

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

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

Thème

Analyse Temporelle des Précipitations
dans le Bassin Versant
de la SOUMMAM

Proposé et Dirigé par :

M^R R. OULD -AMARA
M^R A.BERMAD

Etudié par:

M^{LE} Ch . SALHI

Promotion JUIN 2000

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

A mes frères Yacine, Amine et Tahar

A ma sœur Amina

A tous mes oncles et tantes

A mes cousins et cousines

A tous mes proches

A tous mes amis

Et à tous ceux qui m'ont connue et aimée

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie le bon DIEU de m'avoir donnée le courage d'arriver à ce stade du savoir.

J'exprime mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation et à la réalisation de ce modeste travail en particulier :

- Mon promoteur, M. BERMAD pour sa patience, sa gentillesse, son sérieux, son bon humeur et son suivi le long de mon cycle d'étude.
- Mon copromoteur M. OULD-AMARA, pour ses conseils, sa compréhension, son aide et son suivi.
- M. Hamid Ali de l'ANRH, pour son aide et son soutien en matière de données et informations.
- M. Bey de l'ANRH, pour toutes les informations qu'ils m'a donné, pour sa gentillesse, pour son soutien morale et sa compréhension.
- M. DECHEMI, pour ses conseils, et ses critiques et ses encouragements.

Je saisis l'occasion pour remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

J'adresse mes vifs remerciements également :

- A mes parents, qui m'ont toujours soutenu, encouragé et qui ont tant peiné pour faire de moi ce que je suis.
- A mon frère Yacine qui m'a tendu la main et m'a tant aidé.
- A mes frères et ma sœur, que je remercie DIEU pour leurs présence à mes cotés.

J'exprime aussi mes remerciements :

- A mes tantes bien aimés et leurs famille en particulier : tante Hayet et tante Mériem.
- A mes cousines, en particulier : Majda, sa copine lyla et Souhila qui m'ont beaucoup aidé.
- A tout mes oncles adorés en particuliers : oncle Salah et sa chère famille.
- A toute ma promotion d'Hydraulique, et à tous mes amis en particuliers ceux du département Génie Chimique.

Résumé

Analyser la variabilité temporelle des précipitations dans le bassin versant de « la Soummam », demande un traitement statistique de ses stations représentatives afin de détecter le phénomène de la sécheresse et le changement du régime pluviométrique s'ils existent.

Mots clés :

Précipitations, sécheresse, régime pluviométrique.

Abstrat

To analyze the temporal variability of precipitations in the catchment area of "Soummam", requires a statistical processing of its representative stations in order to detect the phenomenon of the dryness and the change of the pluviometric mode if they exist.

Key words:

Precipitations, dryness, pluviometric mode.

ملخص :

إن دراسة تغيرات التساقط بالنسبة للزمن في منطقة "الصومام" يتطلب معالجة ممطياته المثالية من أجل الكشف عن ظاهرة الجفاف وتغير نظام التساقط إن وحيث.

الكلمات المفتاحية :

التساقط ، الجفاف ، نظام التساقط

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau II.1 - Répartition hypsométrique du bassin versant de la Soummam.
- Tableau II.2 - Longueur des cours d'eau.
- Tableau II.3 - Rapports de confluence respectifs des différents ordres de cours d'eau.
- Tableau III.1 - Caractéristiques géographiques des stations pluviométriques.
- Tableau III.2 - Tableau synoptique de durées de fonctionnement et d'arrêt des stations.
- Tableau III.3 - Caractéristiques géométriques des stations pluviométriques représentatives.
- Tableau III.4 - Comblement de lacunes par la moyenne mensuelle interannuelle.
- Tableau III.5 - Coefficients de corrélation interstations.
- Tableau III.6 - Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire.
- Tableau III.7 - Résultats du Test d'anomalie.
- Tableau III.8 - Test d'indépendance des données pluviométriques.
- Tableau III.9 - Résultats du test d'homogénéité des séries pluviométriques.
- Tableau IV.1 - Moyenne Mobile des données pluviométriques.
- Tableau IV.2 - Ecart à la moyenne.
- Tableau IV.3 - Présentations des variables et individus.
- Tableau IV.4 - Paramètres statistiques.
- Tableau VI.5 - Matrice des coefficients de corrélation entre les stations.
- Tableau IV.6 - Variance expliquée par chaque Cp.
- Tableau IV.7 - Présentations des axes principaux.
- Tableau IV.8 - Composantes principales.
- Tableau V.1 - Caractéristiques statistiques des six stations.
- Tableau V.2 - Moyenne Mobile des 6 stations.
- Tableau V.3 - Cumul des écarts pluviométrique de la station de sourelghozlane.
- Tableau V.4 - Cumul des écarts pluviométrique de la station de El asnam.
- Tableau V.5 - Cumul des écarts pluviométrique de la station de Ighil Ali.
- Tableau V.6 - Cumul des écarts pluviométrique de la station de Bouira.
- Tableau V.7 - Cumul des écarts pluviométrique de la station de Tixter.
- Tableau V.8 - Cumul des écarts pluviométrique de la station de Bir Kasdali.
- Tableau V.9 - Matrice de corrélation entre les stations de la période totale.
- Tableau V.10 - Variance expliquée par chaque CP.
- Tableau V.11 - Cumuls de la liere composante principale.

Tableau V.12 - Paramètres statistiques des deux périodes.

Tableau V.13 - Ecart et indice pluviométrique de la station de sourelghozlane des deux périodes.

Tableau V.14 - Ecart et indice pluviométrique de la station d'El Asnam des deux périodes.

Tableau V.15 - Ecart et indice pluviométrique de la station d' Ighil Ali des deux périodes.

Tableau V.16 - Ecart et indice pluviométrique de la station de Bouira des deux périodes.

Tableau V.17 - Ecart et indice pluviométrique de la station de Tixter des deux périodes.

Tableau V.18 - Ecart et indice pluviométrique de la station de Bir Kasdali des deux périodes.

Tableau V.19- Apports et Déficit dépassant 30 % des deux périodes.

Tableau V.20 - Nombre d'années sèches et humides des deux périodes.

Tableau V.21 - Code et numéro des stations.

Tableau V.22- Mois et leurs Numéro.

LISTE DES FIGURES

- Figure II.1 – Les grands bassins versants d'Algérie.
- Figure II.2 – Abaque de Gravelius.
- Figure II.3 - Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam.
- Figure II.5 - Rapport de confluence du bassin versant de la Soummam.
- Figure III.1 - Carte de situation des stations pluviométriques du bassin versant de la Soummam.
- Figure III.2 - Période d'observation des stations pluviométriques.
- Figure IV.1 - Moyennes Mobiles d'ordre 5.
- Figure IV.2 - Moyenne Mobile sur 3 ans.
- Figure IV.3 - Moyenne Mobile sur 4 ans.
- Figure IV.4 - Moyenne Mobile sur 7 ans.
- Figure IV.3 - Cercle de corrélation.
- Figure V.1 - Carte de situation des stations pluviométriques de longue durée.
- Figure V.2 - Evolution des pluies annuelles des six stations.
- Figure V.3 - Moyennes Mobiles des pluies annuelles.
- Figure V.4 - Cumul des écarts à la moyenne.
- Figure V.5 - Cumul de la première composante principale.
- Figure V.6 - Répartition des moyennes des pluies annuelles des deux périodes.
- Figure V.7 - Moyennes Mobiles des deux périodes.
- Figure A - Cercle de corrélation des six stations dans la 1ère période (1923-1959).
- Figure B - Cercle de corrélation des six stations dans la 2ème période (1968-2000).
- Figure C - Cercle de corrélation avec le minimum de lacunes comblées (1ère période).
- Figure D - Cercle de corrélation avec le minimum de lacunes comblées (2ème période).
- Figure V.8 - Estimation des durées des saisons sèches et humides.
- Figure V.9 - Moyennes Mobiles des saisons humides.
- Figure V.10 - Moyennes Mobiles des saisons sèches.
- Figure E - Cercle de corrélation des saisons humides.
- Figure F - Cercle de corrélation des totaux annuels.
- Figure G - Cercle de corrélation des saisons sèches.

Introduction Générale

Chapitre I : Recherche bibliographique	01
Chapitre II : Présentation du bassin versant de la Soummam.....	07
Introduction	
II.1 - Situation géographique.....	07
II.2 - Hydrographie.....	07
II.3 - Conditions climatiques.....	07
II.4 - Morphologie du bassin.....	08
II.5 - Caractéristiques du bassin.....	08
II.5.1 - Caractéristiques physiographiques.....	08
II.5.1.1 - Paramètres géométriques.....	08
II.5.1.2 - Paramètres de forme.....	10
II.5.1.2.1 - Indice de compacité	10
II.5.1.2.2 - Dimensions du rectangle équivalent	10
II.5.1.3 - Paramètres de relief	12
II.5.1.3.1 - La courbe hypsométrique	12
II.5.1.3.2 - Altitudes caractéristiques.....	13
II.5.1.3.3 - Indice de pente globale	14
II.5.2 - Caractéristiques du réseau de drainage.....	15
II.5.2.1 - Classification du chevelu hydrographique.....	15
II.5.2.2 - Densité de drainage.....	15
II.5.2.3 - Rapport de confluence.....	16
II.5.2.4 - Coefficient de torrentialité.....	17
II.5.3 - Caractéristiques du sol et de la couverture végétale.....	18
II.6 - Conclusion.....	18
Chapitre III : Collecte et critique des données.....	19
III.1 - Introduction.....	19
III.2 - Données pluviométriques	19
III.2.1 - Présentation des stations pluviométriques	19
III.2.2 - Répartition temporelle des séries pluviométriques.....	21
III.2.3 - Répartition spatiale des postes pluviométriques.....	24
III.2.5 - Période d'observation des stations pluviométriques.....	25
III.2.6 - Critiques des données pluviométriques	25
III.2.6.1 - Méthodes de comblement des lacunes.....	26
III.2.6.1.1 - Calcul de la moyenne mensuelle interannuelle.....	27
III.2.6.1.2 - Comblement par la régression linéaire.....	28
III.2.6.2 - Méthode de la moyenne.....	28
III.2.6.3 - Comblement par la régression linéaire.....	29

INTRODUCTION GENERALE

La sécheresse est une condition climatique régnant dans une région géographique où les précipitations sont très nettement inférieures aux valeurs habituellement escomptées, par conséquent, il convient d'adopter une distinction entre sécheresse et aridité; ce dernier terme caractérise le climat observé dans une région généralement ou du moins de façon saisonnière sèche.

L'Algérie est un pays semi - aride, ces ressources en eau deviennent de plus en plus limitées et difficiles à exploiter, leurs répartition sur le territoire est inégale.

Elles sont relativement abondantes dans la frange Nord – Est du pays et limitées dans les hauts plateaux où elles sont confinées dans quelques grandes nappes et toutes ces ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans l'espace et dans le temps.

L'objectif de la présente étude est d'analyser la variabilité temporelle des précipitations dans le bassin versant de la Soummam afin de détecter s'il y a un changement du régime pluviométrique.

Dans cette perspective, il est important d'analyser de manière approfondie le phénomène de la pluviométrie, et expliquer l'évolution du régime pluviométrique dans le bassin versant de la Soummam .

Pour cela, on a procédé comme suit :

- *Après une introduction générale, le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique sur les travaux réalisés dans le domaine de l'étude des régimes pluviométriques et la sécheresse.*
- *La présentation du bassin versant de la Soummam à fait l'objectif du deuxième chapitre.*
- *Le troisième chapitre étudie la collecte et critique des données.*
- *Les théories utilisées dans cette étude telle que : l'analyse en composantes principales, la moyenne mobile, l'écart à la moyenne sont présentées dans le quatrième chapitre.*
- *Enfin, l'analyse temporelle des précipitations a fait l'objet du cinquième chapitre.*

CHAPTER 1

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La sécheresse constitue un fléau redoutable pour l'économie fondée essentiellement sur la production agricole et exerce sur les pays non préparés à cet aléa climatique un impact économique et sanitaire qui risque de bouleverser la vie dans certaines régions du monde, et devient l'une des catastrophes climatiques majeures qui affecte aussi l'environnement.

La sécheresse se définit par un déficit des disponibilités en eau par rapport à une situation considérée comme normale pour une période donnée et une région déterminée. En réalité, il existe différents types de sécheresse :

- *La sécheresse climatologique essentiellement liée au déficit pluviométrique ;*
- *La sécheresse agronomique qui fait appel au déficit de la réserve hydrique du sol et à l'état d'avancement de la végétation ;*
- *La sécheresse hydrologique ou hydrogéologique qui se manifeste par des étiages anormaux et un abaissement prononcé des nappes.*

La réduction des précipitations se répercute nécessairement sur le milieu environnant .

La sécheresse est « une décroissance des disponibilité en eau pour une époque particulière »[9].

une sécheresse absolue est durable correspond à l'aridité. Sous le climat méditerranéen, la sécheresse est récurrente, omniprésente en raison de températures élevées et d'une pluviométrie modeste et surtout très variable [8].

Ephémère, la sécheresse peut affecter un mois, une saison ou une année. Elle devient redoutable quand elle persiste deux ou trois années successives.

Les études consacrées aux variations des régimes pluviométriques et la sécheresse sont très nombreuses :

Au Maroc ces études se sont intéressées à la caractérisation de la sécheresse ; soit par le déficit pluviométrique, soit par l'effet de ce déficit sur les cultures. Plusieurs auteurs ont étudiés le déficit pluviométrique à l'échelle annuelle, et ont montré que la sécheresse intervient au Maroc durant toutes les décennies sans pour autant avoir une organisation chronologique [10 -13].

D'autres travaux se sont focalisés sur l'étude de la sécheresse à travers son impact sur les cultures par le biais du stress hydrique [14,16]. Plusieurs indices pluviométriques ont été définis, cependant ils ont souvent un caractère annuel et national et sont peu exploitables à l'échelle régionale et saisonnière.

L'étude de l'évolution du climat. En effet, l'augmentation spectaculaire de la fréquence des années sèches durant les deux dernières décennies a suscité un certain nombre de questions relatives à l'aridification du climat marocain [11,13,17,18].

La plupart des auteurs concluent à l'inexistence d'une tendance nette de l'évolution du climat à l'échelle nationale.

Les études consacrées à la prévision de la sécheresse, sont peu nombreuses et relativement récentes. On peut citer les travaux qui ont concerné la relation existante entre la pluie au Maroc et l'indice de l'oscillation Nord – Atlantique.

D'autres auteurs se sont intéressés à la possibilité de prévoir la pluie du printemps connaissant celle de l'automne [19].

Barakat et al. [20] ont défini un indicateur de la sécheresse sur la base du cumul du déficit pluviométrique du milieu de la campagne agricole. Par ailleurs d'autres travaux sont en cours à la Direction nationale relatifs à l'impact de la température de la surface de la mer sur les précipitations.

Des études qui ont été menés pour décrire la persistance de la sécheresse en Tunisie telle que celle élaborée en utilisant la méthode des chaînes de Markov à des données pluviométriques annuelles et qui avait pour but de préciser la probabilité de la sécheresse dans un pays où elle est fréquente et peut durer plusieurs années [21].

les résultats dégagés à la suite de cette analyse sont que, quelles que soit les conditions de sécheresse ou d'humidité au départ :

- *la probabilité d'avoir une année « sèche » est plus faible que la probabilité d'avoir une année « non sèche » ;*
- *Il existe une disparité nette entre les régions Nord, Centre et Sud ;*
- *Une différenciation très nette apparaît entre l'Est et l'Ouest pour le Nord et le Sud mais elle disparaît dans la Tunisie du Centre où la distinction entre le Centre – Ouest et le Sahel n'est plus sensible.*

Certains auteurs sont intéressés à l'étude de la pluviométrie et les indices de sécheresses [22], d'autres à la Modélisation stochastique des sécheresses annuelles et pluriannuelles [23] et à la contribution statistique de la pluie dans la région de Tunisie.

La majorité de ces auteurs ont prouvé l'existence de la sécheresse en Tunisie par exemple dans le bassin de Medjerda, les sécheresses ont été nombreuses et de sévérité inégale, mais rarement persistantes.

Plusieurs études ont été réalisées sur la variabilité du régime pluviométrique en Algérie ; certains auteurs ont étudié le régime pluviométrique sur le littoral algérien en utilisant la méthode des chaînes de Markov, l'analyse en composantes principales et la simulation et ont montré qu'il y a une stabilité du régime pluviométrique sur tout le littoral algérien [24].

Une autre étude a été réalisée par l'Agence Nationale des Ressources hydriques sur la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord en utilisant la Régression « pluviométrie - morphométrie », le résidu de régression et le cumul des écarts à la normale [25].

L'étude a montré que :

- Quelque soit la zone, de 1922 à 1938 environ, la pluviométrie est supérieure à la normale de 6%.
- A partir de 1939 commence une période sèche (déficit de l'ordre de 11% et un peu moins à l'Ouest), mais elle s'arrête dès 1946 environ à l'Ouest et au Centre, alors qu'elle se poursuit jusqu'en 1950 à l'Est.
- A cette période sèche succède une seconde période pluvieuse qui s'étale jusqu'en 1972 environ.
- Enfin de 1973 à nos jours la tendance est nettement à la sécheresse. La différence entre l'Est du pays et le reste réside essentiellement dans l'intensité de cette sécheresse : à l'Est n'est que de l'ordre de 7% alors qu'à l'Ouest et au Centre, elle est de l'ordre de 13%.

L'analyse de la pluviométrie dans la région d'Alger et le développement d'un modèle de prévision de ce paramètre, un traitement statistique a été effectué sur les données de la station d'Alger pour comprendre le phénomène étudié et contribuer mieux à gérer les ressources hydriques existantes en modélisant cet aléa par des techniques telles que l'analyse des composantes principales et les chaînes de Markov [29].

L'étude a montré que :

- La situation hydrique actuellement déficitaire à Alger n'est pas le fait d'une sécheresse mais plutôt d'une succession d'années déficitaires. L'aggravation de cette situation a été accélérée par l'absence d'une politique claire en matière de la gestion des ressources hydriques.
- Un modèle de prévision de pluies au pas de temps mensuels a été développé, celui-ci est basé sur l'analyse en composantes principales et des chaînes de Markov [29].

Une autre étude consacrée aussi à l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien, en utilisant la méthode des écarts à la moyenne et l'analyse en composantes principales [30].

L'étude a montré que :

- *Un changement du régime pluviométrique sur les régions de l'Ouest et Centre durant les deux dernières décennies. Ce changement (appelé improprement sécheresse) est du principalement au cumul du déficit pluviométrique durant cette période (succession d'années déficitaires) à l'Ouest mais s'aggrave dans la région du Centre.*
- *Un modèle de prévision basé sur les modèles ARMA a été établi, il a pu représenter fidèlement la tendance du régime pluviométrique à l'échelle mensuelle.*

L'étude des précipitations et des pressions de surface dans le bassin méditerranéen au pas de temps saisonnier de 1915 – 1916 à 1987 –1988, basée sur une ACP avec rotation (ACPR) à montré que les régions pluviométriques étudiées présentent pour toutes les saisons des évolutions tendanciennes non significatives à l'exception de la Grèce où les pluies de la saison pluvieuse diminuent de façon significative [4].

Les résultats de l'étude des précipitations en utilisant 74 stations également réparties sur le Nord algérien a donné les résultats suivantes :

1. *Durant des années très isolées (1937-1961-1970) avec particulièrement une saison agricole 1960 – 1961 très déficitaire où la station de Guelma a enregistré 51% de déficit par rapport à la normale.*
2. *Durant deux longues périodes :*

De 1943 à 1948, il y a eu des répercussions importantes sur les récoltes et le cheptel (durant la saison agricole 1944/1945) les pluies mesurées à Oran et Mascara ont été à peine de l'ordre de 45% par rapport à la normale et les rendements de céréales en cette année ont été inférieure à 25% des rendements moyens.

A partir de 1980, elle à en fait commencé endroits en 1973 et n'a pas cessé depuis de se manifester à des intervalles n'excédant pas deux années consécutives bien qu'elle était entrecoupée d'année de bonne pluviométrie (1979, 1980, 1985, 1986).

Entre ces deux périodes de déficit; s'étale une période à pluviométrie annuelle moyenne souvent supérieur à la normale avec quelques perturbations limitées dans l'espace.

La contribution à l'étude de l'évolution de la pluviosité dans quelques stations steppiques algérienne (Sud - Oranais et Sud -Algérois) basée sur tests de tendance non paramétriques

(test de Mann Withney, Wilcoxon et Spearman) a montré une tendance à l'assèchement qui diffère d'une région à l'autre [6].

En outre, l'analyse du déficit pluviométrique qui touche actuellement l'Algérie a montré que les années de sécheresses sont principalement occasionnées par une diminution des pluies d'hiver, et une baisse de la fréquence des fortes précipitations, il a été remarqué que certaines années de sécheresse sont influencées par le phénomène EL NINO, les résultats ont

montré que lors d'une épisode EL NINO, les pluies d'hiver présentent une forte probabilité d'être inférieure à la moyenne [7].

Une autre étude à été consacré aux pluies annuelles et journalières dans le Sahara algérien qui sont caractérisées par leurs faible importance et les pluies torrentielles sont rares.

Pour étudier cette variation temporelles et spatiales des pluies annuelles (la moyenne ponctuelle de « n » totaux pluviométriques annuels) et maximales journalières (la plus forte pluies journalière observée chaque année) dans le Sahara algérien, 23 stations pluviométriques ont été sélectionnées.

L'étude a été faite sur les pluies annuelles, leurs fréquences absolues et les relations entre pluies mesurées au niveau du réseau classique, altitude et coordonnées géographiques déterminées à partir d'un modèle numérique du terrain.

Cette relation a permis d'établir une carte représentant la répartition spatiale de la pluie annuelle. L'évolution des pluies journalières maximales dans le temps a était également étudié ainsi que leurs concentrations à l'échelle mensuelle [28].

Les grandes souffrances qu'a entraîné le phénomène de la sécheresse dès son déclenchement en Afrique sahélienne en 1968 et encore plus en s'étalant par la suite à d'autres parties du monde (Afrique du sud, Afrique de l'Est, Brésil et Australie) ont mené à de vastes programmes de surveillance et de recherches sur le climat.

L'analyse des données des précipitations de ces régions a montré [3] :

Une occurrence de période de déficit en précipitation dans une très vaste zone durant les années 1944, 1945, 1947, 1970, 1973, 1980, 1981, 1982, 1989 et 1990 où la majorité des régions était touchée .

Certaines zones semblent plus affectées que d'autres et notamment :

- L'Algérie et l'Espagne dans la partie occidentale.
- La Grèce et le Moyen Orient dans la partie orientale.

Une quasi – généralisation de la sécheresse pour la majorité de pays du pourtour de la Méditerranée semble apparaître depuis le début de la décennie 80.

La sécheresse est chronique dans certains zones (les périodes de déficit chroniques se sont produit aux même époques).

Analyser la variabilité temporelle de la persistance des épisodes secs en saison des pluies à Lubumbashi au Congo-Kinshasa, tel était l'objectif d'une étude. La répartition mensuelle de la fréquence des jours secs peut influencer à des degrés divers la production agricole.

Plusieurs facteurs locaux (déforestation dans la région de Lubumbashi), régionaux (fréquence de l'alizé de Mascareignes, évolution de la température de l'air) ou planétaires

(oscillation australe et phénomène El Niño) sont évoqués pour expliquer la variabilité temporelle et la persistance des épisodes secs [26].

Cette étude a révélé l'existence de deux changements significatifs de la moyenne des séries mensuelles et saisonnières.

- Le premier changement est survenu vers le milieu de la décennie 40. Il n'a affecté que les trois mois de la pleine saison des pluies (décembre, janvier et février).
- Le second changement s'est produit vers le début de la décennie 80 et a affecté les mois de novembre, de décembre et de février. Seul le mois de mars n'a connu aucun changement significatif de la fréquence des jours secs.

Les auteurs dans la France de l'Ouest sont aussi intéressés à l'étude d'une contrainte climatique trop souvent oubliée telle que la sécheresse en utilisant la méthode de calcul du bilan hydrique.

Cette étude a montré que le risque de la sécheresse dans les régions océaniques de la France de l'Ouest ne doit pas être sous estimé.

Le calcul du bilan de l'eau pour l'ensemble des stations de la France de l'Ouest montre la présence d'un risque réel de sécheresse pendant la saison estivale.

Si la contrainte apparaît modeste en moyenne, la forte variabilité interannuelle de la déficience d'évaporation tempère fortement l'image « perpétuellement humide » de ces régions océaniques.

En outre, la diversité régionale est grande entre les hauteurs, peu touchées en général, et les régions abritées du Sud et de l'Est (Anjou, bassin de Rennes).

L'orientation fourragère (maïs, prairies) et herbagère de l'économie agricole a ainsi fortement été affectée par les épisodes secs de 1989 et 1990.

Cette situation deviendrait problématique si, comme le montrent l'étude de la pluviométrie du mois d'août ou les modèles globaux du climat, le déficit estival venait à s'accroître [27].

CHAPITRE III

PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA SOUMMAM

INTRODUCTION :

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Sa situation géographique et ses caractéristiques physiographiques influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage.

Le temps de concentration t_c qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le bassin versant de la Soummam, vaste de 9125 km^2 est situé dans la partie Nord -Est de l'Algérie entre les méridiens $3^\circ 38'$ et $5^\circ 38'$ et les parallèles de $35^\circ 45'$ et $36^\circ 45'$. Il se trouve à peu près à mi-chemin entre Alger et Constantine (Figure II.1).

Dans sa partie Nord, le bassin de la Soummam est limité par les montagnes de la grande Kabylie (massif de Djurdjura) par la mer Méditerranéenne et les chaînes côtières de la petite Kabylie et au Sud par les contreforts des Monts de la Hodna. A l'Ouest, il comprend le plateau de Bouira et à l'Est celui de Setif [31].

II.2. HYDROGRAPHIE :

Le bassin versant de la Soummam est hydrographiquement très développé, il comprend vers l'Ouest oued Sahel et ses affluents et vers l'Est Oued Bou Sellam et ses deux cours d'eau se rejoignent près d' Akbou pour former l'Oued Soummam qui coule en direction du Nord -Est vers la mer.

II.3. CONDITIONS CLIMATIQUES :

Les conditions climatiques dans le bassin versant de la Soummam ne sont pas uniformes, à Béjaia et dans la vallée de la Soummam inférieure, le climat est essentiellement méditerranéen, généralement humide avec de légers changements de température. Sur les plateaux de Setif et de Bouira, le climat est continental avec des hivers humides et des étés chauds. La partie Sud au plateau de Setif est aride [33].

Les précipitations annuelles dans le bassin versant de la Soummam varient énormément, entre environ 300 mm sur le plateau de Setif et 1000 mm près de la côte de Béjaia, elles atteignent approximativement 1500 mm sur les flancs Sud du massif de Djurdjura. Les étés sont secs, avec seulement 30% des précipitations annuelles pendant la période allant d'avril à septembre.

II.4. MORPHOLOGIE DU BASSIN :

Le bassin versant de la Soummam se compose de dix sous bassins, ces limites correspondent à celles des unités hydrologiques contrôlées par des stations hydrométriques, pour cela l'étude des caractéristiques physiques se fait pour chaque partie contrôlée par une station de jaugeage. Il a une forme irrégulière étirée dans la direction Est -Ouest et accède à la Méditerranée par le Golf de Béjaia.

