

Le rôle de la blockchain dans la réduction de l'exclusion financière et l'amélioration de l'efficacité du marché des changes au Maroc

The Role of Blockchain in Reducing Financial Exclusion and Improving the Efficiency of the Foreign Exchange Market in Morocco

Oumaima ABOUZAIID, (Docteure)

*Laboratoire de Recherche en Gestion, Economie et Sciences Sociales (LARGEES)
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales
Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, Maroc*

Faouzi BOUSSEDRA, (Professeur de l'Enseignement Supérieur)

*Laboratoire de Recherche en Gestion, Economie et Sciences Sociales (LARGEES)
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales
Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, Maroc*

Adresse de correspondance :	Doukkali University, Pôle Universitaire Mazagan, El Jadida 24000, Morocco Tel: +212 5 23 34 44 47 / +212 5 23 34 44 48 Fax: +212 5 23 34 44 49 Email: communication@ucd.ac.ma
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude. Ils assument l'entière responsabilité de tout éventuel plagiat, de l'usage de l'intelligence artificielle dans la rédaction, ainsi que des résultats présentés dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	ABOUZAIID, O., & BOUSSEDRA, F. (2026). Le rôle de la blockchain dans la réduction de l'exclusion financière et l'amélioration de l'efficacité du marché des changes au Maroc. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 7(9), 21-45. https://doi.org/10.5281/zenodo.21328765
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: 21/06/2026

Accepted: 25/07/2026

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

ISSN: 2658-8455

Volume 7, Issue 09 (2026)

Le rôle de la blockchain dans la réduction de l'exclusion financière et l'amélioration de l'efficacité du marché des changes au Maroc

Résumé :

La technologie blockchain est aujourd'hui considérée comme une innovation susceptible d'améliorer simultanément l'efficacité des marchés financiers et l'inclusion financière. Toutefois, la littérature existante analyse généralement ces relations selon des approches sectorielles ou technologiques, sans proposer un cadre théorique intégré permettant d'expliquer le rôle conjoint des facteurs économiques, institutionnels et sociaux. Par ailleurs, les études empiriques consacrées au Maroc et, plus largement, aux économies de la région MENA demeurent limitées. Cette recherche vise à combler cette lacune en développant un modèle conceptuel fondé sur la théorie de l'innovation de Schumpeter, la théorie de l'efficacité économique, l'approche des capacités de Sen, la théorie de l'encastrement social de Granovetter et l'analyse des asymétries d'information de Stiglitz afin d'étudier les relations entre l'adoption de la blockchain, l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière.

L'analyse empirique repose sur un jeu de données mensuelles simulées ($n = 132$) couvrant la période janvier 2015–décembre 2025. Les données ont été calibrées à partir d'indicateurs macrofinanciers provenant de Bank Al-Maghrib, de la Banque mondiale, du Fonds monétaire international (FMI), de la Banque des règlements internationaux (BRI) et de la base Global Findex, afin de reproduire des dynamiques macrofinancières réalistes dans le contexte marocain. Les hypothèses ont été testées à l'aide de régressions multiples, d'une modélisation par équations structurelles fondée sur les moindres carrés partiels (PLS-SEM) et d'algorithmes d'apprentissage automatique (Random Forest, XGBoost et Long Short-Term Memory – LSTM).

Les résultats montrent que l'adoption de la blockchain exerce un effet positif et statistiquement significatif sur l'efficacité du marché des changes ($\beta = 0,72$; $p < 0,001$), laquelle influence positivement l'inclusion financière ($\beta = 0,58$; $p < 0,001$). Les modèles expliquent entre 68 % et 81 % de la variance des variables dépendantes ($R^2 = 0,68\text{--}0,81$). Les analyses par bootstrap confirment également un effet de médiation partielle de l'efficacité du marché des changes ainsi que des effets modérateurs significatifs de la confiance institutionnelle, de la littératie numérique et de la préparation réglementaire.

Cette recherche contribue à la littérature en proposant un cadre théorique intégré permettant d'expliquer les mécanismes reliant la blockchain, l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière dans une économie émergente. Elle met également en évidence l'importance de renforcer le cadre réglementaire, les compétences numériques et la coordination des politiques publiques afin d'accompagner le développement des technologies blockchain dans le contexte marocain.

Mots clés : Blockchain ; inclusion financière ; efficacité du marché des changes ; apprentissage automatique ; FinTech ; Maroc.

JEL Classification : F31, G15, E42, O33.

Type du papier : Empirical research article.

Abstract

Blockchain technology is widely recognized as a pivotal innovation capable of simultaneously enhancing financial market efficiency and fostering financial inclusion. However, existing literature generally analyzes these relationships through fragmented sectoral or technological approaches, lacking an integrated theoretical framework to explain the joint role of economic, institutional, and social factors. Furthermore, empirical studies focusing on Morocco and, more broadly, the MENA region remains limited. This research aims to address this gap by developing a conceptual model grounded in Schumpeter's theory of innovation, economic efficiency theory, Sen's capability approach, Granovetter's social embeddedness theory, and Stiglitz's analysis of information asymmetries to investigate the relationships among blockchain adoption, foreign exchange (FX) market efficiency, and financial inclusion.

The empirical analysis is based on a simulated monthly dataset ($n = 132$) covering the period from January 2015 to December 2025. The data were calibrated using macro-financial indicators from Bank Al-Maghrib, the World Bank, the International Monetary Fund (IMF), the Bank for International Settlements (BIS), and the Global Findex database to replicate realistic macro-financial dynamics within the Moroccan context. Hypotheses were tested using multiple regressions, partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM), and machine learning algorithms (Random Forest, XGBoost, and Long Short-Term Memory – LSTM).

The results demonstrate that blockchain adoption exerts a positive and statistically significant effect on FX market efficiency ($\beta = 0.72$, $p < .001$), which in turn positively influences financial inclusion ($\beta = 0.58$, $p < .001$). The models account for between 68% and 81% of the variance in the dependent variables ($R^2 = .68\text{--}.81$). Bootstrap analyses further confirm a partial mediation effect of FX market efficiency, as well as significant moderating effects of institutional trust, digital literacy, and regulatory readiness.

This research contributes to the literature by delivering an integrated theoretical framework that elucidates the mechanisms linking blockchain, FX market efficiency, and financial inclusion in an emerging economy. It also highlights the critical importance of strengthening the regulatory framework, enhancing digital skills, and fostering public policy coordination to support the development of blockchain technologies within the Moroccan context.

Keywords: Blockchain; Financial inclusion; Foreign exchange market efficiency; Machine learning; FinTech; Morocco.

JEL Classification: F31, G15, E42, O33.

Paper Type: Empirical research article.

1. Introduction

La transformation numérique des systèmes financiers constitue aujourd'hui l'un des principaux moteurs de l'évolution des marchés internationaux. Parmi les innovations les plus marquantes, la technologie blockchain s'est progressivement imposée comme une infrastructure susceptible de modifier les mécanismes traditionnels d'intermédiation, de règlement et de gestion des transactions financières. Initialement développée comme support du Bitcoin (Nakamoto, 2008), la blockchain est désormais utilisée dans de nombreux domaines tels que les paiements internationaux, le financement du commerce, les contrats intelligents et les infrastructures des marchés financiers (Tapscott & Tapscott, 2016 ; Yermack, 2017). En réduisant les coûts de transaction, en renforçant la transparence et en améliorant la sécurité des échanges, cette technologie est aujourd'hui considérée comme un levier potentiel d'amélioration de l'efficacité des marchés et de l'inclusion financière.

Cette évolution présente un intérêt particulier pour les économies émergentes, où les systèmes financiers poursuivent simultanément des objectifs de modernisation, de digitalisation et d'élargissement de l'accès aux services financiers. Le Maroc s'inscrit pleinement dans cette dynamique à travers la Stratégie Nationale d'Inclusion Financière (SNIF), qui vise à améliorer l'accès des ménages et des entreprises aux services financiers formels grâce au développement des technologies numériques. Parallèlement, Bank Al-Maghrib poursuit plusieurs initiatives portant sur les innovations financières, les actifs numériques et les monnaies numériques de banque centrale (CBDC), tandis que l'Autorité Marocaine du Marché des Capitaux (AMMC) accompagne progressivement l'émergence de nouveaux services financiers numériques. Malgré ces avancées, le marché des changes marocain demeure confronté à plusieurs défis liés aux coûts de transaction, aux délais de règlement et aux contraintes informationnelles, ce qui confère à la blockchain un intérêt croissant comme outil potentiel d'amélioration de son efficacité.

L'intérêt porté à la blockchain a donné lieu à une littérature abondante mettant en évidence ses capacités à réduire les coûts d'intermédiation, à améliorer la traçabilité des transactions et à renforcer l'efficacité des infrastructures financières (Catalini & Gans, 2016 ; Schär, 2021). D'autres travaux soulignent également son potentiel pour favoriser l'inclusion financière, notamment grâce au développement de nouveaux services financiers numériques accessibles à des populations traditionnellement exclues du système bancaire (Demirgüç-Kunt et al., 2022 ; Ozili, 2023). Toutefois, les résultats demeurent contrastés. Plusieurs études montrent que les effets de la blockchain restent fortement dépendants de la qualité des institutions, de la confiance des utilisateurs, de la littératie numérique et de la stabilité du cadre réglementaire (Auer, Cornelli & Frost, 2022). Les bénéfices attendus ne sont donc ni automatiques ni uniformes selon les contextes nationaux.

Malgré cette littérature en expansion, plusieurs limites subsistent. Premièrement, la majorité des recherches analysent séparément les dimensions technologiques, économiques ou institutionnelles de la blockchain, sans proposer un cadre théorique intégré permettant d'expliquer les interactions entre innovation, efficacité des marchés et inclusion financière. Deuxièmement, les travaux empiriques consacrés aux économies émergentes d'Afrique du Nord, et plus particulièrement au Maroc, restent peu nombreux. Enfin, peu d'études combinent des approches économétriques, des modèles d'équations structurelles et des techniques d'apprentissage automatique afin d'analyser simultanément les mécanismes explicatifs et la capacité prédictive des relations étudiées.

Dans ce contexte, la présente recherche s'articule autour de la question suivante :

Dans quelle mesure l'adoption de la blockchain améliore-t-elle l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière au Maroc, et quel rôle jouent la confiance institutionnelle, la littératie numérique et la préparation réglementaire dans cette relation ?

