

Utilisation des modèles de chaînes de Markov pour la prévision des crises financières au Maroc

Use of Markov chain models for forecasting financial crises in Morocco

Fatima OUBAITA, (Chercheuse)

*Équipe de recherche en Économie et Management des Télécommunications et des
Technologies de l'Information (EM2TI)
Institut National des Postes et Télécommunications (INPT), Maroc*

Hafid BARKA, (Enseignant-Chercheur)

*Équipe de recherche en Économie et Management des Télécommunications et des
Technologies de l'Information (EM2TI)
Institut National des Postes et Télécommunications (INPT), Maroc*

Adresse de correspondance :	Institut National des Postes et Télécommunications Av. Allal Al Fassi, Rabat –Maroc
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude et ils sont responsables de tout plagiat dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	OUBAITA, F., & BARKA, H. (2024). Utilisation des modèles de chaînes de Markov pour la prévision des crises financières au Maroc. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 5(12), 653-668. https://doi.org/10.5281/zenodo.14579285
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: November, 2024

Accepted: December, 2024

International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics - IJAFAME

ISSN: 2658-8455

Volume 5, Issue 12 (2024)

Utilisation des modèles de chaînes de Markov pour la prévision des crises financières au Maroc

Résumé :

Cet article présente une méthode innovante pour prévoir les crises financières au Maroc, couvrant la période de 1980 à 2023 à travers l'utilisation de modèles de chaînes de Markov. L'analyse se concentre sur l'évolution trimestrielle du PIB marocain, identifiant les phases de ralentissement et de reprise économique. Les résultats démontrent la capacité de résilience de l'économie marocaine face à diverses perturbations économiques, tout en maintenant une croissance globalement stable. Pour améliorer la précision de ces modèles, l'article recommande l'adoption de politiques économiques flexibles permettant une réaction rapide aux fluctuations économiques et un suivi régulier des indicateurs économiques pour anticiper et gérer efficacement les crises futures. Enfin, l'utilisation de techniques d'apprentissage automatique est suggérée pour affiner les prédictions et améliorer la gestion des risques financiers.

Mots clés : Modèles de chaînes de Markov, crises financières, PIB, apprentissage automatique

JEL Classification : E6, B4

Type du papier : Recherche empirique

Abstract:

This article presents an innovative method for forecasting financial crises in Morocco, covering the period from 1980 to 2023 through the use of Markov chain models. The analysis focuses on the quarterly evolution of Moroccan GDP, identifying phases of economic slowdown and recovery. The results demonstrate the resilience of the Moroccan economy to various economic disturbances while maintaining generally stable growth. To improve the accuracy of these models, it is proposed to integrate additional economic and political data. The article recommends the adoption of flexible economic policies that allow for a quick response to economic fluctuations and regular monitoring of economic indicators to anticipate and effectively manage future crises. Finally, the use of machine learning techniques is suggested to refine predictions and enhance financial risk management.

Keywords: Markov chain models, Financial crises, GDP, Machine learning

Classification JEL: E6, B4

Paper type: Empirical Research

1. Introduction

La prédiction des crises financières est une discipline essentielle dans les études d'économie et de finance, attirant l'attention des chercheurs, des décideurs et des investisseurs du monde entier. Depuis la crise financière mondiale de 2007-2008, l'importance de comprendre et de prévoir les événements monétaires déstabilisants est devenue plus évidente.

La littérature sur la prédiction des crises financières est riche et variée. Reinhart et Rogoff (2009) ont examiné les crises financières historiques, soulignant les modèles habituels et les signes avant-coureurs de danger. Ils ont mis en évidence l'importance des dettes et des déséquilibres macroéconomiques comme précurseurs des crises financières.

D'un point de vue plus technique, Schularick et Taylor (2012) ont analysé les cycles de crédit et leur corrélation avec les crises financières, utilisant des données historiques substantielles. Leur étude a permis de mettre en lumière les mécanismes sous-jacents aux crises financières et l'impact des politiques économiques.

Récemment, l'émergence de l'analyse de grandes données et des méthodes d'apprentissage automatique a ouvert de nouvelles perspectives pour la prédiction des crises financières. Les chercheurs, utilisant des techniques avancées telles que les réseaux de neurones et l'apprentissage profond, cherchent à identifier les signaux d'alerte des crises imminentes. Ces approches promettent des analyses plus détaillées et des prévisions plus précises des événements financiers.

Cependant, malgré ces progrès, prédire les crises financières reste un défi considérable. La complexité des systèmes financiers, l'interaction de multiples facteurs économiques et politiques, et l'imprévisibilité du comportement humain compliquent la précision des prévisions.

En outre, le développement des modèles prédictifs efficaces pour les crises financières est un domaine important de recherche en économétrie et en finance quantitative. La volatilité et l'incertitude des marchés financiers rendent cette tâche particulièrement complexe. Parmi les méthodes adoptées, les modèles de régression par chaînes de Markov se distinguent pour leur capacité à capturer la dynamique et les transitions d'état dans les séries temporelles financières. Ces modèles, basés sur les travaux de Markov, ont été adaptés pour répondre aux spécificités des marchés financiers. Hamilton (1989) a établi les fondements de l'utilisation des modèles de Markov en économétrie. Plus récemment, Kritzman et al. (2012) ont exploré ces modèles pour évaluer le risque systémique, un aspect important dans la prédiction des crises financières.

Ces modèles visent à identifier des motifs cachés dans les données financières, facilitant ainsi la compréhension et la prévision des fluctuations du marché. Cette approche est de plus en plus importante alors que les marchés financiers mondiaux sont interconnectés et influencés par de nombreux facteurs économiques, politiques et sociaux.

Dans ce contexte, l'analyse et la prédiction des crises financières sont essentielles pour toutes les économies, y compris les pays en développement comme le Maroc. La nécessité de modèles prédictifs fiables et robustes est particulièrement pressante dans ces économies, où les conséquences d'une crise financière peuvent être graves. Parmi les différentes approches méthodologiques, l'application des modèles de régression par chaînes de Markov est prometteuse pour déchiffrer la complexité des marchés financiers et anticiper les perturbations potentielles.

Bien que l'approche par chaînes de Markov ait été étudiée dans divers contextes internationaux, elle est moins explorée dans le contexte spécifique du Maroc. Les travaux de Hamilton (1989) fournissent un cadre théorique applicable mondialement. Ces modèles sont particulièrement pertinents pour analyser les marchés en développement, où les fluctuations économiques peuvent être plus prononcées. Dans le contexte marocain, l'économie nationale a subi des transformations significatives, avec des réformes visant à libéraliser et moderniser le secteur

financier. Ce développement suggère un potentiel significatif pour l'application de modèles économétriques avancés, tels que les modèles de chaînes de Markov, pour mieux comprendre et prédire la dynamique financière du pays.

