International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

ANALYSE ET PREVISION DU STRESS HYDRIQUE AU MAROC : UNE APPROCHE MODELISATRICE AVEC LE MODELE ARIMA

Analyzing and Forecasting Water Stress in Morocco: A Modeling Approach with the ARIMA Model

DFOUF Sanaa, (Doctorante)

Faculté des sciences juridiques économiques et sociales – Mohammedia
Université Hassan 2 –Maroc
Laboratoire de recherche en performance économique et logistique
sanaadf.prof @mail.com

FAIDI Abdelhak, (Doctorant)

Faculté des sciences juridiques économiques et sociales – Mohammedia
Université Hassan 2 –Maroc
Laboratoire de recherche en performance économique et logistique
faidi.abdelhek8@gmail.com

LAKHYAR Zouhair, (Professeur d'enseignement supérieur)

Faculté des sciences juridiques économiques et sociales – Mohammedia
Université Hassan 2 –Maroc
Laboratoire de recherche en performance économique et logistique
zlakhyar@yahoo.fr

Correspondence address: *Faculté des sciences juridiques économiques et sociales – Mohammedia, Université Hassan 2 –Maroc*

Cite this article *DFOUF, S., et al. (2024). Analyse et prévision du stress hydrique au Maroc : Une approche modélisatrice avec le modèle ARIMA. International Journal of Economics and Management Sciences, volume 3 (1), pp. 85-106*

Submitted: 10/03/2024
Accepted: 06/04/2024

Copyright © IJEMS
www.ijemsjournal.com

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Résumé :
Le présent article se concentre sur une étude portant sur la modélisation et la prédiction du stress hydrique au Maroc jusqu'en 2026. Cette recherche s'appuie sur l'utilisation du modèle ARIMA, en visant à anticiper les tendances futures du stress hydrique au Maroc, offrant ainsi des informations cruciales pour la planification et la gestion des ressources en eau. De même, En essayant d'examiner de près les facteurs influençant le stress afin d'élaborer des politiques adaptées.
L'étude propose, en utilisant le modèle ARIMA, des prévisions sur l'évolution future du stress hydrique au Maroc. Les résultats indiquent une tendance à la baisse du stress hydrique au cours de cette période, soulignant l'efficacité des mesures de gestion de l'eau mises en place. Cependant les résultats de l'application de ce modèle montre que, d'ici 2026, le niveau du stress hydrique au Maroc continuera à baisser et pourrait atteindre 50 .53233 en 2026. Ceci souligne la nécessité cruciale d'adopter une gestion efficiente des ressources hydriques afin de réduire le stress hydrique et d'assurer un approvisionnement en eau suffisant pour répondre aux besoins des populations, de l'agriculture et de l'industrie. Une telle gestion comprendrait des stratégies de conservation de l'eau, des pratiques d'utilisation rationnelle de l'irrigation, ainsi que des investissements dans l'infrastructure hydraulique pour optimiser la distribution de l'eau.
Enfin, l'article souligne également les limites de cette approche, notamment les incertitudes liées aux prévisions à long terme et les variations imprévues des conditions météorologiques.
En mettant en évidence l'importance de poursuivre les recherches sur le stress hydrique afin de développer des solutions adaptées aux besoins spécifiques du Maroc et de garantir la durabilité à long terme de ses ressources en eau.
Mots clés : **Modélisation ; Prévision ; Modèle ARIMA ; Méthodologie de Box et Jenkins ; Stress hydrique**

Abstract:
The present article focuses on a study regarding the modeling and prediction of water stress in Morocco until 2026. This research relies on the use of the ARIMA model, aiming to anticipate future trends in water stress in Morocco, thereby providing crucial information for water resource planning and management. Similarly, by closely examining the factors influencing stress to develop appropriate policies. Using the ARIMA model, the study provides forecasts on the future evolution of water stress in Morocco. The results indicate a downward trend in water stress over this period, highlighting the effectiveness of water management measures in place. However, the results of applying this model show that, by 2026, the level of water stress in Morocco will continue to decrease and could reach 50.53233 by 2026. This underscores the crucial need to adopt efficient water resource management to reduce water stress and ensure an adequate water supply to meet the needs of populations, agriculture, and industry. Such management would include water conservation strategies, rational irrigation practices, and investments in hydraulic infrastructure to optimize water distribution. Finally, the article also emphasizes the limitations of this approach, including uncertainties related to long-term forecasts and unforeseen variations in weather conditions. By highlighting the importance of continuing research on water stress to develop tailored solutions to Morocco's specific needs and ensure the long-term sustainability of its water resources.
Keywords: **Modeling; Forecasting ; ARIMA model ; Box-Jenkins methodology ; Water stress**

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Introduction :

Le Maroc fait face à des enjeux significatifs concernant le stress hydrique, résultant d'une multitude de facteurs. Parmi ceux-ci, la croissance démographique soutenue qui exerce une pression croissante sur les ressources en eau disponibles, tandis que l'urbanisation rapide qui entraîne une augmentation de la demande en eau pour les besoins domestiques, industriels et municipaux. De plus, les variations climatiques, telles que les sécheresses prolongées ou les précipitations erratiques, exacerbent la vulnérabilité du pays aux défis hydriques en altérant les régimes de pluie et en affectant les ressources en eau douce. Ces facteurs combinés imposent une pression croissante sur les infrastructures hydriques et nécessitent une gestion proactive des ressources en eau pour assurer la durabilité à long terme. Le Maroc, malgré ses efforts pour gérer ses ressources en eau, est confronté à un stress hydrique croissant.

Dans ce contexte, l'objectif de cet article est de faire une projection du niveau du stress hydrique à l'horizon 2026 au Maroc en utilisant l'approche ARIMA. Pour cela, nous avons adopté une approche temporelle basée sur le modèle ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) pour explorer les tendances du stress hydrique et proposer des solutions en vue d'une gestion optimale des ressources en eau.

La méthodologie adoptée pour utiliser le modèle ARIMA dans l'analyse du stress hydrique repose sur plusieurs étapes clés. Tout d'abord, les données historiques sur la variable niveau du stress hydrique sont collectées auprès de la base de données en ligne de la banque mondiale et prétraitées pour éliminer les valeurs aberrantes ou manquantes. Ensuite, les paramètres du modèle ARIMA sont identifiés en utilisant des techniques statistiques telles que l'autocorrélation et l'autocorrélation partielle. Le modèle ARIMA est estimé en ajustant le modèle aux données historiques, et son ajustement est évalué à l'aide de tests de diagnostic statistique. Enfin, les performances du modèle sont validées en comparant les prévisions du modèle avec les données observées sur un ensemble de données de test, et le modèle final est utilisé pour faire des prévisions sur le niveau du stress hydrique pour des périodes futures.

