

Anticiper le chômage

Modèles séries chronologiques et de réseaux de neurones artificiels pour des prévisions innovantes durant la période (2000-2021)

Anticipating Unemployment

Time Series Models and Artificial Neural Networks for Innovative Forecasts from 2000 to 2021

Dre Wafaa BENAYAD

Auteur correspondant, University of Abu Bakr Belkaid Tlemcen (Algeria),
wafaa.benayad@univ-tlemcen.dz

Pre Wahiba HALIMI

University of Abu Bakr Belkaid Tlemcen (Algeria), wahiba.halimi@univ-tlemcen.dz

Soumission : 14.08.2024 – Acceptation : 20.02.2025 – Publication : 30.03.2025

Résumé — Le chômage, véritable enjeu social et économique, requiert une analyse économique approfondie dans tous les pays sans exception. Nos résultats révèlent que l'application de techniques avancées d'apprentissage automatique, en particulier les modèles de réseaux neuronaux multicouches, a offert une compréhension supérieure des dynamiques économiques. Ces techniques surpassent les modèles de mémoire longue avec fluctuations fractionnaires ainsi qu'un réseau neuronal structuré. Notamment, le modèle FFBNN (2.2.10.1), utilisant la fonction d'activation TANSIG, a montré d'excellents résultats en Algérie.

Mots-clés : chômage, modèles de réseaux neuronaux synthétiques, modèles à mémoire longue, modèles de fluctuations fractionnaires intégrées, Algérie.

Abstract — Unemployment, a critical social and economic challenge, requires thorough economic analysis in every country without exception. Our findings reveal that the application of advanced machine learning techniques, particularly multilayer neural network models, provided a superior understanding of economic dynamics. These techniques outperformed long memory models with fractional fluctuations as well as a structured neural network. Notably, the FFBNN (2.2.10.1) model, using the TANSIG activation function, demonstrated excellent results in Algeria.

Keywords: Unemployment, Synthetic Neural Network Models, Long Memory Models, Integrated Fractional Fluctuation Models, Algeria.

Introduction

La prévision du chômage est essentielle pour les décideurs politiques, les économistes, les entreprises, et les individus. Elle offre des indications précieuses sur la santé du marché du travail et l'économie macroéconomique. Des prévisions précises permettent une prise de décision proactive, l'élaboration de politiques efficaces et une allocation éclairée des ressources. En anticipant les tendances futures de l'emploi, les parties prenantes peuvent mieux prévenir et atténuer les effets négatifs du chômage, tels que la contraction économique, les troubles sociaux, et les inégalités de revenus.

Les modèles de séries temporelles et les réseaux neuronaux artificiels se distinguent par leur capacité à s'adapter aux conditions économiques changeantes, en actualisant les prévisions au fur et à mesure que de nouvelles données sont disponibles. Cette adaptabilité est cruciale dans le domaine du chômage, où les marchés du travail sont constamment influencés par des facteurs externes variables. En entraînant ces modèles sur des ensembles de données récents, il devient possible d'effectuer des ajustements dynamiques et d'obtenir des prévisions plus précises, en phase avec l'évolution des conditions économiques.

En Algérie, la question du chômage est devenue un défi majeur, particulièrement ces dernières années. La volatilité de la croissance économique, les mutations dans la structure du marché du travail, et l'impact des événements mondiaux ont tous contribué à complexifier la situation. De plus, la rapide croissance démographique et la transition qui l'accompagne ajoutent une pression supplémentaire sur le marché du travail.

C'est dans ce contexte que se pose la question centrale de cette étude :

- **Quelle est l'efficacité des modèles de réseaux neuronaux artificiels comparée à celle du modèle *Auto-Régressif Intégré de Moyenne Mobile* (ARIMA) pour prévoir le chômage en Algérie durant la période 2000-2021 ?**

1. Fondements théoriques ou cadre théorique

1.1. Le fléau du chômage en Algérie

L'économie algérienne, largement tributaire des revenus pétroliers, a été durement touchée par le choc pétrolier de la fin des années 1980, lorsque le prix du baril est tombé à 10 \$. Ce choc a révélé la vulnérabilité de l'économie de rente et a exacerbé le problème du chômage. Pour y faire face, le gouvernement a dû adopter des politiques d'austérité, annulant une grande partie des projets d'investissement prévus dans le deuxième plan quinquennal 1985-1988. Toutefois, les pressions liées à la dette, la chute drastique des revenus, et l'absence de financements externes ont aggravé la situation, portant le taux de chômage à 12,78 % en 1987, contre 9,8 % en 1985 et atteignant même 18,1 % en 1989.

Les mesures d'austérité, visant à gérer la demande et l'offre globales, ont eu des effets négatifs sur le marché du travail. L'idée sous-jacente de ces programmes était que les impacts sociaux tels que la pauvreté et le chômage finiraient par s'estomper avec une reprise économique à moyen terme. Cela représentait un sacrifice social, parfois comparé par le FMI à une dose de médicament nécessaire avant la guérison du patient. Cependant, l'adoption de nouvelles lois sur le travail, marquées par une plus grande flexibilité, a aggravé les déséquilibres sur le marché du travail. Le nombre de travailleurs licenciés – qu'ils soient

volontaires, obligatoires, ou mis en retraite anticipée par des entreprises en difficulté – a explosé. Au cours de la mise en œuvre du programme, 50 700 travailleurs ont été licenciés volontairement, 519 000 ont été contraints de partir, et 264 000 ont été envoyés en retraite anticipée.

Selon les rapports du Conseil économique et social, l'offre totale de travail sur le marché dépassait les 250 000 personnes par an, en plus des travailleurs licenciés, entraînant un taux de chômage qui dépassait les 20 % et atteignait environ 30 % en 1999.

Face à cette crise, le gouvernement algérien a tenté de réduire le chômage en lançant des programmes de développement. Parmi eux, le programme de relance économique de 2001 à 2004, pour lequel l'État a alloué environ 7 milliards de dollars. Ce programme visait à revitaliser divers secteurs sociaux et à investir environ 16 milliards de dinars algériens dans l'emploi et la protection sociale, avec pour objectif de réduire le fossé sur le marché du travail. Les résultats ont été positifs : le taux de chômage est passé de 27,3 % en 2001 à 17,7 % en 2004. Par la suite, le programme de soutien à la croissance économique de 2005 à 2009 a poursuivi cet effort, avec une allocation de 55 milliards de dollars à l'investissement et à l'emploi, réduisant le taux de chômage à 10,2 % à la fin du programme.

