

## **ANALYSE DES TENDANCES PLUVIOMÉTRIQUES DES DONNÉES HOMOGÉNÉISÉES DU RÉSEAU D'OBSERVATION CLIMATIQUE DE LA RÉGION FES-MEKNES (MAROC)**

**Mohamed HANCHANE<sup>1</sup>, Redouane KESSABI<sup>1</sup>, Jose A GUIJARRO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Laboratoire Dynamique, espace, patrimoine et développement durable, USMBA Fès. (mohamed.hanchane@usmba.ac.ma);*

<sup>2</sup>*Université Sidi Mohammed Ben Adellah-Fès (Maroc), Maroc; <sup>2</sup>Agence Statale de Météorologie (AEMET), Bureau des îles Baléares (Espagne)*

**Résumé :** La présente étude porte sur l'homogénéisation des précipitations mensuelles d'une base de données collectée pour l'ensemble de la région Fès Meknès et sur la régionalisation spatio-temporelle l'analyse des tendances des précipitations annuelles. Les méthodes déployées utilisent l'outil CLIMATOL, l'analyse en composante principale avec rotation de type Varimax (ACPR) et le test séquentiel de Mann-Kendall (TS-MK). Les résultats dégagent la persistance d'une tendance vers la diminution des pluies annuelles depuis les années 1990 pour l'ensemble des régions arrosées de la région alors que les plateaux arides de la Moulouya ne connaissent pas de diminution importante.

**Mots clés :** Homogénéisation, Climatol, Régionalisation ACPR, Tendances des précipitations, TS-MK.

### **Abstract : ANALYSIS OF RAINFALL TRENDS FROM HOMOGENEIZED DATA FROM THE CLIMATE OBSERVATION NETWORK OF THE FES MEKNES REGION (MOROCCO)**

This study focuses on the homogenization of monthly rainfall from a database collected for the entire Fez Meknes region and on the spatio-temporal regionalization analysis of annual rainfall trends. The methods deployed use the CLIMATOL tool, principal component analysis with Varimax-type rotation and the Mann-Kendall sequential test. The results show the persistence of a trend towards a decrease in annual rainfall since the 1990s for all the wetted regions of the region, while the arid plateaus of Moulouya do not experience a significant decrease.

**Keywords :** Homogenization, Climatol, ACPR Regionalization, Precipitation trends, TS-MK.

### **Introduction**

Le problème de la disponibilité et de la qualité des données climatiques enregistrées par différentes stations de mesure est d'une importance majeure à résoudre avant toute étude sur la variabilité du climat et sur les tendances actuelles. En outre, le contexte de changement climatique actuel suppose que les séries climatiques soient de plus en plus non-stationnaires. Ainsi, les tests d'homogénéité sur les séries climatiques s'imposent impérativement. On considère qu'une variable climatique est homogène lorsque les variations sont uniquement d'origine climatique. En effet, l'homogénéisation des données climatiques corrige les erreurs d'enregistrement causées par la nature des observations météorologiques : changements des instruments de mesure, changements de l'environnement autour de la station de mesure, changement de la station elle-même, etc.

La collecte d'une base de données sur les précipitations mensuelles au niveau de 83 stations climatiques couvrant la région Fès-Meknès et sur des périodes hétérogènes de la chronique

1961-2019 nécessite impérativement le comblement des lacunes et l'homogénéisation des données.

En raison de l'absence d'informations sur les métadonnées, une procédure d'homogénéisation automatique avec le package CLIMATOL sous R a été utilisée (Guijarro, 2019). Cet outil à l'avantage d'automatiser les opérations de contrôle de la qualité des données (correction des valeurs aberrantes), d'homogénéisation (détection et correction des ruptures), de comblement des lacunes dans les séries et d'analyse des tendances climatiques pour un large réseau d'observations pluviométriques comme celui de notre zone d'étude. Il est basé sur le Test d'homogénéité normale standard (SNHT). Il a été largement utilisé afin d'homogénéiser une variété de variables climatiques, notamment la température, les précipitations et le vent.