Par conséquent, l'objectif de cet article est d'examiner l'efficacité des modèles de régression par chaînes de Markov dans la prédiction des crises financières au Maroc. Nous cherchons à déterminer si ces modèles peuvent efficacement identifier les signaux d'alerte précoces et les tendances cachées dans les données financières, ce qui permet une gestion plus proactive des risques financiers.

De plus, cet article vise à fournir une analyse complète de l'applicabilité des modèles de régression par chaînes de Markov pour la prédiction des crises financières, avec un focus particulier sur la situation financière du Maroc. Nous cherchons à examiner l'efficacité de ces modèles pour détecter les signes avant-coureurs d'une faillite.

Sur le plan épistémologique, cet article adopte une posture positiviste qui privilégie une démarche scientifique basée sur des faits observables, mesurables et quantifiables. Le positivisme repose sur l'idée que les phénomènes économiques, bien qu'influencés par des facteurs complexes, peuvent être analysés objectivement grâce à des modèles mathématiques et statistiques rigoureux. Ce choix épistémologique se justifie par la nécessité de développer des modèles capables d'identifier des relations causales entre variables économiques et d'offrir des prédictions fiables et généralisables.

D'autre part, le raisonnement déductif constitue la méthode centrale de cette étude. À partir d'un cadre théorique préétabli et de modèles économétriques validés, comme les chaînes de Markov, nous testons empiriquement leur applicabilité pour la prédiction des crises financières au Maroc. Ce raisonnement permet de partir de principes généraux, tels que la capacité des modèles Markoviens à capturer les transitions entre états économiques, pour formuler des hypothèses spécifiques sur le comportement du marché financier marocain.

Notre article sera structuré autour de cinq sections. Elle commence par une revue de la littérature, présente la méthodologie et les variables utilisées, et conclut avec une analyse des résultats.

2. Revue de la littérature théorique

Cette section est consacrée à l'examen des travaux de recherche et des contributions théoriques liés à la prédiction des crises financières dans plusieurs pays, y compris le Maroc, en utilisant des modèles de chaînes de Markov. Dans ce contexte, nous abordons les fondamentaux de la prédiction des crises financières et l'examen des travaux de Markov et de leur évolution subséquente, ce qui permet une analyse plus raffinée des marchés financiers grâce aux modèles de régression par chaînes de Markov. Elle met également en lumière des recherches qui ont spécifiquement analysé le système financier marocain, son instabilité et sa sensibilité aux chocs économiques internes et externes.

En complément, les grandes théories économiques, telles que la théorie du marché de Smith (1776) prône l'autorégulation des marchés via la "main invisible", et la théorie de la crise de Minsky (1986), qui met en avant l'instabilité financière endogène, n'ont pas été explicitement abordées dans le cadre de cette étude. Ces théories offrent pourtant des perspectives fondamentales pour analyser les dynamiques économiques, en particulier dans des contextes caractérisés par des transitions fréquentes entre stabilité et instabilité.

Dans cette perspective, Tölö (2020) a exploré comment prévoir les crises financières systémiques jusqu'à cinq ans à l'avance en utilisant des réseaux neuronaux récurrents. L'étude a utilisé la base de données Jorda-Schularick-Taylor, qui contient des données sur les crises financières et des données économiques annuelles de dix-sept pays de 1870 à 2016. Il a été constaté que les réseaux neuronaux simples sont plus efficaces que la régression logistique traditionnelle pour prévoir ces crises. L'étude a montré que l'utilisation de réseaux neuronaux

avec des fonctionnalités de mémoire et de contrôle améliorées conduit à de meilleures prédictions. Ces modèles fonctionnent mieux, car ils peuvent analyser les données de séries temporelles plus efficacement. Les résultats sont restés cohérents même après une analyse supplémentaire approfondie.

Zhang et al. (2019) ont étudié comment prévoir les tendances des prix sur les marchés financiers, un sujet important exploré avec des méthodes économiques et d'apprentissage automatique. Ils ont observé que les modèles de Markov cachés sont particulièrement utiles pour anticiper les développements du marché boursier en raison des problèmes liés au temps et à la volatilité. Ils proposent une méthode basée sur un modèle de Markov caché plus complexe qui prend en compte les liens temporels courts et longs. Pour simplifier ce modèle complexe, ils ont utilisé une technique de réduction de dimensionnalité, qui a conduit à une stratégie de trading dynamique pour les indices boursiers chinois CSI 300 et américain S&P 500, en utilisant des données historiques. Leur méthode relie les états du modèle caché aux tendances des prix, en s'appuyant sur les rendements quotidiens historiques. Leur étude montre que ce modèle de Markov caché plus avancé est meilleur pour identifier les tendances du marché que le modèle plus simple. Ainsi, ce modèle avancé est plus précis et moins risqué pour prévoir les tendances des prix des indices.

Jemović et Marinković (2021) ont étudié les crises financières, en se concentrant sur celles liées aux banques. Ils ont analysé soixante-quatre saisies de 1977 à 2013, en utilisant la régression logistique. Leur modèle d'alerte précoce dynamique a mieux performé que le modèle statique. Ils ont identifié des facteurs clés comme l'assurance-dépôts, les réserves internationales et le ratio de M2 à ces réserves, qui aident à prévoir ces crises. Cette étude aide à mieux comprendre les signaux d'alerte des crises financières liées aux banques.

Caldara et al. (2021) ont étudié comment les conditions financières et économiques influencent les risques économiques. Ils ont découvert que les problèmes financiers et économiques augmentent le risque de fortes baisses économiques l'année suivante. Leur étude a développé une méthode pour mesurer ces conditions en temps réel aux États-Unis et a utilisé ces mesures pour prévoir la croissance économique future sur douze mois. Ils ont observé que des moments difficiles, comme la crise financière mondiale et la pandémie de COVID-19, sont souvent suivis d'une faible croissance, d'incertitudes et de risques accrus. Cette méthode est utile pour évaluer les risques de problèmes économiques majeurs, tels que les récessions, et pour faire des prévisions plus précises.