Le bassin versant de la Soummam est limité par les chaînes de Djurdjura, à l'Est par les montagnes de la petite Kabylie et au Sud par les montagnes des Bibans et de Mansourah.

Son orographie est très prononcé, aux environs de Bouira jusqu'à Akbou, la chaîne de Djurdjura, n'est en aucun endroit inférieure à 1500 m. C'est dans cette partie qu'est situé le plus haut sommet atteignant 2308 m. La hauteur diminue graduellement de Akbou en direction Nord - Est vers la mer.

Les montagnes de l'Est, c'est à dire, les montagnes de la petite Kabylie son également prononcées du point de vue orographie, leur plus haut sommet atteint 2004 m.

La chaîne montagneuse du Sud ne reste pas orographiquement en arrière par rapport aux massifs mentionnés. Les plus hauts sommets sont les Bibans (1832 m) et Mansourah (1863 m).

Nous constatons ainsi, la présence d'un système de barrières naturelles représentées par les reliefs, des chaînes de montagnes qui se dressent face aux vents pluvieux du littoral. Il est en fait un bassin assez bien arrosé.

II.5. CARACTERISTIQUES DU BASSIN :

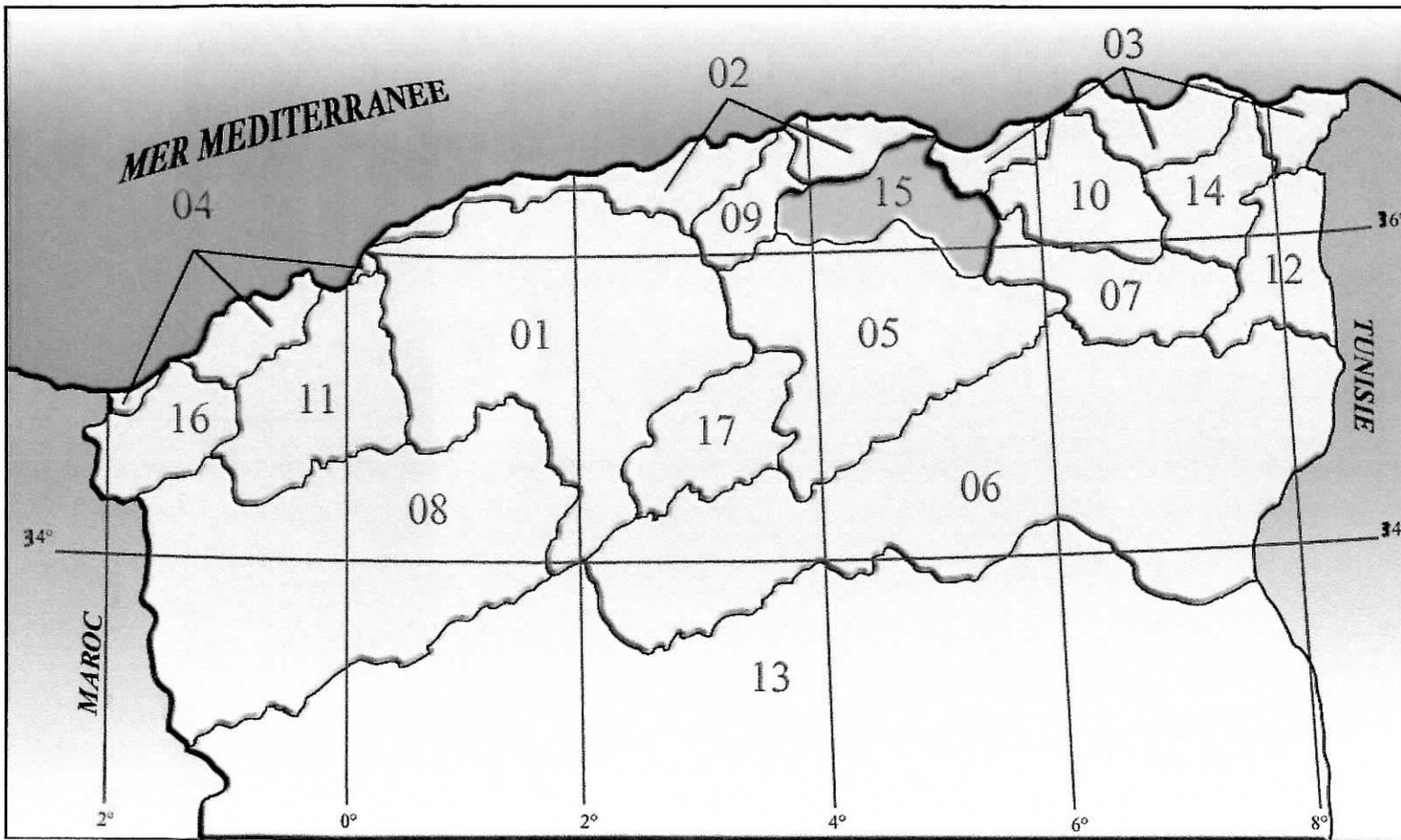
II.5.1 CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES :

II.5.1.1 PARAMETRES GEOMETRIQUES :

La superficie et le périmètre du bassin versant sont respectivement déterminés sur les cartes topographiques au 1/500 000 en utilisant le planimètre et le curvimètre.

Les résultats obtenus sont :

- *La superficie : 9125 km²*
- *Le périmètre : 554 km*



CODE	BASSIN
01	<i>Chélif</i>
02	<i>Cotiers Algerois</i>
03	<i>Cotiers Constantinois</i>
04	<i>Cotier Oranais</i>
05	<i>Chott Hodna</i>
06	<i>Chott Melrir</i>
07	<i>H. Plateaux Constantin</i>
08	<i>H. Plateaux Oranais</i>
09	<i>Isser</i>
10	<i>Kebir Rhumel</i>
11	<i>Macta</i>
12	<i>Medjerda</i>
13	<i>Sahara</i>
14	<i>Seybouse</i>
15	<i>Soummam</i>
16	<i>Tafna</i>
17	<i>Zahrez</i>

FIGURE II.1 - LES GRANDS BASSINS VERSANTS D'ALGERIE

II.5.1.2 PARAMETRES DE FORME :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin, par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus important. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins versants en forme d'éventail présentent un temps de concentration plus court.

Différents indices morphologiques permettent de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Dans le cadre de notre étude les paramètres de forme étudiés sont :

- L'indice de compacité de Gravelius.
- Les dimensions du rectangle équivalent.

II.5.1.2.1 INDICE DE COMPACITE :

Défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

K_G : Indice de compacité de Gravelius.

S : Surface du bassin versant [km^2].

P : Périmètre du bassin versant [km].

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin et sa surface. S'il est proche de 1, le bassin versant est de forme quasi-circulaire et s'il est supérieur à 1, le bassin est de forme allongée.

- Pour le bassin de la Soummam :

$$K_G = 1.62.$$

Donc on a affaire à un bassin de forme allongée avec un temps de concentration assez long.

II.5.1.2.2 DIMENSIONS DU RECTANGLE EQUIVALENT :

La méthode de Roche permet de calculer les dimensions (longueur-largeur) d'un bassin versant de forme rectangulaire ayant une même superficie, un même périmètre et un même indice de compacité :

Les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues par deux méthodes :

- Par calcul :

Longueur :

$$L_{R.E} = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

Largeur :

$$l_{R.E} = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

- Pour le bassin de la Soummam :

$$L_{R.E} = 238 \text{ km}$$

$$l_{R.E} = 38.34 \text{ km}$$

- Par abaque :

L'abaque (Figure II.2) donne la relation entre la longueur du rectangle équivalent et l'indice de compacité.

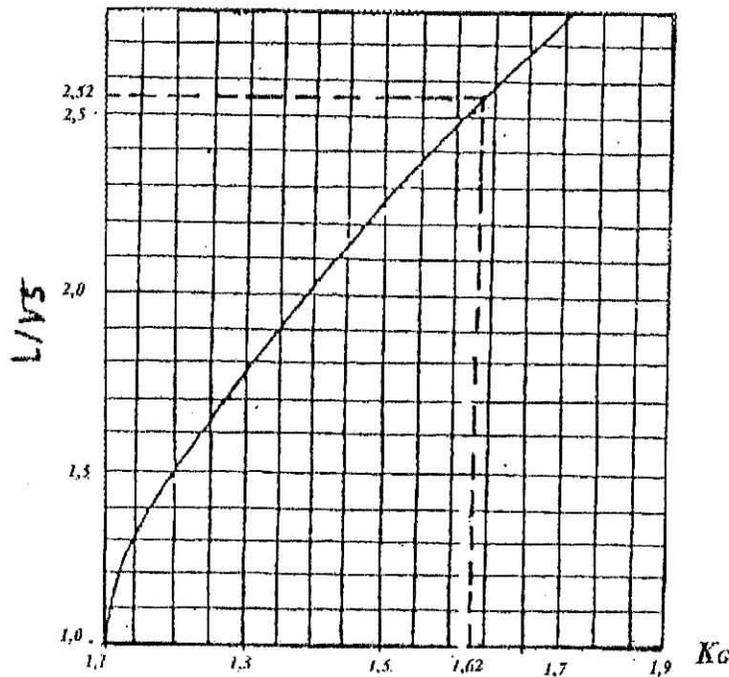


Figure II.2 - Abaque de Gravelius

$$K_G = 1.62 \Rightarrow \frac{L}{\sqrt{s}} = 2.52$$

$$L = 240.72 \text{ km}$$

$$l = 37.90 \text{ km}$$

Bien qu'il y ait une légère différence avec la méthode de Roche mais les valeurs confirment l'allongement du bassin versant et par conséquent un temps de concentration des eaux assez long.

II.5.1.3 PARAMETRES DE RELIEF :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitation, température, ... etc.) et de la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques telles que la courbe hypsométrique, altitudes caractéristiques, ... etc.

II.5.1.3.1. LA COURBE HYPSONOMETRIQUE :

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée.

Remarque :

S_i : maille carrée de 1 cm^2 de surface soit 25 km^2 à une échelle au 1/500 000.

Tableau II.1 - Répartition hypsométrique du bassin versant de la Soummam

classes des altitudes	$S_i(\text{cm}^2)$	H_i (m)	$S_i H_i$	$S_c(\%)$	$S_c (\text{km}^2)$
2-200	15	100	1500	100	9125
200-400	29	300	8700	95.85	8746.31
400-600	57	500	28500	87.91	8021.78
600-800	73	700	55100	72.30	6597.37
800-1000	125	900	112500	52.30	4772.37
1000-1200	44	1100	48400	18.06	1653.46
1200-1400	11	1300	14300	6.01	548.41
1400-1600	7	1500	10500	3.00	273.75
1600-1800	2	1700	3400	1.09	99.46
1800-2000	0	1900	0	0.548	50.00
2000-2200	0	2100	0	0.548	50.00
2200-2400	2	2300	4600	0.548	50.00
somme	365		287500		

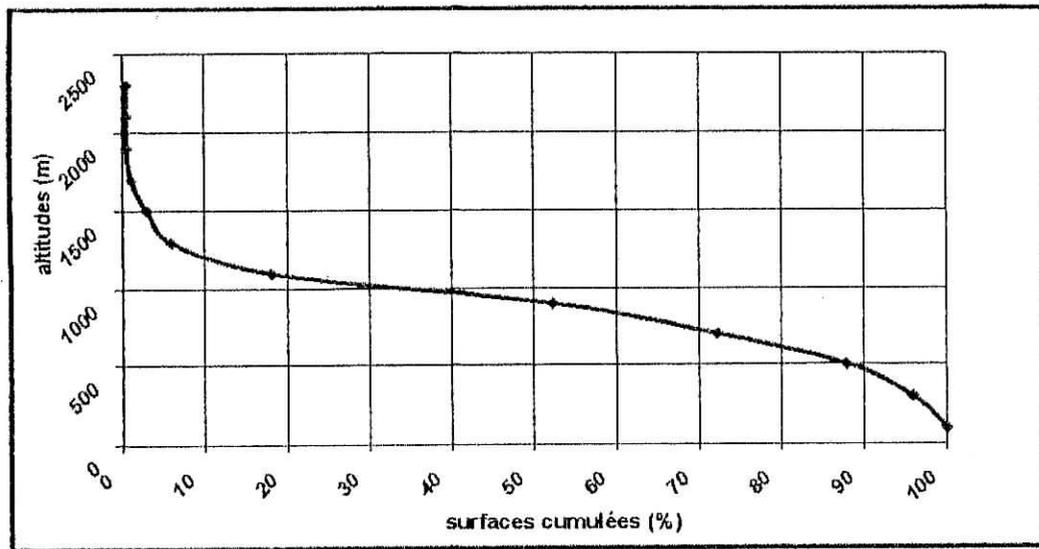


Figure II.3 - Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam.

II.5.1.3.2 ALTITUDES CARACTERISTIQUES :

- ALTITUDES MINIMALE ET MAXIMALE :

Elles sont obtenues directement à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin, tandis que l'altitude minimale est représentée par le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

- Pour notre bassin :

$$H_{max} = 2308 \text{ m}$$

$$H_{min} = 2 \text{ m}$$

- ALTITUDE MOYENNE :

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i S_i}{\sum S_i}$$

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant [m].

S_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2].

H_i : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveau [m].

$$H_{moy} = 787.67 \text{ m}$$

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques.

- **ALTITUDE MEDIANE :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

$$H_{50\%} = 900 \text{ m}$$

REMARQUE :

$H_{50\%} > H_{\text{moy}}$ ($900 > 787.67$) donc le bassin présente une légère dissymétrie vers les altitudes élevées.

- **L'ALTITUDE LA PLUS FREQUENTE :**

Le **Tableau II.1** montre que l'altitude la plus fréquente est comprise entre 800 et 1000 m. Elle est environ 900 m.

5.1.3.3. INDICE DE PENTE GLOBALE :

Il est donné par la relation suivante :

$$I_g = D/L_{RE}$$

Où

D : Dénivelée ou la différence $H_{5\%} - H_{95\%}$.

L_{RE} : Longueur du rectangle équivalent [km].

$$H_{5\%} - H_{95\%} = 1300 - 300 = 1000 \text{ m}$$

$$I_g = 1000/238 = 4.16 \text{ m/km} = 0.42\%$$

Le bassin versant de la Soummam présente une pente relativement faible pouvant ainsi favoriser l'infiltration au dépend du ruissellement.

II.5.2 CARACTERISTIQUES DU RESEAU DE DRAINAGE :

Le réseau de drainage est l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels permanent ou temporaire, qui participent à l'écoulement.

Le réseau hydrographique est sans doute l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin à un autre est due à 4 facteurs principaux :

- La géologie
- Le climat
- La pente du terrain.
- La présence humaine.

II.5.2.1 CLASSIFICATION DU CHEVELU HYDROGRAPHIQUE :

Le chevelu hydrographique du bassin versant étudié est selon le classement de Shumm d'ordre 6.

II.5.2.2.DENSITE DE DRAINAGE :

La densité de drainage, introduite par Horton est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin :

$$D_p = \frac{\sum L_i}{S}$$

Avec :

D_p : Densité de drainage [km/km^2].

L_i : Longueur des cours d'eau [km].

S : Surface du bassin [km^2].

Tableau II.2 - Longueur des cours d'eau.

Ordres des cours d'eau	1	2	3	4	5	6	Totale
Longueur en km	3432.50	1154.69	568.04	239.42	198.57	101.88	5695.09

$$D_p = 0.62 \text{ km/km}^2.$$

II.5.2.3 RAPPORT DE CONFLUENCE :

Sur la base de la classification des cours d'eau, Horton (1932) et Shumm (1956) ont établi la loi des nombres :

$$R_B = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

R_B : Rapport de confluence des cours d'eau (« bifurcation ratio »).

N_u : Nombre des cours d'eau d'ordre u .

N_{u+1} : Nombre des cours d'eau d'ordre $u+1$.

Le rapport de confluence est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il varie suivant l'ordre considéré. C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964), le R_B varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

R_B : peut être déterminé par 2 méthodes :

- Par calcul :

Tableau II.3 - Rapports de confluence respectifs des différents ordres de cours d'eau.

Ordre du cours d'eau	1	2	3	4	5	6
Nombre de cours d'eau	1310	317	72	14	8	4
R_B	4.13	4.40	5.14	1.75	2	-

Le rapport de confluence moyen du bassin versant est égal à la moyenne des rapports mentionnés précédemment :

$$R_c = \frac{\sum R_x}{n}$$

$$R_c = 15.42/5 = 3.48$$

$$R_c = 3.48.$$

- Graphiquement :

A partir d'un graphe semi - logarithmique des nombres de cours d'eau en fonction des ordres correspondant, on peut estimer le rapport de confluence qui est la pente de la droite.

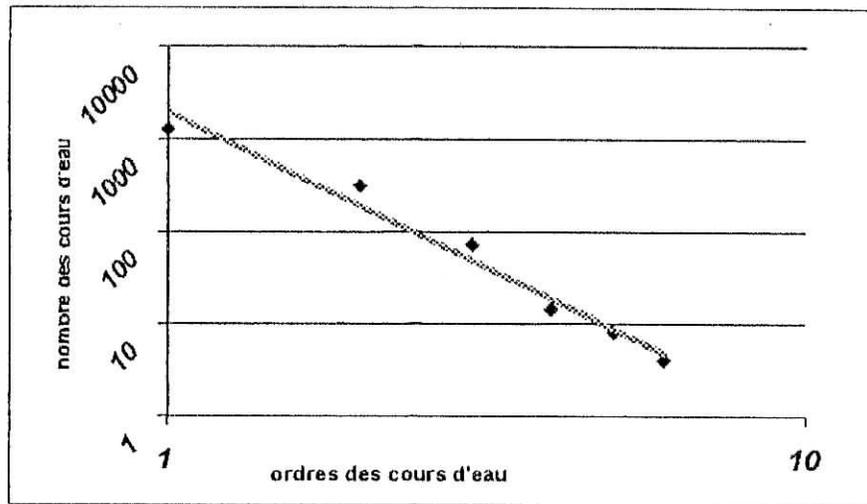


Figure II.5 - Rapport de confluence du bassin versant de la Soummam.

$$x = \frac{\log 100 - \log 10}{2.82 - 4.44} = 0.62$$

$$x = 0.62$$

$$Rc = e^x \Rightarrow Rc = 4.16$$

II.5.2.4 COEFFICIENT DE TORRENTIALITE :

Il est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$C_t = \frac{N_1}{S} \cdot D_p$$

Où :

N_1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1.

S : Surface du bassin en $[km^2]$.

D_p : Densité de drainage en $[km/km^2]$.

C_t : Coefficient de torrentialité.

$$C_t = 0.089.$$

II.5.3 CARACTERISTIQUES DU SOL ET DE LA COUVERTURE VEGETALE :

L'activité végétale et le type de sol sont intimement liés et leurs actions combinées influencent singulièrement l'écoulement en surface.

La végétation du bassin versant de la Soummam est de type Méditerranéen et est très variée, les régions alluvionnaires de la haute Soummam sont occupées par des chênaies. La basse et moyenne Soummam sont occupées par des oliveraies et des vignobles. Dans la région de la moyenne Soummam, le couvert végétal est moins dense.

II.6. CONCLUSION :

Le bassin versant de la Soummam avec sa superficie de 9125 km² et son périmètre de 554 km a une forme allongée ($K_G = 1.62$) et un temps de concentration plus long.

Il présente une dissymétrie vers les altitudes élevées puisque $H_{50\%} > H_{moy}$, son chevelu hydrographique développé et bien drainé et le couvert végétal est assez varié.

La densité de drainage dans le bassin est de l'ordre de 0.62 km/km², un coefficient de torrentialité de 0.089 et un rapport de confluence de l'ordre de 4.

CHAPITRE III

COLLECTE ET CRITIQUE DES DONNEES

III.1. INTRODUCTION :

Le terme de «précipitation» englobe toutes les eaux météoriques qui tombent du ciel à la surface du bassin sous forme liquide ou solide.

Les données climatologiques telles que les pluies, constituent un outil important pour comprendre un phénomène naturel et un facteur essentiel des régimes des cours d'eau et des crues en particulier.

Pour cela, il est nécessaire d'effectuer une analyse des données recueillies et un traitement statistique aux niveaux des stations de mesure.

En première étape, il faut combler le manque des données, ensuite détecter les anomalies si elles existent dans les séries, puis vérifier l'homogénéité, l'indépendance des données disponibles.

III.2. DONNEES PLUVIOMETRIQUES :

Toutes les données pluviométriques nous ont été aimablement fournies par L'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydriques).

III.2.1. PRESENTATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES :

Le bassin versant de la Soummam compte environ une soixantaine de stations pluviométriques réparties dans les dix sous bassin. Le plus grand nombre d'entre elles se trouvent dans les zones urbanisées, quelques-unes au près des piedmonts, la distance entre les stations est de l'ordre de 30 km.

Toutes les stations pluviométriques sont caractérisées par leurs :

- *Code et nom.*
- *La situation géographique en coordonnées Lambert (X, Y, Z).*

Le Tableau III.1 résume les caractéristiques géographiques des stations pluviométriques dans le bassin versant de la Sommam.

Tableau III.1 – Caractéristiques géographiques des stations pluviométriques

N	Station	Code	X(km)	Y(km)	Z(m)	N	Station	Code	X(km)	Y(km)	Z(m)
Sous bassin (01) : Oued Ed-dous /surface : 903 km ²						31	Fermatou	150610	742.00	328.60	1040
1	Sourel-ghozlane	150101	589.30	317.15	705	32	Mahouane	150611	737.75	332.95	1178
2	Ain Bessam	150102	587.5	332.9	682	33	Setif INRA	150612	740.10	321.85	970
3	El Hachimia	150103	587.5	332.9	682	34	Zeiri	150613	745.75	337.50	1130
4	Sidi Attaf	150104	589.75	342.55	835	35	Tixter	150614	715.00	308.25	956
5	Bouira	150105	607.8	342.90	530	36	Setif mairie	150619	744.10	324.4	1081
6	Atlata	150108	627.20	346.5	850	Sous bassin (07) : Oued Bou Sellam moyen / Surface : 1234 km ²					
7	Assameur	150109	628.70	348.00	900	37	Magraoua	150702	713.75	320.80	825
8	Ain Allouane	150110	624.10	348.35	1025	38	Bou birek	150703	689.60	354.50	400
9	Irorhat Haizer	150111	617.30	345.10	580	39	Bougaa	150704	714.6	339.6	886
10	Tikjda	150112	627.30	350.65	1470	40	Ain Abessa	150706	733.1	336.4	1100
11	Oued fettam	150117	587.8	321.3	780	41	Bir Kasdali	150707	709.50	318.40	1040
Sous bassin (02) : Oued Ziane /surface 1012 km ²						42	Beni Ourtilane	150708	693.05	351.45	1020
12	Taghdit	150201	616.50	303.18	1000	43	Titest	150720	700.2	332.5	1120
13	Bourdji-Okriss	150202	614.70	309.90	750	Sous Bassin (08) : Oued El main / Surface : 930 km ²					
14	Hammam Ksena	150203	613.45	321.65	600	44	Sidi Embarek	150801	699.15	313.90	1011
15	El Asnam	150204	620.40	335.50	430	45	Zemmourah	150802	692.85	331.80	950
16	Bechloul	150206	623.00	336.00	510	46	Guenzet	150804	693.2	338	1052
Sous bassin (03) : Oued Sahel amont / Surface : 430 km ²						47	Teniet Ennasser	150807	671.20	3217.4	1052
17	M'chedallah	150301	640.90	341.70	465	Sous bassin (09) : Oued Bou sellam aval / Surface : 360 km ²					
18	El-Adjiba	150306	633.6	346.30	1740	48	Guelaa	150902	669.05	334.70	1060
19	Beni Hamad	150311	633.70	339	390	Sous bassin (10) : Oued Soummam maritime / Surface : 1061 km ²					
Sous bassin (04) : Oued Azerou / surface : 1048 km ²						49	Sidi Aich	151001	678.20	369.65	110
20	Portes de fer	150401	650.70	324.20	445	50	Akbou	151002	665.4	353	240
21	Bendaoud	150402	635.60	308.75	1028	51	El Kseur	151003	592.9	377.7	70
22	Mansourah	150403	635.70	308.7	1025	52	One Maouche Ahmed	151004	692.75	373.40	105
Sous bassin (05) : Oued Sahel aval /surface : 362 km ²						53	One Rouha Messaoud	151005	700.70	377.75	320
23	Tazmalt	150501	652.75	344.25	350	54	Seddouk	151006	678.00	362.15	484
24	Ighi-Ali	150503	659.00	339.00	650	55	Tifra	151007	679.00	376.00	450
Sous bassin (06) : Oued bou sellam amont / Surface : 1785 km ²						56	Sidi Said	151008	669.00	334.70	1060
25	Ain Oulmene	150602	734.3	294.8	960	57	Sidi Aich CM	151014	642	352.1	85
26	Guellal	150603	737.1	308.1	908						
27	Setif PC	150606	725	309.10	1081						
28	Ani Arnat	150607	734.90	323.55	1100						
29	Bouira Coligny	150608	732.00	326.65	1017						
30	El-Ouricia	150609	743.55	334.90	1089						

III.2.2. REPARTITION TEMPORELLE DES SERIES PLUVIOMETRIQUES :

Même si le nombre de station dans le bassin versant de la Soummam est assez important, on constate qu'il y a des problèmes pour mener à bien cette étude car les informations qui sont disponibles sont douteuses d'une part et insuffisantes d'autre part.

Nous remarquons en effet que les durées d'observations de chaque station, sont très variables et que la plupart d'entre elles présentent des lacunes à l'échelle mensuelle variant de 1 mois à plus de 6 mois.

