



APPORT DES TECHNIQUES STATISTIQUES A L'ETUDE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE : EXEMPLE DU BASSIN DE TADLA-AZILAL (MAROC)

BRINGING STATISTICAL TECHNIQS TO THE STUDY OF THE CLIMATE VARIABILITY : CASE OF TADLA-AZILAL BASIN

KRIMISSA S.¹; BOUCHAOU L.²; ABOURICHA S.³

¹ Laboratoire de Télédétection et des SIG Appliqués aux Géosciences et à l'Environnement, faculté des Sciences et Techniques, Béni Mellal (Maroc)

² Laboratoire de Géologie Appliquée et de Géo-Environnement, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, (Maroc)

³ Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Scientifique et Technique, Faculté Polydisciplinaires, Béni Mellal, (Maroc)

Samira_krimissa@yahoo.fr

RESUME

La pluviométrie a considérablement varié au cours des dernières décennies entraînant des sécheresses par ci et des inondations par là. L'occurrence de ces événements extrêmes suppose un changement probable de la stationnarité des régimes climatiques. L'objectif de cette contribution vise à mettre en exergue la variabilité spatio-temporelle des séries pluviométriques dans le bassin de Tadla-Azilal entre 1980 et 2014, à partir de l'application des méthodes de Nicholson, du filtre passe-bas de Haning et des tests statistiques de détection de ruptures (test de LEEHEGHNIAN, test de PETTITT et la segmentation de HUBERT). A la lumière des résultats acquis, une variabilité climatique caractérisée par une alternance de périodes sèches, normales et humides, a été mise en évidence dans la zone d'étude. Les indices et méthode statistiques indiquent l'existence d'une rupture en 2006 manifestée par des fluctuations du régime pluviométrique.

Mot clés : pluviométrie, sécheresses, tests statistiques, rupture, variabilité climatique.

ABSTRACT

Rainfall has varied considerably over the last few decades resulting in droughts and floods. The occurrence of these extreme events implies a potential change in the stationarity of climate regime. The aim of this study is to highlight the spatial and temporal variability of rainfall in the area of Tadla-Azilal between 1980 and 2014, using Nicholson method, Haning low pass filter and statistical tests for homogeneity (LEE HEGHNIAN's test, PETTITT's test and HUBERT segmentation). This study revealed that climate variability characterized by alternating wet, normal and dry phases was identified in the study area. The indices and statistical methods indicate the existence of a break in 2006, manifested by swings in rainfall patterns.

Keywords: Rainfall, droughts, statistical tests, break, climate variability.

INTRODUCTION

Depuis quelques temps les scientifiques et les décideurs politiques dans le monde, accordent de plus en plus un intérêt croissant à la notion du changement climatique qui demeure une notion très vaste (réduction de la pluviométrie, augmentation de la température, effet de serre, ...etc). En Afrique particulièrement, la notion du changement climatique se résume en grande partie à une baisse de la pluviométrie, identifié comme principal facteur climatique dans plusieurs études (Hubert et *al.*, 1998 ; Mahé et Olivry, 1995; Bricquet et *al.*, 1997 ; Servat et *al.*, 1999). Cette baisse de pluviométrie a eu plusieurs conséquences, le plus souvent dramatiques (sechresse des années 1970, 1980, 1984 et 2006 dans plusieurs pays de l'Afrique de l'ouest).

Le Maroc n'est pas en marge de ce phénomène. En effet, des études globales et locales ont été menées par différents auteurs et ont montré que durant les quarante-cinq dernières années, les régions qui étaient classées sous climat humide et subhumide régressent au profit des régions à climat semi-aride et aride (Ait Brahim et *al.* 2016 ; Seif-Ennasr et *al.* 2016); en témoignent l'augmentation de la température annuelle moyenne estimée à 0,16°C par décennie et la baisse des précipitations printanières de 47% à l'échelle nationale

(Mahmalat et Bennis, 2012). Ces perturbations climatiques sont également observées dans le bassin de Tadla-Azilal, situé au centre du Maroc.

L'objectif de la présente étude vise à caractériser la dynamique de la pluviométrie à travers la recherche des ruptures et des tendances dans les séries chronologiques. Les méthodes de Nicholson, le Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 et les tests statistiques de détection de ruptures (test de BUISSHAND, test de LEEHEGHNIAN, le test de PETTITT et la segmentation de HUBERT) ont été appliqués aux données pluviométriques des stations de la zone d'étude.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin de Tadla-Azilal (Figure 1) est situé au centre du pays, entre 7° et 5°30' de longitude Est et de 31° à 32°5' de latitude Nord. Englobant la plaine de Tadla entre le Haut et le Moyen Atlas, sa superficie est de 17 125 km². Le bassin Tadla Azilal se caractérise par une forte variabilité spatiale des précipitations et des températures avec un étagement climatique de la plaine à la montagne. Les gelées ne sont pas rares en hiver. L'été est très chaud à cause des vents brûlants du sud-ouest «chergui» qui font augmenter le mercure au-dessus des 40°C. Les vagues de chaleur se terminent parfois par de violents orages qui rafraîchissent le sol.

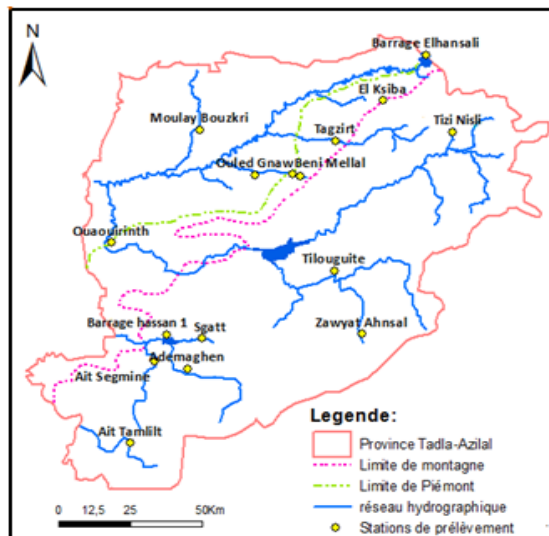


Figure 1 : Carte de situation géographique de la zone d'étude et des stations pluviométriques.

