



## Variabilité des précipitations et de la température sur une période de quatre à cinq ans dans partie ouest de Madagascar

**RABENDRINA Antoine**

*Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Laboratoire de Physique du Solide, BP 101, Madagascar.*

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.20617720>

---

### **Résumé :**

L'analyse statistique des données climatiques de deux variables climatiques : *Précipitation et Température* pendant 37 ans révèle un cycle interannuel marqué par l'alternance de périodes de précipitations abondances et sécheresse prolongée. Les épisodes de fortes pluies surviennent en moyenne tous les 4 à 5 ans, tandis que les phases sèches sont caractérisées par des températures élevées ou réchauffement climatique et un déficit quasi-total en précipitations suivant les rythmes des variations climatiques.

La température ne cesse de s'accroître progressivement tandis que la précipitation diminue périodiquement. Cette variabilité peut être modélisée par une fonction quasi quasi-périodique dont 4 à 5 ans correspond à la période du cycle.

L'identification de ce comportement régulier permet d'anticiper les épisodes extrêmes, offrant des outils essentiels pour la gestion des ressources en eau et l'adaptation agricole. Ces résultats renforcent la compréhension des dynamiques climatiques régionales et leurs impacts socio-économiques.

**Mots clés :** *climatologie, changement climatique, réchauffement climatique.*

### **Abstract:**

The statistical analysis of a 37-year climate dataset (precipitation and temperature) reveals a well-defined interannual variability characterized by alternating wet and dry phases. Periods of intense precipitation recur approximately every 4-5 years, while dry phases are associated with elevated temperatures and a near-complete precipitation deficit, reflecting marked climatic variability.

A progressive warming trend is observed in temperature, whereas precipitation exhibits quasi-periodic fluctuations with recurrent minima. This variability can be effectively approximated by a quasi-pseudo periodic function, with a dominant periodicity of 4-5 years.

The identification of this robust cyclic behavior provides a predictive framework for anticipating extreme hydro-climatic events. This offers valuable implications for water resource management and climate-resilient agricultural planning. Overall, these findings enhance the understanding of regional climate dynamics and their associated socio-economic impacts.

**Key words:** *climatology, climatic change, warming climatic*

## 1.Introduction :

Toutes les recherches scientifiques ont été actuellement au cœur du changement climatique qui menace inévitable sur l'environnement et les êtres vivants. Le GIEC a dégagé un réchauffement mondiale environ de 0,2°C par décennie jusqu'à l'horizon.[1].

Plusieurs paramètres sont caractéristiques sur le changement climatique à cause desquels peuvent se mettre en péril les phénomènes extrêmes et les irrégularités climatiques actuelles comme les deux variables *températures* et *précipitation* qui prennent une place capitale pour les sécheresses et les inondations. [2]

Madagascar fait partie du pays touchés du changement climatique, surtout la partie ouest de la grande île, la région du Melaky.

Notre étude est maintenant focalisée sur la variabilité de deux variables, température et précipitation sur la ville de Maintirano, chef-lieu de district de la région Melaky partie ouest de Madagascar, en analysant les caractéristiques de fluctuations dans une période annuelle. Le but de notre travail est d'analyser la variabilité périodique de la précipitation et la température dans une période quatre ou cinq ans. Dans cette période la précipitation prend une valeur maximale marquant la pluie à verse ayant pour conséquence inévitable pour les dégâts de l'environnement, comme l'agriculture et inondation dans le cas contraire, on trouve la période sèche très accentuée tous les quatre ou cinq ans. [3]

De plus nous nous proposons d'apporter aussi une aide aux paysans sur la compréhension du mécanisme météorologique pour la période de quatre ou cinq ans. Car les paysans ont beaucoup de difficultés sur les choses et l'accident imprévu pour l'abondance de pluie et la sécheresse pendant cette période car la pluie n'était plus à terme comme avant car le début et la fin de chaque saison ne sont pas bien définis.