Pour répondre à cette question, cette étude développe un cadre conceptuel intégrant la théorie de l'innovation de Schumpeter (1934), la théorie de l'efficacité économique, l'approche des capacités de Sen (1999), la théorie de l'encastrement social de Granovetter (1985) et l'analyse des asymétries d'information de Stiglitz (2000). Les hypothèses sont testées à partir d'un jeu de données mensuelles simulées couvrant la période 2015–2025, calibré sur des indicateurs macrofinanciers de Bank Al-Maghrib, de la Banque mondiale, du Fonds monétaire international, de la Banque des règlements internationaux et de la base Global Findex. L'analyse combine des régressions multiples, une modélisation par équations structurelles fondée sur les moindres carrés partiels (PLS-SEM) ainsi que des algorithmes d'apprentissage automatique (Random Forest, XGBoost et LSTM) afin d'évaluer à la fois les relations causales et les performances prédictives du modèle proposé.

Cette recherche apporte trois contributions principales. Sur le plan théorique, elle propose un cadre intégrateur reliant innovation technologique, efficacité des marchés et inclusion financière. Sur le plan méthodologique, elle combine économétrie, PLS-SEM et apprentissage automatique dans une même démarche analytique. Sur le plan pratique, elle formule des recommandations destinées aux autorités publiques et aux institutions financières afin d'accompagner le développement de la blockchain dans le contexte marocain.

Enfin, l'article est organisé comme suit. La section 2 présente la revue de littérature et le modèle conceptuel. La section 3 décrit la méthodologie de recherche. La section 4 expose les résultats empiriques, tandis que la section 5 en discute les implications théoriques et contextuelles. La dernière section ne conclut l'étude en soulignant ses principales contributions, ses limites et les perspectives de recherche futures.

2. Revue de littérature

2.1. Fondements théoriques : de l'innovation blockchain à l'inclusion financière

L'émergence de la technologie blockchain s'inscrit dans une dynamique plus large de transformation des systèmes financiers sous l'effet des innovations numériques. Bien qu'initialement développée comme l'infrastructure technologique du Bitcoin (Nakamoto, 2008), la blockchain est désormais considérée comme une innovation institutionnelle susceptible de modifier les mécanismes de coordination économique, les modes de gouvernance des transactions et l'organisation des marchés financiers (Catalini & Gans, 2016 ; Yermack, 2017). Cette évolution peut être interprétée à la lumière de la théorie de l'innovation de Schumpeter (1934), selon laquelle les innovations radicales introduisent de nouvelles combinaisons productives capables de transformer durablement les structures économiques. Dans cette perspective, la blockchain ne constitue pas une simple amélioration technologique des infrastructures financières existantes, mais une innovation de rupture susceptible de redéfinir les relations entre les intermédiaires, les utilisateurs et les autorités de régulation.

Selon Schumpeter (1934), le développement économique résulte d'un processus continu de destruction créatrice, dans lequel les innovations remplacent progressivement les formes traditionnelles d'organisation économique. Les technologies financières (FinTech), et plus particulièrement la blockchain, illustrent parfaitement ce mécanisme en remettant en cause les modèles conventionnels d'intermédiation financière. En réduisant le recours aux intermédiaires, en automatisant l'exécution des transactions grâce aux contrats intelligents et en améliorant la traçabilité des opérations, la blockchain modifie les conditions de production des services financiers tout en réduisant les coûts de vérification et de coordination (Catalini & Gans, 2016). Cette capacité à diminuer les coûts de transaction rapproche directement la blockchain des fondements de la théorie de l'efficacité économique, selon laquelle l'amélioration de la circulation de l'information et la réduction des frictions de marché favorisent une allocation plus efficace des ressources.

Toutefois, limiter l'analyse de la blockchain à ses seuls gains d'efficacité reviendrait à négliger sa dimension sociale. L'amélioration des performances techniques d'un système financier ne garantit pas nécessairement une amélioration équivalente du bien-être collectif. Cette distinction est particulièrement mise en évidence par l'approche des capacités développée par Sen (1999), qui considère que le développement ne doit pas être évalué uniquement à partir des performances économiques agrégées, mais également selon la capacité effective des individus à accéder aux opportunités économiques et à exercer leurs libertés. Dans cette perspective, l'inclusion financière dépasse la simple disponibilité de services bancaires ; elle renvoie à la possibilité réelle pour les individus d'utiliser des services financiers adaptés afin d'améliorer leurs conditions de vie, de gérer les risques et de participer pleinement aux activités économiques.

Cette conception élargie de l'inclusion financière est aujourd'hui largement reprise dans la littérature sur le développement. Beck, Demirgüç-Kunt et Levine (2007) montrent qu'un système financier plus développé favorise la croissance économique tout en réduisant les inégalités d'accès au financement. De manière complémentaire, Demirgüç-Kunt et al. (2022), à partir des données du Global Findex, soulignent que près de 1,4 milliard d'adultes demeurent exclus du système bancaire formel malgré la diffusion rapide des technologies numériques. Cette situation révèle que les obstacles à l'inclusion financière ne relèvent pas uniquement de contraintes économiques mais également de facteurs institutionnels, sociaux et technologiques. L'approche des capacités permet ainsi de compléter la théorie de l'efficacité économique en montrant que les gains d'efficacité générés par une innovation ne produisent des bénéfices sociaux que lorsqu'ils élargissent effectivement les possibilités d'action des individus. Dans le cas de la blockchain, la réduction des coûts de transaction, l'accélération des règlements et l'amélioration de la transparence peuvent faciliter l'accès aux services financiers, mais ces bénéfices restent conditionnés par la capacité des populations à utiliser ces nouveaux dispositifs. L'inclusion financière apparaît dès lors comme le résultat d'un processus dans lequel l'innovation technologique constitue une condition nécessaire, mais non suffisante, du développement économique inclusif.

Cette articulation conduit à considérer la blockchain non seulement comme une innovation financière créatrice d'efficacité, conformément à l'approche schumpétérienne, mais également comme un levier potentiel d'élargissement des capacités individuelles au sens de Sen. Néanmoins, cette relation demeure incomplète tant que ne sont pas prises en compte les dimensions institutionnelles et sociales qui conditionnent l'adoption effective des innovations financières. La littérature montre en effet que les décisions économiques restent profondément influencées par la confiance, les normes sociales et les asymétries d'information, ce qui justifie le recours aux apports de la sociologie économique et de l'économie de l'information pour compléter le cadre théorique proposé.

2.2 L'adoption de la blockchain : une dynamique encadrée dans les institutions, la confiance et l'information

Si la littérature économique attribue à la blockchain un potentiel important d'amélioration de l'efficacité des marchés financiers, plusieurs travaux soulignent que les innovations technologiques ne produisent pas mécaniquement les transformations économiques attendues. L'adoption d'une technologie financière dépend non seulement de ses performances techniques, mais également de l'environnement institutionnel dans lequel elle est déployée. Les recherches en sociologie économique et en économie de l'information montrent en effet que les comportements économiques demeurent profondément influencés par les relations sociales, les mécanismes de confiance et la qualité des institutions. Dès lors, comprendre les effets de la blockchain sur l'inclusion financière suppose de dépasser une approche strictement technologique pour intégrer les dimensions sociales qui conditionnent son adoption.

Cette perspective trouve son fondement dans la théorie de l'encastrement social développée par Granovetter (1985), selon laquelle les décisions économiques ne résultent jamais d'une rationalité parfaitement autonome, mais s'inscrivent dans des réseaux de relations sociales, de normes collectives et d'interactions institutionnelles. Les marchés financiers ne constituent donc pas de simples mécanismes d'allocation des ressources ; ils sont également des constructions sociales reposant sur des relations de confiance entre les différents acteurs. Dans le contexte de la blockchain, cette approche suggère que les caractéristiques techniques de la technologie, transparence, décentralisation et immuabilité, ne suffisent pas à garantir son adoption si les utilisateurs ne développent pas une confiance suffisante envers les infrastructures numériques, les institutions financières et les autorités de régulation.

Les travaux de Zelizer (1994) prolongent cette analyse en montrant que la monnaie et les pratiques financières possèdent une dimension profondément sociale. Contrairement à une vision purement économique des transactions, Zelizer soutient que les usages de la monnaie sont influencés par les valeurs culturelles, les normes sociales et les significations que les individus attribuent aux échanges financiers. Cette approche apparaît particulièrement pertinente dans le cas de la blockchain. L'utilisation d'actifs numériques, de portefeuilles électroniques ou de contrats intelligents implique des changements dans les pratiques financières quotidiennes qui dépassent les seules considérations d'efficacité économique. Les comportements d'adoption reflètent ainsi autant des perceptions de légitimité institutionnelle que des évaluations techniques des performances de la technologie.

À cette dimension sociologique s'ajoute la théorie de l'asymétrie d'information développée par Stiglitz (2000), selon laquelle les imperfections informationnelles constituent l'une des principales causes des défaillances de marché. Dans les systèmes financiers traditionnels, l'existence d'informations incomplètes ou asymétriques augmente les coûts de transaction, limite l'accès au crédit et renforce les phénomènes d'exclusion financière. La blockchain est souvent présentée comme une réponse potentielle à ces problèmes grâce à la transparence des registres distribués, à la traçabilité des opérations et à l'automatisation des mécanismes de vérification (Catalini & Gans, 2016). En réduisant les coûts de vérification et en améliorant la disponibilité de l'information, cette technologie pourrait diminuer certaines asymétries informationnelles qui freinent l'accès aux services financiers.

Toutefois, plusieurs auteurs soulignent que la réduction des asymétries d'information ne supprime pas toutes les formes d'incertitude. Les utilisateurs continuent d'être confrontés à des interrogations concernant la cybersécurité, la protection des données personnelles, la responsabilité juridique des transactions ou encore la stabilité des cadres réglementaires (Schär, 2021 ; Auer, Cornelli & Frost, 2022). Par conséquent, la confiance ne disparaît pas avec la décentralisation ; elle se déplace des intermédiaires financiers traditionnels vers les protocoles technologiques, les développeurs, les plateformes numériques et les autorités de supervision. Cette évolution confirme que les performances techniques de la blockchain demeurent étroitement dépendantes de la qualité des institutions qui accompagnent son déploiement.

L'ensemble de ces approches permet ainsi de proposer une lecture intégrée de l'adoption de la blockchain. La théorie de l'efficacité économique explique pourquoi cette technologie est susceptible d'améliorer le fonctionnement des marchés en réduisant les coûts de transaction ; la théorie de l'asymétrie d'information montre comment cette réduction des coûts résulte d'une meilleure circulation de l'information ; enfin, la sociologie économique rappelle que ces bénéfices potentiels ne peuvent être effectivement réalisés qu'à travers des mécanismes de confiance, de légitimité institutionnelle et d'acceptation sociale. L'adoption de la blockchain apparaît ainsi comme un phénomène multidimensionnel où les dimensions économiques, institutionnelles et sociales interagissent de manière complémentaire.