Le but cette étude est d'obtenir les résultats des tendances pluviométriques en utilisant des données homogénéisées. Une régionalisation des tendances selon les particularités géographiques de la région est mise en évidence en utilisant une analyse en composantes principales avec rotation de type Varimax. Les résultats obtenus aboutissent à des tendances spatialement cohérentes qui rendent compte des spécificités géographiques.

## 1. Présentation de la zone d'étude

La région de Fès-Meknès, l'une des 12 régions du Maroc, est située au nord du pays. En allant du Nord vers le Sud, elle se compose des unités géomorphologiques suivantes : la chaîne rifaine et les collines pré-rifaines, la plaine du Saïs et le couloir de Taza, la chaîne Moyenne Atlasique et la haute Moulouya (Fig. 1). Elle s'étend sur une superficie de 40.075 Km<sup>2</sup>, soit 5,7 % du territoire national. Elle dispose d'un climat méditerranéen sur les collines pré-rifaines et la plaine de Saïs, d'un climat aride steppique au niveau de la Haute Moulouya et d'un climat montagnard de type méditerranéen sur le Rif et le Moyen Atlas. Son territoire est à vocation agricole et dispose d'un ensemble de ressources hydriques et forestières importantes. La pérennité de celles-ci dépend des tendances pluviométriques actuelles

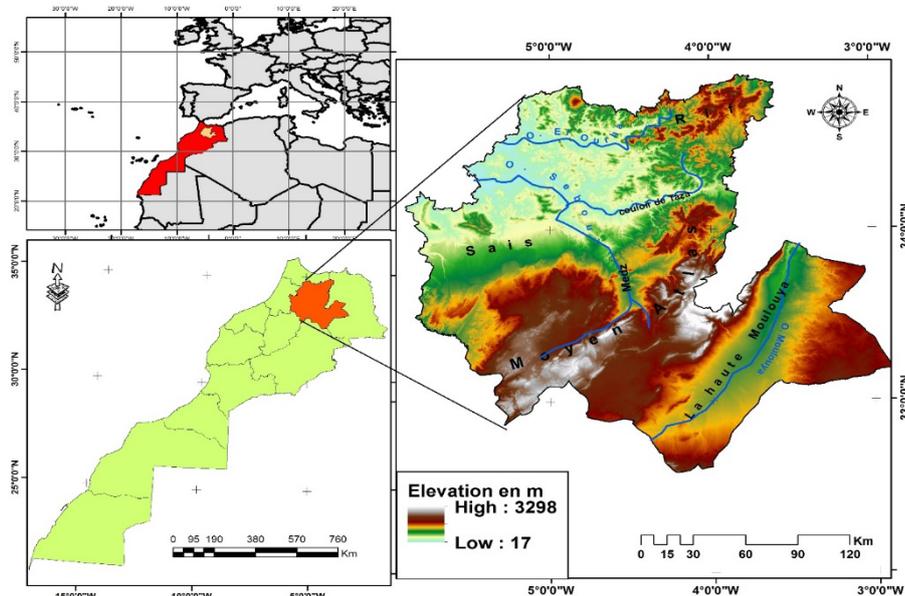
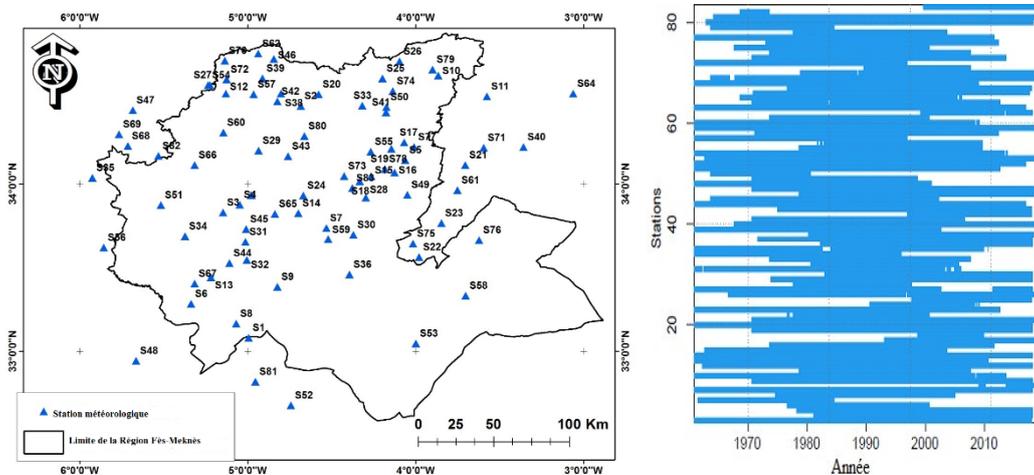