Notre problématique consiste à répondre à la question suivante: **Dans quelle mesure le modèle ARIMA peut-il être utilisé pour évaluer et prévoir le stress hydrique au Maroc, et comment ces prévisions peuvent-elles orienter les politiques de gestion de l'eau pour assurer la durabilité des ressources hydriques dans notre pays ?**

Pour ce faire, Dans un premier temps, nous fournirons un aperçu exhaustif de la littérature existante concernant les principales études et recherches sur le niveau du stress hydrique au Maroc. Ensuite, dans un deuxième temps, nous proposerons un cadre théorique sur le modèle

ARIMA. Ce cadre permettra de comprendre les concepts fondamentaux du modèle ARIMA, y compris ses composantes autorégressives, intégrées et mobiles, ainsi que les étapes nécessaires à son utilisation dans l'analyse des séries chronologiques. Enfin, dans la dernière partie, nous analyserons et discuterons les principaux résultats obtenus grâce à l'application du modèle ARIMA à nos données sur le stress hydrique au Maroc. Nous examinerons la capacité du modèle à capturer les tendances temporelles, à faire des prévisions précises et à fournir des informations exploitables pour la gestion et la prise de décision en matière de ressources hydriques.

Cadre théorique et méthodologique :

1.1. Revue de littérature sur le Stress Hydrique au Maroc

Le Maroc, en raison de sa géographie semi-aride à aride, fait face à des défis majeurs en ce qui concerne le stress hydrique. Cette revue de littérature explore les recherches existantes sur le stress hydrique au Maroc, mettant en lumière les causes, les impacts et les solutions proposées pour faire face à cette problématique.

Le stress hydrique au Maroc est principalement attribuable à plusieurs facteurs interconnectés. Une étude de Berrada et al. (2018) souligne que ces facteurs jouent un rôle significatif dans l'augmentation de la demande en eau dans les zones urbaines, où la croissance démographique et l'urbanisation rapide entraînent une hausse des besoins en eau pour les besoins domestiques, industriels et municipaux. De plus, les pratiques agricoles intensives et la diminution des précipitations en raison du changement climatique sont également des causes majeures du stress hydrique, comme le montre une analyse de Benabdelkader et al. (2019).

Ainsi le stress hydrique a des répercussions importantes sur différents secteurs au Maroc. D'où une étude de El-Hattab et al. (2020) indique que le stress hydrique peut avoir des répercussions importantes, telles qu'une diminution des rendements agricoles, affectant ainsi la sécurité alimentaire et l'économie du pays. De plus, il peut réduire la disponibilité d'eau pour les usages domestiques, compromettant ainsi l'approvisionnement en eau potable. Dans le même contexte, des recherches menées par El-Fadli et al. (2017) mettent en évidence les effets négatifs du stress hydrique sur les écosystèmes aquatiques et la biodiversité.

Pour atténuer le stress hydrique, diverses solutions et stratégies ont été proposées dans la littérature. Une recherche menée par Oufdou et al. (2019) met en lumière l'importance de favoriser une utilisation plus efficiente de l'eau en agriculture en encourageant l'adoption de techniques d'irrigation modernes et en améliorant la gestion des ressources hydriques. Par

ailleurs, une étude réalisée par El-Khalki et al. (2018) souligne l'importance de renforcer les infrastructures hydrauliques et de promouvoir une gestion intégrée des ressources en eau pour contrer le stress hydrique au Maroc.

Malgré les progrès réalisés dans la compréhension du stress hydrique au Maroc, des lacunes subsistent dans la recherche. Une analyse de Lahrouni et al. (2020) souligne la nécessité d'approfondir les études sur l'impact des politiques de gestion de l'eau et des changements climatiques sur le stress hydrique. En outre, il est impératif de mener davantage de recherches afin d'évaluer l'efficacité des mesures d'adaptation et d'atténuation du stress hydrique au Maroc. Ces études permettraient de mieux comprendre l'impact des politiques et des pratiques actuelles, ainsi que d'identifier les lacunes potentielles et les opportunités d'amélioration pour assurer une gestion durable des ressources en eau dans le pays.

En conclusion, le stress hydrique reste un défi majeur au Maroc, nécessitant une action concertée et des politiques efficaces pour assurer la sécurité hydrique du pays. Cette synthèse bibliographique souligne l'urgence de poursuivre les travaux de recherche sur le stress hydrique, afin de concevoir des solutions sur mesure répondant aux besoins particuliers du Maroc et assurant la pérennité à long terme de ses ressources en eau. Ces efforts permettront de mieux appréhender les défis uniques auxquels le pays est confronté et de proposer des stratégies efficaces pour préserver ses précieuses ressources hydriques.

1.2. Cadre théorique sur le modèle ARIMA

Après une présentation des recherches et des analyses précédentes des différents auteurs, nous attacherons dans cette présente sous-section à présenter dans un premier temps le cadre empirique de notre étude, puis, dans un deuxième temps discuter les résultats obtenus.

1.2.1 Présentation des modèles ARIMA

Les modèles linéaires des séries temporelles aléatoires ARIMA figurent parmi les approches quantitatives qui ont grandement enrichi la modélisation de nombreux phénomènes économiques. Leur capacité à formaliser plusieurs concepts théoriques en fonctions mathématiques a permis de prévoir avec précision ces phénomènes. Grâce à leur flexibilité et à leur robustesse, les modèles ARIMA sont devenus des outils incontournables pour analyser et anticiper les tendances économiques, offrant ainsi des perspectives importantes pour la prise de décision dans divers domaines, de la planification économique à la gestion des entreprises.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

1.2.2 L'objectif des modèles ARIMA

L'objectif principal des modèles ARIMA est de fournir des prévisions sur l'évolution future d'un phénomène, ce qui constitue le fondement de leur développement dans le domaine de l'économétrie. Cependant, un autre aspect crucial, notamment pour la recherche scientifique, réside dans la compréhension théorique de ces processus. Il est important de noter que cette interprétation peut varier en fonction de la nature spécifique du phénomène étudié, ainsi que des modèles disponibles pour l'analyser (Delignières, 2000, p. 4).

1.2.3 Interprétation des paramètres des modèles ARIMA

Dans sa forme la plus générale, Le modèle ARIMA intègre trois catégories de processus aléatoires, chacune ayant une influence spécifique définie par la notation ARIMA (p,d,q) (Desbois, 2005) tel que :

-p représente l'ordre du processus autorégressif AR(p) ;

-d indique le degré d'intégration du processus I(d) ;

-q désigne l'ordre du processus de moyenne mobile MA(q).

Cette combinaison de composantes autorégressive, intégrée et moyenne mobile permet une modélisation robuste et flexible des séries temporelles, permettant ainsi de capturer une gamme variée de comportements et de tendances.

- **Les processus autorégressifs (AR)**

Les modèles autorégressifs supposent que la variable Yt est une fonction linéaire des valeurs précédentes, ce qui peut être représenté par l'équation :

$$Yt = \mu+\phi_1 y_{t-1}+\phi_2 y_{t-2}+\phi_3 y_{t-3}+\varepsilon$$

Conceptuellement, chaque observation est composée d'une composante aléatoire (le choc aléatoire, ε) et d'une combinaison linéaire des observations antérieures.

Les coefficients ϕ_1, ϕ_2 et ϕ_3 dans cette équation représentent les coefficients d'autorégression.

Il est à noter que cette équation peut être appliquée soit aux données brutes, soit aux données différenciées si une opération de différenciation est nécessaire pour rendre la série stationnaire.

- **Les processus moyennes mobiles (MA)**

La valeur d'un processus de moyenne mobile est calculée comme une combinaison linéaire de la perturbation actuelle avec une ou plusieurs perturbations précédentes. L'ordre de la moyenne mobile (q) indique le nombre de périodes antérieures prises en compte dans la valeur actuelle. En d'autres termes, plus l'ordre de la moyenne mobile est élevé, plus le modèle considère un

nombre important de périodes précédentes pour estimer la valeur actuelle. Cette caractéristique permet au modèle de capturer les tendances et les motifs récurrents dans les données, fournissant ainsi des informations précieuses pour l'analyse et la prévision des séries temporelles.