Les durées de fonctionnement et d'arrêt de la quasi-totalité des stations du bassin versant de la Soummam (57 stations) sont présentées dans le Tableau III.2. Dans ce dernier :

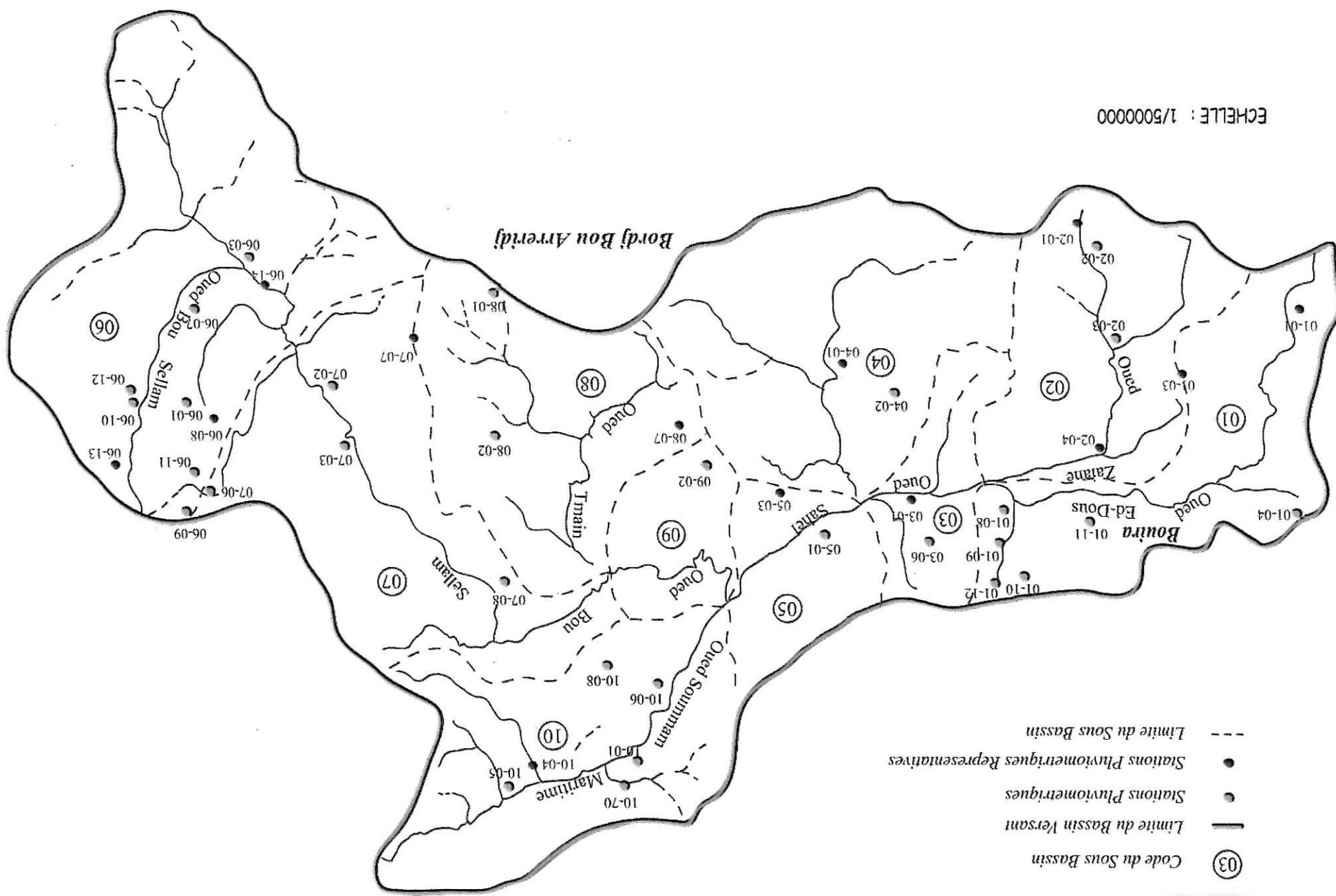
Le signe « * » représente le fonctionnement des stations.

III.2 - Tableau synoptique de durées de fonctionnement et d'arrêt des stations

N	Station	code	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Années observées
1	Sourelghozlane	150101	****	****	*****	*****				*	*****			74
2	Ain bessam	150102								*****				26
3	El hachimia	150103			****				**	*****				44
4	Sidi Attaf	150104								*****				26
5	Bouira	150105								****				10
6	Atlata	150108								*****				22
7	Assameur	150109								*****				22
8	Ain allouane	150110								*****				25
9	Irorhat haizer	150111								*****				25
10	Tikjda	150112								*****				21
11	Oued fettam	150117				*****								40
12	Taghdit	150201								*****				34
13	Bordj okhriss	150202								*****				22
14	Hamam ksena	150203								*****				22
15	El Asnam	150204			*****	*****				*****				76
16	Bechloul	150206	****		*****	*****				*****				60
17	M'chedellah	150301				*****				*****				49
18	El-adjiba	150306	*****			*****								21
19	Beni Hamad	150311									*****			25
20	Porte de fer	150401								*****				29
21	Bendaoud	150402								*****				31
22	Mansourah	150403								*****	*****			24
23	Tazmalt	150501								*****				31
24	Ighil Ali	150503			*****					*****				74
25	Ain Oulmene	150602	*****		*****					*****				40
26	Guellal	150603	*****		*****					*****				54
27	Setif PC	150606				*****				****				25
28	Ain-Arnat	150607				*****				*****				39
29	Bouira	150608	*****		*****	*****				*****				81
30	El Ouricia	150609							****	*****				24
31	Fermatou	150610								*****				26
32	Mahouane	150611							*****					27
33	Setif INRA	150612								*****				29
34	Zeiri	150613								*****				32
35	Tixter	150614			*****	*****				*****				85
36	Setif mairie	150619	*****		*****									40
37	Magraoua	150702				*****				*****				23
38	Bou Birek	150703				*****				*****				33
39	Bougaa	150704			*****					*****				30
40	Ain abassa	150706			*****					*****				45
41	Bir Kasdali	150707	*****		*****	*****				*****				88
42	Beni ourtilane	150708								*****				25
43	Titest	150720								*****				28
44	Sidi embarek	150801								*****				28
45	Zemmourah	150802								*****				29
46	Guenzet	150804	*****							*****				30
47	Teniet Ennaser	150807	*****		*****									32
48	Guellal	150902	*****		*****					*****				46
49	Sidi aich	151001								*****				22
50	Akbou	151002								*****				40
51	El-kseur	151003	*****		*****					*****				68
52	M'ahmed	151004								*****				31
53	R messaoud	151005								*****				26
54	Seddouk	151006								*****				29
55	Tifra	151007	*****		***					*****				38
56	Sidi said	151008								*****				27
57	Sidi aich CM	151014			*****									30

LEGENDE :

- ③ Code du Sous Bassin
- limite du Bassin Versant
- Stations Pluviométriques
- Stations Pluviométriques Représentatives
- - - limite du Sous Bassin



ECHELLE : 1/500000

Figure III.1 - CARTE DE SITUATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA SOUMMAM

REMARQUE :

D'après le tableau ci-dessus, les données de la quasi-totalité des stations du bassin versant de la Soummam sont caractérisées par leur discontinuité, presque toutes les stations ont subi des périodes d'arrêt plus ou moins longues.

Pour notre part, nous avons éliminé toutes les stations dont la durée de fonctionnement est inférieure à 30 ans et celles qui n'ont pas fonctionné depuis 1954 ou encore depuis 1962 ..etc.

III.2.3. REPARTITION SPATIALE DES POSTES PLUVIOMETRIQUES :

Sur l'ensemble des stations que nous avons présenté réparties sur tout le bassin versant de la Soummam (9125 km²) avec une densité de 169 km² par le poste (Figure III.1), nous avons retenu pour cette étude que 14 stations réparties uniformément sur les différents sous bassin et qui ont une durée de fonctionnement dépassent 30 ans.

La densité du réseau est plus importante dans la partie Sud et Sud- Ouest ou le relief est nettement réduit.

II.2.4 LES CARACTERISTIQUES DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES RETENUES :

Le Tableau III.3 présente les caractéristiques géométriques des stations représentatives :

Tableau III.3 - Caractéristiques géométriques des stations pluviométriques représentatives

N station	Nom	Code	X(km)	Y(km)	Z(m)
1	Sourelghozlane	150101	589.30	317.15	705
2	El Hachmia	150103	587.50	332.9	682
3	Taghdit	150201	616.50	303.18	1000
4	El Asnam	150204	620.40	335.50	430
5	M'chedellah	150301	640.90	341.70	465
6	Portes de fer	150401	650.70	324.20	445
7	Bendaoud	150402	635.60	308.75	1028
8	Ighil Ali	150503	659.00	339.00	650
9	Bouira Coligny	150608	732.00	326.65	1017
10	Zeiri	150613	745.75	337.50	1130
11	Tixter	150614	715.00	308.25	956
12	Bir Kasdali	150707	709.50	318.40	1040
13	Teniet Ennasser	150807	671.20	321.74	1052
14	One Maouche Ahmed	151004	692.75	373.40	105

III.2.5. PERIODE D'OBSERVATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES :

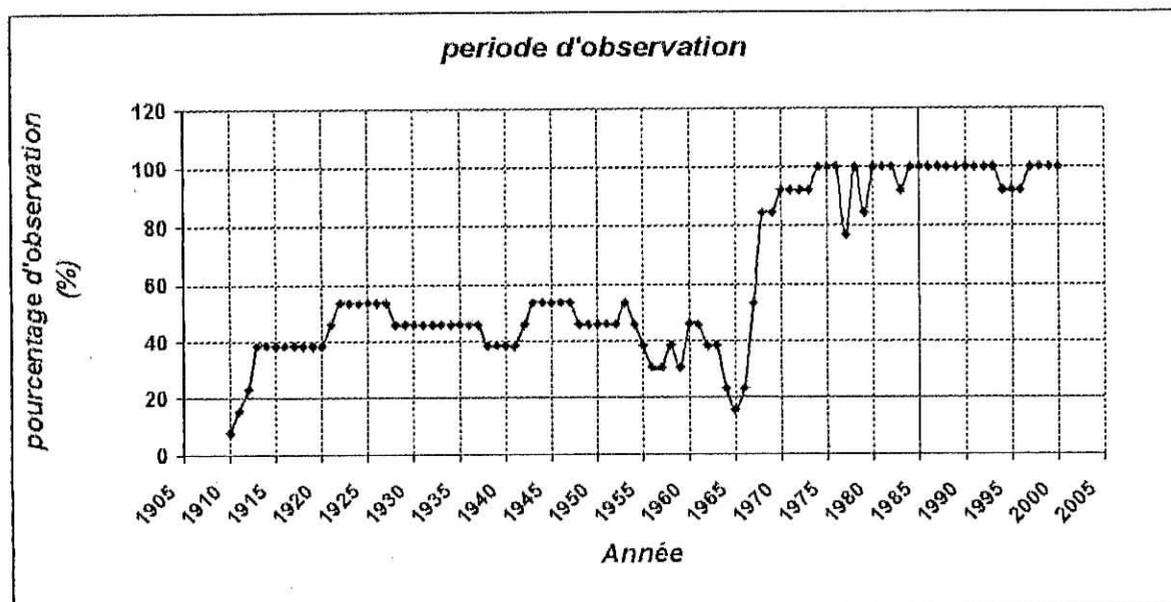


Figure III.2- période d'observation des stations pluviométriques

D'après la Figure III.2, nous remarquons que le pourcentage d'observation ne dépasse pas les 60% dans la période s'étalant de 1910 à 1968 et qu'il commence à augmenter depuis les années 70.

III.2.6. CRITIQUES DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES :

Les données pluviométriques proviennent d'une mesure qui a été recueillie soit par [29] :

- Une lecture directe des paramètres (à partir d'un pluviomètre) ;
- Ou d'un dépouillement d'enregistrement c'est-à-dire d'un pluviographe.

Deux types d'erreurs peuvent être commises au cours de cette mesure :

1. **systématiques** : qui sont dû à :

- La mauvaise utilisation de l'appareillage de mesure ;
- Un mauvais réglage, par procédure incorrecte de mesure ;
- Une installation inadéquate de cet appareil.

2. Accidentelles :

Survenant inopinément et ne peuvent être ni prévues ni évitées.

Pour que les données soient fiables on doit suivre les démarches suivantes :

- Détecter et corriger les erreurs ;
- Combler les données manquantes des séries d'observations ;
- Vérifier l'homogénéité et l'indépendance des données recueillies.

III.2.6.1. METHODES DE COMPLEMENT DES LACUNES :

Il se trouve que certaines données de la pluviométrie d'une station sont manquantes ; ce qui fait une information discontinue. Ce problème est aigu, nous avons essayé de combler les lacunes de ces séries avec les méthodes adéquates [15].

III.2.6.1.1. CALCUL DE LA MOYENNE MENSUELLE INTERANNUELLE :

Les données mensuelles sont présentées sous forme matricielle à n lignes présentant les années et p colonnes présentant les mois.

$$x = \begin{bmatrix} x(1,1) & \text{lac} & x(1,3) & x(1,j) & x(1,p) \\ \text{lac} & x(2,2) & \text{lac} & x(2,4) & \text{lac} \\ x(3,1) & \text{lac} & \text{lac} & \text{lac} & \text{lac} \\ x(i,1) & x(i,2) & x(i,3) & x(i,4) & x(i,p) \\ x(n,1) & \text{lac} & x(n,3) & x(n,4) & x(n,p) \end{bmatrix}$$

le comblement des valeurs manquantes se fait en remplaçant la valeur manquante par la moyenne mensuelle interannuelle telle que :

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x(i, j)}{q_j}$$

$q_j = n -$ (nombre d'inconnues de la colonne j).

Cette méthode est applicable lorsque le nombre de lacune est moins de trois dans un fichier d'observation.

III.2.6.1.2. COMPLEMENT PAR LA REGRESSION LINEAIRE :

Le principe consiste à combler les lacunes d'une série à partir d'une série généralement plus longue (station de référence) en utilisant l'expression suivante :

$$y = a x + b$$

a : Pente de la droite de régression.

b : Ordonnée à l'origine de la droite de régression.

Non appliquons cette méthode lorsque nous avons un nombre important de lacunes, mais cette méthode n'est applicable que lorsque la régression est linéaire, et le rapport de régression est élevé. Il faut que les 2 stations soient soumises au même régime pluviométrique.

Pour ce faire, on commence par calculer les coefficients de corrélation entre les différentes stations puis on prend les meilleurs coefficients de corrélation et on fait une régression linéaire entre les stations correspondantes.

$$r^2 = a \cdot \frac{k \sum xy - \sum x \sum y}{a \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}$$

k : Nombre d'observations communes.

x : Précipitation mensuelle dans la station x .

y : Précipitation mensuelle dans la station y .

r : Coefficient de corrélation $-1 < r < 1$.

On a utilisé deux méthodes de comblement de lacune dans notre étude :

1. Méthode de la moyenne interannuelle.
2. Méthode de la régression linéaire.

III.2.6.2 METHODE DE LA MOYENNE :

Le Tableau III.4 représente le comblement de lacunes par la méthode de la moyenne interannuelle.

Tableau III.4 - Comblement de lacunes par la moyenne mensuelle interannuelle

Code de la station	Année	Moy ann	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
150101	1969	384.4	27.8	33.4	42.5	53.7	53.2	49.1	44.0	45.4	32.6			
	1970	441.8	27.8											
	1971	486.4			42.5					45.4	32.6	8.7	0.0	
	1972	513.4	27.8		42.5									
	1978	408.7											0.0	
	1993	357.9					53.2							
150103	1969	322.6	27.2		40.8	43.9	47.1	40.1	41.5		33.2	8.9		
	1970	351.4	27.2	29.6	40.8	43.9								
	1974	250.6					47.1	40.1	41.5					
	1990	379.6												
	1997	450.6			40.8									
150613	1977	523.1	40.5	39.0	51.2	78.0	80.5	54.4	55.6	49.4	41.3	18.5	0.0	0.0
	1983	515.5	40.5									18.5	0.0	
	1984	588.3		39.0										
	1990	695.3												0.0
	1991	568.0							55.6					
150301	1969	326.1	27.4	27.7	33.2	45.7	41.1	36.9	41.0	28.3	25.7	10.2	0.0	0.0
	1970	300.7	27.4	27.7	33.2	45.7								
	1973	525.4			33.2	45.7								
	1974	321.2					41.1							
	1976	246.6												
	1977	271.5		27.7			41.1							0.0
	1978	367.0												
	1979	291.1												
	1982	293.3							41.0		25.7	10.2	0.0	0.0
	1983	285.8	27.4											
	1984	354.4												
	1992	220.0											0.0	
151004	1976	220.5	31.3											
	1977	471.9	31.3	49.9	49.7	81.9	59.5	53.7	58.7	44.4	27.7	9.4	0.0	0.0
	1979	363.4		49.9	49.7									
	1982	335.8				81.9	59.5	53.7	58.7	44.4	27.7	9.4	0.0	0.0
	1983	471.9		49.9	49.7									
	1988	445.3												
	1989	421.4	31.3											
	1990	476.8				81.9	59.5	53.7	58.7	44.4	27.7	9.4	0.0	0.0
	1991	455.0												
	1992	432.3												
150401	1993	231.5												0.0
	1994	294.5	27.9	28.9	28.7	30.9	30.1	31.0	23.3	32.6	32.5	9.7	0.0	0.0
	1995	294.5	27.9	28.9	28.7	30.9	30.1	31.0	23.3	32.6	32.5	9.7	0.0	0.0
	1996	307.8	27.9	28.9	28.7	30.9	30.1	31.0	23.3	32.6	32.5	9.7	0.0	0.0

III.2.6.3 COMBLEMENT PAR LA REGRESSION LINEAIRE :

Cette méthode est applicable lorsque le nombre de valeurs manquantes est important. La première étape consiste à calculer les coefficients de corrélation interstations, ensuite choisir les meilleurs coefficients et d'établir l'équation de régression linéaire pour chaque mois présentant des lacunes.

Le Tableau III.5 donne les coefficients de corrélation entre les différentes stations :

Tableau III.5 - Coefficients de corrélation interstations

Mois station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin
614-503	0.53	0.77	0.49	0.40	0.29	0.57	0.49	0.44	0.63	0.48
614-707	0.69	-	-	0.33	-	-	0.75	0.75	0.73	0.69
201-204	-	-	-	-	0.68	0.76	0.70	0.68	0.72	0.42
613-614	0.62	0.78	0.54	0.53	0.29	0.74	0.48	0.28	-	0.74
707-608	0.52	0.57	-	-	0.84	-	0.44	-	-	0.55
608-614	0.60	0.70	0.75	0.76	0.77	0.79	0.81	0.4	0.82	0.69
503-608	0.74	0.69	0.43	0.60	0.86	0.68	0.69	0.38	0.56	0.41
503-401			0.74					0.79	0.58	0.40
503-613										
807-707	0.59					0.64		0.51		0.60
807-608	0.93	0.38	0.91	0.87	0.63	0.72	0.62	0.42	0.98	0.53
807-503		0.70	0.21		0.68	0.54	0.41	0.37		
807-613										0.70
807-1004	-	-	-	0.73	0.80	-	0.59	-	-	-
807-614										

Le Tableau III.6 donne le comblement de lacune par régression :

Tableau III.6 – Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire.

Mois station	année	Moy ann	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin
150201	1969	719.5						53.4				
	1974	369.3					30.7					
	1989	301.0						9.7				
	1993	319.8								31.7		
	1996	357.5							0			
150204	1989	320.3						28.3				
150503	1973	446.9	17.8									
	1979	338.3	34.9	31.2	28.5	27.7	43.4	42.6	18.4	44.3	55.9	
	1987	346.3	1.06									
150608	1979	327.0	38.3	33.8	24.05	22.5	39.9	44.4	19.1		52.1	11.10
150707	1978	308.1										30.5
	1988	209.6					24.4					
	1989	374.0	69.3									
	1991	551.8					54.7					
	1992	301.8					28.5					
150614	1971	295.2				12.3						
	1978	403.5										17.6
	1985	199.4								16.4		
150807	1969	544.2	72.3	10.0	37.5	104.3	20.4	28.4	60.6	64.3	37.9	5.09
	1970	321.3	13.4	62.6	7.8	39.7	37.4	21.4	50.7	39.8	33.1	7.8
	1971	377.2	12.7	22.4	41.3	21.4	109.5	23.7	34.2	55.0	38.5	15.2
	1972	418.0	30.6	38.3	15.5	41.2	94.5	49.0	65.3	40.2	0	33.9
	1973	367.6	18.5	16.2	9.6	44.8		74.5	99.9	67.1	29.5	4.9
	1974	382.7	14.5	32.7	46.7	10.8	24.8	85.8				
	1977	299.8			79.8	40.59	49.4	25.4	31.9	61.1	35.2	12.6
	1979	328.9	34.07	34.2	32.8	23.9	28.6	45.4	24.0	48.0	36.3	
	1982	420.8				81.7						
	1984	411.1	0.39	37.7		112.7						
1990	321.9											

III.2.7. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES :

Toute étude hydrologique nécessite des séries pluviométriques complètes, homogènes et indépendantes, il est alors indispensable avant toute utilisation de données de vérifier ces critères et de détecter les valeurs douteuses (anomalie).

III.2.7.1. TEST D'ANOMALIE PAR LE CUMUL DES RESIDUS :

Lors de la confrontation des données pluviométriques des stations représentatives, on a remarqué que les données de la station de Bendaoud dans le sous bassin (04) (150402) sont douteuses (une donnée est douteuse lorsqu'elle est trop faible ou trop élevée comparativement aux données pluviométriques avoisinantes) [31].

Cela peut être dû soit :

- Au non sérieux de l'observateur.
- Au cours de la mesure, de la transmission, du stockage ou du décodage des observations.

Nous avons procédé à l'élimination de cette station afin que l'on puisse effectuer une analyse plus fine, ce qui réduit le nombre de stations représentatives à 13 stations.

- *Théorie du Test :*

Par hypothèse la distribution des deux variables x , station à étudier et y , station témoin est normale.

Des paramètres caractérisant cette loi :

- *la moyenne :*

$$x = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$y = \frac{\sum y_i}{n}$$

x_i : Série d'observation de la station x .

y_i : Série d'observation de la station y .

n : Taille de l'échantillon.

- *Ecart type :*

$$\sigma_x = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_y = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}$$

- *Coefficient de corrélation :*

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n - 1 / \sigma_x \sigma_y}$$

Une estimation de la régression de la station étudiée et la station témoin est donnée par l'expression :

$$\bar{y}_x = ax + b$$

\bar{y}_x : Moyenne conditionnelle des y liées par x .

a et b : Constantes de régression.

Le résidu de régression est évalué par l'expression suivante :

$$\varepsilon = y - \overline{y_x}$$

ε : erreur résiduelle devant être distribuée selon une loi normale de moyenne nulle et d'écart type :

σ_{xy} : Ecart type conditionnel des y liées par x .

$$\sigma_{xy} = \sigma_y(1 - r^2)^{1/2}$$

Soit z_i : Le cumul des résidus de régression donné selon une loi de Gauss de moyenne nulle et

d'écart type : $\sigma_z = \sigma_{xy} \left(\frac{i(n-1)}{n-i} \right)^{1/2}$

tel que : $z_i = \sum_{j=1}^i \varepsilon_j$

n : Taille de l'échantillon.

z_i : Cumul des résidus de régression.

ε_i : Résidu de régression.

Si nous calculons tout les z_i des que $|z_i/\sigma_z| > 2.33$ cela signifie qu'il y a au moins de 2 % de chance que le cumul des i , premiers résidus soit du au hasard.

Il est donc judicieux de vérifier qu'une erreur systématique n'existe pas sur ces valeurs $|z_i/\sigma_z|$ (variable réduite de z_i).

Un intervalle de confiance fixé à 98%, est représenté par une ellipse de grand axe n et de petit axe $2u.n\sigma_\varepsilon/(n-1)^{1/2}$ appelée ellipse de Bois.

Le Tableau III.7 représente les résultats du Test d'anomalie appliqué aux stations représentatives (en utilisant le logiciel Hydrolab) (annexe I)

Tableau III.7 - Résultats du Test d'anomalie

Station	Année	Code	Remarques
Sourelghozlane	(1923-2000)	150101	1938, 1969, 1988 : années douteuses
El Hachimia	(1969-2000)	150103	1969, 1994 : années douteuses
Taghdit	(1969-2000)	150201	1994 : année douteuse
El Asnam	(1923-2000)	150204	1957 : année douteuse
M'chedallah	(1969-2000)	150301	1970, 1991 : années douteuses
Portes de fer	(1969-2000)	150401	1982 : année douteuse
Ighil Ali	(1923-2000)	150503	1995, 1997 : années douteuses
Bouira	(1923-2000)	150608	1938 : années douteuse
Zeiri	(1969-2000)	150613	Pas d'anomalie
Tixter	(1923-2000)	150614	1944, 1984 : années douteuses
Bir kasdali	(1923-2000)	150707	1969, 1995 : années douteuses
Teniet Ennasser	(1969-2000)	150807	1971 : année douteuse
One Maouche Ahmed	(1969-2000)	151004	Pas d'anomalie

Remarque :

Après vérification des données dans les archives, on a remarquer que les anomalies détectées au niveau des valeurs des précipitations annuelles des stations sont effectivement des averses exceptionnelles ou de très faibles précipitations.

III.2.7.2. TEST D'INDEPENDANCE (TEST DE WALD -WOLFOWITZ) :

On peut tester l'hypothèse H_0 d'indépendance entre les variables en appliquant le test de Wald-Wolfowitz qui est basé sur le critère qu'aucune observation appartenant à l'échantillon ne devrait influencer l'observation suivante. Pour un échantillon de taille n , le test de Wald-Wolfowitz considère la valeur statistique [15] :

$$R = \sum_{i=1}^n x_i x_{i+1} + x_1 x_n$$

Si les éléments sont indépendants, R suit une loi normale de moyenne :

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

Et de variance :

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

$$S_r = \sum_{i=1}^n x_i^k = M_r'$$

Avec

M_r' : Moment d'ordre r de l'échantillon

On calcul la statistique :

$$U = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{\text{Var}(R)}}$$

Pour $\alpha = 0.05$ $U_{\alpha/2} = 1.96$

• **Test :**

Si $|U| < U_{\alpha/2}$ l'hypothèse d'indépendance est Acceptée.

$|U| \geq U_{\alpha/2}$ l'hypothèse d'indépendance est Rejetée.

Le Tableau III.7 résume les résultats du test d'indépendance :

**Tableau III.8 - Test d'indépendance
des données pluviométriques**

Station	U	Test	Résultat
150101	1,13	<1.96	Acceptée
150204	2,89	>1.96	Rejetée
150503	2,67	>1.96	Rejetée
150608	1,52	<1.96	Acceptée
150614	2,42	>1.96	Rejetée
150707	0,34	<1.96	Acceptée
150201	0,18	<1.96	Acceptée
150103	0,59	<1.96	Acceptée
150301	3,09	>1.96	Rejetée
150401	0,27	<1.96	Acceptée
150613	-0,73	<1.96	Acceptée
150807	-1,36	<1.96	Acceptée
151004	-0,83	<1.96	Acceptée

III.2.7.3. TEST D'HOMOGENEITE :

Pour le statisticien, une série de données est dite homogène si les propriétés statistiques de l'erreur de mesure affectant ces données restent invariables sur toute la période d'observation, pour vérifier l'homogénéité des séries étudiées nous avons appliqué le test de Wilcoxon qui est un test non paramétrique, il utilise la série des rangs au lieu de la série des observations, on procède de la manière suivante [15] :

- Diviser la série d'observation des pluies annuelles en deux sous séries (échantillons) x et y qui ont pour taille N_1 et N_2 respectivement de sorte que nous aurons $N_1 < N_2$;
- Construire à l'aide de ces deux échantillons une série d'observation disposée dans l'ordre croissant tout en tenant compte l'origine de ces deux sous ensembles ;
- Affecter pour chaque variable pluviométrique observée le rang correspondant.