Malgré ces efforts, les tentatives de réduction du chômage depuis 1985 montrent que les solutions gouvernementales ont souvent eu un impact limité et temporaire. Les politiques de travail à moyen et long terme, associées aux programmes pour les jeunes, ont cependant contribué à abaisser le taux de chômage à 9,83 % en 2013, démontrant l'importance des initiatives étatiques dans la lutte contre le chômage. (كوثر زيادة، 2017-2018، الصفحات 130-132)

L'économie algérienne a connu une récession en 2019 en raison du mouvement populaire, ce qui a contribué à la crise de l'économie nationale et à une baisse des investissements, des prix du pétrole et des revenus (136-136 الصفحات، 2022، سعود وسيلة). Dès le début de 2020, un taux de chômage plus élevé de 13 % a été enregistré en raison de la fermeture des entreprises et des usines dans tous les secteurs, ainsi que des travailleurs indépendants, résultant de l'épidémie de la pandémie de coronavirus. (عدالة بن مهدي، 2022، صفحة 172)

L'épidémie de la pandémie de coronavirus a paralysé l'économie en difficulté de l'Algérie, alors que les revenus pétroliers, qui représentent plus de 92 % des recettes fiscales du pays, ont continué de chuter, avec une baisse des exportations de pétrole au premier trimestre de 2020 de 25 % par rapport à la même période de l'année précédente.

Le marché du travail algérien a souffert des effets négatifs de la pandémie de coronavirus. Cela est dû à la fermeture et à la suspension des activités imposées par l'État pour des raisons de santé préventive. Le nombre d'actifs en Algérie a diminué en 2020, ce qui a été compensé par une augmentation du taux de chômage de plus de 12 %.

(عبد الرحمن بن عوكلي، 2020)

La suspension des transports et des activités économiques a directement affecté le marché du travail en termes de nombre de postes et d'heures de travail en raison de la politique de quarantaine imposée. L'économie informelle a également rencontré des difficultés dans son activité, tandis que le secteur des services, qui occupe une grande partie de la main-d'œuvre, a été le plus touché, impactant d'autres secteurs. (سعود وسيلة، 2022، صفحة 140)

2. Revue de la littérature

Les chercheurs (A. Nazif Çatik, 2012) ont présenté une étude dont l'objectif était d'évaluer la précision de la prévision de l'inflation à l'aide de modèles alternatifs de séries temporelles variables, tels que les modèles ARIMA, ARFIMA, FIGARCH, UC et ANN. Pour ce faire, ils ont utilisé les méthodes standards suivantes : des données mensuelles ajustées saisonnièrement pour l'indice des prix à la consommation turc ont été utilisées pour la période allant de 01.1962 à 12.2009. Un réseau neuronal à propagation avant a été utilisé, avec des valeurs d'inflation actuelles et passées comme entrée. Des algorithmes d'apprentissage logistique et adaptatif ont été utilisés pour entraîner le modèle de réseau. Les modèles ARIMA et ARFIMA ont été estimés, et l'étude s'est basée sur le critère AIC pour choisir le meilleur modèle, en utilisant le modèle UCM (ce modèle permet l'analyse de l'inflation en deux parties : comme facteur à long terme et facteurs irréguliers (d'où son estimation)). La comparaison entre les modèles ARIMA, ARFIMA et FIGARCH basée sur le critère AIC a montré que, dans les prévisions à court terme, les modèles traditionnels, en particulier ARFIMA et ARIMA, offraient une meilleure performance d'un pas et surpassaient le modèle structurel en termes de prévisions dynamiques. Il est à noter que l'inflation en Turquie présente un schéma variable au fil du temps et que les modèles traditionnels sont incapables de suivre la tendance sous-jacente de l'inflation à long terme. L'étude a également montré que lorsque les projections constantes sont prises en compte, les modèles ARIMA et ARFIMA offrent de meilleurs résultats de prévision que les modèles UCM et ANN sur l'horizon de prévision précédent.

Le chercheur (Mehmet Balçilar, 2016) a présenté une étude visant à étudier la durée de l'inflation persistante au fil du temps et à travers différents systèmes politiques. À cet effet, le modèle MS-ARFIMA a été estimé sur la base des données mensuelles de l'indice des prix à la consommation, de 1923 au quatrième trimestre de 2014. Le modèle a identifié trois ruptures structurelles, mesurant la continuité de l'inflation à l'aide du test Ng.perron. Cette étude a abouti aux points clés suivants : les résultats des tests statistiques ont montré que le taux d'inflation moyen était de 5,49 (l'inflation tend à être à droite), ce qui indique que l'inflation persiste dans les deux systèmes. Selon le test Ng.perron, l'inflation était plus stable dans le système de forte inflation que dans le système de faible inflation, où il a fallu environ 70 mois pour se dissiper à 50 % du choc unitaire d'inflation dans le système de forte inflation contre 10 mois dans le système de faible inflation, en raison d'une mémoire courte dans l'environnement de faible inflation.

Les chercheurs (Evgenii V. Gilenko, 2019) ont mené une étude intitulée : « *Prévision de l'inflation basée sur l'effet de la longue mémoire : le cas de la Russie* ». L'objectif était de clarifier comment les méthodes modernes peuvent être utilisées dans l'économie de référence pour améliorer la qualité des prévisions d'inflation en Russie. Pour ce faire, deux méthodologies de prévision de l'inflation ont été adoptées : le modèle de régression linéaire multiple comme approche de base et le modèle ARFIMA comme approche plus avancée. Les résultats RMSE ont montré que l'approche ARFIMA surpassait le modèle de régression linéaire multiple et que le modèle certifié était ARFIMA (13 ; 0,39 ; 22). Il a été constaté que les deux modèles surpassaient les prévisions d'inflation actuelles du ministère russe du Développement

économique, où le modèle ARFIMA estimé capturerait l'impact de la longue mémoire dans l'IPC de la Russie, presque deux fois plus précis que l'approche utilisée par le ministère, soutenant ainsi chacune des hypothèses de recherche.

Les chercheurs (Raffaella Folgieri, 2017) ont présenté une étude dont le but était d'utiliser le modèle de réseau neuronal pour modéliser et prédire la demande touristique en termes de nombre total de nuits passées en Croatie pour la période de 2007 à 2012. Le réseau neuronal synthétique avec diffusion inversée a été utilisé, avec une structure de 9 contrats d'entrée exprimés dans les variables mentionnées, 2 dans la couche cachée et 1 contrat de sortie pour prédire le nombre mensuel d'hébergements pour les touristes entrants. Cette étude a révélé que l'utilisation du modèle de réseau neuronal pour anticiper l'arrivée des touristes est une méthode efficace qui présente un faible taux d'erreur et est importante, ce modèle étant supérieur au modèle de régression linéaire.

