

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene**

**Faculté de Génie Civil**  
**Département de Géotechnique et Hydraulique**  
**Laboratoire d'Environnement Géotechnique et Hydraulique**



**THESE DE DOCTORAT**

Présentée pour l'obtention du grade de **Docteur en Sciences**

**En : Génie Civil**

**Spécialité : Hydraulique**

**Par : HAMLAOUI Leila**

**Sujet**

**Variabilité Spatio-temporelle des Champs de Précipitations  
dans la Région du Nord Algérien**

Soutenue publiquement le 11/12/2016, devant le jury composé de :

Mr BOUHADEF M.	Prof. à l'USTHB	Président
Mr MESBAH M.	Prof. à l'USTHB	Directeur de thèse
Mr GUENDOUZ A.	Prof. à l'USDB1	Examineur
Mr HAOUCHINE A.	Prof. à l'USTHB	Examineur
Mr CHETTIH M.	Maitre de Conférences (A) à l'UATL	Examineur
Mr DJEMAI M.	Maitre de Conférences (A) à l'UMMTO	Examineur

## Résumé :

Le travail que nous présentons est une contribution à l'étude des champs pluviométriques dans la région du Nord Algérien, qui présente un intérêt économique certain pour notre pays. Dans un premier lieu, les précipitations ont fait l'objet d'une analyse statistique spatio-temporelle portant sur les pluies annuelles et saisonnières cumulées observées sur soixante-douze postes.

L'étude temporelle des séries de cumuls annuels de précipitations a montré une décroissance du phénomène pluviométrique à partir du début des années 70. L'analyse statistique descriptive a mis en évidence des nuances dans le régime pluviométrique, ce qui nous a permis d'aboutir à une cartographie des différents régimes pluviométriques et une régionalisation du phénomène.

L'étude fréquentielle a permis de détecter une périodicité de vingt quatre ans dans le comportement pluviométrique. La tendance à la baisse de la pluviométrie est corrélée à l'indice climatique : l'Oscillation Nord Atlantique.

**Mots clés :** précipitations, analyse statistique spatio-temporelle, tendance, l'Oscillation Nord Atlantique

## Abstract:

The present work is devoted to study the precipitation behavior, using values of annual aggregations rainfalls in North Algeria area, observed during more than 70 years at 72 stations. This work deals with a statistical analysis of the precipitation regime to assess its spatial distribution and temporal variation in order to detect patterns and trends in the region. The results show remarkable statistically significant negative trends which are mainly due to the positive phase of the North Atlantic Oscillation.

A spectral analysis of the time series revealed the existence of a period of roughly 24 years for all the stations.

**Key words:** precipitation, trend, statistical method, North Atlantic oscillation.

## ملخص

على مستوى شمال الجزائر وفي إطار زمني يعادل 72 عاما من القياسات الغيئية السنوية، حاولنا تحليل الظاهرة الغيئية انطلاقا من أسس علم الإحصائيات واستخدام الرسم الرقمي للخرائط

هذه الدراسة سجلت انخفاضا ملحوظا في مستويات لأمطار بداية من 1970م خاصة على مستوى غرب شمال الجزائر.

كشفت تحليل المكونات الرئيسية: ثلاث مناطق رئيسية؛ المنطقة الشمالية الساحلية التي عرفت انخفاضا طفيفا في مستويات تساقط الأمطار، المنطقة الغربية التي سجلت عجزا كبيرا في مستوى التساقط، والمنطقة الشرقية التي تميزت باستقرار نسبي. وبيننا أن ظاهرة سقوط الغيث تخضع إلى دورية 24 سنة.

توصلنا كذلك إلى إظهار ارتباط هذا الانخفاض مع تذبذبات شمال المحيط الأطلسي.

**الكلمات المفتاحية:** شمال الجزائر، الأمطار، علم الإحصائيات تحليل المكونات الرئيسية.

# SOMMAIRE

	Page
<b>Introduction Générale</b>	1
<b>Chapitre I. Synthèse bibliographique</b>	4
I.1. Introduction .....	5
I-2 Analyse de l'évolution des régimes pluviométriques dans le monde.....	5
I-3 Influence des circulations atmosphériques sur le régime pluviométrique.....	12
<b>Chapitre II. Présentation de la zone d'étude</b>	15
II-1 Introduction : .....	16
II-2 Situation géographique :.....	16
II-3 Description du cadre physique de la région d'étude :.....	18
II-4 Circulation atmosphérique :.....	22
II-5 Les perturbations météorologiques affectant la région d'étude :.....	22
II-6 Le climat :.....	23
II-6-2 Régimes des vents :.....	23
II-6-2 Régimes de pluies :.....	24
II-6-3 Les températures : .....	24
II-7 Conclusion :.....	25
<b>Chapitre III. Présentation et critique des données</b>	26
III-I Introduction : .....	27
III-2 Présentation des données :.....	27
III-3 Critique et qualité des séries pluviométriques :.....	30
III-4 Traitement statistique préliminaire des séries pluviométriques :.....	30
III-4-1 Comblement des données :.....	30
III-4-2 Détection des valeurs singulières - Test de GRUBBS et BECK (1972).....	30
III-4-3 Vérification de l'homogénéité des données ou des séries pluviométriques : .....	31
- les tests d'homogénéité:.....	31
- le test de Wilcoxon ;.....	31
- le test de Mann-Whitney.....	32
III-4-4 Vérification de l'indépendance des données ou des séries pluviométriques : .....	33
- Test d'indépendance.....	33

III-5 Conclusion : .....	34
--------------------------	----

**Chapitre IV** 35  
**Approches et méthodes utilisées**

IV-1 Introduction .....	36
IV-2 Analyse temporelle des séries pluviométriques:.....	36
IV-2-1 Détection des tendances et des ruptures de stationnarité par l'utilisation des tests statistiques :.....	36
IV-2-1-1 Test de corrélation sur le rang (Kendall) .....	36
IV-2-1-2 Test de Pettitt .....	37
IV-2-1-3 Test de Buishand .....	38
IV-2-1-4 Méthode Bayésienne de Lee et Heghinian .....	39
IV-2-1-5 Procédure de segmentation des séries hydrométéorologique :	40
IV-2-1-6 Test de Mann-Kendall.....	41
IV-2-2 Détection d'une périodicité dans la variabilité de la pluviométrie : Analyse spectrale.....	42
IV-3 Analyse spatiale des précipitations : recherche d'une régionalisation :.....	44
- Principe de l'analyse en composantes principales.....	44
IV-4 Conclusion.....	48

**Chapitre V** 49  
**Résultats et Interprétations de l'Analyse Spatio-temporelles du  
régime pluviométrique**

V-1 Détection de la variabilité temporelle des séries pluviométriques : .....	50
V-1-1 Discussion des résultats des tests statistiques de détection de rupture à l'échelle annuelle : .....	56
- Concernant les stations de la région Est du domaine ; .....	56
- Concernant les stations de la région Centre du domaine ;.....	56
- Concernant les stations de la région Ouest du domaine.....	57
V-1-2 Discussion des résultats des tests statistiques à l'échelle saisonnière :	58
-Saison d'automne : .....	58
- Partie Est du domaine d'étude ; .....	58
- Partie centre du domaine d'étude ; .....	58
- Partie Ouest du domaine.....	59

- Saison d'hiver :	59
- Partie Est du domaine ;	59
- Partie centre du domaine ;	59
- Partie Ouest du domaine d'étude.	60
- Saison de printemps :	60
- Partie Est du domaine ;	60
- Partie centre du domaine ;	60
- Partie Ouest du domaine.	61
- Saison d'été :	61
- Partie Est du domaine ;	61
- Partie centre du domaine ;	61
- Partie Ouest du domaine.	61
V-1-3 Résultats émergents des tests statistiques :	62
V-2 Analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations – Recherche d'une régionalisation.	63
V-2-1 Variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle annuelle....	63
V-2-2 Variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle saisonnière	73
-la saison d'automne ;	74
- la saison d'hiver ;	77
- la saison de printemps ;	81
V-3 Interprétation de l'Analyse Spectrale. Recherche de périodicités	86
V-4 Relation entre la pluviométrie dans le Nord algérien et l'Oscillation Nord Atlantique	92
V-4-1 Analyse de la relation entre la pluviométrie et l'indice NAO :	94
V-5 Conclusion.	96
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	99
<b>Références bibliographiques</b>	103
<b>ANNEXES</b>	115

## Liste des figures

	Page
Figure II.1: Situation géographique de la zone d'étude.....	16
Figure II.2 : Bassins versants du Nord de l'Algérie .....	17
Figure II.3 : Carte des reliefs de l'Algérie du Nord.....	21
Figure II.4 : Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie du Nord.....	23
Figure III.1: Situation géographique des postes pluviométriques de la zone d'étude....	28
Figure IV-1 Corrélogramme d'une série temporelle.....	43
Figure V-1 Analyse en Composantes principales sans rotation des précipitations annuelles .....	64
Figure V-2 ACP des précipitations annuelles sans rotation- Chronique temporelle de la première composante.....	65
Figure V-3 ACP des précipitations annuelles sans rotation- Chronique temporelle de la deuxième composante.....	66
Figure V-4 ACP des précipitations annuelles sans rotation- Chronique temporelle de la troisième composante.....	66
Figure V-5 Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations annuelles .....	68
Figure V-6 Coefficients de variation des précipitations annuelles.....	69
Figure V-7 ACP des précipitations annuelles avec rotation Varimax- Chroniques temporelle des quatre premières composantes.....	72
Figure V-8 Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations saisonniers – Automne.....	75
Figure V-9 Chroniques temporelles des quatre composantes principales, après rotation VARIMAX, des précipitations saisonnières : Saison Automne.....	77
Figure V-10 Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations saisonniers – Hiver.....	79
Figure V-11 Chroniques temporelles des quatre composantes principales, après rotation VARIMAX, des précipitations saisonnières : Saison Hiver.....	81
Figure V-12 Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations saisonniers – Printemps.....	82
Figure V-13 Chroniques temporelles des quatre composantes principales, après rotation VARIMAX, des précipitations saisonnières : Saison Printemps.....	85
Figure V-14 Résultat de l'Analyse Spectrale des chroniques temporelles de quatre composantes annuelles.....	87
Figure V-15 Courbes des densités spectrales des chroniques temporelles des quatre composantes principales de la saison d'automne.....	88
Figure V-16 Courbes des densités spectrales des chroniques temporelles des quatre composantes principale de la saison d'hiver.....	89
Figure V-17 Résultats de l'analyse spectrale des chroniques temporelles des quatre premières composantes principales de la saison du printemps.....	90
Figure V- 18 Courbe de la densité spectrale de l'indice climatique NAO de la saison d'hiver.....	91
Figure V-19 Evolution temporelle de l'indice climatique hivernal et des chroniques temporelles des quatre composantes principales de la saison d'Hiver .....	95

## Liste des tableaux

	Page
Tableau II-1 Liste des codes et superficies des bassins hydrographiques du domaine d'étude .....	17
Tableau III.1 Caractéristiques géographiques et données disponibles des stations pluviométriques de la zone d'étude.	29
Tableau IV-1 Classement en fonction de la probabilité associée au test de Pettitt	38
Tableau V-1 Résultats des tests de rupture à l'échelle annuelle .....	50
Tableau V-2 Résultats du test de Kendall à l'échelle annuelle.....	52
Tableau V-3 Résultats des années de rupture à l'échelle annuelle et saisonnière	54
Tableau V-4 Résultats des tests de rupture à l'échelle annuelle et saisonnière	62
Tableau V-5 Variances expliquées pour les 10 premières composantes principales sans rotation.....	63
Tableau V-6 Variances expliquées pour les 10 premières composantes principales avec rotation.....	67
Tableau V-7 Variances expliquées pour les 10 premières composantes principales avec rotation à l'échelle saisonnière.....	73

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

## INTRODUCTION GENERALE

L'importance de l'eau en tant que support de vie et celui de facteur limitatif du développement est reconnue universellement, mais seule la gestion judicieuse et efficace de cette ressource joue un rôle important dans tout développement durable.

L'Algérie fait partie des zones arides et semi-arides qui sont vulnérables et souffrent d'un stress hydrique qui représente une forte contrainte sur l'environnement, les activités socio-économiques et le bien-être des populations. Le Nord algérien renferme les principales ressources en eaux de surface et les infrastructures hydrauliques du pays.

En outre, durant les dernières décennies, les ressources en eau sont devenues de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Leur 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.

Toutes ces ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans le temps et dans l'espace. Elles sont aussi exposées à des risques de pollution de plus en plus importants, qui compromettent leur utilisation dans de nombreuses régions du pays.

La connaissance de l'évolution et la variabilité récentes du climat dans les régions arides et semi arides est une nécessité pour anticiper ce que pourraient être les conséquences sur les milieux et sur les sociétés de ces régions, et ainsi définir des politiques stratégiques d'adaptation durables. Ainsi, il est fondamental d'étudier les modifications significatives des paramètres climatiques ainsi que leur impact sur les ressources en eau. Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat influençant les différentes ressources en eau. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat.

Caractériser l'impact de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers devient alors indispensable pour proposer des solutions adaptées aux projets de développement.

A travers le monde entier en général et en Afrique en particulier, plusieurs études ont été menées afin d'analyser la variabilité des régimes pluviométriques, durant les deux dernières décennies. En effet, en raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le

milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde.

La variabilité pluviométrique peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique ou à des variations du forçage externe anthropique. Dans ce travail, il s'agit de caractériser les tendances, les ruptures et les périodicités des précipitations à l'échelle régionale. Au sens général, une tendance se traduit par l'évolution probable d'un phénomène au cours d'une longue période. Dans le cas des précipitations, c'est une forme d'inconstance pluviométrique caractérisée par une baisse ou une hausse régulière et unidirectionnelle des valeurs moyennes des précipitations. Selon le Guide des pratiques climatiques de l'OMM (2005), cette variation tend à se maintenir dans un sens déterminé pendant de nombreuses périodes, allant de quelques années à plusieurs décennies. La recherche de périodicités dans la variabilité pluviométrique sert à connaître l'ampleur et le rythme de la variation ; ce dernier facteur conditionne la vulnérabilité d'un système, sa sensibilité et sa capacité d'adaptation. Une question se pose dans ce contexte à savoir :

*S'agit-il d'un phénomène naturel lié à des fluctuations cycliques ou à un changement climatique irréversible ?*

En Algérie, les travaux réalisés s'intéressent le plus souvent au suivi des précipitations annuelles (pour l'échelle temporelle) et plus particulièrement dans la partie Nord-ouest de l'Algérie (pour l'échelle spatiale). Le but de ce travail est donc d'identifier et de quantifier la variabilité spatio-temporelle des précipitations selon différentes échelles d'espace et de temps sur tout le Nord algérien.

Dans ce travail on se fixe comme objectif de répondre aux questions suivantes :

- comment varie le régime pluviométrique temporellement d'une région à une autre sur les 72 stations choisies à travers tout le Nord algérien ?
- existe-t-il des régions avec des comportements pluviométriques homogènes?
- les variations détectées sont-elles à caractère aléatoire ou comportent-elles des périodicités ?
- quels sont les facteurs qui influencent la variabilité du régime pluviométrique du Nord algérien ?

Répondre à ces questions revient à vérifier l'homogénéité temporelle des séries, notamment : étudier si les séries des totaux annuels présentent des tendances à l'augmentation

ou à la diminution sur la période d'observation. Les séries annuelles enregistrées sur de longues durées ont permis d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la pluviométrie dans différentes régions à travers le monde. Les hydrologues sont tous d'accord que les longues séries sont les plus appropriées pour donner des indications sur la présence ou l'absence d'un changement dans le comportement pluviométrique d'une région donnée. Cependant, il n'existe pas de méthode standard d'analyse des séries. A cet effet, nous consacrerons ce travail à l'étude des séries représentant les totaux pluviométriques annuels et saisonniers de 72 stations du Nord algérien comportant des données de séries les plus longues, sur une période de 72ans, en utilisant une approche statistique, basée sur différentes méthodes statistiques paramétriques et non-paramétriques, uni-variées et multi-variées.

Dans une première partie, nous présentons une synthèse bibliographique relative aux études de changement du régime pluviométrique dans le monde et en Algérie. Le domaine d'étude choisi est le Nord Algérien, le chapitre II présente toutes les spécificités de chaque zone, ses caractéristiques géographiques, physiques et climatologiques. En troisième partie, la base de données collectée est présentée. Le travail effectué dans cette partie consiste en le traitement préalable des séries pluviométriques mensuelles dans le but de constituer les séries des cumuls annuels et saisonniers les plus fiables et les plus représentatives possibles, afin de garantir la qualité des conclusions qu'on en tire à partir de cette étude. Le quatrième chapitre est dédié à la présentation des méthodes utilisées pour l'analyse spatio-temporelle du régime pluviométrique annuel et saisonnier. Les résultats de l'étude spatio-temporelle, par l'approche proposée, sont présentés et analysés dans la cinquième partie. Enfin, le dernier chapitre présente la conclusion générale à ce travail et indique quelques recommandations de recherche dans ce domaine.

# Chapitre I

## Synthèse bibliographique

---

## **I-1 Introduction**

Le climat, et plus exactement les précipitations et les températures, ont connu des variations importantes. Un réchauffement et une baisse des précipitations sont observés depuis la moitié des années 1970 à l'échelle du globe et à l'échelle régionale «Méditerranée».

Les impacts les plus importants de la variabilité climatique sont ceux liés aux températures et aux précipitations. Les précipitations sont particulièrement importantes, car les changements du comportement du régime pluviométrique conduit à des sécheresses ou des inondations dans différentes régions. En outre, les précipitations sont un facteur important dans l'agriculture. Ces dernières années un intérêt particulier a été montré envers la recherche sur la variabilité des précipitations pour différents pas de temps allant du journalier à l'annuel et dans les différentes régions du monde. Le présent chapitre est consacré à la présentation de quelques études et des résultats obtenus.

## **I-2 Analyse de l'évolution des régimes pluviométriques dans le monde**

Liu et al. (2008) ont examiné les comportement temporel et spatial des tendances des précipitations dans le bassin de la rivière jaune en Chine durant la période 1960-2006, leurs résultats ont montré une tendance décroissante du paramètre précipitation dans la majorité des stations.

En méditerranée, une baisse des précipitations annuelles a été révélée par plusieurs travaux de recherche. Buffoni et al. (1999) ont analysé des précipitations annuelles et saisonnières de 32 postes pluviométriques sur la période 1833-1996. Ils ont observé une décroissance significative des pluies annuelles dans le Sud centre de l'Italie. A l'échelle saisonnière, une tendance décroissante a été enregistrée et a concerné l'hiver au niveau du Sud, une autre décroissance a concerné la saison d'automne et la partie Nord du pays. Au Nord de l'Italie, Tomezeiu et al. (2000) ont analysé les principales caractéristiques spatiales et temporelles de la variabilité des pluies d'été observées dans 40 stations pluviométriques pour la période 1922-1995. Leurs résultats ont montré une tendance croissante avec une hausse significative autour de l'année 1962 dans la majorité des stations.

Une étude sur la variabilité temporelle des pluies, en Italie du Sud (Calabre), montre une tendance décroissante des pluies annuelles, d'hiver et d'automne et une croissance des pluies d'été. Ces changements ont eu lieu durant la décade (1960-1970) (Caloiero et al, 2009).

Dans le but de décrire le régime climatique du Sud de l'Italie, une analyse statistique a été effectuée sur 559 séries pluviométriques mensuelles et annuelles s'étendant de 1917 à 2006. Cette analyse a mis en évidence une tendance à la diminution de pluviométrie enregistrée au niveau de 50% des stations, en particulier celles donnant sur la mer tyrrhénienne. Cette même étude a aussi détecté une augmentation de la pluviométrie pendant l'été et elle a concerné tout le Sud de l'Italie (Longobardi et al., 2016). L'analyse des épisodes secs en Calabre (Sud de l'Italie), pour déterminer leur comportement spatial et temporel, a montré une réduction de la durée des épisodes secs qui a concerné principalement les hauts plateaux et les vallées de cette région, alors que les régions montagneuses n'ont pas été touchées par cette réduction (Caloiero et al., 2015).

L'analyse de la variabilité saisonnière des précipitations et son évolution tout au long de la Méditerranée sur la période 1901-1998 indique une tendance négative de précipitations pour l'hiver, en accord avec les conclusions du GIEC (Jacobbeit, 2000, et Giorgi, 2002 in : Xoplaki2004). Par contre, certaines analyses effectuées dans certaines zones méditerranéennes, ont montré que l'évolution prédominante est une décroissance non significative des précipitations durant le dernier siècle (Dechemi et al, 2000; Douguédroit et Norrant, 2003).

L'analyse des tendances des précipitations pour la période allant 1950 à 1999, révèle que les précipitations de la saison humide ont augmenté en Méditerranée depuis le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle avec un maximum enregistré dans les années 1960 puis ont diminué dès lors. À l'exception de quelques périodes humides survenues dans les années soixante-dix, début des années quatre-vingt et fin des années quatre-vingt-dix, la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle montre une tendance générale à la baisse de 2,2 mm/mois/décade. En particulier, la période fin quatre-vingt-début quatre-vingt-dix, qui a connu une sécheresse générale sur de larges parties de la Méditerranée (Xoplaki et al, 2000).

Xoplaki et al. (2004) ont constaté que les plus grandes quantités de précipitations durant la saison humide de la Méditerranée sont observées au mois d'octobre à mars mais avec de fortes variabilités. Malgré la grande variabilité spatio-temporelle des précipitations, une fraction importante de ces variations peut être expliquée par les changements de circulation des masses d'air à grande échelle et à différentes altitudes. Une autre étude sur l'évolution de la pluviométrie menée avec des pluies annuelles et mensuelles sur la côte Ouest méditerranéenne de la France. Ce travail de recherche n'a pas révélé de changement du

régime des pluies à l'échelle annuelle (Chaouche et al, 2010). Par contre, les précipitations mensuelles ont enregistré une décroissance de la pluviométrie relative au mois de juin et une croissance de la pluviométrie relative au mois de novembre sur toute la zone d'étude.

Par ailleurs, il a été montré qu'au niveau des îles Baléares (Îles espagnoles), le régime pluviométrique a connu une rupture brutale de la stationnarité, avec une baisse de la moyenne de 65 mm à partir de 1980. Cette étude a été menée par Homar et al. (2010) sur des séries pluviométriques annuelles durant la période (1951-2006).

Une étude menée par Norrant et al. (2004) sur le comportement pluviométrique en Europe a été réalisée durant la période allant de 1946 à 1999. Cette étude montre une augmentation de la pluviométrie annuelle et du nombre de jours secs. Elle a été observée en particulier dans la partie Nord, et une diminution de ces mêmes paramètres dans la partie Sud de la région d'étude. La moyenne européenne des jours pluvieux a enregistré une diminution pendant les jours froids durant les deux périodes (1946-1976 et 1976-1999).

Dans la perspective des scénarios pour les tendances des précipitations établis par les modèles pour la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, il a été montré l'existence d'une amorce d'un changement pluviométrique dans la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle dans le Sud-est méditerranéen français. Grâce à l'Analyse en Composantes Principales (ACP) effectuée sur des totaux mensuels, seuls quelques mois montrent une diminution significative des totaux mensuels de pluie : octobre à l'est du Rhône, novembre dans la vallée du Rhône et mars à l'Ouest du Rhône. Ces diminutions sont associées dans les deux premières régions à une diminution significative des moyennes quotidiennes de pluies et dans la dernière région à une diminution significative du nombre de jours de pluie (Norrant et al, 2004).

Une analyse de l'évolution des sécheresses dans la Péninsule Ibérique, entre 1910 et 2000, a été réalisée par Sergio et al, (2006), en utilisant 51 séries mensuelles de précipitation, distribuées de manière homogène a été effectuée. L'analyse a été effectuée en utilisant l'indice standardisé de précipitation, à une échelle temporelle de 12 mois. Les principaux épisodes de sécheresse ont affecté l'ensemble de la Péninsule Ibérique ; les plus intenses ayant été observées dans les années 1940, 1950, 1980 et 1990. La distribution spatiale des épisodes de sécheresse est très diverse ; les principaux épisodes de sécheresse ont généralement affecté de larges zones de la péninsule Ibérique, mais il arrive qu'une sécheresse touche une région alors que d'autres régions sont simultanément soumises à des

conditions humides. L'utilité d'une approche de régionalisation pour la gestion des sécheresses a été mise en évidence (Sergio et al, 2006).

Au Liban, pays de la région méditerranéenne, influencé par le changement de climat, les ressources hydriques ont enregistré une diminution quantitative apparente. Ces ressources ont diminué de 12 à 29% sur tout le territoire, situation alarmante imposant au pays de nouveaux plans d'aménagements pour conserver la ressource (Shaban et al, 2009).

Le Grand Maghreb, situé au sud du bassin méditerranéen, a connu des variations pluviométriques importantes. Au Maroc, les études réalisées par la direction de météorologie nationale (Benassi M., 2008), ont mis en évidence les changements que le climat du pays a connu durant les dernières décennies, notamment le phénomène de la sécheresse. La période trentenaire 1971-2000 a enregistré une diminution de la pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 15%. Depuis 1961, 1982-1983, 1983-1984 et 1994-1995 ont été les années hydrologiques de sécheresses les plus sévères que le Maroc ait connus. En outre, le régime pluviométrique interannuel a connu une tendance à la baisse avec une légère augmentation des pluies en début de la saison et un déclin de celles du reste des saisons surtout le printemps.

En Mauritanie, l'analyse de la pluviométrie depuis plus de cinquante ans (1942-2005), a révélé d'une manière très significative les deux périodes caractéristiques de la région sahélienne ; une période largement excédentaire de 1942 à 1969 et une période de sécheresse pendant les années 70 et 80. En plus de ces phases, la décennie (1994-2005) a été caractérisée par une situation très particulière où oscillent de courtes périodes d'excès pluviométriques (Nouaceur, 2009).

Une étude dans les régions d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale, menée par Paturel (2004), a mis en évidence les alternances pluviométriques qu'ont pu connaître ces deux régions au cours du XXème siècle, en s'appuyant sur des outils d'analyse statistique de séries chronologiques. Il apparaît que ces alternances de périodes sèches et humides ont eu une ampleur spatiale et temporelle et une intensité très variables. Au Nord de l'équateur les changements les plus nets sont des sécheresses, alors qu'au Sud de l'équateur ce sont des épisodes plus humides. Au cours de la première moitié du siècle, les modifications ont eu tendance à correspondre à une augmentation de la pluviométrie annuelle alors que la tendance s'est inversée après, avec un point d'orgue à la fin des années 1960 (Paturel, 2004).

L'Afrique de l'Ouest non sahélienne a connu, autour des années 1970, une variabilité du régime pluviométrique. Pour étudier cette variabilité, des séries chronologiques de totaux précipités, de durée des saisons des pluies, de hauteurs de pluie en saison sèche de nombres de jours de pluie ont été constituées au pas de temps annuel entre 1950 et 1989, soumises à plusieurs tests statistiques de détection de rupture. Pour caractériser la variation spatio-temporelle du phénomène étudié, les résultats des tests ont été traités par l'analyse des correspondances multiples. Il ressort qu'une modification du régime pluviométrique s'est manifestée dès 1966 essentiellement au Sénégal et en Guinée Bissau, puis en Guinée Conakry, au Mali, au Burkina Faso et au Nord du Bénin. La façon dont la Côte d'Ivoire, le Togo et le Sud du Bénin ont été atteints s'est révélée beaucoup plus variable. Le Cameroun et la République Centrafricaine n'ont été que très faiblement ou pas du tout touchés (Gautier et al, 1998).

D'après Funk et al. (2011), les pluies estivales à l'Ouest et au Sud du Soudan ont diminué de 10 à 20% à partir de 1970. Elles ont aussi baissé à l'Est du Tchad durant les 25 dernières années (Funk et al, 2012). Ils ont aussi observé que certaines parties de l'Ethiopie ont connu une décroissance de la pluviométrie de 15 à 20%. Par contre, au Mali, les pluies estivales sont restées stables pendant les vingt dernières années mais elles sont de 12% inférieures à la moyenne de la période (1920-1969). Elles ont même augmenté au Niger durant les 20 dernières années (Funk et al, 2012).

Une étude, réalisée par Lebel et al.(2009), a contribué à étudier le régime pluviométrique du Sahel. Elle a consisté à étudier le régime pluviométrique des deux décades (1990-2007) en les comparant au régime pluviométrique des décades précédentes, notamment les vingt années pluvieuses (1950-1969) et les vingt années sèches (1970-1989). Le centre du Sahel a progressivement enregistré des années plus humides à partir de la fin des années 90, mais ce rétablissement est limité à la période (1990-2007) avec un taux de 10% plus important que pour la période (1970-1989). Il y a une différence significative entre l'Ouest du Sahel et le centre du Sahel. En se penchant sur le comportement de la variabilité interannuelle et saisonnière, ils ont observé que le comportement des basses fréquences des pluies est similaire à celui de l'Ouest du Sahel et au Centre du Sahel. Cependant, les variabilités interannuelles d'année en année, sont faiblement reliées entre elles dans le Centre du Sahel. La plus importante modification du comportement du cycle saisonnier, dans les récentes décades, est la disparition du pic du mois d'août, observé pendant les périodes humides. Dans

l'Ouest du Sahel, le déficit pluviométrique est plus ou moins distribué tout au long de la saison pluvieuse.

L'étude de la pluviométrie annuelle de la Tunisie centrale, réalisée par Kingumbi et al. (2000), en utilisant la méthode de la variable centrée réduite, a mis en évidence une baisse de la pluviométrie entre 1976 et 1989. Cependant, en utilisant des tests statistiques, il n'a pas été montré de rupture de stationnarité dans les séries chronologiques considérées. Par contre, l'étude de la persistance temporelle des classes de pluies a montré une baisse très significative des pluies supérieures à 30mm après 1976.

Les variations des précipitations peuvent être liées aux fluctuations de circulation atmosphérique générale, telles que les courants-jets, les trajectoires des tempêtes et circulations de mousson avec des changements dans le processus thermodynamique de l'atmosphère. De ce fait, il est crucial de comprendre les causes, les processus et les mécanismes physiques à différentes échelles régionales ainsi que leur lien avec le climat à grande échelle, qui est responsable de la variabilité et des tendances des précipitations de la région méditerranéenne. De nombreuses études ont lié les variations du régime pluviométrique de la Méditerranée à la circulation atmosphérique générale (Salameh, 2008; Xoplaki, 2000; Lopez, et al. 2010).

Une étude concernant la régionalisation des pluies annuelles sur l'Algérie Nord-occidentale a été réalisée par Medjrab et al. (2005). L'application de l'analyse en composantes principales sans rotation sur les séries pluviométriques de 220 stations sur la période (1942-1990) a révélé des régions pluviométriques homogènes correspondant à trois composantes principales significatives. Les régions obtenues ont été validées par l'analyse factorielle discriminante (AFD). L'examen de l'influence des différents paramètres physiques sur la distribution des précipitations pour chaque région, a montré que la plupart de ces facteurs ont une part de contribution dans la régionalisation.

En Algérie, une étude réalisée par Meddi et al. (2007), ayant pour but de déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique du Nord Ouest Algérien, en utilisant un certain nombre de tests statistiques, a révélé l'existence d'une rupture avec réduction de la pluviométrie se situant dans la décennie 70. Ce résultat a été constaté pour la quasi-totalité des postes étudiés. Cette étude a aussi montré que la variabilité interannuelle des pluies augmente lorsqu'on se rapproche des zones arides ; l'augmentation de la variabilité suit

l'accroissement de la longitude et la diminution de la latitude, l'altitude altère cet accroissement.

Pour caractériser les variations spatio-temporelles de la pluviométrie annuelle, une étude a été effectuée par Talia et al. (2011). Elle a concerné 71 stations réparties sur les hauts plateaux et le Sahara algérien, en utilisant l'analyse en composantes principales avec rotation et des méthodes statistiques de détection de ruptures de stationnarité. Cette étude a montré qu'aucune rupture significative n'a été enregistrée à l'Est des hauts plateaux et dans l'extrême Sud du Sahara, alors qu'à l'Ouest et au centre des hauts plateaux, une chute brutale au cours de la décennie (1970-1980), a été constatée.

Une étude a été menée par Meddi et al, (2013) sur la régionalisation de la pluviométrie sur le Nord-Ouest algérien qui est affecté par une réduction de la pluviométrie depuis le milieu des années 70. Cette régionalisation a été effectuée par le biais de deux techniques statistiques différentes à savoir l'analyse en composantes principales avec rotation (46 stations pluviométriques de 1930 à 2004) et la méthode (k-means) (182 stations pluviométriques de 1968 à 2003). Cette étude a permis de dégager une régionalisation de la pluviométrie annuelle mettant en évidence l'effet de la longitude, le rapprochement de la mer et l'altitude.

En Algérie Nord orientale, spécialement dans le bassin versant de la Medjerda, une étude réalisée par Khoualdia et al. (2014) sur 16 stations pluviométriques sur des périodes allant de 19 à 38 ans, a montré que les séries analysées ont toutes présenté des ruptures de stationnarité dont la majorité se situe dans les décennies 80 et 90. Une cartographie des indices pluviométriques interannuels calculés par décennie sur la période 1971-2007 a montré que les décennies 80 et 90 sont déficitaires sur tout le bassin versant. Cependant, une tendance à un retour des précipitations a été constatée sur la période 2001 à 2007. A l'échelle mensuelle, les précipitations ont augmenté significativement après les années de rupture concernant les mois d'hiver et de printemps à l'exception du mois de Mars.

### I-3 Influence des circulations atmosphériques sur le régime pluviométrique

Du point de vue climatique, la région méditerranéenne constitue une zone de transition entre les climats semi-arides (le sud du bassin) et les climats tempérés (le nord du bassin), sous l'influence des circulations synoptiques des latitudes moyennes et de la variabilité climatique tropicale, particulièrement, durant la période hivernale (en été, du fait de la progression vers le nord de l'anticyclone des Açores, la région méditerranéenne est plus isolée et largement sous l'influence de circulations atmosphériques locales). Au nord, une grande partie de la variabilité atmosphérique est sous l'influence de flux atmosphériques d'Ouest contrôlés par les positions respectives de l'anticyclone des Açores et de la dépression d'Islande et modulée par l'intensité et la phase de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) (Hurrell and Van Loon, (1997); Plaut et al, (2001); Xoplaki, (2002); Hurrell et al, (2003); Dünkeloh and Jacobeit, (2003) ; Trigo et al, (2004) ; in Salameh T, (2008)).

Se situant au Sud du "couloir" des tempêtes de l'Atlantique Nord, le bassin Ouest de la Méditerranée est sous l'influence des dépressions des moyennes latitudes qui contrôlent le taux de précipitations, surtout pendant l'hiver quand l'influence de la NAO est la plus importante. Le Sud du bassin est sous l'influence de la partie descendante de la cellule de Hadley associée à l'anticyclone des Açores et l'Est du bassin est sous l'influence de téléconnexions avec l'oscillation Sud d'El Nino (El Nino Souther Oscillation, ENSO) et la mousson asiatique ([Rodwell et Hoskins (1996) ; Rodo et al, (1997) ; Price et al, (1998) ; Reale et al., (2001) ; Mariotti et al., (2002) : In Salameh T., (2008)]).

Selon le GIEC (GIEC, 2007), les climats de l'Afrique du Nord dépendent de l'oscillation Nord Atlantique (l'Afrique orientale et australe, sont sous influence forte de ENSO, et ceux de l'Afrique de l'Ouest de la température de surface de l'océan atlantique, de la dynamique de l'atmosphère et d'effets de surface). L'indice NAO a connu au cours du 20<sup>ème</sup> siècle une très grande variabilité. Du début du 20<sup>ème</sup> siècle jusqu'en 1930 environ (à l'exception des hivers 1916 à 1919), l'indice NAO était élevé. Ainsi, des vents plus forts qu'à l'accoutumée ont apporté une influence maritime au dessus de l'Europe, ce qui contribua aux températures européennes plus élevées que la normale durant cette période. Du début des années 40 jusqu'au début des années 70, l'indice NAO a eu tendance à diminuer, ce qui correspond à une période où les températures hivernales étaient fréquemment inférieures à la normale. Une forte hausse de l'indice NAO s'est produite au cours des 25 dernières années. Depuis 1980, l'indice NAO est resté dans une phase fortement positive et a tendance à

augmenter. Jamais depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, des hivers n'ont montré des indices positifs aussi prononcés. Cette situation a beaucoup contribué au réchauffement observé des températures de surface de l'hémisphère Nord au cours des deux dernières décennies. Une stabilisation des températures a été constatée depuis 2008 (Szalai S., 2003).

Des études ont montré que la diminution des précipitations, surtout hivernales dans la région méditerranéenne, durant les dernières années, sont liées à la phase positive et persistante de l'oscillation nord atlantique (NAO) (Xoplaki et al. 2000). Un indice caractérise cette oscillation : les valeurs positives de l'indice correspondent à une pluviométrie en dessous de la normale, alors que les valeurs négatives correspondent à une pluviométrie excédentaire. L'analyse des corrélations entre les précipitations et l'oscillation Nord Atlantique, montre que la NAO a plus d'influence pendant les mois d'hiver : décembre, janvier et février. (Lopez et al, 2010).