Cette articulation conduit à considérer que les effets de la blockchain sur l'inclusion financière ne peuvent être évalués uniquement à partir de critères d'efficacité technique. Ils dépendent

également de facteurs tels que la confiance institutionnelle, la littératie numérique et la préparation réglementaire, qui conditionnent la capacité des individus et des organisations à s'approprier cette innovation. Cette observation ouvre un débat plus large au sein de la littérature, certains travaux mettant en évidence les bénéfices potentiels de la blockchain tandis que d'autres soulignent ses limites et ses effets parfois contrastés, notamment dans les économies émergentes. La section suivante examine précisément ces débats afin de construire un cadre théorique plus équilibré.

2.3 Blockchain, inclusion financière et efficience des marchés : une littérature contrastée et le contexte marocain

La littérature consacrée à la blockchain connaît une croissance rapide, mais demeure loin d'être unanime quant à ses effets réels sur les systèmes financiers. Si une première catégorie de travaux considère cette technologie comme un puissant levier de transformation des marchés financiers et d'amélioration de l'inclusion financière, une seconde met en évidence des résultats plus nuancés, soulignant que les bénéfices observés restent fortement dépendants des contextes institutionnels, réglementaires et socioéconomiques. Cette absence de consensus justifie la nécessité d'adopter une approche analytique intégrant à la fois les dimensions économiques, technologiques et institutionnelles.

Les travaux favorables à la blockchain insistent principalement sur sa capacité à réduire les coûts de transaction, à améliorer la transparence des échanges et à accroître l'efficience des infrastructures financières. Catalini et Gans (2016) montrent que la principale contribution économique de la blockchain réside dans la diminution simultanée des coûts de vérification et des coûts de mise en réseau, permettant une coordination plus efficace entre les différents acteurs économiques. Dans la même perspective, Yermack (2017) considère que les registres distribués peuvent transformer l'intermédiation financière en remplaçant une partie de la confiance traditionnellement accordée aux institutions par des protocoles cryptographiques sécurisés. Schär (2021) souligne également que les infrastructures de finance décentralisée (DeFi) ouvrent la voie à des services financiers plus accessibles, plus transparents et potentiellement moins coûteux.

Ces gains d'efficience apparaissent particulièrement importants dans le domaine des paiements transfrontaliers et des marchés des changes. Les recherches de Cong et He (2019) montrent que les contrats intelligents et les registres distribués permettent de réduire les délais de règlement, d'améliorer la liquidité des marchés et de limiter les risques de contrepartie. Dans le même sens, Ozili (2023) estime que la blockchain, les monnaies numériques de banque centrale (CBDC) et les innovations FinTech peuvent favoriser l'inclusion financière en diminuant les coûts d'accès aux services financiers et en facilitant les transactions numériques, notamment dans les économies en développement. Plusieurs études consacrées aux transferts internationaux de fonds concluent également que les technologies blockchain offrent un potentiel significatif de réduction des frais de transfert, contribuant ainsi à améliorer le bien-être des ménages dépendant des remises migratoires.

Cependant, cette vision optimiste est aujourd'hui largement nuancée par une littérature de plus en plus abondante. Plusieurs auteurs soulignent que les bénéfices théoriques de la blockchain demeurent souvent difficiles à concrétiser à grande échelle. Auer, Cornelli et Frost (2022) rappellent que les applications financières reposant sur les registres distribués continuent de faire face à des défis importants en matière d'interopérabilité, de gouvernance, de cybersécurité et de conformité réglementaire. De leur côté, Arner, Barberis et Buckley (2020) observent que de nombreuses innovations FinTech rencontrent des difficultés de diffusion dans les économies émergentes en raison de la faiblesse des infrastructures numériques et des incertitudes réglementaires. Les rapports de la Banque des règlements internationaux (BIS, 2022) soulignent également que la fragmentation des plateformes blockchain et l'absence de standards

internationaux limitent encore leur intégration dans les infrastructures financières traditionnelles.

Au-delà des contraintes techniques, plusieurs travaux montrent que les innovations numériques peuvent également produire de nouvelles formes d'exclusion. Les populations disposant d'une faible littératie numérique, d'un accès limité à Internet ou d'une faible confiance envers les institutions financières demeurent souvent exclues des bénéfices associés aux nouvelles technologies financières (Demirgüç-Kunt et al., 2022 ; Ozili, 2021). Dans ces conditions, les gains d'efficacité générés par la blockchain risquent de profiter principalement aux acteurs déjà intégrés aux systèmes financiers numériques, accentuant parfois les inégalités existantes. Cette observation rejoint l'approche de Sen (1999), selon laquelle une innovation ne peut être considérée comme vecteur de développement que lorsqu'elle élargit effectivement les capacités des individus à participer à la vie économique.

Ces divergences apparaissent avec une intensité particulière dans les économies émergentes, où les cadres institutionnels restent en cours de consolidation. Si plusieurs pays asiatiques ou africains expérimentent aujourd'hui des solutions fondées sur la blockchain dans les domaines des paiements, de la traçabilité ou des services financiers, les résultats empiriques demeurent encore limités et fortement dépendants des caractéristiques nationales. Cette situation est particulièrement observable dans la région Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA), où la diffusion des innovations financières reste étroitement liée aux réformes institutionnelles, à la qualité des infrastructures numériques et aux politiques publiques de modernisation du secteur financier.

Le Maroc constitue, à cet égard, un terrain d'analyse particulièrement pertinent. Au cours de la dernière décennie, le pays a engagé plusieurs réformes visant à renforcer l'inclusion financière et à accélérer la digitalisation des services financiers. La Stratégie Nationale d'Inclusion Financière (SNIF), élaborée conjointement par Bank Al-Maghrib, le ministère de l'Économie et des Finances ainsi que plusieurs partenaires institutionnels, identifie la digitalisation des paiements, le développement des services financiers numériques et l'amélioration de l'accès des populations vulnérables aux services financiers comme des priorités nationales. Les données de Global Findex montrent d'ailleurs une progression significative du taux de bancarisation et de l'utilisation des paiements numériques au Maroc, tout en révélant la persistance d'importantes disparités entre zones urbaines et rurales, entre hommes et femmes ainsi qu'entre catégories de revenus.

Parallèlement, Bank Al-Maghrib poursuit depuis plusieurs années une réflexion sur les innovations liées aux actifs numériques, aux monnaies numériques de banque centrale et à l'encadrement réglementaire des nouvelles technologies financières. Toutefois, malgré ces avancées institutionnelles, les recherches empiriques consacrées à l'impact de la blockchain sur l'efficacité du marché des changes et sur l'inclusion financière au Maroc demeurent encore très limitées. La majorité des travaux existants portent principalement sur la digitalisation bancaire, les paiements mobiles ou les FinTech, sans analyser simultanément les dimensions d'efficacité des marchés, de confiance institutionnelle et d'inclusion financière.

Cette revue met ainsi en évidence trois principales lacunes. Premièrement, la littérature demeure partagée quant aux effets réels de la blockchain sur les systèmes financiers, ce qui justifie une analyse empirique dépassant les approches exclusivement technologiques. Deuxièmement, les études intégrant simultanément les dimensions économiques, institutionnelles et sociales restent peu nombreuses, alors même que ces facteurs apparaissent fortement interdépendants. Enfin, les recherches portant spécifiquement sur le Maroc et, plus largement, sur les économies de la région MENA demeurent insuffisantes, créant un déficit de connaissances sur les conditions dans lesquelles la blockchain peut effectivement contribuer à une transformation financière inclusive. Ces lacunes justifient l'élaboration d'un modèle conceptuel intégrateur

permettant d'articuler les différents mécanismes identifiés par la littérature et de formuler les hypothèses de recherche.

2.4 Modèle conceptuel et développement des hypothèses

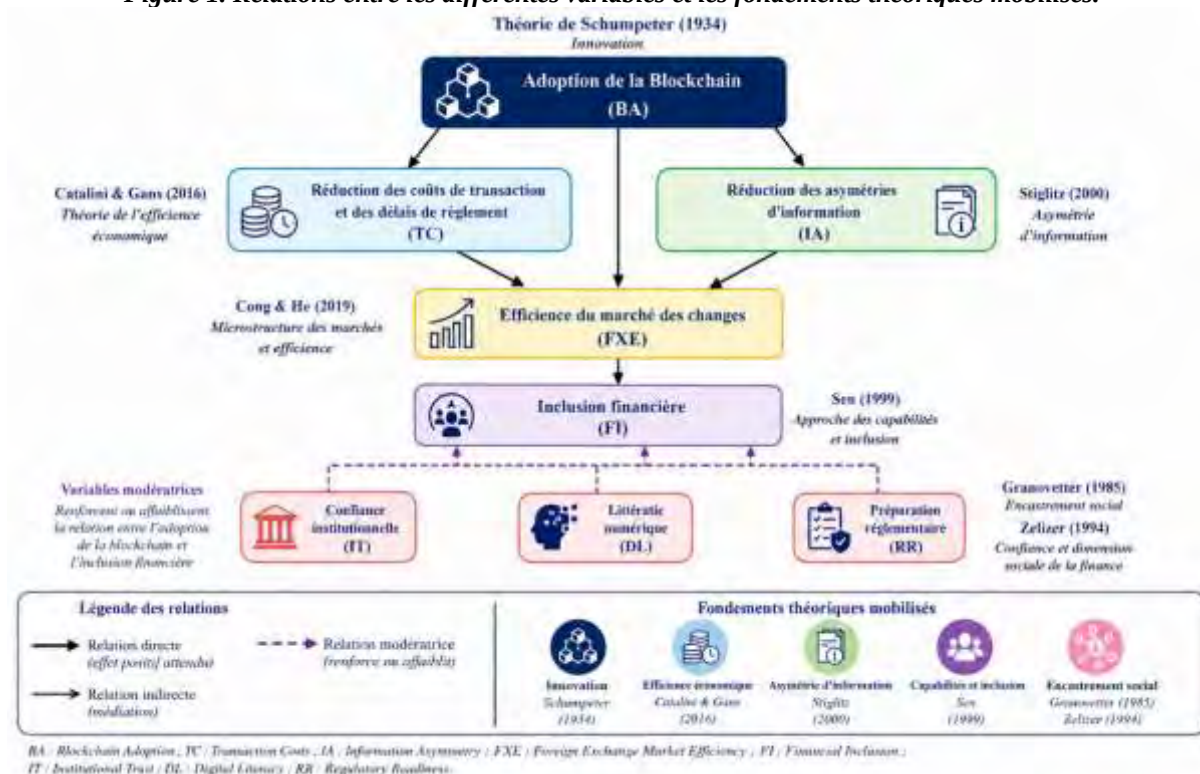
La revue de littérature met en évidence que les effets de la blockchain sur les systèmes financiers ne peuvent être expliqués par une seule approche théorique. La théorie schumpétérienne considère la blockchain comme une innovation de rupture susceptible de transformer les modes d'organisation des marchés financiers (Schumpeter, 1934). La théorie de l'efficacité économique souligne que cette innovation améliore le fonctionnement des marchés en réduisant les coûts de transaction, les délais de règlement et les asymétries informationnelles (Catalini & Gans, 2016 ; Yermack, 2017). Toutefois, l'approche des capacités de Sen (1999) rappelle que l'amélioration de l'efficacité économique ne constitue pas une finalité en soi, mais un moyen susceptible d'élargir les opportunités économiques des individus. Enfin, les travaux de Granovetter (1985), Zelizer (1994) et Stiglitz (2000) montrent que les bénéfices attendus d'une innovation financière restent conditionnés par les relations sociales, la confiance institutionnelle et la qualité de l'environnement informationnel.

