-1984) , soit

n = 25 ans. Ces données peuvent être représentées par un nuage de 25 points dans un espace de 29 dimensions . Le but de l'ACP consiste à réduire la multitude de ce tableau de données et de projeter le nuage de points dans un sous-espace de deux dimensions (plan) défini par deux axes factoriels.

## 2 - 2 La signification des axes factoriels

En présence de notre problème , on peut se demander quelle est la signification des axes factoriels . La réponse n'est pas évidente . Dans notre cas, souvent le premier axe est un facteur dominant car lui seul correspond à un taux d'explication de la variance plus de 50% sans que pour autant cet axe ne fasse apparaître de différences spatiales autres que les précipitations moyennes . Donc c'est un indicateur de masse (effet de taille) , c'est pour cette raison que nous nous intéressons plus au deuxième , troisième et parfois au quatrième axe, car ils peuvent éclairer certaines oppositions, ou au contraire certains regroupements mal représentés par le premier axe. Signalons que les trois derniers axes ne pourront être valablement expliqués que par l'analyse subjective du chercheur, car ils n'ont pas une signification climatique simple .

## 2 - 3 Premiers passages à la pratique

Une fois décidé le principe du traitement , nous envisageons de mener trois séries d'analyses, et en premier lieu, celle des précipitations annuelles puis celles des deux autres séries des précipitations saisonnières (automne et hiver-printemps,

suyvant l'année hydrologique) ; notre étude négligera la saison sèche (mai, juin, juillet et août) parce que les précipitations sont quasiment faibles ou plutôt nulles . Dans la première étape de l'analyse, nous avons varié le nombre de stations puis nous avons éliminé quelques variables (stations) qui sont très fortement corrélées . Cette suppression des quatre variables a diminué le poids très marqué du premier axe (effet de masse) afin d'augmenter sensiblement le pourcentage d'explication de la variance des autres axes .

Le résultat a été le choix fixé de 23 stations bien réparties sur l'espace étudié et offrant une période d'observation de 25 ans . Les nuages de points variables et individus ne seront rapportés que sur les quatre premiers axes . Ensuite , nous croiserons les axes deux à deux afin d'obtenir des plans factoriels . Enfin, nous projeterons le nuage station et le nuage observation sur un seul plan factoriel qui synthétisera l'étude spatiale et temporelle . Certes, le premier, le deuxième, le troisième et le quatrième axe représentent mieux la variance totale avec un minimum de perte d'information . C'est eux seuls que nous essaierons d'interpréter . Pour mieux expliciter la signification des différents axes factoriels , nous avons été amenés à cartographier les écarts à la moyenne des précipitations pour quelques années exceptionnelles qui sont révélées par les axes factoriels à cause de leur fort poids , Enfin, nous verrons comment ces années se présentent simultanément dans l'espace en question .

**Les variations spatio-temporelles des précipitations  
annuelles au Maroc septentrional**

## Introduction

Le Maroc septentrional contient plusieurs zones climatiques où différents flux contribuent à le caractériser. Ces coulées froides et chaudes commandent l'évolution des précipitations, variant du nord-ouest au sud-ouest et du nord au sud, ainsi que d'ouest en est. Si on se réfère à la carte climatique des précipitations annuelles du Maroc, on constate que le Maroc septentrional se divise en plusieurs régions pluviométriques : Au nord-ouest, la région de la péninsule Tingitane et du Rif occidental, avec une chaîne montagneuse parallèle à l'océan est ouverte sur la Méditerranée. Elle se divise en trois parties : la côte ouest du Loukkos à Tanger tournée sur l'océan est caractérisée par des précipitations supérieures à 800 mm. La côte méditerranéenne du nord-ouest englobe l'espace Ceuta-Tetouan ; néanmoins, cette partie est moins pluvieuse (environ 700 mm) que la première. Les hauteurs du Rif occidental constituent la troisième zone, où les totaux pluviométriques annuels varient de 1500 mm à 1700 mm, et diminuent fortement dans les régions abritées (Rif oriental).

Dans les plaines Atlantiques, l'influence océanique est dominante et se fait sentir même dans l'intérieur ; ce qui explique la présence de fortes pluies dans le Saïs et la trouée de Taza. Le Moyen-Atlas, orienté sud-ouest nord-est, recueille des intensités maximales (environ 1700 mm). Au Maroc oriental les pluies commencent à diminuer sensiblement ; entre 500 mm et 400 mm sur la côte nord-est méditerranéenne. Les régions

continentales reçoivent des quantités trop faibles (Oujda : 343.6 mm ; Taourirt : 276.7 mm et Guercif : 175.3 mm) à cause de l'abri orographique des Bni Snassen, du Rif et du Moyen-Atlas et aussi de leur éloignement de toutes influences maritimes. Certes, l'éloignement de la mer, la direction et l'origine des flux, l'orientation du relief, l'altitude et l'effet orographique contribuent fortement à expliquer la mosaïque pluviométrique du Maroc septentrional.

#### LES CONFIGURATIONS SPATIO-TEMPORELLES REVELEES PAR LA PREMIERE COMPOSANTE

2 - 1 La première composante: mise en évidence d'un espace unique:  
Les trois premiers axes expriment au total 76% de la variance totale (respectivement : 60.89% ; 10.15% et 5.2%) . Le quatrième axe semble moins intéressant puisqu'il n'intervient plus que pour 4.62% de la variance. Au total, les quatre premiers facteurs cumulent un pourcentage de 81% de l'inertie totale du nuage. Nous n'avons donc que 19% de perte d'informations.

L'axe un intervient pour 60.89% de la variance totale. Toutes les variables (stations) y contribuent à peu près également. Cet axe traduit un effet de taille puisque toutes les stations se retrouvent regroupées dans les valeurs négatives . Ce comportement d'ensemble est probablement lié à la forte corrélation entre la plupart des stations . Exemple Tanger et Larache sont très bien corrélées ( $r : 0.82$ ); d'autres sont moins corrélées Fes et Melilla ( $r : 0.65$ ), ou non corrélées comme

Tanger et Oujda ( $r : 0.13$ ). Cela me paraît normal à l'échelle géographique, car la quantité des précipitations qui tombe au nord-ouest est plus importante qu'au centre et faible au nord-est (fig.35). Sur cet axe se classent les stations les moins arrosées aux stations les plus arrosées en passant par les stations moyennement pluvieuses. En effet, ce facteur n'apporte rien de nouveau puisqu'il affirme un résultat-classique-déjà connu en ordonnant les stations selon leur quantité de précipitations.

La figure 32 définie par les axes 1 et 2, nous présente deux groupes bien homogènes; entre eux nous pouvons former un troisième groupe. Le premier -du nord au sud du plan- est formé respectivement des stations de : Taourirt, Oujda, Al-Hoceima, Berkane, Guercif et Melilla. Le deuxième est constitué de : Tetouan, Tissa, Larache, Larbaa, Chaouen, Ceuta, Tanger et Ouezan. Par contre le troisième groupe occupe une position de transition entre les groupes précédents .

Le premier axe "observations" qui est l'axe vertical (fig. 33) est avant tout un axe de comportement annuel très lié à la quantité des précipitations tombée et surtout aux types d'années. Le haut de l'axe correspond aux fortes valeurs positives des années sèches les plus : les observations qui contribuent le plus à la formation de l'axe de ce côté de l'origine, sont respectivement les années 1981 ; 1966 ; 1983 ; 1984 ; 1974 et 1961. Elles sont les plus sèches. Leurs scores varient

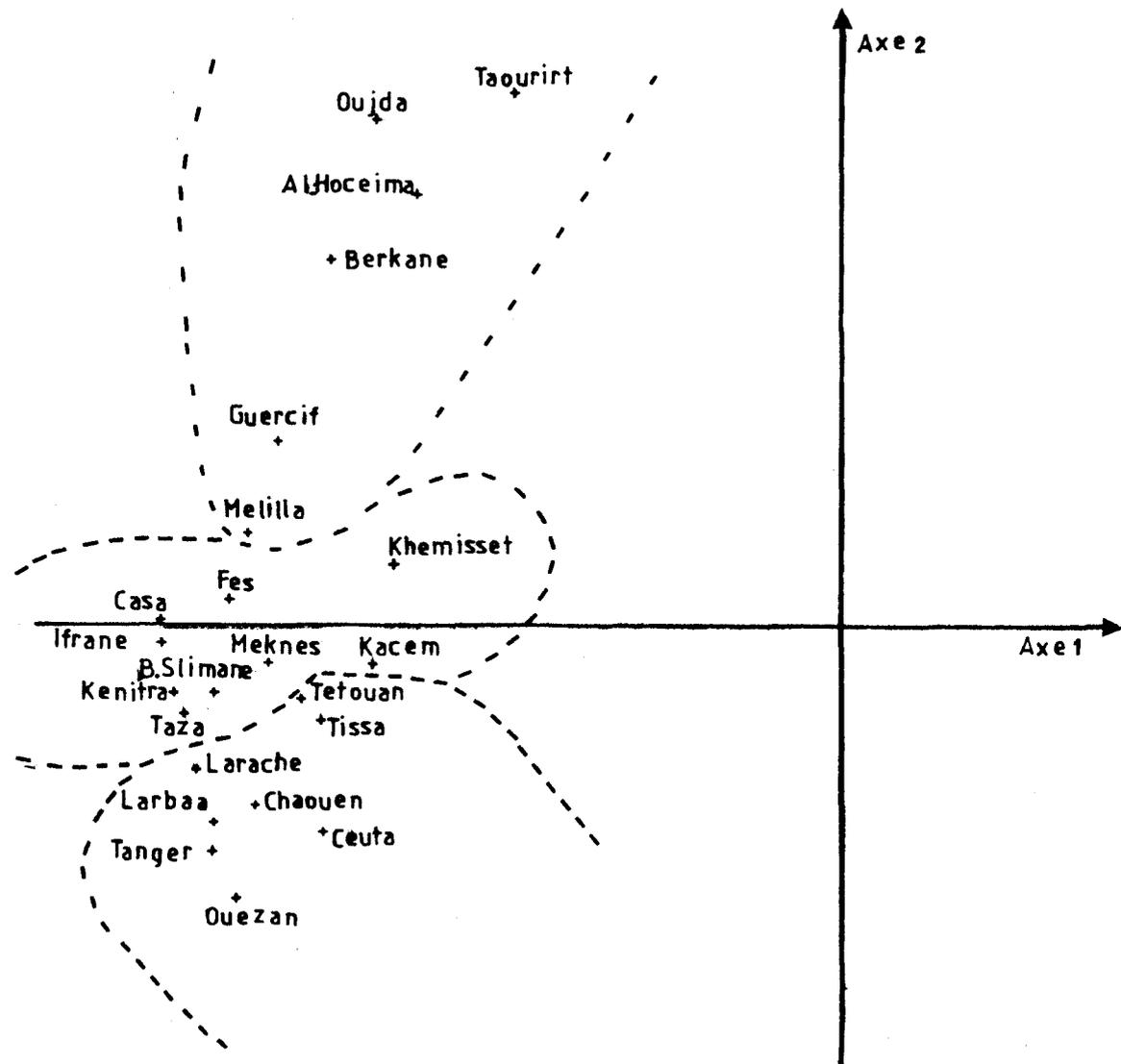
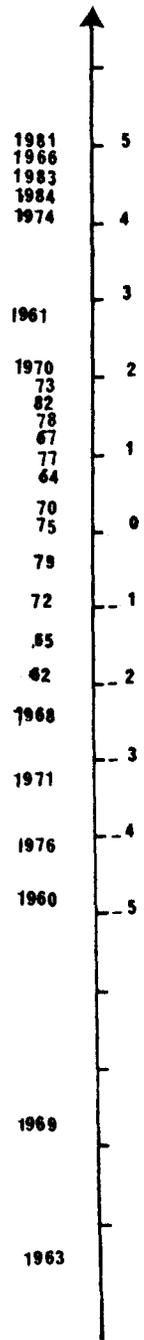


Fig.32 Plan factoriel des axes 1 et 2



Fig. 33

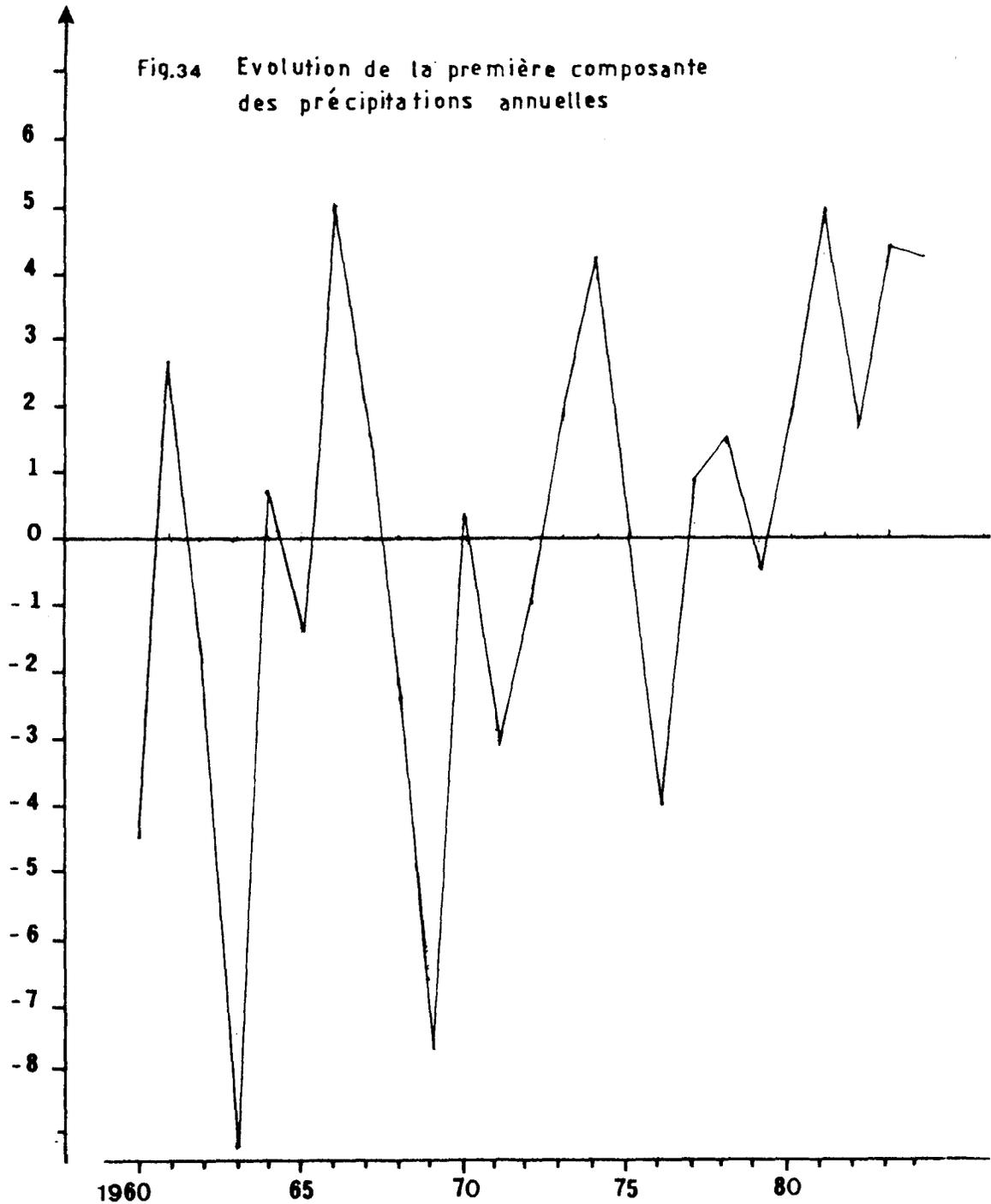
Axe 1 : coordonnées des observations



63



Fig.34 Evolution de la première composante des précipitations annuelles



de 5.1 en 1981 à 4.3 en 1974. D'autres années qui s'y projettent dans le même sens des années précédentes. Elles ont des tendances proches des années les plus sèches ; exemple : 1970 ; 1973 ; 1982 ; 1978 ; 1967 et 1977. Le bas de l'axe 1, correspond aux années hyperhumides et humides. Elles ont respectivement les très faibles valeurs négatives : -0.43 en 1963 ; -7.77 en 1969 ; -4.82 en 1960 ; -4.12 en 1976 ; -3.28 en 1971 et -2.52 en 1968. Les années proches de l'origine sont globalement des années moyennes.

Nous pouvons donc dire que la signification de l'axe 1 "observations" oppose les années globalement sèches ou très sèches aux années globalement humides (fig.34) ou hyperhumides. En effet, cet axe reflète l'alternance des années sèches et humides qui caractérise la variabilité globale des précipitations au Maroc en particulier et au monde méditerranéen en général.

## 2 - 2 Le comportement spatial de la première composante

Pour illustrer cette variance spatio-temporelle des précipitations annuelles du Maroc septentrional, nous utilisons les figures 35 et 36, de Tanger, Fes, Oujda, Melilla, et Ceuta.

La description des diagrammes pluviométriques annuels, sur une période de 25 ans (1960-1984), nous montre une baisse très nette au fur et à mesure que l'on se déplace du nord-ouest au sud-ouest et du nord-est à l'est, ainsi que d'ouest en est. Ainsi, nous avons trois ensembles homogènes :

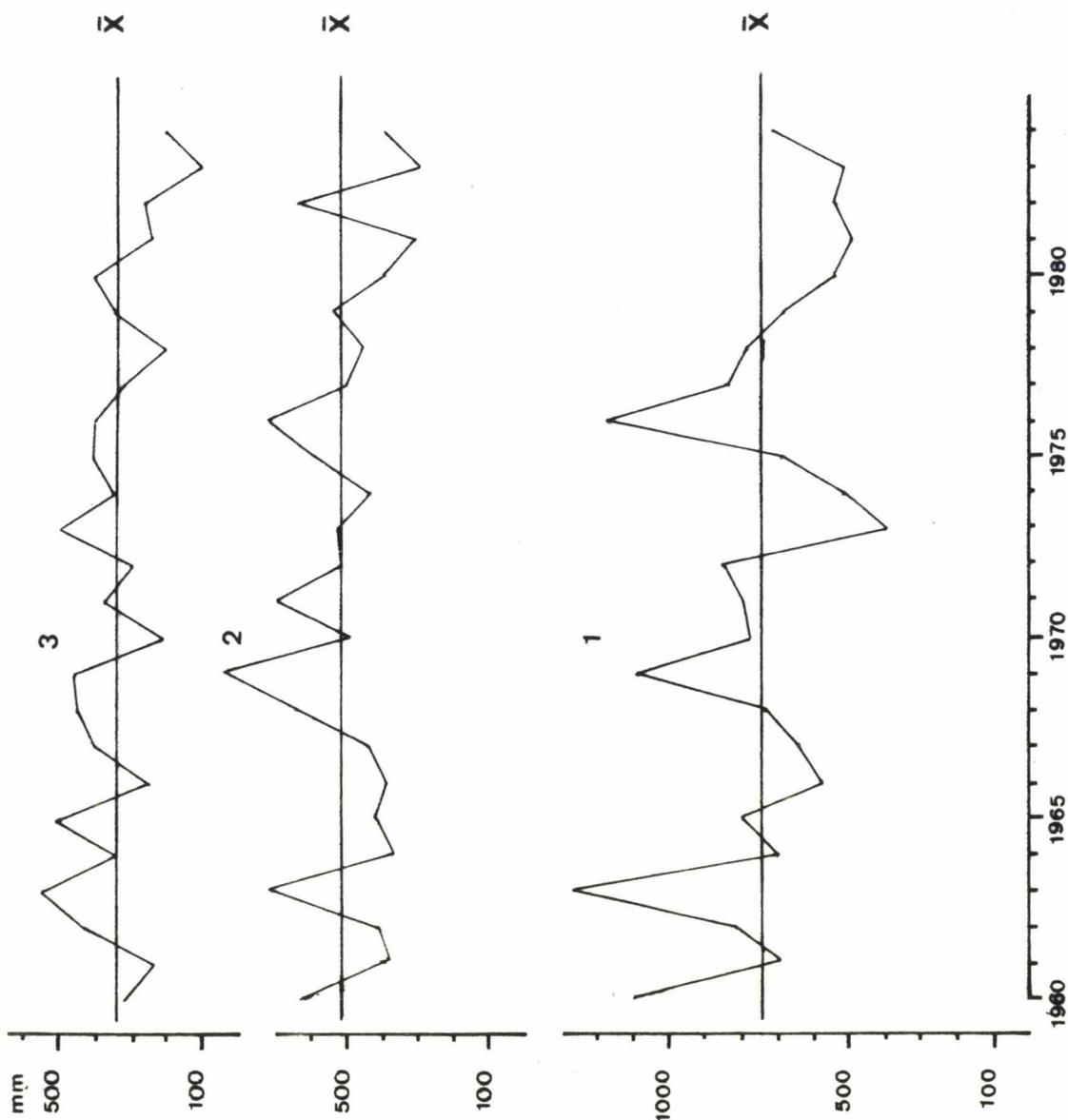


Fig.35 Evolution des précipitations annuelles 1-Tanger 2-Fes 3-Oujda



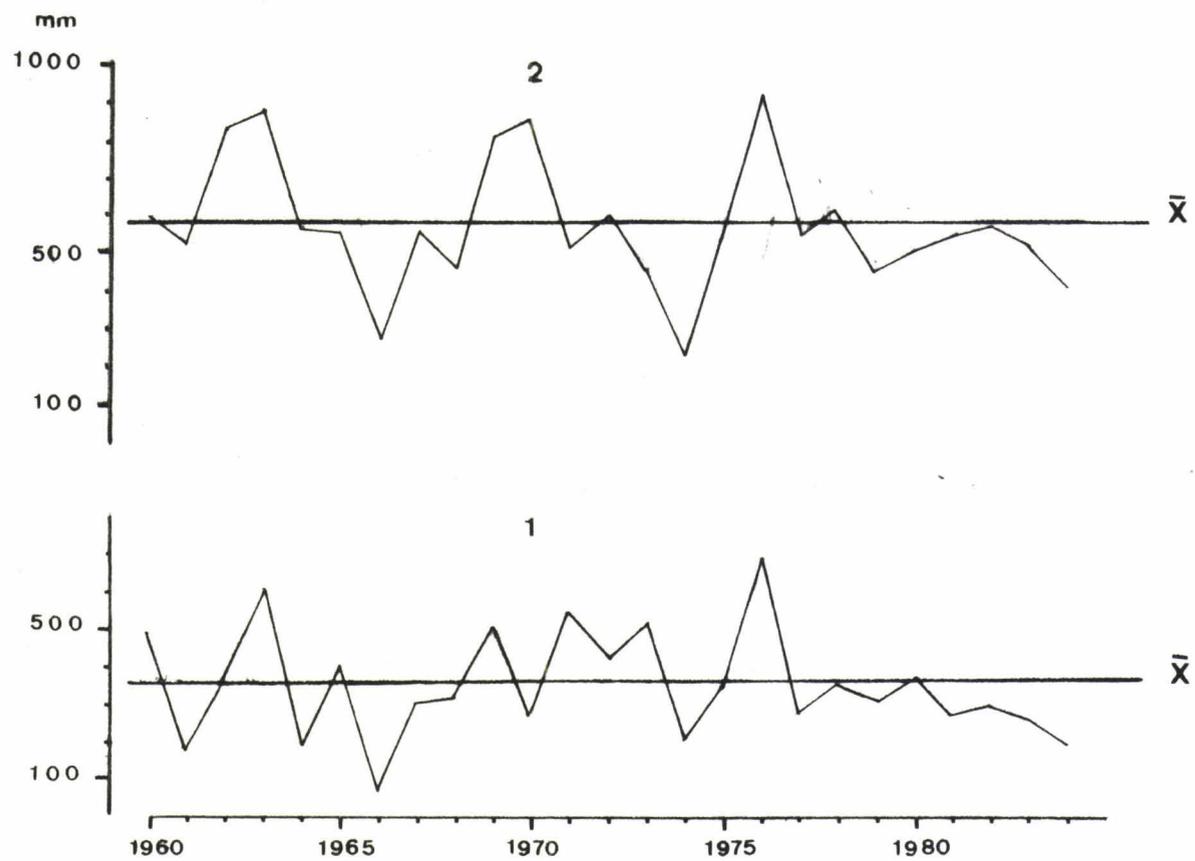


Fig.36 Evolution des précipitations annuelles 1- Melilla 2- Ceuta

- Les régions humides : elles englobent la péninsule Tingitane et les plaines Atlantiques, ainsi que le Prérif et le Moyen Atlas. Les précipitations connues pour cet ensemble géographique varient entre 800 mm et 1 500.0 mm.
- Les régions moyennement humides : elles regroupent le Rharb méridional, la côte atlantique au sud de Kenitra, le Saïs et le couloir de Taza. La moyenne annuelle y varie entre 500.0 mm et 1000.0 mm.
- Les régions faiblement humides : ce dernier ensemble reçoit la plus faible quantité des précipitations, il englobe ; le Rif oriental la basse Moulouya et la plaine des Anngad.

Pour éclaircir ces constatations, nous nous basons sur une seule station pour chaque région (fig.35 ). D'après cette figure nous constatons :

- 1 - une alternance d'années humides et d'années sèches.
- 2 - une opposition spatiale durant quelques années.

### 2 - 3 Comportement temporel de la première composante

Les années très pluvieuses sont à Tanger 1963 ,1976 et 1969. Leur totaux annuels dépassent respectivement : 1279 mm ; 1177 mm et 1092 mm , tandis qu'à Fès ,elles sont respectivement : 1969, 1976 et 1963 ,d'un total annuel de 858 mm pour la première 724 mm pour la seconde et 717 mm pour la troisième. Oujda a connu seulement deux années très arrosées : 1963 avec un total de 542 mm et 1973 avec un total de 497 mm.

Inversement les années 1973, 1982 et 1983 ont été les plus sèches à Tanger surtout l'année 1973 avec <sup>un</sup> déficit de 345 mm. A Fès les années 1981 et 1983 apparaissent les plus sèches ; la quantité des précipitations tombée pendant ces deux années n'a pas dépassé 319 mm. Par contre Oujda a connu trois années 1970, 1978 et 1983 dont aucune n'a franchi le total de 110 mm ; soit, un écart de - 233 mm à la moyenne en 1983 .

L'opposition occidentale-orientale illustrée au cours de l'année 1973 a permis à Oujda de bénéficier d'un excès de 154 mm, soit, un total de 500 mm puis d'un total de 536 mm à Fès, légèrement supérieur à la moyenne ,avec un excès de 124 mm ; inversement , Tanger était déficitaire de 345 mm (écart à la moyenne).

D'une façon générale, les précipitations annuelles sont très irrégulières, soit dans le nord-ouest et le Sais, soit dans la basse Moulouya et ses annexes . Si les précipitations annuelles moyennes dans le Nord-ouest oscillent autour de 750 mm pendant l'année humide ,elles peuvent parfois dépasser 1500 mm ; au Sais elles sont de 500 mm en année moyenne et peuvent atteindre 850 mm pendant l'année humide . En outre , l'oriental reçoit les plus faibles quantités des précipitations . Cette décroissance des précipitations d'ouest en est doit être attribuée non seulement à la barrière orographique du Moyen Atlas et du Rif, mais aussi au passage plus fréquent des perturbations qui affectent d'avantage la péninsule Tangitane, le Rharb et le Moyen Atlas .

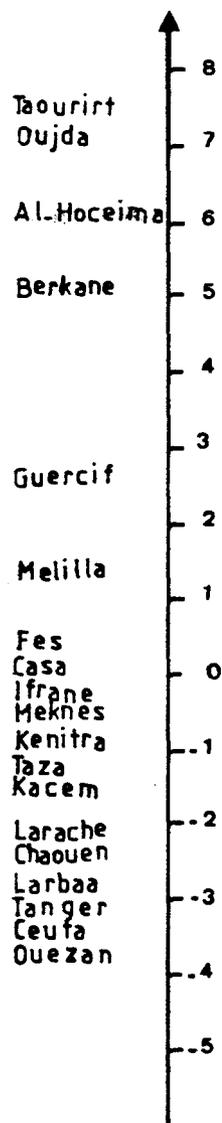
### 3 Deux grands ensembles spatiaux, fortement déterminés par la deuxième composante

La figure 37 montre la répartition du nuage (stations) sur l'axe 2. Il manifeste en gros une première opposition entre deux grandes zones géographiques bien marquées. La première zone: l'oriental du côté positif de l'axe et la deuxième zone l'occidental en bas de l'axe (côté négatif). L'étirement du nuage sur l'axe 2 révèle deux remarques importantes : les stations de l'oriental sont plus dispersées que les stations de l'occidental, compte tenu de la faible cohérence spatiale entre la plupart de ses stations. Cette disparité régionale s'accroît au Maroc oriental du nord-ouest à l'est. Par contre les stations occidentales se distinguent très légèrement en formant deux ensembles géographiques bien organisés.

#### 1 - 3 Le Maroc oriental:

La schématisation du plan factoriel 2 et 3 (fig.38) indique l'existence de deux sous-régions : la première au sud de l'axe deux, comprend les stations d'Oujda, de Berkane et de Melilla qui par sa faible saturation sur l'axe deux s'éloigne remarquablement de son groupe et tend à s'inscrire dans le groupe moyen. La deuxième sous-région au nord de l'axe 2 qui s'oppose à la première est représentée par les stations d'Al-Hoceima, de Taourirt et de Guercif. Cette dernière varie dans le sens contraire de Melilla. Elle s'écarte sensiblement de son groupe et s'individualise davantage au centre du plan

Fig.37 Axe 2: Corrélation facteur/variable



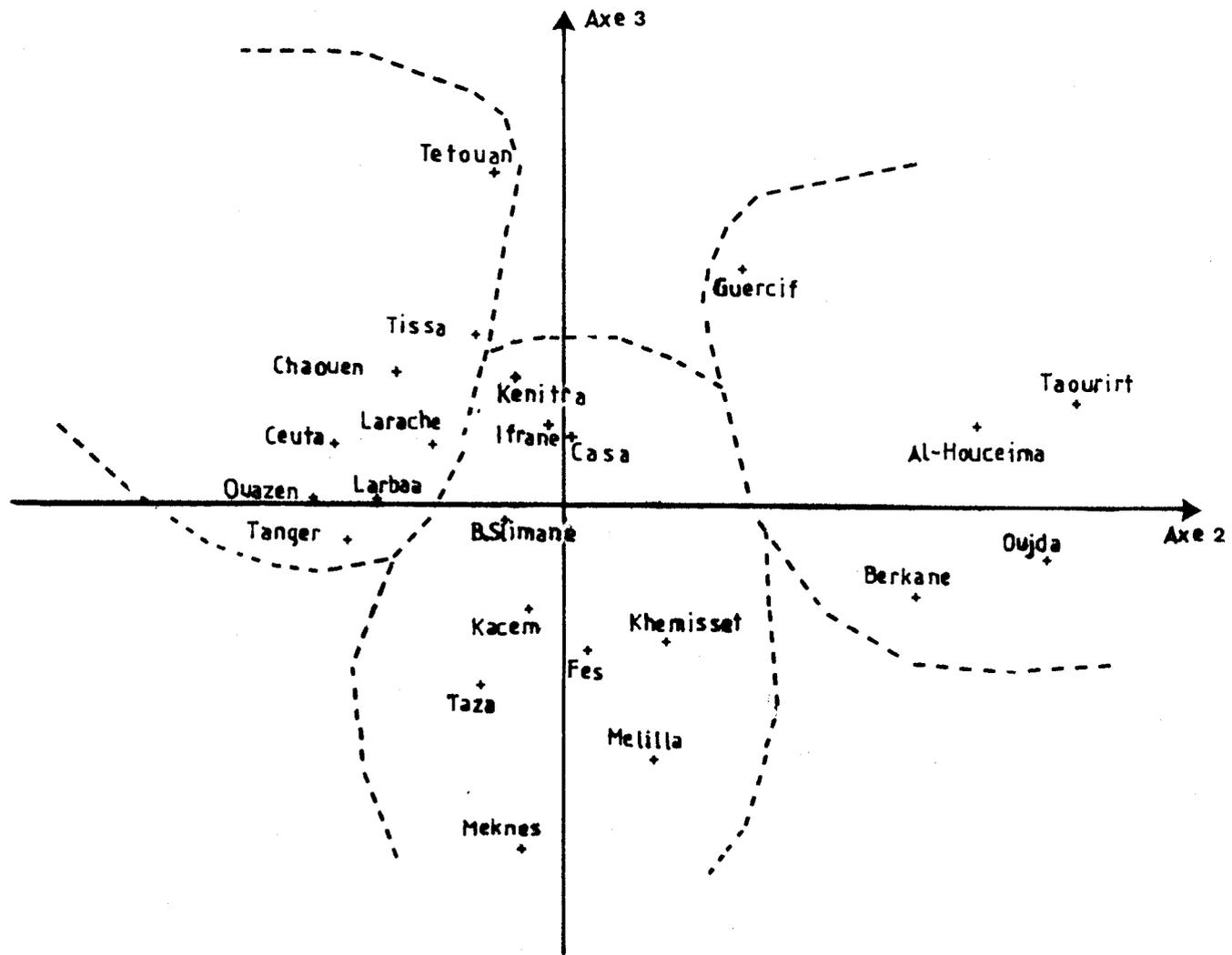


Fig.38 Plan factoriel des axes 2 et 3



factoriel-nord-est-. Cela peut s'expliquer par la situation géographique plus continentale . Elle est complètement ouverte sur le vent d'est et du sud-est - comme la station de Taourirt - imposé par le tracé des reliefs bordiers du Moyen Atlas . Même si les deux stations sont proches de la Méditerranée s'échappent aux influences maritimes méditerranéenne et atlantique à cause de la barrière orographique des Bni Snassen au nord-est ,du Rif oriental au nord-ouest et celle du Moyen-Atlas du sud-ouest à l'ouest . La médiocrité des précipitations qu'elles enregistrent sont dues, soit à la faible pénétration des perturbations par la vallée de la basse Moulouya ,ou par le couloir de Guercif-Taourirt qui s'ouvre sur la Méditerranée dans le territoire algérien ; soit par le couloir de Taza qui communique avec l'occidental .Ou ,elles sont dues aux phénomènes de l'air liés à la différence thermique importante entre la vallée de la basse Moulouya ,surchauffée et le Moyen Atlas plus frais .Ce mécanisme s'accompagne d'un vent orienté est-ouest ou sud-est, nord-ouest qui accélère le phénomène en provoquant des condensations intenses (phénomène de foehn) et donne des précipitations orageuses violentes d'une durée très courte .

Le rattachement de la station d'Al-Hoceima à cette région du Maroc oriental prouve qu'elle ne reçoit qu'une faible quantité des précipitations de 290 mm à l'échelle annuelle.Cette faiblesse des précipitations d'Al-Hoceima se justifie par sa position côtière sous l'abri d'une topographie trop accidentée. Ajoutons à cela les facteurs géographiques extérieurs . Par exemple si les perturbations viennent de l'ouest ,se bloquent par le Rif occidental et si elles viennent du nord-est ,elles s'épuisent sur les premières hauteurs du Rif oriental en bordure de la

Méditerranée qui complète l'isolement d'Al-Hoceima. Par contre les stations d'Oujda et de Berkane profitent largement de l'influence méditerranéenne du nord-est.

D'une manière globale les deux sous - régions sont sensiblement les mêmes car elles appartiennent à un ensemble relativement homogène . Cependant à l'intérieur de cette homogénéité existent des différences régionales qui se réalisent différem<sup>m</sup>ent en chaque sous - région , selon sa situation géographique . A l'opposé de celles - ci se retrouvent les stations occidentales.

### 3 - 2 Le Maroc occidental

Globalement les stations sont peu différenciées. Elles manifestent en gros un comportement d'ensemble. A l'intérieur de cet ensemble se distinguent deux grandes régions : l'une au nord et l'autre au centre :

#### 3 - 2 - 1 La région nord

Cet ensemble géographique qui s'oppose nettement à l'oriental, couvre la péninsule Tingitane et le Rharb septentrional .Il présente une bonne homogénéité spatiale .Ces stations s'écartent moins de l'origine des deux axes .Elles sont relativement dispersées à l'exception de la station de Tetouan qui s'écarte et s'étire au nord du plan . L'écartement de la station de Tetouan de son groupe et sa position aberrante près de l'axe 3 , s'explique par sa faible altitude (5 m) d'une part et

d'autre part ,par sa position sous des influences locales particulières. Juste à côté de ce pôle géographique , se trouve la deuxième région du Maroc occidental.

### 3 - 2 - 2 La région centrale

La plupart de ces stations sont regroupées autour de l'axe trois ,ou près de l'origine des deux axes (2 et 3) . Elles se caractérisent par une position moyenne dont les stations sont faiblement dispersées . Taza et Meknes s'écartent sensiblement de l'origine .Par contre Ifrane ,Casa et Ben Slimane restent près du centre de l'axe . Certes, la position médiane de cet ensemble régional reflète une faible opposition non seulement aux stations de la péninsule Tingitane , mais aussi aux stations de l'oriental .