Le chercheur (Vochozka, 2017) a présenté une étude dont l'objectif était d'appliquer deux méthodes pour prédire l'évolution future des prix de l'or sur le NYSE, à savoir les chaînes temporelles et les réseaux neuronaux synthétiques pour la période du 01/03/2006 au 15/04/2016 (la variable étudiée est le prix de fixation de Londres en AM). Les structures synthétiques différaient dans le type de fonctions d'activation utilisées dans la couche cachée et la couche de sortie. Les résultats des régressions et des réseaux neuronaux ont été comparés sur la base de l'avis de l'expert et de l'évaluateur économique, c'est-à-dire que la comparaison était uniquement visuelle sans calcul des critères d'évaluation. Les résultats ont montré que la performance de presque toutes les structures neuronales préservées est identique (toutes les structures de réseau neuronal préservées ont été scientifiquement utiles, en examinant la performance du point de vue des coefficients).

3. Résultats et discussion

3.1. Prédiction du chômage en utilisant le modèle *Auto-régression et moyennes mobiles fractionnaires* ARFIMA

— Analyse des données de chômage en Algérie pour la période du premier trimestre 2000 au troisième trimestre 2021.

La **Figure 1** montre les variations des taux de chômage trimestriels en Algérie pour la période du premier trimestre 2000 au troisième trimestre 2021. La valeur la plus élevée a été enregistrée au début de la période d'étude à 29,72 %, avant de diminuer progressivement par la suite. Cette diminution s'explique par la mise en œuvre des plans positifs et des réformes adoptés par le gouvernement algérien au cours des années 1990. En revanche, des taux de chômage élevés ont été enregistrés en 2008 et 2011, en raison des événements extérieurs de la crise financière mondiale de 2008-2009 et du Printemps arabe de 2011, qui ont affecté le marché du travail algérien, entraînant un ralentissement économique et une augmentation des taux de chômage. Le taux de chômage a ensuite montré une tendance générale à la baisse et à la montée.

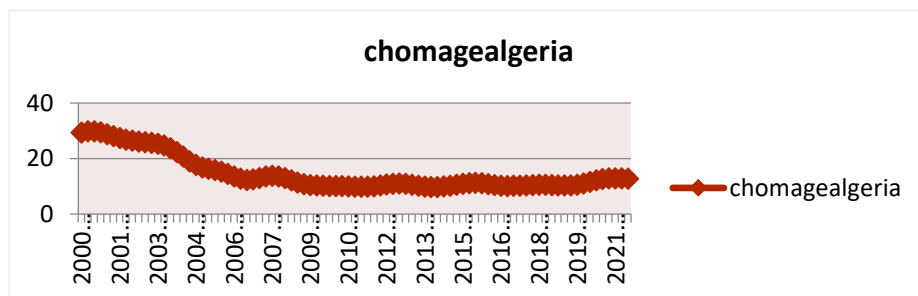


Figure 1 – Évolution des taux de chômage du premier trimestre 2000 au troisième trimestre 2021
(Source : préparé par le chercheur à partir d'Excel)

— Série de chômage mensuel stable étudiée

En appliquant le test de Phillips-Perron aux premier, deuxième et troisième modèles (avec une constante, avec une constante et une tendance générale, sans constante et sans tendance générale), la série temporelle s'est révélée instable au niveau, nécessitant donc de prendre les premières différences pour la rendre stationnaire (la conversion logarithmique n'est pas utilisée pour obtenir des pourcentages).

Phillips-Perron Unit Root Test on CHOMAGEALGERIA		
Null Hypothesis: CHOMAGEALGERIA has a unit root		
Exogenous: Constant		
Bandwidth: 5 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-2.643188	0.0884
Test critical values:		
1% level	-3.508328	
5% level	-2.895112	
10% level	-2.584892	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)	0.191515	
HAC corrected variance (Bartlett kernel)	0.650338	

Phillips-Perron Unit Root Test on CHOMAGEALGERIA		
Null Hypothesis: CHOMAGEALGERIA has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Bandwidth: 5 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-0.489527	0.8820
Test critical values:		
1% level	-4.068280	
5% level	-3.462912	
10% level	-3.157036	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)	0.167021	
HAC corrected variance (Bartlett kernel)	0.454749	

Phillips-Perron Unit Root Test on CHOMAGEALGERIA		
Null Hypothesis: CHOMAGEALGERIA has a unit root		
Exogenous: None		
Bandwidth: 6 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-2.832229	0.0051
Test critical values:		
1% level	-2.592129	
5% level	-1.944519	
10% level	-1.614288	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)	0.202453	
HAC corrected variance (Bartlett kernel)	0.759404	

Figure 2 – Résultats du test de Phillips-Perron pour les séries des taux de chômage
(Source : Préparé par le chercheur à partir des résultats du **Logiciel eviews9**)

La **Figure 3** montre que la série des taux de chômage est devenue stationnaire après avoir pris les premières différences, en appliquant le test de Phillips-Perron à un niveau de signification de 5 %. Elle peut donc être utilisée pour la phase d'identification et d'évaluation.

Phillips-Perron Unit Root Test on D(CHOMAGEALGERIA)		
Null Hypothesis: D(CHOMAGEALGERIA) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Bandwidth: 3 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-3.108485	0.0286
Test critical values:		
1% level	-3.500281	
5% level	-2.895924	
10% level	-2.585172	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)	0.037987	
HAC corrected variance (Bartlett kernel)	0.090291	

Phillips-Perron Unit Root Test on D(CHOMAGEALGERIA)		
Null Hypothesis: D(CHOMAGEALGERIA) has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Bandwidth: 2 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-3.887330	0.0163
Test critical values:		
1% level	-4.068931	
5% level	-3.463547	
10% level	-3.158207	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Phillips-Perron Unit Root Test on D(CHOMAGEALGERIA)		
Null Hypothesis: D(CHOMAGEALGERIA) has a unit root		
Exogenous: None		
Bandwidth: 3 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-2.827501	0.0052
Test critical values:		
1% level	-2.592452	
5% level	-1.944666	
10% level	-1.614281	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)	0.038544	
HAC corrected variance (Bartlett kernel)	0.091271	

Figure 3 – Résultats du test de Phillips-Perron pour les séries des taux de chômage après prise des premières différences
(Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du **Logiciel eviews9**)

— Test de mémoire longue

Pour détecter l'existence de mémoire longue dans la série de chômage en Algérie, des tests statistiques standards et des graphiques ont été utilisés comme suit :

Test R/S

D'après les résultats du Tableau 1, il est clair que la valeur de la statistique R/S ne se situe pas dans l'intervalle $[0,809 ; 1,862]$ à un niveau de signification de 5 %. La série des taux de chômage en Algérie contient donc une mémoire longue.

Tableau 1 – Résultats du test de la statistique R/S

(Source : Préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

Test	R/S Statistic	90%	95%	99%	Decision
Hurst-Mandelbrot	3.68828	$[0.861; 1.747]$	$[0.809; 1.862]$	$[0.721; 2.098]$	L'hypothèse nihiliste qui stipule l'existence d'une mémoire courte a été rejetée.