DONNEES ET METHODES

Les données de base sont constituées des relevés pluviométriques provenant de 14 postes météorologiques (Figure 1). La variable d'étude est la pluie annuelle de la période 1982 à 2015. Les postes sélectionnés, obéissent à des critères de continuité, de durée de l'information disponible et de la qualité des données. Le choix des postes s'est également effectué de manière à permettre la couverture la plus homogène de la zone d'étude. Les données des précipitations ont été fournies par l'agence du bassin hydraulique Oum Rbiaa.

Pour atteindre nos objectifs, deux méthodes ont été utilisées : une fondée sur l'analyse et l'évolution des indices pluviométrique et des moyennes mobiles pondérées et une méthode statistique basée sur l'utilisation des tests statistiques d'homogénéité (détection des ruptures) et de tendance.

Les tests statistiques ont été appliqués à l'aide du logiciel Khronostat, et l'indice pluviométrique à partir de la méthode de Nicholson. Les méthodes utilisées sont présentées ci-après.

Statistiques de base des précipitations

Diagramme en boîte de Tukey

Pour étudier la série des précipitations, nous avons choisi le diagramme en boîte de Tukey « Box plot » ou encore boîte à moustache, inventée en 1977 par John Tukey. Il s'agit d'un moyen rapide pour présenter le profil essentiel d'une série statistique quantitative.

Les graphiques de type boîte a moustache apportent beaucoup d'informations visuelles sur les caractéristiques de dispersion et de centralité des distributions. La boîte à moustache permet de résumer la série statistique ; on y trouve les valeurs de médiane, des quartiles, ainsi que les valeurs extrêmes (la plus grande et la plus petite). Enfin ce diagramme est utilisé principalement pour comparer deux populations de tailles différentes.

Méthode d'intervalle de confiance

Cette méthode se fonde d'une part sur la définition d'un seuil pour se prononcer sur l'état ou non de sécheresse en déclarant l'année, objet de l'étude, sèche ou pas et présuppose d'autre part, l'identification de l'année normale ou moyenne.

En effet, la limite inférieure de l'intervalle de confiance est considérée comme seuil de la sécheresse c'est-à-dire que toute période ayant enregistré une quantité de précipitations inférieure à cette limite est qualifiée de climatiquement sèche. Egalement, toute période qui a connu une précipitation comprise entre la borne inférieure et la borne supérieure est considérée normale. Ainsi, une période est définie comme humide lorsque la limite supérieure de l'intervalle de confiance est dépassée.

Indice pluviométrique de Nicholson

En vue d'apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, la méthode de l'indice pluviométrique de Nicholson a été appliquée. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires. Ainsi, pour chacun des postes pluviométriques retenus, un indice de la pluie interannuelle a été déterminé.

Cet indice mesure l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en se référant aux données des stations. L'indice pluviométrique annuel est la variable centrée réduite des pluies annuelles (Delany, 1965). Il est obtenu par calcul à l'aide de la formule de l'équation ci-dessous (Servat et *al.*, 1998).

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

Avec :

I_i : Indice pluviométrique

X_i : Hauteur de pluie de l'année i (en mm),

\bar{X} : Hauteur de pluie moyenne sur la période d'étude (en mm),

S : Écart type de la hauteur de pluie sur la période d'étude.

Une année est dite normale si I_i est nul. Un I_i positif correspond à un excédent pluviométrique et un I_i négatif signifie un déficit pluviométrique de l'année considérée (Soro et *al.*, 2011). Les indices pluviométriques I_i se sont ensuite classés selon les gammes des valeurs pour permettre d'apprécier l'ampleur de la sécheresse (ou de l'humidité) pour chacune des années de la série pluviométrique (Wu et *al.*, 2005) (Tableau 1).

Tableau 1 : Différentes classes de gammes des valeurs du I_i et leurs signification (Soro et al., 2011).

	Interprétation
$I_i > 2$	Humidité extrême
$1 < I_i < 2$	Humidité forte
$0 < I_i < 1$	Humidité modérée
$-1 < I_i < 0$	Sécheresse modérée
$2 < I_i < -1$	Sécheresse forte
$I_{ii} < -2$	Sécheresse extrême

Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 «moyennes mobiles pondérées»

Cette méthode permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique donnée. La moyenne mobile pondérée est calculée par l'équation ci-dessous (Assani, 1999).

$$X_{(t)} = 0,06x_{(t-2)} + 0,25x_{(t-1)} + 0,38x_{(t)} + 0,25x_{(t+1)} + 0,06x_{(t+2)}$$

$$\text{Pour } 3 \leq t \leq 2 - v$$

Où $X_{(t)}$ est le total pluviométrique pondéré du terme t ; $X_{(t-2)}$ et $X_{(t-1)}$ sont les totaux pluviométriques principaux observés des deux termes qui précèdent immédiatement le terme t . $X_{(t+2)}$ et $X_{(t+1)}$ sont les totaux pluviométriques observés des deux termes qui suivent immédiatement le terme t . Les totaux pluviométriques pondérés des deux premiers [$X_{(1)}, X_{(2)}$] et des deux derniers [$X_{(n-1)}, X_{(n)}$] termes de la série sont calculés au moyen des expressions suivantes (n étant la taille de la série) :

$$X_{(1)} = 0,54X_{(1)} + 0,46X_{(2)}$$

$$X_{(2)} = 0,25X_{(1)} + 0,5X_{(2)} + 0,25X_{(3)}$$

$$X_{(n-1)} = 0,25X_{(n-2)} + 0,5X_{(n-1)} + 0,25X_{(n)}$$

$$X_{(n)} = 0,54X_{(n)} + 0,46X_{(n-1)}$$

Pour mieux visualiser les périodes de pluviométries déficitaires et excédentaires, les moyennes mobiles centrées et réduites sont calculées à partir de l'équation ci-dessous.

$$Y'_t = \frac{(X(t) - m)}{\sigma}$$

Où m est la moyenne de la série des moyennes pondérées et σ est l'écart type de la série des moyennes mobiles pondérées. Cette méthode paraît plus efficace car elle permet de découper de façon perceptible les séries.