figure 1 : Situation géographique de la région de Fès-Meknès.

## 2. Données et méthodologie

Les données pluviométriques mensuelles de la région Fès-Meknès utilisées dans cette étude couvrent la période climatique 1961-2019. Elles sont extraites d'un réseau de 83 stations qui appartiennent au réseau d'observations de trois bassins hydrauliques : l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS), l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia (ABHOER) et l'Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya (ABHM). La majorité des stations de mesures se situe au sein de la région Fès-Meknès. Des stations limitrophes ont été introduites pour enrichir l'information spatiale sur la pluviométrie. Pour l'ensemble de la période 1961-2019, il y a 12 stations qui possèdent moins de 10 % de données manquantes, 25 stations détiennent entre 10 et 30 % et 30 et 50 % de manques respectivement et 21 stations disposent de plus de 50 % de manques (Figure 2). Le seuil critique de disponibilité des données lors de l'opération d'homogénéisation est de 10 ans ; aucune station n'a atteint ce seuil et toutes les stations ont été donc conservées.



**figure 2.** Répartition spatiale des stations météorologiques de la région Fès-Meknès et ses environs (à gauche) et disponibilité des données par station (à droite).

La méthode choisie consiste à automatiser l'homogénéisation des données tout en comblant les lacunes et en analysant les tendances climatiques pour une large base de données. L'outil CLIMATOL (version 3.1.1), un package informatique développé sous R par Guijarro (2019), répond parfaitement à l'objectif de la présente étude. Il permet l'exploration des séries et le comblement des lacunes selon la méthode développée par Paulhus et Kohler (1952) en utilisant l'information pluviométrique contenue dans les stations les plus proches. Elle a été utilisée par plusieurs études afin d'homogénéiser les données climatiques. Les résultats ont confirmé la capacité du package CLIMATOL à supprimer les erreurs systématiques liées aux sauts dans les moyennes et à homogénéiser efficacement les données climatiques. La série d'anomalies normalisées est utilisée pour la détection des valeurs aberrantes. Comme les précipitations sont extrêmement variables et la topographie a une grande influence sur la genèse de pluies orageuses d'origine convectif, surtout en été sur les montagnes, un seuil de valeurs aberrantes a été ajusté pour s'assurer que les valeurs aberrantes détectées ne soient pas exclues uniquement en raison de leur caractère extrême. Le seuil choisi pour tolérer des valeurs aberrantes a été défini sur  $\pm 14$  écarts types. L'approche d'homogénéisation dans CLIMATOL est basée sur le test SNHT proposé par Alexanderson (1986). La procédure de comblement des données manquantes est basée sur la méthode de régression orthogonale, largement connue sous le nom d'axe majeur réduit (Reduced Major Axis-RMA), qui s'est avérée efficace pour l'ajustement des relations bivariées (Zhang et al., 2005).