Soltani et Abbes (2023) ont étudié comment le stress financier affecte la performance des marchés financiers au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (MENA) de 2007 à 2021. Ils ont découvert que le stress financier est particulièrement prédictif lorsque les marchés sont à la baisse. Ils ont ensuite utilisé un modèle de Markov caché pour analyser comment le stress financier se rapporte aux tendances du marché boursier dans cette région. Leur recherche a montré que dans la plupart des marchés du MENA, les périodes de croissance économique durent longtemps, sauf à Bahreïn, au Qatar et en Jordanie. En revanche, à Bahreïn, aux Émirats arabes unis et en Égypte, les marchés sont peu susceptibles de passer de la croissance économique à la stabilité. De plus, leur étude indique que les périodes de marchés en baisse ou stables sont intéressantes pour les investissements, selon les rendements moyens estimés pour chaque situation économique.

Houngbédji et Bassongui (2023) ont examiné comment la politique monétaire dans l'Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine répond à l'instabilité financière. Ils ont utilisé des données de 1970 à 2019 et un modèle spécial pour comprendre ces réactions. Leur recherche a montré que la banque centrale alterne entre deux modes principaux : une période normale et une période de crise financière. Ils ont découvert que la période normale est plus courante et dure plus longtemps que les périodes de crise. De plus, l'étude a trouvé que la banque centrale

augmente souvent son taux d'intérêt pour répondre à l'augmentation de l'instabilité financière, surtout lorsque cette instabilité atteint un niveau critique.

Les études discutées abordent certaines limites de manière implicite, telles que la complexité accrue des réseaux neuronaux (Tölö, 2020) ou la nécessité de simplifications dans les modèles de Markov (Zhang et al., 2019). Les approches dynamiques proposées pourraient être enrichies par des outils modernes pour mieux capturer les signaux d'alerte (Jemović et Marinković, 2021). De plus, certaines études sont limitées par leur contexte géographique ou temporel, comme celles de Caldara et al. (2021) et Soltani et Abbes (2023). Ces observations soulignent l'importance de développer des modèles plus généralisables et adaptés aux contextes variés. Une critique plus systématique renforcerait encore la pertinence du cadrage théorique.

En conclusion, les théories présentées dans le cadrage théorique sont solidement définies et étayées par des contributions scientifiques variées et approfondies. Elles mettent en évidence l'importance des modèles avancés, tels que les chaînes de Markov et les réseaux neuronaux, pour la prédiction des crises financières et l'analyse des marchés. Les études abordent des contextes globaux et régionaux, soulignant la pertinence des approches dynamiques et probabilistes. Ces apports permettent une compréhension fine des transitions économiques et des signaux d'alerte, offrant une base théorique robuste. Ce cadrage fournit ainsi un fondement essentiel pour l'application des méthodes de prévision dans divers contextes économiques.

En conclusion de cette revue de la littérature, plusieurs lacunes théoriques et méthodologiques ont été identifiées, orientant la formulation des hypothèses de recherche. Bien que les modèles de chaînes de Markov et leurs extensions aient démontré leur efficacité pour prévoir les transitions économiques et les crises financières, leur application spécifique au contexte marocain reste peu explorée. Nous postulons ainsi, premièrement, que l'utilisation des modèles de chaînes de Markov permet de capturer avec précision les transitions entre régimes économiques au Maroc, en s'appuyant sur des indicateurs clés tels que le taux de croissance trimestriel du PIB, l'inflation et l'écart de production. Deuxièmement, il est hypothétisé que l'intégration de techniques d'apprentissage automatique aux modèles existants améliorera la précision des prévisions grâce à une meilleure exploitation des dynamiques complexes des données économiques marocaines. Enfin, une hypothèse clé est que les transitions entre régimes économiques sont principalement influencées par des facteurs internes, comme la dynamique cyclique et les interactions entre variables, plutôt que par des perturbations externes.

3. Méthodologie et variables utilisées

Dans cette section consacrée à la prévision des crises financières au Maroc, nous utilisons des modèles évolutifs avancés pour analyser l'économie et les marchés financiers marocains. La méthode principale employée est celle des régressions à changement de régime, une approche majeure en économie depuis les années 1950. Ces modèles se distinguent par leur capacité à suivre les évolutions des conditions économiques grâce à un mécanisme basé sur les chaînes de Markov.

Notre travail s'appuie sur les avancées de Hamilton (1989), qui a perfectionné ces modèles, notamment pour les données influencées par des événements passés. Cela a ouvert la voie à de nombreuses recherches nouvelles dans ce domaine.

L'originalité de notre étude réside dans l'examen des changements de régime internes au système économique, par opposition aux perturbations externes. Pour cela, nous adoptons une approche mathématique rigoureuse avec un modèle gaussien spécifié en probit afin d'analyser ces transitions de manière plus précise. Cette approche est particulièrement adaptée à l'économie marocaine, où les conditions économiques et les cycles d'affaires sont étroitement interconnectés. Nous nous intéressons à l'impact potentiel de ces facteurs internes sur nos prévisions économiques.

Pour valider la robustesse de notre méthode, nous avons effectué des expériences de Monte Carlo. Ces simulations démontrent l'efficacité de notre estimation des paramètres, même dans des conditions imparfaites. De plus, nos tests confirment la fiabilité de notre démarche pour détecter les changements de régime internes.

Dans ce cadre, nous utilisons un modèle à deux régimes qui détermine de manière interne les changements de régime. Envisageons un processus stochastique modélisant une séquence de données, $\{y_t\}_{t=1}^T$, décrit par un processus gaussien avec des changements d'état potentiels :

$$y_t = x_t^\top \beta_{S_t} + \sigma_{S_t} \eta_t, \eta_t \sim \mathcal{N}(0,1) \quad (1)$$

Où y_t représente une variable scalaire, x_t est un vecteur ($k \times 1$) des variables observées exogènes ou prédéterminées, et S_t désigne l'état du régime. Le modèle permet N régimes distincts, facilitant l'analyse économique avec des structures complexes. Les probabilités de transition entre les régimes suivent un processus de Markov stationnaire :

$$\Pi(S_t = i \mid S_{t-1} = j, \zeta_t) = \pi_{ij}(\zeta_t) \quad (2)$$

Où ζ_t est un vecteur exogène influençant la transition. Cette modélisation permet une représentation dynamique des conditions économiques.

De plus, le principal indicateur retenu pour cette analyse est le **taux de croissance trimestriel du PIB**, choisi pour sa capacité à refléter les dynamiques économiques à court terme et à capturer les variations saisonnières ainsi que les réactions immédiates aux événements économiques et politiques. Les modèles de Markov permettent d'identifier les transitions entre périodes de **croissance stable** et phases de **ralentissement ou récession**, offrant ainsi un cadre robuste pour anticiper les fluctuations économiques.