- **Différenciation**

L'estimation des modèles ARIMA suppose l'utilisation d'une série stationnaire. Cela implique que la moyenne et la variance de la série restent constantes au fil du temps. Pour éliminer toute tendance de la série, la méthode privilégiée consiste à la différencier, c'est-à-dire à remplacer la série originale par une série de différences entre les observations adjacentes.

Une série temporelle qui nécessite une différenciation pour devenir stationnaire est qualifiée d'intégrée, d'où le terme "integrated". En transformant la série originale en une série de différences successives, on s'assure que les propriétés de stationnarité nécessaires pour l'estimation des modèles ARIMA sont satisfaites, facilitant ainsi une analyse et une modélisation plus précises des données temporelles.

2. Résultats et discussion :

L'objet de cette section est de présenter et de discuter les résultats des prévisions du niveau du stress hydrique au Maroc à l'horizon 2026 en utilisant l'approche ARIMA (Auto Régressive IntegratedMovingAverageProcesses). La modélisation ARIMA implique une procédure en trois étapes, comprenant l'identification du modèle, l'estimation du modèle, la validation du modèle et enfin la prévision des valeurs futures. Pour mener à bien cette modélisation, nous avons utilisé les données provenant de la base de données en ligne de la Banque mondiale concernant le niveau du stress hydrique (level of water stress in Morocco) du 1975 jusqu'au 2020, qui est une série temporelle où les variations des niveaux d'eau, des précipitations ou d'autres indicateurs de disponibilité d'eau sont observées et enregistrées chaque année.

2.1 L'identification du modèle ARIMA

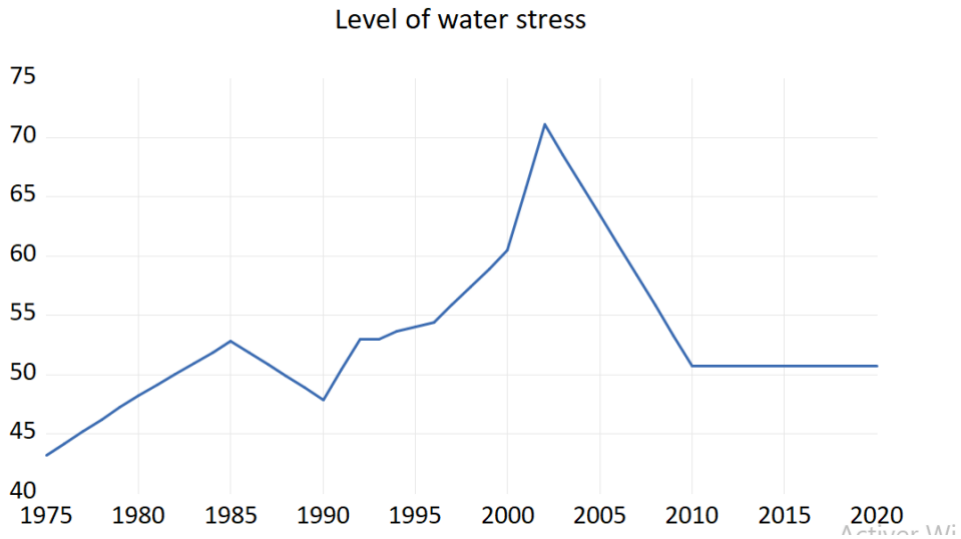
La phase d'identification revêt une importance capitale et représente souvent le défi le plus ardu. Elle implique de sélectionner le modèle approprié au sein de la famille des modèles ARIMA, une tâche qui repose sur l'analyse minutieuse des corrélogrammes simple et partiel (Bourbonnais, 2015, p. 260). L'objectif est de sélectionner le modèle approprié dans la famille des modèles ARIMA (p, d, q) en se basant sur l'analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

2.1.1 Analyse graphique et du corrélogramme

Avant d'entamer toute analyse d'une série temporelle, il est indispensable d'examiner attentivement le graphique représentant son évolution. Ce premier examen fournit une vue d'ensemble des caractéristiques de la série, telles que la tendance et la saisonnalité, ce qui est essentiel pour comprendre la nature des processus sous-jacents qui génèrent cette série.

Figure N°1. Evolution de la série durant la période (1975-2020)



Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

La figure N°1 présente l'évolution du niveau du stress hydrique de 1975 à 2020. Elle montre bien que le niveau du stress hydrique a connu 5 périodes d'évolution :

- Durant la période allant de 1975 à 1985, le niveau du stress hydrique a connu une croissance passant de 43,2006912 à 52,8008448 en 1985, soit une augmentation de 96 %, Ces périodes de stress hydrique accru peuvent être associées à des précipitations qui sont généralement moins abondantes et à une utilisation accrue de l'eau pour l'irrigation agricole ou à une demande accrue d'eau due aux températures plus élevées.
- Durant la période allant de 1985 à 1990, le niveau du stress hydrique a baissé, affichant une baisse soutenue passant de 52,8008448 à 47,8884462, soit un taux de baisse de 10,26%. Cette baisse s'explique par que ces années correspondent aux périodes de précipitations plus élevées.
- Mais à partir de 1990, le graphique illustre une tendance à l'augmentation du niveau de stress hydrique au fil des années, culminant en 2002, ce qui suggère une détérioration

de la disponibilité en eau ou une augmentation de la demande en eau par rapport à la capacité d'approvisionnement en eau. Cette hausse du niveau de stress hydrique peut être attribuée à divers facteurs, notamment une diminution des précipitations annuelles moyennes, une augmentation de la consommation d'eau liée à la croissance démographique ou à l'expansion des secteurs agricole et industriel, ainsi que des pratiques de gestion de l'eau inefficaces.

- Après 2002, le niveau du stress hydrique a connu une baisse significative, passant de 50,75121 en 2010, après quoi il est resté relativement stable. Cette stabilité pourrait indiquer une gestion efficace des ressources en eau et un équilibre relatif entre l'offre et la demande en eau. Une interprétation possible de cette stabilité est que les pratiques de gestion de l'eau mises en place sont efficaces pour répondre aux besoins en eau de la population, de l'agriculture, de l'industrie et d'autres secteurs, tout en préservant la durabilité des ressources en eau à long terme. Une autre hypothèse pourrait être liée à l'absence de mise à jour des données, ce qui nécessiterait une vérification supplémentaire.