Test LO

Les résultats de la statistique traditionnelle R/S étant quelque peu biaisés, il est nécessaire d'utiliser une statistique LO. Comme le montre le tableau ci-dessous, sa valeur a été estimée à 2,63 et n'est pas tombée dans l'intervalle $[0,809 ; 1,862]$ à un niveau de signification de 5 %. Ainsi, les résultats de la statistique R/S traditionnelle sont cohérents avec la statistique LO, confirmant le comportement à long terme de la série de chômage.

Tableau 2 – Résultats du test de la statistique LO

(Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

Test	R/S Adjusted Statistic	90%	95%	99%	Decision
LO Statistic	2.63176	$[0.861; 1.747]$	$[0.809; 1.862]$	$[0.721; 2.098]$	L'hypothèse alternative, qui stipule l'existence d'une mémoire longue dans la série temporelle, a été acceptée.

Trace du graphique de la fonction d'auto-corrélation (ACF)

Le graphique de la fonction d'auto-corrélation de la série temporelle étudiée montre qu'elle diminue lentement jusqu'à atteindre zéro, ce qui nécessite l'application de modèles de mémoire longue pour obtenir des résultats bons et précis.

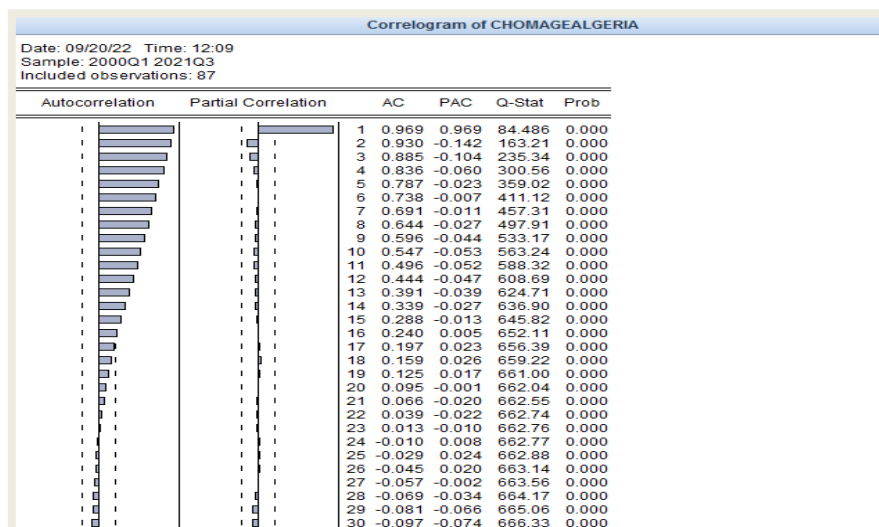


Figure 4 – Graphique des fonctions ACF et PACF de la série des taux de chômage réels dans le cas de l'Algérie (Source : Préparé par le chercheur à partir des résultats du **Logiciel eviews9**)

Phase d'identification et d'évaluation

Après avoir confirmé la présence de mémoire longue dans la série temporelle, l'étape suivante a consisté à déterminer les ordres ppp et qqg du modèle ARMA, en se basant sur les fonctions d'auto-corrélation et d'auto-corrélation partielle simples montrées dans la **Figure 5**.

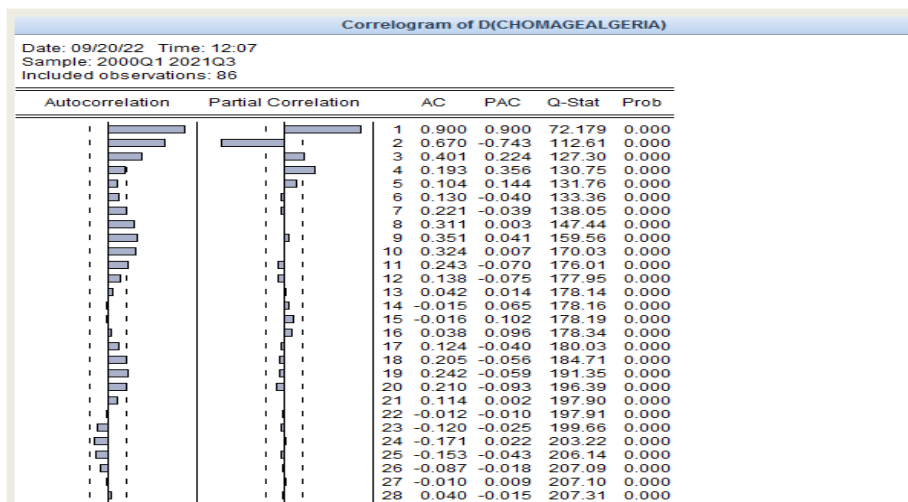


Figure 5 – Graphique des fonctions ACF et PACF pour la série de chômage après avoir pris la première différence dans le cas de l'Algérie (Source : Préparé par le chercheur à partir des résultats du **Logiciel eviews9**)

Trois modèles d'auto-régression et de moyennes mobiles fractionnaires ont été estimés : ARFMA₁(0.d.0), ARFMA₂(0.d.1) et ARFMA₃(0.d.2). Les résultats de l'estimation du paramètre d'intégration fractionnaire "d" avec une application d'estimation du maximum de vraisemblance (MLE) pour tous les modèles ont montré qu'ils étaient statistiquement significatifs et se situaient dans l'intervalle de $0 < d < 1/2$, avec des valeurs estimées de 0,498862, 0,498 et 0,49884, respectivement. Sur cette base, la série des taux de chômage en Algérie a été confirmée comme étant une série à mémoire longue avec des auto-corrélations conduisant à des fluctuations significatives.

Tableau 3 – Résultats de l'estimation des modèles d'auto-régression et des moyennes mobiles fractionnaires possibles (Source : Préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

	ARFMA ₁ (0.d.0)	ARFMA ₂ (0.d.1)		ARFMA ₃ (0.d.2)		
	D	D	MA-1	D	MA-1	MA-2
Coefficient	0.498862	0.498	1.0000	0.49884	1.97798	0.999
Std	0.001598	0.001612	0.02908	0.00162	0.04778	0.04045
Error t-value	312.0	310.0	34.4	307.0	41.4	24.7
t-Prob	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Comparaison des modèles de mémoire longue estimés

Afin de choisir entre les modèles d'auto-régression et les moyennes mobiles fractionnaires estimées, les valeurs des indices de différentiel AIC, HQ et SC ont été calculées. Le tableau ci-dessous montre que le modèle approprié est ARFIMA₃(0.d.2).