Nous notons ainsi que si une même valeur se répète plusieurs fois on lui associe le rang moyen correspondant et ceci lorsque nous déterminerons la somme des rangs des variables du premier sous échantillon :

$$W_x = \sum \text{Rang}_x$$

Wilcoxon a montré dans le cas où les 02 échantillons constitueraient une série homogène, quand la quantité W_x est comprise entre deux bornes W_{\max} et W_{\min} telle que:

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)(N_1 - 1)}{2} - 1.96 \sqrt{\frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1N_2}{12}}$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min}$$

- Test :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad \text{la série est homogène}$$

$$\text{Sinon} \quad \text{la série est hétérogène}$$

Tableau III.9 – Résultats du test d'homogénéité des séries pluviométriques

CODE DE LA STATION	SERIE X PERIODE D'OBSER	N_1	SERIE Y PERIODE D'OBSER	N_2	$\Sigma RANG_X$	W_{MIN}	W_{MAX}	RESULTAT DU TEST
150101	1923-1955	33	1956-2000	37	1313	969,4	1373,6	Homogène
150103	1969-1981	13	1982-2000	19	236	147	282	Homogène
150201	1969-1981	13	1982-2000	19	253	147	282	Homogène
150204	1923-1955	33	1956-2000	37	1396	969,4	1373,6	Hétérogène
150301	1969-1981	13	1982-2000	19	274	147	282	Homogène
150401	1969-1981	13	1982-2000	19	258	147	282	Homogène
150503	1923-1955	33	1956-2000	37	1371,5	969,4	1373,6	Homogène
150608	1923-1955	33	1956-2000	37	1202	969,4	1373,6	Homogène
150613	1969-1981	13	1982-2000	19	228	147	282	Homogène
150614	1923-1955	33	1956-2000	37	1422	969,4	1373,6	Hétérogène
150707	1923-1955	33	1956-2000	37	1248	969,4	1373,6	Homogène
150807	1969-1981	13	1982-2000	19	221	147	282	Homogène
151004	1969-1981	13	1982-2000	19	231	147	282	Homogène

CONCLUSION :

Toutes les séries pluviométriques sont homogènes à part les stations d'El Asnam (150204) et la station de Tixter (150614).

CHAPITRE IV

THEORIES DE L'ACP, MOYENNE MOBILE ET ECART A LA MOYENNE

IV.1. INTRODUCTION :

Nous exposons dans ce chapitre, les différentes théories des méthodes que nous allons utiliser plus loin pour étudier la variabilité temporelle des précipitations et le changement du régime pluviométrique dans notre bassin versant. Ces théories qui sont les suivantes :

IV.2. THEORIE DE LA MOYENNE MOBILE :

On peut atténuer les variations d'une série chronologique en calculant la moyenne arithmétique d'un nombre fixé k de valeurs successives, que l'on affecte à la moyenne arithmétique des dates d'observation. Ainsi, la Figure IV.1 nous montre la façon de procéder par exemple si $k = 5$, on prend tout d'abord la moyenne des 5 premières observations y_1, \dots, y_5 que l'on attribue à la date 3, valeur centrale des 5 premières dates d'observations. cette moyenne est notée :

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5}{5}$$

Ensuite, on applique la même procédure sur le groupe des observations $\{y_2, \dots, y_6\}$ pour avoir une moyenne \bar{y}_4 , et ainsi de suite.

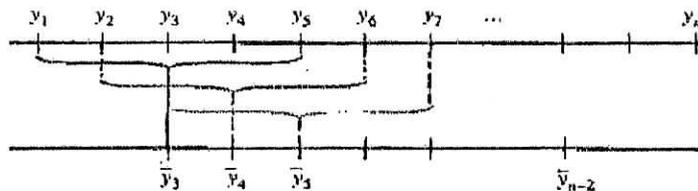


Figure IV.1 - Moyennes Mobiles d'ordre 5

Dans la mesure où le groupement de valeurs est chaque fois décalé d'un rang vers la droite sur l'axe des temps, on parle de moyenne mobile, que l'on désigne plus brièvement par les lettres MM. Le nombre k d'observations utilisées à chaque fois est appelé l'ordre de la moyenne mobile. La valeur de k est généralement choisie en fonction de l'objectif de lissage de la série [1,2].

• EXEMPLE D'APPLICATION :

Soit une série de pluie mensuelle (mois de janvier) d'une station pluviométrique :

On applique la moyenne mobile sur cette série en calculant la moyenne arithmétique sur un pas de temps de 7 ans, sur 5 ans et sur 3 ans.

Les résultats sont résumés dans le Tableau IV.1

Tableau IV.1 – Moyenne Mobile des données pluviométriques

Année	Pluie (mm)	MM 3 ans	MM 5 ans	MM 7 ans
1980	15,6			
1981	130	49,20		
1982	2	64,17	52,82	
1983	60,5	39,50	55,50	51,51
1984	56	48,50	38,20	51,07
1985	29	42,83	42,60	38,36
1986	43,5	32,17	33,00	40,57
1987	24	26,67	30,00	40,86
1988	12,5	25,83	27,70	36,00
1989	41	23,67	31,50	35,16
1990	17,5	40,33	31,10	50,59
1991	62,5	34,00	33,22	50,90
1992	22	35,87	55,32	50,01
1993	23,1	65,53	57,06	44,39
1994	151,5	66,93	45,82	53,21
1995	26,2	61,33	41,74	44,47
1996	6,3	11,37	52,98	62,53
1997	1,6	29,07	22,94	
1998	79,3	27,40	47,38	
1999	1,3	76,33		
2000	148,4			
Moyenne	45,42			

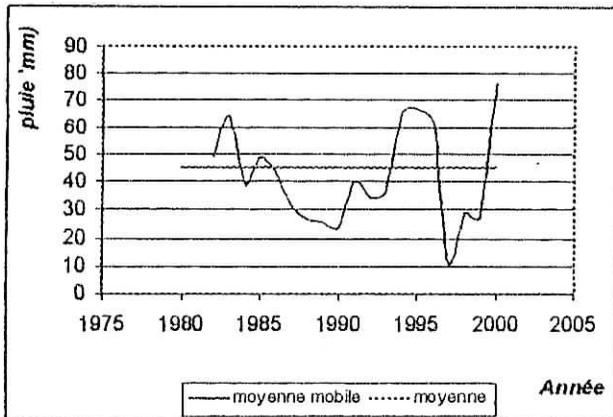


Figure IV.2 - Moyenne Mobile sur 3 ans

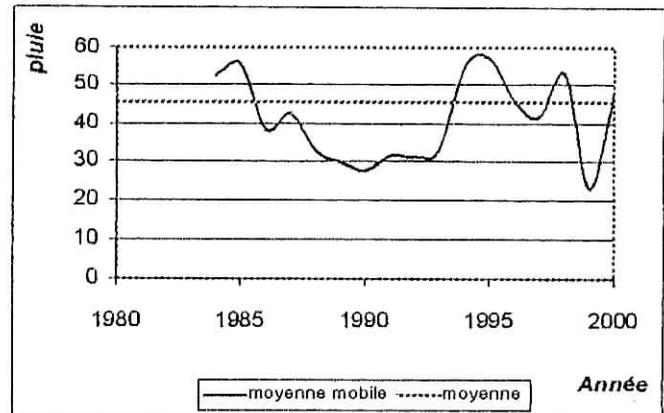


Figure IV.3 - Moyenne Mobile sur 4 ans

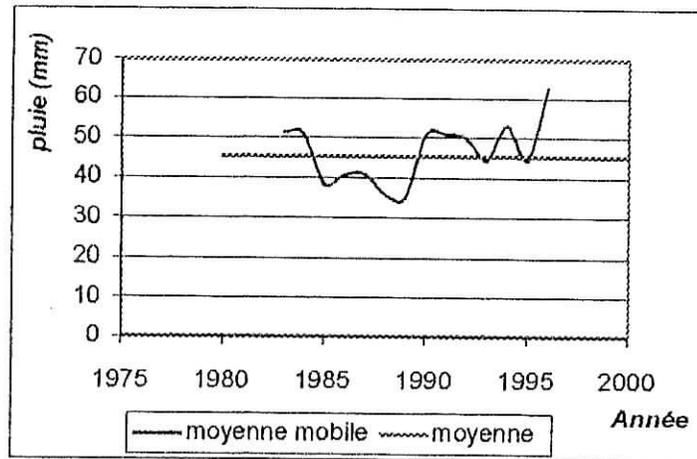


Figure IV.4 - Moyenne Mobile sur 7 ans

IV.3. THEORIE DE L'ECART A LA MOYENNE :

L'objectif poursuivi ici est de mesurer la dispersion d'une série statistique en utilisant les valeurs de toutes les observations recueillies.

Considérons une valeur centrale : par exemple, la moyenne \bar{x} . Une forte concentration des observations autour de ce paramètre se traduit par des écarts $(x_i - \bar{x})$ faibles en amplitude. Inversement une grande dispersion implique qu'il existe des écarts importants (Figure IV.2).

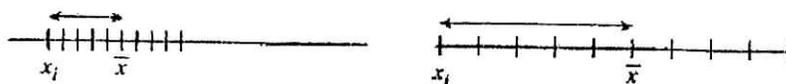


Figure IV.2 - Ecart à la moyenne d'une série

De façon de mesurer la dispersion d'une série peut des lors consister à calculer la moyenne de tous ces écarts. Il ne s'agit pas, bien sur de déterminer la moyenne des différences $(x_i - \bar{x})$ puisqu'elle est toujours nulle. Il convient plutôt de considérer les différences sans leur signe, ce qui peut se faire aisément en utilisant la valeur absolue des $(x_i - \bar{x})$, notée $|x_i - \bar{x}|$ ($i = 1, \dots, n$).

on est ainsi naturellement amenée à introduire comme mesure de dispersion l'écart moyen absolu, notée e_m , qui se définit comme étant égal à la moyenne des valeurs absolues entre les observations et la valeur moyenne \bar{x} :

$$e_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

L'interprétation de e_m est simple. Ce paramètre nous indique que les observations se situent, en moyenne à e_m unités de leur valeur centrale \bar{x} [1].

• **EXEMPLE D'APPLICATION :**

On prend les mêmes données de l'exemple précédent et on calcul les écarts par rapport à la moyenne. Le Tableau IV.2 résume les résultats de l'écart à la moyenne.

Tableau IV.2 : Ecart à la moyenne

Année	pluie (mm)	moyenne (mm) \bar{x}	Ecart a la moyenne $(x_i - \bar{x})$ (mm)	$ x_i - \bar{x} $ (mm)
1980	15,6	45,42	-29,8	29,8
1981	130	45,42	84,6	84,6
1982	2	45,42	-43,4	43,4
1983	60,5	45,42	15,1	15,1
1984	56	45,42	10,6	10,6
1985	29	45,42	-16,4	16,4
1986	43,5	45,42	-1,9	1,9
1987	24	45,42	-21,4	21,4
1988	12,5	45,42	-32,9	32,9
1989	41	45,42	-4,4	4,4
1990	17,5	45,42	-27,9	27,9
1991	62,5	45,42	17,1	17,1
1992	22	45,42	-23,4	23,4
1993	23,1	45,42	-22,3	22,3
1994	151,5	45,42	106,1	106,1
1995	26,2	45,42	-19,2	19,2
1996	6,3	45,42	-39,1	39,1
1997	1,6	45,42	-43,8	43,8
1998	79,3	45,42	33,9	33,9
1999	1,3	45,42	-44,1	44,1
2000	148,4	45,42	103,0	103,0
				$\sigma_m = 35,26$

IV.4. THEORIE DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

IV.4.1. INTRODUCTION :

L'ACP est une méthode de réduction des données ayant pour objectif de présenter des données globales qui caractérisent la population dans un espace de dimension réduite avec le minimum de perte d'information.

IV.4.2 CADRE D'APPLICATION :

L'ACP est une méthode d'analyse factorielle adapté à l'analyse de tableaux statistiques représentant l'observation de p variables sur n individus.

Les variables doivent être de type quantitatif, hétérogènes et ne doivent pas être globalement indépendantes. En effet, l'ACP procède par réduction de la dimension de l'espace des variables en tirant partie des corrélations entre les variables initiales [37].

IV.4.3 TABLEAU DES DONNEES :

On considère n individus X_1, \dots, X_n sur lesquels on observe les valeurs de p variables Y^1, \dots, Y^p .

L'observation de la variable Y^j sur l'individu X_i est noté k_{ij} .

Ces données sont résumées dans le tableau statistique suivant :

	Y^1	..	Y^i	Y^p
X_1			:	
:			:	
X_i	K_{ij}	..
X_n			:	

Pour chaque variable Y^j , on calcule

- sa moyenne :

$$\bar{Y}^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ij}$$

- Et sa variance :

$$S_{ij}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_{ij} - \bar{Y}^j)^2$$

Afin d'éliminer les effets dus aux différences des moyennes et aux choix des unités, on centre et on réduit les variables Y^j .

On travaillera donc avec le tableau **centré - réduit** X

de terme général :

$$X_{ij} = \frac{K_{ij} - \bar{Y}^j}{S_j \sqrt{n}}$$

IV.4.4 NUAGE DES INDIVIDUS :

On considère alors le nuage $N(I)$ composé de n points X_i de R^p .

Chaque individu X_i est donc représenté dans R^p . Chacune de ses coordonnées représente la valeur de la variable Y^j sur cet individu [37].

On associe à chaque point une masse $m_i = 1$.

Les variables étant centrées, le centre de gravité G du nuage se trouve donc en 0 :

$$G = (\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_p) = (0, \dots, 0)$$

On effectue alors une analyse factorielle du nuage $N(I)$ en $G = 0$.

La matrice d'inertie est :

$$V = X'X$$

Les x_{ij} étant centrés, V correspond à la matrice des variances - covariances des Y^j .
Les x_{ij} étant réduits, V est la matrice des corrélations (r_{ij})

La diagonalisation de V permet d'obtenir les p valeurs propres :

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots \dots \lambda_p$$

Les axes propres associés :

$$U_1, U_2, \dots, U_p$$

sont appelés **facteurs principaux**.

Plus généralement, on ne considère dans l'ACP que les facteurs principaux correspondants à des valeurs propres supérieures à 1.

Le nuage $N(I)$ est alors projeté sur le sous-espace engendré par les facteurs principaux considérés, en suivant la méthode de l'analyse factorielle [37].

IV.4.5 NUAGE DES VARIABLES :

On considère à présent le nuage $N(J)$ composé de p points Y^j de R^n

Chaque variable Y^j est donc représentée dans R^n . Chacune de ses coordonnées représente la valeur de la variable Y^j sur les n individus.

Pour

$$j \in \{1, \dots, p\}, \text{ on a}$$

$$\|Y^j\| = 1$$

$$\text{et pour } j' \in \{1, \dots, p\}, \text{ on a}$$

$$\cos(Y^j, Y^{j'}) = r(Y^j, Y^{j'}) = r_{jj'}$$

Les valeurs propres (non nulles) de Γ sont les mêmes que celles de V :

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots \dots \lambda_p$$

Les axes propres associés

$$W_1 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} XU_1, \dots, W_p = \frac{1}{\sqrt{\lambda_p}} XU_p$$

sont appelés **composantes principales**.

Les composantes principales W_1, \dots, W_p peuvent être considérées comme de nouvelles variables.

- Combinaisons linéaires des variables Y^J .
- Non corrélées entre elles.
- De variance maximale.

IV.4.6 QUALITE DES RESULTATS :

Le but de l'analyse en composantes principales est la transformation des variables en des nouvelles variables indépendantes qui ne sont que des combinaisons linéaires des variables initiales.

Les nouvelles variables sont appelées «composantes principales» et sont caractérisées par une variance maximale et une moyenne nulle.

Les axes quelles déterminent sont les facteurs principaux.

L'interprétation des résultats de l'ACP peut être facilitée par une représentation graphique des observations (individus) et des variables sur les plans formés par les axes.

Cette représentation permet de regrouper ou dégager la ressemblance suivant la combinaison de toutes les variables initiales.

La présentation sous forme de tableaux numérique des résultats de l'analyse en composantes principales donne les résultats suivants :

- La moyenne et l'écart type de chaque variable.
- La matrice des corrélations de toutes les variables entre elles.
- La valeur propre de chaque axe factoriel.
- Les vecteurs propres.
- Les corrélations entre les variables et les axes principaux.
- Les cercles de corrélations.

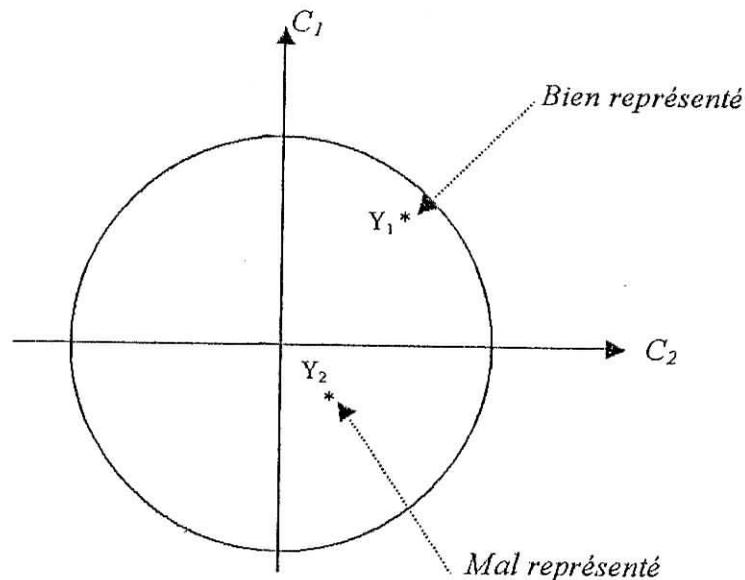


Figure IV.3 - Cercle de corrélation

• **EXEMPLE D'APPLICATION :**

Soit un ensemble de stations à des données pluviométriques annuelles qu'on appelle variables, s'étalant sur des années d'observations qu'on appelle individus, donc on aura une matrice construite de n individus qui présentent les années d'observations (soit $n = 10$) et p variables qui présentent les données pluviométriques annuelles (soit $p = 4$) que nous allons présenter dans le tableau suivant :

Tableau IV. 3 – présentations des variables et individus

Station/ pluies (mm)	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
1933	567,50	552,50	737,10	569,90
1934	575,60	417,00	566,60	586,10
1935	558,90	429,90	456,70	480,40
1936	397,80	394,60	371,70	370,60
1937	562,60	508,40	444,40	456,33
1938	833,60	585,60	693,10	456,61
1939	415,60	413,60	452,30	444,61
1940	390,60	300,30	444,40	457,61
1941	486,30	402,44	555,30	455,61
1942	409,70	282,68	406,70	410,26

Résultats de l'ACP :

L'application de L'ACP est faite par l'outil informatique et les résultats obtenus sont les suivants :

- Paramètres statistiques :

Tableau IV.4 – paramètres statistiques

Moyenne (mm)	Ecart type
519,82	134,54
428,70	97,94
512,83	122,41
469,60	65,00

- Matrice de corrélation :

Tableau VI.5 – matrice des coefficients de corrélation entre les stations

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 3
Station 1	1			
Station 2	0,820	1		
Station 3	0,727	0,730	1	
Station 4	0,370	0,388	0,671	1

- Variance expliquée :

Tableau IV.6 - variance expliquée par chaque Cp

N°de cp	CP1	CP 2	CP 3	CP 4
variance (%)	71,96	18,98	4,60	4,39
Cumul (%)	71,96	90,94	95,54	99,93

- *Projection des axes principaux :*

Tableau IV.7 – présentations des axes principaux

	C1	C 2	C 3	C 4
<i>Station 1</i>	0,88	-0,36	-0,11	0,30
<i>Station 2</i>	0,88	-0,34	0,28	-0,16
<i>Station 3</i>	0,93	0,14	-0,27	-0,22
<i>Station 4</i>	0,69	0,70	0,13	0,12

- *Les composantes principales :*

Tableau IV.8 – Composantes principales

	Cp1	Cp 2	Cp3	Cp4
1933	1,45	1,03	0,18	-1,78
1934	0,66	1,60	0,24	1,48
1935	-0,02	-0,07	0,65	1,17
1936	-1,12	-1,03	0,57	-0,82
1937	0,12	-0,80	1,75	0,37
1938	1,62	-1,76	-1,19	0,52
1939	-0,49	0,15	0,78	-0,70
1940	-0,93	0,74	-0,81	0,10
1941	-0,10	0,10	-0,94	-0,76
1942	-1,20	0,05	-1,23	0,42

CHAPITRE V

ANALYSE TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS

V.1. INTRODUCTION :

L'étude statistique des séries pluviométriques annuelles et mensuelles peut aider à connaître la variabilité du régime pluviométrique dans une région.

Dans ce chapitre nous allons :

- 1. Analyser les précipitations au pas de temps annuels, nous essayerons de recueillir le maximum de stations parmi les 13 représentatives et qui ont la plus longue période.*
- 2. Faire une étude saisonnière des pluies annuelles : nous partagerons les données des pluies annuelles en deux saisons, sèches et humides afin de détecter l'influence et l'impact des deux saisons sur les totaux annuels.*

V.2. ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE :

D'après les différentes études faites sur le bassin versant de la Soummam, il est mentionné qu'il y a eu une sécheresse accentuée durant la période s'étalant depuis les années 70 jusqu'à 2000.

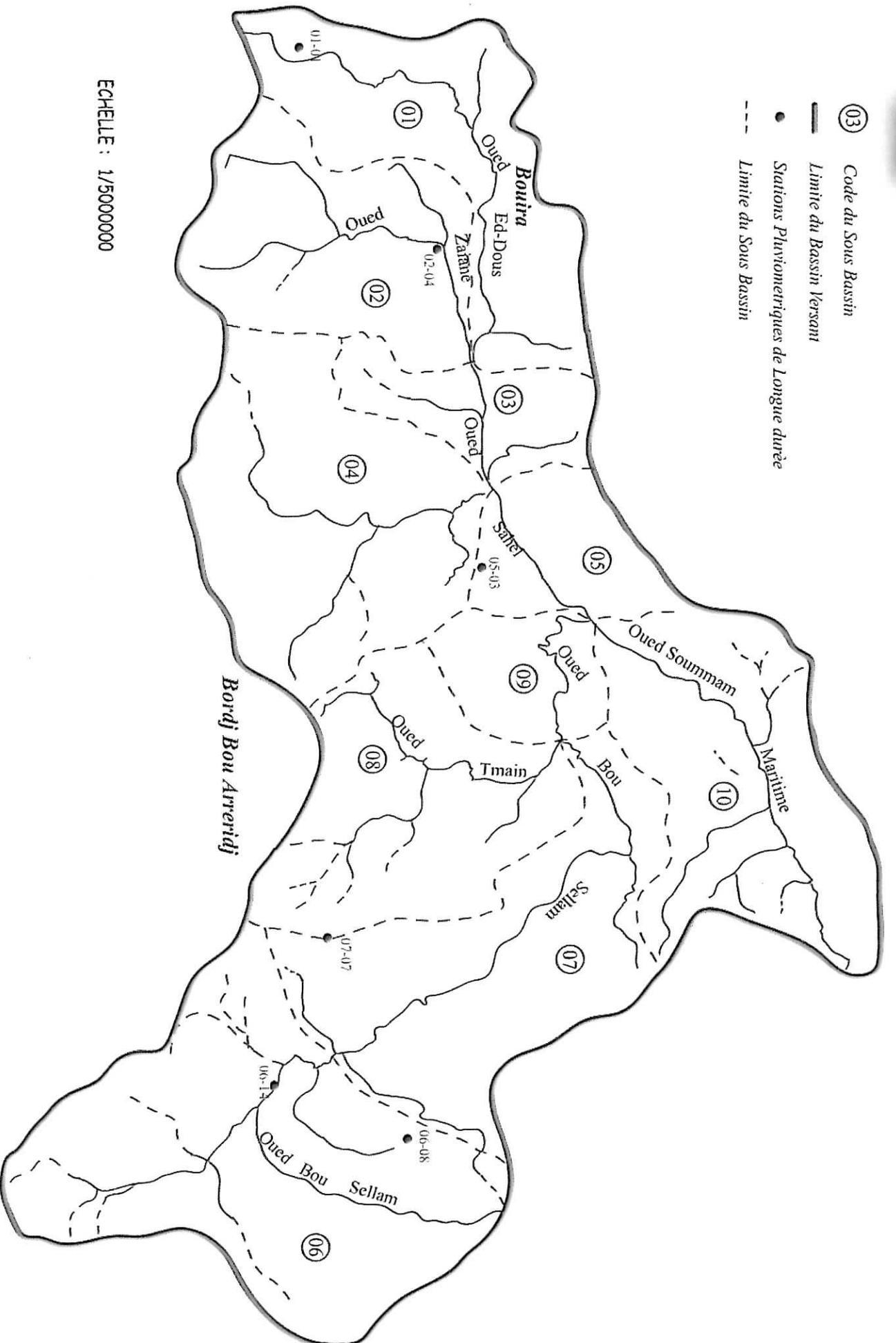
L'objectif de notre étude c'est de savoir s'il y a eu vraiment un changement remarquable du régime pluviométrique dans ce bassin, pour cela il nous a fallu recueillir les données des périodes antécédentes à cette période. Parmi les 13 stations retenues, seules 6 possèdent des données s'étalant de 1923-1959 (Figure V.1).

Pour affiner l'étude, nous avons procéder à deux méthodes :

- 1. Etudier le régime pluviométrique pour la période totale des stations (1923-2000) avec un manque des données s'étalant de 1960-1967.*
- 2. Etudier le régime pluviométrique en subdivisant la période totale en deux périodes d'étude :*
 - 1ière période : 1923-1959.*
 - 2ième période : 1968-2000.*

LEGENDE :

- ③ Code du Sous Bassin
- Limite du Bassin Versant
- Stations Pluviométriques de Longue durée
- - - Limite du Sous Bassin



ECHELLE : 1/5000000

Figure V.1 - CARTE DE SITUATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES DE LONGUE DUREE

V.2.1. PERIODE TOTALE (1923-2000) :

V.2.1.1. EVOLUTION DE LA PLUIE ANNUELLE :

L'évolution des pluies annuelles des six stations est représentée dans la Figure V.2. On constate le caractère aléatoire de la variable étudiée et une variation des valeurs d'une station à l'autre, ceci dû aux variations climatiques d'une région à l'autre et au relief aussi.