Pour mener à bien notre travail, on va étudier les données statistiques annuelles des deux paramètres température et précipitation, et ensuite on va analyser les tracés des deux courbes pour la période de quatre ou cinq années marquant la sécheresse et l'abondance de pluie ou l'inondation pendant cette période

La connaissance de cet événement nous permet d'éviter le dégât éventuel pour l'habitat de maison et la préparation de la saison culturelle.

## 2.Méthodologie

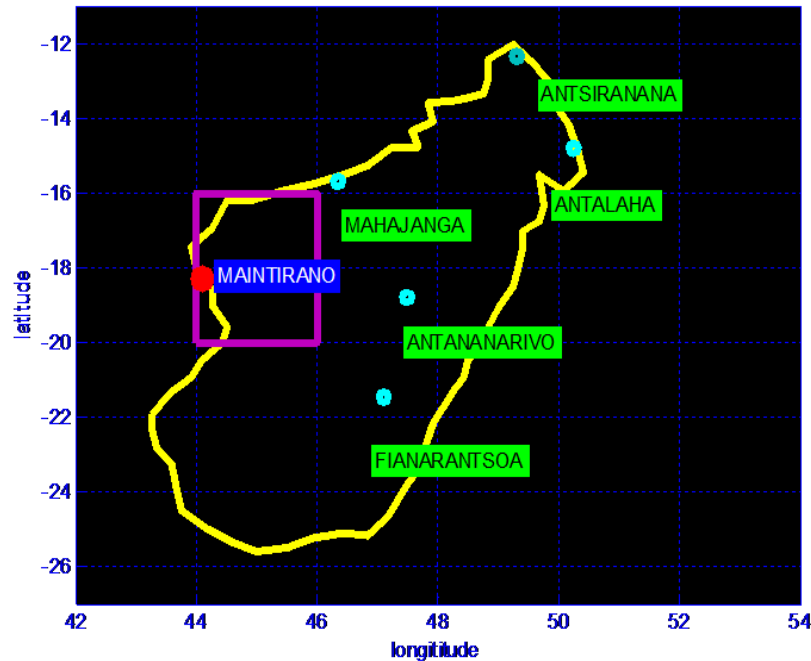
Pour mettre en évidence le comportement de deux variables correspondantes pendant une période sèche et abondance de pluie, on a utilisé les logiciels Eviews et Matlab. Cette méthode s'est opérée principalement sur trois étapes. La première étape consiste à déterminer la zone d'étude et les données utilisées pour analyser l'alternance en fonction du temps. La deuxième étape a été la détermination des paramètres statistiques des données. Et enfin, on se termine aux modèles ARMA correspondant à ces deux variables.

### 2.1. Zone d'étude et donnée utilisée

Notre étude est sur la ville de Maintirano dont la longitude est de 44°1'37'' E, et à latitude de 18°3'41 ''S.

Sur la carte de Madagascar de la **Figure 1** ci-dessous, on peut la voir facilement cette ville en couleur de point rouge de la partie gauche de notre figure, et cette ville se trouve sur une région encadrée en violet.

Les données météorologiques utilisées sont des données pluviométriques quotidiennes et la température couvrant Madagascar, pour une période de 37 ans allant de janvier 1979 à Décembre 2015. Ces données sont téléchargées directement sur le ERA-Interim de l'ECMWF (European Centre for Medium range Weather Forecasts).



**Figure1** : Carte de Madagascar et la ville Maintirano de Longitude :  $44^{\circ}1'37''E$  et à latitude :  $18^{\circ}3'41''S$ .

## 2.2. Régression linéaire simple

Les variables climatiques ne sont pas indépendantes, les liaisons sont caractérisées par un modèle de régression linéaire simple de la forme : [4]

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon, \quad (9)$$

Avec Y est la variable dépendante (un v. a.).  $\beta_0$  et  $\beta_1$  sont les coefficients (ordonnée à l'origine et pente), X est la variable indépendante (variable explicative),  $\varepsilon$  est une erreur aléatoire.