Ces différentes perspectives apparaissent davantage complémentaires qu'opposées. Elles permettent de construire un cadre théorique unifié dans lequel la blockchain agit comme une innovation financière dont les effets économiques transitent par plusieurs mécanismes successifs. Dans un premier temps, l'adoption de la blockchain réduit les coûts de transaction, améliore la transparence des échanges et accélère les procédures de règlement grâce à la décentralisation des registres distribués. Cette amélioration des processus opérationnels renforce ensuite l'efficacité du marché des changes en facilitant la circulation de l'information, en réduisant les délais de règlement et en améliorant la liquidité du marché. Enfin, une plus grande efficacité des infrastructures financières est susceptible de favoriser une meilleure inclusion financière en diminuant les barrières économiques qui limitent l'accès aux services financiers formels.

Néanmoins, la littérature montre que cette relation demeure conditionnelle. Les gains d'efficacité associés à la blockchain ne produisent pas automatiquement une amélioration de l'inclusion financière. Leur diffusion dépend largement du niveau de confiance accordé aux institutions financières, de la capacité des utilisateurs à maîtriser les outils numériques ainsi que de la stabilité du cadre réglementaire. Une confiance institutionnelle élevée réduit les incertitudes perçues liées à l'utilisation des nouvelles technologies financières, tandis qu'une meilleure littératie numérique facilite leur appropriation par les populations. De même, un environnement réglementaire clair contribue à limiter les risques juridiques et renforce la crédibilité des nouvelles infrastructures financières. Ces éléments jouent ainsi un rôle déterminant dans la transformation des gains d'efficacité en bénéfices sociaux plus larges.

À partir de cette articulation théorique, le modèle conceptuel proposé considère l'adoption de la blockchain comme la variable explicative principale. Son effet direct s'exerce sur la réduction des coûts de transaction et sur l'efficacité du marché des changes, laquelle constitue ensuite un mécanisme intermédiaire conduisant à une amélioration de l'inclusion financière. Cette relation est renforcée ou affaiblie par trois facteurs institutionnels identifiés par la littérature : la confiance institutionnelle, la littératie numérique et la préparation réglementaire, qui jouent un rôle modérateur dans la capacité des acteurs économiques à adopter les innovations financières. La Figure 1 synthétise les relations proposées entre les différentes variables et les fondements théoriques mobilisés.

Figure 1. Relations entre les différentes variables et les fondements théoriques mobilisés.



Source : Élaboration des auteurs à partir de la littérature.

Sur la base de ce modèle conceptuel, quatre hypothèses sont formulées.

H1. L'adoption de la blockchain influence positivement l'efficacité du marché des changes. Cette hypothèse s'appuie sur les travaux de Catalini et Gans (2016), Yermack (2017) et Cong et He (2019), qui montrent que les registres distribués améliorent la rapidité des règlements, réduisent les coûts d'intermédiation et renforcent la transparence des transactions, contribuant ainsi à une meilleure efficacité des marchés financiers.

H2. L'adoption de la blockchain réduit significativement les coûts de transaction et les frictions de règlement dans les opérations de change. Cette hypothèse découle de la théorie des coûts de transaction et de la littérature sur la blockchain, selon laquelle l'automatisation des processus, les contrats intelligents et la désintermédiation permettent de diminuer les coûts opérationnels ainsi que les délais de traitement des transactions (Catalini & Gans, 2016 ; Schär, 2021).

H3. L'amélioration de l'efficacité du marché des changes contribue positivement à l'inclusion financière. Cette hypothèse repose sur les travaux de Beck, Demirgüç-Kunt et Levine (2007) ainsi que sur l'approche des capacités de Sen (1999). Une réduction des coûts de transaction, une plus grande liquidité et une meilleure accessibilité aux services financiers permettent d'élargir les opportunités économiques des ménages et des entreprises, favorisant ainsi une inclusion financière plus importante.

H4. La confiance institutionnelle, la littératie numérique et la préparation réglementaire renforcent positivement la relation entre l'adoption de la blockchain et l'inclusion financière. Cette hypothèse mobilise les apports de Granovetter (1985), Zelizer (1994) et Stiglitz (2000), selon lesquels les performances d'une innovation financière dépendent de son acceptation sociale, de la confiance accordée aux institutions et de la qualité de l'environnement informationnel et réglementaire. En conséquence, les bénéfices attendus de la blockchain devraient être plus importants dans les contextes où ces conditions institutionnelles sont réunies. En définitive, ce modèle conceptuel répond aux principales lacunes identifiées dans la littérature en articulant, au sein d'un cadre analytique unique, les dimensions technologiques, économiques, institutionnelles et sociales de l'adoption de la blockchain. Il fournit également

une base théorique cohérente pour l'analyse empirique présentée dans les sections suivantes et répond aux standards méthodologiques attendus dans les recherches en économie et en sciences de gestion.

3. Méthodologie

3.1. Design de recherche, données et construction de l'échantillon

Cette étude adopte un design de recherche quantitatif visant à analyser les effets potentiels de l'adoption de la blockchain sur l'efficacité du marché des changes et sur l'inclusion financière dans le contexte marocain. Compte tenu du caractère encore émergent des applications de la blockchain dans le système financier marocain et de l'absence de séries statistiques historiques suffisamment longues couvrant l'ensemble des variables d'intérêt, l'étude repose sur une approche de simulation empirique calibrée à partir de données macrofinancières réelles. Cette démarche permet d'évaluer différents mécanismes économiques tout en maintenant une cohérence avec les tendances observées dans l'économie marocaine.

Contrairement à une base de données purement observée, les données utilisées dans cette recherche sont constituées de séries synthétiques générées à partir des principales statistiques publiées par Bank Al-Maghrib, la Banque mondiale, le Fonds monétaire international (FMI), la Banque des règlements internationaux (BRI) et la base Global Findex. Les paramètres de simulation ont été calibrés de manière à reproduire les principales caractéristiques statistiques des séries réelles, notamment leur moyenne, leur variance, leur tendance temporelle ainsi que les corrélations observées entre les principales variables macroéconomiques. Cette stratégie est fréquemment utilisée dans les études prospectives portant sur des innovations technologiques encore peu diffusées, lorsque les données empiriques demeurent insuffisantes pour tester des modèles complexes.

La période couverte s'étend de janvier 2015 à décembre 2025. Contrairement à une fréquence annuelle qui ne fournirait qu'un nombre limité d'observations, les analyses sont réalisées à partir d'une fréquence mensuelle, permettant d'obtenir 132 observations temporelles ($n = 132$). Ce choix méthodologique répond à deux objectifs. Premièrement, il permet de capturer la dynamique progressive de la transformation numérique du système financier marocain. Deuxièmement, il fournit une taille d'échantillon compatible avec l'estimation de modèles économétriques multivariés, de modèles d'équations structurelles ainsi que d'algorithmes d'apprentissage automatique nécessitant un nombre d'observations plus important.

Le processus de simulation s'est déroulé en trois étapes successives. Dans une première étape, les séries macroéconomiques observées (croissance du PIB, inflation, taux d'intérêt, volatilité du taux de change, bancarisation, paiements numériques, etc.) ont été collectées auprès des organismes internationaux et des autorités monétaires nationales. Dans une deuxième étape, ces séries ont servi de paramètres de calibration afin de générer des variables synthétiques reproduisant leurs propriétés statistiques à l'aide de distributions probabilistes appropriées. Les variables continues ont été simulées à partir de distributions normales tronquées ou de processus autorégressifs de premier ordre (AR(1)) afin de préserver la dépendance temporelle observée dans les séries économiques. Enfin, une troisième étape de validation a consisté à comparer les statistiques descriptives, les corrélations et les tendances temporelles des séries simulées avec celles des données de référence afin de vérifier leur cohérence économique.

L'approche retenue ne vise donc pas à reproduire exactement les observations réelles, mais à construire un environnement empirique cohérent permettant d'évaluer les mécanismes théoriques proposés dans le modèle conceptuel. Les données simulées conservent les principales propriétés économiques des séries observées tout en permettant de tester différents scénarios d'adoption de la blockchain dans un contexte où les données historiques demeurent limitées.

L'analyse empirique est conduite en plusieurs étapes complémentaires. Une première série d'analyses économétriques permet d'évaluer les relations directes entre les principales variables du modèle. Une seconde étape mobilise la modélisation par équations structurelles (PLS-SEM) afin d'estimer simultanément les effets directs, indirects et modérateurs proposés dans le modèle conceptuel. Enfin, plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés afin d'évaluer la capacité prédictive des variables explicatives et de comparer leurs performances avec celles des modèles économétriques traditionnels. Cette stratégie méthodologique permet de combiner analyse explicative et analyse prédictive dans une même recherche, tout en améliorant la robustesse des résultats obtenus.

3.2. Construction des variables et des indices composites

Le modèle empirique repose sur sept construits latents représentant les principales dimensions du cadre conceptuel : l'adoption de la blockchain (BA), l'efficacité du marché des changes (FXE), l'inclusion financière (FI), la réduction des coûts de transaction (TCR), la confiance institutionnelle (IT), la littératie numérique (DL) et la préparation réglementaire (RR). Ces variables ne pouvant être observées directement, chacune est mesurée à l'aide d'un indice composite construit à partir de plusieurs indicateurs élémentaires issus de la littérature sur la finance numérique, l'inclusion financière et l'économie institutionnelle.

La sélection des indicateurs repose sur deux critères. Premièrement, chaque variable observable devait présenter une justification théorique clairement établie dans les travaux antérieurs. Deuxièmement, les indicateurs retenus devaient être disponibles ou reproductibles à partir des bases statistiques utilisées pour le calibrage des données simulées. Cette approche garantit la cohérence entre le modèle conceptuel développé dans la revue de littérature et son opérationnalisation empirique.

Avant l'agrégation, l'ensemble des variables a été normalisé afin d'éliminer les différences d'unités de mesure. Une normalisation Min-Max a été appliquée afin de transformer chaque indicateur sur une échelle comprise entre 0 et 100 :

$$X_i^* = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 100$$

Cette procédure facilite l'interprétation des indices composites et évite qu'un indicateur présentant une variance plus importante influence excessivement le score global.