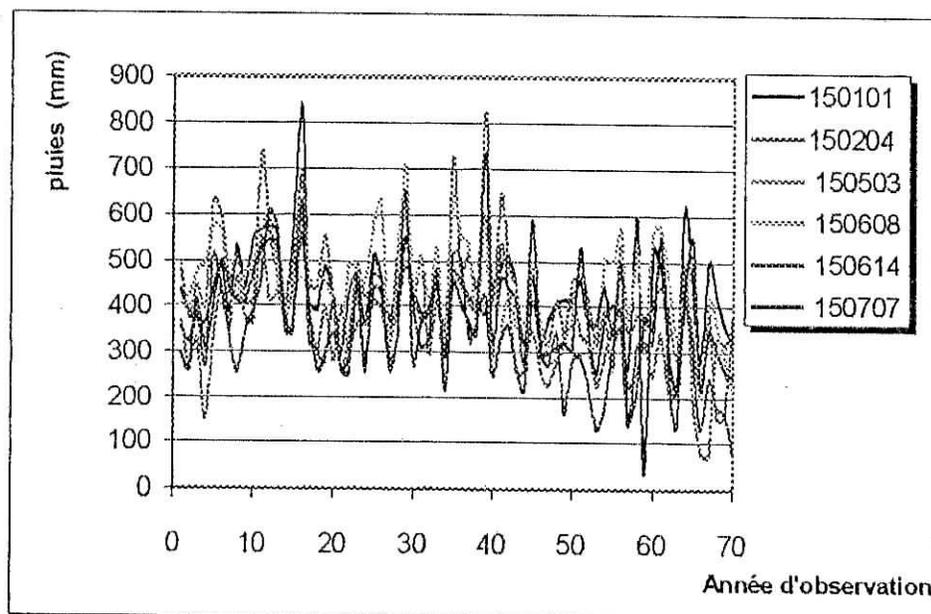


Figure V.2 - Evolution des pluies annuelles des six stations

V.2.1.2. CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DES STATIONS :

Tableau V.1 - Caractéristiques statistiques des six stations

N° de station	station	Moyenne	Ecart type
1	Sourelghozlane	423,4	108,9
2	El Asnam	365,8	112,3
3	Ighil Ali	423,2	122,2
4	Bouira	442,6	103,9
5	Tixter	338,8	121,8
6	Bir Kasdali	378,1	108,3

V.2.1.3. APPLICATION DE LA MOYENNE MOBILE :

En appliquons la théorie de la moyenne mobile à un pas de temps de 5 ans sur les précipitations annuelles des six stations, on a obtenu les résultats suivants :

Tableau V.2 - Moyenne Mobile des 6 stations

station	101	204	503	608	614	707
AN	MM	MM	MM	MM	MM	MM
1923						
1924						
1925	430,9	288,1	468,6	475,9	369,2	336,4
1926	440,8	302,1	490,4	508,5	384,0	376,6
1927	442,5	320,4	507,8	508,8	386,7	411,5
1928	473,9	347,4	519,9	496,9	361,7	411,5
1929	489,3	391,9	521,6	493,1	376,5	430,9
1930	479,4	400,4	478,3	474,4	351,8	446,3
1931	495,5	422,7	506,8	475,6	359,3	451,3
1932	532,8	435,1	527,6	514,8	413,1	472,2
1933	538,3	428,8	517,3	530,0	474,3	495,7
1934	529,3	432,4	509,2	510,5	481,3	483,2
1935	532,5	460,5	515,3	507,3	473,0	460,3
1936	585,7	467,1	506,5	486,9	506,1	467,0
1937	553,7	466,4	483,6	456,0	451,1	437,4
1938	520,0	440,5	481,2	451,0	398,6	383,8
1939	537,8	442,1	517,9	468,0	378,3	373,5
1940	507,2	396,9	510,4	456,9	391,9	370,2
1941	393,3	357,9	423,7	431,2	325,3	311,6
1942	366,3	336,7	398,5	437,9	344,6	282,9
1943	377,6	349,2	407,3	442,8	376,7	317,8
1944	353,0	342,0	379,5	444,1	372,4	313,4
1945	373,8	367,1	391,5	478,4	390,0	332,7
1946	413,6	369,0	431,7	536,2	421,9	365,6
1947	431,8	373,6	439,1	504,0	389,1	372,2
1948	421,7	404,5	441,4	496,1	361,7	349,9
1949	457,3	454,1	474,1	546,4	440,1	405,9

Suite du Tableau V.2 - Moyennes Mobiles des 6 stations

station	101	204	503	608	614	707
AN	MM	MM	MM	MM	MM	MM
1950	444,0	451,6	469,0	518,3	396,0	399,2
1951	429,2	473,6	451,5	496,7	377,7	376,2
1952	434,8	466,6	455,8	516,1	403,2	384,9
1953	451,1	445,4	451,4	531,9	430,3	410,4
1954	408,5	390,1	395,6	451,1	358,2	343,8
1955	414,3	456,1	402,5	493,9	405,1	352,9
1956	427,2	450,3	417,7	500,9	432,8	372,9
1957	431,7	494,4	423,2	520,5	421,3	380,1
1958	417,3	500,0	406,0	492,2	401,2	357,5
1959	428,5	550,9	510,2	543,3	427,7	460,6
1968	421,7	464,3	498,3	464,7	375,5	437,9
1969	428,2	475,2	537,3	423,1	359,0	446,8
1970	446,5	457,6	553,8	403,5	363,5	461,9
1971	454,4	421,6	564,6	397,0	346,6	476,1
1972	441,2	355,3	465,4	370,0	304,8	385,5
1973	446,2	365,7	478,6	419,0	335,8	435,6
1974	413,8	311,1	423,4	425,6	312,7	403,1
1975	385,2	271,1	388,2	398,1	295,7	374,9
1976	377,8	275,5	381,3	384,2	296,6	354,3
1977	397,5	287,6	384,0	361,0	286,7	362,4
1978	386,8	304,4	378,8	340,4	260,7	306,8
1979	412,7	319,6	398,7	377,7	257,5	353,2
1980	407,8	338,0	419,4	386,6	249,2	367,9
1981	377,2	327,2	400,6	397,1	219,2	379,4
1982	367,6	320,5	411,1	432,7	220,8	403,8
1983	365,8	307,1	373,6	453,5	227,1	410,5
1984	352,4	316,5	387,9	453,4	239,1	403,9
1985	336,3	298,4	372,9	457,3	221,0	360,8
1986	403,4	303,3	385,3	499,5	257,8	329,6
1987	402,8	309,8	381,9	473,1	287,6	315,7
1988	427,0	287,7	408,1	485,8	290,4	318,7
1989	447,1	279,0	389,1	488,1	328,3	330,1
1990	455,6	275,7	396,0	508,3	351,5	358,9
1991	382,0	272,8	378,9	468,0	315,7	361,5
1992	431,3	291,6	402,2	471,6	330,5	371,8
1993	414,1	310,0	362,7	460,1	324,7	409,6
1994	373,5	284,8	289,8	390,4	242,9	344,5
1995	411,7	318,9	228,5	382,5	240,3	352,9
1996	451,9	302,8	234,0	385,0	249,0	369,7
1997	400,6	253,8	199,0	365,9	202,5	336,2
1998	377,7	261,7	231,0	307,1	159,0	276,4
1999						
2000						

L'évolution des moyennes mobiles des stations étudiée est représentée dans la Figure suivante :

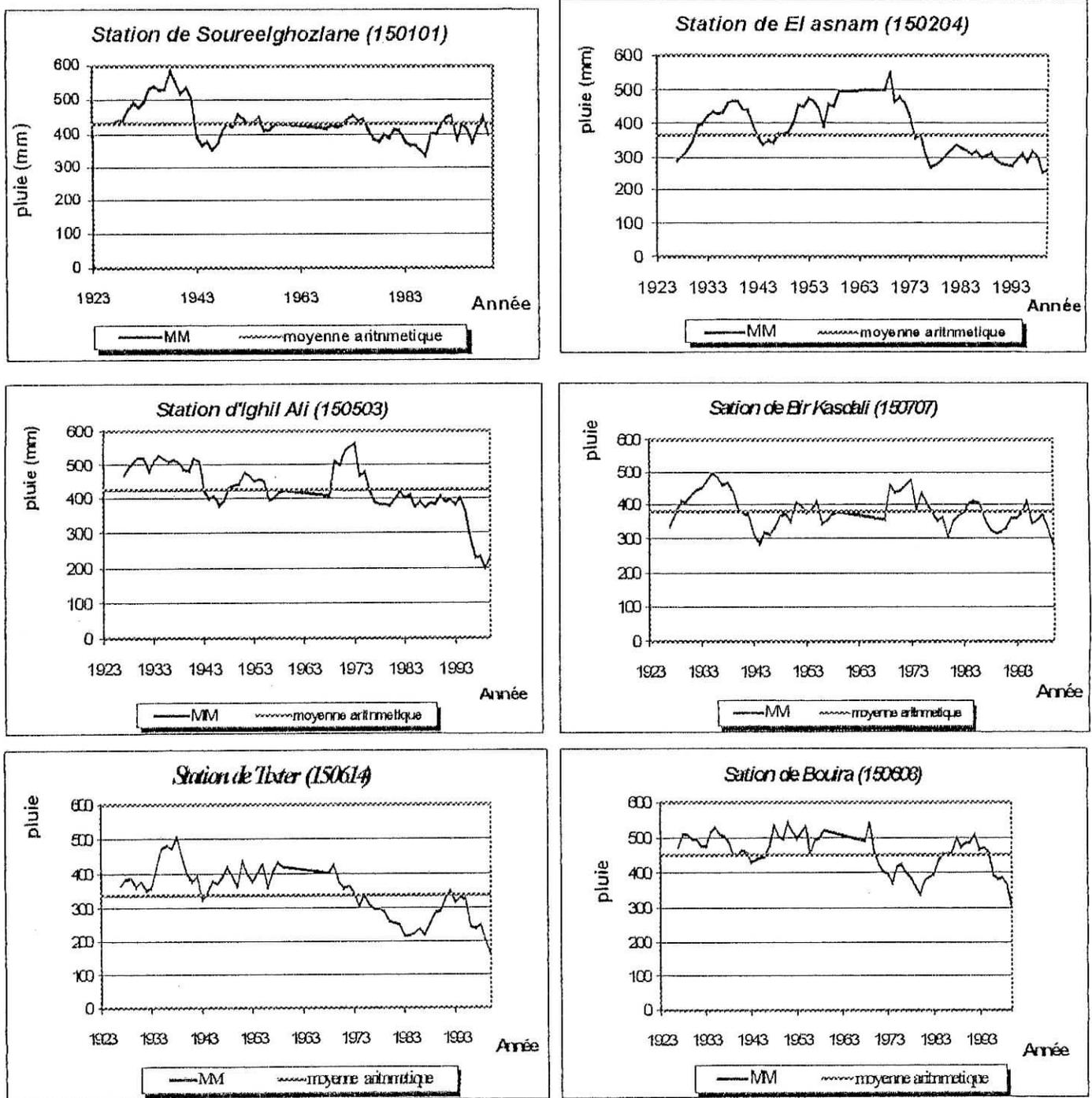


Figure V.3 - Moyennes Mobiles des pluies annuelles

La Figure V.3 montre une tendance à la baisse des moyennes mobiles depuis 1969 à 2000 dans les 3 stations de El Asnam (150204), Ighil Ali (150503) et Tixter (150614) alors que pour le reste des stations (03) la tendance n'est pas vraiment confirmée.

V.2.1.4. CUMUL DES ECARTS A LA MOYENNE :

On calcul l'écart à la moyenne Em_i qui correspond à l'excédent ou non du déficit de pluviométrie de l'année considérée par rapport à la moyenne des années d'observations.

$$Em_i = P_i - \bar{P}$$

P_i : Précipitation enregistrée dans l'année i .

\bar{P} : Moyenne annuelle des précipitations.

En faisant le cumul de cet écart pour toute la période étudiée, on a obtenu les résultats qui sont données par le Tableau V.3, et le reste sont présentés dans l'annexe 2:

Tableau V.3 – Cumul des écarts pluviométrique de la station de sourelghozlane

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150101(%)	Cumul des écarts à la moyenne	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150101(%)	Cumul des écarts à la moyenne
1923/1924	0,02	0,02	1958/1959	0,06	2,05
1924/1925	-0,12	-0,10	1959/1960	-0,02	2,03
1925/1926	-0,13	-0,23	1968/1969	-0,06	1,97
1926/1927	-0,15	-0,38	1969/1970	-0,11	1,87
1927/1928	0,39	0,01	1970/1971	0,03	1,89
1928/1929	0,13	0,14	1971/1972	0,13	2,03
1929/1930	-0,10	0,05	1972/1973	0,19	2,22
1930/1931	0,24	0,28	1973/1974	0,04	2,26
1931/1932	0,03	0,31	1974/1975	-0,26	2,00
1932/1933	0,27	0,58	1975/1976	0,09	2,08
1933/1934	0,32	0,90	1976/1977	-0,25	1,84
1934/1935	0,34	1,24	1977/1978	-0,14	1,70
1935/1936	0,30	1,54	1978/1979	-0,05	1,65
1936/1937	-0,08	1,46	1979/1980	-0,03	1,62
1937/1938	0,31	1,77	1980/1981	-0,04	1,58
1938/1939	0,94	2,71	1981/1982	0,06	1,63
1939/1940	-0,03	2,68	1982/1983	-0,20	1,44
1940/1941	-0,09	2,58	1983/1984	-0,41	1,03
1941/1942	0,13	2,72	1984/1985	-0,14	0,89
1942/1943	-0,05	2,67	1985/1986	-0,06	0,83
1943/1944	-0,39	2,28	1986/1987	-0,10	0,73
1944/1945	-0,35	1,94	1987/1988	-0,36	0,35
1945/1946	0,04	1,97	1988/1989	0,37	0,72
1946/1947	-0,16	1,82	1989/1990	-0,15	0,58
1947/1948	0,19	2,01	1990/1991	0,22	0,80
1948/1949	0,08	2,09	1991/1992	0,13	0,93
1949/1950	-0,14	1,95	1992/1993	-0,28	0,65
1950/1951	-0,08	1,88	1993/1994	-0,48	0,16
1951/1952	0,26	2,14	1994/1995	0,43	0,59
1952/1953	0,04	2,17	1995/1996	0,02	0,61
1953/1954	-0,09	2,08	1996/1997	-0,34	0,27
1954/1955	-0,07	2,01	1997/1998	0,16	0,43
1955/1956	0,11	2,12	1998/1999	-0,01	0,42
1956/1957	-0,24	1,89	1999/2000	-0,17	0,25
1957/1958	0,11	1,99	2000/2001	-0,25	0,00

Les cumuls des écarts à la moyenne de toutes les stations sont représentés dans la Figure V.4

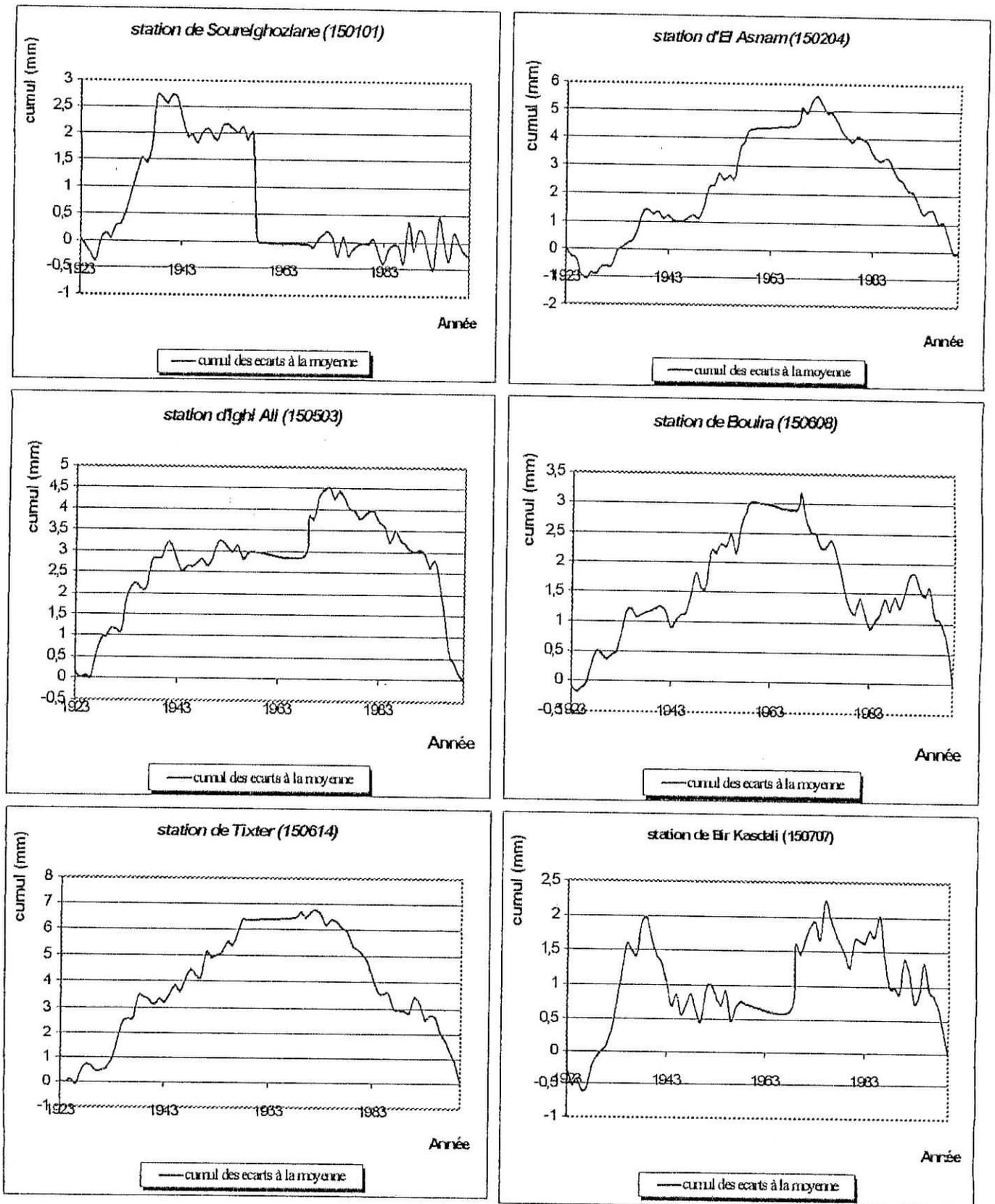


Figure V.4 - Cumul des écarts à la moyenne

- **Interprétation des résultats :**

D'après les résultats des cumuls des écarts à la moyenne représentés sur la Figure V.4, on remarque que dans la majorité des stations, la période s'étalant de 1923-1970 est une période humide et la période s'étalant de 1971 à 2000 est une période sèche.

V.2.1.5. APPLICATION DE L'ACP SUR LES TOTAUX ANNUELS PLUVIOMETRIQUES :

L'application de l'ACP sur les pluies annuelles de ces stations étudiées a donné les résultats suivants :

Tableau V.9 - Matrice de corrélation entre les stations de la période totale

	150101	150204	150503	150608	150614	150707
150101	1					
150204	0,481	1				
150503	0,485	0,542	1			
150608	0,453	0,491	0,481	1		
150614	0,593	0,616	0,593	0,716	1	
150707	0,505	0,546	0,629	0,601	0,653	1

Les résultats montrent que les coefficients de corrélations ne sont pas significatifs même entre les stations de la même région, la valeur maximale du coefficient de corrélation est enregistrée entre la station de Bouira et Bir Kasdali (0,716).

Tableau V.10 - Variance expliquée par chaque CP

N° de CP	Cp1	Cp 2	Cp3	Cp 4	Cp 5	Cp 6
Variance (%)	63%	10%	9%	8%	6%	4%
Cumul des variances (%)	63%	73%	82%	90%	96%	100%

On remarque que la première composante principale explique 63% du phénomène étudié (l'effet de la moyenne). Le cumul de cette liere composante principale est résumé dans le Tableau V.11

Tableau V.11 - Cumuls de la liere composante principale

Année	CP1	Cumul de cp1	Année	CP1	Cumul de cp1
1923	-0,08	-0,08	1958	0,91	13,74
1924	-0,64	-0,71	1959	0,39	14,14
1925	0,11	-0,60	1968	-0,12	14,02
1926	-0,66	-1,26	1969	2,14	16,16
1927	0,93	-0,33	1970	-0,71	15,45
1928	1,19	0,86	1971	0,74	16,20
1929	0,07	0,93	1972	0,52	16,71
1930	0,37	1,31	1973	-0,34	16,38
1931	0,19	1,50	1974	-1,12	15,26
1932	0,57	2,07	1975	0,77	16,04
1933	1,91	3,98	1976	-0,82	15,21
1934	1,73	5,70	1977	-1,11	14,11
1935	1,22	6,92	1978	-0,65	13,46
1936	-0,21	6,72	1979	-0,91	12,55
1937	0,54	7,26	1980	-0,23	12,32
1938	2,51	9,77	1981	0,47	12,79
1939	0,17	9,94	1982	-0,68	12,11
1940	-0,42	9,52	1983	-1,36	10,75
1941	0,15	9,67	1984	-0,34	10,41
1942	-0,20	9,47	1985	-0,31	10,10
1943	-1,03	8,43	1986	0,66	10,76
1944	-0,51	7,92	1987	-1,63	9,13
1945	0,61	8,53	1988	-0,20	8,93
1946	-0,46	8,07	1989	-1,07	7,86
1947	1,02	9,09	1990	0,11	7,97
1948	0,89	9,98	1991	1,10	9,07
1949	-0,82	9,17	1992	-0,84	8,23
1950	0,04	9,21	1993	-1,72	6,51
1951	2,24	11,45	1994	0,64	7,15
1952	0,08	11,53	1995	-0,01	7,13
1953	0,16	11,68	1996	-2,27	4,86
1954	-0,29	11,39	1997	-0,72	4,14
1955	0,83	12,22	1998	-1,16	2,98
1956	-1,10	11,12	1999	-1,54	1,44
1957	1,71	12,83	2000	-1,44	0,00

La Figure V.5 représente le cumul de la liere composante principale en fonction des années d'observations.

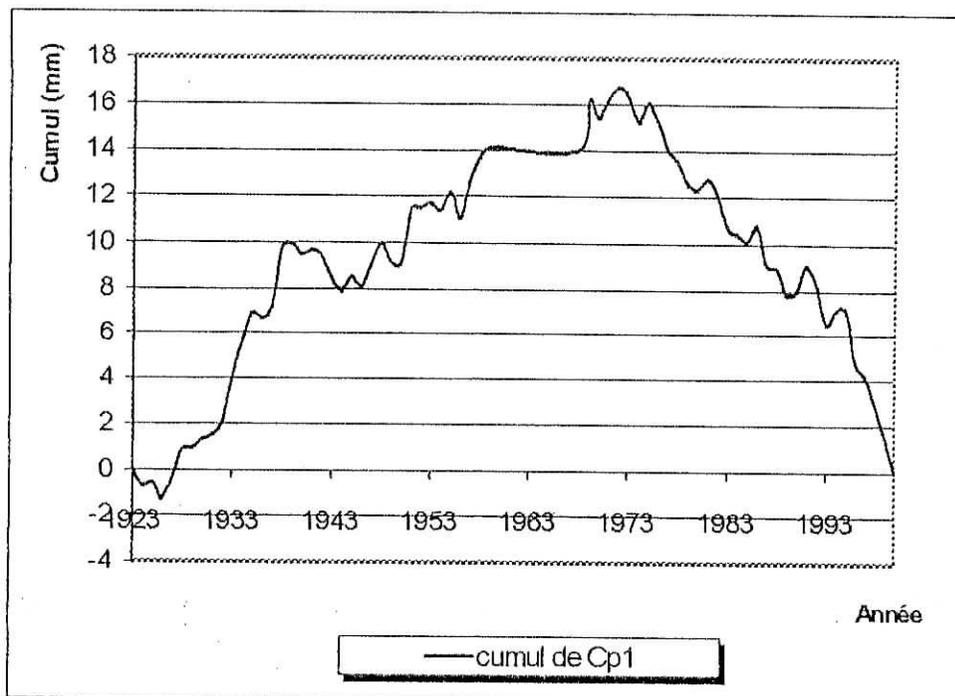


Figure V.5 - Cumul de la première composante principale

• *Interprétation des résultats :*

La Figure V.5 confirme les résultats des cumuls des écarts à la moyenne, c'est à dire que la période s'étalant de 1923-1970 est une période humide et la période s'étalant de 1971 à 2000 est une période sèche, donc on constate qu'il y a un changement appréciable du régime pluviométrique, d'après cette méthode.

V.2.2. ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE DES DEUX PERIODES :

Pour approfondir notre étude, et vu le manque des données durant la période 1960-1967, on a subdivisé les séries d'observations en deux périodes distinctes 1923-1959 et 1968-2000.

V.2.2.1. CARACTERISTIQUES DES STATIONS :

Tableau V.12 - Paramètres statistiques des deux périodes

N° station	Code	Station	Période	Moyenne	Ecart type
1	150101	Sourelghozlane	1923-1959	449,9	100,9
			1968-2000	393,6	111,4
2	150204	El asnam	1923-1959	408,1	108,2
			1968-2000	318,4	98,4
3	150503	Ighil Ali	1923-1959	454,8	98,0
			1968-2000	387,7	137,7
4	150608	Bouira	1923-1959	482,1	87,4
			1968-2000	398,3	104,1
5	150614	Tixter	1923-1959	397,9	107,9
			1968-2000	272,6	101,7
6	150707	Bir Kasdali	1923-1959	385,6	93,7
			1968-2000	369,7	123,6

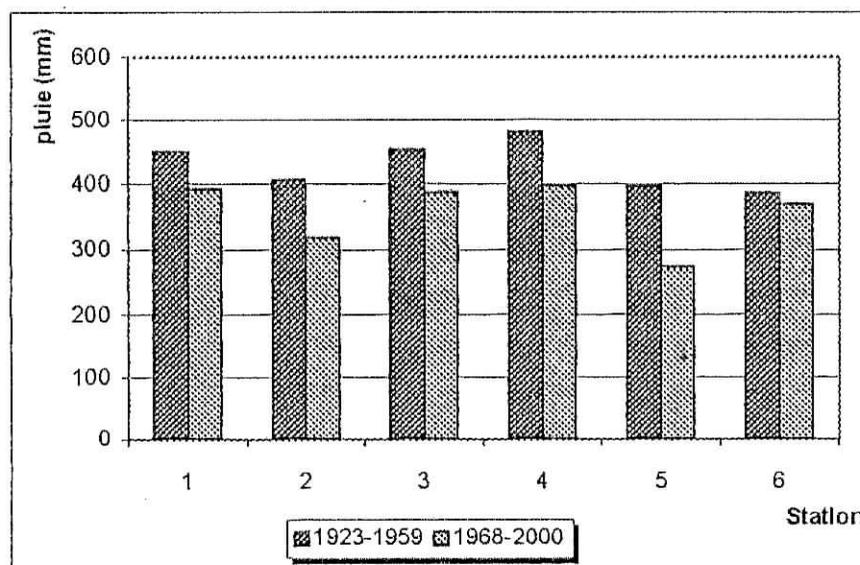


Figure V.6 - Répartition des moyennes des pluies annuelles des deux périodes

La Figure V.6 représente la répartition des moyennes des pluies annuelles des 6 stations pour les deux périodes (1923-1959, 1968-2000) :

Cette figure montre qu'il y a une diminution de la quantité de pluie annuelle de la 2ième période par rapport à la première dans toutes les stations mais elle est peu significative dans les stations 1, 3 et 6 (environ 60 mm d'écart) de et est assez significative dans les stations 2, 4 et 5 (plus de 100 mm d'écart).

V.2.2.2. APPLICATION DE LA MOYENNE MOBILE :

Les résultats de la moyenne mobile appliquée aux six stations durant les deux périodes d'étude sont représentés dans les figures ci dessous.