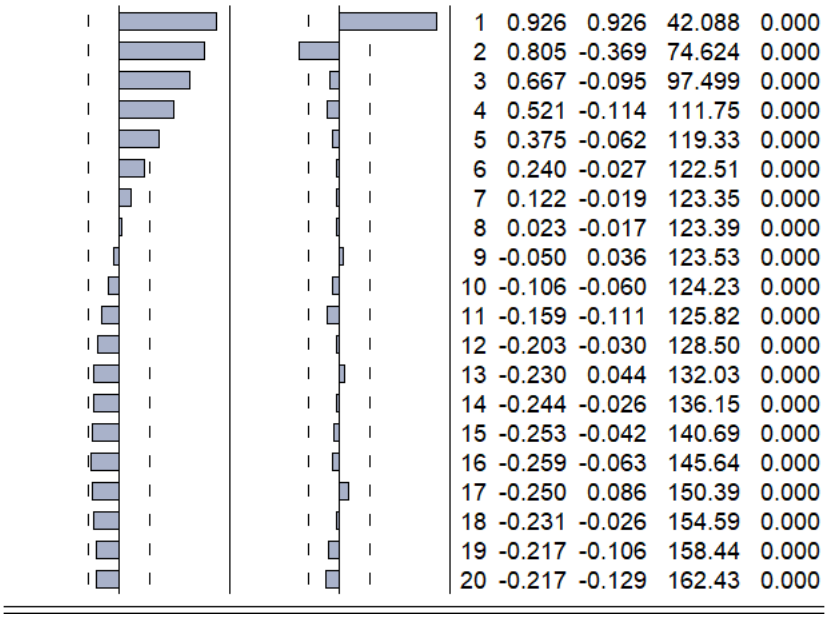
2.1.2 Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle des séries

Nous examinons, dans ce qui suit, les fonctions d'autocorrélation simple et partielle de la série (level of water stress).

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure N°2. Autocorrélation simple et partielle de la série LWS

Sample: 1975 2020
Included observations: 46



Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.926	0.926	42.088	0.000
		2	0.805	-0.369	74.624	0.000
		3	0.667	-0.095	97.499	0.000
		4	0.521	-0.114	111.75	0.000
		5	0.375	-0.062	119.33	0.000
		6	0.240	-0.027	122.51	0.000
		7	0.122	-0.019	123.35	0.000
		8	0.023	-0.017	123.39	0.000
		9	-0.050	0.036	123.53	0.000
		10	-0.106	-0.060	124.23	0.000
		11	-0.159	-0.111	125.82	0.000
		12	-0.203	-0.030	128.50	0.000
		13	-0.230	0.044	132.03	0.000
		14	-0.244	-0.026	136.15	0.000
		15	-0.253	-0.042	140.69	0.000
		16	-0.259	-0.063	145.64	0.000
		17	-0.250	0.086	150.39	0.000
		18	-0.231	-0.026	154.59	0.000
		19	-0.217	-0.106	158.44	0.000
		20	-0.217	-0.129	162.43	0.000

Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

La figure N°2 représente la fonction d'autocorrélation (ACF) de la série niveau du stress hydrique. Nous observons que toutes les autocorrélations de la série sont significativement différentes de zéro et diminuent très lentement (relativement à la période et la fréquence des données), et que la première autocorrélation partielle est différente de zéro. Ceci est un fort indicatif que la série n'est pas stationnaire.

L'inspection du corrélogramme de la série révèle que toutes les autocorrélations sont nettement distinctes de zéro et décroissent lentement, ce qui suggère que la série n'est pas stationnaire en moyenne. Cependant, il est important de noter que l'analyse visuelle et les fonctions d'autocorrélation ne fournissent qu'une indication préliminaire de la stationnarité d'une série. Par conséquent, pour confirmer ce diagnostic initial, nous avons utilisé des tests de racines unitaires.

2.1.3 Test de racines unitaires

Pour s'assurer que la série est stationnaire, plusieurs tests ont été utilisés, notamment celui de Dickey-fuller (DF), de Perron et de Kwiatkowski-Phillips-SchmidtShin (KPSS). Les résultats du test Dicky Fuller et Phillips-perron, révèlent que l'hypothèse H0 de racine unitaire est acceptée. En effet, les résultats des deux tests de stationnarité pour la série à niveau confirment

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

que la série n'est pas stationnaires (parce que les p-values sont toutes > 0.05).on va tester par la suite le type du processus est ce que de type TS ou de type déterministe(DS) et la méthode appropriée pour la rendre stationnaire.

Les résultats de la stationnarité sont récapitulés dans le tableau N°1.

Tableau N°1. Test de Dicky-Fuller et Phillips-Perron

ADF		Phillips-Perron	
Constante	Constant & Trend	Constante	Constant & Trend
1 .847950	0.018510	1.706844	-1.367025
2,89	3,18	-2.928142	-3.513075

Source : Résultats via le logiciel Eviews (V 12).

D'après le tableau n°1, on a :

→ Le coefficient de la droite de tendance n'est pas significativement différent à 0 (t*=0.018510 < t-tabulée= 3,18 au risque de 5%.), donc la tendance (Trend) n'est pas significative on rejette l'hypothèse d'un processus TS.

→ Le terme constant n'est pas significativement différent de 0(t*=1 .847950 <t-tabulée=2,89 au risque 5%), on rejette l'hypothèse d'un processus DS avec dérive et tˆφ1 = −2, 29> t-tabulée = −2,92 donc on accepte l'hypothèse H0, le processus n'est pas stationnaire.

→ racine unitaire :

$H_0 : \varphi_1 \geq 1$ Admet une racine unitaire
$H_1 : \varphi_1 < 1$ N'admet pas une racine unitaire

- tˆφ1 = -0, 057> t-tabulé = -1,948, on accepte l'hypothèse *H*0 ; le processus n'est pas stationnaire.
- Donc il s'agit d'un processus DS sans dérive.

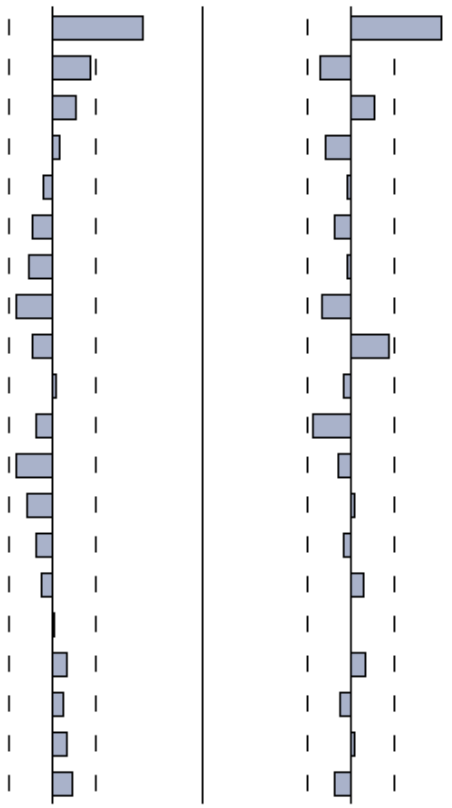
2.1.4 Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle sur la série stationnaire

Pour analyser les fonctions d'autocorrélation, il est nécessaire que le processus soit stationnaire. Ainsi, pour rendre stationnaire DS sans dérive, il est nécessaire d'effectuer des différences premières.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure N°3 : Corrélogramme de la série différenciée

Sample (adjusted): 1976 2020
Included observations: 45 after adjustments



Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.624	0.624	18.734	0.000
		2	0.265	-0.205	22.177	0.000
		3	0.171	0.172	23.656	0.000
		4	0.054	-0.176	23.806	0.000
		5	-0.064	-0.023	24.019	0.000
		6	-0.137	-0.111	25.043	0.000
		7	-0.167	-0.025	26.594	0.000
		8	-0.248	-0.198	30.109	0.000
		9	-0.134	0.265	31.157	0.000
		10	0.017	-0.054	31.175	0.001
		11	-0.123	-0.264	32.109	0.001
		12	-0.247	-0.093	36.021	0.000
		13	-0.180	0.032	38.155	0.000
		14	-0.113	-0.047	39.020	0.000
		15	-0.066	0.090	39.325	0.001
		16	0.009	-0.007	39.332	0.001
		17	0.092	0.098	39.974	0.001
		18	0.074	-0.081	40.397	0.002
		19	0.105	0.024	41.299	0.002
		20	0.139	-0.115	42.943	0.002

Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Il ressort de la figure N°3 que le corrélogramme de la série ne présente aucune structure particulière, ce qui semble confirmer le caractère stationnaire de la série transformée.