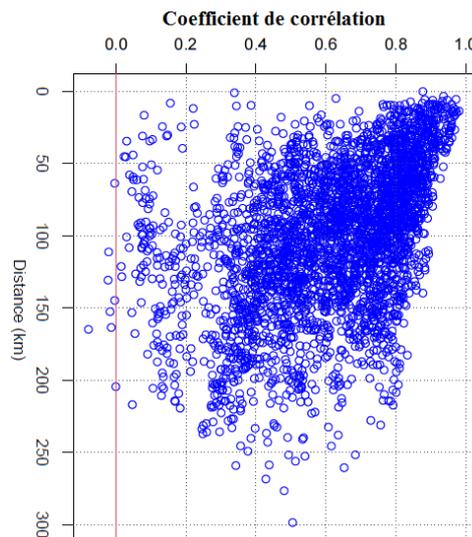
Les données contrôlées, comblées et homogénéisées sont récupérées pour une régionalisation spatio-temporelle en déployant une analyse en composantes principales avec rotation de type Varimax (ACPR). Les tendances des séries temporelles des scores relatifs aux axes retenus par ACP sont analysées selon le test séquentiel de Mann-Kendall (Sneyers, 1975).

### 3. Résultats

Les processus d'homogénéisation sont appliqués sur les données pluviométriques mensuelles. La suite de l'analyse est effectuée sur des séries annuelles.

La consultation de la base de données finale générée après homogénéisation montre que 61,5 % des données se composent de données observées originales et non modifiées, 4,2% de données aberrantes, ne reflétant pas la réalité climatique de la zone d'étude, ont été corrigées après leurs comparaisons avec les données des stations voisines, alors que 34,3% de données ont été reconstituées selon la méthode de Paulhus and Kohler (1952) grâce aux apports d'informations pluviométriques des stations voisines.

Les corrélogrammes de la figure 4 montre une décroissance du coefficient de corrélation entre les stations en fonction de la distance qui les séparent (Figure 3). Après homogénéisation, la majorité des stations montre des corrélations supérieurs ou égales à 0 et leur décroissance systématique avec la distance.



**figure 3:** Corrélogramme des données homogénéisées

La détection des ruptures a permis d'identifier 13 stations dont 2 sont marquées par deux ruptures, il s'agit des stations de Tahla et de Pont Sebou. Ces ruptures se concentrent beaucoup plus pendant la décennie 1970 durant laquelle certaines régions du Maroc ont connu le début d'une tendance vers la diminution des précipitations.

La qualité d'homogénéisation des données est évaluée à l'aide du critère de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) qui caractérise la taille des écarts entre les données observées et estimées. Après le processus d'homogénéisation des données, l'étendue de variation du RMSE varie entre un minimum de 5.8 et un maximum de 58.4 mm et la valeur la moyenne est de 17.9 mm. Les valeurs de RMSE les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations de montagne du Moyen Atlas: Bab Boudir (41.6 mm), Dayt Aoua (44.1 mm), Ifrane (42 mm) et Tazekka (42.8). En revanche, la valeur maximale égale à 58.4 mm est relevée à la station du barrage El Wahda qui située à une basse altitude à l'aval de l'Oued Ouergha (au sud des collines pré-rifaines). L'analyse des tendances pluviométriques annuelles montrent que 49.4%

des stations présentent des tendances significatives vers la diminution. La majorité d'entre elles sont localisées sur le Rif, la plaine de Saïs, le couloir de Taza et les montagnes du Moyen Atlas; 20.5% des stations ont une tendance vers la diminution significative au seuil 0.1, 27.8% au seuil de 0.05 et uniquement une station au seuil de 0.01.

La régionalisation des pluies annuelles par ACPR nous permis de dégager deux axes factoriels qui expliquent 77.2 % de la variance totale (Figure 4); la contribution des autres axes ne dépasse pas les 2.8 % pour chacun d'entre eux. Le premier axe (D1) regroupe les stations qui sont marquées par des diminutions significatives alors que le second (D2) réunit les stations à climat aride des Haut Plateaux de la Moulouya. L'analyse de tendance des scores des deux axes D1 et D2 est effectué selon le test séquentiel de Mann Kendall (Figure 5).