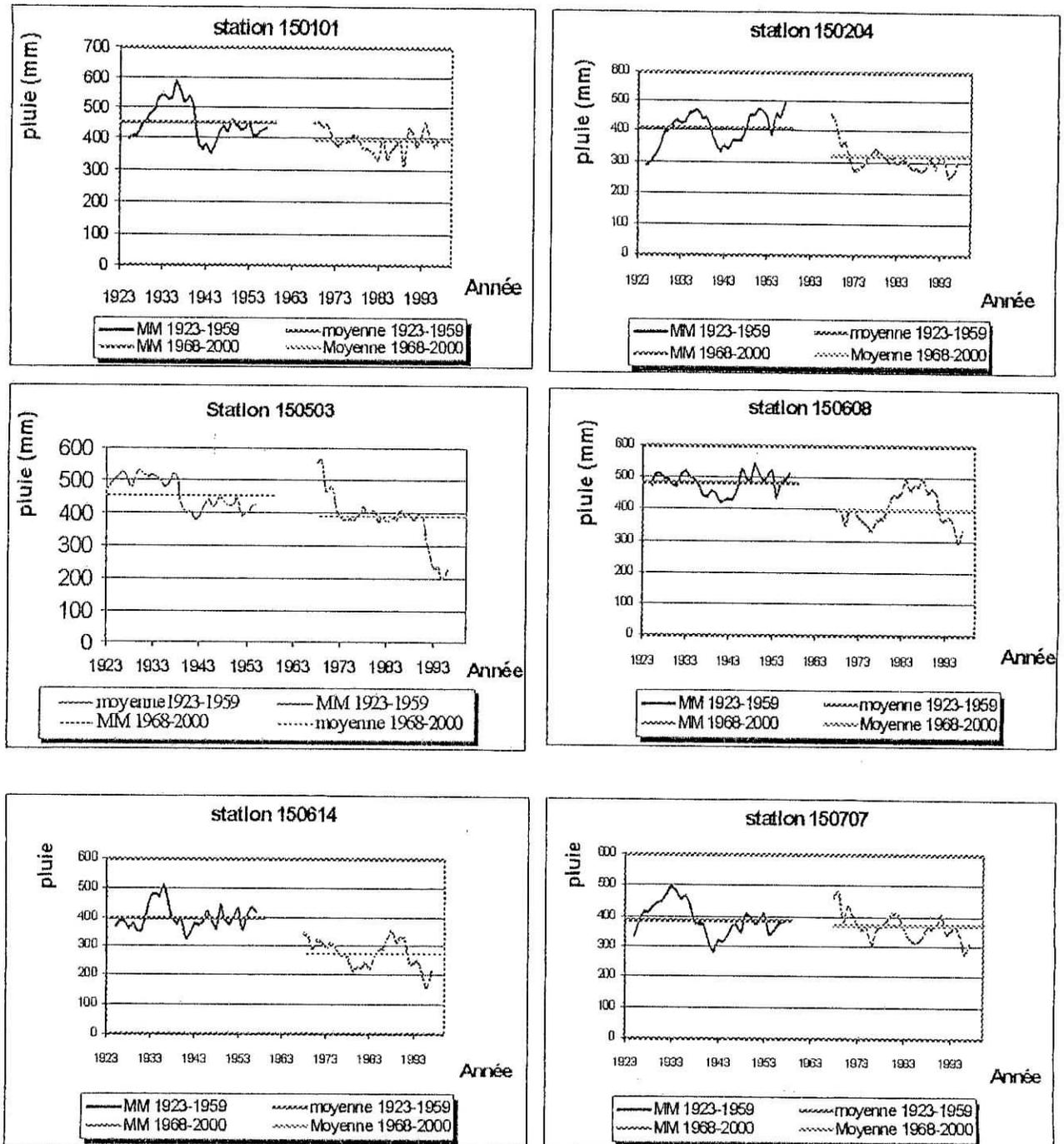


Figure V.7 - Moyennes Mobiles des deux périodes

L'analyse de la Figure V.7 montre le caractère aléatoire des séries de précipitations dans les deux périodes et la diminution de la moyenne arithmétique des précipitations annuelles dans toutes les stations mais qui n'est pas tellement significative dans les stations 150101, 150503 et 150707 alors qu'elle est assez significative dans les stations 150204, 150614 et 150608.

V.2.2.3. APPLICATION DE L'ECART A LA MOYENNE :

Le niveau de déficit à partir duquel ou non constitue souvent une difficulté majeure dans ce cas, on calcule l'écart à la moyenne E_i qui correspond à l'excédent ou non du déficit de pluviométrie de l'année considérée par rapport à la moyenne des années d'observations.

$$E_i(\%) = \frac{P_i - \bar{p}}{\bar{p}} \times 100$$

P_i : Précipitation enregistrée dans l'année i .

\bar{p} : Moyenne annuelle des précipitations.

On définit ensuite un indice pluviométrique I pour différents seuils α afin de caractériser les années sèches, normales (moyennes) et humides tels que :

$I = 1+$	$E_i > \alpha$	\rightarrow année humide.
$I = 0+$	$0 < E_i < \alpha$	\rightarrow année normale.
$I = 0-$	$-\alpha < E_i < 0$	\rightarrow année normale.
$I = 1-$	$E_i < -\alpha$	\rightarrow année sèche.

On a appliqué cette méthode pour les seuils $\alpha = 10\%$ et $\alpha = 20\%$, les résultats de l'écart à la moyenne appliquée aux deux périodes séparément sont représentés dans le Tableau V.13,

Le reste des tableaux sont résumé dans l'annexe 3.

Tableau V.13 - Ecart et indice pluviométrique de la station de sourelghozlane des deux périodes

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150101 (%) 1iere période	10%	20%	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150101 (%) 2ieme période	10%	20%
1923/1924	-2,7	0-	0-	1968/1969	3,2	0+	0+
1924/1925	-15,4	1-	0-	1969/1970	-2,3	0-	0-
1925/1926	-16,9	1-	0-	1970/1971	12,3	1+	0+
1926/1927	-18,6	1-	0-	1971/1972	23,6	1+	1+
1927/1928	-2,8	0-	0-	1972/1973	30,4	1+	1+
1928/1929	8,3	0+	0+	1973/1974	13,2	1+	0+
1929/1930	-13,5	1-	0-	1974/1975	-19,0	1-	0-
1930/1931	18,0	1+	0+	1975/1976	18,6	1+	0+
1931/1932	-1,5	0-	0-	1976/1977	-17,6	1-	0-
1932/1933	21,5	1+	1+	1977/1978	-6,0	0-	0-
1933/1934	26,1	1+	1+	1978/1979	3,8	0+	0+
1934/1935	27,9	1+	1+	1979/1980	6,1	0+	0+
1935/1936	24,2	1+	1+	1980/1981	5,0	0+	0+
1936/1937	-11,6	1-	0-	1981/1982	15,3	1+	0+
1937/1938	25,0	1+	1+	1982/1983	-12,2	1-	0-
1938/1939	85,3	1+	1+	1983/1984	-35,1	1-	1-
1939/1940	-7,6	0-	0-	1984/1985	-6,1	0-	0-
1940/1941	-13,2	1-	0-	1985/1986	2,7	0+	0+
1941/1942	8,1	0+	0+	1986/1987	-1,6	0-	0-
1942/1943	-8,9	0-	0-	1987/1988	-32,7	1-	1-
1943/1944	-41,3	1-	1-	1988/1989	50,1	1+	1+
1944/1945	-37,6	1-	1-	1989/1990	-90,7	1-	1-
1945/1946	4,0	0+	0+	1990/1991	33,3	1+	1+
1946/1947	-19,5	1-	0-	1991/1992	23,9	1+	1+
1947/1948	14,1	1+	0+	1992/1993	-21,8	1-	1-
1948/1949	3,0	0+	0+	1993/1994	-43,3	1-	1-
1949/1950	-17,4	1-	0-	1994/1995	55,7	1+	1+
1950/1951	-11,9	1-	0-	1995/1996	11,5	1+	1+
1951/1952	20,4	1+	1+	1996/1997	-27,7	1-	1-
1952/1953	-0,6	0-	0-	1997/1998	26,8	1+	1+
1953/1954	-13,4	1-	0-	1998/1999	7,7	0+	0+
1954/1955	-11,2	1-	0-	1999/2000	-9,4	0-	0-
1955/1956	6,3	0+	0+	2000/2001	-17,5	1-	0-
1956/1957	-27,0	1-	1-				
1957/1958	5,8	0+	0+				
1958/1959	0,9	0+	0+				
1959/1960	-6,2	0-	0-				

- **Interprétation des résultats :**

Les constatations faites après analyse des résultats des tableaux précédents sont :

1. *La station 150101 a enregistré un déficit de 2,3% en 1969/1970 tandis que toutes les stations ont enregistré de grands apports pluviométriques.*
2. *La station 150101 a enregistré un très grand déficit 90,7 % en 1989/1990 tandis que toutes les stations ont enregistré des années normales.*
3. *La station 150608 a enregistré un déficit de 5,5 % en 1938/1939 et un autre en 1971/1972 de 12,8 % tandis que toutes les stations ont enregistré des grands apports durant ces deux périodes et elle a enregistré aussi un apport de 1,5 % en 1944/1945 alors que cette année là est déficitaire dans toutes les autres stations.*
4. *La station 150707 a enregistré un déficit de 43,3% tandis que les stations les plus proches d'elles ont enregistré respectivement des apports de 15,1 % et 32,3 %.*
5. *Toutes les stations ont enregistré des déficits assez importants en 1956/1957 et 1999/2000.*

- **Conclusion :**

Au niveau de toutes les stations, nous avons remarqué que l'ordre de grandeurs que se soit des déficits ou des apports n'est pas le même, nous avons trouvé même quelques stations qui contredisent les résultats obtenus dans les autres stations qui sont proches d'elles.

Cela est peut dû soit être au relief soit au problème de comblement de lacunes (fiabilité des données), c'est pour cela qu'on ne peut pas confirmer qu'il y a un changement du régime pluviométrique dans le bassin versant de la Soummam.

Un résumé des apports et des déficits dépassant les 30% dans les différents stations est donné dans le tableau V.19 :

Tableau V.19- Apports et Déficit dépassant 30 % des deux périodes

Station	Année	Apport dépassant 30%		Déficit dépassant 30%	
		1923-1959	1969-2000	1923-1959	1969-2000
150101	1938/1939	85,3			
	1943/1944			41,3	
	1944/1945			37,6	
	1972/1973		30,4		
	1983/1984				35,1
	1987/1988				32,7
	1988/1989		50,1		
	1989/1990				90,7
	1990/1991		33,3		
	1993/1994				43,3
150204	1924/1925			35,4	
	1926/1927			62,2	
	1933/1934	35,4			
	1938/1939	43,5			
	1942/1943			30,7	
	1951/1952	50,6			
	1957/1958	77,8			
	1968/1969		38,0		
	1969/1970		86,1		
	1971/1972		68,0		
	1972/1973		34,6		
	1980/1981		34,8		
	1991/1992				
	1992/1993				33,0
	1994/1995		30,1		
	1996/1997				32,3
1998/1999				50,7	
1999/2000				46,9	
150503	1927/1928	38,6			
	1928/1929	30,7			
	1933/1934	62,1			
	1938/1939	52,4			
	1943/1944			42,9	
	1956/1957			33,9	
	1969/1970		100		
	1971/1972		66,2		
	1985/1986				30,6
	1986/1987		39,1		
	1995/1996				47,7
1996/1997				79,4	
1997/1998				80,8	
150608	1943/1944			30,6	
	1949/1950			32,3	
	1951/1952	47,5			
	1956/1957			35,2	
	1957/1958	33,3			
	1969/1970		43,3		
	1970/1971				33,3
	1981/1982		33,3		
	1986/1987		41,3		
	1988/1989		44,3		
	1991/1992		44,3		
	1996/1997				49,2
2000/2001				44,0	

Suite du Tableau V-19

Station	Année	Apport dépassant 30%		Déficit dépassant 30%	
		1923-1959	1969-2000	1923-1959	1969-2000
150614	1926/1927			31,2	
	1930/1931			31,2	
	1934/1935	52,1			
	1938/1939	58,6			
	1946/1947			34,7	
	1949/1950			33,9	
	1951/1952	63,7			
	1968/1969		32,8		
	1969/1970		55,4		
	1972/1973		30,4		
	1975/1976		50,7		
	1979/1980				39,3
	1983/1984				52,3
	1984/1985				36,2
	1987/1988				49,0
	1991/1992		97,9		
	1993/1994				50,7
	1994/1995		45,7		
	1996/1997				52,0
	1998/1999				34,5
1999/2000				39,6	
2000/2001				71,0	
150707	1924/1925			33,4	
	1933/1934	31,8			
	1934/1935	36,8			
	1935/1936	33,3			
	1938/1939	40,1			
	1940/1941			34,1	
	1943/1944			33,5	
	1944/1945			36,4	
	1946/1947			31,8	
	1951/1952	38,6			
	1956/1957			45,0	
	1969/1970		98,6		
	1975/1976		58,6		
	1981/1982		42,9		
	1986/1987		33,9		
	1987/1988				57,3
	1988/1989				43,3
	1991/1992		49,3		
	1993/1994				39,8
	1995/1996		47,7		
1996/1997				38,9	
1999/2000				30,2	
2000/2001				33,1	

Tableau V.20 - Nombre d'années sèches et humides des deux périodes

Station	1iere période (1923-1959)		2ieme période (1968-2000)	
	Nombre d'années sèches	Nombre d'années humides	Nombre d'années sèches	Nombre d'années humides
150101	2	1	4	4
150204	3	4	4	6
150503	2	4	4	3
150608	3	2	3	5
150614	4	3	9	6
150707	6	5	6	6

Après analyse des résultats du Tableau V.20, on constate qu'il y a autant d'année sèche que d'années humides dans toutes les stations et pour les deux différentes périodes.

V.2.2.4. APPLICATION DE L'ACP :

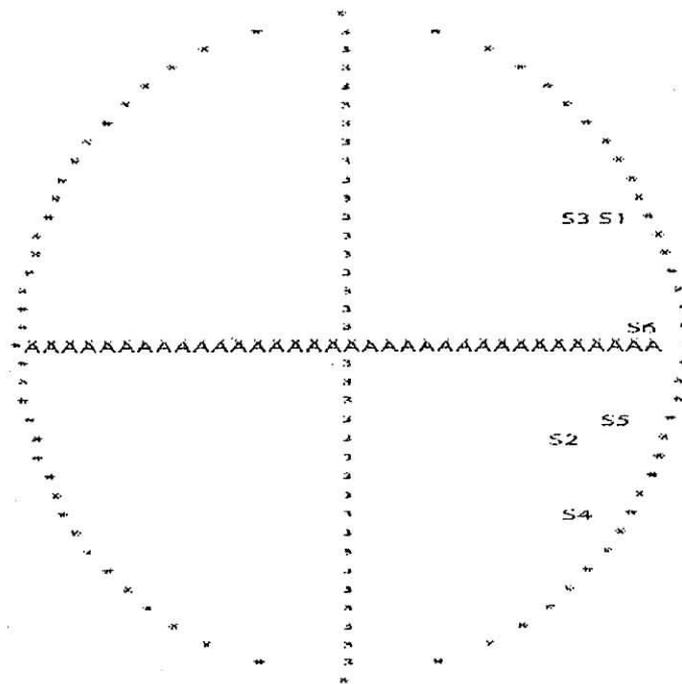


Figure A - Cercle de corrélation des six stations dans la 1ere période (1923-1959)

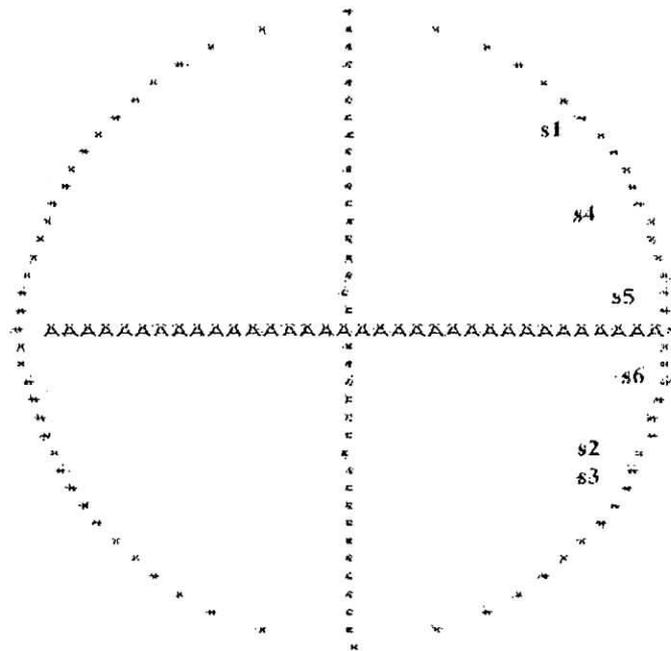


Figure B- Cercle de corrélation des six stations dans la 2ieme période(1968-2000)

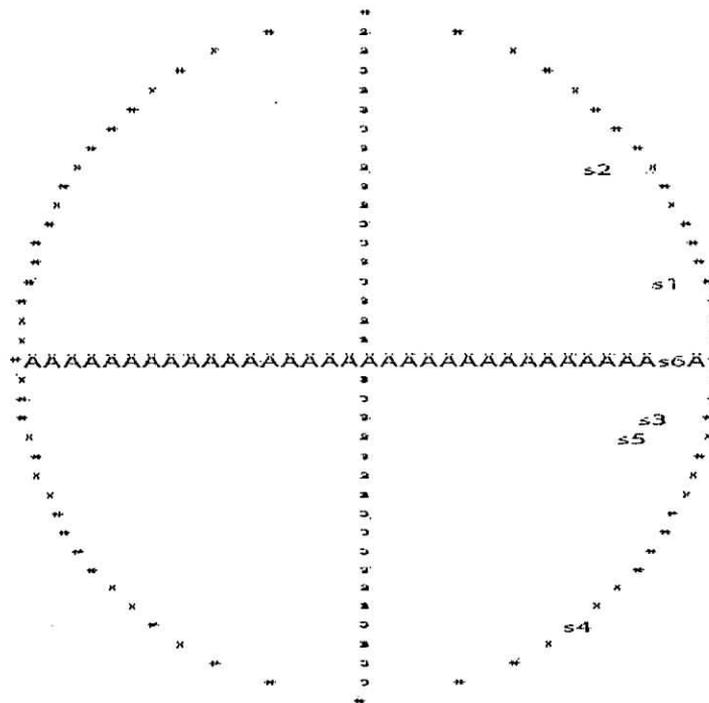


Figure C - Cercle de corrélation avec le minimum de lacunes comblées (1iere période)

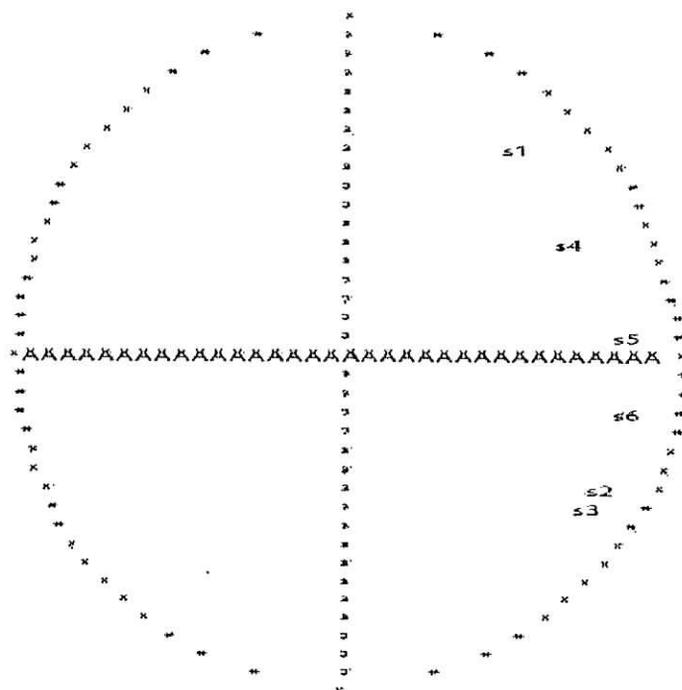


Figure D – Cercle de corrélation avec le minimum de lacunes comblées (2ième période)

Tableau V.21 - Code et numéro des stations

Station	Code
S1	150101
S2	150204
S3	150503
S4	150608
S5	150614
S6	150707

• *Interprétations des résultats :*

Les résultats de l'ACP dans ces cercles de corrélations explique l'effet de la moyenne :

La Figure A montre que : les moyennes des stations S_1 et la station S_3 sont très proches l'une de l'autre aussi que celle des stations dans cette période aussi bien que les stations S_2 et S_5 .

La Figure B montre que : les moyennes des stations S_2 , S_3 et sont proches dans cette période et que les stations S_5 et S_6 ont des moyennes assez proches aussi.

En comparant la Figure A par rapport à celle de B, on constate que :

- un changement de position des stations du régime pluviométrique au niveau de la station S_3 et S_4 , S_5 peut s'expliquer par un changement du régime pluviométrique de ces stations.

- Concernant les autres stations telle que S_1 , S_2 , S_6 , on remarque que le changement n'est pas assez significatif.

On a procédé une ACP sur les stations avec le minimum de comblement de lacunes :

Les Figure C et D montre que la moyenne de S_3 est très proche de celle de S_2 dans la première période et est très proche de celle de S_5 dans la deuxième période.

En comparant la Figure C a celle de D on trouve les résultats suivants :

- Un changement très remarquable au niveau de la station S_2 qui se trouve dans la partie Est du bassin versant cependant on n'a pas remarquer un changement pour cette station dans les premiers cercles.
- Un changement très important au niveau de la station S_4 et assez important pour la station S_1 qui se trouve dans la partie Est du bassin.
- Pour le reste des stations, on n'a pas enregistré un changement significatif.

Finalemnt, on constate que les cercles de corrélations fait par les deux procédures ne donnent pas les mêmes résultats, donc le comblement de lacunes a un impact majeur sur la fiabilité des résultats.

V.3. ETUDE SAISONNIERE (PERIODE TOTALE) :

Afin d'affiner l'étude de la variabilité temporelle des précipitations, nous avons subdivisé l'année hydrologique de chaque station en deux saisons différentes (sèche et humide). Trois méthodes permettant de définir ces dernières :

1. Soit en traçant les courbe des pluies mensuelles et la température en fonction des mois : les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen [36] permettent de fixer le début et la fin d'une période sèche (l'intersection de ces deux courbes marque le début et la fin de chaque saison) [35].

Les diagrammes obtenus à partir des valeurs de pluie et d'évapotranspiration potentielle permettent aussi de définir la longueur de la période sèche [35].

2. Soit à partir de l'évapotranspiration potentielle : une période sèche commence lorsque la quantité d'eau reçue par le sol devient, inférieure à l'évapotranspiration potentielle, ou égale à la moitié ou encore à 35 % de l'évapotranspiration potentielle [34].
3. La troisième méthode que nous allons utilisé consiste à calculer la moyenne mensuelle interannuelle de chaque long des années d'observations et calculer leurs moyennes.

Les résultats obtenus sont représentés dans la Figure V.8 :

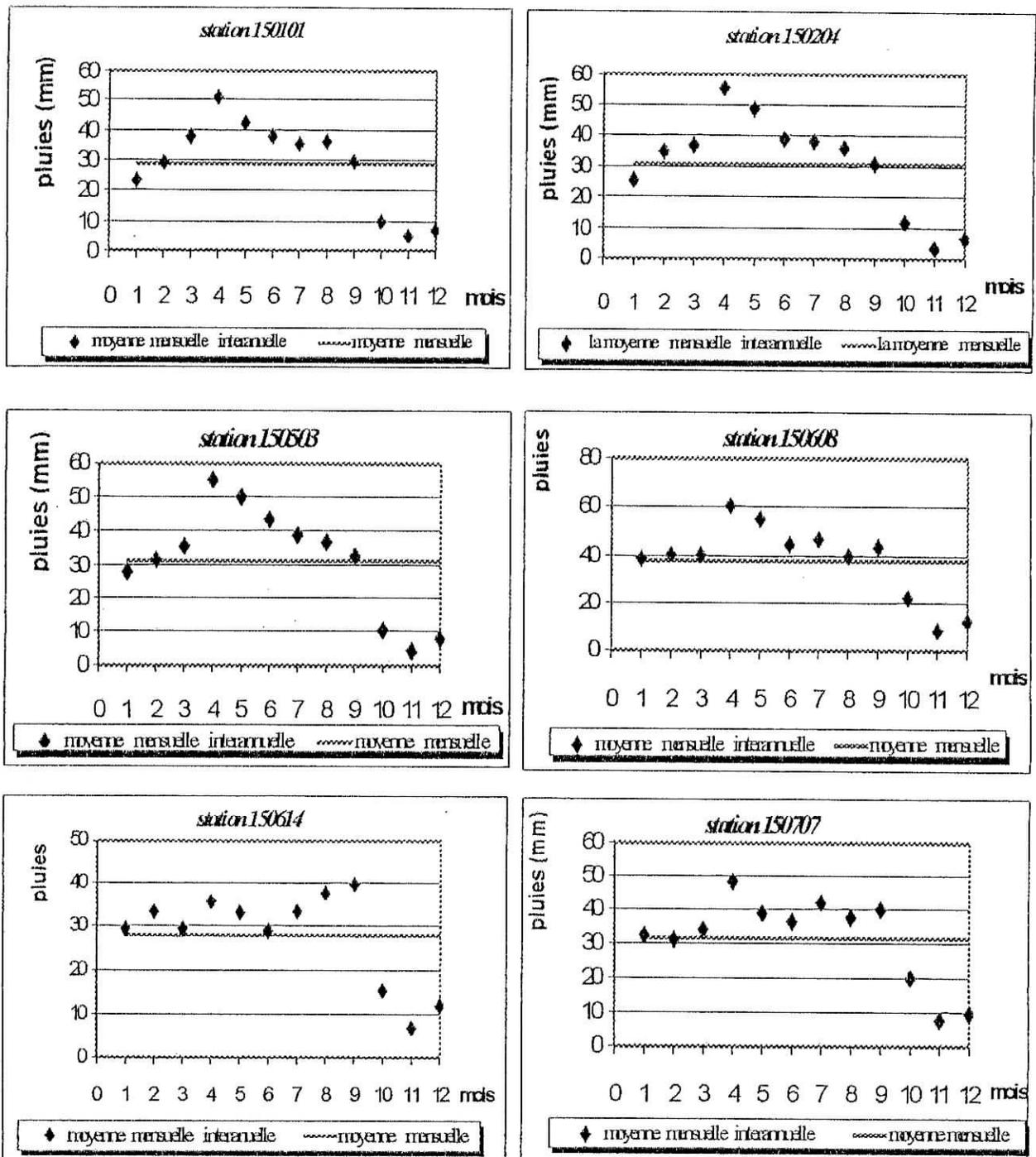


Figure V.8 - Estimation des durées des saisons sèches et humides

Tableau V.22 - Mois et leurs numéro(Année hydrologique)

N°	Mois
1	Septembre
2	Octobre
3	Novembre
4	Décembre
5	Janvier
6	Février
7	Mars
8	Avril
9	Mai
10	Juin
11	Juillet
12	août

1. Saison Sèche :

Pour la majorité des stations la saison sèche débute du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

2. Saison humide :

Saison humide débutant du mois en générale du mois d'Octobre jusqu'au mois de d'Avril.

L'analyse de la variation des pluies mensuelles interannuelles de la période d'étude montre que le mois le plus pluvieux pour la quasi- totalité des stations est le mois de décembre avec une précipitation entre 45 mm et 60 mm, par contre pour la station de Tixter le mois le plus pluvieux c'est le mois Mai avec une précipitation dépassant les 40 mm.

V.3.1 APPLICATION DE LA MOYENNE MOBILE DES DEUX SAISONS :**V.3.1 SAISON HUMIDE :**

Les résultats d'application de la moyenne mobiles des six stations pour la période humide sont représentés dans la Figure V.9.