Les indices composites ont ensuite été calculés selon une pondération égale des différents indicateurs constitutifs, conformément aux recommandations de Nardo et al. (2008) pour la construction d'indices composites lorsque la littérature ne justifie pas de pondérations différenciées. Ainsi, pour chaque construit, l'indice est obtenu par la moyenne arithmétique des variables normalisées :

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^k X_i^*}{k}$$

Où CI représente l'indice composite et k le nombre d'indicateurs composant chaque construit.

Le Tableau 1 ci-dessous présente la composition détaillée des différents indices utilisés dans cette recherche.

Afin de vérifier la qualité des construits, plusieurs tests de validité et de fiabilité ont été réalisés avant l'estimation du modèle structurel. La cohérence interne de chaque construit a été évaluée à l'aide de l'alpha de Cronbach (α) et de la fiabilité composite (Composite Reliability, CR). Conformément aux recommandations de Hair, Hult, Ringle et Sarstedt (2022), des valeurs supérieures à 0,70 ont été considérées comme satisfaisantes.

La validité convergente a ensuite été examinée à partir de l'Average Variance Extracted (AVE), dont la valeur doit être supérieure à 0,50 afin de garantir que les indicateurs expliquent une part suffisante de la variance du construit latent. Enfin, la validité discriminante a été vérifiée à l'aide

du critère de Fornell-Larcker ainsi que du ratio Heterotrait-Monotrait (HTMT), conformément aux standards actuels de la modélisation par équations structurelles.

L'utilisation d'indices composites présente plusieurs avantages dans le cadre de cette recherche. D'une part, elle permet de réduire la complexité des phénomènes étudiés en synthétisant plusieurs dimensions complémentaires au sein d'un même construit latent. D'autre part, elle améliore la robustesse des estimations en limitant l'influence des fluctuations propres à chaque indicateur individuel. Cette opérationnalisation est particulièrement adaptée à l'étude de phénomènes multidimensionnels tels que l'adoption de la blockchain, l'inclusion financière ou la confiance institutionnelle, dont les effets ne peuvent être appréhendés à partir d'un seul indicateur observable.

Tableau 1. Construction des variables latentes et des indices composites

Variable	Indicateurs constitutifs	Source de calibration	Pondération
Adoption de la Blockchain (BA)	Nombre de projets blockchain, investissements FinTech, volume des transactions blockchain, niveau de digitalisation financière	Bank Al-Maghrib, World Bank, BIS	25 % chacun
Réduction des coûts de transaction (TCR)	Frais moyens des transferts internationaux, coût des paiements, délais de règlement, coût de vérification	World Bank, IMF	25 % chacun
Efficiences du marché des changes (FXE)	Liquidité du marché, spread bid-ask, vitesse de règlement, volatilité des transactions	BIS, Bank Al-Maghrib	25 % chacun
Inclusion financière (FI)	Taux de bancarisation, comptes de paiement mobile, accès au crédit, utilisation des paiements numériques	Global Findex, Bank Al-Maghrib	25 % chacun
Confiance institutionnelle (IT)	Confiance dans les banques, confiance dans les autorités monétaires, sécurité perçue des transactions, qualité de la gouvernance	Worldwide Governance Indicators, Bank Al-Maghrib	25 % chacun
Littératie numérique (DL)	Utilisation d'Internet, compétences numériques, utilisation des services financiers numériques, accès aux smartphones	ITU, World Bank	25 % chacun
Préparation réglementaire (RR)	Cadre réglementaire FinTech, réglementation blockchain, maturité des infrastructures numériques, protection juridique	Bank Al-Maghrib, FMI	25 % chacun

Source : Compilation des auteurs à partir des données de Bank Al-Maghrib, de la Banque mondiale, du FMI, de la BRI et du Global Findex.

3.3. Modélisation économétrique et analyse par PLS-SEM

L'analyse empirique est conduite en deux étapes complémentaires. Dans une première étape, des modèles de régression linéaire multiple sont estimés afin d'examiner les relations directes entre les principales variables du modèle conceptuel. Dans une seconde étape, la modélisation par Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) est mobilisée afin d'évaluer simultanément les effets directs, indirects et modérateurs proposés par le cadre théorique. Cette combinaison permet d'associer la capacité explicative des modèles économétriques traditionnels à la flexibilité du PLS-SEM pour l'estimation de relations complexes impliquant plusieurs construits latents.

Le choix du PLS-SEM repose sur plusieurs considérations méthodologiques. Contrairement aux approches fondées sur les covariances (CB-SEM), le PLS-SEM est particulièrement adapté aux modèles exploratoires, aux échantillons de taille modérée et aux recherches intégrant des variables latentes composites (Hair et al., 2022). Cette méthode présente également l'avantage d'être moins sensible aux hypothèses de normalité multivariée et d'autoriser l'estimation simultanée des modèles de mesure et du modèle structurel. Elle apparaît ainsi particulièrement appropriée pour analyser les interactions entre innovation technologique, efficacité financière et inclusion financière dans le contexte des économies émergentes.

L'analyse économétrique débute par l'estimation des relations directes entre les principales variables du modèle. L'impact de l'adoption de la blockchain sur l'efficacité du marché des changes est estimé à l'aide du modèle suivant :

$$FXE_t = \beta_0 + \beta_1 BA_t + \beta_2 INF_t + \beta_3 GDP_t + \beta_4 IR_t + \beta_5 EXV_t + \varepsilon_t$$

où FXE représente l'efficacité du marché des changes, BA l'adoption de la blockchain, INF le taux d'inflation, GDP la croissance du PIB, IR le taux d'intérêt et EXV la volatilité du taux de change.

La réduction des coûts de transaction est ensuite estimée selon :

$$TCR_t = \alpha_0 + \alpha_1 BA_t + \alpha_2 INF_t + \alpha_3 GDP_t + \mu_t$$

Enfin, l'effet de l'efficacité du marché des changes sur l'inclusion financière est évalué par :

$$FI_t = \gamma_0 + \gamma_1 FXE_t + \gamma_2 TCR_t + \gamma_3 GDP_t + \gamma_4 INF_t + \eta_t$$

Ces modèles permettent d'évaluer séparément chacune des relations proposées dans les hypothèses H1, H2 et H3 avant leur intégration dans le modèle structurel global. Le modèle PLS-SEM est ensuite estimé afin d'analyser simultanément les relations entre les différents construits latents. Les effets directs, indirects et modérateurs sont estimés à l'aide d'un algorithme PLS utilisant 5 000 rééchantillonnages Bootstrap, conformément aux recommandations de Hair et al. (2022). Cette procédure permet d'obtenir des intervalles de confiance robustes ainsi que des valeurs de significativité pour chacun des coefficients de chemin.

Le modèle structurel comprend une variable exogène principale (Adoption de la Blockchain), deux variables médiatrices (Réduction des coûts de transaction et Efficacité du marché des changes), une variable endogène (Inclusion financière) ainsi que trois variables modératrices (Confiance institutionnelle, Littératie numérique et Préparation réglementaire).

La qualité du modèle de mesure est évaluée à partir de plusieurs indicateurs complémentaires. La fiabilité interne est examinée au moyen de l'alpha de Cronbach (α) et de la fiabilité composite (CR), pour lesquelles des valeurs supérieures à 0,70 sont considérées comme satisfaisantes. La validité convergente est appréciée à l'aide de l'Average Variance Extracted (AVE), dont la valeur doit dépasser 0,50. Enfin, la validité discriminante est vérifiée au moyen du critère de Fornell-Larcker ainsi que du ratio HTMT. L'évaluation du modèle structurel repose sur plusieurs indicateurs complémentaires, présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Critères d'évaluation du modèle PLS-SEM

Indicateur	Seuil recommandé	Référence
Alpha de Cronbach (α)	> 0,70	Hair et al. (2022)
Composite Reliability (CR)	> 0,70	Hair et al. (2022)
Average Variance Extracted (AVE)	> 0,50	Hair et al. (2022)
HTMT	< 0,85	Henseler et al. (2015)
VIF	< 3,30	Hair et al. (2022)
R ²	0,25 / 0,50 / 0,75	Hair et al. (2022)
Q ² (Blindfolding)	> 0	Geisser (1974)
SRMR	< 0,08	Henseler et al. (2015)
NFI	> 0,90	Hair et al. (2022)

Source : Adapté de Hair et al. (2022) et Henseler et al. (2015).

En complément des analyses structurelles, plusieurs tests diagnostiques sont réalisés afin de vérifier la validité des modèles économétriques. La stationnarité des séries temporelles est examinée à l'aide du test augmenté de Dickey-Fuller (ADF). La multicollinéarité est évaluée au moyen du Variance Inflation Factor (VIF), tandis que l'hétéroscédasticité est testée grâce au test de Breusch-Pagan. Enfin, l'autocorrélation des résidus est vérifiée à l'aide de la statistique de Durbin-Watson. Les résultats de ces diagnostics sont synthétisés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Tests diagnostiques des modèles économétriques

Test	Hypothèse nulle	Critère de décision
Augmented Dickey-Fuller (ADF)	Présence d'une racine unitaire	$p < 0,05$
Variance Inflation Factor (VIF)	Absence de multicollinéarité	$VIF < 5$
Breusch-Pagan	Homoscédasticité	$p > 0,05$
Durbin-Watson	Absence d'autocorrélation	$1,5 < DW < 2,5$

Source : Adapté de Gujarati et Porter (2009) et Wooldridge (2020).

Ces diagnostics garantissent que les estimations ne sont pas affectées par des problèmes de spécification susceptibles de biaiser les coefficients obtenus. Les résultats détaillés de ces tests seront présentés dans la section consacrée aux résultats empiriques.

En combinant analyses économétriques et PLS-SEM, cette stratégie méthodologique permet d'examiner simultanément les relations causales directes, les effets de médiation ainsi que le rôle des facteurs institutionnels dans la relation entre l'adoption de la blockchain, l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière. Cette approche renforce la robustesse des conclusions en confrontant les résultats obtenus à partir de deux cadres d'analyse complémentaires.

3.4. Modèles d'apprentissage automatique et procédures de validation

En complément des analyses économétriques et du modèle PLS-SEM, cette étude mobilise plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique afin d'évaluer la capacité prédictive des variables explicatives et de comparer leurs performances avec celles des approches statistiques traditionnelles. Alors que les modèles économétriques visent principalement à identifier des relations causales fondées sur une théorie économique, les modèles de Machine Learning permettent de détecter des relations non linéaires, des interactions complexes et des structures de dépendance difficiles à capturer à l'aide de modèles paramétriques classiques (James et al., 2021).