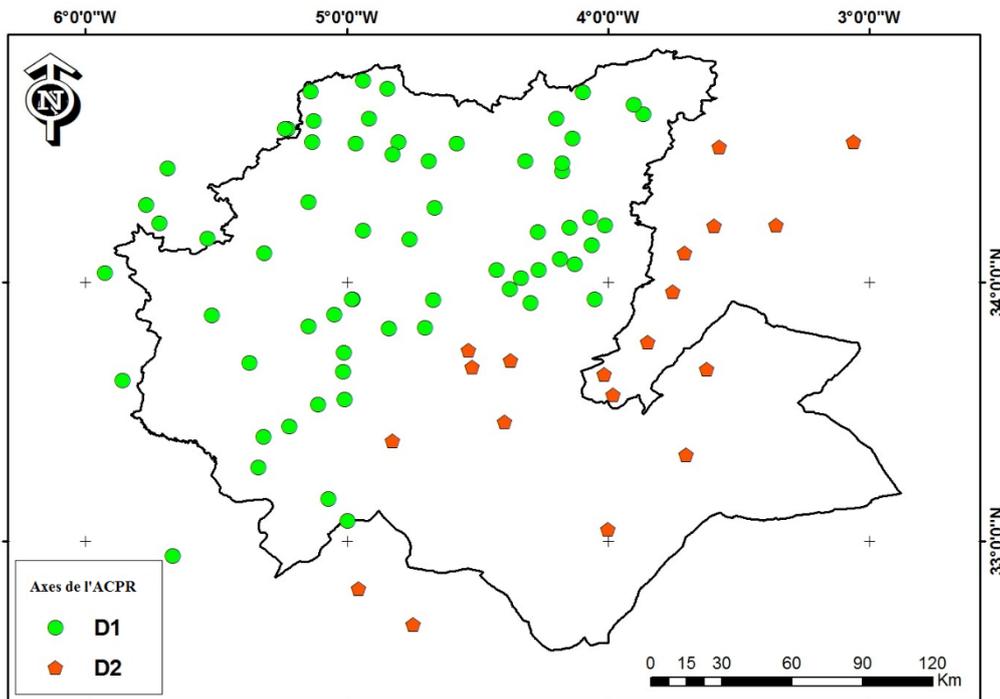


figure 4: Régionalisation des précipitations annuelles.