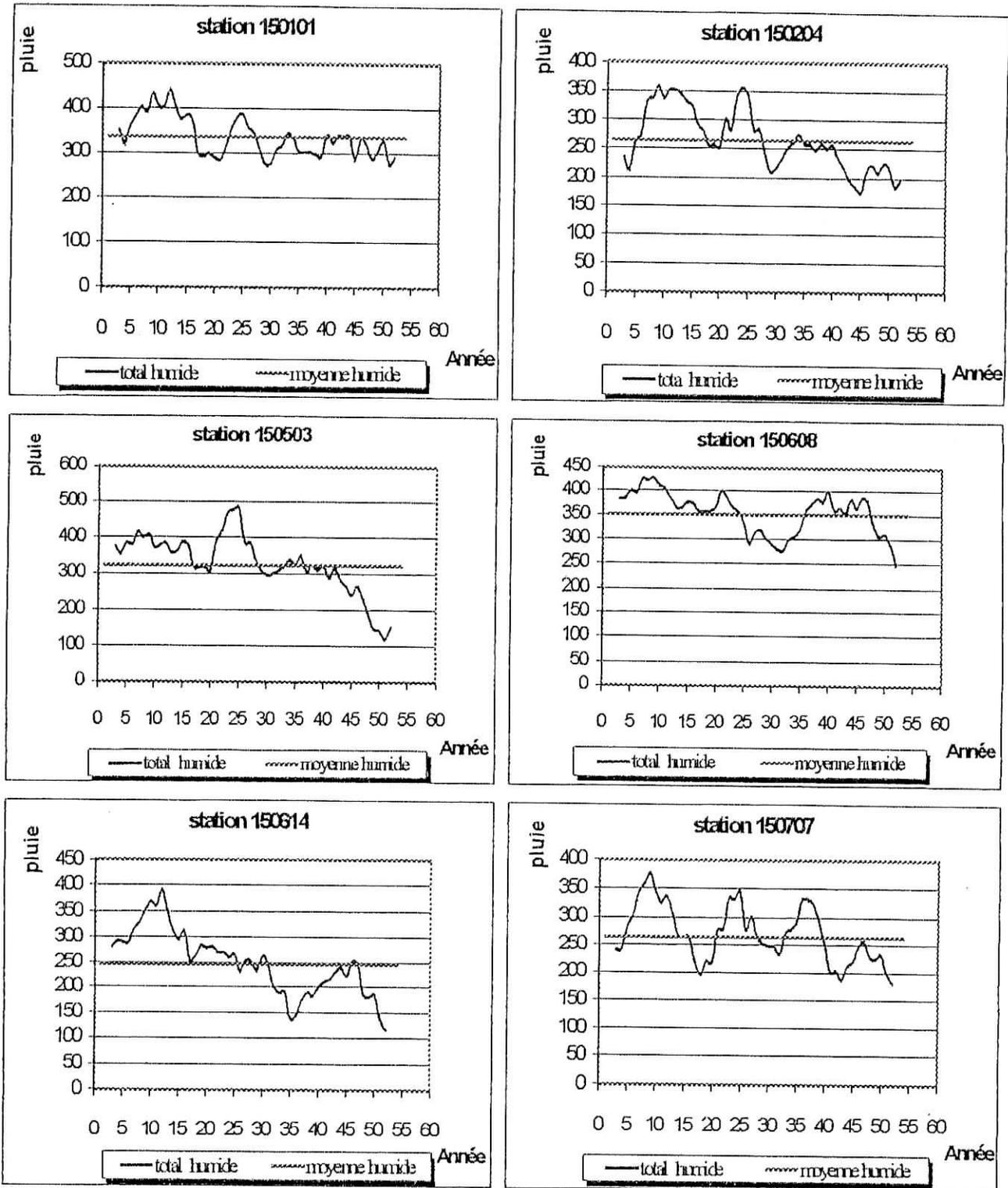


Figure V.9 – Moyennes Mobiles des saisons humides

V.3.2. SAISON SECHE :

Les résultats d'application de la moyenne mobile des six stations pour la période sèche sont représentés dans la figure suivante :

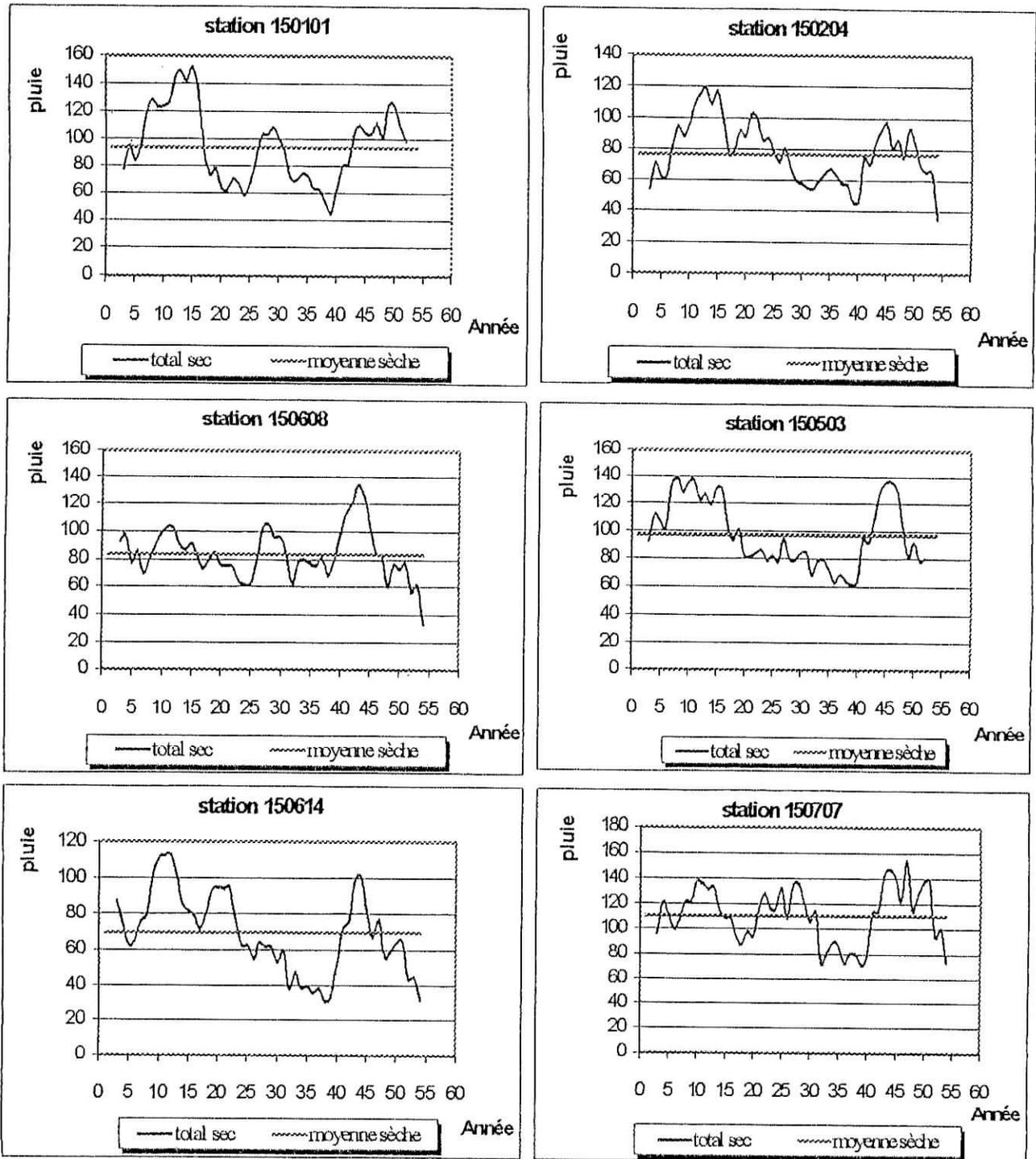


Figure V.10 – Moyennes Mobiles des saisons sèches

• *Interprétation des résultats :*

En comparant les résultats de la moyenne mobile appliquée à la saison humide et celle appliquée aux totaux annuels des six stations d'étude et qui sont représentés dans les Figures V.9 et V.3 respectivement, nous remarquons que l'allure des deux courbes de chaque station est identique c'est à dire que la moyenne mobile de la saison humide évolue de la même manière que celle des totaux annuels.

Cependant l'évolution de la moyenne mobile des saisons sèches différente (Figure V.10) à celle des totaux annuels.

V.3.2. APPLICATION DE L' ACP :

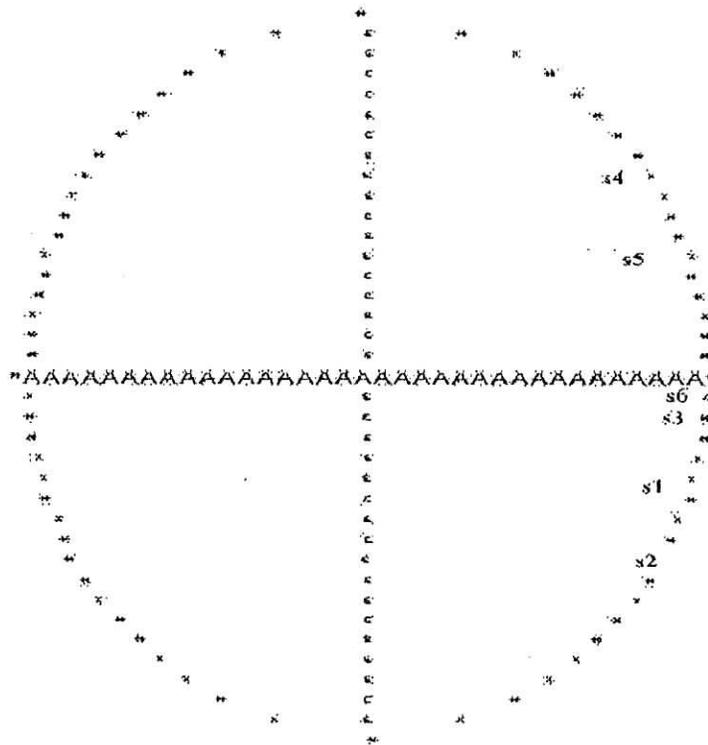


Figure E- Cercle de corrélation des saisons humides

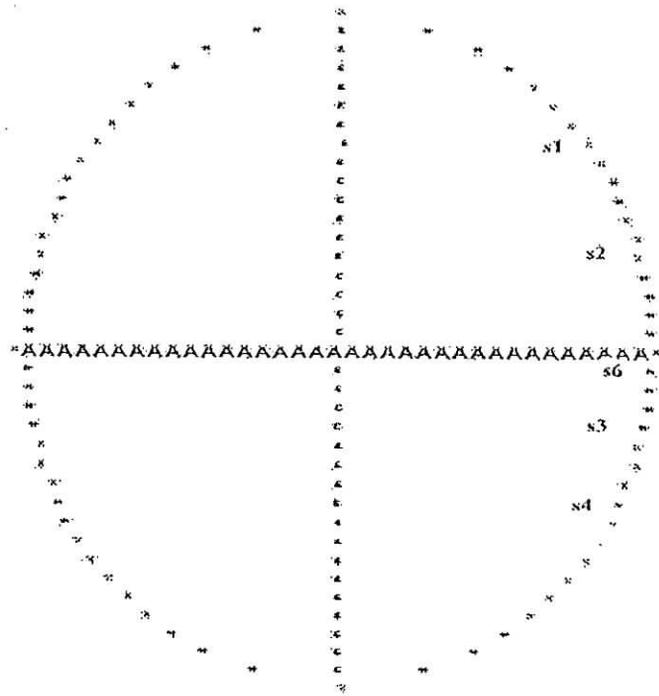


Figure F- Cercle de corrélation des totaux annuels

POINTS CACHES

Points vus	Points cachés
s3	s5

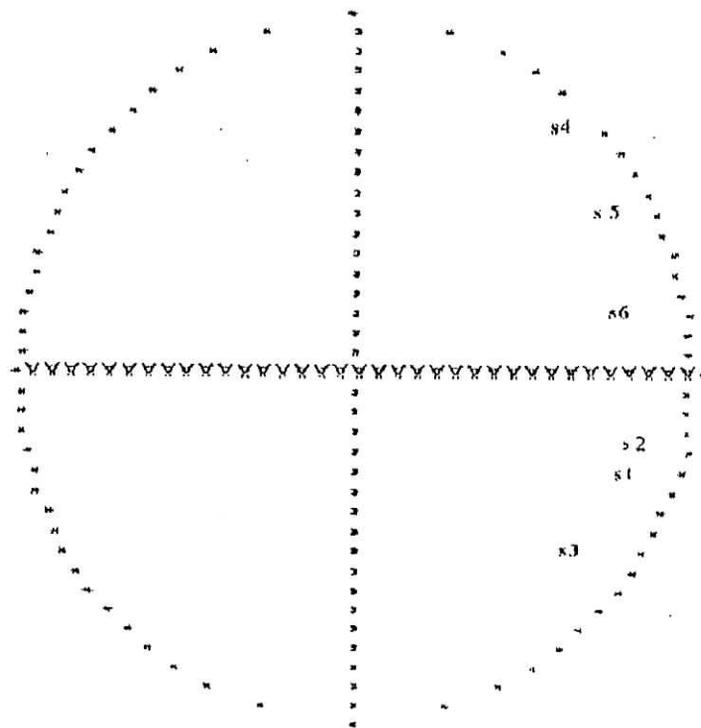


Figure G- Cercle de corrélation des saisons sèches

CONCLUSION :

D'après les figures E et F, on remarque qu'il y a un changement de position des stations entre le cercle de corrélation de la saison humide et les totaux annuels, cela peut être dû au problème de lacunes et fiabilités des résultats.

On constate un changement remarquable des positions des stations en comparant les cercles de corrélations G et F (sèches et annuels).

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de la Soummam est un territoire essentiellement tellien situé dans la région Nord - Est du pays.

Il couvre une superficie de 9125 km² et est de forme allongée, indiquant un temps de concentration des eaux assez long.

L'objectif principal de notre étude a été l'analyse de la pluviométrie des stations représentatives de longue durée du bassin versant de la Soummam et l'étude de la variabilité du régime pluviométrique.

La première étape était consacré à la collecte et la critique des données recueillies au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), des fichiers des pluies des stations représentatives de différentes périodes d'observations.

Après avoir corrigé et comblé les lacunes, des tests statistiques ont été utilisé pour vérifier l'homogénéité et l'indépendance des données recueillies.

Le tracé de la pluviométrie sur le bassin versant de la Soummam a montré le caractère aléatoire des précipitations.

A l'échelle temporelle, l'étude du régime pluviométrique a montré l'existence d'une succession de déficit des cinq années dernières de la période d'étude (de 1996 à 2000).

L'étude comparative entre la première période (1923-1959) et la deuxième période (1968-2000) a montré qu'il y a autant d'années sèches que d'années humides et que les grandes déficits enregistrés dans la dernière décennie ne sont pas uniformes dans toutes les stations même entre celles qui se trouvent dans la même partie du bassin et que le problème de comblement de lacunes a un impact majeur sur la fiabilité des données et par conséquent des résultats.

La décomposition de l'année hydrologique en deux saisons différentes sèches et humides a montré que la saison humide est la plus influencée par le phénomène de la baisse de la pluviométrie.

L'analyse du déficit pluviométrique a montré que les années de sécheresses sont principalement occasionnées par une diminution des pluies d'hiver, et une baisse de la fréquence des fortes précipitations.

on remarque qu'il y a une changement de position des stations entre le cercle de corrélation de la saison humide et les totaux annuels, cela peut être du au problème de lacunes et fiabilités des résultats.

Cette étude nous a permis de noter un changement du régime pluviométrique durant la deuxième période.

Ce dernier (appelé improprement sécheresse) est dû principalement au cumul des déficits pluviométriques durant cette période (succession d'années déficitaire).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jaques. J : *Elément de statistique* .
- [2] Lange. J : *Elément de technique statistique*.
- [3] Mohamed Kadi : *Quelques aspect de la sécheresse en Afrique du Nord et dans le bassin Méditerranéen, article paru dans la revue techniques et sciences, Septembre 1992.*
- [4] : Annick Douguedroit et Caroline Norrant : *Tendance quasi – séculaires des précipitations et des pressions de surface dans le bassin méditerranéen (PRESANOR –01), 2002.*
- [5] Mohamed Kadi : *Sécheresse, climat et environnement, article paru dans la revue techniques et sciences, Décembre 1990.*
- [6] Hirche Azziz, Addi Nacer et Boughani Abdelmadjid : *Contribution à l'étude de l'évolution de la pluviosité dans quelques stations steppiques Algériennes (PRESANOR – 01), 2002.*
- [7] A. Matari, A . Douguedroit, Kerouche. M, Bouachria. M, Bousid. H : *La sécheresse en Algérie et ses causes possibles (PRESANOR – 01), 2002.*
- [8] Hénia. L : *Climat et bilans de l'eau en Tunisie, essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Tunis : Publication de la Faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 1993.*
- [9] Beran. MA , Rodier. JA : *Aspects hydrologiques des sécheresses ; contribution du programme hydrologique international. Rapport préparé par un comité mixte UNSECO/OMM. Paris : Organisation des Nations Unies pour l'enduction, la science et la culture, 1987.*
- [10] Safi. H : *Essais sur l'économie de la sécheresse au Maroc (1193 – 1986), passée, présent, et perspectives. Thèse université Mohamed V, Rabat, 1990.*
- [11] Agoumi. A, Nadj. A, Rahib. H : *Changement climatique, évolution régionale (Maroc). Revue Marocaine Génie Civil, 1993.*
- [12] Laadoua. A : *La sécheresse au Maroc : l'exemple du Sais Meknes. In : La notion de la sécheresse : des conditions météorologiques au manque d'eau. Cahiers Géographie Physique, 1993.*
- [13] Chbouki. N, Stockton. CW, Myers. DE : *Spatio-temporal patterns of drought in Marocco . Inetr J Climatol, 1995.*
- [14] Jouve. P : *La lutte contre la sécheresse par les techniques culturales. Hommes, terres et Eaux , 1983.*
- [15] Bobee, B : *The gamma family and drived distribution applied in hydrology. Water ressource application, Colorado, U.S.A, pp 50-69, 1999.*

- [16] Jouve. P : *Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride. Agronomie Tropicale*, 1984.
- [17] Swearin. WD : *Drought hazar in Morocco. Geographical Rev*, 1992.
- [18] Le Houéron. HN : *Changement climatiques et désertification. Sécheresse*, 1993
- [19] El Mourid M. *Jalons pour une agronomie des zones arides et semi – arides : Rapport interne INRRA- Maroc*, 1991.
- [20] Barakat. F, Handouf. A : *La sécheresse agricole au Maroc. In : Actes de la Seme Assemblée scientifique de l'AISH, Rabat ; 1997.*
- [21] Benzarti. Z, Habaieb. H/ *Etude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Marcov (1909 – 1996), article paru dans la revue Sécheresse , Décembre 2001.*
- [22] Benzarti. Z : *La pluviométrie indice de sécheresse ; tendance pluriannuelle. Revue des Ressources en eau de Tunisie*, 1988.
- [23] Bergaoui.Z : *Modélisation stochastique des sécheresse annuelles et pluriannuelles. Thèse de Doctorat d'état présentée à la Faculté des sciences de Tunis, 5 décembre 1990.*
- [24] Déchemi. N, Ait Mouhoub. D, Souag. D: *Contribution à l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien, article paru dans la revue Sécheresse, Mars 2000.*
- [25] Agence Nationale des Ressources Hydrique : *Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, Janvier 1993.*
- [26] Assani. A : *Variabilité temporelle et persistance des épisodes secs en saison des pluies à Lubumbashi (Congo-Kinshasa), Cahiers Sécheresse, volume 10, Numéro 1, pages 45-53, mars 1999*
- [27] Vincent. D : *La sécheresse dans la France de l'Ouest : une contrainte climatique trop souvent oubliée, article paru dans la revue Sécheresse, Mars 1997.*
- [28] Meddi. M, Meddi. H : *Etude des pluies annuelles et journalières dans le Sahara algérien, article paru dans la revue Sécheresse, Septembre 1998.*
- [29] Rahai. A : *Prévision de la pluviométrie par combinaison de l' ACP et des chaînes de Markov, Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2002.*
- [30] Belgaid. K, Tebbal. N : *Etude et prévision du régime pluviométrique sur le Littoral Algérien, Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2000.*
- [31] Begaid. N : *Approche des paramètres hydrolimatologiques : Application au bassin versant de la Soummam, 1996*

[32] Reminieras. G : *Hydrologie de l'ingénieur.*

[33] *Energoprojct- Beograd Etude de la mise en valeur du bassin versant de la Soummam, Rapport final. Tome IX, 1965.*

[34] *Le Houérou HN : Classification éco - climatique des zones arides de l'Afrique du Nord. In : Elattir H, éd. La lutte contre la désertification. Agadir : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 1989 :44-89.*

[35] *Pierre. R : Sécheresse et aridité : leur impact sur le désertification au Maghreb, article paru dans la revue sécheresse, décembre 1' 996.*

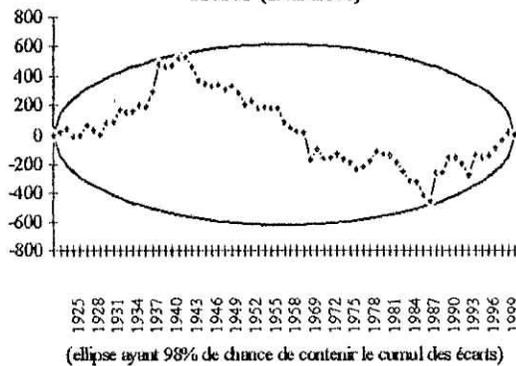
[36] *Bagnouls. F, Gausсен. H : Saison sèche et indice xéothermique. Bull Soc Hist Nat, 1953; 88 : 193-239.*

[37] *V. Jalby - SE4 - 2002 - Cours d'analyse des données – III. Analyse en composantes principales.*

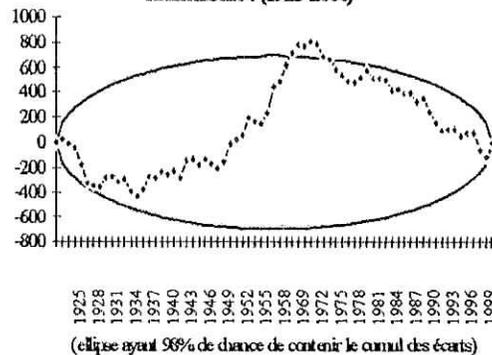
Annexes

ANOMALIES

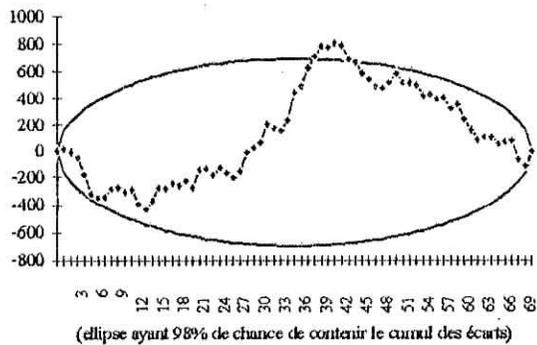
détection des anomalies par cumul de résidu de regression station
150101 (1923-2000)



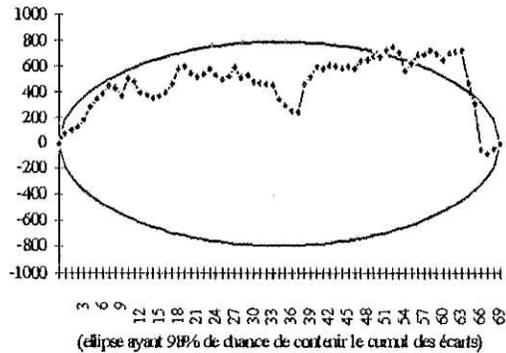
détection des anomalies par cumul de résidu de regression station
150204 (1923-2000)



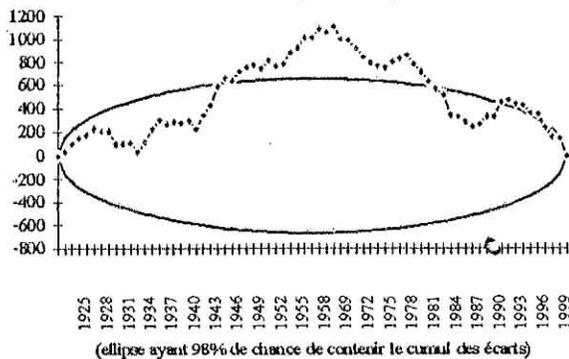
détections des anomalies par cumul de résidu de regression station
150503 (1923-2000)



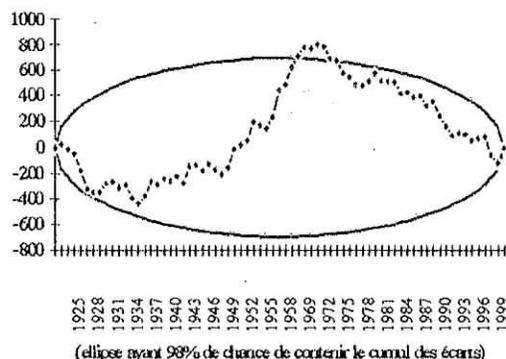
détection des anomalies par cumul de résidu de regression station
150608 (1923-2000)



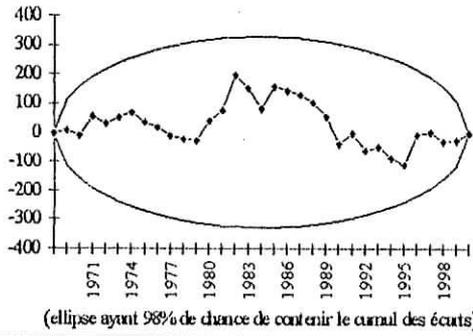
détection des anomalies par cumul de résidus de regression station
150614 (1923-2000)



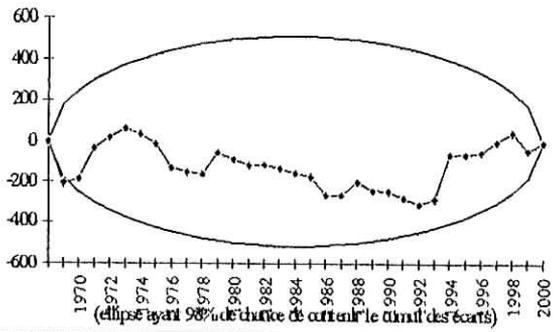
détection des anomalies par cumul de résidu de regression station
150707 (1923-2000)



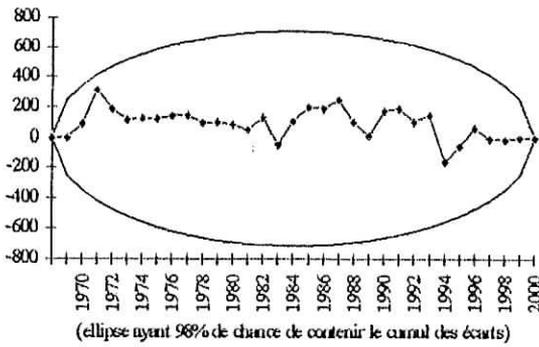
detection des anomalies par cumul de residus de regression
station 150401 (1969-2000)



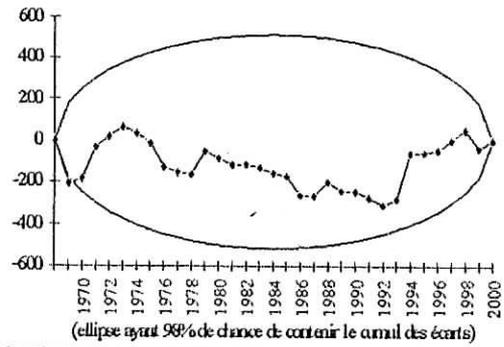
detection des anomalies par cumul de residus de regression
station 150103 (1969-2000)