Avec Tapez une équation ici.

## 2.3. Coefficient de corrélation [5]

La corrélation entre deux variables aléatoires X et Y est mesurée par le coefficient

$$\rho = \frac{\text{Cov}(X; Y)}{\sqrt{V(X) \cdot V(Y)}} \quad (10)$$

Dans ce cas,  $\text{Cov}(x, y)$  est la covariance entre x et y et  $v(x)$  et  $v(y)$  les variances.

Le coefficient de corrélation est :

$$r = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX} \cdot S_{YY}}} \quad (11)$$

D'une manière générale, la forme de la régression linéaire est telle que :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, \quad (12)$$

## 2.4. Modèle ARMA de deux variables température et précipitation [6]

La Signification des modèles ARIMA permet une prédiction de l'évolution future d'un phénomène. Un autre intérêt, peut-être plus essentiel en ce qui concerne la recherche scientifique, et la signification théorique de ces différents processus dont l'interprétation dépend de la nature du phénomène étudié. Ces processus ayant une partie AR et une partie MA.

Le modèle ARMA présentant la saisonnalité est noté par SARIMA (p, d, q) (P, D, Q) s, où les paramètres p, q, P, Q et S sont des entiers positifs à déterminer pour modéliser l'évolution des observations :

p : nombre de termes du processus Autorégressive AR(p),

q : nombre de termes du processus Moyenne Mobile MA(q),

d : ordre du processus d'Intégration I(d),

P : nombre de termes du processus Autorégressive Saisonnier SAR(P),

Q : nombre de termes du processus Moyenne Mobile Saisonnier SMA(q),

D : ordre du processus d'Intégration Saisonnière I<sub>S</sub>(D),

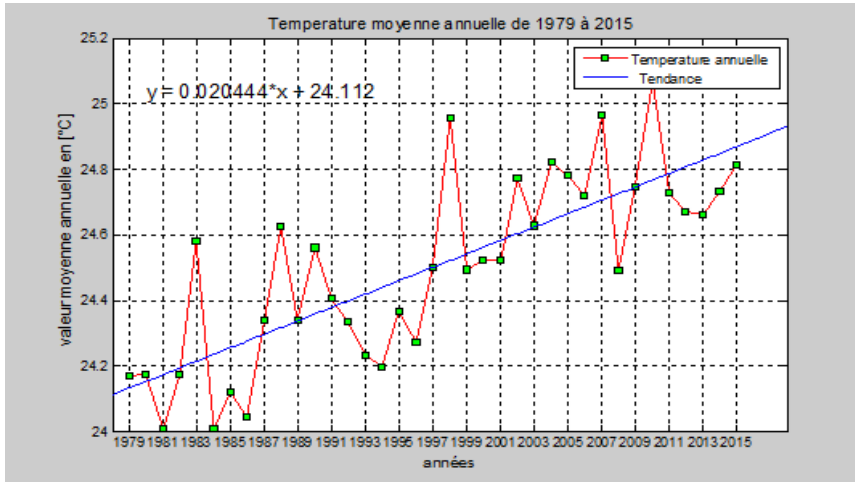
s : représente la saisonnalité, qui est égale à la valeur de la périodicité du signal.

Une fois un modèle retenu, on peut effectuer une prévision à l'horizon donnée et la théorie de la prédiction linéaire dans un intervalle de confiance pour les valeurs futures de la série.

## 3. Résultats et DISCUSSION

### 3.1. Température

La température moyenne annuelle durant 37ans augmente et presque similaire à la valeur trouvée du GIEC pendant dernière décennie, c'est-à-dire 0,2°C. Chaque point sur la courbe donne la valeur moyenne de température annuelle pendant 37 ans. La courbe durant cette période présente une tendance légèrement croissante et ayant une pente de **0.020444°C** soit 0.02°C ou 0.2°C par décennie, ce qui montre un réchauffement climatique en cette ville.