L'axe deux : partage la région en deux groupements de stations disjoints ; cette division basée sur la quantité des précipitations traduit bien la réalité climatique régionale. Le premier groupement contient deux stations côtières (Casa et Kenitra) ouvertes sur l'Atlantique ; puis,une troisième station sur la chaîne moyenne atlassique (Ifrane ) d'une altitude de 1500 m et d'une orientation nord- ouest qui lui a permis de bénéficier d'une copieuse quantité de précipitations. Elles s'opposent aux stations de l'autre groupement. Par contre , ce dernier -au sud de l'axe deux englobe les régions continentales des plaines Atlantiques ( Ben Slimane ,Khemisset et S.Kacem ) ,le Saïs et le couloir de Taza dont les stations sont relativement homogènes à l'exception d'une seule station .Il s'agit surtout de la

position (dans ce groupe) exceptionnelle de Melilla située sur la côte est méditerranéenne . Cela s'explique par la situation géographique du Rif oriental qui forme une barrière perpendiculaire à la direction des flux maritimes ; quand ces flux arrivent du nord et du nord - est, <sup>ils</sup> provoquent des précipitations très importantes à Melilla.

La variation de l'ensemble des stations occidentales paraît plus nuancée dans le groupe central surtout dans les régions continentales ,qui s'éloignent relativement bien des influences d'ouest et n'échappent pas souvent à celles de l'est. Ajoutons à cela l'influence des facteurs géographiques locaux.

### 3 - 3 Les variations spatio-temporelles de la deuxième composante

L'axe 2 : "observations" absorbe 10% de la variance totale soit, 25 / 10 .Deux années (1970 et 1973) contribuent fortement dans la définition de cet axe (fig. 39). L'une 1973 à forte coordonnée positive ,l'autre 1970 à forte coordonnée négative. Ces deux années sont cartographiées et reproduites sur les figures 40 et 41. Nous constatons d'après la figure 40 relative aux précipitations annuelles de 1970 de fortes précipitations sur le Rif occidental et le Prérif. Par contre la côte Atlantique de Casa à Tanger et l'ensemble continental de Khemisset à la trouée de Taza connaissent des précipitations moyennes. Inversement les précipitations sont faibles sur la côte est méditerranéenne et plus faibles dans la basse Moulouya méridionale et la plaine des Anngad.

Fig.39 Coordonnées des observations

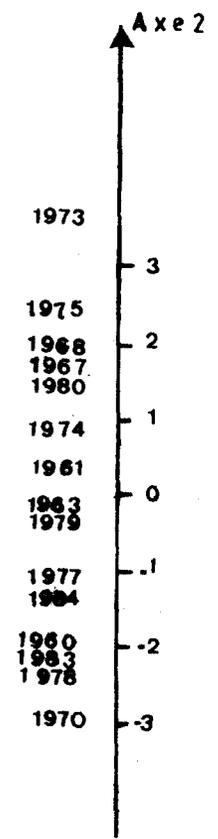
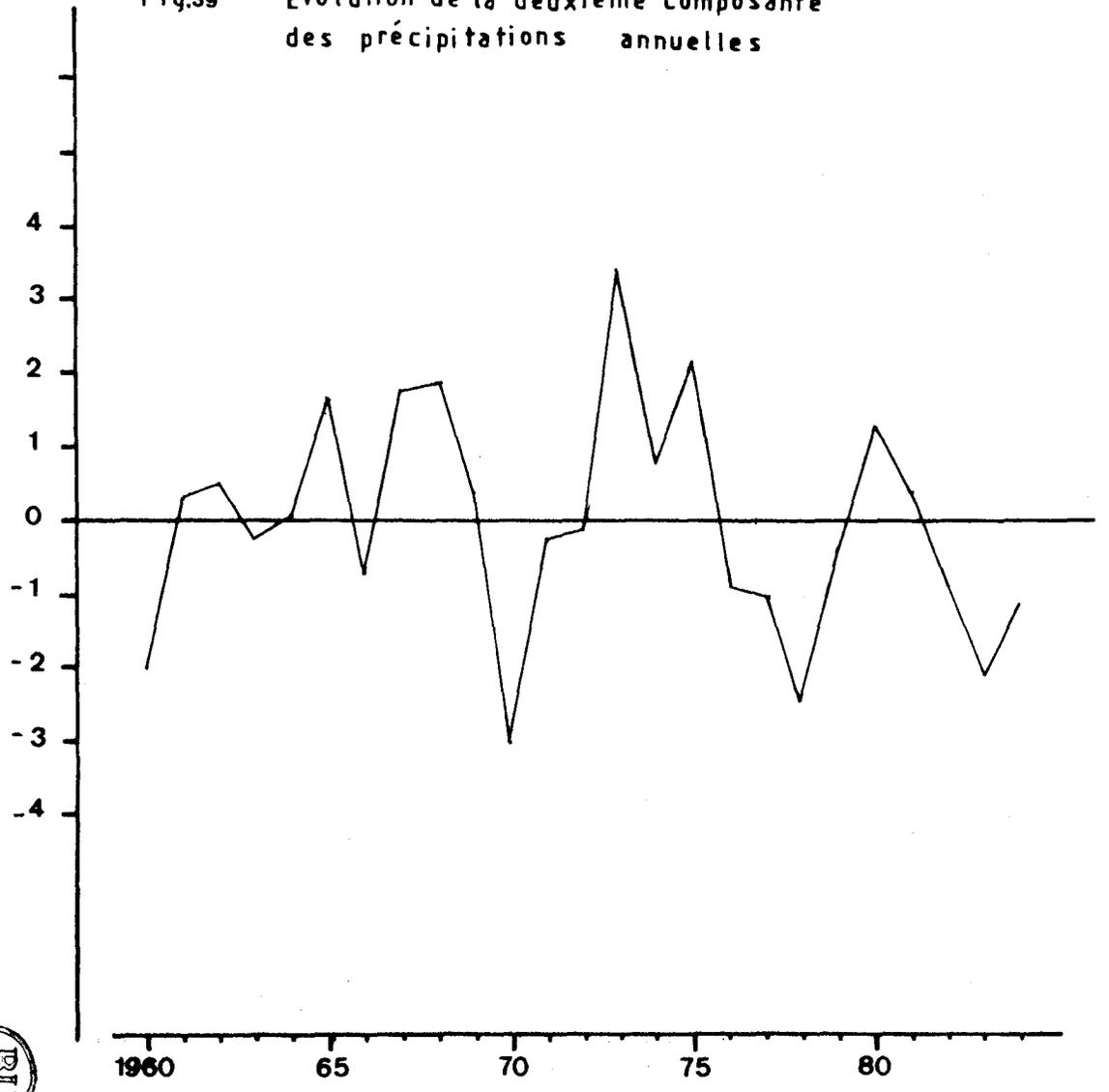


Fig.39' Evolution de la deuxième composante des précipitations annuelles



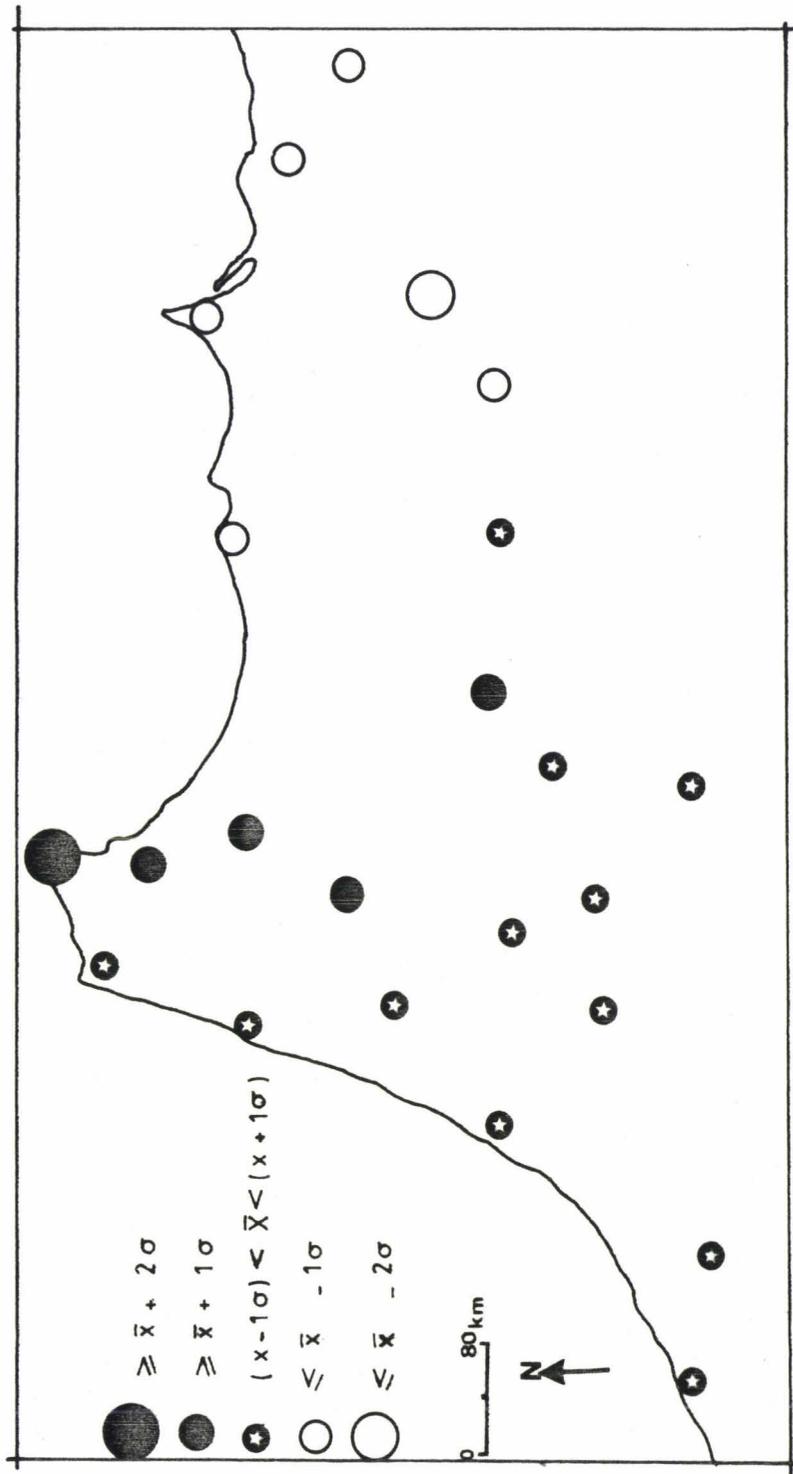


Fig. 40 La variation spatiale des précipitations annuelles en 1970



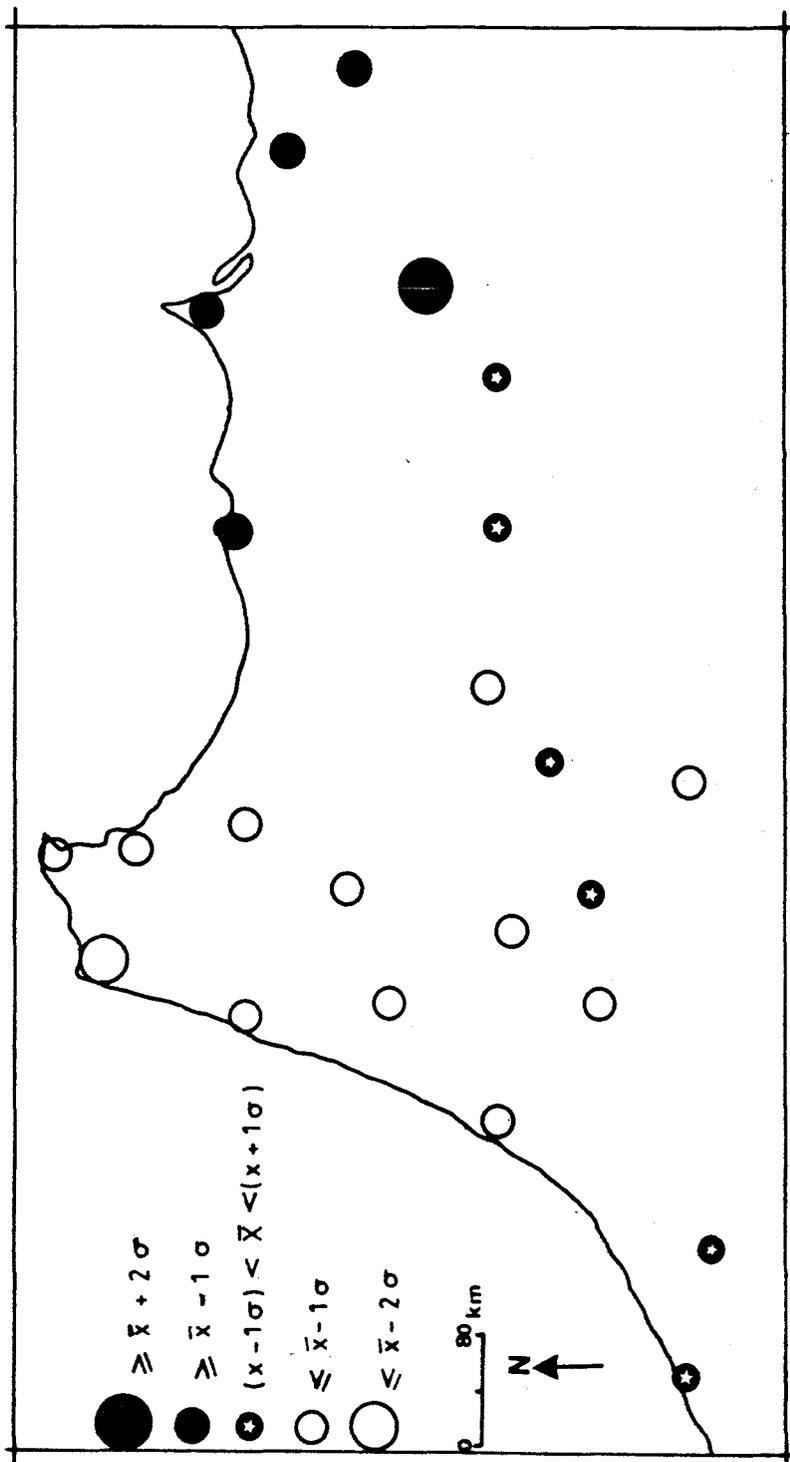


Fig. 41 La variation spatiale des précipitations annuelles en 1973



En 1973 le système s'est renversé totalement (fig.41). La péninsule Tingitane a été très sèche, alors que le Rharb, le Prérif et ses bordures puis le Moyen Atlas ont été secs. Par contre le Rif oriental, la basse Moulouya et la plaine des Anngad ont été très humides ; en même temps la côte sud atlantique, le Saïs et le couloir de Taza - Guercif ont enregistré une quantité importante des précipitations. Les graphiques (fig.35 ; 36) de Tetouan, Ceuta, Fes, Melilla et Oujda confirment bien cette opposition. En 1970, le minimum pluviométrique d'Oujda (194 mm) s'oppose au maximum pluviométrique de Ceuta (857 mm). Pendant cette année il a plu quatre fois plus à Ceuta qu'à Oujda. En 1973 Tanger a été plus sèche que Melilla. La première station a enregistré un déficit pluviométrique de 345 mm par rapport à la moyenne, tandis que Melilla a connu un excès de 149 mm.

Les figures 35 et 36 confirment les mêmes résultats et apportent de nouvelles informations. En 1973 Oujda s'oppose à Ceuta et à Tanger, mais en 1970 seulement la station de Ceuta s'oppose à Oujda. Par contre Fès et Tanger restent dans une situation moyenne. Donc les précipitations annuelles de Tanger, de Ceuta et de Melilla (en 1970 et en 1973) sont nettement marquées pendant ces deux années, ce qui montre le caractère oscillatoire des précipitations annuelles.

Certes, l'opposition sud-ouest, nord - est, semble moins intense que l'opposition nord - ouest, nord - est. La quantité des précipitations à Melilla est plus proche de celle de Fès que celle de Tanger. D'autre part, Ceuta et Melilla sont négativement

corrélées à cause de l'opposition régionale ,tandis que celles de Ceuta , Tanger ou celles d'Oujda ,Melilla sont fortement corrélées.

L'étude faite au cours de ces deux années nous permet de conclure que toutes les stations de même groupe réagissent ensemble dans le même sens .Ansi les figures 35 et 36 confirment la concomitance très régulière de l'ensemble nord - ouest et l'alternance de la sécheresse et de l'humidité en même temps dans les deux pôles (occidental et oriental) .Cette irrégularité spatio - temporelle des précipitations résulte de la discontinuité des perturbations dans l'espace des deux ensembles régionaux, mais cette opposition ne se repètent pas régulièrement en même temps dans les deux sous- ensembles ; ce que nous a révélé l'axe trois.

### 3 - 3 - 1 Interprétation dynamique

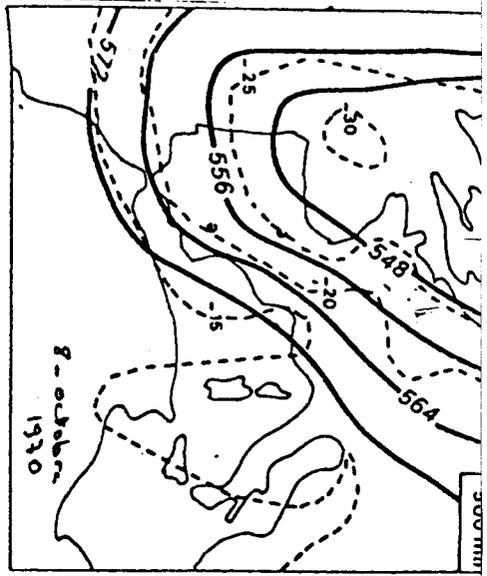
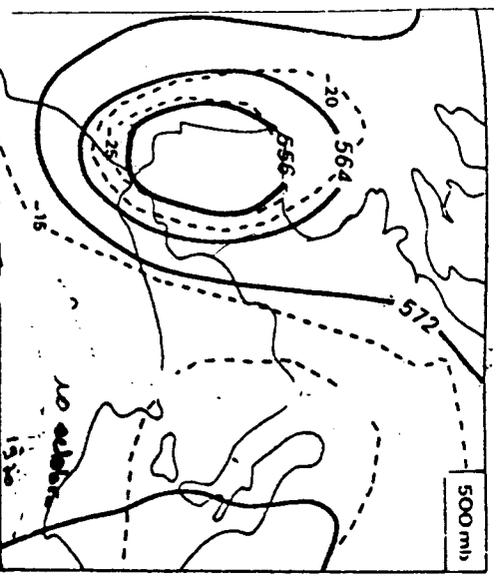
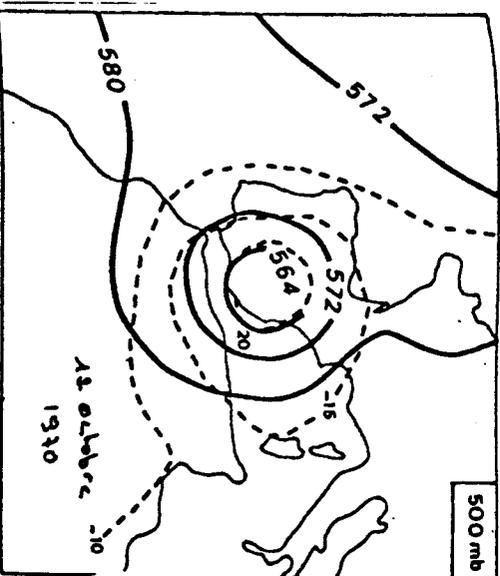
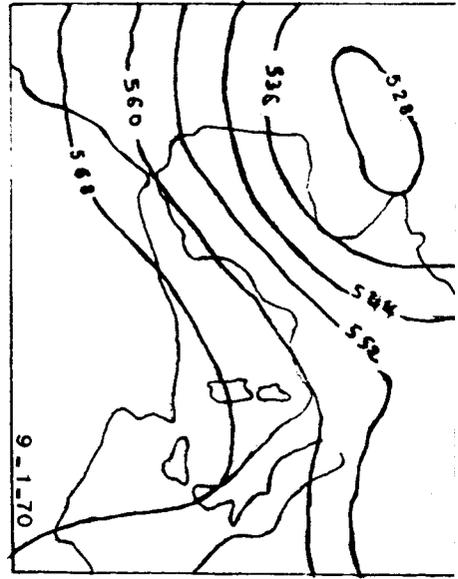
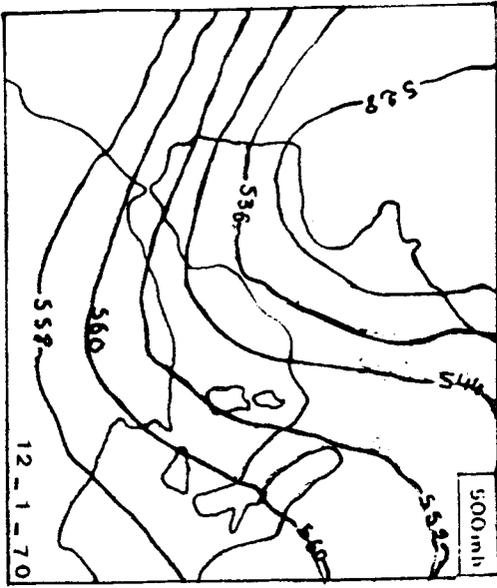
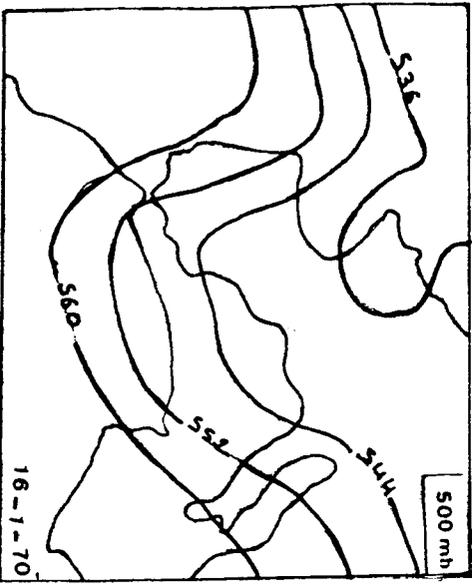
La fréquente opposition entre le Maroc occidental et le Maroc oriental ,révélée par l'axe 2 de l'ACP des précipitations annuelles et illustrée par les exemples de 1970 et 1973 ,peut faire l'objet d'une interprétation en termes de climatologie dynamique . Plutôt que d'ajouter à une étude surtout statistique ,une interprétation dynamique exhaustive ,nous nous sommes attachés à présenter un petit nombre de situations choisies de façon à illustrer les années particulières ,à partir des cartes quotidiennes .

Pour mettre en évidence des phénomènes persistants sur des périodes d'une semaine ou plus, capable d'influencer le total des précipitations annuelles, il paraît préférable de considérer la situation d'altitude représentée par les cartes de la surface 500 mb plutôt que d'étudier des situations de surface plus mobiles et moins révélatrices d'anomalies persistantes.

3 - 3 - 1 - 1 L'année 1970 a été marquée par des précipitations nettement supérieures à la normale sur les régions occidentales, et inférieures sur l'orientale (fig.40). En réalité, les précipitations abondantes de janvier expliquent pour l'essentiel cette opposition, comme traduit le tableau(9) suivant :

Stations	Janvier	./.	Année	./.
Casa	114.8	195	436.2	100
Tanger	289.9	274	778.0	102
Ceuta	435.0	510	875.0	146
Ifrane	536.9	407	1120.4	107
Chaouen	998.0	613	1589.2	151
Meknes	226.2	277	527.3	87
Oujda	50.2	173	193.8	56
Berkane	54.3	118	175.4	37
Taurirt	29.0	113	127.3	46
Al-Hoceima	75.2	221	220.5	76
Melilla	71.2	172	268.3	74





Les stations occidentales enregistrent des précipitations maximales supérieures aux normales (Casa 2 fois, Ifrane 4 fois plus, Ceuta 5 fois plus et Chaouen 6 fois plus). Par contre les stations du Nord-Est connaissent des totaux pluviométriques légèrement supérieures aux normales :

La situation de janvier, illustre fort bien cette opposition géographique. Elle contribue fortement à l'expliquer. Pendant cette période où les précipitations atteignent 115 mm dans les plaines Atlantiques 290 mm dans la péninsule Tingitane et 226 mm dans le Saïs. Le total est encore plus fort sur les hauteurs occidentales du Rif (998 mm à Chaouen ) et du Moyen Atlas (537 mm à Ifrane ), tandis que les régions orientales connaissent une très faible quantité : 71 mm à Melilla la plus arrosée de l'oriental. La diminution de l'intensité des précipitations est claire à Al-Hoceima (75 mm ) ,Taourirt (44.4 mm) et à Berkane 16 fois moins que Chaouen.

### 3 - 3 - 1 La situation de Janvier 1970

Une vallée représenté par les cartes d'altitude , se déplaçant selon une trajectoire nord-sud aborde directement le proche Atlantique et affecte le nord-ouest du Maroc. Cette vallée planétaire associée à une dépression qui évolue des Iles Britanniques au Golfe de Gênes frappe de plein fouet toute la façade occidentale du Rif et du Moyen-Atlas et balaie l'ensemble marocain du nord-ouest .Ces situations expliquent les lames d'eaux précipités sur tout l'ensemble du Maroc septentrional . Mais l'analyse des totaux pluviométriques selon les régions

(tab.9) met en évidence de très fortes oppositions régionales. En effet, l'effet orographique se traduit immédiatement par des précipitations abondantes sur les versants et les massifs les plus élevés de l'occidental au-dessus desquels les masses d'airs instables et humides sont fortement soulevées, alors que les précipitations diminuent sensiblement et deviennent insignifiantes sur les versants orientaux (Al-Hoceima, Melilla) et dans les régions abritées du nord-est : Guercif ,Taourirt ,Oujda et Berkane .La combinaison de ces effets expliquent nettement le contraste pluviométrique du Maroc septentrional en cette année(1970) .

Certe,la médiocrité des précipitations de l'oriental ne s'explique pas par la discontinuité des perturbations ,mais par la faiblesse de leur activité après avoir traversé les chaines montagneuses du Rif et du Moyen Atlas . Il est clair que les perturbations qui affectent le Maroc pendant la saison pluvieuse viennent de l'ouest ou du nord - ouest - cas fréquent en hiver - en se déplaçant vers l'est, elles frappent de plein fouet la façade occidentale du Rif et du Moyen Atlas et provoquent des pluies abondantes . Ce phénomène - orographique - entraîne des contrastes pluviométriques entre les régions exposées à l'ouest et celles abritées à l' est . Les précipitations varient fortement de la péninsule Tingitane , au Rif oriental ,à la basse Moulouya et à la plaine des Anngad (tableau 9). En effet, la combinaison des situations synoptiques avec l'hypothèse de l'écran orographique expliquent bien l'opposition régionale du

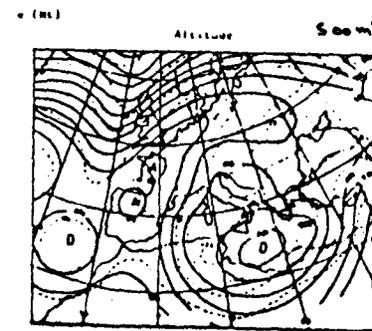
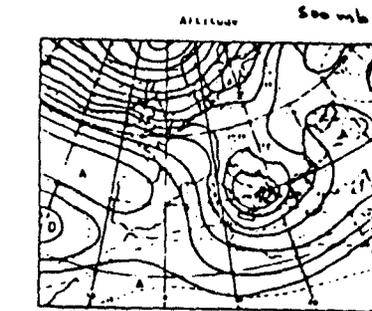
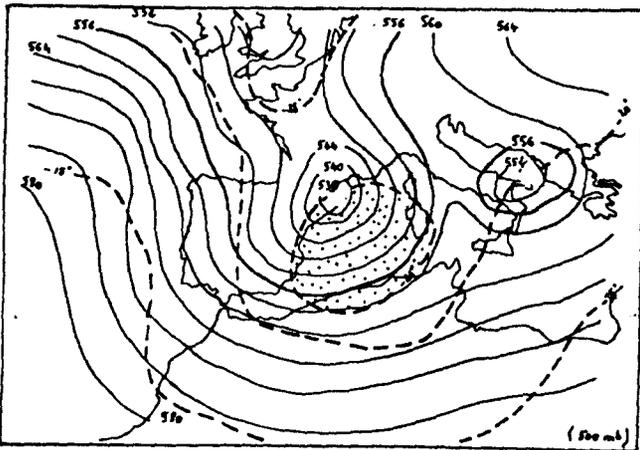
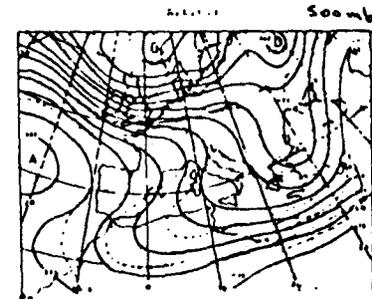
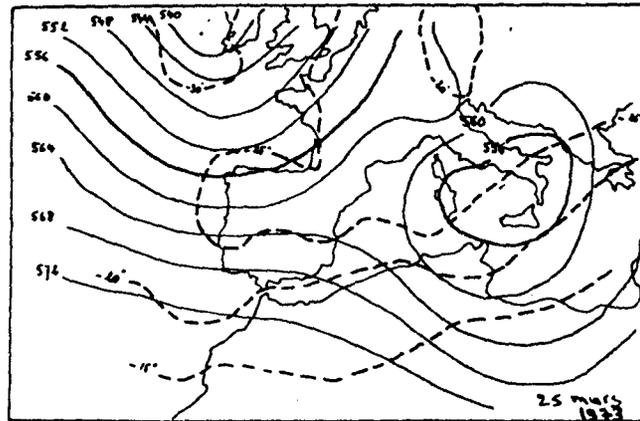
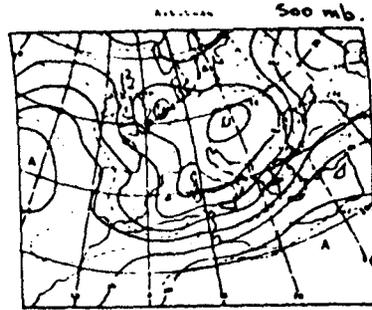
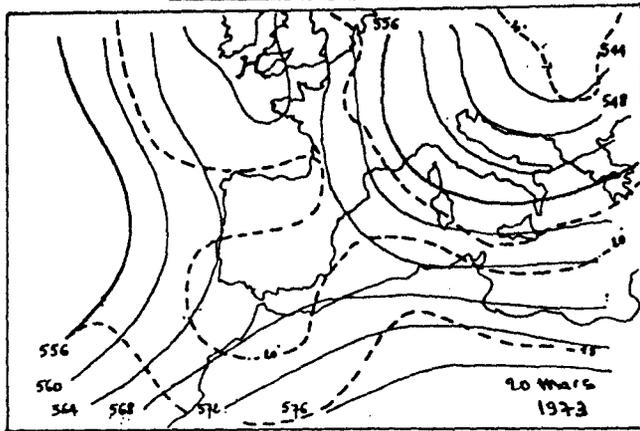
Maroc septentrional en 1970 , car l'effet orographique des perturbations se traduit par des précipitations abondantes sur la façade occidentale , alors que les précipitations diminuent sensiblement dans les régions abritées (l'oriental).

3 - 3 - 2 L'année 1973 : se caractérise au contraire de la précédente par des précipitations supérieures à la normales sur l'oriental (Al-Hoceima, Melilla, Oujda, Berkane et Taourirt) et partout inférieures à la normale sur le Maroc occidental et surtout nord-occidental (fig.41). Le mois de mars et de décembre contribuent fortement à expliquer ce contraste pluviométrique :

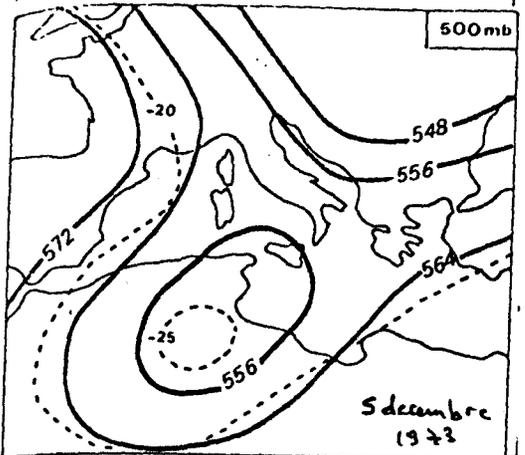
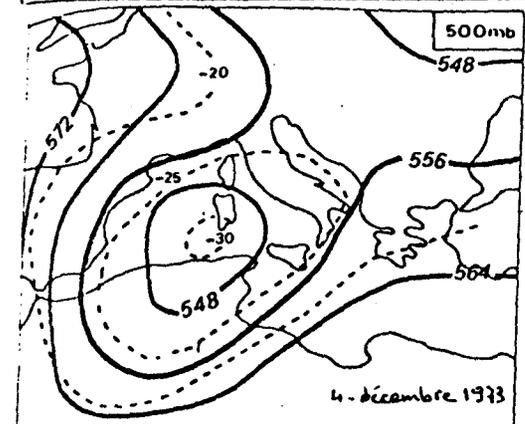
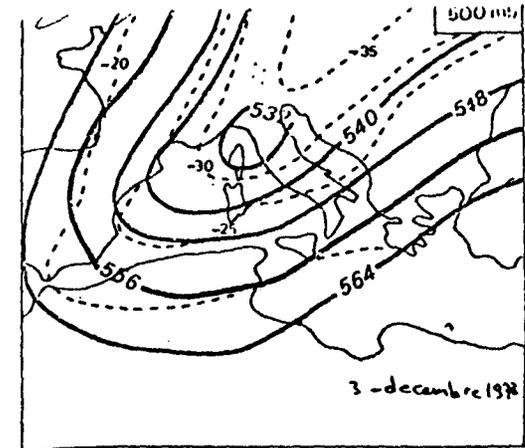
	Mars	%	Décembre	%	Année	%
Casa	53.1	95	198.4	240	398.9	92
Tanger	32.9	38	178.5	136	412.0	54
Ceuta	67.0	98	109.0	106	452.5	77
Ifrane	131.4	106	188.5	129	832.4	80
Chaouen	36.0	31	365.0	180	602.0	57
Meknes	88.4	105	128.9	153	539.5	89
Oujda	116.7	243	154.0	317	497.6	144
Berkane	118.7	209	93.3	163	443.3	93
Taurirt	136.5	388	180.2	641	431.4	165
Al-Hoceima	58.1	150	101.0	245	404.6	140
Melilla	102.1	237	176.7	302	510.3	141

Le cas de mars et de décembre expliquent cette opposition où l'oriental enregistre des précipitations supérieures à la normale : 2 fois de plus à Melilla, à Berkane et à Oujda en mars et 6 fois de plus à Taourirt en décembre. Par contre l'occidental connaît des précipitations , soit inférieures à la





BU  
LILLE



SITUATION EN ALTITUDE le 26 mars 1973.

normale dans les plaines Atlantique et le Rif ,soit proches à la normale dans le Sais et dans le Moyen-Atlas en mars .Alors qu'elles sont sensiblement supérieures à la normale en décembre .

Nous chercher dans la dynamique de l'atmosphère aux mois de mars d'octobre et de décembre les raisons de l'humidité de l'oriental et de la sécheresse de l'occidental . La carte à 500 mb du premier octobre 1973 manifeste une vallée planétaire liée à une goutte froide , qui s'étend de la Scandinavie au latitude moyenne , elle couvre l'ensemble du Maroc septentrional . Le 2 octobre le talweg de la vallée planétaire se décale légèrement vers l'est , et la dorsale anticyclonique se penche légèrement sur les côtes atlantiques marocaines . Le 3 octobre le talweg continue à se déplacer sensiblement vers le nord - est isolant l'occidental . le 4 octobre il commence à s'affaiblir et se rétrécit afin de disparaître complètement le 5 octobre .

Le 6 décembre on aperçoit sur la carte à 500 mb de nombreuses ondulations planétaires de grandes amplitudes ,entraînant la formation d'une dorsale anticyclonique sur l'Atlantique Nord qui couvre légèrement le Maroc occidental . Par contre la vallée planétaire s'étend de la Scandinavie à la Tunisie , en passant par le Maroc oriental et l'Algérie . Le 4 décembre l'occidental est complètement sous l'axe de la dorsale anticyclonique , tandis que l'oriental jouit d'une influence de la vallée froide qui se décale sensiblement vers le sud - est . Elle persiste encore jusqu'au 6 décembre où, elle s'efface complètement .