Il est clair que ce n'est pas une marche aléatoire (les probabilités critiques du test Q-Stat sont toutes nettement inférieures à 0,05), indiquant que le processus présente une mémoire, et donc, qu'il possède une représentation dans la classe des processus ARMA.

On va prendre en considération que les décalages qui sont significativement différents de zéro.

➔ Dans la colonne de la fonction d'autocorrélation, on trouve : MA(1) et MA(2).

➔Dans la colonne de la fonction d'autocorrélation partielle, on trouve : AR(1).

2.2 Estimation et sélection des modèles

Une fois que la série a été rendue stationnaire, la prochaine étape consiste à identifier les termes

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

AR et MA nécessaires pour corriger les autocorrélations résiduelles. Cette analyse repose sur l'examen des fonctions d'autocorrélation simple et partielle.

À ce stade, l'objectif est d'identifier le modèle ARIMA le plus approprié pour représenter la série. Prenant en compte de la forme du corrélogramme et après l'estimation des différents modèles, l'analyse de la significativité des coefficients (Tous les coefficients doivent être significatifs) nous conduit à conserver les quatre modèles ci-après qui ont donné des résultats satisfaisants:

- Modèle AR(1) MA(2)
- Modèle MA(1)
- Modèle AR(1)

Tableau n°2 : Résultats d'estimation du modèle ARIMA pour la série

Modèle	Akaike info criterion (AIC)	Schwarz criterion (SC)
Modèle AR(1) MA(2)	3.565938	3.686382
Modèle MA(1)	3.546239	3.626535
Modèle AR(1)	3.606858	3.687154

Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Figure n°4 : Estimation du modèle retenu

Sample: 1976 2020
Included observations: 45
Convergence achieved after 5 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(1)	0.783131	0.097920	7.997669	0.0000
SIGMASQ	1.819132	0.234976	7.741795	0.0000

R-squared	0.431743	Mean dependent var	0.167789
Adjusted R-squared	0.418527	S.D. dependent var	1.809420
S.E. of regression	1.379762	Akaike info criterion	3.546239
Sum squared resid	81.86095	Schwarz criterion	3.626535
Log likelihood	-77.79037	Hannan-Quinn criter.	3.576172
Durbin-Watson stat	1.788250		

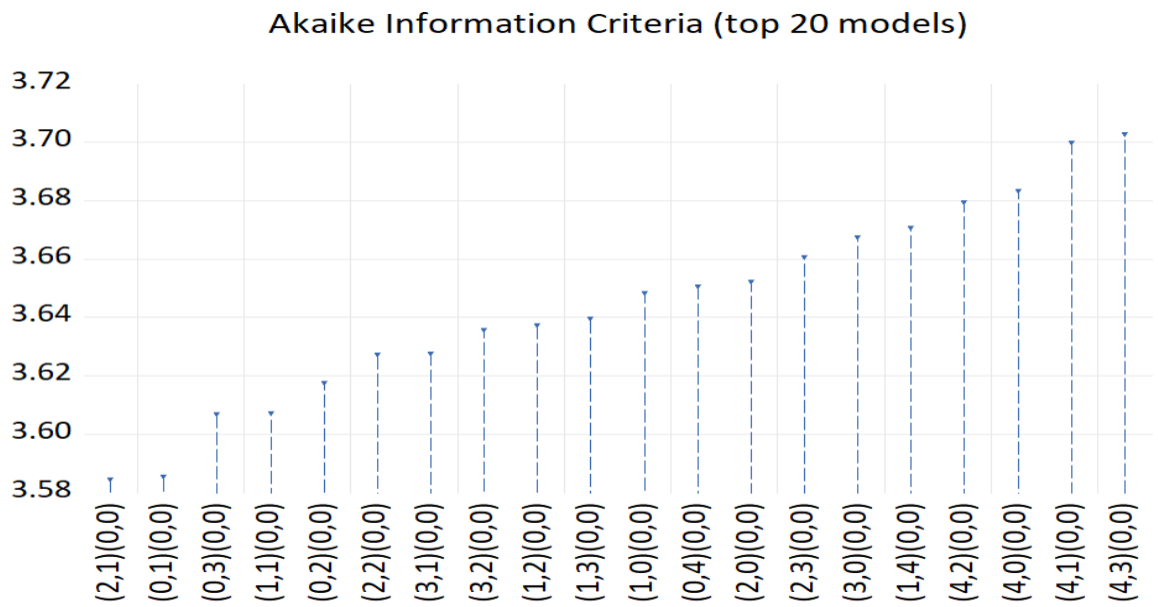
Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

D'après les critères d'information (AIC et SC) comme il est indiqué dans le tableau n°2, il ressort que le modèle MA(1) dispose d'une qualité supérieure (Le modèle a les critères d'infirmation AIC et SC les plus petits).

D'où le modèle ARIMA (p=0 ; d=1; q=1) est celui le plus adéquat pour modéliser notre série.