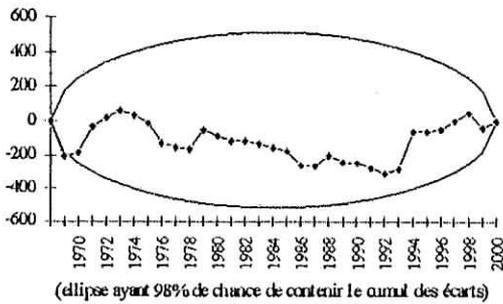
detection des anomalies par cumul de residus de regression
station 150201 (1969-2000)



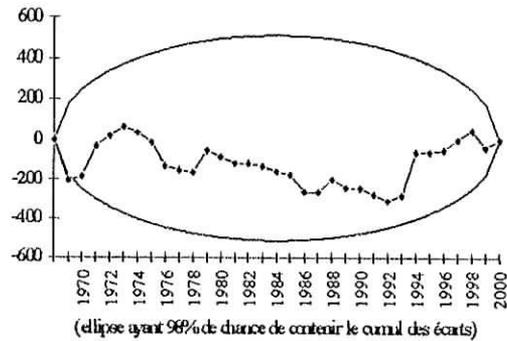
detection des anomalies par cumul de residus de regression
station 150301 (1969-2000)



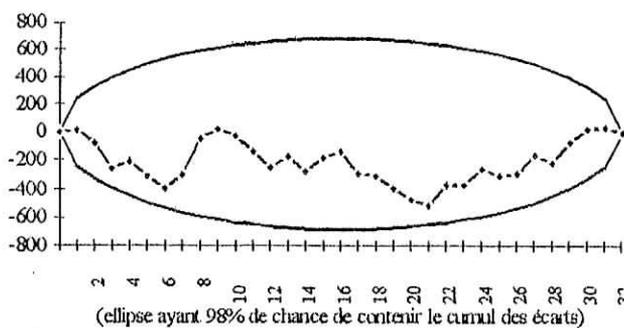
detection des anomalies par cumul de residus de regression
station 151004 (1969-2000)



detection des anomalies par cumul de residus de regression
station 150807 (1969-2000)



detection des anomalies par cumul des residus de regression
station 150613 (1969-2000)



Cumulus des écarts à la moyenne



Tableau V.4 – Cumul des écarts pluviométrique de la station de El asnam

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150204(%)	Cumul des écarts à la moyenne	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150204(%)	Cumul des écarts à la moyenne
1923/1924	0,01	0,01	1958/1959	0,31	3,87
1924/1925	-0,28	-0,27	1959/1960	0,41	4,28
1925/1926	-0,11	-0,37	1968/1969	0,20	4,48
1926/1927	-0,58	-0,95	1969/1970	0,62	5,10
1927/1928	-0,11	-1,06	1970/1971	-0,20	4,90
1928/1929	0,21	-0,86	1971/1972	0,46	5,36
1929/1930	-0,03	-0,89	1972/1973	0,17	5,53
1930/1931	0,26	-0,63	1973/1974	-0,29	5,24
1931/1932	0,03	-0,60	1974/1975	-0,29	4,95
1932/1933	0,01	-0,59	1975/1976	-0,06	4,90
1933/1934	0,51	-0,08	1976/1977	-0,29	4,61
1934/1935	0,14	0,06	1977/1978	-0,37	4,24
1935/1936	0,18	0,23	1978/1979	-0,23	4,01
1936/1937	0,08	0,31	1979/1980	-0,12	3,88
1937/1938	0,39	0,70	1980/1981	0,17	4,06
1938/1939	0,60	1,30	1981/1982	-0,08	3,98
1939/1940	0,13	1,43	1982/1983	-0,12	3,86
1940/1941	-0,18	1,26	1983/1984	-0,38	3,48
1941/1942	0,10	1,36	1984/1985	-0,21	3,26
1942/1943	-0,23	1,13	1985/1986	-0,01	3,25
1943/1944	0,07	1,20	1986/1987	0,05	3,31
1944/1945	-0,16	1,04	1987/1988	-0,37	2,93
1945/1946	-0,01	1,03	1988/1989	-0,31	2,62
1946/1947	0,00	1,03	1989/1990	-0,12	2,50
1947/1948	0,12	1,15	1990/1991	-0,31	2,19
1948/1949	0,09	1,24	1991/1992	-0,07	2,12
1949/1950	-0,10	1,14	1992/1993	-0,42	1,70
1950/1951	0,42	1,56	1993/1994	-0,35	1,35
1951/1952	0,68	2,24	1994/1995	0,13	1,48
1952/1953	0,08	2,32	1995/1996	-0,06	1,42
1953/1954	0,39	2,71	1996/1997	-0,41	1,01
1954/1955	-0,19	2,52	1997/1998	0,05	1,06
1955/1956	0,13	2,65	1998/1999	-0,57	0,49
1956/1957	-0,08	2,57	1999/2000	-0,54	-0,05
1957/1958	0,98	3,55	2000/2001	0,05	0,00

Tableau V.5 – Cumul des écarts pluviométrique de la station de Ighi Ali

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150503 (%)	Cumul des écarts à la moyenne	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150503 (%)	Cumul des écarts à la moyenne
1923/1924	0,14	0,14	1958/1959	0,05	3,01
1924/1925	-0,12	0,02	1959/1960	-0,03	2,98
1925/1926	0,05	0,07	1968/1969	-0,08	2,90
1926/1927	-0,05	0,02	1969/1970	0,93	3,82
1927/1928	0,48	0,50	1970/1971	-0,02	3,80
1928/1929	0,40	0,89	1971/1972	0,51	4,31
1929/1930	0,09	0,98	1972/1973	0,16	4,47
1930/1931	0,19	1,17	1973/1974	0,05	4,52
1931/1932	-0,03	1,14	1974/1975	-0,24	4,28
1932/1933	-0,03	1,11	1975/1976	0,13	4,42
1933/1934	0,73	1,84	1976/1977	-0,14	4,28
1934/1935	0,33	2,17	1977/1978	-0,25	4,03
1935/1936	0,07	2,24	1978/1979	-0,03	3,99
1936/1937	-0,13	2,11	1979/1980	-0,21	3,79
1937/1938	0,04	2,15	1980/1981	0,07	3,86
1938/1939	0,63	2,78	1981/1982	0,10	3,96
1939/1940	0,06	2,84	1982/1983	-0,01	3,95
1940/1941	0,04	2,88	1983/1984	-0,25	3,69
1941/1942	0,30	3,19	1984/1985	-0,08	3,61
1942/1943	-0,05	3,14	1985/1986	-0,37	3,24
1943/1944	-0,39	2,75	1986/1987	0,27	3,51
1944/1945	-0,23	2,52	1987/1988	-0,19	3,32
1945/1946	0,15	2,66	1988/1989	-0,11	3,21
1946/1947	-0,02	2,64	1989/1990	-0,12	3,09
1947/1948	0,10	2,73	1990/1991	-0,06	3,03
1948/1949	0,08	2,81	1991/1992	0,04	3,07
1949/1950	-0,15	2,67	1992/1993	-0,11	2,97
1950/1951	0,17	2,84	1993/1994	-0,31	2,66
1951/1952	0,36	3,20	1994/1995	0,15	2,81
1952/1953	0,04	3,23	1995/1996	-0,52	2,29
1953/1954	-0,13	3,11	1996/1997	-0,81	1,47
1954/1955	-0,10	3,01	1997/1998	-0,83	0,65
1955/1956	0,12	3,14	1998/1999	-0,24	0,40
1956/1957	-0,30	2,84	1999/2000	-0,26	0,14
1957/1958	0,12	2,96	2000/2001	-0,15	-0,01

Tableau V.6 – Cumul des écarts pluviométrique de la station de Bouira

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150608 (%)	Cumul des écarts à la moyenne	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150608 (%)	Cumul des écarts à la moyenne
1923/1924	-0,11	-0,11	1958/1959	0,23	2,85
1924/1925	-0,06	-0,18	1959/1960	0,18	3,03
1925/1926	0,05	-0,12	1960/1969	-0,14	2,89
1926/1927	0,10	-0,02	1969/1970	0,28	3,17
1927/1928	0,28	0,26	1970/1971	-0,41	2,75
1928/1929	0,25	0,50	1971/1972	-0,23	2,52
1929/1930	-0,06	0,45	1972/1973	-0,03	2,49
1930/1931	-0,08	0,37	1973/1974	-0,21	2,28
1931/1932	0,06	0,43	1974/1975	-0,02	2,26
1932/1933	0,07	0,50	1975/1976	0,13	2,38
1933/1934	0,26	0,76	1976/1977	-0,16	2,22
1934/1935	0,38	1,14	1977/1978	-0,34	1,89
1935/1936	0,09	1,22	1978/1979	-0,37	1,52
1936/1937	-0,15	1,07	1979/1980	-0,28	1,24
1937/1938	0,04	1,11	1980/1981	-0,10	1,14
1938/1939	0,03	1,14	1981/1982	0,25	1,40
1939/1940	0,03	1,17	1982/1983	-0,24	1,16
1940/1941	0,03	1,21	1983/1984	-0,25	0,91
1941/1942	0,03	1,24	1984/1985	0,12	1,03
1942/1943	-0,09	1,15	1985/1986	0,13	1,15
1943/1944	-0,25	0,90	1986/1987	0,25	1,41
1944/1945	0,11	1,01	1987/1988	-0,20	1,21
1945/1946	0,09	1,10	1988/1989	0,22	1,43
1946/1947	0,05	1,15	1989/1990	-0,18	1,25
1947/1948	0,29	1,44	1990/1991	0,27	1,52
1948/1949	0,39	1,83	1991/1992	0,28	1,80
1949/1950	-0,25	1,58	1992/1993	0,03	1,83
1950/1951	0,00	1,58	1993/1994	-0,23	1,60
1951/1952	0,60	2,19	1994/1995	-0,14	1,46
1952/1953	-0,02	2,17	1995/1996	0,14	1,60
1953/1954	0,15	2,32	1996/1997	-0,49	1,11
1954/1955	-0,03	2,28	1997/1998	-0,06	1,05
1955/1956	0,17	2,46	1998/1999	-0,20	0,85
1956/1957	-0,29	2,17	1999/2000	-0,35	0,50
1957/1958	0,46	2,62	2000/2001	-0,51	0,00

Tableau V.7 -- Cumul des écarts pluviométrique de la station de Tixter

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150614 (%)	Cumul des écarts à la moyenne	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150614 (%)	Cumul des écarts à la moyenne
1923/1924	0,05	0,05	1958/1959	0,49	6,41
1924/1925	-0,05	-0,01	1959/1960	-0,02	6,39
1925/1926	0,13	0,13	1968/1969	0,06	6,46
1926/1927	-0,19	-0,07	1969/1970	0,25	6,70
1927/1928	0,51	0,44	1970/1971	-0,25	6,46
1928/1929	0,26	0,70	1971/1972	0,24	6,70
1929/1930	-0,01	0,69	1972/1973	0,05	6,75
1930/1931	-0,24	0,46	1973/1974	-0,19	6,56
1931/1932	0,02	0,48	1974/1975	-0,37	6,19
1932/1933	0,14	0,63	1975/1976	0,21	6,41
1933/1934	0,37	1,00	1976/1977	-0,10	6,31
1934/1935	0,78	1,78	1977/1978	-0,20	6,11
1935/1936	0,67	2,45	1978/1979	-0,17	5,93
1936/1937	0,13	2,57	1979/1980	-0,51	5,42
1937/1938	0,02	2,60	1980/1981	-0,17	5,25
1938/1939	0,86	3,46	1981/1982	-0,15	5,10
1939/1940	-0,03	3,43	1982/1983	-0,32	4,78
1940/1941	-0,11	3,32	1983/1984	-0,62	4,16
1941/1942	-0,17	3,15	1984/1985	-0,49	3,67
1942/1943	0,22	3,37	1985/1986	-0,08	3,59
1943/1944	-0,12	3,25	1986/1987	0,03	3,62
1944/1945	0,26	3,51	1987/1988	-0,59	3,03
1945/1946	0,37	3,87	1988/1989	-0,08	2,96
1946/1947	-0,24	3,64	1989/1990	-0,05	2,91
1947/1948	0,48	4,12	1990/1991	-0,04	2,87
1948/1949	0,35	4,47	1991/1992	0,59	3,46
1949/1950	-0,23	4,24	1992/1993	-0,25	3,22
1950/1951	-0,04	4,20	1993/1994	-0,60	2,61
1951/1952	0,92	5,12	1994/1995	0,17	2,78
1952/1953	-0,17	4,95	1995/1996	-0,13	2,66
1953/1954	0,08	5,03	1996/1997	-0,51	2,04
1954/1955	0,15	5,18	1997/1998	-0,29	1,76
1955/1956	0,36	5,54	1998/1999	-0,47	1,28
1956/1957	-0,14	5,40	1999/2000	-0,52	0,77
1957/1958	0,52	5,92	2000/2001	-0,77	0,00

Tableau V.8 – Cumul des écarts pluviométrique de la station de Bir Kasdali

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150707 (%)	Cumul des écarts à la moyenne	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150707 (%)	Cumul des écarts à la moyenne
1923/1924	-0,21	-0,21	1958/1959	0,10	0,77
1924/1925	-0,30	-0,51	1959/1960	-0,03	0,74
1925/1926	0,09	-0,42	1968/1969	-0,10	0,64
1926/1927	-0,18	-0,60	1969/1970	0,91	1,58
1927/1928	0,05	-0,55	1970/1971	-0,11	1,47
1928/1929	0,32	-0,23	1971/1972	0,21	1,68
1929/1930	0,16	-0,07	1972/1973	0,17	1,85
1930/1931	0,09	0,02	1973/1974	0,09	1,93
1931/1932	0,08	0,10	1974/1975	-0,26	1,68
1932/1933	0,25	0,35	1975/1976	0,55	2,23
1933/1934	0,39	0,74	1976/1977	-0,22	2,01
1934/1935	0,44	1,18	1977/1978	-0,21	1,80
1935/1936	0,40	1,58	1978/1979	-0,19	1,62
1936/1937	-0,09	1,49	1979/1980	-0,15	1,47
1937/1938	-0,05	1,44	1980/1981	-0,18	1,28
1938/1939	0,48	1,91	1981/1982	0,40	1,68
1939/1940	0,05	1,96	1982/1983	-0,01	1,67
1940/1941	-0,31	1,65	1983/1984	-0,03	1,63
1941/1942	-0,22	1,43	1984/1985	0,17	1,81
1942/1943	-0,10	1,33	1985/1986	-0,10	1,71
1943/1944	-0,30	1,03	1986/1987	0,31	2,02
1944/1945	-0,33	0,70	1987/1988	-0,58	1,44
1945/1946	0,16	0,86	1988/1989	-0,45	0,99
1946/1947	-0,28	0,57	1989/1990	-0,01	0,98
1947/1948	0,16	0,73	1990/1991	-0,06	0,92
1948/1949	0,14	0,87	1991/1992	0,46	1,38
1949/1950	-0,24	0,62	1992/1993	-0,20	1,18
1950/1951	-0,14	0,48	1993/1994	-0,41	0,77
1951/1952	0,46	0,94	1994/1995	0,13	0,90
1952/1953	0,07	1,01	1995/1996	0,44	1,34
1953/1954	-0,17	0,84	1996/1997	-0,40	0,94
1954/1955	-0,13	0,71	1997/1998	-0,09	0,85
1955/1956	0,20	0,91	1998/1999	-0,19	0,66
1956/1957	-0,42	0,49	1999/2000	-0,32	0,34
1957/1958	0,19	0,68	2000/2001	-0,35	-0,01

MAPS ET INDICES PLUMETRIQUES

Tableau V.14 - Ecart et indice pluviométrique de la station de El Asnam des deux périodes

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150204 (%) 1ère période	10%	20%	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150204 (%) 2ème période	10%	20%
1923/1924	-9,1	0-	0-	1968/1969	30,0	1+	1+
1924/1925	-35,4	1-	1-	1969/1970	86,1	1+	1+
1925/1926	-20,0	1-	1-	1970/1971	-8,1	0-	0-
1926/1927	-62,2	1-	1-	1971/1972	68,0	1+	1+
1927/1928	-20,3	1-	1-	1972/1973	34,6	1+	1+
1928/1929	8,1	0+	0+	1973/1974	-18,5	1-	0-
1929/1930	-13,1	1-	0-	1974/1975	-18,0	1-	0-
1930/1931	13,1	1+	0+	1975/1976	8,3	0+	0+
1931/1932	-7,7	0-	0-	1976/1977	-17,8	1-	0-
1932/1933	-9,9	0-	0-	1977/1978	-28,1	1-	1-
1933/1934	35,4	1+	1+	1978/1979	-11,6	1-	0-
1934/1935	2,2	0+	0+	1979/1980	0,9	0+	0+
1935/1936	5,3	0+	0+	1980/1981	34,8	1+	1+
1936/1937	-3,3	0-	0-	1981/1982	6,0	0+	0+
1937/1938	24,6	1+	1+	1982/1983	0,7	0+	0+
1938/1939	43,5	1+	1+	1983/1984	-28,6	1-	1-
1939/1940	1,3	0+	0+	1984/1985	-9,6	0-	0-
1940/1941	-26,4	1-	1-	1985/1986	13,7	1+	0+
1941/1942	-1,4	0-	0-	1986/1987	20,9	1+	1+
1942/1943	-30,7	1-	1-	1987/1988	-27,7	1-	1-
1943/1944	-4,4	0-	0-	1988/1989	-20,9	1-	1-
1944/1945	-24,6	1-	1-	1989/1990	0,6	0+	0+
1945/1946	-11,1	1-	0-	1990/1991	-21,0	1-	1-
1946/1947	-10,2	1-	0-	1991/1992	7,2	0+	0+
1947/1948	0,1	0+	0+	1992/1993	-33,0	1-	1-
1948/1949	-2,1	0-	0-	1993/1994	-25,4	1-	1-
1949/1950	-19,0	1-	0-	1994/1995	30,1	1+	1+
1950/1951	26,9	1+	1+	1995/1996	7,8	0+	0+
1951/1952	50,6	1+	1+	1996/1997	-32,3	1-	1-
1952/1953	-3,0	0-	0-	1997/1998	20,6	1+	1+
1953/1954	24,8	1+	1+	1998/1999	-50,7	1-	1-
1954/1955	-27,6	1-	1-	1999/2000	-16,9	1-	1-
1955/1956	0,9	0+	0+	2000/2001	20,3	1+	1+
1956/1957	-17,2	1-	0-				
1957/1958	77,8	1+	1+				
1958/1959	17,8	1+	0+				
1959/1960	26,5	1+	1+				

Tableau V.15 - Ecart et l'indice pluviométrique de la station de Ighil Ali des deux périodes

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150503 (%) 1iere période	10%	20%	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150503 (%) 2ieme période	10%	20%
1923/1924	6,9	0+	0+	1968/1969	1,3	0+	0+
1924/1925	-17,5	1-	0-	1969/1970	100	1+	1+
1925/1926	-1,5	0-	0-	1970/1971	7,4	0+	0+
1926/1927	-11,3	0-	0-	1971/1972	66,2	1+	1+
1927/1928	38,6	1+	1+	1972/1973	27,4	1+	0+
1928/1929	30,7	1+	1+	1973/1974	15,3	0+	0+
1929/1930	1,7	0+	0+	1974/1975	-16,2	0-	0-
1930/1931	11,7	1+	0+	1975/1976	24,4	1+	1+
1931/1932	-9,4	0-	0-	1976/1977	-5,0	0-	0-
1932/1933	-9,0	0-	0-	1977/1978	-18,0	1-	0-
1933/1934	62,1	1+	1+	1978/1979	6,4	0+	0+
1934/1935	24,6	1+	1+	1979/1980	-12,7	1-	0-
1935/1936	0,4	0+	0+	1980/1981	17,7	1+	0+
1936/1937	-18,3	1-	0-	1981/1982	20,7	1+	1+
1937/1938	-2,3	0-	0-	1982/1983	8,7	0+	0+
1938/1939	52,4	1+	1+	1983/1984	-17,9	1-	0-
1939/1940	-0,6	0-	0-	1984/1985	0,8	0+	0+
1940/1941	-2,3	0-	0-	1985/1986	-30,6	1-	1-
1941/1942	22,1	1+	1+	1986/1987	30,1	1+	1+
1942/1943	-10,6	1-	0-	1987/1988	-10,7	1-	0-
1943/1944	-42,9	1-	1-	1988/1989	-1,9	0-	0-
1944/1945	-28,2	1-	1-	1989/1990	-3,5	0-	0-
1945/1946	7,3	0+	0+	1990/1991	3,2	0+	0+
1946/1947	-8,5	0-	0-	1991/1992	14,6	1+	0+
1947/1948	2,6	0+	0+	1992/1993	-1,7	0-	0-
1948/1949	1,3	0+	0+	1993/1994	-23,9	1-	1-
1949/1950	-20,1	1-	1-	1994/1995	26,5	1+	1+
1950/1951	-16,1	1-	0-	1995/1996	-47,7	1-	1-
1951/1952	7,1	0+	0+	1996/1997	-79,4	1-	1-
1952/1953	-3,0	0-	0-	1997/1998	-80,8	1-	1-
1953/1954	-18,0	1-	0-	1998/1999	-16,8	1-	0-
1954/1955	-15,4	1-	0-	1999/2000	-18,7	1-	0-
1955/1956	5,2	0+	0+	2000/2001	-6,4	0-	0-
1956/1957	-33,9	1-	1-				
1957/1958	4,6	0+	0+				
1958/1959	-1,2	0-	0-				
1959/1960	-9,4	0-	0-				

Tableau V.17 - Écart et l'indice pluviométrique de la station de Tixter des deux périodes

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150614 (%) 1ère période	10%	20%	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150614 (%) 2ème période	10%	20%
1923/1924	-10,9	1-	0-	1968/1969	32,8	1+	1+
1924/1925	-19,0	1-	0-	1969/1970	55,4	1+	1+
1925/1926	-3,5	0-	0-	1970/1971	-6,2	0-	0-
1926/1927	-31,2	1-	1-	1971/1972	21,1	1+	1+
1927/1928	28,5	1+	1+	1972/1973	30,4	1+	1+
1928/1929	7,7	0+	0+	1973/1974	1,4	0+	0+
1929/1930	-15,5	1-	0-	1974/1975	-21,3	1-	1-
1930/1931	-34,9	1-	1-	1975/1976	50,7	1+	1+
1931/1932	-12,7	1-	0-	1976/1977	12,3	1+	0+
1932/1933	-2,4	0-	0-	1977/1978	-0,7	0-	0-
1933/1934	17,0	1+	0+	1978/1979	24,0	1+	1+
1934/1935	52,1	1+	1+	1979/1980	-39,3	1-	1-
1935/1936	41,9	1+	1+	1980/1981	3,0	0+	0+
1936/1937	-3,8	0-	0-	1981/1982	6,4	0+	0+
1937/1938	-12,9	1-	0-	1982/1983	-15,8	1-	0-
1938/1939	58,6	1+	1+	1983/1984	-52,3	1-	1-
1939/1940	-17,0	1-	0-	1984/1985	-36,2	1-	1-
1940/1941	-24,0	1-	1-	1985/1986	14,5	1+	1+
1941/1942	-29,3	1-	1-	1986/1987	28,4	1+	1-
1942/1943	4,1	0+	0+	1987/1988	-49,0	1-	1-
1943/1944	-25,0	1-	1-	1988/1989	15,1	1+	0+
1944/1945	7,2	0+	0+	1989/1990	18,5	1+	0+
1945/1946	16,4	1+	0+	1990/1991	19,7	1+	0+
1946/1947	-34,7	1-	1-	1991/1992	97,9	1+	1+
1947/1948	26,3	1+	1+	1992/1993	-6,4	0-	0-
1948/1949	15,0	1+	0+	1993/1994	-50,5	1-	1-
1949/1950	-33,9	1-	1-	1994/1995	45,7	1+	1+
1950/1951	-18,1	1-	0-	1995/1996	8,9	0+	0+
1951/1952	63,7	1+	1+	1996/1997	-52,0	1-	1-
1952/1953	-29,1	1-	1-	1997/1998	-11,2	0-	0-
1953/1954	-8,0	0-	0-	1998/1999	-34,5	1-	1-
1954/1955	-1,9	0-	0-	1999/2000	-39,6	1-	1-
1955/1956	16,0	1+	0+	2000/2001	-71,0	1-	1-
1956/1957	-26,9	1-	1-				
1957/1958	29,8	1+	1+				
1958/1959	26,8	1+	1+				
1959/1960	-16,3	1-	0-				

Tableau V.18 - Ecart et l'indice pluviométrique de la station de Bir Kasdali des deux périodes

Année	Ecart Pluviométrique De la station 150707 (%)	10%	20%	Année	Ecart Pluviométrique De la station 150707 (%)	10%	20%
1923/1924	-25,1	-	-	1968/1969	-8,0	-	-
1924/1925	-33,4	-	-	1969/1970	58,6	+	+
1925/1926	3,8	0+	0+	1970/1971	-9,1	-	-
1926/1927	-21,9	-	-	1971/1972	24,1	+	+
1927/1928	-0,7	-	-	1972/1973	15,2	0+	0+
1928/1929	25,5	+	+	1973/1974	11,2	+	0+
1929/1930	10,5	+	0+	1974/1975	-24,0	-	-
1930/1931	3,7	0+	0+	1975/1976	58,6	+	+
1931/1932	2,4	0+	0+	1976/1977	-19,9	-	-
1932/1933	18,6	+	0+	1977/1978	-18,9	-	-
1933/1934	31,8	+	+	1978/1979	-16,6	-	-
1934/1935	36,8	+	+	1979/1980	-13,1	-	-
1935/1936	33,3	+	+	1980/1981	-16,5	-	-
1936/1937	-13,3	-	-	1981/1982	42,9	+	+
1937/1938	-10,1	-	-	1982/1983	0,9	0+	0+
1938/1939	40,1	+	+	1983/1984	-1,0	-	-
1939/1940	-0,4	-	-	1984/1985	20,0	+	+
1940/1941	-34,1	-	-	1985/1986	-7,5	-	-
1941/1942	-26,2	-	-	1986/1987	33,9	+	+
1942/1943	-14,3	-	-	1987/1988	-57,3	-	-
1943/1944	-33,5	-	-	1988/1989	-43,3	-	-
1944/1945	-36,4	-	-	1989/1990	1,2	0+	0+
1945/1946	9,7	0+	0+	1990/1991	-3,4	-	-
1946/1947	-31,8	-	-	1991/1992	49,3	+	+
1947/1948	10,0	+	0+	1992/1993	-18,3	-	-
1948/1949	7,9	0+	0+	1993/1994	-36,8	-	-
1949/1950	-28,1	-	-	1994/1995	15,2	+	0+
1950/1951	-18,3	-	-	1995/1996	47,7	+	+
1951/1952	38,6	+	+	1996/1997	-34,9	-	-
1952/1953	1,5	0+	0+	1997/1998	-6,9	-	-
1953/1954	-21,0	-	-	1998/1999	-17,1	-	-
1954/1955	-17,2	-	-	1999/2000	-30,2	-	-
1955/1956	13,8	+	0+	2000/2001	-33,1	-	-
1956/1957	-45,0	-	-				
1957/1958	12,9	+	0+				
1958/1959	4,2	0+	0+				
1959/1960	-8,2	-	-				