Tableau 4 – Résultats de la comparaison des modèles estimés (Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

AIC	HQ	SC	Model
6.4759	6.4989	6.5330	ARFIMA ₁ (0.d.0)
5.1960	5.2304	5.2816	ARFIMA ₂ (0.d.1)
3.9548	4.0008	4.0690	ARFIMA ₃ (0.d.2)

Phase de diagnostic du modèle ARFMA₃ (0.d.2)

À ce stade, des tests de distribution naturelle ont été appliqués, ainsi que le test d'impact ARCH et le test de portemanteau d'auto-corrélation à $q=12$ $q=12$ $q=12$. Les résultats du tableau numéro 5 ont montré que tous les tests appliqués ne sont pas concluants, ce qui signifie que la variabilité des erreurs n'est pas constante dans le temps, et que la série temporelle peut être estimée à l'aide de modèles GARCH.

Tableau 5 – Résultats du diagnostic du modèle ARFMA₃ (0.d.2) (Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

Test			
Arch 1-1 Test	F(1.81)	= 4652.6	(0.0000)
Normality Test	Chi ² (2)	=11.826	(0.0027)
Portmanteau (12)	Chi ² (9)	=591.24	(0.0000)

Le compromis entre le modèle ARFMA₃ (o.d.2) et les modèles GARCH analogues et asymétriques

Après avoir utilisé les modèles GARCH pour éliminer le problème d'asymétrie, les modèles proposés ont été comparés sur la base de critères différentiels, et il a été constaté que le modèle approprié pour modéliser le comportement du chômage en Algérie est ARFIMA₃ (o.d.2) - FIGARCH BBM (1.o), avec des valeurs plus faibles pour AIC, HQ et SC.

Tableau 6 – Résultats du compromis du modèle ARFMA₃ (o.d.2) avec les modèles GARCH et asymétriques (Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

AIC	HQ	SC	Model
-2.3375	-2.2800	-2.1948	ARFIMA ₃ (o.d.2)-APACH(1.1)
-2.3260	-2.2456	-2.1263	ARFIMA ₃ (o.d.2)-FIGARCH BBM's (1.1)
-1.8892	-1.7858	-1.6323	ARFIMA ₃ (o.d.2)-FIGARCH (1.1)
-2.3493	-2.2804	-2.1780	ARFIMA ₃ (o.d.2)-FIGARCH BBM's (1.o)
-2.1559	-2.0640	-1.9276	ARFIMA ₃ (o.d.2)-FIGARCH (1.o)
-1.1506	-1.2310	-1.3504	ARFIMA ₃ (o.d.2)-APACH(o.1)

Estimation du modèle ARFIMA avec les fluctuations GARCH candidates

D'après les résultats de l'estimation du modèle ARFIMA₃ (o.d.2) - FIGARCH BBM (1.o) utilisant une distribution GED, il est clair que le paramètre de fluctuation FIGARCH est statistiquement significatif. Ainsi, le modèle présente un effet fractionnaire modéré, et sa valeur observée est inférieure à un, ce qui indique une stabilisation des fluctuations, c'est-à-dire que les fluctuations diminuent avec le temps. (BETA₁) Cela peut être expliqué par le fait que la volatilité passée a peu d'impact sur les écarts actuels.

Tableau 7 – Estimation du modèle ARFIMA₃ (o.d.2) - FIGARCH BBM (1.o)
(Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du Logiciel OxMetrics7)

	Coefficient	Std Error	T-value	T-Prob
Cst	0.581533	0.0023319	249.4	0.000
MA(1)	1.951101	0.024439	79.83	0.000
MA(2)	0.970750	0.024905	38.98	0.000
d-Figarch	0.406789	0.092373	4.404	0.000
Garch(Beta ₁)	-0.299422	0.086998	-3.442	0.000
G.E.D (DF)	1.684730	0.25845	6.519	0.000
d-Afima	0.49000			

Étape de diagnostic de la forme sélectionnée

D'après les résultats du **Tableau n° 8**, le modèle ne présente pas de problème d'auto-corrélation des erreurs aléatoires, les erreurs suivent une distribution naturelle, et il ne présente pas de problème d'asymétrie de la variabilité à $q=20q = 20q=20$. Il peut donc être utilisé pour la prévision des périodes futures.

Tableau 8 – Résultats des tests de distribution naturelle, d'auto-corrélation et d'effet ARCH
(Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du **Logiciel OxMetrics7**)

	Statistic	T-Test	P-value
Skewness	0.22848	0.87984	0.37895
Excess Kurtosis	0.79022	1.5377	0.12412
Jarque-Bera	2.9858	NaN	0.22472
Q-statistics on Squared Standardized Residuals			
Q(5)	=13.5654		0.0088194
Q(10)	=18.0065		0.0350987
Q(20)	=28.2159		0.0793605
Q(50)	=84.1741		0.0013185
Test ARCH			
Arch 1-2 Test	F(2,80)	=0.21626	0.8060
Arch 1-5 Test	F(5,74)	=2.9540	0.0174
Arch 1-10 Test	F(10,64)	=2.1720	0.0310

Les diagrammes d'auto-corrélation et d'auto-corrélation partielle des boîtes de rétention montrés dans la **Figure n° 6** indiquent que leurs résultats correspondent aux résultats des tests statistiques. Ainsi, le modèle estimé est statistiquement et mesurablement acceptable.

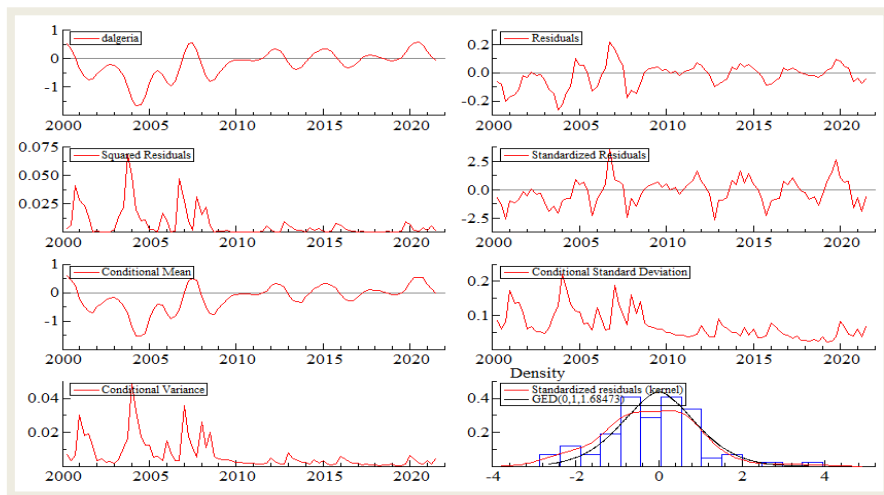


Figure 6 – Diagnostic de la forme sélectionnée
(Source : préparé par le chercheur à partir des résultats du **Logiciel OxMetrics7**)