Les tests statistiques

Pour mettre en évidence le caractère stationnaire ou non des séries chronologiques des précipitations, nous avons utilisé des tests statistiques portant sur l'analyse des tendances et des ruptures en moyenne.

Le terme de tendance fait référence au changement dans les propriétés d'un processus aléatoire qui survient graduellement à l'échelle de la période d'échantillonnage, alors qu'une rupture correspond à une modification qui survient subitement, étant donné que les propriétés demeurent stables de part et d'autre de l'année de rupture (Perreault, 2000).

La détection des ruptures a été réalisée à l'aide des tests de BUISSAND et de PETTITT, la méthode bayésienne de LEE et HEGHNIAN et la procédure de segmentation de HUBERT. En effet, ces méthodes ont été utilisées dans de nombreuses études pour analyser la stationnarité des séries climatiques (Lubès-Niel et *al.*, 1998 ; Hubert et *al.*, 1998 ; Hubert et Bendjoudi, 1999 ; Servat et *al.*, 1999 ; Auterives, 2002).

La description détaillée de tous ces tests est aussi disponible dans le logiciel Khronostat (libre d'accès) conçu par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le diagramme en boîte de Tukey

Sur la figure 2, nous avons tracé les graphiques correspondant aux pluies annuelles des différentes stations côte à côte. Cette représentation nous permet d'avoir une vue synthétique globale et au même temps une vue locale sur les données. L'analyse montre que, à l'exception de la série de la station de Béni Mellal, toutes les séries des stations étudiées sont asymétriques. Il est à noter que les hauteurs des pluies annuelles les plus élevées ont été recueillies à la station de Adamaghene. Ces hauteurs de pluies varient entre 896 mm et 304 mm avec une médiane de 470 mm. La station de Moulay Bouzkri est la moins arrosée de la zone avec des pluies variant de 200 mm à 500 mm.

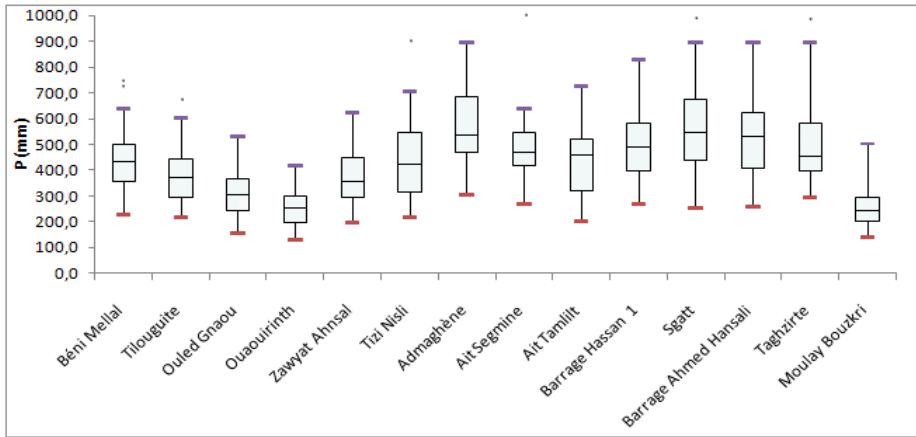


Figure 2 : Caractéristiques statistiques des pluies annuelles des stations étudiées.

La méthode d'intervalle de confiance appliquée à notre base de données a permis d'estimer les seuils qui indiquent la sécheresse annuelle (Tableau 2). Ces seuils oscillent entre 229 mm à la station Ouauirinth et 519 mm à la station Sgatt. Ils ont permis de déterminer les seuils relatifs aux indices de l'écart à la normale et du rapport à la normale (Tableau 2) ainsi que les fréquences des années sèches, normales et humides pour chacune des stations (Tableau 3).

Les années sèches représentent entre 56.6% 36.4% respectivement à Taghzirote et à Ouauirinth. Les sécheresses les plus persistantes sont survenues à la fin des années 90 et durent de quatre à cinq années consécutives comme indiqué dans l'ensemble des stations étudiées, tandis que les sécheresses des années 2000 sont souvent isolées.

Pendant la dernière décennie, les sécheresses étaient isolées, peu fréquentes et touchaient rarement l'ensemble des stations.

Tableau 2 : Seuils de sécheresse correspondants aux différents indices au cours de la période 1982-2015.

Stations	Seuil de la sécheresse (Li de IC) (mm)	Seuil de la sécheresse de L'écart à la normale	Seuil de la sécheresse du Rapport a la normale)
Béni Mellal	396,50	-10%	90%
Tilouguite	339,22	-11%	89%
Ouled Gnaou	278,14	-10%	90%
Ouaouirinth	229,46	-9%	91%
Zawyat Ahnsal	338,37	-11%	89%
Tizi Nisli	389,84	-13%	87%
Admaghène	516,80	-10%	90%
Ait Segmine	441,75	-10%	90%
Ait Tamlilt	406,83	-11%	89%
Barrage Hassan I	456,45	-10%	90%
Sgatt	519,03	-10%	90%
Barrage Elhansali	479,13	-14%	86%
Taghzirt	451,28	-11%	89%
Moulay Bouzkri	237,66	-12%	88%

Tableau 3 : Fréquences des années sèches, normales et humides dans les différentes stations.