**Figure 1 : Température moyenne annuelle**

La **Figure 1** est donnée par Le Logiciel Matlab dont l'équation de la droite de la température annuelle en fonction du temps est donnée par sur la courbe (Figure1) [7]. Le logiciel Eviews nous donne aussi les mêmes valeurs des coefficients de la droite de tendance d'après le **Tableau 1** ci-dessous dont l'équation est de la forme  $y=ax+b$  avec les valeurs de  $a=0,020444$  et  $b=24,13260$  [8], l'écart-type de  $a$  et  $b$  sont notées par  $\sigma(b)=0,057634$  et  $\sigma(a)=0,002754$  et les ratio de Student  $T(b)=418,7218$  et  $T(a)=7,423933$ .

**Tableau 1 : Tableau donnant les valeurs des paramètres de la droite de Température annuelle**

Dependent Variable: TP  
Method: Least Squares  
Date: 04/08/26 Time: 21:48  
Sample (adjusted): 1979 2015  
Included observations: 37 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	24.13260	0.057634	418.7215	0.0000
@TREND	0.020444	0.002754	7.423933	0.0000
R-squared	0.611606	Mean dependent var		24.50060
Adjusted R-squared	0.600509	S.D. dependent var		0.282971
S.E. of regression	0.178853	Akaike info criterion		-0.551972
Sum squared resid	1.119588	Schwarz criterion		-0.464895
Log likelihood	12.21148	Hannan-Quinn criter.		-0.521273
F-statistic	55.11478	Durbin-Watson stat		1.881721
Prob(F-statistic)	0.000000			

### 3.1.1. Diagramme en bâton de la température annuelle pendant 37 ans

Afin de mieux caractériser la variabilité de la température annuelle, nous analysons le diagramme en bâtons présenté à la **Figure 2**, qui représente l'évolution de la température annuelle sur une

période de 37 ans. Au cours de cette période, les valeurs maximales de la température sont observées en 2000 et 2012, tandis que la valeur minimale est enregistrée en 1987.

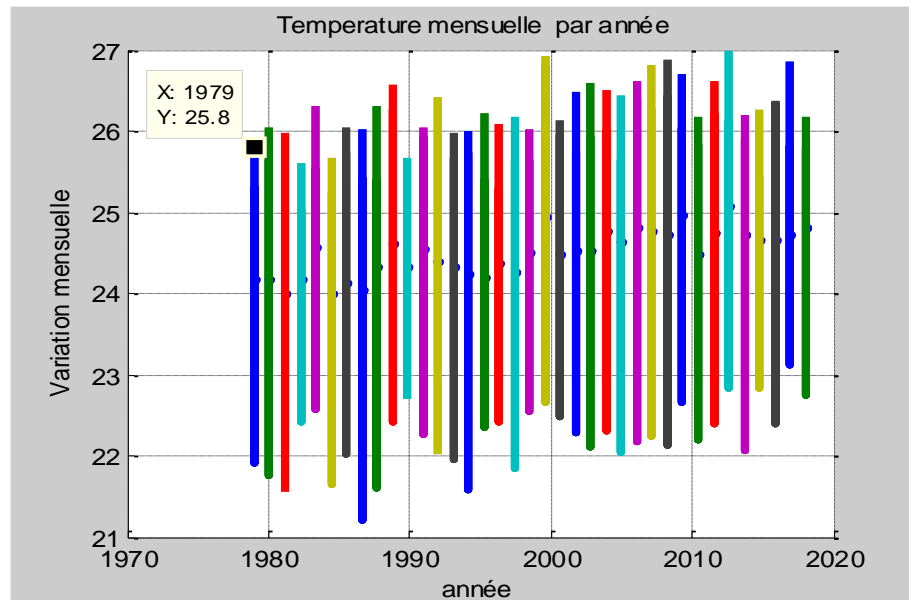
De manière générale, une tendance à l'augmentation progressive des températures moyennes est mise en évidence au fil des années. Par ailleurs, une **périodicité approximative** de quatre à cinq ans semble se manifester, caractérisée par des pics de température associés à une intensification du réchauffement [9].