Les valeurs de température et de précipitation, montrent que de nombreux épisodes secs sont intervenus au cours des derniers 50 000 ans, et en particulier pendant le dernier glaciaire. Une configuration atmosphérique d'une NAO positive, aurait prédominé pendant ces périodes d'aridité, impliquant une stabilité anticyclonique sur le bassin Sud-ouest méditerranéen et favorisant le transport atmosphérique en provenance d'Afrique (Combourieu Nebout et al. 2009). Plusieurs études mettent en évidence l'absence d'une corrélation significative d'El-Niño sur le bassin méditerranéen (Ricard J.L., 2000). Les chercheurs qui ont déterminé les zones sous influence directe d'El Niño, n'ont pas inclus l'Afrique du Nord et l'Europe.

Les bassins méditerranéens sont connus pour leur susceptibilité au stress hydrique dû à la réduction des pluies hivernales. Cette région est soumise aux effets du NAO qui est un phénomène climatique à grande échelle impliquant des déplacements de masses d'air entre l'Arctique et l'Atlantique subtropicale. Une étude menée par (Brandimarte et al, 2011) a montré l'interdépendance entre le NAO et les précipitations hivernales, l'écoulement dans les rivières et les températures des deux régions au Sud de l'Italie et le delta du Nil.

Les indices types de circulation ont été étudiés sur la Méditerranée et en Europe, des précipitations saisonnières et annuelles sur quatre stations : Lisbonne, Luqua (Malte), Athènes et Jérusalem sur la période (1873-1991) et ont été comparées. Le coefficient de corrélation des indices de circulation avec les précipitations, pour chaque station, ont été calculés et

cartographiés. Une oscillation de l'indice méridional a été détectée pendant l'hiver et le printemps entre l'Ouest et l'Est de la Méditerranée. L'analyse des séries temporelles des indices de circulation a mis en évidence une réduction significative de l'indice méridional principalement au printemps et en été sur la plus grande partie du domaine d'étude (Kuriel et al, 1996).

En Italie, durant le dernier siècle le climat italien a connu une intensification des phénomènes extrêmes à savoir des fortes précipitations et des sécheresses plus longues, ceci est dû à des changements dans la circulation atmosphérique causant une croissance des fréquences des cyclones subtropicaux à travers le bassin méditerranéen Ouest (Brunetti et al, 2002). Une investigation sur la variabilité pluviométrique au Sud de l'Italie (région méditerranéenne) plus précisément Campania, Apulie, Basilicate, Calabre et la Cécile, en utilisant le test de Mann-Kendall, sur soixante-dix séries pluviométriques, sur une période de cinquante ans, a révélé une tendance décroissante des pluies cumulées annuelles et hivernales sur la plupart des séries étudiées. L'analyse de la corrélation entre le comportement de l'indice climatique NAO et les quantités de précipitations à l'échelle annuelle et hivernale a montré que les quantités de précipitations sont plus importantes pendant la phase négative de celui-ci que pendant la phase positive (Caloiero et al, 2011).

Une analyse de la variabilité temporelle des précipitations annuelles sur cinq stations situées sur les bassins versants de la Macta et de la Tafna à l'Ouest algérien, menée par Meddi et al. en 2010, a eu aussi pour objectif d'étudier la relation entre les indices climatiques et la pluviométrie sur la période (1950-2004). Cette étude a enregistré un déclin de la pluviométrie annuelle située au milieu des années 70 dans les deux bassins. Cette étude a montré aussi que cette baisse est corrélée négativement avec le Nino et à un degré moindre avec le NAO.

Une étude a été effectuée par Taibi et al. (2015) concernant la variabilité des événements pluviométriques sur le Nord algérien durant la période (1940-2010). Elle a montré que les stations pluviométriques situées sur le Nord-Ouest de la région d'étude ont enregistré une décroissance de la pluviométrie à partir de 1970. D'autre part, elle a montré aussi que les événements interannuels et extrêmes sont modérément influencés par l'oscillation El Niño Sud, et l'Oscillation Méditerranéenne. Une corrélation significative a été constatée entre l'indice de l'oscillation Sud et les pluies annuelles dans le Nord Ouest de la région d'étude. Les pluies saisonnières dans l'Algérie du Nord sont influencées par l'oscillation Méditerranéenne alors que la région Ouest est affectée par l'Oscillation Nord Atlantique.

# Chapitre II

## Présentation de la zone d'étude

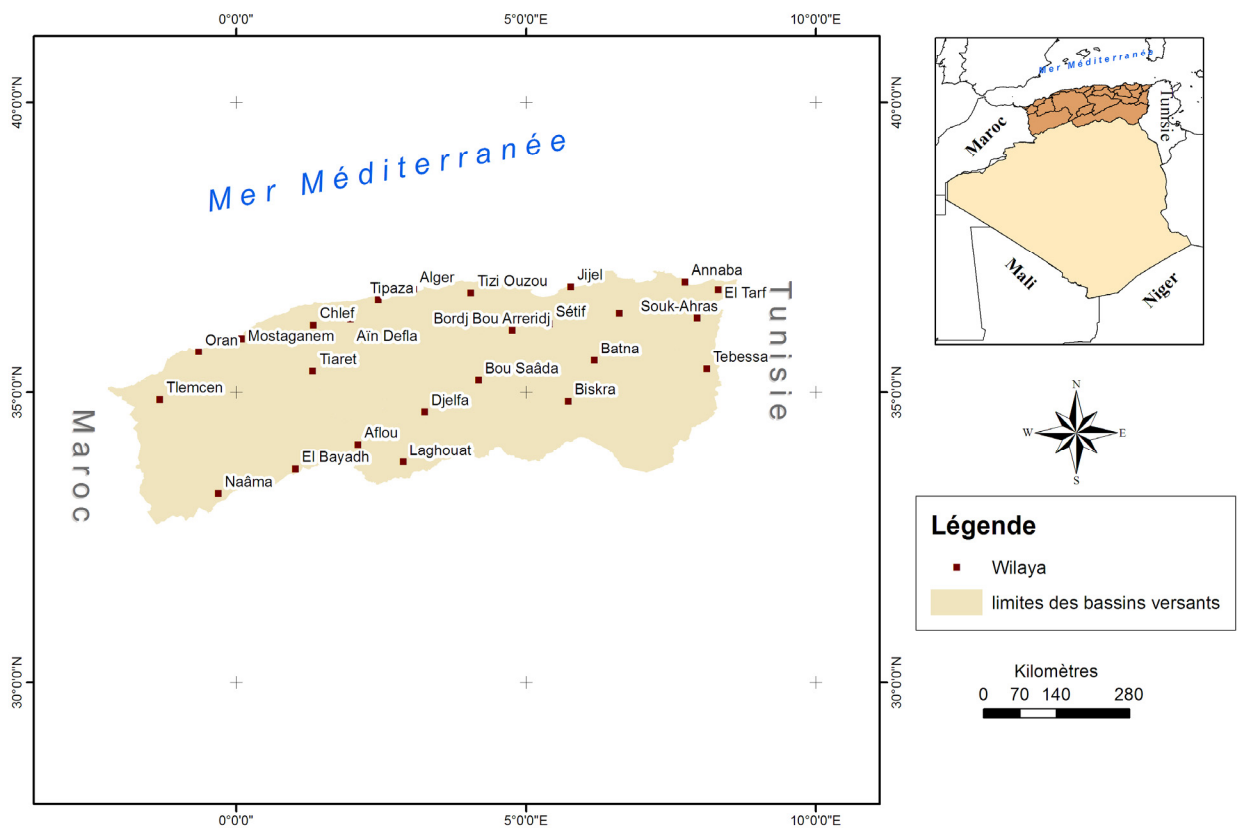
---

## II-1 Introduction :

Le domaine d'étude couvre la partie Nord de l'Algérie avec un balayage d'Ouest en Est. Ce domaine présente un intérêt économique particulier pour l'Algérie. Dans ce chapitre, nous présenterons les données géographiques, physiques et climatologiques relatives à ce domaine.

## II-2 Situation géographique :

La zone d'étude couvre une surface totale de 365 000 Km<sup>2</sup>, elle est limitée par les parallèles 33° et 37°N et par les longitudes 2° Ouest et 10° Est. Elle s'étend du Maroc à la Tunisie sur une largeur de 350 Km environ et 1000 Km le long du littoral, elle est limitée par la mer méditerranée au Nord et les flancs de l'Atlas saharien au Sud (Figure II.1).



**Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude**

Le domaine d'étude couvre 15 bassins versants qui sont représentés et répertoriés sur la figure II.2 et le tableau II.1 ci-après :

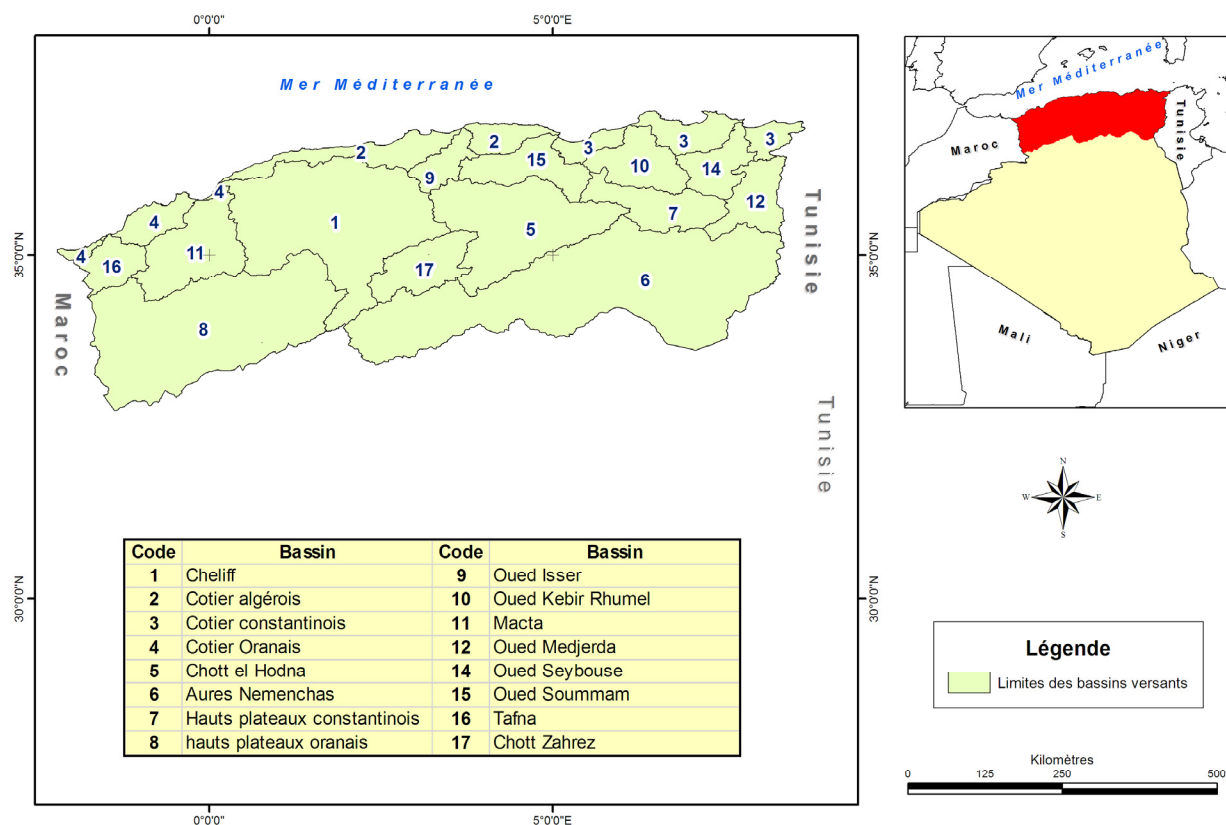


Figure II.2 : Bassins versants du Nord de l’Algérie (source : ANRH)

Tableau II.1 : Liste des codes et superficies des bassins hydrographiques du domaine d’étude (source : ANRH)

Code du Bassin	Nom	Superficie en Km <sup>2</sup>
01	Chélif	43 750
02	Côtiers Algérois	11 958
03	Côtiers Constantinois	11 566
04	Côtiers Oranais	5 831
05	Chott Hodna	25 843
07	Hauts plateaux Constantinois	9 578
08	Chott Chergui (hauts plateaux Oranais)	52 090
09	Isser	4 149
10	Kebir Rhumel	8 815
11	Macta	14 389
12	Medjerda	7 785
14	Seybouse	6 475
15	Soummam	9 125
16	Tafna	7 245
17	Zahrez	9 141

### **II-3 Description du cadre physique de la région d'étude :**

Le cadre physique de la zone d'étude est caractérisé par la diversité du relief. L'Atlas Tellien de l'Ouest est plus morcelé, moins massif que celui de l'Est. Il est aussi plus sec et plus chaud. Les Hautes Plaines de l'Ouest sont des steppes déjà arides contrairement aux hautes plaines constantinoises. Cette variété des milieux influe sur les processus hydrologiques.

La carte du relief du Nord de l'Algérie est présentée par la figure II.2 ; cette dernière montre bien la diversité du relief de la région d'étude, nous présentons dans ce qui suit une description détaillée du relief. La présentation du domaine est divisée en deux grandes parties : reliefs de l'Ouest et reliefs de l'Est.

#### **Reliefs de l'Ouest :**

Ils sont formés de :

##### **- Reliefs montagneux littoraux :**

Les reliefs littoraux sont formés par les collines d'Oran allant de la région d'Ain-Temouchent à la montagne des lions (Massif d'Arzew) en passant par Djebel Murdjadjo. Ils s'élèvent à des altitudes comprises entre 300 et 650 mètres. L'orientation de ces reliefs est SO à NE.

La discontinuité de ces reliefs a permis le développement d'Est en Ouest des baies d'Arzew d'Oran, de Mers El-Kébir et des Andalouses. A l'Est, on trouve les monts du Dahra qui forment une dorsale entre la dépression du Cheliff et la mer Méditerranée. A l'Ouest, le Dahra est formé de collines de 300 à 600 mètres d'altitude en moyenne, les plus hautes cimes atteignent 800 m. A l'Est, la région devient plus montagneuse et boisée, avec des altitudes dépassant 1000 mètres et culminant au Djebel Bou-Maad (1415 m) et au Djebel Zaccar (1579 m).

##### **- Des montagnes et plateaux intérieurs :**

Ces régions montagneuses présentent deux aspects différents : des chaînes plissées plus ou moins parallèles au littoral et des plateaux au Sud-ouest. Les chaînes de montagnes ont une assez forte diversité morphologique. Elles forment un grand alignement de relief

allant des monts des Traras à l'Ouest au massif de l'Ouarsenis à l'Est, le relais est assuré par les monts de Sebaa Chioukh, le Tessala, les monts de Ouled-Ali et des Béni-Chougranes, et le bassin de la Tafna qui se détache du relief au-dessus de la mer, de la vallée inférieure de la Tafna et des plaines de Maghnia. La partie la plus élevée au S.E : Djebel El-Ahmar et du Fillaoucène (1136 mètres) qui est le prolongement du massif marocain des Beni-Snassen, du moyen Atlas et les monts des Sebaa-Chioukh (au Sud de Ain-Timouchent). Les monts de Tessala, des Ouled-Ali et des Beni-Chougranes forment sur 200 km, un chapelet de petits massifs étroits et allongés de 600 à 900 mètres d'altitude, et culminant au Dj. Tessala à 1061 mètres. A l'Est, se trouve le massif de l'Ouarsenis qui est situé entre la vallée du Cheliff au Nord et les Hautes Plaines du Sersou au Sud. Ils présentent une série de piques grossièrement orientés d'Ouest en Est et dont les altitudes moyennes ne dépassent pas 700 à 800 mètres dans la partie occidentale et 1000 à 1200 mètres dans le reste du massif. Quant à la partie centrale, elle culmine à 1983 mètres au niveau de Kef-Sidi-Ammar.

- **De plateaux telliens et des hautes plaines :**

Les plateaux Telliens sont développés entre le haut bassin de la Mina et la frontière marocaine, distante de 300 km. Ces plateaux hauts de 900 à 1600 mètres dominent les bassins intérieurs et s'inclinent vers les Hautes Steppes. Ils présentent souvent une allure tabulaire, comme dans le plateau de Daya, les plateaux de Saida et de Frenda.

Les hautes plaines sont représentées par le plateau de Sersou qui est une région Tellienne des Hautes Plaines situées dans notre région d'étude. Elle présente trois unités principales : la cuvette de Tissemsilt au Nord de l'oued le Nahr-Ouassel, et le plateau du Sersou proprement dit au Sud même de cet oued.

- **Des plaines et bassins intérieurs :**

Les bassins intérieurs sont éloignés de la mer de 20 à 70 Km. Isolés des influences maritimes par les chaînons montagneux qui s'allongent du massif des Traras à celui de l'Ouarsenis, ils s'élèvent entre 350 et 800 mètres d'altitudes. Aux pieds des plateaux telliens d'Oranie, on trouve la plaine de Maghnia (400 mètres) qui représente la continuité de la plaine marocaine des Angad, la plaine de Sidi-Bel-Abbès que traverse la Makerra et qui culmine entre 450 et 470 mètres, et la plaine d'Eghris située entre 400 et 600 mètres au pied de la ville de Mascara. Au centre, on trouve la plaine de Mohammadia, et à l'Est les plaines

du Cheliff qui forment une véritable gouttière de 190 km de long. Bien plus qu'une vallée, c'est un chapelet de bassins légèrement étagés séparés par de modestes rétrécissements : bassins d'El-Khemis ou du Djendel entre 250 et 300 mètres d'altitude, bassin des Attafs entre 150 et 200 mètres d'altitude et le bassin du Cheliff entre 60 et 150 mètres d'altitude (Medjerab, 2005).

### **Reliefs de l'Est :**

Ils sont formés :

#### **- D'un massif montagneux tellien :**

Il longe depuis Bejaia jusqu'à la frontière tunisienne, sur 300 km environ, la mer Méditerranée, qu'elle surplombe par endroits à la faveur de grandes falaises. Cette chaîne dédoublée (Tell interne et Tell externe) est traversée par une série de petits cours d'eau parallèles et courts qui descendent du flanc Nord des djebels bien arrosés et se précipitent en pentes raides vers la Méditerranée.

#### **- De plaines littorales étriquées :**

Elles se succèdent d'Est en Ouest, en unités isolées les unes des autres, par les massifs maritimes. Les trois massifs d'El Aouana, de Bougaroun et de l'Edough ont des positions en saillant dans la mer Méditerranée qu'ils dominent par des versants raides (Marre A., 1992). Les plaines de Guerbès, de Fetzara et d'Annaba, en forme de croissant autour du djebel Edough, sont jalonnées respectivement par la basse vallée du Kébir-Ouest, le Lac Fetzara, la basse Seybouse et la Mafragh. Il s'agit partout ailleurs de petites plaines côtières correspondant aux basses vallées des oueds : Skikda (Oued Safsaf), Collo (Oued Guebli), El Ancer-Belghimouz (Oued El Kébir), Jijel (Oued Djendjen) et Souk El Tenine (Oued Agrioun).

#### **- De hautes plaines étendues :**

Ce sont de vastes étendues de plaines, compartimentées en une série de bassins individualisés, plus ou moins délimités par des horsts calcaires. Elles sont topographiquement perchées par rapport aux plaines littorales ou sahariennes, mais toujours dominées par les chaînes Nord et Sud.

Les zones basses du centre sont jalonnées par un chapelet de chotts, sebkhas, où viennent se jeter les oueds dévalant du piémont Nord de l'Atlas Saharien. Dans cette « gouttière des Hautes Plainnes » la marque de l'endoréisme est nette tant s'y conjuguent topographie de cuvette et semi-aridité du climat (Côte M., 1996a). Le Chott Hodna, plus décalé vers le Sud-ouest, se trouve géographiquement dans le prolongement de la région inter-atlasiqque Algéro-oranaise (Mebarki, 2005).

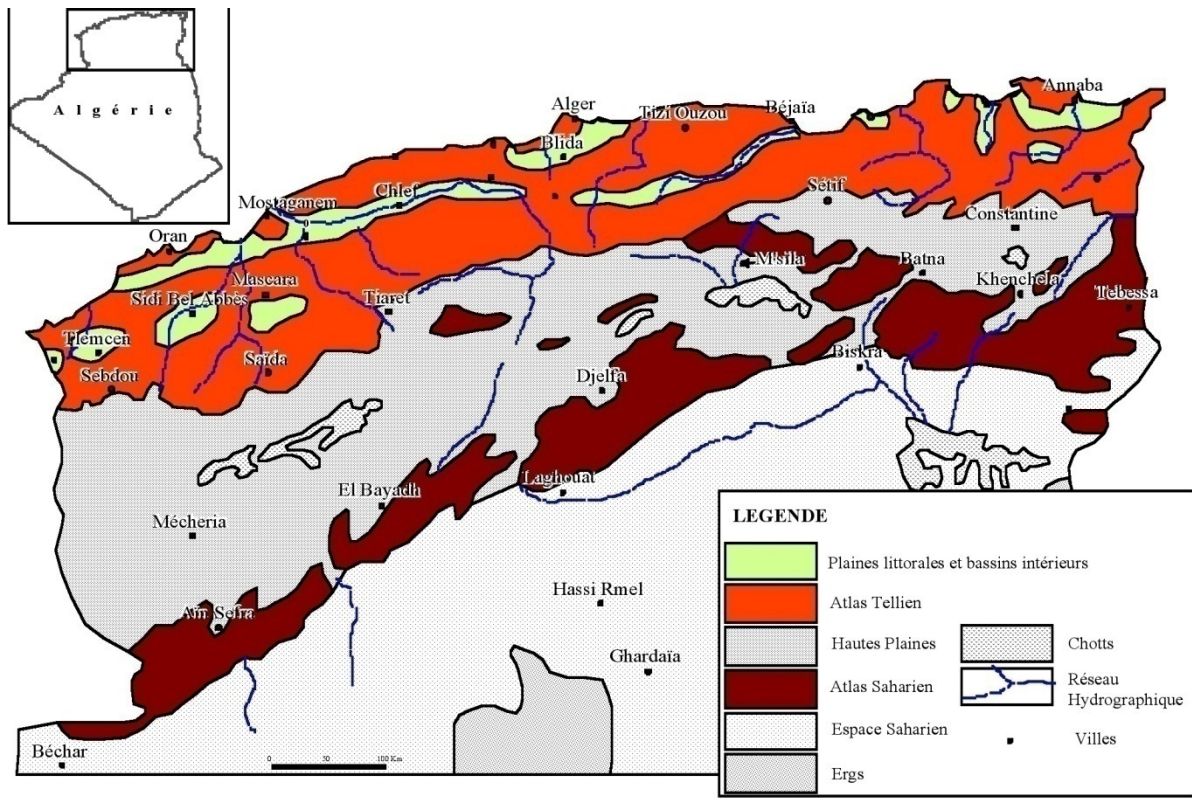


Figure II.3 : Carte des reliefs de l'Algérie du Nord

#### **II-4 Circulation atmosphérique :**

L'originalité du climat de l'Algérie du Nord est due à la circulation atmosphérique. Elle est caractérisée par des cellules à extension latitudinale (zonale) plutôt que longitudinale.

Parmi ces cellules différenciées nous citons :

- l'anticyclone des Açores, une zone de hautes pressions permanente qui s'étale sur l'Atlantique central dans la région des Iles des Açores, d'où il tire son nom. Son extension vers les régions du Maghreb, dévie les perturbations atlantiques vers l'Europe.
  
- l'anticyclone saharien d'altitude : Il est beaucoup plus stable que le précédent, et ce du point de vue de la circulation générale. La situation au niveau du 30<sup>ème</sup> parallèle Nord (Sahara) est anticyclonique aussi bien en été, qu'en hiver.

#### **II-5 Les perturbations météorologiques affectant la région d'étude :**

Les perturbations les plus fréquentes et les plus actives sont :

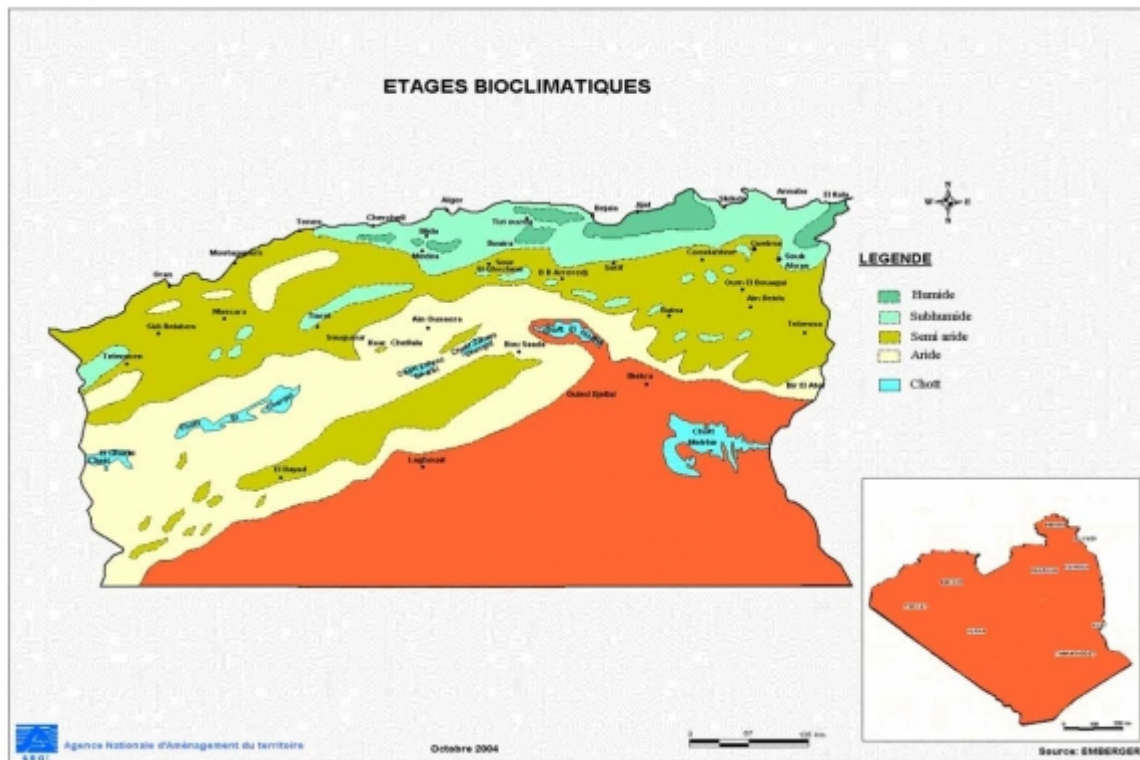
- celles qui proviennent des ondulations du front polaire, et celles qui résultent de la pénétration directe de coulées froides et épaisses au-dessus de l'Europe et de la méditerranée ; ces perturbations qui arrivent en hiver, traversent l'Europe et garderont leur front polaire en arrivant sur le Nord du pays où elles donnent des pluies importantes, souvent accompagnées de chutes de neiges sur l'Atlas et les Haut Plateaux.
  
- les perturbations atmosphériques du Nord-ouest : elles proviennent du Nord Atlantique traversent les chaînes portugaises et espagnoles, ce qui produit un effet de Foehn. Ces masses d'air se réalimentent en traversant la mer Méditerranée. Ceci explique l'accroissement des précipitations d'Ouest en Est dans le Nord du pays. Ainsi l'Oranie reçoit moins de précipitations que l'Est et le centre en raison de l'effet de Foehn du aux reliefs portugais et espagnol ; la mer Méditerranée réalimente ces masses d'air quand elles la traversent. Les distances parcourues au-dessus de la mer Méditerranée sont plus longues pour les masses d'air qui aboutissent à l'Est que pour les masses d'air qui aboutissent en Oranie, ce qui permet aux premières de se réalimenter plus longtemps.

- les perturbations d'Ouest : elles proviennent du proche Atlantique. Elles donnent des pluies assez importantes sur le Maroc et perdent de leur activité en abordant l'Oranie à cause de l'effet de Foehn produit par les reliefs du Rif et de l'Atlas marocain. Les pluies provenant de cette source sont assez faibles, on les rencontre souvent en saison d'automne et au printemps.

## II-6 Le climat :

La zone d'étude connaît un climat très varié selon un axe Nord-Sud :

- un climat de type méditerranéen ; doux et humide qui caractérise le Tell.
- un climat semi-aride domine les Hauts Plateaux. Il est plus froid et neigeux pendant l'hiver et plus chaud et sec pendant l'été.



**Figure II.4 :** Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie du Nord. (source : Agence Nationale d'Aménagement du Territoire)

(<http://vertigo.revue.org/docannexe/image/5375/img-2.jpg>)

### II-6-1 Régimes des vents :

Le Nord de l'Algérie est affecté par la circulation des vents dominants d'Ouest. Pendant la saison pluvieuse, le régime des vents est O-NO. Ces vents, pour atteindre l'Algérie

Nord-occidentale, n'ont à franchir que le bras de mer très étroit séparant l'Ouest de la région d'étude de l'Espagne. Et avant de quitter ce dernier pays, ils sont dépouillés de la plus grande partie de leur humidité sur les cimes élevées de la Sierra Nevada, et comme ils n'ont pas le temps de reprendre une nouvelle charge de vapeur d'eau ils arrivent dans l'ouest Algérien secs. Les vents d'Est qui se sont imprégnés d'eau durant leur long parcours sur la Méditerranée favorisent de fortes précipitations, malheureusement ils sont très rares en hiver. Les vents du Nord-est, fréquents en été, entraînent avec eux quelques nuages isolés mais sans grande importance au point de vue des précipitations et ce en raison de l'élévation de la température, d'ailleurs, ils soufflent rarement en hiver. Cette explication a été donnée par Angot (1881) dans son ouvrage intitulé étude sur le climat de l'Algérie.

Le Sirocco survient généralement pendant toutes les saisons de l'année, sauf en hiver, c'est un vent du S-E, sec et brûlant, et chargé de poussières (sable).

#### **II-6-2 Régimes de pluies :**

L'irrégularité des pluies est le caractère essentiel des précipitations : irrégularité d'une région à l'autre ; d'Est en Ouest et du Nord au Sud mais surtout une irrégularité interannuelle. Il arrive même, et ceci est de plus en plus fréquent en dehors de la période estivale, qu'il ne tombe aucune pluie pendant plus d'un mois. Certaines années par contre, ce sont de véritables trombes d'eau qui s'abattent sur certaines régions, provoquant des inondations catastrophiques : exemple des années 1974, 1996, 1999 et 2001. Concernant les totaux annuels les plus faibles entre 1913 et 1990 nous relevons à titre indicatif, la station de Maghnia qui a enregistré 125 mm pendant l'année agricole 1919-1920, et 145 mm en 1944-1945, la station d'Ain-Oussera a enregistré également 75 mm en 1953- 1954. Au centre du pays, la station de Thénia a enregistré 412 mm en 1946-1947 et 430 mm à la station de Lakhdaria. A l'Est du pays, la station d'El-Milia a enregistré 946 mm. Nous constatons qu'en Algérie Nord-occidentale la pluviométrie annuelle baisse jusqu'au niveau du Sahara (quantité inférieure à 100 mm enregistrée à la station d'Ain-Oussera), alors que dans la partie Est les minima pluviométriques sont bien supérieurs à 200 mm.

#### **II-6-3 Les températures :**

La comparaison des courbes thermiques de l'Ouest, du Centre et de l'Est de l'Algérie du Nord montre des différences assez significatives. La température moyenne du mois le plus

froid (janvier) de quelques stations de l'Ouest est de 11,40 °C à Ghazaouet et 12,45 °C à Mostaganem et enfin de 11,50 °C à la station de Cherchell. Au centre du pays, on trouve 10,05 °C à la station de Bouzaréah. Dans la partie Est, on trouve par contre 6,25 °C à Constantine et 7,10 °C à Souk Ahras. En été, la température du mois le plus chaud se situe généralement en Août, pour la partie occidentale, on constate que la station de Ghazaouet a enregistré 24,25 °C, Béni-Saf 25,05 °C et Oran 23,35 °C. Dans la partie centrale, on trouve 25,50 °C à Alger, dans la partie orientale 25,45 °C à la station de Constantine et 24,00 °C à la station de Souk-Ahras.

### **II-7 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons essayé de rassembler le maximum de données géomorphologiques et climatologiques caractérisant le domaine d'étude. Ces facteurs seront d'un grand apport pour la compréhension des comportements pluviométriques et aussi de mieux synthétiser les résultats attendus.

# Chapitre III

## Présentation et critique des données

---

**III-I Introduction :**

Avant toute étude mettant en œuvre des données observées, une analyse critique de ces dernières s'impose. En effet, la qualité des conclusions de l'étude dépend non seulement de la technique employée mais aussi, en grande partie, de la qualité des informations c'est-à-dire les données pluviométriques. La qualité des données pluviométriques peut être altérée par deux types d'erreurs : les erreurs aléatoires et les erreurs systématiques. Les erreurs systématiques, d'origines diverses, induisent un défaut d'homogénéité des séries.

Dans ce chapitre, nous présenterons les données utilisées puis nous nous intéresserons au contrôle de leur qualité ou fiabilité.

**III-2 Présentation des données :**

Les données pluviométriques utilisées dans cette étude sont constituées de cumuls annuels et proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Nous avons choisi 72 stations réparties sur tout le domaine d'étude et présentant les séries chronologiques les plus longues et les plus complètes. La répartition spatiale et les caractéristiques des stations sont représentées respectivement par la figure III.1 et le tableau III.1.

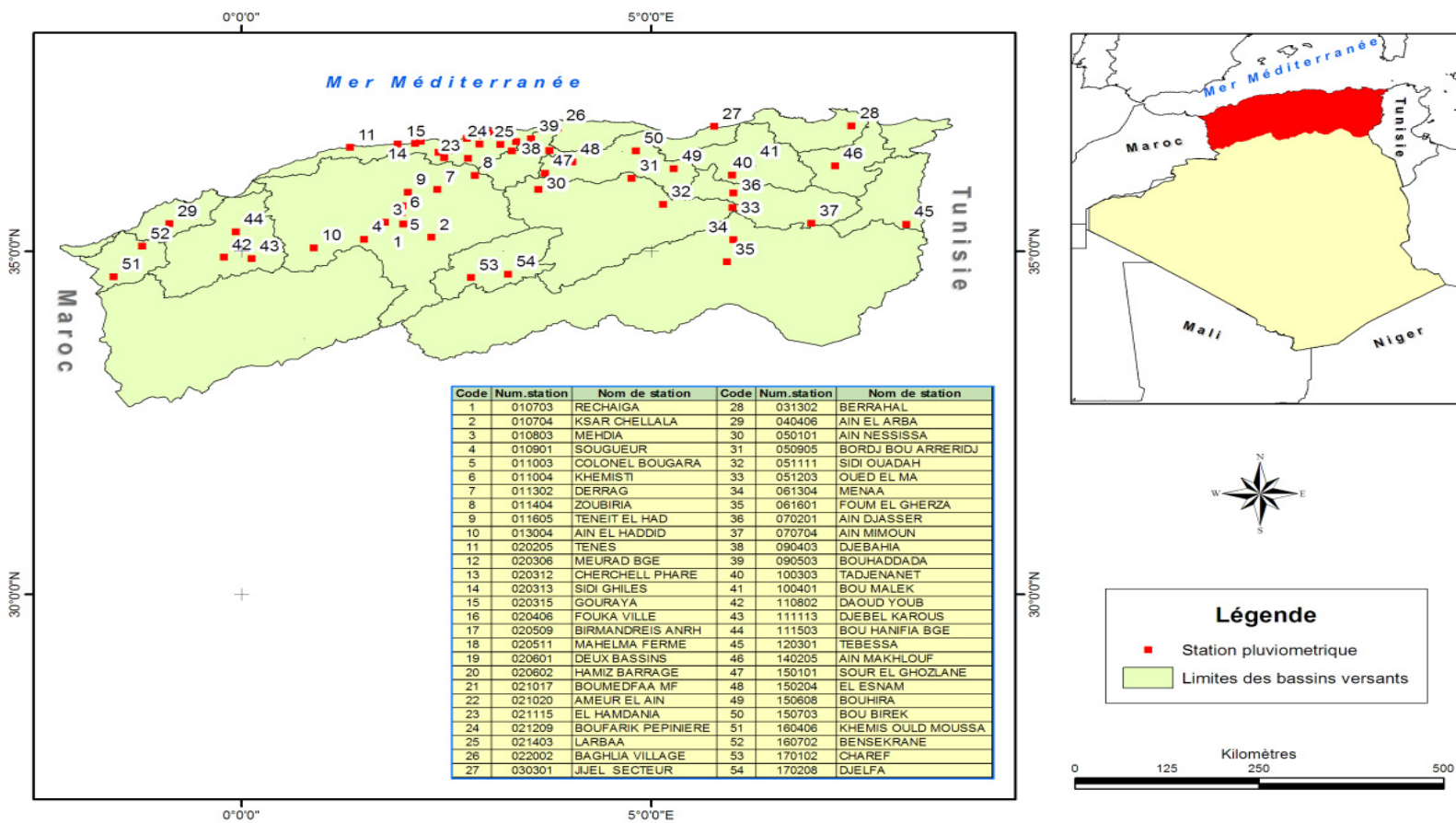


Figure III.1: Situation géographique des postes pluviométriques de la zone d'étude

Tableau III.1: Caractéristiques géographiques et données disponibles des stations pluviométriques de la zone d'étude.