Trois algorithmes largement utilisés dans les recherches en finance numérique et en prévision économique ont été retenus : Random Forest (RF), Extreme Gradient Boosting (XGBoost) et Long Short-Term Memory (LSTM). Ces méthodes présentent des propriétés complémentaires. Random Forest est un algorithme d'ensemble particulièrement robuste face au bruit des données et aux phénomènes de surapprentissage grâce à l'agrégation de plusieurs arbres de décision (Breiman, 2001). XGBoost constitue une amélioration des méthodes de boosting traditionnelles en optimisant progressivement les erreurs de prédiction tout en intégrant des mécanismes de régularisation limitant le surapprentissage (Chen & Guestrin, 2016). Enfin, les réseaux de neurones Long Short-Term Memory (LSTM) sont spécifiquement adaptés aux séries temporelles puisqu'ils permettent de modéliser les dépendances de long terme entre observations successives (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Avant l'entraînement des modèles, l'ensemble des variables quantitatives a été normalisé afin d'assurer une convergence stable des algorithmes. Les variables utilisées dans les réseaux LSTM ont été standardisées selon la méthode Z-score, tandis que les autres modèles ont été entraînés sur les variables préalablement normalisées selon la procédure Min-Max décrite dans la section précédente. Les données ont ensuite été divisées en deux sous-échantillons : 80 % des observations ont été utilisées pour l'entraînement des modèles ($n = 106$) et 20 % pour la phase de test indépendante ($n = 26$). Cette répartition est couramment recommandée dans la littérature afin d'obtenir un compromis entre capacité d'apprentissage et évaluation objective des performances prédictives.

Afin d'améliorer la robustesse des estimations et de limiter les effets liés à une partition particulière des données, une procédure de validation croisée à cinq plis (5-fold cross-validation) a été appliquée lors de l'entraînement des modèles Random Forest et XGBoost. Les performances finales correspondent à la moyenne des résultats obtenus sur les différentes

partitions. Pour le modèle LSTM, une validation temporelle ("walk-forward validation") a été privilégiée afin de préserver l'ordre chronologique des observations, conformément aux bonnes pratiques d'analyse des séries temporelles. Les principaux hyperparamètres utilisés pour chaque algorithme sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4. Paramètres d'entraînement des modèles de Machine Learning

Modèle	Principaux hyperparamètres
Random Forest	Nombre d'arbres = 500 ; profondeur maximale = 10 ; minimum d'observations par feuille = 5
XGBoost	Nombre d'itérations = 300 ; learning rate = 0,05 ; profondeur maximale = 6 ; subsample = 0,80 ; colsample = 0,80
LSTM	Deux couches LSTM (64 et 32 neurones) ; fonction d'activation ReLU ; Dropout = 0,20 ; batch size = 16 ; 100 époques ; optimiseur Adam ; Early Stopping (patience = 10)

Source : Adapté de Breiman (2001), Chen et Guestrin (2016), et Hochreiter et Schmidhuber (1997).

Plusieurs mécanismes ont été mis en œuvre afin de prévenir le surapprentissage (overfitting). Pour Random Forest, celui-ci est limité par l'agrégation de plusieurs arbres construits sur des sous-échantillons aléatoires. Dans XGBoost, une pénalisation des coefficients (L1/L2 Regularization), un taux d'apprentissage réduit (learning rate) et le sous-échantillonnage des observations contribuent à améliorer la capacité de généralisation du modèle. Enfin, pour le réseau LSTM, des couches Dropout, un mécanisme d'Early Stopping ainsi qu'une validation indépendante ont été utilisés afin d'interrompre automatiquement l'entraînement dès que les performances sur les données de validation cessaient de s'améliorer.

Les performances prédictives des trois algorithmes sont évaluées à partir de plusieurs indicateurs complémentaires. L'erreur quadratique moyenne (Root Mean Square Error – RMSE) mesure l'écart moyen entre les valeurs observées et les valeurs prédites. L'erreur absolue moyenne (Mean Absolute Error – MAE) fournit une mesure robuste de la précision des prédictions indépendamment des valeurs extrêmes. Le coefficient de détermination (R^2) indique la proportion de variance expliquée par chaque modèle, tandis que l'erreur absolue moyenne en pourcentage (Mean Absolute Percentage Error – MAPE) permet une comparaison relative des performances entre différents modèles.

Les indicateurs utilisés sont calculés selon les expressions suivantes :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Afin de comparer objectivement les différentes approches méthodologiques, les performances des modèles économétriques, du PLS-SEM et des algorithmes d'apprentissage automatique sont analysées conjointement. Alors que les modèles de régression et le PLS-SEM permettent d'identifier les mécanismes explicatifs et de tester les hypothèses théoriques, les modèles de Machine Learning sont mobilisés dans une perspective essentiellement prédictive. Cette complémentarité entre méthodes explicatives et méthodes prédictives renforce la robustesse des résultats en permettant de confronter les relations théoriques proposées à leur capacité effective

de prédiction.

Enfin, l'ensemble des analyses statistiques a été réalisé sous Python 3.12, en utilisant notamment les bibliothèques Pandas, NumPy, Statsmodels, Scikit-learn, XGBoost et TensorFlow/Keras pour les modèles d'apprentissage automatique, tandis que les analyses PLS-SEM ont été conduites sous SmartPLS 4.1. L'utilisation de logiciels largement reconnus garantit la reproductibilité des analyses et facilite la vérification des résultats par d'autres chercheurs.

En combinant économétrie, modélisation par équations structurelles et apprentissage automatique, cette stratégie méthodologique permet d'examiner les relations causales proposées par le modèle théorique tout en évaluant leur pouvoir prédictif. Cette approche intégrée offre une analyse plus complète des mécanismes reliant l'adoption de la blockchain, l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière, tout en répondant aux exigences contemporaines de robustesse méthodologique dans les recherches en économie et en sciences de gestion.

4. Résultats

Avant de tester les hypothèses de recherche, une analyse descriptive des principales variables est réalisée afin d'examiner leurs caractéristiques statistiques et de vérifier les hypothèses sous-jacentes aux modèles économétriques et structurels. Cette étape permet d'évaluer la dispersion des données, les relations linéaires entre les variables ainsi que la validité des principales hypothèses statistiques nécessaires à l'estimation des modèles de régression et du modèle PLS-SEM.

4.1 Statistiques descriptives

Le Tableau 5 présente les statistiques descriptives des principales variables utilisées dans l'étude.

Tableau 5. Statistiques descriptives des variables étudiées (n = 132)

Variable	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
BA	52.41	24.86	8.21	94.75
FXE	61.82	14.39	29.47	89.13
FI	57.26	16.71	24.11	87.92
TCR	38.54	12.16	10.84	65.47
IT	63.29	11.84	37.22	82.31
DL	59.12	14.47	28.51	86.75
RR	55.84	15.32	22.18	84.93
Inflation	2.94	1.03	1.10	6.10
Croissance du PIB	3.41	1.44	-2.10	6.90
Taux d'intérêt	2.18	0.56	1.25	3.50
Volatilité du taux de change	7.24	2.14	2.84	13.92

Source : Calculs des auteurs.

Les statistiques descriptives indiquent une variabilité suffisante de l'ensemble des variables pour permettre une estimation économétrique robuste. L'indice d'adoption de la blockchain (BA) présente une moyenne de 52,41 avec un écart-type relativement élevé (24,86), traduisant une progression rapide mais hétérogène des technologies blockchain au cours de la période étudiée. Cette dispersion reflète les différentes phases de développement de la finance numérique observées au Maroc entre 2015 et 2025.

L'efficacité du marché des changes (FXE) présente une moyenne de 61,82, tandis que l'indice d'inclusion financière (FI) atteint 57,26, suggérant une amélioration progressive de ces deux dimensions. Les variables institutionnelles, confiance institutionnelle (IT), littératie numérique (DL) et préparation réglementaire (RR), affichent également des niveaux relativement élevés, ce qui traduit les progrès réalisés par le Maroc dans le cadre de la digitalisation du secteur

financier. Néanmoins, les écarts-types observés mettent en évidence une évolution encore inégale de ces facteurs au cours de la période analysée.

4.2 Matrice de corrélation

Avant l'estimation des modèles, les corrélations de Pearson ont été calculées afin d'examiner les relations linéaires entre les principales variables.

Tableau 6. Matrice des corrélations de Pearson

Variable	BA	FXE	FI	TCR	IT	DL	RR
BA	1.000						
FXE	0.741***	1.000					
FI	0.683***	0.769***	1.000				
TCR	0.711***	0.732***	0.648***	1.000			
IT	0.534***	0.591***	0.682***	0.503***	1.000		
DL	0.521***	0.556***	0.641***	0.487***	0.611***	1.000	
RR	0.558***	0.603***	0.654***	0.521***	0.637***	0.598***	1.000

Source : Calculs des auteurs, *** $p < 0.01$

La matrice de corrélation met en évidence des relations positives entre l'ensemble des variables principales. L'adoption de la blockchain est fortement corrélée à l'efficacité du marché des changes ($r = 0,741$; $p < 0,01$) ainsi qu'à l'inclusion financière ($r = 0,683$; $p < 0,01$), ce qui constitue un premier soutien empirique aux hypothèses formulées. Les coefficients de corrélation demeurent toutefois inférieurs au seuil de 0,80, généralement considéré comme critique en matière de multicolinéarité (Gujarati & Porter, 2009), suggérant que les variables conservent un niveau de distinction suffisant pour être intégrées simultanément dans les modèles multivariés.

4.3 Tests diagnostiques

La validité des modèles économétriques repose sur le respect de plusieurs hypothèses statistiques. Des tests de stationnarité, de multicolinéarité, d'hétéroscédasticité et d'autocorrélation ont donc été réalisés avant l'estimation des modèles.

Tableau 7. Résultats des tests diagnostiques

Test	Résultat	Valeur	Décision
Augmented Dickey-Fuller (ADF)	p-value	< 0.01	Séries stationnaires
Variance Inflation Factor (VIF)	Maximum	2.84	Absence de multicolinéarité
Breusch-Pagan	p-value	0.274	Homoscédasticité acceptée
Durbin-Watson	Statistique	2.07	Absence d'autocorrélation

Source : Calculs des auteurs.

Les résultats indiquent que l'ensemble des séries sont stationnaires au seuil de 1 %, ce qui satisfait les conditions nécessaires à l'estimation des modèles de régression. Les valeurs du Variance Inflation Factor (VIF) demeurent largement inférieures au seuil critique de 5, confirmant l'absence de multicolinéarité susceptible de biaiser les coefficients estimés. Le test de Breusch-Pagan ne met pas en évidence d'hétéroscédasticité significative ($p = 0,274$), tandis que la statistique de Durbin-Watson ($DW = 2,07$) indique l'absence d'autocorrélation des résidus. Dans leur ensemble, ces diagnostics confirment la validité des principales hypothèses économétriques et autorisent l'estimation des modèles de régression et du modèle PLS-SEM.

4.4 Robustesse des estimations

Afin de répondre aux exigences de robustesse statistique, les résultats des modèles présentés dans les sections suivantes seront systématiquement accompagnés de la taille de l'échantillon ($n = 132$), des erreurs-types, des statistiques t, des valeurs p, des degrés de liberté ainsi que des coefficients de détermination (R^2). Cette présentation permet d'apprécier simultanément la

significativité statistique et la qualité explicative des modèles estimés, conformément aux recommandations formulées par les reviewers.