Figure n°5 : Sélection du modèle optimal

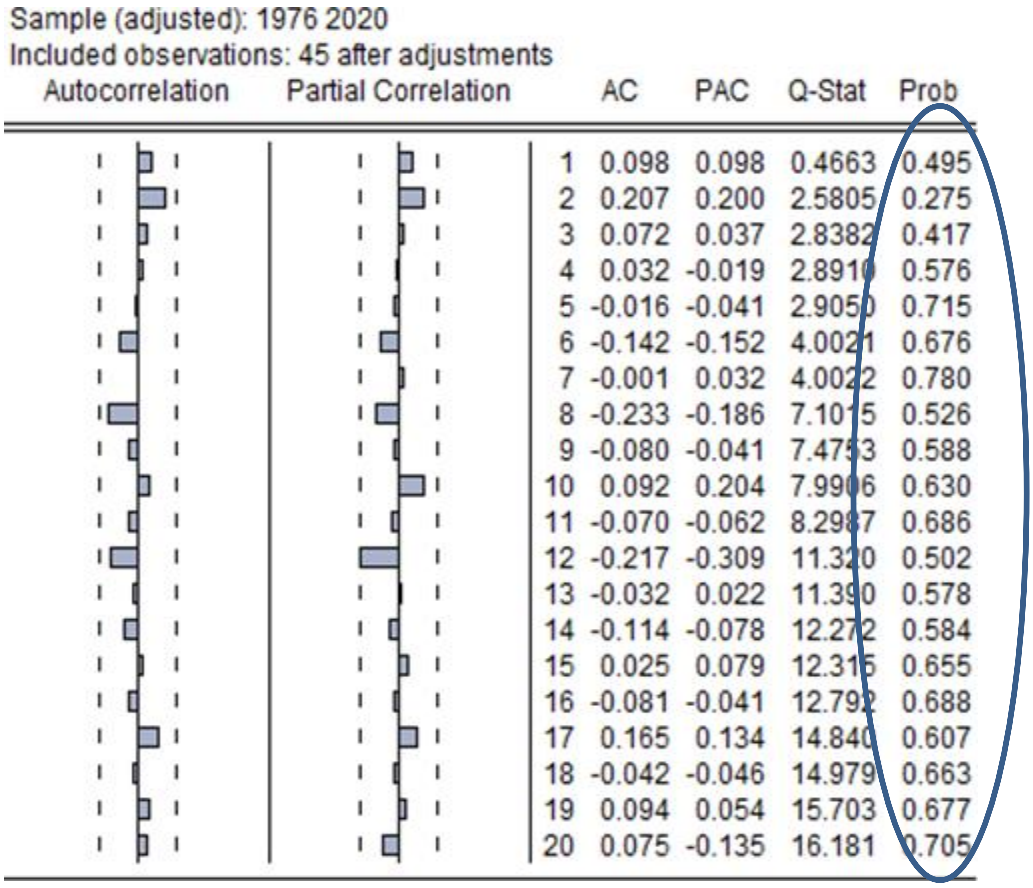


Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Sur la figure n°5, on a reporté les résultats du 20 modèles estimés, et après vérification des probabilités, le modèle ARIMA (0 ,1 ,1) est le modèle optimale.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure n°6 : Corrélogramme des résidus



	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.098	0.098	0.4663	0.495
2	0.207	0.200	2.5805	0.275
3	0.072	0.037	2.8382	0.417
4	0.032	-0.019	2.8910	0.576
5	-0.016	-0.041	2.9050	0.715
6	-0.142	-0.152	4.0021	0.676
7	-0.001	0.032	4.0022	0.780
8	-0.233	-0.186	7.1015	0.526
9	-0.080	-0.041	7.4753	0.588
10	0.092	0.204	7.9906	0.630
11	-0.070	-0.062	8.2987	0.686
12	-0.217	-0.309	11.320	0.502
13	-0.032	0.022	11.390	0.578
14	-0.114	-0.078	12.272	0.584
15	0.025	0.079	12.315	0.655
16	-0.081	-0.041	12.792	0.688
17	0.165	0.134	14.840	0.607
18	-0.042	-0.046	14.979	0.663
19	0.094	0.054	15.703	0.677
20	0.075	-0.135	16.181	0.705

Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Le corrélogramme des résidus montre qu'aucun terme n'est extérieur aux deux intervalles de confiance (Toutes les probabilités sont supérieures à 0,05). On accepte l'hypothèse que la série des résidus est un bruit blanc. La série est valablement représenté par un ARIMA(0,1,1).

2.3 La validation du modèle

La validation du modèle est une étape cruciale qui nécessite souvent un retour à la phase d'identification. Une fois les paramètres du modèle estimés, nous examinons les résultats de l'estimation.

L'examen des résidus est une étape cruciale dans la validation du modèle. Il s'agit d'évaluer la distribution des résidus. Les résidus d'un modèle approprié présentent plusieurs caractéristiques, notamment la normalité, la linéarité, l'homoscédasticité et l'indépendance.

Pour valider le processus retenu, on doit réaliser les tests suivants:

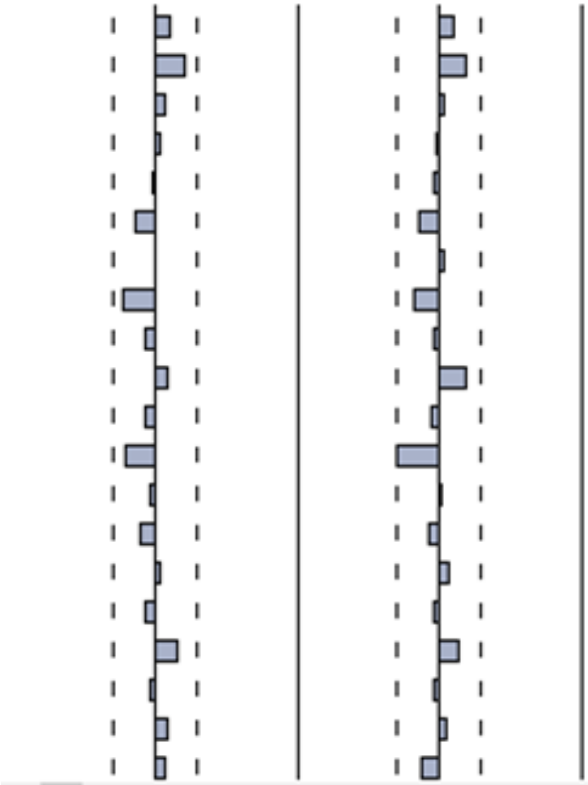
- Test d'autoccorélation :

Le test d'autocorrélation est utilisé pour déterminer si les résidus d'un modèle ARIMA présentent des corrélations séquentielles significatives.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure n°7 : Corrélogramme des résidus du modèle retenu

Sample (adjusted): 1976 2020
Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term



Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.098	0.098	0.4663	
		2	0.207	0.200	2.5805	0.108
		3	0.072	0.037	2.8382	0.242
		4	0.032	-0.019	2.8910	0.409
		5	-0.016	-0.041	2.9050	0.574
		6	-0.142	-0.152	4.0021	0.549
		7	-0.001	0.032	4.0022	0.676
		8	-0.233	-0.186	7.1015	0.418
		9	-0.080	-0.041	7.4753	0.486
		10	0.092	0.204	7.9906	0.535
		11	-0.070	-0.062	8.2987	0.600
		12	-0.217	-0.309	11.320	0.417
		13	-0.032	0.022	11.390	0.496
		14	-0.114	-0.078	12.272	0.505
		15	0.025	0.079	12.315	0.581
		16	-0.081	-0.041	12.792	0.618
		17	0.165	0.134	14.840	0.536
		18	-0.042	-0.046	14.979	0.597
		19	0.094	0.054	15.703	0.613
		20	0.075	-0.135	16.181	0.645

Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Le correlogramme des résidus indique que toutes les probabilités sont supérieures à 0,05. Donc, nous avons affaire à un processus sans mémoire.