Afin de renforcer la pertinence de cette étude, plusieurs variables économiques ont été utilisées pour analyser les relations entre **inflation**, **écart de production**, **taux d'intérêt**, et le PIB. Le tableau suivant résume ces variables, leurs définitions, leurs périodes de collecte, et leurs sources :

Tableau 1:Tableau des variables utilisées

Variables	Définition	Période	Sources
Taux de croissance du PIB	Variation trimestrielle du produit intérieur brut en pourcentage (%)	1980 - 2023 (trimestriel)	Haut-Commissariat au Plan (HCP)
Taux d'inflation	Variation annuelle en pourcentage de l'indice des prix à la consommation (IPC)	1980 - 2023 (trimestriel)	Banque centrale marocaine (BAM)
Écart de production	Différence entre le PIB réel et le PIB potentiel (en % du PIB potentiel)	1980 - 2023 (trimestriel)	Calculé à partir des données du HCP
Taux d'intérêt réel	Taux d'intérêt nominal ajusté pour l'inflation	1980 - 2023 (trimestriel)	Banque centrale marocaine (BAM)
Probabilités de transition	Probabilité de passer d'un état économique à un autre dans un modèle de Markov	1980 - 2023 (trimestriel)	Modélisation économétrique interne
Sigma (volatilité)	Écart-type des résidus pour mesurer la volatilité dans chaque régime	1980 - 2023 (trimestriel)	Estimation via modèles Markov

Source : élaboré par l'auteur

Le tableau présenté ci-dessus met en lumière les principales variables utilisées dans cette étude, leurs définitions, leurs périodes de collecte et leurs sources. Ces variables jouent un rôle clé dans la modélisation des régimes économiques et dans l'analyse des transitions entre ces régimes. En particulier, le taux de croissance trimestriel du PIB est retenu comme indicateur principal, car il reflète avec précision les dynamiques économiques à court terme. Ce choix s'explique par sa capacité à capturer à la fois les variations saisonnières et les réactions immédiates aux événements économiques et politiques.

L'analyse repose également sur d'autres variables essentielles, telles que le taux d'inflation, qui mesure la variation annuelle de l'indice des prix à la consommation, et l'écart de production, une mesure critique de la différence entre le PIB réel et le PIB potentiel. Ces deux variables offrent une perspective complémentaire pour mieux comprendre les déséquilibres

macroéconomiques et leurs effets sur les transitions de régime. En outre, le taux d'intérêt réel, qui ajuste le taux nominal pour tenir compte de l'inflation, est intégré pour capturer l'effet des politiques monétaires sur l'économie marocaine.

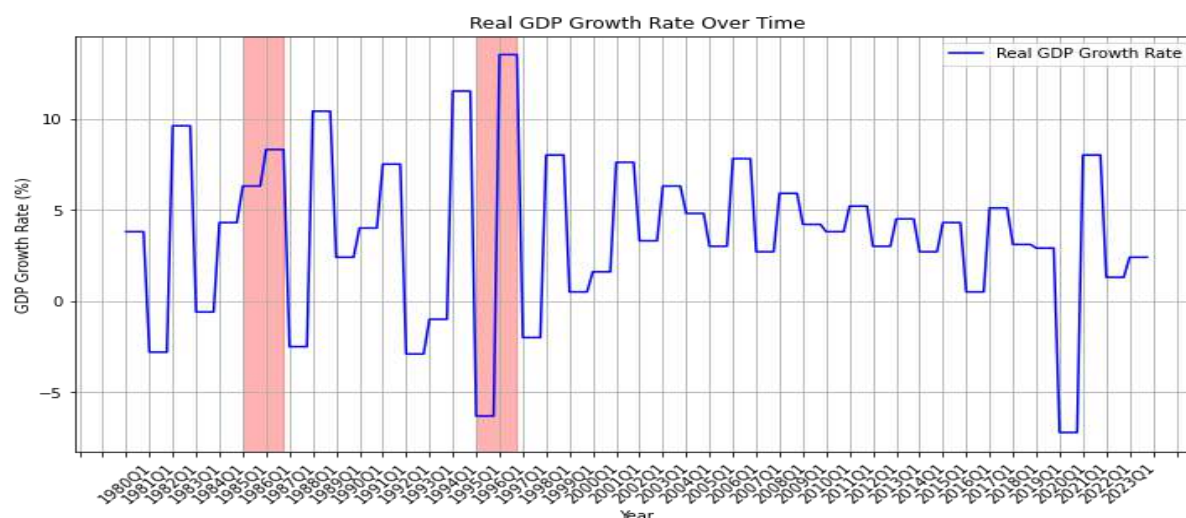
Un aspect fondamental de cette modélisation réside dans l'utilisation des probabilités de transition, qui permettent de représenter la dynamique des régimes économiques à travers un processus de Markov. Ces probabilités sont influencées par des vecteurs exogènes, ce qui enrichit l'analyse en incorporant des éléments contextuels dans l'évolution des régimes. Par ailleurs, la mesure de la volatilité, représentée par l'écart-type des résidus pour chaque régime, renforce la compréhension des incertitudes inhérentes aux conditions économiques.

4. Présentation des résultats

L'étude des crises financières au Maroc entre 1980 et 2023 à travers l'application des modèles à chaînes de Markov se concentre spécifiquement sur l'analyse du taux de croissance trimestriel du PIB. Ce choix repose sur la pertinence du PIB en tant qu'indicateur global de la santé économique d'un pays. Les fluctuations trimestrielles du taux de croissance du PIB présentant des instantanés précis de la dynamique économique à court terme, permettant de capturer les variations saisonnières ainsi que les réactions immédiates aux événements économiques et politiques. En segmentant les données sur une base trimestrielle, notre étude vise à détecter avec plus de précision les signes avant-coureurs d'une crise financière et les transitions potentielles entre les périodes de stabilité économique et les phases de ralentissement ou de récession. Les modèles à chaînes de Markov, grâce à leur capacité à modéliser les changements de régime et à estimer les probabilités de transition entre ces régimes, présentant un cadre robuste pour comprendre et anticiper les mouvements potentiels de l'économie marocaine, allant des périodes de croissance soutenue aux phases de crise économique.

Dans ce cadre, le graphique ci-dessous représente l'évolution du taux de croissance réel du PIB au Maroc et inclut des marquages en rouge pour les périodes potentielles de crise financière. On observe une fluctuation notable du taux de croissance, ce qui souligne la réactivité de l'économie face à divers chocs et cycles économiques. Les barres rouges indiquent des périodes où l'économie a pu connaître des ralentissements ou des récessions, ce qui est confirmé par des baisses du taux de croissance. Les creux marqués sur le graphique coïncident avec des déclin effectifs du PIB, tandis qu'une remontée suivant ces creux peut suggérer une reprise économique.