3.2. Prédiction du chômage en utilisant des modèles de réseaux neuronaux synthétiques à couches multiples

Afin d'appliquer le modèle de réseau neuronal synthétique pour la modélisation et la prédiction des données de chômage en Algérie, les structures suivantes ont été utilisées :

Répartition des données d'étude

Les données de l'étude ont été divisées en deux groupes :

- **Groupe d'entraînement** : 80 % des données de l'étude, soit environ 70 observations
- **Groupe de test** : 20 % des données de l'étude, soit environ 17 observations

Architectures de réseaux neuronaux synthétiques appliquées

Pour plusieurs expériences, des modifications ont été apportées à la fois dans la couche cachée, la fonction d'activation utilisée dans la couche cachée (fonction tansig, fonction purelin, fonction logsig), ainsi que dans le nombre de neurones de la couche cachée, en s'appuyant sur la fonction d'activation tansig dans la couche de sortie dans tous les cas. L'algorithme utilisé dans le processus d'entraînement est basé sur l'algorithme de rétropropagation de Levenberg-Marquardt.

Première : Modèle de réseau neuronal à diffusion arrière (FFBNN₁)

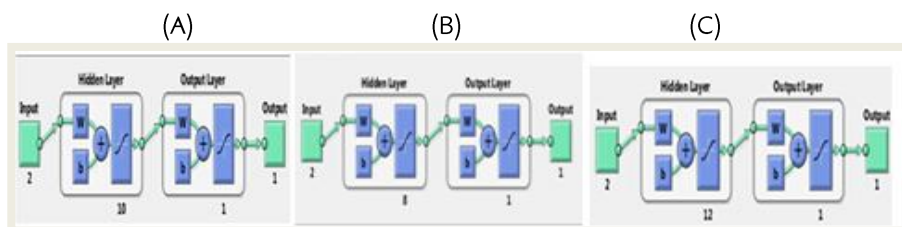


Figure 7 – Architecture du réseau neuronal (FFBNN) avec différents nombres de couches cachées et de neurones (Source : préparé par le chercheur à l'aide du **Logiciel Matlab R2014a**)

Le tableau suivant montre que le modèle de réseau neuronal à couches multiples avec filtre de rétropropagation, qui imite bien la série originale, est le FFBNN₁ (2-2-10-1). Les résultats des indicateurs de précision prédictive l'ont confirmé en fournissant des valeurs minimales pour chaque MAD, MSE, RMSE et MAPE par rapport aux deux autres modèles.

Tableau 9 – Comparaison des modèles de réseaux neuronaux synthétiques avec rétropropagation (Source : préparé par le chercheur à l'aide du **Logiciel Matlab R2014a**)

Type of networks applied	Number of inputs	Number of hidden layer	Number of cells hidden layer	Number of outputs	Stimulation function in hidden layer	MAD	MSE	RMSE	MAPE
FFBNN₁	2	2	10	1	TANSIG	0,145	0,083	0,288	0,0121
FFBNN ₂	2	1	8	1	TANSIG	0,245	0,254	0,504	0,0207
FFBNN ₃	2	1	12	1	TANSIG	0,229	0,134	0,366	0,187

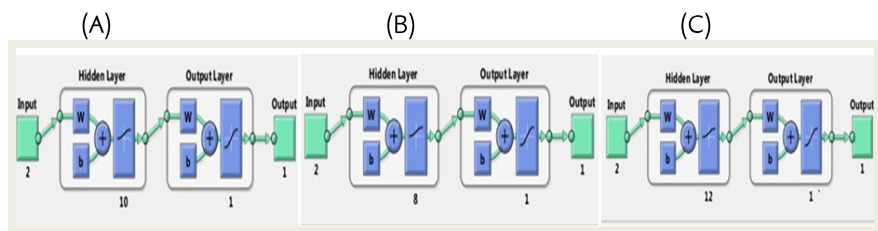
Deuxième : Modèle de réseau neuronal à diffusion arrière (FFBNN₂)

Figure 8 – Architecture du réseau neuronal (FFBNN₂) en fonction du nombre de couches cachées et de neurones (Source : préparé par le chercheur à l'aide du Logiciel Matlab R2014a)

D'après les résultats du tableau ci-dessous, le modèle de réseau neuronal à couches multiples avec rétropropagation, qui imite bien la série originale, est le FFBNN₂₁ (2-2-10-1), utilisant la fonction d'activation LOGSIG. Les résultats des indicateurs de précision prédictive ont confirmé cela en fournissant des valeurs minimales pour chaque MAD, MSE, RMSEE et MAPE par rapport aux deux autres modèles.

Tableau 10 – Comparaison des modèles de réseaux neuronaux synthétiques avec rétropropagation (Source : préparé par le chercheur à l'aide du Logiciel Matlab R2014a)

Type of networks applied	Number of inputs	Number of hidden layer	Number of cells hidden layer	Number of outputs	Stimulation function in hidden layer	MAD	MSE	RMSE	MAPE
FFBNN₂₁	2	2	10	1	LOGSIG	0,221	0,142	0,376	0,0184
FFBNN ₂₂	2	1	8	1	LOGSIG	0,284	0,136	0,369	0,0224
FFBNN ₂₃	2	1	12	1	LOGSIG	0,501	3,474	1,864	0,0413

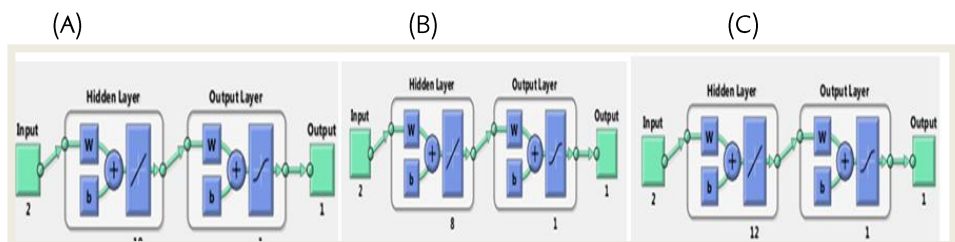
Troisième : Modèle de réseau neuronal à diffusion arrière (FFBNN₃)

Figure 9 – Architecture des réseaux neuronaux (FFBNN₃) en fonction du nombre de couches cachées et de neurones 40 mini (Source : préparé par le chercheur à l'aide du Logiciel programme Matlab R2014a)

Le tableau suivant montre que l'un des autres modèles proposés est le FFBNN₃₃ (2-1-12-1). Les résultats des indicateurs de précision prédictive ont confirmé cela en fournissant des valeurs minimales pour chaque MAD, MSE, RMSEE et MAPE par rapport aux deux autres modèles.