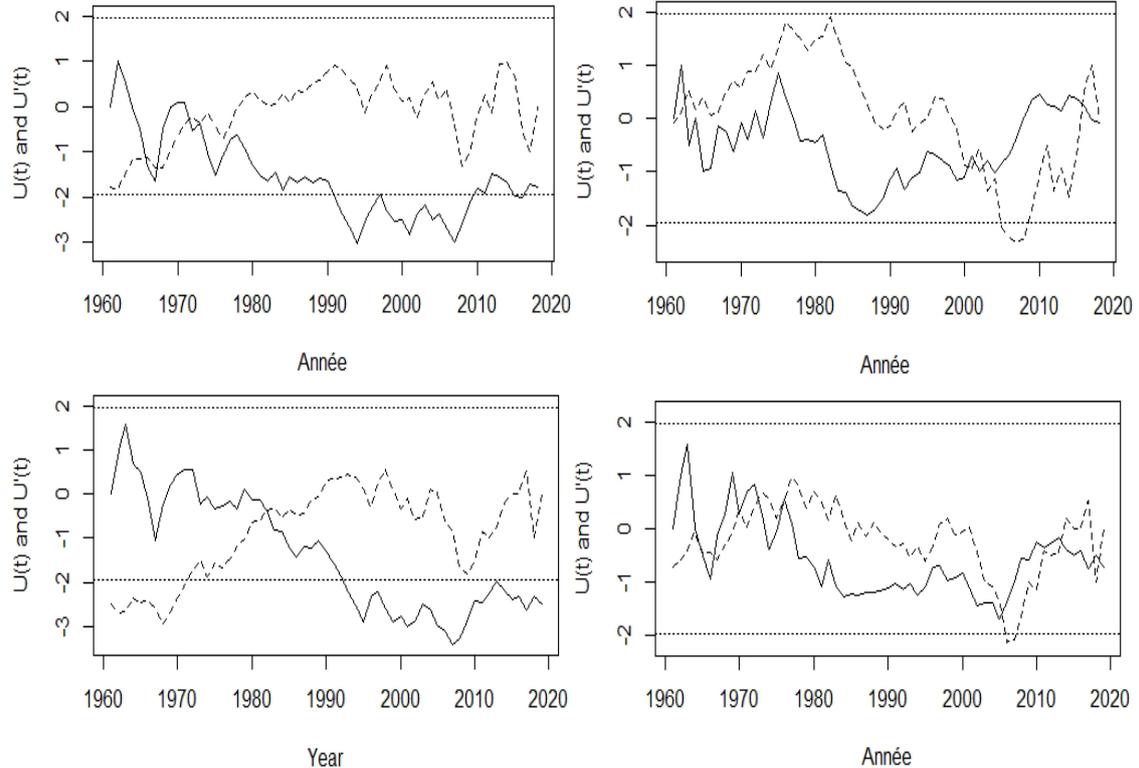
L'axe D1 montre une diminution des précipitations annuelles depuis le milieu des années 1970 avec un changement de tendance vers 1972. Cette diminution devient significative à partir de 1990 et persiste jusqu'en 2010. Cette situation est observée par exemple au niveau de la station de Aïn Khebbab, située au Moyen Atlas Oriental, la plus représentative de l'axe D1 où le début du changement de tendance a débuté des années 1980 et la diminution significative persiste depuis le début des années 1990.

Pour l'axe D2, on assiste à une courte période de changement avec une diminution significative uniquement pour les années 1998 et 1999. Cette situation est presque similaire à celle de la station la plus représentative de Berkine qui fait partie des Hauts plateaux de la Moulouya.

## Conclusion

Cette étude a permis de construire une série de précipitations mensuelles homogènes pour la chronique 1961-2019 à l'aide du package CLIMATOL. Les résultats obtenus après homogénéisation ont permis d'effectuer une régionalisation spatio-temporelle des précipitations annuelles et une analyse de tendance au niveau des séries temporelles des scores

des deux axes. La moitié nord de la région Fès Meknès (premier axe), la plus arrosée, montre une tendance vers une diminution significative longue et persistante. Quant aux Hauts arides de la Moulouya, on enregistre une courte période de deux ans (2008-2009) durant laquelle une significative diminution est enregistrée.



**figure 5:** Analyse des tendances des scores de l'axe D1 (en haut à gauche) et D2 (en haut à droite) et des stations représentatives de l'axe D1 (Aïn Khebbab : en bas à gauche) et de l'axe D2 (Berkine: en bas à droite) selon le test séquentiel de Mann-Kendall.

## Bibliographie

- Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, **6**, 661-675.
- Guijarro J. A., 2014 : User's guide to climatol An R contributed package for homogenization of climatological series Version 2.2. State Meteorological Agency (AEMET), Balearic Islands Office, Spain, 33 p.
- Guijarro, J.A., 2019. Climatol. Climate Tools (Series Homogenization and Derived Products).
- Paulhus, J. L. H., Kohler, M. A. 1952. Interpretation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, **80**(8), 129-133,
- Sneyers, R. 1975. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Note technique de l'OMM n°143.
- Zhang, L., Bi, H., Gove, J-H, Heath, L-S. 2005. A comparison of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line. *Canadian Journal of Forest Research*. **35**(6): 1507-1514.