Code	Nom des stations	X	Y	Z	Année de début	Année de fin	Code	Nom des stations	X	Y	Z	Année de début	Année de fin
010703	RECHAIGA	434,5	234,5	830	1930	2008	040418	TLELAT BARRAGE	219,8	245,8	280	1910	2008
010704	KSAR CHELLALA	465,4	212,8	850	1907	2008	040612	MOSTAGANE M	266,5	293,4	151	1906	2008
010803	MEHDIA	413,9	237,4	918	1923	2008	050101	AIN NESSISSA	583,3	290,4	680	1954	2008
010901	SOUGUEUR	390,6	210,1	1140	1913	2008	050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	685,8	310,0	922	1912	2008
011003	COLONEL BOUGARA	432,5	251,9	800	1925	2008	051111	SIDI OUADAH	721,5	268,8	720	1973	2008
011004	KHEMISTI	433,5	263,5	935	1912	2008	051203	OUED EL MA	798,3	265,8	1001	1919	2008
011302	DERRAG	472,2	289,9	1150	1913	2008	061304	MENAA	801,2	213,8	1005	1913	2008
011404	ZOUBIRIA	513,5	312,6	932	1910	2008	061601	FOUM EL GHERZA	795,1	177,7	200	1947	2008
011505	MEDEA CFPA	506,8	329,15	900	1936	2008	070201	AIN DJASSER	798,4	289,1	865	1967	2008
011605	TENEIT EL HAD	439,8	285,7	1150	1901	2008	070306	AIN YAGOUT	836,0	281,6	876	1913	2008
013004	AIN EL HADDID	334,5	197,0	829	1913	2008	070406	FOUM TOUB	849,8	241,0	1160	1925	2008
020205	TENES	376,8	359,0	5	1936	2008	070704	AIN MIMOUN	886,4	243,6	1180	1923	2008
020306	MEURAD BGE	473,8	349,9	300	1899	2008	080201	EL AOUEJ	136,1	438,1	1095	1952	2008
020312	CHERCHELL PHARE	454,4	368,0	16	1906	2008	081202	EL BAYADH	344,8	343,8	1310	1872	2008
020313	SIDI GHILES	448,5	364,8	15	1933	2008	081401	MECHERIA	224,0	331,7	1158	1906	2008
020315	GOURAYA	429,3	363,8	34	1927	2008	090403	DJEBAHIA	594,8	353,5	320	1923	2008
020406	FOUKA VILLE	504,5	372,4	160	1949	2008	090503	BOUHADDAD A	574,6	372,3	400	1968	2008
020509	BIRMANDREIS ANRH	531,1	382,8	140	1951	2008	100303	TADJENANET	796,2	318,0	845	1908	2008
020511	MAHELMA FERME	517,0	376,9	150	1949	2008	100401	BOU MALEK	817,2	337,0	830	1908	2008
020601	DEUX BASSINS	554,0	352,3	890	1930	2008	110802	DAOUD YOUN	233,8	184,3	660	1926	2008
020602	HAMIZ BARRAGE	558,6	367,4	590	1905	2008	111113	DJEBEL KAROUS	264,7	181,2	950	1970	2008
021017	BOUMEDFAA MF	480,1	341,3	270	1949	2008	111503	BOU HANIFIA BGE	248,2	225,1	306	1940	2008
021020	AMEUR EL AIN	488,1	352,8	120	1951	2008	120301	TEBESSA	991,9	247,2	890	1913	2008
021115	EL HAMDANIA	506,2	340,4	650	1940	2008	140205	AIN MAKHLOUF	908,8	337,4	830	1957	2008
021209	BOUFARIK PEPINIERE	518,6	363,4	60	1951	2008	150101	SOUR EL GHOZLANE	590,6	316,5	882	1900	2008
021403	EL ARBA	541,15	362,95	100	1936	2008	150204	EL ESNAM	620,4	335,5	435	1920	2008
021601	AGHRIBS	645,1	391,3	680	1922	2008	150503	IGHIL ALI	658,9	338,9	650	1936	2007
021705	LARBAA NATH IRATHEN	634,9	370,8	980	1909	2008	150608	BOUHIRA	732,0	326,7	1010	1911	2008
021801	BOUASSEM	620,0	371,5	600	1939	2008	150703	BOU BIREK	689,6	354,5	500	1942	2008
021903	BOGHNI	612,6	361,2	250	1945	2008	160302	MAGHNIA FRONTIERE	88,3	176,4	435	1936	2008
022002	BAGHLIA VILLAGE	603,7	390,0	30	1967	2008	160403	BENI BAHDEL BGE	115,0	164,6	666	1940	2008
030301	JIJEL	373,9	396,10	6	1936	2008	160406	KHEMIS OULD MOUSSA	109,6	157,3	920	1923	2008
031302	BERRAHAL	923,4	403,1	40	1903	2008	160702	BENSEKRANE	143,4	205,4	260	1913	2008
040301	BOUSFER	180,4	273,3	84	1940	2008	170102	CHAREF	509,5	147,3	1200	1967	2008
040104	MARSA BEN M HIDI	54,6	209,7	5	1943	2008	170201	ROCHER DE SEL	535,2 0	171,85	1020	1936	2008
							170208	DJELFA	551,0	153,0	1160	1874	2008

**III-3 Critique et qualité des séries pluviométriques :**

Les données sont représentées au niveau de chaque station sous forme de matrice : les lignes représentent les années des séries chronologiques et les colonnes représentent les précipitations du mois de l'année hydrologique.

Les séries d'observations ne comportent pas de lacunes durant les dernières décennies au niveau de toutes les stations. Cependant, nous avons constaté la présence de beaucoup de lacunes pour la période 1962-1967, bien que notre choix soit fait sur les stations les plus longues et les plus complètes.

Durant la période précédant l'année 1936, la plupart des séries d'observations comportent un taux de lacunes très important, ce qui nous a conduits à choisir une période d'observation et d'étude commune à toutes les stations qui s'étale de 1936 à 2008.

**III-4 Traitement statistique préliminaire des séries pluviométriques :**

Le traitement statistique préliminaire est effectué en trois phases :

- la première est le comblement des lacunes, afin d'homogénéiser la période d'observation ;
- la deuxième concerne la vérification des problèmes de consistance, à savoir, l'homogénéité et les valeurs singulières ;
- la troisième est liée aux conditions d'utilisation de certains tests de détection des tendances et des ruptures, c'est la condition d'indépendance des données.

**III-4-1 Comblement des données :**

Nous avons utilisé la méthode de l'Analyse en Composantes Principales lorsque la série comporte un nombre de lacunes important, alors que pour les séries comportant un nombre plus faible, nous avons utilisé les régressions linéaires.

**III-4-2 Détection des valeurs singulières - Test de GRUBBS et BECK (1972).**

Dans l'application de ce test, une hypothèse a été faite est que les logarithmes des observations sont normalement distribuées. Les limites supérieures et inférieures sont calculées par :

$$X_H = \exp(\bar{X} + K_N s)$$

$$X_L = \exp(\bar{X} - K_N s)$$

$\bar{X}$  et  $s$  sont respectivement la moyenne et l'écart-type des logarithmes des observations par l'approximation.

Pour un seuil de signification de 10%,  $K_N$  peut être obtenu par la fonction polynomiale suivante (Pilon et al 1985) :

$$K_N = -3.622001 + 6.28446N^{1/4} - 2.49835N^{1/2} + 0.491436N^{3/4} - 0.037911N$$

Où  $N$  est la taille de l'échantillon.

Les observations supérieures à  $X_H$  ou inférieures à  $X_L$  sont considérées comme des valeurs singulières par le test de Grubbs et Beck.

Chaque observation sortant de l'intervalle ( $X_L$ - $X_H$ ) sera comparée aux données équivalentes des stations voisines, si des observations similaires y ont été faites, il s'agit alors d'un phénomène météorologique particulier. Dans le cas contraire, la valeur est alors considérée comme manquante et la compléter par les méthodes appropriées.

### III-4-3 Vérification de l'homogénéité des données ou des séries pluviométriques :

#### - Les tests d'homogénéité:

##### \* Le test de Wilcoxon:

C'est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations au lieu de la série de leurs valeurs. Le test de WILCOXON se base sur le principe suivant :

Si  $X$  est issu d'une même population  $Y$ , l'échantillon  $XUY$  (union de  $X$  et de  $Y$ ) en est également issu.

On procède ainsi :

Soit une série d'observations de longueur  $N$  à partir de laquelle on tire deux échantillons  $X$  et  $Y$  :  $N_1$  et  $N_2$  sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec  $N = N_1 + N_2$  et  $N_1 \leq N_2$ .

On classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite, nous nous intéresseront qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série. Si une valeur se répète plusieurs fois, on lui associe le rang moyen correspondant.

On calcule ensuite la somme  $W_x$  des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune :

$$W_x = \sum \text{Rang } x.$$

WILCOXON a montré que, dans le cas où les deux échantillons X et Y constituent une série homogène, la quantité  $W_x$  est comprise entre  $W_{\max}$  et  $W_{\min}$ , données par les formules suivantes :

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}}$$

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

$Z_{1-\alpha/2}$  : représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à  $1 - \alpha/2$  (au seuil de confiance de 90%, nous avons  $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$ ).

#### \* Le test de Mann-Whitney :

Il permet de tester l'hypothèse de  $H_0$  selon laquelle une série statistique est homogène, c'est-à-dire que les éléments qui la constituent proviennent de la même population. En hydrologie, cela veut dire que les conditions qui ont prévalu lors de la collecte des données ou de l'avènement du phénomène considéré (pluie, écoulement, évaporation) n'ont pas changé pendant toute la durée de la collecte ou du phénomène. En d'autres termes, il n'y a pas eu de phénomène extraordinaire qui aurait pu modifier les données hydrologiques considérées comme le changement de site de la station de mesure, la construction d'un barrage qui aurait pu modifier les apports de l'oued, l'urbanisation de la zone étudiée,....etc.

Pour appliquer le test de Mann Whitney, on procède comme suit :

On divise notre échantillon en deux sous-ensembles de tailles respectives  $N_1$  et  $N_2$  avec  $N_2 > N_1$ .

$$x_1, x_2, \dots, x_{N_1}$$

$$y_1, y_2, \dots, y_{N_2}$$

La taille de l'échantillon original est  $N = N_1 + N_2$ .

On classe ensuite nos valeurs par ordre croissant de 1 à N et l'on note les rangs  $R(x_i)$  des éléments du premier sous-ensemble et ceux  $R(y_i)$  des éléments du second sous-ensemble dans l'échantillon original.

On définit K et S comme suit :

$$K = L - \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} \quad \text{et} \quad S = N_1N_2 - K \quad \text{avec} \quad L = \sum_{i=1}^{N_1} R(x_i)$$

C'est-à-dire la somme des rangs des éléments de l'échantillon 1 dans l'échantillon original. K est la somme des nombres de dépassements de chaque élément du second échantillon par ceux du premier échantillon. S est la somme des nombres de dépassements des éléments du premier sous-ensemble (ou échantillon) par ceux du second.

On montre que lorsque  $N > 20$ ,  $N_1 > 3$  et  $N_2 > 3$  ; K et S sont distribués selon une loi normale ayant :

- une moyenne égale à  $\bar{K} = \bar{S} = \frac{N_1N_2}{2}$
- un écart-type égal à  $s_k = s_s = \frac{N_1N_2}{12}(N_1 + N_2 + 1)$

On peut alors tester l'hypothèse  $H_0$  selon laquelle les deux sous-ensembles proviennent de la même population, au niveau de signification  $\alpha$ , en comparant la grandeur :

$T = \left| \frac{K - \bar{K}}{s_k} \right|$  avec la variable normale centré réduite ayant une probabilité de dépassement  $\alpha/2$ .

Si  $T < Z_{\alpha/2}$  on accepte  $H_0$  ( $Z_{\alpha/2} = 1.96$  d'après la table de Gauss).

Nous avons soumis les séries pluviométriques aux tests d'homogénéité de Wilcoxon et de Mann-Witney pour la détection d'éventuelles erreurs systématiques. Les résultats ont montré que toutes les séries sont homogènes.

#### III-4-4 Vérification de l'indépendance des données ou des séries pluviométriques :

##### - Test d'indépendance :

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

Pour un échantillon de taille  $N(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , le test de Wald-Wolfowitz considère la valeur statistique :

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X_i \cdot X_{i+1} + X_1 X_N$$

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

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_2)/(N - 1)$$

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

- avec  $S_r = N \cdot m'_r$

-  $m'_r$  est le moment d'ordre r de l'échantillon.

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

Nous avons vérifié l'indépendance des séries grâce au test de Wald et Wolfowitz. Les résultats du test ont montré que toutes les séries sont indépendantes.

### III-5 Conclusion :

Dans cette partie, nous nous sommes attachés à la critique de la qualité des données, afin de garantir la fiabilité des interprétations et des conclusions qui seront tirées dans les chapitres suivants. Cette opération, très fastidieuse, a été effectuée avec le plus grand intérêt et nous avons résolu tous les problèmes afférant à la qualité des données, ce qui nous conduit à réduire le nombre et la taille des séries utilisées (72 stations avec des observations s'étalant sur 72 années).

# Chapitre IV

## Approches et Méthodes utilisées

---

## IV-1 Introduction

L'analyse statistique des séries chronologiques de variables hydrométéorologiques est un des outils d'identification des variabilités climatiques. Cette analyse consiste généralement à détecter d'éventuels changements dans le régime des précipitations en utilisant des tests statistiques (paramétriques ou non-paramétriques), afin de détecter des ruptures, des tendances et/ou des périodicités au sein des séries chronologiques. Dans cette partie, nous présentons les différentes méthodes choisies, parmi une multitude, afin de mener une analyse spatiale et temporelle du régime pluviométrique.

## IV-2 Analyse temporelle des séries pluviométriques:

### IV-2-1 Détection des tendances et des ruptures de stationnarité par l'utilisation des tests statistiques :

De nombreux tests et procédures sont disponibles dans la littérature scientifique pour identifier de telles singularités, et ont aussi été appliquées avec succès aux séries hydrométéorologiques. Nous avons choisi d'utiliser : le test de Pettitt (Pettitt, 1979), la méthode bayésienne de Lee et Heghinian (Lee et Heghinian, 1977), le test U de Buishand (Buishand, 1982, 1984) et la procédure de segmentation de Hubert (Hubert et Charbonnel, 1987).

Ces tests sont effectués avec le logiciel Khronostat, développé à l'IRD, Université de Montpellier et l'École des Mines.

#### IV-2-1-1 Test de corrélation sur le rang (Kendall)

Pour mettre en évidence l'existence éventuelle d'une tendance dans une série, nous avons choisi le test non paramétrique de Mann-Kendall qui a montré son efficacité dans ce genre d'applications.

Ce test est une approche non paramétrique, il ne suppose aucune propriété particulière de la série chronologique étudiée.

Le test de Kendall est basé sur le calcul du nombre  $P$  de paires  $(X_i, X_j)$  pour lequel  $X_j > X_i$  ( $j > i, i = 1, \dots, N-1$ ). Sous l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) de stationnarité de la série, la variable  $\omega$  est définie par :

$$\omega = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

Cette variable suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance égale à :

$$\sigma_t^2 = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)}$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, l'acceptation de  $H_0$  est définie par l'appartenance de  $\omega$  à l'intervalle  $[-U_{1-\alpha/2}\sigma_t, U_{1-\alpha/2}\sigma_t]$ ,  $U_{1-\alpha/2}\sigma_t$  désignant la valeur de la variable normale réduite de probabilité de non dépassement  $1-\alpha/2$ . L'hypothèse alternative de ce test est celle d'une tendance.

#### IV-2-1-2 Test de Pettitt :

Le test de Pettitt s'applique à des séries non auto-corrélées et requiert implicitement que la variance de la série ne soit pas affectée par la rupture si une rupture en moyenne est prioritairement recherchée.

Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney (Pettitt, 1979). L'absence d'une rupture dans la série  $(x_i)$  de taille  $N$  constitue l'hypothèse nulle.

Pettitt définit la variable  $U_{t,N}$  :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^N D_{ij}$$

Où  $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$  avec  $\text{sgn}(Z) = 1$  si  $Z > 0$ ,  $0$  si  $Z = 0$  et  $-1$  si  $Z < 0$ .

Il propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique  $K_N$  définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,N}$  pour  $t$  variant de 1 à  $N-1$ .

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que si  $k$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $k$  est donnée par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture au moment  $\tau$  où est observé  $K_N$ .

Un classement qualitatif peut être effectué en tenant compte des valeurs de la probabilité associée à la statistique du test. Il est donné dans le tableau 1.

Tableau IV.1. Classement en fonction de la probabilité associée au test de Pettitt

Probabilité associée	Classe
< 1%	Rupture très significative
Entre 1 et 5%	Rupture significative
Entre 5 et 20%	Rupture peu significative
> 20%	Série homogène

**IV-2-1-3 Test de Buishand :**

La statistique de Buishand repose sur l'ensemble des hypothèses suivantes : normalité de la série, égalité des variances des distributions de part et d'autre du point de rupture, et absence d'autocorrélation.

La statistique de Buishand est dérivée d'une formulation originale donnée par Garden (1969). La statistique de Garden utilisée pour un test bilatéral de rupture en moyenne à un instant inconnu s'écrit :

$$G = \sum_{k=1}^{n-1} P_k \{S_k / \sigma_x\}^2, \text{ avec } S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$$

$P_k$  désigne la probabilité a priori que la rupture survienne juste après la  $n^{ième}$  observation.

Cette formulation suppose que la variance  $\sigma_x^2$  est connue. Si elle est inconnue, elle peut être remplacée par la variance de l'échantillon  $D_x^2$  et si  $P_k$  est choisie uniforme, on obtient finalement la statistique  $U$  définie par :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} (S_k / D_x)^2}{n(n+1)}, \text{ avec } D_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n$$

Des valeurs critiques de la statistique U sont données par Buishand (1982) à partir d'une méthode de Monte Carlo.

Pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série, la statistique U s'avère performante. La statistique U est une statistique robuste qui reste valide même pour des distributions de la variable étudiée qui s'écartent de la normalité.

La construction d'une ellipse de contrôle (l'ellipse de bois) permet d'analyser l'homogénéité de la série de  $(x_i)$ . Cette méthode complète le test de la statistique U de Buishand. La variable  $S_k$ , définie ci-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance  $k(n-k)^{n-1}$ ,  $k = 0, \dots, n$ , sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des  $(x_i)$ . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des  $S_k$  sous l'hypothèse nulle.

#### IV-2-1-4 Méthode Bayésienne de Lee et Heghinian :

La procédure bayésienne de Lee et Heghinian impose la normalité, l'indépendance séquentielle et la constance de la variance.

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian ne s'exprime pas comme un test statistique classique. Toutefois, son interprétation vise à confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées.

Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, n \end{cases}$$

Où les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ .

$\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement de moyenne.

L'approche bayésienne est basée sur les distributions marginales à postériori de  $\tau$  et  $\delta$ . L'étude est ici limitée à la distribution à posteriori de  $\tau$ .

Si  $p$ , la densité de probabilité a priori de  $\tau$  est uniforme, a posteriori elle est définie par :

$$p(\tau|x) \propto [n/(\tau(n-\tau))]^{1/2} [R(\tau)]^{-(n-2)/2}, 0 \leq \tau \leq n-1,$$

Avec

$$R(\tau) = [\sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2] / \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2,$$

$$\bar{x}_n = 1/n \sum_{i=1}^n x_i, \bar{x}_\tau = 1/\tau \sum_{i=1}^{\tau} x_i, \bar{x}_{n-\tau} = 1/(n-\tau) \sum_{i=\tau+1}^n x_i$$

On sait que :

$$p(\delta|x) = \sum_{\tau=1}^{N-1} p(\delta|\tau, x) p(\tau|x)$$

La distribution conditionnelle à posteriori de  $\delta$  par rapport à  $\tau$ , est une distribution de Student de moyenne  $\hat{\delta}_\tau = \bar{x}_{n-\tau} - \bar{x}_\tau$  et de variance  $\sigma_{\delta|\tau}^2 = n H(\tau) / [(n-2)(\tau(n-\tau))]$

Avec  $v = n-2$  degrés de liberté. Sa fonction de densité de probabilité s'écrit :

$$p(\delta|\tau, x) = \frac{v^{v/2} \Gamma((v+1)/2)}{\Gamma(1/2) \Gamma(v/2) (\sigma_{\delta|\tau}^2)^{1/2}} \frac{1}{(v + (\delta - \hat{\delta}_\tau)^2 / \sigma_{\delta|\tau}^2)^{(v+1)/2}}$$

La position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne sont définis par les modes des distributions à posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ . Ces modes sont associés à des probabilités.

#### IV-2-1-5 Procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques :

La procédure de segmentation n'est pas, en toute rigueur, un test statistique. Cette méthode est adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série. Elle a pour principe le découpage d'une série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit nettement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). La segmentation d'Hubert qui fait intervenir le test de Scheffé sous-entend implicitement la normalité de la série chronologique.

Toute série  $X_i, i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq n$ , constitue un segment de la série initiale des  $(X_i)$ . Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette

série. A partir d'une segmentation particulière d'ordre  $m$  pratiquée sur la série initiale, on définit :  $i_k$ ,  $k=1, 2, \dots, m$ , le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du  $k^{\text{ième}}$  segment ;  $\bar{X}_k$  la moyenne du  $n^{\text{ième}}$  segment ; et  $D_m$  l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée,

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \text{ avec } d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2$$

La segmentation est retenue lorsque l'écart quadratique  $D_m$  entre elle et la série est minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre, par application du test de Scheffé, la contrainte selon laquelle les moyennes des deux segments contigus doivent être significativement différentes.

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir rechercher des changements multiples de moyenne dans une série hydrométéorologique. Elle est considérée comme un test de stationnarité, « la série étudiée est stationnaire » constitue l'hypothèse nulle de ce test.

#### IV-2-1-6 Test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique qui consiste à associer un nombre  $n_i$  à chaque  $x_i$  ( $x_i$  étant une séquence de données,  $i=1, 2, \dots, N$ ) comptabilisant les éléments  $x_j$  tel que  $i > j$  et  $x_i > x_j$ . La statistique de Mann-Kendall s'écrit alors :

$$t = \sum_{i=1}^N n_i$$

Celle-ci, sous l'hypothèse nulle de l'absence de rupture (ou de tendance), suit, pour  $N$  large, une loi de répartition normale de moyenne et de variance :

$$E(t) = \frac{N(N-1)}{4}$$

$$\text{var}(t) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72}$$

Sa forme réduite est alors :

$$U(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{\text{var}(t)}}$$

L'hypothèse nulle sera alors rejetée pour des amplitudes importantes de la statistique réduite.

L'application progressive du test (dans le sens direct et rétrograde), décrite par Sneyers (1975), permet de déterminer de manière détaillée les périodes où des groupes de valeurs supérieures ou inférieures à la moyenne apparaissent.

#### **IV-2-2 Détection d'une périodicité dans la variabilité de la pluviométrie : Analyse spectrale**

Les précipitations varient significativement d'une année à une autre. L'objectif de cette partie de l'étude est de voir si ces fluctuations sont aléatoires ou si elles suivent un comportement cyclique. Pour cela, nous allons utiliser une méthode statistique de détection de périodicité : l'analyse spectrale.

On suppose, dans cette méthode, qu'une série harmonique se comporte comme un ensemble d'ondes radioélectriques qui fournissent des renseignements différents selon les différentes longueurs d'ondes composantes. En admettant que la série est constituée d'un nombre, qui peut être infini, de petites fluctuations couvrant une gamme continue de longueurs d'onde, on cherche la distribution de la variance dans les différents intervalles de fréquence d'un champ continu. L'outil mathématique est une transformation de Fourier appliquée à la fonction d'autocorrélation. Le spectre de variance obtenu, dit spectre de puissance, présente, selon les cas, des allures caractéristiques qui indiquent si la variation est purement aléatoire, s'il y a une onde sinusoïdale, ou une périodicité régulière mais non sinusoïdale.

Cette méthode inclut celle qui, par l'utilisation du corrélogramme, a longtemps été utilisée pour reconnaître si une série renferme réellement un élément cyclique.

Soient  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N$ , les valeurs des termes d'une série chronologique, ramenés à la moyenne ; un coefficient de corrélation d'ordre  $k$ , entre les termes  $x_i$  et  $x_{i+k}$  étant ainsi défini :

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} x_i x_{i+k}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k} x_i^2 \sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k}^2}}$$

On calcule  $r_k$  pour  $k = 0, 1, 2, \dots$  et l'on porte sur un diagramme  $k$  en abscisses et  $r_k$  en ordonnées. Les points ainsi obtenus dessinent une ligne brisée appelée corrélogramme. Lorsque celui-ci présente une allure oscillatoire qui ne s'amortit pas, c'est-à-dire dont l'amplitude se maintient, même pour les fortes valeurs de  $k$ , on peut conclure à l'existence d'un ou de plusieurs éléments cycliques dans la série.

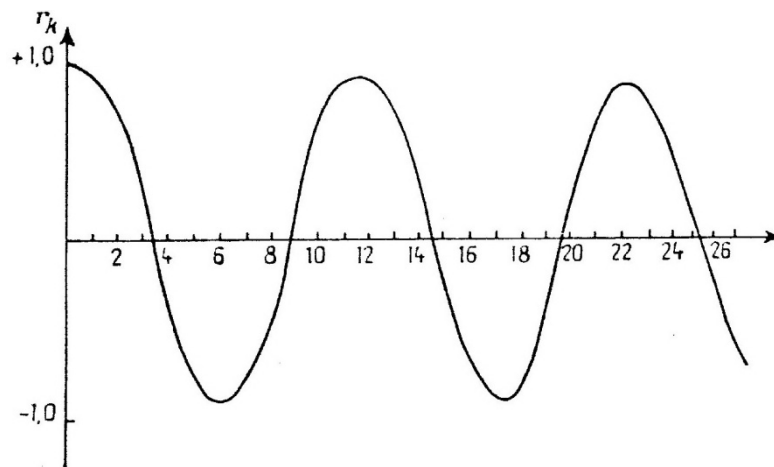


Figure IV-1 Corrélogramme d'une série temporelle

La fonction d'autocorrélation possède une transformée de Fourier que l'on nomme densité spectrale et que l'on note généralement  $S(f)$ ,  $f$  étant la fréquence. La densité spectrale capture l'aspect fréquentiel d'un processus stochastique et aide à identifier les périodicités. L'interprétation de la fonction de densité spectrale  $S(f)$  à travers l'identification des différents pics, représentant le phénomène périodique, conduit à la caractérisation du système :

$$S(f) = 2 \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^m D(k) r(k) \cos(2\pi f k) \right],$$

$$D(k) = \frac{\left( 1 + \cos \pi \frac{k}{m} \right)}{2}$$

Où  $f = j/2m$ ;  $j = 1$  à  $m$ ,  $f$  est la fréquence et  $D(k)$  assure que les valeurs estimées de  $S(f)$  ne sont pas biaisées (Tukey filter), et  $r(k)$  la fonction d'autocorrélation.

**IV-3 Analyse spatiale des précipitations : recherche d'une régionalisation :**

L'étude spatio-temporelle grâce à la statistique descriptive, sert à décrire l'évolution de la pluviométrie dans le temps (grâce aux chroniques temporelles) et dans l'espace. Ce qui nous permettra de déduire le comportement pluviométrique de chaque zone de notre domaine d'étude et par conséquent faire une régionalisation du phénomène.

L'une des méthodes utilisées pour étudier la structure spatio-temporelle des séries hydrométéorologiques est l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

L'Analyse en Composantes Principales est une méthode de traitement des données qui permet de découvrir la structure d'un ensemble de variables à travers ses observations et de synthétiser l'information en ne gardant que ses variations essentielles. Elle est très pratique lorsqu'on est en présence d'une masse de données importante qu'il est difficile de manipuler. C'est une méthode très puissante pour explorer la structure des données. Elle permet d'étudier les données en tenant compte de leur caractère multidimensionnel (spatial, temporel et quantitatif). C'est une méthode statistique factorielle descriptive dont l'objectif est de présenter sous forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau de données de taille importante (Saporta, 1990).

**Principe de l'analyse en composantes principales :**

Les données à traiter par l'ACP sont stockées dans un tableau rectangulaire ou matrice. Les lignes de cette matrice représentent les individus « NECH » sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives « NVAR » disposées en colonnes. Le tableau de données « n » × « p », forme ainsi un nuage de « n » points dans un espace à « p » dimensions.

Lorsque le nombre de dimensions est supérieur à trois une représentation du nuage de points dans le plan devient impossible. Il faut alors recourir à des projections sur des droites ou dans des plans qui entraînent une perte d'information. Cependant, cela se fait au profit des informations les plus pertinentes qui permettent ainsi une meilleure interprétation. Il est donc important de trouver les meilleures directions de projections, c'est-à-dire celles pour lesquelles la dispersion des individus est maximale tout en minimisant la perte d'informations.

Ce processus consiste à construire de nouveaux caractères synthétiques, obtenus par combinaisons linéaires des variables initiales, indépendants les uns des autres et de variance maximale. Ces caractères synthétiques définissent un nouveau système d'axes appelés : Composantes Principales.

On présentera ici l'analyse en composantes principales (ACP) sous une forme simplifiée mais adaptée aux utilisations en hydrologie de surface (Laborde, 2000).

Soit une série de NECH observations sur NVAR variables. Ces variables peuvent être plus ou moins liées entre elles, et selon l'intensité de leur liaison, on peut réduire la taille de cet ensemble d'informations en se contentant d'un nombre inférieur à NVAR de variables qui permettent cependant de conserver la quasi-totalité de la variance de l'ensemble.

Soit  $X$  la matrice de départ :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1NECH} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2NECH} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{NVAR1} & \dots & \dots & x_{NVARNECH} \end{bmatrix}$$

On construit la matrice  $\dot{X}$  des variables centrées réduites. Chaque élément  $x_{ij}$  se déduit de  $x_{ij}$  par:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_{xi}}, \text{ avec } \bar{x}_i = \frac{1}{NECH} \cdot \sum x_{ij} \text{ et } \sigma_{xi}^2 = \frac{1}{NECH} \cdot \sum (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

On cherche alors s'il existe un changement de base  $M$  qui transforme la matrice  $\dot{X}$  en une matrice  $Y$  dont les composantes soient indépendantes. Ceci se traduit par l'équation suivante :

$$YY^t = M \dot{X} (M \dot{X})^t = M \dot{X} \dot{X}^t M^t = D$$

$$Y = M \dot{X} \text{ (Changement de base)}$$

$$YY^t = D \text{ (Matrice diagonale, indépendance des composantes)}$$

On peut montrer que la matrice de changement de base M existe et la matrice "modale" de  $\dot{X}\dot{X}'$ . Chaque ligne de cette matrice représente les vecteurs propres normés de  $\dot{X}\dot{X}'$ ;  $\dot{X}\dot{X}'$  est la matrice de covariance qui représente à  $\frac{1}{NECH}$  près la matrice des coefficients de corrélation totale.

Quant à D, elle est la matrice "spectrale" de  $\dot{X}\dot{X}'$ , c'est-à-dire la matrice diagonale dont les termes sont les valeurs propres de  $\dot{X}\dot{X}'$ .

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1NVAR} \\ a_{12} & \cdot & \cdot & a_{ij} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{NVAR1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{NVARNVAR} \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{NVARNVAR} \end{bmatrix}$$

$$Y = M\dot{X}$$

$$M^{-1}Y = \dot{X} = M'Y, \text{ car } M^{-1} = M'$$

$$\dot{X}\dot{X}' = M'Y(M^{-1}Y)' = M'YY'M = M'DM$$

Cette dernière formule permet d'évaluer d'une autre façon la variance des  $\dot{x}_i$ , égale à 1 dans notre cas où les variables sont centrées réduites.

$$1 = \sigma_{xi}^2 = \frac{1}{NECH} \sum_{j=1}^{NVAR} a'_{ij} \lambda_j a_{ji} = \frac{1}{NECH} \sum_{j=1}^{NVAR} a_{ji}^2 \lambda_j$$

La somme des variances des NVAR variables est égale à NVAR :

$$NVAR = \sum_{i=1}^{NVAR} \frac{1}{NECH} \sum_{j=1}^{NVAR} a_{ji}^2 \lambda_j = \frac{1}{NECH} \sum_{j=1}^{NVAR} \lambda_j \sum_{i=1}^{NVAR} a_{ji}^2$$

Or, les vecteurs propres étant normés, on doit avoir :

$$\sum_{i=1}^{NVAR} a_{ji}^2 = 1, \text{ et donc } NVAR = \frac{1}{NECH} \sum_{j=1}^{NVAR} \lambda_j$$

Dans le cas particulier fréquent où au lieu de travailler sur la matrice des covariances  $\dot{X} \dot{X}'$  on travaille sur la matrice R des coefficients de corrélation, on a :

$$\dot{X} \dot{X}' = NECH \cdot R, \text{ d'où } NECH = \sum_{j=1}^{NVAR} \lambda_j$$

Comme on vient de la constater, la somme des vecteurs propres est proportionnelle à la variance totale des observations. Si on range les valeurs propres par ordre décroissant :  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{NVAR}$ . On constate que les valeurs propres deviennent très vite très petites. Il paraît donc justifié de ne retenir qu'un nombre n' inférieur à NVAR, de vecteur propre qui expliquera un pourcentage p de la variance totale exprimée en % :

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{n'} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{NVAR} \lambda_i} * 100$$

Nous pourrions donc condenser l'information contenue dans le tableau  $\dot{X}$  de dimension NVAR  $\times$  NECH, par l'information contenue dans le tableau Y' de dimension n'  $\times$  NECH. Y est le tableau correspondant aux n' premières lignes de Y.

Dans le cas où on travaille sur la matrice des coefficients de corrélation :

- chaque ligne  $i$  de  $Y$  correspond aux valeurs prises par une des composantes ; ces valeurs ont une moyenne nulle et une variance égale à 1 ;
- chaque terme  $a_{ij}$  de la matrice  $M$  de changement de base est tel que :

$$\rho_{c_j x_i} = \sqrt{\lambda_j} a_{ji}$$

$\rho_{c_j x_i}$ , étant le coefficient de corrélation totale entre les valeurs prises pour la  $n^{\text{ième}}$  composante et la  $l^{\text{ième}}$  variable.

#### IV-4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'analyse temporelle des séries pluviométriques et la détection des tendances et des ruptures de stationnarité par l'utilisation des tests statistiques.

On pourra ici retenir que l'Analyse en Composantes Principales permet de réduire les observations sur NVAR variables liées entre elles en une série d'observations sur  $n' < NVAR$  variables indépendantes, chacune d'entre elles expliquant une part décroissante de la variance totale initiale.

# Chapitre V

## Résultats et Interprétations de l'Analyse spatio-temporelle du Régime Pluviométrique

---

**Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons présenter et interpréter les résultats des différentes méthodes utilisées pour analyser le régime pluviométrique du domaine d'étude. Nous allons procéder à une analyse de la variabilité temporelle des séries pluviométriques par les tests statistiques de détection de rupture à l'échelle annuelle et saisonnière. Une analyse en composantes principales servira à identifier et à décrire la variabilité spatio-temporelle des précipitations selon différentes échelles d'espace et de temps. Nous allons rechercher si la variabilité détectée comporte des périodicités ou sont-elles aléatoires, en utilisant l'analyse spectrale.

Enfin, pour déterminer l'analyse des facteurs influençant la variabilité du régime pluviométrique, nous étudierons la relation entre la pluviométrie dans le Nord algérien et l'oscillation Nord Atlantique.

**V-1 Détection de la variabilité temporelle des séries pluviométriques :**

Dans le but de décrire le régime pluviométrique du Nord Algérien, une analyse statistique a été effectuée sur soixante-douze séries pluviométriques s'étendant de 1936 à 2008. Six tests statistiques : Mann Kendall, Kendall, Buishand, Pettitt, Heguinian et Hubert ont été appliqués aux séries de cumuls pluviométriques annuels et saisonniers. Les résultats obtenus pour le pas de temps annuel sont présentés dans les tableaux V-1 et V-2 ; alors que ceux concernant l'échelle saisonnière, ils sont présentés dans les tableaux (1-3) de l'annexe 1. Les caractères gras indiquent une augmentation de la moyenne de la pluviométrie, NA : indique que le test n'est pas applicable faute de la normalité de la série. Les résultats des tests de tendances et de ruptures sont récapitulés dans le tableau V-3.