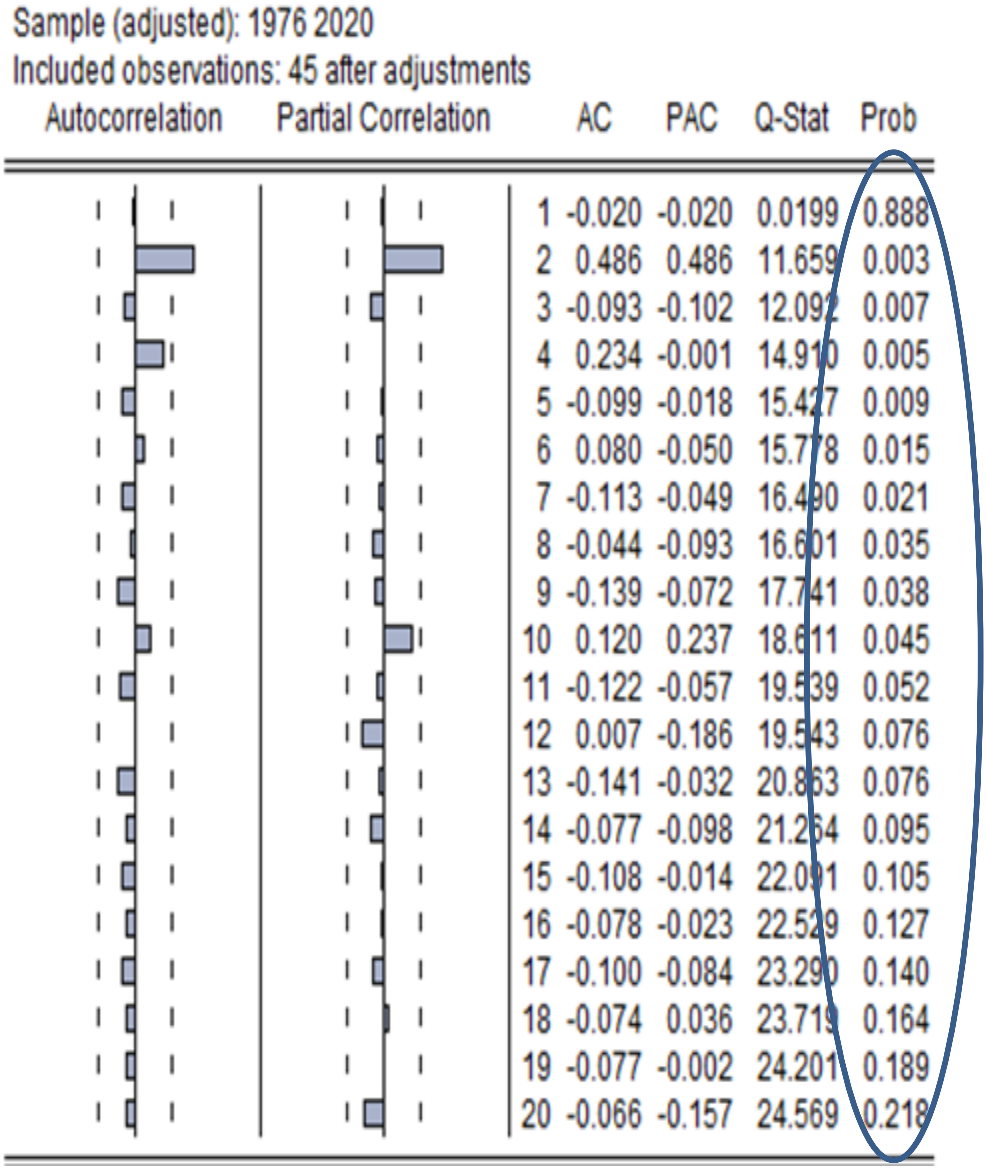
➔ (Absence d'autocorrélation).

↳ Test d'hétéroscédasticité :

Le test d'hétéroscédasticité du modèle ARIMA vise à évaluer si la variance des résidus du modèle est constante à travers le temps.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure n°8 : Corrélogramme des résidus au carré



Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Le correlogramme des résidus au carré indique que toutes les probabilités sont supérieures à 0,05. Donc aucun terme n'est significativement différent de 0.

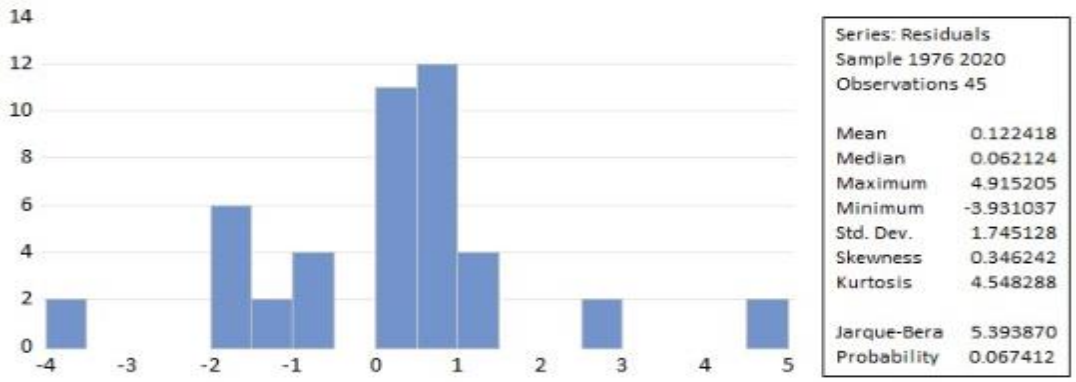
➔Les résidus sont homoscédastiques.

↳ Test de normalité.

Le test de normalité est généralement utilisé pour évaluer si les résidus d'un modèle, comme ARIMA, suivent une distribution normale. Cela peut être effectué à l'aide de différents tests statistiques.

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure n°9 : test de normalité



Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

Les résultats du test indiquent que la p-value associée à la statistique de Jarque-Bera est supérieure à 5%, ce qui nous permet de valider l'hypothèse de normalité des résidus. La statistique de Jarque-Bera (JB=5 ,39<$\chi 2$ =5.99) indique une probabilité critique de 0,067>0,05, on accepte l'hypothese de normalité des résidus.

➔ Le processus ARIMA(0;1;1) est donc un bruit blanc gaussien.

2.4 La prévision du niveau du stress hydrique

La dernière étape de la modélisation est la prédiction de la valeur future d'une série temporelle en appliquant la méthode Box-Jenkins. Une fois que le modèle a été validé, les prévisions peuvent alors être calculées pour un horizon h de plusieurs périodes. Cependant, cet horizon est souvent limité car la variance de l'erreur de prévision augmente rapidement avec l'horizon. Ces prévisions permettent d'estimer les valeurs futures de la série chronologique du niveau du stress hydrique à un horizon 2026.

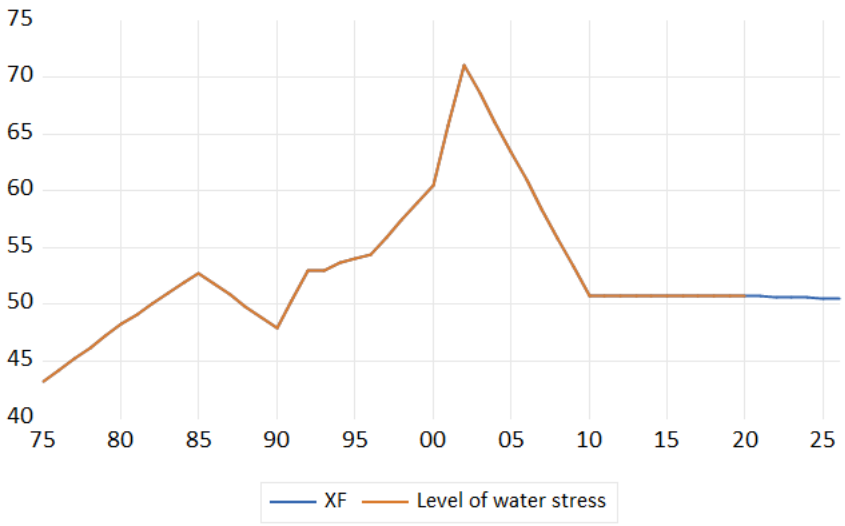
Figure n°10 : Résultats des prévisions

2019	50.75121
2020	50.75121
2021	50.71467
2022	50.67815
2023	50.64165
2024	50.60518
2025	50.56874
2026	50.53233

Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

International Journal of Economics and Management Sciences
Volume 3, Issue 1 (2024), pp. 85 - 106
ISSN 2823-9350

Figure n°11 : Présentation de la série originale et de la prévision du LWS



Source : Réalisé par nos soins avec le logiciel Eviews (V12).