Figure 1: l'évolution du taux de croissance réel du PIB au Maroc

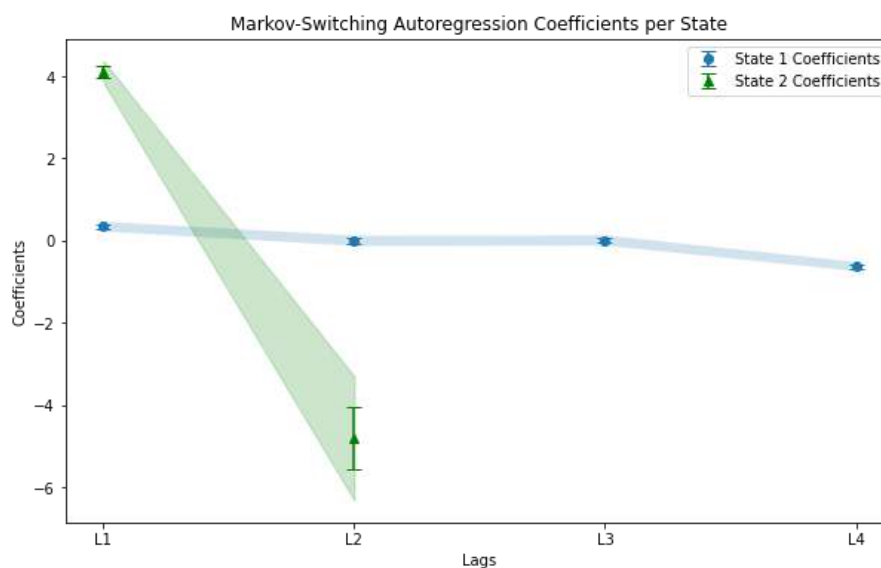


Source : élaboré par l'auteur

Les impacts immédiats des crises sur l'économie sont visibles à travers ces chutes soudaines de la croissance, révélant les conséquences des périodes difficiles sur l'activité économique. À plus long terme, le graphique suggère une tendance générale de l'économie marocaine : une croissance soutenue témoignerait d'une économie en expansion, tandis qu'une stagnation pourrait indiquer des problèmes structurels. Les réponses politiques aux crises, telles que les mesures de relance ou les ajustements monétaires, sont essentielles pour comprendre la reprise post-crise. Ces réponses peuvent être évaluées en fonction de la vitesse et de la force de la reprise économique. Enfin, il est important de prendre en compte le contexte économique international, y compris les événements mondiaux qui ont pu influencer l'économie marocaine. De plus, le graphique ci-dessous montre les coefficients autorégressifs pour deux régimes économiques distincts dans un modèle de régression à changement de régime de Markov appliqué au taux de croissance du PIB au Maroc. Ce modèle distingue entre une croissance économique normale (État 1) et une période de faible croissance ou de récession (État 2). Les coefficients autorégressifs indiquent l'effet du PIB passé sur le PIB actuel, avec un effet positif marqué dans le premier état et un effet négatif prononcé dans le second, suggérant des périodes de ralentissement économique ou de récession.

Les indicateurs statistiques montrent que le modèle s'ajuste bien aux données et que l'économie a une forte tendance à rester dans un état de croissance stable. Ce modèle permet de mieux comprendre la réaction de l'économie marocaine aux crises financières et présente des informations utiles pour élaborer des politiques visant à stabiliser l'économie et à favoriser la croissance. En fin de compte, il constitue un cadre pour anticiper les récessions et planifier des réponses adaptées, fournissant ainsi des informations précieuses sur les régimes de croissance du PIB au Maroc.

Figure 2: Coefficients autorégressifs à changement de régime de Markov par état



Source : élaboré par l'auteur

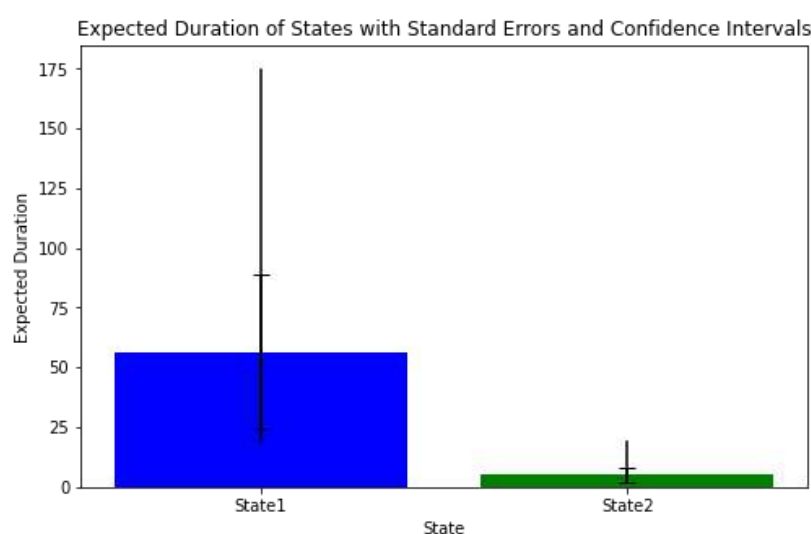
De plus, le graphique ci-dessous illustre la durée attendue de deux états économiques dans un modèle de Markov appliqué au taux de croissance du PIB du Maroc, afin de capturer la durée des phases de croissance et de récession.

L'État 1, qui représente probablement une croissance économique stable, a une durée attendue d'environ 56 périodes, mais avec une incertitude élevée, comme le montrent l'erreur standard élevée et un intervalle de confiance allant de 19 à 175 périodes. Cela signifie que cette phase de croissance économique, une fois commencée, pourrait être de courte durée ou considérablement prolongée.

L'État 2, qui correspond vraisemblablement à une période de ralentissement économique ou de récession, est beaucoup plus court, avec une durée attendue d'environ 5 périodes et un intervalle de confiance plus serré compris entre 2 et 19 périodes, ce qui suggère une reprise rapide de l'économie après un ralentissement.

Si l'État 1 symbolise une croissance économique stable, cela indique que l'économie marocaine, lorsqu'elle est en phase de croissance, pourrait y rester pendant une période prolongée. Toutefois, la variation de la durée réelle peut être significative. En revanche, une période de récession (État 2) semble plus brève, indiquant une tendance à une reprise rapide. Cependant, l'incertitude concernant la durée de chaque état souligne que des facteurs imprévus peuvent modifier ces dynamiques. La durée attendue des états économiques met en évidence combien de temps le Maroc reste généralement dans une condition économique donnée et souligne l'importance d'adopter des politiques économiques flexibles pour répondre efficacement aux changements économiques.