**Tableau V-1** Résultats des tests de rupture à l'échelle annuelle :

Station	Kendall	Buishand	Pettitt	Le et Hg	Hubert	M avant	M après	Différence%
<b>Partie Est</b>								
030301	--	--	--	2001	--	--	--	--
031302	--	--	--	2001	--	--	--	--
050905	--	--	--	2001	--	--	--	--
051111	--	--	--	2004	--	--	--	--
051203	--	--		1969	1969	395.55	306.41	25.4
061304	--	--	--	1976	--	--	--	--
061601	--	--	1969	1969	1969	147.9	99.6	39.7
070201	--	--	--	2001	--	--	--	--
070306	--	--	--	--	--	--	--	--
070406	--	--	--	2007	--	--	--	--
070704	--	--	1956	1956	--	--	--	--
100303	--	--	1969	1969	1969	406.23	337.04	18.6
100401	--	--	--	1996	2001	511.36	734.9	<b>38.2</b>
120301		--	--	2001	2001	331.41	473.76	<b>51.3</b>
140205	--	--	1972	1972	--	--	--	--
150608	--	--	1969	1995	1995	455.25	339.52	26.6
<b>Partie centre</b>								

010703	--	--	1976	1977	1979	287.44	201.03	31.5
010704	--	--	1977	NA	1974	281.25	201.43	32.7
010803	--	--	1979	1979	1971	413.3	329.88	22.4
010901	--	--	1980	1944	1943	463.86	346.57	32.4
011003	--	--	--	--	--	--	--	--
011004	--	--	1984	1984	1984	330	416.25	<b>23.3</b>
011302	--	--	--	--	--	--	--	--
011404	--	--	--	1986	--	--	--	--
011505	--	rupture	1979	1979	1979	774.89	625.58	20.8
011605	--	--	--	1939	--	--	--	--
020205	rupture	rupture	1980	1980	1972	610.65	448.1	30.4
020306	--	rupture	1986	1986	1986	690.33	559.37	20
020312	rupture	rupture	1980	1984	1984	612.814	447.93	29.2
020313	rupture	rupture	1980	1980	1980	678.34	519.57	25.5
020315	rupture	rupture	1980	1980	1980	609.09	509.71	17.2
020406	rupture	rupture	1986	1986	1986	616.12	398.31	39.17
020509	--	rupture	1980	1984	1984	799.62	656.89	18.8
020511	rupture	rupture	1984	1984	1984	699.48	540.4	24.4
020601	--	--	--	1973	--	--	--	--
020602	rupture	rupture	1975	1975	1959	849.04	712.64	18
021017	--	--	--	1975	--	--	--	--
021020	--	NA	--	NA	--	--	--	--
021115	--	--	--	2001	--	--	--	--
021209	rupture	rupture	1986	1986	1986	691.80	534.12	24.3
021403	--	--	--	1986	--	--	--	--
021601	--	--	--	1946	--	--	--	--
021705	--	rupture	1986	1986	1945	1070.4	937.66	13.8
021801	--	--	--	1986	--	--	--	--
021903	--	NA	--	NA	1973	797.4	671.38	17.04
022002	--	rupture	1975	1970	1973	857.27	715.76	17.8
050101	rupture	rupture	1976	1976	1976	271.52	209.70	25.3
090403	rupture	rupture	1976	1938	1938	974.6	619.88	0.51
090503	rupture	rupture	--	1972	1972	855.93	710.33	18.4
150101	--	--	--	2001	2001	430.22	581.1	<b>34.1</b>
150204	rupture	rupture	1972	1972	1972	407.27	305.58	28.3
150503	rupture	NA	1973	NA	1994	435.06	336.57	27.8
150703	rupture	rupture	1973	1973	1973	673.27	512.78	26.8
170102	rupture	rupture	1977	1977	1977	215.71	104	65.4
170201	rupture	rupture	1980	1980	1980	207.60	168.01	20.3
170208	rupture	rupture	1975	1975	1975	304.86	165.21	56.4
<b>Partie Ouest</b>								
040104	rupture	rupture	1976	1939	1950	414.81	309.83	31.5
040301	rupture	rupture	1972	1972	1975	506.63	302.87	37.9
040418	rupture	rupture	1973	1973	1976	389.57	283.64	31.4
040612	--	--	--	1941	--	--	--	--
080201	--	--	1974	2007	1976	232.53	191.8	18.9
081202	--	--	--	2007	--	--	--	--
081401	--	--	1973	1976	1976	272.11	229.09	16.7
110802	rupture	rupture	1964	1964	1976	347.2	232.34	38.5
111113	--	rupture	1976	1976	1976	314.49	261.29	18.3
111503	rupture	rupture	1976	1976	1976	358.36	246.97	35.9
160302	rupture	rupture	1980	1980	1980	366.84	261.31	32.2
160403	rupture	rupture	1974	1974	1974	549.48	395.87	32.1
160406	rupture	rupture	1974	1974	1974	575.55	381.8	39.5
160702	rupture	rupture	1974	1964	1980	497.2	342.7	32.7

Tableau V-2 Résultats du test de Kendall à l'échelle annuelle

Code	Nom des stations	U	Résultat du test	Code	Nom des stations	U	Résultat du test
010703	Rechaiga	-3.95	Tendance décroissante	050101	Ain nessissa	-2.7	<b>Tendance croissante</b>
010704	Ksar chellala	-4.13	Tendance décroissante	050905	Bordj bouarreridj	-	Pas de tendance
010803	Mehdia	-4.52	Tendance décroissante	051111	Sidi ouadah	-	Pas de tendance
010901	Sougueur	-1.75	Tendance décroissante	051203	Oued el ma	-	Pas de tendance
011003	Colonel bougara	-	Pas de tendance	061304	Menea	-	Pas de tendance
011004	Khemisti	-	Pas de tendance	061601	Foum el gherza	-	Pas de tendance
011302	Derrag	-	Pas de tendance	070201	Ain djasser	-	Pas de tendance
011404	Zoubiria	-	Pas de tendance	070306	Ain yagout	-	Pas de tendance
011505	Medea-cfpa	-1.73	Tendance décroissante	070406	Foumtoub	-	Pas de tendance
011605	Teneit el had	-	Pas de tendance	070704	Ain mimoun	1.86	<b>Tendance croissante</b>
013004	Ain el haddid	-4.5	Tendance décroissante	080201	El aouedj	-	Pas de tendance
020205	Tenes	-3.4	Tendance décroissante	081202	El bayadh	-	Pas de tendance
020306	Meuradbge	-1.74	Tendance décroissante	081401	Mecheria	-	Pas de tendance
020312	Cherchell phare	-2.23	Tendance décroissante	090403	Djebahia	-2.3	<b>Tendance décroissante</b>
020313	Sidi Ghiles	-2.38	Tendance décroissante	090503	Bouhaddada	-	Pas de tendance
020315	Gouraya	-	Pas de tendance	100303	Tadjenanet	-	Pas de tendance
020406	Fouka ville	-2.5	Tendance décroissante	100401	Bou malek	-	Pas de tendance
020509	Birmandreisanrh	-1.7	Tendance décroissante	110802	Daoud youb	-3.6	<b>Tendance décroissante</b>
020511	Mahelma ferme	-2.5	Tendance décroissante	111113	Djebel karous	-	Pas de tendance
020601	Deux bassins	-	Pas de tendance	111503	Bou hanifiabge	-	Pas de tendance
020602	Hamiz barrage	-	Pas de tendance	120301	Tebessa	1.81	<b>Tendance croissante</b>
021017	Boumedfaamf	-	Pas de tendance	140205	Ain makhlouf	-	Pas de tendance
021020	Ameur el ain	-	Pas de tendance	150101	Sour el ghozlane	-	Pas de tendance
021115	El hamdania	-2	Tendance décroissante	150204	El esnam	-2.5	Tendance décroissante
021209	Boufarik pepiniere	-2	Tendance décroissante	150503	Ighilali	-2.2	Tendance décroissante
021403	El Arba	-	Pas de tendance	150608	Bouhira	-2.8	Tendance décroissante

021601	Aghribs	-	Pas de tendance	150703	Bou birek	-2.9	Tendance décroissante
021705	Larbaanathirathen	-	Pas de tendance	160302	Maghniafrontiere	-3.47	Tendance décroissante
021801	Bouassem	-	Pas de tendance	160403	Beni bahdelbge	-3.28	Tendance décroissante
021903	Boghni	-	Pas de tendance	160406	Khmisould moussa	-3.7	Tendance décroissante
022002	Baghlia village	-	Pas de tendance	160702	Bensekrane	-5.06	Tendance décroissante
030301	Jijel	-	Pas de tendance	170102	Charef	-4.6	Tendance décroissante
031302	Berrahal	-	Pas de tendance	170201	Rocher de sel	-1.95	Tendance décroissante
040301	Bousfer	-4.8	Tendance décroissante	170208	Djelfa	-4.26	Tendance décroissante
040104	Marsa ben m hidi	-2.3	Tendance décroissante	160702	Bensekrane	-5.06	Tendance décroissante
040418	Tlelat barrage	-3.18	Tendance décroissante	170102	Charef	-4.6	Tendance décroissante
040612	Mostaguanem	-	Pas de tendance	170201	Rocher de sel	-1.95	Tendance décroissante
050905	Bordj Bou Arreridj	-	Pas de tendance	170208	Djelfa	-4.26	Tendance décroissante

Tableau V-3 Résultats des années de rupture à l'échelle annuelle et saisonnière :

Station	Annuel	Automne	Hiver	Printemps	Été
<b>Partie Est</b>					
030301	2001	1959	-	2005 Tendance croissante	1939
031302	2001	1938	-	1968 Tendance croissante	-
050905	2001	1996	-	2005	1938
051111	2004	-	-	1938	1939
051203	1969	1959	-	2002	1939
061304	1976	-	1972	-	1940
061601	1969	-	-	1956	-
070201	2001	1996	2006	2004	1997
070306	-	-	-	-	1969
070406	2007	-	-	-	-
070704	1956	-	-	-	-
100303	1969	1959	1968	2004	1940
100401	2001	1996	2005	1975,2005 Tendance croissante	1954
120301	2001 tendance croissante	-	2001 tendance croissante	-	-
140205	1972 Tendance croissante	-	2006	-	-
150608	1969,1995	-	1967	1992	1954,1975
<b>Partie Centre</b>					
010703	1977	1945	1978	1975,1981	1967
010704	1977	1943	1973 ,1976	1981	1997
010803	1979	1943	1986	1979,1981	1963
010901	1943 ,1980	1943	2006	1979,1981	1964,1970
011003	-	2005	2006	2007	1965
<b>011004</b>	<b>1984</b> <b>Tendance croissante</b>	<b>1984</b> <b>Tendance croissante</b>	2006	1986	1965
011302	-	1938	1950	2005	-
011404	1986	-	-	1991	-
011505	1979	-	-	-	-
011605	1939	-	2006	2007	1969
020205	1980	2006	1955 ,1973	1979	-
020306	1986	2006	1973	1944	1971
020312	1980	1980,1984	-	-	-
020313	1980	2006	1973	1984	1990
020315	1980	1943	1973	2007	-
020406	1986	2005	1983	1983	1976

020509	1980,1984	2006	1973	-	-
020511	1984	2006	1973	1984	-
020601	1973	2006	-	-	2004
020602	1975	2006	1971,1973	1971	1970,1999
021017	1975	2006	-	2007	1979,1996
021020	-	1946	2006	1991	1981,2003
021115	2001	2006	2006	2005	-
021209	1986	2006	1973	1985	-
021403	1986	2006	2006	-	-
021601	1946	2006	2006	1947	1998
021705	1986	-	-	-	-
021801	1986	2006	-	1947	-
021903	1973	2006	2005	2005	2000
022002	1970,1975	2006	2006	2005	2004
050101	1976	1959	1972	-	-
090403	1938 ,1976	-	1973	-	-
090503	1972	2006	1951	1938	1939
150101	2001	2006	-	2005	-
150204	1973,1994	2006	1972	1938,1982	1938
150503	1973	-	-	-	-
150703	1973	1959	1953,1973	-	1949,1963
170102	1977	1969 ,1979	1974	1977	2006
170201	1980	-	-	-	-
170208	1975	1969,1976	1972	1975	2005
<b>Partie Ouest</b>					
040104	1939,1976	-	1955	1976	2005
040301	1972 ,1975	1987	1973	1975	1976
040418	1973,1976	1998	1973	1975,1977	-
040612	1941	-	-	1980	-
080201	1974 ,1976	1999	-	1974	2000
081202	-	-	-	1955	-
081401	1973,1976	2006	-	-	2006
110802	1964,1976	1951,1959	1973	1956	-
111113	1976	2006	1986,1995	1975	1944
111503	1976	-	1973	1975	-
160302	1980	-	-	-	-
160403	1974	1941	1973	1974	-
160406	1974	1941	1964	1975	-
160702	1964,1974, 1980	1940		1974,1980	-

---

**V-1-1 Discussion des résultats des tests statistiques de détection de rupture à l'échelle annuelle :**

En appliquant les six tests statistiques de détection de rupture ou de la tendance à l'échelle annuelle à toutes les stations, nous avons remarqué que dans la majorité des cas il ya eu convergence de l'année de rupture pour tous les tests.

**- Concernant les stations de la région Est du domaine:**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 81% des stations. Par contre, il a détecté une tendance croissante dans 12% des stations et une tendance décroissante au niveau de 7% des stations.

Les tests de Pettitt, Heguinian et Hubert ont détecté une rupture sur 25% des stations constituant la partie Est du domaine d'étude vers les années 1969 et 1972.

Le test de segmentation d'Hubert, qui calcule une différence de la moyenne avant et après l'année de rupture, a montré une décroissance de la pluviométrie de 18% à 39%.

En 2001, une rupture avec une tendance à la croissance a été enregistrée par le test d'Heguianian et Hubert pour les stations (100401) et (120301) de 38% et 50% respectivement. Cette même année a été détectée comme année de rupture par le test d'Heguianian pour trois autres stations (030301), (031302) et (050905). Une autre année de rupture qui est l'année 1956 a concerné uniquement la station (070704), et cela a été décelé avec le test de Pettitt et le test d'Heguianian.

Les tests de Kendall et Buishand n'ont enregistré aucune rupture, et cela pour toutes les stations.

Les stations Ain Yagout (070306) et Foum Etoub (070406) n'ont également enregistré aucune rupture.

**- Concernant les stations de la région centre du domaine:**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 45% des stations; par contre, il a détecté une tendance décroissante au niveau de 55% des stations restantes.

Les tests ont généralement convergé vers une même période de la rupture. Trois sur cinq des tests appliqués aux séries pluviométriques ont révélé l'existence d'une rupture sur la période de 1972 à 1986.

Les tests de Pettitt, d'Heguianian et d'Hubert ont décelé une rupture sur la période de 1972 à 1986.

- Près de 60% des stations constituant la partie centre du domaine ont enregistré une rupture pendant cette période d'après le test d'Hubert avec une baisse de 13 à 65%.

- 75% des stations constituant la partie centre du domaine ont enregistré une rupture pendant cette période d'après le test d'Heguianian.

- Plus de 60% des stations constituant la partie centre du domaine ont enregistré une rupture pendant cette période d'après le test de Pettitt.

Les tests de Kendall et Buishand ont détecté une rupture sur 41% des stations pour le premier et 51% pour le deuxième.

Les stations (011003) et (011302) n'ont enregistré aucune rupture du régime pluviométrique.

- **Concernant les stations de la région Ouest du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 43% des stations; par contre, il a détecté une tendance décroissante au niveau de 57% des stations.

- Plus de 80% des stations ont enregistré une rupture durant la période 1972-1980 d'après le test d'Hubert avec une décroissance de 17 à 65%.

- Plus de 80% des stations ont enregistré une rupture durant la période 1972-1980 d'après le test de Heguianian.

Toutes les stations de la région Ouest ont enregistré une rupture durant la période 1972-1980 d'après le test de Pettitt.

Les tests de Kendall et Buishand ont détecté une rupture sur 65% des stations pour le premier et 75% pour le deuxième.

**V-1-2 Discussion des résultats des tests statistiques à l'échelle saisonnière :**

Nous avons appliqué les tests de rupture pour chaque saison pour toutes les stations pour étudier la variation du régime pluviométrique à l'échelle saisonnière.

**-Saison d'automne :****- Partie Est du domaine d'étude :**

Le test de Mann-Kendall n'a détecté aucune tendance au niveau de toutes les stations. Tous les tests appliqués à toutes les stations n'ont détecté aucune rupture à l'exception du test d'Heguinian qui a détecté une rupture en 1959 au niveau des stations (030301), (051203) et (100303), et une autre en 1996 au niveau des stations (050905), (070201) et (100401).

**- Partie centre du domaine d'étude :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 90% des stations par contre il a détecté une tendance décroissante au niveau de 10% des stations. Tous les tests n'ont détecté aucune rupture au niveau de toutes les stations à l'exception du test d'Heguinian qui a détecté une rupture en 1959 dans 7% des stations et en 1943 dans 10% des stations.

85% des stations ont des séries pluviométriques de la saison automnale stationnaires sauf 7%, notamment (170208), (170102) et (020312) qui ont enregistré une rupture entre 1969 et 1984 avec une baisse de la pluviométrie allant de 15 à 47%. La baisse de la pluviométrie a commencé plus tôt (vers 1969) et a été plus sévère avec des taux de l'ordre de 47% dans les stations situées au Sud du domaine [(170208), (170102)], comparativement aux stations situées dans la partie Nord (020312) qui n'ont enregistré qu'une faible baisse de l'ordre de 15%.

Trois stations situées au Nord du domaine ont enregistré une rupture avec une augmentation de la pluviométrie, notamment à la station (011004) en 1984 avec une hausse de 46%, la station (021601) en 2006 avec un taux de 153% et la station (021801) avec une augmentation de 133%.

**- Partie Ouest du domaine d'étude :**

Le test de Mann-Kendall n'a détecté aucune tendance au niveau de toutes les stations.

Les tests de kendall et Buishand ont détecté une rupture dans seulement une station à savoir la station (040301) pour le premier et la station (110802) pour le deuxième.

Les tests d'Heguinian et d'Hubert ont détecté une rupture en 1941 sur trois stations notamment (160403), (160406) et la (160702) avec une baisse importante de 84 à 89%. Une autre rupture a été détectée en 1959 au niveau de la station (110802) avec une baisse de 49% ; celle-ci a été confirmée par le test de Pettitt.

**- Saison d'hiver :****- Partie Est du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 88% des stations ; par contre, il a détecté une tendance décroissante au niveau de 12% des stations. 70% des stations n'ont pas enregistré de rupture selon tous les tests appliqués.

Le test d'Heguinian a enregistré une rupture sur 30% des stations dans la période s'étendant de 1967 à 2001. Il y a eu seulement trois stations où tous les tests ont enregistré une rupture qui a convergé vers la même année, notamment la station (100303), la station (150608) et la station (061304).

**- Partie centre du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 50% des stations, par contre il a détecté une tendance décroissante au niveau de 50% des stations. Tous les tests appliqués ont détecté une rupture sur dans 60% des stations. Cette rupture a été détectée entre 1972 et 1986 avec une baisse entre 20 et 98%. La plus sévère est celle observée au niveau de la station (010803) en 1986, et la moins sévère est celle observée au niveau de la station (030602) en 1971. Il y a eu convergence de l'année de rupture pour tous les tests au niveau de chaque station.

**- Partie Ouest du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 50% des stations, par contre il a détecté une tendance décroissante au niveau de 50% des stations.

Tous les tests appliqués ont détecté une rupture au niveau de 50% des stations. Cette rupture a été détectée entre 1973 et 1986 avec une baisse allant de 42 à 69%.

Il y a eu convergence de l'année de rupture pour tous les tests au niveau de chaque station. La tendance à la baisse a concerné le centre et l'ouest du domaine; la partie Est n' a pas été touchée.

**- Saison de Printemps :****- Partie Est du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a détecté aucune tendance au niveau de toutes les stations. Les tests de Kendall, Buishand et Pettitt n'ont détecté aucune rupture sauf au niveau de la station(031302). Cette rupture s'est située en 1968 avec une tendance à la baisse de 36%.

Le test d'Heguinian a détecté une rupture au niveau de 50% des stations sur une période allant de 1968 à 2004.

Le test d'Hubert a détecté trois ruptures : en 2005 au niveau de la station (030301) avec une hausse de 51%, en 1968, qui concerne la station (031302) avec une baisse de 36% et en 1975 qui concerne la station (100401) avec une baisse de 9%.

**- Partie centre du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 78% des stations ; par contre, il a détecté une tendance décroissante au niveau de 22% des stations.

Les tests de Kendall et Buishand n'ont pas détecté de rupture sauf au niveau de la station (010803) en 1979, la station (170102) en 1977et la station (170208) en 1979.

Le test de Pettitt a détecté une rupture au niveau de 24% des stations sur une période de 1975 à 1983 avec une baisse de 28 à 47%.

**- Partie Ouest du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a pas détecté de tendance au niveau de 50% des stations ; par contre, il a détecté une tendance décroissante au niveau de 50% des stations.

Plus de 50% des stations se sont révélées non stationnaires selon tous les tests. La rupture a été détectée entre 1974 et 1980 avec une baisse de 34 à 95%.

**- Saison d'Eté :****- Partie Est du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a détecté aucune tendance au niveau de toutes les stations.

Le test de Kendall et Buishand n'ont aussi détecté aucune rupture (d'après ces deux tests, toutes les séries analysées sont stationnaires).

Le test de Pettitt a par contre détecté une rupture uniquement au niveau de deux stations: la station (070303) en 1969 et la station (150608) en 1975.

Le test d'Heguinian a détecté une rupture entre 1938 et 1940 au niveau de 34% des stations.

**- Partie centre du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a détecté aucune tendance au niveau de toutes les stations. Alors que Kendall et Buishand ont détecté une rupture au niveau de 20% stations.

Pettitt a détecté une rupture au niveau de 22% des stations qui s'est située entre 1968 et 1990.

Les tests de Lee Heguinian et Hubert n'ont rien détecté au niveau de toutes les stations.

**- Partie Ouest du domaine :**

Le test de Mann-Kendall n'a détecté aucune tendance au niveau de toutes les stations.

Tous les tests n'ont rien détecté, sauf le test d'Heguinian qui a détecté une rupture au niveau de 20% des stations entre 1976 et 2000, et une rupture en 1944 au niveau de la station (111113).

### V-1-3 Résultats émergents des tests statistiques :

D'après le tableau V-4, les différents tests ont donné des résultats similaires. Le point de rupture apparaît en moyenne entre 1970 et 1986.

Un déficit pluviométrique a été constaté à l'échelle annuelle et saisonnière sur tout le domaine d'étude à différents degrés.

**Tableau V-4** Résultats des tests de rupture à l'échelle annuelle et saisonnière :

	Annuel	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Partie Est	Déficit pluviométrique de 18 à 39%, détecté en 1969.	Ruptures en 1938, 1959 et 1996.	Ruptures situées : (1967-1972), 2001, 2006.	Ruptures : 1938, 1975, (2002-2005)	Rupture située entre 1938 et 1940.
Partie Centre	Déficit pluviométrique de 13 à 65%, situé entre 1972 et 1986.	Déficit pluviométrique de 15 à 47%, situé entre 1976 et 1981. Détection de 3 ruptures (1940-1945), 1959 et 2006.	Déficit pluviométrique de 20 à 98%, situé entre 1972 et 1986.	Déficit pluviométrique de 28 à 47%, situé entre 1972 et 1986.	Ruptures : (1938-1944), (1963-1969), (1970-1981), (2000-2006).
Partie Ouest	Déficit pluviométrique de 17 à 65%, situé entre 1972 et 1980.	Déficit pluviométrique de 40 à 88%, situé en 1941.	Déficit pluviométrique de 42 à 69%, situé entre 1973 et 1986.	Déficit pluviométrique de 34 à 95%, situé entre 1974 et 1980.	Ruptures : 1944, 1976 et 2005.

**NB :** Le déficit pluviométrique a été calculé d'après la méthode de la segmentation d'Hubert.

Une sécheresse, enregistrée entre 1969 et 1986, apparente à l'échelle hivernale, printanière et annuelle et plus sévère à l'Ouest du domaine d'étude.

Une autre sécheresse, enregistrée entre 1938 et 1945, a concerné les saisons d'automne et l'été.

## V-2 Analyse spatio-temporelle des précipitations. Recherche d'une régionalisation

Les précipitations au Nord de l'Algérie sont très variables dans le temps comme dans l'espace. Cette variabilité spatio-temporelle pose de réels problèmes pour les plans d'aménagement hydrauliques.

Cette partie du travail s'est fixée alors pour objet de rechercher une régionalisation de cette variabilité en utilisant une analyse multi variée, à savoir, l'Analyse en Composantes Principales (ACP), sans et avec rotation, qui permettra de faire ressortir les régions ayant le même mode de variation.

Cette analyse a été d'abord réalisée à l'échelle annuelle, puis, pour comparer le comportement du régime pluviométrique à l'échelle saisonnière. L'analyse a été effectuée pour les trois saisons : automne, hiver et printemps.

### V-2-1 Variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle annuelle

Nous avons appliqué une Analyse en Composantes Principales normée en considérant comme variables les données de précipitations annuelles des 72 stations sur la période de 73 années d'observations retenues comme individus.

Les résultats de l'ACP sans rotation soulignent que les dix premières composantes représentent une part importante de la variance totale (79.75%). Malgré l'étendue géographique du domaine d'étude, les cinq premières composantes expliquent plus de 60% de la variance totale (Tableau V-5).

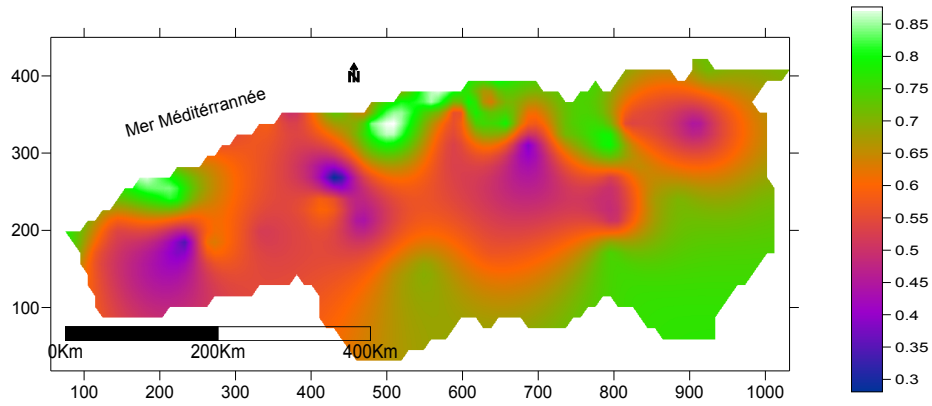
**Tableau V-5** Variances expliquées pour les 10 premières composantes principales sans rotation.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Valeur propre	31,63	6,91	4,45	2,78	2,37	2,32	1,87	1,62	1,43	1,24
% variance	44,55	9,74	6,26	3,92	3,35	3,27	2,63	2,28	2,02	1,74
% cumulé	44,55	54,28	60,55	64,47	67,81	71,08	73,71	75,99	78,01	79,75

La première composante principale explique plus de 44% de la variance ; elle décrit la variabilité interannuelle des précipitations pour l'ensemble de la région d'étude. La plupart des stations sont bien corrélées avec cette composante avec des coefficients de corrélation entre 0.5 et 0.85 (Figure V-1-a).

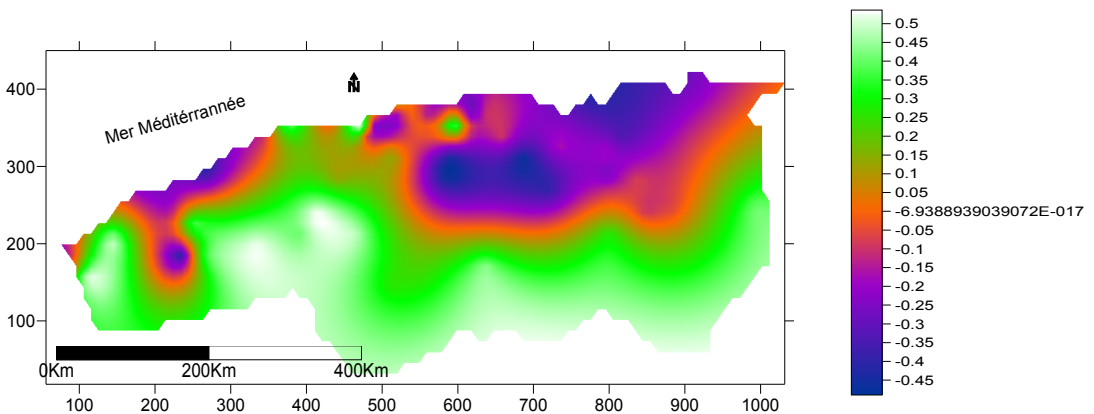
CP 1

a)



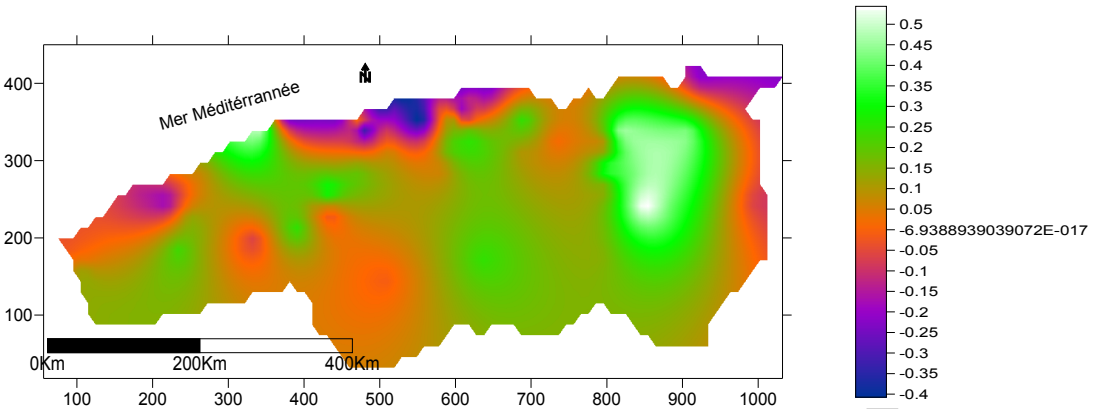
CP 2

b)



CP 3

c)



CP4

d)

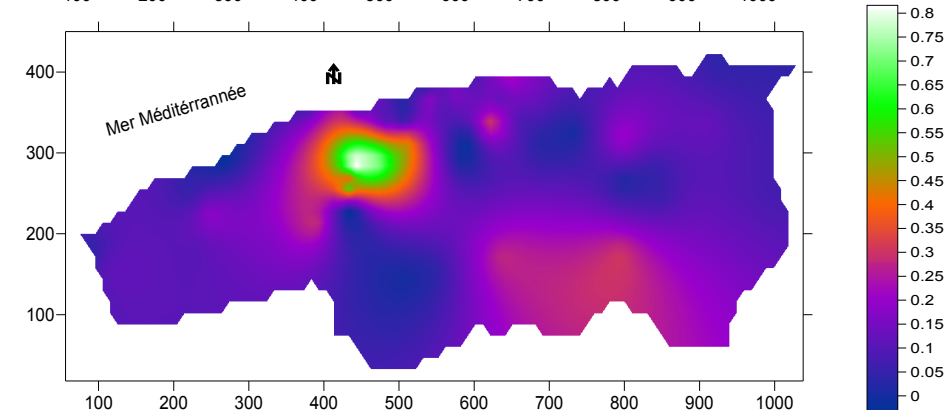
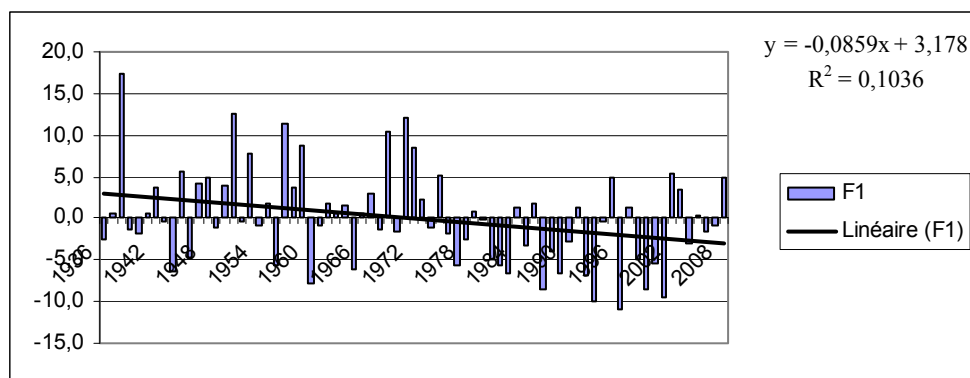


Figure V-1 Analyse en Composantes Principales sans rotation des précipitations annuelles

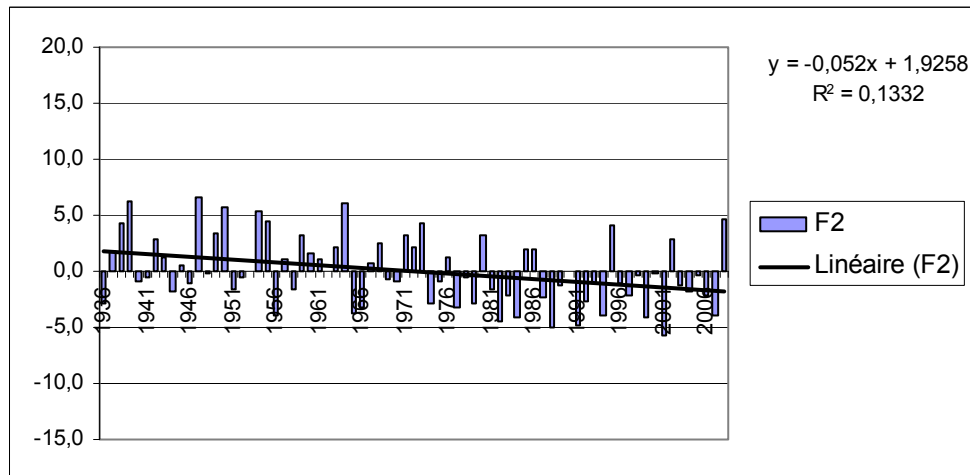
La chronique temporelle associée à la première composante principale (Figure V-2) met en évidence des années particulièrement humides : 1938, 1951, 1957, 1967, 1971. La plupart des stations ont connu au cours de ces années des excédents pluviométriques par rapport à la moyenne annuelle. Elle met en évidence aussi des années particulièrement sèches comme 1960, 1983, 1987, 1999, 2001. Certaines sécheresses sont étalées dans le temps pour plusieurs années consécutives. Une séquence sèche relativement longue est celle observée pour la période 1975-1994, qui a touché pratiquement toute la zone d'étude.



**Figure V-2.** ACP des précipitations annuelles sans rotation-chronique temporelle de la première composante.

Les composantes suivantes expliquent des parts plus faibles de la variance totale. Par rapport à la première composante, elles n'apportent aucune information significative. La première composante décrit la variabilité de la pluviométrie de façon unipolaire.

La deuxième composante explique moins de 10% de la variance totale, les coefficients de corrélation varient entre -0.5 et 0.5. Elle oppose le Sud de la région d'étude à faible pluviosité et éloignée des influences maritimes et des perturbations Nord (corrélée négativement) au Nord de la région à forte pluviosité et exposée aux vents humides du Nord et du Nord-ouest.

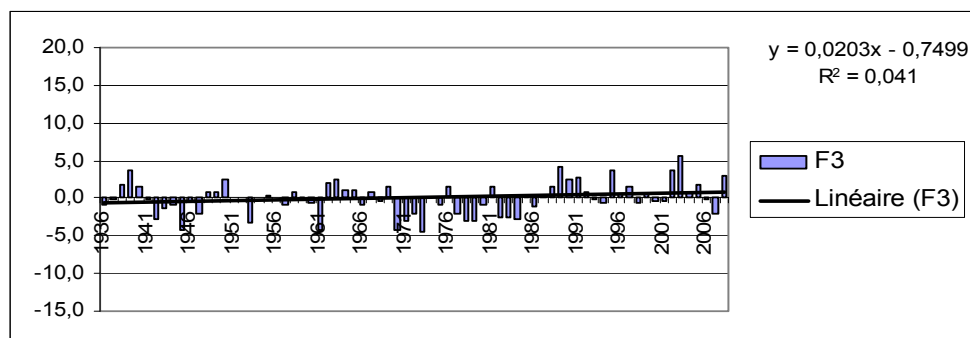


**Figure V-3.** ACP des précipitations annuelles sans rotation- Chronique temporelle de la deuxième composante.

La chronique temporelle associée à la deuxième composante (Figure V-3) montre l'évolution des précipitations comme une alternance de périodes sèches et de périodes humides, mais avec une baisse persistante durant les années s'étalant de 1997 jusqu'à 2007.

La troisième composante explique 6.26% de la variance totale, les coefficients de corrélation variant entre -0.4 et 0.5. Mais, selon la figure V-1-c, cette composante ne présente pas de structure spatiale bien définie puisqu'une petite partie seulement, la région littorale du Nord-centre, y est corrélée avec un coefficient de corrélation de -0.4 à -0.3. Le reste de la région d'étude ne présente pas de fortes corrélations. La chronique temporelle associée (Figure V-4) montre une certaine stationnarité qui ne peut être expliquée.

L'ACP sans rotation a conduit à un résultat ne permettant pas de tirer une régionalisation de la variabilité des précipitations de la région d'étude puisqu'un grand taux de l'information totale a été contenu par la première composante.



**Figure V-4.** ACP des précipitations annuelles sans rotation-chronique temporelle de la troisième composante.

Une ACP avec une rotation orthogonale consiste en une transformation linéaire des composantes principales. La méthode utilisée est du type Varimax reconnue comme étant la méthode la plus utilisée des rotations orthogonales. Elle permet de déduire une régionalisation des précipitations et d'obtenir des comportements physiquement significatifs (Von Storch, 1995; Richman, 1986).