Stations	Fréquences des années sèches	Fréquences des années normales	Fréquences des années humides
Béni Mellal	40.5%	28.5%	31%
Tilouguite	36.6%	36.6%	26.8%
Ouled Gnaou	38.2%	26,5%	35,30%
Ouaouirinth	36,4%	27,2%	39,4%
Zawyat Ahnsal	38.7%	22.6%	38,7%
Tizi Nisli	41,2%	20,6%	35,2%
Admaghène	42,4%	27,3%	20,3%
Ait Segmine	38,2%	29,4%	32,4%
Ait Tamlilt	41,2%	32,3%	26,5%
Barrage Hassan I	37,6%	28,0%	34,4%
Sgatt	44,0%	20,6%	35,4%
Barrage Elhansali	50,0%	20,0%	30,0%
Taghzirt	56.6%	33.3%	10,1%
Moulay Bouzkri	40%	36.5%	23.3%

Indice pluviométrique de Nicholson

Sur la base de la moyenne de gamme d'indice pluviométrique de Nicholson (Tableau 4), la période d'étude est dominée par les années modérément sèches. Entre 1982 et 2015, 59 % des années d'observations sont caractérisées par un déficit pluviométrique ; les années fortement humides et fortement sèches représentent respectivement 8 % et 15 % (Figure 3). Par contre, aucun cas de sécheresse extrême n'a été observé.

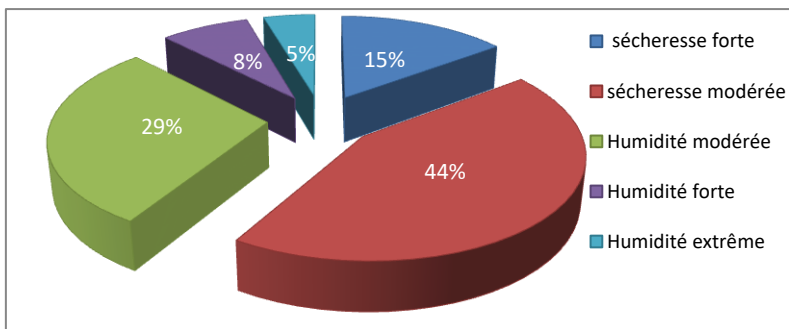


Figure 3: Répartition des années par gamme d'indice pluviométrique de Nicholson.

Tableau 4 : Fréquences des différentes classes de la sécheresse et de l'humidité dans les différentes stations.

Stations	Sécheresse forte	sécheresse modérée	Humidité modérée	Humidité forte	Humidité extrême
Béni Mellal	19%	42%	26%	6%	6%
Tilouguite	14%	55%	17%	10%	3%
OuledGnaou	16%	38%	38%	3%	6%
Ouaouirinth	19%	32%	39%	6%	3%
ZawyatAhnsal	17%	41%	28%	7%	7%
TiziNisli	16%	44%	31%	6%	3%
Admaghène	16%	45%	23%	13%	3%
Ait Segmine	9%	53%	31%	3%	3%
Ait Tamlilt	19%	34%	34%	9%	3%
Barrage Hassan I	13%	43%	33%	7%	3%
Sgatt	16%	41%	31%	9%	3%
Barrage Elhansali	13%	50%	22%	9%	6%
Taghzirt	13%	43%	30%	7%	7%
Moulay Bouzkri	10%	47%	30%	7%	7%
Moyenne de la	15%	44%	29%	8%	5%