Tableau 11 – Comparaison des modèles de réseaux neuronaux synthétiques avec rétropropagation
(Source : préparé par le chercheur à l'aide du **Logiciel Matlab R2014a**)

Type of networks applied	Number of in-puts	Number of hid-den layer	Number of cells hidden layer	Number of out-puts	Stimulation function in hidden layer	MAD	MSE	RMSE	MAPE
FFBNN ₃	2	2	10	1	PURELIN	0,698	0,701	0,837	0,053
FFBNN ₃₂	2	1	8	1	PURELIN	0,703	0,703	0,838	0,053
FFBNN₃₃	2	1	12	1	PURELIN	0,693	0,702	0,838	0,052

Résultats de la comparaison des structures de réseaux neuronaux synthétiques avec rétropropagation candidates pour chaque phase

Les résultats de la comparaison entre les modèles de réseaux neuronaux appliqués, qui diffèrent en termes de fonction d'activation, de nombre de couches cachées et de nombre de neurones, montrent que le modèle FFBNN₁₁ (2-2-10-1) avec l'utilisation de la fonction d'activation TANSIG fournit des résultats précis et bons. Il peut donc être utilisé pour prédire les taux de chômage trimestriels en Algérie.

Tableau 12 – Comparaison des structures de réseaux neuronaux synthétiques avec rétropropagation candidates pour chaque phase (Source : préparé par le chercheur à l'aide du **Logiciel Matlab R2014a**)

Type of networks applied	Number of in-puts	Number of hid-den layer	Number of cells hidden layer	Number of out-puts	Stimulation function in hidden layer	MAD	MSE	RMSE	MAPE
FFBNN₁₁	2	2	10	1	TANSIG	0,145	0,08	0,288	0,012
FFBNN ₂₁	2	2	10	1	LOGSIG	0,221	0,14	0,376	0,018
FFBNN ₃₃	2	1	12	1	PURELIN	0,693	0,702	0,838	0,052

Compromis entre le modèle ARFIMA et le modèle de réseau neuronal synthétique FFBNN

Pour obtenir des résultats bons et précis dans le processus de modélisation de la chaîne de chômage, deux méthodes ont été appliquées : le modèle d'auto-régression, les moyennes mobiles fractionnaires, et le modèle de réseau neuronal synthétique. Afin de comparer ces méthodes, les indicateurs de précision prédictive suivants ont été utilisés : MAD, MSE, RMSE et MAPE. Les résultats ont montré que le modèle qui imite le mieux le phénomène étudié est le modèle de réseau neuronal synthétique à couches multiples sous la forme suivante : (2-2-1) FFBNN₁₁.

Tableau 13 – *Compromis entre le modèle de mémoire longue et le modèle de réseau neuronal synthétique avec rétropropagation* (Source : préparé par le chercheur à partir des résultats des Logiciels OxMetrics7 et Matlab2014a)

Type of networks applied	MAD	MSE	RMSE	MAPE
FFBNN₁₁ (2.2.1)	0,145	0,083	0,288	0,0121
ARFIMA ₃ (0.d.2)-FIGARCH BBM's (1.0)	0,7103	0,727	0,853	0,051

Le graphique suivant montre que la courbe de la chaîne réelle s'applique de manière significative avec la courbe estimée en utilisant le modèle de réseau neuronal synthétique, ce qui soutient les résultats des indicateurs de précision prédictive calculés.

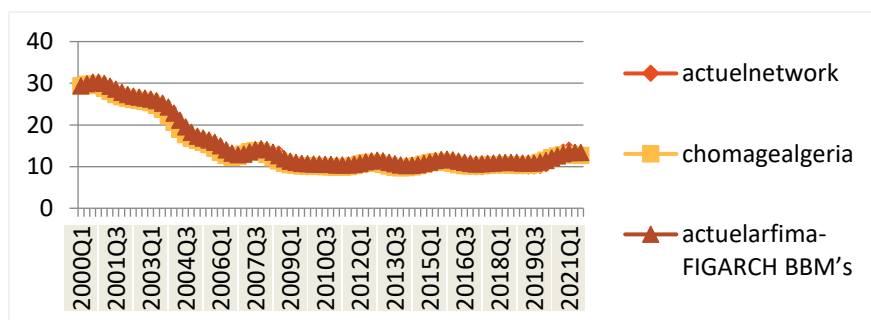


Figure 10 – Comparaison entre les résultats des réseaux neuronaux artificiels et le modèle de mémoire longue appliqué (Source : préparé par le chercheur à partir d'Excel)

Phase de prévision du chômage futur utilisant le modèle (2.2.1) FFBNN₁₁

Sur la base des résultats de la comparaison, le modèle de réseau neuronal synthétique multicouche a surpassé le modèle d'auto-régression et les moyennes mobiles fractionnaires, et a donc été utilisé dans le processus de prévision. Il a été démontré, à travers le **tableau n° 14**, que les taux de chômage en Algérie seront plus élevés pendant la période allant du quatrième trimestre de 2021 jusqu'à la fin de 2024. L'augmentation continue du chômage en Algérie, telle que prédite par le modèle de réseau neuronal multicouche, est due à divers facteurs économiques pouvant être déduits des points suivants :

— L'impact de la pandémie de COVID-19

La pandémie de COVID-19 a eu un impact significatif sur les économies du monde entier, y compris l'Algérie. Les mesures prises pour contenir la propagation du virus, telles que les confinements, les restrictions de voyage ainsi que la distanciation sociale, ont entraîné des perturbations dans les activités économiques et des pertes d'emplois. Les secteurs les plus touchés ont été le tourisme, le commerce de détail et les transports. Bien que la pandémie se soit atténuée, ses séquelles continuent de peser sur l'économie et contribuent à la montée du chômage.

— Faibles investissements directs étrangers

L'incertitude économique mondiale résultant de la pandémie a entraîné une diminution des flux d'IDE pour la plupart des pays du monde, y compris l'Algérie. Un faible niveau d'IDE pourrait réduire la création d'emplois et la création de nouvelles entreprises.

— Faibles revenus gouvernementaux

La pandémie a exercé une pression sur les finances publiques en raison de l'augmentation des dépenses de santé et de la baisse des recettes fiscales. En raison de ressources limitées, le gouvernement n'a pas pu stimuler la création d'emplois ni fournir un soutien direct à l'emploi, ce qui a entraîné des taux de chômage élevés.

— Réticence des entreprises à investir

Les entreprises sont réticentes à investir dans l'expansion ou à embaucher de nouveaux employés, ce qui contribue aux taux de chômage élevés. De même, les consommateurs ont retardé les achats importants ou réduit les dépenses discrétionnaires, ce qui a eu un impact sur les industries et les niveaux d'emploi.