Le tableau V-6 présente les résultats de l'Analyse en Composantes Principales avec Rotation des axes de type Varimax (ACPR). L'ACPR n'explique pas la variance de la même manière que l'ACP sans rotation, la variance totale est distribuée sur les 6 premières composantes.

**Tableau V-6.** Variances expliquées pour les 10 premières composantes principales avec rotation.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
% variance	25,47	9,60	7,96	4,63	1,58	4,19	1,91	1,27	5,49	1,73
% cumulé	25,47	35,07	43,03	47,65	49,24	53,43	55,34	56,61	62,10	63,82

Nous avons retenu les quatre premières composantes expliquant 47.65% de la variance. Le pourcentage de la variance expliqué par les valeurs propres est différent de celui de l'ACP sans rotation avec un pourcentage moins important sur la première composante ; mais des valeurs plus importantes pour les valeurs propres suivantes.

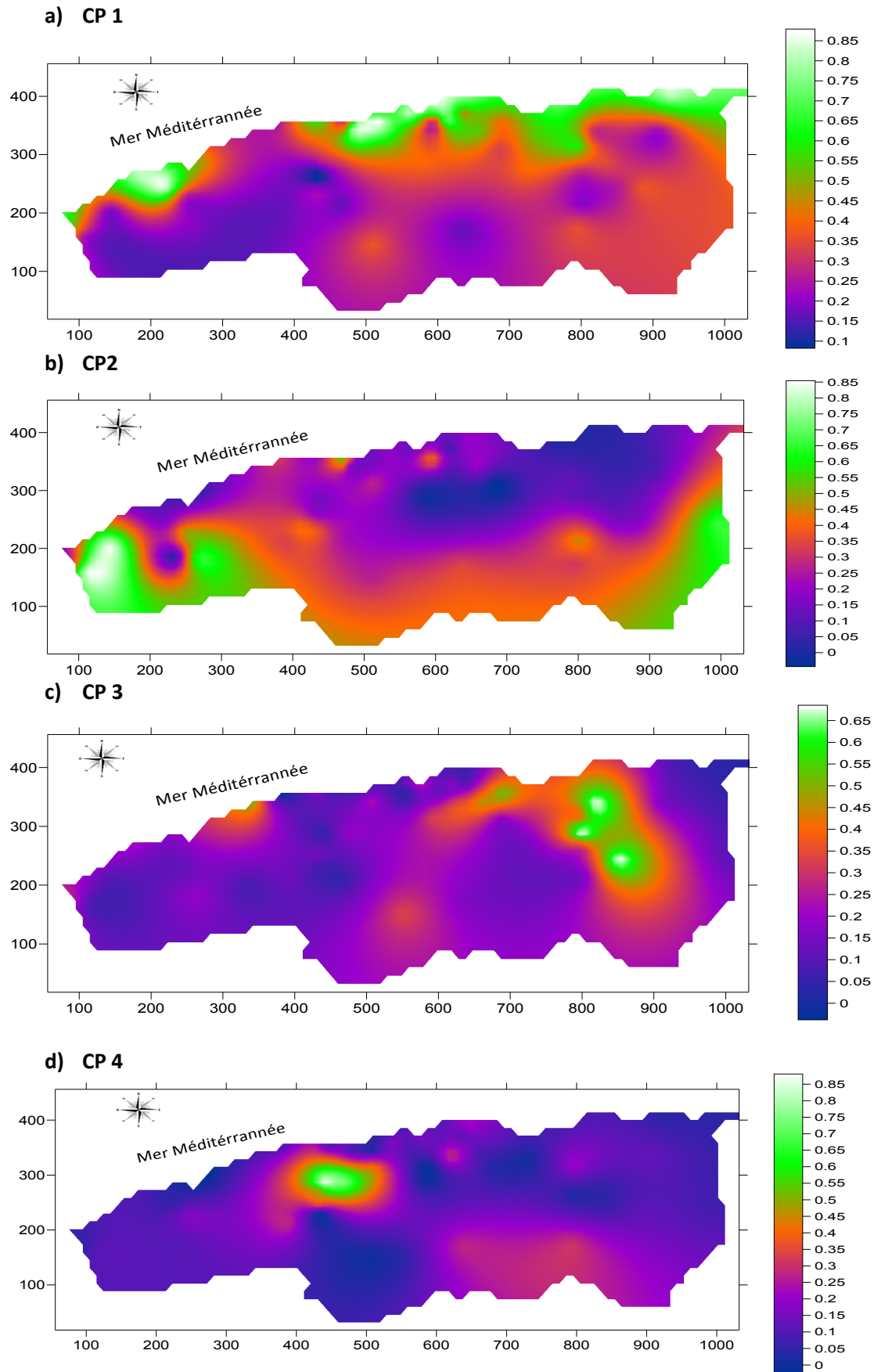
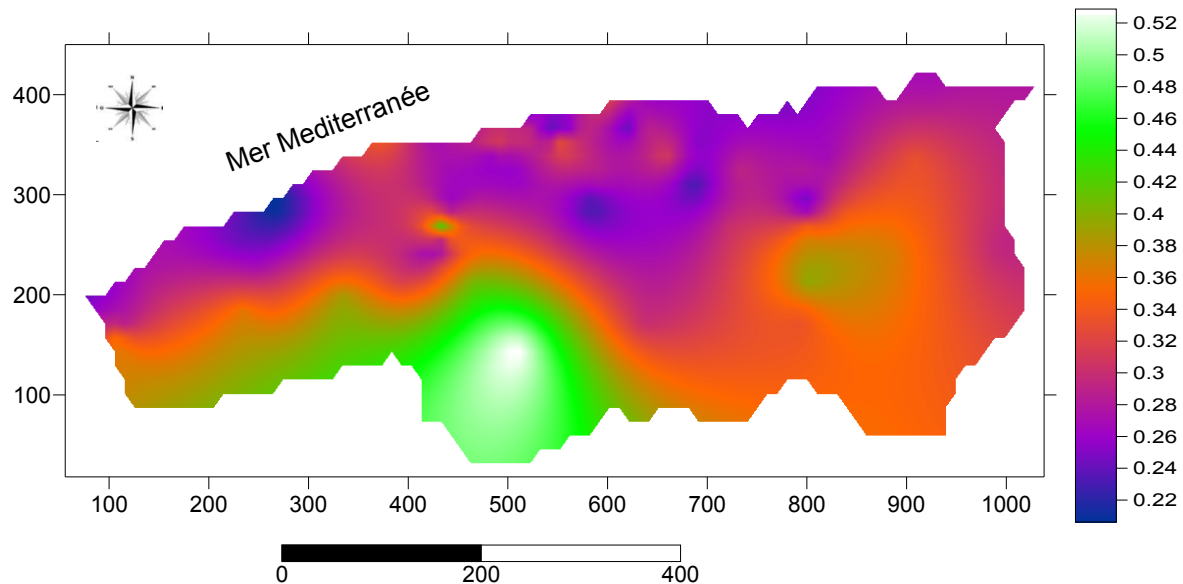


Figure V-5 Analyse en Composantes Principales avec rotation des précipitations annuelles

La première composante explique 25.47% de la variance ; elle illustre la partie Nord du domaine : les plaines littorales et les versants Nord de l'Atlas Tellien (Figure V-5-a). Les stations les plus corrélées à cette composante sont celles dont l'altitude varie entre 5 et 600m. La région est caractérisée en général par un faible relief (Figure II-3 du chapitre II) et une pluviométrie moyenne importante variant entre 400 et 1100mm/an et une faible variabilité, illustrée par le coefficient de variation faible variant de 22% à 32% d'après la Figure V-6.



**Figure V-6.** Coefficients de variation des précipitations annuelles

L'analyse des chroniques temporelles relatives à cette première composante (Figure V-7-a) a montré que le Nord du domaine d'étude a connu, sur la période 1936-2008, une succession de courts épisodes humides et de courts épisodes secs suivis d'un long épisode sec qui a commencé en 1976 qui s'est prolongé jusqu'à 2008, entrecoupé par quelques années humides : 1979, 1995, 1997, 2002. Cette tendance à la décroissance est assez faible avec un coefficient de détermination égal à 0.056, ce qui rejoint l'étude chronologique. En effet, les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la décroissance avec un taux, donné par le test d'Hubert, assez faible de l'ordre de 23%, soit stationnaires. On a constaté que, dans cette région du domaine, le déficit pluviométrique a commencé en 1976, et il n'est pas très prononcé.

La deuxième composante représente l'Ouest de la zone d'étude (Figure V-5-b), qui est en l'occurrence l'Ouest de l'Atlas tellien et les hautes plaines de l'Ouest; elle explique 9.6% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont celles dont l'altitude varie entre 150 et 1200m. La région est caractérisée par une pluviométrie

d'importance moyenne variant de 250 à 500mm et de faible variabilité pluviométrique avec un coefficient de variation entre 27% et 40%.

L'Analyse des chroniques temporelles relatives à cette composante (Figure V-7-b) a montré l'existence, depuis 1936, d'un long épisode humide, interrompu de quelques années sèches (1945 et 1965) et d'un épisode sec qui a commencé en 1976 et qui s'est prolongé jusqu'en 2007. Cet épisode a tout de même connu deux années humides qui sont 1995 et 2008. Cette tendance à la décroissance est relativement appréciable avec un coefficient de détermination égal à 0.28. Ce qui rejoint l'analyse temporelle. Les stations corrélées à cette composante ont aussi enregistré une tendance à la décroissance avec un taux appréciable donné par le test d'Hubert de l'ordre de 30%.

Nous avons constaté que dans cette région du domaine, le déficit pluviométrique a commencé en 1976 et il est assez significatif et plus important que dans le littoral ; ceci est en accord avec l'analyse temporelle qui a aussi montré selon tous les tests utilisés que l'année 1976 est l'année du début du déficit pluviométrique enregistré dans cette région.

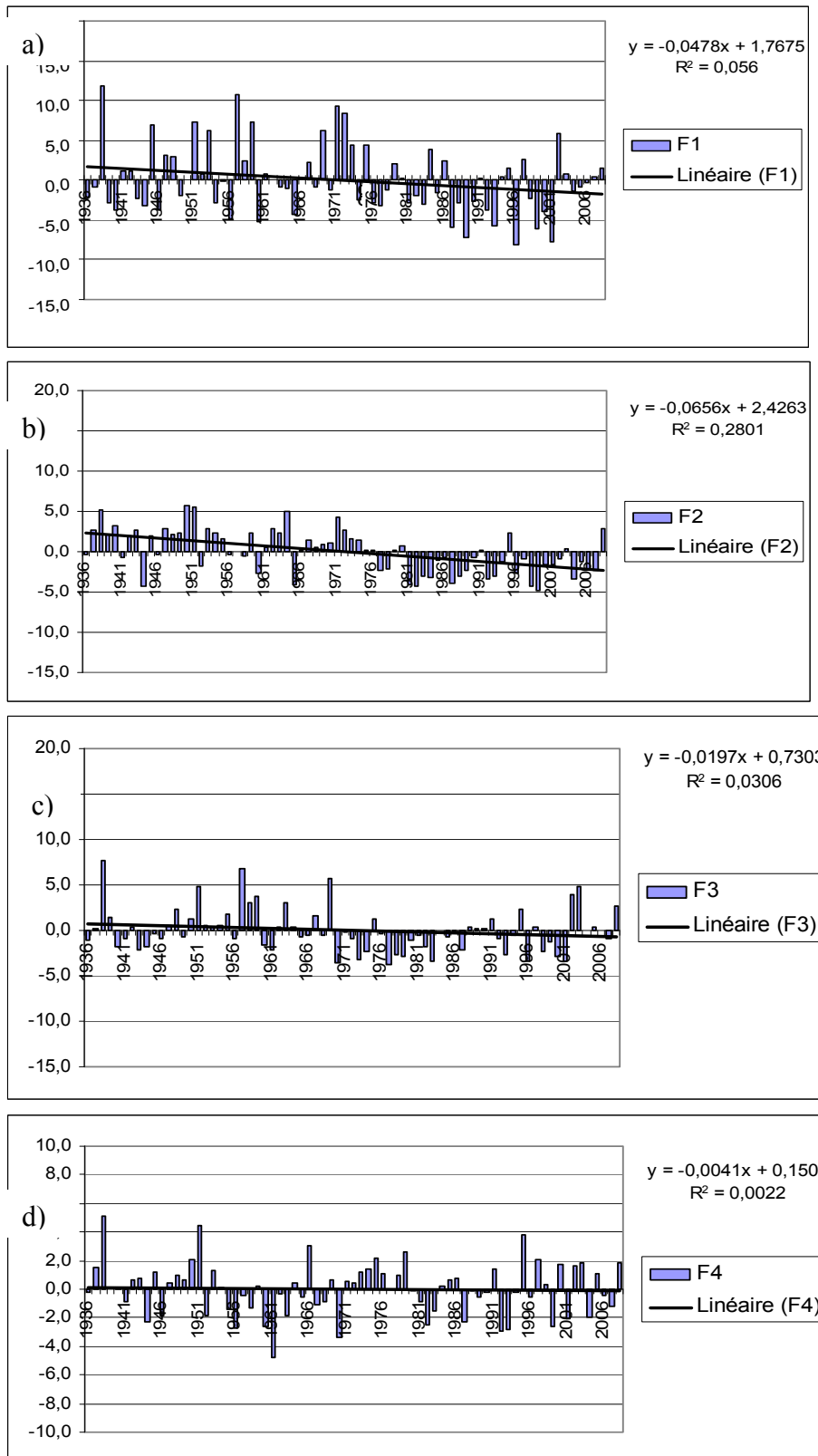
La troisième composante caractérise la région Est du domaine d'étude (Figure V-5-c) qui est constituée des hautes plaines de l'Est et les montagnes et les collines de l'Est de l'Atlas tellien ; elle explique 7.96% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont celles dont l'altitude varie entre 200 et 1000m et ayant une pluviométrie moyenne relativement faible entre 100 et 400mm/an avec une variabilité relativement faible correspondant à un coefficient de variation variant de 23% à 32% d'après la figure (V-6).

La chronique temporelle associée à cette composante (Figure V-7-c) a mis en évidence une succession de courts épisodes secs et de courts épisodes humides suivis d'un long épisode sec qui a commencé en 1971. Cette chronique présente une tendance à la baisse avec un coefficient de détermination faible de 0.003. Ce qui rejoint l'étude chronologique; les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la décroissance avec un taux donné par le test d'Hubert assez faible de l'ordre de 20%, soit elles sont stationnaires, excepté la station (051203) de Oued Elma qui a connu une augmentation de l'ordre de 25.4%.

Nous avons constaté que dans cette région du domaine, le déficit pluviométrique a commencé en 1971, et il n'est pas très significatif.

La quatrième composante caractérise une partie du centre du domaine d'étude (Figure V- 5-d) notamment le Nord du Cheliff qui est constituée de montagnes et des collines de l'Atlas Tellien. Elle explique 4.63% de la variance. La région est caractérisée par de hautes altitudes allant de 800m à 1200m et une pluviométrie d'importance moyenne de 350mm à 550mm/an et un coefficient de variation faible variant de 23 à 26% d'après la figure (V-6).

La chronique temporelle associée à cette composante (FigureV-7-d) a montré une alternance d'épisodes humides et d'épisodes secs jusqu'à la fin de la période d'observation (2008). Cette chronique ne présente pas de tendance à la baisse, avec un coefficient de détermination très faible de 0.002. Ce qui rejoint l'étude chronologique car tous les tests ont montré que dans cette région les séries pluviométriques sont stationnaires, ce qui prouve que cette composante représente une région à régime pluviométrique stationnaire.



**Figure V-7.** ACP des précipitations annuelles avec rotation Varimax - Chroniques temporelle des quatre premières composantes.

### V-2-2 Variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle saisonnière

Comme pour l'analyse des précipitations à l'échelle annuelle, nous avons le même objectif de dégager des espaces homogènes, du point de vue de la variabilité interannuelle, des précipitations saisonnières. Une Analyse en Composantes Principales a été donc réalisée en utilisant les séries des précipitations cumulées saisonnières pour les trois saisons : automne, hiver et printemps. Les résultats de l'analyse sans rotation ont montré une unipolarité, de la première composante principale, exactement similaire à celle trouvée à l'échelle annuelle. En effet, la première composante principale explique plus de 44% de la variance totale pour les trois saisons. Ceci nous a conduits à ne considérer que les résultats relatifs à l'ACP avec rotation des axes de type Varimax. Les résultats des pourcentages de variances expliquées pour les trois saisons sont donnés dans le tableau V-7.

**Tableau V-7** Variances expliquées pour les 10 premières composantes principales avec rotation à l'échelle saisonnière.

<b>Automne</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>	<b>F10</b>
% variance	25,113	12,605	15,108	11,713	2,715	2,314	1,988	4,928	2,426	2,491
% cumulé	25,113	37,718	52,826	64,539	67,254	69,568	71,556	76,484	78,910	81,401
<b>Sans rotation</b>										
Valeur propre	34,848	7,003	4,515	2,333	2,142	1,848	1,593	1,580	1,281	1,048
% variance	49,082	9,864	6,359	3,286	3,016	2,602	2,244	2,226	1,804	1,476
% cumulé	49,082	58,945	65,305	68,591	71,608	74,210	76,454	78,680	80,484	81,960
<b>Hiver</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>	<b>F10</b>
% variance	28,456	12,902	8,185	6,500	1,946	2,790	1,313	2,181	3,565	2,050
% cumulé	28,456	41,359	49,544	56,043	57,990	60,780	62,093	64,274	67,839	69,889
<b>Sans rotation</b>										
Valeur propre	30,877	6,979	4,658	3,583	2,948	2,011	1,606	1,488	1,350	1,190
% variance	44,110	9,970	6,654	5,119	4,212	2,873	2,294	2,126	1,929	1,700
% cumulé	44,110	54,079	60,733	65,852	70,063	72,937	75,231	77,357	79,286	80,986
<b>Printemps</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>	<b>F10</b>
% variance	28,375	15,370	12,197	4,862	3,113	2,081	1,796	2,148	1,717	2,174
% cumulé	28,375	43,746	55,943	60,805	63,918	65,999	67,795	69,943	71,659	73,833
<b>Sans rotation</b>										
Valeur propre	34,848	7,003	4,515	2,333	2,142	1,848	1,593	1,580	1,281	1,048
% variance	49,082	9,864	6,359	3,286	3,016	2,602	2,244	2,226	1,804	1,476
% cumulé	49,082	58,945	65,305	68,591	71,608	74,210	76,454	78,680	80,484	81,960

**- La saison d'automne (septembre-novembre)**

Nous avons retenu les quatre premières composantes expliquant 64.5% de la variance totale comme présenté dans le tableau V-5.

La première composante explique 25.11% de la variance ; elle illustre la partie Nord-centre du domaine (Plaines littorales centre et la partie centre de l'Atlas Tellien) . Les résultats des scores des corrélations avec cette composante sont illustrés par la figure V-8-a. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un relief variable avec des altitudes allant de 30 à 1000m et une pluviométrie de moyenne importance entre 600 et 1100mm/an avec une faible variabilité donnée par un coefficient de variation entre 41 et 56%.

L'analyse des chroniques temporelles relatives à cette première composante (Figure V-9-a), a montré que le Nord du domaine d'étude a connu, sur la période 1936-1946, une alternance d'années sèches et d'années humides, et de 1946 à 2006, une succession de courts épisodes secs et humides. Par contre, un excédent pluviométrique a été observé à partir de 2006. Cette variabilité temporelle a engendré une légère décroissance avec un faible coefficient de détermination de 0.0121. Ce résultat rejoint celui de l'analyse temporelle par les tests. En effet, les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la baisse avec un taux moyen donné par le test d'Hubert de 15%, soit elles sont stationnaires. Un excédent pluviométrique a aussi été décelé à partir de 2006, et il a concerné les stations d'Aghrib (021601) et de Bouassem (021801).

La deuxième composante représente l'Ouest du domaine d'étude (Figure V-8-b) ; elle explique 12.6% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief variable entre 80 et 1200m et une pluviométrie moyenne d'importance moyenne entre 200 et 600mm/an et un coefficient de variation variant entre 48 et 70%.

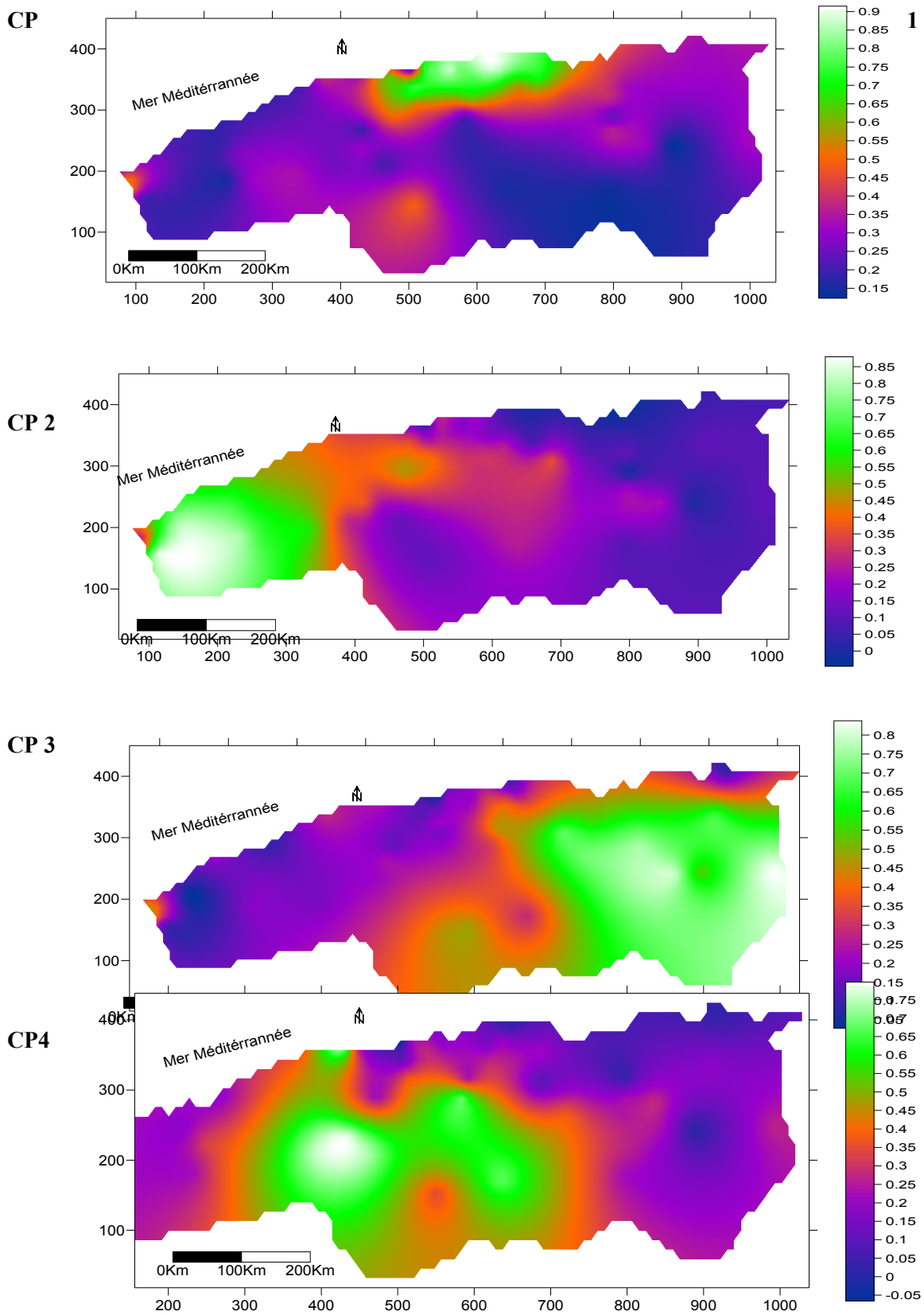


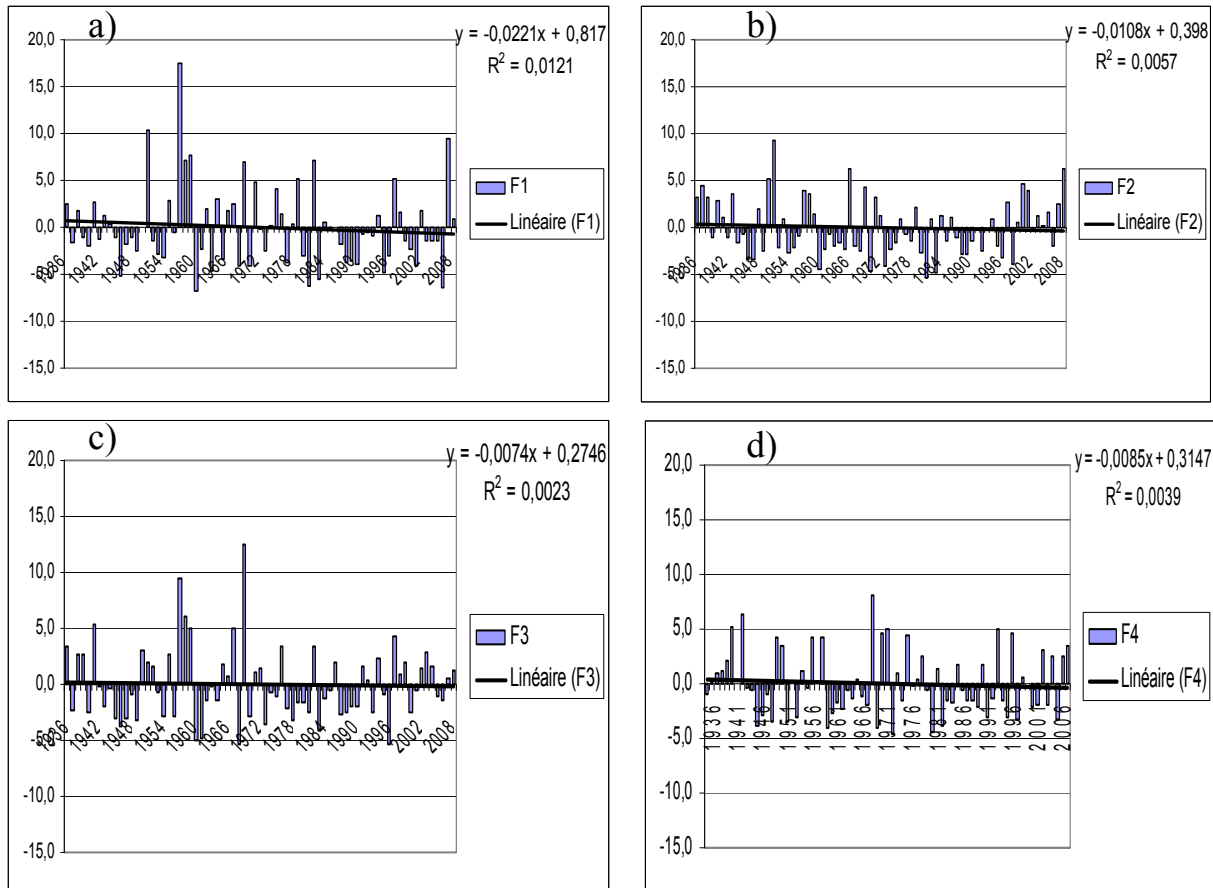
Figure V-8. Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations saisonnières - Automne

L'analyse des chroniques temporelles (Figure V-9-b) relatives à cette composante a montré l'existence depuis 1936 de l'alternance de plusieurs petits épisodes humides et épisodes secs. Les stations corrélées à cette composante sont stationnaires à l'échelle de la saison d'automne vu l'allure du graphe représentant cette chronique et le coefficient de détermination de la tendance linéaire qui est égal à 0.0057. Ce qui rejoint l'analyse temporelle réalisée par les tests statistiques, où tous les tests ont montré que, dans cette région, les séries pluviométriques sont stationnaires. Ce résultat prouve que cette composante représente une région à régime pluviométrique stationnaire. A l'exception des stations (110802) Daoud Youb, (160406) Khemis Ouled Moussa, (160702) Bensekrane qui ont connu une forte baisse avec un taux moyen de 87% (rupture détectée entre 1940 et 1959) et les stations (080201) El Aouedj, (111113) Djebel Karous qui ont connu une augmentation avec un taux moyen de 98% à partir des années 2000.

La troisième composante caractérise les régions Centre-est et l'Est du domaine d'étude (Figure V-8-c) ; elle explique 15.11% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief variable entre 450 et 1200m et une pluviométrie moyenne d'importance moyenne entre 200 et 600mm/an avec un coefficient de variation variant de 44 à 112%. La chronique temporelle associée à cette composante (Figure V-9-c) a mis en évidence une succession de courts épisodes secs et de courts épisodes humides. Les stations corrélées à cette composante sont stationnaires vu l'allure du graphe représentant cette chronique et le coefficient de détermination qui est égal à 0.0023. Ce résultat est aussi en accord avec celui de l'analyse temporelle qui a montré que, dans ces régions Centre-est et Est, les séries sont stationnaires à l'échelle de la saison d'automne.

La quatrième composante caractérise les régions Centre-ouest du domaine d'étude (Figure V-8-d) ; elle explique 11.7% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief variable entre 700 et 1200m et une pluviométrie moyenne d'importance moyenne entre 200 et 600mm/an et un coefficient de variation entre 48 et 99%. La chronique temporelle associée à cette composante (Figure V-9-d) a montré une alternance d'épisodes humides et secs jusqu'à la fin de la période d'observation (2008). Cette chronique ne présente pas de tendance à la baisse, vu que le coefficient de détermination est très faible et égal à 0.0039. Ceci rejoint l'étude temporelle car tous les tests ont montré que dans cette région les séries pluviométriques sont stationnaires à l'exception de la station de Khemisti (011004) et Charef (170102), ce qui prouve que cette

composante représente une région à régime pluviométrique stationnaire à l'échelle de la saison d'automne.



**Figure V-9** Chroniques temporelles des quatre composantes principales, après rotation VARIMAX, des précipitations saisonnières : Saison automne

**La saison d'hiver: (décembre-février)**

Nous avons retenu les quatre premières composantes expliquant 56% de la variance totale.

La première composante explique 28.45% de la variance. Elle illustre la partie Nord du domaine (plaines littorales et les montagnes et collines de l'Atlas Tellien (Figure V-10-a). Les stations les plus corrélées à cette composante sont situées à des altitudes très variables de 5 à 1200m et enregistrent une pluviométrie moyenne importante entre 300 et 1100mm/an et un coefficient de variation variant entre 36 et 49%.

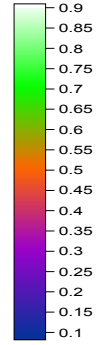
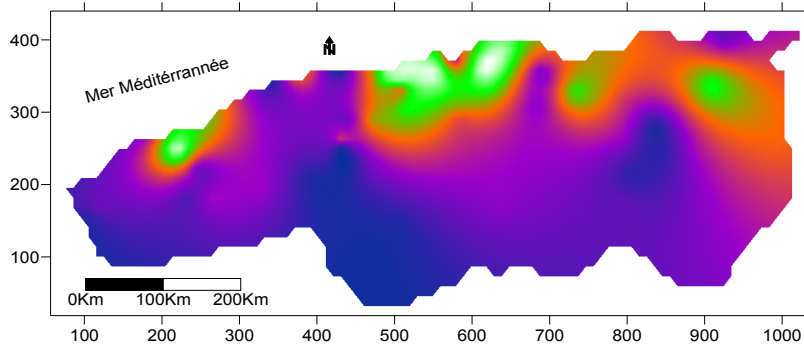
---

L'analyse des chroniques temporelles relatives à cette première composante (Figure V-11-a) a montré que le Nord du domaine d'étude a connu, sur la période 1936-2008, un long épisode humide s'étalant de 1936 à 1974 entrecoupé de quelques années sèches : 1956, 1966 et d'un long épisode sec s'étalant de 1974 à 2008 entrecoupé de quelques années humides : 1986 et 2002. Cette tendance à la décroissance est relativement appréciable avec un coefficient de détermination égal à 0.027. Ce résultat rejoint celui de l'étude chronologique. En outre, les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la baisse avec un taux moyen donné par le test d'Hubert appréciable de 37% soit stationnaires.

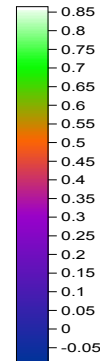
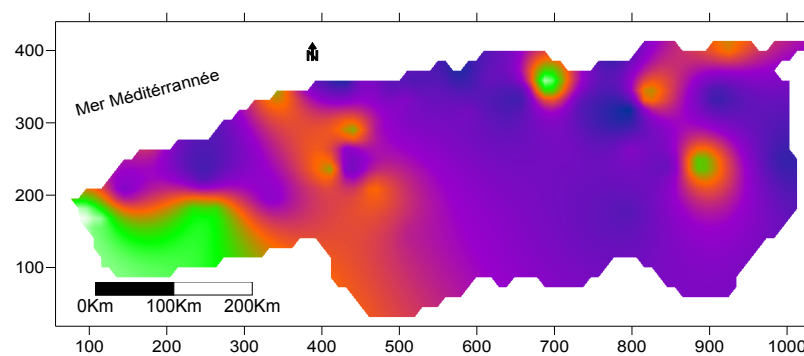
La deuxième composante représente l'Ouest qui est en l'occurrence la partie Ouest de l'Atlas tellien et les plateaux du Sud-ouest du domaine (Figure V-10-b). Elle explique 12.9% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief variable entre 300 et 1200m et une pluviométrie moyenne d'importance moyenne entre 300 et 500mm/an et un coefficient de variation allant de 37 à 56%.

L'Analyse des chroniques temporelles relatives à cette composante (Figure V-11-b) a montré que cette partie du domaine d'étude a connu sur la période 1936-2008 un long épisode humide s'étalant de 1936 à 1974, entrecoupé de quelques années sèches : 1956, 1966, 1967 et d'un long épisode sec s'étalant de 1974 à 2008, entrecoupé de quelques années humides : 1995 et 2008. Cette tendance à la décroissance est appréciable avec un coefficient de détermination égal à 0.13. Ce qui rejoint l'étude chronologique; les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la baisse avec un taux moyen donné par le test d'Hubert appréciable de 52%, soit elles sont stationnaires à l'échelle de la saison d'hiver.