Les descriptions synoptiques de mars et celle de décembre 1973 montrent bien les raisons du déficit de tout l'ensemble de l'occidental et celle de l'excédent de l'oriental, sans oublier le rôle secondaire joué par les chaînes montagneuses du Moyen Atlas et du Rif . Ajoutons à cela les cartes synoptiques présentées par Mme. THEPENIER (cf.1983) et celles présentées par Mr. KASSAB (cf.1976) dans l'étude des précipitations exceptionnelles du mars et de décembre 1973( en Tunisie ) qui confirment bien nos constatations .

#### 4 - Intervention des autres composantes dans la répartition des précipitations

##### 4 - 1 La répartition spatiale des précipitations révélée par l'axe 3

L'année 1976 a forte coordonnée négative sur l'axe 3 , nous a permis de préciser correctement la signification de cet axe. D'une autre façon ce facteur décrit 5% de la variance totale pour une période de 25 ans , c'est à dire une seule année qui contribue de plus à sa définition ( fig. 42 ). Signalons aussi, que l'année 1961 a coordonnée positive ( + 1.7 ) s'écarte légèrement de l'origine de l'axe , de ce fait les oppositions entre ces deux années sont peu nettes . Les résultats obtenus sur les figures ( 43 ; 44 ) sont très intéressants , car la première nous montre l'humidité totale du Maroc septentrional en 1976 . Par contre la deuxième , nous montre l'inverse , c'est à

##### 4 - 1 - 1 L'exemple de 1976

L'année 1976 est très pluvieuse sur l'ensemble du Maroc septentrional . Elle est marquée par de fortes précipitations dans la péninsule Tingitane , le Prérif , le Rharb , le Saïs et le couloir de Taza , ainsi que dans le Rif oriental ( région

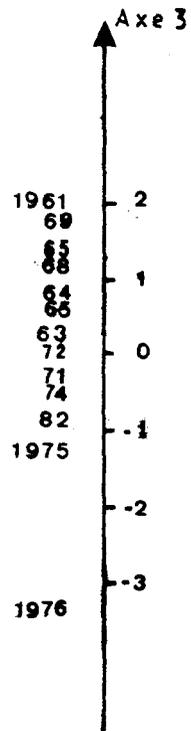


Fig.4.2 Saturations de l'axe 3



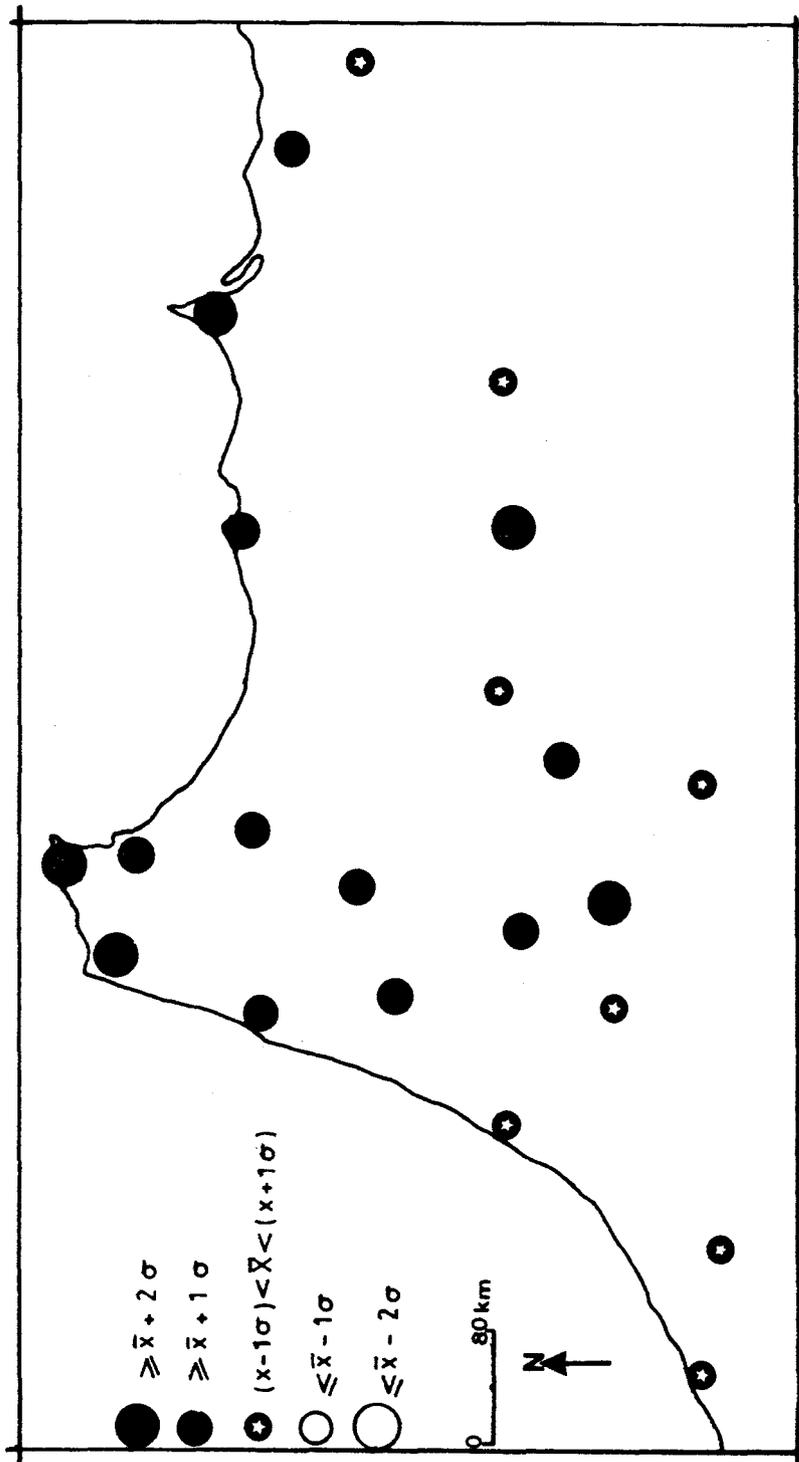


Fig. 43 La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1976



Fig.47a Saturation de l'axe 4

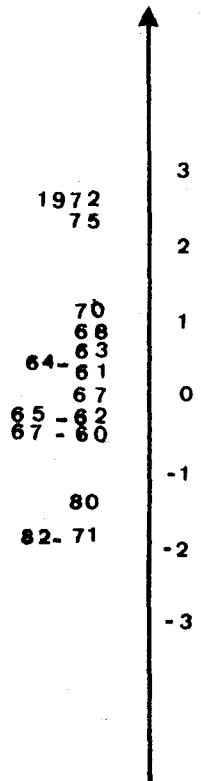
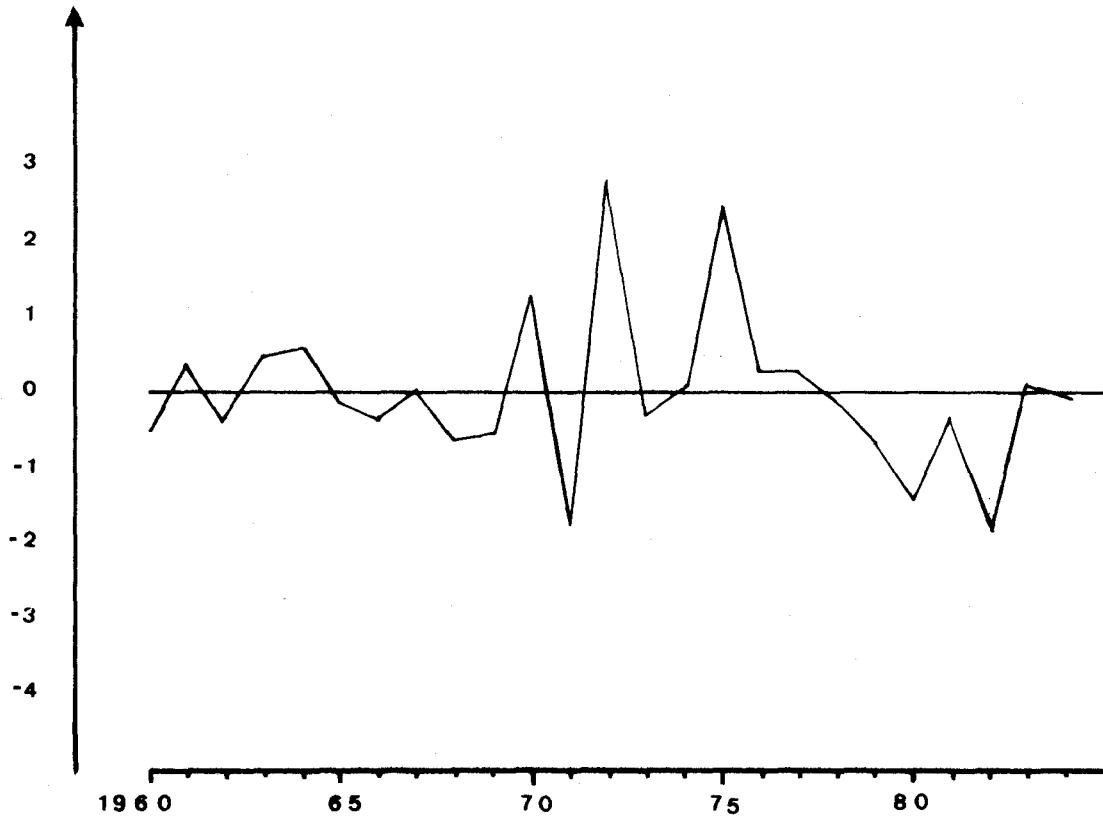


Fig.47b Evolution de la 4<sup>ème</sup> composante des précipitations annuelles



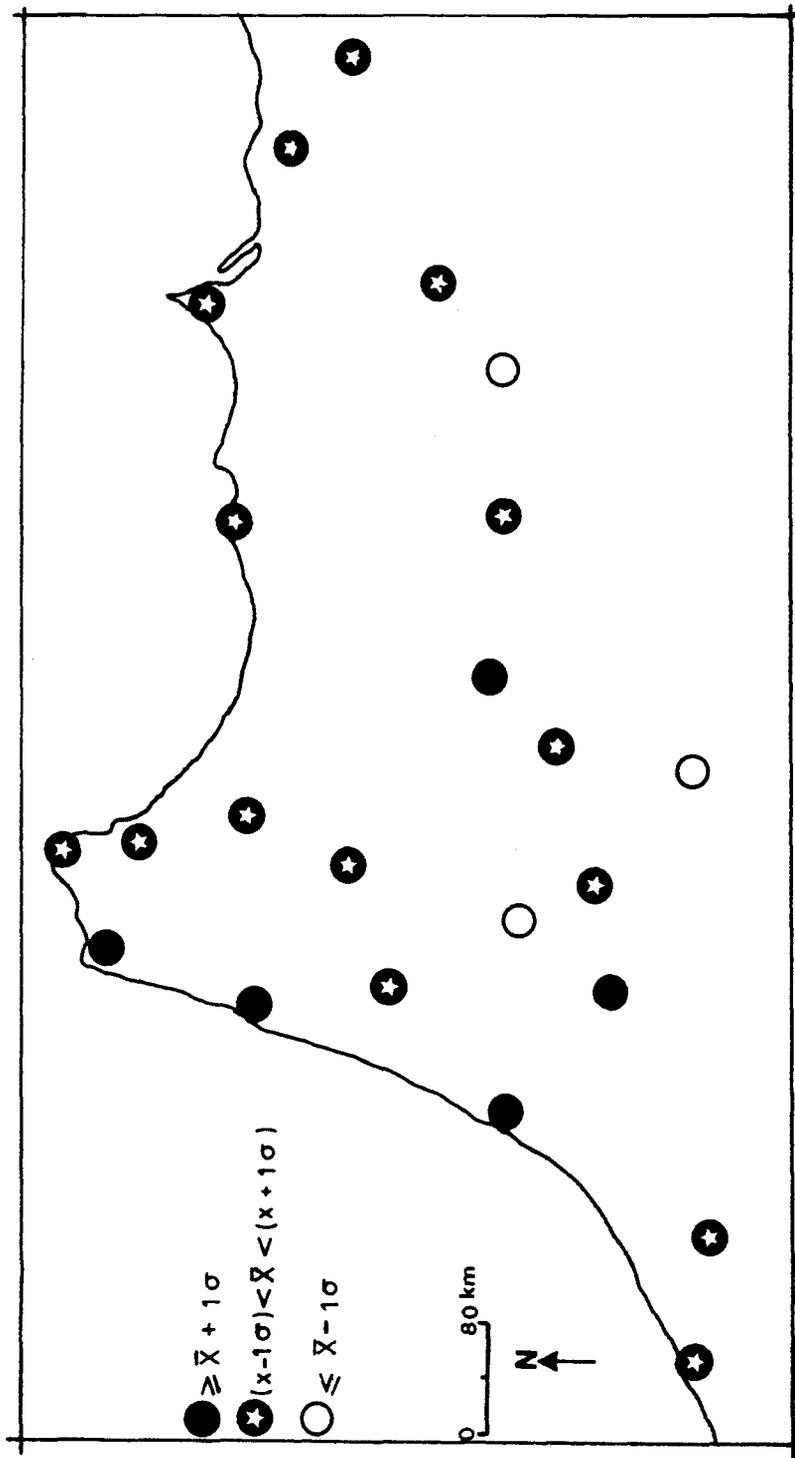


Fig. 47c La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1972



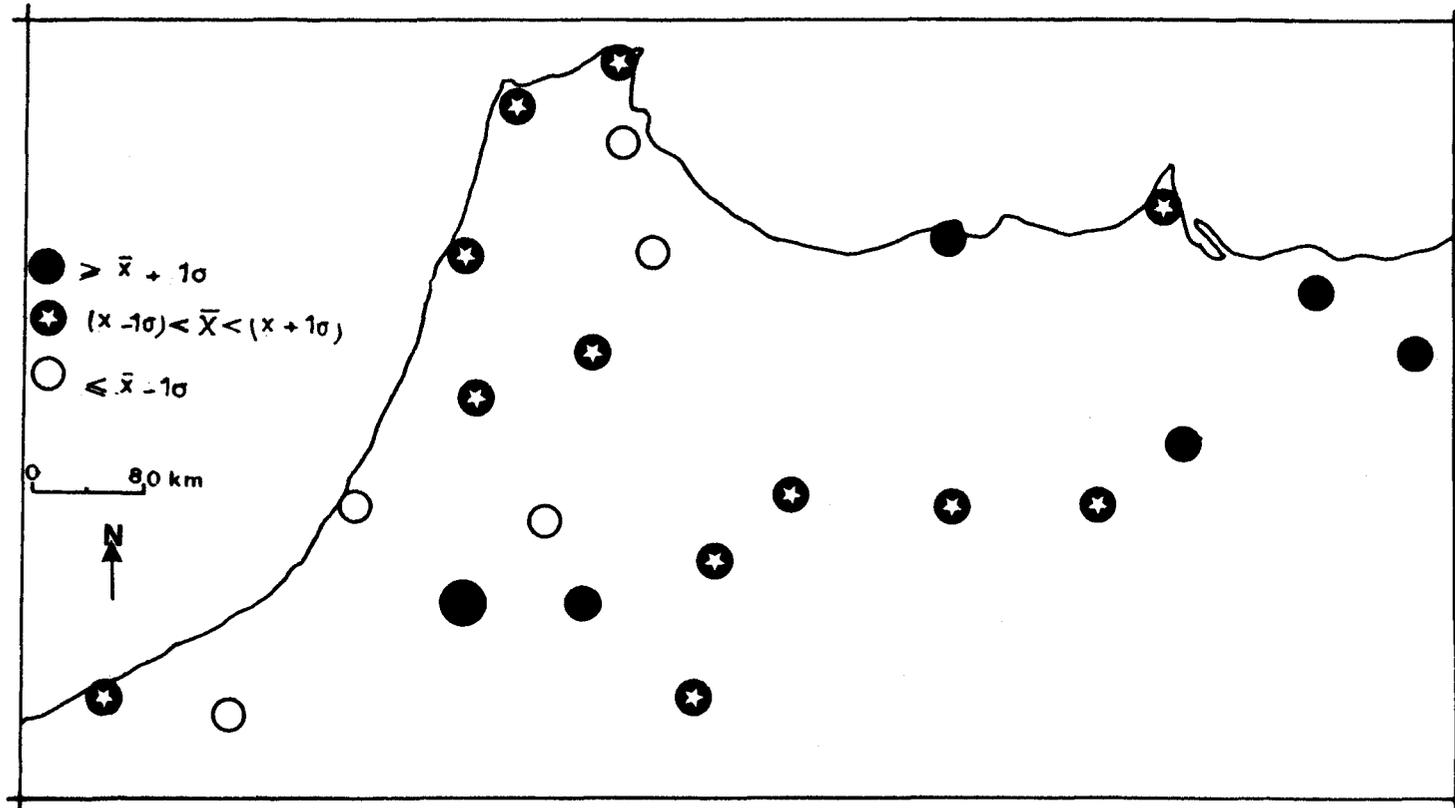


Fig. 48

La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1975

central qui a bénéficié d'un excès de 204.6 mm . Par contre Sidi Kacem - tout près de Jbel Outita 668 m ; montagne du Prérif- , le Moyen Atlas et le couloir de Guercif ont connu une légère sécheresse avec un déficit de 159.7 mm à Ifrane, 90.9 mm à Guercif et 86.8 mm à Sidi Kacem. D'autre part en 1975 les précipitations ont été très excédentaires à Khemisset (275 mm ) relativement abondantes sur le Rif oriental, la basse Moulouya et la plaine des Anngad , auxquelles s'ajoute le Saïs Meknes . Puis elles étaient proches de la moyenne dans le Moyen Atlas , le Saïs Fes, le couloir de Taza et tout le long de la côte nord-ouest : de Ceuta jusqu'à la plaine du Loukkos et le haut Rharb . Inversement , le Rif occidental ( surtout Chaouen et Tetouan), le Rharb méridional et les régions de S.Kacem ont connu des précipitations légèrement faibles à Ben Slimane et plus faibles dans les autres régions comme le montre le tableau suivant :

	Total annuel(x)	Moyenne ( $\bar{X}$ )	x - $\bar{X}$
Ben Slimane	1013.5	1046.8	- 33.3
Kenitra	477.7	590.1	-112.4
S.Kacem	336.2	509.4	-173.2
Chaouen	749.0	1051.9	-302.9
Tetouan	470.5	694.9	-224.4

Tableau 9 : l'écart à la moyenne des précipitations de 1975



On peut dire d'une façon plus ramassée qu'en 1972, l'ensemble occidental tend vers l'humidité et inversement en 1975 à l'exception de Sais Meknes . Par contre , l'oriental est faiblement pluvieux en 1972 et sensiblement humide en 1975 . Cette faible opposition s'explique par les discontinuités des coulées froides et chaudes qui créent l'instabilité et par conséquent provoquent les précipitations .

L'exploitation des cartes synoptiques nous a permis de montrer pourquoi l'occidental et surtout la côte Atlantique était plus arrosée en 1972 et vice-versa en 1975. Tout d'abord en décembre 1975, nous constatons ( dans 21 situations ) un rétrécissement très remarquable de la vallée planétaire et son absence totale dans les latitudes moyennes . Ceci se traduit au sol par un rejet très net du courant perturbé vers le nord accompagné par un renforcement de l'anticyclone des Açores qui se renforce sur le Maroc occidental et la péninsule Ibérique méridionale . Dans ces conditions notre région est éloignée des perturbations et des pluies qui lui sont associées. Par contre en février 1975, les descentes des vallées planétaires qui se manifestent sur l'océan Atlantique n'atteignent pratiquement pas le Maroc occidental , mais elles prennent une orientation nord-est en direction de la Méditerranée centrale où elles dégènèrent .

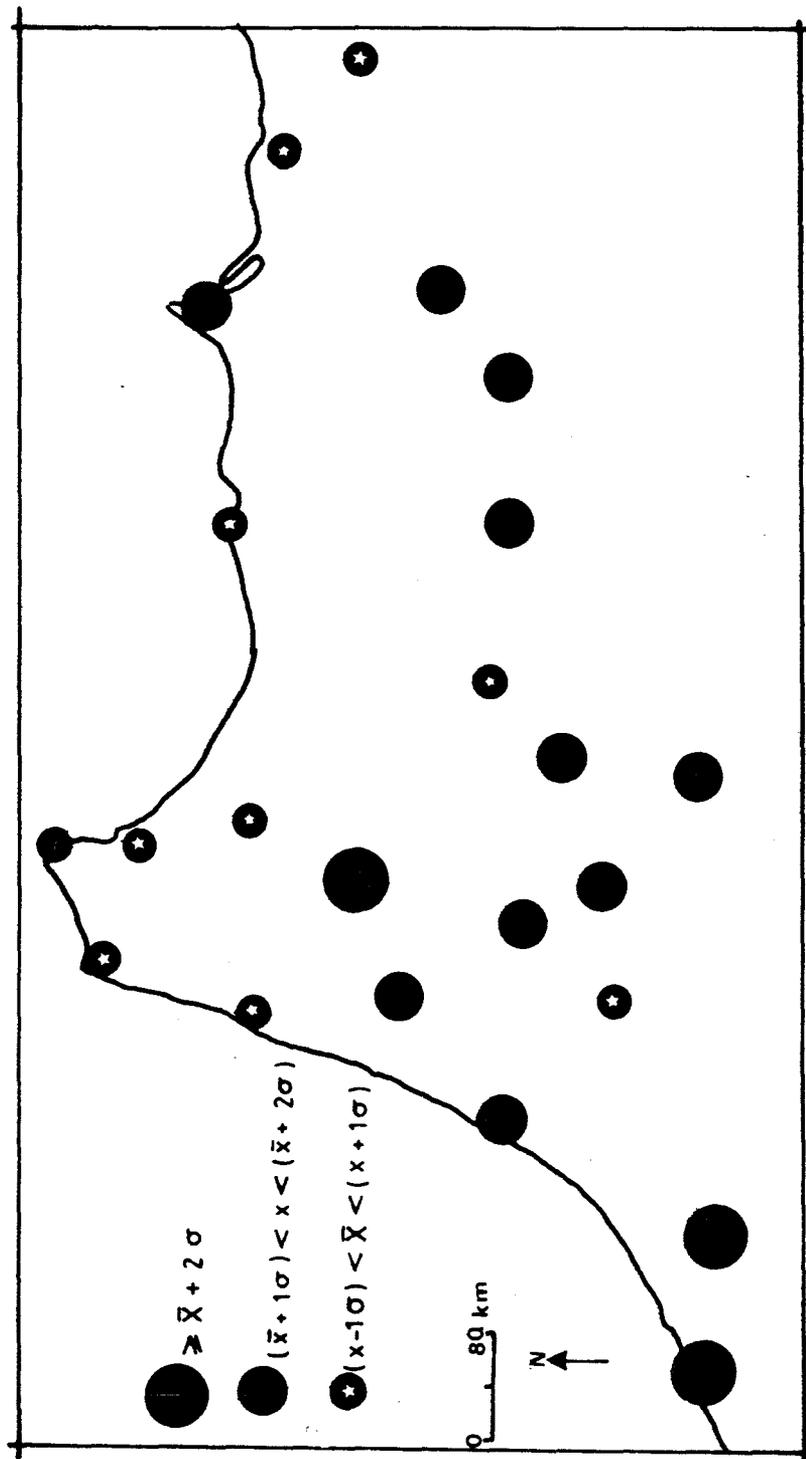
Ces situations ont associé simultanément de fortes pluies dans la Tunisie et l'Algérie ainsi que dans le nord-est marocain (cf. Kassab F. : 1978). Les situations synoptiques précédentes , nous révèlent que l'augmentation de l'intensité des

précipitations du nord-est marocain sont dues aux perturbations du nord-est et liées dans la plupart des cas aux orages violents de forte intensité et de courte durée. Elles sont plus violentes sur la côte est méditerranéenne que dans l'intérieur. Certes, les fréquences et les durées sont égales, mais les intensités sont plus fortes dans le couloir de Taourirt et la plaine des Anngad que dans la plaine de Triffa et celle du Garb. Par contre la situation du Maroc septentrional en 1972 correspond à une forte domination de la circulation d'ouest et du nord-ouest de courtes ondes ; c'est à dire que les courants perturbés n'étaient pas très actifs aux latitudes du Maroc ce qui explique la tendance humide de la côte Atlantique.

En 1971, toutes les stations de la variante nord, plus précisément, celles qui se situent au nord du 35-ème parallèle, enregistrent de très faibles quantités de précipitations. Leurs totaux pluviométriques oscillent autour de la moyenne, tantôt avec un excès de 103.8 mm à Tetouan, 33.3 mm à Oujda, 22.2 mm à Tanger, 9.5 mm à Al-Hoceima et 5.0 mm à Chaouen ; tantôt légèrement inférieurs à la moyenne : - 27.9 mm à Larache ; - 79.9 mm à Ceuta et - 99.2 mm à Berkane, alors que toutes les stations situées au dessous du 35-ème parallèle, marquent un très fort excès pluviométrique variant de 101.5 mm à Khemisset et de 386.6 mm à Ouezan. Même constatation pour l'année 1982, avec un fort excès pluviométrique à S.Kacem (258 mm) et un lourd déficit pluviométrique à Khemisset (265 mm) et à B.Slimane (105 mm). La

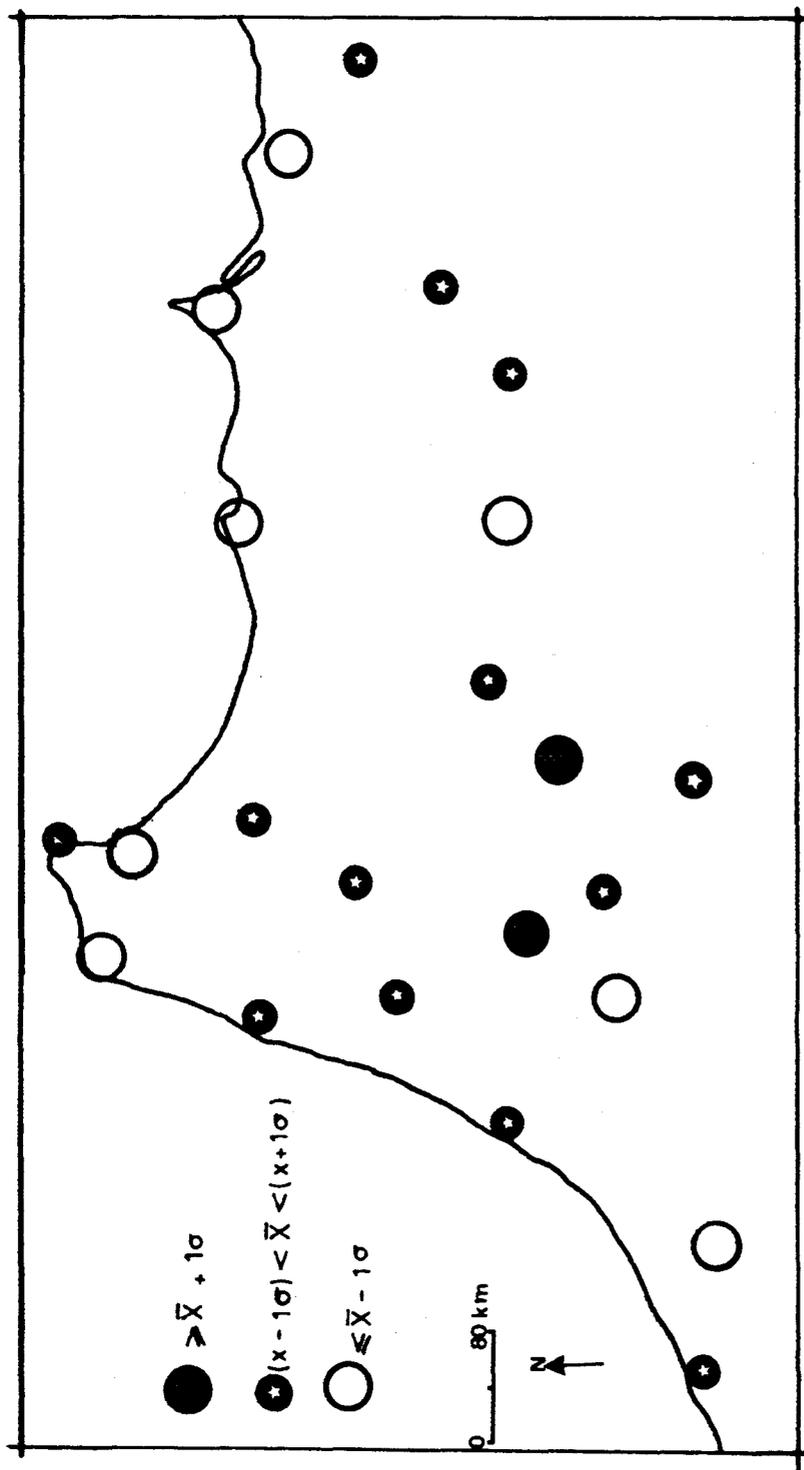
façade méditerranéenne est plus sèche ,tandis que le reste des stations du Maroc septentrional enregistre des totaux pluviométriques proches de la moyenne (fig. 48 a,48b)

L'année 1971 manifeste une tendance plus humide ,alors que l'année 1982 a une tendance de plus en plus sèche . Malgré leurs composantes pluviométriques différentes (humidité et sécheresse) ,elles révèlent la même décroissance pluviométrique: nord-sud soit, l'intensité de la sécheresse diminue du nord au sud - cas de 1982- ou bien ,les précipitations augmentent du nord au sud - cas de 1971 . Par contre les deux autres années ,de l'autre côté de l'axe (1972 et 1975) révèlent un autre sens d'orientation des précipitations nord-nord-ouest; sud-ouest -nord-est . Certes, les quatre années contribuent également à la signification de l'axe . En outre, elles nous ont permis de saisir correctement sa signification .



La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1971





La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1982

BU  
LLE

## CONCLUSION

Nous concluons que l'axe un n'apporte pas d'information<sup>particulie</sup> ✓  
il traduit un effet de taille . Les axes 2 , 3 et 4 sont riches  
d'enseignement . Ils discriminent d'une part les grands  
ensembles géographiques et d'autre part leur comportement, soit  
d'ensemble, soit opposé . En effet, la technique de l'ACP. nous a  
permis non pas uniquement d'opposer l'oriental à l'occidental mais  
aussi , d'opposer les sous-régions du même ensemble (axe 2-3):

- A grande échelle : opposition oriental - occidental
- A petite échelle : dans l'ensemble oriental , les plaines  
de Triffa et des Anngad s'opposent au couloir de  
Guercif-Taourirt. Même constatation dans l'ensemble  
occidental , les stations cotières Atlantiques  
(Kenitra et Casa) et les hauteurs du Moyen Atlas  
s'opposent aux stations continentales de moyenne  
altitude.

En outre, on constate que les types d'années n'intéressent  
pas seulement une seule région , mais dans la plupart des cas  
l'ensemble du Maroc septentrional . Il apparaît clairement que :  
les années exceptionnelles de l'occidental sont concomitantes  
dans toute la région , tant : les plus sèches ( 1966 , 1973 ,  
1981 et 1983 ) que les plus humides (1963, 1969 et 1976),  
ainsi celles de l'oriental sont très concordantes également, plus  
spécialement celles de 1962, 1963, 1965, 1970 et 1973 .

Certes, les variations spatio-temporelles des précipitations annuelles ne sont pas uniformes dans tout le Maroc septentrional . D'une année à l'autre ,les régions recevant des pluies supérieures à la moyenne et celles qui sont moins arrosées qu'en année moyenne fluctuent constamment . Les différentes cartes,soit des écarts à la moyenne ,soit de la moyenne plus ou moins un ou deux écarts-types, montrent une grande variation régionale . Elles illustrent bien les variations temporelles des précipitations des différentes régions . Les années dégagées -par l'ACP- ont une grande signification ,quel que soit le caractère général de l'année dans l'ensemble géographique du Maroc septentrional , année particulièrement arrosée (1976), ou exceptionnellement sèche (1961), d'autres qui s'opposent (1970 et 1973) simultanément ou se différencient régionalement (1972,1975 et 1971 ). La conjugaison des situations synoptiques et orographiques \* bien montré les facteurs conditionnant ces phénomènes (sècheresse ou humidité , tendance ou opposition) .

En fin,le travail basé sur les totaux annuels ne donne qu'une idée globale de la réalité climatique du Maroc septentrional . C'est pour cette raison que nous avons jugé nécessaire de nous placer à l'échelle saisonnière .

LES PRECIPITATIONS SAISONNIERES

## INTRODUCTION

L'ensemble de douze mois allant de septembre à août constitue ce que les hydrologues appellent l'année hydrologique qui commence en octobre sous nos latitudes. Dans notre étude, la saison pluvieuse s'étend de septembre à mai car le mois de septembre annonce déjà les premières pluies automnales sous forme d'averses et d'orages très violents surtout dans les régions montagneuses et continentales, comme l'illustre l'exemple de septembre 1965 : 35.8 mm à Meknès, 97.8 mm à Ifrane, 34.0 mm à Taza ; et 5.1 mm à Melilla. Octobre est marqué par une forte pluviosité, les valeurs maximales sont plus élevées qu'en septembre, variant de 148.7 mm à Meknès et 28.0 mm à Ifrane. En novembre les précipitations deviennent beaucoup plus importantes. Casa détient en ce mois un maximum pluviométrique de 198.4 mm pour la période d'observation : 1960 - 1984. Dans les autres stations, on constate une baisse du maximum pluviométrique par rapport à celui d'octobre ( Melilla : 21.2 mm en octobre et 12.8 mm en novembre ). En décembre, janvier, février et en mars ; les précipitations augmentent légèrement dans tout l'ensemble marocain. C'est à partir d'avril que les précipitations commencent à diminuer sensiblement pour atteindre leur minimum en mai. En juin, les précipitations sont très faibles parfois quasiment nulles. Les deux mois de juillet et d'août sont secs, en effet, les pluies les plus abondantes sont enregistrées en automne et en hiver - printemps, avec un maximum dans les régions du Maroc occidental et un renversement de

tendance au mois d'octobre au profit des régions centrales . Certes, en hiver , toutes les régions du Maroc septentrional sont bien arrosées avec un maximum dans les régions de l'intérieur (le Saïs ,le Moyen Atlas et la trouée de Taza ) et dans la côte méditerranéenne du nord - ouest , surtout le Rif occidental. Inversement, le Rif oriental et la basse Moulouya recueillent des totaux pluviométriques médiocres . Or, en automne la répartition des pluies se modifie légèrement. L'occidental garde toujours les forts totaux avec une augmentation sensible de l'intensité des précipitations des côtes atlantiques et une diminution nette des stations de la façade méditerranéenne et celles des régions de l'intérieur . Il en résulte une différenciation régionale d'autant plus marquée entre les côtes et l'intérieur , le nord et le sud , ainsi que l'ouest et l'est . C'est ce que nous essayons d'analyser dans cette partie consacrée aux précipitations saisonnières ,d'automne d'une part, et d'hiver et printemps d'autre part .

**Les variations spatio-temporelles des précipitations  
automnales**

## 1 - INTRODUCTION

Le but de cette analyse est d'observer ,soit les réactions simultanées des différentes régions du Maroc septentrional ,lorsque les saisons sont partout déficitaires ou excédentaires,soit les réactions différentes ,lorsqu'un ensemble varie dans le sens inverse de l'autre ; c'est-à-dire l'étude des oppositions régionales . Comme exemple d'illustration ,nous prenons trois stations représentatives de différentes régions (Ceuta , Meknès et Melilla ), afin de les confronter à chaque mois de la saison . En septembre ,les totaux mensuels montrent que le littoral nord occidental est plus arrosé ( 50.0 mm ),alors que les pluies sont moins intenses sur la côte nord - est méditerranéenne et faibles dans l'intérieur ( 12.0 mm à Meknès ). En octobre,l'intérieur totalise le maximum des précipitations (50.0 mm à Meknès ) ,par contre le total pluviométrique est relativement moyen à Ceuta ( 34.0 mm ) et médiocre à Melilla (17.0 mm ) .En novembre et décembre , cependant,Meknès et Ceuta restent très comparables ( novembre : 79.0 mm à Ceuta , 75.0 mm à Meknès ; décembre : 86.0 mm et 88.0 mm ), tandis que Melilla enregistre de faibles valeurs ( 62.0 mm et 46.0 mm ). Ces exemples montrent déjà bien le comportement différentiel du Maroc septentrional dégagé précédemment par l'ACP des précipitations annuelles , et en même temps cette analyse en composantes principales doit permettre de dégager les variations spatio-temporelles pour l'ensemble des stations .