Figure 3:Durée attendue des états avec erreurs standard et intervalles de confiance



Source : élaboré par l'auteur

Figure 4:Analyse de régression dynamique à changement de régime de Markov



Source : élaboré par l'auteur

Le graphique ci-dessus présente les coefficients constants et les valeurs de sigma pour deux états d'un modèle de Markov appliqué au taux de croissance du PIB marocain. Pour l'État 1, le coefficient est négatif, ce qui suggère une récession ou un ralentissement économique, tandis que pour l'État 2, le coefficient est positif, indiquant une croissance économique robuste. Les

valeurs de sigma reflètent la volatilité, avec des fluctuations plus marquées observées dans l'état de croissance économique.

La probabilité de rester dans l'état de ralentissement est élevée, ce qui indique une persistance dans ce régime, tandis que la transition vers une récession après une phase de croissance est peu probable.

Ces constantes traduisent les cycles économiques habituels, avec des périodes de récession suivies de reprises et de croissance. Une volatilité plus élevée pendant la croissance pourrait être liée à divers facteurs tels que les réactions du marché et les interventions politiques. Les probabilités de transition suggèrent que l'économie a tendance à demeurer dans un état donné pendant des périodes considérables, ce qui est fondamental pour les décideurs politiques dans la planification des politiques économiques.

De plus, nous avons estimé les taux d'intérêt en utilisant une spécification dynamique qui prend en compte les changements d'états de l'économie, modélisés par un modèle de Markov. Plus précisément, nous avons utilisé la spécification suivante pour le taux d'intérêt :

$$\text{taux_int}_t = \alpha_{s_t} + \beta \cdot \text{taux_int}_{t-1} + \delta_{s_t} \cdot \text{taux_infl}_t + \theta_{s_t} \cdot \text{écart_prod}_t + \nu_t \quad (3)$$

Où :

- taux_int_t : représente le taux d'intérêt réel ;
- taux_infl_t : est le taux d'inflation ;
- écart_prod_t : est l'écart de production réel ;
- ν_t : est le terme d'erreur, suivant une distribution normale réduite centrée ;
- β : est un coefficient fixe ;
- $\alpha_{s_t}, \delta_{s_t}$, et θ_{s_t} : sont des coefficients dépendants de l'état cyclique de l'économie s_t .

Notre objectif était d'examiner la réponse des taux d'intérêt aux variations de l'inflation et aux écarts de production, dans le contexte des réformes économiques marocaines. Nous avons également effectué des prévisions hors modèle pour la période allant du premier trimestre 1980 au quatrième trimestre 2023 afin de tester la robustesse de notre modèle face à des conditions économiques non observées durant la période d'estimation.

Le tableau ci-dessous illustre les résultats d'une régression dynamique appliquée aux taux d'intérêt au Maroc, en prenant en compte l'inflation et l'écart de production comme variables explicatives. Dans le premier état, il existe une forte corrélation entre les taux d'intérêt courants et leurs valeurs passées. L'inflation et l'écart de production ont des effets positifs mais non significatifs sur les taux d'intérêt, ce qui pourrait indiquer que d'autres facteurs influencent ces taux dans cet état.

En revanche, dans un second état, potentiellement plus turbulent, l'inflation et l'écart de production ont des impacts significatifs et opposés sur les taux d'intérêt, ce qui traduit une sensibilité accrue des taux à ces variables durant les périodes de crise ou de transition économique.

La probabilité de rester dans le premier état est élevée, ce qui suggère une certaine stabilité. En revanche, la probabilité de transitionner vers le premier état depuis le second est fixée à 1, ce qui semble irréaliste et pourrait indiquer une anomalie dans le modèle ou dans les données.

Ces résultats impliquent que l'économie marocaine peut alterner entre des phases de stabilité et des périodes de sensibilité accrue aux fluctuations de l'inflation et de l'écart de production. Enfin, la fiabilité des prévisions dépend fortement de la capacité à identifier et prédire ces transitions d'état.

En plus, le coefficient du taux d'intérêt retardé est particulièrement élevé (0.9931) et significatif, indiquant une forte inertie des taux d'intérêt. Cette forte autocorrélation souligne que les taux d'intérêt actuels au Maroc dépendent presque entièrement des valeurs passées, ce qui traduit une stabilité des politiques monétaires. Cette inertie est probablement motivée par

un souci de préserver la stabilité financière et d'éviter des ajustements brusques qui pourraient perturber l'économie.

Tableau 2: Résultats de la régression dynamique à changement de régime de Markov

Variables	Coefficient	Erreur Std.	z	P>z	Intervalle de confiance (95%)
Taux d'intérêt (L1)	0.9931541	0.0065118	152.52	0.000	0.9803913 - 1.005917
État 1					
Inflation	0.0057934	0.0047123	1.23	0.219	-0.0034425 - 0.0150293
Écart de production	0.0043404	0.0030958	1.40	0.161	-0.0017273 - 0.0104081
Constante	-0.0180423	0.0296614	-0.61	0.543	-0.0761776 - 0.040093
État 2					
Inflation	0.2863023	0.0214605	13.34	0.000	0.2442405 - 0.3283642
Écart de production	-0.2667902	0.0341364	-7.82	0.000	-0.3336964 - -0.1998841
Constante	-0.2442122	0.1598703	-1.53	0.127	-0.5575522 - 0.0691277
Sigma	0.1677555	0.0090227			0.1509716 - 0.1864054
p11 (Probabilité état 1)	0.9645737	0.0157108			0.917064 - 0.9853037
p21 (Transition état 2)	1.0000000	0.0000276			0.0000000 - 0.0000276

Source : élaboré par l'auteur

Dans le premier état, correspondant à une situation de stabilité, l'effet de l'inflation est positif mais faible (0.0058) et non significatif, ce qui suggère que l'inflation n'a qu'une influence limitée sur les taux d'intérêt lorsque l'économie est en croissance. Cela pourrait indiquer que l'inflation reste globalement maîtrisée grâce aux politiques monétaires prudentes mises en œuvre par la Banque centrale marocaine. De manière similaire, l'effet de l'écart de production est positif mais également non significatif, traduisant une faible sensibilité des taux d'intérêt aux variations économiques mineures dans ce régime. Cette stabilité relative peut être attribuée à la résilience des secteurs économiques clés, comme l'agriculture et le tourisme, qui soutiennent l'économie marocaine même en cas de légers ralentissements.