région

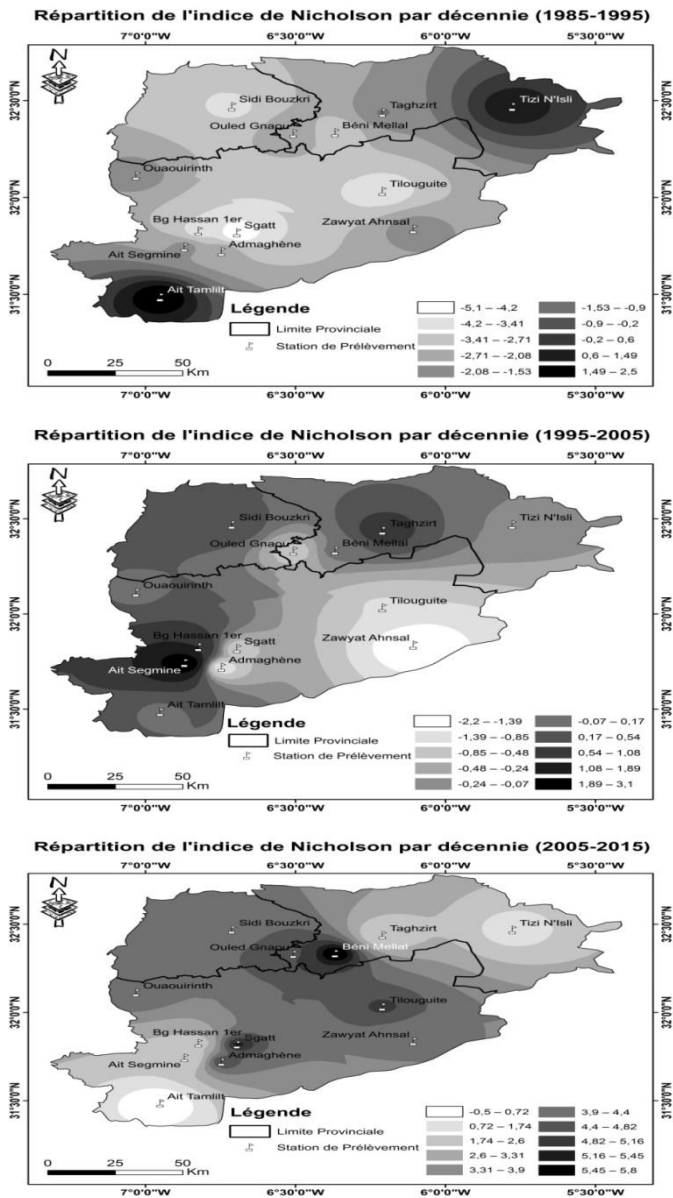


Figure 4 : Répartition de l'indice de Nicholson par décennie

Sur la période entre 1985 et 2015, retenue comme période de référence car elle est commune à tous les postes étudiés, nous avons procédé à une étude cartographique basée sur l'indice pluviométrique décrit ci-dessus.

L'interpolation spatiale effectuée sur l'indice pluviométrique décennales illustre une variabilité spatio-temporelle bien contrastée (Figure 4). Ainsi, la décennie 1985-1995 a été particulièrement déficitaire en pluie. En effet, ce déficit varie de -2 à -5 sur la quasi-totalité du bassin. Seules les hautes altitudes sont épargnées par ce déficit pluviométrique généralisé.

La décennie 1995-2005a été moins déficitaire que sa précédente. Seul le sud de la zone d'étude est largement déficitaire avec un indice descendant jusqu'à - 2.2. Les autres régions présentent, quant à elles, un caractère relativement excédentaire.

Durant la décennie 2005-2015, les valeurs des indices pluviométriques ne descendent pas en dessous de -0.75. Mis à part ces quelques régions, l'ensemble de la zone étudiée fait état d'une pluviométrie excédentaire.

Une analyse générale des cartes d'isovaleurs des indices pluviométriques montre que le caractère déficitaire des précipitations régresse progressivement au cours de la deuxième décennie. En effet, on assiste à une diminution du front déficitaire pour laisser la place à une reprise de l'activité pluvieuse. Ce constat est en accord avec les études menées par Elibrahimi et al. (2015) au niveau de la plaine de Saïss.

L'analyse de cette évolution par décennie montre donc :

- Une première période sèche de 1985-1995, représentée par des indices négatifs ;
- Une deuxième période de sécheresse modérée entre 1995 et 2005 ;
- Une troisième période de 2005-2015 considéré comme humide, représentée par des indices positifs élevés.

L'examen des données antérieures disponibles pour quelques stations seulement, révèle également une alternance de périodes sèches et humides ;un constat qui semble très courant en Afrique de l'Ouest et qui ne constitue pas pour autant un cycle du fait de sa forte irrégularité (Soro et al., 2011).

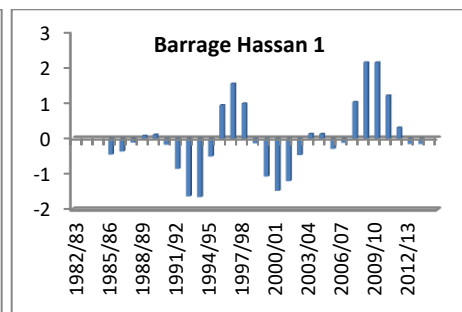
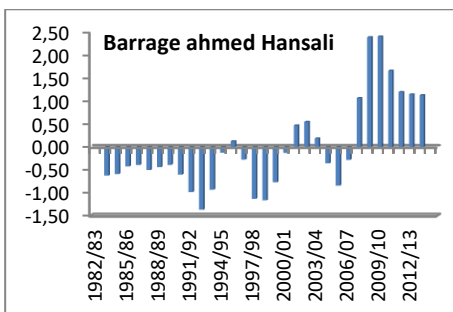
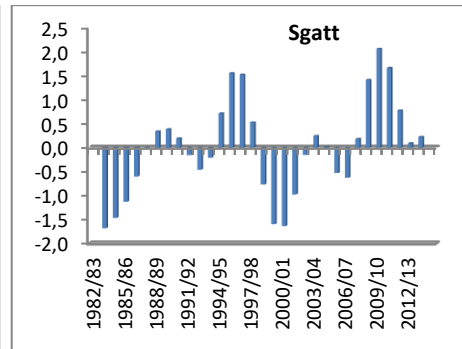
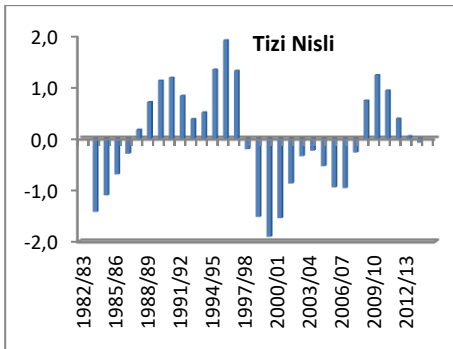
Enfin, pour réduire les erreurs dans les données liées aux mesures, bien distinguer les fluctuations interannuelles des précipitations et repérer les périodes de déficit et d'excédent pluviométriques de façon plus nette, nous avons fait appel à l'indice pluviométrique pondéré calculé à partir de la moyenne mobile pondérée.