## 2 - EVOLUTION DE LA PREMIERE COMPOSANTE ET VARIATION SPATIALE D'ENSEMBLE

Les quatre premiers axes factoriels obtenus par l'analyse en composante principale ( ACP ) des précipitations automnales ne totalise qu'une part de la variance proche de 79% . Comme dans le cas des précipitations annuelles , il y a un facteur dominant dans l'analyse : c'est le premier axe qui correspond à un taux d'explication de la variance totale de 59.1% ; le deuxième a un taux de 12.3% ; le troisième et le quatrième ont un taux d'explication cumulé de 11.5% . En effet, le premier axe manifeste un comportement d'ensemble ; c'est à dire qu'il traduit un effet de taille , car toutes les stations de fortes et de faibles coordonnées s'organisent sur le côté négatif de l'axe . Ce comportement d'ensemble dans le même sens explique la forte corrélation existant entre la plupart des stations . Cette corrélation dépasse parfois 0.89 (voir matrice de corrélation ) . Par contre les observations "années" s'organisent d'abord ,selon le premier axe factoriel , autour d'une opposition fondée sur le volume des précipitations . On trouve à une extrémité de l'axe des années respectivement : 1963 , 1969 , 1962 et 1976 , de fortes coordonnées négatives : - 7.5 ; - 6.3 ; - 4.9 et - 4.0 . Elles correspondent aux saisons pluvieuses ( fig. 49;50) . On trouve à l'opposé de celle - ci , deux grands types d'années . Une seule année ( 1974 ) à l'autre extrémité de l'axe , de forte coordonnée positive ( + 8.6 ) , correspond à l'automne 1974, très

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

\*\*\* ACP \*\*\*

IFRANE+AUT \*\*\*

VARIABLES

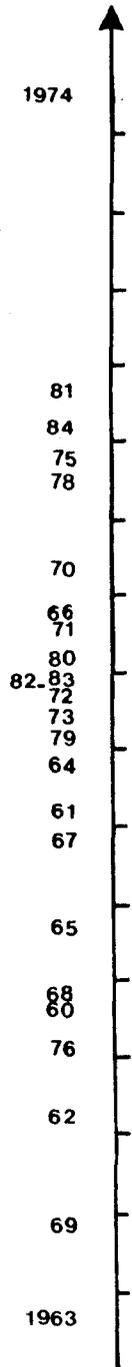
MATRICE DES CORRELATIONS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	1																							
2	.36	1																						
3	.54	.26	1																					
4	.51	.66	.38	1																				
5	.48	.46	.55	.55	1																			
6	.76	.23	.71	.39	.57	1																		
7	.34	.47	.41	.67	.64	.5	1																	
8	.48	.56	.38	.8	.63	.53	.89	1																
9	.37	.55	.52	.55	.77	.48	.7	.69	1															
10	.6	.34	.57	.47	.43	.76	.45	.56	.43	1														
11	.53	.6	.31	.86	.67	.39	.7	.81	.58	.46	1													
12	.74	.06	.74	.41	.44	.75	.33	.42	.43	.63	.39	1												
13	.53	.49	.31	.7	.61	.5	.78	.79	.59	.53	.69	.37	1											
14	.38	.44	.52	.55	.66	.46	.82	.72	.71	.39	.65	.42	.61	1										
15	.49	.53	.29	.76	.5	.49	.86	.87	.58	.47	.71	.35	.84	.67	1									
16	.54	.15	.41	.05	.15	.37	-.11	-.05	.04	.32	.11	.5	0	.2	-.06	1								
17	.42	.65	.2	.9	.46	.22	.62	.74	.53	.28	.85	.23	.66	.46	.76	-.04	1							
18	.45	.45	.37	.62	.64	.47	.61	.71	.61	.56	.65	.39	.66	.61	.53	.24	.46	1						
19	.43	.74	.35	.84	.66	.3	.65	.72	.63	.3	.82	.24	.63	.51	.69	-.08	.85	.42	1					
20	.59	.65	.34	.65	.37	.49	.58	.65	.34	.56	.62	.33	.68	.49	.6	.18	.52	.63	.49	1				
21	.5	.48	.19	.71	.5	.42	.62	.73	.41	.38	.7	.26	.59	.55	.69	.12	.64	.8	.53	.62	1			
22	.25	.31	.36	.57	.51	.45	.87	.78	.63	.51	.6	.34	.73	.63	.74	-.22	.52	.59	.53	.49	.46	1		
23	.53	.51	.54	.72	.75	.59	.79	.82	.68	.62	.81	.48	.76	.76	.66	.19	.62	.83	.6	.71	.7	.7	1	



Axe1: coordonnées des observations

Fig. 49



120

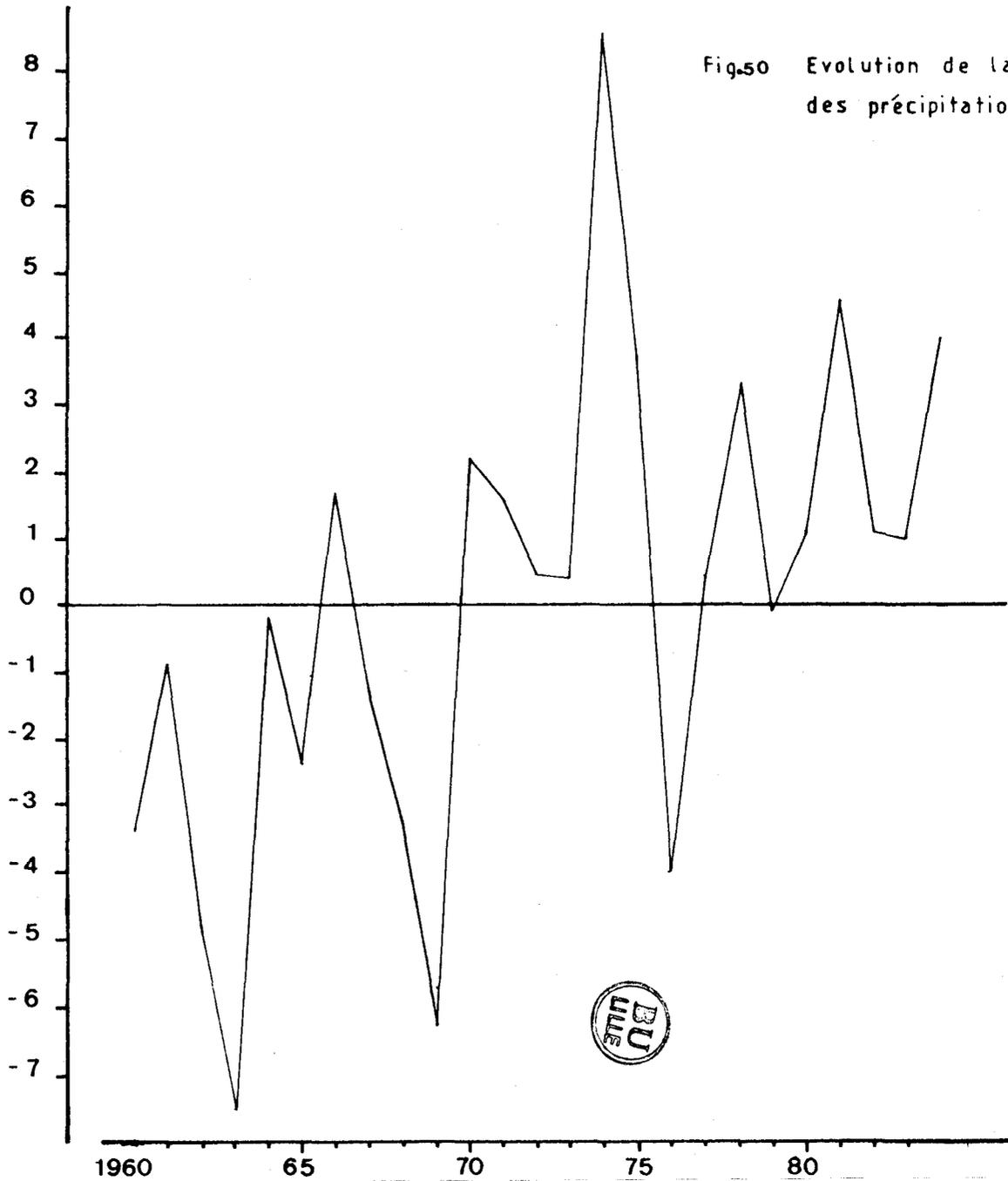


Fig.50 Evolution de la première composante des précipitations d'automne

sec (fig. 51) . Les autres années 1978 , 1975 ; 1984 et 1981 , essentiellement moins sèches que la précédente , ont des saturations positives moins fortes : 3.4 ; 3.7 ; 4.1 et 4.7 . Enfin les autres années , plus ou moins proches de l'origine , présentent de faibles saturations et traduisent une faible opposition . Nous pouvons les qualifier d' années à comportement saisonnier moyen . Ceci est confirmé par la figure 50 de l'évolution de la première composante des précipitations automnales qui oppose les années globalement sèches . On constate également deux séries d'années dont les automnes sont bien différents : la première série dure de 1960 à 1969 , avec un seul automne sec ( 1966 ) . Elle correspond aux automnes globalement humides avec deux saisons hyperhumides ; les automnes de 1963 et de 1969. L'autre série de 1970 à 1984, correspond à une succession d'automnes secs , seule la saison de 1976 est plus arrosée . Par contre l'automne de 1974 a été le plus sec de la période ( fig. 51 ) .

## 2 - 1 Comparaison avec l'étude des précipitations annuelles

On constate que l'axe 1 "automne" confirme certains résultats déjà dégagés par l'axe 1 de l'étude précédente - des précipitations annuelles - et le contrarie dans d'autres ; parmi ces résultats :

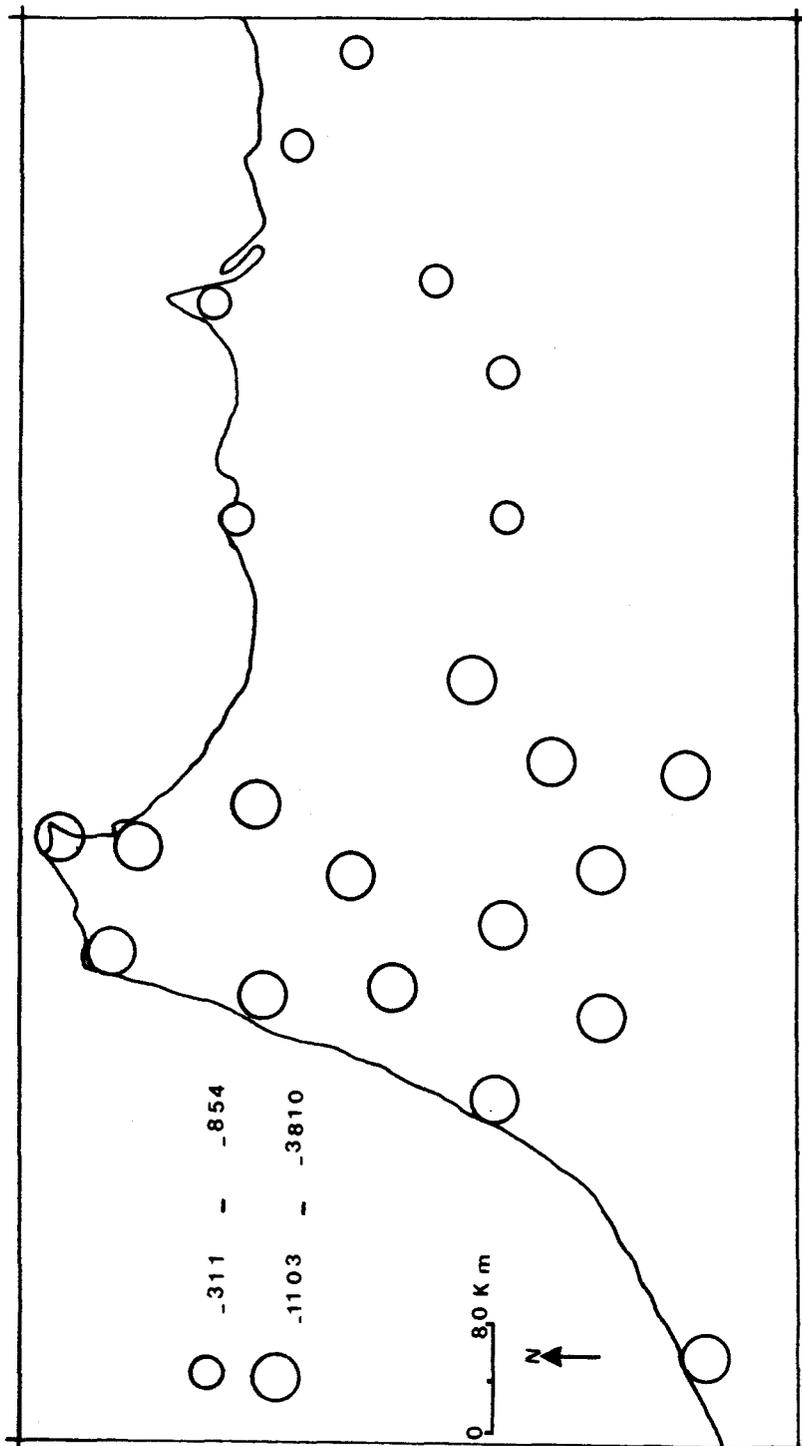


Fig. 51 Le déficit pluviométrique automnal en 1974



## 2 - 1 - 1 Les similitudes

- Les années humides de : 1963 , 1969 ; 1975 , 1968 et 1965 dans l'ensemble, ont gardé - presque - la même organisation sur l'axe , exception faite pour l'année 1963 qui s'est décalée et se situe légèrement avant 1977 .

- Par contre les années sèches ont manifesté une désorganisation complète à l'exception de 1981 et 1984 . L'année 1974 était relativement sèche à l'échelle annuelle avec un score de 4.3 ; à l'échelle automnale; elle a doublé son score de 8.6 et vice-versa pour l'année 1965 . En outre, l'année 1983 de coordonnée 4.5 est sensiblement décalée près de l'origine de l'axe un , ainsi que l'année 1982 , ce qui montre - en réalité - que ces années ont été relativement arrosées .

## 2 - 1 - 2 Les oppositions

- Les années humides : L'année 1962 de coordonnée - 4.9 correspond à un automne bien arrosé contrairement à sa position - annuelle - près de l'origine de l'axe (saturation -1.9) .

- Les années sèches de 1975 et 1978 : l'année 1975<sup>qui</sup> était au centre de l'axe de coordonnée + 0.03 , s'est écartée sensiblement au nord de l'axe ( saturation + 3.73 ) . Cela s'explique par la faiblesse des précipitations de l'automne 1975. Sa première position moyenne près de l'inertie de l'axe a vraiment masqué la réalité climatique de l'année considérée; même constatation pour l'année 1978 .

- Les années moyennes , 1972 , 1973 , 1967 , 1961 et 1971: l'année 1961 de coordonnée positive 2.7 était relativement sèche, elle tend vers l'origine de l'axe ( coordonnée - 0.94 ) . Cela montre

que si l'année considérée était exceptionnellement sèche au Maroc septentrional ; en réalité, elle a été moyennement pluvieuse en automne . Inversement pour l'année 1971 . Les autres années 1972, 1973 et 1967 oscillent autour de l'origine , tantôt sur le côté positif tantôt sur le côté négatif .

Nous pouvons dire que la comparaison de la structure dégagée par l'axe 1 "annuel" de la précédente étude , nous fait conclure que les résultats obtenus dans la première analyse se retrouvent en grande partie dans cette dernière analyse , quoique moins explicitement pour les années moyennes à cause d'une grande concentration du nuage autour du centre de gravité . Néanmoins, il faut noter que dans cette analyse certaines années ont tendance à des structurations différentes dans l'ACP des précipitations annuelles et celles des précipitations d'automne .

### 3 - LES DIFFERENTS ENSEMBLES SPATIAUX REVELES PAR L'AXE 2 : L'OPPOSITION REGIONALE

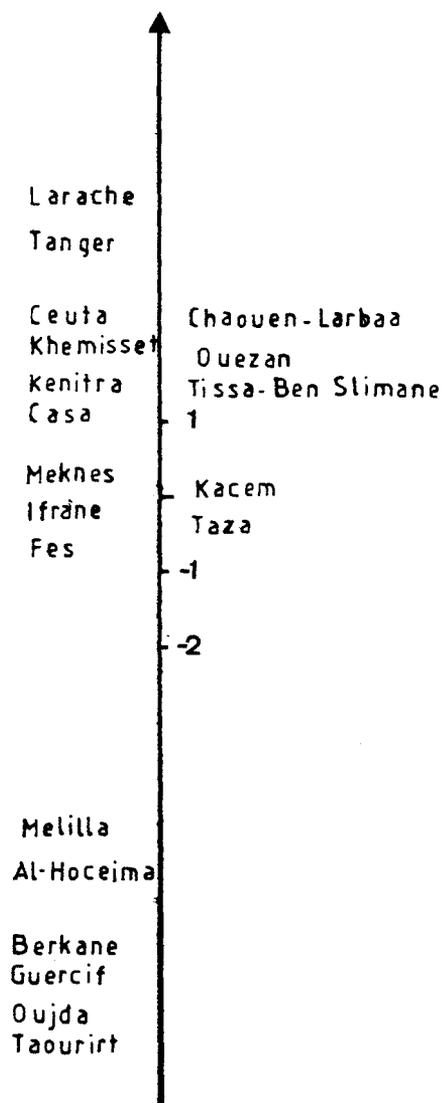
Le second axe factoriel manifeste une première opposition marquée en terme de situation géographique, avec d'un côté (partie positive de l'axe) les stations de l'occidental, et de l'autre côté (négatif) les stations de l'oriental . Cette opposition ne concerne évidemment que les régions de la péninsule Tingitane , le Rharb , les plaines Atlantiques et le Prérif , d'un côté ; la base Moulouya, la région d'Al-Hoceima et la plaine des Anngad de l'autre côté ; tandis que le Moyen-Atlas, le Saïs et le couloir de Taza sont regroupés au centre de l'axe , et

témoignent de leur situation moyenne et de leur faible opposition ( fig.52 ) . La comparaison de l'axe 2 "automne" et axe 2 "annuel" de l'étude précédente , nous révèle à quelques nuances près les mêmes structures . Toujours l'opposition occidentale - orientale avec une parfaite cohérence spatiale entre les stations de la même région . Nous constatons également :

- Une faible disparité régionale entre les stations de l'ensemble oriental , contrairement à l'analyse postérieure .
- Une bonne homogénéité de la structure des stations occidentales ; ce qui est nouveau dans cette analyse , l'écartement sensible des régions littorales au sud de Loukkos et celles de l'intérieur. Elles montrent un comportement très proche de celui des régions de la péninsule Tingitane et du Prérif pour former un groupe bien homogène . Par contre les régions de l'intérieur se regroupent fortement près de l'origine de l'axe 2 , et se distinguent ainsi nettement .

Le plan factoriel des axes 2 et 3 (fig.53) cummule une part de la variance proche de 19% ,et regroupe les stations de façon très homogène en trois grandes zones géographiques, bien distinctes : oriental , occidental septentrional et occidental méridional . Une fois retenu ce découpage sélectif , il va nous fournir le fil de notre exploration du plan 2 - 3 , car nous examinerons successivement chacun des pôles projetés sur le plan.

Fig. 52 Axe 2 : Corrélation facteur/variable



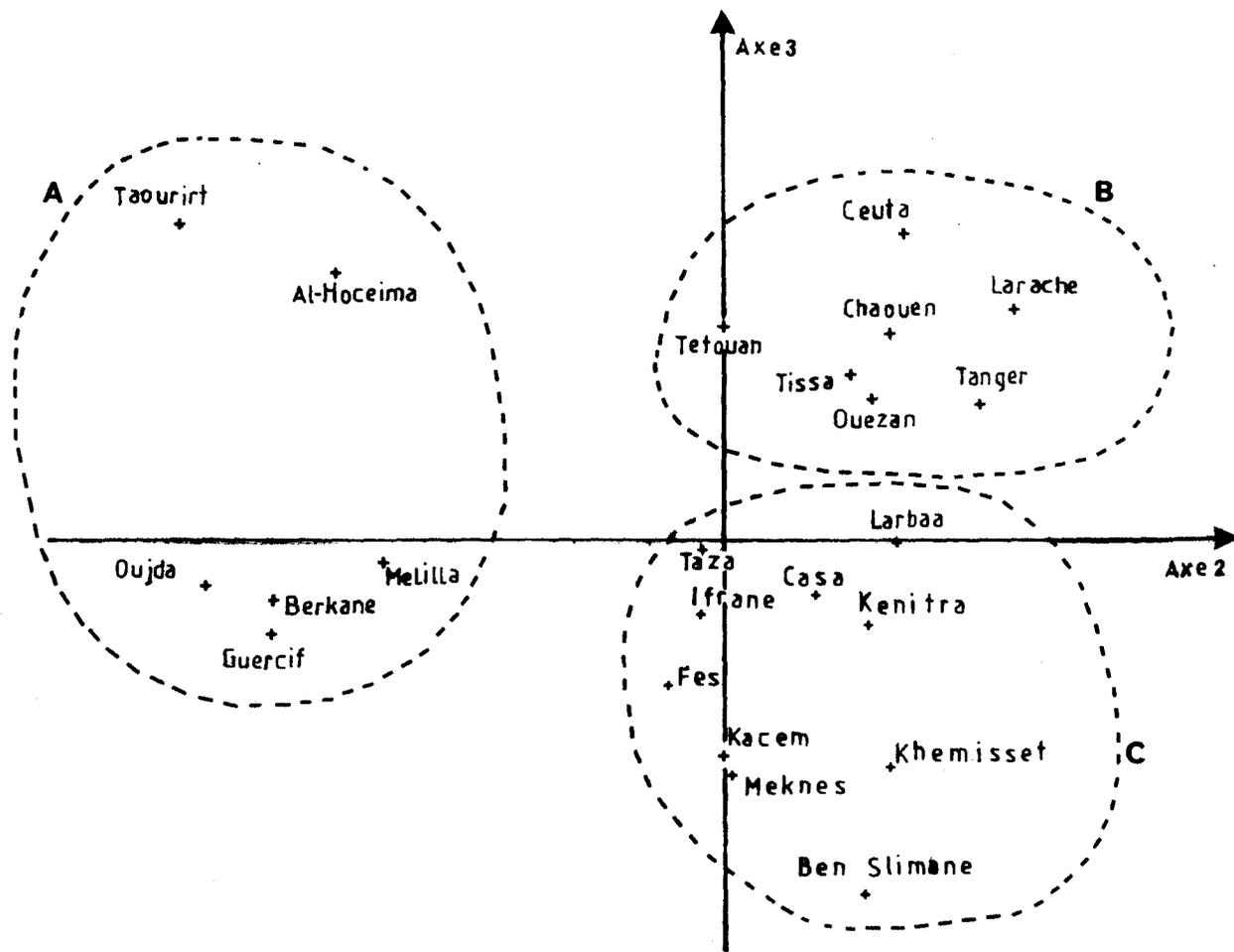


Fig.53 Plan factoriel des axes 2 et 3



A- Oriental    B- Rif et Prérif    C- Plaine Atlantique et région d'intérieure.

Ce schéma général manifeste donc deux oppositions : la première est majeure entre l'ouest et le nord-est , l'autre est relativement faible entre les stations de l'ensemble occidental .

3 - 1 L'ensemble oriental (groupe A) :  
les différenciations régionales

Cet ensemble situé à gauche du plan ( côte négatif ) , loin du centre de gravité signifie que ses stations se différencient de l'ensemble des autres stations du Maroc septentrional . Il englobe les postes de : Guercif , Oujda, Berkane, Melilla ,Al-Hoceima et Taourirt . Ces deux derniers s'écartent davantage de leur groupe en montrant leur différenciation régionale qui se manifeste clairement dans cette saison d'automne . Cela s'explique non par leur situation géographique relativement semblable ,mais par une situation topographique , dans des cuvettes encadrées par des chaînes montagneuses ; l'une sur l'oued (rivière) Za ( Taourirt ) , l'autre sur l'oued Rhiss ( Al-Hoceima ) . L'effet des perturbations locales est accentué par le relief environnant , cette situation comparable est confirmée par la grande ressemblance des moyennes automnales ( 107.2 mm à Taourirt et 101.4 mm à Al-Hoceima ) pour une période de 25 ans ( 1960 -1984 ) .

Par contre les stations : d'Oujda, de Guercif , de Berkane et celle de Melilla, restent tout près de l'axe 2 . En effet , ces quatre stations montrent une grande homogénéité soulignée par l'axe 2 de même que par la figure 53 , bien que leur moyenne saisonnière se différencie sensiblement du nord - est au sud -

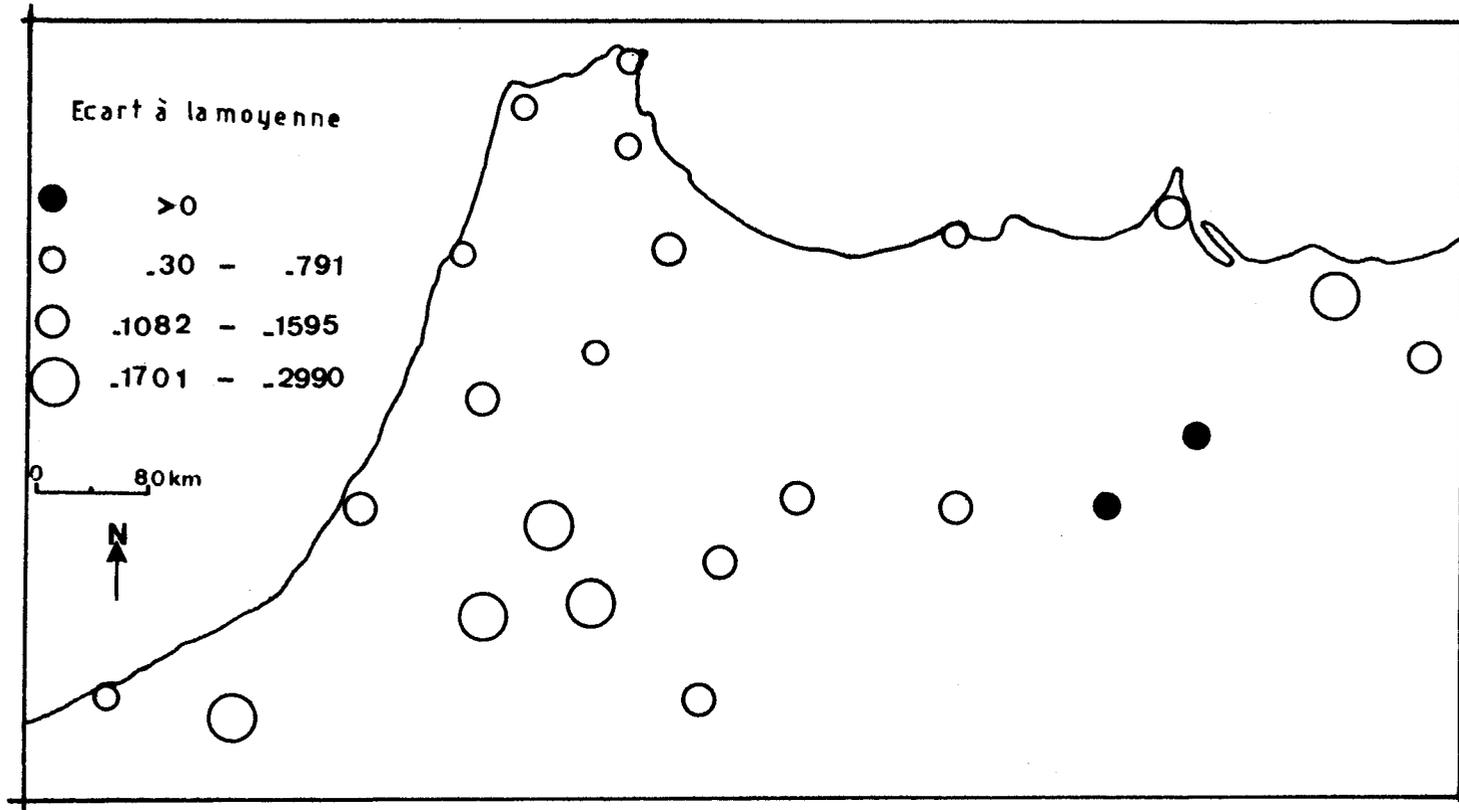


Fig.44 L'écart à la moyenne des précipitations annuelles de 1961

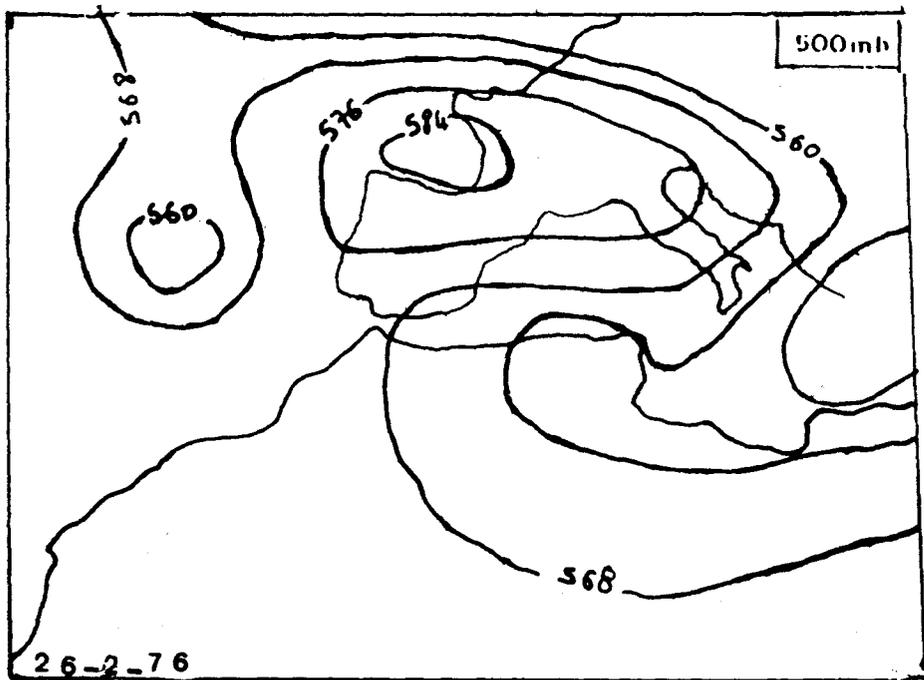
(Moyenne de la période 1960-1984)



d'Al-Hoceima et de Melilla ) et dans la plaine de Triffa .Alors que les plaines Atlantiques du sud - ouest ( Kenitra, Casa, Ben Slimane et Khemisset ) ,le Moyen Atlas ,le couloir de Guercif et la plaine des Anngad ont connu des précipitations relativement moyennes . Certes, cette année explique le synchronisme de l'humidité d'une extrémité à l'autre de ce vaste ensemble marocain (fig. 43 ) .Quelques exemples illustrent cette analyse: Pendant 25 ans ( 1960 - 1984 ) ni Ceuta ni Melilla ni Meknès n'ont connu d'année dont les précipitations <sup>étaient</sup> comparables à l'année 1976 ( fig. 36 ), alors que pendant la même période ; Fès, Taza et Tanger ont enregistré une autre année exceptionnelle 1969 ,dont les précipitations sont supérieures à celles de 1976 (724 mm contre 858 mm à Fès en 1969 ,soit, un excès de 200 mm ) ; c'était vraiment une année exceptionnelle . Les précipitations ont été intenses non pas seulement pendant les saisons pluvieuses ( automne - hiver ), mais aussi, pendant la saison sèche . Par exemple en mai et juin nous avons enregistré des totaux pluviométriques respectivement : 88 mm et 38 mm à Al-Hoceima ; 230 mm et 322 mm à Oujda ; 96 mm et 14 mm à Tetouan enfin 134 mm et 12 mm à Meknès.

#### 4 - 1 - 2 Interprétation dynamique

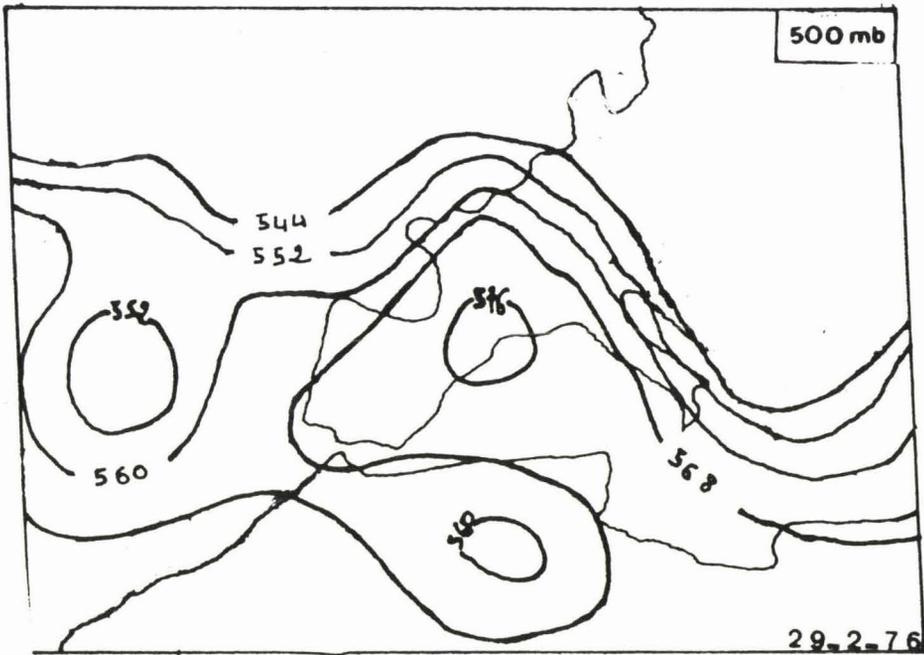
L'exemple du mois de février 1976 montre très bien les conditions de l'humidité du Maroc septentrional en particulier et du Maghreb en général . La carte isobarique moyenne à 500 mb du 26 février illustre bien cette situation sur le Maroc ( fig.43a); nous constatons au cours de février , mars ,avril et mai une



situation de blocage sur l'Europe centrale et occidentale au moment où une vallée froide stagne généralement sur l'Europe orientale et le Maghreb . L'exemple du 26 et 29 février résume ces constatations : Le 26 la circulation atmosphérique est stable sur l'Europe du Nord - Ouest , au moment où les courants perturbés sont déportés au nord - est et au sud . Un talweg se creuse très profondément sur l' Europe orientale jusqu'au Maghreb (fig.43a) , et une autre vallée planétaire apparaît au large de l'océan Atlantique d'orientation nord - sud<sup>et</sup> arrive aux latitudes subtropicales en février . La carte du 29 à 500 mb, nous révèle une rupture brutale des courants d'ouest . Au nord , une branche contourne la cellule anticyclonique stagnante au sud - ouest des Iles Britanniques en creusant un talweg très profond jusqu'à la Libye ( fig.43b) ; en même temps la vallée froide sur l'Europe orientale se rétrécit légèrement . Dans ces conditions une crête anticyclonique de grande amplitude stagne sur l'Europe centrale et occidentale . Ces situations expliquent l'énorme volume d'eau précipité au Maroc septentrional durant cette année : 1018 mm à Meknes, 1144 mm à Ifrane, 1176 mm à Tanger et 692 mm à Melilla ...

#### 4 - 1 - 3 L'exemple de 1961

Par contre l'année 1961 a été sèche . Les pluies tombées ont été en moyenne faibles dans le Rharb et ses bordures , dans le Saïs et la trouée de Taza , dans les régions de Melilla (plaine de Guerb ) et la basse Moulouya, ainsi que dans la plaine des Anngad ( Oujda ) . Aussi, elle a été exceptionnellement très



sèche dans la région de Ben Slimane et moins intense dans la péninsule Tingitane . Fait exceptionnel pour le couloir de Taourirt qui a connu un excès de 109 mm ; cela peut s'expliquer par l'évolution d'une perturbation locale qui était à l'origine de cet excédent .

Pour illustrer cette année nous prenons l'exemple de Melilla et de Ben Slimane . A Melilla nous avons enregistré un déficit pluviométrique de 108 mm : c'est ainsi que nous rencontrons - pour une période de 25 ans - seulement une seule année ( 1966 ) plus déficitaire que l'année 1961 ( -236 mm ) (fig. 44 ). Alors que Ben Slimane pendant la même période (25 ans ) n'a pas connu de déficit comparable à celui de cette année ( 1961 : - 299.0 mm ). Certes, toutes les autres stations ont révélé au cours de cette année un déficit pluviométrique variant de 269.8 mm à Khemisset et - 3.6 mm à Larache , à l'exception de Guercif et de Taourirt qui ont enregistré un léger excédent respectivement : 22. mm et 108.9 mm.