— Changements dans le comportement des consommateurs

La pandémie a provoqué des changements importants dans le comportement des consommateurs, les personnes privilégiant les biens et services essentiels plutôt que les biens et services non essentiels, ce qui a affecté négativement des industries telles que les loisirs et le commerce de détail non essentiel, qui ont connu une baisse de la demande et, par conséquent, des licenciements.

— Turbulences dans le commerce mondial

En tant qu'État orienté vers l'exportation dans des secteurs tels que l'énergie et les minéraux, l'Algérie a été confrontée à des turbulences dans le commerce mondial et à des défis en raison de la faible demande et des faibles prix d'exportation, entraînant des pertes d'emplois dans ces secteurs.

Tableau 14 – *Taux de chômage trimestriels futurs en Algérie*

(Source : préparé par le chercheur à l'aide du Logiciel Matlab R2014a)

Year	Unemployment rates	year	Unemployment rates
2021Q4	10,60	2023Q3	10,267
2022Q1	10,633	2023Q4	10,745
2022Q2	10,568	2024Q1	11,382
2022Q3	10,456	2024Q2	11,757
2022Q4	10,308	2024Q3	11,971
2023Q1	10,156	2024Q4	12,326
2023Q2	10,107	–	–

Conclusion

La prévision précise du chômage joue un rôle crucial dans l'orientation des décisions politiques et l'allocation des ressources grâce à l'utilisation de techniques de prévision avancées telles que les modèles de séries chronologiques et les réseaux de neurones synthétiques (ANN). Ces outils permettent aux chercheurs et aux décideurs politiques de prévoir les conditions futures du marché du travail, d'identifier les risques et les opportunités potentiels, et de concevoir des interventions appropriées.

Ce document s'est concentré sur l'étude du chômage en Algérie en utilisant le modèle de mémoire longue et les modèles de réseaux de neurones synthétiques (ANN). Grâce à une analyse et une évaluation précises, les résultats ont montré que :

- L'utilisation du modèle de mémoire longue, en particulier l'ARFIMA, est efficace pour capturer la continuité et les effets de mémoire des données de chômage en calculant les dépendances et les tendances à long terme.
- Le modèle ARFIMA a démontré sa capacité à absorber les dynamiques complexes du chômage dans les pays du Maghreb et a fourni des informations précieuses sur la persistance du chômage, permettant une compréhension plus approfondie des facteurs contribuant aux défis du marché du travail de la région.
- En intégrant le composant de différenciation partielle des modèles ARFIMA et le cadre de régression autorégressive généralisée (GARCH), les résultats montrent que les modèles ont réussi à capturer la persistance des taux de chômage ainsi que les motifs de volatilité associés à la volatilité économique. Cela souligne l'importance de considérer les effets de la mémoire à long terme et des clusters de volatilité comme des éléments critiques pour comprendre et prédire les dynamiques du marché du travail. Les résultats de l'étude actuelle sont similaires à ceux des études de Mehmet Balcilar (2016), A. Nazif Çatik (2012), Evgenii V. Gilenko (2019) et Heni Boubaker (2020), qui ont confirmé la performance précise et efficace du modèle ARFIMA avec ou sans fluctuations fractionnaires.
- Les modèles de réseaux de neurones ont démontré leur capacité à capturer les relations non linéaires et les motifs complexes, offrant une performance supérieure dans la prévision des taux de chômage. La flexibilité et l'adaptabilité de ces modèles leur permettent de détecter les interactions complexes en capturant efficacement les dynamiques non linéaires, comme l'ont constaté les études de Raffaella Folgieri (2017) et Malte (2018).

Références

- BALCILAR, Mehmet ; GUPTA, Rangan ; JOOSTE, Charl (2016). Analyzing South Africa's inflation persistence using an ARFIMA model with Markov-switching fractional differencing parameter. *The Journal of Developing Areas*, Vol. 50 No 1, p. 47-57. Tennessee State University, College of Business.
<https://ideas.repec.org/a/jda/journal/vol50year2016issue1pp47-57.html>
- ÇATIK, A. Nazif ; KARAÇUKA, Mehmet (2012). A comparative analysis of alternative univariate time series models in forecasting Turkish inflation. *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 13 No 2, p. 275-293.
<https://journals.vilniustech.lt/index.php/IBEM/article/view/4386>
- GILENKO, Evgenii V.; SMELKOV, Daniil V. (2019). Inflation Prediction Based on the "Long Memory" Effect: The Case of Russia. *Open Journal for Research in Economics*, Vol. 2 No 2, p. 55-64.
<https://centerprode.com/ojre/ojre0202/coas.ojre.0202.01055g.pdf>
- FOLGIERI, Raffaella ; BALDIGARA, Tea ; MAMULA, Maja (2017). Artificial Neural Networks-Based Econo-Metric Models for Tourism Demand Forecasting. *ToSEE – Tourism in Southern and Eastern Europe*, Vol. 4, p. 169-182.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20183005841>

- VOCHOZKA, Marek (2017). Neural Network Regression and Linear Regression in The Estimate of The Price of Gold on The New York Stock Ex-Change. *The 11th International Days of Statistics and Economics*, Prague, September 14-16, p. 1780-1789. https://msed.vse.cz/msed_2017/article/158-Vochozka-Marek-paper.pdf
- كوثر زيادة. (2017). واقع سياسة التشغيل في معالجة البطالة في الجزائر من خلال المخطط الخماسي 2010-2014. *Journal of Human Sciences*, Vol. 28 No 3, p. 325-335. <https://revue.umc.edu.dz/h/article/view/2599/2743>
- سعود وسيلة. (2022). وضعية التشغيل في الجزائر (2009-2019) وتأثير جائحة كورونا عليها. *Beam Journal of Economic Studies*, Vol. 6 No1, p.124-143. <https://asjp.cerist.dz/en/article/183197>
- صالح زياني، عدالة بن مهدي. (2022). التشغيل وإشكالية البطالة في الجزائر (2010-2020) دراسة تحليلية. *المجلة الجزائرية للعلوم الانسانية والاجتماعية*. *Algerian Journal of Human and Social Sciences*, Vol. 6, No 1, p. 166-181. <https://asjp.cerist.dz/en/article/195114>
- حمزة كحال. (2020). توقعات بارتفاع البطالة في الجزائر إلى 20% بسبب كورونا. *العربي الجديد* (اقتصاد الناس). *توقعات-بارتفاع-البطالة-في-الجزائر-إلى-20-بسبب-كورونا* <https://www.alaraby.co.uk/>

Pour citer cet article

Wafaa BENAYAD, Wahiba HALIMI, « Anticiper le chômage : Modèles séries chronologiques et de réseaux de neurones artificiels pour des prévisions innovantes durant la période (2000-2021) », *Paradigmes*, vol. VIII, n° 02, mars 2025, p. 225-242.