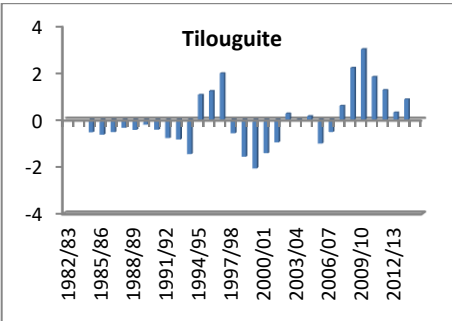
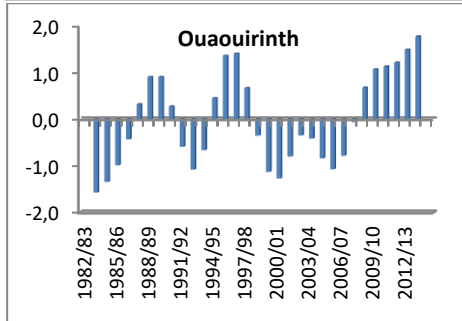
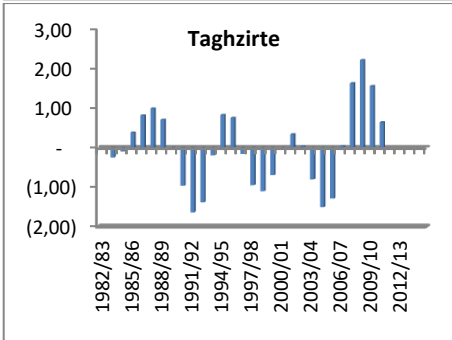
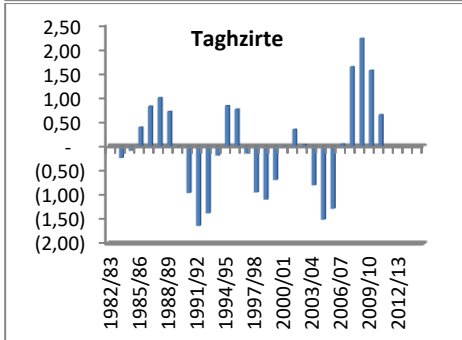
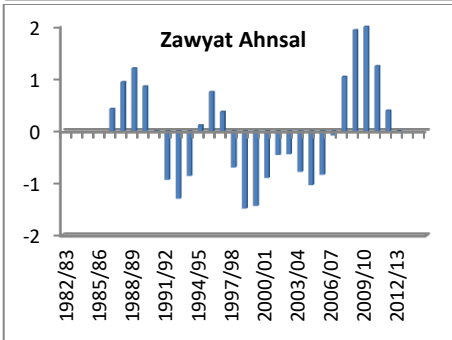
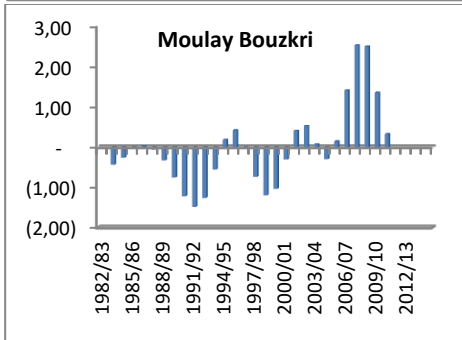
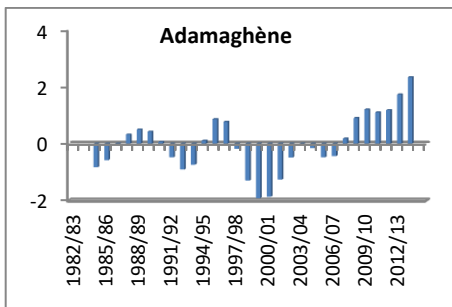
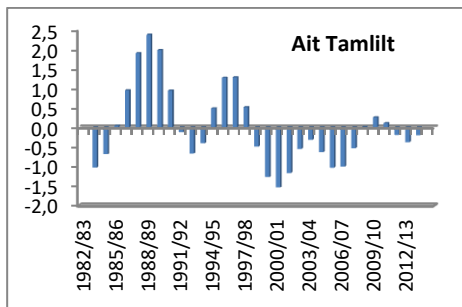
Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 «moyennes mobiles pondérées»

La méthode du Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 paraît être plus efficace par sa grande capacité à découper de façon plus perceptible les séries qui lui sont soumises. A cet effet, elle vient pallier l'insuffisance des indices pluviométriques à grouper les années par tendance.

Malgré les différences d'amplitude, la méthode des indices pluviométriques pondérés issue des moyennes mobiles pondérées employée (Figure 5) fait apparaître les mêmes grands traits dans l'organisation des pluies. En effet la variabilité interannuelle des indices pluviométriques s'organise en :

- une période déficitaire généralisée de 1982 à 2006 interrompue par deux périodes légèrement humides de 1987 à 1990 et de 1995 à 1997 ;
- une période excédentaire ; se situe majoritairement autour de l'année 2007, pour quelques stations (barrage El Hansali, Ait Segmine et Moulay Bouzkri) ; ce changement est parvenu plus tôt vers (2001).





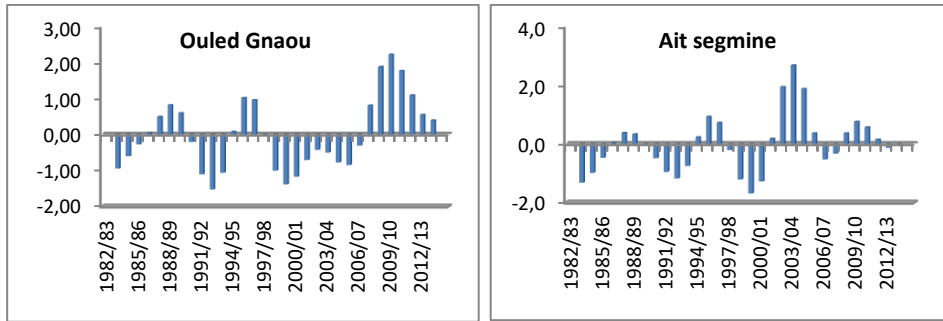


Figure 5 : Indices pluviométriques pondérés des quatorze stations étudiées

Test de rupture de PETTIT

Les résultats de ce test sont consignés dans le tableau 5. L'analyse des résultats montre que seulement quatre des quatorze séries pluviométriques étudiées présentent des ruptures.