Les résultats mettent en évidence une intensification progressive du réchauffement caractérisée par une augmentation des température moyenne ainsi que par une fréquence accrue des anomalies thermique positive au cours de la période étudiée. Cette évolution suggère une modification du régime climatique local, susceptible d'influencer les processus hydrologiques associés.

Par ailleurs, l'analyse met en évidence une périodicité approximative de cinq ans dans la variabilité climatique. Les phases correspondant aux maxima de température et de la précipitation coïncide généralement avec des épisodes de forte pluie (précipitation à verse), favorisant le ruissellement rapide et augmentant ainsi le risque d'inondation [10].

A l'inverse, les phases minimales sont associées à des déficits pluviométriques et à des conditions plus sèche, traduisant des épisodes de sécheresse.

Ainsi, cette alternance quasi périodique ente phases humides extrêmes et phases sèches suggère une dynamique cyclique du système hydroclimatique, dont l'intensification, combinée au réchauffement globale, pourrait accentuer la fréquence et sévérité des évènements hydrologiques extrêmes [11].



**Figure 2 :** La valeur de la température pour les 37 années consécutives dans un intervalle de 12 mois.

### 3.1.2. Modélisation de la température annuelle [12].

Les résultats statistiques de la variable température annuelle est donnée par le **Tableau 4** ci-dessous et notée TPA1. Afin d'assurer la stationnarité de cette variable, il est nécessaire de procéder à une transformation pour que les propriétés statiques des variables telles que la variance et la moyenne ne changent pas au cours du temps, qui s'exprime par l'équation suivante :  $TPA1 = D(TPA)$ . Par suite, cette variable est modélisée selon un modèle ARMA (0,1) (0,0). **Tableau 2** [13].

Ce modèle équivalent à un processus MA (1) et AR(0) représente un système linéaire stationnaire indique que la dépendance temporelle est strictement limitée à court terme. L'absence de composante autorégressives et saisonnière indique que la dépendance temporelle est strictement limitée.

**Tableau 2 : Modèle ARMA (0,1) (0,0) de la variable Température annuelle**

Dependent Variable: TPA1= D(TPA)				
Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)				
Date: 10/20/25 Time: 12:25				
Sample: 1980 2015				
Included observations: 36				
Failure to improve objective (non-zero gradients) after 97 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.020444	0.004547	4.496332	0.0001
MA(1)	-0.999999	2786.042	-0.000359	0.9997
SIGMASQ	0.031100	2.169588	0.014334	0.9886
R-squared	0.468510	Mean dependent var	0.017852	
Adjusted R-squared	0.436299	S.D. dependent var	0.245328	
S.E. of regression	0.184193	Akaike info criterion	-0.365711	
Sum squared resid	1.119589	Schwarz criterion	-0.233751	
Log likelihood	9.582803	Hannan-Quinn criter.	-0.319654	
F-statistic	14.54481	Durbin-Watson stat	1.867600	
Prob(F-statistic)	0.000030			
Inverted MA Roots	1.00			

### 3.2. Précipitation :

La courbe de la **Figure 3** représente la précipitation annuelle durant 37 ans.