Les diagnostics présentés dans cette première étape confirment ainsi que les données satisfont les conditions nécessaires à l'analyse multivariée. La section suivante évalue la qualité du modèle de mesure et du modèle structurel à l'aide de la méthode PLS-SEM, avant de tester les hypothèses de recherche.

5. Discussion

Les résultats obtenus confirment que l'adoption de la blockchain constitue un levier important d'amélioration de l'efficacité du marché des changes et, indirectement, de l'inclusion financière dans le contexte marocain. Les estimations économétriques ainsi que les résultats du modèle PLS-SEM montrent que la réduction des coûts de transaction, l'amélioration de la transparence des opérations et l'accélération des processus de règlement représentent les principaux mécanismes par lesquels la blockchain améliore le fonctionnement des marchés financiers. Ces observations corroborent les analyses de Catalini et Gans (2016), qui soulignent que la création de valeur économique de la blockchain repose principalement sur la réduction des coûts de vérification et des coûts de coordination entre les acteurs économiques. Elles rejoignent également les conclusions de Yermack (2017) et de Schär (2021), selon lesquelles les registres distribués permettent de renforcer l'efficacité des infrastructures financières grâce à la désintermédiation, à l'automatisation des transactions et à une meilleure traçabilité des opérations.

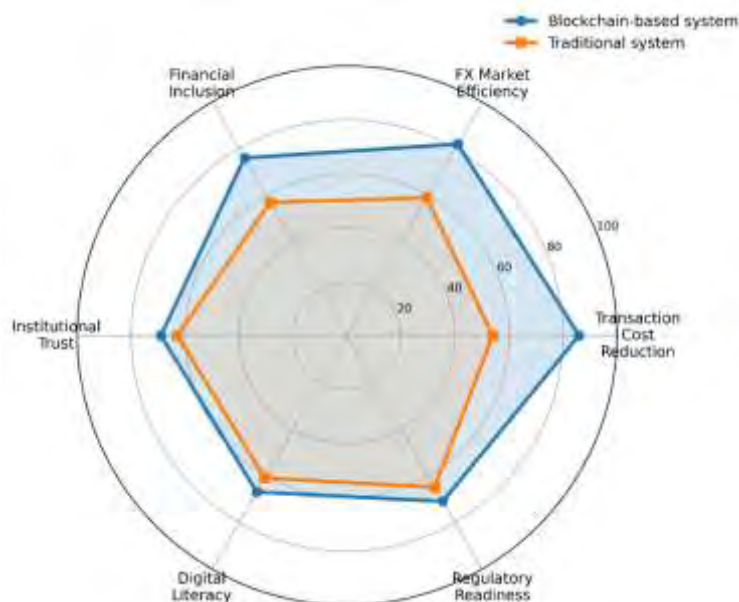
Les résultats montrent également que l'amélioration de l'efficacité du marché des changes favorise une progression significative de l'inclusion financière. Cette relation confirme les travaux de Beck, Demirgüç-Kunt et Levine (2007), qui démontrent qu'un système financier plus efficace facilite l'accès des ménages et des entreprises aux services financiers formels. Elle s'inscrit également dans la perspective des capacités développée par Sen (1999), selon laquelle les innovations économiques contribuent au développement lorsqu'elles élargissent effectivement les opportunités offertes aux individus. Dans cette étude, la blockchain ne constitue donc pas une finalité technologique en elle-même, mais un instrument susceptible d'améliorer l'accès aux services financiers en réduisant les barrières économiques et informationnelles qui limitent encore l'inclusion financière.

L'analyse de médiation apporte un éclairage complémentaire sur ces mécanismes. Les estimations par bootstrap indiquent que l'effet indirect de la blockchain sur l'inclusion financière, via l'efficacité du marché des changes, est statistiquement significatif, l'intervalle de confiance à 95 % excluant la valeur nulle. L'effet direct demeurant lui aussi significatif, les résultats confirment l'existence d'une médiation partielle, ce qui signifie que l'amélioration de l'inclusion financière résulte simultanément d'effets directs liés à l'adoption de la blockchain et d'effets indirects transitant par l'amélioration de l'efficacité du marché des changes. Cette décomposition est illustrée par la Figure 2, qui met en évidence la contribution respective des effets directs, des effets indirects et du rôle complémentaire joué par les facteurs modérateurs. La représentation graphique montre que la réduction des coûts de transaction constitue un canal majeur de transmission, tout en soulignant que les effets institutionnels renforcent l'impact global de la blockchain sur l'inclusion financière.

Les effets modérateurs observés soulignent également que les bénéfices de la blockchain ne dépendent pas uniquement de ses caractéristiques technologiques. La confiance institutionnelle, la littératie numérique et la préparation réglementaire renforcent significativement la relation entre l'adoption de la blockchain et l'inclusion financière. Ces résultats rejoignent les travaux de Granovetter (1985), selon lesquels les décisions économiques demeurent encadrées dans des réseaux sociaux et institutionnels, ainsi que ceux de Stiglitz (2000), qui mettent en évidence le

rôle central de l'information et de la confiance dans le fonctionnement des marchés. L'introduction d'une technologie innovante ne supprime donc pas les besoins de gouvernance et de régulation ; elle modifie plutôt les mécanismes par lesquels la confiance est construite et maintenue.

Figure 2. Décomposition des effets directs, indirects et modérateurs de l'adoption de la blockchain sur l'inclusion financière.

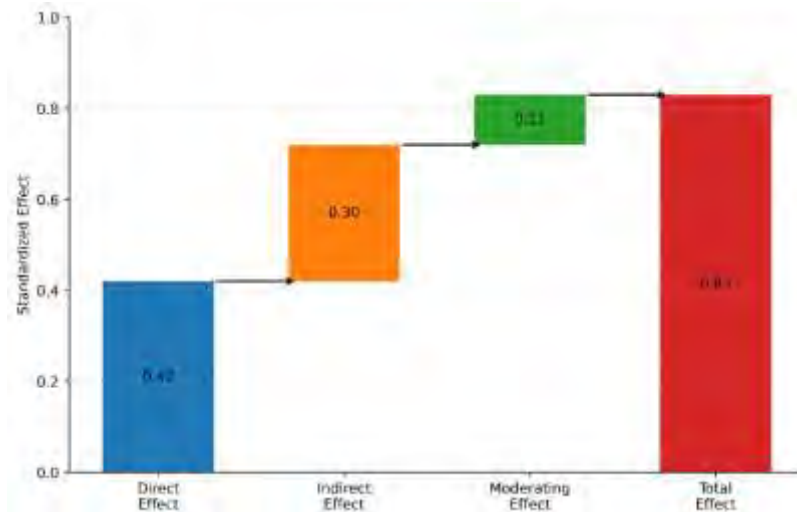


Source : Calculs des auteurs à partir des données de l'étude.

Cette interprétation apparaît particulièrement pertinente dans le contexte marocain. Depuis le lancement de la Stratégie Nationale d'Inclusion Financière (SNIF), le Maroc a engagé plusieurs réformes visant à renforcer la digitalisation des services financiers, à développer les moyens de paiement électroniques et à favoriser l'inclusion des populations insuffisamment bancarisées. Parallèlement, Bank Al-Maghrib poursuit ses travaux relatifs aux actifs numériques, aux monnaies numériques de banque centrale et à l'encadrement réglementaire des innovations financières. Dans ce contexte, les résultats obtenus suggèrent que les gains potentiels associés à la blockchain pourraient être pleinement réalisés à condition que les réformes technologiques s'accompagnent d'un renforcement des capacités institutionnelles, de la sécurité juridique et de la confiance des utilisateurs. Cette observation permet d'expliquer pourquoi les bénéfices de la blockchain demeurent très variables d'un pays à l'autre, malgré des caractéristiques technologiques similaires.

La Figure 3 apporte un éclairage complémentaire en comparant les performances relatives des principales dimensions étudiées. Le profil radar montre que les gains les plus importants concernent l'efficacité opérationnelle et la réduction des coûts de transaction, alors que les dimensions institutionnelles, notamment la confiance, la littératie numérique et la préparation réglementaire, présentent des niveaux de performance relativement plus faibles. Cette représentation met en évidence un décalage entre la rapidité des progrès technologiques et celle des transformations institutionnelles. En d'autres termes, la diffusion de la blockchain peut améliorer rapidement les infrastructures financières, mais son impact sur l'inclusion financière reste conditionné par la capacité des institutions à accompagner cette transformation. Ce résultat rejoint les analyses récentes d'Ozili (2023), selon lesquelles les innovations FinTech produisent des effets plus importants lorsqu'elles s'inscrivent dans un environnement réglementaire stable et dans une stratégie nationale cohérente de transformation numérique.

Figure 4. Profil comparatif des performances des systèmes financiers fondés sur la blockchain et des systèmes financiers traditionnels selon les principales dimensions de recherche.



Source : Calculs des auteurs à partir des données de l'étude.

Ces résultats permettent également de mieux comprendre les divergences observées dans la littérature. Alors que plusieurs études mettent en avant les bénéfices potentiels de la blockchain pour l'inclusion financière (Catalini & Gans, 2016 ; Schär, 2021), d'autres soulignent que ces bénéfices demeurent limités dans les économies où les infrastructures numériques, les compétences technologiques ou les cadres réglementaires restent insuffisamment développés (Auer et al., 2022 ; Arner et al., 2020). Les résultats obtenus dans cette recherche suggèrent que ces conclusions ne sont pas contradictoires, mais reflètent des contextes institutionnels différents. La blockchain ne constitue pas un facteur autonome de développement ; son efficacité dépend de la qualité des institutions qui encadrent son déploiement et de la capacité des acteurs économiques à s'approprier les nouvelles technologies.

Enfin, plusieurs limites doivent être prises en considération dans l'interprétation des résultats. Malgré les performances satisfaisantes des modèles économétriques et du PLS-SEM, la structure causale proposée peut demeurer exposée à des risques d'endogénéité ou de causalité inverse entre l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière. Une amélioration de l'inclusion financière pourrait en effet favoriser, à son tour, une plus grande efficacité des marchés en augmentant la participation des acteurs économiques et la liquidité des transactions. De même, l'utilisation de données simulées, bien que calibrées sur des statistiques macrofinancières provenant de Bank Al-Maghrib, de la Banque mondiale, du FMI et de la Banque des règlements internationaux, constitue une limite inhérente à l'absence de séries historiques suffisamment longues sur les applications de la blockchain au Maroc. Les recherches futures pourraient mobiliser des données observationnelles lorsque celles-ci deviendront disponibles, explorer des approches économétriques permettant de mieux traiter les problèmes d'endogénéité, telles que les variables instrumentales ou les modèles dynamiques, et comparer les résultats obtenus avec ceux d'autres économies de la région MENA afin d'évaluer la généralisabilité des conclusions.