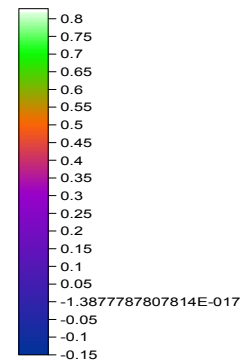
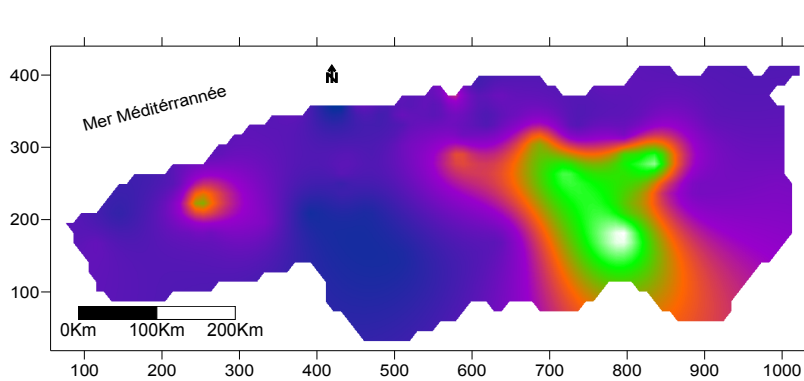
CP 1



CP 2



CP 3



CP 4

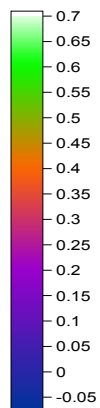
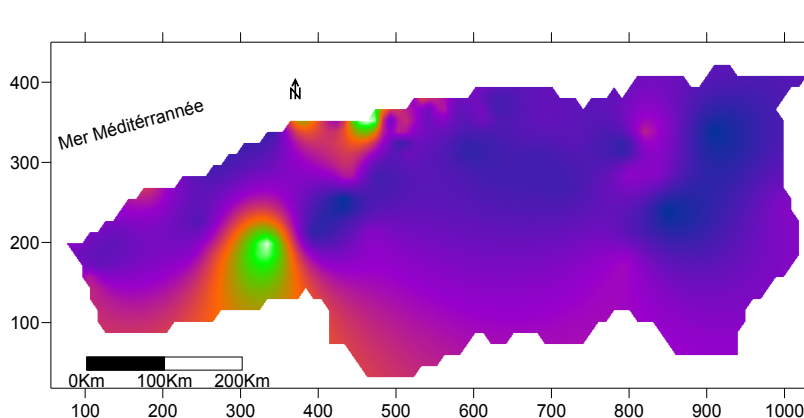


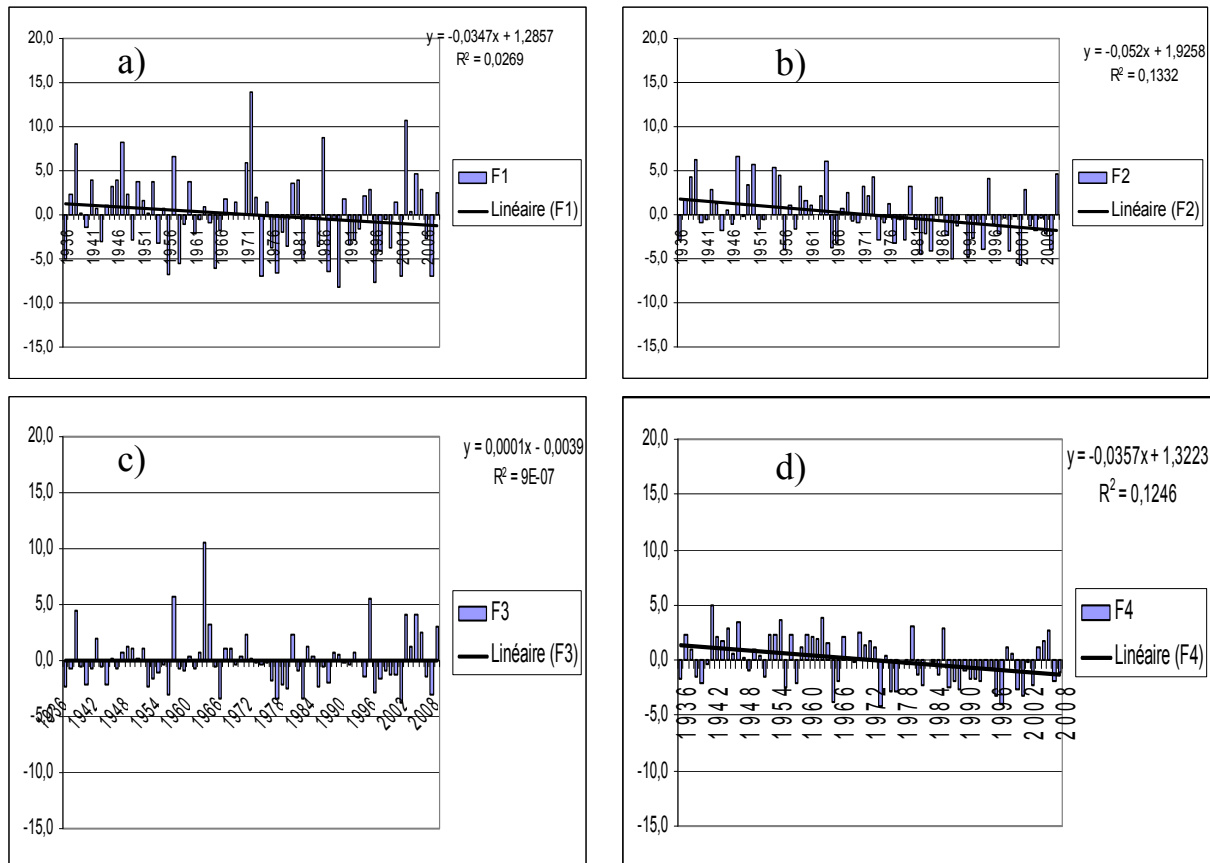
Figure V-10. Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations saisonnières - Hiver

La troisième composante caractérise la région Est du domaine d'étude sans le littoral ; qui est constituée des hautes plaines de l'Est et les montagnes et collines de l'Est de l'Atlas tellien (Figure V-10-c). Elle explique 8.18% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief variable entre 200 et 1200m et une pluviométrie moyenne d'importance moyenne entre 200 et 6500mm/an et un coefficient de variation variant de 36 à 109%.

La chronique temporelle associée à cette composante (Figure V-11-c) a mis en évidence une alternance d'épisodes secs et humides. Les stations corrélées à cette composante sont stationnaires vu l'allure du graphe représentant cette chronique et le coefficient de détermination qui est proche de zéro. Ce qui rejoint l'étude chronologique car tous les tests ont montré que dans cette région les séries pluviométriques sont stationnaires, ce qui prouve que cette composante représente une région à régime pluviométrique stationnaire.

La quatrième composante caractérise une petite partie du littoral Ouest (Figure V-10-d). Cette composante explique 6.5% de la variance totale. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un faible relief variable entre 5 et 30m et une pluviométrie moyenne relativement importante entre 500 et 700mm/an ainsi qu'un coefficient de variation allant de 38 à 44%.

L'Analyse des chroniques temporelles relatives à cette composante (Figure V-11-d) a montré que cette partie du domaine d'étude a connu sur la période 1936-2008 un long épisode humide s'étalant de 1936 à 1974, entrecoupé de quelques années sèches : 1941, 1956, 1965, 1966 et 1967 ainsi que d'un long épisode sec s'étalant de 1974 à 2002, entrecoupé de quelques années humides : 1980, 1986 et 2001. Deux autres courts épisodes ont aussi suivi : l'un humide de 2002 à 2006 et l'autre sec de 2006 à 2008. Cette tendance à la décroissance est appréciable avec un coefficient de détermination égal à 0.124. Ce qui rejoint l'étude temporelle ; les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la baisse soit elles sont stationnaires à l'échelle de la saison d'hiver.

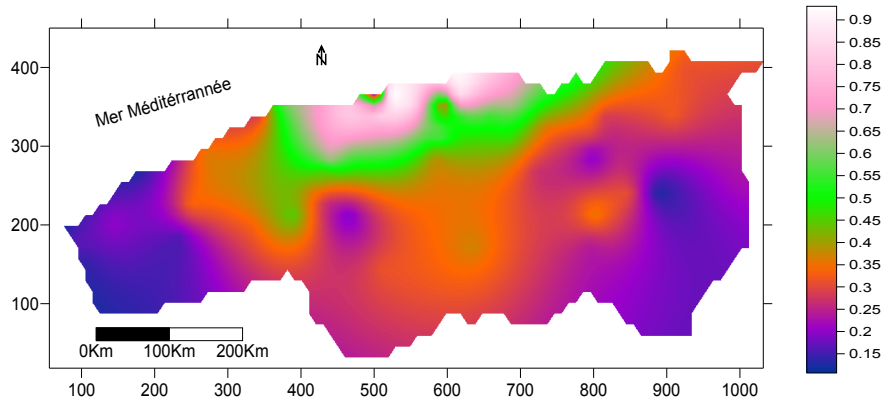


**Figure V-11** Chroniques temporelles des quatre composantes principales après rotation VARIMAX des précipitations saisonnières : Saison hiver.

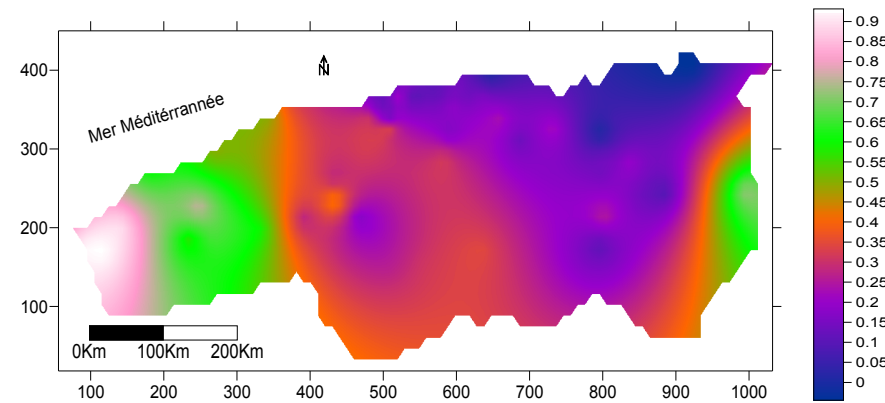
**La Saison de printemps: (mars-mai)**

Nous avons retenu les quatre premières composantes expliquant 60.8% de la variance. La première composante explique 28.37% de la variance. Elle illustre la partie Nord centre du domaine (plaines littorales centre et la partie centre de l'Atlas Tellien) (Figure V-12-a). Les stations corrélées à cette composante sont caractérisées par un relief variable de 30 à 1200m et une pluviométrie moyenne importante entre 400 et 1200mm/an avec un coefficient de variation allant de 42 à 61%.

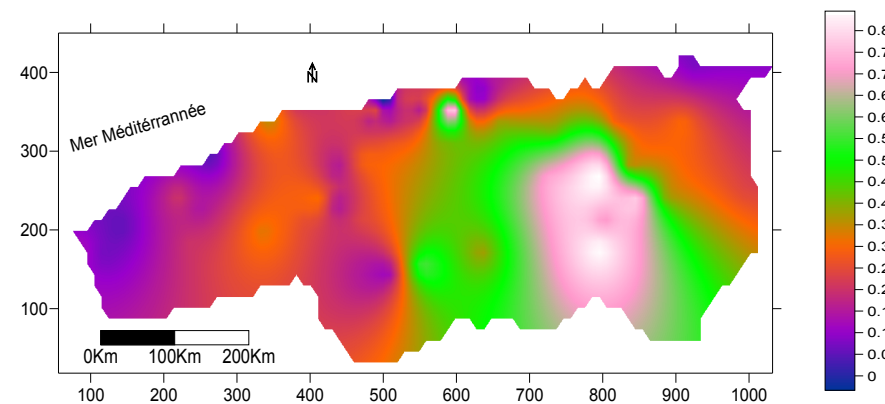
CP 1



CP 2



CP 3



CP 4

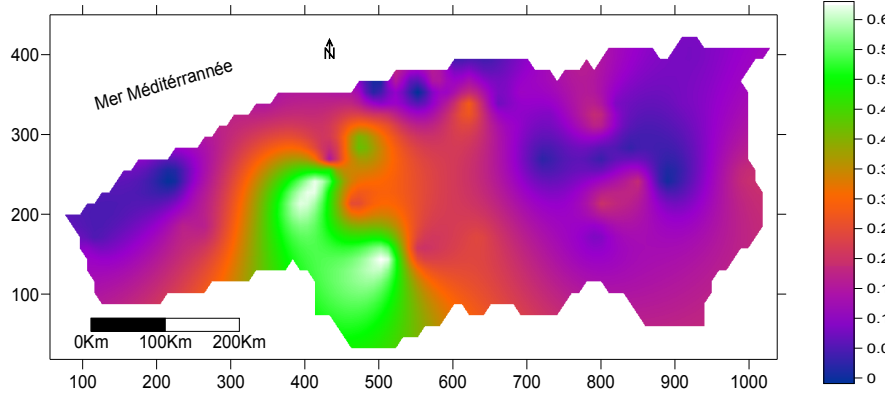


Figure V-12. Analyse en Composantes principales avec rotation des précipitations saisonnières - Printemps

L'analyse des chroniques temporelles relatives à cette première composante (Figure V-13-a) a montré que le Nord centre du domaine d'étude a connu sur la période 1936-2008 une alternance d'épisodes humides et d'épisodes secs suivis d'un long épisode sec qui a commencé en 1981 qui s'est prolongé jusqu'à 2008, entrecoupé par quelques années pluvieuses : 1981, 1995, 1997 et 2006. Cette tendance à la baisse est relativement faible avec un coefficient de détermination égal à 0.002. Ce résultat indique que les stations corrélées à cette composante sont stationnaires. Ce résultat rejoint ceux de l'étude chronologique car tous les tests ont montré que, dans cette région, les séries pluviométriques sont stationnaires, ce qui prouve que cette composante représente une région à régime pluviométrique stationnaire, à l'exception de la station (030301) Jijel qui a connu une hausse de 51.4% et la station (010901) Sougueur qui a connu une baisse de 27%.

La deuxième composante explique 15.37% de la variance totale. Elle représente l'Ouest du domaine d'étude qui est en l'occurrence la partie Ouest de l'Atlas tellien et les plateaux du Sud-ouest du domaine (Figure V-12-b). Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief variable entre 300 et 1200m et une pluviométrie moyenne d'importance moyenne entre 300 et 500mm/an avec un coefficient de variation entre 44 et 70%.

L'analyse des chroniques temporelles relatives à cette composante (Figure V-13-b) a montré que cette partie du domaine d'étude a connu sur la période 1936-2008 un long épisode humide s'étalant de 1936 à 1976, entrecoupé de quelques années sèches : 1946, 1955 et 1956, suivi d'un long épisode sec s'étalant de 1976 à 2008, entrecoupé d'une année humide : 1991. Cette tendance à la décroissance est relativement appréciable avec un coefficient de détermination égal à 0.06. Ce qui rejoint aussi l'étude chronologique : les stations corrélées à cette composante ont soit enregistré une tendance à la baisse avec un taux moyen donné par le test d'Hubert appréciable à 49%, soit elles se sont révélées stationnaires.

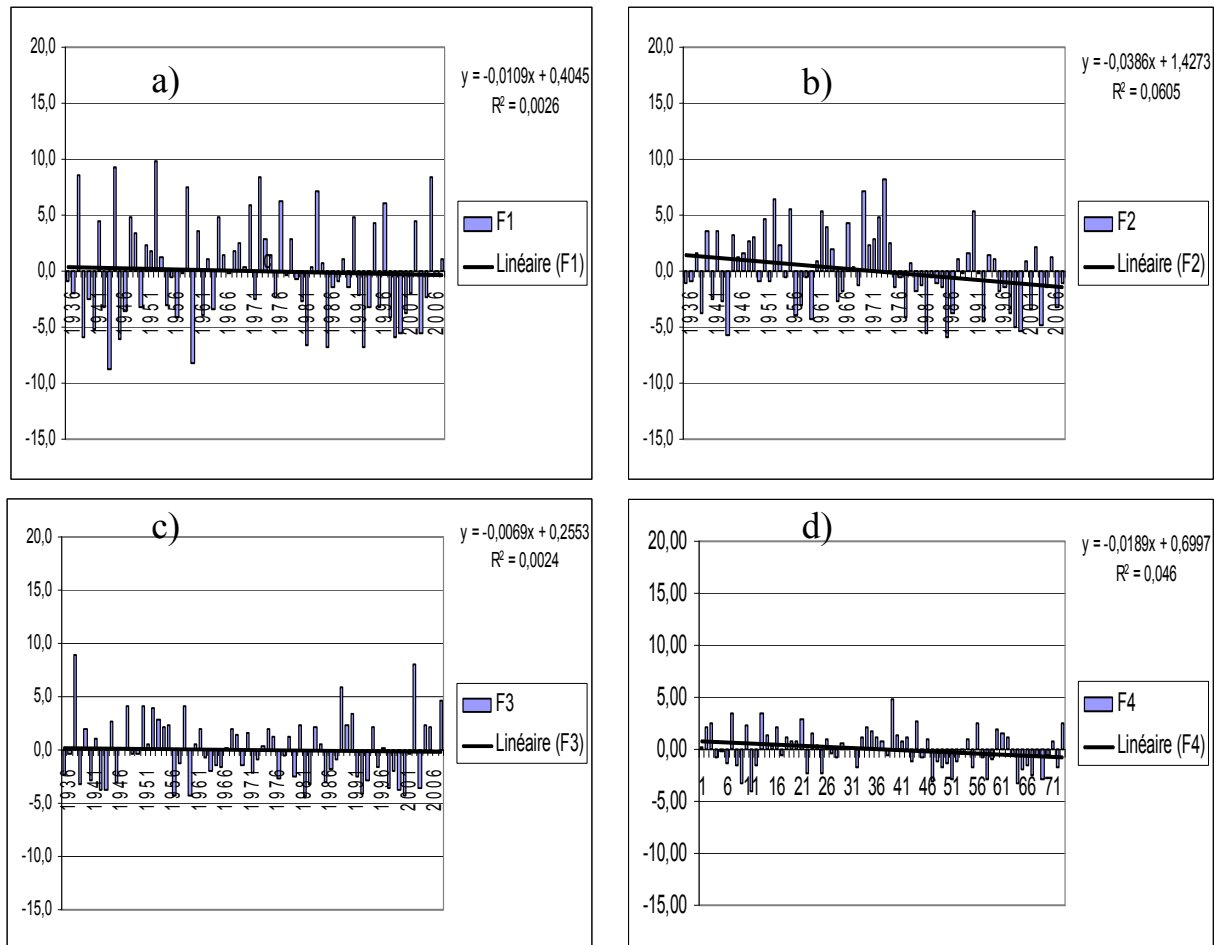
La troisième composante caractérise la région du Centre et Est du domaine d'étude (Figure V-12-c) ; elle explique 12.19% de la variance totale. Cette région est constituée des hautes plaines de l'Est et les montagnes et collines de l'Est de l'Atlas tellien. Les stations les plus corrélées à cette composante sont caractérisées par un fort relief avec des altitudes variant entre 300 et 1200m et une pluviométrie d'importance moyenne entre 200 et 650mm/an et un coefficient de variation allant de 44 à 65%.

---

La chronique temporelle associée à cette composante (Figure V-13-c) a montré une alternance d'épisodes humides et d'épisodes secs jusqu'à la fin de la période d'observation (2008). Cette chronique ne présente pas de tendance à la baisse, avec un coefficient de détermination très faible de 0.0024. Ce qui indique que les stations corrélées à cette composante sont stationnaires. Ceci rejoint l'étude chronologique car tous les tests ont montré que dans cette région les séries pluviométriques sont stationnaires, ce qui prouve que cette composante représente une région à régime pluviométrique stationnaire.

La quatrième composante caractérise une partie du centre du domaine d'étude notamment le bas Cheliff qui est constituée de montagnes et des collines de l'Atlas Tellien (Figure V-12-d). Elle explique 4.86% de la variance. La région est caractérisée par des hautes altitudes allant de 800m à 1200m et une pluviométrie d'importance moyenne de 350 à 550mm/an et un coefficient de variation allant de 42 à 65%.

L'analyse des chroniques temporelles relatives à cette composante (Figure V-13-d) a montré que cette partie du domaine d'étude a connu sur la période 1936-2008 un long épisode humide s'étalant de 1936 à 1984, suivi d'un long épisode sec s'étalant de 1984 à 2008 entrecoupé d'une année humide. Cette tendance à la décroissance est relativement faible avec un coefficient de détermination relativement faible égal à 0.04. Ce résultat rejoint l'étude temporelle. Les stations corrélées à cette composante ont enregistré d'après l'analyse temporelle une légère décroissance avec un taux moyen de 32%.



**Figure V-13** Chroniques temporelles des quatre composantes principales après rotation VARIMAX des précipitations saisonnières : saison Printemps.

Les résultats de l'analyse spatio-temporelle des précipitations annuelles et saisonnières par l'analyse en composantes a permis de déduire les résultats suivants :

L'ACP avec rotation des axes factoriels permet une meilleure régionalisation des précipitations et de dégager des comportements physiques significatifs.

Tout le domaine d'étude a été touché à l'échelle annuelle par une décroissance de la pluviométrie à partir des années 70, à l'exception d'une partie du Centre du domaine, précisément le Nord du Cheliff.

Cependant, le déficit pluviométrique a commencé plutôt à l'Est mais de manière moins prononcée que dans les autres régions. Ceci est dû à un rétablissement du régime pluviométrique dans cette région à partir de 2001, ce qui est en accord avec les résultats obtenus par l'étude temporelle par les tests de tendances qui ont révélé qu'un bon nombre de stations situées à l'Est ont connu une tendance à la croissance à partir de 2001.

A l'échelle saisonnière, nous retrouvons dans l'ensemble la même partition spatiale qu'à l'échelle annuelle et d'une saison à l'autre.

Durant la saison d'automne, aucune variabilité temporelle significative du régime pluviométrique n'a été observée dans tout le domaine d'étude, excepté dans le Nord-centre où on a enregistré une légère décroissance.

En ce qui concerne la saison d'hiver, à l'exception de la région Est, tout le domaine d'étude a été touché par la diminution du régime pluviométrique au milieu des années 70. Le déficit pluviométrique en hiver a été plus important à l'Ouest de la zone d'étude surtout pendant les 4 dernières décennies.

Pour la saison de printemps, à l'exception de la région Est, tout le domaine d'étude a connu une diminution du régime pluviométrique, en particulier la région Ouest.

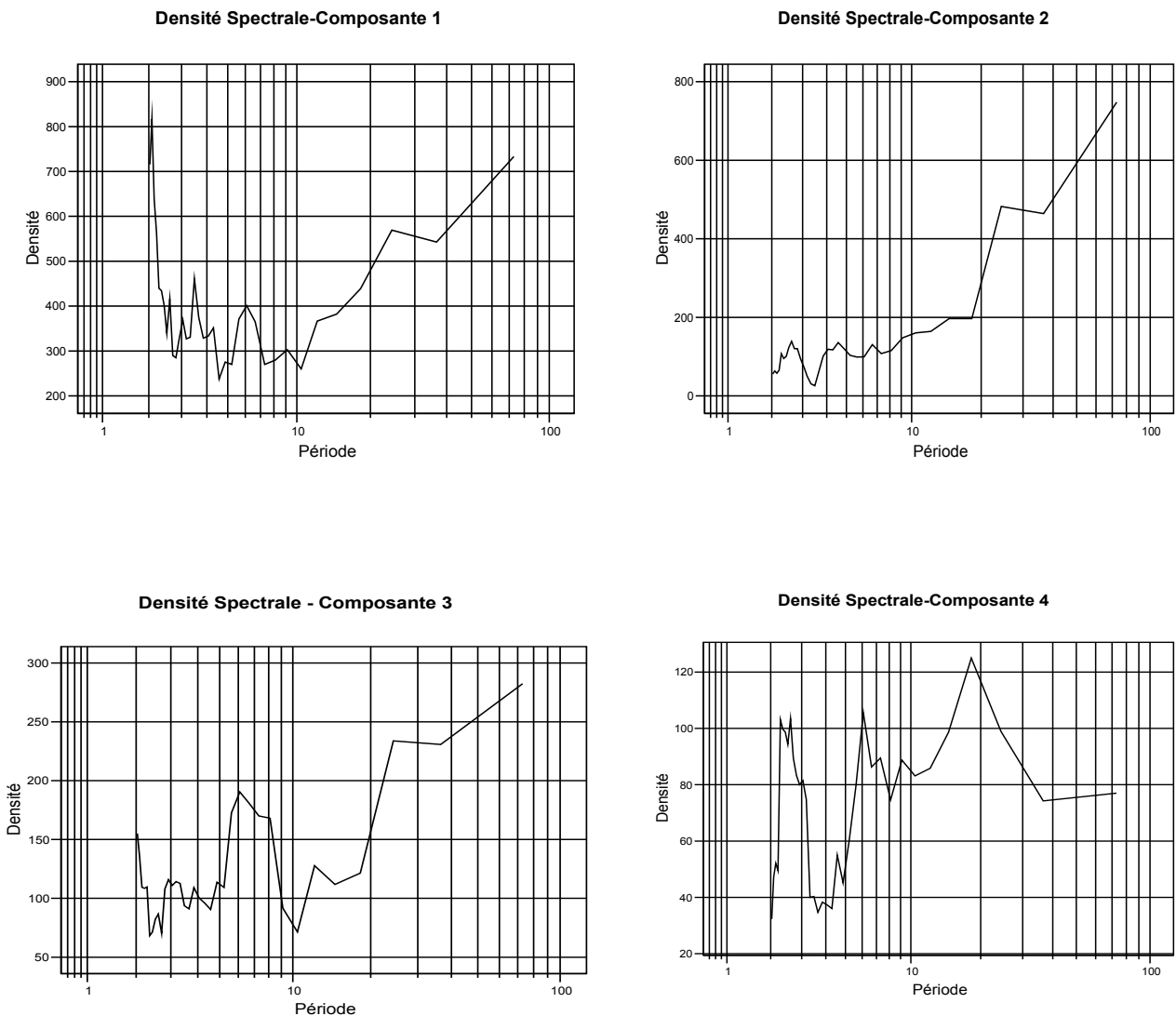
Le printemps reproduit le même comportement spatio-temporel pluviométrique que celui de l'hiver, mais il présente cependant, une diminution moins accentuée.

La région Est, a été la région la moins touchée par le déficit pluviométrique à l'échelle annuelle et saisonnière.

### **V-3 Interprétation de l'Analyse Spectrale : Recherche de périodicités**

La procédure d'analyse spectrale permet d'identifier le comportement périodique des séries chronologiques. Nous avons effectué une analyse spectrale sur les chroniques temporelles des composantes principales des séries pluviométriques à l'échelle annuelle et saisonnière. Ainsi, nous avons déterminé la densité spectrale des chroniques temporelles des composantes principales des séries pluviométriques à l'échelle annuelle et saisonnière.

Les graphes suivants représentent les densités spectrales (périodogrammes) d'amplitude spectrale sur une échelle logarithmique par rapport à une période (année).

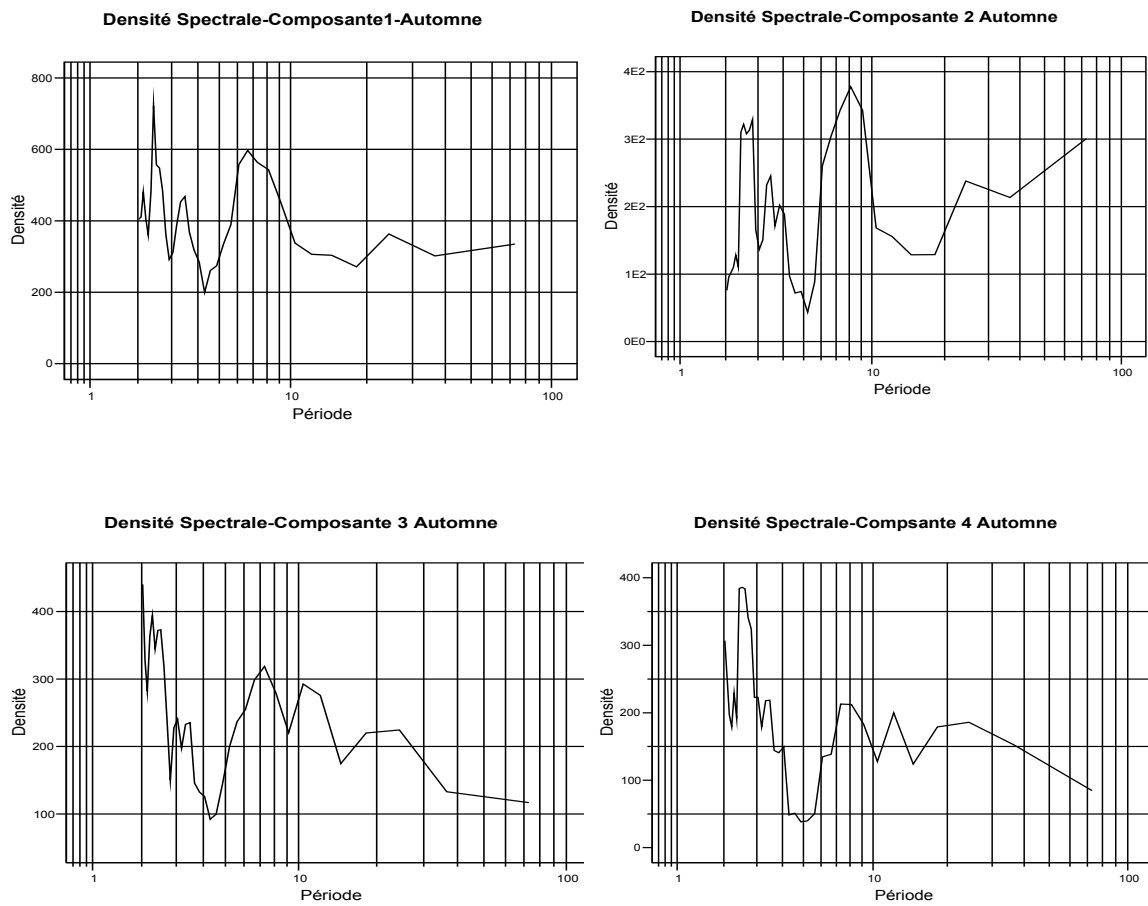


**Figure V-14** Résultats de l'analyse spectrale des chroniques temporelles des quatre composantes principales annuelles

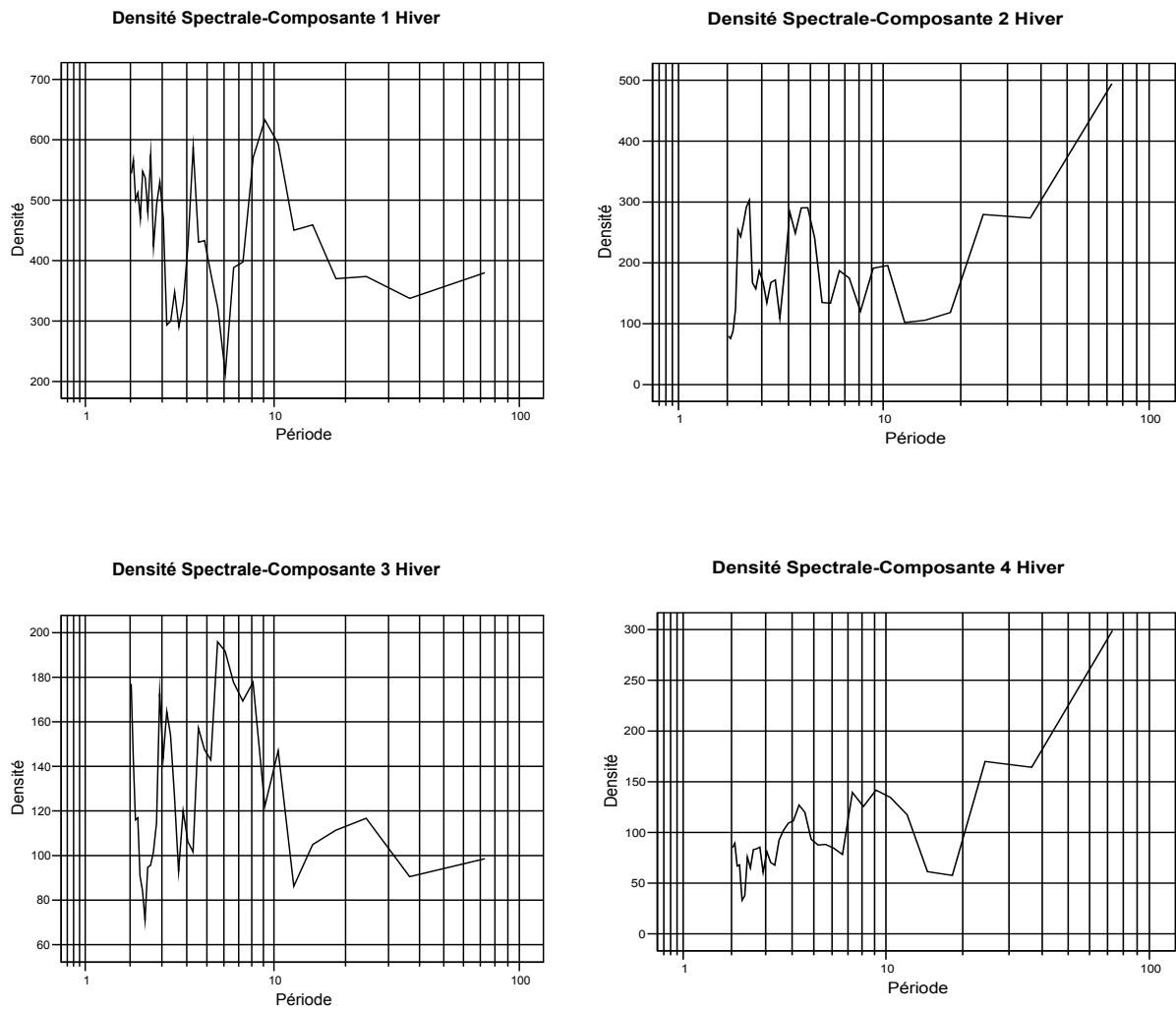
D'après les figures (V-14, V-15, V-16, V-17), illustrant les densités spectrales des composantes 1, 2, 3 et 4 des séries pluviométriques à l'échelle annuelle et saisonnière :

- Le Nord se caractérise par une périodicité de 2ans à l'échelle annuelle et saisonnière, sauf pour la saison d'hiver qui a enregistré une périodicité de 9 ans ;
- Quant à l'Ouest, une périodicité de 24 ans a été observée à l'échelle annuelle, hivernale et printanière, excepté pour la saison d'automne qui a connu une périodicité de 8 ans ;

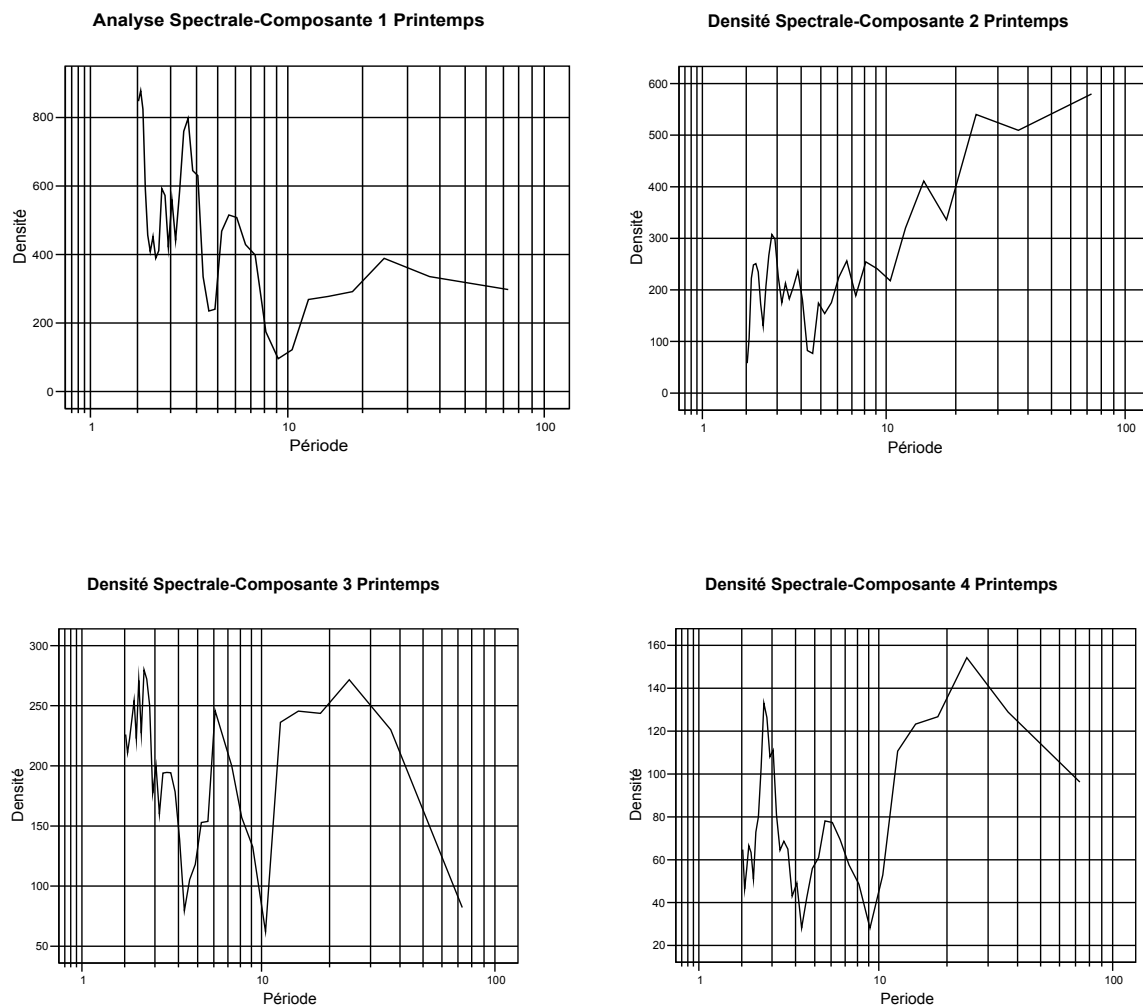
- Alors qu'à l'Est, une périodicité de 24 ans a été enregistrée à l'échelle annuelle. Une périodicité de 2 ans a été observée durant la saison d'automne et de printemps et une autre périodicité de 8 ans a été détectée pour la saison d'hiver.



**Figure V-15** Courbes des densités spectrales des chroniques temporelles des quatre composantes principales de la saison d'automne.



**Figure V-16** Courbes des densités spectrales des chroniques temporelles des quatre composantes principales de la saison d'hiver.



**Figure V-17.** Résultats de l'analyse spectrale des chroniques temporelles des quatre premières composantes principales de la saison du printemps.

Une périodicité de 2ans a été observée au Nord du domaine (plaines littorales et les versants Nord de l'atlas Tellien) à l'échelle annuelle et saisonnière, excepté pour la saison d'l'hiver qui a connu une périodicité de 9 ans. Une autre périodicité de 24 ans a été observée à l'échelle annuelle sur tout le reste du domaine.

Une périodicité de 24 ans a été observée pendant la saison d'hiver et de printemps et qui a concerné l'Ouest du domaine d'étude. Ceci montre bien que ce sont les saisons d'hiver et de printemps qui influencent le plus le régime pluviométrique annuel. Ce résultat confirme la prédominance de ces deux saisons sur le régime pluviométrique annuel comme cela a déjà été montré par les deux précédentes études : temporelle et spatio-temporelles.