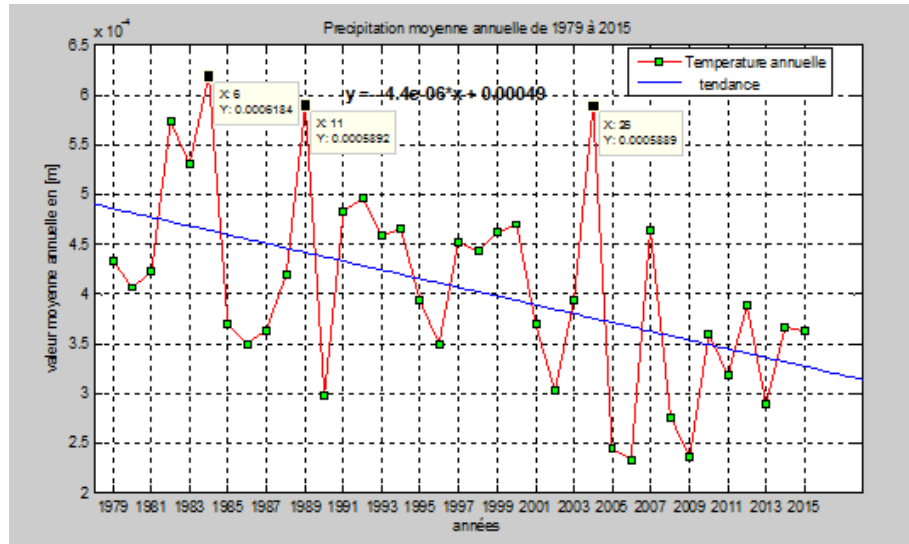
Le Logiciel Matlab nous donne facilement le tracé de la courbe de décroissance de la précipitation annuelle.

Cette courbe met en évidence une alternance entre les phase d'abondance de pluie et la phase des périodes de déficit pluviométrique. Le maximum de précipitation et observé en 1984, constituant un pic marqué sur l'ensemble de la période d'étude de 37 ans dans la ville de Maintirano, avec une valeur d'environ 0,6892mm. Au-delà de cette année, une tendance générale à la diminution des précipitations se dessine progressivement [14].

La tendance linéaire, représentée par une droite de couleur bleue, présente une pente négative, traduisant une diminution progressive des précipitations annuelles sur l'ensemble de la période considérée.

Par ailleurs, cette droite de tendance est encadrée par une courbe de type « dents de scie », qui met en évidence des fluctuations périodiques des maxima des minima à l'échelle internationale.

Malgré cette variabilité, le comportement global de la série demeure cohérent avec la tendance décroissante issue d'une régression linéaire [15].



**Figure 3 : Hauteur de pluie annuelle**

Le Logiciel Eviews aussi nous permet de déterminer aussi les mêmes valeurs les valeurs des coefficients de la pente de tendance de la précipitation de la forme  $y=ax+b$  avec **a=-0.004410** et **b=4,857658** figurées sur le **Tableau 3** ci-dessous. L'écart-type de **a** et **b** sont notées par  $\sigma(b)=0,283948$  et  $\sigma(a)=0,013568$  et les ratio de **Student T(b)=17,10754** et **T(a)=-3,250437**.

**Tableau 3 : Tableau donnant les paramètres de la précipitation**

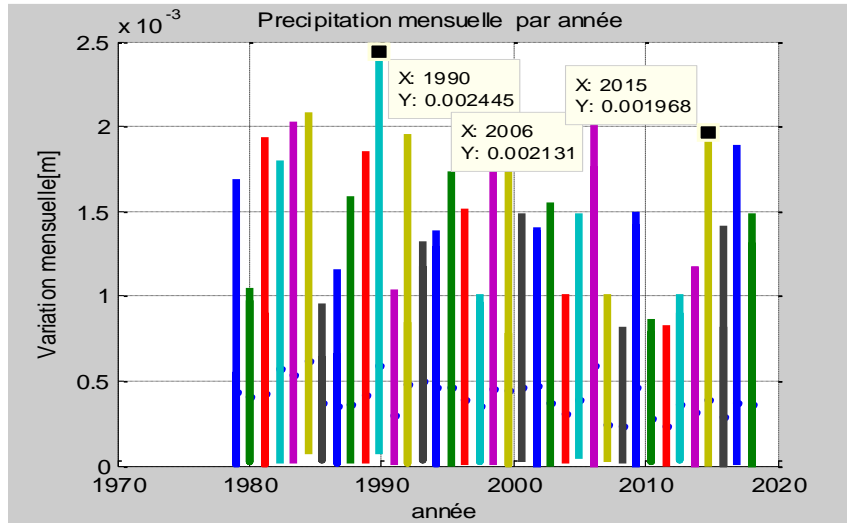
Dependent Variable: PRE\_A  
 Method: Least Squares  
 Date: 04/08/26 Time: 21:57  
 Sample: 1979 2015  
 Included observations: 37