En revanche, dans le second état, qui correspond à une période de crise ou de ralentissement économique, l'inflation joue un rôle beaucoup plus marqué. Le coefficient devient nettement positif (0.2863) et significatif, ce qui révèle une forte pression inflationniste sur les taux d'intérêt en période de turbulence. Cela reflète probablement une réponse monétaire rigoureuse visant à contenir les déséquilibres économiques et les risques de dévaluation de la monnaie. À l'inverse, l'effet de l'écart de production devient négatif et significatif (-0.2668), ce qui indique qu'une détérioration de l'activité économique entraîne une réduction des taux d'intérêt, vraisemblablement pour stimuler l'économie dans un contexte de récession. Cette relation illustre la fragilité de l'économie marocaine en période de ralentissement, où une contraction de la production exerce une pression immédiate sur les politiques monétaires.

La constante dans les deux états montre une tendance générale négative, bien qu'elle ne soit pas significative, ce qui suggère que les périodes de ralentissement, bien que courtes, peuvent marquer l'économie marocaine. Par ailleurs, la valeur de sigma, qui mesure la volatilité, est relativement faible (0.1677), même en période de crise, ce qui témoigne d'une gestion proactive visant à réduire les fluctuations excessives des taux d'intérêt. Toutefois, cette faible volatilité pourrait masquer des pressions structurelles qui ne sont pas directement observées par le modèle.

Les probabilités de transition entre les deux états apportent des éclairages importants sur la dynamique économique. La probabilité de rester en État 1 est très élevée (0.9646), ce qui témoigne de la résilience de l'économie marocaine et de sa capacité à maintenir une phase de stabilité. À l'inverse, la probabilité de transition vers l'État 2, fixée à 1, semble irréaliste et pourrait indiquer une anomalie dans le modèle ou les données disponibles. Néanmoins, cette observation peut également refléter le fait que, lorsqu'une crise débute, elle est difficile à éviter sans des interventions rapides et ciblées.

Ainsi, ces résultats mettent en lumière une économie marocaine caractérisée par une forte stabilité structurelle, mais également vulnérable aux pressions inflationnistes et aux chocs économiques externes lors des périodes de crise. L'interprétation des deux états montre la nécessité d'adopter des politiques monétaires flexibles et réactives pour stimuler l'économie en cas de récession, tout en contenant l'inflation pour éviter des déséquilibres durables. Par ailleurs, le renforcement de la diversification économique apparaît comme un impératif pour réduire la dépendance aux secteurs traditionnels comme l'agriculture, souvent exposée aux aléas climatiques. En complément, un suivi régulier des indicateurs économiques clés, notamment l'inflation, l'écart de production et les taux d'intérêt, permettrait de mieux anticiper les crises financières et d'agir de manière préventive. En intégrant ces recommandations, le Maroc pourrait renforcer sa résilience économique et assurer une croissance plus durable et inclusive face aux défis économiques et financiers à venir.

Avant de conclure, les modèles de chaînes de Markov utilisés dans cette étude se distinguent par leur capacité à identifier des transitions économiques à partir de relations historiques entre variables clés telles que le PIB, l'inflation, et l'écart de production. Cette méthode, en segmentant les données économiques en régimes distincts, permet de capter des dynamiques cachées et d'offrir un cadre robuste pour analyser les fluctuations économiques à court terme.

Un premier élément critique concerne l'absence de tests hors-échantillon et de comparaisons avec d'autres modèles prédictifs, comme les réseaux neuronaux ou les modèles bayésiens. Ces outils, largement utilisés dans les prévisions économiques modernes, peuvent compléter les modèles de Markov en capturant des dynamiques non linéaires et des relations complexes qui échappent aux modèles traditionnels. Par exemple, les réseaux neuronaux récurrents ont démontré leur efficacité pour prédire les crises financières systémiques grâce à leur capacité à analyser des séries temporelles de manière plus flexible. Cette comparaison aurait permis de mieux situer l'apport spécifique des modèles de Markov dans le paysage méthodologique actuel.

Une autre limite réside dans l'incertitude liée aux durées attendues des états économiques. Les résultats, indiquant des variations importantes pour l'État 1 (entre 19 et 175 trimestres), traduisent une sensibilité accrue aux hypothèses du modèle. Cette incertitude complique l'interprétation pour les décideurs politiques, qui ont besoin de prévisions fiables pour planifier des politiques économiques. Une approche consistant à intégrer des scénarios alternatifs et des analyses de sensibilité pourrait réduire cette variabilité et offrir des perspectives plus exploitables.

De plus, l'utilisation de données historiques couvrant une période longue (1980-2023) soulève des questions sur la pertinence des relations modélisées dans un contexte d'évolution structurelle. L'économie marocaine a connu des transformations majeures, notamment la libéralisation des marchés et l'intégration croissante au commerce mondial. Ces changements remettent en question la stabilité des relations historiques utilisées par le modèle. Une segmentation des données en fonction des phases clés de l'évolution économique permettrait de mieux refléter ces dynamiques spécifiques.

En outre, l'absence d'une analyse sectorielle approfondie limite l'utilité pratique des résultats. Des secteurs clés comme l'agriculture et le tourisme, qui représentent une part importante de l'économie marocaine, ne sont pas directement intégrés dans l'analyse. Par exemple, la pandémie de COVID-19 a illustré la vulnérabilité du secteur touristique face aux crises globales, entraînant des effets en cascade sur l'emploi et les recettes fiscales. Une modélisation sectorielle fournirait des indications précieuses pour orienter des politiques adaptées aux besoins spécifiques de chaque secteur.

Enfin, les interactions régionales et mondiales, telles que les accords commerciaux avec l'Union européenne ou les fluctuations des prix des matières premières, ne sont pas suffisamment prises en compte. Ces dynamiques jouent un rôle central dans l'économie marocaine, influençant aussi

bien les investissements étrangers que la demande extérieure. L'inclusion de ces variables exogènes permettrait d'élargir la portée des prévisions et de mieux intégrer le Maroc dans un contexte globalisé.

Malgré ces limites, les résultats obtenus mettent en évidence des tendances clés, notamment la résilience structurelle de l'économie marocaine et sa capacité à se maintenir dans des états de croissance stable. Toutefois, pour accroître la pertinence pratique de cette recherche, des améliorations méthodologiques, telles que l'intégration de nouvelles variables, des comparaisons avec d'autres modèles et une analyse plus détaillée des impacts sectoriels, s'avèrent indispensables. Ces ajustements renforceront la robustesse des prédictions et offriront des recommandations plus ciblées aux décideurs économiques.