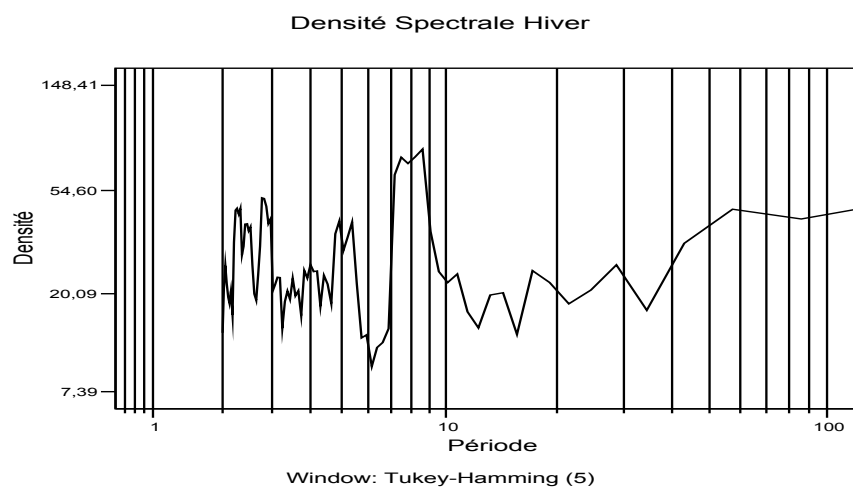
Les études temporelles et spatio-temporelles précédemment effectuées ont montré que l'Ouest est la région où le déficit pluviométrique est le plus important, ce résultat rejoint ceux trouvés par les études précédemment menés à l'Ouest par Medjrab(2005) ,Meddi et al(2007)et Meddi et al (2013) qui ont abouti à une mise en évidence d'une décroissance de la pluviométrie dans la décennie 70.

L'analyse spectrale a montré que c'est dans cette même région que l'influence de l'hiver et du printemps sur le régime pluviométrique est la plus évidente.

A l'issue de cette analyse, une question se pose par elle-même : pourquoi la saison d'hiver s'est-elle distinguée des autres saisons avec une périodicité différente dans la partie Nord littorale du domaine d'étude ? Pour répondre à cette question, nous avons effectué une analyse spectrale de l'Oscillation Nord Atlantique hivernale.

La figure V-18 montre l'évolution temporelle de l'indice NAO hivernal. Nous constatons que le NAO hivernal a enregistré une périodicité de 9 ans similaire à la périodicité de l'évolution temporelle des précipitations hivernales. Ce résultat prouve que c'est l'Oscillation Nord Atlantique qui influe sur le régime pluviométrique et qu'elle a plus d'influence pendant l'hiver. Ce qui rejoint les résultats obtenus par l'étude réalisée en Espagne (Lopez et al, 2010).

Ce résultat montre aussi que cette oscillation exerce son influence surtout sur le Nord littoral du domaine d'étude.



**Figure V-18.** Courbe de la densité spectrale de l'indice climatique NAO de la saison d'hiver

#### V-4 Relation entre la pluviométrie dans le Nord Algérien et l'oscillation Nord Atlantique

Nous avons jugé utile d'analyser l'oscillation Nord Atlantique pour faire le point sur la nature de la relation entre elle et le comportement pluviométrique dans le Nord algérien. En effet, plusieurs études, telles que : (Xoplaki et al. 2004 ; Trigo et al, 2000, 2008 ; Combouriou Nebout et al, 2009 ; Lamb et Pepler, 1991 ; Khaldi, 2005 ; Meddi et al, 2010 ; Brandimarte et al. 2011) ont montré que l'influence de cette oscillation s'étend sur l'Afrique du Nord et d'autres régions du monde comme l'Europe et le bassin méditerranéen.

Selon le GIEC (GIEC, 2007), les climats de l'Afrique du Nord dépendent de l'oscillation Nord Atlantique (l'Afrique orientale et australe, sont sous influence forte de ENSO), et ceux de l'Afrique de l'Ouest de la température de surface de l'océan atlantique, de la dynamique de l'atmosphère et d'effets de surface.

Plusieurs études mettent en évidence l'absence d'une corrélation significative d'El Niño sur le bassin méditerranéen (Ricard, 2000).

L'indice de l'oscillation Nord-Atlantique est défini comme la différence entre les anomalies de pressions normalisées à Lisbonne (Açores) et Reykjavik (Islande). Il se ramène ainsi à un chiffre compris entre  $-5$  et  $+5$  : quand cet indice est positif, la différence de pression est maximale, les hautes et les basses pressions sont accentuées. Un indice négatif correspond, au contraire, à un anticyclone des Açores et une dépression islandaise faible. Ces deux états de l'oscillation Nord-Atlantique correspondent aux deux grands types de climats hivernaux ; Un indice NAO positif avec ses pressions hautes aux Açores et basse en Islande se manifeste par des vents forts et rapides d'Ouest-Sud-Ouest balayant l'océan atlantique. Il engendre des tempêtes et des précipitations fréquentes sur le Nord de l'Europe et des sécheresses sur l'Afrique du Nord.

Quand l'indice NAO est négatif, ces effets sont inversés. Avec une différence de pression réduite entre le Portugal et l'Islande, les vents d'Ouest sont faibles et les perturbations s'engouffrent plus au Sud, apportant des pluies sur les régions méditerranéennes (Khaldi, 2005).

Du point de vue climatique, la région méditerranéenne constitue une zone de transition entre les climats semi-arides (le Sud du bassin) et les climats tempérés (le Nord du bassin),

sous l'influence des circulations synoptiques des latitudes moyennes et de la variabilité climatique tropicale, particulièrement durant la période hivernale (en été, du fait de la progression vers le Nord de l'anticyclone des Açores, la région méditerranéenne est plus isolée et largement sous l'influence de circulations atmosphériques locales). Au Nord une grande partie de la variabilité atmosphérique est sous l'influence de flux atmosphériques d'Ouest contrôlés par les positions respectives de l'anticyclone des Açores et de la dépression d'Islande et modulée par l'intensité et la phase de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO).

**V-4-1 Analyse de la relation entre la pluviométrie et l'indice NAO :**

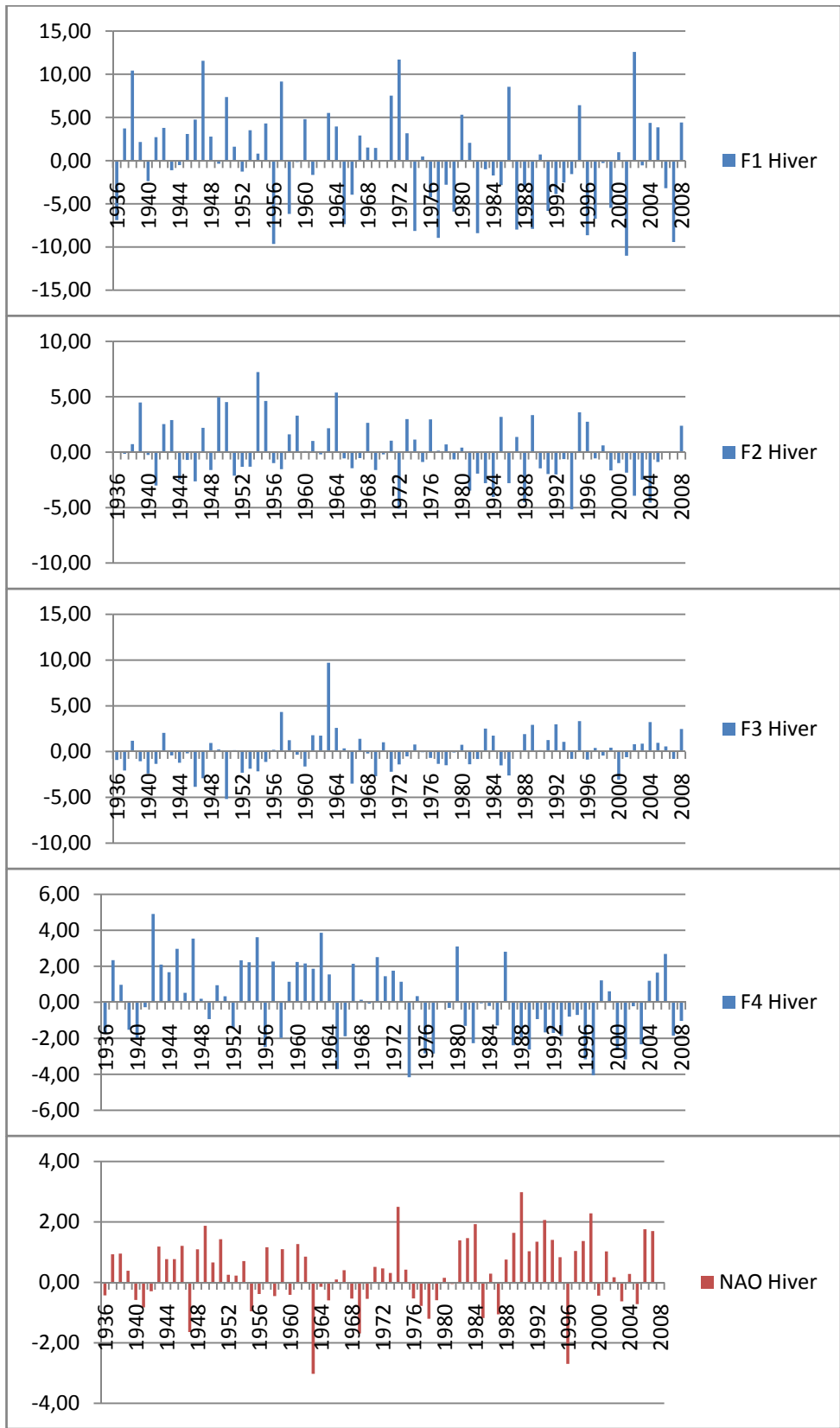
Nous tenterons de rechercher une éventuelle relation entre le régime pluviométrique et l'indice NAO. Pour cela nous effectuerons cette analyse à l'échelle hivernale car cette oscillation est plus influente pendant la saison d'hiver, comme cela a été montré précédemment par l'analyse spectrale.

Pour tenir compte de l'analyse régionale détaillée précédemment, nous avons utilisé, comme variable régionale de la pluviométrie, les chroniques temporelles issues de l'Analyse en Composantes Principales à l'échelle hivernale de la pluviométrie avec l'indice d'oscillation Nord Atlantique hivernal. Les données de l'indice mensuel correspondant à l'Oscillation Nord Atlantique ont été calculées par Hurrell jusqu'à 2000 et complétées par Osborn jusqu'à l'année 2014. Toutes ces données sont gratuitement téléchargeables sur le site dont le lien est : <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/>. Nous avons ensuite calculé les indices moyens hivernaux.

La figure (V-19) montre l'évolution de l'indice climatique hivernal et des quatre composantes principales des précipitations de la saison d'hiver. Cette figure montre que le NAO a connu de 1936 à 1948 une alternance de petits épisodes positifs et négatifs. Une forte hausse de cet indice s'est produite à partir de 1974. Au cours des 25 dernières années, il est resté dans une phase positive et a tendance à augmenter.

En consultant les chroniques temporelles relatives aux composantes de la saison d'hiver, on remarque que l'année 1974, correspondant à la hausse de l'indice NAO coïncide avec l'année du commencement de la diminution de la pluviométrie. Ce résultat a été constaté au Nord et à l'Ouest du domaine d'étude. La diminution des précipitations hivernales durant les quatre dernières décennies sont liées à la phase positive et persistante de l'Oscillation Nord Atlantique.

On peut donc conclure que la baisse du régime pluviométrique enregistrée au Nord et à l'Ouest du domaine d'étude est causée par la prédominance de l'Oscillation Nord Atlantique. Ce résultat rejoint celui des études menées dans le bassin méditerranéen et en Afrique du Nord (Xoplaki et al. 2004 ; Trigo et al, 2000, 2008 ; Combouriou Nebout et al, 2009 ; Lamb et Pepler, 1991 ; Khaldi, 2005 ; Brandimarte et al. 2011).



**Figure V-19.** Evolution temporelle de l'indice climatique hivernal et des chroniques temporelles des quatre composantes principales de la saison d'Hiver.

**V-5 Conclusion :**

L'analyse de la variabilité temporelle des séries pluviométriques par les tests statistiques à l'échelle annuelle et saisonnière a montré que le Nord Algérien a connu des variations importantes des précipitations. En effet, le régime pluviométrique a connu une décroissance à partir du début des années 70. Ce résultat est en accord avec ceux trouvés par d'autres études réalisées dans diverses régions du bassin méditerranéen et de l'Afrique du Nord. (Medjrab(2005) ,Meddi et al(2007)et Meddi et al (2013) ,Caleiro et al, 2009 ; Caleiro et al, 2015 ; Xoplaki et al, 2000 ; Homar et al,2010 ; Sergio et al, 2006 ; Shaban et al, 2009 ; Benassi M, 2008 ; Nouaceur et al, 2009 ;Paturel, 2004 ; Funk et al, 2011 ; Funk et al, 2012 ;Kingumbi et al, 2000,).

A l'échelle saisonnière, la saison la plus touchée par la baisse de la pluviométrie est la saison d'hiver où la diminution de la pluviométrie a touché tout le centre et une grande partie de l'Ouest, et le printemps où la diminution de la pluviométrie n'a concerné que l'Ouest mais plus sévèrement.

La région la plus concernée par la baisse du régime pluviométrique est l'Ouest du domaine d'étude. En se basant sur la carte des étages bioclimatiques, on voit bien que la région Ouest est située dans une zone aride à semi-aride. Donc la diminution de la pluviométrie a touché les régions arides et semi-arides situées à l'Ouest du domaine à l'échelle annuelle et saisonnière. Ces régions couvrent une partie des montagnes et collines Ouest de l'Atlas tellien au Nord et au Sud les Hauts Plateaux Ouest. Cette situation géographique les met à l'abri des influences maritimes provenant de la méditerranée et de l'océan Atlantique.

A l'échelle annuelle, l'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations par l'analyse en composantes principales avec rotation des axes a identifié trois grandes régions qui présentent un comportement pluviométrique différent au long de la période 1936-2008 : Le Nord du domaine couvrant les plaines littorales et les versants Nord de l'Atlas Tellien, la région Ouest englobant l'Ouest de l'Atlas Tellien, les hautes plaines de l'Ouest et la région Est contenant les hautes plaines de l'Est, l'Est de l'Atlas Tellien au Nord et l'Est de l'Atlas Saharien au Sud. Cette répartition met en évidence que la situation géographique, le relief et

l'orientation des versants jouent un rôle dans la répartition des précipitations d'Ouest en Est et du Nord au Sud.

Tout le domaine d'étude a été touché à l'échelle annuelle par une décroissance de la pluviométrie à partir des années 70 à l'exception d'une partie du centre du domaine, précisément le Nord du Cheliff.

Cependant le déficit pluviométrique a commencé plutôt à l'Est mais de manière moins prononcée que dans les autres régions. Ceci est dû à un rétablissement du régime pluviométrique dans cette région à partir de 2001. Ce qui est en accord avec les résultats obtenus par l'étude temporelle par les tests de tendances qui ont révélé qu'un bon nombre de stations situées à l'Est a connu une tendance à la croissance à partir de 2001.

L'étude de la variabilité saisonnière a été nécessaire pour voir l'influence des saisons sur le comportement pluviométrique annuel. Les saisons les plus touchées par la baisse de la pluviométrie sont les saisons d'hiver et de printemps. On peut conclure que la tendance à la baisse de la pluviométrie dans notre domaine d'étude durant les quatre dernières décennies est principalement due à une baisse des pluies d'hiver et de printemps qui ont conditionné le comportement pluviométrique annuel, ce qui est en accord avec les résultats de l'analyse statistique temporelle par les tests de tendance.

D'après l'analyse en composantes principales avec rotation, la région la plus concernée par la baisse du régime pluviométrique est l'Ouest du domaine d'étude qui a enregistré un coefficient de détermination le plus faible. Les chroniques temporelles ont montré aussi une tendance à la baisse avec une rupture brutale, ceci a été constaté à l'échelle annuelle et saisonnière.

Une périodicité de 24 ans a été observée pendant la saison d'hiver et de printemps. Elle a concerné l'Ouest du domaine d'étude. Ceci montre bien que ce sont les saisons d'hiver et de printemps qui influencent le plus le régime pluviométrique annuel. Ce résultat confirme la prédominance de ces deux saisons sur le régime pluviométrique annuel comme cela a déjà été montré par les deux précédentes études : temporelle et spatio-temporelle.

La diminution des précipitations hivernales durant les quatre dernières décennies sont liées à la phase positive et persistante de l'Oscillation Nord Atlantique. Ce résultat conforte ceux émanant des études menées par Taibi et al.(2015) précisant que les pluies saisonnières dans l'Algérie du Nord sont influencées par l'oscillation méditerranéenne alors que la région Ouest est affectée par l'oscillation atlantique.

Une étude effectuée par Meddi et al.(2010) a montré que le déclin de la pluviométrie annuelle enregistré sur le Nord-Ouest algérien est dû à une corrélation négative avec le Niño et à un degré moindre avec le NAO.

On peut donc conclure que la baisse du régime pluviométrique hivernal enregistrée au Nord et à l'Ouest du domaine d'étude est causée par la prédominance de l'Oscillation Nord Atlantique.

# CONCLUSION GENERALE

---

### CONCLUSION GENERALE

L'étude de la pluviométrie, utilisant des outils statistiques et cartographiques, permet de faire plusieurs constats. Dans ce travail, nous avons utilisé un ensemble de séries d'observations de précipitations à l'échelle mensuelle, afin de caractériser la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie sur le Nord algérien et de trouver une explication aux variations en recherchant d'éventuelles connexions avec un indice de circulation atmosphérique. Les données utilisées ont été choisies parmi les plus longues possibles afin de tirer des conclusions adéquates du point de vue temporel, ceci nous a conduits à limiter le nombre de postes pluviométriques.

Dans cette étude une analyse de la tendance du régime pluviométrique du Nord de l'Algérie a été effectuée à travers les cumuls des précipitations annuelles et saisonnières sur une période de soixante-douze ans. Pour cela, différentes méthodes ont été utilisées, entre autre, les tests de tendance et de rupture, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse spectrale.

L'analyse de la variabilité temporelle des séries pluviométriques par les tests statistiques à l'échelle annuelle et saisonnière a montré que le Nord algérien a connu des variations importantes des précipitations. En effet, le régime pluviométrique a connu une décroissance à partir du début des années 70.

A l'échelle saisonnière, la saison la plus touchée par la baisse de la pluviométrie est la saison d'hiver, où la diminution de la pluviométrie a touché tout le Centre et une grande partie de l'Ouest. La saison correspondant au printemps a été aussi concernée par la diminution de la pluviométrie ; cependant, cette dernière n'a touché que la partie Ouest de la zone d'étude et ce plus sévèrement, avec des déficits plus importants.

La région la plus concernée par la baisse du régime pluviométrique est l'Ouest du domaine d'étude. La diminution de la pluviométrie a touché aussi les régions arides et semi-arides situées à l'Ouest du domaine d'étude, à l'échelle annuelle et saisonnière. Ces régions couvrent une partie des montages et collines situées à l'Ouest de l'Atlas tellien au Nord et les Hauts Plateaux Ouest au Sud. Cette situation géographique les met à l'abri des influences maritimes provenant de la méditerranée et de l'océan Atlantique.

Pour étudier le régime pluviométrique à l'échelle spatio-temporelle, nous avons effectué une ACP sans rotation et une ACP avec rotation des axes factoriels. Nous avons retenu la deuxième méthode car elle a permis une meilleure régionalisation des précipitations. L'analyse a été réalisée pour les deux échelles de temps annuelle et saisonnière.

A l'échelle annuelle et saisonnière, l'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations, par l'analyse en composantes principales avec rotation des axes, a identifié, à l'échelle spatiale, trois grandes régions qui présentent des comportements pluviométriques différents le long de la période 1936-2008 : le Nord du domaine couvrant les plaines littorales et les versants Nord de l'Atlas Tellien, la région Ouest englobant l'Ouest de l'Atlas Tellien, les hautes plaines de l'Ouest et la région Est contenant les hautes plaines de l'Est et l'Est de l'Atlas Tellien au Nord et l'Est de l'Atlas Saharien au Sud .

L'analyse en composantes principales avec rotation a confirmé les résultats de l'analyse temporelle avec les tests de rupture. Tout le domaine d'étude a été touché par une décroissance de la pluviométrie à partir des années 70 à l'exception d'une partie du centre du domaine, précisément le Nord du Cheliff.

L'étude de la variabilité saisonnière est nécessaire pour voir l'influence des saisons sur le comportement pluviométrique annuel. Nous pouvons donc conclure que la tendance à la baisse de la pluviométrie dans le domaine d'étude durant les quatre dernières décennies est principalement due à une baisse des pluies d'hiver et de printemps qui ont conditionné le comportement pluviométrique annuel.

A l'échelle saisonnière, les saisons les plus touchées par la baisse de la pluviométrie sont les saisons d'hiver et de printemps, où la diminution de la pluviométrie a touché tout le domaine d'étude à l'exception de la région Est. La région la plus concernée par la baisse du régime pluviométrique saisonnier est l'Ouest du domaine.

Du point de vue temporel, les résultats de l'ACP avec rotation sont en accord avec ceux de l'analyse temporelle avec les tests de rupture.

Une périodicité de 2ans a été observée au Nord du domaine (plaines littorales et les versants Nord de l'Atlas Tellien) à l'échelle annuelle et saisonnière, excepté pour la saison d'hiver qui a connu une périodicité de 9 ans. Une autre périodicité de 24 ans a été observée à l'échelle annuelle sur tout le reste du domaine.

L'analyse spectrale des composantes temporelles, issues de l'analyse en composantes principales pour les deux pas de temps annuel et saisonnier, a permis d'identifier des périodicités différentes d'une région à une autre. En effet, une périodicité de 24 ans a été observée pendant la saison d'hiver et de printemps et qui a concerné l'Ouest du domaine d'étude. Ce résultat montre bien que ce sont les saisons d'hiver et de printemps qui influencent le plus le régime pluviométrique annuel. Ce résultat confirme la prédominance de ces deux saisons sur le régime pluviométrique annuel, comme il a déjà été montré par les deux précédentes analyses : par les tests statistiques de tendance et de rupture et l'ACP.

Les études temporelles et spatio-temporelles précédemment effectuées ont montré que l'Ouest est la région où le déficit pluviométrique est le plus important. L'analyse spectrale a montré que c'est dans cette même région que la prédominance des deux saisons d'hiver et de printemps sur le régime pluviométrique est la plus évidente.

En outre, l'analyse spectrale a aussi montré que c'est l'Oscillation Nord Atlantique qui influe sur le régime pluviométrique et qu'elle a plus d'influence pendant l'hiver.

L'analyse de la relation entre le régime pluviométrique avec l'évolution temporelle de l'oscillation Nord Atlantique a montré que le déficit pluviométrique hivernal durant les quatre dernières décennies est lié à la phase positive et persistante du NAO, plus particulièrement dans les régions Nord et Ouest de la zone d'étude.

Globalement, il a été démontré que les dernières années (la dernière décennie utilisée dans cette étude : 2001-2008) sont caractérisées par une situation pluviométrique améliorée par rapport à celle des années 1970-1990). En effet, nous avons noté qu'une amorce d'une rémission pluviométrique a été observée pendant les dernières années. Cette constatation, démontrée dans notre analyse, est assez rassurante pour l'économie du pays d'une manière générale. Cependant, le principal résultat retenu, à partir de l'analyse fréquentielle, est que certaines régions du pays possèdent des cycles courts alors que d'autres ont plutôt des cycles plus longs. Ce qui nous conduit à dire que même si le régime pluviométrique entre dans un cycle humide, ceci n'est pas une garantie pour les régions à cycle court. Des études de prévisions hydrométéorologiques et de gestion des ressources en eau devraient prendre en considération ces résultats afin de réduire la vulnérabilité face aux risques naturels liés aux sécheresses et aux déficits pluviométriques et des conséquences désastreuses sur les conditions socio-économiques du pays.

# Références Bibliographiques

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aesawy AM, Hasanean HM. 1998. Annual and Seasonal Climatic Analysis of Surface air Temperature Variations at six Southern Mediterranean Stations. *Theoretical and Applied Climatology*, n° 61, p 55-68.

Aissani A, Petit F, Mabilie G, 1999. Analyse des débits de la Warche aux barrages de Butgenbach et de Robertville (Ardenne Belge). *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, n°36, p. 17-30.

Amraoui L, 2009. Évolution hivernale des températures de surface en relation avec les pressions atmosphériques et les vents de surface en Afrique du Nord-ouest et le proche océan pendant la période 1950-2008. *Geographia Technica*, Numéro spécial, p 41-46.

Amraoui L., Adama SARR M., SOTO D., 2011. Analyse rétrospective de l'évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest. *Géographie physique et environnement*, Vol 5, p 125-142.

Anctil F, Rousselle J, Lauzon N, 2005. *Hydrologie*. École polytechnique de Montréal, Presse polytechnique de Montréal, 287p.

ANRH, 2009. Impact des changements climatiques sur les ressources en eaux. Note de synthèse, 12p.

Assaba M, 2004. La connaissance des pluies mensuelles au service de la modélisation hydrologiques des apports mensuelles en eau de surface : Application à l'Algérie du Nord, au Sud de la France et à la Corse. Thèse de Doctorat, université de Nice, Sophia Antipolis, France, 399p.

Assessment of the Impact of Potential Climate Change on the Water Balance of a Semi-Arid Watershed. *Water Resource Manage*, n°23, p 2051-2068.

Beaulieu C, Ouarda TBMJ, Seidou O, 2007. Étude comparative de méthodes d'homogénéisation des séries de précipitations. Rapport de recherche, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Québec, 79p.

Benalaya A, Sebei H, De Troch F, Troch P, Ennabli N, 1994. Estimation des périodicités et de la tendance des températures moyennes mensuelles en Tunisie. *Journal des Sciences Hydrologiques*. Vol.39, n°6, p 593-603.

Benassi M, 2001. Drought and climate change in Morocco, Analysis of Precipitations Field and Water Supply. *Options Méditerranéennes*, série A, n°80, p 83-86.

Bennis S, 2007. *Hydraulique et hydrologie*. Université du Québec, école de technologie supérieure, Presse de l'université du Québec, 415p.

Berchtold A, 1998. Chaines de Markov et modèles de transition. Université de Genève, Lavoisier, p13-63.

Bergaoui Z, Kingumbi A, Bourges J, Hubert P et Kallel R, 2000. Étude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie Centrale, 8p.

Bois P., 1986. Contrôle des séries chronologiques corrélées par étude du cumul des résidus. Deuxièmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM, Montpellier, pp. 89-100.

Boucherf D, 2007. Variabilité et changement climatique en Algérie. Acte des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-arides, p. 109-124.

Boucherf D, 2010. Étude spatio-temporelle et prévision saisonnière des températures sur le Nord de l'Algérie. Thèse de magister, université USTHB, Alger, 144p.

Brandimarte L, Di Baldassarre G, Bruni G, and D'Odorico P, Montanari A, 2011. Relation between the North-Atlantic Oscillation and Hydroclimatic Conditions in Mediterranean Areas. *Water Resources Management*, 25:1269–1279. DOI 10.1007/s11269-010-9742-5.

Buffoni L, Maugeri M, Nanni, T, 1999. Precipitation in Italy from 1833 to 1996, *Theoretical And Applied Climatology* n°63, p 33-40.

Caloiero T, Coscarelli R, Ferrari E, and Sirangelo B, 2015. Analysis of Dry Spells in Southern Italy (Calabria), *Water*, 2015, 7, 3009-3023; doi:10.3390/w7063009,

Caloiero T, Coscarelli R, Ferrari E., Mancini M, 2011. Precipitation change in Southern Italy linked to global scale oscillation indexes. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11, 1683-1694, 2011.

Caloiero T, Coscarelli R, Ferrari E, and Mancini A, 2011. Trend Detection of Annual and Seasonal Rainfall in Calabria (Southern Italy). *International Journal of Climatology*, n° 31, p 44-56.

Camberlin, P, 1994. Les précipitations dans la corne orientale de l'Afrique : climatologie, variabilité et connexions avec quelques indicateurs océano-atmosphériques. Thèse de Doctorat, université de Bourgogne, 379p.

Cassou C, 2004. Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation Nord-atlantique. *Météorologie*, n°24, p. 21-32.

Changchun X, Yaning C, Weihong L, Yapeng C, 2006. Climate Change and Hydrologic Process Response in the Tarim, River Basin over the past 50 years. *Chinese Science*, vol. 51, p 25-36.

Chaouche K, Neppel L, Dieulin C, Pujol N, Ladouche B, Martin E, Salas D, Caballero Y, 2010. Analyse des variables précipitation, température et évapotranspiration en région méditerranéenne française dans contexte de changement climatique. *Comptes Rendus Géosciences*, n° 342, pp. 234-243.

Combourieu Nebout N, Bout-Roumazeilles V, Dormoy I, Peyron O, 2009. Science et Changements Planétaires, *Sécheresse*, n°2, vol. 20, p 210-216.

- Dechemi N, Ait Mouhoub D, Souag D, 2000. Contribution à l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien. Sécheresse, vol.11, n°1, p 5-10.
- Demmak A, Ould Amara A, 2001. La sécheresse en Algérie des années 1970/1990 et son impact sur les ressources en eau. Table ronde : sécheresse, changement climatique, désertification, 10p.
- Djabri L, Ghreib L, Zerrouki H, Setouh A. Les changements climatiques une réalité au niveau de la région de Tebessa : mise en évidence sur un siècle de précipitations. Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Arides. Biskra, pp.444-449.
- Djellouli Y, 2007. Impacts des changements climatiques dans les zones arides au Maghreb. Acte des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-arides, p 27-49.
- Djellouli Y, Daget Ph, 1989. Le climat méditerranéen change-t-il ? Précipitations de quelques stations algériennes. Publications de l'association internationale de climatologie, n°2, p 227-232.
- Douguédroit A, Norrant C. 2003. Annual and seasonal century-scale trends of the precipitation in the Mediterranean area during the twentieth century. In: Bølle H-J (ed) Mediterranean Climate. Variability and Trends, Springer, p 159-163.
- Duby C, Robin S, 2006. Analyse en composantes principales. Institut National Agronomique Paris, Grignon, 54p.
- Faucher D, Ouarda TBMJ, Bobée B, 1997. Revue bibliographique des tests de stationnarité. Rapport de recherche, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Québec, 73p.
- Ficklin DL, Luo Y, Luedeling E, Zhang M, 2009. Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT. Journal of Hydrology, vol.374, p 16-29.
- Fu J, Qian W, Lin X, Chen D, 2008. Trends in Graded Precipitation in China from 1961 to 2000. Advances Atmospheric Sciences, vol.25, n°3, p 267-278.
- Funk C. Rowland J. et al, 2012. A climate trend analysis of Mali; USGS, Science for a Changing World; US Department of the interior, US Agency International Development, n°3105.
- Funk C. Rowland J. et al, 2012. A climate trend analysis of Niger; USGS, Science for a changing world; US Department of the interior, US Agency International Development, n°3080.
- Funk C. Rowland J. et al, 2011. A Climate Trend Analysis of Soudan; USGS, Science for a Changing world; US. Department of the interior, US. Agency International Development, n°3072.

Funk C, Rowland J. et al, 2012. A climate trend analysis of Chad; USGS, Science for a Changing World; US Department of the interior, US Agency International Development n°3070.

Funk C, Rowland J. et al, 2012. A climate trend analysis of Ethiopia; USGS, Science for a changing world; US Department of the interior. US Agency International Development, n°3053, [pubs.usgs.gov/fs/2012/3053/FS12-3053-ethiopia.pdf](https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3053/FS12-3053-ethiopia.pdf).

García-Ruiz J, López-Moreno I, Vicente-Serrano S, Lasanta-Martínez T, Beguería S, 2011. Mediterranean Water Resources in a global change scenario, [Earth-Science Reviews](#) 105 (2011) 121–139.

Gautier F, Lubes-Niel H, Sabatier R, Masson JM, Paturel JE, Servat E, 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950 et 1989. *Journal des sciences hydrologiques*, vol.43, n°6, p921-935.

Giddings L, Soto M, 2005. Standardized Precipitation index Zones from Mexico. *Atmosfera*, p 33-56.

GIEC, 2001. Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques, Rapport de synthèse, n°3, 97p.

GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse n°4, 114p.

Guedjtal A, Vanistem S, Demaree GR. 1993. Changements climatiques abrupts en Algérie du Nord. *Eaux et sols d'Algérie*, n°6, p 7-31.

Guttman NB 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association* Vol. 34, n°1, p113-121.

Hassani M.I., 2008. Climat et ressources en eau au Maghreb. Tendances et impacts du changement global. *Eaux et climat en Afrique*, 24-28 juin 2008 Kampala, Uganda.

Hayes MJ, Svoboda M.D, Wilhite DA, Vanyarkho OV, 1999. Monitoring the 1996 Drought using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 80, n°3, p. 429-438.

Homar V, Ramis C, Romero A, Alonso S, 2010. Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain). *Climate Change*, vol.98, p 199-211.

Hoppe H, Kiely G, 1999. 'Precipitation Over Ireland-Observed Change Since 1940', *Physics and Chemistry of the Earth, Part B Hydrology, and Oceans and Atmosphere*, vol.24, p 91-96.

Hôte Y, 2003. Une sécheresse persistante au Sahel. *Sciences au Sud, Le journal de l'IRD*, p.3

Hubert P, Carbonnel JP, 1987. Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, vol.95, p 165-183.

Hubert P., Carbonnel J P., Chaouche A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques - Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, vol.110,p 349-367.

Hurrell JW. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, vol. 269 p 676–679.

Immediato H, 2001. Cours de statistiques. Université Claude Bernard - Lyon 1, 57p.

IPCC, 2007. *Climate change 2007: the physical science basis*. In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt KB., Tignor M., Miller HL (eds) *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.

Jacques G., 2001. Les variations du climat. Cycle de conférences, université de Perpignan, Paris, 17p.

Jouzel J, Debroise A, 2007. *Le climat : jeu dangereux, dernières nouvelles de la planète*. Dunod, Paris, 220p.

Kanohin F, Saley MB, 2009. Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide: Cas de la Région de Daoukro en Côte D'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, vol.26, n°2, p 209-222.

Khaldi A, 2005. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen-Saida". Thèse de doctorat, université d'Oran, Algérie, 239p.

Khoualdia Wacila, Contribution à l'étude de la variabilité climatique et son impact sur les ressources hydriques, cas d'oued Medjerda Nord-Est Algérie, Thèse de Doctorat en Sciences, UBM Annaba, 2014-2015.

Khoualdia Wassila, Djebbar Yassine, Hammar Yahia, Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de la Medjerda (Nord-Est algérien), *Rev. Sci. Technol., Synthèse 29: 6-23 (2014)*

Kiely G, Albertson JD, Parlange MB (1998). Recent trends in diurnal variation of precipitation at Valentia on the west coast of Ireland. *Journal of Hydrology*, vol. 207,p 270-279.

Klein Tank A, Wijngaard J., van Engelen A, 2002. *European Climate Assessment, Report*.

Kottegoda N T, Natale L, Raiteri E., 2004. Some considerations of periodicity and persistence in daily rainfalls. *Journal of Hydrology* vol. 296, p 23-37.

Kouani A, El Jamali S, Talbi M, 2007. Analyse en composantes principales : une méthode factorielle pour traiter les données didactiques. *Radisma*, n°2, p 1-18.

Kumar M, Christopher JD, 2009. Detecting Hydroclimatic Change using Spatio-Temporal Analysis of Time series in Colorado River Basin. *Journal of Hydrology*, vol. 374, p 1-15.

Lamb PJ, Pepler RA.1991.West Africa. In: Glantz MH, Katz RW, Nicholls N (eds) Teleconnections linking worldwide climate anomalies: scientific basis and societal impact. Cambridge University Press, London, pp.121-189, chapter. 5.

Lana X,Burgeon A.2000.Some Statistical Characteristics of Monthly and Annual Pluviometric Irregularity for the Spanish Mediterranean Coast.Theoretical, and applied climatologyVol. 65,p.79-97.

Larousserie D, 2010. Climat : six points de crispation sur le réchauffement. Sciences et Avenir, p12-13.

Lazri M, Ameer S, Haddad B, 2006. Analyse des données de précipitations par approche markovienne,Larhyss journal, n°6, p 7-20.

Lebel T, Abdou A, 2009. Recent trends in Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). Journal of Hydrology, vol. 375, p 52-64.

Leroux M., 2007. Les échanges méridiens commandent les changements climatiques. Rapport de laboratoire de climatologie, Risques, Environnement, université Jean-Moulin, Lyon, 12p.

Leroux MM, 2002. Global Warming: mythe ou réalité. L'évolution réelle de la dynamique du temps. Annales de Géographie, vol. 111, n° 624, p 115-137.

Liu B H M., Xu M., Henderson, Qi Y., 2005. Observed trends of precipitation amount, frequency, and intensity in China, 1960-2000, Journal of Geophysics Research., 110(D08103), doi:10.1029/2004JD004864.

Liu Q, Yang Z, Cui B, 2008. Spatial and Temporal Variability of Annual Precipitation During 1961–2006 in Yellow River Basin, China. Journal of Hydrology, vol. 361,p 330-338.

Lopez J, Frances F, 2010. Influence of the North Atlantic Oscillation and the western mediterranean oscillation in the maximum flow events in Spain. International workshop advances in statistical hydrology, may 23-25, 2010 Taormina, Italy.

Lubes-Niel H, Masson JO, Patuere JE, Servat E, 1998. Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité des chroniques. Revue des Sciences de l'Eau,vol.11, n°3,p 383-408.