Tableau 5 : Ruptures des séries pluviométriques selon le test de PETTITT.

	Longueur de la série en années	Année de rupture	Probabilité de dépassement	Niveau de signification
Béni Mellal	1983-2015	absence de rupture		série homogène
Tilouguite	1983-2015	absence de rupture		série homogène
Ouled Gnaou	1982-2015	absence de rupture		série homogène
Ouaouirinth	1969-2015	1979	0.1%	Rupture très significative
Zawyat Ahnsal	1984-2015	absence de rupture		série homogène
Tizi Nisli	1983-2015	absence de rupture		série homogène
Admaghène	1983-2015	absence de rupture		série homogène
Ait Segmine	1972-2015	1979	12%	Rupture peu significative
Ait Tamlilt	1974-2015	absence de rupture		série homogène
Barrage Hassan I	1985-2015	absence de rupture		série homogène
Sgatt	1983-2015	absence de rupture		Série homogène
Barrage Elhansali	1983-2015	2001	0.03%	Rupture très significative
Taghzirt	1983-2014	absence de rupture		Série homogène
Moulay Bouzkri	1970-2013	1979	0.1%	Rupture très significative

- Une rupture en 1979, au niveau des séries pluviométriques des stations de Ouaouirinth, Moulay Bouzkri et de Ait Segmine, représentant une modification du régime pluviométrique avec un déficit 25% ;
- Une rupture en 2001, au niveau de la série pluviométrique du barrage El Hansali avec un bénéfice de 49%.

Un niveau de signification du test de PETTITT a été attribué à chaque station selon la classification dressée dans le tableau 6. Les ruptures très significatives ont été signalées sur trois stations dont celles d'Ouaouirinth (0,1 %), de Barrage El Hansali (0,03 %) et de Moulay Bouzkri (0,1 %). Une rupture peu significative a été signalée à Ait Segmine (12 %). Quant au reste stations, aucune rupture n'a été enregistrée.

Tableau 6 : Niveau de signification des résultats du test de PETTITT.

Probabilité associée	Classe	Niveau de signification
$\alpha < 1 \%$	Rupture très significative	3
$1 \% < \alpha < 5 \%$	Rupture significative	2
$5 \% < \alpha < 20 \%$	Rupture peu significative	1
$\alpha > 20 \%$	Série homogène	0

Test de rupture de LEE et HEGHINIAN

Les résultats du test de rupture de LEE et HEGHINIAN appliqué aux séries pluviométriques sont présentés par le tableau 7.

En plus de la confirmation de la présence des ruptures des séries pluviométriques détectées par le test de PETTITT (malgré un décalage au niveau des dates de ruptures).Ce test à permis de mettre en évidence :

- Une rupture en 2007, concernant les séries pluviométriques de Béni Mellal, Tillouguite,
- Une rupture en 2012, concernant les séries pluviométriques de Taghzirt et Ait Tamlilt.

La segmentation de Hubert

Les résultats de la segmentation de HUBERT appliquée aux séries pluviométriques sont consignés dans le tableau 8. Cette segmentation met en évidence :

- Une rupture en 1977, au niveau des séries pluviométriques des stations de Ouaouirinth, Moulay Bouzkri et de Ait Segmine, représentant une

modification du régime pluviométrique, avec un déficit qui varie entre 25% et 32%.

- Une rupture en 2006, au niveau de la série pluviométrique du barrage El Hansali et Moulay Bouzkri avec un bénéfice allant à 39%.

Ces résultats sont en parfaite concordance avec ceux du test de PETTITT.

Tableau 7 : Ruptures des séries pluviométriques selon le test de LEE et HEGHINIAN.

stations	Année de rupture	Probabilité associée
Béni Mellal	2007	0.15
Tilouguite	2007	0.11
OuledGnaou	absence de rupture	
Ouaouirinth	1972	0.19
ZawyatAhnsal	absence de rupture	
Tizi Nisli	absence de rupture	
Admaghène	absence de rupture	
Ait Segmine	1977	0.33
Ait Tamlilt	2012	0.1
Barrage Hassan I	absence de rupture	
Sgatt	absence de rupture	
Barrage Elhansali	2006	0.41
Taghzirt	2012	0.3
MoulayBouzkri	1979	0.14

Tableau 8 : Ruptures des séries pluviométriques selon le test de HUBERT.

stations	Date de rupture	Moyenne avant la rupture (mm)	Moyenne après la rupture (mm)	Déficit ou bénéfice(%)
Béni Mellal	Pas de rupture			
Tilouguite	Pas de rupture			
OuledGnaou	Pas de rupture			
Ouaouirinth	1977	358.33	258.65	-25%
ZawyatAhnsal	Pas de rupture			
Tizi Nisli	Pas de rupture			
Admaghène	Pas de rupture			
Ait Segmine	1977	720.1	490.5	-32%
Ait Tamlilt	Pas de rupture			
Barrage Hassan I	Pas de rupture			
Sgatt	Pas de rupture			
Barrage Elhansali	2006	455.12	746.9	+39%
Taghzirt	Pas de rupture			
MoulayBouzkri	1977	355.7	243	-32%
	2006	243	359.8	+32%

L'absence de rupture au niveau du reste des séries pluviométriques, ne traduit pas l'absence d'une baisse (ou une augmentation) pluviométrique. Car une "rupture" peut être définie comme un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné.

L'absence de rupture dans une série pluviométrique ne signifie pas qu'il n'y pas de variation du niveau des précipitations dans le temps, mais que cette variation, si elle existe, reste peu significative Lubès et *al.*,(1994). C'est le cas en Tunisie centrale entre 1976 et 1989, où Kingumbi et *al.*,(2000) ont mis en évidence une baisse significative des précipitations annuelles sans rupture de stationnarité.