Ces exemples montrent, malgré des différences régionales sensibles , les réactions simultanées du Maroc septentrional dans le même sens ou dans le sens inverse, c'est-à-dire tous les ensembles régionaux réagissent ensemble dans le même sens . Ils sont soit excédentaires soit déficitaires . Nous cherchons dans la dynamique de l'atmosphère, les raisons du déficit de cette année (1961)

#### 4 - 1 - 4 Interprétation dynamique

Nous allons essayer d'établir un lien entre le déficit pluviométrique de l'année 1961 et la dynamique atmosphérique qui l'explique , en nous basant sur les cartes synoptiques quotidiennes pour éclairer cette situation.

Les cartes des figures 45 et 46 , - venant à l'appui - montrent de façon remarquable , soit une crête anticyclonique sur le Maroc septentrional , soit une vallée planétaire qui touche rarement le Maroc . Le 3 janvier la vallée planétaire est beaucoup moins creusée , à peine sensible à la latitude de l'Espagne septentrionale ; elle n'a pas touché le Maroc . Du 12 au 15 janvier le Maroc est sous une dorsale anticyclonique qui s'étend de l'océan Atlantique à l'Europe centrale . Elle l'alimente d'un air très froid et sec . La carte à 500 mb du 12 janvier montre que l'occidental et surtout les régions au sud de Rharb sont les plus proches de l'axe de la crête , alors que la péninsule Tingitane est située à la limite de la goutte froide axée sur les Iles Baléares . Le 22 janvier , une dépression du front polaire , après avoir traversé l'Atlantique Nord dévie sa trajectoire face à l'Islande et se dirige vers le sud - est . En effet , la goutte froide - 30 à 500 mb se détache de la dépression cyclonique et atteint la côte méditerranéenne occidentale et arrose le Maroc . Mais, malheureusement , elle n'a pas duré longtemps car le 26 et le 27 janvier <sup>elle</sup> est encore une autre fois abritée sous la dorsale anticyclonique qui ne tarde pas à s'effacer . A la fin de janvier, le 31 précisément, une vallée planétaire moins creuse présente une puissante circulation

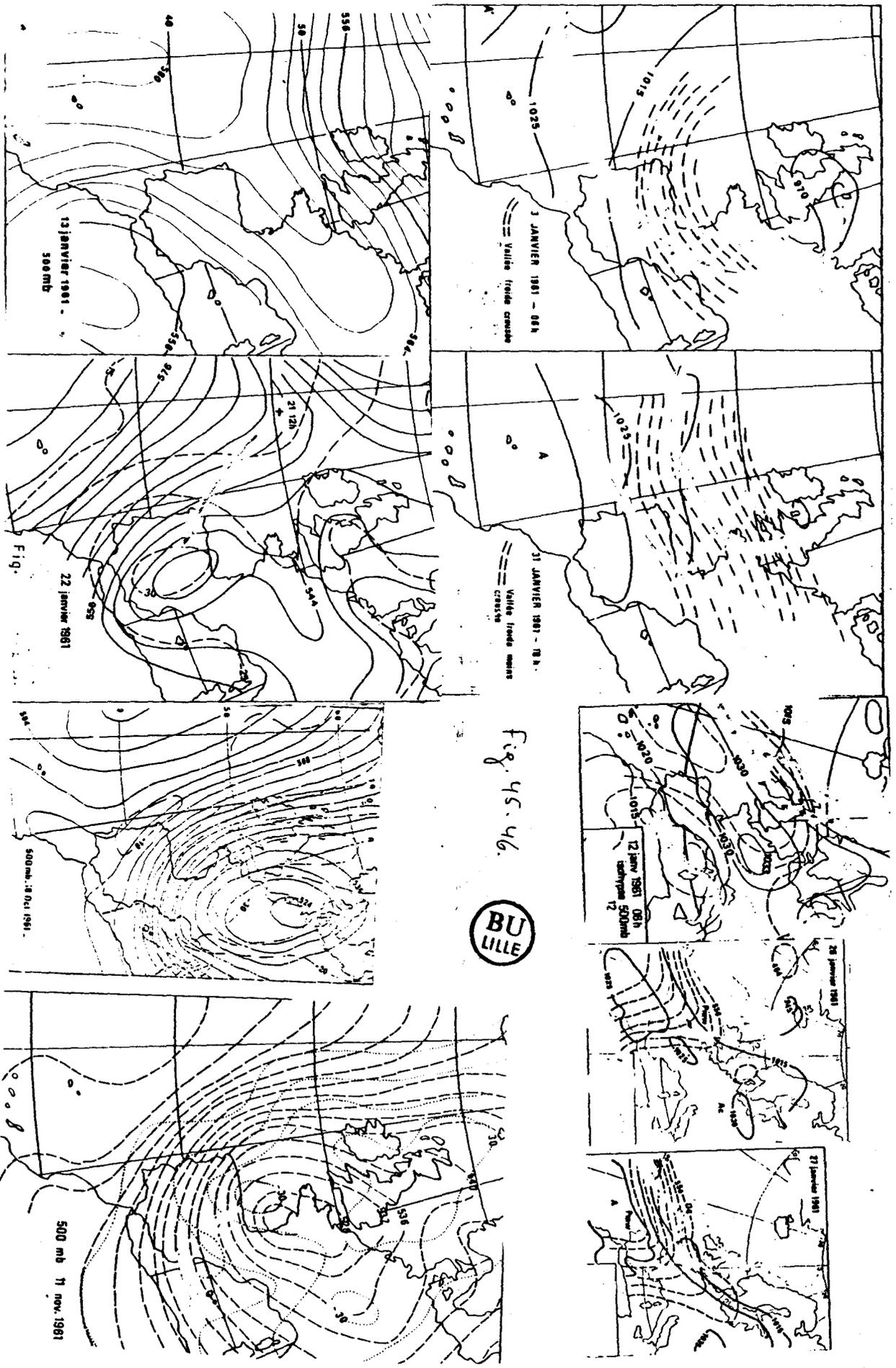


Fig. 45. 46.

zonale s'installant sur les Iles Britanniques et la Scandinavie avec un courant rapide à l'ouest . Alors que l'anticyclone des Açores est positionné dans les latitudes moyennes, stagne sur l'Atlantique et couvre presque tout le Maroc, ce qui lui a permis d'avoir un ciel clair et ensoleillé.

En général , les perturbations qui occasionnent les précipitations au Maroc ; dans la plupart des cas : soit sont rejetées au nord de l'Atlantique , soit viennent rarement frôler l'Afrique du Nord.

En février , les perturbations étaient quasiment nulles sur le Maroc . En mars la fréquence augmente relativement bien que le mois précédent , cela lui a permis de bénéficier d'une quantité globalement élevée ( 38 mm ), mais toujours inférieure à la moyenne saisonnière . En avril , les perturbations qui affectent le Maroc ne persistent pas longtemps . Elles le traversent très rapidement ; ou bien elles sont d'une courte durée . En mai, une série de colonnes dépressionnaires issues de Groënlandse dirigent rapidement vers l'Europe occidentale . Elles donnent naissance à une dépression fortement creusée qui se déplace vers la Méditerranée occidentale et dirige un système perturbé du nord - ouest loin du Maroc . En juin et juillet le Maroc est rarement touché par les flux perturbés . Le 18 et le 19 octobre , une vaste cellule anticyclonique s'étend sur tout l'Atlantique Nord ; une série de coulées polaires se détache de l'Arctique et se dirige vers la Méditerranée , mais la perturbation est uniquement active au nord de la péninsule Ibérique . Le 23 et le 25 octobre , une colonne cyclonique



polaire au sud de l'Islande provoque une poussée d'air froid en direction des Canaries et alimente un jet de sud - ouest . Cette situation est responsable d'une pluie moins intense sur les hauteurs exposées au vent du nord - ouest ( Ifrane 25.2 mm à 1660 m d'altitude ). Du 8 au 13 novembre , une perturbation du nord - ouest liée à une goutte froide isolée sur l'Europe occidentale n'atteint pas le Maroc .

Les situations synoptiques de différents mois de l'année 1961 et plus particulièrement celles de janvier et d'octobre montrent clairement les caractères exceptionnels de la circulation atmosphérique pendant l'année 1961. Tout d'abord nous constatons , soit un rejet du courant perturbé vers le nord de l'Atlantique , en même temps l'anticyclone des Açores monte vers le nord et stagne longtemps aux latitudes du Maroc en hiver ; ceci est un fait exceptionnel.

Il en a résulté d'une façon globale que le Maroc septentrional a connu au cours de cette année une très faible fréquence des perturbations , ce qui explique bien la gravité de la sécheresse durant cette année.

#### 4 - 2 La répartition spatiale des précipitations révélée par l'axe 4

Il n'est pas aussi significatif que les axes précédents (1 , 2 et 3 ) car toutes les variables (stations) sont regroupées autour du centre dans un intervalle variant de - 3 à + 2 , à

l'exception de deux stations secondaires et très proches (Sidi Kacem et Khemisset) qui apparaissent clairement sur les extrémités opposées de l'axe (fig. 47 ) . Le fort poids de ces deux stations secondaires sur l'axe met en cause leurs séries d'observations et confirme nos résultats de la première partie, consacrée à la critique des données .

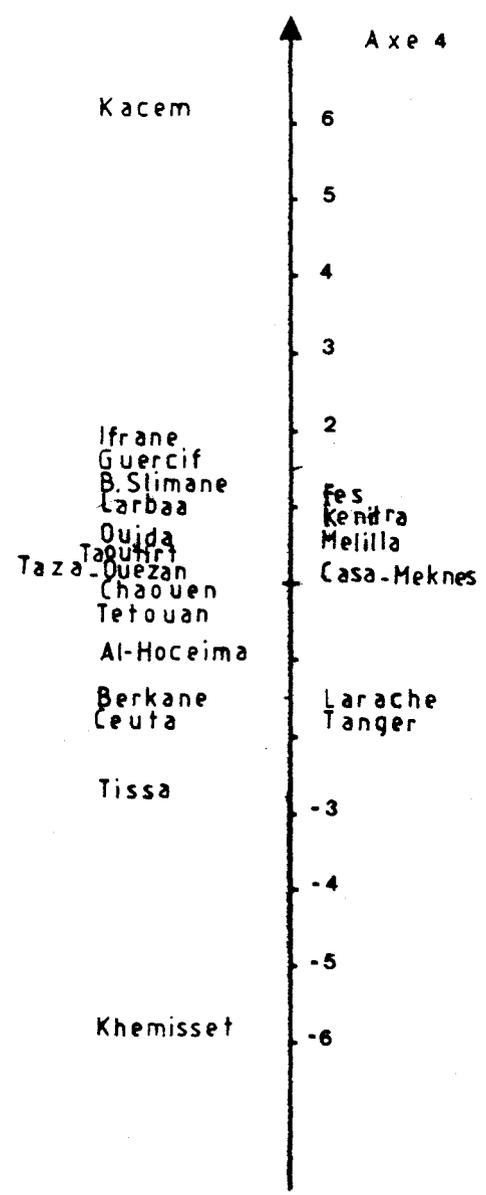
L'axe deux observations lui aussi regroupe la quasi totalité des années près de l'origine à cause de leur trop faible poids . De ce fait les oppositions ne sont pas claires , mais nous pouvons distinguer quelques années (fig. 47a , 47b) :

- Les années 1972 et 1975 de coordonnées positives 2.7 pour la première et 2.49 pour la deuxième , jouent un rôle essentiel dans la formation de l'axe.
- A l'opposé, deux autres années ( 1971 et 1982 ) de coordonnées négatives ( - 1.7 ; - 1.68 ) contribuent faiblement dans la signification de l'axe .

Pour saisir mieux la signification de ce facteur nous jugeons utile d'analyser les quatre années des extrémités opposées de l'axe .

D'après les figures 47c ; 48 nous pouvons qualifier les deux années de 1972 et de 1975 d'années moyennes, mais elles traduisent une légère opposition entre l'oriental et l'occidental. En 1972 , le littoral atlantique au nord de Casablanca était plus humide que la côte méditerranéenne et l'ensemble continental, exception faite pour Khemisset qui se rattache plus aux stations du littoral et Tissa station du Prérif

Fig. 47 Corrélation facteur/variable



ouest : 130.5 mm à Melilla , 156.6 mm à Berkane , 107.5 mm à Oujda et 54.4 mm à Guercif . Cela est vrai car les perturbations qui apportent le plus des précipitations à la région sont celles du nord - est .

D'une façon plus générale l'oriental reste un ensemble bien homogène dont les précipitations diminuent du nord - est au sud - ouest , mais s'oppose dans sa globalité à l'occidental qui présente des structures différentes .

### 3 - 2 L'opposition intra - régionale de l'ensemble occidental

L'ensemble occidental se regroupe près du centre , à droite du plan factoriel à quelques nuances près . La péninsule Tingitane et le Prérif s'écartent davantage du centre , vers les scores positifs de l'axe 3 et de l'axe 2 , tandis que le reste de l'ensemble occidental se rassemble autour de l'origine et dans les valeurs négatives de l'axe 3 , d'où l'opposition entre l'ensemble septentrional et l'ensemble méridional .

#### 3 - 2 - 1 Les régions septentrionales

Elles englobent la péninsule Tingitane et les collines du Prérif . Elles se caractérisent par une faible variation de l'ensemble , mais cela n'empêche pas de distinguer quelques structures . Les stations continentales (Chaouen, Tissa, Ouezan) sont très regroupées, tandis que celles du littoral se dispersent dans le plan . Cette tendance montre la faible variation entre les régions continentales de l'ensemble rifien .

Par contre les stations littorales s'opposent deux à deux : les stations Atlantiques de Tanger et de Larache varient dans le même sens , aisi que celles de Ceuta et de Tetouan sur la mer d'Alboran (Méditerranée) . Cette constatation est confirmée par les moyennes saisonnières :

Tanger : 341,2 mm .

Larache : 311,2 mm .

Tetouan : 265,2 mm .

Ceuta : 251,2 mm .

Globalement , les stations continentales et celles du littoral ) ont des coordonnées proches les unes des autres , indiquant une faible variation et s'inscrivent dans la même zone climatique . A l'opposé , sur le plan factoriel ( 2 - 3 ) cette différenciation paraît plus marquée .

### 3 - 2 - 2 Les régions méridionales :

L'autre ensemble regroupe les régions de l'intérieur ; du Moyen Atlas jusqu'au couloir de Taza , ainsi que le Saïs et les plaines Atlantiques au sud du Loukkos . La différenciation est nette entre les stations continentales regroupées le long de l'axe trois , elles sont représentées par : Taza , Ifrane , Fès , Meknès et S. Kacem ; de faible coordonnées négatives sur l'axe 2 ; et celles des plaines Atlantiques ( Ben Slimane , Khemisset , Kenitre et Casa ) de fortes coordonnées sur l'axe 2 . Cela signifie que l'axe 2 montre bien le caractère continental des stations de l'intérieur .

Par contre la position moyenne de la station de Larbaa sur l'axe 3 et celles de Taza , Ifrane , Casa et Kenitra, près du centre du plan , traduisent une faible opposition par rapport aux stations du Rif et du Prérif , tandis que le reste de l'ensemble méridional s'oppose plus nettement aux régions septentrionales . Cette opposition s'explique par le rôle de l'ensemble rifien qui empêche toutes les pénétrations d'influences méditerranéennes au centre du pays . Certes , le Rif s'étire en arc ouvert vers la Méditerranée , de la façade océanique, de la péninsule Tingitane du nord - ouest jusqu'à la basse Moulouya . Ses hauteurs et ses collines qui dépassent rarement 2000 m ne s'éloignent pas trop de la côte . Quand les perturbations du nord et du nord - ouest atteignent la chaîne rifienne <sup>elles</sup> sont brusquement soulevées à leur niveau de saturation et s'épuisent sur place . C'est cet effet orographique qui contribue à opposer fortement les régions septentrionales aux régions continentales de l'intérieur , ce que nous révèle les saturations des diverses saisons .

### 3 - 3 - Autres oppositions régionales

L'axe 2 , exprime 12 % de la variance totale pour une période de 25 ans . Deux saisons particulièrement contribuent fortement à la définition de cet axe; l'automne 1980 au nord de l'axe , de forte coordonnée positive ( +3 ) , s'oppose à l'automne de 1968 du côté négatif de l'axe (coordonnée relativement forte - 2 ) . En effet , l'axe 2 paraît structuré par une opposition régionale ; d'un côté , les automnes humides dans certaines régions et secs dans d'autres ; puis , les

automnes secs dans un pôle géographique et humides dans l'autre (fig. 54). Ces deux caractères (humidité et sécheresse) contribuent à eux seuls à éclairer l'alternance régionale des saisons opposées (1968 et 1980). Les exemples de 1968 et de 1980 le prouvent.

### 3 - 3 - 1 Opposition : côté méditerranéen - atlantique et Est - Ouest

En automne 1968, les oppositions sont très grandes, nous avons non pas seulement la même opposition classique orientale - occidentale, mais aussi l'opposition Atlantique - Méditerranée. En effet, en cette saison (1968) nous avons de fortes précipitations sur les plaines Atlantiques (Rharb et Loukkos inclus) les hauteurs de Rif occidental, et du Prérif central à la trouée de Taza, ainsi que dans le Moyen Atlas, tandis que le Saïs et ses bordures sont moyennement arrosés. A l'opposé, l'oriental est très sec, ainsi que toute la côte méditerranéenne à l'exception de Tetouan (environ 20 Km de la côte), qui a enregistré 255 mm au-dessus de la moyenne. L'examen de l'écart à la moyenne en cette saison des différentes stations confirme cette opposition (fig. 55 et tab. 10).

Toutes les stations de la basse Moulouya, la plaine des Anngad et de l'ensemble littoral méditerranéen ont des totaux inférieurs à la moyenne : 83.3 mm contre 117.5 mm à Oujda avec un écart de - 34.2 mm ; 111.0 mm contre 156.6 mm à Berkane avec un écart de - 45.6 mm et 176.0 mm contre 251.2 mm à Ceuta avec un écart de -75.2 mm ; idem pour toutes les autres stations (tab. 10). Juste à côté de cet ensemble le couloir de Taza a

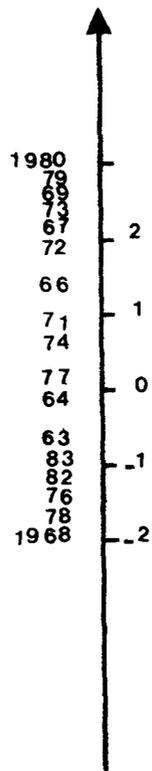


Fig.54 Les saturations de l'axe 2

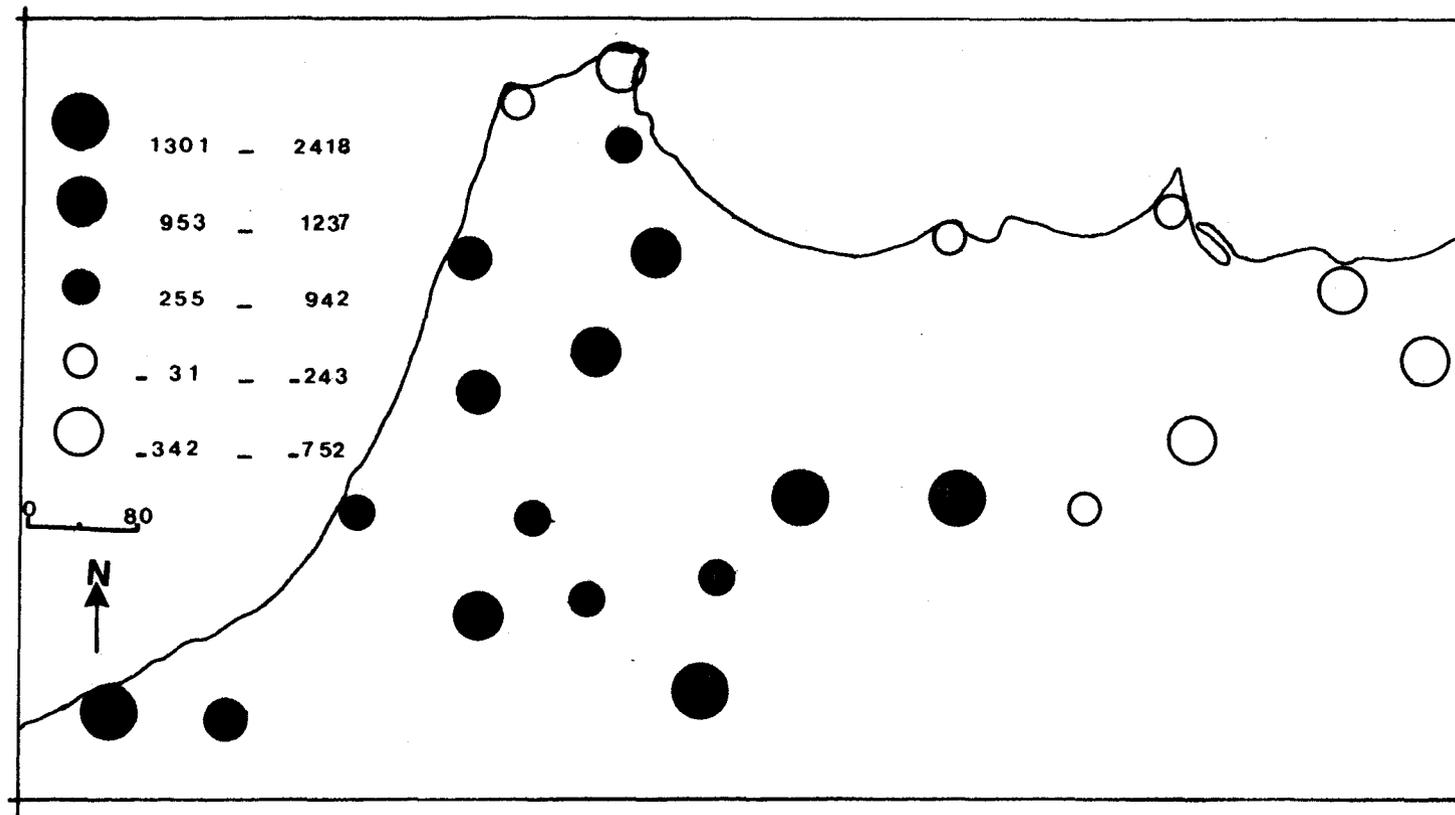


Fig.55 L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1968



Tableau 10 : l'écart à la moyenne des précipitations automnales

Stations	Automne : 1968			Automne : 1980	
	T.sais.	$\bar{X}$	$x - \bar{X}$	T.sais.	$x - \bar{X}$
B.Slimane	312.1	202.2	109.9	168.0	-34.2
Casa	323.6	193.5	130.1	150.3	-43.2
Ceuta	176.0	251.2	-75.3	136.3	-114.5
Chaouen	544.3	410.0	134.3	306.6	-103.4
Fes	248.5	182.9	65.6	140.4	-42.5
Ifrane	640.1	398.3	241.8	420.2	21.7
S.Kacem	296.0	208.6	88.4	251.6	-43.0
Kenitra	374.0	281.8	94.2	223.3	-58.5
Khemisset	339.5	215.8	132.7	133.0	-82.8
Larache	411.1	311.2	99.9	200.7	-110.5
S.Larbaa	349.1	253.8	95.3	189.9	-63.9
Meknes	247.8	220.5	27.3	194.3	-26.2
Ouezane	479.8	371.6	108.2	347.2	-24.4
Tanger	329.5	341.2	-117.0	214.6	-126.6
Taza	430.3	236.1	194.2	214.0	-22.1
Tetouan	290.7	265.2	25.5	257.8	-7.4
Tissa	306.0	160.1	145.9	72.9	-87.2
Al-Hoceima	100.1	101.4	-1.3	138.0	36.6
Berkane	111.0	156.6	-45.6	254.9	98.3
Guercif	44.2	55.4	-11.2	57.3	1.9
Melilla	106.2	130.5	-24.3	150.6	20.1
Oujda	83.3	117.5	-34.2	231.4	113.9
Taourirt	53.3	107.2	-54.1	245.1	137.9



enregistré un excès de 194.2 mm à Taza , et plus encore dans le Moyen Atlas (241.8 mm à Ifrane) , ainsi que dans la plaine de Loukkos (99.9 mm à Larache ) et dans les autres régions des plaines Atlantiques . Le Saïs, représenté par les stations de Fès et de Meknès ont enregistré un total pluviométrique légèrement supérieur à la moyenne : 247.8 mm , avec une moyenne de 220.5 mm, soit un excès de 27.3 mm à Meknès et 248.5 mm à Fès avec un excès de 65.6 mm .

### 3 - 3 - 2 Opposition orientale - occidentale

Inversement pendant l'automne 1980 , l'oriental est bien arrosé tandis que l'occidental du couloir de Taza jusqu'aux plaines Atlantiques et à la péninsule Tingitane auxquelles on associe le Moyen Atlas sont très secs (Fig.56). Le déficit pluviométrique s'accroît de plus dans : le Rharb , le Loukkos , la façade nord - ouest de la péninsule Tingitane ainsi que dans le Prérif central ; alors que les plaines Atlantiques au sud de Rharb , les collines du Rif occidental ( Ouezan ) et du Saïs à la trouée de Taza restent relativement déficitaires (-22.2 mm à Taza, - 26.2 mm à Meknès, - 22.1 mm à Ouezan, - 43.2 mm à Casa, contre -110.5 mm à Larache et - 114.5 mm à Ceuta ). Par contre le Moyen Atlas a connu un excès pluviométrique de 21.7 mm

La confrontation des deux automnes de 1968 et de 1980 , montre le comportement saisonnier général du Maroc septentrional et ses configurations régionales . Pendant ces deux saisons l'occidental s'oppose à l'oriental et dans un des deux

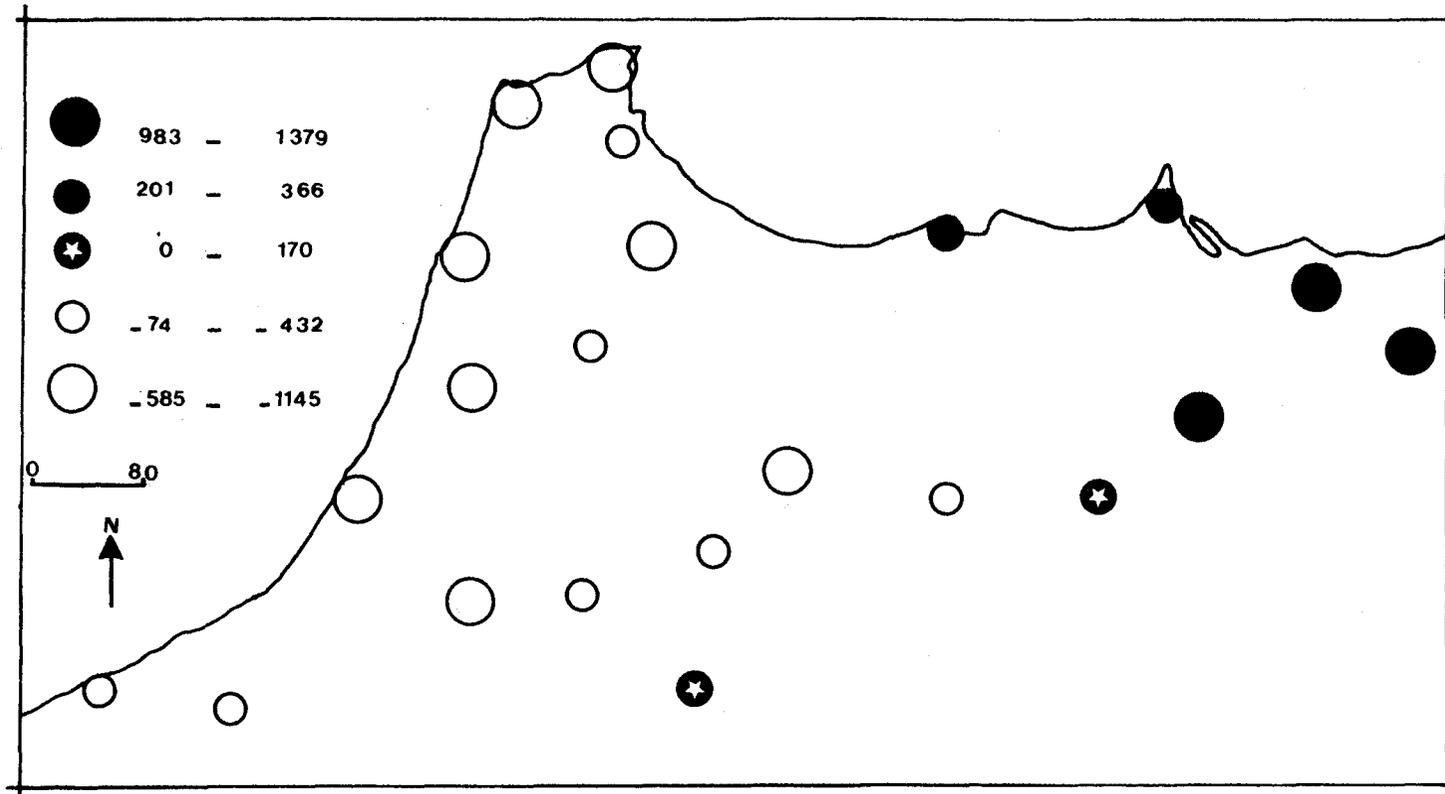


Fig.56 L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1980

cas, il s'oppose non pas seulement à l'oriental mais aussi à son côté méditerranéen . L'automne de 1968 illustre bien ce fait ; les pluies étaient très abondantes ,partout ailleurs, dans le Moyen Atlas, le Saïs , le couloir de Taza ,les collines rifiennes, les plaines Atlantiques et dans les hauteurs du Rif occidental , tandis que la côte méditerranéenne connaissait des totaux inférieurs à la moyenne. Alors qu'en automne 1980 ,c'est l'oriental qui était plus arrosé . La circulation atmosphérique et les facteurs locaux peuvent expliquer ces situations.

#### 4 - LE ROLE DES AUTRES COMPOSANTES DANS LES VARIATIONS SPATIO- TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS

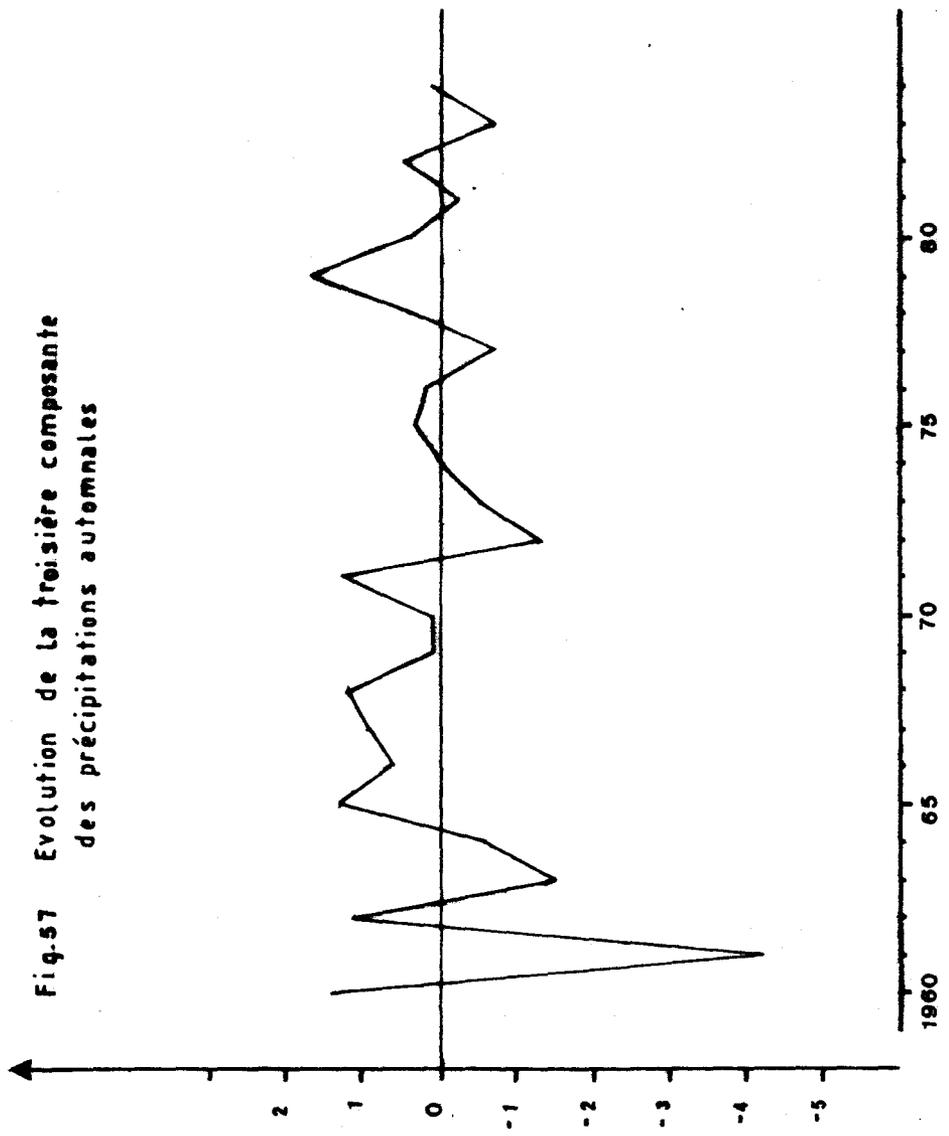
##### 4 - 1 La répartition spatiale des précipitations de certains automnes

L'axe 3 résume à peu près 7 % de la variance totale . Il oppose deux saisons , d'un côté l'automne de 1961 à forte coordonnée négative( -4.2) , de l'autre côté de l'axe l'automne de 1979 à coordonnée positive +2 . Il me semble que ces deux saisons déterminent clairement la signification de l'axe , parce que toutes les autres observations sont regroupées au centre de l'axe à cause de leur poids trop faible ( fig . 57 )

##### 4 - 1 - 1 Le contraste spatial de la saison de 1961:

Pendant l'automne 1961 , la péninsule Tingitane et les collines du Rif occidental ont été copieusement arrosés<sup>e</sup> , tandis que le haut Rharb et le Prérif central ainsi que la région de

Fig.57 Evolution de la troisième composante  
des précipitations automnales



Bokkoya ( Al-Hoceima ) , ont connu des précipitations relativement moyennes . Les lames d'eau recueillies dans toutes ces régions sont supérieures à la moyenne , avec des records dans la péninsule Tingitane ( fig . 58 ) :

Chaouen : 583.5 mm

Ouezan : 558.5 mm

Tanger : 483.0 mm

Larache : 462.1 mm

Tetouan : 443.0 mm

Les hauteurs des précipitations varient du nord - ouest au sud - ouest et d'ouest en est : S.Larbaa , station au sud de la péninsule Tingitane , recueille 284.7 mm , Tissa au sud 238.4 mm et Al-Hoceima à l'oriental 159.4 mm .

A l'opposé de cet ensemble la sécheresse est généralisée dans tout le reste du Maroc septentrional, mais la distribution n'est pas uniforme . Elle est moins intense dans le Rharb méridional , le Saïs Fes et le couloir de Taza - Guercif , tandis que dans le sud - ouest et le nord - est <sup>elle</sup> était plus intense (fig. 58) .