Lucero OA, 1998 Invariance of the design storm in a region under a rainfall climate change at mid-latitudes. Atmospheric Research, vol. 49, p 11–20.

Lucero OA, Rozas D, 2002.Characteristics of Aggregation of Daily Rainfall in a Middle-Latitudes Region Duringa Climate Variability in Annual Rainfall Amount. Atmospheric Research, vol.61, p 35-48.

Maheras P, Arseni-Papadimitriou A, Balafoutis C, Koliva-Machera F, Vafiadis M, 1991.Analyse en composantes principales des précipitations en Albanie. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol. 4,p 155-161.

- Matari A, Latrous H, El Mahi A, 2007. Analyse de longues séries en vue du changement climatique. Acte des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-arides, Biskra, p 15-25.
- Mebarki A, 2005. Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, 'Aménagement et environnement'. Université Mentouri de Constantine FSTGAT.
- Meddi H., Meddi M., Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du nord-ouest de l'Algérie, *Geographia Technica*, No 2, pp. 49-55, January 2007.
- Meddi Hind, Meddi Mohamed, Etude de la Persistance de la Sécheresse au Niveau de Sept Plaines Algériennes par Utilisation des Chaines de Markov (1930-2003), *Courrier du Savoir – N°09*, Mars 2009, pp.39-48.
- Meddi MM, Assani AA, Meddi H, 2010. Temporal Variability of Annual Rainfall in the Macta and Tafna catchments, Northwestern Algeria. *Water Resources Management* 24:3817-3833.
- Meddi Mohamed, Assani Ali Arkamose, Meddi Hind, Temporal Variability of Annual Rainfall in the Macta and Tafna Catchments, Northwestern Algeria, *Water Resour Manage* (2010) 24:3817–3833, DOI 10.1007/s11269-010-9635-7.
- Meddi Mohamed, Meddi Hind, Toumi Samir, Mehaiguen Madjid, Regionalization of Rainfall in North-Western Algeria, *Geographia Technica*, No. 1, 2013, pp. 56 To 69.
- Meddi Mohamed, Toumi Samir, Study of the Interannual Rainfall Variability in Northern Algeria, *Revue scientifique et technique, LJEE N°23*, pp. 40-59, Décembre 2013.
- Medjerab A, 2005. Étude pluviométrique de l'Algérie Nord-Occidentale. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement du Territoire, USTHB, Alger, 569p.
- Medjerab A, 2005. Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie Nord-occidentale. *Revue géographique de l'Est*, vol.2,p 113-120.
- Mizyed N, 2009. Impacts of climate change on water resources availability and agricultural water demand in the West Bank. *Water resource manage*, n.23, p 2015-2029.
- Morell M., 1998. Le système méditerranéen d'observation du cycle hydrologique Med-Hycos. Congrès International de Kaslik, Liban.
- Nalbantis I, Tsakiris G, 2009 .Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water resource manage*, n.23, p 881-897.
- New M, Hulme M, Jones P, 2000. Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part II: Development of 1901–96 Monthly Grids of Terrestrial Surface Climate. *Journal of climate* vol.13, 2000, pp.2217-2238.

- Niel H, Leduc C, Dieulin C, 2005. Caractérisation de la Variabilité Spatiale et Temporelle des Précipitations Annuelles sur le Bassin du Lac Tchad au Cours du 20<sup>ème</sup> Siècle. *Hydrology Sciences Journal*, vol. 50, n°2, p 223-243.
- Nikulin M, Bagdonavicius V, Huber C, Nikoulina V, 2004. Cours de statistiques mathématiques : Modèles, Méthodes et applications. Université Victor Segalen, Bordeaux, 409p.
- Norant C, 2007. Relations entre le niveau du géopotential 500 hPa de l'hémisphère nord et les précipitations du bassin méditerranéen (1950-2000). *Climatologie*, vol. 4, p 91-104
- Norant C, Douguédroit A, 2003. Tendances récentes des précipitations et des pressions de surface dans le Bassin méditerranéen. *Annales de géographie*, vol.112, n°631, p 298-305.
- Norant C, Douguédroit A, 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theoretical and applied climatology*, vol. 83, p 89-106.
- Norant C., Douguédroit A., 2004. Tendances des précipitations mensuelles et quotidiennes dans le sud-est méditerranéen Français (1950-51/1999-2000). *Annales de l'association internationale de climatologie*, Vol.1, pp. 45-64.
- Nouaceur Z, 2009. Évolution des précipitations depuis plus d'un demi-siècle en Mauritanie. *Geographia Technica*, numéro spécial, p 361-366.
- Ondo J.C, Ouarda T.B.M.J, Bobée B., 1997. Revue bibliographique des tests d'homogénéité et d'indépendance. Rapport de recherche, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Québec, 85p.
- Ondo J.C., 2002. Étude comparative des tests de stationnarité. Thèse de doctorat, université du Québec, INRS-Eau Terre et Environnement, Canada, 288p.
- Ozer P, Erpicum M, 1995. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, vol. 6, p.103-108.
- Patrel A, Servat E, Kouame B, Lubès H, Ouedraogo M., Masson J M, 1997. Climatic Variability in Humid Africa along the Gulf of Guinea. Part 2: An integrated regional approach. *Journal of Hydrology*, Vol.191, p 16-36.
- Patrel J. E, Servat E, Delattre M.O, Lubès-Niel H., 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Journal des sciences hydrologiques*, n°43, p 937-946.
- Patrel J.E, Boubacar I, L'Aour A., 2004. Évolution de la pluviométrie annuelle en Afrique de l'ouest et centrale au 20<sup>ème</sup> siècle. *Sud sciences et technologie*, n°13, p 40-46.
- Patrel J.E, Lubès H, et al, 1999. De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des Sciences de l'Eau*, n°12, p 363-389.

Paturel JE, Lubes H, Servat E, Delattre MO. 1998. Etude des séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne. XII<sup>ème</sup> journées hydrologiques de l'ORSTOM, Montpellier, 10-11 oct.

Pfister L, 2004. Spatial Variability of Trends in the Rainfall-Rainoff Relationship: a Mosel scale Study in the Mosel Basin. *Climatic Change*, n°66, p 67-87.

PNUD, 2009. Évaluation du risque climatique en Algérie. Seconde communication nationale de l'Algérie. Rapport d'étude, 55p.

PNUD, 2009. Vulnérabilité des bassins versants Algériens aux changements climatiques. Seconde communication nationale de l'Algérie. Rapport d'étude, 39p.

Renard B, 2006. Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. Thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble (INPG), France, 351p.

Ricard J.L, 2000. Impacts régionaux d'El Niño : sur l'Europe et le bassin Méditerranéen. Météo- France - CNRM/GMGEC, Toulouse.

Robert C, 1996. Méthodes de Monté Carlo par les chaînes de Markov. *Economica*, p 91-123.

Robson A.J, Zbigniew W.K, 2004. Change detection in hydrological records: a review of the methodology. *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol.49, n°1, p7-19.

Rossel R, Garbrecht J, 2000. Analyse et amélioration d'un indice pluviométrique mensuel régional pour les grandes plaines du sud des États-Unis. *Revue des sciences de l'eau*, vol.13, n°1, p 39-46.

Salameh T, 2008. Modélisation multi-échelles de la circulation atmosphérique hivernale sur le bassin méditerranéen: rôle des interactions d'échelles. Thèse de doctorat, école polytechnique, France, 156p.

Salinger M.J, 2005. Climate Variability and Change: past, present, and future. *Climatic Change*, n°70, p 9-29.

Sambou S, Diémé Y, Touré A.K, Badji A.M, 2009. Effet du barrage de Manantali sur les modifications du régime hydrologique du fleuve Sénégal dans le bassin amont : une approche statistique. *Science et changements planétaires/ sécheresse*, vol.20, n.1, p 104-111.

Servat E, Paturel JE, Lubes-Niel H, Kouame B, Masson J M, Travaglio M, Marieu B, 1999. Des différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des sciences de l'eau*, vol.12, n°2, p 363-387.

Shaban A, 2009. Indicators and Aspects of Hydrological Drought in Lebanon. *Water resources manage*, n°23, p 1875-1891.

Sheng Y, Pilon P, Cavadias G, 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests for Detecting Monotonic Trends in Hydrological series. *Journal of Hydrology*, vol.259, p 254-271.

Sneyers R, 1975. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Organisation Météorologique Mondiale, note technique n°143, OMM, n°415, Genève, 192pp.

Szalai S, 2003. Oscillation Nord Atlantique. Hungarian Meteorological Service.

Tabaree H, Talae Hosseinzadeh P, 2011. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966-2005. *Journal of Hydrology*, Vol.396, p313-320.

Taibi Sabrina, Meddi Mohamed, Mahe Gil, Assani A., Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall, *Theor Appl Climatol*, 2015, DOI 10.1007/s00704-015-1626-4

Taibi Sabrina, Meddi Mohamed, Souag Doudja, Mahe Gil, Evolution et Régionalisation des Précipitations au Nord de L'Algérie (1936–2009), *Climate And Land Surface Changes In Hydrology Proceedings Of H01, Iahs-Iapso-Iaspei Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (Iahs Publ. 359, 2013)*, pp. 191-197.

Talia Amel, Meddi Mohamed, Bekkoussa Belkacem Samir, Etude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux et le Sahara Algériens, *Sécheresse*, 2011 ; 22 : 149-58

Tchiadieu, G, 2000. Calendriers des pluies et bilans hydriques au Cameroun (1951-1993). Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne, 208p.

Timothy JO, Hulme M, Jones PD, and Basnett TA, 2000. Observed trend in the daily intensity of United Kingdom Precipitation. *International Journal of Climatology* vol.20, p 347-364.

Underwood F.M, 2009. Describing Long-term Trends in Precipitation using Generalized Additive Models. *Journal of Hydrology*, Vol. 364, p 285-297.

Vannistem S, Demarée G, 1991. Détection et modélisation des sécheresses au Sahel : proposition d'une nouvelle méthodologie. *Hydrologie Continent.*, vol.6, n°2, p 155-171.

Vicente-Serrano S, 2006. Spatial and Temporal Analysis of Droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000). *Journal of Hydrological Sciences* Vol.51, n°1.

Xiong L, Guo S, 2004. Trend Test and Change-Point Detection for the Annual Discharge series of the Yangtze River at the Yichang Hydrological Station. *Journal des sciences hydrologiques*, n°49(1), p 99-112.

Xoplaki E, Gonzalez-Rouco J F, Luterbacher J, Wanner H, 2004. Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate dynamics*, n°23, p 63-78.

Xoplaki E, Luterbacher J, Patrikas J, Maheras P, 2000. Les précipitations hivernales en Grèce et leurs relations avec la circulation atmosphérique au niveau de 500 hPa. *Climate Research*, V14, p 129-146.

Yao NR, Orsot-Dessi DF, Ballo K, Fondio L, 1995. Le déclin de la pluviosité en Côte d'Ivoire : Impact éventuel sur la production du palmier à huile. *Sécheresse* vol. 6 p 267-271.

Yu PS, Yang TC and Kuo CC,2006.Evaluating Long-Term Trends in Annual and Seasonal Precipitation in Taiwan. *Water Resources Management*,Vol.20,n°6, p. 1007-1023.

Yue S, Pilon P, 2004.A Comparison of the Power of the Test, Mann-Kendall and Bootstrap Tests for Trend Detection. *Journal des Sciences Hydrologiques*. Vol 49, n.1, p 21-37.

Zbigniew W,Kundzewic Z,Alicej R,2004. Change Detection in Hydrological Records a review of the methodology. *Journal of Hydrological Sciences*, Vol 49, n°1, p 7-19.

# ANNEXES

---

Tableau : 1 Résultats des tests de rupture à l'échelle saisonnière (automne)

Station	Kendall	Buishand	Pettitt	Lee et Hg	Hubert	Moy avant	Moyaprès	Différence
Partie Est								
030301	--	--	--	1959	--			
031302	--	--	--	1938	--			
050905	--	--	--	1996	--			
051111	--	--	--	--	--			
051203	--	--	--	1959	--			
061304	--	--	--	--	--			
061601	--	--	--	--	--			
070201	--	--	--	1996	--			
070306	--	--	--	--	--			
070406	--	--	--	--	--			
070704	--	--	--	--	--			
100303	--	--	--	1959	--			
100401	--	--	--	1996	--			
120301	--	--	--	--	--			
140205	--	--	--	--	--			
150608	--	--	--	--	--			
Partie centre								
010703	--	--	--	1945	--			
010704	--	--	--	1943	--			
010803	--	--	--	1943	--			
010901	--	--	--	1943	--			
011003	--	--	--	2005	--			
011004	--	--	1981	1982	1984	81.1	124.45	45.7
011302	--	--	--	1938	--			
011404	--	NA	--	NA	--			
011505	--	--	--	--	--			
011605	--	--	--	2007	--			
013004	--	--	--	1959	--			
020205	--	--	--	2006	--			
020306	--	--	--	2006	--			
020312	rupture	rupture	1980	1984	1984	612.81	464.67	24.17
020313	--	--	--	2006	--			
020315	--	--	--	1943	--			
020406	--	--	--	2005	--			
020509	--	--	--	2006	--			
020511	--	--	--	2006	--			
020601	--	--	--	2006	--			
020602	--	--	--	2006	--			
021017	--	--	--	2006	--			
021020	--	--	--	1946	--			
021115	--	--	--	2006	--			
021209	--	--	--	2006	--			
021403	--	--	--	2006	--			
021601	--	--	--	2006	2006	282.8	723.8	153
021705	--	--	--	--	--			
021801	--	--	--	2006	2006	216.8	510.1	133
021903	--	--	--	2006	--			
022002	--	--	--	2006	1959	244.8	212.05	14.7
050101	--	--	--	1959	--			
090403	--	--	--	--	--			
090503	--	--	--	2006	--			
150101	--	--	--	2006	--			
150204	--	--	--	2006	--			
150503	--	--	--	--	--			
150703	rupture	Rupture peu significative	1959	1959	1959	172.12	126.35	28.9
170102	rupture	rupture	1979	1979	1969	67.31	42.67	46.9

170201	--	--	--	--	--			
170208	rupture	rupture	1976	1976	1969	91.65	57.49	46.4
Partie Ouest								
040104	--	--	--	--	--			
040301	rupture	Rupture peu significative	--	1987	--			
040418	--	--	--	1998	1998	77.84	134.27	63.6
040612								
080201	--	--	--	1999	1999	53.91	98.75	74.8
081202	--	--	--	--	--			
081401	--	--	--	2006	--			
110802	--	rupture	1959	1959	1951	117.08	75.38	49.3
111113	--	--	--	2006	2006	74.06	19.35	78.5
111503	--	--	--	--	--			
160302	--	--	--	--	--			
160403	--	--	--	1941	--			
160406	--	--	--	1941	1941	170.7	86.33	84.4
160702	--	--	--	1940	1940	194.84	100.3	88.5

Tableau : 2 Résultats des tests de rupture à l'échelle saisonnière (Hiver)

Station	Kendall	Buishand	Pettitt	Leeet Hg	Hubert	Moy avant	Moyaprès	Différence
Partie Est								
030301	--	--	--	--	--			
031302	--	--	--	--	--			
050905	--	--	--	--	--			
051111	--	--	--	--	--			
051203	--	--	--	--	--			
061304	Rupture peu significative	Rupture peu significative	1972	1972	--			
061601	--	NA	--	NA	--			
070201	--	--	--	2006	--			
070306	--	--	--	--	--			
070406	--	NA	--	NA	--			
070704	--	--	--	--	--			
100303	--	Rupture peu significative.		1968	1968			
100401	--	--	--	2005	--			
120301	--	--	--	2001	2001	73.32	127.1	73.35
140205	--	--	--	2006	--			
150608	Rupture peu significative	rupture	1967	1967	--			
Partie centre								
010703	rupture	rupture	1978	1978	1978	96.71	61.41	42.7
010704	rupture	rupture	1976	1976	1973	73.47	46.45	42.7
010803	rupture	rupture	1986	1986	1986	148.17	90.03	98.7
010901	--	--	--	2006	--			
011003	--	--	--	2006	--			
011004	--	--	--	2006	--			

011302	--	--	--	1950	1950	260.66	195.56	79.6
011404	--	--	--	--	--			
011505	--	--	--	--	--			
011605	--	--	--	2006	--			
013004	rupture	rupture	1973	1973	1955	147.95	118.49	23.3
020205	rupture	rupture	1972	1972	1972	267.92	163.47	48.2
020306	rupture	rupture	1973	1973	1973	305.02	240.84	37.1
020312	--	--	--	--	--			
020313	rupture	NA	1973	NA	1973	297.08	218.91	30.2
020315	rupture	rupture	1973	1973	1973	271.32	211.1	23.2

020406	rupture	rupture	1983	1983	1983	266.93	173.87	40
020509	rupture	rupture	1973	1973	1973	356.35	281.7 3	23.2
020511	rupture	rupture	1973	1973	1973	316.39	233.94	29.7
020601	--	--	--	--	--			
020602	rupture	rupture	1973	1973	1971	3 53.72	285.23	20.8
021017	--	--	--	--	--			
021020	--	--	--	2006	--			
021115	--	--	--	2006	--			
021209	rupture	rupture	1973	1973	1973	301.58	232.19	25.7
021403	--	--	--	2006	--			
021601	--	--	--	2006	--			
021705	--	--	--	--	--			
021801	--	--	--	--	--			
021903	--	--	--	2005	--			
022002	--	--	--	2006	--			
050101	rupture	rupture	1972	1972	1972	77.8	57.02	30.8
090403	rupture	rupture	1973	1973	1973	317.46	237.01	25.34
090503	--	--	--	1951	1951	400.94	310.65	27.2
150101	--	--	--	--	--			
150204	rupture	rupture	1972	1972	1956	170.51	124.19	33.4
150503	--	--	--	--	--			
150703	rupture	rupture	1973	1953	1953	340.66	236.89	48
170102	rupture	rupture	1974	1974	1974	64.35	25.77	85.6
170201	--	--	--	--	--			
170208	rupture	rupture	1972	1972	1972	79.62	47.6	40.22
Partie Ouest								
040104	rupture	rupture	1955	1955	1955	186.2	141.8	35.6
040301	rupture	rupture	1973	1973	1973	256.62	123.58	68.6
040418	rupture	rupture	1973	1973	1973	181.93	94.99	60.9
040612	--	--	--	--	--			
080201	--	--	--	--	--			
081202	--	--	--	--	--			
081401	--	--	--	--	--			
110802	rupture	rupture	1973	1973	1973	126.39	72.66	52.7
111113	--	--	1986	1995	--			
111503	rupture	rupture	1973	1973	1973	141.09	88.22	45.5
160302								
160403	rupture	rupture	1973	1973	1973	234.11	148.36	43.7
160406								
160702	rupture	rupture	1964	1964	1964	236.74	156.55	42.2

Tableau : 3 Résultats des tests de rupture à l'échelle saisonnière (Printemps)

Station	Kendall	Buishand	Pettitt	Lee etHg	Hubert	Moy avant	Moyaprès	Différence
Partie Est								
030301	--	--	--	2005	2005	192.12	331.9	51.4
031302	rupture	rupture	1968	1968	1968	119.77	173.45	35.98
050905	--	--	--	2005	--			
051111	--	--	--	1938	--			
051203	--	--	--	2002	--			
061304	--	--	--	--	--			
061601	--	--	--	1956	--			
070201	--	--	--	2004	--			
070306	--	--	--	--	--			
070406	--	--	--	--	--			
070704	--	--	--	--	--			
100303	--	--	--	2004	--			
100401	--	--	--	2001	1975	142.35	155.21	8.55
120301	--	--	--	--	--			
140205	--	--	--	--	--			
150608	--	--	--	1992	--			
Partie centre								

010703	--	--	1981	1981	1975	98.38	65.78	38.9
010704	--	NA	1981	NA	--			
010803	rupture	rupture	1979	1981	1981	123.48	86.15	34
010901	--	--	1979	1981	1981	123.48	92.49	27.6
011003	--	--	--	2007	--			
011004	--	--	--	1986	--			

011302	--	--	--	2005	--			
011404	--	--	--	1991	--			
011505								
011605	--	--	--	2007	--			
013004	--	--	1979	1979	1979	126.58	83.18	39.9
020205	--	--	--	1991	--			
020306	--	--	--	1944	--			
020312	--	--	--	--	--			
020313	--	--	--	1984	--			
020315	--	--	--	2007	--			
020406	--	--	1983	1983	1983	149.21	93.61	43
020509	--	--	--	--	--			
020511	--	--	--	1984	--			
020601	--	--	--	--	--			
020602	--	--	--	1971	--			
021017	--	--	--	2007	--			
021020	--	--	--	1991	--			
021115	--	--	--	2005	--			
021209	--	--	--	1985	--			
021403	--	--	--	--	--			
021601	--	--	--	1947	--			
021705	--	--	--	--	--			
021801	--	--	--	1947	--			
021903	--	--	--	2005	--			
022002	--	--	--	2005	--			
050101	--	--	--	--	--			
090403	--	--	--	--	--			
090503	--	--	1975	1938	--			
150101	--	--	--	2005	--			
150204	--	--	1982	1938	--			
150503	--	--	--	--	--			
150703	--	--	--	--	--			
170102	rupture	rupture	1977	1977	1977	58.96	31.05	47.33
170201	--	--	--	--	--			
170208	rupture	rupture	1975	1975	1975 2005	93.67	50.41 148.9	46.2 179.2
Partie Ouest								
040104	--	--	--	1976	--	--		
040301	rupture	rupture	1975	1975	1975	131.78	70.62	59.1
040418	--	--	1977	1977	1975	117.66	82.88	33.7
040612	--	--	1980	--	--			
080201	--	--	--	1974	--			
081202	--	--	--	1955	--			
081401	--	--	--	--	--			
110802	rupture	rupture	1956	1956	1956	130.14	81.55	94.5
111113	--	--	--	1975	--			
111503	rupture	rupture	1975	1975	1975	114.19	71.72	44.7
160302	--	--	--	--	--			
160403	rupture	rupture	1975	1975	1974	197.8	124.22	45
160406	rupture	rupture	1975	1975	1975	202.39	122.31	48.2
160702	rupture	rupture	1975	1980	1974	159.65	101.43	43.1

Tableau : 4 Résultats des tests de rupture à l'échelle saisonnière (été)

Station	Kendall	Buishand	Pettitt	Lee et Hg	Hubert	Moy avant	Moyaprès	Différence
Partie Est								
030301	--	--	--	1939	--			
031302	--	--	--	--	--			
050905	--	--	--	1938	--			
051111	--	--	--	1939	--			
051203	--	--	--	1939	--			
061304	--	--	--	1940	--			
061601	--	--	--	--	--			
070201	--	--	--	1997	--			
070306	--	--	1969	1969	--			
070406	--	NA	--	NA	--			
070704	--	NA	--	NA	--			
100303	--	--	--	1940	--			
100401	--	NA	1954	NA	--			
120301	--	NA	--	NA	--			
140205	--	--	--	--	--			
150608	rupture	rupture	1975	1954	--			
Partie centre								
010703	--	rupture	1967	1967	--			
010704	--	--	--	1997	--			
010803	--	--	--	1963	--			
010901	rupture	rupture	1970	1964	--			
011003	--	--	1965	1965	--			
011004	--	--	--	1965	--			
011302	--	NA	--	NA	--			
011404	--	--	--	--	--			
011505								
011605	--	--	--	1969	--			
013004	--	--	--	1976	--			
020205	--	NA	--	NA	--			
020306	--	--	--	1971	--			
020312								
020313	rupture	rupture	1990	1990	--			
020315	--	NA	--	NA	--			
020406	rupture	rupture	1976	1976	--			
020509	--	NA	--	NA	--			
020511	rupture	NA	--	NA	--			
020601	--	--	--	2004	--			
020602	rupture	rupture	1970	1999	--			
021017	--	--	1979	1996	--			
021020	--	rupture	1981	2003	--			
021115	--	--	--	--	--			
021209	--	NA	--	NA	--			
021403	--	--	--	--	--			
021601	--	--	--	1998	--			
021705								
021801	--	--	--	1997	--			
021903	--	--	--	2000	--			
022002	--	--	--	2004	--			
050101	--	NA	--	NA	--			
090403								
090503	--	--	--	1939	--			
150101	--	--	--	--	--			
150204	--	--	--	1938	--			
150503								
150703	rupture	rupture	1963	1949				
170102	--	--	--	2006	--			
170201								
170208	--	--	--	2005	--			
Partie Ouest								

040104	--	--	--	2005	--			
040301	--	--	--	1976	--			
040418								
040612								
080201	--	--	--	2000	--			
081202								
081401	--	--	--	2006	--			
110802	--	NA	--	NA	--			
111113	rupture	--	--	1944	--			
111503	--	NA	--	NA	--			
160302								
160403								
160406	--	NA	--	NA	--			
160702	--	NA	--	NA	--			

Tableau : 5 résultats du test de Kendall (Automne)

Code	Nom des stations	U	Résultat du test	Code	Nom des stations	U	Résultat du test
010703	RECHAIGA	-1.83	Tendance décroissante	050101	AIN NESSISSA	-	Pas de tendance
010704	KSAR CHELLALA	-	Pas de tendance	050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	-	Pas de tendance
010803	MEHDIA	-	Pas de tendance	051111	SIDI OUADAH	-	Pas de tendance
010901	SOUGUEUR	-	Pas de tendance	051203	OUED EL MA	-	Pas de tendance
011003	COLONEL BOUGARA	-	Pas de tendance	061304	MENAA	-	Pas de tendance
011004	KHEMISTI	-	Pas de tendance	061601	FOUM EL GHERZA	-	Pas de tendance
011302	DERRAG	-	Pas de tendance	070201	AIN DJASSER	-	Pas de tendance
011404	ZOUBIRIA	-	Pas de tendance	070306	AIN YAGOUT	-	Pas de tendance
011505	MEDEA CFPA	-	Pas de tendance	070406	FOUM TOUB	-	Pas de tendance
011605	TENEIT EL HAD	-	Pas de tendance	070704	AIN MIMOUN	-	Pas de tendance
013004	AIN EL HADDID	-	Pas de tendance	080201	EL AOUEDJ	-	Pas de tendance
020205	TENES	-	Pas de tendance	081202	EL BAYADH	-	Pas de tendance
020306	MEURAD BGE	-	Pas de tendance	081401	MECHERIA	-	Pas de tendance
020312	CHERCHELL PHARE	-	Pas de tendance	090403	DJEBAHIA	-	Pas de tendance
020313	SIDI GHILES	-	Pas de tendance	090503	BOUHADDADA	-	Pas de tendance
020315	GOURAYA	-	Pas de tendance	100303	TADJENANET	-	Pas de tendance
020406	FOUKA VILLE	-	Pas de tendance	100401	BOU MALEK	-	Pas de tendance
020509	BIRMANDREIS ANRH	-	Pas de tendance	110802	DAOUD YOUN	-	Pas de tendance
020511	MAHELMA FERME	-	Pas de tendance	111113	DJEBEL KAROUS	-	Pas de tendance
020601	DEUX BASSINS	-	Pas de tendance	111503	BOU HANIFIA BGE	-	Pas de tendance
020602	HAMIZ BARRAGE	-	Pas de tendance	120301	TEBESSA	-	Pas de tendance
021017	BOUMEDFAA MF	-	Pas de tendance	140205	AIN MAKHLOUF	-	Pas de tendance
021020	AMEUR EL AIN	-	Pas de tendance	150101	SOUR EL GHOZLANE	-	Pas de tendance
021115	EL HAMDANIA	-	Pas de tendance	150204	EL ESNAM	-	Pas de tendance
021209	BOUFARIK PEPINIERE	-	Pas de tendance	150503	IGHIL ALI	-	Pas de tendance
021403	EL ARBA	-	Pas de tendance	150608	BOUHIRA	-	Pas de tendance
021601	AGHRIBS	-	Pas de tendance	150703	BOU BIREK	-2.04	Tendance décroissante
021705	LARBAA NATH IRATHEN	-	Pas de tendance	160302	MAGHNIA FRONTIERE	-	Pas de tendance
021801	BOUASSEM	-	Pas de tendance	160403	BENI BAHDEL BGE	-	Pas de tendance
021903	BOGHNI	-	Pas de tendance	160406	KHEMIS OULD MOUSSA	-	Pas de tendance
022002	BAGHLIA VILLAGE	-	Pas de tendance	160702	BENSEKRANE	-	Pas de tendance
030301	JIJEL	-	Pas de tendance	170102	CHAREF	-2.33	Tendance décroissante
031302	BERRAHAL	-	Pas de tendance	170208	DJELFA	-2.8	Tendance décroissante
040301	BOUSFER	-	Pas de tendance				

040104	MARSA BEN M HIDI	-	Pas de tendance				
040418	TLELAT BARRAGE	-	Pas de tendance				
040612	MOSTAGUANEM	-	Pas de tendance				
050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	-	Pas de tendance				

Tableau : 6 Résultats du test de Kendall (hiver)

Code	Nom des stations	U	Résultat du test	Code	Nom des stations	U	Résultat du test
010703	RECHAIGA	-3	Tendance décroissante	050101	AIN NESSISSA	-2.14	Tendance décroissante
010704	KSAR CHELLALA	-3.15	Tendance décroissante	050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	-	Pas de tendance
010803	MEHDIA	-	Pas de tendance	051111	SIDI OUADAH	-	Pas de tendance
010901	SOUGUEUR	-	Pas de tendance	051203	OUED EL MA	-	Pas de tendance
011003	COLONEL BOUGARA	-	Pas de tendance	061304	MENAA	-1.65	Tendance décroissante
011004	KHEMISTI	-	Pas de tendance	061601	FOUM EL GHERZA	-	Pas de tendance
011302	DERRAG	-	Pas de tendance	070201	AIN DJASSER	-	Pas de tendance
011404	ZOUBIRIA	-	Pas de tendance	070306	AIN YAGOUT	-	Pas de tendance
011505	MEDEA CFPA	-	Pas de tendance	070406	FOUM TOUB	-	Pas de tendance
011605	TENEIT EL HAD	-2.6	Tendance décroissante	070704	AIN MIMOUN	-	Pas de tendance
013004	AIN EL HADDID	-2.6	Tendance décroissante	080201	EL AOUEDJ	-	Pas de tendance
020205	TENES	-2.9	Tendance décroissante	081202	EL BAYADH	-	Pas de tendance
020306	MEURAD BGE	-2.6	Tendance décroissante	081401	MECHERIA	-	Pas de tendance
020312	CHERCHELL PHARE			090403	DJEBAHIA	-	Pas de tendance
020313	SIDI GHILES			090503	BOUHADDADA	-	Pas de tendance
020315	GOURAYA	-2.1		100303	TADJENANET	-	Pas de tendance
020406	FOUKA VILLE	-2.82	Tendance décroissante	100401	BOU MALEK	-	Pas de tendance
020509	BIRMANDREIS ANRH	-1.69	Tendance décroissante	110802	DAOUD YOUB	-3.79	Tendance décroissante
020511	MAHELMA FERME	-2.66	Tendance décroissante	111113	DJEBEL KAROUS	-	Pas de tendance
020601	DEUX BASSINS	-	Pas de tendance	111503	BOU HANIFIA BGE	-3.31	Tendance décroissante
020602	HAMIZ BARRAGE	-1.93	Tendance décroissante	120301	TEBESSA		Pas de tendance
021017	BOUMEDFAA MF	-	Pas de tendance	140205	AIN MAKHLOUF	-	Pas de tendance
021020	AMEUR EL AIN	-	Pas de tendance	150101	SOUR EL GHOZLANE	-	Pas de tendance
021115	EL HAMDANIA	-	Pas de tendance	150204	EL ESNAM	-2.64	Tendance décroissante
021209	BOUFARIK PEPINIERE	-1.87	Tendance décroissante	150503	IGHIL ALI		Pas de tendance
021403	EL ARBA	-	Pas de tendance	150608	BOUHIRA	-2.54	Tendance décroissante
021601	AGHRIBS	-	Pas de tendance	150703	BOU BIREK	-2.84	Tendance décroissante
021705	LARBAA NATH IRATHEN	-	Pas de tendance	160302	MAGHNIA FRONTIERE		Pas de tendance
021801	BOUASSEM	-	Pas de tendance	160403	BENI BAHDEL BGE	-3.4	Tendance décroissante
021903	BOGHNI	-1.72	Tendance décroissante	160406	KHEMIS OULD MOUSSA	-3.42	Tendance décroissante
022002	BAGHLIA VILLAGE	-	Pas de tendance	160702	BENSEKRANE	-3.34	Tendance décroissante

030301	JIJEL	-	Pas de tendance	170102	CHAREF	-4.33	Tendance décroissante
031302	BERRAHAL	-	Pas de tendance	170208	DJELFA	-3.1	Tendance décroissante
040301	BOUSFER	-	Pas de tendance				
040104	MARSA BEN M HIDI	-2.93	Tendance décroissante				
040418	TLELAT BARRAGE	-4.34	Tendance décroissante				
040612	MOSTAGUANEM	-	Pas de tendance				
050905	BORDJ B. ARRERIDJ	-	Pas de tendance				

Tableau : 7 Résultats du test de Kendall (Printemps)

Code	Nom des stations	U	Résultat du test	Code	Nom des stations	U	Résultat du test
010703	RECHAIGA	-	Pas de tendance	050101	AIN NESSISSA	-1.9	Tendance décroissante
010704	KSAR CHELLALA	-1.74	Tendance décroissante	050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	-	Pas de tendance
010803	MEHDIA	-2.52	Tendance décroissante	051111	SIDI OUADAH	-	Pas de tendance
010901	SOUGUEUR	-1.73	Tendance décroissante	051203	OUED EL MA	-	Pas de tendance
011003	COLONEL BOUGARA	-	Pas de tendance	061304	MENAA	-	Pas de tendance
011004	KHEMISTI	-	Pas de tendance	061601	FOUM EL GHERZA	-	Pas de tendance
011302	DERRAG	-	Pas de tendance	070201	AIN DJASSER	-	Pas de tendance
011404	ZOUBIRIA	-	Pas de tendance	070306	AIN YAGOUT	-	Pas de tendance
011505	MEDEA CFPA	-	Pas de tendance	070406	FOUM TOUB	-	Pas de tendance
011605	TENEIT EL HAD	-	Pas de tendance	070704	AIN MIMOUN	-	Pas de tendance
013004	AIN EL HADDID	-2.56	Tendance décroissante	080201	EL AOUEDJ	-	Pas de tendance
020205	TENES	-	Pas de tendance	081202	EL BAYADH	-	Pas de tendance
020306	MEURAD BGE	-	Pas de tendance	081401	MECHERIA	-	Pas de tendance
020312	CHERCHELL PHARE	-	Pas de tendance	090403	DJEBAHIA	-	Pas de tendance
020313	SIDI GHILES	-	Pas de tendance	090503	BOUHADDADA	-	Pas de tendance
020315	GOURAYA	-	Pas de tendance	100303	TADJENANET	-	Pas de tendance
020406	FOUKA VILLE	-	Pas de tendance	100401	BOU MALEK	-	Pas de tendance
020509	BIRMANDREIS ANRH	-	Pas de tendance	110802	DAOUD YOUB	-	Pas de tendance
020511	MAHELMA FERME	-	Pas de tendance	111113	DJEBEL KAROUS	-	Pas de tendance
020601	DEUX BASSINS	-	Pas de tendance	111503	BOU HANIFIA BGE	-2.67	Tendance décroissante
020602	HAMIZ BARRAGE	-	Pas de tendance	120301	TEBESSA	-	Pas de tendance
021017	BOUMEDFAA MF	-	Pas de tendance	140205	AIN MAKHLOUF	-	Pas de tendance
021020	AMEUR EL AIN	-	Pas de tendance	150101	SOUR EL GHOZLANE	-	Pas de tendance
021115	EL HAMDANIA	-	Pas de tendance	150204	EL ESNAM	-2.12	Tendance décroissante
021209	BOUFARIK PEPINIERE	-	Pas de tendance	150503	IGHIL ALI	-	Pas de tendance
021403	EL ARBA	-	Pas de tendance	150608	BOUHIRA	-	Pas de tendance
021601	AGHRIBS	-	Pas de tendance	150703	BOU BIREK	-2.04	Tendance décroissante
021705	LARBAA NATH IRATHEN	-	Pas de tendance	160302	MAGHNIA FRONTIERE	-	Pas de tendance
021801	BOUASSEM	-	Pas de tendance	160403	BENI BAHDEL BGE	-2.07	Tendance décroissante
021903	BOGHNI	-	Pas de tendance	160406	KHEMIS OULD MOUSSA	-2.46	Tendance décroissante
022002	BAGHLIA VILLAGE	-	Pas de tendance	160702	BENSEKRANE	-2.75	Tendance décroissante
030301	JIJEL	-	Pas de tendance	170102	CHAREF	-2.9	Tendance

							décroissante
031302	BERRAHAL	-	Pas de tendance	170208	DJELFA	-1.91	Tendance décroissante
040301	BOUSFER	-	Pas de tendance				
040104	MARSA BEN M HIDI	-2.29	Tendance décroissante				
040418	TLELAT BARRAGE	-	Pas de tendance				
040612	MOSTAGUANEM	-	Pas de tendance				
050905	BORDJ BOU ARRERIDJ	-	Pas de tendance				