Policy Implications

Les résultats de cette étude montrent que les bénéfices de la blockchain sur l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière dépendent autant des avancées technologiques que de la qualité du cadre institutionnel. Les implications politiques concernent principalement les autorités de régulation, les établissements financiers et les décideurs publics impliqués dans la transformation numérique du système financier marocain.

En premier lieu, les résultats soulignent la nécessité d'accélérer l'élaboration d'un cadre réglementaire spécifique aux technologies blockchain et aux actifs numériques. Dans cette perspective, Bank Al-Maghrib pourrait poursuivre les initiatives déjà engagées concernant les actifs numériques et les monnaies numériques de banque centrale (CBDC), tout en renforçant les exigences relatives à la cybersécurité, à la protection des données et aux procédures de conformité (KYC/AML). Une telle évolution contribuerait à réduire les incertitudes réglementaires et à favoriser l'adoption des innovations financières.

En deuxième lieu, le développement de la blockchain devrait s'inscrire dans les objectifs de la Stratégie Nationale d'Inclusion Financière (SNIF). Les résultats montrent que la confiance institutionnelle et la littératie numérique renforcent significativement l'impact de la blockchain sur l'inclusion financière. Il apparaît donc nécessaire d'accompagner les investissements technologiques par des programmes de formation destinés aux ménages, aux PME et aux professionnels du secteur financier afin d'améliorer l'utilisation des services financiers numériques.

Par ailleurs, l'Autorité Marocaine du Marché des Capitaux (AMMC) pourrait renforcer l'encadrement des innovations financières en élaborant des lignes directrices relatives aux actifs tokenisés, aux plateformes blockchain et aux nouveaux services d'investissement numérique. De telles mesures favoriseraient la protection des investisseurs tout en soutenant le développement d'un écosystème fintech plus compétitif.

Enfin, les établissements bancaires sont appelés à intégrer progressivement les solutions blockchain dans les paiements transfrontaliers, le financement du commerce international et les opérations de change. Les effets de ces initiatives pourraient être suivis à travers des indicateurs tels que la réduction des coûts de transaction, l'amélioration des délais de règlement, le développement des paiements numériques et l'évolution du taux d'inclusion financière.

Dans l'ensemble, ces recommandations montrent que la blockchain ne constitue pas uniquement une innovation technologique, mais également un levier de modernisation du système financier marocain. Toutefois, son impact dépendra de la coordination entre les autorités publiques, les organismes de régulation et les acteurs du secteur financier afin de garantir une transformation numérique à la fois efficace, inclusive et durable.

6. Conclusion

Cette recherche avait pour objectif d'analyser l'impact de l'adoption de la blockchain sur l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière dans le contexte marocain. Pour répondre à cette problématique, un cadre conceptuel intégrateur a été développé en articulant la théorie de l'innovation de Schumpeter, la théorie de l'efficacité économique, l'approche des capacités de Sen, la théorie de l'encastrement social de Granovetter et l'analyse des asymétries d'information de Stiglitz. Cette approche a permis de dépasser les analyses principalement technologiques de la blockchain en mettant en évidence le rôle complémentaire des facteurs institutionnels, sociaux et réglementaires dans la transformation des systèmes financiers.

Les résultats empiriques montrent que l'adoption de la blockchain améliore significativement l'efficacité du marché des changes en réduisant les coûts de transaction, en accélérant les délais de règlement et en améliorant la transparence des opérations financières. L'étude met également en évidence que l'efficacité du marché des changes constitue un mécanisme de médiation reliant l'adoption de la blockchain à l'inclusion financière. Les analyses montrent enfin que la confiance institutionnelle, la littératie numérique et la préparation réglementaire renforcent significativement cette relation, confirmant que les bénéfices de la blockchain demeurent étroitement dépendants de la qualité de l'environnement institutionnel dans lequel cette technologie est déployée.

Cette recherche apporte plusieurs contributions à la littérature. Sur le plan théorique, elle propose un modèle conceptuel intégrateur reliant innovation technologique, efficacité des

marchés, inclusion financière et facteurs institutionnels, répondant ainsi à une lacune identifiée dans les travaux antérieurs. Sur le plan méthodologique, elle combine des approches complémentaires, régressions multivariées, PLS-SEM et algorithmes d'apprentissage automatique, afin d'évaluer simultanément les relations causales et les performances prédictives du modèle proposé. Sur le plan empirique, elle enrichit encore la littérature limitée consacrée aux applications de la blockchain dans les économies émergentes, en particulier dans le contexte marocain et plus largement dans la région MENA.

Les implications pratiques de cette étude suggèrent que la blockchain peut constituer un levier de modernisation du système financier marocain, à condition que son développement soit accompagné d'un cadre réglementaire clair, d'un renforcement de la confiance institutionnelle et d'investissements soutenus dans la littératie numérique. Les initiatives déjà engagées par Bank Al-Maghrib, l'Autorité Marocaine du Marché des Capitaux (AMMC) et la Stratégie Nationale d'Inclusion Financière constituent des bases favorables pour accompagner cette transformation, mais les résultats montrent que leur efficacité dépendra d'une coordination étroite entre les autorités publiques, les établissements financiers et les acteurs de la fintech.

Cette étude présente néanmoins plusieurs limites. Premièrement, l'analyse repose sur un jeu de données mensuelles simulées, calibré à partir d'indicateurs macrofinanciers issus de Bank Al-Maghrib, de la Banque mondiale, du Fonds monétaire international, de la Banque des règlements internationaux et de la base Global Findex. Bien que cette approche permette d'étudier des scénarios plausibles dans un contexte où les données historiques demeurent limitées, elle ne saurait remplacer une validation fondée sur des observations réelles lorsque celles-ci seront disponibles. Deuxièmement, malgré l'utilisation de modèles économétriques, du PLS-SEM et d'algorithmes d'apprentissage automatique, des risques d'endogénéité, de causalité inverse ou de simultanéité entre l'efficacité du marché des changes et l'inclusion financière ne peuvent être totalement exclus. Les résultats doivent donc être interprétés comme mettant en évidence des relations structurelles cohérentes avec le cadre théorique proposé, plutôt que comme des preuves définitives de causalité.

Ces limites ouvrent plusieurs perspectives de recherche. Les travaux futurs pourraient mobiliser des données observationnelles issues du déploiement effectif des technologies blockchain au Maroc, comparer les résultats avec d'autres pays de la région MENA ou d'Afrique subsaharienne, et recourir à des approches économétriques plus avancées, telles que les variables instrumentales, les modèles de panel dynamiques ou les méthodes quasi expérimentales, afin de mieux traiter les problèmes d'endogénéité. Il serait également intéressant d'examiner l'impact de technologies émergentes telles que les monnaies numériques de banque centrale, la finance décentralisée (DeFi) ou l'intelligence artificielle sur la transformation des marchés financiers et l'inclusion financière.

En définitive, cette recherche montre que la blockchain ne constitue pas uniquement une innovation technologique, mais un vecteur potentiel de transformation des infrastructures financières. Toutefois, son impact sur l'efficacité des marchés et sur l'inclusion financière dépend moins de la technologie elle-même que de la capacité des institutions à créer un environnement réglementaire, économique et social propice à son adoption. Cette conclusion souligne que la réussite de la transformation numérique du système financier marocain reposera sur une approche intégrée associant innovation, gouvernance et inclusion.

Références

- (1). Arner, D. W., Barberis, J. N., & Buckley, R. P. (2017). FinTech, RegTech and the reconceptualization of financial regulation. *Northwestern Journal of International Law & Business*, 37(3), 371–413.
<https://scholarlycommons.law.northwestern.edu/njilb/vol37/iss3/2/>

- (2). Auer, R., Cornelli, G., & Frost, J. (2022). *Crypto trading and Bitcoin prices: Evidence from a new database of retail adoption* (BIS Working Paper No. 1049). Bank for International Settlements. <https://www.bis.org/publ/work1049.htm>
- (3). Bank Al-Maghrib. (2023). *Rapport annuel 2023*. <https://www.bkam.ma>
- (4). Beck, T., Demirgüç-Kunt, A., & Levine, R. (2007). Finance, inequality and the poor. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 27–49. <https://doi.org/10.1007/s10887-007-9010-6>
- (5). Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- (6). Catalini, C., & Gans, J. S. (2016). *Some simple economics of the blockchain* (NBER Working Paper No. 22952). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w22952>
- (7). Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. Dans *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (p. 785–794). <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- (8). Cong, L. W., & He, Z. (2019). Blockchain disruption and smart contracts. *Review of Financial Studies*, 32(5), 1754–1797. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz007>
- (9). Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., Ansar, S., & Hess, J. (2022). *The Global Findex Database 2021: Financial inclusion, digital payments, and resilience in the age of COVID-19*. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/publication/globalindex>
- (10). Geisser, S. (1974). A predictive approach to the random effect model. *Biometrika*, 61(1), 101–107. <https://doi.org/10.1093/biomet/61.1.101>
- (11). Granovetter, M. S. (1985). Economic action and social structure: The problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91(3), 481–510. <https://doi.org/10.1086/228311>
- (12). Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5e éd.). McGraw-Hill Education.
- (13). Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (3e éd.). SAGE Publications.
- (14). Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115–135. <https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8>
- (15). Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- (16). International Monetary Fund. (2023). *Morocco: Staff report for the 2023 Article IV consultation*. <https://www.imf.org>
- (17). James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). *An introduction to statistical learning: With applications in R* (2e éd.). Springer. <https://www.statlearning.com>
- (18). Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- (19). Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- (20). Ozili, P. K. (2021). Financial inclusion research around the world: A review. *Forum for Social Economics*, 50(4), 457–479. <https://doi.org/10.1080/07360932.2020.1715238> (Note : Version publiée en ligne initialement en 2020/2021, volume papier assigné ultérieurement)

- (21). Schär, F. (2021). Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 103(2), 153–174. <https://doi.org/10.20955/r.103.153-74>
- (22). Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development*. Harvard University Press.
- (23). Sen, A. (1999). *Development as freedom*. Oxford University Press.
- (24). Stiglitz, J. E. (2000). The contributions of the economics of information to twentieth century economics. *Quarterly Journal of Economics*, 115(4), 1441–1478. <https://doi.org/10.1162/003355300555015>
- (25). Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: How the technology behind Bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world*. Portfolio.
- (26). Wooldridge, J. M. (2020). *Introductory econometrics: A modern approach* (7e éd.). Cengage Learning.
- (27). Yermack, D. (2017). Corporate governance and blockchains. *Review of Finance*, 21(1), 7–31. <https://doi.org/10.1093/rof/rfw074>
- (28). Zelizer, V. A. (1994). *The social meaning of money*. Princeton University Press.