#### 4 - 1 - 2 La variabilité pluviométrique automnale de 1979

Inversement pendant la saison de 1979 , la figure 59 sur laquelle sont portés l'écart à la moyenne des précipitations , montre que l'oriental et l'ensemble occidental méridional dont ses régions intérieures étaient très arrosés . Par contre le littoral atlantique , le Rharb et la péninsule Tingitane accusent

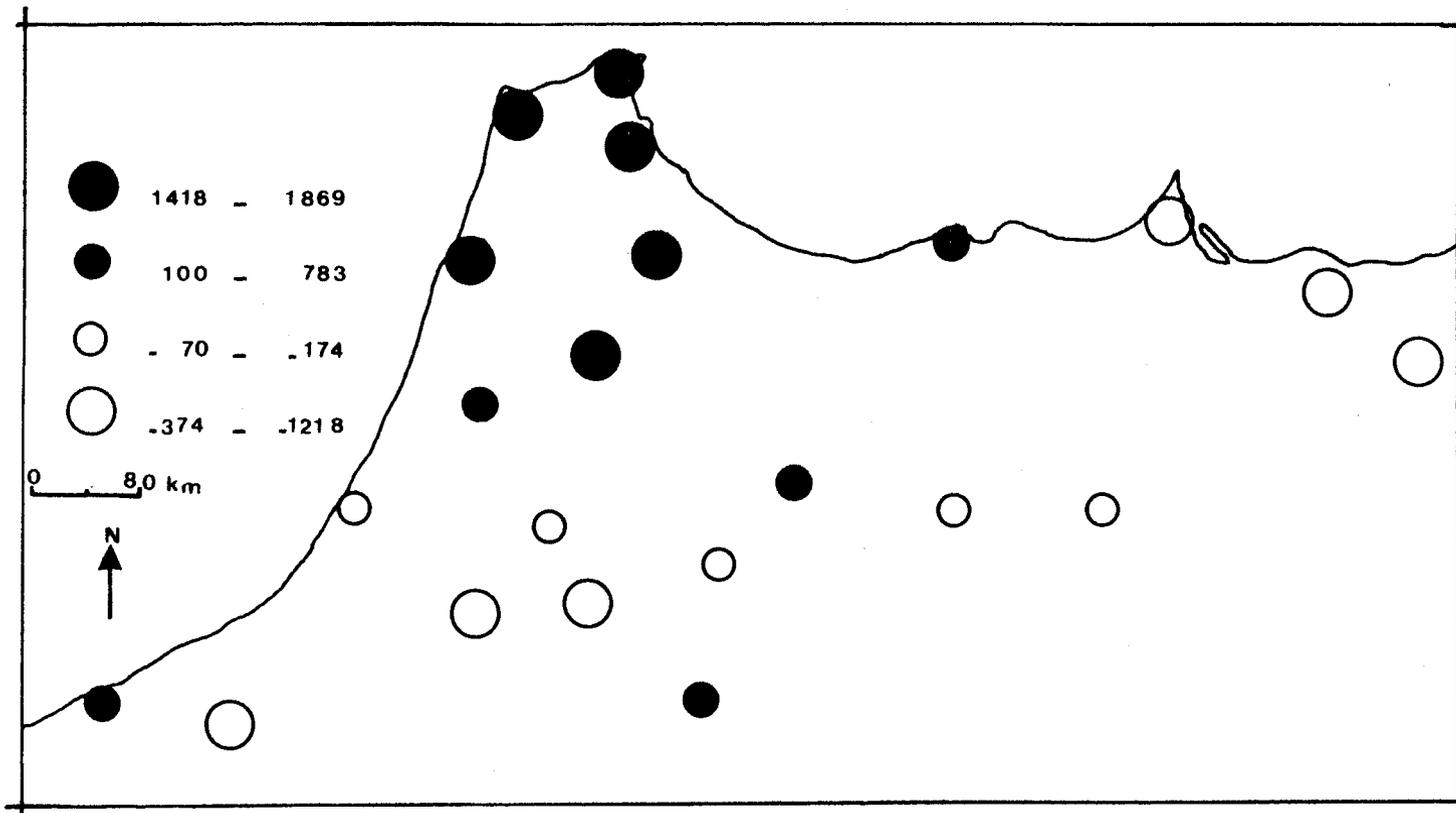


Fig.58 L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1961



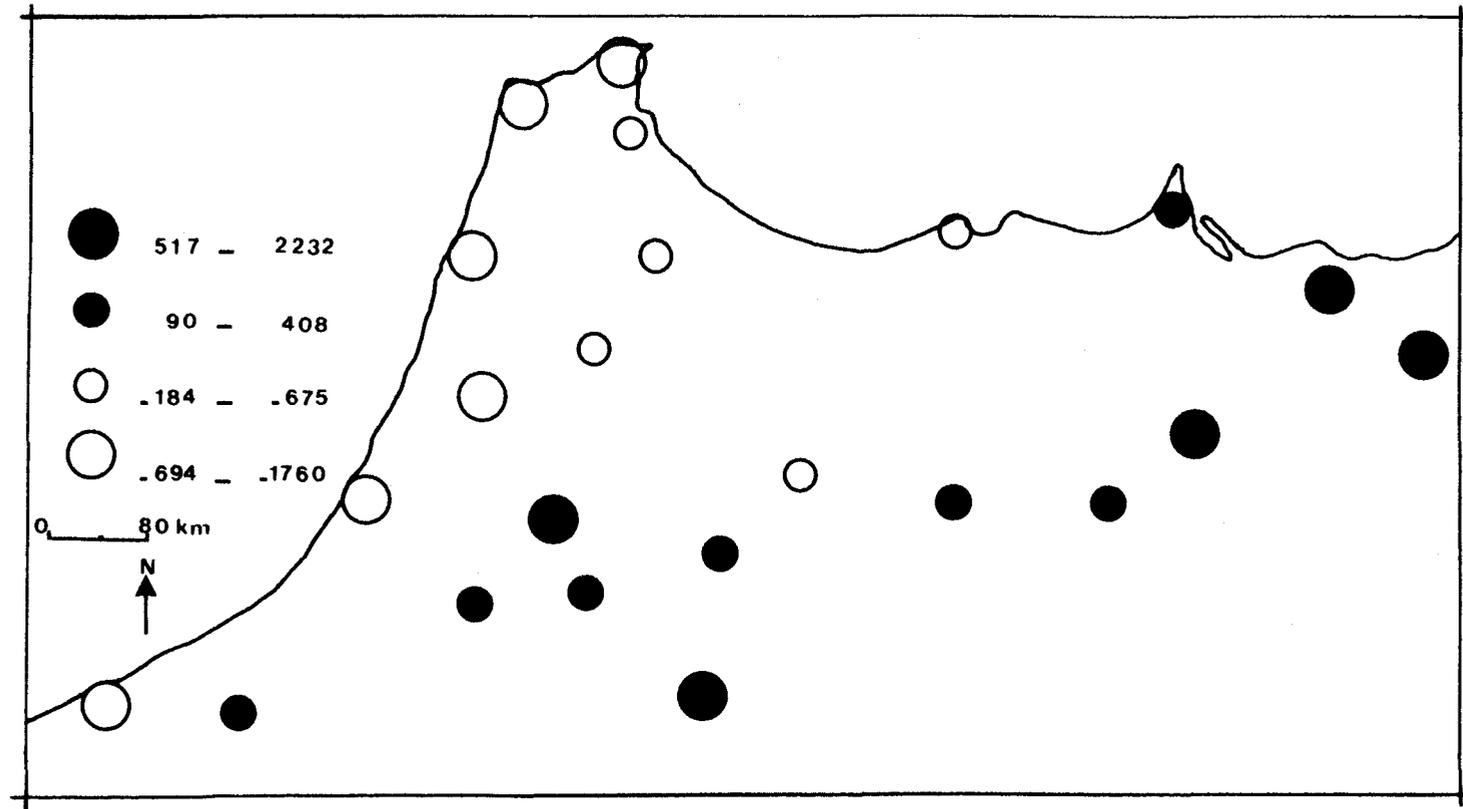


Fig.59 L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1979



en général un déficit beaucoup plus important que celui de la côte méditerranéenne centrale et celui du Rif et du Prérif occidental . L'écart à la moyenne des précipitations saisonnières de quelques exemples confirme cette opposition :

Ifrane	:	51.7 mm
S.Kacem	:	83.5 mm
Berkane	:	223.2 mm
Melilla	:	9.0 mm
Tanger	:	-113.7 mm
Kenitra	:	- 67.5 mm
Al-Hoceima:	:	- 18.4 mm



Les régions les plus déficitaires sont : le littoral atlantique , le Rharb et la côte méditerranéenne du nord - ouest et à l'opposé , le Rif occidental et le Prérif sont moins déficitaires . A Ceuta , où la moyenne saisonnière est de 251.2 mm 62.7 mm seulement ont été recueillis . Ce déficit pluviométrique apparaît comme la conséquence des faibles précipitations des mois de septembre ( 5,0 mm ) novembre ( 11.7 mm ) et de décembre( 1.51mm ), tandis qu'octobre était légèrement pluvieux (11.7 mm), à Tanger ; 0.01 mm en septembre; 14.59 mm en octobre ; 26.1 mm en novembre et 5.54 mm en décembre . Par contre à Ifrane ils étaient relativement pluvieux 7.56 mm ; 2.80 mm ; 6.49 mm et 2.95mm respectivement . A Meknès 5.84 mm ; 13.38 mm ; 3.12 mm ; 2.72 mm respectivement et à Melilla 0.14 mm ; 3.29 mm et 1.59 mm.

#### 4 - 1 - 3 La variabilité pluviométrique

Les automnes de 1961 et de 1979 présentaient les mêmes évolutions, mais en sens inverse ; en effet, l'écart à la moyenne de ces deux saisons augmentent au nord - est et à l'extrême nord - ouest et décroissent dans les régions de l'intérieur : le Saïs, le couloir de Taza et dans le Rif et le Prérif occidental, ainsi que dans le Rharb méridional ; Kenitra exceptée. L'année 1961 oppose le nord - est, sud - ouest, où les précipitations sont en dessous de la moyenne, au haut Rharb et à la péninsule Tingitane où les précipitations sont excédentaires, inversement en 1979. La simultanéité du déficit ou de l'excédent pluviométrique dans le même sens ou dans le sens opposé ne peut être expliquée que par la circulation atmosphérique générale ou régionale combinée aux reliefs.

#### 4 - 2 la configuration automnale de 1976

L'axe 4 absorbe à peu près 5 % de la variance totale pour une période de 25 ans. C'est pour cette raison qu'il ne traduit que le comportement saisonnier de 1976 (fig. 60), de forte coordonnée positive sur l'axe ( 3.2 ). Par contre les autres saisons sont regroupées au centre de l'axe à cause de leur saturation trop faible. Cet automne manifeste la variation d'ensemble du Maroc septentrional. Certes, il correspond à une saison très arrosée dans la péninsule Tingitane, relativement pluvieuse dans les plaines Atlantiques, le Moyen Atlas et le Saïs. alors que dans l'oriental elle n'était que légèrement excédentaire : 1.3 mm à Oujda ; 1.9 mm à Guercif ; 85.9 mm à

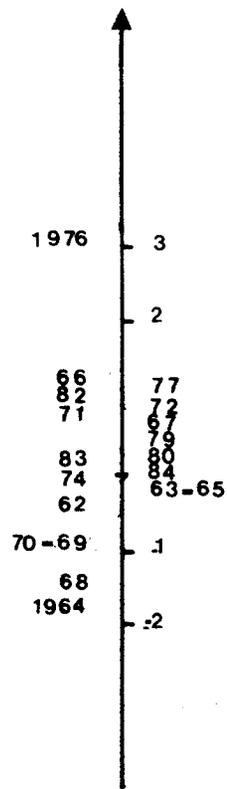


Fig.60 Les saturations de l'axe 4

Berkene contre 102.4 mm à Fes et 431.6 mm à Tanger ( fig. 61 ). En effet, les précipitations varient du nord - ouest au sud - ouest , ainsi que d'ouest en est. Les hauteurs enregistrées sont médiocres à Taza , à Tissa et à Taourirt. Le total saisonnier n'a pas franchi la barre de 232.9 mm à Taza et 81.5 mm à Taourirt . Par contre , partout ailleurs les précipitations étaient abondantes . Les fortes lames d'eau enregistrées au nord - ouest ont pour origine les violentes précipitations de septembre et surtout celles d'octobre et de décembre, ce qui confirme l'humidité du Maroc septentrional en 1976 de l'étude précédente dont le grand apport des précipitations automnales.

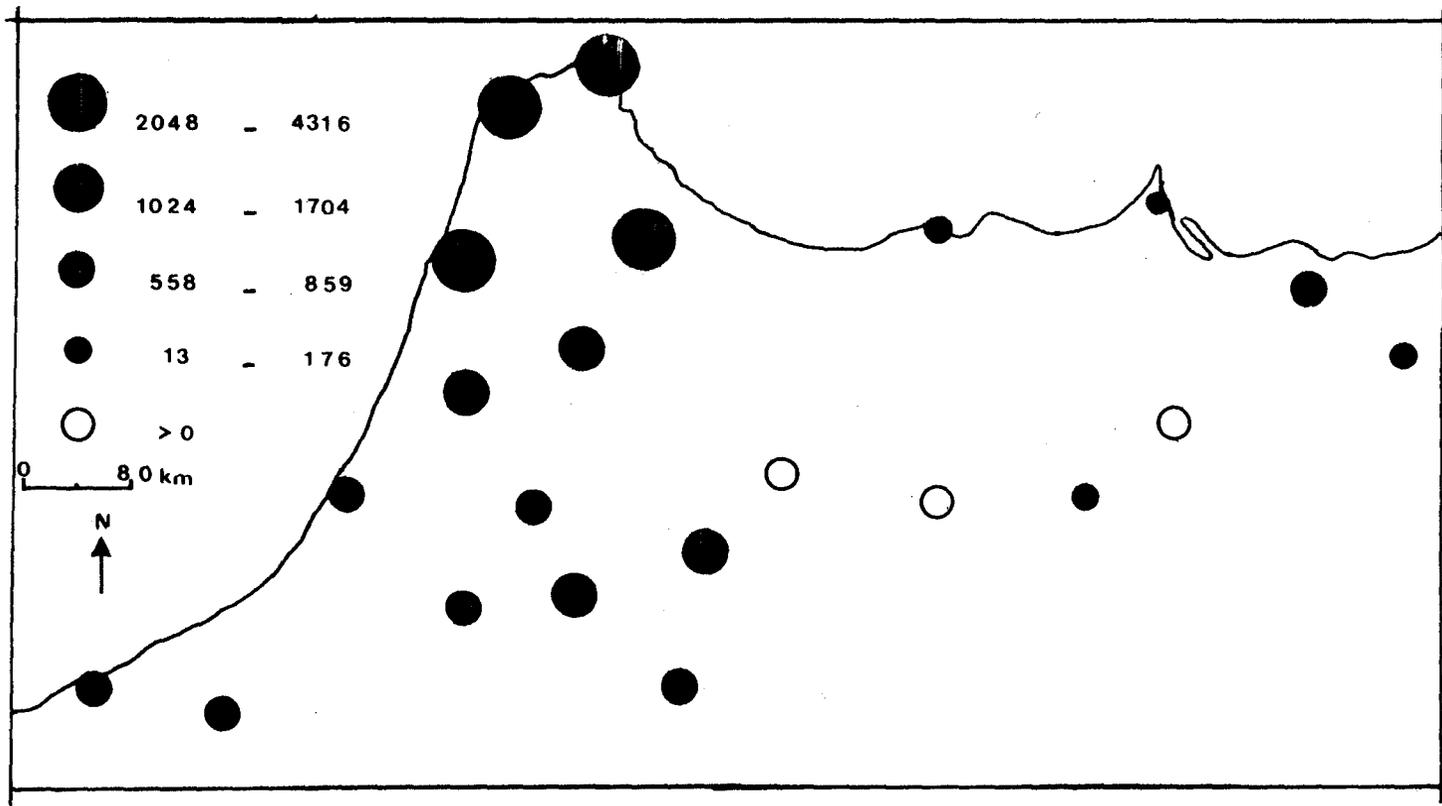


Fig.61 L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1976



## 5 - CONCLUSION

L'axe 1 traduit les réactions simultanées du Maroc septentrional . Dans le Rif ou le Prérif ou dans les plaines Atlantique ou le Saïs, ainsi que dans le Moyen Atlas et l'oriental; les totaux pluviométriques sont partout, soit, supérieurs à la moyenne saisonnière , soit, inférieurs à cette moyenne . En 1960 , 1962 , 1963 , 1969 et 1976 l'oriental et l'occidental connaissent des valeurs débordant la moyenne. Les totaux étaient au dessous de cette moyenne en 1974 , 1975 ;1981 et en 1984 . C'est à dire que toutes les différentes zones réagissent dans le même sens ; l'exemple de 1974 illustre ce comportement ( fig. 51 ). Par contre l'axe 2 manifeste les premiers caractères différentiels du Maroc septentrional , car il oppose non pas uniquement l'oriental à l'occidental mais aussi la côte méditerranéenne à celle de l'atlantique . En même temps cet axe traduit le comportement simultanée de toutes les stations de chaque ensemble, exception faite pour la station de Tanger et celle de Ceuta en 1968 . Cela a été justifié par les deux exemples saisonniers d'automne : 1968 et 1980 , alors que l'axe trois exprime un comportement des régions du sud - ouest analogue à ce lui du Maroc oriental , et les oppose ensemble à la côte atlantique ( la Rharb, le Rif et le Prérif ) . Les saisons automnales de 1961 et de 1979 , illustrent ces réactions différentielles du Maroc septentrional . En automne 1979 , c'est

le premier ensemble qui était excédentaire, tandis que le deuxième était déficitaire, inversement en 1961. Enfin l'axe 4, traduit d'autres tendances. Le nord - nord - ouest est très arrosé et le sud - ouest est relativement pluvieux. Par contre l'oriental a enregistré des valeurs légèrement supérieures à la moyenne. Globalement l'axe 4 traduit la variation de l'intensité des précipitations, du nord-ouest au sud -ouest et d'ouest en est. La confrontation des cartes synoptiques aux facteurs orographiques explique le comportement général de ces situations ; c'est à-dire la mosaïque pluviométrique du Maroc septentrional.

**Les variations spatio-temporelles des  
précipitations "d'hiver-printemps"**

## INTRODUCTION

Ce chapitre a pour but de chercher s'il existe une concomitance ou une discordance entre les précipitations saisonnières d'automne et d'hiver-printemps, et de dégager quelle est la saison qui a plus de poids à expliquer les années exceptionnelles. Il a également pour objet d'analyser les oppositions régionales dans l'ensemble du Maroc septentrional au cours de cette saison.

### 1 - EVOLUTION DE LA PREMIERE COMPOSANTE ET VARIATIONS REGIONALES

#### 1 - 1 Les variations régionales d'ensemble

Les quatre premiers facteurs retenus par l'analyse correspondent à un taux cumulé d'explication de 78.84 % de la variance totale, à peu près de même ordre que dans l'analyse des précipitations automnales et légèrement inférieur à celui des quatre premiers facteurs des précipitations annuelles ( 80 % ).

Le total de la variance cumulée par les quatre premiers axes se répartit ainsi : 50.6 % ; 17.4 % ; 5.7 % et 5 % . Comme dans les études précédentes l'écart entre les deux derniers axes est très faible, et les pourcentages d'explications sont pratiquement les mêmes . Malgré leur taux d'explications plus faibles ,ils apportent des résultats très fins en éclairant certaines oppositions ou au contraire certains rapprochements mal représentés par les axes précédents .

Le premier axe "variables" traduit un effet de taille ; en effet, sur cet axe les stations se classent suivant leur appartenance géographique . En outre, les stations de l'ensemble oriental de très faibles coordonnées négatives ne se regroupent pas loin du centre, témoignent de leurs tendances moyennes (fig. 63 ; 64 ; 65 ; 66) . Alors que la position au sud de l'axe (fig. 63) de toutes les stations de l'ensemble occidental, de très fortes coordonnées négatives : - 6.2 à Kacem et - 9.4 à Ifrane reflète leurs situations extrêmes soit, trop sèches, soit, hyperhumides (fig. 64 ; 65 et 66 ) .

En gros ,l'axe un "variables" reflète avant tout et dans plusieurs cas , l'effet de masse , pratiquement sans autres informations supplémentaires ; mais, ici il a apporté quelques précisions de plus . En effet il répartit et organise les stations sur son côté négatif non pas seulement suivant leurs quantités des précipitations ,mais aussi suivant leur milieu géographique. (fig. 62).

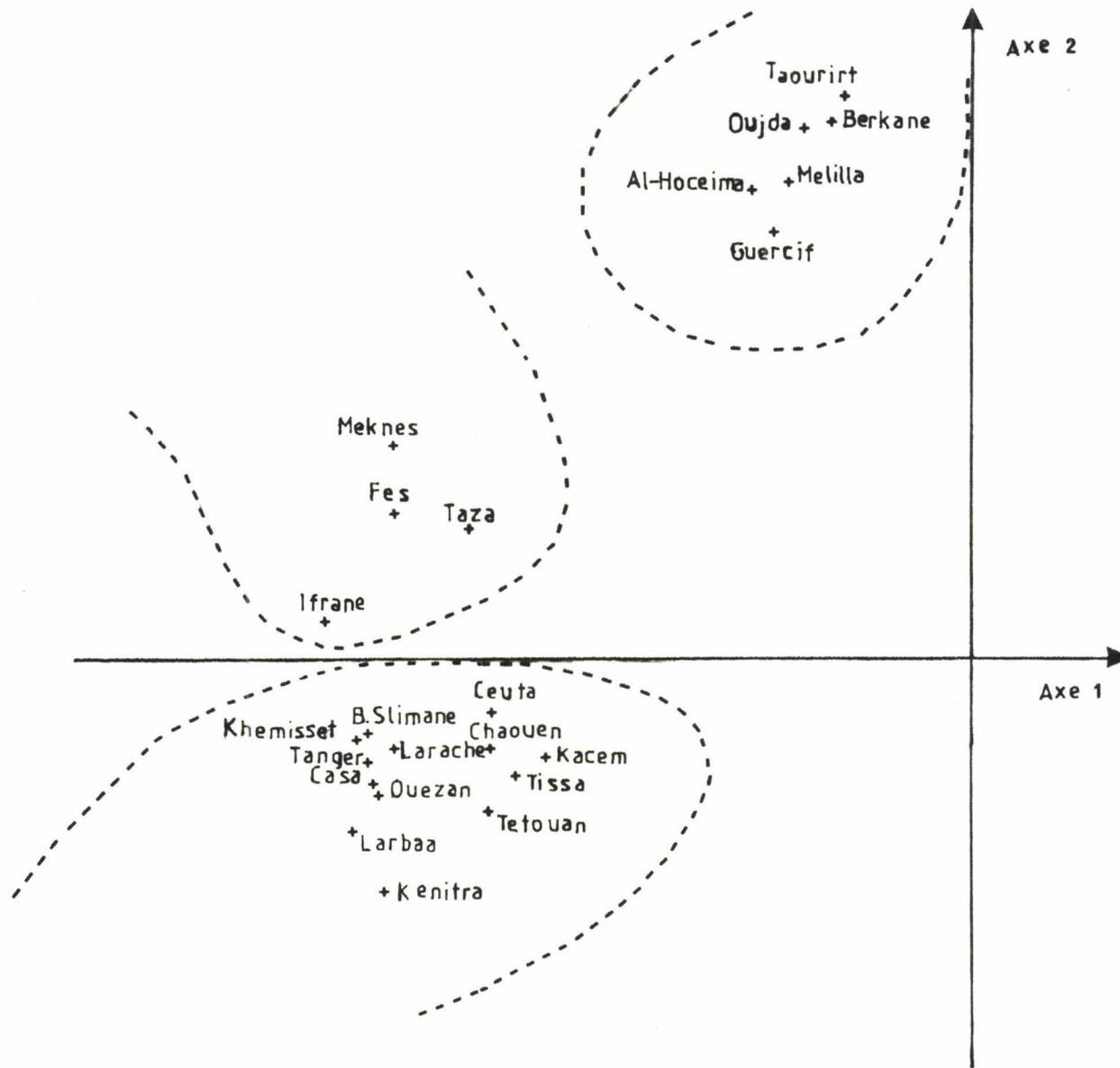
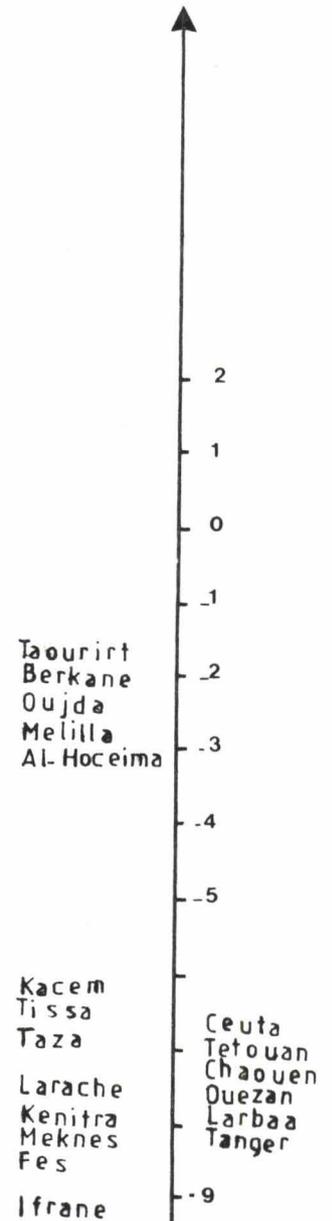


Fig.62 Plan factoriel des précipitations d'hiver-printemps des axes 1 et 2



Fig.63 Axe1: Corrélation facteur/variable



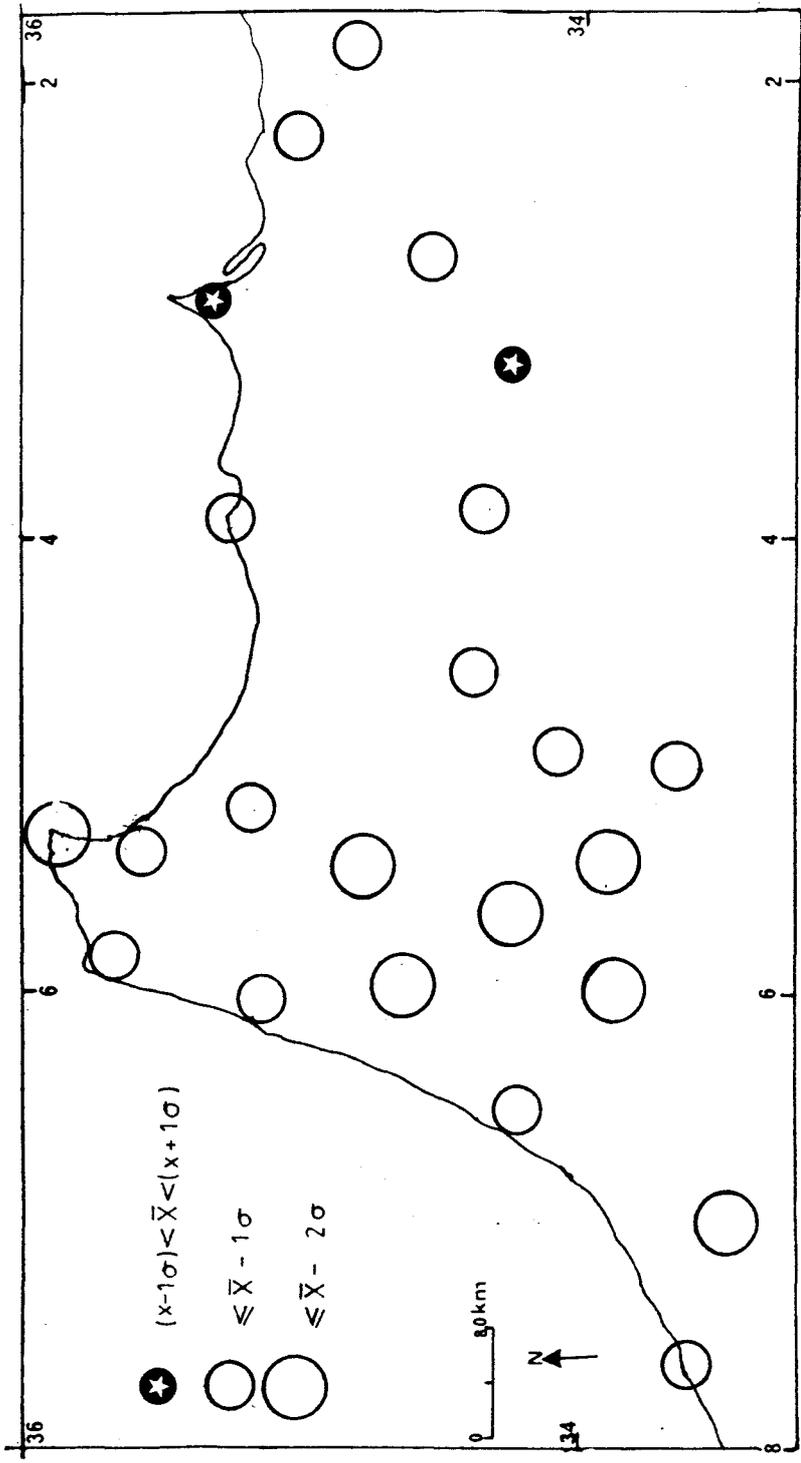


Fig. 64

La saison (printemps-hiver) exceptionnellement sèche de 1961



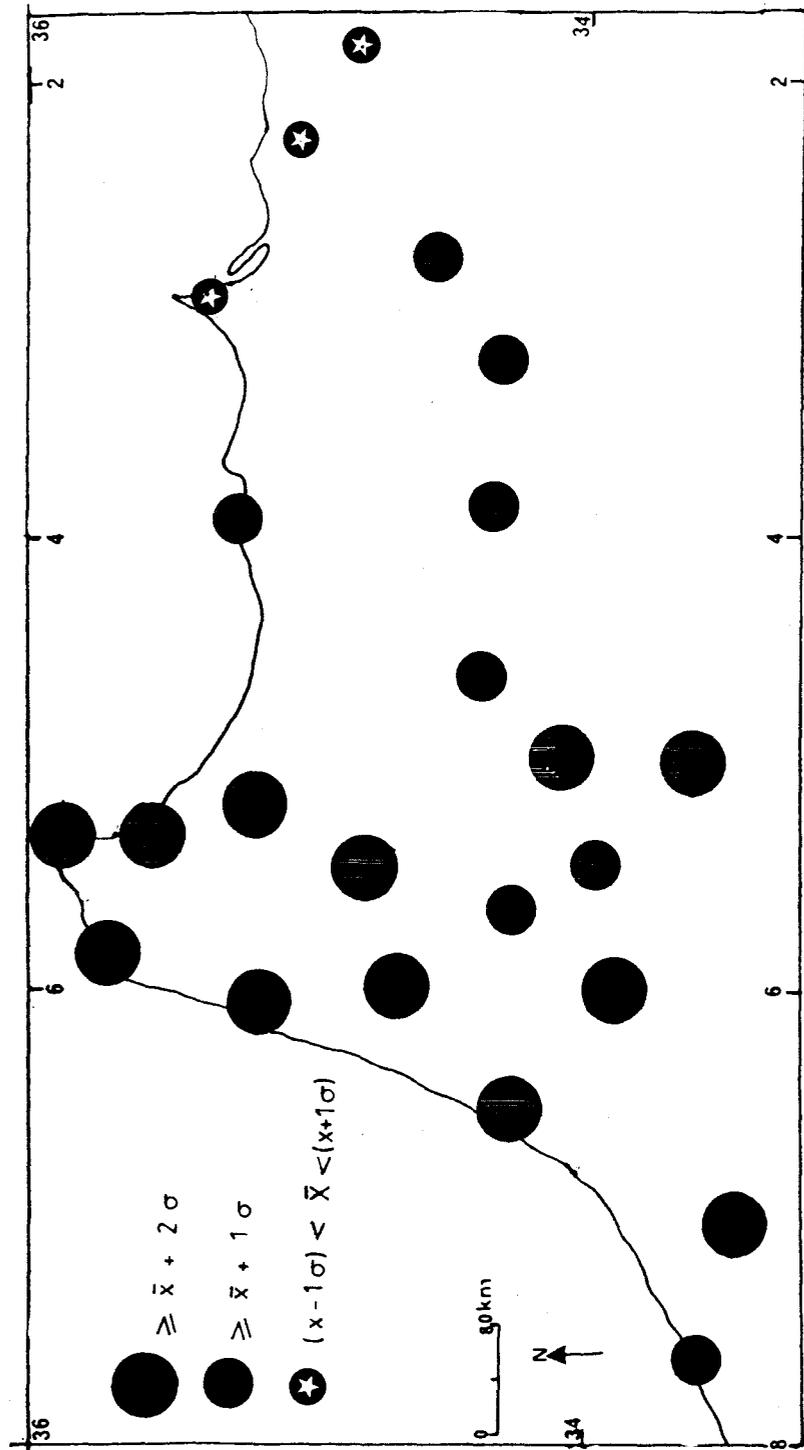


Fig. 65

La variation spatiale des précipitations d'hiver-printemps: 1969



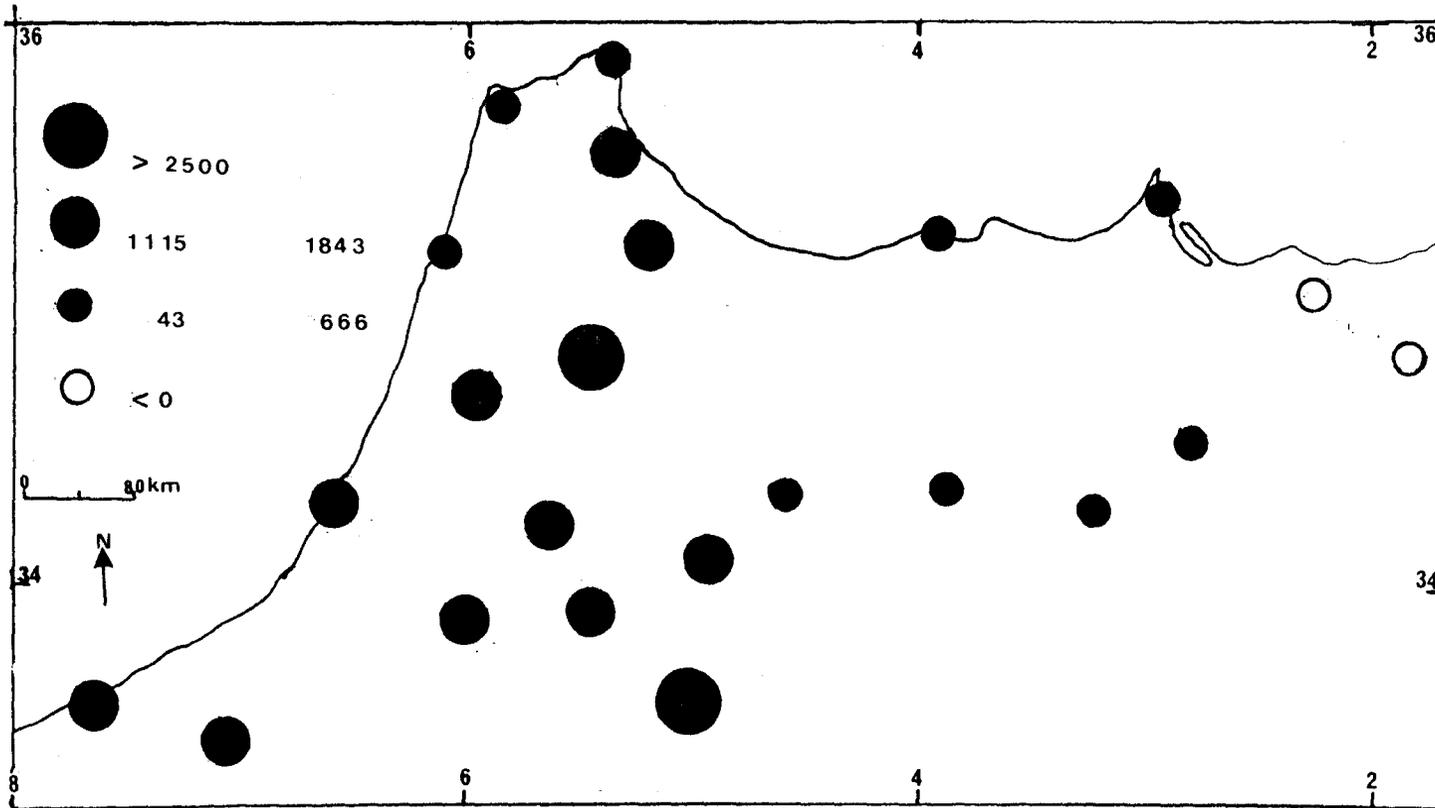


Fig.66

L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps:1971



## 1 - 2 L'alternance saisonnière et le comportement d'ensemble

Par contre l'axe 1 "observations" qui absorbe environ 50% de la variance ,exprime un effet de taille, comme dans les études précédentes : cela signifie que les saisons de même sens se différencient très légèrement . En effet, sur cet axe s'organisent les saisons les plus humides aux plus sèches (fig.67) . A l'extrême nord de l'axe ,les saisons suivantes : 1960 , 1963 , 1969 ,1970 , 1971 et 1979 sont les plus arrosées de la période ( 1961 - 1984 ) . A l'inverse,se rangent les saisons déficitaires (1961 , 1984 , 1966 , 1983 ; 1981 ,1967 et 1973) à fortes coordonnées négatives respectivement : - 6.1 ; - 4.13 ; -4.62 ; - 4.13 ; - 4.06 ; - 3.4 et - 2.58 . Alors que les autres saisons oscillent autour de l'origine de l'axe (fig.67) .

Cependant l'axe 1 montre une alternance de 7 saisons sèches et de 6 autres humides . Si on tient compte des 13 hiver-printemps -humides et secs- qui contribuent fortement à la signification de l'axe ,on constate : de très fortes précipitations dans la péninsule Tingitane ,le Rif occidental et dans les plaines Atlantiques ,ainsi que dans le Moyen Atlas et le Saïs . En revanche ,l'oriental et surtout la façade méditerranéenne du nord-est - y compris la plaine des Anngad n'a enregistré que des valeurs légèrement supérieures à la moyenne (fig. 65).