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.857658	0.283948	17.10754	0.0000
@TREND	-0.044101	0.013568	-3.250437	0.0025
R-squared	0.231872	Mean dependent var		4.063848
Adjusted R-squared	0.209926	S.D. dependent var		0.991338
S.E. of regression	0.881162	Akaike info criterion		2.637387
Sum squared resid	27.17561	Schwarz criterion		2.724464
Log likelihood	-46.79167	Hannan-Quinn criter.		2.668086
F-statistic	10.56534	Durbin-Watson stat		2.114282
Prob(F-statistic)	0.002549			

### 3.2.1. Diagramme en bâton de la précipitation annuelle pendant 37 ans

La série temporelle des précipitations annuelles sur une période de 37 ans, illustrée par la **Figure 4** ci-dessous, révèle une variabilité de type quasi-périodique. Un maximum est observé en 1990, tandis qu'un minimum est enregistré en 2009, traduisant une amplitude significative des fluctuations interannuelles [16].

De manière générale, les pics de précipitations tendent à se reproduire selon une périodicité approximative de 5 à 6 ans, suggérant l'existence d'une composante cyclique ou quasi-périodique latente au signal pluviométrique.



**Figure 4:** La hauteur de pluie pendant 36 ans

### 3.2.2. Variable précipitation annuelle.

L'analyse du modèle ARMA (0,1) (0,0) appliqué à la série des précipitations, notée PRA, permet de caractériser la dynamique statistique du processus pluviométrique. Afin de garantir la stationnarité de la série, une transformation par différenciation a été effectuée, conduisant à la nouvelle variable par  $PRA1 = DLOG(PRA)$  pour que la variance et la moyenne restent constante au cours du temps [17].

Il ne contient aucune partie autorégressive (AR), donc la valeur actuelle d'une série ne dépend pas de ses valeurs passées mais il contient une partie de moyenne mobile MA (1) d'ordre 1

Ce modèle ARMA (0,1) (0,0) constitue une spécification particulière de la classe des modèles ARMA de Box-Jenkins. Il se caractérise par l'absence de composante autorégressive et par la présence d'une unique composante de moyenne mobile d'ordre 1 sans structure saisonnière.

**Tableau 4.**

**Tableau 4 :** Modèle ARMA (0,1) (0,0) de la variable Précipitation annuelle

Dependent Variable: DLOG(PRA)	
Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)	
Date: 10/20/25 Time: 12:17	
,donc la valeur actuelles Sample: 1980 2015	
Included observations: 36	
Convergence achieved after 92 iterations	
Coefficient covariance computed using outer product of gradients	

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.011411	0.003662	-3.116327	0.0038
MA(1)	-0.999999	2432.084	-0.000411	0.9997
SIGMASQ	0.048157	3.012374	0.015987	0.9873
R-squared	0.518707	Mean dependent var		-0.004845
Adjusted R-squared	0.489537	S.D. dependent var		0.320807
S.E. of regression	0.229206	Akaike info criterion		0.071564
Sum squared resid	1.733664	Schwarz criterion		0.203524
Log likelihood	1.711840	Hannan-Quinn criter.		0.117622
F-statistic	17.78262	Durbin-Watson stat		2.064660
Prob(F-statistic)	0.000006			

#### 4. CONCLUSION

En conclusion ,l'analyse des variables climatiques ,notamment la température et la précipitation ,révèle une variabilité interannuelle marquée par un cycle récurrent d'environ quatre à cinq ans .Ce cycle se manifeste par une alternance entre des périodes de déficit pluviométrique ,souvent associées à des conditions de sécheresse affectant durement les activités agricoles et pastorales, et des phases de précipitations intenses ,à l'origine d'inondations provoquant d'importants dommages matériels et des pertes considérables.