5. Conclusion

Cet article propose une perspective innovante pour la prévision des crises financières au Maroc en utilisant des modèles de régression à chaînes de Markov. Ces modèles ont permis d'identifier des schémas cachés dans les données financières, facilitant ainsi la compréhension et la prévision des fluctuations du marché. L'analyse du taux de croissance réel du PIB a révélé des périodes de ralentissement économique et de reprise, mettant en évidence la réactivité de l'économie marocaine face aux chocs économiques. Les coefficients autorégressifs dans différents régimes économiques indiquent une forte tendance à maintenir un état de croissance stable, tandis que la durée attendue des états économiques souligne la résilience et la flexibilité de l'économie face aux crises. La régression dynamique appliquée aux taux d'intérêt a montré une corrélation significative entre les taux courants et leurs valeurs passées, avec des impacts notables des variables telles que l'inflation et l'écart de production durant les périodes de transition économique.

Les modèles de chaînes de Markov, fondés sur des relations historiques, peuvent se révéler inadéquats dans des contextes de changements économiques rapides ou de chocs imprévus. Leur capacité prédictive est limitée lorsqu'ils ne tiennent pas compte des transformations structurelles ou des dynamiques non linéaires qu'un apprentissage automatique pourrait mieux modéliser.

Afin de renforcer la pertinence de ces résultats, il est essentiel d'incorporer des données économiques et politiques supplémentaires telles que le taux de chômage, la dette publique, ou encore les flux d'investissements étrangers. L'inclusion d'indicateurs politiques comme les changements de politiques budgétaires et monétaires permettrait également d'affiner les prédictions. En parallèle, la mise en place de politiques économiques adaptatives s'avère nécessaire pour réagir efficacement aux transitions identifiées par le modèle. Cela pourrait se traduire par des plans de relance ciblés, notamment pour soutenir des secteurs vulnérables tels que l'agriculture et le tourisme lors des phases de récession.

L'absence de variables exogènes clés, telles que la dette publique ou les chocs globaux, limite la capacité du modèle à refléter l'impact des facteurs externes et des interactions complexes, indispensables pour une prévision complète des crises financières dans un contexte international.

De plus, une surveillance régulière des indicateurs économiques doit être mise en place afin d'assurer un suivi en temps réel des principales variables économiques comme l'inflation, le PIB et l'écart de production. La création de tableaux de bord interactifs faciliterait la prise de décision par les autorités économiques et les investisseurs, tout en assurant une meilleure visibilité sur l'évolution des dynamiques économiques. Par ailleurs, pour améliorer la précision des prévisions, il est recommandé d'intégrer des techniques avancées telles que le machine learning ou l'intelligence artificielle. Cette combinaison de méthodes permettrait de capturer les facteurs externes imprévus qui ne sont pas toujours pris en compte par les modèles traditionnels.

Cependant, il convient de noter que les modèles de Markov, bien qu'efficaces, reposent fortement sur les tendances passées, ce qui peut s'avérer limiter dans un environnement économique en rapide évolution. L'économie étant influencée par une multitude de facteurs internes et externes, il est indispensable de compléter ces analyses par des études qualitatives et des expertises humaines afin de mieux anticiper les événements inattendus. Par ailleurs, la prise en compte des événements mondiaux tels que les crises géopolitiques ou les fluctuations des prix des matières premières contribuerait à ajuster les prévisions économiques et à renforcer leur fiabilité.

Pour conclure, pour anticiper les crises financières et stabiliser l'économie marocaine, il est impératif de combiner des approches quantitatives rigoureuses avec des analyses plus qualitatives et globales. La résilience économique du Maroc dépendra de sa capacité à mettre en œuvre des politiques économiques flexibles et réactives, tout en assurant un suivi permanent des indicateurs clés. Une telle approche permettra non seulement de mieux gérer les périodes de crise, mais aussi de promouvoir une croissance durable et soutenue dans le long terme.

Références

- (1). Benbouziane, M., & Benamar, A. (2010). Could GCC countries achieve an optimal currency area? *Middle East Development Journal*, 2(02), 203–227.
- (2). Boutazart, Y., Satori, H., Hamidi, M., & Satori, K. (2023). Covid-19 dataset clustering based on K-means and EM algorithms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(3).
- (3). Caldara, D., Cascaldi-Garcia, D., Cuba-Borda, P., & Loria, F. (2021). Understanding growth-at-risk: A Markov switching approach. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3992793>
- (4). Hamilton, J. D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica*, 57(2), 357–384.
- (5). Hounghédji, H. S., & Bassongui, N. (2023). Financial stability and monetary policy of the central bank of West African countries: A Markov-switching model. *Journal of Economic Studies*, 50(3), 525–543.
- (6). Jemović, M., & Marinković, S. (2021). Determinants of financial crises—An early warning system based on panel logit regression. *International Journal of Finance & Economics*, 26(1), 103–117.
- (7). Kim, C.-J., Piger, J., & Startz, R. (2008). Estimation of Markov regime-switching regression models with endogenous switching. *Journal of Econometrics*, 143(2), 263–273.
- (8). Kritzman, M., Li, Y., Page, S., & Rigobon, R. (2010). Principal components as a measure of systemic risk. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1582687>
- (9). Kritzman, M., Page, S., & Turkington, D. (2012). Regime shifts: Implications for dynamic strategies. *Financial Analysts Journal*, 68(3).
- (10). Minsky, H. P. (1986). *Stabilizing an Unstable Economy*. New Haven: Yale University Press.
- (11). Reinhart, C. M., & Rogoff, K. S. (2009). The aftermath of financial crises. *American Economic Review*, 99(2), 466–472.
- (12). Schularick, M., & Taylor, A. M. (2012). Credit booms gone bust: Monetary policy, leverage cycles, and financial crises, 1870–2008. *American Economic Review*, 102(2), 1029–1061.
- (13). Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London: W. Strahan and T. Cadell.

- (14). Soltani, H., & Abbes, M. B. (2023). The predictive power of financial stress on the financial markets dynamics: Hidden Markov model. *Journal of Economics and Finance*, 47(1), 94–115.
- (15). Tölö, E. (2020). Predicting systemic financial crises with recurrent neural networks. *Journal of Financial Stability*, 49, 100746.
- (16). Zhang, M., Jiang, X., Fang, Z., Zeng, Y., & Xu, K. (2019). High-order hidden Markov model for trend prediction in financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 517, 1–12.