Inversement en 1961, l'oriental est relativement sec , tandis que l'occidental est sec, voire très sec dans le haut Rharb ,les plaines Atlantiques continentales ainsi que dans le

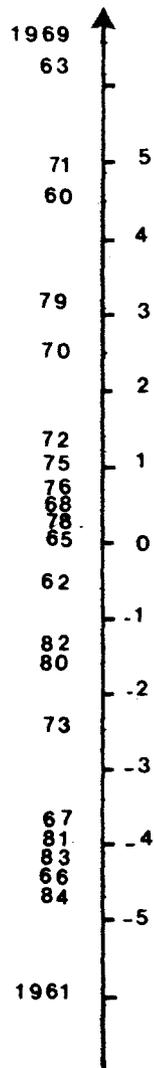


Fig.67 Saturations de l'axe1

Sais Meknès (fig. 65). Les exemples de Ceuta et d'Oujda illustrent bien cette opposition . Pendant la saison humide de 1969 , Ceuta est arrosée trois fois plus que Oujda : 466.0 mm contre 168.4 mm, leur moyenne saisonnière s'échelonne de 288.8 mm dans la première station et de 168.8 mm dans la deuxième avec un déficit de - 4.0 mm à Oujda et un excès de 177.2 mm à Ceuta . Contrairement pendant l'hiver-printemps sec de 1961 , Oujda est trois fois moins sec que Ceuta avec un total pluviométrique médiocre de 105.7 mm contre 78.4 mm à Ceuta, soit un écart de -63.1 mm à Oujda et de - 210.4 mm à Ceuta .

En général, les saisons humides sont rares , alors que les saisons sèches sont relativement nombreuses , surtout celles de la première décennie des années quatre-vingt et d'autres cas dans les années soixante . La saison de 1961 a été la plus déficitaire de la période et c'est la seule qui a été mise en valeur dans toutes les analyses précédentes . Cela témoigne de la gravité de cette année . On peut se demander s'il existe un lien entre les saisons les plus arrosées ou celles les plus sèches de l'automne et celles de l'hiver-printemps . A cet égard, la saison de 1963 qui a été la plus humide de la période s'individualise non seulement en hiver-printemps , mais aussi en automne . C'est également le cas pour la saison de 1969 ; à l'inverse, les années de 1981 et de 1984 ont été sèches tant en automne qu'en hiver et au printemps .

## 2 - LES VARIATIONS SPATIO - TEMPORELLES REVELEES PAR LA DEUXIEME COMPOSANTE

### 2 - 1 Trois ensembles spatiaux bien déterminés

L'axe 2 "variables" révèle trois ensembles géographiques bien homogènes et distincts (fig. 68 et 62) :

- Le premier dans les valeurs positives de l'axe , englobe le Rif oriental (de Bokkoya à la plaine de Garb), la basse Moulouya (plaine de Triffa, couloir de Guercif-Taourirt) et la plaine des Anngad où, l'on trouve les plus fortes coordonnées positives : 8.3 à Taourirt et 6.4 à Guercif .

- Le deuxième ensemble regroupe les régions disjointes de l'intérieur occidental : le Moyen Atlas , le Sais et le couloir de Taza . Cet ensemble se rattache au Maroc oriental malgré les barrières du Moyen Atlas et du Rif oriental .

- Le troisième ensemble sur le côté négatif de l'axe , s'oppose très fortement à l'oriental et sensiblement aux régions de l'intérieur (Sais , Moyen Atlas, trouée de Taza) . Il s'étend des plaines Atlantiques jusqu'à la péninsule Tingitane auquel les sont associées les collines du Rif .

### 2 - 2 Alternances saisonnières et oppositions régionales

La figure 69 (saturation des années sur l'axe 2) manifeste une opposition importante entre trois types de saisons, globalement humides regroupées à l'extrême sud de l'axe (côté négatif) ; des saisons globalement sèches ramassées sur le côté positif ; la plupart des saisons sont regroupées près des valeurs

Fig. 68 Axe 2: Corrélation facteur/variable

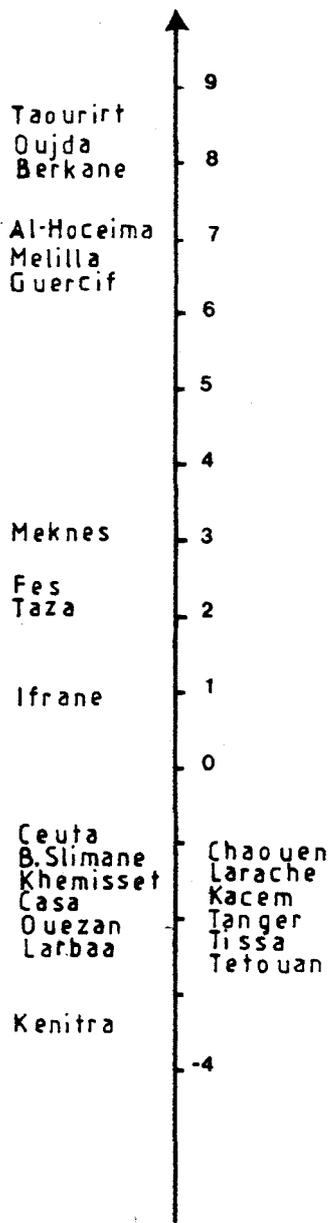
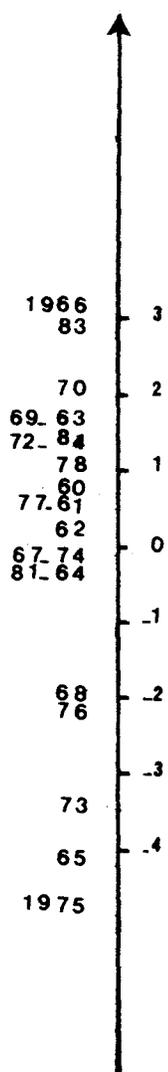


Fig.69 Saturations de l'axe 2



centrales . Si nous considérons les sept saisons à fortes coordonnées extrêmes sur l'axe 2 , nous retrouvons l'opposition spatiale déjà signalée . Nous constatons : de fortes précipitations sur le côté méditerranéen du nord-est , dans la plaine des Anngad et le couloir de Guercif-Taourirt . Des pluies relativement intenses dans le Moyen Atlas , le Sais et dans la trouée de Taza (fig. 70) . Par contre la façade ouest tend vers l'aridité , elle a enregistré des totaux pluviométriques médiocres (fig. 70 et 71) . Inversement, pendant les saisons sèches du printemps , nous relevons un léger déficit pluviométrique dans les plaines Atlantiques , la péninsule Tingitane ainsi que dans le Prérif , alors qu'en général, le Moyen Atlas et l'oriental sont très déficitaires (fig. 72) ; quelques exemples illustrent cette opposition :

Les saisons		Kenitra	Meknes	Berkane
1975	Total x	226.5	415.7	627.5
	Moy.saisonnière $\bar{X}$	265.1	322.6	240.9
	x - X	-98.8	93.1	386.6
1965	Total x	173.5	364.4	443.1
	Moy.saisonnière $\bar{X}$	265.5	322.6	240.9
	x - X	-91.6	41.8	202.2
1966	Total x	200.1	132.4	29.8
	Moy.saisonnière $\bar{X}$	265.5	322.6	240.9
	x - X	-65.0	-190.2	-211.1

Tableau 11 : écart à la moyenne des saisons extrêmes

Pendant les deux saisons humides de 1975 et de 1965 le total pluviométrique a été plus élevé à Berkane qu'à Meknès , ou à Kenitra, tandis que leur moyenne saisonnière est respectivement : 240.9 mm ; 322.6 mm 265.1 mm . C'est également le cas pendant la saison de 1965 . Pendant l'hiver-printemps de 1966 il a plu



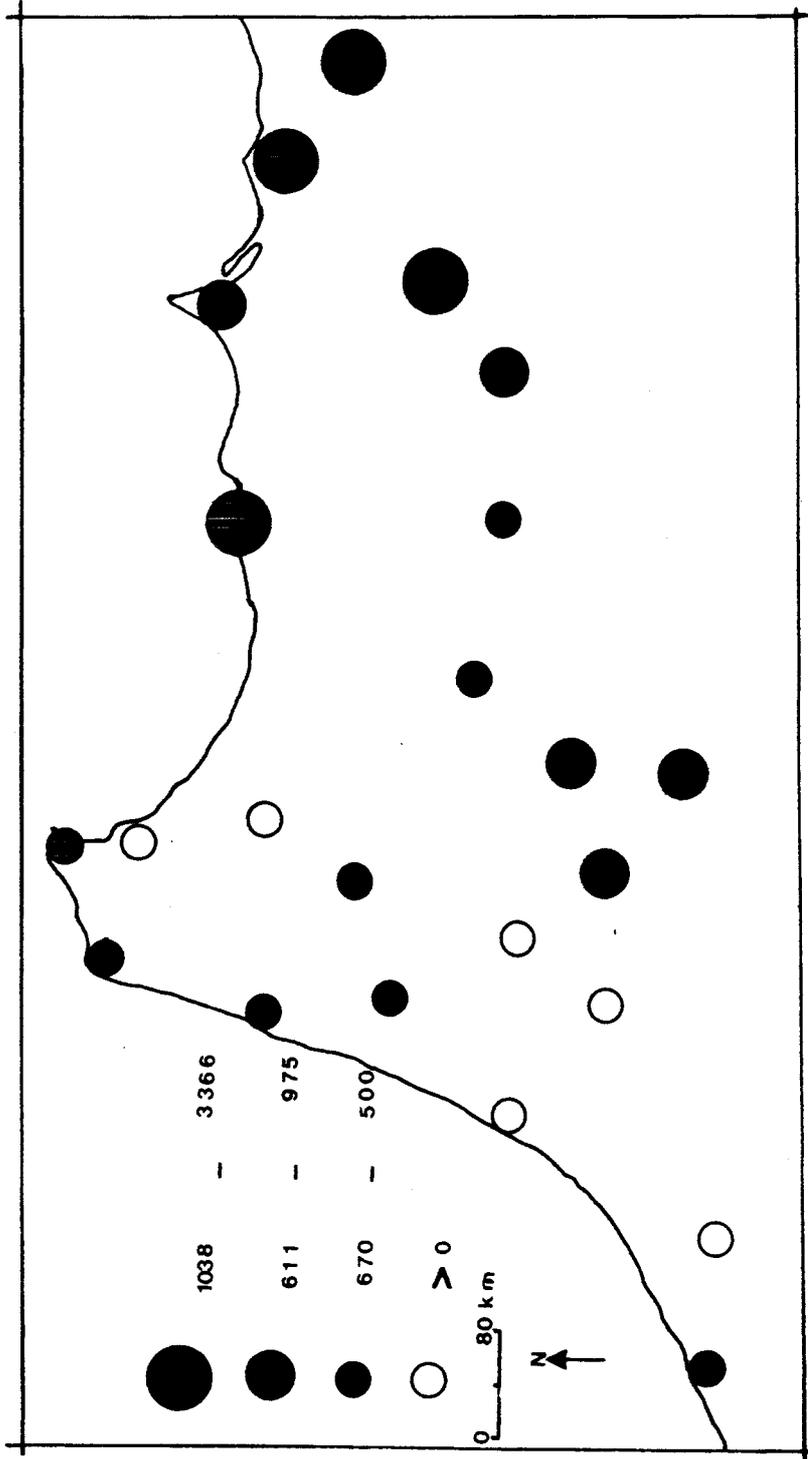


Fig.70 L'écart à la moyenne des précipitations saisonnières (hiver-printemps) en 1975



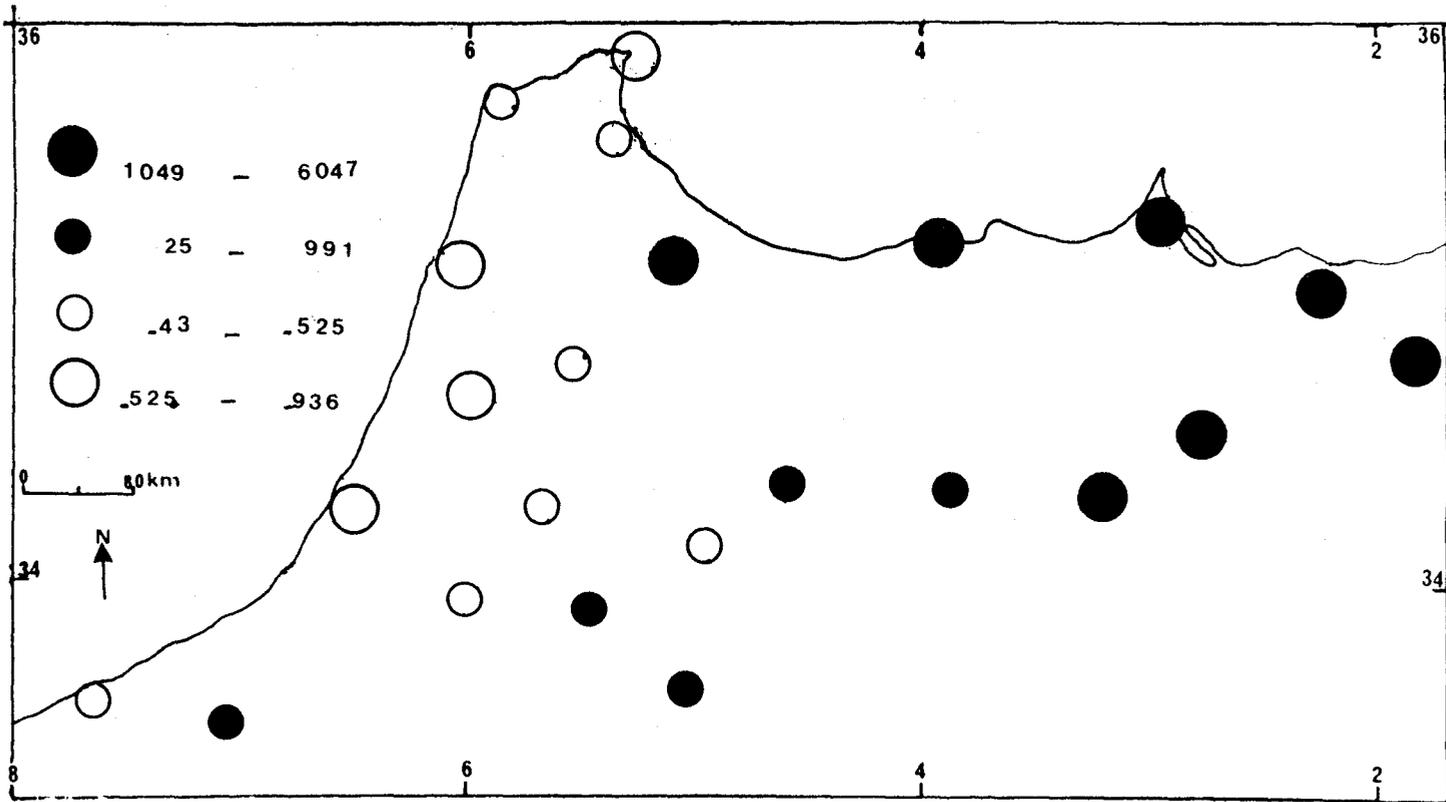


Fig.71 L'écart à la moyenne des précipitations saisonnières (hiver-printemps) en 1965



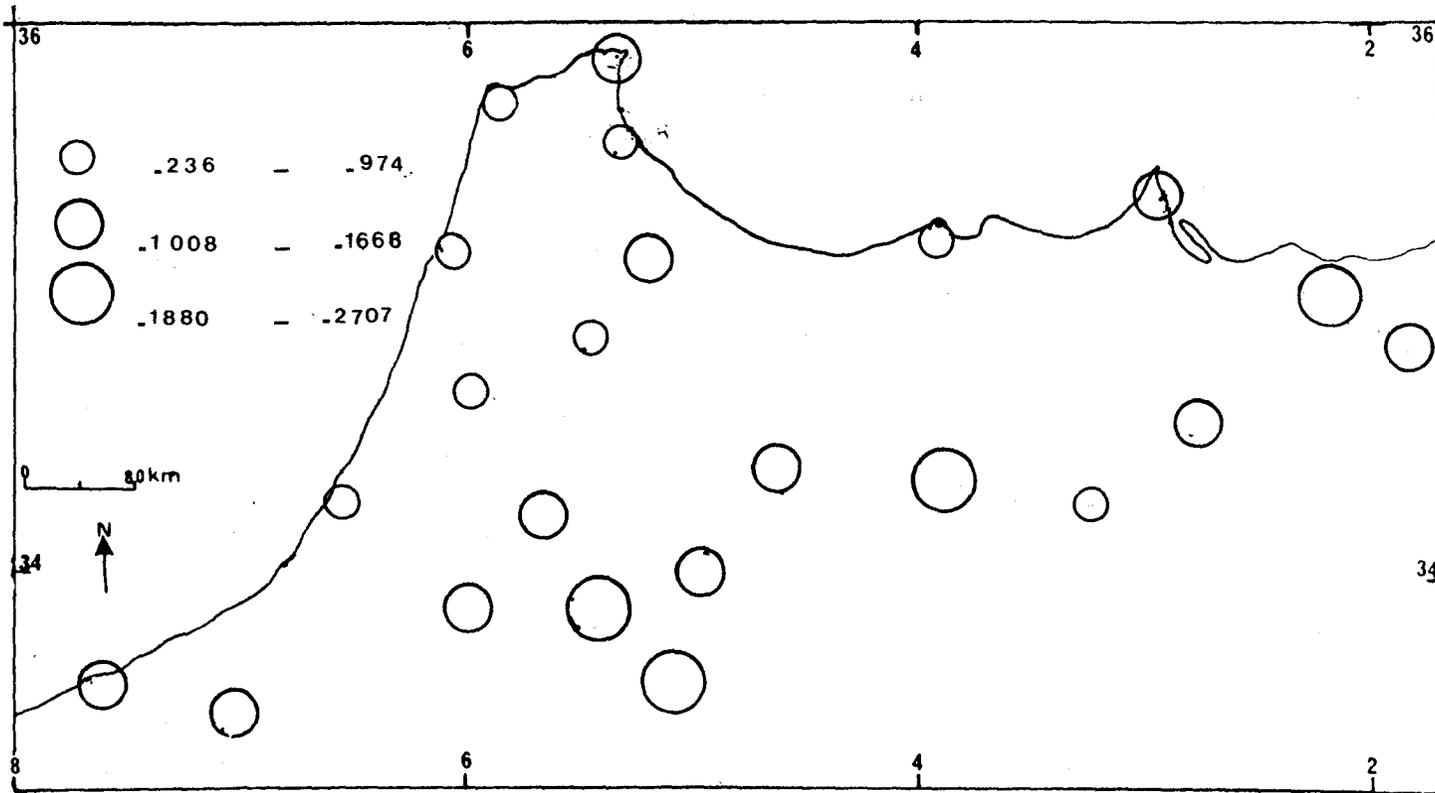


Fig.72

L'écart à la moyenne des précipitations saisonnières (hiver-printemps) en 1966



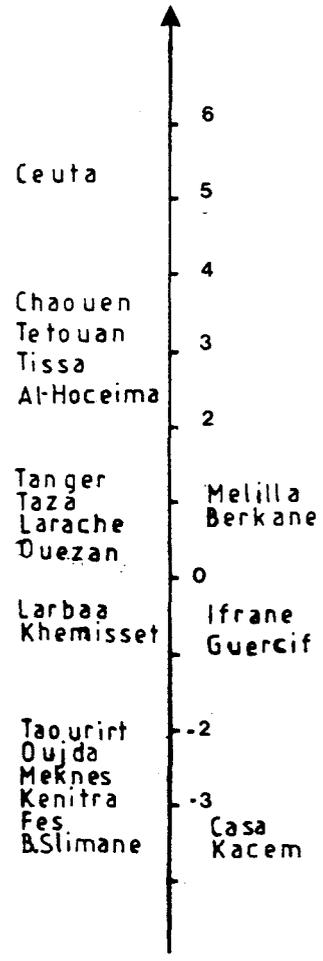
sept fois plus à Kenitra qu'à Berkane et deux fois moins à Meknes qu'à Kenitra ,mais le comportement saisonnier global reste déficitaire : très déficitaire à Berkane ,relativement déficitaire à Meknès et légèrement déficitaire à Kenitra . On pourrait faire les mêmes constatations pour tout l'ensemble du Maroc septentrional ; le Saïs ,le Moyen Atlas et le couloir de Taza se rattachent à l'oriental et s'opposent sensiblement au reste de l'ensemble occidental .

### 3 - LES ENSEMBLES SPATIAUX REVELES PAR LES AUTRES COMPOSANTES : OPPOSITIONS INTRA - ZONALES

#### 3 - 1 L'hétérogénéité des ensembles révélée par la 3-ème composante

L'axe 3 "variables" qui résume à peu près 5 % de la variance totale ,révèle des résultats très étonnants . Il n'oppose pas l'occidental à l'oriental ,mais il semble surtout opposer le nord au sud ; en même temps il présente une hiérarchie des positions des stations de la région nord . Tout d'abord sur le côté positif sont ordonnés les postes les plus septentrionaux en commençant par ceux du Rif, respectivement : Ceuta , Chaouen, Tetouan, Tissa, Al-Hoceima et Tanger ,puis ceux du littoral méditerranéen du nord-est (Melilla et Berkane) ,ainsi que ceux de la trouée de Taza et enfin le reste des stations de la péninsule Tingitane (Larache ,Ouezan ; fig. 73) .

Fig. 73 Axe 3: Corrélation facteur/variable



Entre le centre de l'axe et la coordonnée - 4 se regroupent les postes de la variante sud dans une position plus mélangée , puis près du centre se regroupent les stations des régions intermédiaires, ce que reflète le plan factoriel 1 et 3 . Dans ce plan on distingue quatre groupes de stations : le premier au nord ouest (haut gauche) du plan (1 - 3 ; fig. 74) contient les stations de la péninsule Tingitane , ainsi que celles du Prérif et celle de la trouée de Taza . Plus à l'est (droit) se trouve le deuxième groupe qui englobe les stations de la côte nord-est méditerranéenne . Ce dernier groupe s'oppose sensiblement aux stations continentales du Maroc oriental qui forment le troisième groupe . Par contre le dernier groupe est le plus hétérogène ; il est constitué <sup>par</sup> les stations représentatives des plaines Atlantiques , du Saïs et du Moyen Atlas .

Globalement, les postes de la zone nord s'opposent à ceux de la zone sud . Plus précisément , les stations du Rif méditerranéen s'opposent fortement aux stations des plaines Atlantiques et de l'intérieur . Certes, Ceuta, Chaouen, Tetouan et Tissa sont en opposition à Casa, Kenitra, Ben Slimane , Fès, Meknès et S.Kacem , alors que la position moyenne , près de l'axe de : Larbaa, Khemisset, Ifrane, Tanger, Taza, Larache et Ouezan, témoigne de leur comportement transitoire .

Si le plan factoriel 1 et 3 oppose le nord au sud, alors que le plan 2 et 3 qui cumule 23 % de la variance totale , oppose non pas seulement le nord au sud , mais aussi l'est à l'ouest , en revanche, l'axe deux distingue trois ensembles géographiques : l'ouest , le centre et l'est ( fig. 75 ). Par ailleurs, l'axe

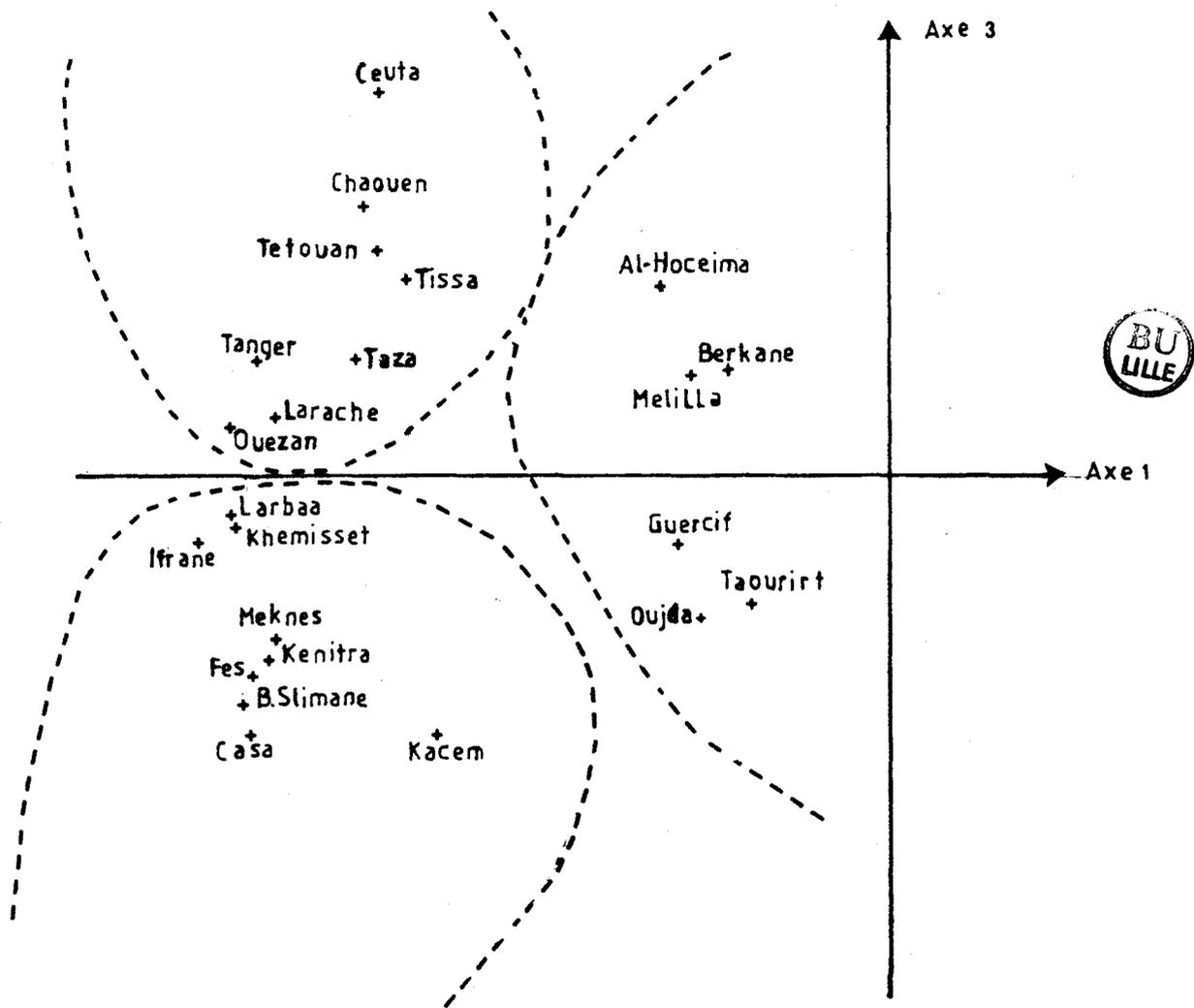


Fig.74 Plan factoriel des précipitations d'hiver-printemps des axes 1 et 3

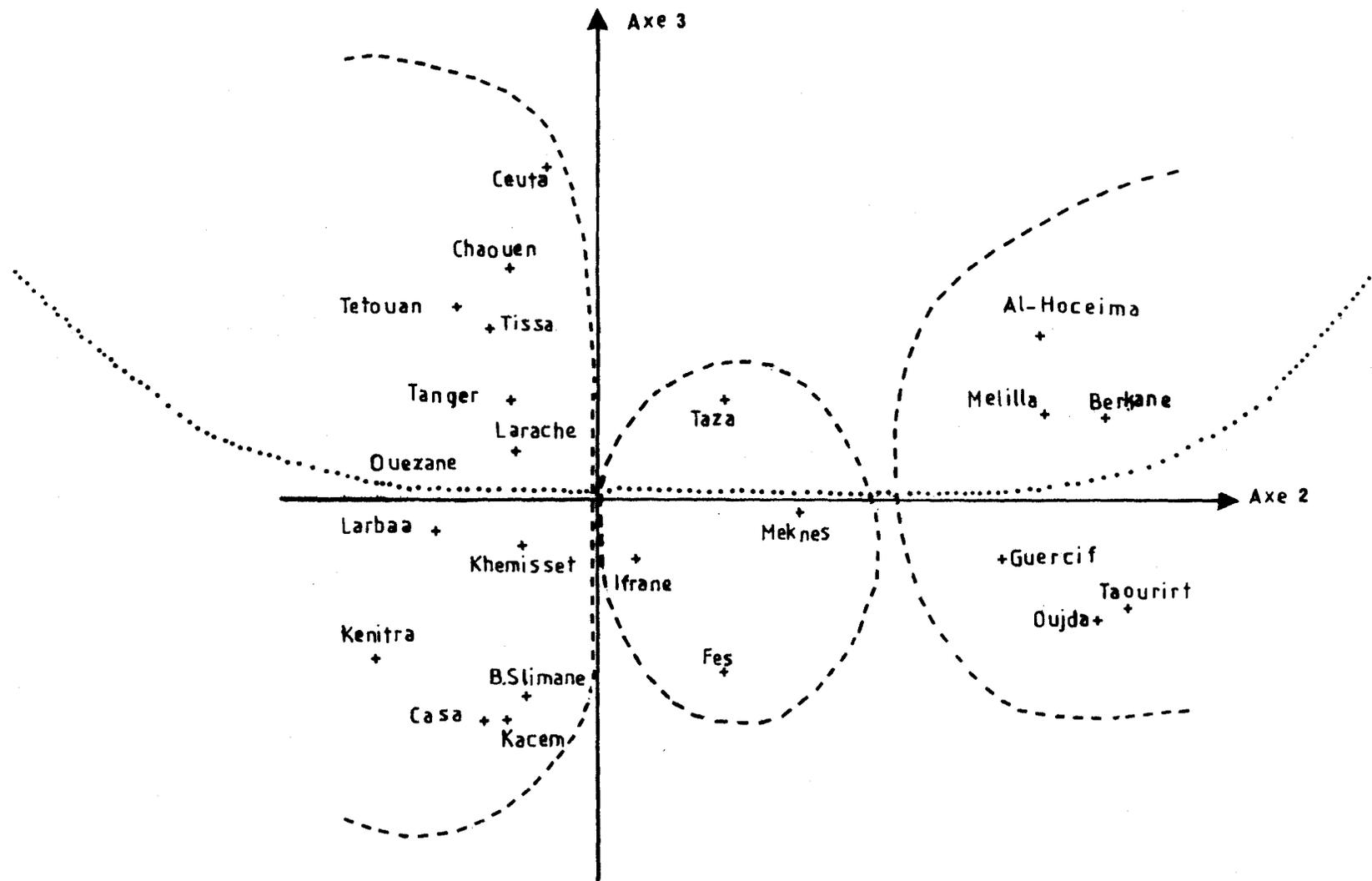


Fig.75 Plan factoriel des précipitations d'hiver-printemps des axes 2 et 3

trois discrimine globalement les stations du nord à celles du sud. Ce plan factoriel 2 et 3 est donc la meilleure représentation des oppositions régionales de l'hiver et du printemps .

### 3 - 2 L'ensemble ouest

Il englobe la péninsule Tingitane ,le Prérif et les plaines Atlantiques . Cet ensemble se caractérise par une assez forte variation régionale dont les stations se différencient sensiblement du nord au sud . En effet, la répartition du réseau des stations dans le plan factoriel montre une position assez particulière de quelques stations ,soit celles du nord soit celles du sud qui s'opposent entre elles . Certes, cette opposition concerne les stations continentales comme les stations côtières .

#### 3 - 2 - 1 Les régions septentrionales

Elles se retrouvent dans le quart nord gauche du plan , regroupant tous les postes situés au nord du Rharb . Ces stations ,malgré leur comportement d'ensemble dans le même sens , varient sensiblement du nord-est au sud-ouest . Certes, les postes continentaux de Chaouen et de Tissa ,ainsi que ceux du littoral méditerranéen : Ceuta et Tetouan s'écartent légèrement de ceux de la façade atlantique : Tanger, Larache et Ouezan (cette dernière station est loin d'environ 80 km de l'océan). En effet, ces dernières stations de faibles coordonnées tendent de plus en plus vers le centre du plan pour confirmer leur faible opposition par rapport aux régions du sud . Cela est vrai car Tanger, Larache et Ouezan sont plus océaniques que

méditerranéennes . C'est pour cette raison qu'elles affichent - sur le plan - un comportement transitoire entre les régions d'influence méditerranéenne d'un côté et celles d'influence océanique de l'autre côté .

### 3 - 2 - 2 Les régions méridionales

Elles se trouvent également dans le côté gauche du plan à l'inverse des précédentes . Elles se caractérisent par une forte variation d'ensemble et une différenciation sensible du nord au sud , comme celles des stations du nord . Toutes les stations représentatives des plaines Atlantiques s'écartent davantage du centre et se regroupent au sud près de l'axe trois ( Kenitra, Casa et S.Kacem ) pour former un sous-ensemble bien homogène en opposition nette avec les régions du nord non océaniques, exceptées deux stations continentales : Larbaa et Khemisset . Ces dernières ont une position proche du centre qui, reflète un profil moyen entre les stations du nord et celles du sud parcequ'elles subissent en même temps les influences de la Méditerranée et de l'océan .

### 3 - 3 L'ensemble central

Entre le premier ensemble et le troisième, non loin du centre droit de l'espace ,se définit l'ensemble central le plus hétérogène . Il regroupe quatre stations : Taza, au nord du plan, Fès ,Meknès et Ifrane au sud (fig.75) . Cet ensemble se caractérise par une assez forte variation régionale car il englobe trois régions différentes ,mais disjointes : la trouée de

Taza située dans une vallée encadrée par le Rif et le Moyen Atlas comme le Saïs puis le Moyen Atlas . La station de Taza s'écarte de son groupe et s'individualise davantage au nord du plan pour s'inscrire dans les régions de la variante nord . Pour les stations du sud : Fès, Meknès et Ifrane , les écarts entre stations sont importants . Ce comportement souligne un fait majeur de différenciation régionale . Si Fès demeure loin du centre , alors que Meknes et Ifrane de faibles coordonnées , l'une tend à s'inscrire dans le groupe ouest, l'autre dans la variante nord . Cette position signifie que ces stations ne s'opposent pas fortement ni aux stations de la variante nord ni à celles de la variante sud . En effet, la différenciation des postes pluviométriques de cet ensemble ne s'interprète pas uniquement par les flux d'ouest ou du nord , mais aussi par l'intervention des facteurs géographiques locaux .

### 3 - 3 L'ensemble Est

A l'opposé de l'ensemble ouest à l'extrême droite du plan demeure l'ensemble est . Comme les autres ensembles, ces stations se partagent de part et d'autre en deux pôles : les postes pluviométriques de la variante nord en haut - droit du plan , montrent deux stations relativement rapprochées ( Berkane et Melilla ) . Elles ont presque les mêmes coordonnées et se situent dans une même zone sur la côte nord-est méditerranéen , alors que, Al-Hoceima relativement plus loin de ce secteur se décale sensiblement vers le haut et s'individualise davantage . A l'inverse, les stations continentales de la variante sud sont

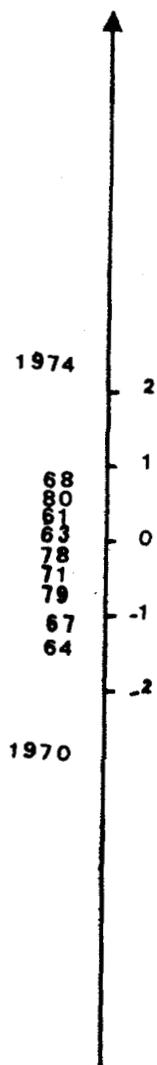
moins dispersées car toutes les stations subissent des effets analogues, soit méditerranéens, soit continentaux, mais globalement elles demeurent sous l'influence des facteurs orographiques locaux des Bni Snassen au nord, du Rif au nord-ouest et du Moyen Atlas à l'ouest et au sud-ouest.

Nous concluons donc, que le plan factoriel 2 et 3 résume les variations géographiques qui caractérisent le Maroc septentrional. Ces variations sont liées, soit à la latitude ou à la longitude, soit à l'altitude ou à l'orographie. L'axe deux oppose l'oriental à l'occidental et l'axe trois discrimine le nord et le sud. En effet, ces oppositions sont plus marquées sur le littoral méditerranéen et atlantique au sud de Loukkos, dans les régions continentales que dans l'intérieur, ce que nous a révélé le troisième facteur temporel.

### 3 - 5 Le rôle de la troisième composante dans les variations spatio-temporelles des précipitations

L'axe trois temporel d'"hiver-printemps" résume une part de la variance totale proche de 6 % dont deux saisons contribuent fortement à la définition de cet axe. D'un côté, la saison de 1970 à forte coordonnée négative - 2.9 de l'autre côté la saison hiver-printemps de 1974 à saturation positive 2.4. Par contre les autres observations sont regroupées dans un intervalle qui varie entre - 1.5 et 1 à cause de leurs faibles scores (fig. 76). Ces deux saisons illustrent bien les variations spatio-temporelles des précipitations au Maroc septentrional.