Ces observations mettent en évidence la présence de dynamiques cycliques influençant le climat à l'échelle locale. Leur identification permet non seulement de mieux comprendre les mécanismes de récurrence des événements extrêmes, mais aussi d'anticiper leurs impacts potentiels. A ce titre, cette étude constitue un outil précieux pour le développement de dispositifs d'alerte et de stratégies d'adaptation, en particulier dans le domaine agricole, contribuant ainsi à renforcer la capacité de résilience des populations face aux aléas climatiques.

#### *Références*

- [1] - WOILLEZ, M.-N. (2019), "Revue de littérature sur le changement climatique au Maroc : observations, projections et impacts", Papiers de Recherche AFD, n° 2019-108, Juillet.
- [2] - Nisha THAKUR\*, Sanjeev KARMAKAR, Sunita SONI (2021):" Rainfall Forecasting Using Various Artificial Neural Network Techniques" – A Review International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology ISSN : 2456-3307 ([www.ijsrcseit.com](http://www.ijsrcseit.com)). Volume 7, Issue 3 Page Number : 403-409
- [3] - Arthur CHARPENTIER (2003) : « Cours de Séries Temporelles Théorie et Applications »,VOLUME 2 Modèles linéaires multivariés : VAR et cointégration Introduction aux modèles ARCH et GARCH Introduction à la notion de mémoire longue Exercices corrigés et compléments informatiques [arthur.charpentier@ensae.fr](mailto:arthur.charpentier@ensae.fr)
- [4] - Arthur Charpentier(2014):« Modèles de prévision Séries temporelles »,UQAM, ACT6420.
- [5] - ] ZBIGNIEW DZIONG (2020): « Modélisation, Estimation et Contrôle, pour les Réseaux de Télécommunication ».

- [6] - BOURBONNAIS, R. (2015) : « Cours et exercices corrigés », (éd. 9e, Vol. 381). 5 rue Laromiguière, 75005.
- [7] - ROMAN KOZHAN (2010):” Financial ECONOMETRICS with Eviews”
- [8] - S. OULIARIS, A.R. PAGAN and J. RESTREPO (2016):“Quantitative Macroeconomic Modeling with Structural Vector Autoregressions” An EViews Implementation
- [9] - FREDERIC ELIE, (2010) :« Humidité atmosphérique et précipitations »
- [10] - EVA MONTEIRO, (2007) Météorologie Physique PARTIE 2 : microphysique des nuages
- [11] - André-Marie TREMBLAY (2016): « Révision automne Physique statistique PHQ 340 »
- [12] - MICHEL PRENAT (2011) : « Séries chronologiques », Volume 1: cours et exercice
- [13] - FLORIN AVRAM (2012):« Séries temporelles : régression, et modélisation ARIMA(p,d,q) »
- [14] - B. LEGRAS (2005) : « Physique de l'atmosphère et transport », COURS 1 INTRODUCTION PANORAMA DES PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES. legras@lmd.ens.fr, <http://www.lmd.ens.fr/legras>.
- [15] - Ricco RAKOTOMALALA (2018) : « Econométrie La régression linéaire simple et multiple »
- [16] - Hosny HASANEAN \* and Mansour ALMAZROUI (2015). Review: “Rainfall: Features and Variations over Saudi Arabia, A Center of Excellence for Climate Change Research”, Deptment of Meteorology, King Abdulaziz University, P. O. Box 80208, Jeddah 21589, Saudi Arabia;E-Mail:mansour@kau.edu.sa,climate ISSN 2225-1154 [www.mdpi.com/journal/climate](http://www.mdpi.com/journal/climate).
- [17] - ARTHUR CHARPENTIER (2003) : « COURS DE SERIES TEMPORELLES THEORIE ET APPLICATIONS ». Introduction à la théorie des processus en temps discret Modèles ARIMA et méthode Box & Jenkins. [arthur.charpentier@ensae.fr](mailto:arthur.charpentier@ensae.fr).