D'après les données de la figure N°10 nous constatons que les valeurs prévues s'approchent des valeurs observées, avec des écarts faibles. Ce qui nous permet de dire que le modèle choisi est efficace pour la prévision du niveau du stress hydrique à court terme. On constate également qu'au niveau du stress hydrique, pourraient passer de 50.75121 en 2020 à 50 .53233 en 2026, soit une baisse de 0.4%. D'après les prévisions, La baisse peu significative du niveau du stress hydrique dans les années prochaines peut être expliquée par plusieurs facteurs, notamment :

- → **Augmentation des précipitations :** Une augmentation des précipitations peut entraîner une augmentation du niveau des ressources en eau, ce qui contribue à réduire le stress hydrique. Des précipitations abondantes peuvent recharger les nappes phréatiques, remplir les réservoirs et les barrages, et augmenter le débit des rivières et des cours d'eau.
- → **Amélioration de la gestion de l'eau :** Des mesures efficaces de gestion de l'eau, telles que la conservation de l'eau, l'optimisation de l'irrigation, la réutilisation des eaux usées et la régulation des prélèvements, peuvent contribuer à une utilisation plus efficiente des ressources hydriques disponibles et à une réduction du stress hydrique.
- → **Investissements dans l'infrastructure hydrique :** La construction de nouvelles infrastructures hydrauliques, telles que des barrages, des canaux d'irrigation et des systèmes de drainage, ainsi que la modernisation des infrastructures existantes, peuvent améliorer la gestion et la distribution de l'eau, ce qui peut aider à atténuer le stress hydrique.

- → **Changements climatiques favorables :** Des conditions météorologiques plus clémentes, telles qu'une diminution des températures ou une augmentation de l'humidité atmosphérique, peuvent contribuer à réduire l'évapotranspiration et à augmenter les niveaux d'humidité du sol, ce qui peut réduire le stress hydrique des cultures et des écosystèmes.
- → **Conscience et éducation :** Une sensibilisation accrue à l'importance de la conservation de l'eau et des pratiques de consommation d'eau responsables peut encourager les individus, les communautés et les entreprises à adopter des comportements et des pratiques qui réduisent la pression sur les ressources en eau et contribuent à réduire le stress hydrique.

En résumé, la baisse du niveau du stress hydrique peut résulter d'une combinaison de facteurs, y compris des conditions météorologiques favorables, des mesures de gestion de l'eau efficaces, des investissements dans l'infrastructure hydrique et une sensibilisation accrue à l'importance de la conservation de l'eau.

Conclusion

Cet article avait pour objectif de faire une projection du niveau du stress hydrique à l'horizon 2026, en utilisant le modèle ARIMA qui s'appuie, essentiellement sur la méthodologie de Box-Jenkins.

Ainsi selon les projections effectuées, avec le modèle ARIMA, d'ici 2026, le niveau du stress hydrique pourraient atteindre 50 .53233 en 2026.

La modélisation et la prévision du stress hydrique au Maroc à l'aide du modèle ARIMA fournissent des insights précieux pour comprendre les variations et les tendances de la disponibilité en eau dans la région. Grâce à cette approche, nous avons pu identifier les facteurs clés qui influent sur le stress hydrique, tels que les précipitations, les températures, les niveaux des barrages et les pratiques de gestion de l'eau.

Nos résultats mettent en évidence l'importance d'une gestion efficace des ressources en eau pour atténuer le stress hydrique et garantir un approvisionnement en eau adéquat pour les populations, l'agriculture, l'industrie et les écosystèmes.

Sur le plan managérial, nos résultats peuvent fournir des données précieuses aux décideurs politiques et aux gestionnaires des ressources en eau pour orienter les politiques et les stratégies de gestion. Ces informations peuvent aider à élaborer des plans d'action visant à atténuer les effets du stress hydrique, à optimiser l'utilisation des ressources en eau et à renforcer la

résilience aux changements climatiques. En outre, nos conclusions pourraient être utilisées pour sensibiliser les parties prenantes et le public aux enjeux du stress hydrique, encourageant ainsi une prise de conscience accrue et des efforts collaboratifs pour une gestion plus efficace de l'eau. Du point de vue scientifique, notre recherche peut contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la gestion des ressources en eau et de l'analyse du stress hydrique, en identifiant de nouvelles tendances, en explorant des méthodologies innovantes et en suggérant des axes de recherche futurs.

Cependant, il est important de reconnaître les limites de notre approche, notamment les incertitudes liées aux prévisions à long terme et les variations imprévues dans les conditions météorologiques et climatiques. Par conséquent, des études complémentaires et une surveillance continue sont nécessaires pour améliorer la précision des prévisions et adapter les stratégies de gestion de l'eau en fonction des évolutions environnementales et socio-économiques.

Outre l'utilisation du modèle ARIMA pour analyser le stress hydrique au Maroc, notre recherche explorera également plusieurs autres questions pertinentes pour mieux comprendre cette problématique complexe telles que :

Quels sont les principaux facteurs qui contribuent au stress hydrique au Maroc? Quelles sont les conséquences du stress hydrique sur l'environnement, l'agriculture, la sécurité alimentaire, la santé publique et l'économie au Maroc ? Quelles sont les stratégies actuelles et potentielles d'adaptation au stress hydrique au Maroc? Comment les politiques et les institutions de gestion de l'eau au Maroc peuvent-elles être renforcées pour mieux répondre aux défis du stress hydrique et promouvoir une utilisation durable et équitable des ressources en eau ? Quel est le rôle des différents acteurs, tels que le gouvernement, les ONG, les communautés locales et le secteur privé, dans la gestion et l'atténuation du stress hydrique au Maroc ?

Références :

Benabdelkader, A., et al. (2019). "Assessment of Future Water Stress and Vulnerability in Morocco". Sustainability, 11(14), 4006.

Berrada, K., et al. (2018). "Urban Growth and Water Stress in Morocco: Analysis and Prospects". Journal of Water Resources Planning and Management, 144(1).

Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons.

Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). Introduction to time series and forecasting. Springer.

Desbois, D. (2005). Une introduction à la méthodologie de Box et Jenkins : L'utilisation de modèles ARIMA avec SPSS. Revue MODULARD , 1 (33)

El-Fadli, K. I., et al. (2017). "Impact of Water Stress on Aquatic Ecosystems in Morocco: Case of Loukkos River Basin". Environmental Management and Sustainable Development, 6(2), 29-43.

El-Hattab, M., et al. (2020). "Assessment of Water Stress Impacts on Crop Yield: A Case Study of a Moroccan Basin". Water, 12(9), 2388.

El-Khalki, Y., et al. (2018). "Integrated Water Resources Management in Morocco: Challenges and Perspectives". Water, 10(9), 1197.

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: principles and practice. OTexts.

Lahrouni, Y., et al. (2020). "Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources Availability and Water Stress in Morocco". Environmental Science and Pollution Research, 27(31), 39304-39321.

Oufdou, K., et al. (2019). "Improving Water Use Efficiency in Moroccan Agriculture: A Review". International Journal of Water Resources Development, 35(4), 661-681.