Fig.76 Saturations de l'axe3



3 - 5 - 1 Le contraste pluviométrique d'hiver - printemps  
de 1970

En hiver-printemps de 1970 les pluies ont été très intenses dans le Rif occidental et dans ses collines : du nord-ouest au sud-ouest ,on a révélé un total de 583.0 mm à Ceuta 510.7 mm à Tetouan ,1191.7 mm à Chaouen , 641.1 mm à Ouezan et 659.5 mm à Tissa . Aussi un total relativement moyen dans le Moyen Atlas , le Rharb et le Saïs ,ainsi que dans la trouée de Taza (fig. 77) . Par contre les plaines Atlantiques au sud de Rharb et tout l'ensemble oriental enregistraient des totaux inférieurs à la moyenne comme le montre le tableau suivant :

	Total (x)	La moyenne (X)	x - X
Casa	200.0	215.9	- 15.9
B.Slimane	203.3	256.1	- 52.8
Al-Hoceima	118.7	154.0	- 35.3
Melilla	154.6	179.9	- 25.6
Berkane	120.8	240.9	- 120.1
Oujda	127.0	168.8	- 41.8
Taurirt	70.0	124.8	- 54.8
Guercif	66.0	99.1	- 33.1

Tableau 12 : La variabilité des précipitations

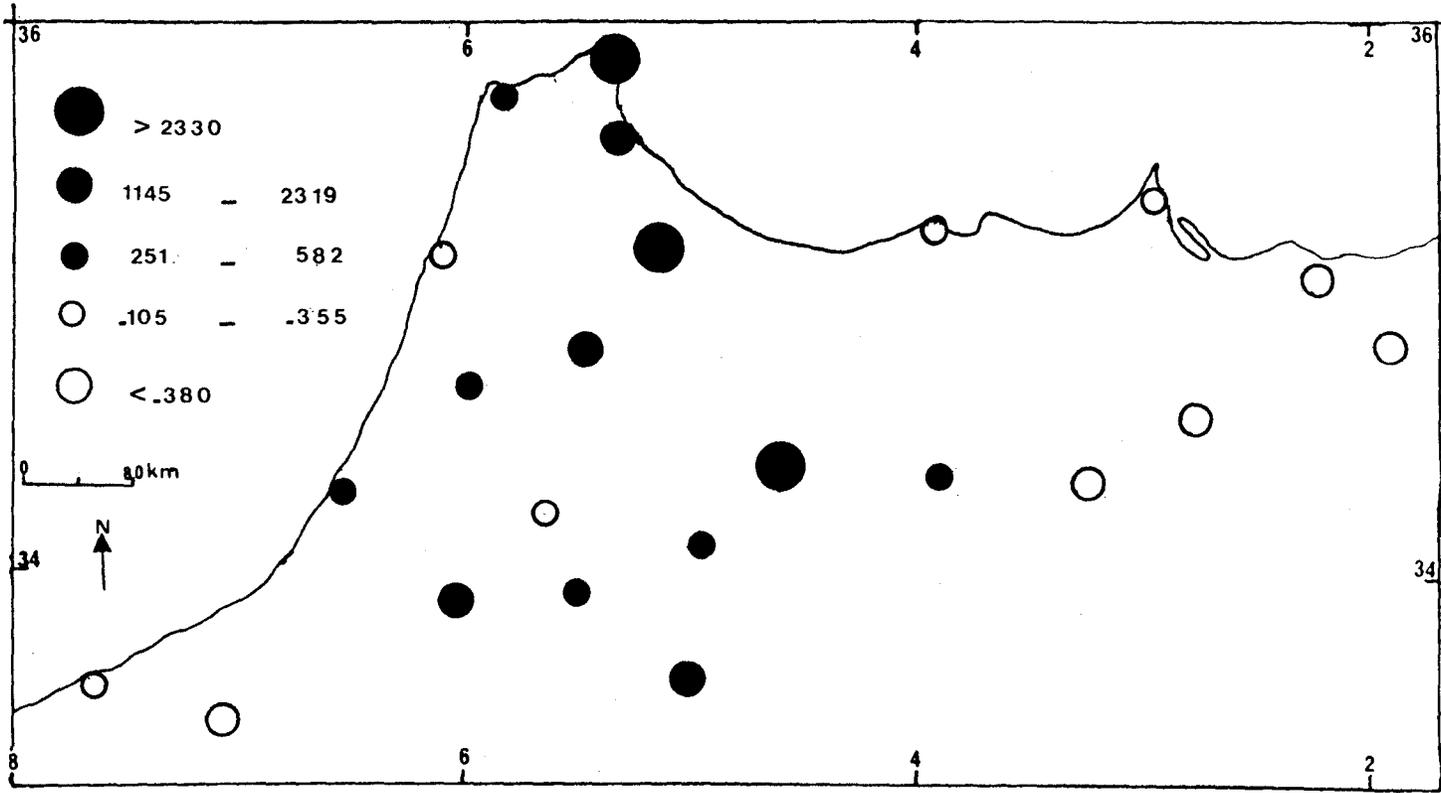


Fig.77

L'écart à la moyenne des précipitations saisonnières(hiver-printemps) en 1970



Cette situation ne peut être explicitée que par la conjugaison de la circulation atmosphérique et de l'effet orographique . En effet, le comportement du Maroc septentrional en cette saison correspond à une diminution de la fréquence des situations cycloniques, et à une domination de la circulation d'ouest de courte onde . Mais cela n'empêche pas que l'occidental marocain bénéficie de quelques flux humides qui ont donné des précipitations moyennes et bien réparties sur le nord - ouest : du Rharb jusqu'au Saïs . Simultanément , d'énormes quantités de précipitations se sont abattues sur le Rif occidental et central . Certes, ces flux océaniques humides , dirigés à peu près perpendiculairement à la ligne des crêtes du Rif, se retrouvent brusquement soulevés et se régénèrent sur les premières hauteurs du Rif (occidental) ; le même phénomène se répète dans le Rif central et s'épuise sur place . Par conséquent , ces masses d'air humides arrivent sèches au Rif oriental , malgré la situation montagneuse d'Al-Hoceïma qui tend à augmenter l'instabilité . Les pluies sont importantes que dans le Rif central , à Tissa les précipitations dépassent 659.0 mm, mais elles restent inférieures à celles enregistrées à Chaouen 119.7 mm , avec une diminution sensible vers l'est à tel point que Al-Hoceïma n'enregistre qu'une très faible quantité 118.7 mm soit quatre fois moins que Tissa et six fois moins que Chaouen . Donc le contraste pluviométrique est net entre l'est et l'ouest à cause de l'effet orographique . Certes, les variations régionales sont très importantes par l'action du relief . Les maximums pluviométriques sont enregistrés aussi bien sur les

hauteurs du Rif que sur les collines du Prérif et diminuent sensiblement dans le Rharb et le Moyen Atlas puis deviennent insignifiantes dans le Saïs et la trouée de Taza , ainsi que dans l'oriental .

### 3 - 5 - 2 Opposition nord - sud de 1974

En hiver et au printemps de 1974 , par contre, les plaines Atlantiques , le Saïs le Moyen Atlas et le couloir de Taza ainsi que la basse Moulouya et la plaine des Anngad ont connu un fort excédent de : 94.0 mm à Casa , 117.6 mm à Ben Slimane , 44.5 mm à Kenitra , 81.7 mm à Fès , 27.6 mm à Taourirt et 142.9 mm à Oujda, alors que la côte méditerranéenne et la péninsule Tingitane sont déficitaires (exception faite pour Tanger 32.5 mm) de : - 34.5 mm à Larache , - 111.3 mm à Ceuta , - 150.3 mm à Tetouan et - 188.6 mm à Chaouen puis , - 68.9 mm à Al-Hoceima ainsi qu'à Melilla (-48.5 mm) (fig. 78) .

Les perturbations du sud et du sud - ouest sont responsables de cette opposition régionale . Certes, elles ont provoqué de fortes pluies selon l'orientation des régions par rapport aux flux en arrosant les régions directement exposées ( plaines Atlantiques , Saïs , Moyen Atlas et la plaine des Anngad ), alors que l'intensité des pluies diminuaient sur les régions abritées (le Prérif et le Rif) .

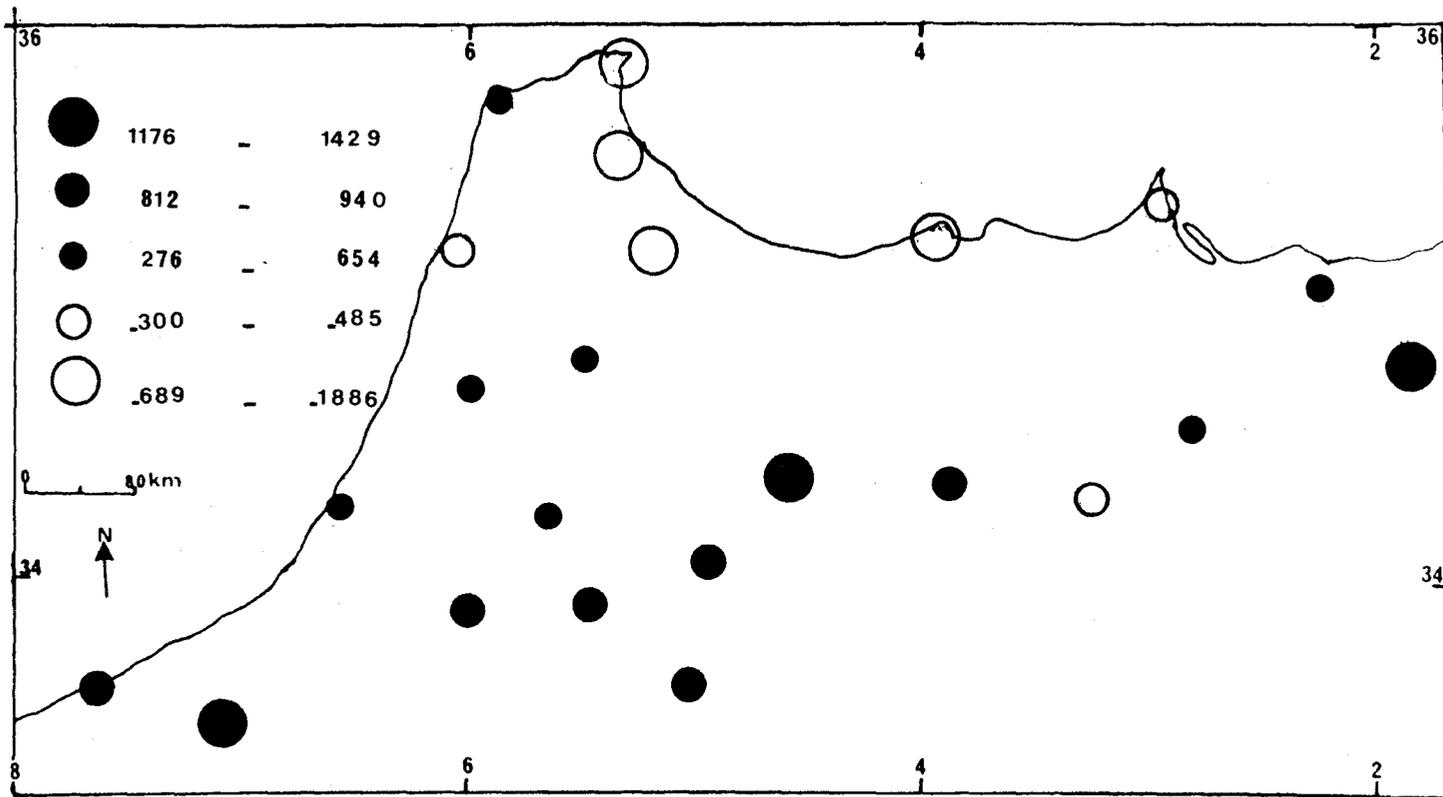


Fig.78

L'écart à la moyenne des précipitations saisonnières(hiver-printemps) en1974



## CONCLUSION

L'analyse des précipitations d'"hiver-printemps" fait émerger plusieurs ensembles spatiaux : l'axe un, malgré l'effet de taille qu'il exprime apporte quelques informations supplémentaires en ordonnant les stations sur son côté négatif, selon leurs totaux pluviométriques et leurs zones géographiques, alors que le plan factoriel 1 et 3 qui cumule à peu près 56 % de la variance totale révèle le comportement d'ensemble des trois régions géographiques distinctes : la première couvre l'espace de la basse Moulouya et de la plaine des Anngad jusqu'à Bokkoya (Rif oriental); la deuxième d'une position moyenne se situe à l'intérieur, entre les plaines Atlantiques, le Rif et la trouée de Taza ; à l'ouest, se trouve la troisième région qui couvre l'espace des plaines Atlantiques et de la péninsule Tingitane ; avec des prolongements dans le Prérif jusqu'à Tissa .

L'axe deux reflète le comportement analogue du Maroc oriental et des régions de l'intérieur (Saïs, Moyen Atlas, la trouée de Taza) qui réagissent simultanément dans le même sens et les opposent aux régions du nord - ouest . Certes, la saison de 1965 confirme bien cette opposition, alors que l'hiver-printemps de 1975 les différencie sensiblement et les oppose globalement aux régions du nord - ouest, sud - ouest . Par contre, la saison de 1966 différencie le nord au sud et l'est à l'ouest .

Le troisième facteur, avec 5 % de l'inertie, oppose le nord au sud ; cette constatation est confirmée par les saisons de 1970 et de 1974 et regroupe, séparément, les stations d'influence méditerranéenne et continentale, d'influence méditerranéenne et atlantique et les stations d'influence océanique et continentale, puis les stations de transition. Enfin, le plan factoriel 2 et 3 "hiver-printemps" résume le comportement pluviométrique régional contrasté du Maroc septentrional. Au contraire des pluies d'automne font apparaître un comportement d'ensemble proche de celui des précipitations annuelles, les pluies d'hiver et de printemps jouent un rôle plus décisif dans une détermination fine des ensembles spatiaux du Maroc septentrional.

## **Conclusion générale**

Le but de ce travail était l'analyse des variations spatiales et temporelles des précipitations au Maroc septentrional . La méthode choisie, l'analyse en composantes principales des précipitations annuelles et saisonnières, nécessitait tout d'abord de disposer d'un ensemble cohérent et homogène de données pluviométriques . Avant de pratiquer l'analyse factorielle, quatre traitements préalables ont donc été effectués sur les données afin d'en tester la fiabilité et de corriger les erreurs, ou de combler les lacunes . Dans le cas de stations présentant une hétérogénéité des données , les totaux pluviométriques mensuels et annuels ont été corrigés par la technique des rapports des pentes de la méthode des doubles masses . Les lacunes ont été comblées par la régression linéaire simple , en alignant les séries lacunaires sur celles des postes voisins du réseau principal , généralement homogènes . La recherche des anomalies ou des hétérogénéités des séries a fait appel , outre la méthode des doubles masses déjà citée, à d'autres tests (tests d'Abbe, de Conrad et de Bartlett), généralement plus sélectifs .

L'analyse factorielle en composantes principales a été appliquée à un ensemble de données réduit à 23 stations ( au lieu de 39) et globalement homogène . Cette méthode a été appliquée successivement aux précipitations annuelles , aux précipitations

d'automne (Septembre et Décembre inclus) et aux précipitations d'hiver-printemps (Janvier - Avril) . La trop grande inégalité et la faiblesse des précipitations d'été nous a conduit à renoncer, à effectuer l'analyse factorielle dans ce cas .

L'analyse des précipitations annuelles fait émerger plusieurs ensembles spatiaux . Le premier axe met en évidence un espace unique à cause du fort poids de toutes les stations qui se regroupent à l'extrême sud de l'axe dans un intervalle variant de - 5 à Taourirt à - 9.5 à Ifrane . Alors que, dans les autres analyses ressortent deux ensembles disjoints ; l'un recouvre l'espace du Maroc oriental de Bokkoya à la basse Moulouya et à la plaine des Anngad . L'autre englobe la péninsule Tingitane , les plaines Atlantiques et les régions de l'intérieur , avec des prolongements dans les collines du Prérif jusqu'à la trouée de Taza , d'un poids très fort pour Ifrane (- 9.4) , Fes(- 8.7), Meknes (- 8.5) et Tanger (- 8.4) . Les autres axes contribuent faiblement à l'explication de la variance totale , néanmoins révèlent de nouveaux ensembles qui tendent à d'autres structurations .

- La deuxième composante révèle trois ensembles géographiques avec quelques nuances dans les différentes analyses. L'axe deux annuel distingue entre les stations de l'occidental en séparant les plaines Atlantiques de la péninsule Tingitane et du Rif , en même temps les premières s'associent aux régions de l'intérieur . Par contre dans les autres études (automne et hiver-printemps) les régions de l'intérieur s'écartent des autres stations de l'occidental et s'individualisent davantage près du

centre de l'axe, tandis que l'ensemble du Prérif et de la péninsule Tingitane s'étendent sur les plaines Atlantiques jusqu'au sud ,à Ben Slimane et à Casablanca . En revanche , l'ensemble occidental s'oppose à celui de l'oriental ,alors que les régions de l'intérieur s'opposent faiblement à cause de leur position moyenne près du centre , comme<sup>le</sup> révèle l'axe trois annuel Certes, l'axe deux oppose l'oriental à l'occidental ;en même temps le facteur trois saisonnier oppose toutes les stations de la variante nord à celle de la variante sud .

Les séries chronologiques correspondant à la première composante de chacune des trois ACP effectuées font apparaître, malgré des différences d'intensité d'un secteur à l'autre dans l'ensemble du Maroc septentrional, des ensembles d'années ou de saisons globalement sèches (1961, 1974, 1981, 1984) ou globalement humides (1960, 1963, 1969) très concordantes; avec cependant des nuances saisonnières . Ainsi en 1961, année globalement sèche, les totaux pluviométriques d'hiver-printemps ont été très médiocres, alors que ceux de l'automne n'ont été que faiblement inférieurs à la moyenne ,et même supérieurs à la moyenne dans le nord-ouest . En 1974 ,la sécheresse a été intense en automne et nettement sensible en hiver-printemps . On trouve quelques oppositions de même type pendant les années très excédentaires de 1963 et 1969 .

En revanche ,la série chronologique correspondant à la deuxième composante présente des variations temporelles opposées selon les saisons et les ensembles régionaux . Elle a été

illustrée par les années 1970 et 1973, les automnes 1968 et 1980, les hivers-printemps de 1970 et 1975 : alors que le Maroc occidental est plus arrosé que la moyenne, le Maroc oriental est plus sec ou vice-versa . Les troisièmes et quatrièmes composantes ,malgré des taux d'explication de la variance plus faibles ,reflètent le poids de quelques années déterminantes, pendant lesquelles des petites régions s'individualisent nettement au sein des grands ensembles régionaux .

Les oppositions régionales ou temporelles dégagées par l'analyse factorielle en composantes principales s'expliquent d'ailleurs parfaitement par la conjugaison des mécanismes atmosphériques et des facteurs locaux (en particulier par l'orographie) . L'ACP se révèle donc comme un préalable à l'analyse synoptique détaillée des types de circulation ou à l'analyse fine des facteurs locaux du climat .

## **Bibliographie**

**I - Sources et documents :**

- Atlas du Maroc :
  - Planche n 4 : précipitations annuelles
  - Planche n 6b : les étages bioclimatiques
- Les ressources en eau du Maroc ; 3 tomes 1971
- Les séries des précipitations mensuelles et annuelles
- Les cartes synoptiques

## II - OUVRAGES ET ARTICLES SUR LA CRITIQUE DES DONNEES

- ARLERY R. (1970) : Critique des données climatologiques existantes et estimation des valeurs manquantes.S.H.F.;rapport 2 ,p.1 - 7 .
- ARLERY R. ,GRISOLLET H.& GUILMET B. (1973) : Climatologie méthodes et pratiques.2ème série;Gautier-Villars.Paris.
- BRUNET-MORET Y. (1980) : Retour sur l'homogénéisation des pluies annuelles par vecteur régional . La météorologie VI série nx 20-21. p.61 - 63 .
- BRUNET-MORET Y. (1971) : Etude de l'homogénéité des séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. Cahier d'O.R.S.T.O.M. série Hydrologie vol.VIII n 4.p.3 - 31 .
- DUBREUIL P. (1974) : Initiation à l'analyse hydrologique.Masson & Cie;O.R.S.T.O.M.,Paris.
- JOSE LIAMAS (1985) : Hydrologie générale : principes et applications ; Edition Gaetan Morin,Canada.
- MASSON J.M. (1974) : Méthodes de critique et d'homogénéisation du fichier pluviométrique ; application du bassin de l'Isser. Laboratoire d'Hydrologie.Univ.des Sc.et Tech.Montpellier.
- MURRAY R.SPIEGEL (1984) : Théorie et application de la statistique . Série Schaum ; Paris .
- PETIT-RENAUD G. (1986) : L'analyse des séries chronologiques en climatologie : problèmes et méthodes. Brouillons Dupont ,p.26-40.
- PETIT-RENAUD G. (1983) : Remarque sur l'homogénéité des précipitations et l'analyse de leur évolution en Scandinavie. Homme et Terre du Nord.p.45-54.
- PETIT-RENAUD G. (1980) : Les principaux aspects de la variabilité des précipitations dans le Nord de la France. Recherches Géographiques à Strasbourg, 13-14;p.31-38.
- REMENIERAS (1976) : Hydrologie de l'Ingénieur. Collection de la direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France;Paris.
- RUFFRAY P. (1981) : Un procédé d'estimation des données manquantes fondé sur les corrélations climatiques entre postes voisins.La Météorologie ; p. 47-58 .
- THIRRIOT CH. & KEBAILI Z (1982) : L'hétérogénéité des averses et assainissement pluvial:exemple Tunisien ; S.H.F.rapport 1,p.1-7.
- TRENDEL R. (1978) : Méthodes de critique des données pluviométriques. Monographie 102 ; La Météorologie Nationale,Paris.

III - OUVRAGES ET ARTICLES SUR L'APPLICATION DE L'ANALYSE  
EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

BERNARD M. cl. ,LAVIT Ch. (1985) : L'étude des sociétés rurales du Languedoc-Roussillon (1954-1975) . Application de la méthode "Statis" . 110-ème congrès national des Sociétés Savantes, Montpellier ,p. 1-5

DE LAGARDE J. (1983) : Initiation à l'analyse des données édition Dunod

DELANNOY H. & DOUGUEDROIT A. (1984) : Les variations des précipitations printanières dans le sud-ouest européen et le Maghreb occidental (1916-1965) . Revue de Géographie de l'Est . 1 ; p.47-63

DELANNOY H. & DOUGUEDROIT A. (1985) : Répartition spatiale et variations temporelles des précipitations hivernales (cas du sud-ouest européen et du Maghreb occidental) . Journées de Climatologie ,Paris ,Physio-Géo. 12 , p.59 - 65

DELANNOY H. & DOUGUEDROIT A. (1983) : A propos des précipitations dans le sud-ouest européen et le Maghreb occidental . Actes de la conférence : "Eaux verte, Eaux bleue" . La Météorologie , 34 p. 169 - 181

DELANNOY H. (1981) : Quelques reflexions à propos de l'analyse factorielle des précipitations annuelles des stations cotières marocaines . Eaux et Climats , Mélanges Géographiques offerts à Ch. P. PEGUY . Grenoble ER. 30 , p.165 - 178

DELANNOY & LECOMPTE M. (1981) : Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des précipitations quotidiennes un exemple au Maroc ,Méditerranée , 4, p.29 - 36

DOS SANTOS PESSOA (1972) : Analyse factorielle des correspondances : une application à un problème de sociologie . Thèse de 3-ème cycle ,Université des Sciences et Techniques de Lille

FOUCART J. (1985) : L'analyse factorielle et programmation . Masson

GROUPE CHADULE (1987) : Initiation aux pratiques statistiques en géographie . 2-ème édition , Masson

HUFTY A. (1982) : Analyse en composantes principales des situations synoptiques au Québec . Géographie Physique et Quaternaire , Montréal, 3 , p.307 - 314

HUFTY A. (1981) : Les types de temps à Alger (analyse multivariée) . La Météorologie VI-ème série ,26 ,p.93-100

- HUFTY A. (1976) : Situations synoptiques et analyse multivariée des temps à Québec . Cahier de Géographie du Québec , 20 (49) ; p.69-92
- LAVIT Ch. & PEREZ-HUGALDE C. (1985) : The statis method applied to economic data: multivariate evolution of the spanish provinces, 4-ème journées Internationales:Analyse des données et Informatiques ; Versailles ,9- 11 octobre ; poster, p.7 - 10
- LAVIT Ch. & PERNIN M.O. (1987) : Multivariate and longitudinal data on growing children, soleved by Stasis . Comparaison de plusieurs méthodes appliquées à des données auxologiques . Ins and outs of solving real problems , Plenum ,London
- LEBART A. MORINEAU N. TOBARD (1977) : Techniques de description statistiques . Dunod ,Paris
- LECOMPTE M. (1984) : Biogéographie de la montagne marocaine : le Moyen Atlas central . Thèse ,Montpellier
- MAHERAS M. (1983) : Situations synoptiques et analyse factorielle des précipitations torrentielles en Grèce . Actes de la conférence "Eaux verte Eaux bleue" . La Météorologie ,p.139 - 143
- MARTIN S. & FEYT G. (1984) : Modélisation statistique des variations de la pluviométrie au cours de la dernière période séculaire en Europe occidentale ( du 42-ème au 50-ème de latitude nord) . Revue de Géographie de l'Est 1, p.27 - 45
- MARTIN S. & M.F. DE SAITIGNON (1974) : Application de l'analyse factorielle en composantes principales à l'étude de la variabilité régionale et interannuelle de précipitations archédoises . Revue de Géographie de Lyon ,49 ; 1 ,p.77 - 92
- PETIT RENAUD G. (1978) : La circulation atmosphérique sur l'Atlantique Nord et les régions bordières au delà du 50-ème parallèle depuis 1931 . Homme et Terre du Nord , 2 ,p.59 - 72
- PETIT RENAUD G. (1980) : Circulation atmosphérique sur l'Atlantique Nord au delà du 50-ème parallèle et types de temps à Jan Mayen en janvier . Actes du colloque d'Hydrologie:" Prévission des débits " . Cahier de Géographie Physique de l'Institut de Géographie ; Lille I ,p.93 - 150
- PAGNEY M. (1983) : La dynamique des précipitations au sud de la Méditerranée . Actes de la conférence "Eaux verte, Eaux bleue" . La Météorologie ,p. 45 - 59

#### IV - GENERALITE

- AFKIR EL. (1985) : Le bassin versant de l'Inaouen : caractéristiques climatiques et comportement hydrologique (Maroc) Thèse de 3-ème cycle, Toulouse .
- AGHZAF A. (1985) : Bassin versant de Tigrigra (Maroc) : étude hydrologique . Thèse de 3-ème cycle, Toulouse .
- BELLICHI A. (1983) : Les climats thermiques du Maroc nord-occidental . Thèse de 3-ème cycle ; Université d'Aix Marseille II .
- BLANCHET G. (1976) : Le temps au Liban : approche d'une climatologie synoptique ; deux tomes .
- CARREGA P. (1982) : Les facteurs climatiques limitant dans les Alpes occidentales . Analyse spatiale quantitative et appliquées Nice .
- CATAFAGO S. & NAJEM W. (1976) : Contribution à l'étude de la pluviométrie Libanaise . Thèse de docteur Ingénieur ; Université des Sciences et Techniques de Languedoc , Montpellier .
- COUVREUR Mme F.L. (1972) : Les précipitations dans quelques stations du littoral de la mer d'Alboran . Revue de Géographie du Maroc , 21 ; p.85 - 103 .
- DAHMANI M. (1984) : Aptitudes et contraintes du milieu physique sur l'aménagement des plaines de Triffa (Maroc nord-est) . Thèse de 3-ème cycle , Université des Sciences et Techniques de Lille I
- DAUPHINE A. (1983) : Les corrélations pluviométriques en Méditerranée . Actes de la conférence " Eaux verte Eaux bleue " La Météorologie p. 245 - 265
- DE BRUM FERREIRA (1981) : Les types de temps de saison chaude aux Açores . Finistera ( revue portugaise de Géographie ) ; 32 p.231 - 260 .
- DE BRUM FERREIRA (1981) : Les mécanismes des pluies et les types de temps de saison fraîche aux Açores . Finistera , 31 , volume XVI p. 15 - 61.
- DE BRUM FERREIRA (1983) : Etude de la convection au dessous de l'Atlantique tropical au large de l'Afrique occidentale . Centro de Estudios Geograficos , Lisbonne , p.37

- DELANNOY H. (1980) : Remarques sur les brouillards d'été dans quelques stations côtières du Maroc atlantique . Méditerranée 4, p. 37 - 48 .
- DELANNOY H. (1982) : Introduction à l'étude des relations entre les températures des eaux océaniques et les précipitations côtières marocaines . Norois 16 p. 535 - 545 .
- DESPOIS J. & RAYNAL R. (1967) : Géographie de l'Afrique du nord - ouest . Payot ,Paris .
- ESTIENNE P. & GODARD A. (1970) : Climatologie ; Armand Colain Paris .
- GARBAOUI A. (1982) : La terre et l'homme dans la péninsule Tingitane . Thèse , Université Mohammed V Rabat ,Maroc .
- HENIA L. (1986) : La variabilité spatiale des pluies en Tunisie Bulletin de l'Association des Géographes Français .2 p.141 - 147.
- HUETZ DE LEMPS (1969) : Les climats des Iles Canaries ,Paris .
- ISNARD H. (1974) : Le Maghreb ,collection Magellan P.U.F. , Paris .
- KASSAB F. (1979) : Les fortes pluies en Tunisie , Tunis .
- KHAZAAL N. (1981) : Recherches sur les climats méditerranéens français . Thèse de 3-ème cycle ,Sorbonne , Paris .
- LAADOUA A. (1985) : Recherches sur l'évapotranspiration potentielle (ETP) et la variabilité de la sécheresse sur les littoraux du Maghreb et des Iles Canaries . Mémoire de DEA , UFR de Géographie ; Université des Sciences et Technique de Lille .
- LAKMAHARI A. (1981) : Evapotranspiration et bilans hydriques dans quelques stations côtières du Maroc . Thèse de 3-ème cycle, Université de Grenoble I .
- MARTIN J. JOUVER H. LE COZ J. MAURER G. & NOIN D. (1970) : Géographie du Maroc , Hatier .
- MATHIEU L. & CAMILLE EK. (1963) : Quelques observations sur les effets des pluies violentes de janvier 1963 dans le Moyen Atlas et le Prérif (Maroc) . Bulletin de la Société Belge d'étude de Géographie 2 , tome XXXII p. 281 - 299 , Liège .
- MIRO-GRANADA (1983) : Perturbations d'automnes en Méditerranée occidentale . Actes de la conférence "Eaux verte Eaux bleue" La Météorologie p. 291 - 314 .
- MIRO-GRANADA (1983) : Quelques considérations sur la climatologie dynamique des Iles Baléares . Actes de la conférence "Eaux verte Eaux bleue" . La Météorologie p.315 - 332

PAGNEY P. BESANCENOT J.P. & CHABIN J.P. (1983) : Contribution à l'étude de la limite climatique entre domaine méditerranéen et milieu subtropical chaud et sec . Colloque de Bioclimatologie méditerranéenne , Montpellier

PEREZ C. (1979) : Recherches sur l'étagement de la végétation sur le massif du Bou Iblane ( Moyen Atlas oriental) . Thèse de 3-ème cycle , Université d'Aix Marseille III .

PEREZ-DIAZ C. (1982) : Etude des relations entre types de temps et types de circulation du sud - est des Etats Unies . Thèse de 3-ème cycle , Université de Paris VIII .

QUENEY P. (1974) : Eléments de météorologie . Masson , Paris .

RAYNAL R. (1961) : Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental) : étude géomorphologique .

SALOUY A. (1986) : Recherches sur les climats du nord-ouest marocain . Thèse de 3-ème cycle , Université des Sciences et Techniques de Lille .

THEPENIER ROSE-MAG (1983) : Etude des perturbations nuageuses de l'hémisphère nord . Rôle de la convection dans la cyclogénèse . Thèse de doctorat d'Etat . Paris IV.

THEPENIER R.M. (1981) : Etude climatologique des bandes nuageuses pour l'ensemble de l'hémisphère nord . La Météorologie VI série 25 ; p. 61 - 68 .

**Cartes, tableaux et figures**

## TABLEAUX ET CARTES



<u>Les tableaux :</u>	Page
1 - Le réseau des stations	17
2 - La corrélation entre Melilla et Nador	22
3 - La matrice des corrélations	28
4 - Les groupes régionaux	26
5 - Le cumul chronologique des précipitations annuelles de Casa et du groupe ouest	30
6 - Le cumul chronologique des précipitations annuelles de Rabat-Salé et du groupe ouest	33
7 - Les précipitations corrigées de la station de Rabat	37
8 - La variation des précipitations d'octobre et de janvier en 1970	82
9 - Variation des précipitations en 1975	104
10 - L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1968 et de 1980	134
11 - L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps des saisons extrêmes	163
12 - La variabilité des précipitations	177

### Cartes :

1 - Carte de situation générale	9
2 - Le réseau des stations du Maroc septentrional	18
3 - Groupes des stations pluviométriques utilisées pour l'application de double masse	27

## - LES FIGURES

Fig. 1 - Répartition géographique des zones ,où évoluent les bandes nuageuses	11
2 - Bande nuageuse issue du golfe du Mexique	11
3 - Principales zones de cyclogénèse	12
4 - Une approche pour l'analyse des séries chrono- logiques mensuelles et annuelles en climatologie	24
5 - Test de double masse de Casa et du groupe ouest	32
6 - Test de double masse de Rabat et du groupe ouest	34
7 - Test .. .. . de Casa	34
8 - Correction de la série de Rabat	38
9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 et 14 : - Test de double masse du groupe ouest et du groupe central	39
16 ; 17 ; 18 ; 19 ; 20 ; 21 ; 22 & 23 - Test de double masse du groupe ouest et du groupe nord - ouest	45
24 ; 25 ; 26 ; 27 ; 28 ; 29 ; 30 & 31 - Test de double masse du groupe nord - est	49
32 - Plan factoriel des axes 1 et 2 "annuel"	61
33 - Axe des observations	62
34 - Evolution de la première composante des précipitations annuelles	62
35 ; 36 - Evolution des précipitations annuelles : Tanger, Fes, Oujda, Melilla et Ceuta	64
37 - Corrélation facteur/ variable	69
38 - Plan factoriel des axes 2 et 3	70
39 - Coordonnées des observations	75
40 - La variation spatiale des précipitations annuelles en 1970	76
41 - La variation spatiale des précipitations annuelles en 1973	77
42 - Saturations de l'axe 3	87
43 - La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1976	88
44 - L'écart à la moyenne des précipitations annuelles de 1961	89
45 ; 46 - Les cartes synoptiques	96
47 - La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1972	100
48 - La répartition spatiale des précipitations annuelles en 1975	103
49 - Saturations de l'axe 1	119
50 - Evolution de la 1-ère composante des précipitations d'automne	119
51 - Le déficit pluviométrique automnal en 1974	121
52 - Axe 2 : Corrélation facteur/variable	125
53 - Plan factoriel des axes 2 et 3	126
54 - Les saturations de l'axe 2	132
55 - L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1968	133
56 - L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1980	136
57 - Evolution de la 3-ème composante des	

	précipitations automnales	138
58 -	L'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1961	140
59 -	L'ecart à la moyenne des précipitations automnales de 1979	141
60 -	Les saturations de l'axe 4	144
61 -	l'écart à la moyenne des précipitations automnales de 1976	146
62 -	Plan factoriel des précipitations d'hiver-printemps des axes 1 et 2	151
63 -	Axe 1 : corrélation facteur / variable	151
64 -	la saison exceptionnellement sèche de 1961	154
65 -	La variation spatiale des précipitations d'hiver-printemps de 1969	155
66 -	L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps de 1971	156
67 -	Saturations de l'axe 1	158
68 -	Axe 2 : corrélation facteur / variable	161
69 -	Saturations de l'axe 2	162
70 -	L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps de 1975	164
71 -	L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps de 1965	165
72 -	L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps de 1966	166
73 -	Axe 3 : corrélation facteur/variable	168
74 -	Plan factoriel (1 - 2) des précipitations d'hiver-printemps	170
75 -	Plan factoriel (2 et 3) des précipitations d'hiver-printemps	171
76 -	Saturations de l'axe 3	176
77 -	L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps de 1970	178
78 -	L'écart à la moyenne des précipitations d'hiver-printemps de 1974	181