CONCLUSIONS

La compréhension et la caractérisation de la variabilité spatio-temporelle des indices pluviométriques et les tendances de leur évolution s'avèrent d'une grande importance pour la gestion et la planification des ressources en eaux. La présente étude a consisté à analyser la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans le bassin de Tadla Azilal entre 1982 et 2015, à partir de la méthode de Nicholson, du filtre passe-bas de Haning et des tests statistiques de détection de ruptures (test de LEE HEGHNIAN, le test de PETTITT et de la segmentation de HUBERT). L'ensemble des résultats s'accordent sur l'occurrence de fortes fluctuations interannuelles des précipitations, faisant apparaître une longue période sèche 1982 à 2006, interrompue par deux périodes légèrement humides de 1987 à 1990 et de 1995 à 1997. Celle-ci se termine par une reprise de l'activité pluvieuse près de l'année 2006, date repérée par les tests statistique comme année de rupture pour quelques stations climatiques. L'absence de rupture dans le reste des série pluviométrique ne signifie pas qu'il n'y pas de variation du niveau des précipitations dans le temps, mais que cette variation, si elle existe, reste peu significative (Lubès et *al.*, 1994). C'est le cas en Tunisie centrale entre 1976 et 1989, où (Kingumbi et *al.*, 2000) ont mis en évidence une baisse significative des précipitations annuelles sans rupture de stationnarité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AIT BRAHIM Y., SAIDI M., KOURAISS K. ; SIFEDDINE A. et BOUCHAOU L. (2016). Analysis of observed climate trends and high resolution scenarios for the 21 st century in Morocco, Journal of Materials and Environmental Science, Volume 7, Issue 12, under edition.

- ASSANI A. (1999). Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation océanique (El Niño/La Niña), *Sécheresse*:4(10) 245-252.
- AUTERIVES C. (2002). Impact du changement climatique sur la ressource en eau en région Languedoc-Roussillon. Rapport de stage de DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie ; Filière Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives. Montpellier, 49p.
- BRICQUET J.P., BAMBA F., MAHE G., TOURE M. ET OLIVRY J.C. (1997). Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. *Journal des sciences hydrologiques*, n°16, pp 83-95.
- DELANY, F. (1965). Mission hydrogéologique des régions à substratum schisteux (Côte d'Ivoire), Rapport de mission SODEMI Côte d'Ivoire.
- ELIBRAHIMIA., BAALI A., COUSCOUS A., EL KAMEL T., (2015) Etudes de l'impact des variations pluviométriques sur les fluctuations piézométriques des nappes phréatiques superficielle en zone semi-aride (cas de la plaine de Saïs, nord du Maroc). *Europeanscientific journal* vol.11N°27ISSN : 1857-7881 (print)e-ISSN 1857-7431.
- HUBERT P., SERVAT E., PATUREL J. E., KOUAME B., BENDJOUDI H., CARBONNEL J. P., LUBES-NIEL H. (1998). La procédure de segmentation, dix ans après. Publication IAHS, n°250, pp. 267-273.
- KHRONOSTAT (1998). Logiciel d'analyse statistique de série chronologiques ORSTOM Ed. Paris. <http://www.hydroscience.org>.
- KINGUMBI A., BERGAOUI Z., BOURGES J., HUBERT P., KALLED R. (2000). Étude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie centrale, Documents Techniques en Hydrologie, 51 ("Hydrologie des Régions Méditerranéennes" Actes du Séminaire de Montpellier, 2000), UNESCO, Paris, 341-345.
- LUBES-NIEL, H., MASSON, J.M., PATUREL, J.E., ET SERVAT, E. (1998). Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, 3, 383-408.
- LUBES-NIEL H., MASSON J. M., SERVAT E., PATUREL J. E., KOUAME B., BOYER J. F. (1994). Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques - Etude bibliographique. ORSTOM, FRIEND AOC, Programme ICCARE, N° 3, 21p.
- MAHE G. Et OLIVRY J.C. (1995). Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Bulletin sécheresse*, vol. 6, N° 1, pp. 109-170.
- MAHMALAT et BENNIS (2012). Environnement et changement climatique au Maroc, Diagnostic et perspectives, 90p.

- PERREAULT L. (2000). Analyse bayésienne rétrospective d'une rupture dans les séquences de variables aléatoires hydrologique. Thèse en cotutelle ENGREF / GRESE et univ. Québec / INRS-Eau, 29 septembre 2000, 200p.
- SEIF-ENNASR M. ; ZAABOUL R., HIRICH A., CAROLETTI G., BOUCHAOU L., MORJANI Z., BERAAOUZ E., MCDONNELL R., ET CHOUKR-ALLAH R., (2016). Climate change and adaptive water management measures in ChtoukaAït Baha region (Morocco), *Science of the Total Environment* 573 (2016) 862–875.
- SERVAT E., PATUREL J.E., KOUAME B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M., BOYER J. F., LUBES-NIEL H., FRITSCH J.M., MASSON J.M., MARIEU B.(1998) « Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale », *IAHS Publication*, vol. 252, 323-337.
- SERVAT E., PATUREL J.-E., LUBES-NIEL H., KOUAME B., MASSON J.M., TRAVAGLIO M. ET MARIEU B. (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*, vol.12, n°2, pp.363-387.
- SORO, T.D., SORO, N., MARIE-SOLANGE, Y., LASM, T., SORO, G. ERNEST, K. &BIEMI, J.(2011). La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo*, 5 : 55-73.
- WU, H., HAYES, M.J., WILHITE, D.A. ET SVOBODA, M.D. (2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology*, 25: 505– 520.
- ZEINO, M. et BENNIS, A. (2012). *Environnement et Changement Climatique au Maroc*, 2012, p 36